

労災疾病臨床研究事業費補助金

溶接作業者の溶接ヒュームばく露
(個人ばく露と生体内ばく露) と健康影響の
関係に関する疫学的研究

令和2年度～令和4年度 総合研究報告書

研究代表者
辻 真弓

令和5(2023)年3月

目 次

I. 総合研究報告	
溶接作業者の溶接ヒュームばく露（個人ばく露と生体内ばく露）と健康影響の関 係に関する疫学的研究 -----	1
研究代表者：産業医科大学 医学部 衛生学 教授 辻 真弓	
II. 分担研究報告	
1. 本調査の実際と結果 -----	7
研究代表者：産業医科大学 医学部 衛生学 教授 辻 真弓	
2. ヒューム曝露による血清サイトカインおよびケモカイン量の変化 -----	207
研究分担者：広島大学大学院統合生命科学研究科 生命医科学プログラム 准教授 石原 康宏	
3. ヒューム曝露による経皮曝露および肌状態への影響 -----	215
研究協力者：大阪大学大学院薬学研究科先端化粧品科学共同研究講座 特任助教 河野 まおり	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表 -----	219

溶接作業者の溶接ヒュームばく露（個人ばく露と生体内ばく露）と健康影響の関 係に関する疫学的研究

研究代表者 辻 真弓 産業医科大学 医学部 衛生学 教授

研究要旨

職場における化学物質のリスクを検討するには化学物質の有害性を知る必要がある。一般的に溶接ヒュームに多く含有される化学組成は鉄、ケイ素、マンガンの酸化物であり、その他、アルミニウム、カドミウム、クロム、チタン、鉛、ニッケル等、様々な物質が含まれている。溶接ヒュームは、発がん性(IARC グループ 1)、神経機能障害、呼吸器系障害などの有害性が知られているが、日本において溶接ヒューム作業に従事する労働者の生体試料を用いた疫学研究は行われていない。したがって我々は、溶接ヒュームばく露の健康影響と環境中溶接ヒューム濃度並びに生体試料中の溶接ヒューム関連化学物質濃度の関係を明らかにすることを目的として疫学調査を行うこととした。令和2(2020)年度に事業所 A で実施したパイロット調査から得られた知見をもとに、令和2(2020)年度～令和4(2022)年度に全国9か所の事業所(B～J)にて本調査を実施した。パイロット調査から本調査期間まで、新型コロナウイルス感染症流行下であったため、感染防止対策を徹底した上で調査を実施した。

対象:事業所 A～J の溶接作業従事者(ヒュームばく露)105 名、事務員(コントロール)129 人。

個人サンプラー 吸入性マンガン(時間加重平均濃度)0.05 mg/m³以上の割合:事業所 A は吸入性マンガン(時間加重平均濃度)未測定(吸入性マンガン(8 時間加重平均濃度)0.02mg/m³(ACGIH の TLV-TWA(ばく露限界値))を 3 名全員(100%)超えていた)。事業所 B は 100%(5 名全員)、事業所 C は 16.6%(6 名中 1 名)、事業所 D は 80%(15 名中 12 名)、事業所 E は 87.5%(16 名中 14 名)、事業所 F は 62.5%(16 名中 10 名)、事業所 G は 81.3%(16 名中 13 名)、事業所 H は 100%(10 名全員)、事業所 I は 87.5%(16 名中 14 名)、事業所 J は 100%(2 名全員)であった。

マスクフィットテスト:

JIS T8150(2006):事業所 A・B は調査当時の JIS T8150(2006)にて行った。各動作を行った場合でも、漏れ率が大きく上昇することはなく、顔にフィットしていると判断できる。各作業員の使用状況は良好であると思われる。

JIS T8150(2021)1 回目 PASS 割合:事業所 C は 16.7%(6 名中 1 名)、事業所 D は 60.0%(15 名中 9 名)、事業所 E は 50%(16 名中 8 名)、事業所 F は 50%(16 名中 8 名)、事業所 G は 62.5%(16 名中 10 名)、事業所 H は 60.0%(10 名中 6 名)、事業所 I は 75.0%(16 名中 12 名)、事業所 J は 50.0%(2 名中 1 名)であった。

質問票、呼吸機能検査、神経学的検査で統計的に差がみられた項目:3 事業所(D、E、H)では、コントロール群と比較してヒュームばく露群の WAIS-IV のワーキングメモリー値(WMI)が低かった。2 事業所(D、I)では、コントロール群と比較してヒュームばく露群のタッピング回数が少なかった。事業所 D では、コントロール群と比較してヒュームばく露群の疲労の蓄積点数が高かった。

血中・尿中の金属濃度測定:ヒュームばく露群では、血中 Mn と Pb 濃度、尿中 Mn と Cr 濃度が高い値を示した。事業所と喫煙習慣を考慮した上でもヒュームばく露群では高いことが示された。

サイトカイン・ケモカイン量の測定:測定したサイトカインのうち、ヒュームばく露群の IL-1 β 、TNF α 、IL-10、IL-12p70、IL-17A および IL-33 の血清中濃度は、コントロール群と比較して有意に低値であった。ケモカインへの影響は、その種類によって異なっていた。

経皮曝露および肌状態への影響:2 か所の事業所(事業所 B、D)の従業員と工場非関連者 5 名(医師および大学職員)の肌測定を行い、比較検討した。頸部の色味については、従業員は工場非関連者と比較して明るさの値が低く、赤みの値が高かった。弾力性については、従業員は工場非関連者と比較して表皮層の弾力性と戻り率がともに高く、真皮側は伸びやすくハリがないという結果であった。

マスクフィットテストおよび個人サンプラーの測定方法が同様の事業所 C～I を対象とした解析

神経機能に関わる各種テスト(握力・タッピング・WMI)と血中 Mn 濃度の関係:握力・タッピング と血中 Mn 濃度の間に有意な関係はなかった。血中 Mn 濃度が高いほど WAIS-IV の WMI が低い割合が高かった。

個人サンプラーと血中 Mn 濃度の関係:マスクフィット FAIL 群において、個人サンプラーの値と血中 Mn 濃度に相関関係を認めた。

サイトカインと血中 Mn 濃度の関係:ヒュームばく露群において、IP-10 は血清 Mn 濃度と相関関係を認めた。

サイトカインと個人サンプラーの関係:マスクフィット FAIL 群において、IL-17A、IL-33 の血清中濃度が高くなる傾向があった。

分担研究者

矢寺 和博 (産業医科大学 医学部 呼吸器内科学 教授)
郡山 千早 (鹿児島大学大学院医歯学総合研究科疫学・予防医学 教授)
樺田 尚樹 (産業医科大学 産業保健学部 産業・地域看護学 教授)
上野 晋 (産業医科大学 産業生態科学研究所 職業性中毒学 教授)
保利 一 (産業医科大学 名誉教授)
山元 恵 (国立水俣病総合研究センター 国際・総合研究部長)
石原 康宏 (広島大学 大学院統合生命科学研究科 生命医科学プログラム 准教授)
垣内 紀亮 (産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学 非常勤助教)
一瀬 豊日 (産業医科大学 進路指導部 准教授)

研究協力者

河野まおり (大阪大学 大学院薬学研究科 先端化粧品科学共同研究講座)
北川 恭子 (産業医科大学 医学部 衛生学)
桑村 真美 (産業医科大学 医学部 衛生学)
安村 美子 (産業医科大学 医学部 衛生学)
後藤 元秀 (産業医科大学 産業生態科学研究所 職業性中毒学)
石塚 恒年 (産業医科大学 産業生態科学研究所 職業性中毒学)
長谷川 渉 (産業医科大学 産業生態科学研究所 職業性中毒学)
櫻木 俊秀 (産業医科大学 医学部 衛生学)

A. 研究目的

溶接ヒュームばく露の健康影響と溶接ヒューム濃度並びに生体試料中の溶接ヒューム関連化学物質濃度の関係を明らかにすることを目的として疫学調査を行った。令和2(2020)年度に事業所 A で実施したパイロット調査から得られた知見をもとに、令和2(2020)年度～令和4(2022)年度に全国9か所の事業所(B～J)にて本調査を実施した。

B. 研究方法

① 対象事業所

令和2(2020)年度 パイロット調査
事業所 A(溶接作業従事者 3名, コントロール 7名)
令和2(2020)年度 本調査
事業所 B(溶接作業従事者 5名, コントロール 5名)
令和3(2021)年度 本調査
事業所 C(溶接作業従事者 6名, コントロール 6

名)
事業所 D(溶接作業従事者 15名, コントロール 17名)
事業所 E(溶接作業従事者 16名, コントロール 16名)
事業所 F(溶接作業従事者 16名, コントロール 16名)
事業所 G(溶接作業従事者 16名, コントロール 16名)
令和4(2022)年度 本調査
事業所 H(溶接作業従事者 10名, コントロール 10名)
事業所 I(溶接作業従事者 16名, コントロール 16名)
事業所 J(溶接作業従事者 2名, コントロール 20名)
測定項目: 質問票調査、呼吸機能検査、神経学的検査、生体試料(血液・尿)採取、溶接ヒューム濃度測定(作業環境測定(H, Iは未測定)、個人サンプラーを用いた測定およびフィットテスト(溶接作業従事者を対象))を実施した。

②血中・尿中の金属濃度等の比較(事業所A～J)

溶接作業に伴うヒュームばく露によって、生体内の金属濃度に及ぼす影響を評価するために、溶接作業従事者(ヒュームばく露)群と同事業所に所属する事務員(コントロール)群を対象として、血液中および尿中の金属濃度(カドミウム、ニッケル、マンガン、クロム、および鉛)の測定を行った。本研究で検討した血中・尿中の金属は以下の5つ(血液:カドミウム、ニッケル、マンガン、クロム、および鉛、尿:カドミウム、マンガン、クロム)である。いずれも週後半(木または金曜)の午後に採取した生体試料を用いた。個人サンプラーを用いた測定結果を用い、溶接作業従事者へのヒュームばく露状況の評価を行い、生体試料中の濃度との関連を解析した。

③血清サイトカインおよびケモカイン量の変化(事業所A～J)

- 溶接工場内PM2.5のサンプリング
石英フィルターを装着したハイボリュームエアサンプラー(HV-500R、柴田科学)を使用した。
- 大気中微粒子濃度の測定
パーティクルカウンター(KC-51、リオン)を用いて測定した。
- PM2.5に含まれる重金属の定量
いであ株式会社に委託し、ICP-MSを用いて行った。
- ヒト血清検体
ヒト血清は産業医科大学医学部衛生学講座より提供を受け、測定まで-80℃で保存した。
解析には、LEGENDplex Human Inflammation

Panel 1 (13-plex) with Filter Plate (Bio Legend, 740808) および LEGENDplex HU Proinflam. Chemokine Panel 1 (12-plex) with Filter Plate (Bio Legend, 741080) を使用した。尚、検出限界以下であった場合、キットマニュアルに記載されている検出限界値の 1/2 を便宜上用いて平均値を算出し、また統計解析を行った。

④経皮曝露および肌状態への影響(事業所 B, D)

1. ヒト肌測定試験

色差計(CM-700d、コニカミノルタ製)を用いて頬部、頸部の肌の明るさ、赤味、黄味を評価した。キュートメーター(MPA580D: Courage+Khazaka)を用いて頸部の弾力性を評価した。

2. 表皮モデルを用いた肌影響への検討

2-1. ネブライザーによる気相ばく露

アクリルチャンバー内で PM2.5 懸濁液を皮膚モデルの角質層側に超音波式ネブライザーを用いてばく露した。

2-2. 細胞生存率の測定

Cell Counting Kit-8(CCK-8、DOJIN)を用いた WST-8 法および LDH 法で算出した。

2-3. DNA アレイによる包括的な遺伝子変動解析
Maxwell RSC simply RNATissue Kit(Promega)を用いて mRNA を抽出し、ClariomS human array(ThermoFisher)による解析を行った。

(倫理面への配慮)

産業医科大学倫理委員会および鹿児島大学医学部倫理委員会、広島大学倫理委員会承認を得て行われている。

C. 研究結果

①調査の実際と結果

●パイロット調査：事業所 A

作業環境測定(粉じん)結果は第1管理区分であった。個人ばく露濃度のうち、吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は、3名のうち2名が $1\text{mg}/\text{m}^3$ (日本産業衛生学会の(第2種粉じん:酸化鉄)許容濃度)を超えていた。吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は3名全員が $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ (ACGIHのTLV-TWA(ばく露限界値))を超えていた。なお、事業所Aにおいてマスクフィットテストは日本産業規格(JIS)T8150 改正前であったため行っていない。

●本調査：事業所 B~J

事業所Bの作業環境測定結果は第2管理区分、個人ばく露濃度測定(粉じん)のうち、吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は、実施者5名とも $1\text{mg}/\text{m}^3$ (日本産業衛生学会の(第2種粉じん:酸化鉄)許容濃度)以上、吸入性マンガン(時間加重平均濃度)は5名とも $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ (溶接ヒュー

ムの気中濃度の基準値)を超え、吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は5名とも $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ (ACGIHのTLV-TWA(ばく露限界値))を超えていた。なお、事業所Bにおいてマスクフィットテストは日本産業規格(JIS)T8150 改正前であったため行っていない。

事業所Cの作業環境測定(粉じん)結果は第1管理区分、マスクフィットテスト1回目PASSの割合は16.7%(6名中1名)であった。個人ばく露濃度のうち、吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は、実施者6名とも $1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下、吸入性マンガン(時間加重平均濃度)は6名のうち1名(測定2回のうち1回)が $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ を超え、吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は6名のうち1名が $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていた。ヒュームばく露(溶接作業従事者)群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数および各種神経学的検査ではヒュームばく露群とコントロール群の間で結果に有意差は認めなかった。呼吸機能検査では溶接作業従事者1名、コントロール群1名が正常範囲以外であった。

事業所Dの作業環境測定(粉じん)結果は第1管理区分、マスクフィットテスト1回目PASSの割合は60.0%(15名中9名)であった。個人ばく露濃度のうち、吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は7名が $1\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていた。吸入性マンガン(時間加重平均濃度)、15名のうち12名は $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 以上であった。吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は15名のうち13名は $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていた。ヒュームばく露群の方がコントロール群と比較して疲労の蓄積点数が高かった($p=0.026$)。ヒュームばく露群の方がコントロール群と比較してタッピング回数が低く($p=0.010$)、WAISのワーキングメモリー値が低かった($p=0.017$)。握力検査では有意差は認めなかった。呼吸機能検査ではヒュームばく露群3名、コントロール群1名が正常範囲以外であった。

事業所Eの作業環境測定(粉じん)結果は第2管理区分、マスクフィットテストの1回目PASSの割合は50%(16名中8名)であった。個人ばく露濃度のうち、吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は実施者16名のうち6名が $1\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていた。吸入性マンガン(時間加重平均濃度)は、実施者16名のうち14名は $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 以上であった。吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は16名のうち15名は $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていた。ヒュームばく露群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数に有意差は認めなかった。ヒュームばく露群の方がコントロール群と比較してWAISのワーキングメモリー値が低かった($p=0.031$)。タッピング、握力検査では有意差は認めなかった。呼吸機能検査ではコントロール群3名が正常範囲

以外であった。

事業所 F の作業環境測定 (粉じん) は第 1 管理区分、マスクフィットテスト 1 回目 PASS の割合は 50% (16 名中 8 名) であった。個人ばく露濃度のうち、吸入性粉じん (8 時間加重平均濃度) は 16 名のうち 5 名が $1\text{mg}/\text{m}^3$ を超え、吸入性マンガン (時間加重平均濃度) は 16 名のうち、10 名は $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 以上であった。吸入性マンガン (8 時間加重平均濃度) は 16 名のうち 11 名は $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えた。ヒュームばく露群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数に有意差は認めなかった。各種神経学的検査に関してヒュームばく露群とコントロール群の間で結果に有意差は認めなかった。呼吸機能検査では溶接作業従事者 5 名、コントロール群 7 名が正常範囲以外であった (コントロール 3 名は欠損値の扱いとした)。

事業所 G の作業環境測定 (粉じん) 結果は第 2 管理区分、マスクフィットテスト 1 回目 PASS の割合は 62.5% (16 名中 10 名) であった。個人ばく露濃度のうち、吸入性粉じん (8 時間加重平均濃度) は、16 名のうち 9 名が $1\text{mg}/\text{m}^3$ (日本産業衛生学会の (第 2 種粉じん: 酸化鉄) 許容濃度) 以上、吸入性マンガン (時間加重平均濃度) は 16 名のうち 13 名が $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ (溶接ヒュームの気中濃度の基準値) を超え、吸入性マンガン (8 時間加重平均濃度) は 16 名のうち 13 名が $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ (ACGIH の TLV-TWA (ばく露限界値)) を超えていた。ヒュームばく露群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数および各種神経学的検査の結果に有意差は認めなかった。

事業所 H の作業環境測定 (粉じん) は実施していない。マスクフィットテスト 1 回目 PASS の割合は 60.0% (10 名中 6 名) であった。個人ばく露濃度のうち、吸入性粉じん (8 時間加重平均濃度) は、実施者 10 名とも $1\text{mg}/\text{m}^3$ (日本産業衛生学会の (第 2 種粉じん: 酸化鉄) 許容濃度) 以下、吸入性マンガン (時間加重平均濃度) は 10 名が $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ (溶接ヒュームの気中濃度の基準値) を超え、吸入性マンガン (8 時間加重平均濃度) も 10 名が $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ (ACGIH の TLV-TWA (ばく露限界値)) を超えた。ヒュームばく露群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数に有意差は認めなかった。ヒュームばく露群の方がコントロール群と比較して WAIS のワーキングメモリー値が低かった ($p=0.0035$)。タッピング、握力検査では有意差は認めなかった。

事業所 I の作業環境測定 (粉じん) は実施していない。マスクフィットテスト 1 回目 PASS の割合は 75.0% (16 名中 12 名) であった。個人ばく露濃度のうち、吸入性粉じん (8 時間加重平均濃度) は 16 名のうち 12 名が $1\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていた。吸入性マンガン (時間加重平均濃度)、16 名のうち 14 名は $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 以上であった。吸入性

マンガン (8 時間加重平均濃度) は 16 名のうち 15 名は $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていた。ヒュームばく露群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数、WAIS のワーキングメモリー値に有意差は認めなかった。ヒュームばく露群の方がコントロール群と比較してタッピング回数が少なかった ($p=0.0005$)。握力検査では有意差は認めなかった。

事業所 J の作業環境測定 (粉じん) 結果は第 2 管理区分、マスクフィットテストの 1 回目 PASS の割合は 50% (2 名中 1 名) であった。個人ばく露濃度のうち、吸入性粉じん (8 時間加重平均濃度) は未測定。吸入性マンガン (時間加重平均濃度) は、2 名とも $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であった。吸入性マンガン (8 時間加重平均濃度) は 2 名とも $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であった。ヒュームばく露群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数および各種神経学的検査の結果に有意差は認めなかった。

② サイトカイン・ケモカイン量の測定 (事業所 A ~ J)

サイトカイン 10 種 (IL-1 β 、IFN- α 2、IFN- γ 、TNF- α 、IL-6、IL-10、IL-12p70、IL-17A、IL-18、IL-23、IL-3) と、ケモカイン 12 種 (IL-8、CCL2、CCL3、CCL4、CCL11、CCL17、CCL20、CXCL1、CXCL5、CXCL9、CXCL10、CXCL11) の計 22 種を定量し、ヒュームばく露群とコントロール群の群間比較を行った。IL-1 β 、TNF α 、IL-10、IL-12p70、IL-17A および IL-33 のヒュームばく露群の血清中濃度は、コントロール群と比較して有意に低かった。CCL2、CCL3 血清中濃度も、ヒュームばく露群において有意に低かった。一方で、溶接作業従事者の血清中 CXCL1 および CXCL5 濃度は、事業所事務員と比較して有意に高かった。

③ 経皮曝露および肌状態への影響 (事業所 B, D)

2 か所の事業所 (事業所 B, D) の従業員 (事業所 B: コントロール群 16 名、溶接作業従事者 16 名、事業所 D: コントロール群 10 名、溶接作業従事者 10 名) と工場非関連者 5 名 (医師および大学職員) の肌測定を行い、比較検討した。色味測定では、工場非関連者と比較して、頸部の明るさが低く、赤みが強かった。弾力性については、表皮層では、工場非関連者と比較して弾力力が有意に高く、吸引後の戻り率が高かった。真皮層では、最大吸引高が有意に高く、粘性の度合いが低かった。

表皮モデルを用いた検討では、気相ばく露法で表皮モデルに溶接ヒュームを 1 時間曝露した結果、細胞障害性は認めなかった。気相ばく露した皮膚モデルを用いた DNA アレイ解析結果では、最も変動が大きかった遺伝子は MMP-9 であり、特に MMP ファミリーである MMP-1、10 の変動が大

きかった。

④マスクフィットテストおよび個人サンプラーの測定方法が同様の事業所 C~I を対象とした解析

◆**神経機能に関わる各種テスト(握力・タッピング・WMI)と血中 Mn 濃度の関係**: 握力・タッピング と血中 Mn 濃度の間に有意な関係はなかった。血中 Mn 濃度が高いほど WAIS-IV の WMI が低い割合が高かった。

◆**血中 Mn 濃度と個人サンプラーの関係**: マスクフィット FAIL 群において、個人サンプラーの値と血中 Mn 濃度に相関関係を認めた。

◆**サイトカインと血中 Mn 濃度の関係**: ヒュームばく露群において、IP-10 は血清 Mn 濃度と相関関係を認めた。

◆**サイトカインと個人サンプラーの関係**: マスクフィット FAIL 群において、IL-17A、IL-33 の血清中濃度が高くなる傾向があった。

D. 考察

本研究は、溶接ヒュームばく露の健康影響と溶接ヒューム並びに生体試料中の溶接ヒューム関連化学物質濃度の関係を明らかにすることを目的で行った。質問票、呼吸機能検査、神経学的検査、血中・尿中金属濃度、サイトカイン・ケモカイン量の測定、個人サンプラーによる呼吸域周囲のダストや金属濃度の測定、マスクフィットテストを行い、その関連を検討した。

マスクフィットテストおよび個人サンプラーの測定方法が同様の事業所 C~I を対象とした解析では、①血中マンガン濃度が高いほど WAIS-IV WMI が低値を示す割合が多く、ヒュームばく露群においてより強い関連を認めたこと、②溶接作業労働者の呼吸域には高濃度のダストやマンガンが存在し、マスクがフィットしていない労働者ではより多くのマンガンが体内に取り込まれていること、③マスクがフィットしていない労働者では、IL-17A と IL-33 の血中濃度が高い傾向があることが明らかになった。①に関しては、溶接ヒュームによってばく露されたマンガンが神経機能へ及ぼす影響が示唆されたが、短期記憶に関連する他の項目を考慮できておらず、今後さらなる検討が必要であった。②に関しては、正しくマスクを着用することの重要性を示唆する結果であった。マスクフィットテストを行うことで正しいマスクの装着方法を周知することが重要と考えられた。③に関しては、溶接ヒュームによる呼吸器疾患発症機序の解明の一助となりうる結果であった。

サイトカイン・ケモカイン量の測定では、溶接ヒュームばく露群に比べて事務員であるコントロール群において血清中サイトカイン濃度が高値であった。これは、事務室を含む事業所内の高

い空間微粒子濃度を反映し、さらに、溶接作業従事者がマスクなどの高度な保護具を着用しているのに対して事務員は保護具を着用していない点にあると予想された。

工場関連者の皮膚色は明るさが低く赤みが高く、表皮層では、硬いゴムのような肌状態であり、真皮層では弾力が無く伸びきった風船のような状態であることがわかった。表皮モデルを用いた DNA アレイ解析で遺伝子変動を認めた MMP-ファミリーは、コラーゲン分解酵素である。このことから、ヒュームばく露により、MMP 発現量の誘導を介した真皮コラーゲンの量の減少やハリ・弾力が低下することが示唆された。

E. 結論

溶接ヒュームばく露に関連した血中金属濃度と神経障害の関連については、今後さらなる検討が必要である。マスクフィットテスト合格者と不合格者において、血中 Mn 濃度が異なる結果が得られたことや、血清サイトカイン値の異なる傾向を認めたことから、溶接作業従事者が正しくマスクを着用することの重要性が示唆された。

事業所ごとの作業・作業環境（作業環境測定・個人ばく露濃度測定結果・マスクの着用状況（フィットテスト結果を含む））の違い、個人の背景因子の違いを十分に考慮した上で更なる溶接ヒュームばく露と健康影響の関係を検討する必要があると考えられた。

F. 健康危険情報

該当無し

G. 健康危険情報

該当無し

H. 研究発表

1. 論文発表

1) 辻 真弓, 安村 美子, 保利 一, 上野 晋, 一瀬 豊日, 後藤 元秀, 石塚 恒年, 長谷川 渉, 呼吸用保護具の定量的フィットテストから得られた知見 ~金属アーク溶接等作業に従事する労働者を対象とした調査から~, 産業医学ジャーナル: 45(5):52-57, 2022

2) Mayumi Tsuji, Chihaya Koriyama, Yasuhiro Ishihara, Toyohi Isse, Tsunetoshi Ishizuka, Wataru Hasegawa, Motohide Goto, Rie Tanaka, Noriaki Kakiuchi, Hajime Hori, Kazuhiro Yatera, Naoki Kunugita, Megumi Yamamoto, Toshihide Sakuragi, Yoshiko Yasumura, Maori Kono, Mami Kuwamura, Kyoko Kitagawa, Susumu Ueno, Associations between welding fume exposure and neurological function in Japanese male welders and non-welders.

Journal of Occupational Health. 65 (1) e12393, 2023

3) Mayumi Tsuji, Hajime Hori, Chihaya Koriyama, Rie Tanaka, Toyohi Isse, Yasuhiro Ishihara, Tsunetoshi Ishizuka, Wataru Hasegawa, Motohide Goto, Kazuhiro Yatera, Naoki Kunugita, Mami Kuwamura, Toshihide Sakuragi, Yoshiko Yasumura, Megumi Yamamoto, Susumu Ueno, The effect of mask fit test on the association between the concentration of metals in biological samples and the results of time-weighted average personal exposure: a study on Japanese male welders. Journal of Occupational Health. 65 (1) e12399, 2023

2. 学会発表

1) 辻 真弓：我が国における溶接ヒュームばく露と健康影響に関する疫学調査. 日本薬学会第142年会、名古屋、オンライン開催、2022年3月

I. 知的財産権の出願・登録状況

- | | |
|-----------|------|
| 1. 特許取得 | 該当無し |
| 2. 実用新案登録 | 該当無し |
| 3. その他 | 該当無し |

J. 研究により得られた成果の今後の活用・提供

令和3年4月1日より「溶接ヒューム」が特定化学物質（第2類物質）に加えられ、令和5年4月1日から、金属アーク溶接等作業を継続して行う屋内作業場で面体を有する呼吸用保護具を使用させる場合、1年以内に1回、マスクフィットテストによって労働者が呼吸用保護具を適切に装着できていることを確認することが義務付けられる。

調査で得られた結果を現在複数本論文として投稿中である。本研究により適切なマスク着用の重要性、溶接ヒュームの2次ばく露の可能性などが明らかになった。これらの知見が溶接現場における作業環境管理、作業管理、健康管理の推進の一助として活用されれば幸いである。

また、マスクフィットテストの施行される場が、労働者がマスクの重要性を認識し、適切なマスクの装着を確認する場として今後積極的に活用されていくことを期待する。

1. 本調査の実際と結果

研究代表者 辻 真弓 産業医科大学 医学部 衛生学 教授

研究要旨:

溶接ヒュームばく露の健康影響と溶接ヒューム濃度並びに生体試料中の溶接ヒューム関連化学物質濃度の関係を明らかにすることを目的とした。令和2(2020)年度は、調査の前例がないため生体試料の最適な採取時間が不明であった。そこで翌年度からの本調査に向け、事業所Aにて、生体試料の採取タイミングを決定することを最たる目的としてパイロット調査を行った。パイロット調査の結果を検討し、本調査においての生体試料採取のタイミングは、終業時(可能な限り週の終わりである木曜または金曜日)と決定し、令和2(2020)年度～令和4(2022)年度に全国9か所の事業所(B～J)にて本調査を実施した。

【パイロット調査】

*** 事業所A(自動車製造業)結果:**(溶接作業従事者3名、コントロール7名)

作業環境測定(粉じん):第1管理区分

マスクフィットテスト:調査当時のJIS T8150(2006)に定める方法で行った。各動作を行った場合でも、漏れ率が大きく上昇することはなく、顔にフィットしていると判断できる。各作業員の使用状況は良好であると思われる。

個人ばく露濃度測定結果:

吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は、3名のうち2名が $1\text{mg}/\text{m}^3$ (日本産業衛生学会の(第2種粉じん:酸化鉄)許容濃度)を超えていた。吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は3名全員が $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ (ACGIHのTLV-TWA(ばく露限界値))を超えた。

健康影響に関する調査:溶接作業従事者群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数および各種神経学的検査では溶接作業従事者群とコントロール群の間で結果に有意差は認めなかった。

生体試料中の濃度測定の結果:血液中のマンガン、クロム、ニッケルは、就業後に高値を示す傾向があり、特にクロム、ニッケルは週の就業4日目の就業後に高値を示した。尿中の濃度はマンガン、クロムでは検出限界値以下であった。ニッケルは就業4日の就業後に高値を示した。

【本調査】

*** 事業所B(建築・鉄鋼構造物工事業)結果:**(溶接作業従事者5名、コントロール5名)

作業環境測定結果(粉じん):第2管理区分

マスクフィットテスト:調査当時のJIS T8150(2006)に定める方法で行った。各動作を行った場合でも、漏れ率が大きく上昇することはなく、顔にフィットしていると判断できる。各作業員の使用状況は良好であると思われる。

個人ばく露濃度測定結果:5名全員が吸入性粉じん(8時間加重平均濃度) $1\text{mg}/\text{m}^3$ 、吸入性マンガン(時間加重平均濃度) $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ (溶接ヒュームの気中濃度の基準値)、吸入性マンガン(8時間加重平均濃度) $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えた。

健康影響に関する調査:溶接作業従事者群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数および各種神経学的検査では溶接作業従事者群とコントロール群の間で結果に有意差は認めなかった。

*** 事業所C(電気工事業等)結果:**(溶接作業従事者6名、コントロール6名)

作業環境測定(粉じん):第1管理区分

マスクフィットテスト:1回目PASS 16.7%(6名中1名)

個人ばく露濃度測定:吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は、6名全員 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下、吸入性マン

ガン（時間加重平均濃度）は6名中1名（測定2回のうち1回）が $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ を超え、吸入性マンガン（8時間加重平均濃度）は6名中1名が $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えた。

健康影響に関する調査:溶接作業従事者群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数および各種神経学的検査では溶接作業従事者群とコントロール群の間で結果に有意差は認めなかった。

*** 事業所 D(建築工事業等)結果:**(溶接作業従事者 15名、コントロール 17名)

作業環境測定(粉じん):第1管理区分

マスクフィットテスト:1回目 PASS 60.0% (15名中9名)

個人ばく露濃度測定結果:吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は15名のうち7名は $1\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていた。吸入性マンガン(時間加重平均濃度)、15名のうち12名は $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 以上であった。

吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は15名のうち13名は $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えた。

健康影響に関する調査:溶接作業従事者群の方がコントロール群と比較して疲労の蓄積点数が高かった($p<0.05$)。溶接作業従事者の方がコントロール群と比較してタッピング回数が低く($p<0.05$)。WAIS-IVのWMI(ワーキングメモリー値)が低かった($p<0.05$)。握力検査では有意差は認めなかった。

*** 事業所 E(建設機械関連等)結果:**(溶接作業従事者 16名、コントロール 16名)

作業環境測定(粉じん):第2管理区分

マスクフィットテスト:1回目 PASS 50%(16名中8名)

個人ばく露濃度測定結果:吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は実施者16名のうち6名は $1\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていた。吸入性マンガン(時間加重平均濃度)は、実施者16名のうち14名は $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 以上であった。吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は16名のうち15名は $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えた。

健康影響に関する調査:溶接作業従事者群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数に有意差は認めなかった。溶接作業従事者の方がコントロール群と比較して WAIS-IVの WMI(ワーキングメモリー値)が低かった($p<0.05$)。タッピング、握力検査では有意差は認めなかった。

*** 事業所 F(建築用鉄骨加工等)結果:**(溶接作業従事者 16名、コントロール 16名)

作業環境測定(粉じん):第1管理区分

マスクフィットテスト:1回目 PASS 50% (16名中8名)

個人ばく露濃度測定結果:吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は16名のうち5名が $1\text{mg}/\text{m}^3$ を超えた。吸入性マンガン(時間加重平均濃度)は16名のうち10名は $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 以上であった。吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は16名のうち11名は $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えた。

健康影響に関する調査:溶接作業従事者群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数および各種神経学的検査の結果に有意差は認めなかった。

*** 事業所 G(橋梁事業、鉄骨・鉄構事業)結果:**(溶接作業従事者 16名、コントロール 16名)

作業環境測定(粉じん):第2管理区分

マスクフィットテスト:1回目 PASS 62.5% (16名中10名)

個人ばく露濃度測定:吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は、16名のうち9名が $1\text{mg}/\text{m}^3$ 以上、吸入性マンガン(時間加重平均濃度)は16名のうち13名が $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ を超え、吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は16名のうち13名が $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えた。

健康影響に関する調査:溶接作業従事者群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数および各種神経学的検査の結果に有意差は認めなかった。

*** 事業所 H(建築・鉄鋼構造物工事業)結果:**(溶接作業従事者 10名、コントロール 10名)

作業環境測定(粉じん):未測定

マスクフィットテスト:1回目 PASS 60.0% (10名中6名)

個人ばく露濃度測定:10名全員が吸入性粉じん(8時間加重平均濃度) $1\text{mg}/\text{m}^3$ 、吸入性マンガン

(時間加重平均濃度) 0.05 mg/m³、吸入性マンガンを(8時間加重平均濃度) 0.02 mg/m³を超えた。
健康影響に関する調査:溶接作業従事者群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数に有意差は認めなかった。ヒュームばく露群の方がコントロール群と比較して WAIS-IVの WMI (ワーキングメモリー値) が低かった(p<0.005)。タッピング、握力検査では有意差は認めなかった。

*** 事業所 I(鉄構事業)結果:**(溶接作業従事者 16名、コントロール 16名)

作業環境測定(粉じん):未測定

マスクフィットテスト:1回目 PASS 75.0% (16名中12名)

個人ばく露濃度測定結果:吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は16名のうち12名が1mg/m³を超えていた。吸入性マンガンを(時間加重平均濃度)、16名のうち14名は0.05mg/m³以上であった。吸入性マンガンを(8時間加重平均濃度)は16名のうち15名は0.02mg/m³を超えた。

健康影響に関する調査:疲労の蓄積点数、WAIS-IVの WMI (ワーキングメモリー値)に有意差は認めなかった。溶接作業従事者群の方がコントロール群と比較してタッピング回数が少なかった(p<0.005)。握力検査では有意差は認めなかった。

*** 事業所 J(自動車用ウレタンフォーム製造業)結果:**(溶接作業従事者 2名、コントロール 20名)

作業環境測定(粉じん):第2管理区分

マスクフィットテスト:1回目 PASS 50% (2名中1名)

個人ばく露濃度測定結果:吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は未測定。2名全員が吸入性マンガンを(時間加重平均濃度) 0.05mg/m³、吸入性マンガンを(8時間加重平均濃度) 0.02mg/m³を超えることはなかった。

健康影響に関する調査:溶接作業従事者群とコントロール群の間で疲労の蓄積点数および各種神経学的検査の結果に有意差は認めなかった。

研究結果

調査結果から研究1~4について比較検討を行った。

【研究1】神経機能にかかわる各種テスト(握力・タッピング・WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー値)結果と血中マンガンを濃度の関係を事業所C~I社の溶接工・非溶接工(事務員)にて比較を行った。

【研究2】マスクフィット合否、個人サンプラーの結果、血中金属濃度の関係(対象:事業所C~I社溶接工のみ)

【研究3】サイトカインと血中マンガンを濃度の関係(事業所C-I社)

【研究4】サイトカインとマスクフィットテストの結果の違いによる個人サンプラーの結果(TWA of respirable Mn)の関係(事業所C-I社)

分担研究者

- 矢寺 和博 (産業医科大学医学部 呼吸器内科学 教授)
- 郡山 千早 (鹿児島大学大学院医歯学総合研究科 疫学・予防医学 教授)
- 樺田 尚樹 (産業医科大学 産業保健学部 産業・地域看護学 教授)
- 上野 晋 (産業医科大学 産業生態科学研究所 職業性中毒学 教授)
- 保利 一 (産業医科大学 名誉教授)
- 山元 恵 (国立水俣病総合研究センター 国際・総合研究部長)
- 石原 康宏 (広島大学 大学院統合生命科学研究科 生命医科学プログラム 准教授)
- 垣内 紀亮 (産業医科大学 産業生態科学研究所 作業関連疾患予防学 非常勤助教)
- 一瀬 豊日 (産業医科大学 進路指導部 准教授)

研究協力者

- 河野まおり (大阪大学大学院薬学研究科先端化粧品科学共同研究講座)
- 北川 恭子 (産業医科大学 医学部 衛生学)
- 桑村 真美 (産業医科大学 医学部 衛生学)
- 安村 美子 (産業医科大学 医学部 衛生学)
- 後藤 元秀 (産業医科大学 産業生態科学研究所 職業性中毒学)
- 石塚 恒年 (産業医科大学 産業生態科学研究所 職業性中毒学)
- 長谷川 渉 (産業医科大学 産業生態科学研究所 職業性中毒学)
- 櫻木 俊秀 (産業医科大学 医学部 衛生学)

1. 研究目的

「溶接作業者の溶接ヒュームばく露（個人ばく露と生体内ばく露）と健康影響の関係に関する疫学的研究」の一環として、パイロット調査を令和2（2020）年度8月に事業所Aにて、翌年度からの本調査に向け、生体試料の採取タイミングを決定することを最たる目的として調査を行った。パイロット調査検討結果、本調査においては、生体試料採取のタイミングは、終業時（可能な限り週の終わりである木曜または金曜日）と決定した。令和2（2020）年度～令和4（2022）年度に全国9か所の事業所（B～J）にて本調査を実施した。

2. 研究対象

全国10か所の事業所

- ・パイロット調査 1か所
事業所A（自動車製造業）
- ・本調査 9か所
事業所B（建築・鉄鋼構造物工事業）
事業所C（電気工事業等）
事業所D（建築工事業等）
事業所E（建設機械関連等）
事業所F（建築用鉄骨加工等）
事業所G（橋梁事業、鉄骨・鉄構事業）
事業所H（建築・鉄鋼構造物工事業）
事業所I（鉄構事業）
事業所J（自動車用ウレタンフォーム製造業）

3. 研究方法

① 健康影響に関する調査

質問票調査：基本属性（性、年齢、既往歴、現病歴、喫煙状況、飲酒状況等）、勤務状況、職業歴、自覚症状（疲労感、うつ、頭痛、咳、痰、喘鳴、息切れ、鼻水・鼻づまり等）、健康診断時のエックス線写真の結果、特殊健康診断の結果

呼吸機能検査：努力肺活量（FVC）、%FVC、一秒率、%一秒量

神経学的検査：WAIS-IV（ワーキングメモリーに関する項目のみ）、タッピング検査、握力検査

② 溶接ヒュームの濃度測定

作業環境測定基準による方法（事業場）

方法：質量濃度測定法及び相対濃度測定法

個人サンプラーを用いた測定方法（個人）

測定対象物質：粉じん濃度、マンガ

③ フィットテスト

方法：定量的フィットテスト JIS T8150:2006 または JIS T8150:2021 に従う。

④ 生体試料採取および生体試料中の化学物質濃度

生体試料：血液 5ml、尿 20ml

採取のタイミング：1回（木曜日または金曜日就業後）

対象測定物質：マンガ、クロム、ニッケル、カドミウム、鉛

検査方法：原子吸光法

血清中炎症マーカー、酸化ストレスマーカー測定等

⑤ 調査日程および対象者

●事業所 A (自動車製造業)

①調査日

2020年8月25日(火)、28日(金)、29日(土)

*8月25日(火)週の就業開始日

8月28日(金)就業4日目

8月29日(土)就業5日目

②対象者

溶接作業従事者:3名

コントロール:7名(*コントロールC7は血液・尿の採取は1日のみしか出来なかった。)

●事業所 B (建築・鉄鋼構造物工事業)

①調査日

2020年12月10日(木)*就業4日目

②対象者

溶接作業従事者:5名

コントロール:5名

●事業所 C (電気工事業等)

①調査日

2021年4月22日(木)

2021年6月16日(水)*溶接ヒュームの濃度測定のみ

②対象者

溶接作業従事者:6名

コントロール:6名

●事業所 D (建築工事業等)

①調査日

コントロール群

2021年5月27日(木)28日(金)

溶接作業従事者群

2021年7月1日(木)、2日(金)

②対象者

溶接作業従事者:15名

コントロール:17名

●事業所 E (建設機械関連等)

①調査日

2021年7月8日(木)、9日(金)

健康影響に関する調査、溶接ヒュームの濃度測定、生体試料採取

2021年8月26日(木)27日(金)

フィットテスト

②対象者

溶接作業従事者:16名

コントロール:16名

●事業所 F (建築用鉄骨加工)

①調査日

2021年10月5日(火)~6日(水)

健康影響に関する調査、フィットテスト

2021年10月7日(木)~8日(金)

健康影響に関する調査、溶接ヒュームの濃度測定、生体試料採取

溶接作業従事者:16名

コントロール:16名

●事業所 G (橋梁事業、鉄骨・鉄構事業)

①調査日

2021年11月24日(水)

健康影響に関する調査、フィットテスト

2021年11月25日(木)~26日(金)

健康影響に関する調査、溶接ヒュームの濃度測定、生体試料採取

②対象者

溶接作業従事者:16名

コントロール:16名

●事業所 H (建築・鉄鋼構造物工事業)

①調査日

2022年4月19日(火)

健康影響に関する調査、フィットテスト

2022年4月21日(木)~22日(金)

健康影響に関する調査、溶接ヒュームの濃度測定、生体試料採取

②対象者

溶接作業従事者:10名

コントロール:10名

●事業所 I (鉄構事業)

①調査日

2022年6月7日(火)~8日(水)

健康影響に関する調査、フィットテスト

2022年6月9日(木)~10日(金)

健康影響に関する調査、溶接ヒュームの濃度測定、生体試料採取

②対象者

溶接作業従事者：16名

コントロール：16名

●事業所J（自動車用ウレタンフォーム製造業）

①調査日

2022年7月27日（水）

健康影響に関する調査、フィットテスト

2022年7月28日（木）～29日（金）

健康影響に関する調査、溶接ヒュームの濃度測定、生体試料採取

②対象者

溶接作業従事者：2名

コントロール：20名

4. 研究結果

研究1 事業所(C~I)の溶接工・非溶接工(事務員)の比較

神経機能にかかわる各種テスト(握力・タッピング・WMI)結果と血中マンガン濃度の関係

*マンガンは神経機能に影響を及ぼす金属であり、また、血中マンガンはすべての対象者で検出された。よって、本検討はマンガンでのみ行うこととする。

Table 1. 溶接工・非溶接工比較研究 C-I社対象者の基本属性*

	全員 (N=189)	非溶接工 (N=95)	溶接工 (N=94)	P value
年齢	40.6 (12.9)	40.2 (12.4)	41.1 (13.3)	0.810*
BMI	24.4 (3.5)	25.1 (3.8)	23.8 (3.0)	0.019*
喫煙習慣				
喫わない・やめた	103 (55%)	57 (60%)	46 (49%)	0.145 [†]
喫う	86 (45%)	38 (40%)	48 (51%)	
飲酒習慣				
無し	90 (48%)	54 (57%)	36 (38%)	0.287 [†]
有り	99 (52%)	41 (43%)	58 (62%)	
溶接作業従事年数	10.6 (13.9)	2.0 (6.8)	19.2 (13.9)	<0.001*
神経学的所見の有無[‡]				
無し	137 (72%)	69 (73%)	68 (72%)	1.000 [†]
有り	52 (28%)	26 (27%)	26 (28%)	
呼吸器症状の有無[§]				
無し	126 (67%)	68 (72%)	58 (62%)	0.167 [†]
有り	63 (33%)	27 (28%)	36 (38%)	
労働者の疲労蓄積度診断チェックリストスコア				
0-4	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0.546 [†]
5-10	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	
11-20	121 (64%)	63 (66%)	58 (62%)	
21-	68 (36%)	32 (34%)	36 (26%)	
握力 (Kg)				
利き手	45.5 (7.7)	43.8 (6.9)	47.2 (8.1)	0.009*
非利き手	43.3 (7.6)	41.7 (6.4)	44.9 (8.3)	0.002*
タッピング				
利き手	37.6 (10.1)	40.5 (8.7)	34.6 (10.5)	<0.001*
非利き手	36.5 (9.0)	38.8 (7.9)	34.1 (9.4)	<0.001*
WAIS-IV				
Working Memory Index	92.9 (15.4)	97.6 (15.8)	88.0 (13.5)	<0.001*

平均 (SD) または人数 (%).

*: Mann-Whitney U test .

†: Fisher's exact test.

‡: よだれ、筋肉のけいれん、手足のしびれやうずき、過度の発汗

§: 咳、息切れ、鼻水、鼻づまり、喘鳴、たん

||: 人数=92

*Tsuji Met al. Associations between welding fume exposure and neurological function in Japanese male welders and non-welders. J Occup Health 65(1): e12393, 2023

Table 2 -1. 握力（利き手）と血液Mn濃度（Tertile：3分位）の関係。

握力(Kg) 利き手

C社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5
T1(0.5-0.8)	3	2	1	2	2	0
T2(0.9-1.1)	1	4	1	2	0	2
T3(1.2-2.8)	1	1	0	0	1	1

D社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5
T1(0.5-0.8)	2	7	2	7	0	0
T2(0.9-1.1)	2	6	0	5	2	1
T3(1.2-2.8)	10	5	3	0	7	5

E社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5
T1(0.5-0.8)	4	4	1	2	3	2
T2(0.9-1.1)	8	5	3	4	5	1
T3(1.2-2.8)	6	5	3	3	3	2

F社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5
T1(0.5-0.8)	6	7	6	5	0	2
T2(0.9-1.1)	4	4	0	3	4	1
T3(1.2-2.8)	4	7	2	0	2	7

G社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5
T1(0.5-0.8)	5	2	3	2	2	0
T2(0.9-1.1)	7	10	2	5	5	5
T3(1.2-2.8)	1	6	0	3	1	3

H社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5
T1(0.5-0.8)	1	3	1	2	0	1
T2(0.9-1.1)	4	1	3	1	1	0
T3(1.2-2.8)	5	4	1	1	4	3

I社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5	≥ 45.5	<45.5
T1(0.5-0.8)	5	4	4	3	1	1
T2(0.9-1.1)	4	7	2	4	2	3
T3(1.2-2.8)	8	4	2	1	6	3

Table 2-2. 握力（非利き手）と血液Mn濃度（Tertile：3分位）の関係.

握力(Kg) 非利き手

C社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3
T1(0.5-0.8)	3	2	1	2	2	0
T2(0.9-1.1)	2	3	2	1	0	2
T3(1.2-2.8)	0	2	0	0	0	2

D社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3
T1(0.5-0.8)	3	6	3	6	0	0
T2(0.9-1.1)	2	6	0	5	2	1
T3(1.2-2.8)	10	5	3	0	7	5

E社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3
T1(0.5-0.8)	3	5	1	2	2	3
T2(0.9-1.1)	8	5	2	5	6	0
T3(1.2-2.8)	9	2	4	2	5	0

F社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3
T1(0.5-0.8)	7	6	6	5	1	1
T2(0.9-1.1)	3	5	0	3	3	2
T3(1.2-2.8)	4	7	1	1	3	6

G社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3
T1(0.5-0.8)	3	4	1	4	2	0
T2(0.9-1.1)	10	7	1	6	9	1
T3(1.2-2.8)	4	3	1	2	3	1

H社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3
T1(0.5-0.8)	2	1	2	1	0	0
T2(0.9-1.1)	3	2	2	2	1	0
T3(1.2-2.8)	6	3	0	2	6	1

I社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3	≥ 43.3	< 43.3
T1(0.5-0.8)	5	4	4	3	1	1
T2(0.9-1.1)	4	7	2	4	2	3
T3(1.2-2.8)	8	3	2	1	6	2

Table 2 -3. 握力と血液Mn濃度 (Tertile : 3分位) の関係.*

C-I社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員				非溶接工				溶接工			
	利き手 (Kg)		非利き手 (Kg)		利き手 (Kg)		非利き手 (Kg)		利き手 (Kg)		非利き手 (Kg)	
	≥ 45.5	< 45.5	OR (95% CI)	P value	≥ 45.5	< 45.5	OR (95% CI)	P value	≥ 45.5	< 45.5	OR (95% CI)	P value
T1(0.5-0.8)	26	29	1.00 (referent)	0.972	18	23	1.00 (referent)	0.554	8	6	1.00 (referent)	0.930
T2(0.9-1.1)	30	37	1.01 (0.46-2.21)	0.777	11	24	1.36 (0.49-3.76)	0.279	19	13	0.94 (0.22-4.07)	0.711
T3(1.2-2.8)	35	32	0.89 (0.40-1.99)		11	8	0.50 (0.15-1.74)		24	24	1.31 (0.32-5.34)	

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員				非溶接工				溶接工			
	非利き手 (Kg)		利き手 (Kg)		非利き手 (Kg)		利き手 (Kg)		非利き手 (Kg)		利き手 (Kg)	
	≥ 45.5	< 45.5	OR (95% CI)	P value	≥ 45.5	< 45.5	OR (95% CI)	P value	≥ 45.5	< 45.5	OR (95% CI)	P value
T1(0.5-0.8)	26	28	1.00 (referent)	0.877	18	23	1.00 (referent)	0.41	8	5	1.00 (referent)	0.753
T2(0.9-1.1)	32	35	1.06 (0.49-2.33)	0.468	9	26	1.99 (0.70-5.67)	0.196	23	9	0.64 (0.14-2.90)	0.559
T3(1.2-2.8)	41	25	0.74 (0.33-1.67)		11	8	0.60 (0.18-2.01)		30	17	0.79 (0.19-3.33)	

*: P values were obtained using multivariate logistic regression analysis adjusted for age, BMI, smoking habits, drinking habits, factory and welding exposure-years.

結果

握力と血液Mn濃度の間に統計学的に有意な関係はなかった。

※Tsuji M et al. Associations between welding fume exposure and neurological function in Japanese male workers and non-workers. J Occup Health 65(1): e12393, 2023

Table3-1. タッピングと血液Mn濃度（Tertile：3分位）の関係。

タッピング 利き手

C社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6
T1(0.5-0.8)	5	0	3	0	2	0
T2(0.9-1.1)	5	0	3	0	2	0
T3(1.2-2.8)	2	0	0	0	2	0

D社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6
T1(0.5-0.8)	4	5	4	5	1	2
T2(0.9-1.1)	3	5	2	3	2	10
T3(1.2-2.8)	4	11	2	1	0	0

E社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6
T1(0.5-0.8)	4	4	2	1	2	3
T2(0.9-1.1)	9	4	6	1	3	3
T3(1.2-2.8)	6	5	2	4	4	1

F社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6
T1(0.5-0.8)	9	4	7	4	2	0
T2(0.9-1.1)	4	4	2	1	2	3
T3(1.2-2.8)	3	8	2	0	1	8

G社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6
T1(0.5-0.8)	4	3	3	2	1	1
T2(0.9-1.1)	9	8	5	2	4	6
T3(1.2-2.8)	3	4	2	1	1	3

H社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6
T1(0.5-0.8)	3	1	3	0	0	1
T2(0.9-1.1)	3	2	3	1	0	1
T3(1.2-2.8)	6	3	1	1	5	2

I社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6	≥ 37.6	< 37.6
T1(0.5-0.8)	5	4	5	2	0	2
T2(0.9-1.1)	4	7	4	2	0	5
T3(1.2-2.8)	6	6	3	0	3	6

Table3-2. タッピングと血液Mn濃度（Tertile：3分位）の関係。

タッピング 非利き手

C社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5
T1(0.5-0.8)	5	0	3	0	2	0
T2(0.9-1.1)	4	1	2	1	2	0
T3(1.2-2.8)	2	0	0	0	2	0

D社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5
T1(0.5-0.8)	5	4	5	4	0	0
T2(0.9-1.1)	3	5	2	3	1	2
T3(1.2-2.8)	5	10	2	1	3	9

E社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5
T1(0.5-0.8)	4	4	2	1	2	3
T2(0.9-1.1)	10	3	5	2	5	1
T3(1.2-2.8)	8	3	4	2	4	1

F社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5
T1(0.5-0.8)	8	5	7	4	1	1
T2(0.9-1.1)	3	5	0	3	3	2
T3(1.2-2.8)	2	9	1	1	1	8

G社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5
T1(0.5-0.8)	1	6	1	4	0	2
T2(0.9-1.1)	8	9	5	2	3	7
T3(1.2-2.8)	3	4	2	1	1	3

H社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5
T1(0.5-0.8)	3	1	3	0	0	1
T2(0.9-1.1)	3	2	3	1	0	1
T3(1.2-2.8)	6	3	1	1	5	2

I社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5	≥ 36.5	< 36.5
T1(0.5-0.8)	6	3	6	1	0	2
T2(0.9-1.1)	6	5	4	2	2	3
T3(1.2-2.8)	7	5	3	0	4	5

Table3-3. タッピングと血液Mn濃度 (Tertile : 3分位) の関係.*

C-I社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	All			Non-welders			Welders		
	利き手			利き手			利き手		
	<37.6	≥ 37.6	P value	<37.6	≥ 37.6	P value	<37.6	≥ 37.6	P value
T1(0.5-0.8)	34	21	1.00 (referent)	27	14	1.00 (referent)	7	7	1.00 (referent)
T2(0.9-1.1)	37	30	1.25 (0.58-2.73)	25	10	0.85 (0.30-2.42)	12	20	1.53 (0.36-6.43)
T3(1.2-2.8)	30	37	1.48 (0.66-3.28)	12	7	1.11 (0.33-3.77)	18	30	1.36 (0.35-5.28)

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	All			Non-welders			Welders		
	非利き手			非利き手			非利き手		
	<36.5	≥ 36.5	P value	<36.5	≥ 36.5	P value	<36.5	≥ 36.5	P value
T1(0.5-0.8)	32	23	1.00 (referent)	27	14	1.00 (referent)	5	9	1.00 (referent)
T2(0.9-1.1)	37	30	1.04 (0.48-2.25)	21	14	1.19 (0.43-3.28)	16	16	0.40 (0.09-1.81)
T3(1.2-2.8)	33	34	1.13 (0.51-2.51)	13	6	1.00 (0.28-3.60)	20	28	0.50 (0.12-2.13)

*: P values were obtained using multivariate logistic regression analysis adjusted for age, BMI, smoking habits, drinking habits, factory and welding exposure-years.

※Tsuji M et al. Associations between welding fume exposure and neurological function in Japanese male welders and non-welders. J Occup Health 65(1): e12393, 2023

結果

タッピングと血液Mn濃度の間に統計学的に有意な関係はなかった。

Table4-1. WMIと血液Mn濃度（Tertile：3分位）の関係。

WMI

C社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9
T1(0.5-0.8)	3	2	2	1	1	1
T2(0.9-1.1)	3	2	1	2	2	0
T3(1.2-2.8)	1	1	0	0	1	1

D社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9
T1(0.5-0.8)	5	4	5	4	0	0
T2(0.9-1.1)	3	5	3	2	0	3
T3(1.2-2.8)	3	12	1	2	2	10

E社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9
T1(0.5-0.8)	7	1	3	0	4	1
T2(0.9-1.1)	7	6	5	2	2	4
T3(1.2-2.8)	7	4	4	2	3	2

F社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9
T1(0.5-0.8)	7	6	6	5	1	1
T2(0.9-1.1)	2	5	1	2	1	3
T3(1.2-2.8)	3	7	1	1	2	6

G社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9
T1(0.5-0.8)	4	3	3	2	1	1
T2(0.9-1.1)	8	9	3	4	5	5
T3(1.2-2.8)	4	3	1	2	3	1

H社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9
T1(0.5-0.8)	2	2	2	1	0	1
T2(0.9-1.1)	4	1	3	1	1	0
T3(1.2-2.8)	2	7	2	0	0	7

I社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	全員		非溶接工		溶接工	
	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9	≥ 92.9	< 92.9
T1(0.5-0.8)	7	2	6	1	1	1
T2(0.9-1.1)	2	9	1	5	1	4
T3(1.2-2.8)	2	10	0	3	2	7

Table4-3. WMIと血液Mn濃度 (Tertile : 3分位) の関係.*

C-I社

血液 Mn ($\mu\text{g/dL}$)	All				非溶接工				溶接工			
	WMI		WMI		WMI		WMI		WMI		WMI	
	≥ 92.9	< 92.9	OR (95% CI)	P value	≥ 92.9	< 92.9	OR (95% CI)	P value	≥ 92.9	< 92.9	OR (95% CI)	P value
T1(0.5-0.8)	35	20	1.00 (referent)		27	14	1.00 (referent)		8	6	1.00 (referent)	
T2(0.9-1.1)	29	37	2.14 (0.99-4.64)	0.054	17	18	2.38 (0.87-6.49)	0.092	12	19	2.10 (0.56-7.82)	0.269
T3(1.2-2.8)	22	44	2.77 (1.24-6.19)	0.013	9	10	2.09 (0.63-6.94)	0.227	13	34	3.73 (1.04-13.38)	0.043

*: P values were obtained using multivariate logistic regression analysis adjusted for age, BMI, smoking habits, drinking habits, factory and welding exposure-years.

*Tsuji M et al. Associations between welding fume exposure and neurological function in Japanese male welders and non-welders. J Occup Health 65(1): e12393, 2023

結果

血液Mn濃度が高いグループ (T3) は低いグループ (T1) と比較して、WMIのスコアが対象者の平均より約2.8倍有意に低かった。

この関係は、特に溶接工において最も強く認められた。(溶接工 : OR, 3.73; 95% CI, 1.04, 13.38; P = 0.043)

非溶接工においては、統計学的に有意ではないものの、血液Mn濃度が高いグループ (T3) は低いグループ (T1) と比較して、

WMIのスコアが対象者の平均より低いものが多い傾向が認められた。

研究 1 Table1-4までの考察

溶接工はヒュームに曝露されることで、WMI が低下している可能性が示唆された。非溶接工は、溶接工と同じ工場働いている労働者である。工場内の溶接ヒュームの間接的な曝露（二次曝露）による影響をうけて、WMI が低下している可能性がある。しかしながら、今回、個人サンプラーによる呼吸域周辺のマンガン濃度は溶接工のみで測定しているため、非溶接工の呼吸域周辺のマンガン濃度は不明である。また、その他短期記憶に関する要因（疲労感等）と WMI の関係を検討できておらず、現段階でマンガン濃度と WMI に関係があると結論づけるのは早計である。本調査のみでは工場内の溶接ヒュームの二次曝露の可能性の有無を論じることはできず、今後さらなる調査が必要である。

研究 2 マスクフィット合否、個人サンプラーの結果、血中金属濃度の関係(対象:溶接工のみ)

- ・ 血中マンガン並びに尿中クレアチンのみ 90%以上の対象者で検出された。
- よって、本検討は血中マンガンと尿中クロムで行うこととする。
- ・ A 社、B 社は JIS T8150:2021 によるマスクフィットテストを行っていないので、解析対象外とした。
 - ・ J 社は個人サンプラーの測定機関が A~I 社と異なるため、解析対象外とした。

**Table 1. マスクフィットテスト合否、個人サンプラーの結果、血中金属濃度の関係
C-I社対象者の基本属性[※]**

	全員 (N=94)	マスクフィットテスト		
		Pass (N=54)	Fail (N=40)	P value
年齢	41.1 (13.3)	38.7 (12.6)	44.4 (13.7)	0.042*
BMI	23.8 (3.0)	24.0 (3.2)	23.5 (2.8)	0.511*
喫煙習慣				
喫わない・やめた	46 (49%)	28 (52%)	18 (45%)	0.538 [†]
喫う	48 (51%)	26 (48%)	22 (55%)	
飲酒習慣				
無し	36 (38%)	18 (33%)	18 (45%)	0.284 [†]
有り	58 (62%)	36 (67%)	22 (55%)	
溶接作業従事年数	19.2 (13.9)	16.1 (12.4)	23.5 (14.9)	0.013*
胸部異常陰影指摘の有無				
無し	86 (91%)	53 (98%)	33 (83%)	
有り	8 (9%)	1 (2%)	7 (17%)	0.010 [†]
神経学的所見の有無[‡]				
無し	68 (72%)	42 (78%)	26 (65%)	0.243 [†]
有り	26 (28%)	12 (22%)	14 (35%)	
呼吸器症状の有無[§]				
無し	58 (62%)	36 (67%)	22 (55%)	0.287 [†]
有り	36 (38%)	18 (33%)	18 (45%)	

平均 (SD) または人数.

*:Mann-Whitney U test .

†:Fisher's exact test.

‡: よだれ、筋肉のけいれん、手足のしびれやうずき、過度の発汗

§: 咳、息切れ、鼻水、鼻づまり、喘鳴、たん

[※]Tsuji M et al. The effect of mask fit test on the association between the concentration of metals in biological samples and the results of time-weighted average personal exposure:A study on Japanese male welders.

J Occup Health 65(1): e12399, 2023

Table2. マスクフィットテストの結果の違いによる 生体試料中金属濃度と個人サンプラー測定値の関係^{*}
C-I社

a) 8hr-TWA of respirable dust

	マスクフィットテスト結果								
	全員 (N=94)			Pass (N=54)			Fail (N=40)		
	Coefficient	SE	P value*	Coefficient	SE	P value*	Coefficient	SE	P value*
血液中 Mn	0.033	0.023	0.156	0.022	0.036	0.538	0.066	0.028	0.018
尿中 Cr	0.013	0.049	0.785	-0.007	0.095	0.945	0.03	0.042	0.48

b) TWA of respirable Mn

	マスクフィットテスト結果								
	全員 (N=94)			Pass (N=54)			Fail (N=40)		
	Coefficient	SE	P value*	Coefficient	SE	P value*	Coefficient	SE	P value*
血液中 Mn	0.03	0.018	0.088	0.021	0.028	0.454	0.048	0.02	0.019
尿中 Cr	0.006	0.037	0.878	-0.019	0.076	0.8	0.023	0.031	0.463

c) 8hr-TWA of respirable Mn

	マスクフィットテスト結果								
	全員 (N=94)			Pass (N=54)			Fail (N=40)		
	Coefficient	SE	P value*	Coefficient	SE	P value*	Coefficient	SE	P value*
血液中 Mn	0.025	0.018	0.153	0.021	0.028	0.458	0.041	0.02	0.041
尿中 Cr	0.005	0.037	0.9	-0.031	0.076	0.665	0.024	0.03	0.431

*:Coefficients were estimated by a multilevel linear regression model nested with 7 factories, adjusting for age, BMI, smoking habits, drinking habits, welding exposure-years and Mask fit test result.

Coefficient, regression coefficient; SE, standard error.

^{*}Tsuji M et al. The effect of mask fit test on the association between the concentration of metals in biological samples and the results of time-weighted average personal exposure:A study on Japanese male welders. J Occup Health 65(1): e12399, 2023

結果

マスクフィットテスト FAIL 群においてのみ、統計学的有意に個人サンプラーの値が高いと血中マンガンの濃度が高くなる関係が認められた。

研究 2 Table1,2 の考察

労働者の呼吸域に高濃度のダストやマンガンが存在し、かつ、マスクがフィットしていない労働者は生体にマンガンが取り込まれていることが分かった。

先行研究では、マスクがフィットしていない原因として、ひげやメリヤスの使用が挙げられている。また正しくマスクを装着していない、マスクの劣化等も原因の一つである。

メリヤスを使用していると、漏れが多くなり、マスクフィットテストのステップの初期からFAILになることは我々の調査内の研究で明らかとなっている^{*}。

本研究対象者14名がメリヤスまたは口の周りにタオルを当ててマスクを装着していた。14名中Pass4名、FAIL10名であり、統計学的にメリヤスや口の周りのタオルはマスクフィットテストFAILに関係していた (P=0.037)。海外の報告では、ひげもマスクフィットテストFAILの原因になると報告されているが、我々の研究ではひげの有無はマスクの漏れと明確な関係は認められていない。これはおそらくひげの長さや密度が影響を及ぼしていると考えられる。

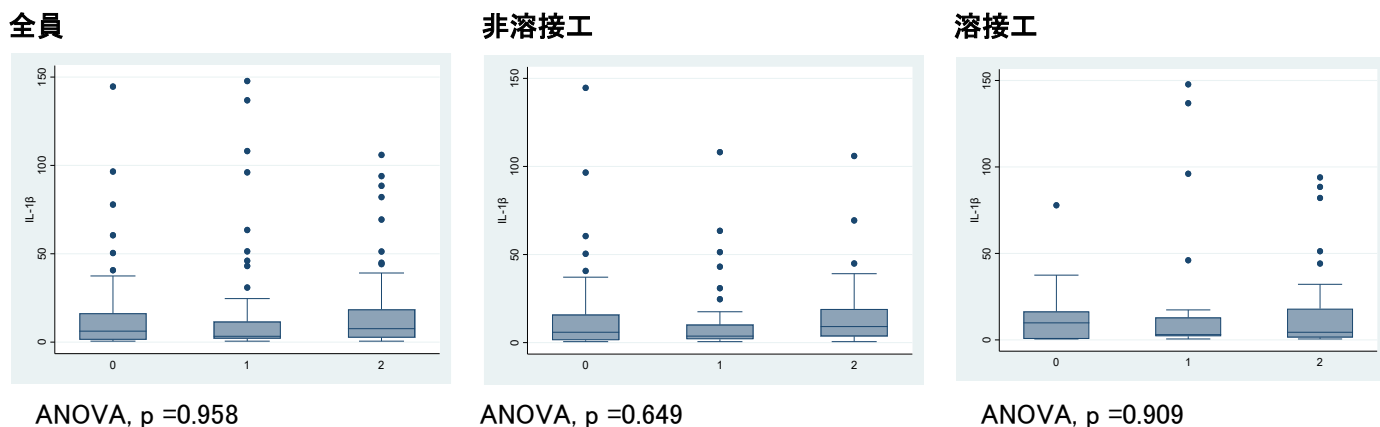
80名中67名の対象者に、新品のマスクを配布し、さらにマスクの正しい装用の方法を指導した後、マスクフィットテストを行った。この場合、62名がマスクフィットテストにPASSしており、マスクがフィットしていない原因は、マスクを正しく装着していないことが大きな原因であることが分かった。2度目のマスクフィットテストFAILであった5名に関しては、FAILになった原因は不明である。顔面の形状等、今回の調査で得られていない情報の中に原因が存在していると推察され、今後の更なる研究が必要といえる。

※辻 真弓 他 呼吸用保護具の定量的フィットテストから得られた知見 ～金属アーク溶接等作業に従事する労働者を対象とした調査から～ 産業医学ジャーナル 45(5)52-57, 2022

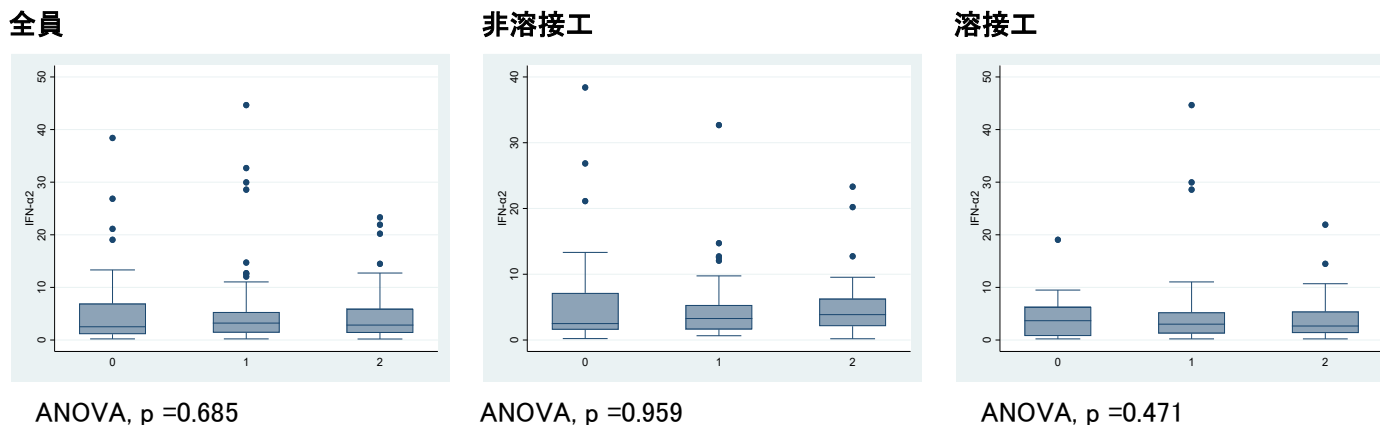
研究 3. サイトカインと血中マンガン濃度の関係(C-I 社)

*血液 Mn ($\mu\text{g}/\text{dL}$)濃度 : 0→T1(0.5-0.8)、1→T2(0.9-1.1)、2→T3(1.2-2.8)

1. IL-1 β

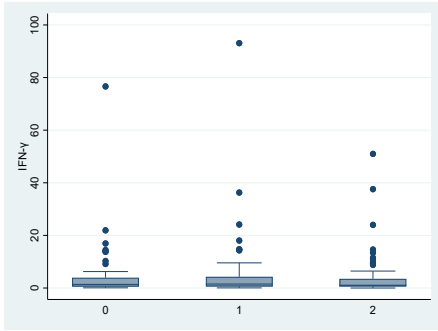


2. IFN- $\alpha 2$



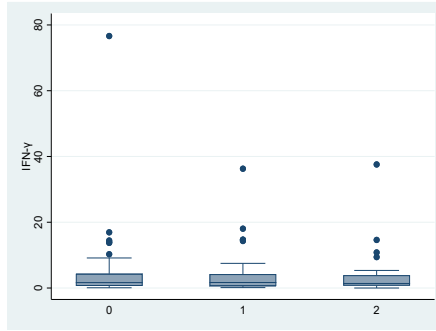
3. IFN γ

全員



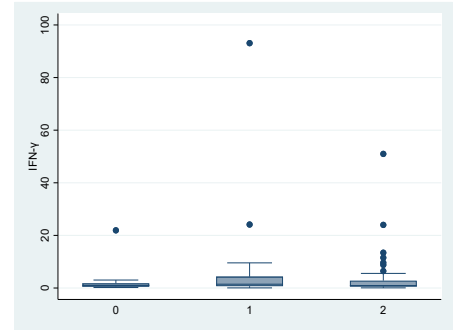
ANOVA, $p = 0.851$

非溶接工



ANOVA, $p = 0.912$

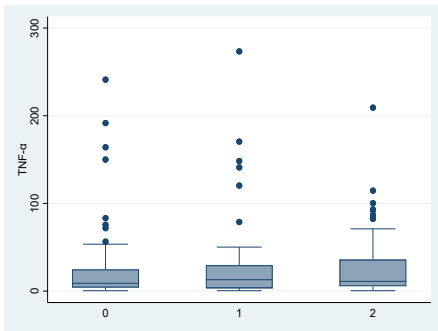
溶接工



ANOVA, $p = 0.628$

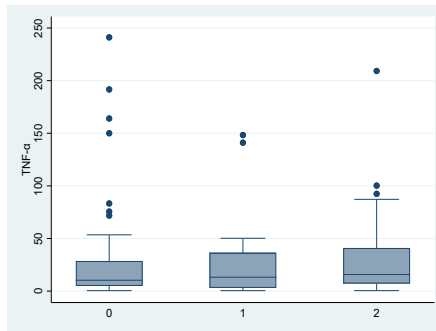
4. TNF α

全員



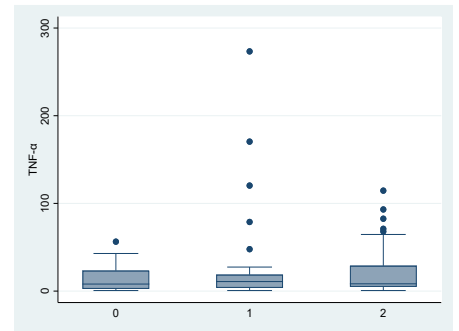
ANOVA, $p = 0.971$

非溶接工



ANOVA, $p = 0.661$

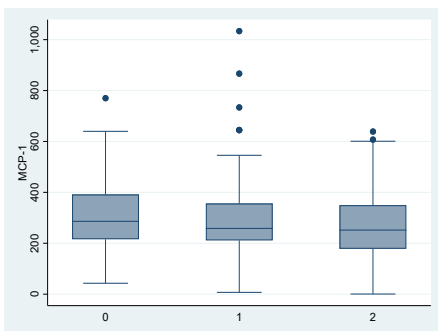
溶接工



ANOVA, $p = 0.452$

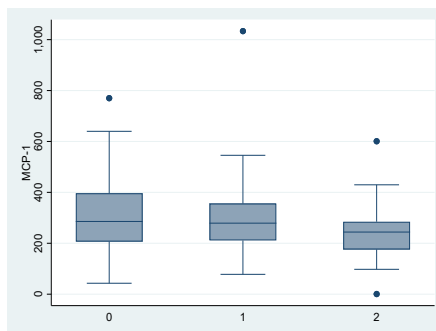
5. MCP-1

全員



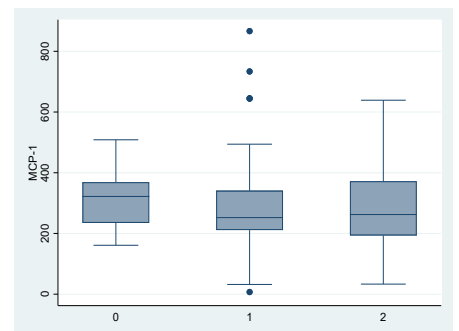
ANOVA, $p = 0.319$

非溶接工



ANOVA, $p = 0.212$

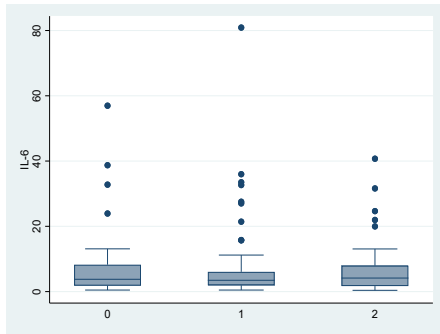
溶接工



ANOVA, $p = 0.813$

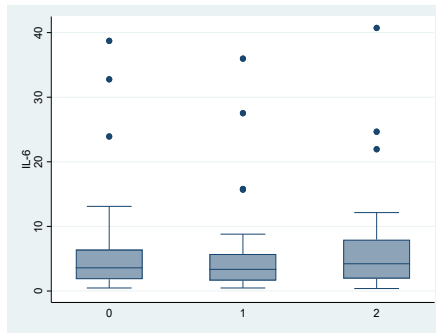
6.IL-6

全員



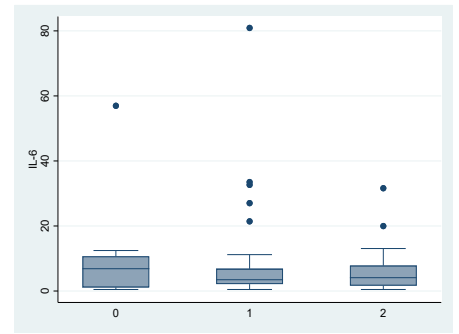
ANOVA, $p = 0.824$

非溶接工



ANOVA, $p = 0.653$

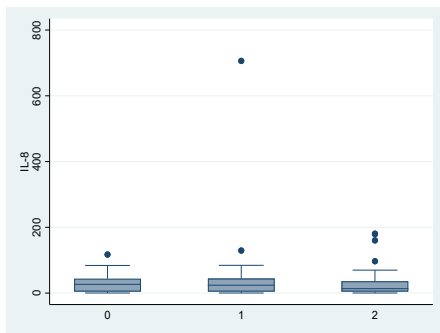
溶接工



ANOVA, $p = 0.287$

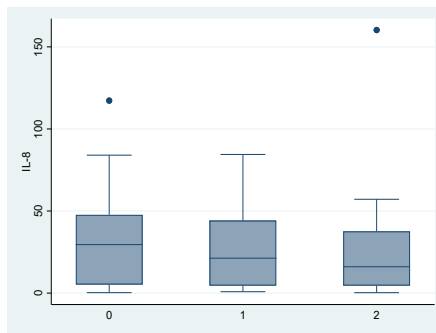
7.IL-8

全員



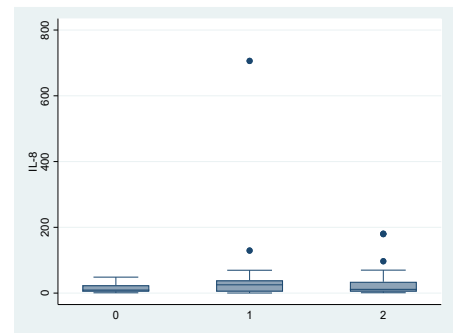
ANOVA, $p = 0.442$

非溶接工



ANOVA, $p = 0.599$

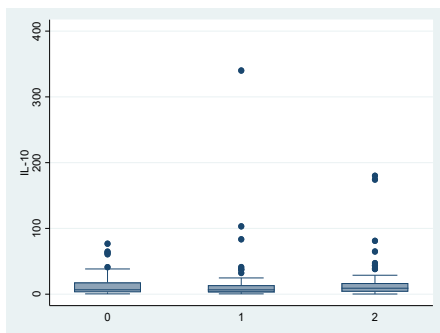
溶接工



ANOVA, $p = 0.320$

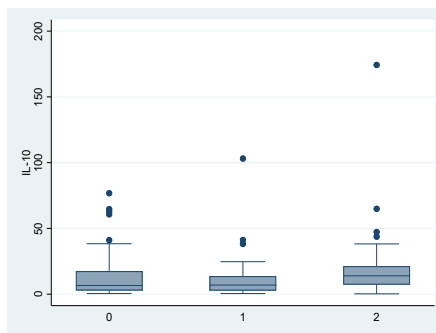
8.IL-10

全員



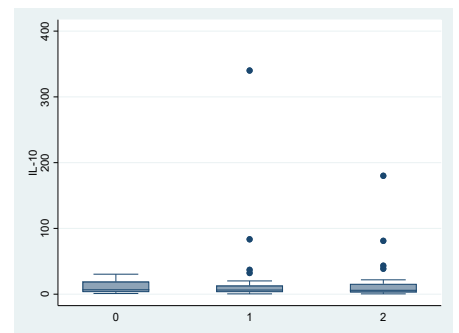
ANOVA, $p = 0.796$

非溶接工



ANOVA, $p = 0.150$

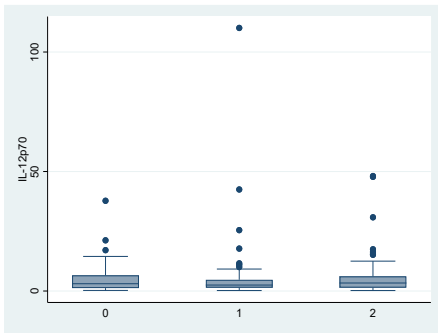
溶接工



ANOVA, $p = 0.657$

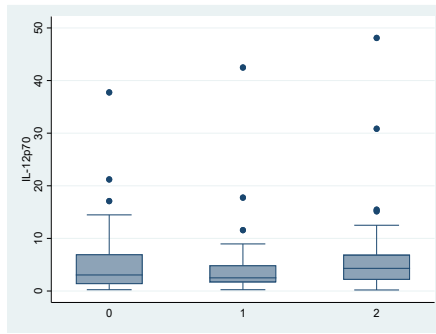
9.IL-12p70

全員



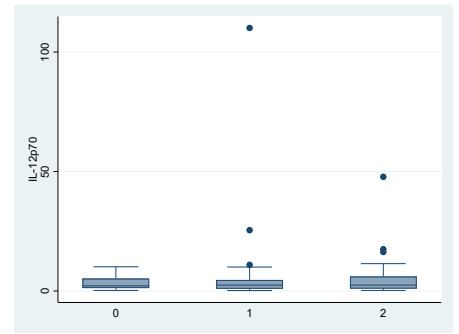
ANOVA, p =0.843

非溶接工



ANOVA, p =0.310

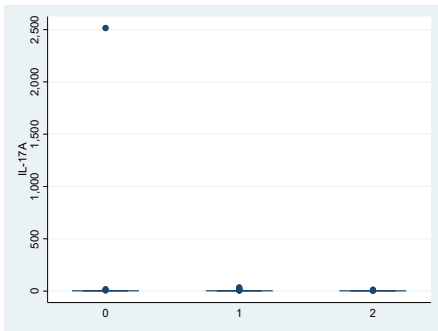
溶接工



ANOVA, p =0.527

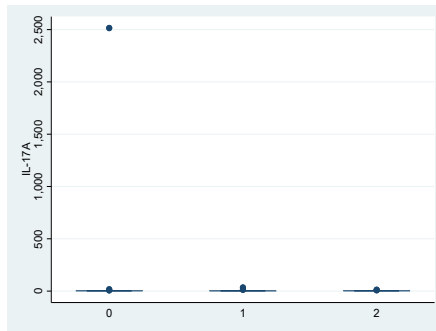
10.IL-17A

全員



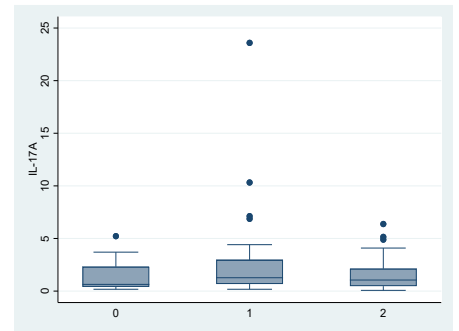
ANOVA, p =0.500

非溶接工



ANOVA, p =0.500

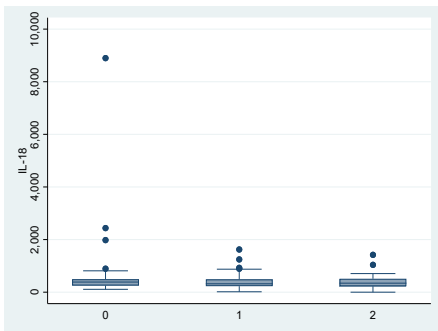
溶接工



ANOVA, p =0.142

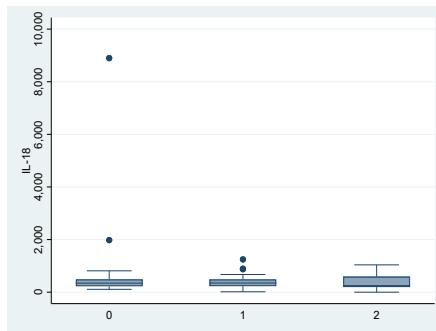
11. IL-18

全員



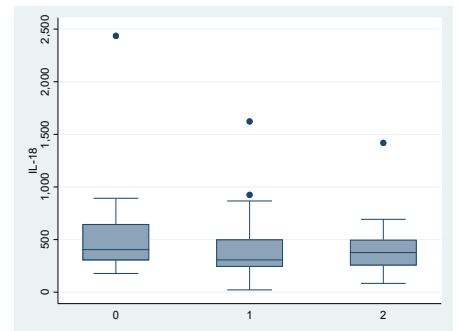
ANOVA, p =0.126

非溶接工



ANOVA, p =0.391

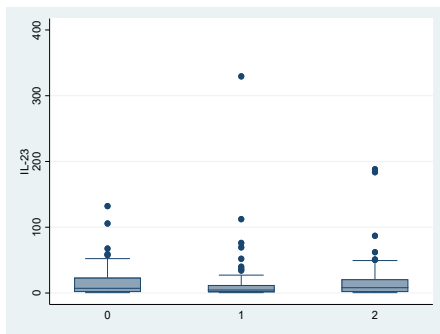
溶接工



ANOVA, p =0.142

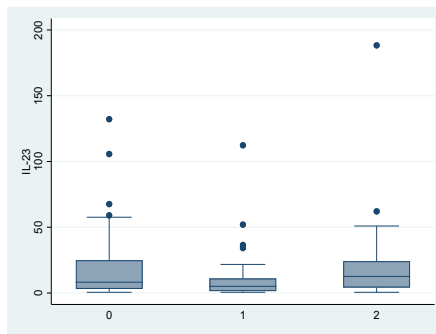
12. IL-23

全員



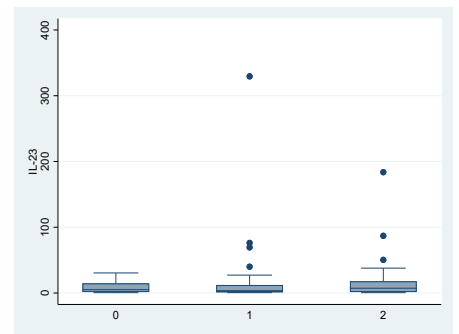
ANOVA, $p = 0.876$

非溶接工



ANOVA, $p = 0.202$

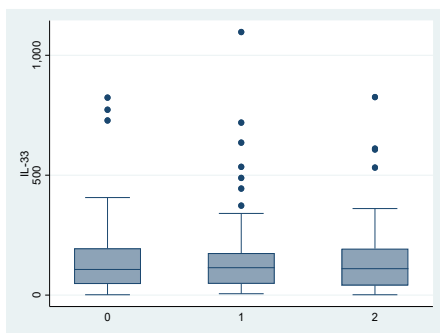
溶接工



ANOVA, $p = 0.618$

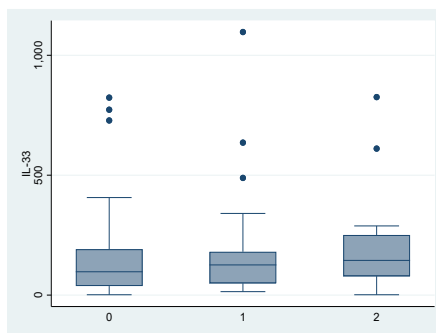
13. IL-33

全員



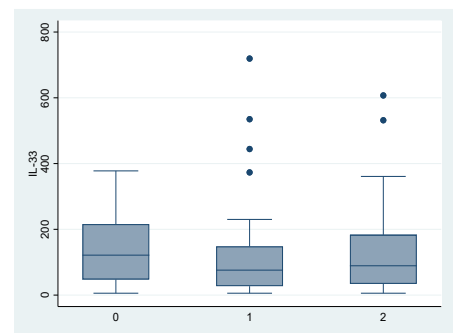
ANOVA, $p = 0.975$

非溶接工



ANOVA, $p = 0.890$

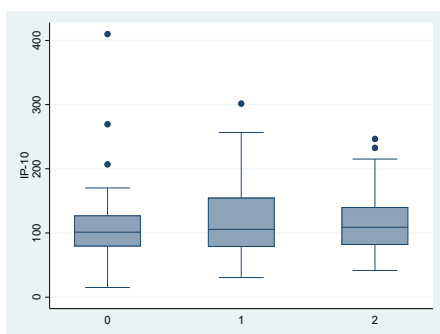
溶接工



ANOVA, $p = 0.945$

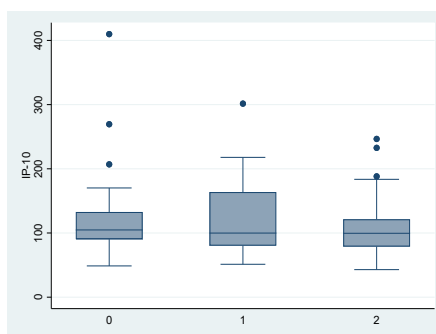
14. IP-10

全員



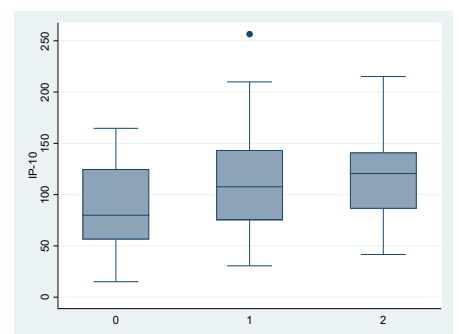
ANOVA, $p = 0.975$

非溶接工



ANOVA, $p = 0.890$

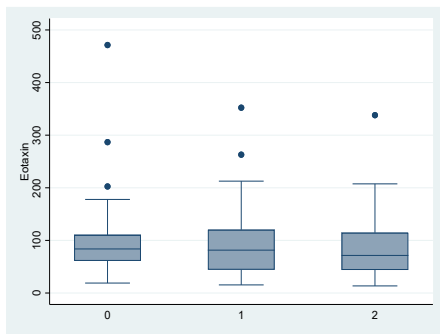
溶接工



ANOVA, $p = 0.945$

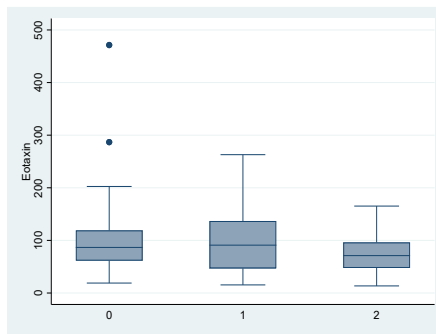
15.Eotaxin

全員



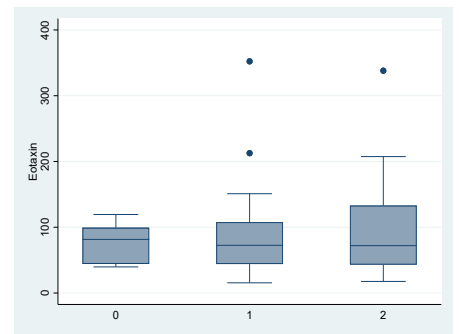
ANOVA, $p = 0.630$

非溶接工



ANOVA, $p = 0.198$

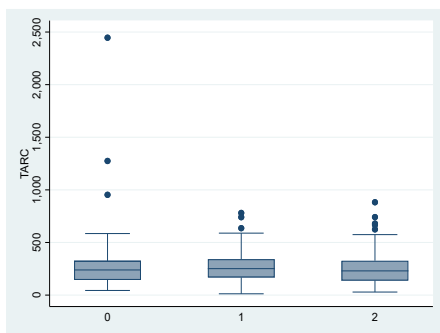
溶接工



ANOVA, $p = 0.703$

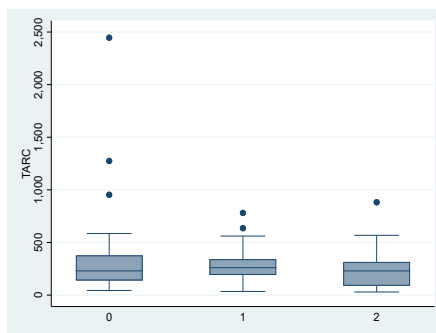
16.TARC

全員



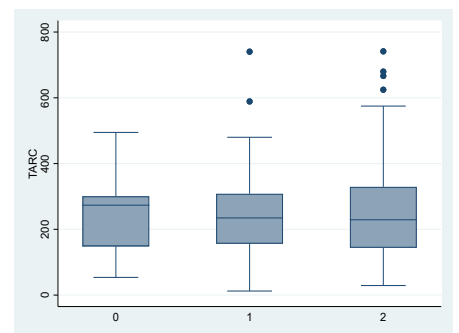
ANOVA, $p = 0.484$

非溶接工



ANOVA, $p = 0.455$

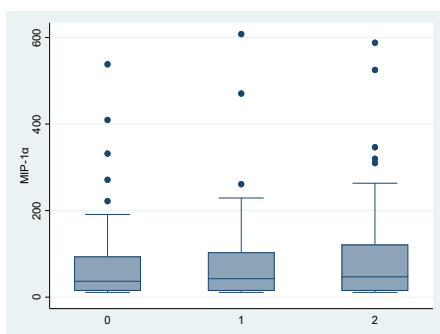
溶接工



ANOVA, $p = 0.870$

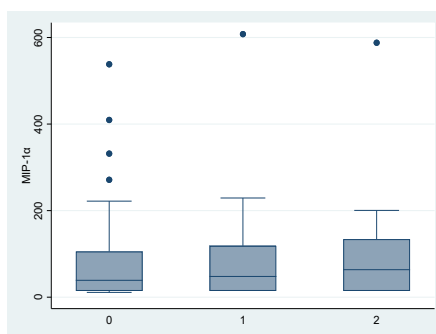
17.MIP1 α

全員



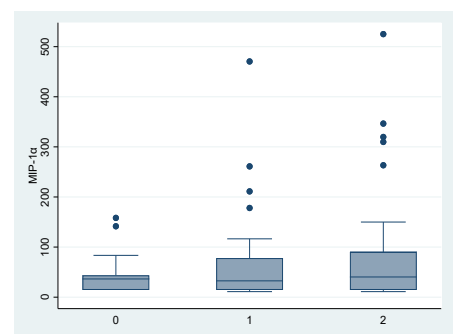
ANOVA, $p = 0.484$

非溶接工



ANOVA, $p = 0.455$

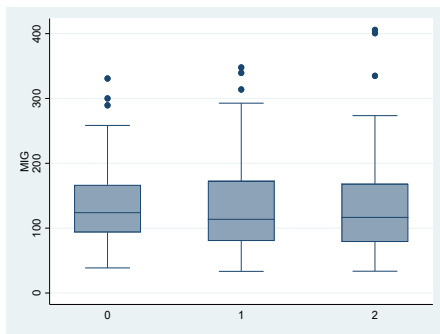
溶接工



ANOVA, $p = 0.870$

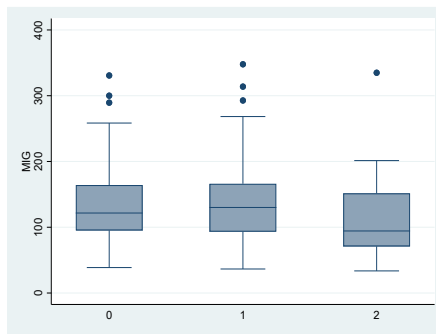
18.MIG

全員



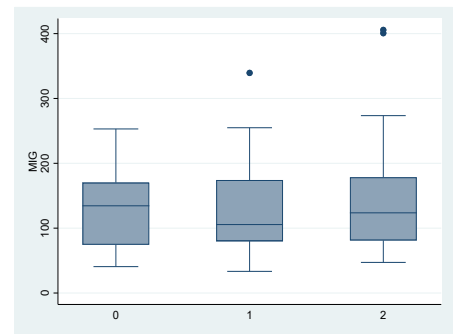
ANOVA, p =0.908

非溶接工



ANOVA, p =0.298

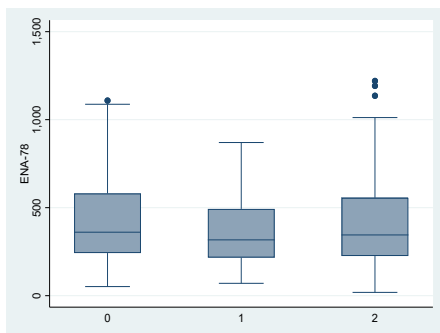
溶接工



ANOVA, p =0.801

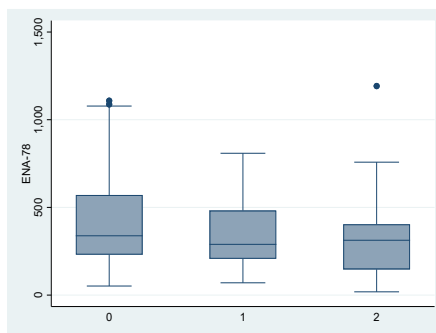
19.ENA-78

全員



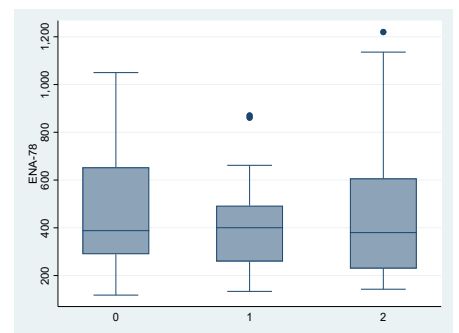
ANOVA, p =0.278

非溶接工



ANOVA, p =0.229

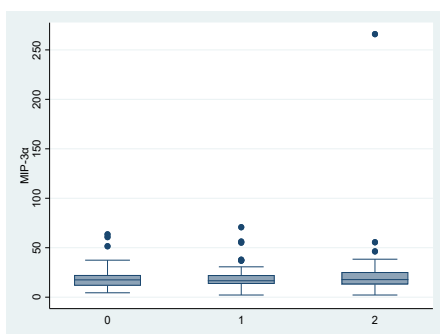
溶接工



ANOVA, p =0.357

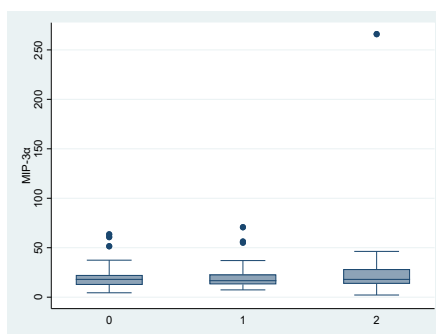
20. MIP3 α

全員



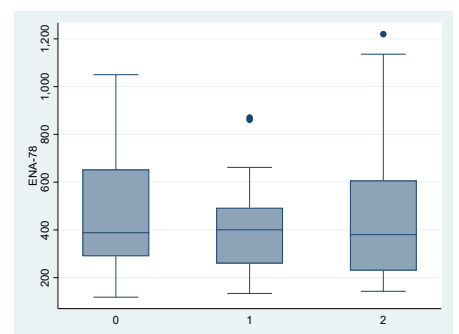
ANOVA, p =0.535

非溶接工



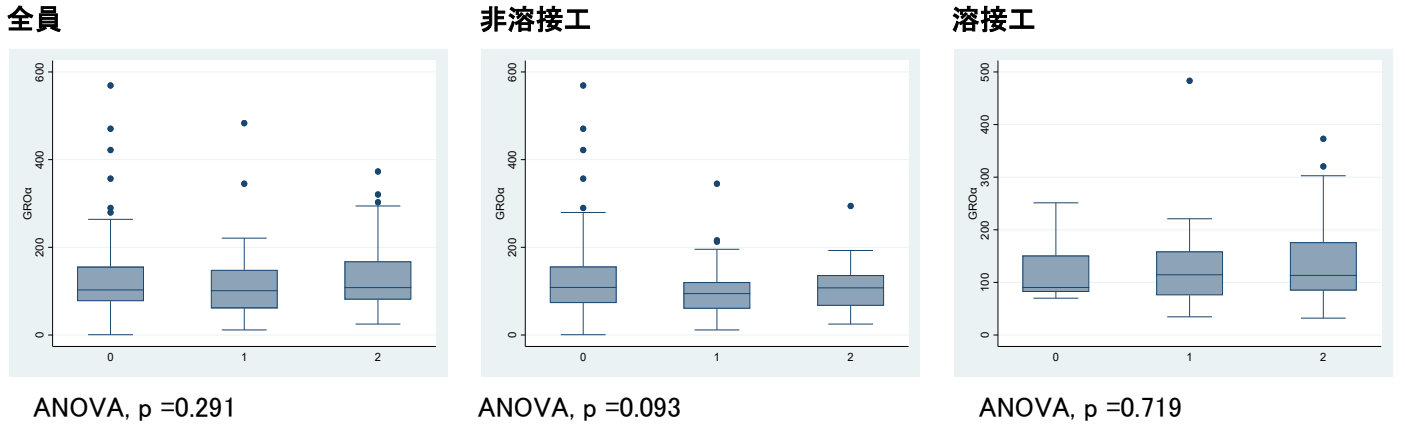
ANOVA, p =0.323

溶接工

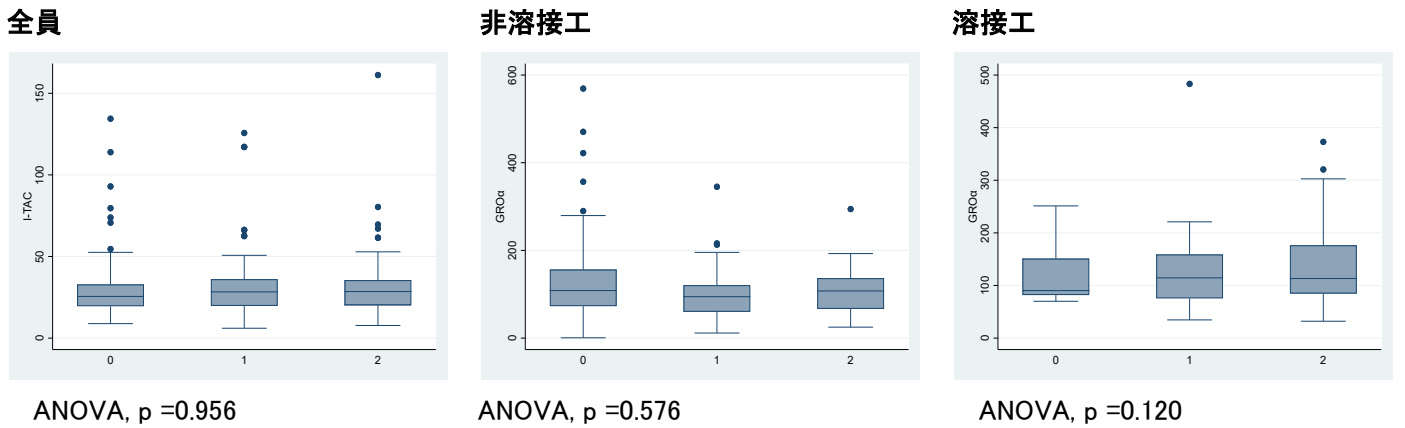


ANOVA, p =0.560

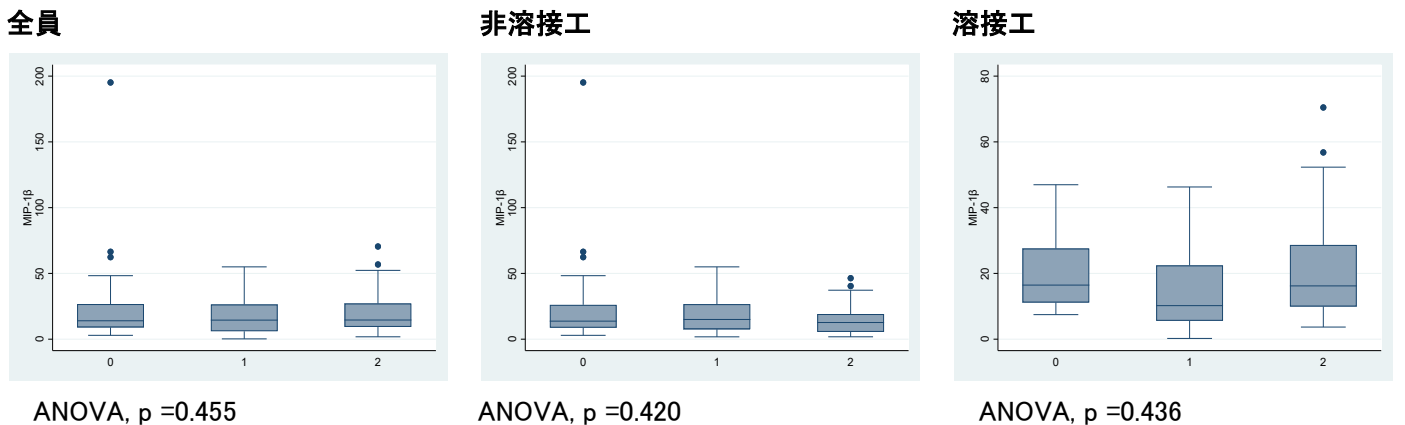
21. GRO α



22.I-TAC



23.MIP-1 β



結果 IP-10 は溶接工において T1, T2, T3 の発現量に統計学的に有意な差が認められた。

考察 遅延型過敏症反応等に関係があるか否か、今後の検討が必要であると考えます。

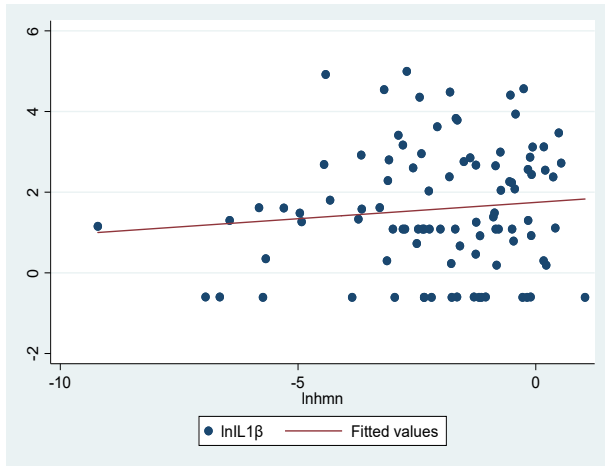
研究 4 サイトカインとのマスクフィットテストの結果の違いによる個人サンプラーの結果(TWA of respirable Mn)関係(C-I 社)

*データは対数変換したものを使用

*点線.....マスクフィットテスト PASS、破線-----マスクフィットテスト FAIL

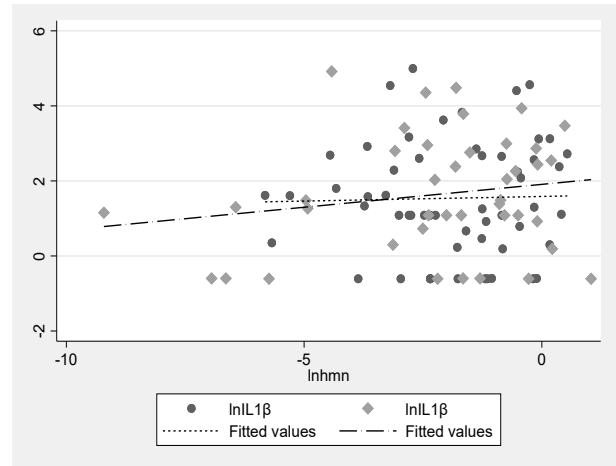
1. IL-1 β

全員



coefficient, 0.035; standard error (SE), 0.084;
P=0.680

マスクフィットテストの結果別

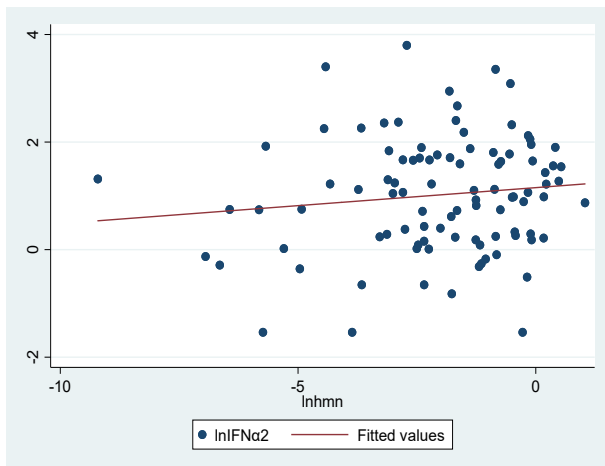


PASS: coefficient, -0.144; standard error (SE),
0.137; P=0.296

FAIL: coefficient, 0.161; standard error (SE),
0.117; P=0.178

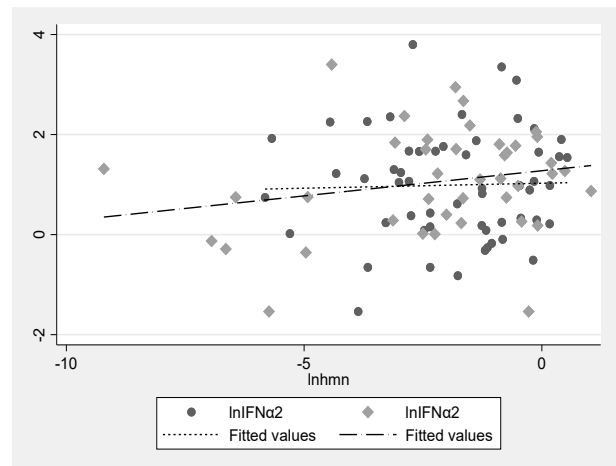
2. IFN- α 2

全員



coefficient, 0.029; standard error (SE), 0.057;
P=0.614

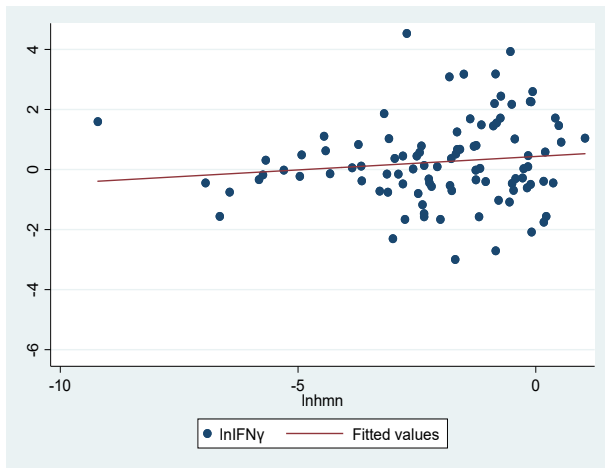
マスクフィットテストの結果別



PASS: coefficient, -0.157; standard error (SE),
0.101; P=0.127

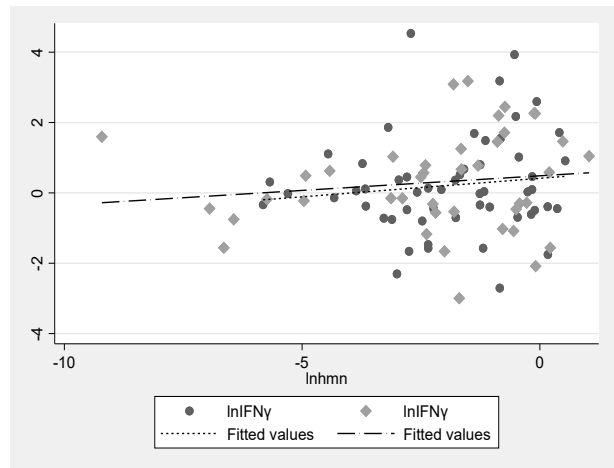
FAIL: coefficient, 0.115; standard error (SE),
0.074; P=0.129

3. IFN γ
全員



coefficient, 0.051; standard error (SE), 0.077;
P=0.510

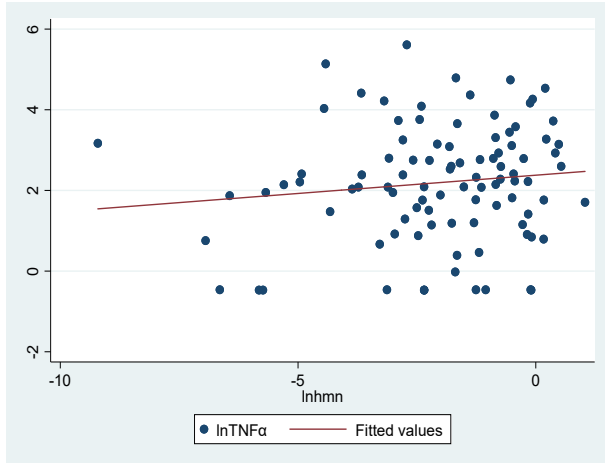
マスクフィットテストの結果別



PASS: coefficient, -0.029; standard error (SE),
0.131; P=0.828

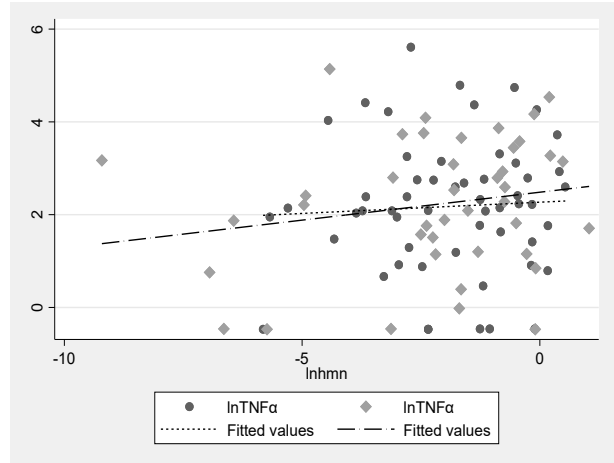
FAIL: coefficient, 0.136; standard error (SE),
0.106; P=0.210

4. TNF α
全員



coefficient, 0.035; standard error (SE), 0.076;
P=0.643

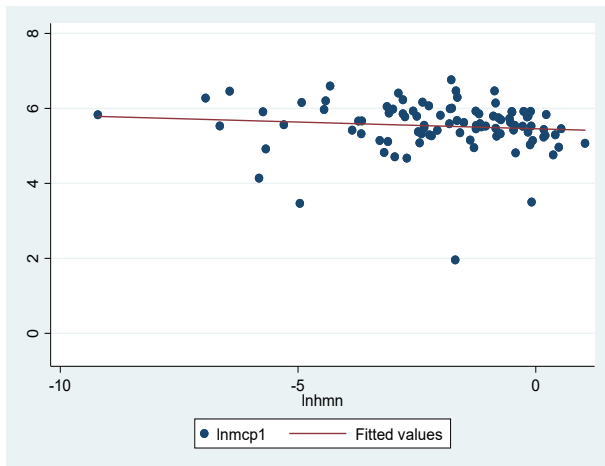
マスクフィットテストの結果別



PASS: coefficient, -0.181; standard error (SE),
0.130; P=0.170

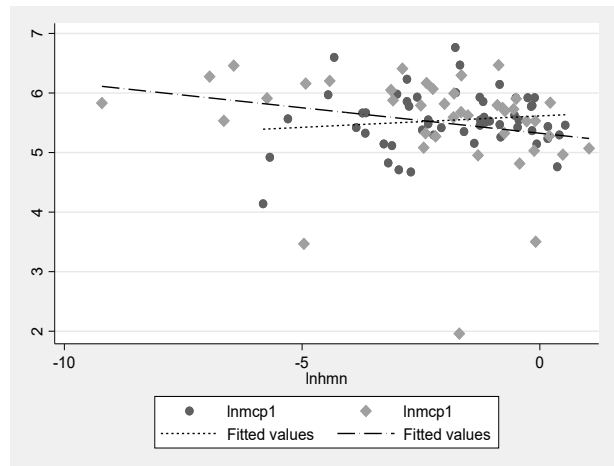
FAIL: coefficient, 0.128; standard error (SE),
0.097; P=0.196

5.mcp1
全員



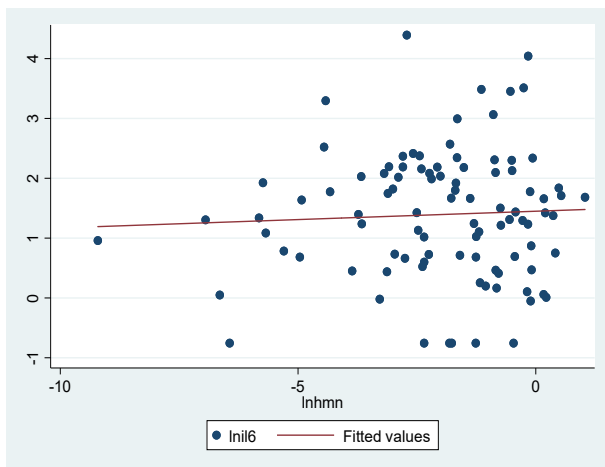
coefficient, -0.033 ; standard error (SE), 0.037 ;
P= 0.372

マスクフィットテストの結果別



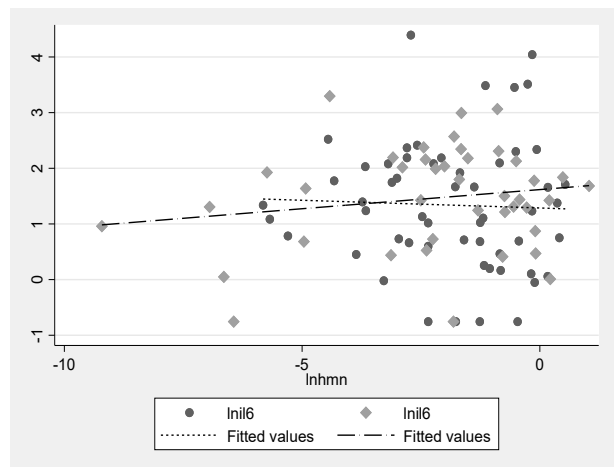
PASS: coefficient, 0.028 ; standard error (SE),
 0.049 ; P= 0.570
FAIL: coefficient, -0.058 ; standard error (SE),
 0.064 ; P= 0.419

6.II-6
全員



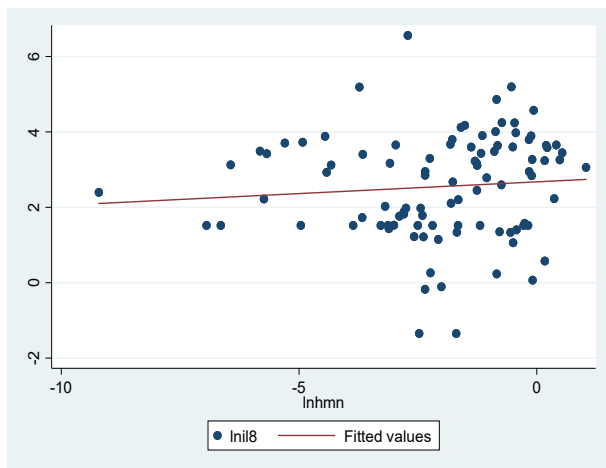
coefficient, -0.011 ; standard error (SE), 0.060 ;
P= 0.857

マスクフィットテストの結果別



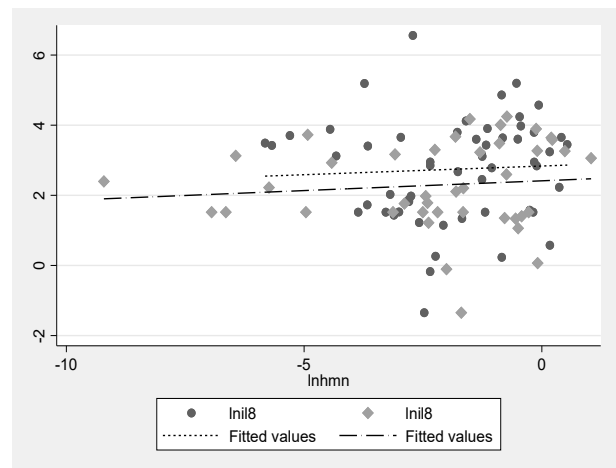
PASS: coefficient, -0.199 ; standard error (SE),
 0.112 ; P= 0.083
FAIL: coefficient, 0.073 ; standard error (SE),
 0.072 ; P= 0.316

7.II-8
全員



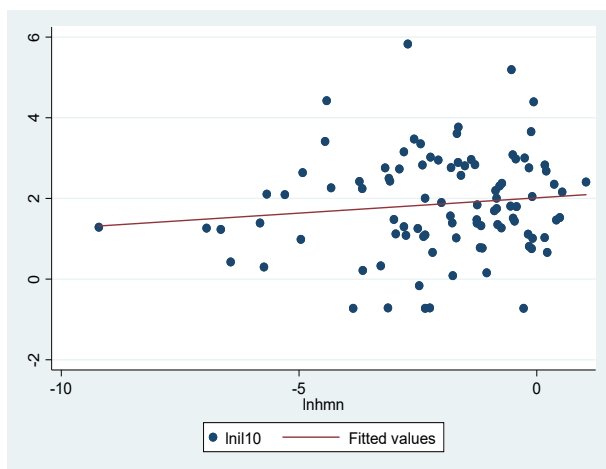
coefficient,0.042; standard error (SE), 0.074;
P=0.572

マスクフィットテストの結果別



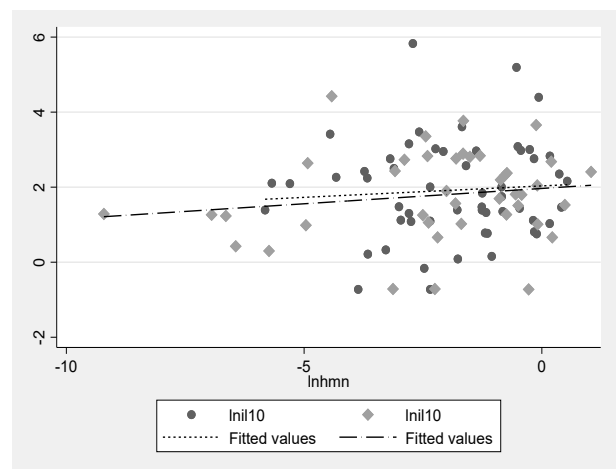
PASS: coefficient,- 0.024; standard error (SE),
0.144; P=0.868
FAIL: coefficient,0.119; standard error (SE),
0.089; P=0.188

8.II-10
全員



coefficient,0.029; standard error (SE), 0.062;
P=0.643

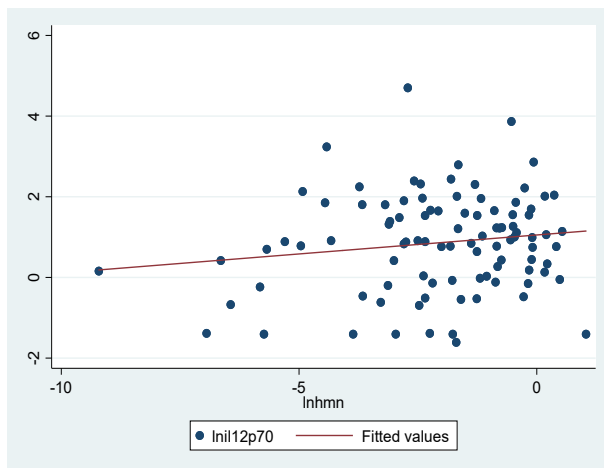
マスクフィットテストの結果別



PASS: coefficient,- 0.150; standard error (SE),
0.114; P=0.194
FAIL: coefficient,0.079; standard error (SE),
0.077; P=0.312

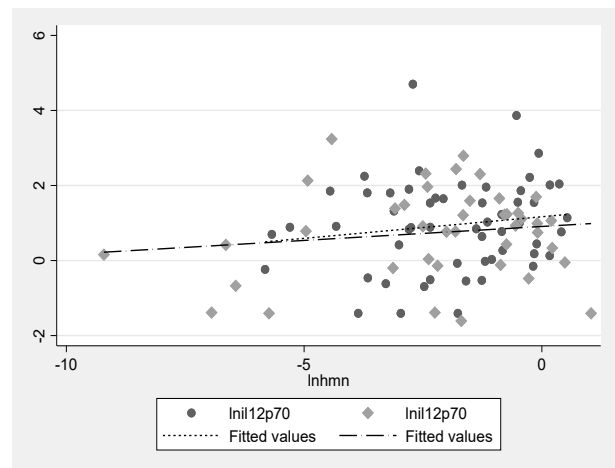
9.II-12p70

全員



coefficient,0.038; standard error (SE), 0.059;
P=0.522

マスクフィットテストの結果別

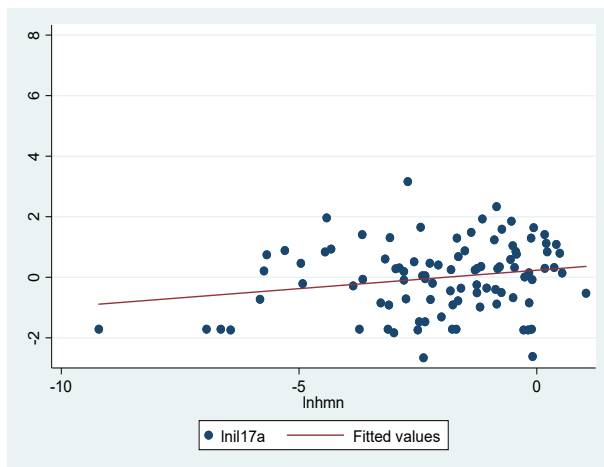


PASS: coefficient, -0.092; standard error (SE),
0.106; P=0.386

FAIL: coefficient,0.099; standard error (SE),
0.080; P=0.224

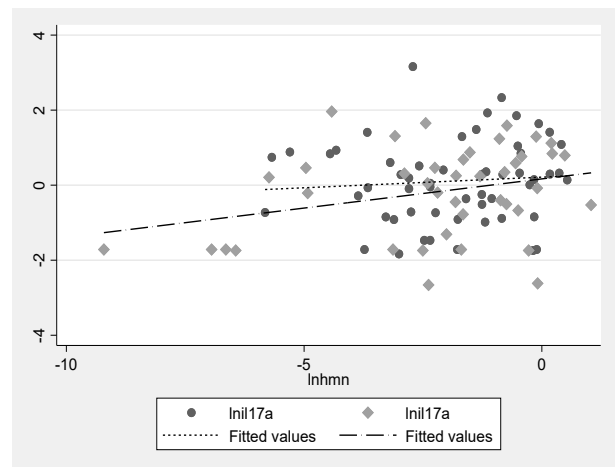
10. II-17A

全員



coefficient,0.105; standard error (SE), 0.059;
P=0.080

マスクフィットテストの結果別

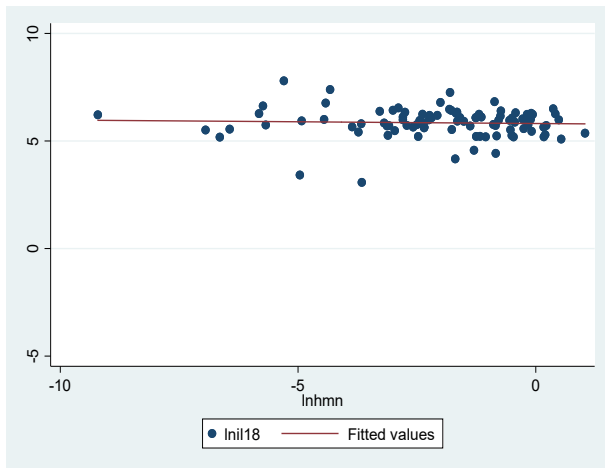


PASS: coefficient, 0.007; standard error (SE),
0.108; P=0.948

FAIL: coefficient,0.157; standard error (SE),
0.080; P=0.057

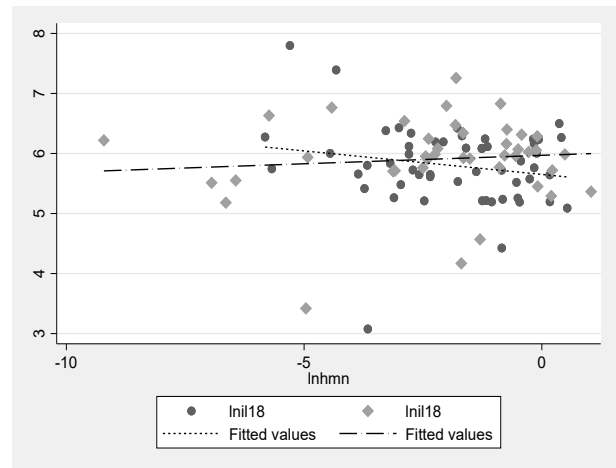
11. IL-18

全員



coefficient, -0.007 ; standard error (SE), 0.039 ;
 $P=0.852$

マスクフィットテストの結果別

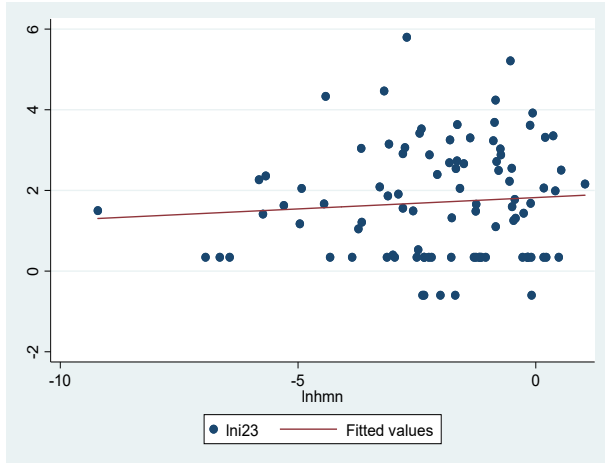


PASS: coefficient, -0.060 ; standard error (SE),
 0.068 ; $P=0.387$

FAIL: coefficient, 0.051 ; standard error (SE),
 0.054 ; $P=0.344$

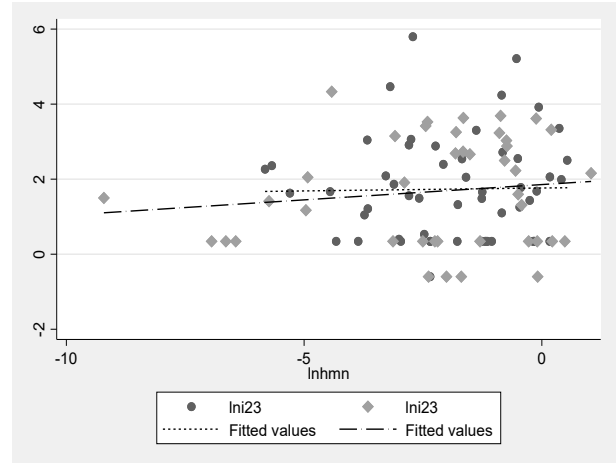
12. IL-23

全員



coefficient, 0.025 ; standard error (SE), 0.077 ;
 $P=0.744$

マスクフィットテストの結果別

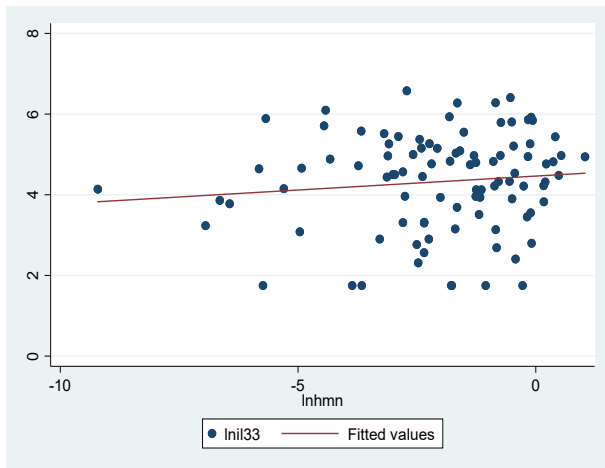


PASS: coefficient, -0.097 ; standard error (SE),
 0.137 ; $P=0.479$

FAIL: coefficient, 0.115 ; standard error (SE),
 0.109 ; $P=0.297$

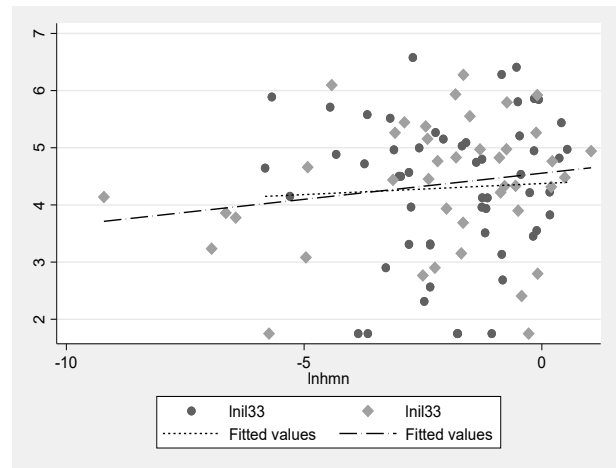
13. IL-33

全員



coefficient, 0.032; standard error (SE), 0.064;
P=0.615

マスクフィットテストの結果別

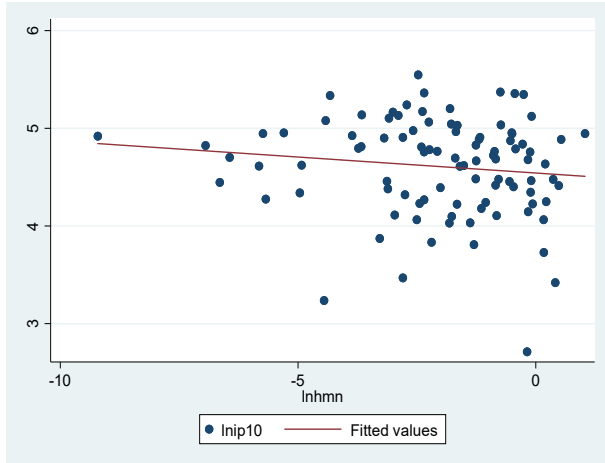


PASS: coefficient, -0.122; standard error (SE),
0.121; P=0.316

FAIL: coefficient, 0.137; standard error (SE),
0.076; P=0.080

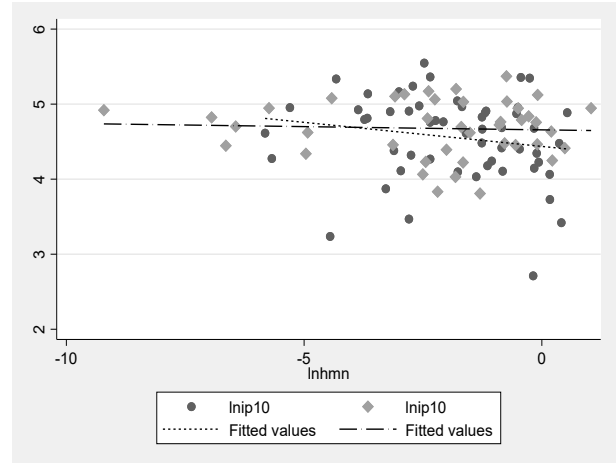
14. IP-10

全員



coefficient, -0.036; standard error (SE), 0.027;
P=0.198

マスクフィットテストの結果別

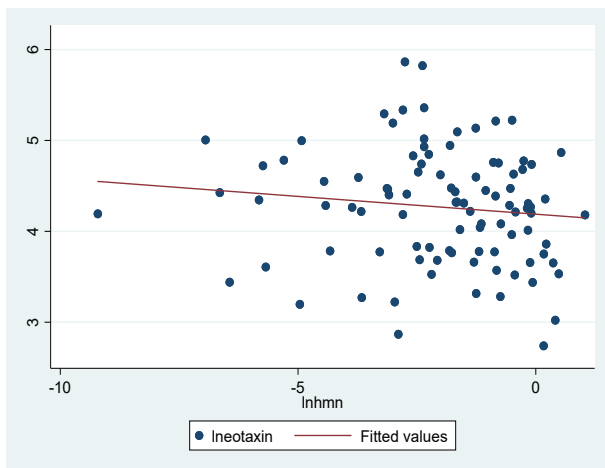


PASS: coefficient, -0.081; standard error (SE),
0.051; P=0.121

FAIL: coefficient, 0.009; standard error (SE), 0.029;
P=0.755

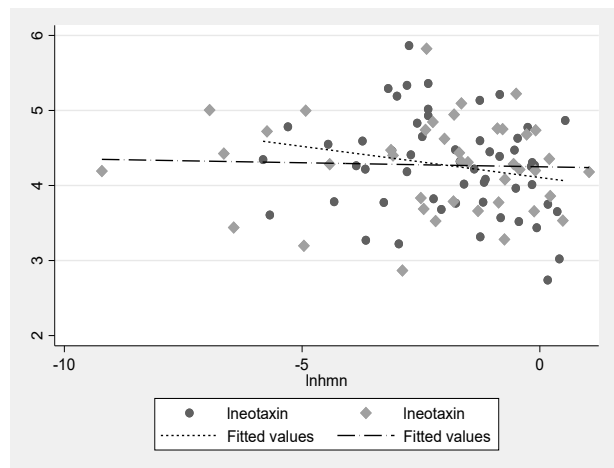
15.Eotaxin

全員



coefficient, -0.027 ; standard error (SE), 0.036 ;
 $P=0.454$

マスクフィットテストの結果別

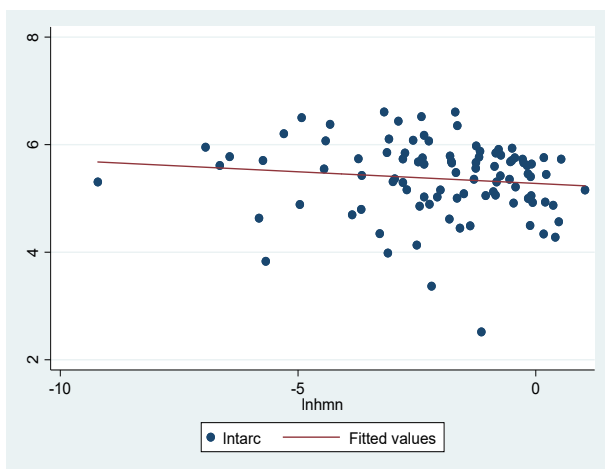


PASS: coefficient, -0.067 ; standard error (SE),
 0.667 ; $P=0.318$

FAIL: coefficient, 0.022 ; standard error (SE), 0.045 ;
 $P=0.624$

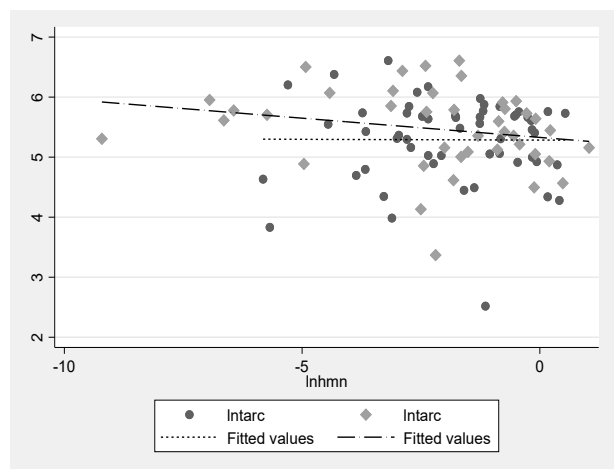
16.TARC

全員



coefficient, -0.044 ; standard error (SE), 0.038 ;
 $P=0.240$

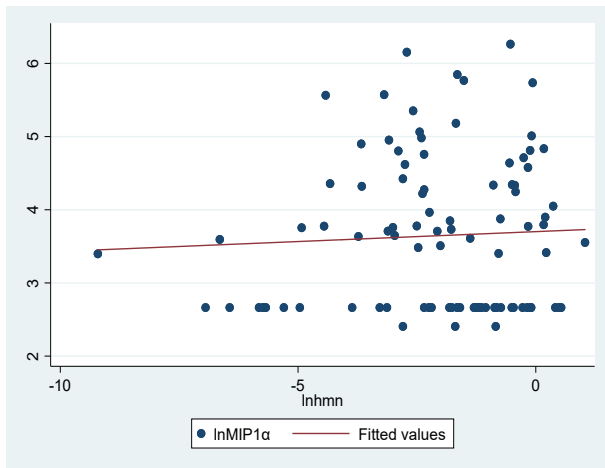
マスクフィットテストの結果別



PASS: coefficient, -0.011 ; standard error (SE),
 0.067 ; $P=0.865$

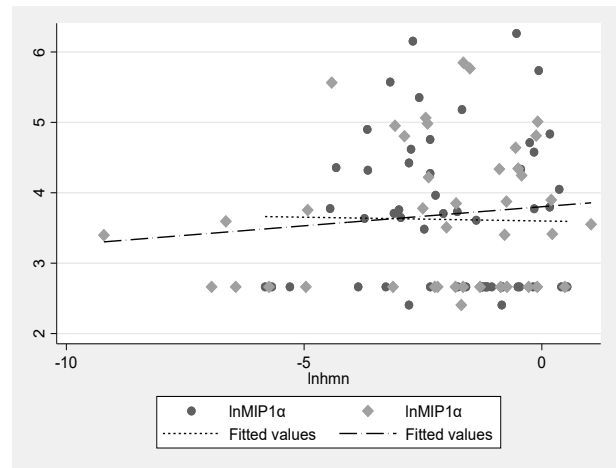
FAIL: coefficient, -0.053 ; standard error (SE),
 0.052 ; $P=0.319$

17.MIP1 α
 全員



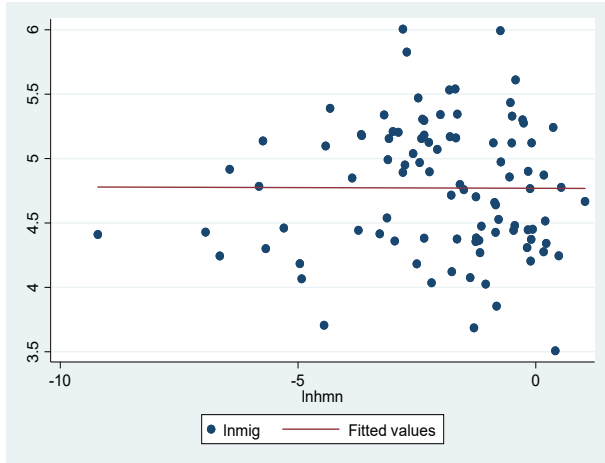
coefficient, 0.014; standard error (SE), 0.056;
 P=0.800

マスクフィットテストの結果別



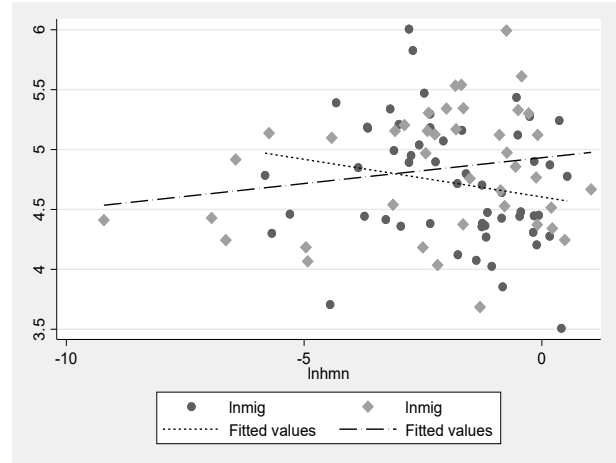
PASS: coefficient, -0.089; standard error (SE),
 0.103; P=0.395
 FAIL: coefficient, 0.083; standard error (SE),
 0.068; P=0.231

18.MIG
 全員



coefficient, -0.009; standard error (SE), 0.027;
 P=0.744

マスクフィットテストの結果別



PASS: coefficient, -0.096; standard error (SE),
 0.045; P=0.037
 FAIL: coefficient, 0.050; standard error (SE),
 0.036; P=0.174

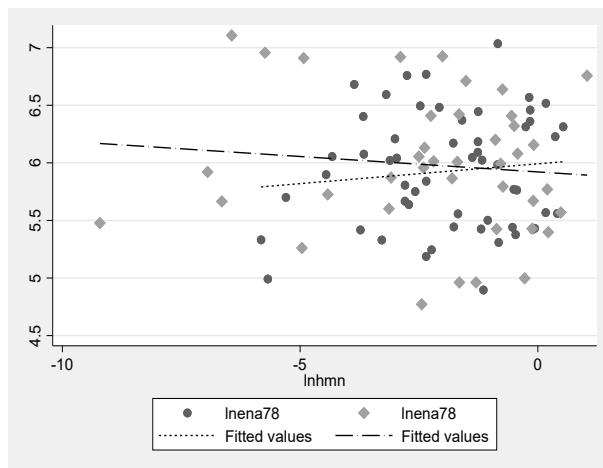
19.ENA-78

全員



coefficient,0.013; standard error (SE), 0.027;
P=0.620

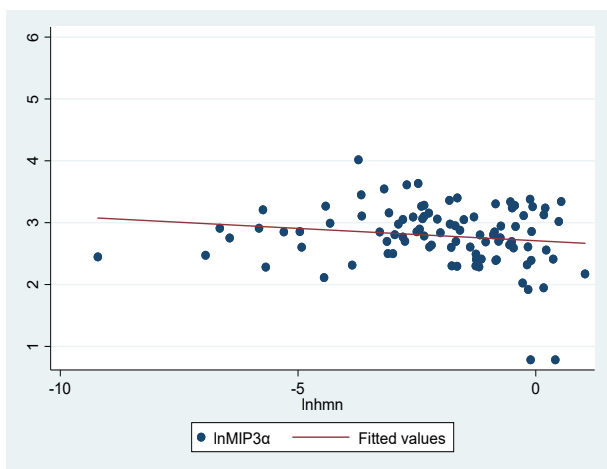
マスクフィットテストの結果別



PASS: coefficient, 0.055; standard error (SE),
0.045; P=0.228
FAIL: coefficient,-0.021; standard error (SE),
0.036; P=0.560

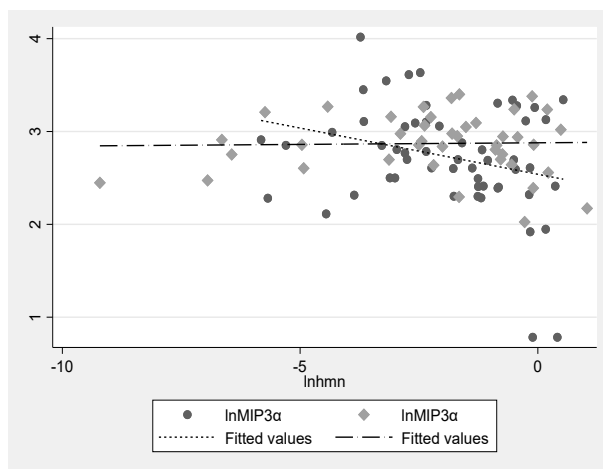
20. MIP3 α

全員



coefficient, -0.051; standard error (SE), 0.027;
P=0.067

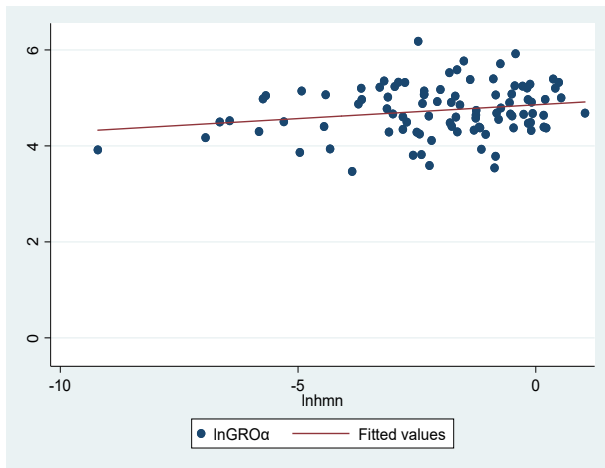
マスクフィットテストの結果別



PASS: coefficient, -0.158; standard error (SE),
0.053; P=0.005
FAIL: coefficient,0.003; standard error (SE),
0.025; P=0.902

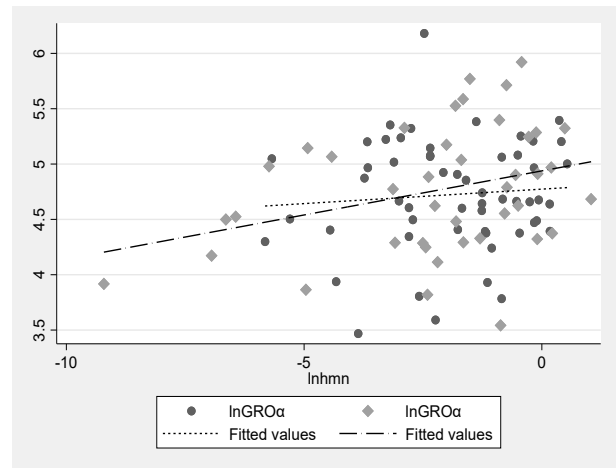
21. GRO α

全員



coefficient, 0.064; standard error (SE), 0.027;
P=0.022

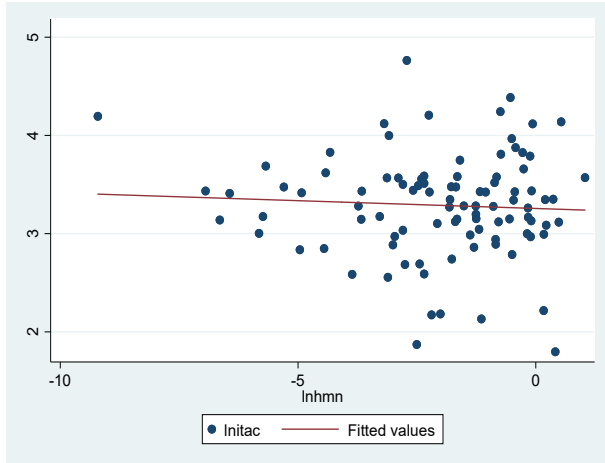
マスクフィットテストの結果別



PASS: coefficient, 0.059; standard error (SE),
0.049; P=0.236
FAIL: coefficient, 0.004; standard error (SE),
0.037; P=0.906

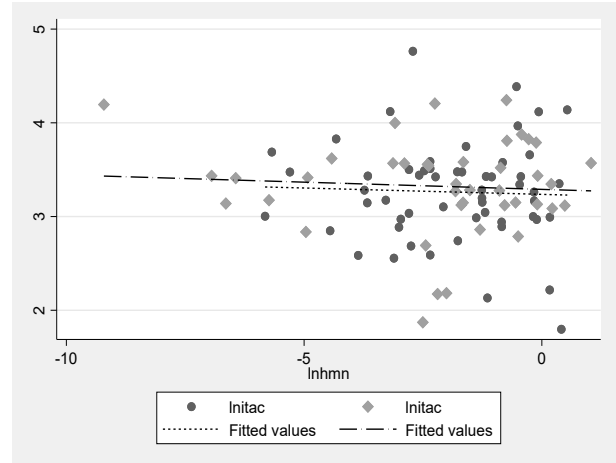
22.1-TAC

全員



coefficient, -0.307; standard error (SE), 0.029;
P=0.298

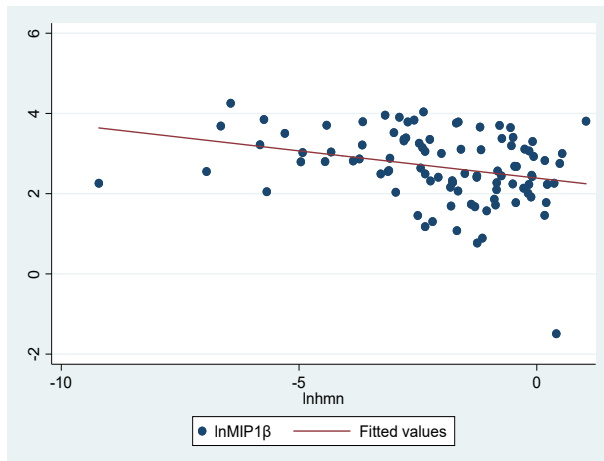
マスクフィットテストの結果別



PASS: coefficient, -0.074; standard error (SE),
0.052; P=0.159
FAIL: coefficient, 0.004; standard error (SE),
0.037; P=0.906

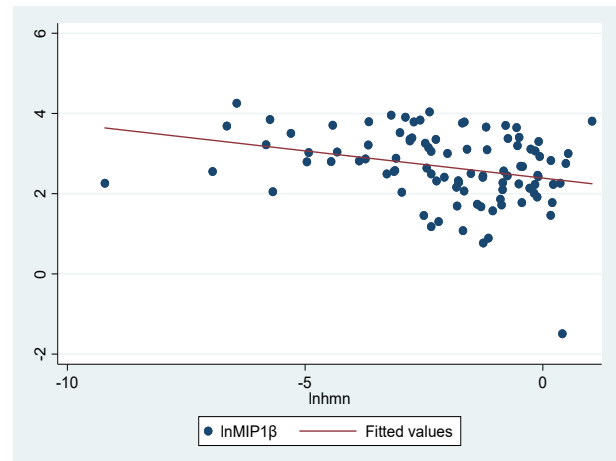
23.MIP-1 β

全員



coefficient, -0.129; standard error (SE), 0.478;
P=0.008

マスクフィットテストの結果別



PASS: coefficient, -0.281; standard error (SE),
0.087; P=0.002

FAIL: coefficient, -0.094; standard error (SE),
0.055; P=0.095

結果 IL-17A、IL-33 は FAIL 群において発現量が多くなる傾向が認められた。

考察 IL-17A は、動物において CXCR2 シグナル伝達を介して好中球性炎症を増強することにより、IL-33 誘発性気道過敏症の悪化を促進することが知られている。

(Mizutani N, et al. J Immunol. 2014 Feb 15;192(4):1372-84)

今回統計学的に有意ではなかったが、IL-17A と IL-33 が共に FAIL 群において発現量が多くなる傾向が認められたことは、今後ヒュームによる呼吸器疾患の機序を考える上で大変興味深い結果であった。

今後人数を増加して、本傾向が認められるか等を確認したい。

(倫理面への配慮)

調査内容は産業医科大学倫理委員会の承認を得て実施した。(第 R2-011 号)

5. 考察

職場における化学物質のリスクを検討するには化学物質の有害性を知る必要がある。溶接ヒュームは、発がん性 (IARC グループ 1)、神経障害、呼吸器系障害などの有害性が知られているが、日本において溶接ヒューム作業に従事する労働者の生体試料を用いた疫学研究は行われていない。本研究の目的は、溶接ヒュームばく露の健康影響と溶接ヒューム濃度並びに生体試料中の溶接ヒューム関連化学物質濃度の関係を明らかにすることである。令和 2 (2020) 年度は、調査の前例がないため生体試料の最適な採取時間が不明であった。そこで生体試料の採取タイミングを決定することを最たる目的としてパイロット調査を事業所 A にて行った。生体試料採取のタイミングは、終業時 (可能な限り週の終わりである木曜または金曜日) と決定した。令和 2 (2020) 年度～令和 4 (2022) 年度に全国 9 か所の事業所 (B～J) にて本調査を実施した。新型コロナウイルス感染症流行状況下であったため、感染防止対策を徹底した上で調査を実施した。

①研究1 神経機能にかかわる各種テスト(握力・タッピング・WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー値)結果と血中マンガン濃度の関係(C～I 社)

日本人男性の溶接作業従事者群とコントロール群 (非溶接工) の Mn ばく露と神経学的行動との関係を、生体サンプルを使用し、我が国で初めて検討した。

溶接作業従事者群はヒュームに曝露されることで、WAIS-IV WMI (ワーキングメモリーインデックス) が低下している可能性が示唆された。コントロール群 (非溶接工) は、溶接作業従事者群と同じ工場で働いている労働者である。工場内の溶接ヒュームの間接的なばく露 (二次ばく露) による影響をうけて、WMI が低下している可能性がある。しかしながら、今回、個人サンプラーによる呼吸域周辺のマンガン濃度は溶接作業従事者群のみ測定しているため、コントロール群 (非溶接工) の呼吸域周辺のマンガン濃度は不明である。また、その他短期記憶に関係する要因 (疲労感等)

と WMI の関係を検討できておらず、現段階でマンガン濃度と WMI に関係があると結論づけるのは早計である。

本調査のみでは工場内の溶接ヒュームの二次ばく露の可能性の有無を論じることはできず、今後さらなる調査が必要である。

②研究2 マスクフィット合否、個人サンプラーの結果、血中金属濃度の関係(溶接作業従事者群のみ C～I 社)

労働者の呼吸域に高濃度のダストやマンガが存在し、かつ、マスクがフィットしていない労働者は生体にマンガンが取り込まれていることが分かった。先行研究では、マスクがフィットしていない原因として、ひげやメリヤスの使用が挙げられている。また正しくマスクを装着していない、マスクの劣化等も原因の一つである。メリヤスを使用していると、漏れが多くなり、マスクフィットテストのステップの初期から FAIL になることは我々の調査内の研究で明らかとなっている*。

80 名中 67 名の対象者に、新品のマスクを配布し、さらにマスクの正しい装用の方法を指導した後、マスクフィットテストを行った。この場合、62 名がフィットテストに PASS しており、マスクがフィットしていない原因は、マスクを正しく装着していないことが大きな原因であることが分かった。顔面の形状等、今回の調査で得られていない情報の中に原因が存在していると推察され、今後の更なる研究が必要といえる。

*辻 真弓 他 呼吸用保護具の定量的フィットテストから得られた知見 ～金属アーク溶接等作業に従事する労働者を対象とした調査から～ 産業医学ジャーナル 45(5)52-57, 2022

③研究3 サイトカインと血中マンガン濃度の関係(C-I 社)

IP-10 は溶接作業従事者群において T1, T2, T3 の発現量に統計学的に有意な差が認められた。遅延型過敏症反応等に関係があるか否か、今後の検討が必要であると考ええる。

④研究4 サイトカインとマスクフィットテストの結果の違いによる個人サンプラーの結果(TWA of respirable Mn)との関係(事業所 C-I 社)

IL-17A は、動物において CXCR2 シグナル伝達を介して好中球性炎症を増強することにより、IL-33 誘発性気道過敏症の悪化を促進することが知られている。(Mizutani N, et al. J Immunol. 2014 Feb 15;192(4):1372-84)

今回統計学的に有意ではなかったが、IL-17A と IL-33 が共にマスクフィットテスト FAIL 群において発現量が多くなる傾向が認められたことは、今後ヒュームによる呼吸器疾患の機序を考える上で大変興味深い結果であった。

今後人数を増加して、本傾向が認められるか等を確認したい。

呼吸機能検査では正常範囲外の対象者が多数存在し、測定機器の不具合の可能性があった。

6. 結論

事業所ごとに作業・作業環境（作業環境測定・個人ばく露濃度測定結果）が異なる。これらの職場の要因に加え、個人の背景因子の違いを十分に考慮した上で慎重に検討する必要がある。また健康影響に関しては事業所ごとの個人の背景因子（年齢・溶接作業従事歴・喫煙歴など）の違いを踏まえた上で、横断研究の限界も含めて慎重に検討する必要がある。

しかしながら、血中 Mn と溶接作業従事者群の神経学的機能障害との間に有意な正の関係があることを明らかにした。同じ工場のコントロール群（非溶接工）は二次的に溶接ヒュームにさらされる可能性がある。

血中マンガン濃度とサイトカインの関係では、IP-10 は溶接作業従事者群において T1, T2, T3 の発現量に統計学的に有意な差が認められた。

マスクフィットテストの結果の違いによる個人サンプラーの結果(TWA of respirable Mn)とサイトカインの関係では、今回統計学的に有意ではなかったが、IL-17A と IL-33 が共にマスクフィットテスト FAIL 群において発現量が多くなる傾向が認められた。

また、マスクフィット合否、個人サンプラーの結果、血中金属濃度の関係において、IL-17A と IL-33 が共に FAIL 群において発現量が多くなる傾向が認められた。溶接ヒュームとの関係を明らかにするためには、今後さらなる調査が必要である。

R5年4月1日～フィットテストが義務化され、

溶接作業従事者の健康保持の一助となることを期待したい。

事業所 A(自動車製造業)

調査日:2020年8月25日(火)、8月28日(金)、8月29日(土)

健康影響に関する調査

<質問票調査>

対象者の溶接作業従事者とコントロールの人数と性別を示す(表1)。

表1 対象者

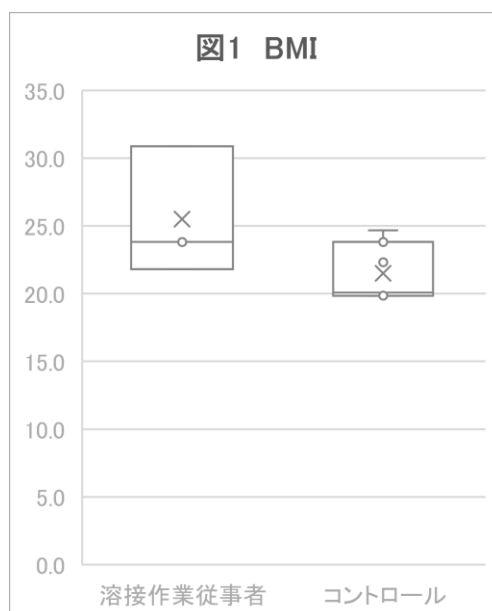
	男(人)
溶接作業従事者	3
コントロール	7

年齢、BMI、溶接業務従事年数の基本情報を示す(表2)。BMIを箱ひげ図(Excel「包括的な中央値」を採用)にて示す(図1)。以降すべての箱ひげ図は同様に作成。

表2 対象者背景:基本情報

	溶接作業従事者(n=3)		コントロール(n=7)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	36.3	1.2	36.1	1.4
BMI	25.5	3.9	21.5	1.9
溶接業務従事年数	15.7	2.1	6.4	8.3

*コントロール7名中3名には過去に溶接作業経験あり

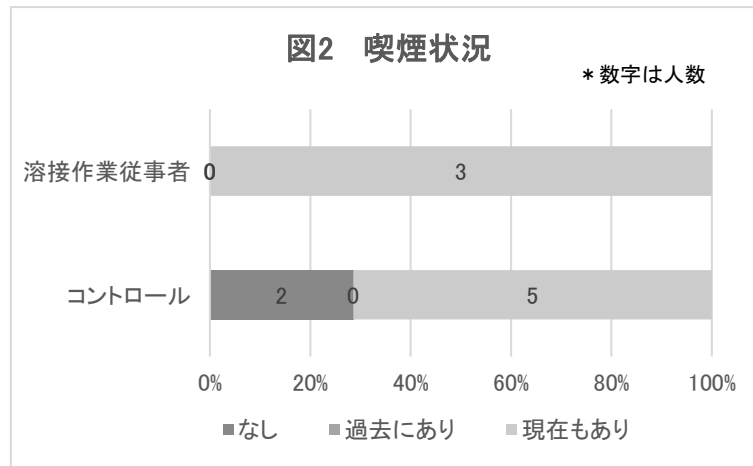


年齢およびBMIにおいて溶接作業従事者群、とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Mann-Whitney U test)。

○生活習慣

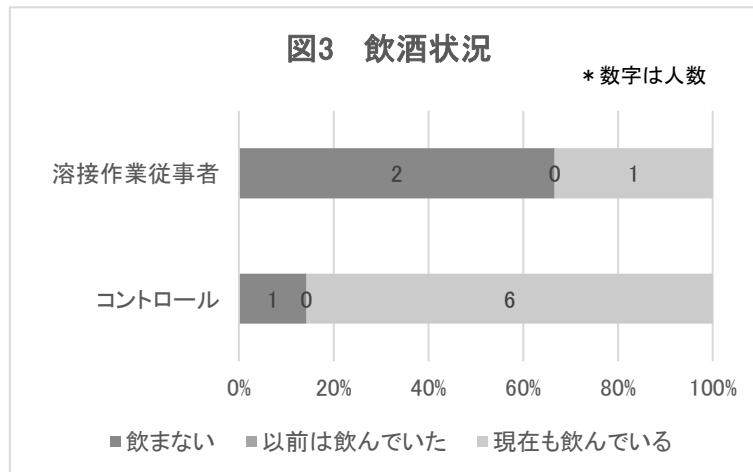
・喫煙状況

溶接作業従事者群の100%(3名)、コントロール群の71.4%(5名)が現在喫煙者であった(図2)。



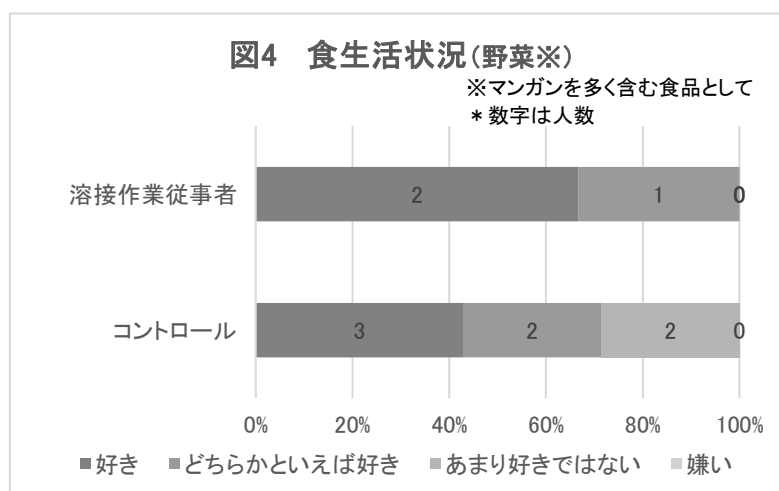
・飲酒状況

「現在も飲んでいる」と回答した割合は、溶接作業従事者群で33.3%(1名)、コントロール群で85.7%(6名)であった(図3)。



・食生活状況マンガンを多く含む野菜が「好き」との回答)

溶接作業従事者群で66.6%(2名)、コントロール群で42.9%(3名)であった(図4)。

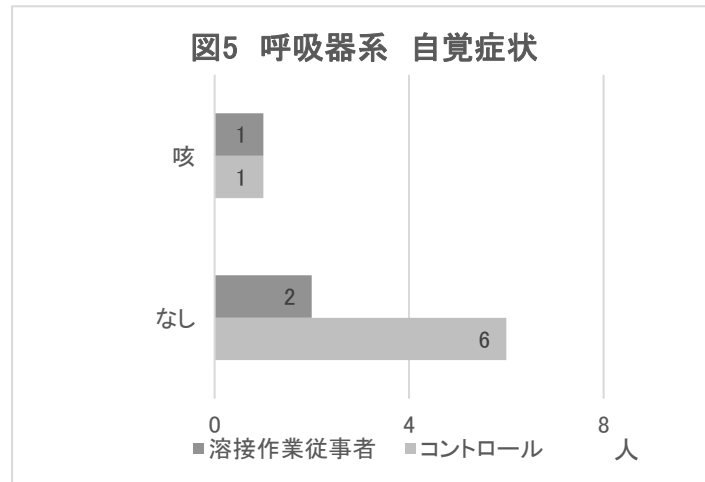


喫煙状況、飲酒状況、食生活状況(野菜)において、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。

○自覚症状・既往症

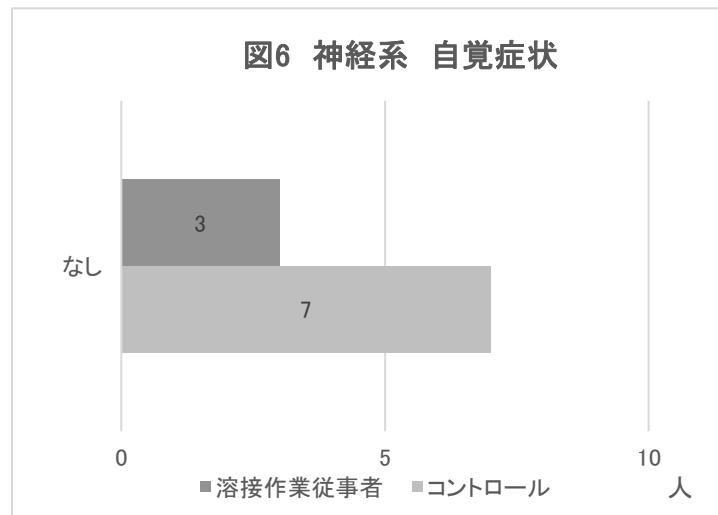
・呼吸器系(咳、痰、喘鳴、息切れ、鼻水・鼻づまり症状)の自覚症状

咳の回答(溶接作業従事者、コントロールそれぞれ 1 名)があり、他の症状については対象者全体を通して回答を認めなかった。(図5)。



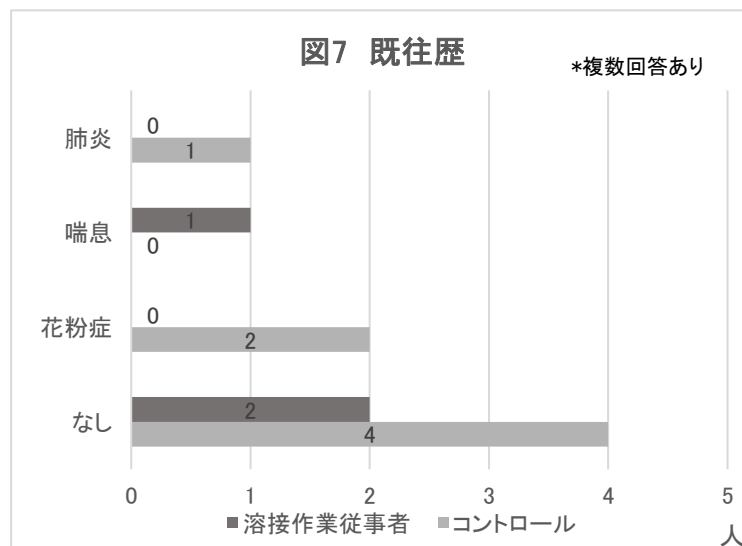
・神経系の自覚症状

全体を通して症状の回答は認めなかった(図6)



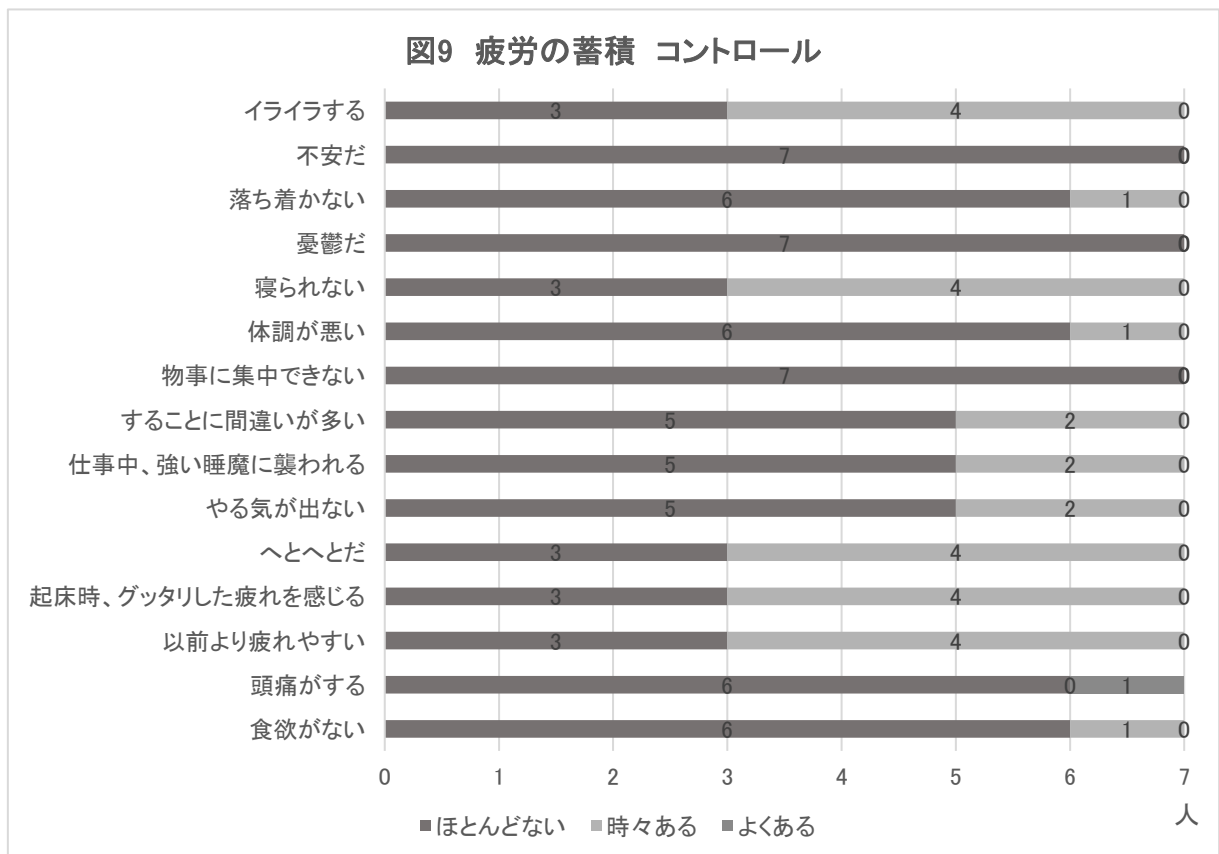
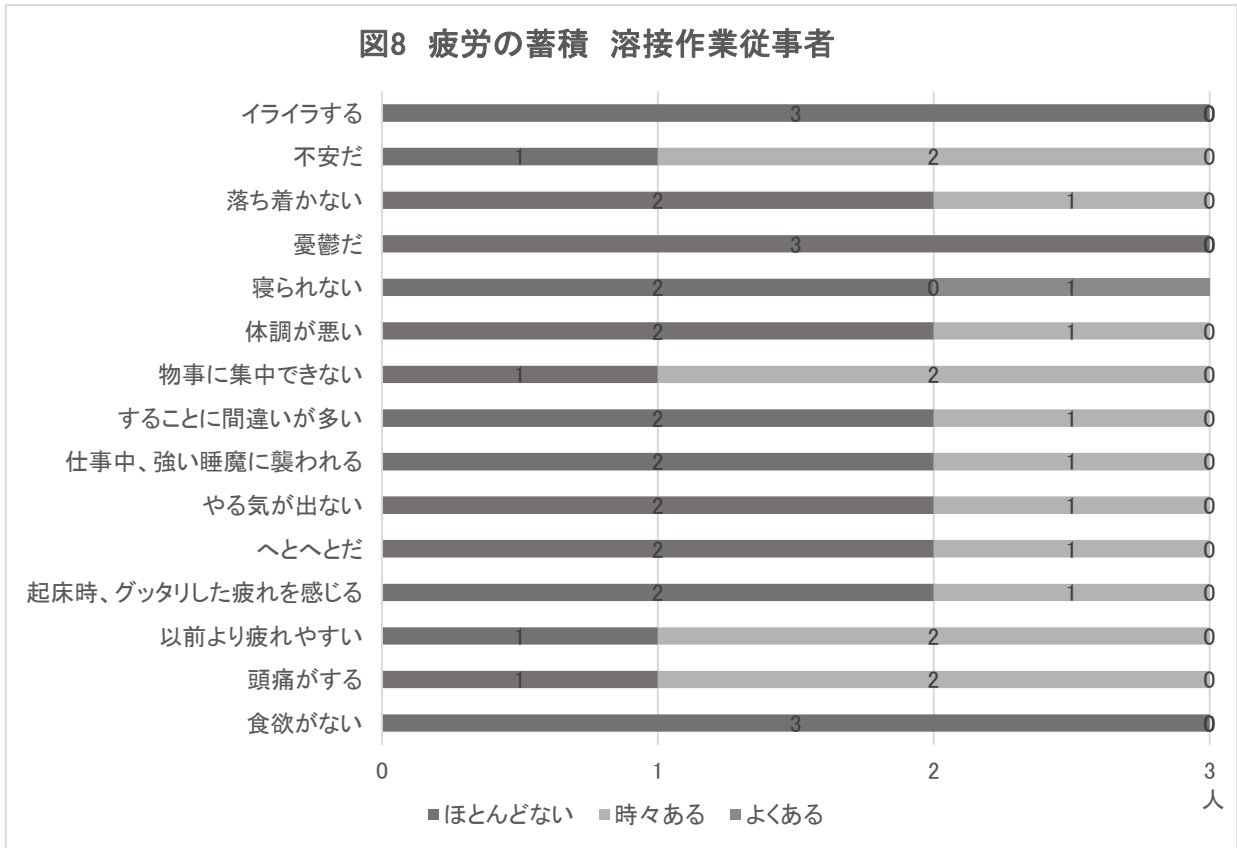
・既往歴

既往歴については、溶接作業従事者群で喘息が 1 名、コントロール群では花粉症が 2 名、肺炎が 1 名の回答を認めた(図7)。



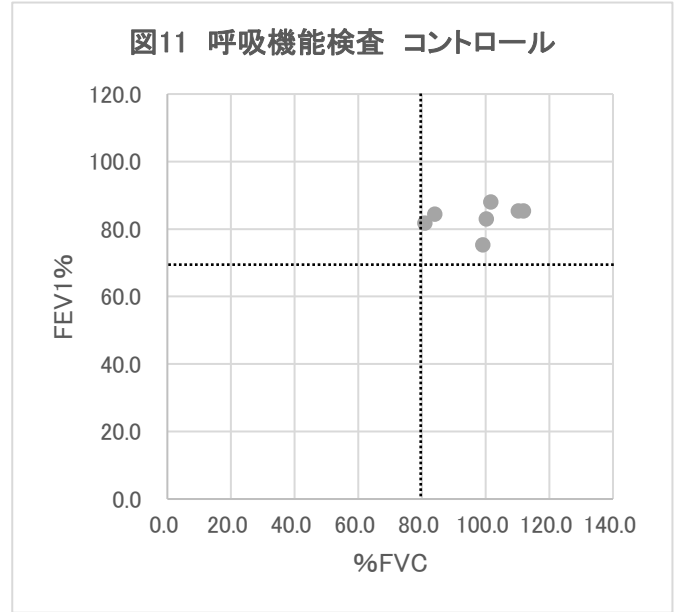
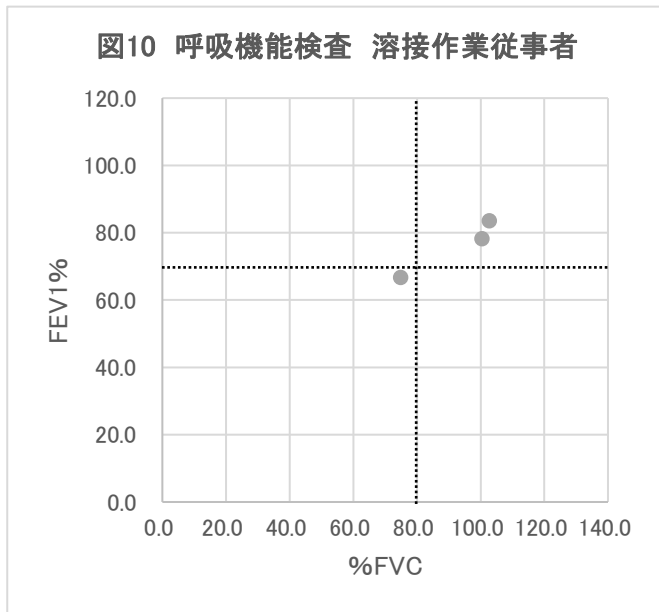
○疲労の蓄積

溶接作業従事者は図8、コントロールは図9に示す。いずれの項目も溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。



<呼吸機能検査>

呼吸機能検査は%肺活量(%FVC)および一秒率(FEV1.0%)を評価対象とした。それぞれの基準値(%FVC:80%、FEV1.0%:70%)を超えるかどうかを評価した(図10、11)。



コロナ対策を行った会場全体および質問票

<神経学的検査>

○タッピング

利き手と非利き手の示指 30 秒間の合計数を用い、Mann-Whitney U test にて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差は認められなかった(表 3、4)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 12、13)。

表 3 タッピング 利き手

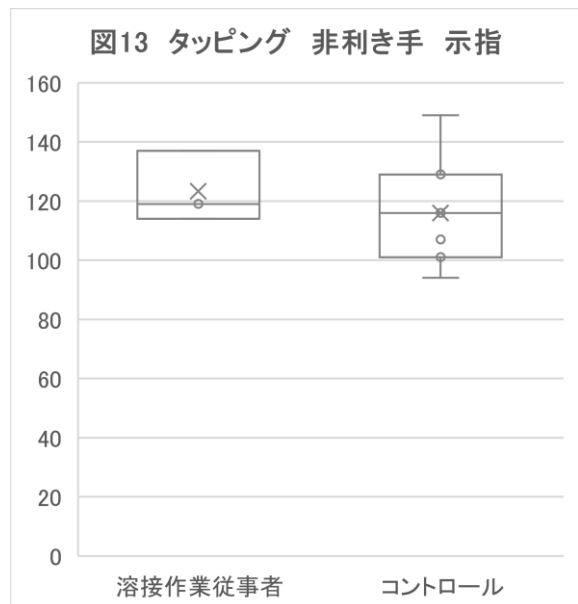
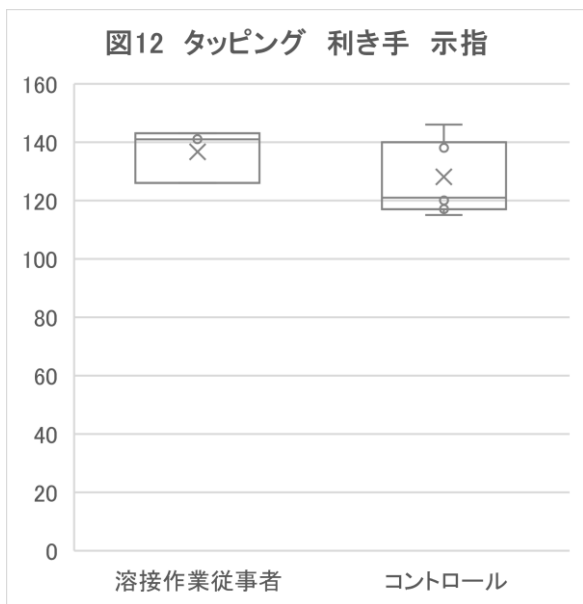
	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	126.0	133.5	141.0	142.0	143.0	0.267
コントロール	115.0	116.5	120.0	139.0	149.0	

(Mann-Whitney U test)

表 4 タッピング 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	114.0	116.5	119.0	128.0	137.0	0.552
コントロール	94.0	104.0	116.0	122.5	149.0	

(Mann-Whitney U test)



タッピング

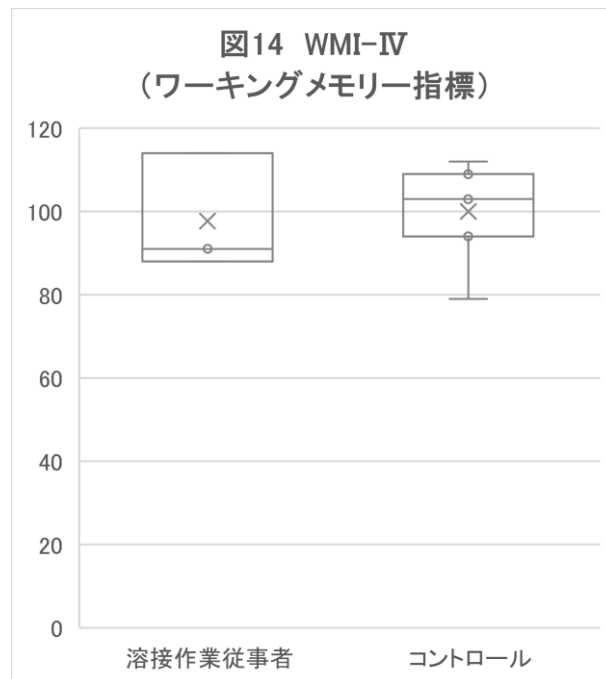
OWAIS-IV WMI(Working Memory Index:ワーキングメモリー指標)

「数唱」「算数」の評価点合計に基づいて得点化している。Mann-Whitney U test では、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(表 5)。溶接作業従事者群とコントロール群を箱ひげ図にて示す(図 14)。

表 5 WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー指標)

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	880	895	910	1025	1140	0.819
コントロール	790	940	1030	1090	1120	

(Mann-Whitney U test)



WAIS-IV

<溶接ヒュームの濃度測定>

1) 作業環境測定基準および個人サンプラーを用いた測定
作業環境測定基準による方法(事業場)

●作業環境測定的设计

右図1に示すように、20点を等間隔均等抽出し、A測定
の測定点とした。また、B測定に準ずる測定点として、S1、
S2、S3の3点を定点測定点として選んだ。(図1)

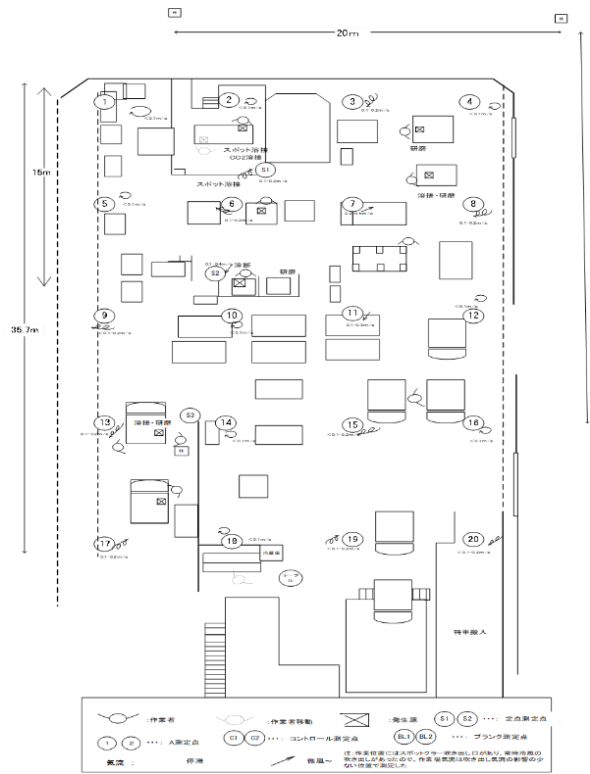


図1 デザイン:A測定(20点)とB測定に準ずるポイント
(BG1:建屋の外, BG2:更衣室, BG3:食堂)につ
いても両粒子を捕集した。

なお、各自の作業は以下のとおりである。

○溶接作業者

H1 作業者:プラズマ溶断



H2 作業者:CO₂溶接



H3 作業者:スポット溶接およびCO₂溶接



○コントロール作業者

- C1:タガネ
- C2:リアボディ
- C3:リリース
- C4:サイドメンバー、スポット溶接
- C5:電着塗装
- C6:ボディ手直し
- C7:現場監督

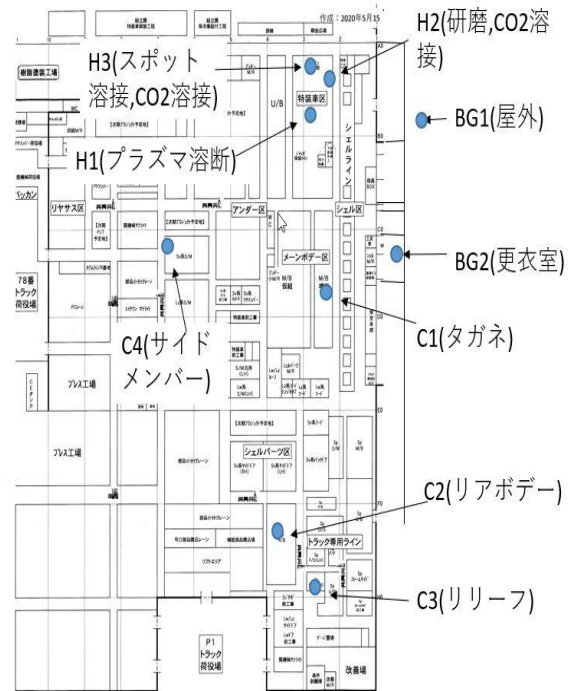


図2 溶接作業者・コントロール作業者の位置およびバックグラウンドの測定点の位置

●粉じん秤量

表1に示す方法で、吸入性粒子 (Respirable particles) 及び吸引性粒子 (Inhalable particles) を捕集した。また、粉じんの秤量は作業環境測定基準に基づき、UMT ミクロ天秤 (METTLER TOLEDO) で行った。読み取り限度は 1µg であった。

表1 測定に使用した機器等

(1) 吸入性粒子捕集装置(個人ばく露用)	
サンプラーの名称及び型式	AirChek 2000
分粒装置の名称及び型式	NWPS-254 サンプラー 柴田科学(株)
吸引流量	2.5L/分
ろ紙名称	PTFE バインダーフィルター TF98 (Φ25 mm)
天秤の機器名及び型式(読取限度)	UMT ミクロ天秤 (METTLER TOLEDO): 1µg
(2) 吸入性粒子捕集装置(作業場およびバックグラウンド用)	
使用機器及び型式	AirChek 2000
分粒装置の名称及び型式	GS3 サイクロンサンプラー (SKC)
吸引流量	2.75L/分
ろ紙名称	PTFE バインダーフィルター TF98 (Φ25 mm)
天秤の機器名及び型式(読取限度)	UMT ミクロ天秤 (METTLER TOLEDO): 1µg
(3) 吸引性粒子捕集装置(個人ばく露、作業場およびバックグラウンド用)	
サンプラーの名称及び型式	AirChek 2000
分粒装置の名称及び型式	IOM サンプラー
吸引流量	2.0 L/min
ろ紙名称	PTFE バインダーフィルター TF98 (Φ25 mm)
天秤の機器名及び型式(読取限度)	UMT ミクロ天秤 (METTLER TOLEDO): 1µg

●遊離ハイドロゲン酸測定

作業環境測定基準に従う。

使用機器:X線回析装置 UltimaIV (Rigaku)

各測定結果

1. 作業工程と発生源及び作業者数

○作業工程:特車塗装工程における溶接作業等

○母材(溶接される鋼板):亜鉛メッキ防錆鋼板としての SHGA270C-45, SCGA207C-45, SPC270C

○溶接ワイヤー: パナソニックスマートファクトリーソリューションズ株式会社鋼及び 490MPa 級高張力ガスシールドアーク溶接用ソリッドワイヤ SDC

マンガン及びその無機化合物 ≤5% 銅及びその化合物 ≤1%

○発生源:溶接、研磨等

○作業者:3名

保護具:ヘルメット、ゴーグル、防じんマスク(シゲマツ DD11V-S2-2)手袋、エプロン、安全靴着用

2. 作業内容

対象作業:特装車架装工程における溶接作業

2020年8月25日 6時00分~16時10分 610分間 曝露者 3名

3. 粉じん秤量

作業環境測定および個人曝露測定により捕集した溶接ヒュームを秤量し、粒子質量濃度を求めたところ表2のようになった。

表2 溶接ヒューム捕集ろ紙 74 枚の吸入性粒子(Respirable particles)及び吸引性粒子(Inhalable particles)の質量濃度

氏名・測定ポイント	PM4サンプル	ろ紙番号	採気時間(分)	採気量(L)	粒子質量濃度(mg/m ³)	TWA _{8hr}	IOMサンプル	ろ紙番号	採気時間(分)	採気量(L)	粒子質量濃度(mg/m ³)	TWA _{8hr}	
H1 AM	P1	1	222	555	2.37066	2.1681	I1	11	222	444	5.32481	4.3975	
H1 PM	P5	5	240	600	2.14342		I4	14	240	480	3.86955		
H2 AM	P2	2	233	582.5	1.54000	1.5740	I2	12	233	466	3.00869	3.0462	
H2 PM	P6	6	224	560	1.77092		I5	15	176	352	4.32472		
H3 AM	P3	3	193	482.5	1.61219	0.8511	I3	13	193	386	2.87146	2.113	
H3 PM	P7	7	247	617.5	0.39414		I6	16	247	494	1.86245		
BG1(屋外)	C1	61	248	682	0.00887	0.8511	I7	27	248	496	0.02900	2.113	
BG2(更衣室)	C2	62	232	638	0.00269		I8	28	232	464	0.01663		
BG3(食堂)	C3	63	233	640.75	0.01673		I9	29	233	466	0.03373		
S1(定点溶接1)	C4	64	420	1155	0.31029		I6	26	420	840	0.85919		
S2(定点溶接2-⑨)	C11	71	190	522.5	0.17171		I21	31	190	380	0.78610		
S3(定点溶接3-⑬)	C15	75	120	330	0.10722		I30	40	120	240	0.64882		
(コントロール)													
C1タガネ	C7	67	262	720.5	0.07502		I12	22	262	524	0.09170		
C2リアボデー	C9	69	225	618.75	0.08520		I15	25	225	450	0.10826		
C3リリーフ	C5	65	222	610.5	0.10928		I11	21	222	444	0.15327		
C4サイドメンバースポット溶接	C8	68	222	610.5	0.11747		I13	23	222	444	0.15552		
C6ボデー手直し(作業場A測定)	C6	66	271	745.25	0.08058		I14	24	271	542	0.07943		
1	C19	79	90	247.5	0.26013		I-27(I-21)	37	90	180	1.10954		
2	C17	77	90	247.5	0.26687	I25	35	90	180	1.82065			
3	C18	78	92	253	0.28215	I26	36	92	184	1.37310			
4	C28	88	60	165	0.37808	I38	48	60	120	1.12264			
5	C21	81	110	302.5	0.21725	I29	39	110	220	0.55023			
6	C22	82	110	302.5	0.21835	I32	42	110	220	0.85818			
7	C14	74	93	255.75	0.28661	I24	34	93	186	1.33943			
8	C27	87	60	165	0.24475	I37	47	60	120	0.40319			
9	C20	80	112	308	0.16575	I28	38	112	224	0.68028			
10	C16	76	95	261.25	0.33959	I31	41	95	190	4.16518			
11	C10	70	91	250.25	0.14006	I20	30	91	182	0.32628			
12	C29	89	60	165	0.27101	I39	49	60	120	0.50319			
13	C23	83	136	374	0.14853	I33	43	139	278	0.35989			
14	C13	73	108	297	0.09220	I23	33	108	216	0.24715			
15	C12	72	80	220	0.11083	I22	32	80	160	0.26906			
16	C30	90	60	165	0.24677	I40	50	60	120	0.50042			
17	C24	84	66	181.5	0.12149	I35	45	66	132	0.48270			
18	C26	86	70	192.5	0.09377	I34	44	70	140	0.25750			
19	C25(26)	85	70	192.5	0.13186	I36	46	70	140	0.14321			
20	C31	91	60	165	0.09727	I41	51	60	120	0.01153			

表3 粉じん作業環境測定結果

幾何平均値	M1 = 0.19 mg/m ³	M2 = — mg/m ³	M = 0.19 mg/m ³
幾何標準偏差	σ 1 = 1.57	σ 2 = —	σ = 2.24
第1評価値	EA1 = 0.71 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 0.26 mg/m ³		
B 測定値	CB = 0.310 mg/m ³		

○個人ばく露測定

個人ばく露測定では、吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は2名が1mg/m³(日本産業衛生学会の(第2種粉じん:酸化鉄)許容濃度)、吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は3名中2名が0.02mg/m³(溶接ヒュームの気中濃度の基準値)を超えていた(表4)。

表4 個人ばく露濃度測定結果

NO	時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)	8時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)*	時間加重平均 吸入性マンガン濃度 (mg/m ³ **	8時間加重平均 吸入性マンガン濃度 (mg/m ³ ***
H-1	—	2.16814	—	0.06377
H-2	—	1.57397	—	0.05777
H-3	—	0.85106	—	0.03566

*日本産業衛生学会:許容濃度(第2種粉じん)酸化鉄 1mg/m³

**金属アーク溶接等作業における溶接ヒュームの気中濃度の基準値(Mnとして) 0.05mg/m³

***米国産業衛生専門家会議(ACGIH)ばく露限界値(2013年設定) 0.02mg/m³



個人サンプラー装着状況 正面および背面

《マスクフィットテスト》

柴田科学 MASK FITTING TESTER MT-03 を用い、日本工業規格 (JIS T8150(2006)※) に基づき、大気粉じんを試験用コンタミナントとして用いる漏出率測定の方法で行った(表1)。結果から、溶接作業従事者が使用しているマスクは、各動作を行った場合でも、漏れ率が大きく上昇することはなく、顔にフィットしていると判断できる。各作業員のマスクの選択、使用状況は良好と思われる。

表1 マスクフィットテスト結果

作業員	マスクメーカー	使用マスク	通常	深呼吸	首ふり(左右)	首ふり(上下)	発声	平均値
H1	重松	DD11V-S2-2	4.20	9.30	13.60	11.50	12.50	10.22
H2	重松	DD11V-S2-2	10.70	10.40	9.50	5.30	3.10	7.80
H3	重松	DD11V-S2-2	6.30	5.20	7.50	5.70	10.30	7.00



マスクフィットテスト JIS T8150(2006)

○マスク防護係数

各溶接作業従事者の防護係数等を表2に示す。なお、表2に示す防護係数はJIS T8150(2006)の規定に基づいて測定したものであり、フィルターの透過率を加えた値である。したがって、令和4年度から実施される予定の改正JIS T8150に基づく「フィットファクタ」とは異なる。

表2 各溶接作業従事者の指定防護係数と各防護係数

作業員	マスクメーカー	使用マスク	指定防護係数	防護係数※
H-1	重松	DD11V-S2-2	10	9.8
H-2	重松	DD11V-S2-2	10	12.8
H-3	重松	DD11V-S2-2	10	14.3

※JIS T8150(2006)規定に基づく測定

事業所 B(建築・鉄鋼構造物工事業)

調査日:2020年12月10日(木)

健康影響に関する調査

<質問票調査>

対象者の溶接作業従事者とコントロールの人数と性別を示す(表1)。

表1 対象者

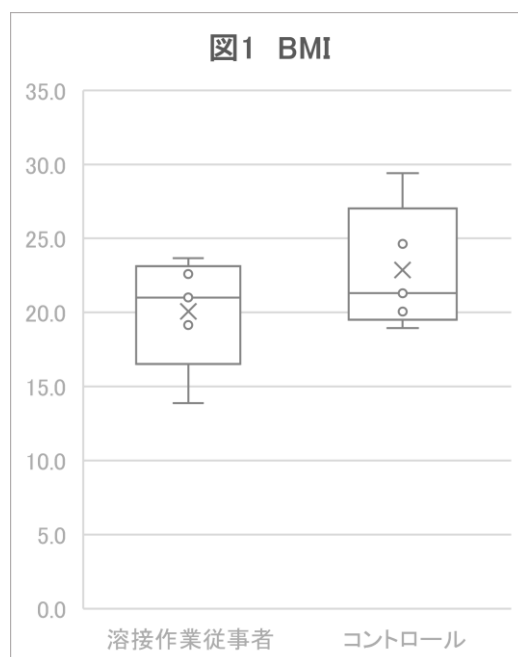
	男(人)
溶接作業従事者	5
コントロール	5

年齢、BMI、溶接業務従事年数の基本情報を示す(表2)。BMIを箱ひげ図(Excel「包括的な中央値」を採用)にて示す(図1)。

表2 対象者背景:基本情報

	溶接作業従事者(n=5)		コントロール(n=5)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	42.8	15.5	32.4	11.5
BMI	23.2	4.0	22.9	4.2
溶接業務従事年数	22.2	16.4	3.0	3.3

*コントロール5名中3名には過去に溶接作業経験あり

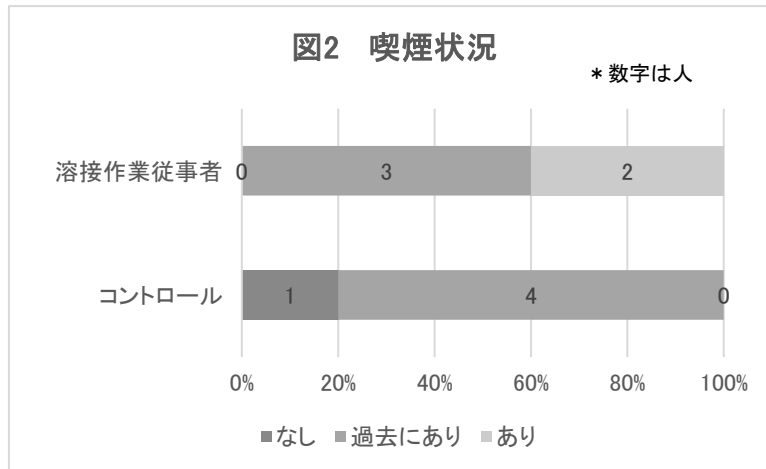


年齢およびBMIにおいて溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差は認められなかった(Mann-Whitney U test)。

○生活習慣

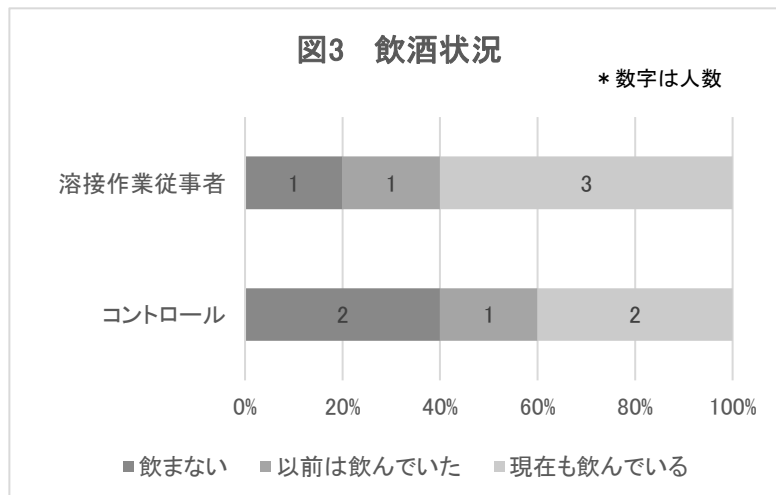
・喫煙状況

溶接作業従事者群の40%(2名)が現在喫煙者であった(図2)。



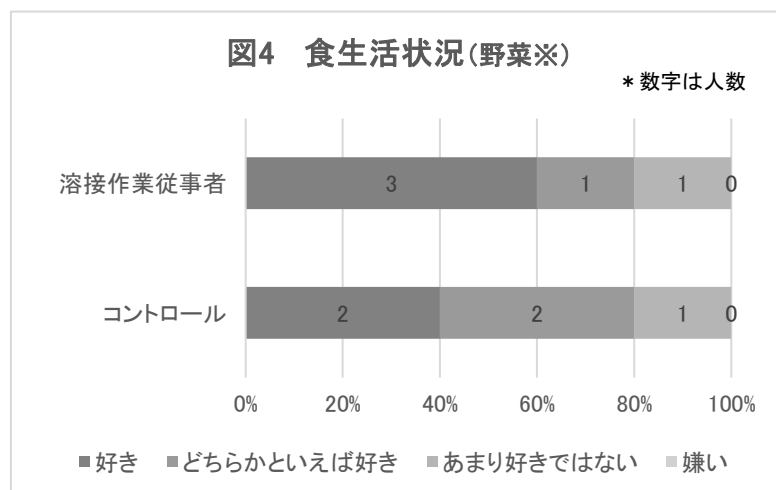
・飲酒状況

「現在も飲んでいる」と回答した割合は、溶接作業従事者群で60%(3名)、コントロール群で40%(2名)であった(図3)。



・食生活状況(マンガンを多く含む野菜が「好き」との回答)

溶接作業従事者群で60%(3名)、コントロール群で40%(2名)であった(図4)。

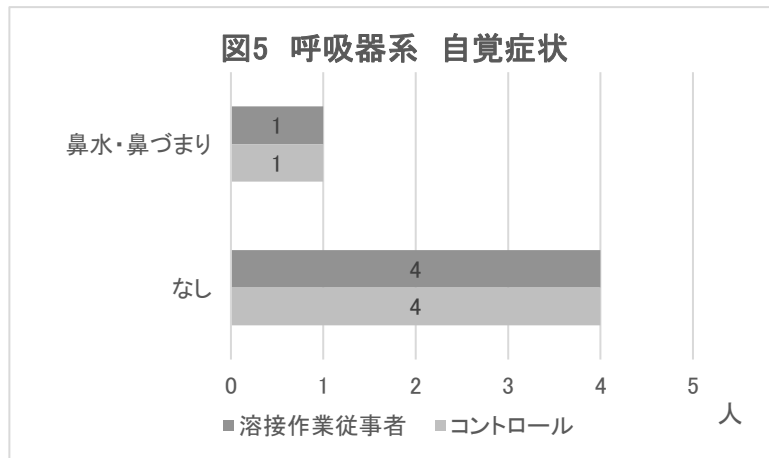


喫煙状況、飲酒状況、食生活状況(野菜)において、溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差は認められなかった(Fisher 検定)。

○自覚症状・既往症

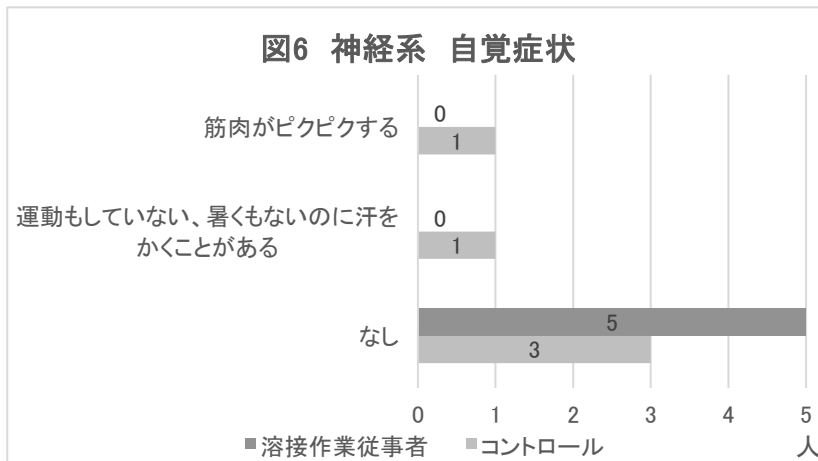
・呼吸器系(咳、痰、喘鳴、息切れ、鼻水・鼻づまり症状)の自覚症状

鼻水・鼻づまりの回答(溶接作業従事者群、コントロール群それぞれ1名)があり、他の症状については対象者全体を通して回答を認めなかった(図5)。



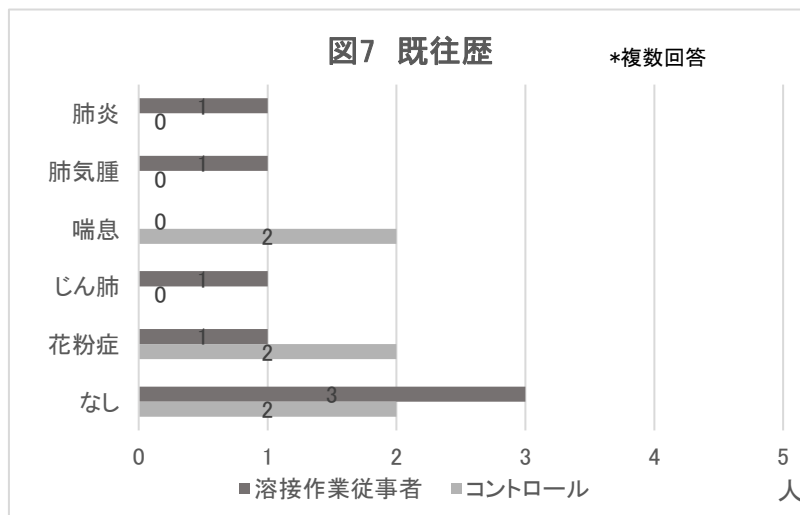
・神経系の自覚症状

溶接作業従事者群では回答を認めなかったものの、コントロール群では運動もしていない暑くもないのに汗をかくことがある、筋肉がピクピクする等の症状の回答があった(1名)(図6)



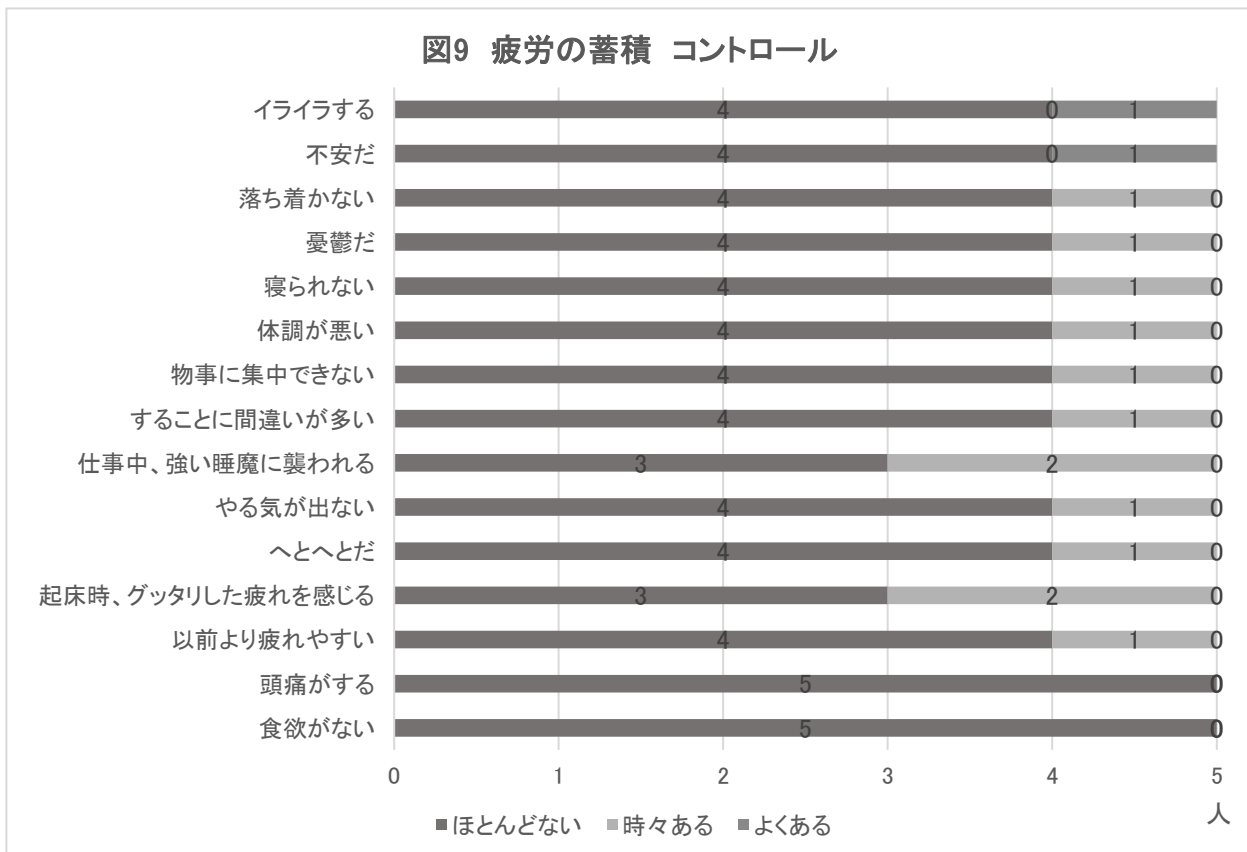
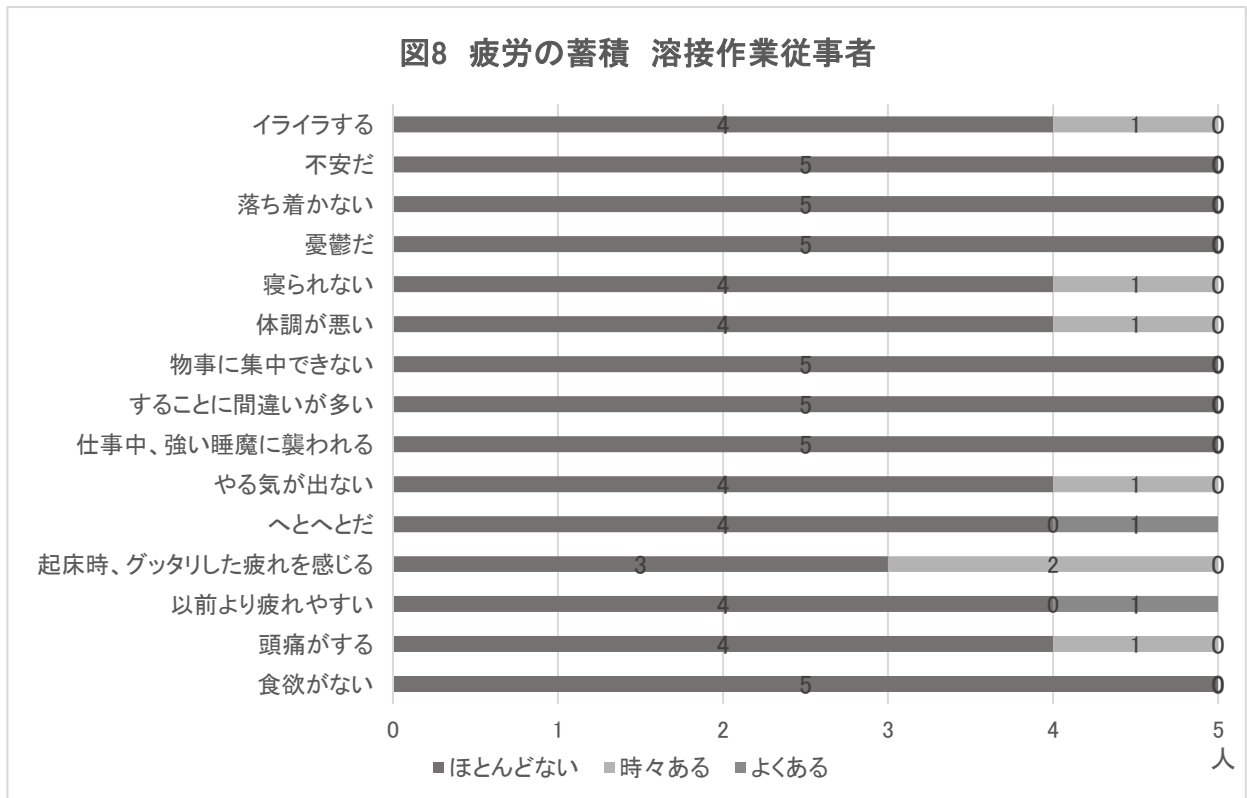
・既往歴

溶接作業従事者群で肺炎、肺気腫、じん肺、花粉症がそれぞれ1名、コントロール群では喘息、花粉症がそれぞれ2名ずつの回答を認めた(図7)。



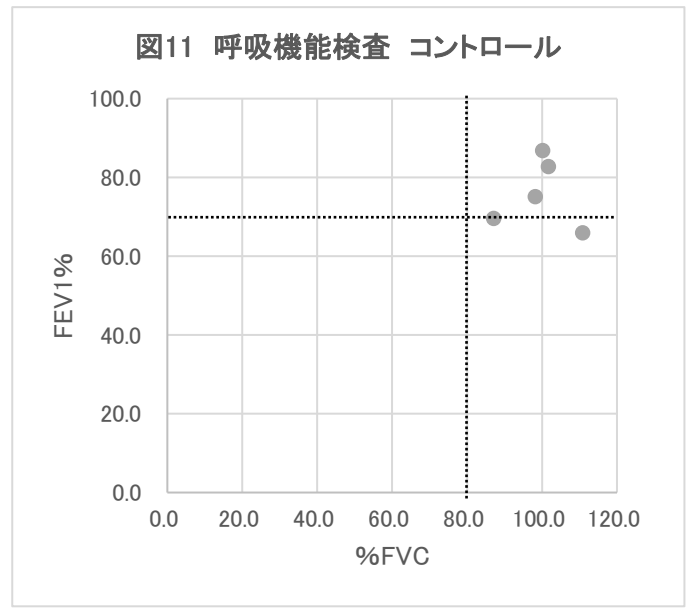
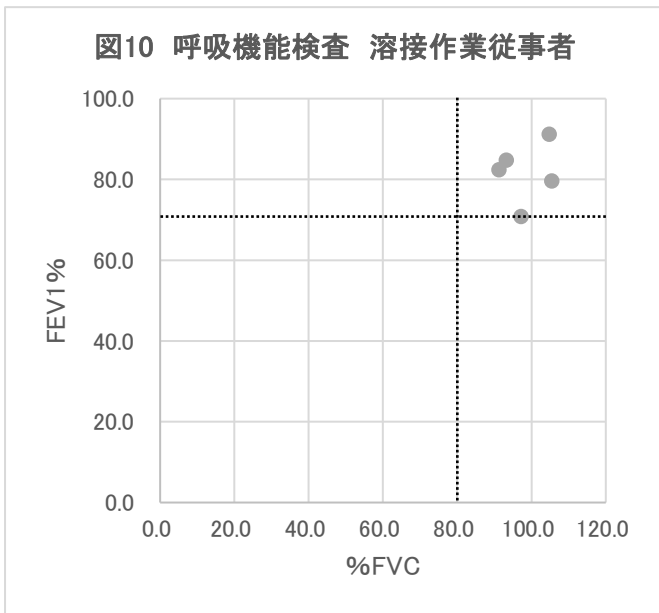
○疲労の蓄積

溶接作業従事者群は図8、コントロールは図9に示す。いずれの項目も溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。

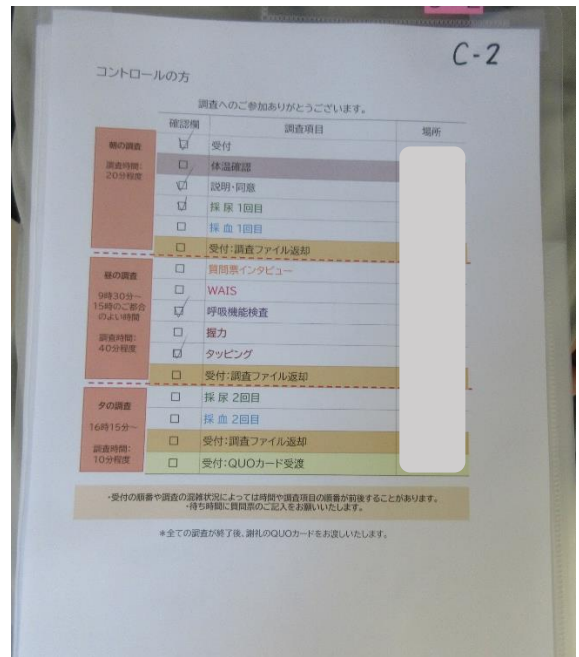


<呼吸機能検査>

呼吸機能検査は%肺活量(%FVC)および一秒率(FEV1.0%)を評価対象とした。それぞれの基準値(%FVC:80%、FEV1.0%:70%)を超えるかどうかを評価した(図 10、11)。



受付



質問票等ファイル

<神経学的検査>

○タッピング

利き手と非利き手の示指 30 秒間の合計数を用い、Mann-Whitney U test にて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(表 3、4)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 12、13)。

表 3 タッピング 利き手

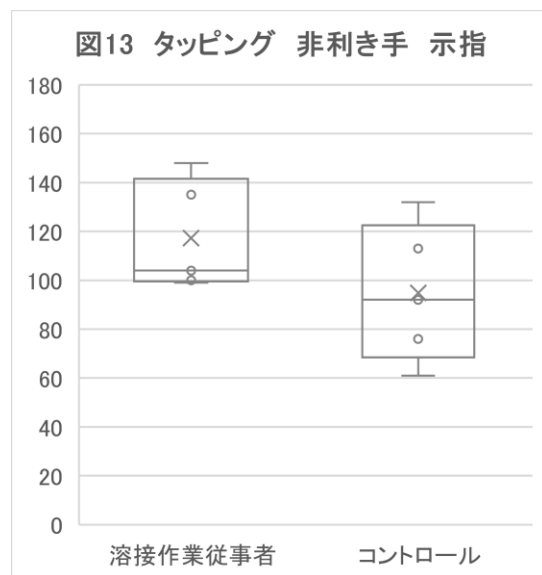
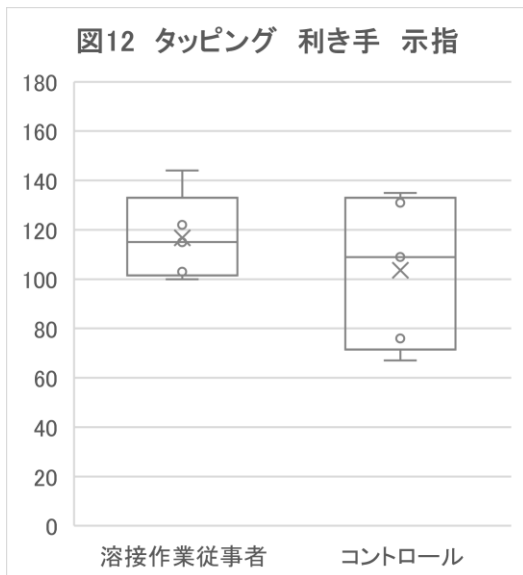
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	1000	1030	1150	1220	1440	0.69
コントロール	670	760	1090	1310	1350	

(Mann-Whitney U test)

表 4 タッピング 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	990	1000	1040	1350	1480	0.206
コントロール	610	840	920	1130	1320	

(Mann-Whitney U test)



タッピング

○握力

利き手と非利き手の握力を2回測定した合計数を用いMann-Whitney U testにて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差は認められなかった(表 5、6)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 14、15)。

表 5 握力 利き手

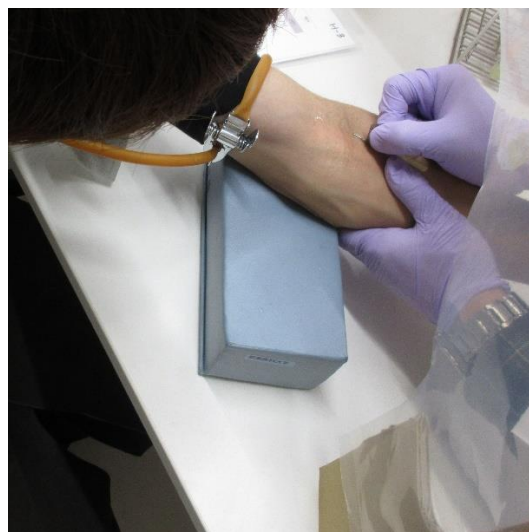
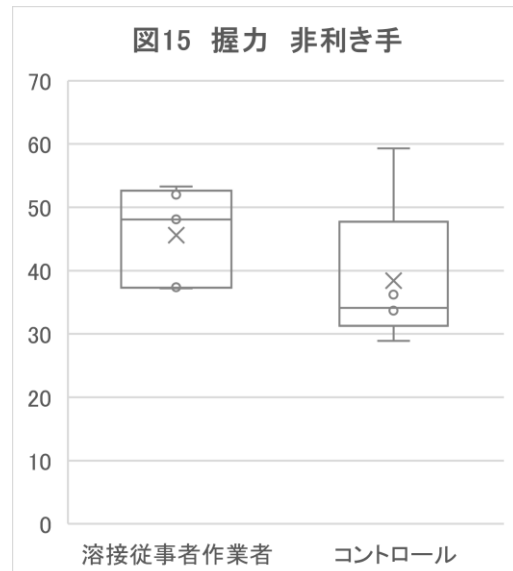
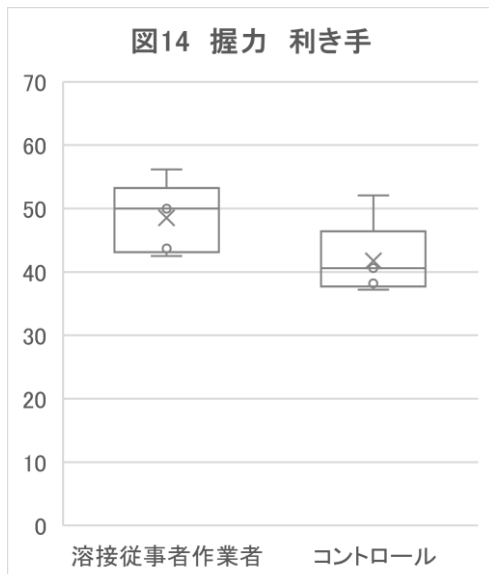
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	425	43.7	50.0	50.3	56.2	0.095
コントロール	372	38.2	40.6	40.7	52.1	

(Mann-Whitney U test)

表 6 握力 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	372	37.4	48.1	52.0	53.3	0.151
コントロール	28.9	33.7	34.1	36.2	59.3	

(Mann-Whitney U test)



コロナ対策を行った採血

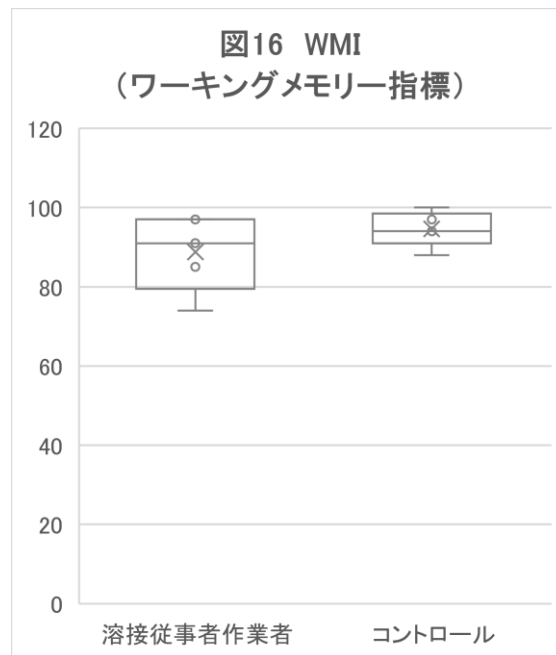
OWAIS-IV WMI(Working Memory Index:ワーキングメモリー指標)

「数唱」「算数」の評価点合計に基づいて得点化している。Mann-Whitney U test では、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(表 7)。溶接作業従事者群とコントロール群を箱ひげ図にて示す(図 16)。

表 7 WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー指標)

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	74.0	85.0	91.0	97.0	97.0	0.396
コントロール	88.0	94.0	94.0	97.0	100.0	

(Mann-Whitney U test)



WAIS-IV

<溶接ヒュームの濃度測定>

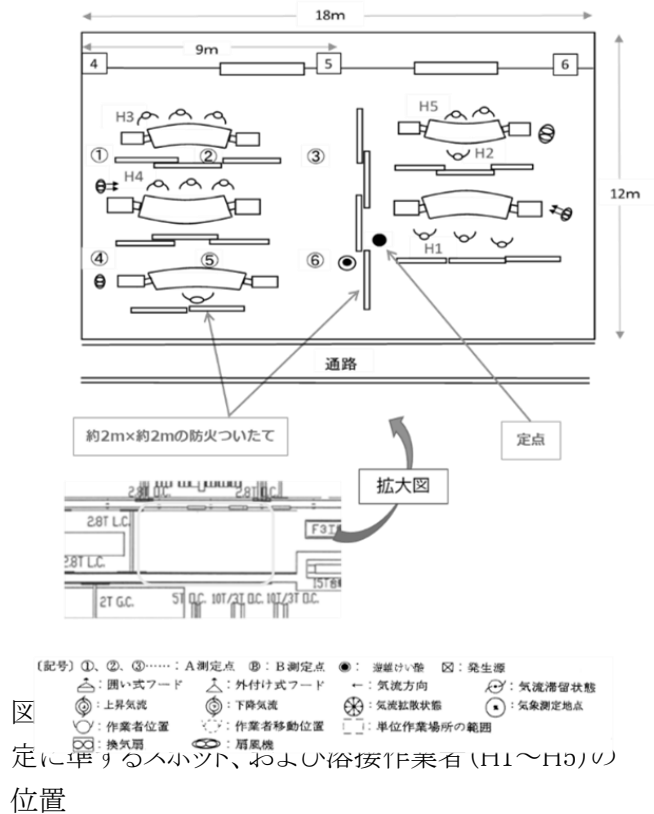
1) 作業環境測定基準および個人サンプラーを用いた測定 作業環境測定基準による方法(事業場)

●作業環境測定のデザイン

右図に示すように、6点を等間隔均等抽出し、A測定
の測定点とした。また、ポイント⑥に近接する場所
に遊離けい酸の測定点、防火ついたてを挟み、定点
測定点を設定した(図1)。



溶接工具



個人サンプラーを用いた測定方法(個人)

●採取場所

作業者5名(H1,H2,H3,H4,H5)を対象に、作業者の呼吸域の吸入性粒子(Respirable particles)と吸引性粒子(Inhalable particles)を捕集した。さらにバックグラウンドについても両粒子を捕集した。

なお、各溶接作業者の作業は以下のとおりである。

○溶接作業者

H1 作業者: 溶接作業

H2 作業者: 溶接作業、グラインダー作業

H3 作業者: 溶接作業、グラインダー作業

H4 作業者: 溶接作業、グラインダー作業

H5 作業者: 溶接作業、ディスクグラインダー作業

●粉じん秤量

吸入性粒子(Respirable particles)及び吸引性粒子(Inhalable particles)を捕集した。また、粉じんの秤量は作業環境測定基準に基づき、UMTマイクロ天秤(METTLER TOLEDO)で行った。読み取り限度は1μgであった。測定に使用した機器等はA事業所と同じである。

各測定結果

1. 作業工程と発生源及び作業人数

- 作業工程: 鋼製セグメントの組み立て工程における溶接作業
- 母材 (溶接される鋼板)
スキムプレート、外主桁、継手板: 材質 SM570、化学成分 Mn 1.7%, Si 0.55%, C 0.18%、
縦リブウェブ: 材質 SM490YB、化学成分 Mn 1.65%, Si 0.55%, C 0.20%、
- 溶接ワイヤー:
 - ・SM-1F、適用規格種類 JIS Z 3313 T49JOT1-0CA-UH5
Mn 1.68%, Si 0.61%, Cu 0.35%, C 0.06%, P 0.015%, S 0.012%
 - ・SF-60、適用規格種類 JIS Z 3313 T59J1T1-1CA-N2M1-UH5
Mn 1.45%, Si 0.53%, Cu 0.27%, Ni 0.51%, C 0.05%, P 0.009%, S 0.005%
- 発生源: 溶接、研磨等
- 作業人数: 5名
保護具: ヘルメット、溶接用面体、溶接用ずきん、皮手袋、皮ズボンカバー、皮アームカバー、防じんマスク
1005RR-05 型 RL2 (興研株式会社)、防火エプロン、皮製安全靴

2. 作業内容

対象作業: 鋼製セグメントの組み立て工程における溶接作業
令和2年12月10日 9時00分～16時00分 約360分間
ばく露測定作業人数 5名

3. 粉じん秤量

作業環境測定結果

作業環境測定により捕集した溶接ヒュームを秤量し、粒子質量濃度を求めたところ表1のようになった。

表1 A 測定における溶接ヒューム中の粉じん濃度結果

吸入性粒子径の粉じん質量濃度(mg/m ³) GS-3サンプラー (流量2.75L/min)					吸引性粒子径の粉じん質量濃度(mg/m ³) IOMサンプラー (流量2.0L/min)				
ろ紙 No.	ポイント名	採気時間 (分)	全採気量 (L)	吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)	ろ紙 No.	ポイント名	採気時間 (分)	全採気量 (L)	吸引性粉じん濃度 (mg/m ³)
101	A-1	120	330	0.9400	126	A-1	120	240	0.4189
102	A-2	120	330	1.3360	127	A-2	120	240	2.9286
103	A-3	120	330	1.5804	128	A-3	120	240	2.8911
104	A-4	120	330	0.8996	129	A-4	120	240	1.2758
105	A-5	120	330	0.7632	130	A-5	120	240	1.6147
106	A-6	120	330	1.3582	131	A-6	120	240	1.7047

また、作業環境測定の結果を表2および表3に示す。

表2 吸入性粉じん作業環境測定結果

幾何平均値	M1 = 1.11 mg/m ³	M2 = — mg/m ³	M = 1.11 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 1.33	σ2 = —	σ = 2.07
第1評価値	EA1 = 3.66 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 1.44 mg/m ³		

表 3 吸引性粉じん作業環境測定結果

幾何平均値	M1 = 1.52 mg/m ³	M2 = — mg/m ³	M = 1.52 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 2.04	σ2 = —	σ = 2.66
第1評価値	EA1 = 7.60 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 2.45 mg/m ³		

○個人ばく露測定

溶接作業従事者 5 名の個人ばく露濃度測定結果(粉じん)を表 4 に示す。

個人ばく露測定では、吸入性粉じん(8 時間加重平均濃度)は、5 名とも 1mg/m³(日本産業衛生学会の(第 2 種粉じん:酸化鉄)許容濃度)を超え、吸入性マンガン(時間加重平均濃度)は 5 名とも 0.05mg/m³(溶接ヒュームの気中濃度の基準値)を超え、吸入性マンガン(8 時間加重平均濃度)は 5 名とも 0.02mg/m³(ACGIH の TLV-TWA(ばく露限界値)を超えていた。(表4)。

表 4 個人ばく露濃度測定結果

NO	時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)	8 時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m ³) *	時間加重平均 吸入性マンガン濃度 (mg/m ³) **	8 時間加重平均 吸入性マンガン濃度 (mg/m ³) ***
H-1	11.29236	7.05772	1.51677	0.94798
H-2	5.98115	4.46094	0.79768	0.59494
H-3	5.12822	3.56839	0.70482	0.49044
H-4	8.78670	6.64494	1.25061	0.94577
H-5	6.93516	5.05689	0.97260	0.70919

* 日本産業衛生学会:許容濃度(第 2 種粉じん)酸化鉄 1mg/m³

**金属アーク溶接等作業における溶接ヒュームの気中濃度の基準値(Mn として) 0.05mg/m³

***米国産業衛生専門家会議(ACGIH)ばく露限界値(2013 年設定) 0.02mg/m³



個人サンプラー装着状況 正面および背面

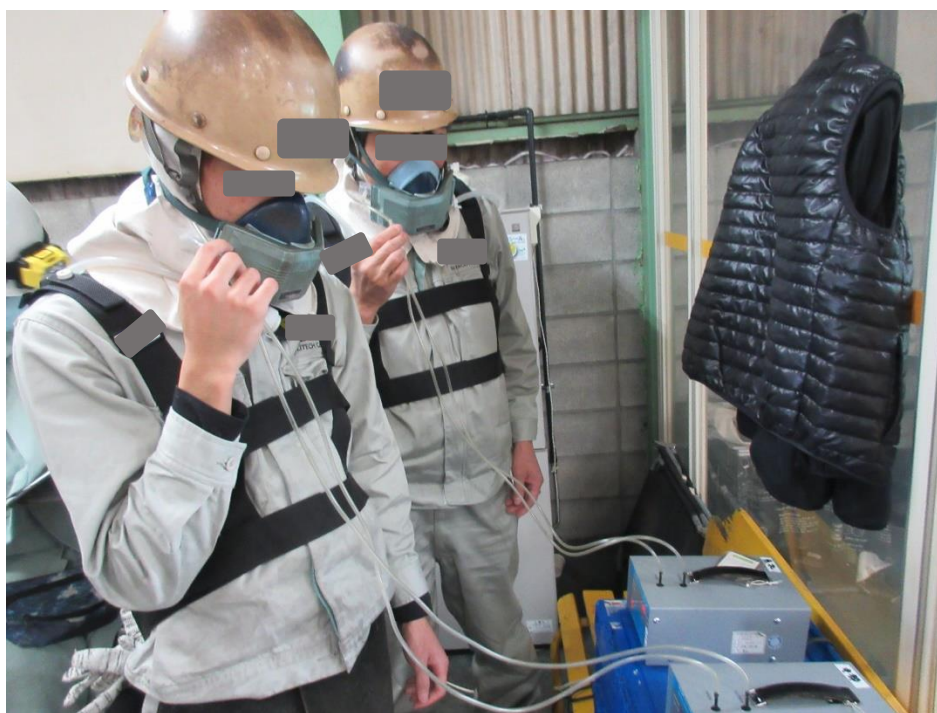
《マスクフィットテスト》

柴田科学 MASK FITTING TESTER MT-03 を用い、日本工業規格 (JIS T8150(2006)※) に基づき、大気粉じんを試験用コンタミナントとして用いる漏れ率測定の方法で行った (表 1)。各溶接従事作業者の漏れ率は、平均 1.44~4.36(%) と良好な値となった。使用しているマスクの指定防護係数は、3~10 である。漏れ率から求められる防護係数は、それぞれ 22.9~69.4 であり、指定防護係数を大きく上回る結果であった。上記の結果から、各溶接従事作業者が使用しているマスクは、各動作を行った場合でも、漏れ率が大きく上昇することはなく、顔にフィットしていると判断できる。各作業員のマスクの選択、使用状況は良好であると思われる。

表 1 マスクフィットテスト結果および防護係数

No	氏名 (敬称略)	マスク品名	使用した M F T 機械番号	呼吸状況	通常	深呼吸	首ふり (左右)	首ふり (上下)	発声	平均値	
				漏れ率 (%)							
1	H1	防じんマスク 1005RR-05型 RL2 (興研株式会社)	sibataMASK FITTING TESTER MT-03	漏れ率 (%)	1.00	1.60	1.80	1.40	1.40	1.44	
				防護係数							
2	H2			漏れ率 (%)	2.20	5.60	2.50	2.40	5.70	3.68	
				防護係数							
3	H3			漏れ率 (%)	1.20	7.30	1.30	2.10	0.62	2.50	
				防護係数							
4	H4			漏れ率 (%)	0.48	4.60	7.10	2.60	1.40	3.24	
				防護係数							
5	H5			漏れ率 (%)	4.50	1.90	2.20	6.80	6.40	4.36	
				防護係数							

※JIS T8150(2006)規定に基づく測定



マスクフィットテスト JIS T8150(2006)

事業所 C(電気工事業等)

調査日:2021 年 4 月 22 日木曜日、6 月 16 日水曜日

健康影響に関する調査

<質問票調査>

対象者の溶接作業従事者とコントロールの人数と性別を示す(表1)。

表1 対象者

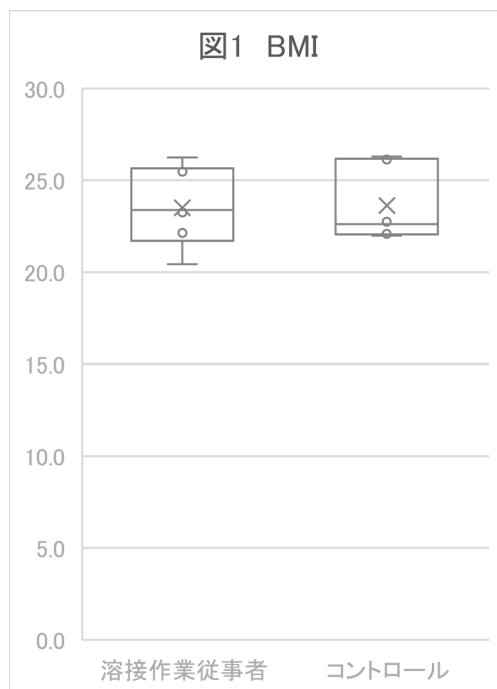
	男(人)
溶接作業従事者	6
コントロール	6

年齢、BMI、溶接業務従事年数の基本情報を示す(表2)。BMIを箱ひげ図(Excel「包括的な中央値」を採用)にて示す(図1)。

表2 対象者背景:基本情報

	溶接作業従事者(n=6)		コントロール(n=6)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	42.0	8.9	42.8	9.4
BMI	23.5	2.1	23.6	2.0
溶接業務従事年数	19.8	8.9	1.0	-

*コントロール群には1名には過去に6年間の溶接作業経験あり

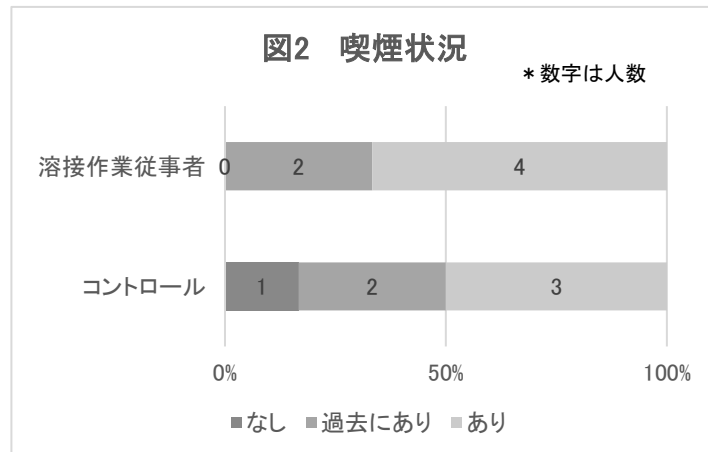


年齢および BMI において溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Mann-Whitney U test)。

○生活習慣

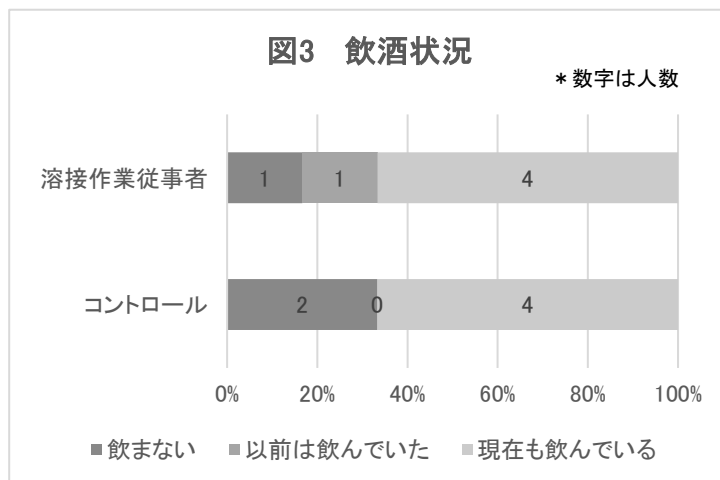
・喫煙状況

溶接作業従事者群の 66.7% (4 名)、コントロール群の 50.0% (3 名) が現在喫煙者であった (図 2)。



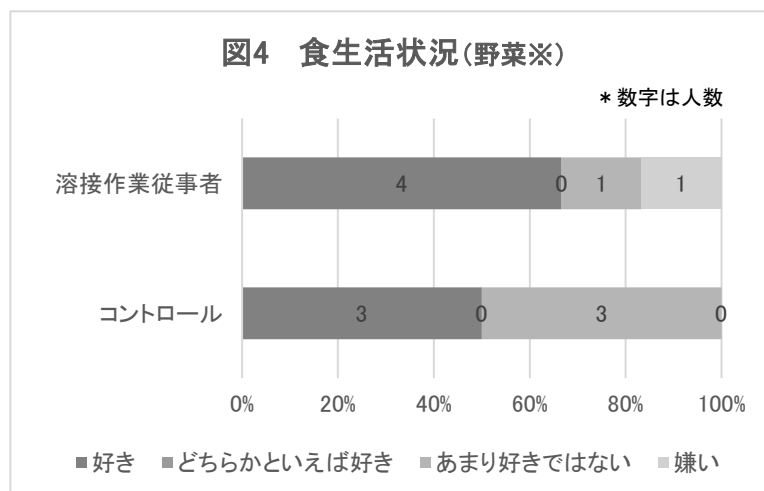
・飲酒状況

「現在も飲んでいる」と回答した割合は、溶接作業従事者群、コントロール群とも 66.7% (4 名) (図 3)。



・食生活状況 (マンガンを多く含む野菜が「好き」との回答)

溶接作業従事者群で 66.7% (4 名)、コントロール群で 50.0% (3 名) であった (図 4)。

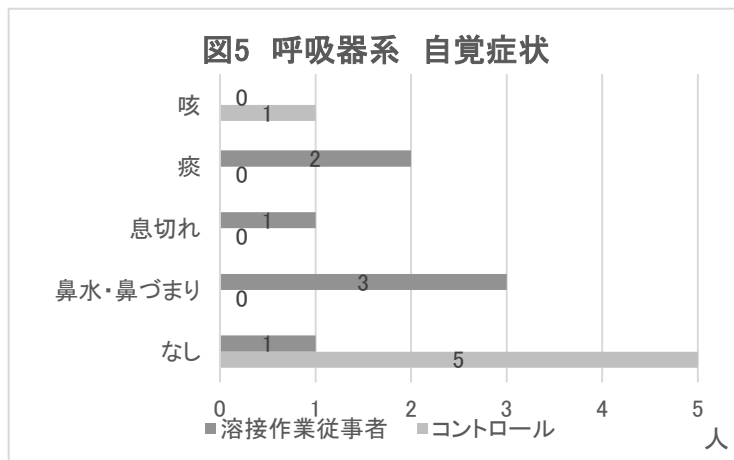


喫煙状況、飲酒状況、食生活状況 (野菜) において、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった (Fisher 検定)。

○自覚症状・既往症

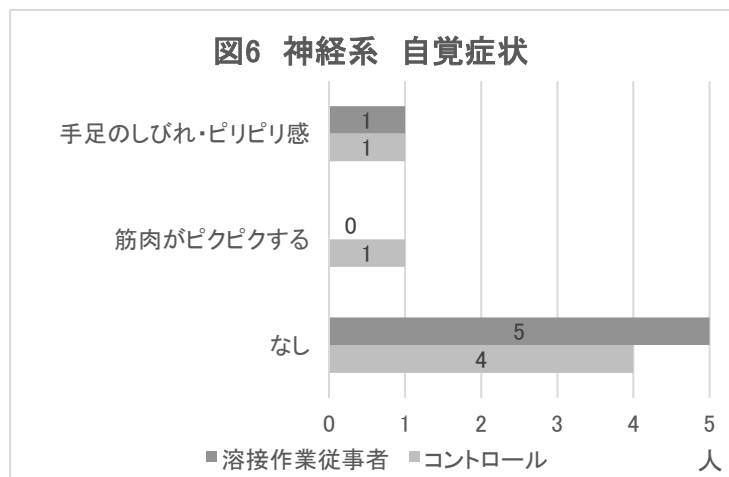
・呼吸器系(咳、痰、喘鳴、息切れ、鼻水・鼻づまり症状)の自覚症状

溶接作業従事者群に鼻水・鼻づまり症状(3名)、痰(2名)、息切れ(1名)、コントロール群は咳(1名)の回答があった(図5)。



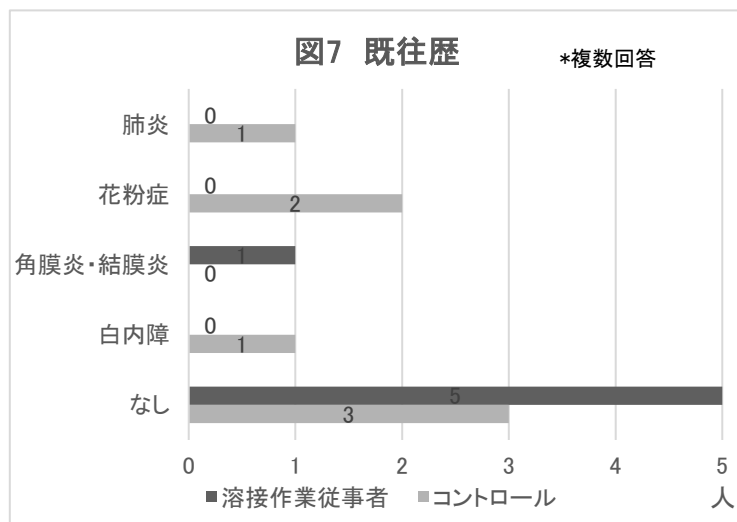
・神経系の自覚症状

溶接作業従事者群では手足のしびれ・ピリピリ感(1名)、コントロール群では運手足のしびれ・ピリピリ感(1名)、筋肉がピクピクする(1名)の回答があった(図6)



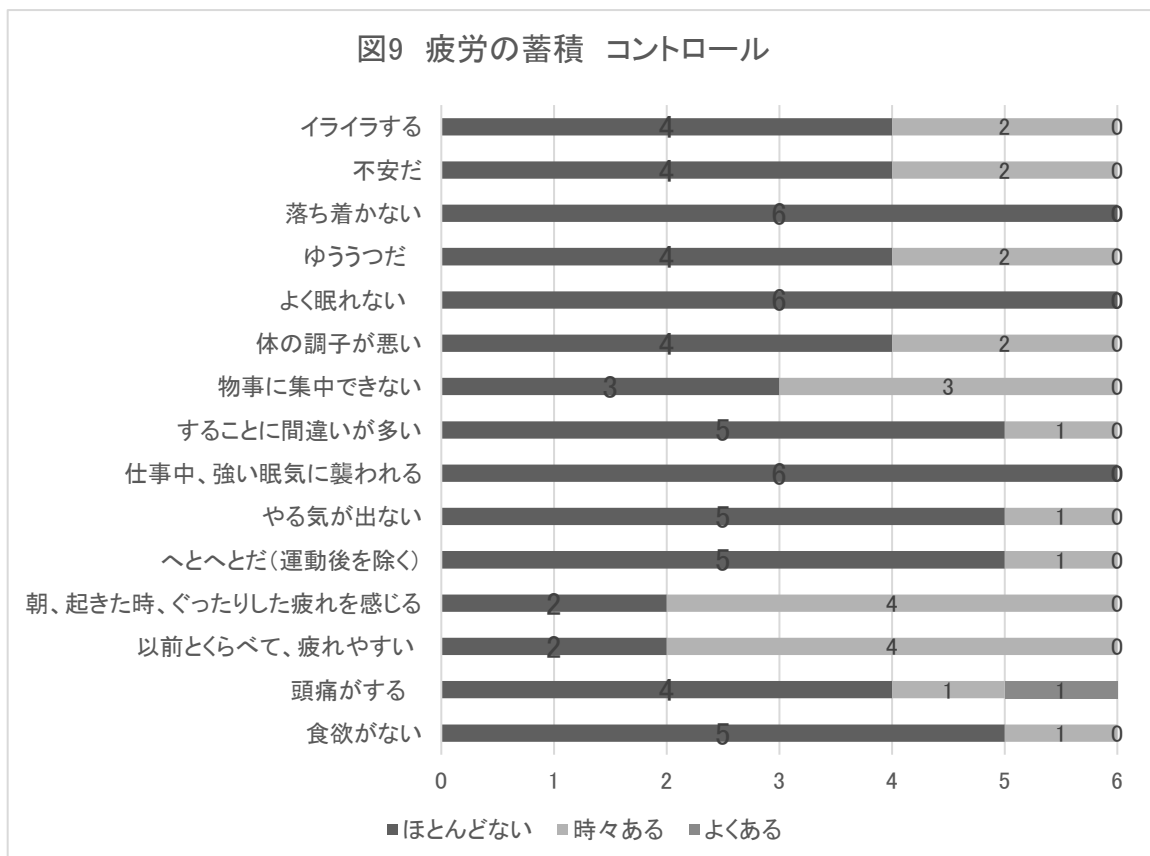
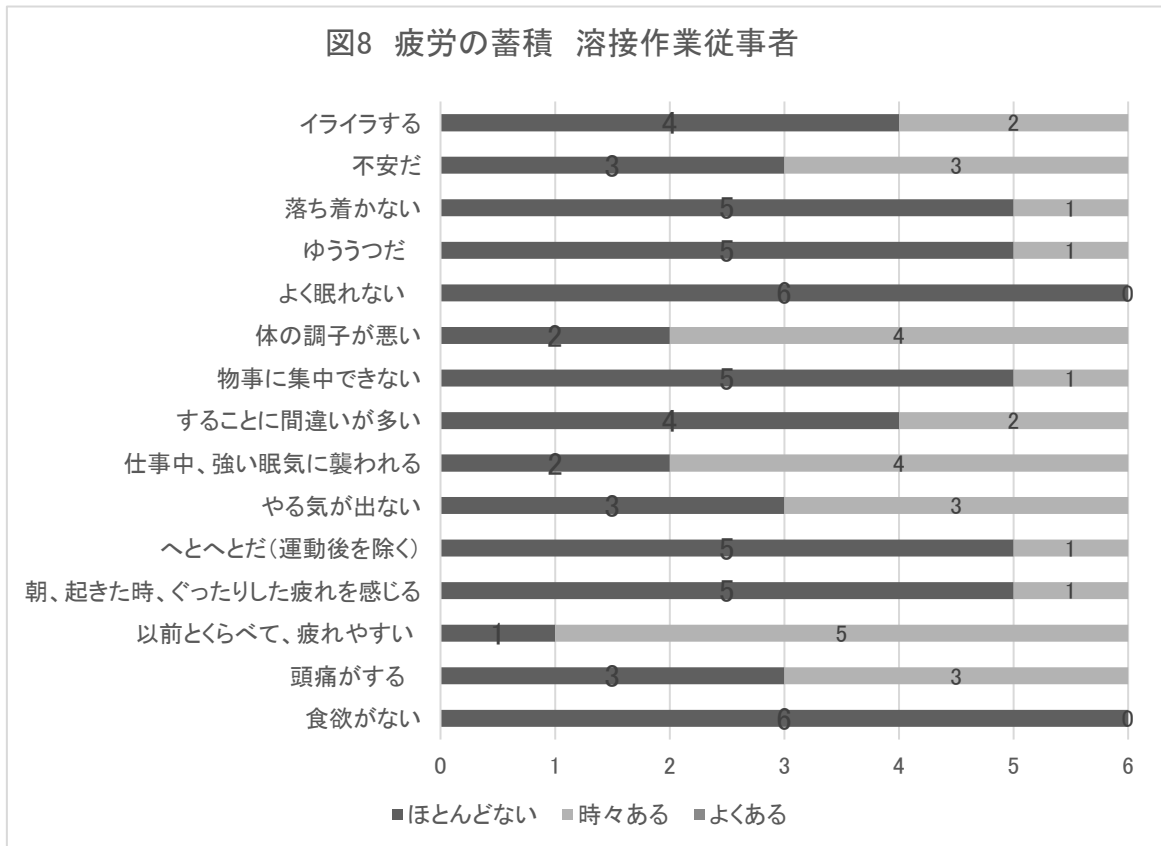
・既往歴

溶接作業従事者群では角膜炎・結膜炎(1名)、コントロール群では肺炎(1名)、花粉症(2名)、白内障(1名)の回答を認めた(図7)。



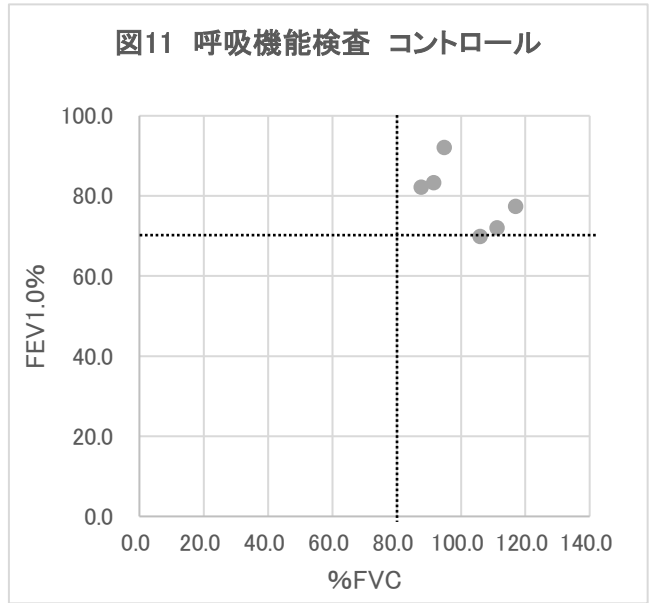
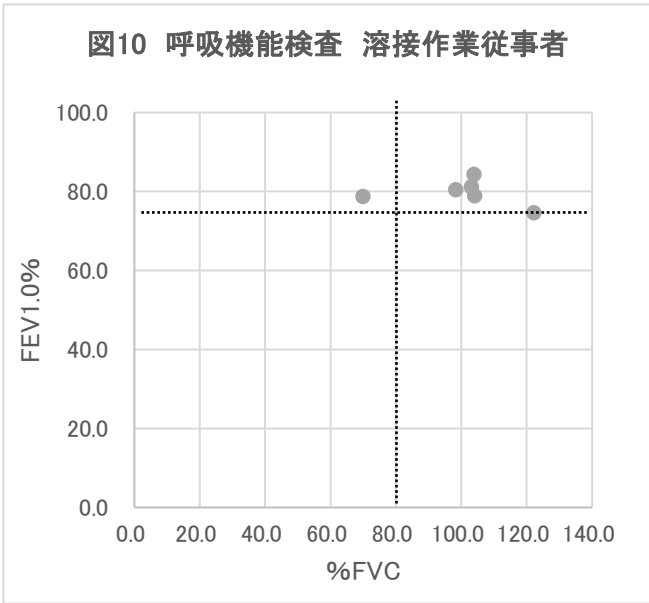
○疲労の蓄積

溶接作業従事者群は図8、コントロールは図9に示す。いずれの項目も溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。



<呼吸機能検査>

呼吸機能検査は%肺活量(%FVC)および一秒率(FEV1.0%)を評価対象とした。それぞれの基準値(%FVC:80%、FEV1.0%:70%)を超えるかどうかを評価した(図 10、11)。



説明および同意の確認



呼吸機能検査

<神経学的検査>

○タッピング

利き手と非利き手の示指 30 秒間の合計数を用い Mann-Whitney U test にて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(表 3、表 4)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 12、13)。

表 3 タッピング 利き手

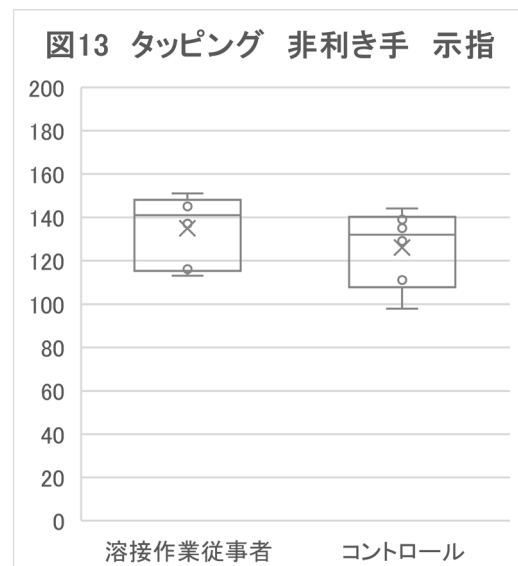
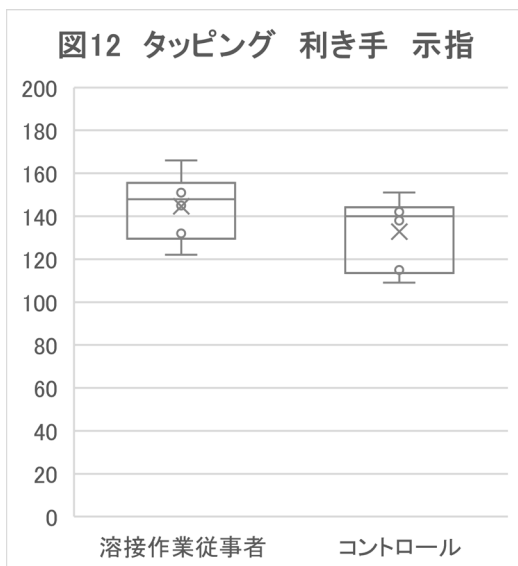
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	109.0	120.8	140.0	142.0	151.0	0.199
コントロール	122.0	135.3	148.0	151.8	166.0	

(Mann-Whitney U test)

表 4 タッピング 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	113.0	121.3	141.0	146.5	151.0	0.393
コントロール	98.0	115.5	132.0	138.0	144.0	

(Mann-Whitney U test)



タッピング

○握力

利き手と非利き手の握力を2回測定した合計数を用い Mann-Whitney U test にて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(表 5、6)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 14、15)。

表 5 握力 利き手

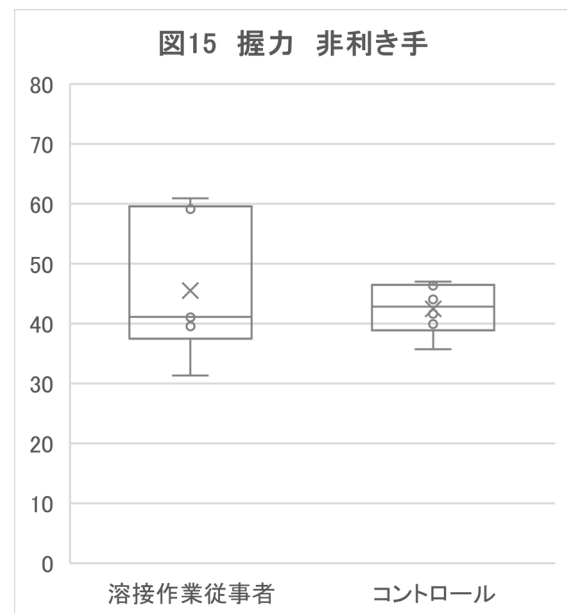
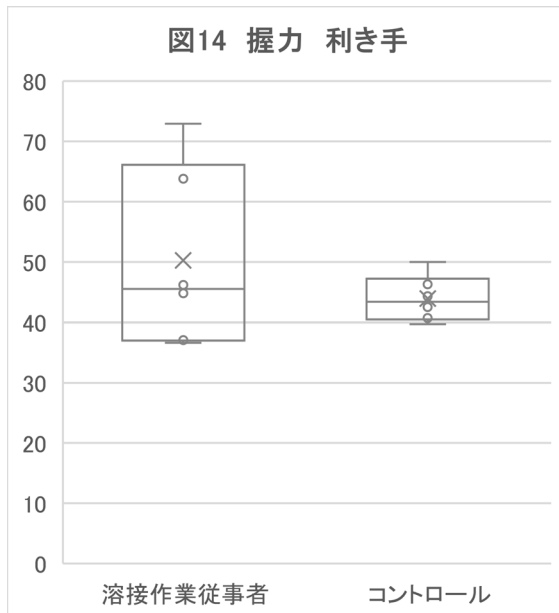
	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	39.7	41.2	43.4	45.8	50.0	0.818
コントロール	36.6	39.0	45.5	59.4	72.9	

(Mann-Whitney U test)

表 6 握力 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	35.7	40.3	42.8	45.7	47.0	0.937
コントロール	31.3	39.9	41.1	54.6	60.9	

(Mann-Whitney U test)



質問票

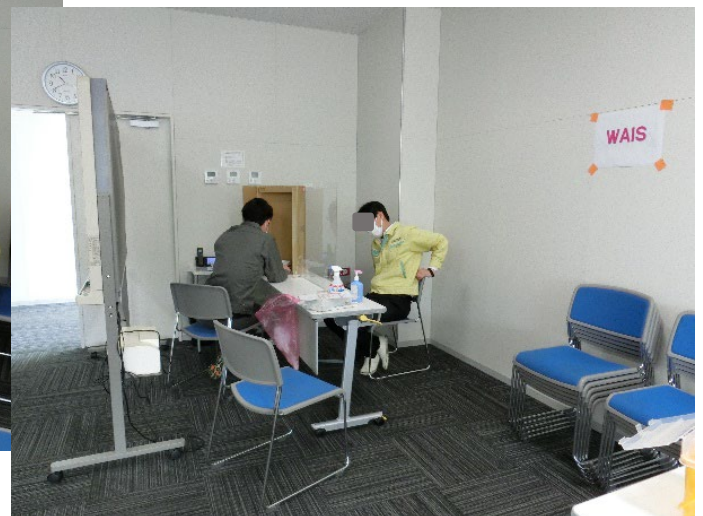
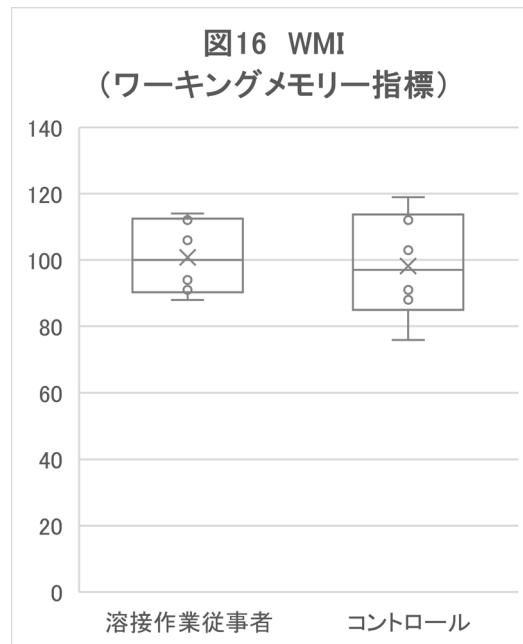
OWAIS-IV WMI(Working Memory Index:ワーキングメモリー指標)

「数唱」「算数」の評価点合計に基づいて得点化している。Mann-Whitney U test では、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(表 7)。溶接作業従事者群とコントロール群を箱ひげ図にて示す(図 16)。

表 7 WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー指標)

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	760	888	970	1098	1190	0.747
コントロール	880	918	1000	1105	1140	

(Mann-Whitney U test)

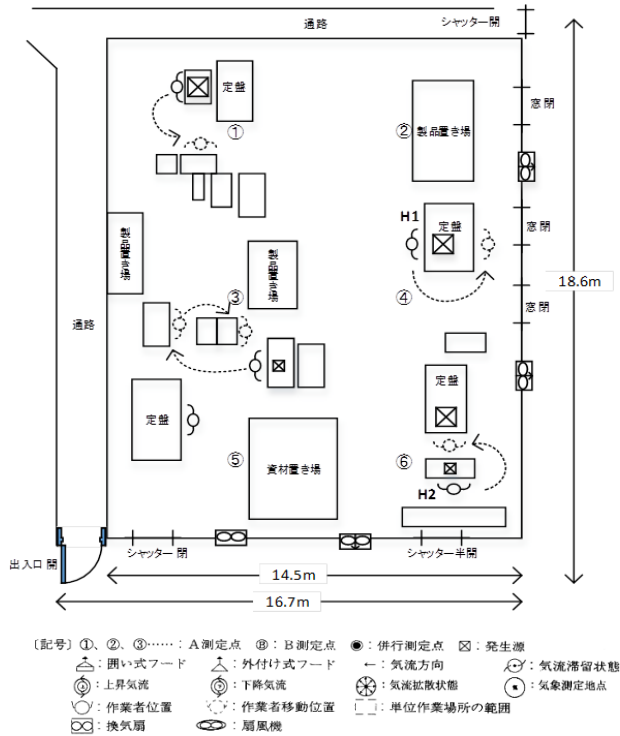


WAIS-IV

＜溶接ヒュームの濃度測定＞

1) 作業環境測定基準および個人サンプラーを用いた測定

● 作業環境測定の実験デザイン



* サンプル実施時に当該単位作業場所で行われていた作業、設備の稼働状況等及び測定値に影響を及ぼしたと考えられる事項の概要
 [作業工程と発生源及び作業者数]
 作業工程: 製缶溶接作業
 部材を準備する～位置決め～半自動溶接～スパッタ除去～研磨(ベルサンダー、手持ちグラインダー等)
 (上記、この作業を繰り返す)
 発生源: 各溶接、スパッタ除去、研磨等の作業位置である
 作業者: 5名(うち2名が個人ばく露測定対象者、H1、H2)
 (呼吸用保護具着用(使い捨て式防じんマスク、モルデックス 4600DS2)、手持ち溶接面使用)
 [設備、排気装置の稼働状況]
 ・全体換気装置: 無
 ・局所排気装置等: 無
 ・換気扇: 3台稼働
 [ドア、窓の開閉、気流の状況]
 ・ドア、シャッター: ドア開、シャッター一部開、
 ・窓: 3閉
 ・気流の状況: 出入り口シャッターから気流の流入が認められた。
 [当該単位作業場所の周辺からの影響]
 特に無し
 [各測定点に関する特記事項]
 特に無し
 併行測定点 気温 22.3℃ 湿度 50% 気流 0.2m/s 未満
 外気条件 気温 21.3℃ 湿度 43% 曇り (11:40)

表1 A 測定データ

測定方法 No.	測定方法	測定データ		
		相対濃度(cpm)	吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)	吸引性粉じん濃度 (mg/m ³)
1		47	0.13	0.33
2		53	0.14	0.37
3		53	0.14	0.37
4		62	0.17	0.44
5		35	0.10	0.25
6		31	0.08	0.22
7		以下余白	以下余白	以下余白

表2 吸入性粉じん濃度測定 作業環境測定結果

幾何平均値	M1 = 0.12 mg/m ³	M2 = - mg/m ³	M = 0.12 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 1.31	σ2 = -	σ = 2.05
第1評価値	EA1 = 0.40 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 0.16 mg/m ³		
管理濃度	3.0mg/m ³		
評価	A測定	区分1	
	評価結果	第1管理区分	

表3 吸引性粉じん濃度測定 作業環境測定結果

幾何平均値	M1 = 0.32 mg/m ³	M2 = - mg/m ³	M1 = 0.32 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 1.31	σ2 = -	σ = 2.05
第1評価値	EA1 = 1.04 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 0.41 mg/m ³		

2)個人サンプラーを用いた測定

H-1, H-2:測定場所 第2工場(図1)

・作業工程:製缶溶接作業

部材を準備する～位置決め～半自動溶接～スパッタ除去～研磨(バルサンダー、手持ちグラインダー等)
(上記、この作業を繰り返す)

・発生源:各溶接、スパッタ除去、研磨作業位置である

・作業人数:5名(うち2名が個人ばく露測定対象者、H1、H2)

*呼吸用保護具着用(使い捨て式防じんマスク、モルデックス 4600DS2)、手持ち溶接面使用

[設備、排気装置の稼働状況]

・全体換気装置:無

・局所排気装置等:無

・換気扇:3台稼働

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

・ドア、シャッター:ドア開、シャッター一部開、

・窓:3閉

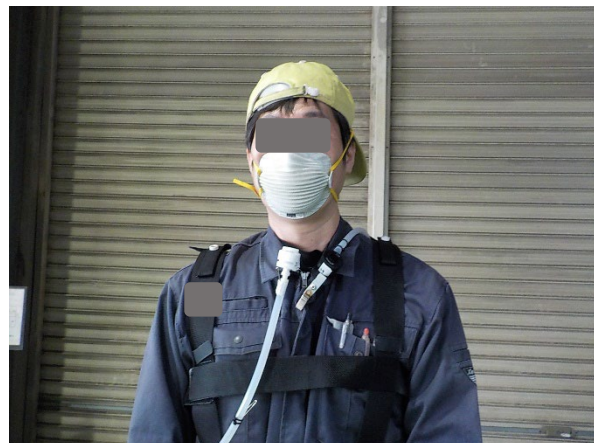
・気流の状況:出入り口シャッターから気流の流入が認められた。

[作業場所の周辺からの影響]

・特に無し

[特記事項]

・特に無し



個人サンプラー装着状況 正面および背面

H-3:測定場所 第2工場(図2)

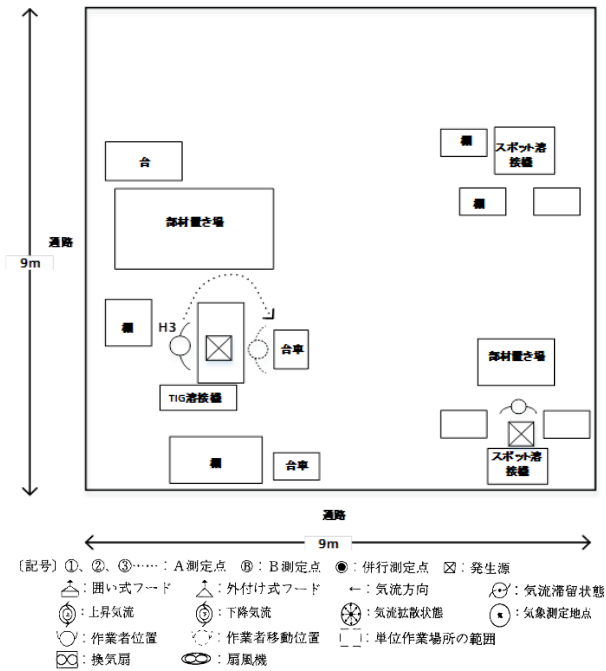


図2 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

- ・作業工程:ボンデ鋼板(90cm×70cm、厚さ2.3mm～3.2mm)に、蝶番を2か所取付ける溶接作業

ボンデ鋼板に2か所蝶番を置く～万力でセットする～TIG溶接～手持ちグラインダー～台車へ積む(上記、この作業を繰り返す)

- ・発生源:各溶接、研磨作業位置である
- ・作業員数:1名
- *呼吸用保護具着用(使い捨て式防じんマスク、モルデックス4600DS2)、手持ち溶接面使用 [設備、排気装置の稼働状況]

【第2工場内】

- ・全体換気装置:無
- ・局所排気装置等:無
- ・換気扇:3台稼働 [ドア、窓の開閉、気流の状況]

【第2工場内】

- ・ドア、シャッター:ドア開、シャッター一部開
- ・窓:3閉
- ・気流の状況:出入り口シャッターから気流の流入が認められた。 [作業場所の周辺からの影響] ・特に無し [特記事項] ・特に無し

H-4, H-5:測定場所 第4工場(図3)

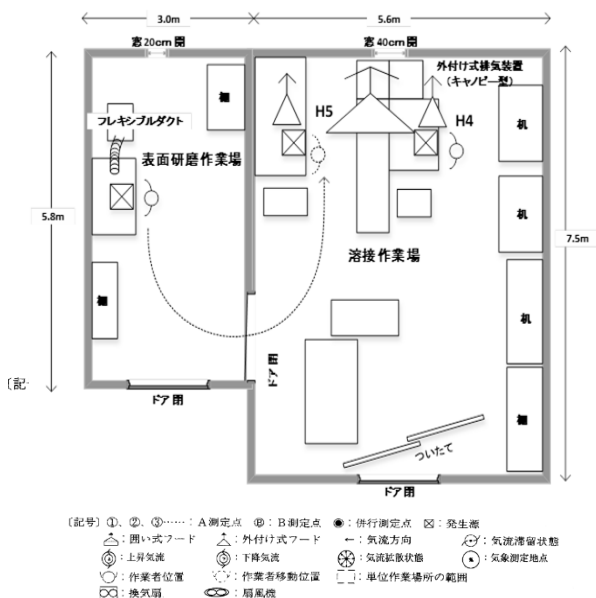


図3 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

- ・作業工程:配電器部品作製に伴う溶接作業。作業員は各部品をステンレス製の板に溶接している。(H5

は溶接作業の前に部品表面の研磨作業を行っている)

作業は、断続的ではあるが1日中行われている。

- ・発生源:各溶接、表面研磨作業位置である
- ・作業員数:2名
- *呼吸用保護具着用(使い捨て式防じんマスク、モルデックス4600DS2)、溶接面(ヘルメットタイプ)使用 [設備、排気装置の稼働状況]
- ・局所排気装置等:レシーバー式(キャノピー型)3台稼働 [ドア、窓の開閉、気流の状況]

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

- ・ドア:2閉、窓:10～20cm開
- ・気流の状況:窓からの気流の流入は認められなかった。 [作業場所の周辺からの影響] ・特に無し [特記事項] ・特に無し

H-6:測定場所 第4工場(図4)

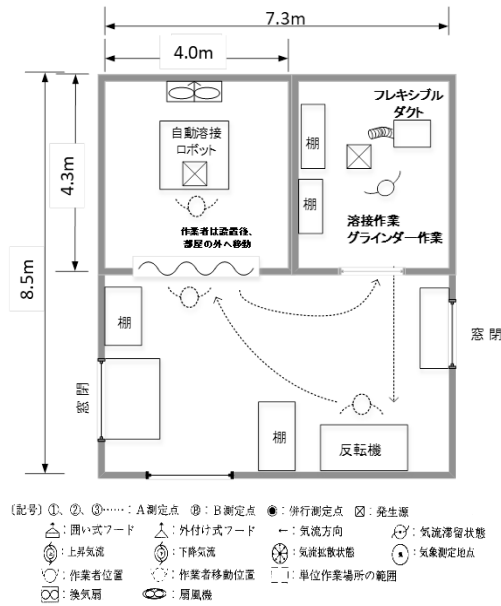


図4 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

- ・作業工程:配電器作製に伴う溶接作業、ロボット溶接の操作
- 配電部品の付いた5枚のステンレス板を箱型(70cm×100cm×40cm)に組み立てる作業
- ・作業員は、①配電部品の付いた5枚のステンレス板を組み立て万力で仮止めする。仮止めの溶接を行う。②ロボット溶接で溶接を行う。(この時作業員は溶

接場からは離れており、ばく露はない)③ロボット溶接後隣室へ移動させ、溶接が不十分な箇所に溶接を行う。溶接の跡にサンダーを掛ける。④反転機で方向を変える。

(上記、②～④を繰り返していく。)

- ・発生源:溶接、サンダー作業位置である
- ・作業員数:1名
- *呼吸用保護具着用:使い捨て式防じんマスク(モルデックス4600DS2)、溶接面(ヘルメットタイプ)使用
- *①の作業時、ステンレス板をハンマーでたたき型を整える際はイヤーマフを着用していた。

[設備、排気装置の稼働状況]

- ・局所排気装置等:フレキシブルダクト1台稼働
- ・ロボット溶接場の天井にあるフード付換気扇1台稼働

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

- ・ドア:閉、窓:閉
- ・気流の状況:無し

[作業場所の周辺からの影響]

- ・特に無し(隣室で行われていたロボット溶接作業の影響はなかった)

[特記事項]

- ・特に無し



個人サンプラー装着状況 正面および背面

○個人ばく露測定

溶接作業従事者6名の個人ばく露濃度測定結果(粉じん)を表4に示す。

個人ばく露測定では、吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は、実施者6名とも1mg/m³(日本産業衛生学会の(第2種粉じん:酸化鉄)許容濃度)以下、吸入性マンガン(時間加重平均濃度)は6名のうち1名(測定2回のうち1回)が0.05mg/m³(溶接ヒュームの気中濃度の基準値)を超え、吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は6名のうち1名が0.02mg/m³(ACGIHのTLV-TWA(ばく露限界値))を超えた。(表4)。

表4 個人ばく露濃度測定結果

NO	時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)	8時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)*	時間加重平均 吸入性マンガン濃度 (mg/m ³)**	8時間加重平均 吸入性マンガン濃度 (mg/m ³)***
H-1	0.73147	0.49069	0.04561	0.03059
H-2	0.39894	0.26181	0.01323	0.00868
H-3	1.32542	0.22090	0.10548	0.01758
H-4	0.12667	0.05146	<0.005 (0.0013)	<0.002 (0.0005)
H-5	0.05895	0.02812	<0.005 (0.0001)	<0.002 (0.00007)
H-6	0.07348	0.01424	<0.005 (0.0016)	<0.002 (0.0003)

*日本産業衛生学会:許容濃度(第2種粉じん)酸化鉄 1mg/m³

**金属アーク溶接等作業における溶接ヒュームの気中濃度の基準値(Mnとして) 0.05mg/m³

***米国産業衛生専門家会議(ACGIH)ばく露限界値(2013年設定) 0.02mg/m³

○マスク要求防護係数

各溶接作業従事者の要求防護係数等を表5に示す。溶接作業従事者の要求防護係数は指定防護係数を上回るものは1名もいなかった。

表5 各溶接従事者作業者の指定防護係数と各要求防護係数

対象者	マスクメーカー	品番	指定防護係数	要求防護係数
H-1	モルデックス	4600DS2	10	0.9
H-2	モルデックス	4600DS2	10	0.9
H-3	モルデックス	4600DS2	10	2.1
H-4	モルデックス	4600DS2	10	0.1
H-5	モルデックス	4600DS2	10	0.1
H-6	モルデックス	4600DS2	10	0.1

《マスクフィットテスト》

溶接作業従事者に、労研式マスクフィッティングテスターMT-05U型を用いて、定量的フィットテスト(JIS T8150:2021)を行った。その結果を表1に示す。また1回目、2回目のFAIL、PASSの割合を図1、図2に示す。1回目にFAILとなった溶接作業従事者に正しい装着方法の説明・指導を行い2回目を行ったところ、1回目FAILであった5名のうち4名がPASSした。

表1 マスクフィットテスト結果

対象者	1回目	2回目
H-1	FAIL	PASS
H-2	PASS	
H-3	FAIL	FAIL
H-4	FAIL	PASS
H-5	FAIL	PASS
H-6	FAIL	PASS
PASS 合計	1	4

図1 マスクフィットテスト1回目(n=6)

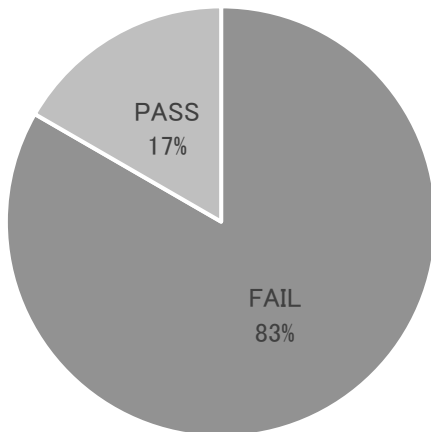
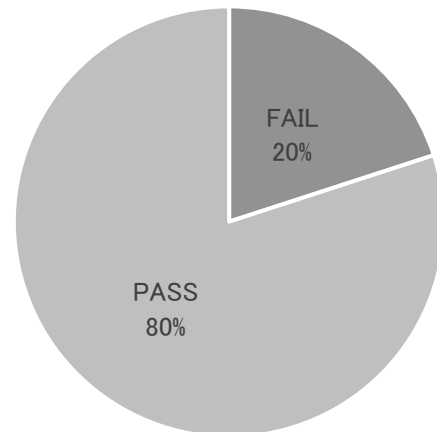


図2 マスクフィットテスト2回目(n=5)



マスクフィットテスト

事業所 D(建築工事業等)

調査日:コントロール群 2021年5月27日(木)~28日(金)

溶接作業従事者群 2021年7月1日(木)~2日(金)

健康影響に関する調査

<質問票調査>

対象者の溶接作業従事者とコントロールの人数と性別を示す(表1)。

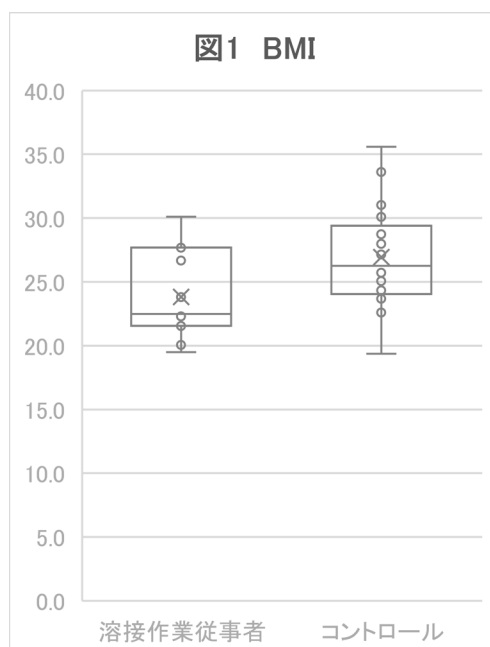
表1 対象者

	男(人)
溶接作業従事者	15
コントロール	17

年齢、BMI、溶接業務従事年数の基本情報を示す(表2)。BMIを箱ひげ図(Excel「包括的な中央値」を採用)にて示す(図1)。

表2 対象者背景:基本情報

	溶接作業従事者(n=15)		コントロール(n=17)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	50.2	15.1	47.5	11.9
BMI	23.8	3.4	26.9	4.0
溶接業務従事年数	28.0	18.3	.	.

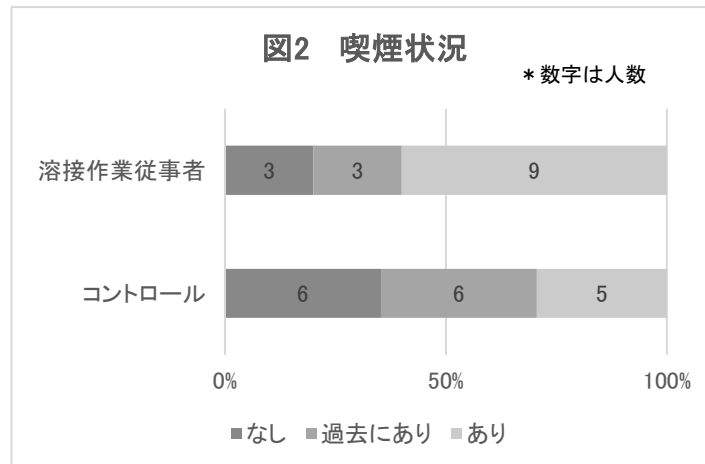


年齢およびBMIにおいて溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Mann-Whitney U test)。

○生活習慣

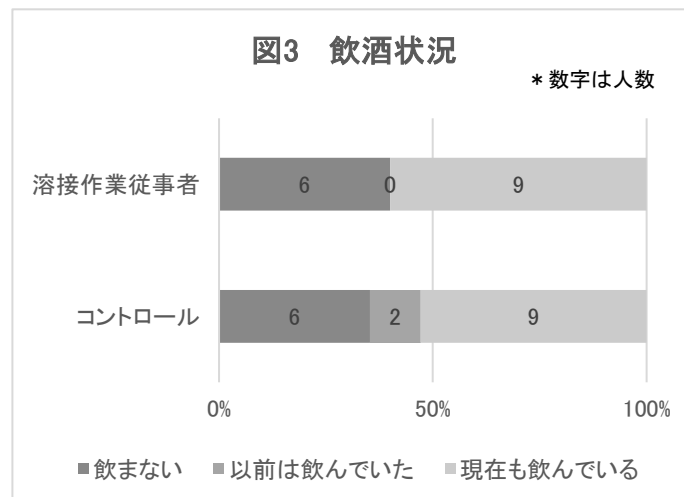
・喫煙状況

溶接作業従事者群の60.0%(9名)、コントロール群の29.4%(5名)が現在喫煙者であった(図2)。



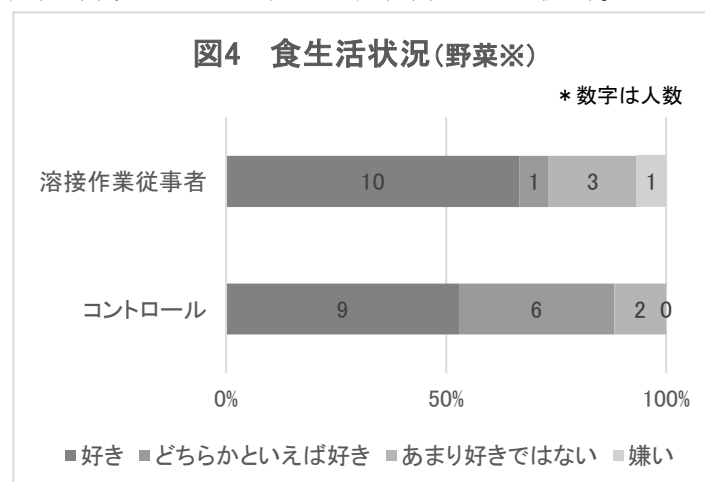
・飲酒状況

「現在も飲んでいる」と回答した割合は、溶接作業従事者群は60.0%(9名)、コントロール群は52.9%(9名)(図3)。



・食生活状況(マンガンを多く含む野菜が「好き」との回答)

溶接作業従事者群で66.7%(10名)、コントロール群で52.9%(9名)であった(図4)。

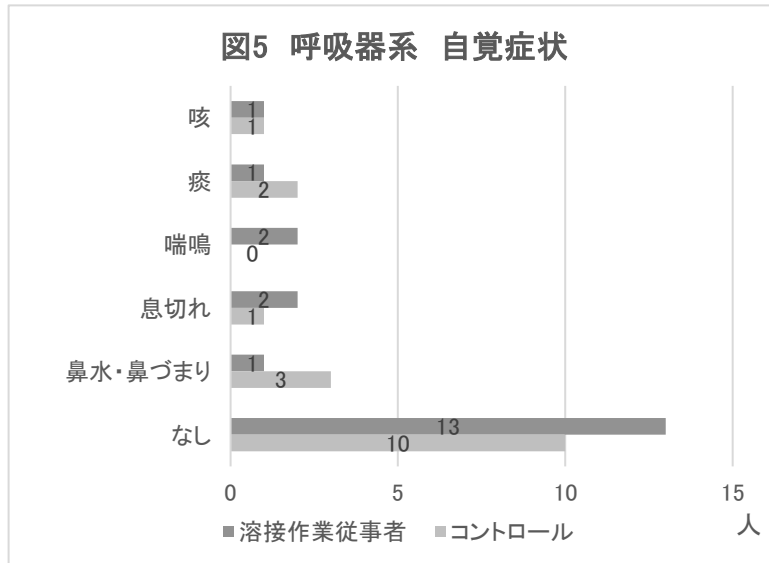


喫煙状況、飲酒状況、食生活状況(野菜)において、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher検定)。

○自覚症状・既往症

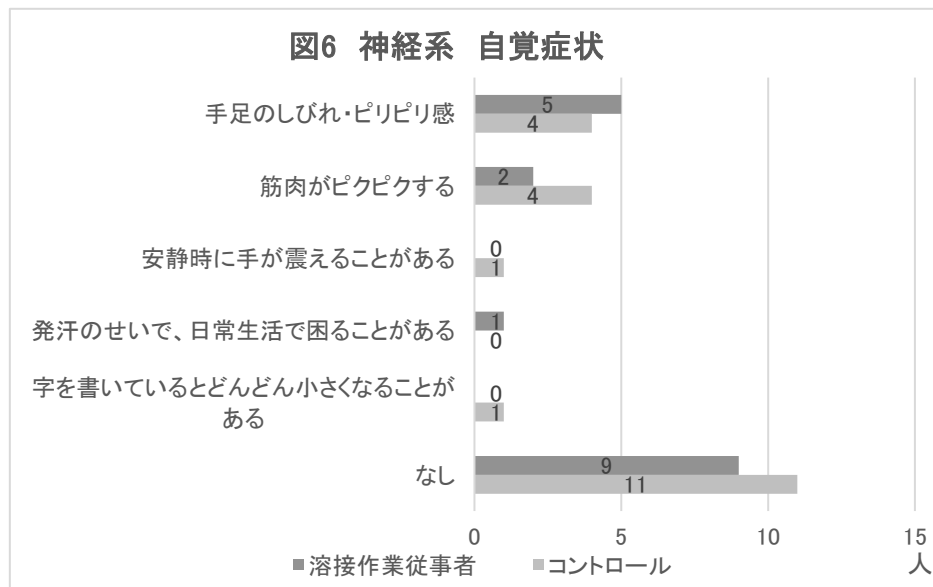
・呼吸器系(咳、痰、喘鳴、息切れ、鼻水・鼻づまり症状)の自覚症状

溶接作業従事者群に鼻水・鼻づまり(3名)、痰(2名)、咳(1名)、息切れ(1名)、コントロール群は鼻水・鼻づまり(1名)、痰(1名)、咳(1名)、息切れ(2名)の回答があった(図5)。



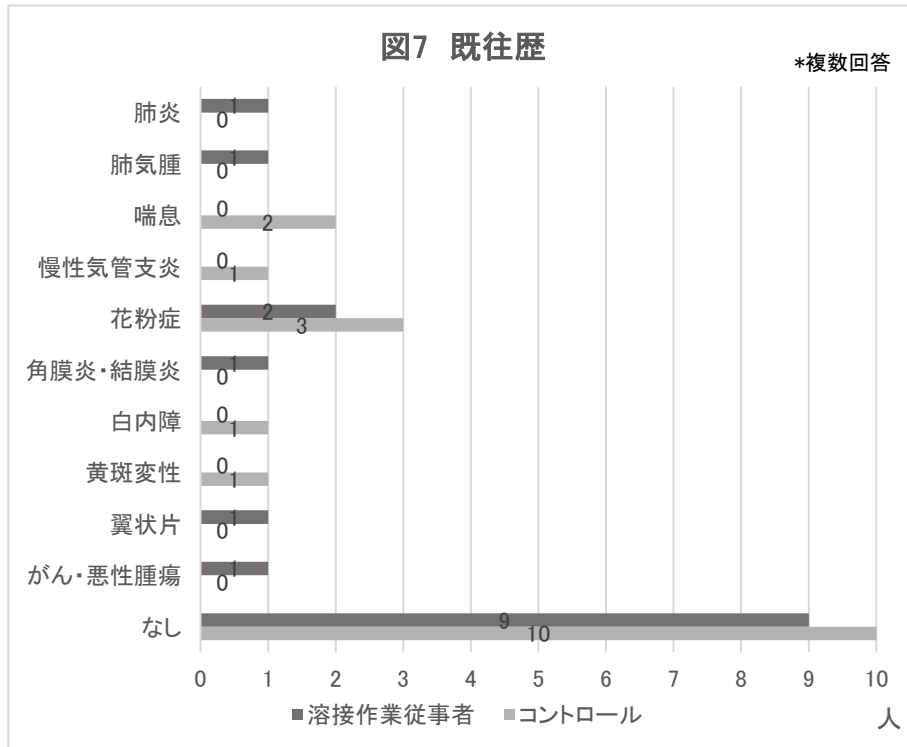
・神経系の自覚症状

溶接作業従事者群では手足のしびれ・ピリピリ感(5名)、筋肉がピクピクする(2名)、発汗のせいで、日常生活で困ることがある(1名)、コントロール群では手足のしびれ・ピリピリ感(4名)、筋肉がピクピクする(4名)、安静時に手が震えることがある(1名)、字を書いているとどんどん小さくなることがある(1名)の回答があった(図6)



・既往歴

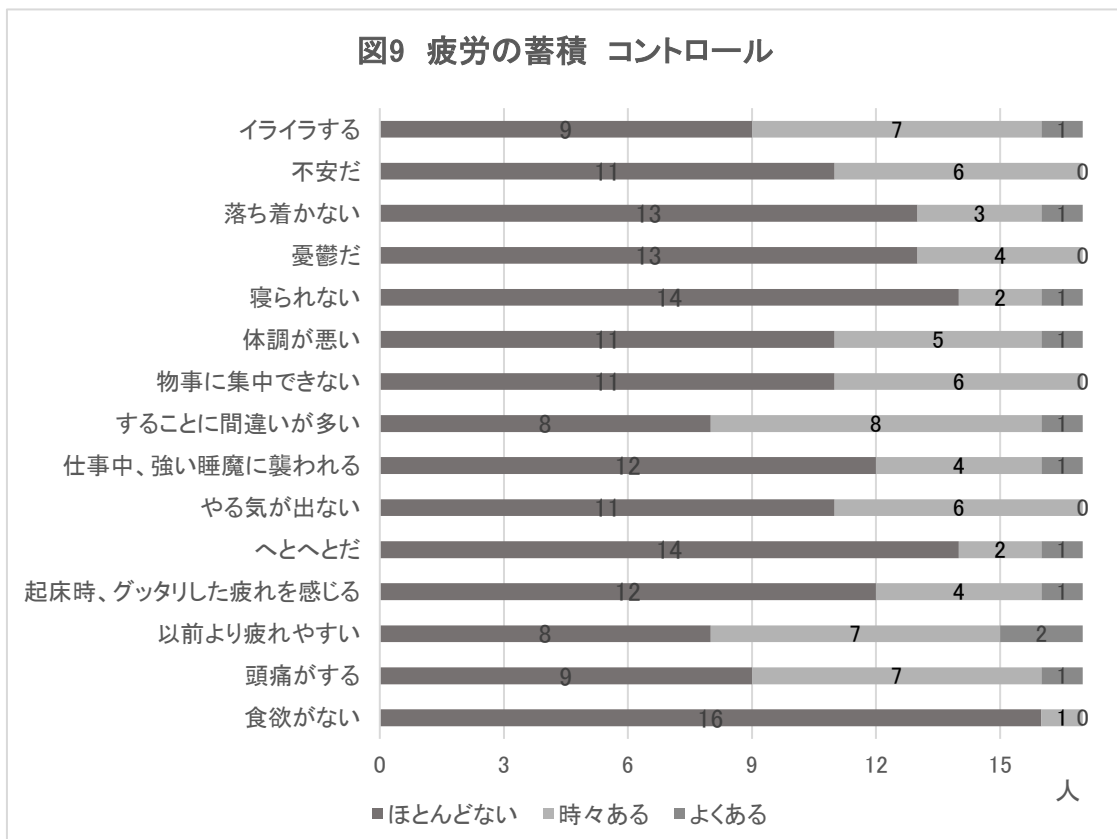
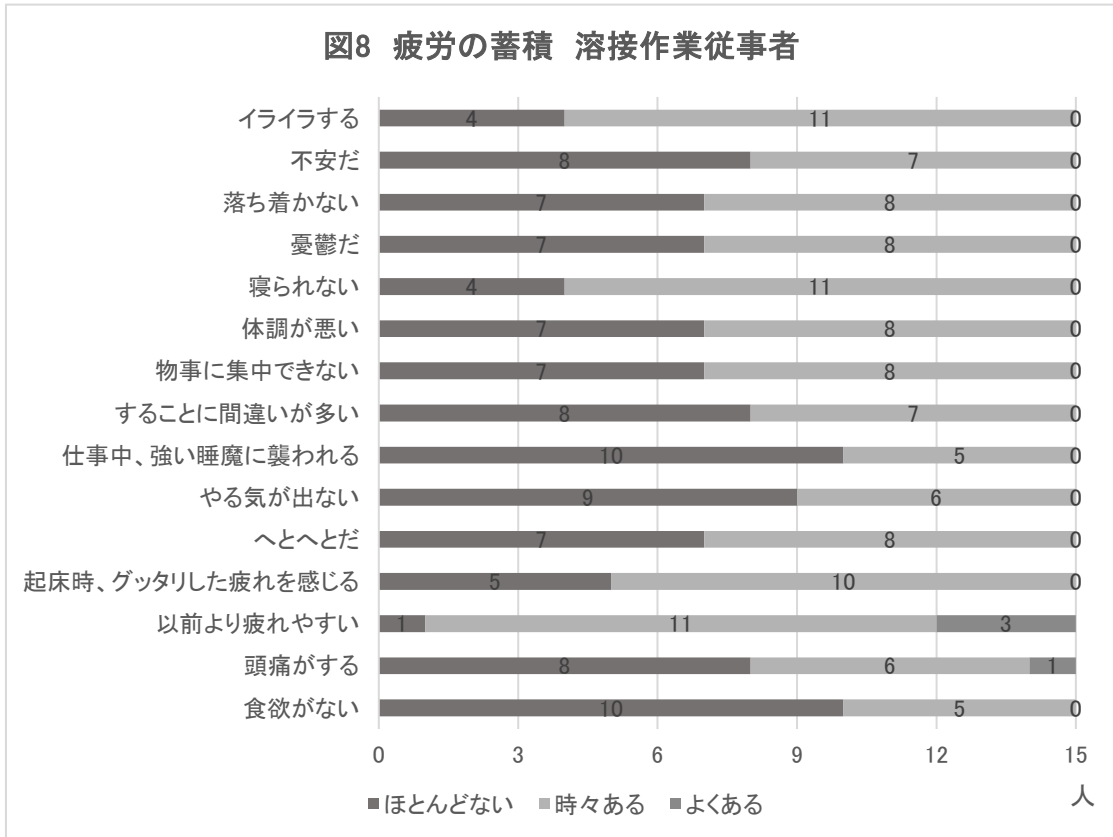
溶接作業従事者群では花粉症(2名)、角膜炎・結膜炎(1名)、肺気腫(1名)、がん・悪性腫瘍(1名)、肺炎(1名)、コントロール群では花粉症(3名)、喘息(2名)、慢性気管支炎(1名)、白内障(1名)、黄斑変性(1名)の回答を認めた(図7)。



コロナ対策を行った調査会場全体

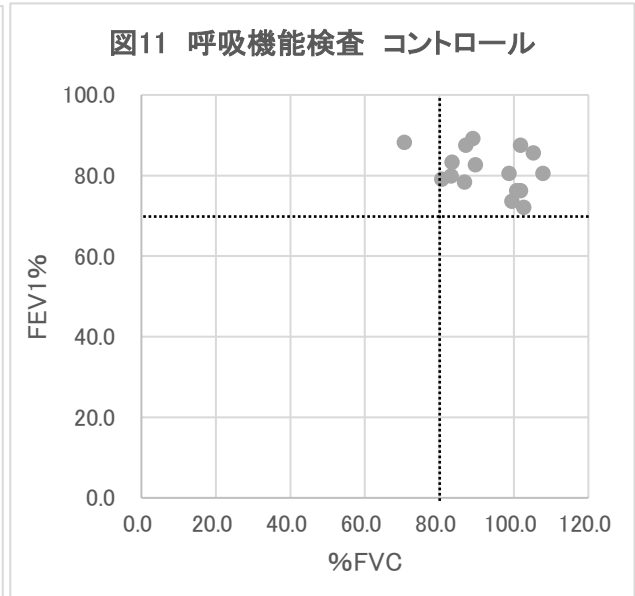
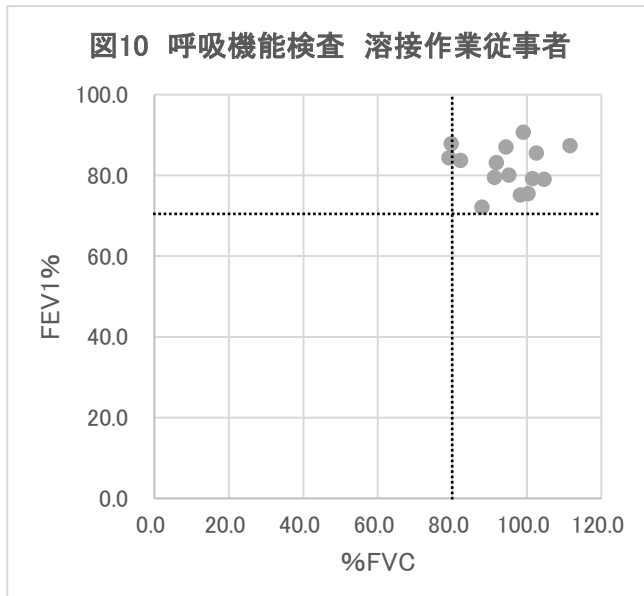
○疲労の蓄積

溶接作業従事者群は図8、コントロールは図9に示す。いずれの項目も溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。



<呼吸機能検査>

呼吸機能検査は%肺活量(%FVC)および一秒率(FEV1.0%)を評価対象とした。それぞれの基準値(%FVC:80%、FEV1.0%:70%)を超えるかどうかを評価した(図 10, 11)。



受付



採血

<神経学的検査>

○タッピング

利き手と非利き手の示指 30 秒間の合計数を用い、Mann-Whitney U test にて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差が認められた(表 3、4)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 12、13)。

表 3 タッピング 利き手

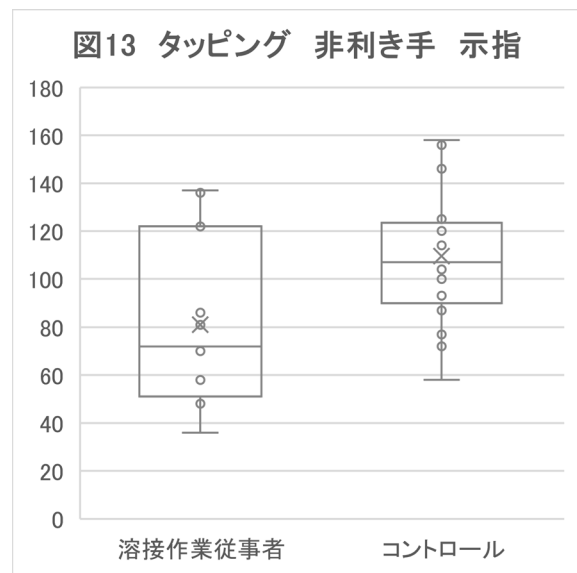
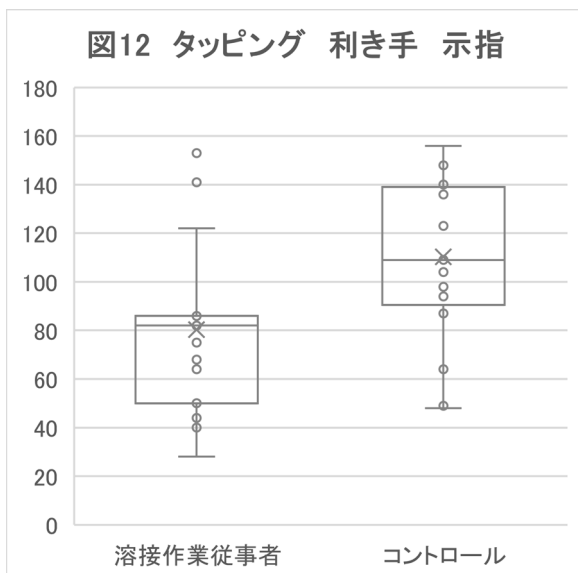
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	28.0	57.0	82.0	86.0	153.0	0.018
コントロール	48.0	94.0	109.0	138.0	156.0	

(Mann-Whitney U test)

表 4 タッピング 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	36.0	54.5	72.0	104.5	137.0	0.013
コントロール	58.0	93.0	107.0	122.0	158.0	

(Mann-Whitney U test)



タッピング

○握力

利き手と非利き手の握力を2回測定した合計数を用いMann-Whitney U testにて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差は認められなかった(表 5、6)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 14、15)。

表 5 握力 利き手

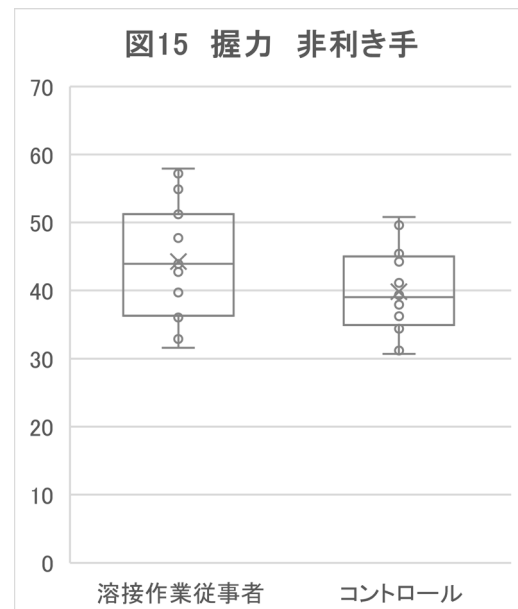
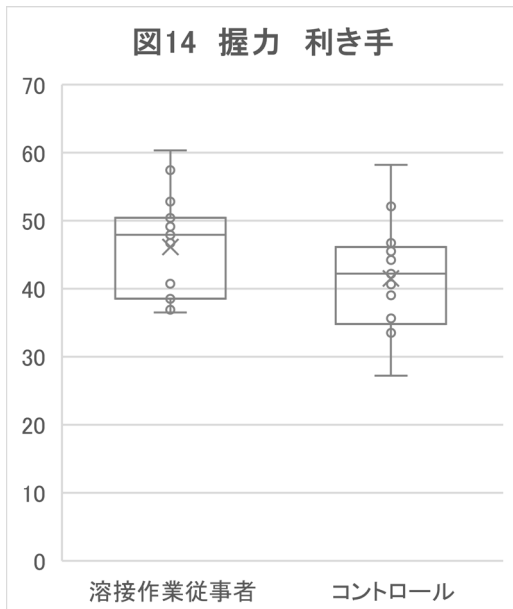
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	36.5	39.0	47.9	50.1	60.3	0.093
コントロール	27.2	35.6	42.2	45.5	58.2	

(Mann-Whitney U test)

表 6 握力 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	31.6	38.0	43.9	49.5	57.9	0.180
コントロール	30.7	35.0	39.0	44.6	50.8	

(Mann-Whitney U test)



握 力

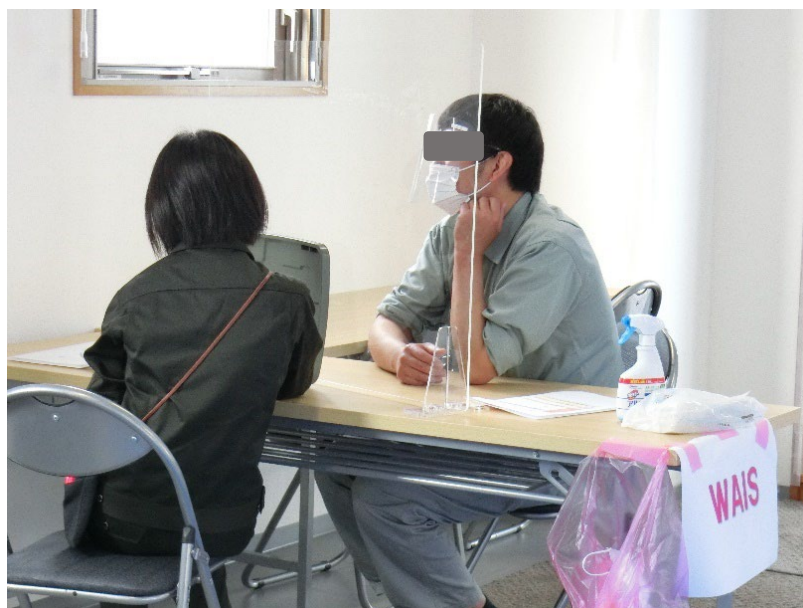
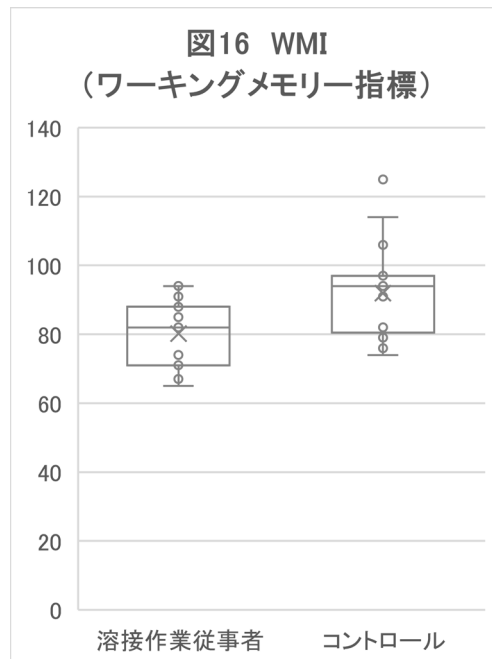
OWAIS-IV WMI(Working Memory Index:ワーキングメモリー指標)

「数唱」「算数」の評価点合計に基づいて得点化している。Mann-Whitney U test では、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差が認められた($p=0.018$) (表 7)。溶接作業従事者群とコントロール群を箱ひげ図にて示す (図 16)

表 7 WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー指標)

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	65	71	82	88	94	0.018
コントロール	74	82	94	97	125	

(Mann-Whitney U test)



WAIS-IV

＜溶接ヒュームの濃度測定＞

1) 作業環境測定基準および個人サンプラーを用いた測定

● 作業環境測定のデザイン

● 作業環境測定のデザイン

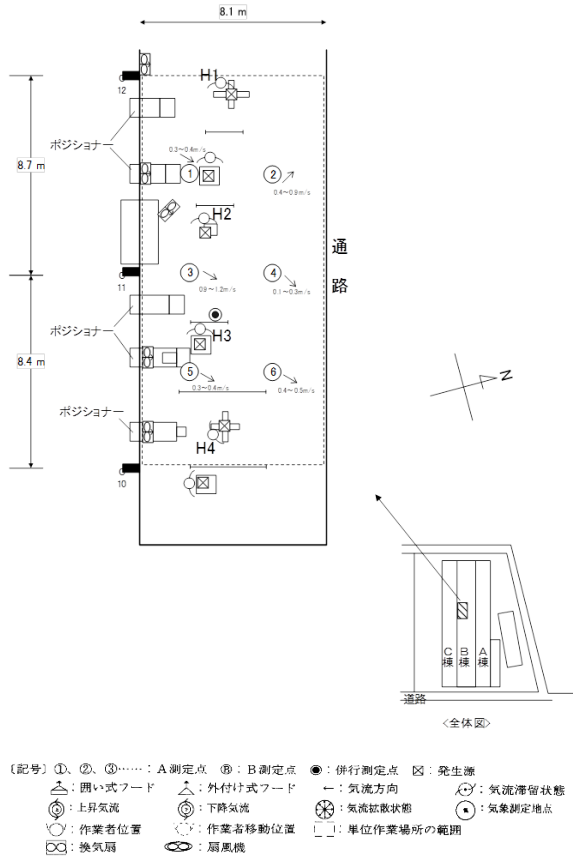


図1 デザイン

* サンプルング実施時に当該単位作業場所で行われていた作業、設備の稼働状況等及び測定値に影響を及ぼしたと考えられる事項の概要

〔作業工程と発生源及び作業員数〕

作業工程：本溶接作業

部材の搬入～位置決め～本溶接溶接、ハンドグラインダー研磨～部材の搬出(この作業を繰り返す)

発生源：溶接、ハンドグラインダー研磨の作業位置である

作業員：5名(うち4名が個人ばく露測定対象者、H1、H2、H3、H4)

(呼吸用保護具着用(取替え式防じんマスク、興研 サカキ式 1005RR-05 区分:RL2)、溶接面使用)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・全体換気装置：無

・局所排気装置等：無

・換気扇：5台稼働

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・ドア、シャッター：無

・窓：無

・気流の状況：送風機により、C棟側からA棟側への気流がみられた(図面参照)。

〔当該単位作業場所の周辺からの影響〕

特になし

〔各測定点に関する特記事項〕

特になし

併行測定点 気温 34.5°C 湿度 49%

気流 0.1~1.2m/s

外気条件 気温 28.2°C 湿度 60%

曇り (10:26)

表1 A 測定データ

No.	測定方法	相対濃度(cpm)		吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)		吸引性粉じん濃度 (mg/m ³)	
1			101		0.82		1.62
2			94		0.76		1.50
3			135		1.09		2.16
4			137		1.11		2.19
5			76		0.62		1.22
6			78		0.63		1.25
7			以下余白		以下余白		以下余白

表2 吸入性粉じん濃度測定 作業環境測定結果

幾何平均値	M1 = 0.82 mg/m ³	M2 = — mg/m ³	M = 0.82 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 1.29	σ2 = —	σ = 2.04
第1評価値	EA1 = 2.64 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 1.05 mg/m ³		
管理濃度	3.0mg/m ³		
評価	A 測定	区分 1	
	評価結果	第 1 管理区分	

表3 吸引性粉じん濃度測定 作業環境測定結果

幾何平均値	M1 = 1.61 mg/m ³	M2 = — mg/m ³	M1 = 1.61 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 1.29	σ2 = —	σ = 2.04
第1評価値	EA1 = 5.22 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 2.08 mg/m ³		

2) 個人サンプラーを用いた測定

H-1, H-2, H-3, H-4, H-5: 測定場所 仕口溶接場(図1)

[作業工程と発生源及び労働者数]

- ・作業工程: 鉄骨製品の本溶接作業
部材を準備する～位置決め～溶接～(場合によって
スパッタ除去)～クレーンで移動させる。

(上記、この作業を繰り返す)

- ・発生源: 溶接作業、スパッタ除去作業位置である
- ・作業人数: 6名(うち5名が個人ばく露測定対象者)

*呼吸用保護具着用 サカキ式防じんマスク
1005RR-05 型(興研株式会社)

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

- ・ドア、シャッター、窓: 周辺になし
- ・気流の状況: 作業場では扇風機が稼働しており、気流はあったと考えられる。

[作業場所の周辺からの影響]

- ・隣接する作業場で行われている溶接作業からの発
じんの影響があったと考えられる。

[設備、排気装置の稼働状況]

- ・天井ファン: 有
- ・局所排気装置等: 無
- ・換気扇: 5台稼働

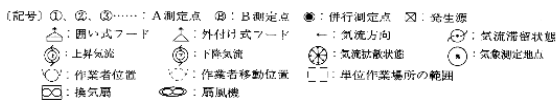
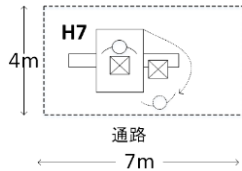
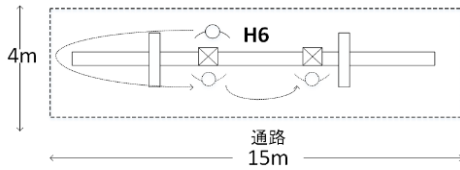
[特記事項]

- ・特に無し



個人サンプラー装着状況

H-6, H-7: 測定場所 大組溶接場(図2)



〔作業工程と発生源及び労働者数〕

- ・作業工程: 鉄骨製品の本溶接作業
部材を準備する～溶接位置決め～溶接～(場合によってガウジング、グラインダー)～クレーンで移動させる。
(上記、この作業を繰り返す)

- ・発生源: 溶接作業、ガウジング作業、グラインダー作業位置である

- ・作業者数: 2名

*呼吸用保護具着用 サカキ式防じんマスク

1005RR-05 型(興研株式会社)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

- ・天井ファン: 有

- ・局所排気装置等: 無

- ・換気扇: 無

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

- ・ドア、シャッター、窓: 周辺になし

- ・気流の状況: 近接する作業場によっては扇風機が稼働しており、気流はあったと考えられる。

〔作業場所の周辺からの影響〕

- ・隣接する作業場で行われている溶接作業からの発じんの影響があったと考えられる。

〔特記事項〕

- ・特に無し

H-8, H-9, H-10: 測定場所 梁溶接場(図3)

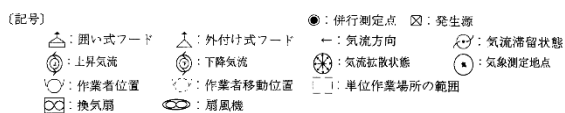
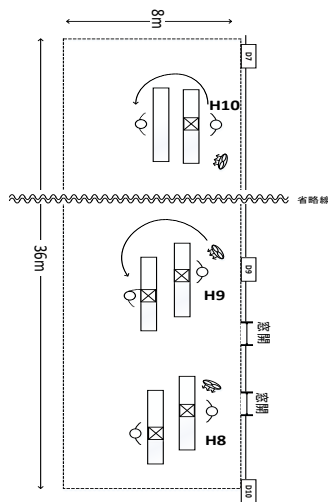


図3 デザイン

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

- ・作業工程: 鉄骨製品の本溶接作業
部材を準備する～溶接位置決め～溶接～(場合によってスパッタ除去)～クレーンで移動させる。

(上記、この作業を繰り返す)

- ・発生源: 溶接作業、スパッタ除去作業位置である

- ・作業者数: 4名(うち3名が個人ばく露対象者)

*呼吸用保護具着用 サカキ式防じんマスク

1005RR-05 型(興研株式会社)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

- ・天井ファン: 有

- ・局所排気装置等: 無

- ・扇風機: 3台稼働

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

- ・ドア、シャッター: 周辺になし

- ・窓: 作業員 H8、H9 の作業位置近くの窓は開いていた。

- ・気流の状況: 各作業員の近くでは扇風機が稼働しており、気流はあったと考えられる。

〔作業場所の周辺からの影響〕

- ・隣接する作業場で行われている溶接作業からの発じんの影響があったと考えられる。

〔特記事項〕

- ・特に無し

H-11, H-12: 測定場所 C棟組立場(図4)

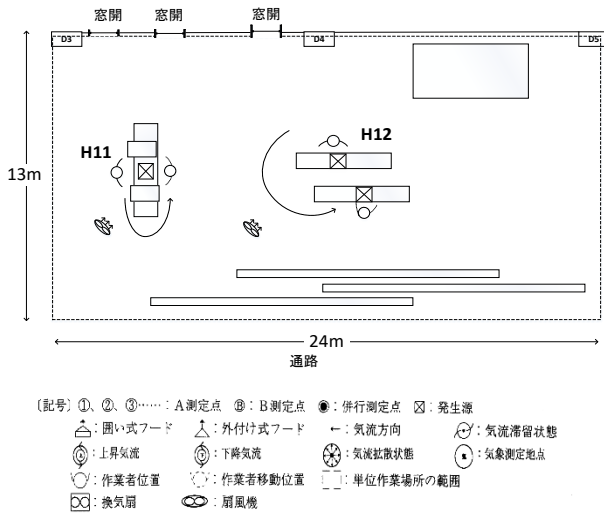


図4 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

- 作業工程: 鉄骨製品の組立溶接作業
部材を準備する～溶接位置決め～組立溶接作業～
クレーンで移動させる。
(上記、この作業を繰り返す)

- 発生源: 溶接作業位置である
- 作業員数: 2名
- *呼吸用保護具着用 サカキ式防じんマスク
1005RR-05型(興研株式会社)
[設備、排気装置の稼働状況]
- 天井ファン: 有
- 局所排気装置等: 無
- 扇風機: 2台稼働
[ドア、窓の開閉、気流の状況]
- ドア、シャッター: 周辺になし

- 窓: 開
- 気流の状況: 窓からの風の流入が確認できた。
また、各作業員の近くでは扇風機が稼働しており気流はあったと考えられる。

[作業場所の周辺からの影響]

- 隣接する作業場で行われている溶接作業からの発
じんの影響があったと考えられる。
[特記事項]
- 特に無し

H-13, H-14, H-15: 測定場所 梁組立溶接場, 仕口組立溶接場(図5)

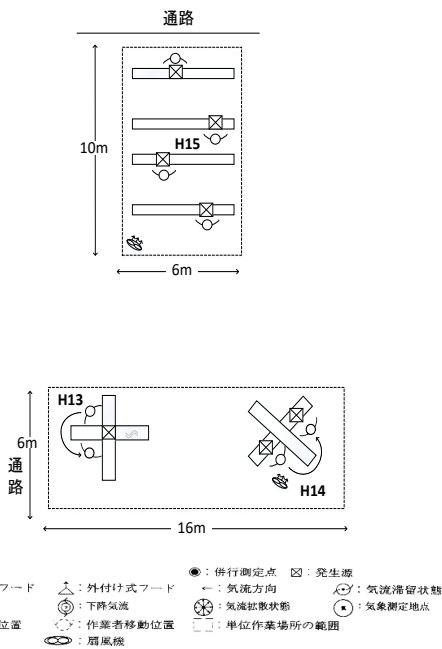


図5 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

- 作業工程: 鉄骨製品の溶接作業
部材を準備する～溶接位置決め～組立溶接作業～
クレーンで移動させる。

(上記、この作業を繰り返す)

- 発生源: 仮付溶接作業、組立溶接作業位置である
- 作業員数: 6名(うち3名が個人ばく露対象者)
- *呼吸用保護具着用 サカキ式防じんマスク
1005RR-05型(興研株式会社)
[設備、排気装置の稼働状況]
- 天井ファン: 有
- 局所排気装置等: 無
- 扇風機: 2台稼働
[ドア、窓の開閉、気流の状況]
- ドア、シャッター、窓: 周辺になし
- 気流の状況: 各作業員の近くでは扇風機が稼働し
ており気流はあったと考えられる。
[作業場所の周辺からの影響]
- 隣接する作業場で行われている溶接作業からの発
じんの影響があったと考えられる。
[特記事項]
- 特に無し

○個人ばく露測定

溶接作業従事者15名の個人ばく露濃度測定結果(粉じん)を表4に示す。

個人ばく露測定では、吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は15名のうち7名が $1\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていた。吸入性マンガン(時間加重平均濃度)、15名のうち12名は $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 以上であった。吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)は15名のうち13名は $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていた(表4)。

表4 個人ばく露濃度測定結果

NO	時間加重平均吸入性粉じん濃度 (mg/m^3)	8時間加重平均吸入性粉じん濃度 (mg/m^3)*	時間加重平均吸入性マンガン濃度 (mg/m^3)**	8時間加重平均吸入性マンガン濃度 (mg/m^3)***
H-1	8.58924	4.07989	1.18487	0.56281
H-2	3.28289	1.40891	0.43058	0.18479
H-3	6.93470	2.90391	0.91592	0.38354
H-4	4.64793	2.06252	0.57563	0.25544
H-5	0.57545	0.22419	0.06117	0.02383
H-6	0.66107	0.29335	0.06387	0.02834
H-7	5.54138	2.30891	0.60785	0.25327
H-8	4.84561	2.00891	0.65362	0.27098
H-9	12.55507	5.46669	1.44234	0.62802
H-10	1.34592	0.56641	0.18381	0.07735
H-11	0.75442	0.23419	0.08434	0.02618
H-12	0.30177	0.11002	0.02545	0.00928
H-13	0.79653	0.34682	0.04957	0.02158
H-14	0.80823	0.27446	0.09232	0.03135
H-15	0.97611	0.36807	0.04122	0.01554

*日本産業衛生学会:許容濃度(第2種粉じん)酸化鉄 $1\text{mg}/\text{m}^3$

**金属アーク溶接等作業における溶接ヒュームの気中濃度の基準値(Mnとして) $0.05\text{mg}/\text{m}^3$

***米国産業衛生専門家会議(ACGIH)ばく露限界値(2013年設定) $0.02\text{mg}/\text{m}^3$



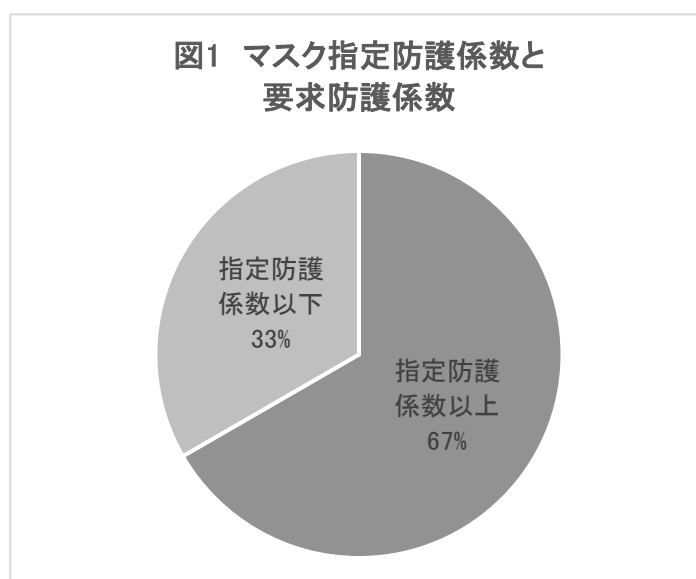
個人サンプラー

○マスク要求防護係数

各溶接作業従事者の要求防護係数等を表 5 に示す。溶接作者従事者の要求防護係数は指定防護係数を上回るものが 10 名 (67%) だった (図 1)。

表 5 各溶接従事者作業者の指定防護係数と各要求防護係数

対象者	マスクメーカー	品番	指定防護係数	要求防護係数
H-1	興研	1005RR-05	10	24
H-2	興研	1005RR-05	10	24
H-3	興研	1005RR-05	10	24
H-4	興研	1005RR-05	10	24
H-5	興研	1005RR-05	10	24
H-6	興研	1005RR-05	10	12
H-7	興研	1005RR-05	10	12
H-8	興研	1005RR-05	10	29
H-9	興研	1005RR-05	10	29
H-10	興研	1005RR-05	10	29
H-11	興研	1005RR-05	10	1.7
H-12	興研	1005RR-05	10	1.7
H-13	興研	1005RR-05	10	1.8
H-14	興研	1005RR-05	10	1.8
H-15	興研	1005RR-05	10	1.8



《マスクフィットテスト》

溶接作業従事者に、労研式マスクフィッティングテスターMT-05U型を用いて、定量的フィットテスト(JIS T8150:2021)を行った。その結果を表1に示す。また1回目、2回目のFAIL、PASSの割合を図1、図2に示す。1回目にFAILとなった溶接作業従事者に正しい装着方法を説明・指導を行ったところ、1回目FAILであった6名のうち3名がPASSした。

表1 マスクフィットテスト結果

対象者	1回目	2回目
H-1	PASS	
H-2	PASS	
H-3	FAIL	FAIL
H-4	FAIL	PASS
H-5	PASS	
H-6	PASS	
H-7	FAIL	PASS
H-8	FAIL	PASS
H-9	PASS	
H-10	FAIL	FAIL
H-11	PASS	
H-12	PASS	
H-13	PASS	
H-14	FAIL	FAIL
H-15	PASS	
PASS 合計	9	3

図1 マスクフィットテスト1回目 (n=15)

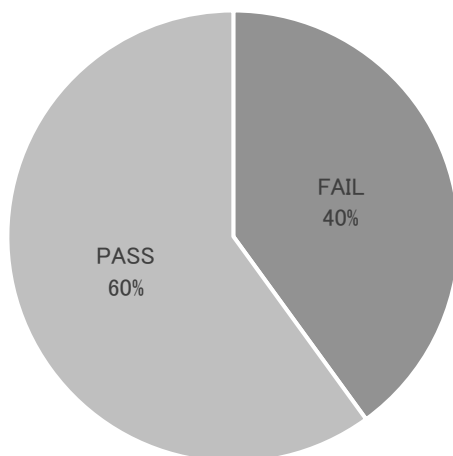
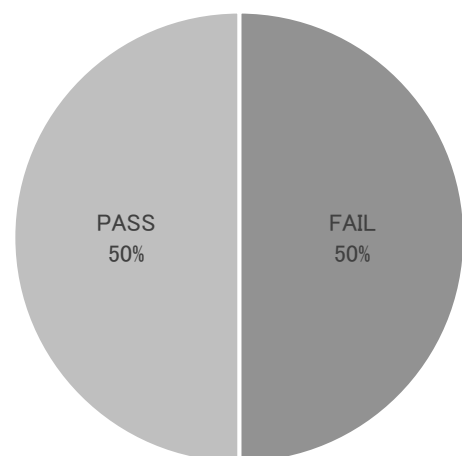
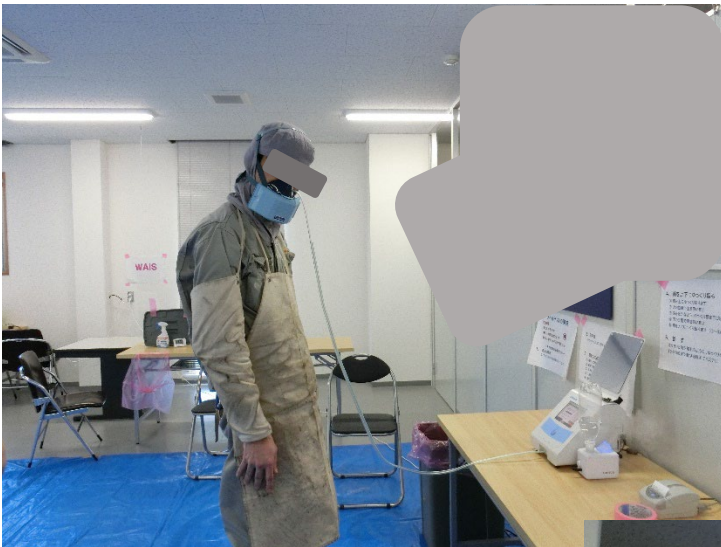


図2 マスクフィットテスト2回目 (n=6)





マスクフィットテスト

調査当時のマスクフィットテスト
興研 防じんマスク サカキ式 1005RR-05 型を使用した場合



事業所 E(建設機械関連等)

調査日:健康影響に関する調査 2021年7月8日(木)~9日(金)

フィットテスト 2021年8月26日(木)~27日(金)

健康影響に関する調査

<質問票調査>

対象者の溶接作業従事者とコントロールの人数と性別を示す(表1)。

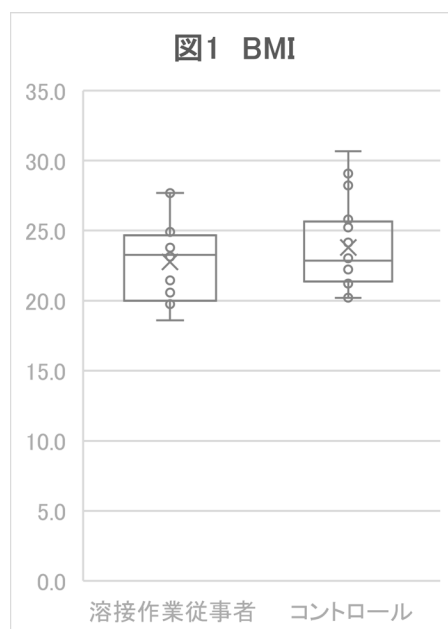
表1 対象者

	男(人)
溶接作業従事者	16
コントロール	16

年齢、BMI、溶接業務従事年数の基本情報を示す(表2)。BMIを箱ひげ図(Excel「包括的な中央値」を採用)にて示す(図1)。

表2 対象者背景:基本情報

	溶接作業従事者(n=16)		コントロール(n=16)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	31.2	9.7	31.9	9.9
BMI	22.8	2.8	23.8	3.2
溶接に従事した期間(年)	11.8	9.4	2.0	1.4

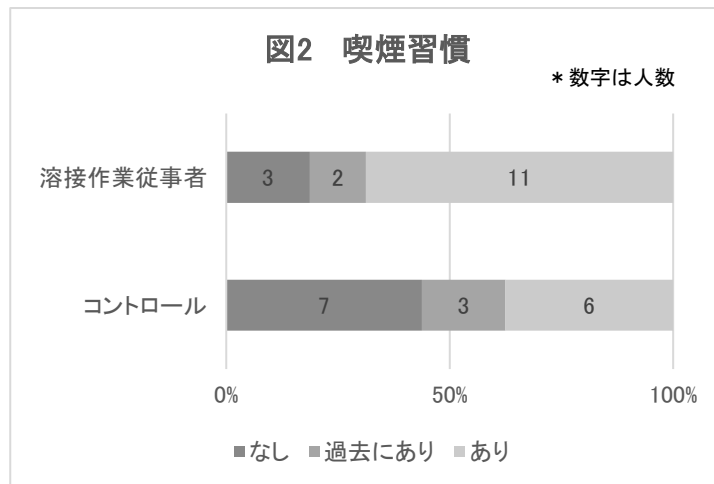


年齢およびBMIにおいて溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Mann-Whitney U test)。

○生活習慣

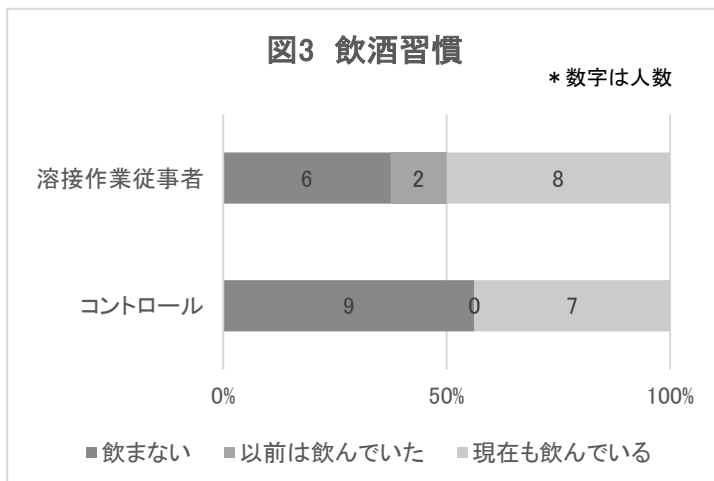
・喫煙状況

溶接作業従事者群の 68.8% (11 名)、コントロール群の 37.5% (6 名) が現在喫煙者であった (図 2)。



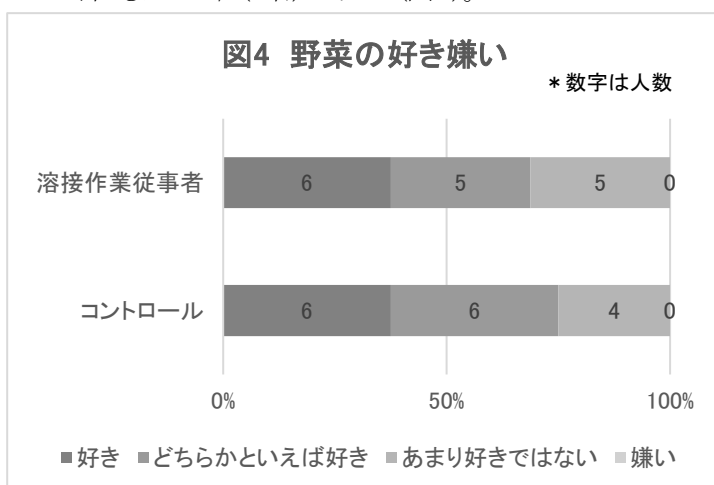
・飲酒状況

「現在も飲んでいる」と回答した割合は、溶接作業従事者群は 50.0% (8 名)、コントロール群は 43.8% (7 名) (図 3)。



・食生活状況(マンガンを多く含む野菜が「好き」との回答)

溶接作業従事者群、コントロール群ともに 37.5% (6 名) であった (図 4)。

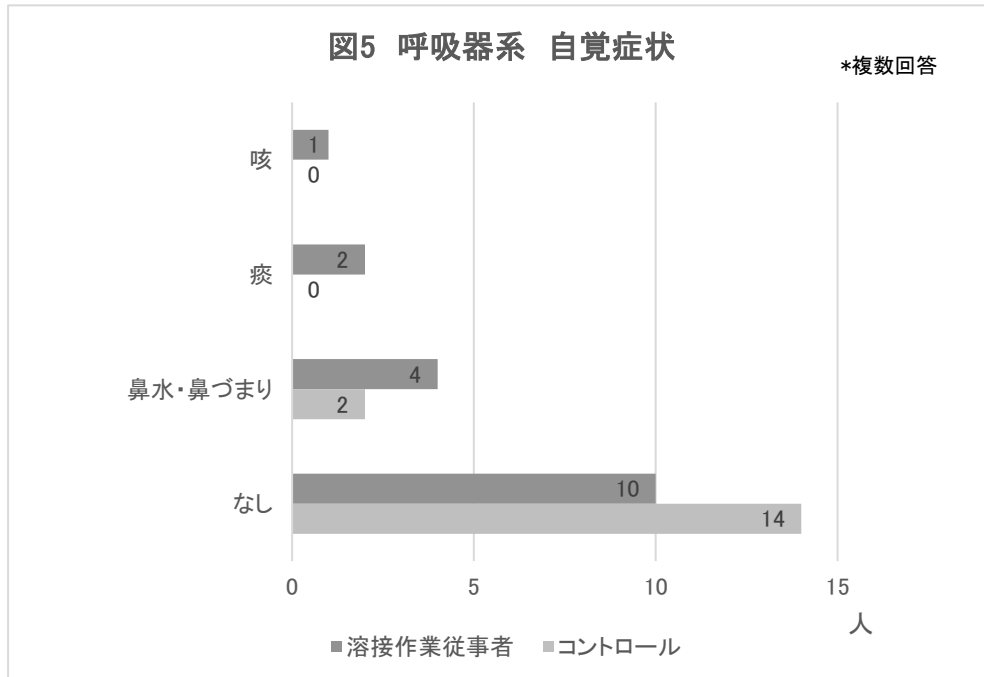


喫煙状況、飲酒状況、食生活状況(野菜)において、溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差は認められなかった (Fisher 検定)。

○自覚症状・既往症

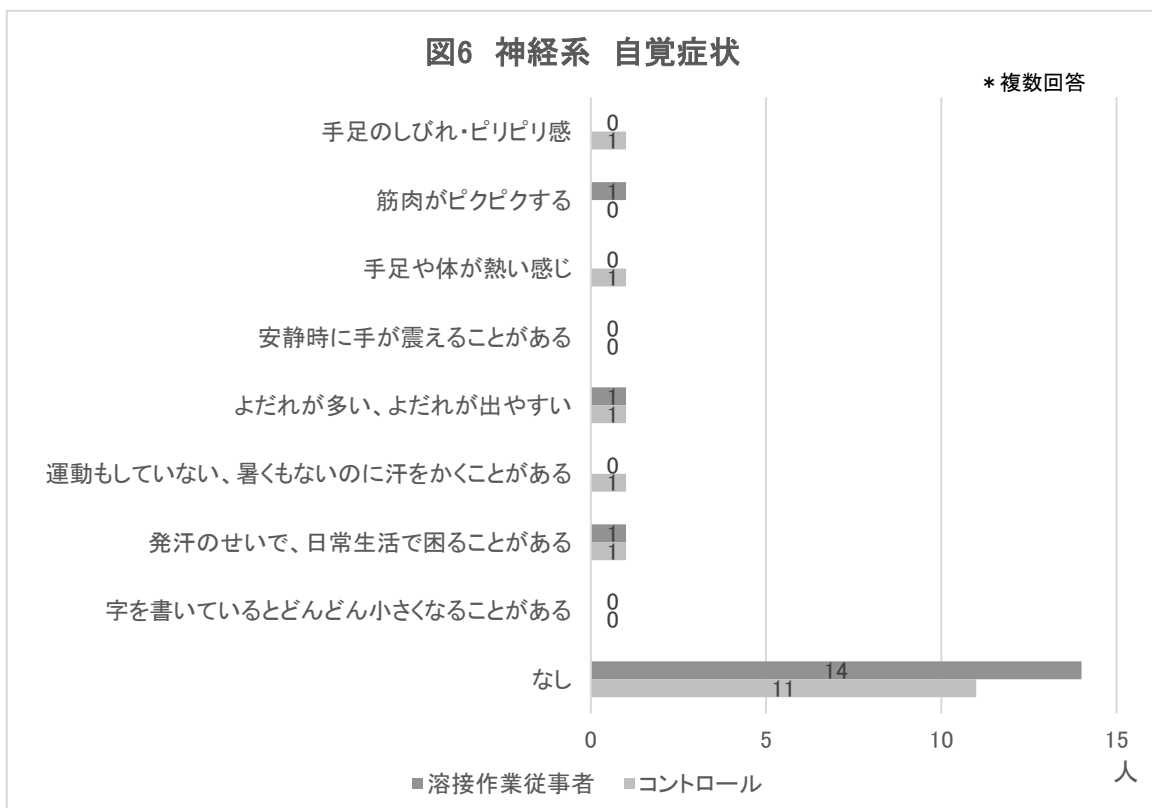
・呼吸器系(咳、痰、喘鳴、息切れ、鼻水・鼻づまり症状)の自覚症状

溶接作業従事者群に鼻水・鼻づまり(4名)、痰(2名)、咳(1名)、コントロール群は鼻水・鼻づまり(2名)の回答があった(図5)。



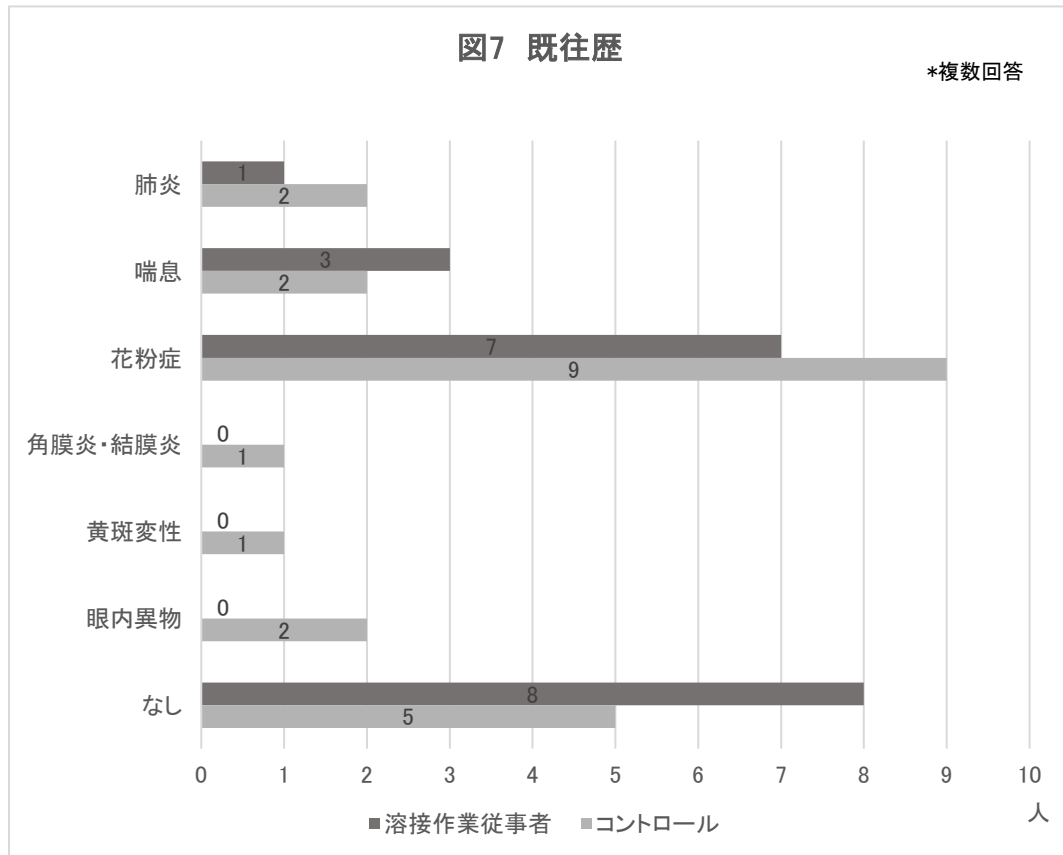
・神経系の自覚症状

溶接作業従事者群では筋肉がピクピクする(1名)、よだれが多い、よだれが出やすい(1名)、発汗のせいで、日常生活で困ることがある(1名)、コントロール群では手足のしびれ・ピリピリ感(1名)、手足や体が熱い感じ(1名)、よだれが多い、よだれが出やすい(1名)、発汗のせいで、運動もしていない、暑くもないのに汗をかくことがある(1名)、日常生活で困ることがある(1名)の回答があった(図6)

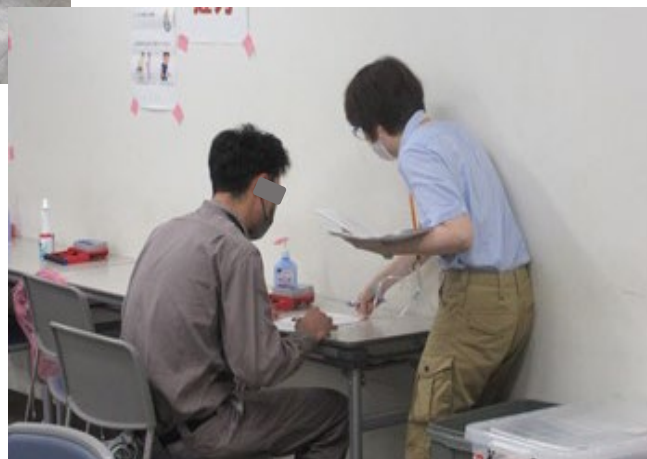


・既往歴

溶接作業従事者群では花粉症(7名)、喘息(3名)、肺炎(1名)、コントロール群では花粉症(9名)、肺炎(2名)、喘息(2名)、眼内異物(2名)、角膜炎・結膜炎(1名)、黄斑変性(1名)の回答を認めた(図7)。



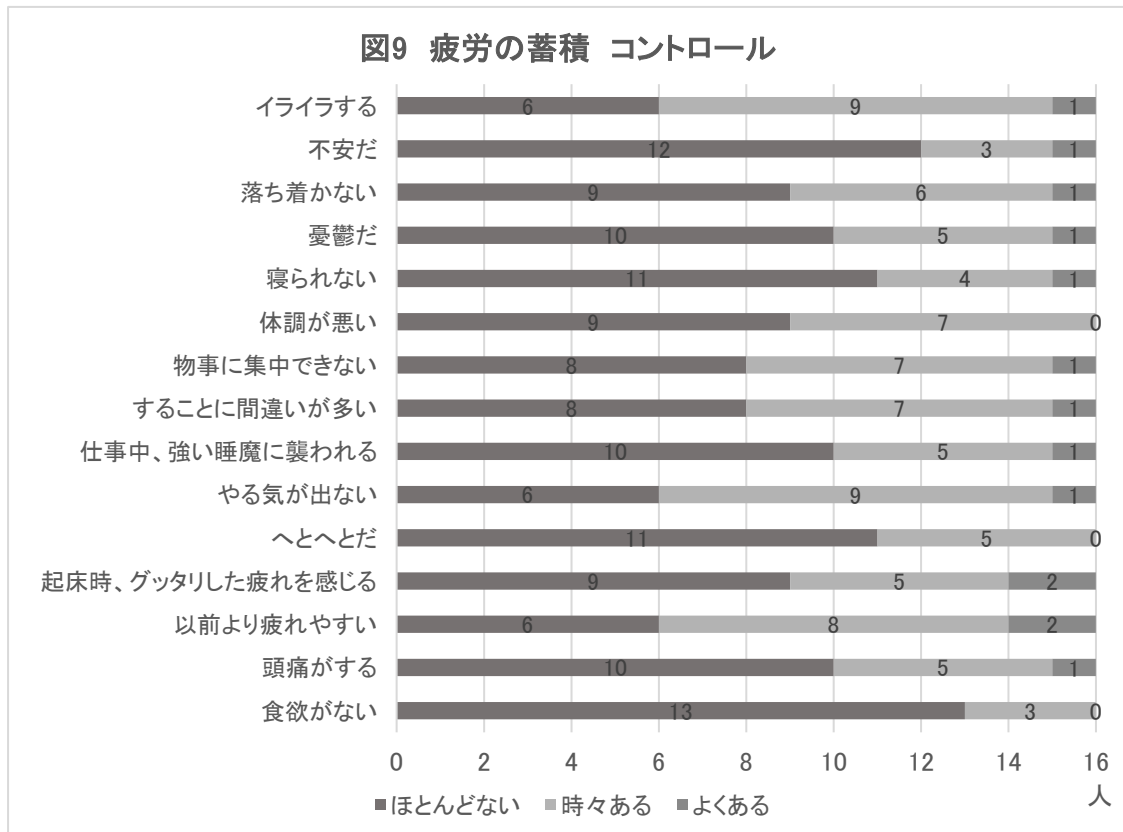
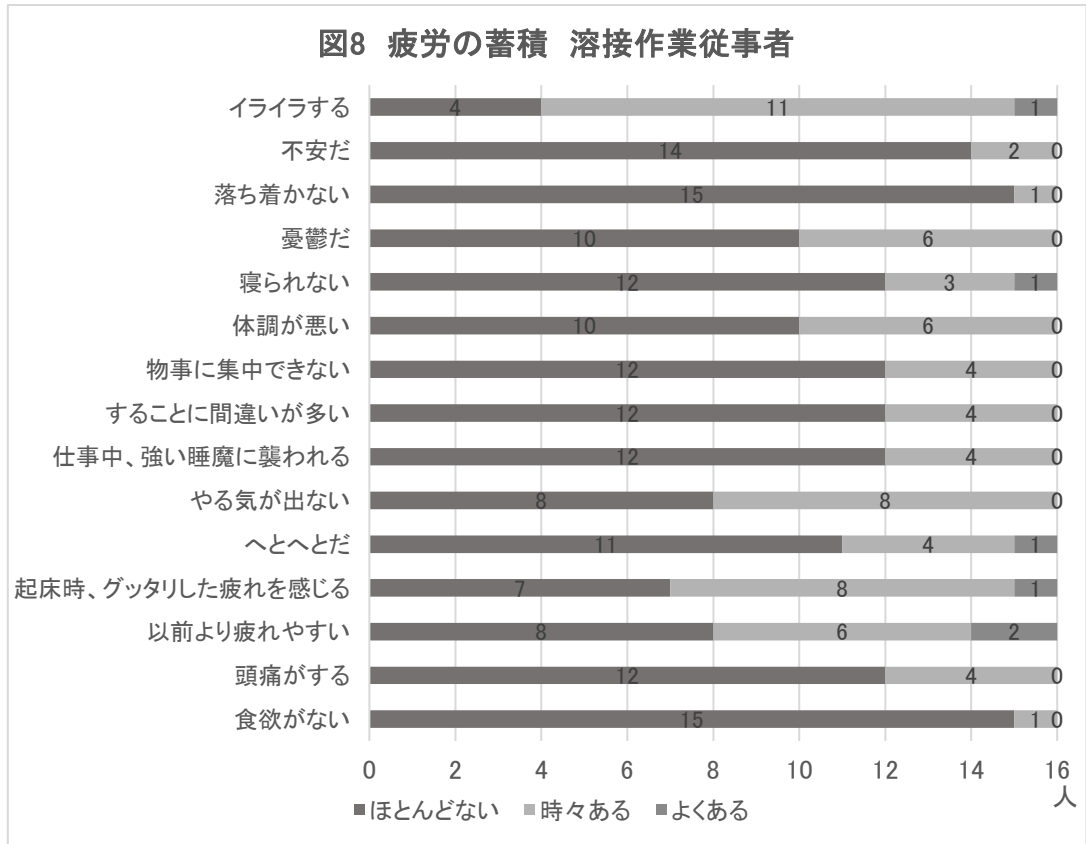
調査説明



質問票

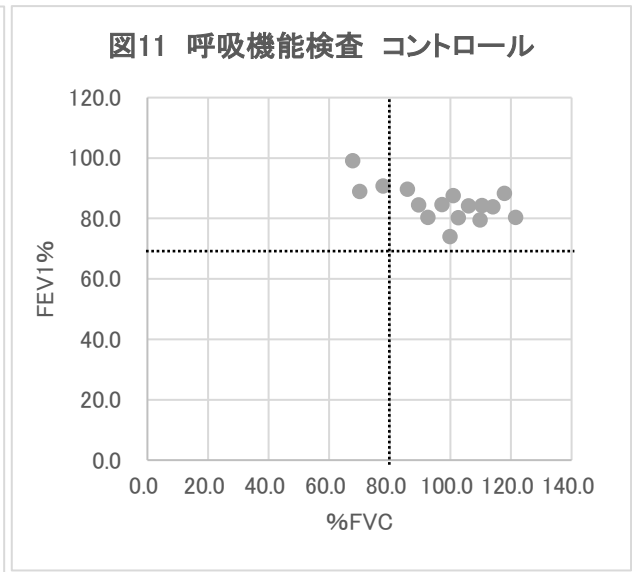
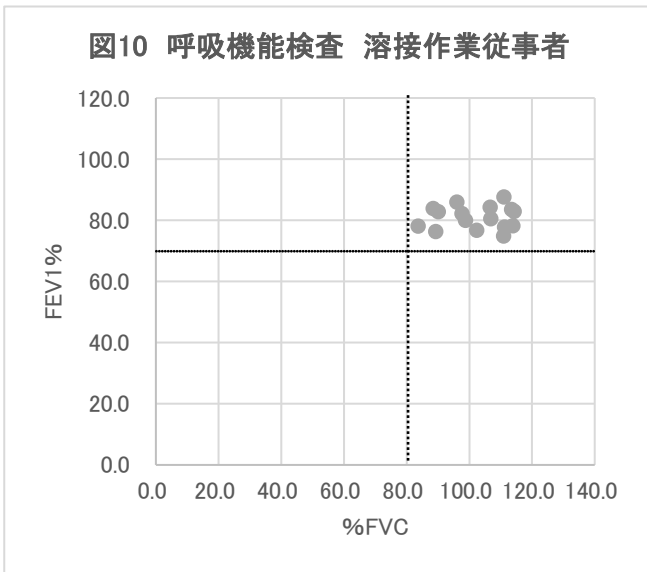
○疲労の蓄積

溶接作業従事者群は図8、コントロールは図9に示す。いずれの項目も溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。



<呼吸機能検査>

呼吸機能検査は%肺活量(%FVC)および一秒率(FEV1.0%)を評価対象とした。それぞれの基準値(%FVC:80%、FEV1.0%:70%)を超えるかどうかを評価した(図 10、11)。



呼吸機能検査



採血

<神経学的検査>

○タッピング

利き手と非利き手の示指 30 秒間の合計数を用い Mann-Whitney U test にて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差が認められなかった(表 3、4)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 12、13)。

表 3 タッピング 利き手

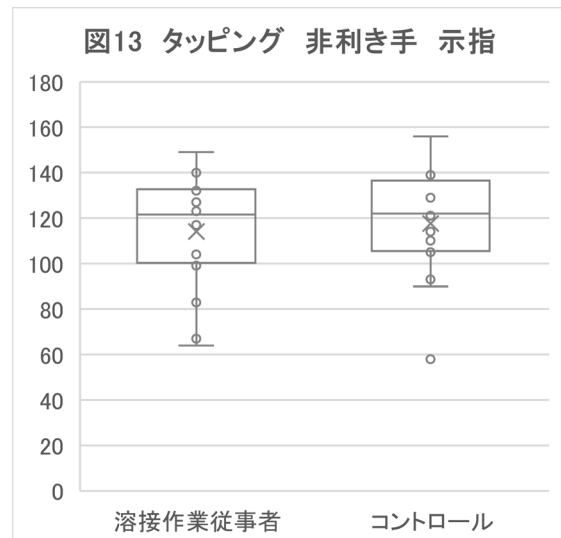
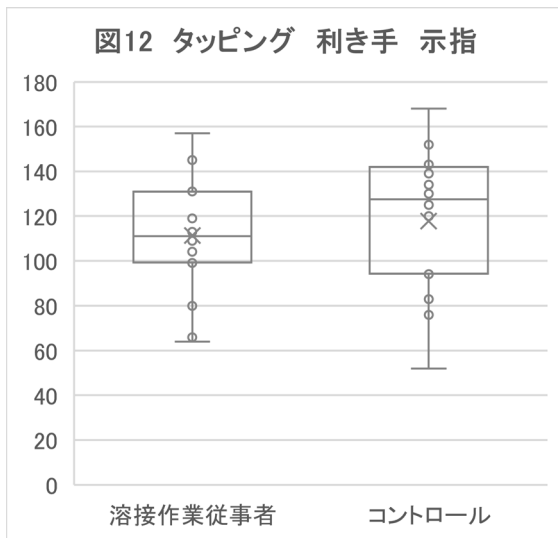
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	64.0	99.8	111.0	131.0	157.0	0.534
コントロール	52.0	94.8	127.0	139.0	168.0	

(Mann-Whitney U test)

表 4 タッピング 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	64.0	102.8	121.5	132.3	149.0	0.696
コントロール	58.0	106.5	122.0	131.5	156.0	

(Mann-Whitney U test)



調査関係者

○握力

利き手と非利き手の握力を2回測定した合計数を用い、Mann-Whitney U testにて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差は認められなかった(表 5、6)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 14、15)。

表 5 握力 利き手

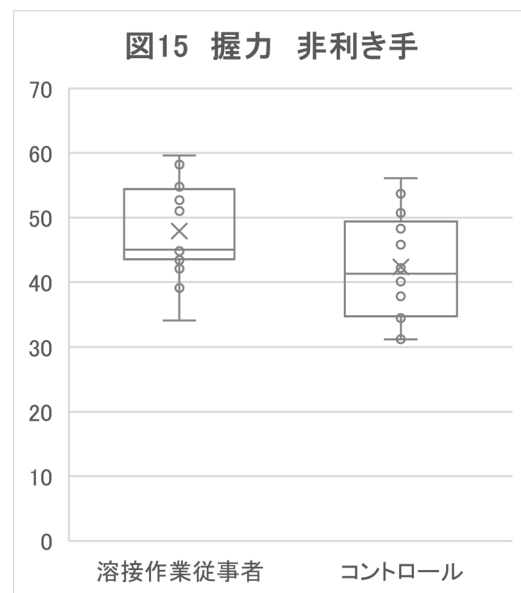
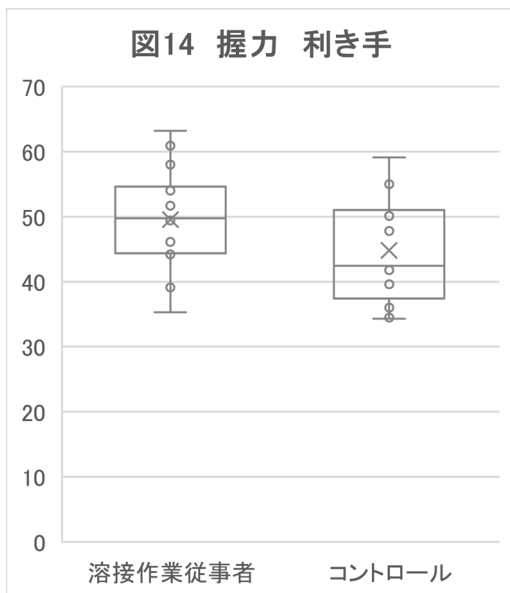
	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	35.3	44.5	49.8	54.2	63.2	0.086
コントロール	34.3	38.9	42.2	50.2	59.1	

(Mann-Whitney U test)

表 6 握力 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	34.1	43.8	45.1	53.7	59.6	0.086
コントロール	31.2	35.3	41.6	49.7	56.1	

(Mann-Whitney U test)



調査関係者



握力

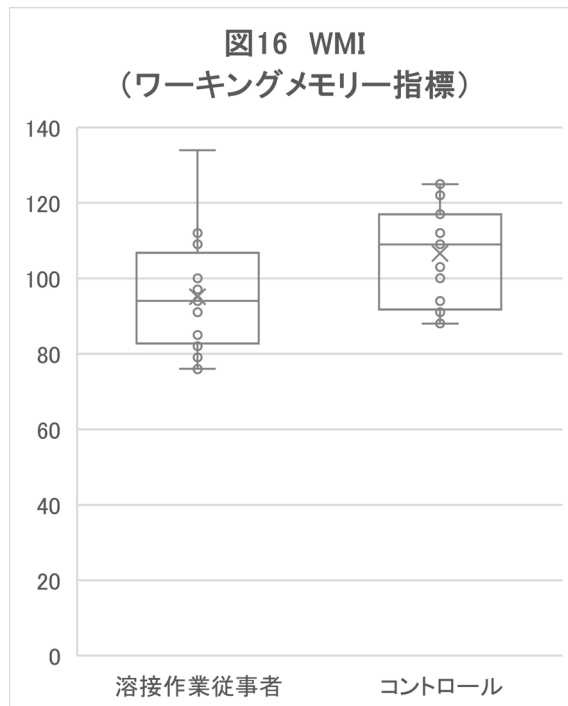
OWAIS-IV WMI(Working Memory Index:ワーキングメモリー指標)

「数唱」「算数」の評価点合計に基づいて得点化している。Mann-Whitney U test では、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差が認められた($p=0.033$ 、表 7)。溶接作業従事者群とコントロール群を箱ひげ図にて示す(図 16)。

表 7 WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー指標)

	最小	25%	中央値	75%	最大	p 値
溶接作業従事者	76.0	84.3	94.0	102.3	134.0	0.033
コントロール	88.0	93.3	109.0	117.0	125.0	

(Mann-Whitney U test)



WAIS-IV

<溶接ヒュームの濃度測定>

1) 作業環境測定基準および個人サンプラーを用いた測定

● 作業環境測定の実設計

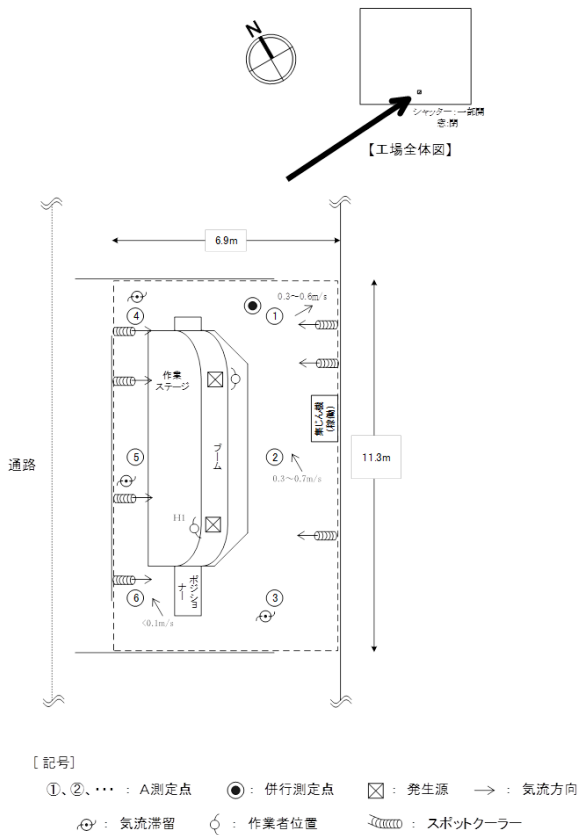


図1 デザイン

* サンプル実施時に当該単位作業場所で行われていた作業、設備の稼働状況等及び測定値に影響を及ぼしたと考えられる事項の概要

[作業工程と発生源及び作業人数]

作業工程: 本溶接作業

部材の搬入～はつり作業(チップパーによる溶接スラグ除去)～溶接～ガウジング～部材の搬出(この作業を繰り返す)

発生源: 溶接、ガウジング、はつりの作業位置である

作業人数: 2名(うち1名が個人ばく露測定対象者 H1)

(呼吸用保護具着用(取替え式防じんマスク、DR28SU2K(RL2)(株式会社重松製作所)、溶接面使用)

[設備、排気装置の稼働状況]

・全体換気装置: 1台稼働

・局所排気装置等: 無

・換気扇: 無

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

・ドア、シャッター: 一部開

・窓: 無

・気流の状況: スポットクーラーが吹き出す気流の影響が見られた(図面参照)。

[当該単位作業場所の周辺からの影響]

特になし

[各測定点に関する特記事項]

特になし

併行測定点 気温 25.2℃ 湿度 76%

気流 0.7m/s 未満

外気条件 気温 21.8℃ 湿度 97%

雨

表1 A 測定データ

No.	測定方法	相対濃度(cpm)	吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)	吸引性粉じん濃度 (mg/m ³)
1		91	0.64	0.82
2		141	0.99	1.27
3		197	1.38	1.77
4		539	3.77	4.85
5		236	1.65	2.12
6		158	1.11	1.42
7		以下余白	以下余白	以下余白

表2 吸入性粉じん濃度測定 作業環境測定結果

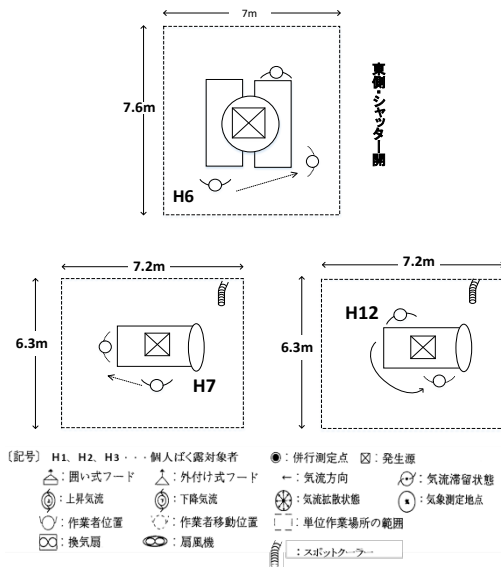
幾何平均値	M1 = 1.35 mg/m ³	M2 = — mg/m ³	M = 1.35 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 1.82	σ2 = —	σ = 2.45
第1評価値	EA1 = 5.90 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 2.01 mg/m ³		
管理濃度	30mg/m ³		
評価	A 測定	区分 2	
	評価結果	第 2 管理区分	

表3 吸引性粉じん濃度測定 作業環境測定結果

幾何平均値	M1 = 1.73 mg/m ³	M2 = — mg/m ³	M1 = 1.73 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 1.82	σ2 = —	σ = 2.45
第1評価値	EA1 = 7.58 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 2.59 mg/m ³		

2)個人サンプラーを用いた測定

H-6, H-7, H-12:測定場所(作業)トラックフレーム(図2)



*呼吸用保護具着用 DR28SU2K (RL2) (株式会社重松製作所)

[設備、排気装置の稼働状況]

- ・工場内全体換気装置: 有
- ・ロボット作業場: 局所排気装置 有
- ・半自動溶接場: 無
- ・作業場 No.③H7、作業場 No.②H12 の作業場にはスポットクーラーが各 1 台ずつ稼働していた
- ・作業場上方には電気集塵機が稼働していた

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

- ・ドア、シャッター、窓: 周辺になし
- ・気流の状況: 作業場ではスポットクーラーが稼働しており気流はあったと考えられる

[作業場所の周辺からの影響]

- ・作業場 No.③H7、作業場 No.②H12 の溶接作業場は囲われていたため、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。

また、作業場 No.①H6 の溶接作業場は全開の東側シャッターが近かったことから風の吹きこみが多少あったと考えられる

[特記事項]

- ・特に無し

[作業工程と発生源及び労働者数]

- ・作業工程: トラックフレーム缶組溶接作業、トラックフレーム仕上げ溶接作業

部材を準備する～位置決め～溶接～場合によって(スパッタ除去、グラインダー作業)～搬出作業。

(上記、この作業を繰り返す)

- ・発生源: 溶接作業、スパッタ除去作業、グラインダー作業位置である

- ・作業人数: 3 名

H-2, H-3, H-4, H-9: 測定場所(作業) メインフレーム(図3)

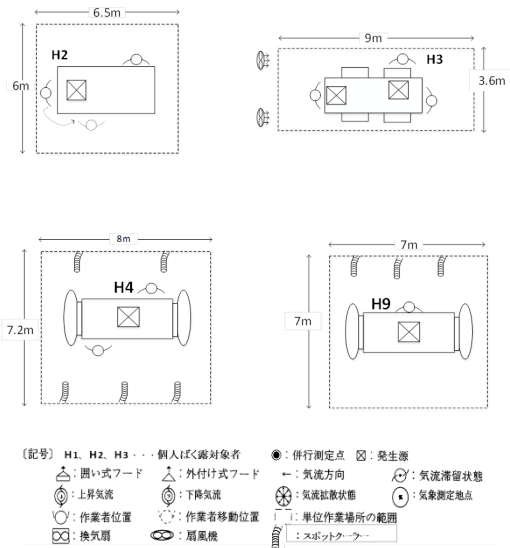


図3 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

- 作業工程:メインフレーム缶組溶接作業、メインフレーム仕上げ溶接作業
部材を準備する～位置決め～溶接～(場合によってスパッタ除去、グラインダー作業)～搬出作業
(上記、この作業を繰り返す)
- 発生源:溶接作業、スパッタ除去作業、グラインダー作業位置である
- 作業人数:4名

*呼吸用保護具着用 DR28SU2K (RL2) (株式会社重松製作所)

[設備、排気装置の稼働状況]

- 工場内:全体換気装置 有
- ロボット作業場:局所排気装置 有
- 半自動溶接場:無
- No.⑨H4、No.⑦H9 の作業場にはスポットクーラーが稼働していた
- No.⑧H3 の作業場では扇風機が2台稼働していた
- 作業場上方には電気集塵機が稼働していた

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

- ドア、シャッター、窓: No.⑥作業場近くの東側シャッターは全開であった
- 気流の状況:作業場ではスポットクーラー、扇風機が稼働しており気流はあったと考えられる

[作業場所の周辺からの影響]

- No.⑨H4、No.⑦H9 の作業場は囲われていたため、他の作業場からの影響はなかったと考えられる
- また、No.⑥H2 の溶接作業場は全開の東側シャッター近かったことから風の吹きこみが多少あった

[特記事項]

- 特に無し

H-1, H-8, H-13, H-14: 測定場所(作業)フロント組(図4)

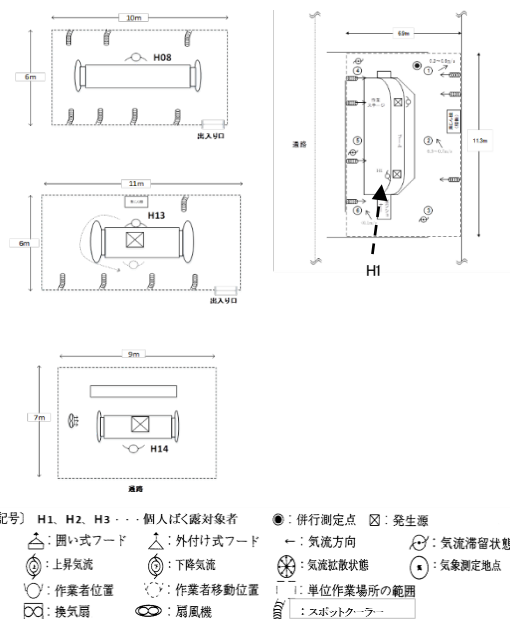


図4 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

- 作業工程:フロント組溶接作業(仕上げ溶接 100・200)、センター缶組(サブ)
部材を準備する～位置決め～溶接～場合によって(ガウジング、スパッタ除去、グラインダー作業)～搬出作業。
(上記、この作業を繰り返す)
- 発生源:溶接作業、ガウジング、スパッタ除去作業、グラインダー作業位置である
- 作業人数:4名

*呼吸用保護具着用 DR28SU2K (RL2) (株式会社重松製作所)

[設備、排気装置の稼働状況]

- 工場内全体換気装置: 有
- ロボット作業場:局所排気装置 有
- 半自動溶接場:無

- No.⑭、No.⑯、No.⑰の作業場にはスポットクーラーが各数台ずつ稼働していた
 - No.⑱の作業場には扇風機が1台稼働していた
 - 作業場上方には電気集塵機が稼働していた
- [ドア、窓の開閉、気流の状況]
- ドア、シャッター、窓: 周辺になし
 - 気流の状況:各作業場ではスポットクーラー、扇風機が稼働しており気流はあったと考えられる。

[作業場所の周辺からの影響]

- No.⑭、No.⑯、No.⑰の各溶接作業場は囲われていたため、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。
- No.⑱の作業場は、他の溶接作業場から離れていたため、他からの影響はなかったと考えられる。

[特記事項]

- 特に無し

H-5, H-10, H-11:測定場所(作業)センターフレーム組(図5)

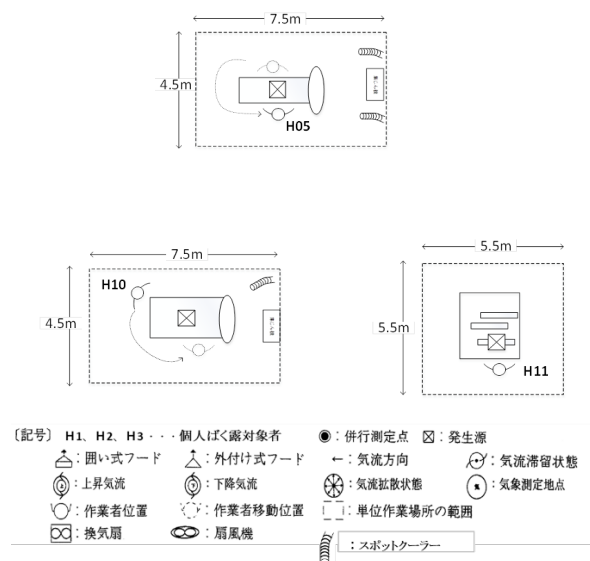


図5 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

- 作業工程:センターフレーム仕上溶接作業、センター缶組溶接作業
- 部材を準備する～位置決め～溶接作業～場合によって(スパッタ除去、グラインダー作業)～搬出作業。
(上記、この作業を繰り返す)

•発生源:溶接作業、スパッタ除去作業、グラインダー作業位置である

•作業人数:3名

*呼吸用保護具着用 DR28SU2K (RL2) (株式会社重松製作所)

[設備、排気装置の稼働状況]

- 工場内全体換気装置:有
- ロボット作業場:局所排気装置有
- 半自動溶接場:無
- No.⑳、No.㉑の作業場にはスポットクーラーが各数台ずつ稼働していた

•作業場上方には電気集塵機が稼働していた

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

•ドア、シャッター、窓: 周辺になし

•気流の状況:各作業場ではスポットクーラーが稼働しており気流はあったと考えられる

[作業場所の周辺からの影響]

- No.⑳、No.㉑の作業場は囲われていたため、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。
- No.㉒の作業場は、他の溶接作業場から離れており、影響はなかったと考えられる。

H-15 H-16:測定場所(作業)薄版・プレス組(図6)

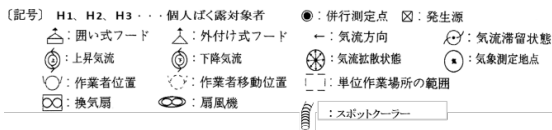
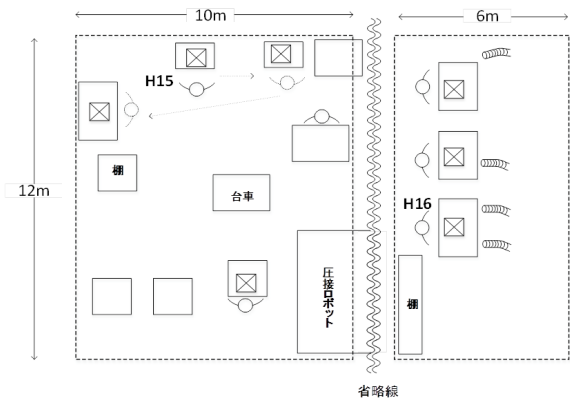


図6 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

・作業工程:

部材を準備する～位置決め～溶接作業～場合によって(グラインダー作業、スポット溶接作業)～搬出作業。

(上記、この作業を繰り返す)

・発生源:各溶接作業、グラインダー作業位置である

・作業人数:2名

・呼吸用保護具着用 DR28SU2K (RL2) (株式会社重松製作所)

[設備、排気装置の稼働状況]

・工場内全体換気装置:有

・半自動溶接機:無

・No.②⑥、②⑦ K 棟 14 スパンの作業場にはスポットクーラーが数台稼働していた

・作業場上方には電気集塵機が稼働していた

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

・ドア、シャッター、窓:周辺になし

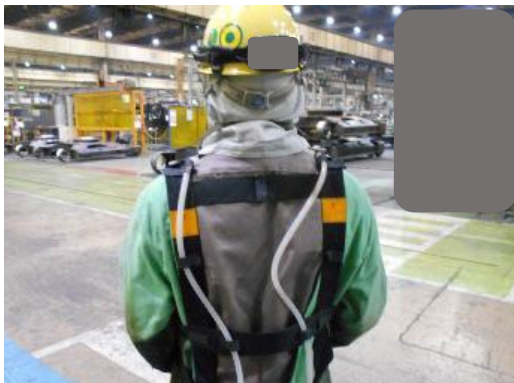
・気流の状況:各作業場ではスポットクーラーが稼働しており気流はあったと考えられる

[作業場所の周辺からの影響]

・他の作業場からの影響はなかったと考えられる。



溶接作業



個人サンプラー装着状況 正面および背面

○個人ばく露測定

溶接作業従事者16名の個人ばく露濃度測定結果(粉じん)を表4に示す。

個人ばく露測定では、吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は実施者16名のうち6名が1mg/m³を超えていた。吸入性マンガ(時間加重平均濃度)は、実施者16名のうち14名は0.05mg/m³以上であった。吸入性マンガ(8時間加重平均濃度)は16名のうち15名は0.02mg/m³を超えていた。

表4 個人ばく露濃度測定結果

対象者	時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)	8時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)*	時間加重平均 吸入性マンガ濃度 (mg/m ³)**	8時間加重平均 吸入性マンガ濃度 (mg/m ³)***
H-1	1.77950	0.96389	0.09031	0.04892
H-2	0.68851	0.36577	0.05558	0.02953
H-3	2.47560	1.46473	0.19206	0.11364
H-4	5.34365	3.09487	0.45725	0.26482
H-5	1.77727	0.95528	0.16471	0.08853
H-6	1.13528	0.57000	0.07580	0.03806
H-7	2.43469	1.24778	0.18642	0.09554
H-8	1.63361	0.85084	0.10694	0.05570
H-9	1.36940	0.80167	0.09547	0.05589
H-10	8.61385	4.66583	0.77485	0.41971
H-11	0.19921	0.10500	0.01205	0.00635
H-12	0.80680	0.42861	0.06115	0.03249
H-13	1.46620	0.87056	0.04459	0.02647
H-14	1.83235	1.03833	0.13460	0.07627
H-15	1.13871	0.58833	0.08694	0.04492
H-16	1.60088	1.01056	0.12604	0.07956

*日本産業衛生学会:許容濃度(第2種粉じん)酸化鉄 1mg/m³

**金属アーク溶接等作業における溶接ヒュームの気中濃度の基準値(Mnとして) 0.05mg/m³

***米国産業衛生専門家会議(ACGIH)ばく露限界値(2013年設定) 0.02mg/m³

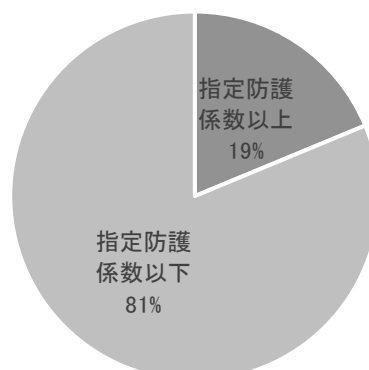
○マスク要求防護係数

各溶接作業従事者の要求防護係数等を表5に示す。溶接作者従事者の要求防護係数は指定防護係数を上回るものが3名(19%)だった(図1)。

表5 各溶接従事者作業者の指定防護係数と各要求防護係数

対象者	マスクメーカー	品番	指定防護係数	要求防護係数
H-1	重松	DR28SU2W	10	2.7
H-2	重松	DR28SU2W	10	9.1
H-3	重松	DR28SU2W	10	9.1
H-4	重松	DR28SU2W	10	9.1
H-5	重松	DR28SU2W	10	15.5
H-6	重松	DR28SU2W	10	3.7
H-7	重松	DR28SU2W	10	3.7
H-8	重松	DR28SU2W	10	2.7
H-9	重松	DR28SU2W	10	9.1
H-10	重松	DR28SU2W	10	15.5
H-11	重松	DR28SU2W	10	15.5
H-12	重松	DR28SU2W	10	3.7
H-13	重松	DR28SU2W	10	2.7
H-14	重松	DR28SU2W	10	2.7
H-15	重松	DR28SU2W	10	2.5
H-16	重松	DR28SU2W	10	2.5

図1 マスク指定防護係数と
要求防護係数



《マスクフィットテスト》

溶接作業従事者に、労研式マスクフィッティングテスターMT-05U型を用いて、定量的フィットテスト(JIS T8150:2021)を行った。その結果を表1に示す。また1回目、2回目のFAIL、PASSの割合を図1、図2に示す。1回目にFAILとなった溶接作業従事者に正しい装着方法を説明・指導を行ったところ、1回目 FAILであった8名全員がPASSした。

表1 マスクフィットテスト結果

対象者	1回目	2回目	備考
H-1	FAIL	PASS	
H-2	FAIL	PASS	
H-3	FAIL	PASS	
H-4	FAIL	PASS	
H-5	FAIL	PASS	
H-6	PASS		PASS(2回目も実施)
H-7	PASS		PASS(2回目も実施)
H-8	PASS		PASS(2回目も実施)
H-9	PASS		
H-10	PASS		
H-11	FAIL	PASS	
H-12	PASS		PASS(2回目も実施)
H-13	PASS		PASS(2回目も実施)
H-14	FAIL	PASS	
H-15	FAIL	PASS	
H-16	PASS		PASS(2回目も実施)
PASS 合計	8	8	

図1 マスクフィットテスト1回目 (n=16)

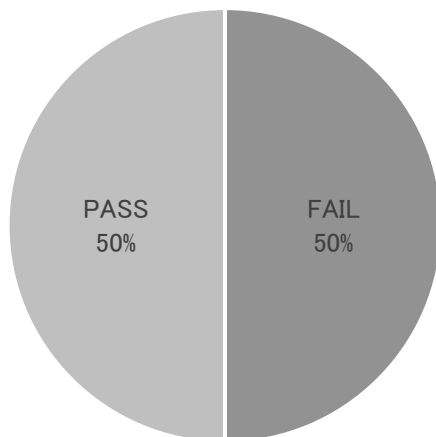
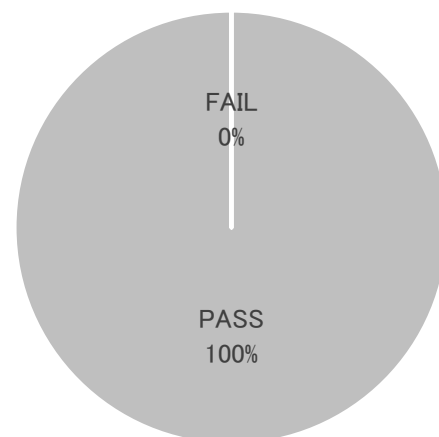


図2 マスクフィットテスト2回目 (n=8)





マスクフィットテスト



重松 防じんマスク DR28SU2W

事業所 F(建築用鉄骨加工等)

調査日:2021年10月5日(火)~8日(金)

健康影響に関する調査

<質問票調査>

対象者の溶接作業従事者とコントロールの人数と性別を示す(表1)。

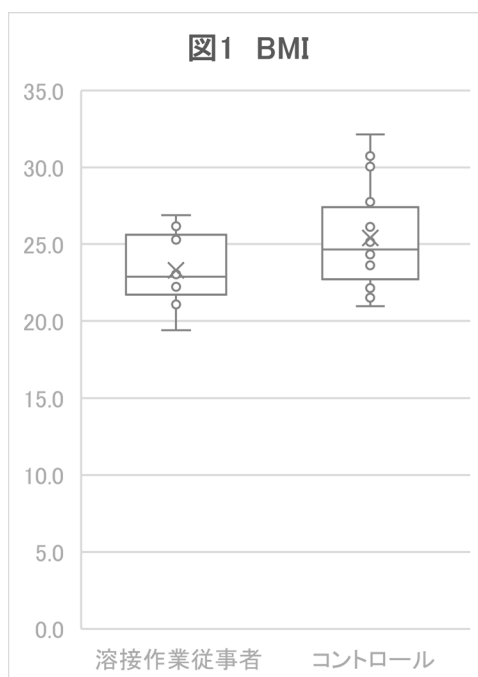
表1 対象者

	男(人)
溶接作業従事者	16
コントロール	16

年齢、BMI、溶接業務従事年数の基本情報を示す(表2)。BMIを箱ひげ図(Excel「包括的な中央値」を採用)にて示す(図1)。

表2 対象者背景:基本情報

	溶接作業従事者(n=16)		コントロール(n=16)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	49.2	11.3	45.3	11.5
BMI	23.3	2.1	25.4	3.3
溶接に従事した期間(年)	24.9	16.0	16.7	6.0

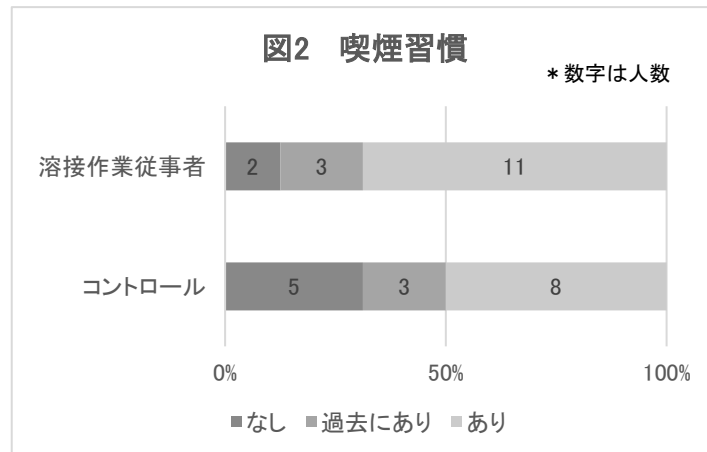


年齢およびBMIにおいて溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Mann-Whitney U test)。

○生活習慣

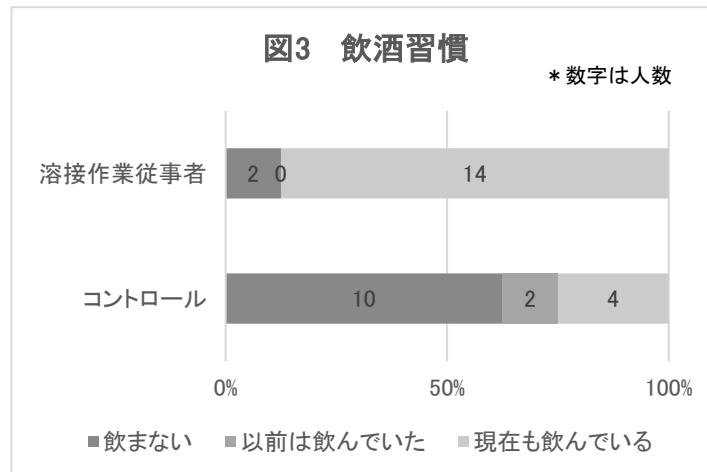
・喫煙状況

溶接作業従事者群の68.8%(11名)、コントロール群の50.0%(8名)が現在喫煙者であった(図2)。



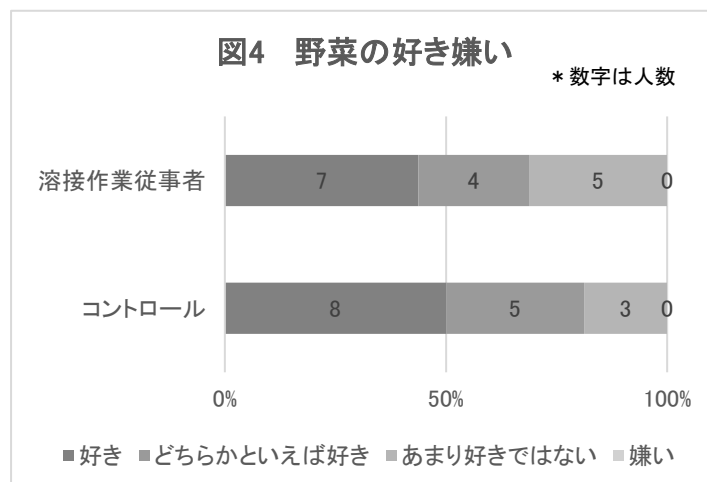
・飲酒状況

「現在も飲んでいる」と回答した割合は、溶接作業従事者群は87.5%(14名)、コントロール群は25.0%(4名)(図3)であった。



・食生活状況(マンガンを多く含む野菜が「好き」との回答)

溶接作業従事者群は43.8%(7名)、コントロール群は50.0%(8名)であった(図4)。

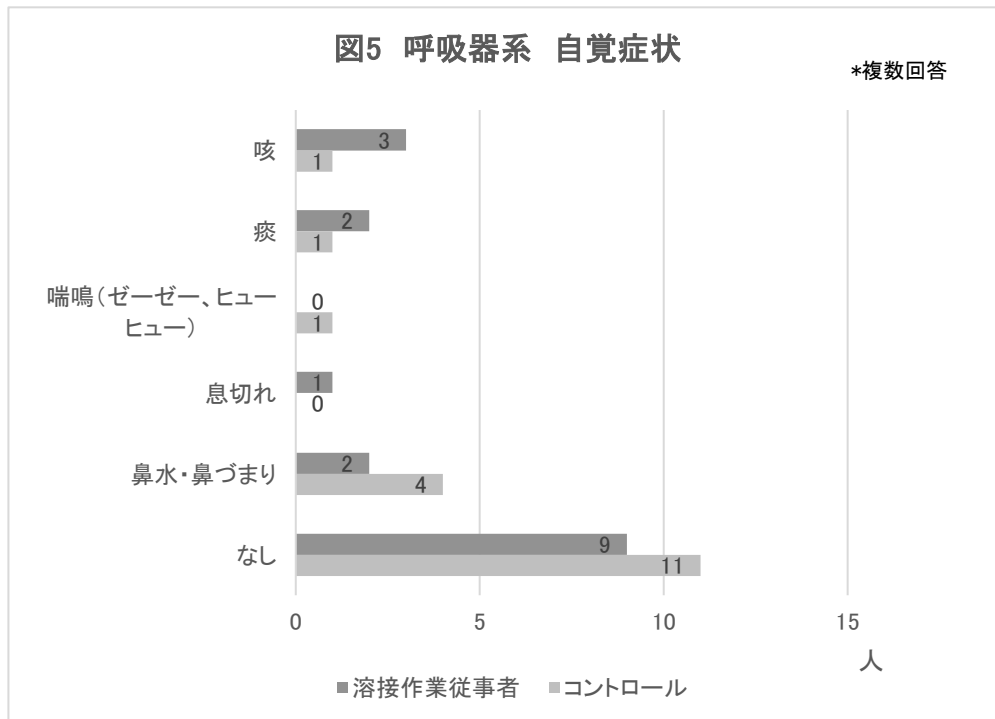


飲酒状況において、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差が認められた($p=0.00131$)。喫煙状況、食生活状況(野菜)において、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。

○自覚症状・既往症

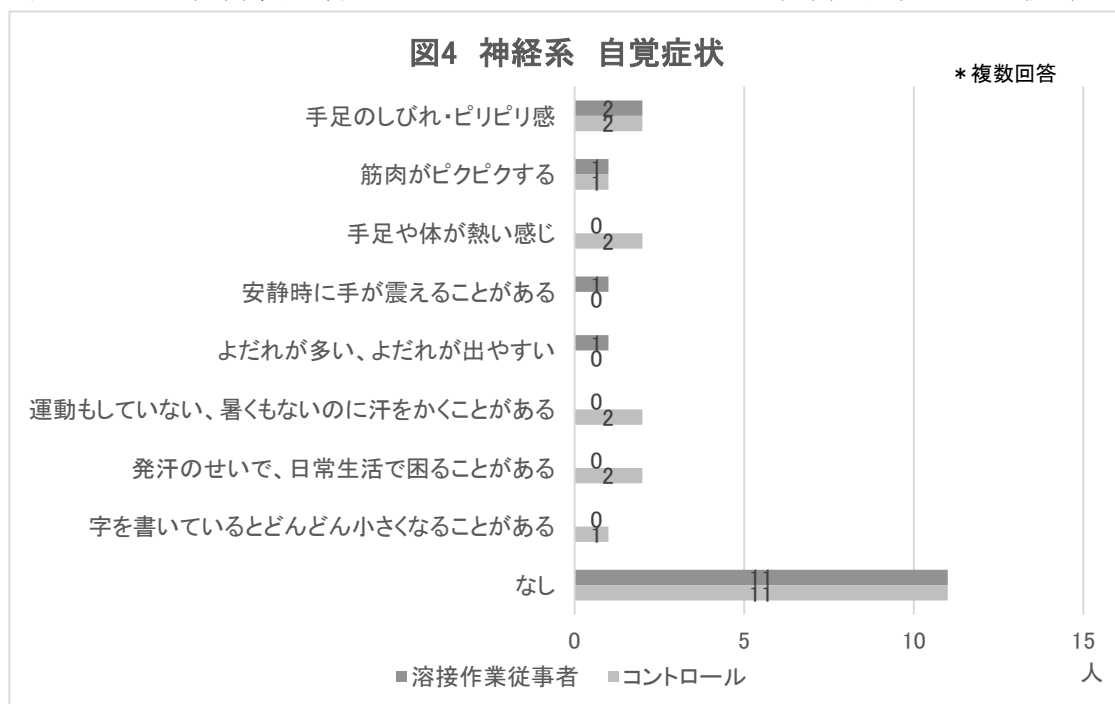
・呼吸器系(咳、痰、喘鳴、息切れ、鼻水・鼻づまり症状)の自覚症状

溶接作業従事者群に咳(3名)、痰(2名)、鼻水・鼻づまり(2名)、息切れ(1名)、コントロール群は鼻水・鼻づまり(4名)、咳(1名)、痰(1名)、喘鳴(1名)の回答があった(図5)。



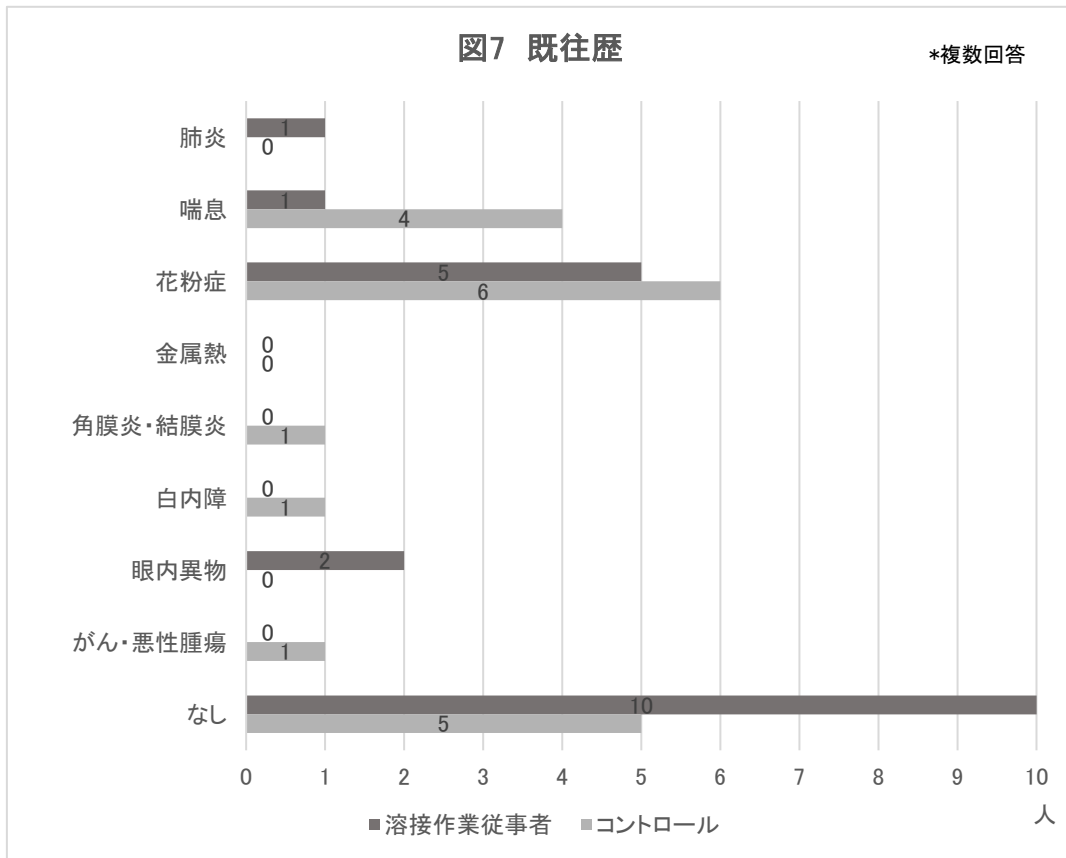
・神経系の自覚症状

溶接作業従事者群では手足のしびれ・ピリピリ感(2名)、筋肉がピクピクする(1名)、安静時に手が震えることがある(1名)、よだれが多い、よだれが出やすい(1名)、コントロール群では手足のしびれ・ピリピリ感(2名)、筋肉がピクピクする(1名)、手足や体が熱い感じ(2名)、運動もしていない、暑くもないのに汗をかくことがある(2名)、発汗のせいで、日常生活で困ることがある(2名)、字を書いているととととと小さくなる(1名)の回答があった(図6)



・既往歴

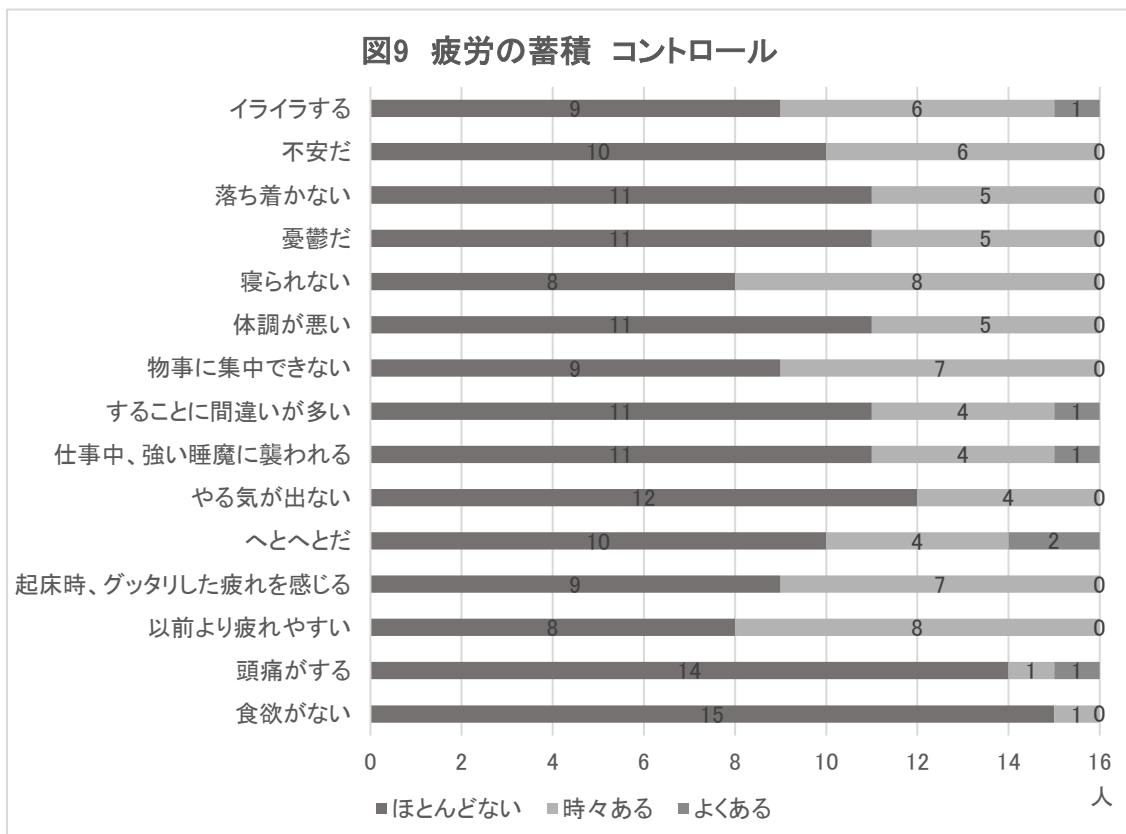
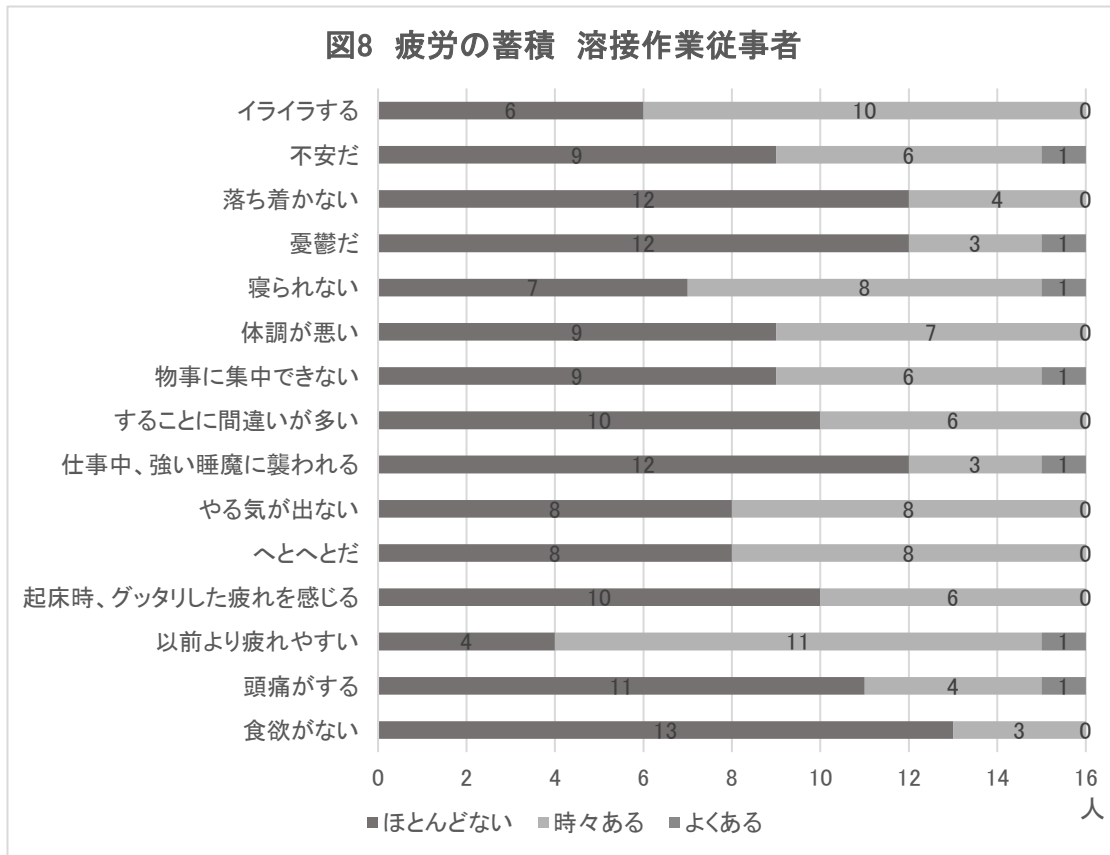
溶接作業従事者群では花粉症(5名)、眼内異物(2名)、肺炎(1名)、喘息(1名)、コントロール群では花粉症(6名)、喘息(4名)、角膜炎・結膜炎(1名)、白内障(1名)、がん・悪性腫瘍(1名)の回答を認めた(図7)。



調査説明および同意の確認

○疲労の蓄積

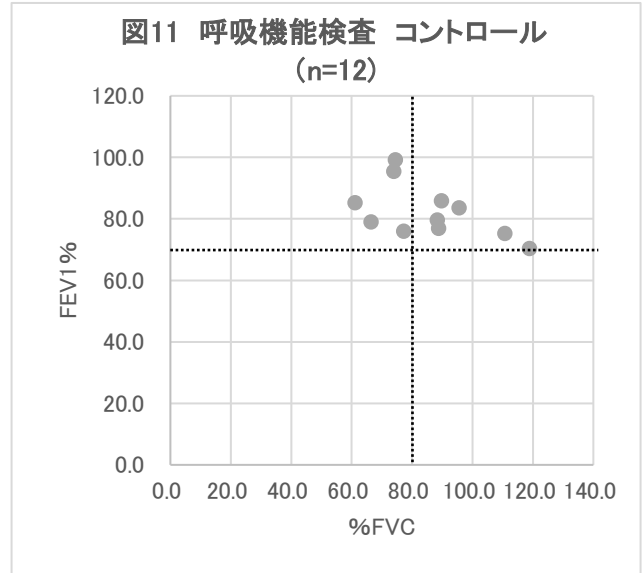
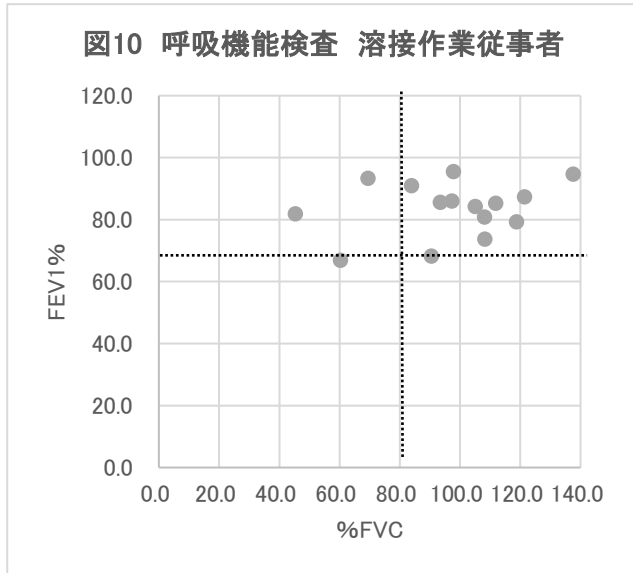
溶接作業従事者群は図8、コントロールは図9に示す。いずれの項目も溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。



<呼吸機能検査>

調査当日、機器の故障のため、代替の測定機器を使用:H-9, H-10, H-11, H-12, H-13, H-14, H-15, H-16, C-5, C-7, C-9, C-10, C-11, C-13, C-14, C-15, C-16

呼吸機能検査は%肺活量(%FVC)および一秒率(FEV1.0%)を評価対象とした。ただし、コントロールのうち、一秒率(FEV1.0%)が10以下名の4名は欠損値として取り扱った。それぞれの基準値(%FVC:80%、FEV1.0%:70%)を超えるかどうかを評価した(図10、11)



質問票



呼吸機能検査

<神経学的検査>

○タッピング

利き手と非利き手の示指 30 秒間の合計数を用い Mann-Whitney U test にて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差が認められなかった(表 3、4)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 12、13)。

表 3 タッピング 利き手

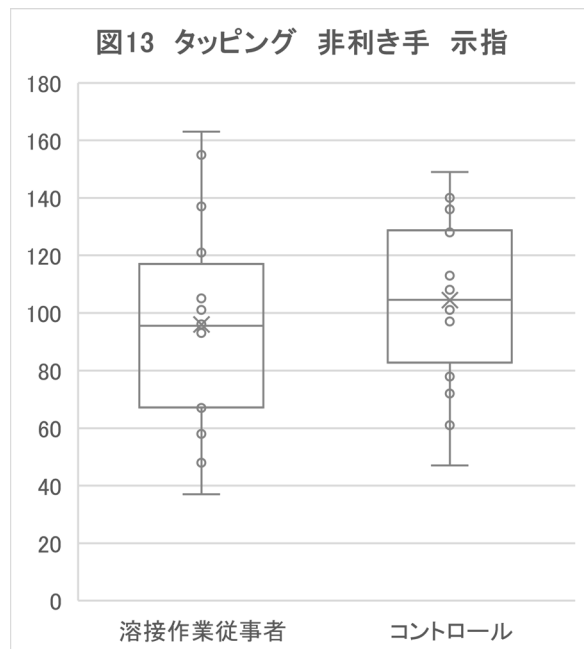
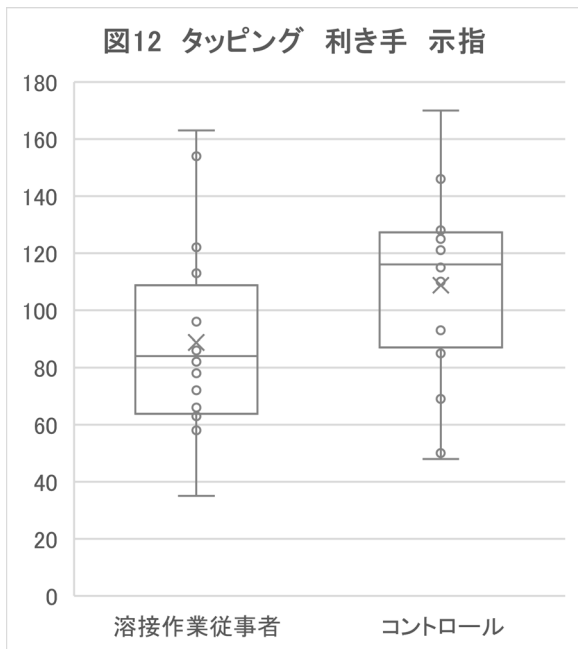
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	35.0	71.0	86.0	115.0	163.0	0.141
コントロール	48.0	91.0	116.0	125.8	170.0	

(Mann-Whitney U test)

表 4 タッピング 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	37.0	67.8	95.5	109.0	163.0	0.473
コントロール	47.0	92.3	104.5	128.3	149.0	

(Mann-Whitney U test)



タッピング

○握力

利き手と非利き手の握力を2回測定した合計数を用い Mann-Whitney U test にて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(表 5、6)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 14、15)。

表 5 握力 利き手

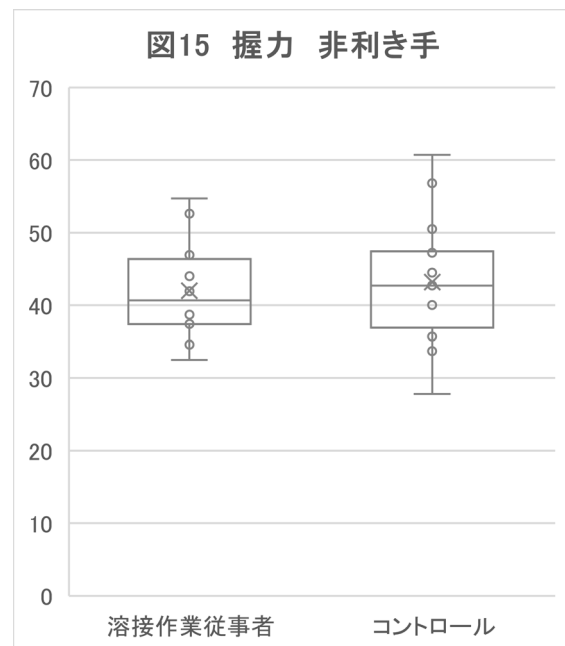
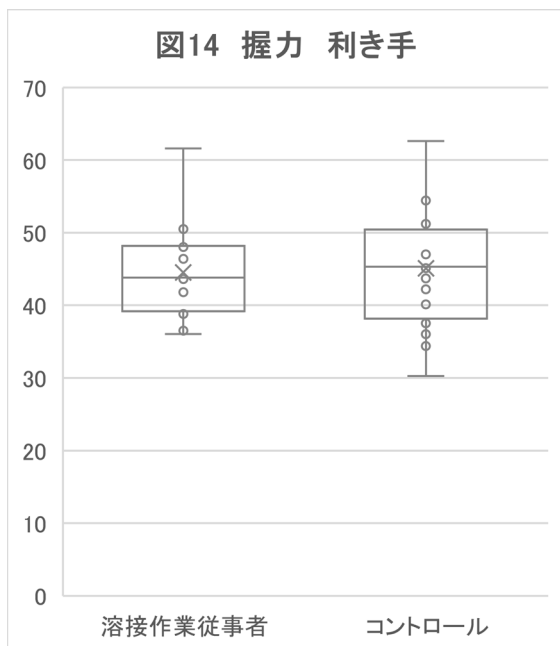
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	36.0	39.3	43.8	47.2	61.6	0.624
コントロール	30.3	39.5	45.3	48.9	62.6	

(Mann-Whitney U test)

表 6 握力 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	32.5	37.4	40.7	47.0	54.7	0.665
コントロール	27.8	39.0	42.7	47.3	60.7	

(Mann-Whitney U test)



調査関係者との休憩時間

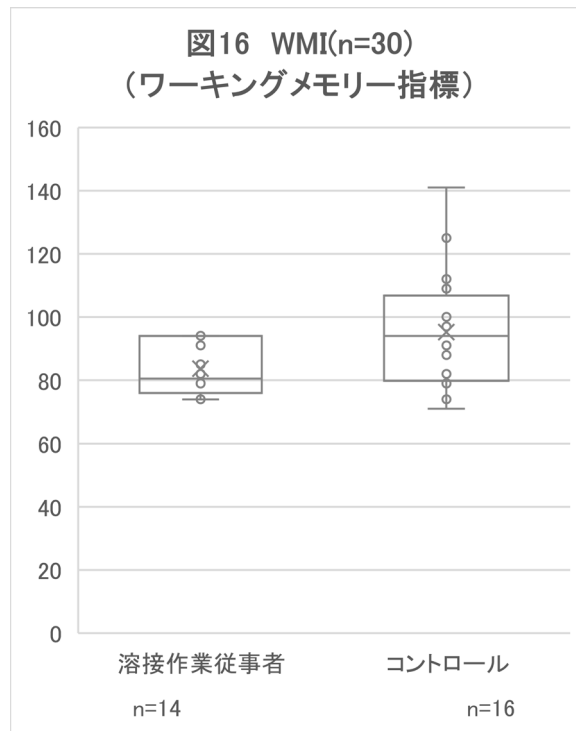
OWAIS-IV WMI(Working Memory Index:ワーキングメモリー指標)

「数唱」「算数」の評価点合計に基づいて得点化している。Mann-Whitney U test では、溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差は認められなかった(表 7)。溶接作業従事者群とコントロール群を箱ひげ図にて示す(図 16)。

表 7 WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー指標)

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者(n=14)	74.0	76.8	80.5	93.3	94.0	0.076
コントロール(n=16)	71.0	81.3	94.0	102.3	141.0	

(Mann-Whitney U test)



採 血

<溶接ヒュームの濃度測定>

1) 作業環境測定基準および個人サンプラーを用いた測定

● 作業環境測定のデザイン

梁溶接作業場所

(作業環境測定、個人ばく露測定者 H13,H14)

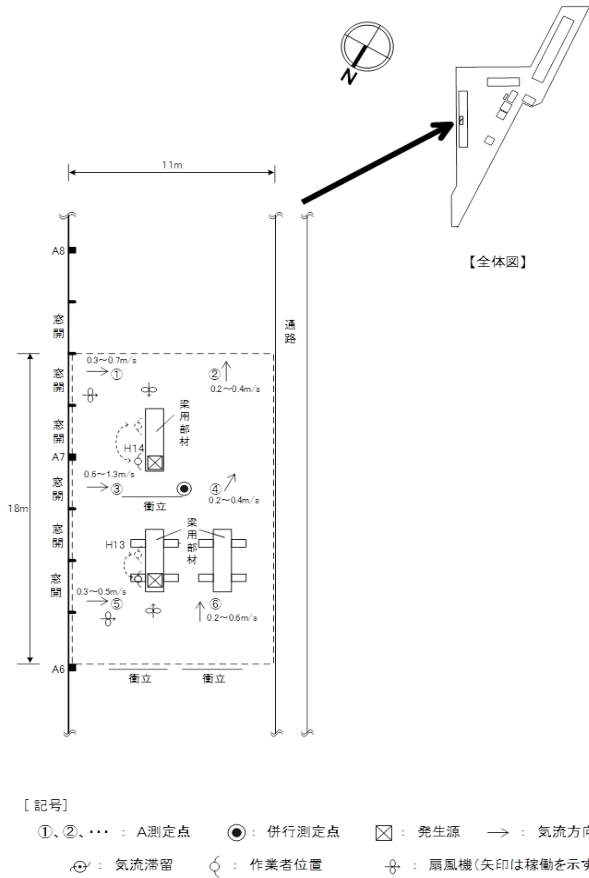


図1 デザイン

* サンプルング実施時に当該単位作業場所で行われていた作業、設備の稼働状況等及び測定値に影響を及ぼしたと考えられる事項の概要

〔作業工程と発生源及び作業者数〕

作業工程: 梁溶接作業

部材の搬入～溶接～ハンドグラインダーによる仕上げ研磨～部材の搬出(この作業を繰り返す)

発生源: 溶接の作業位置である

作業者: 2名(個人ばく露測定対象者 H13,H14)

(呼吸用保護具着用(取替え式防じんマスク、サカサ式 1005R-05 型(RL2)(興研株式会社)、溶接面使用)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・全体換気装置: 無

・局所排気装置等: 無

・扇風機: 4 台稼働

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・ドア、シャッター: 開(3 工場のシャッター)

・窓: 開

・窓から外気の流入が見られた(図面参照)。

〔当該単位作業場所の周辺からの影響〕

特になし

〔各測定点に関する特記事項〕

特になし

併行測定点 気温 25.9℃ 湿度 63%

気流 0.2～1.3m/s

外気条件 気温 33.1℃ 湿度 39.4%

晴(14時)

表1 A 測定データ

No.	測定方法	相対濃度(cpm)	吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)	吸引性粉じん濃度 (mg/m ³)
1		63	0.50	0.73
2		59	0.47	0.68
3		72	0.58	0.84
4		66	0.53	0.77
5		53	0.42	0.61
6		60	0.48	0.70
7		以下余白	以下余白	以下余白

表2 吸入性粉じん濃度測定 作業環境測定結果

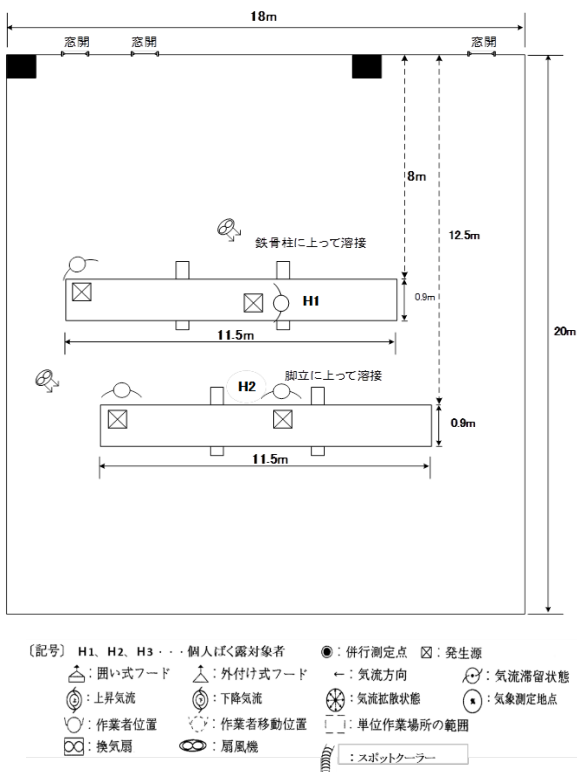
幾何平均値	M1 = 0.50 mg/m ³	M2 = — mg/m ³	M = 0.50 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 1.11	σ2 = —	σ = 1.96
第1評価値	EA1 = 1.50 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 0.62 mg/m ³		
管理濃度	3.0mg/m ³		
評価	A 測定	区分 1	
	評価結果	第 1 管理区分	

表3 吸引性粉じん濃度測定 作業環境測定結果

幾何平均値	M1 = 0.72 mg/m ³	M2 = — mg/m ³	M1 = 0.72 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 1.11	σ2 = —	σ = 1.96
第1評価値	EA1 = 2.18 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 0.90 mg/m ³		

2) 個人サンプラーを用いた測定

H-1, H-2: 測定場所(作業) 柱仕口、大組溶接作業(図2)



部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応じてスパッタ除去作業、グラインダー作業。

(上記、この作業を繰り返す)

・発生源:溶接作業、スパッタ除去作業、グラインダー作業位置である

・作業人数:4名

*呼吸用保護具着用 サカキ式 1005R-05 型 (RL2) (興研株式会社)

[設備、排気装置の稼働状況]

・工場内全体換気装置:有るが使用していなかった

・局所排気装置等:無

・扇風機:2台稼働

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

・ドア:無、シャッター、窓:一部開

・気流の状況:窓から外気が流入していた

[作業場所の周辺からの影響]

・工場内では、至るところで溶接作業が行われていたが、窓やシャッターが開いており換気は良い状況であった。そのため、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。

[特記事項]

・作業員 H2 は、三脚を使い高さ約 1.2mの作業位置で溶接を行っていた

[作業工程と発生源及び労働者数]

・作業工程:建物の骨組みとなる建築用鉄骨部材の製作作業

H-3, H-4: 測定場所(作業) 柱主幹部溶接作業(ロボット溶接)(図3)

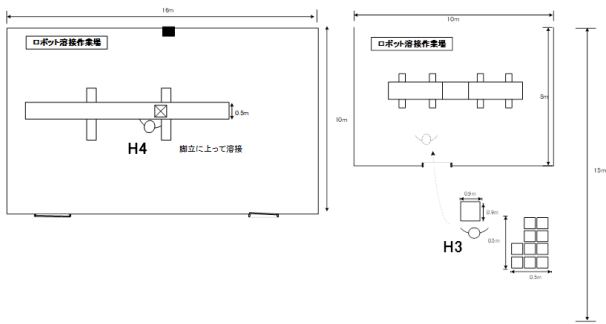


図3 デザイン

[設備、排気装置の稼働状況]

・工場内全体換気装置: 有るが使用してい
なかつた

・局所排気装置等: 無

・扇風機: 無

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

・ドア: 無、シャッター、窓: 一部開

・気流の状況: 窓から外気が流入していた

[作業場所の周辺からの影響]

・ロボット溶接作業場は、高さ約 3mの保護シートで囲
われているため、他の作業場からの影響はなかつた
と考えられる。

[特記事項]

・普段はロボット溶接作業場で作業員が溶接すること
ない。本調査日はロボット溶接機の不具合のため作
業員 (H4) が溶接作業に従事していた (9:30~10:01、
10:45~11:00)

・作業員 H3 は本調査日に溶接作業はなかつた。

[作業工程と発生源及び労働者数]

・作業工程: 建物の骨組みとなる建築用鉄骨部材の
製作作業 (ロボット溶接)

部材を準備する~位置決め~必要に応じて溶接作
業~ロボット溶接作業

・発生源: 溶接作業、グラインダー作業位置である

・作業員数: 2 名

*呼吸用保護具着用 サカキ式 1005R-05 型 (RL2)
(興研株式会社)

H-5, H-6: 測定場所(作業) PL、H 一次加工(図4)

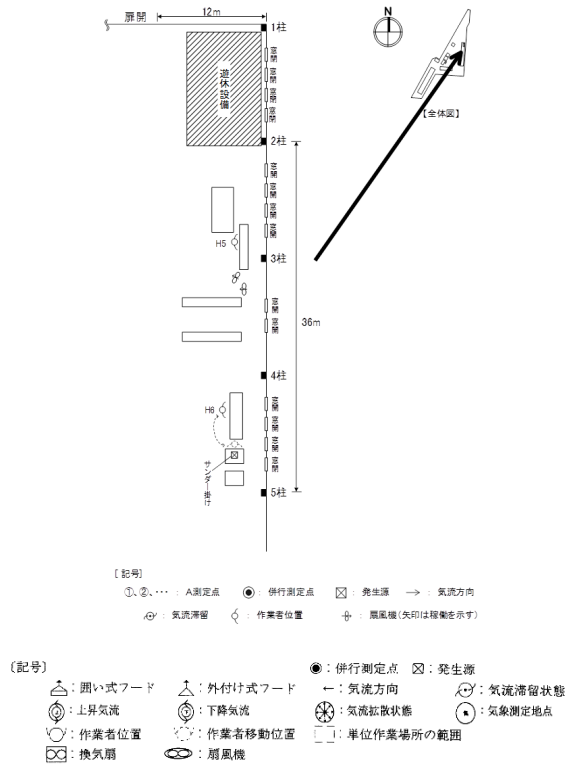


図4 デザイン

部材を準備する~位置決め~加工作業~必要に
応じてショットブラスト、ガス溶断作業

・発生源: 加工作業、ショットブラスト、ガス溶断作
業位置である

・作業員数: 2 名* H5: 衛生マスク着用* H6: 呼吸用
保護具着用 サカキ式 1015 型 (RL2) (興研株式会
社)

[設備、排気装置の稼働状況]

・工場内全体換気装置: 有るが使用していなかつた

・局所排気装置等: 無

・扇風機: 無

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

・ドア: 無、シャッター、窓: 一部開

・気流の状況: 窓から外気が流入していた

[作業場所の周辺からの影響]

・工場内では、至るところで溶接作業が行われていた
が、窓やシャッターが開いており換気は良い状況で
あった。そのため、他の作業場からの影響はなかつた
と考えられる。

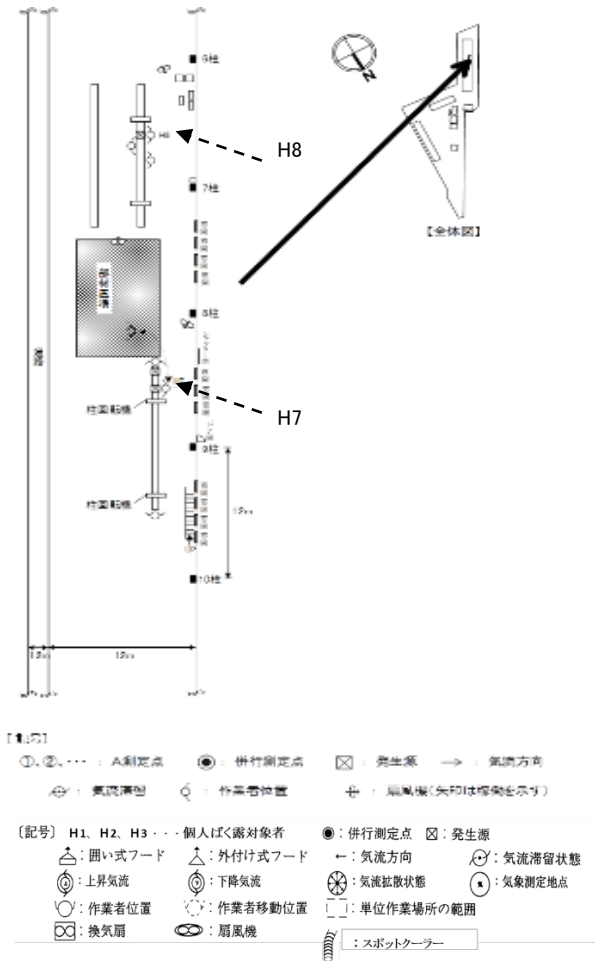
[特記事項]

・作業員 H5, H6 共に、本調査日は溶接作業はなかつた
が、溶接作業を行う日もある。

[作業工程と発生源及び労働者数]

・作業工程: 建物の骨組みとなる建築用鉄骨部材の
加工作業、ガス切断作業

H-7, H-8: 測定場所(作業)柱仕口、大組立溶接作業(図5)



〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程: 建物の骨組みとなる建築用鉄骨部材の組立作業、溶接作業

部材を準備する～位置決め～組立作業～溶接作業

・発生源: 溶接作業位置である

・作業者数: 6名* 呼吸用保護具着用 サカキ式 1005R-05型 (RL2) (興研株式会社)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・工場内全体換気装置: 有るが使用していなかった

・局所排気装置等: 無

・扇風機: 3台稼働

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・ドア: 無、シャッター、窓: 一部開

・気流の状況: 窓から外気が流入していた

〔作業場所の周辺からの影響〕

・工場内では、至るところで溶接作業が行われていたが、窓やシャッターが開いており換気は良い状況であった。そのため、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。

〔特記事項〕

・軽作業の場合は衛生マスクを着用。組立作業、溶接作業時には呼吸用保護具を着用。

図5 デザイン



個人サンプラー装着状況 正面および背面

H-9, H-10: 測定場所(作業)柱仕口、大組立溶接作業(図6)

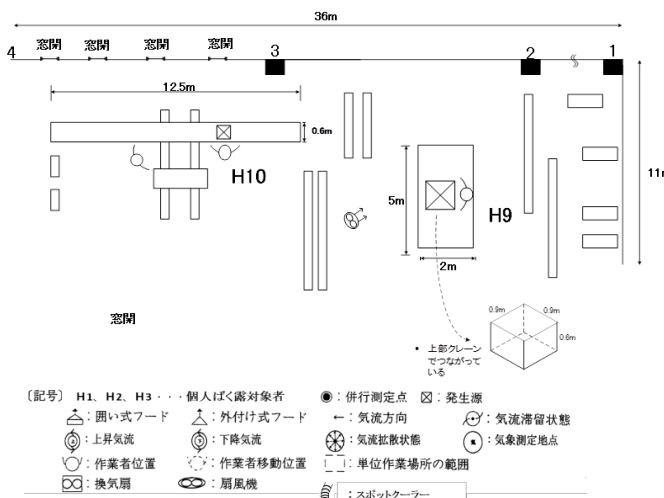


図6 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

- ・作業工程: 建物の骨組みとなる建築用鉄骨部材の製作作業
部材を準備する～位置決め～組立作業～必要に応じて仮付溶接作業～
- ・発生源: 溶接作業である
- ・作業員数: 3名

*呼吸用保護具着用 サカキ式 1005R-05 型 (RL2) (興研株式会社)

[設備、排気装置の稼働状況]

- ・工場内全体換気装置: 有るが使用していなかった
 - ・局所排気装置等: 無
 - ・扇風機: 1台
- [ドア、窓の開閉、気流の状況]
- ・ドア: 無、シャッター、窓: 一部開
 - ・気流の状況: シャッター、窓から外気が流入していた

いた

[作業場所の周辺からの影響]

- ・半開のシャッター付近に溶接作業場があり、外からの風の吹きこみが確認できた。また、他の溶接作業場からは離れているため影響はなかったと考えられる。

[特記事項]

- ・H9 一日を通して主に、組立て作業、玉掛け・クレーン作業で部材の運搬を行っている。仮溶接作業時間は1回5～10分間を数回行うのみ。
- ・H10 主に組立作業である。(仮溶接作業は、1回約1分。午前約3回、午後約3回を行う)。

H-11, H-12: 測定場所(作業)梁溶接作業(図7)

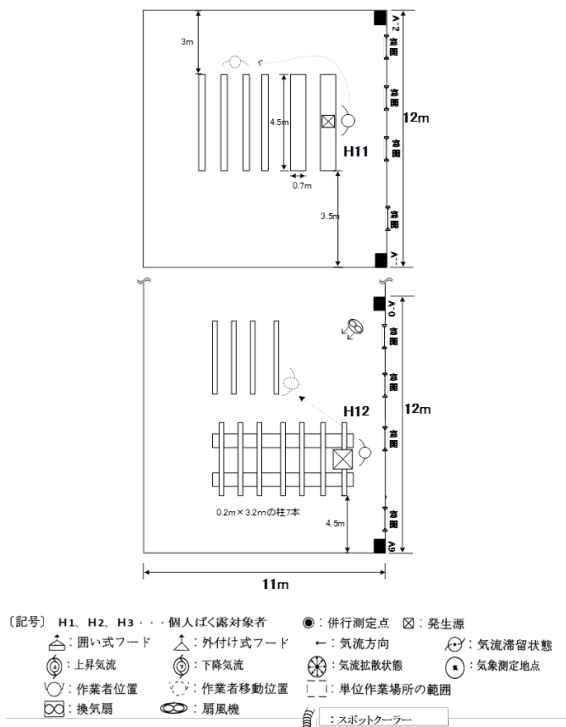


図7 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

- ・作業工程: 建物の骨組みとなる建築用鉄骨部材の製作作業
部材を準備する～位置決め～組立作業～溶接作業～必要に応じてグラインダー作業

- ・発生源: 溶接作業である
- ・作業員数: 2名

*呼吸用保護具着用 サカキ式 1005R-05 型 (RL2) (興研株式会社)

[設備、排気装置の稼働状況]

- ・工場内全体換気装置: 有
- ・局所排気装置等: 無
- ・扇風機: 1台稼働

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

- ・ドア: 無、シャッター、窓: 一部開
- ・気流の状況: シャッター、窓から外気が流入していた

[作業場所の周辺からの影響]

・全開のシャッター付近に溶接作業場があり、外からの風の吹きこみが確認できた。周辺からの影響はなかったと考えられる。

[特記事項]

・一日を通して主に、組立て作業、クレーン作業で部材の運搬を行っている。溶接作業時間は短い。

H-13, H-14: 測定場所(作業)梁溶接作業(図8)

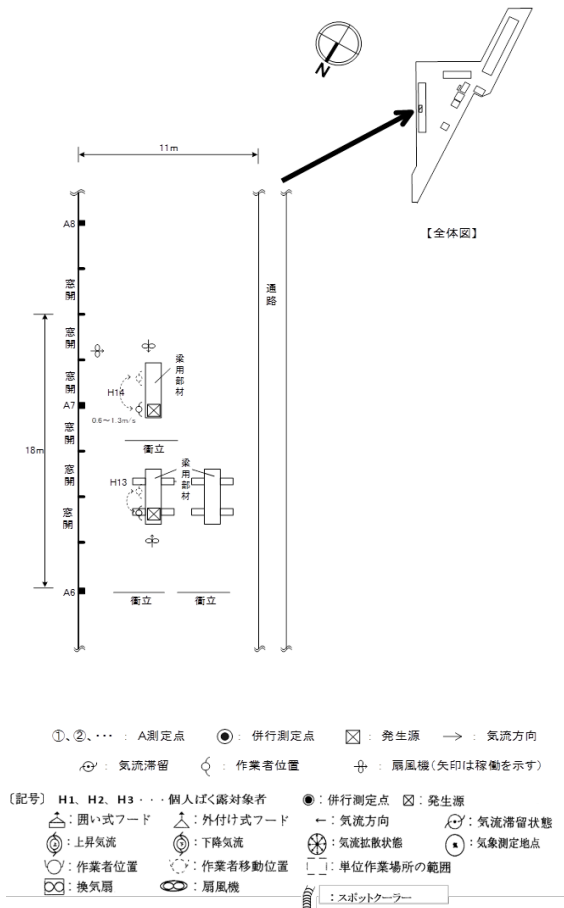


図8 デザイン

[[作業工程と発生源及び労働者数]

・作業工程: 建物の骨組みとなる建築用鉄骨部材の製作作業

部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応じてグラインダー作業

(上記を繰り返す)

・発生源: 各溶接作業位置、グラインダー位置である

・作業人数: 2名

*呼吸用保護具着用 サカキ式 1005R-05 型 (RL2)

(興研株式会社)

[設備、排気装置の稼働状況]

・工場内全体換気装置: 有

・局所排気装置等: 無

・扇風機: 4台稼働

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

・ドア: 無、シャッター、窓: 一部開

・気流の状況: シャッター、窓から外気が流入していた

[作業場所の周辺からの影響]

・開いたシャッター付近に溶接作業場があり、外からの風の吹きこみが確認できた。周辺からの影響はなかったと考えられる。

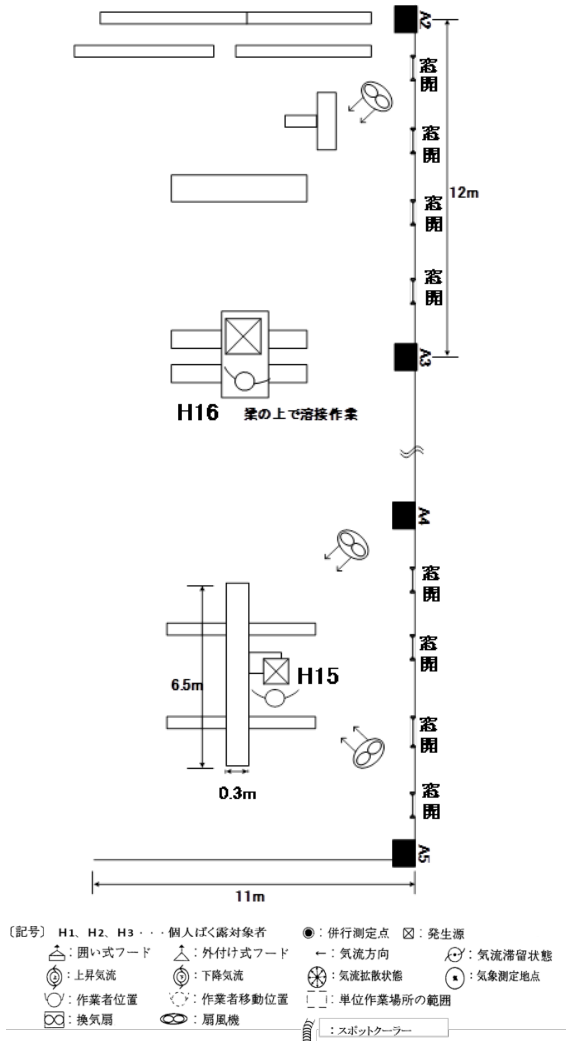
[特記事項]

・特になし



個人サンプラー装着状況

H-15, H-16:測定場所(作業)梁溶接作業(図9)



[作業工程と発生源及び労働者数]

- ・作業工程:建物の骨組みとなる建築用鉄骨部材の製作作業
部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応じてスパッタ除去作業
 - ・発生源:溶接作業である
 - ・作業者数:2名
- *呼吸用保護具着用 サカキ式 1005R-05 型 (RL2)
(興研株式会社)

[設備、排気装置の稼働状況]

- ・工場内全体換気装置:有
- ・局所排気装置等:無
- ・扇風機:3台稼働

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

- ・ドア:無、シャッター、窓:一部開
- ・気流の状況:シャッター、窓から外気が流入していた

[作業場所の周辺からの影響]

- ・開いたシャッター付近に溶接作業場があり、外からの風の吹きこみが確認できた。周辺からの影響はなかったと考えられる。

[特記事項]

- ・特になし



個人サンプラー装着状況

○個人ばく露測定

溶接作業従事者16名の個人ばく露濃度測定結果(粉じん)を表4に示す。

個人ばく露測定では、吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は16名のうち5名が1mg/m³を超えた。吸入性マンガ(時間加重平均濃度)は16名のうち、10名は0.05mg/m³以上であった。吸入性マンガ(8時間加重平均濃度)は16名のうち11名は0.02mg/m³を超えた。

表4 個人ばく露濃度測定結果

対象者	時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)	8時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)*	時間加重平均 吸入性マンガ濃度 (mg/m ³)**	8時間加重平均 吸入性マンガ濃度 (mg/m ³)**
H-1	5.78403	3.47042	0.75795	0.45477
H-2	3.15587	1.84750	0.47507	0.27811
H-3	0.01800	0.01125	0.00322	0.00201
H-4	0.28013	0.17917	0.02575	0.01647
H-5	0.03444	0.02375	0.00297	0.00205
H-6	0.08855	0.06125	0.00342	0.00236
H-7	0.49210	0.29833	0.05151	0.03123
H-8	0.65034	0.39833	0.09563	0.05858
H-9	1.40383	0.91542	0.20302	0.13238
H-10	0.17467	0.10917	0.02104	0.01315
H-11	0.67153	0.38333	0.11171	0.06377
H-12	0.35509	0.21083	0.03756	0.02230
H-13	3.26160	1.78708	0.47992	0.26296
H-14	1.24191	0.70375	0.16263	0.09216
H-15	2.16351	1.33417	0.22030	0.13585
H-16	2.98442	1.91500	0.40950	0.26276

*日本産業衛生学会:許容濃度(第2種粉じん)酸化鉄 1mg/m³

**金属アーク溶接等作業における溶接ヒュームの気中濃度の基準値(Mnとして) 0.05mg/m³

***米国産業衛生専門家会議(ACGIH)ばく露限界値(2013年設定) 0.02mg/m³

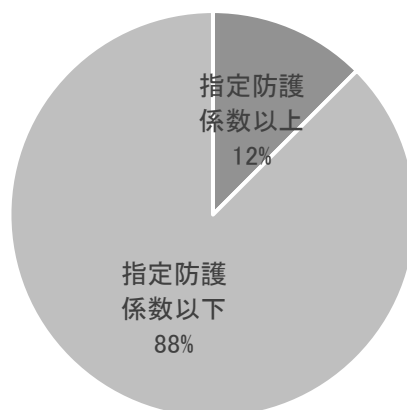
○マスク要求防護係数

各溶接作業従事者の要求防護係数等を表 5 に示す。溶接作者従事者の要求防護係数は指定防護係数を上回るものが2名(12%)だった(図1)。

表 5 各溶接従事者作業者の指定防護係数と各要求防護係数

対象者	マスクメーカー	品番	指定防護係数	要求防護係数
H-1	興研	1005RR-05	10	15.2
H-2	興研	1005RR-05	10	15.2
H-3	興研	1005RR-05	10	0.5
H-4	興研	1005RR-05	10	0.5
H-5	興研	1005RR-05	10	0.1
H-6	興研	1005RR-05	10	0.1
H-7	興研	1005RR-05	10	1.9
H-8	興研	1005RR-05	10	1.9
H-9	興研	1005RR-05	10	4.1
H-10	興研	1005RR-05	10	4.1
H-11	興研	1005RR-05	10	2.2
H-12	興研	1005RR-01	10	2.2
H-13	興研	1005RR-03	10	9.6
H-14	興研	1005RR-05	10	9.6
H-15	興研	1005RR-05	10	8.2
H-16	興研	1005RR-05	10	8.2

図1 マスク指定防護係数と
要求防護係数



《マスクフィットテスト》

溶接作業従事者に、労研式マスクフィッティングテスターMT-05U 型を用いて、定量的フィットテスト(JIS T8150:2021)を行った。その結果を表 1 に示す。また 1 回目、2 回目の FAIL、PASS の割合を図1、図2に示す。1 回目に FAIL となった溶接作業従事者に正しい装着方法の説明・指導を行い、2回目を行ったところ 1 回目 FAIL であった8名全員が PASS した。

表1 マスクフィットテスト結果

対象者	1 回目	2 回目	備考
H-1	FAIL	PASS	
H-2	FAIL	PASS	
H-3	FAIL	PASS	
H-4	FAIL	PASS	
H-5	FAIL	PASS	
H-6	PASS		PASS(2 回目も実施)
H-7	PASS		PASS(2 回目も実施)
H-8	PASS		PASS(2 回目も実施)
H-9	PASS		
H-10	PASS		
H-11	FAIL	PASS	
H-12	PASS		PASS(2 回目も実施)
H-13	PASS		PASS(2 回目も実施)
H-14	FAIL	PASS	
H-15	FAIL	PASS	
H-16	PASS		PASS(2 回目も実施)
PASS 合計	8	8	

図1 マスクフィットテスト1回目 (n=16)

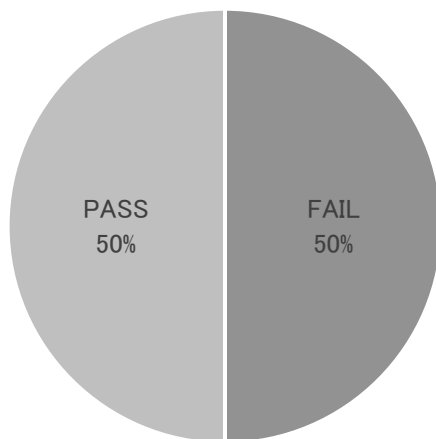
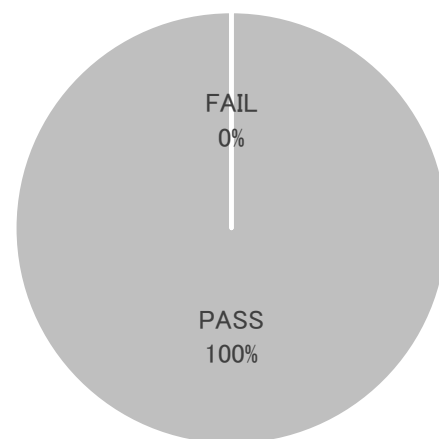
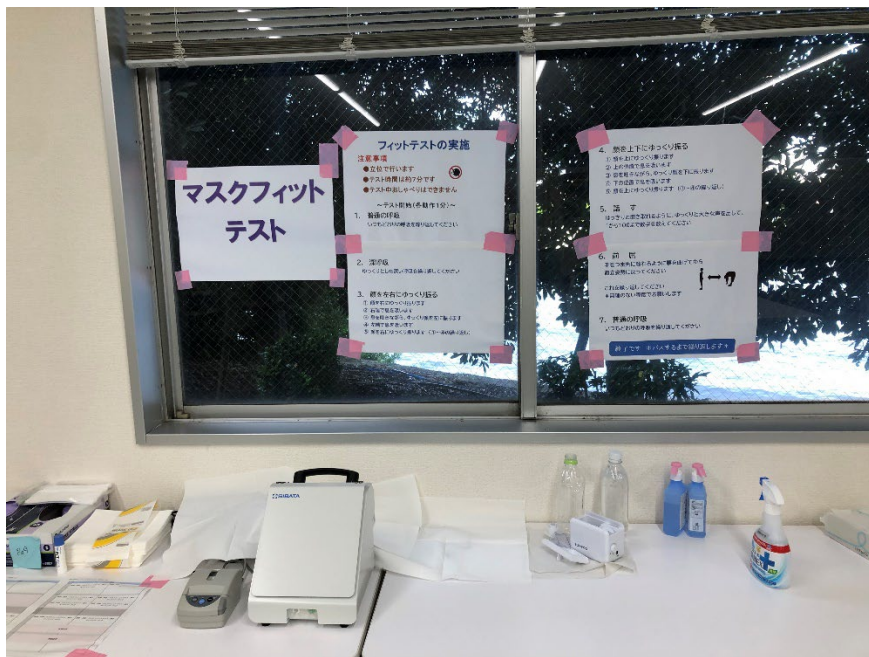


図2 マスクフィットテスト2回目 (n=8)





マスクフィットテスト

事業所 G(橋梁事業、鉄骨・鉄構事業)

調査日:2021年11月24日(水)~26日(金)

健康影響に関する調査

<質問票調査>

対象者の溶接作業従事者とコントロールの人数と性別を示す(表1)。

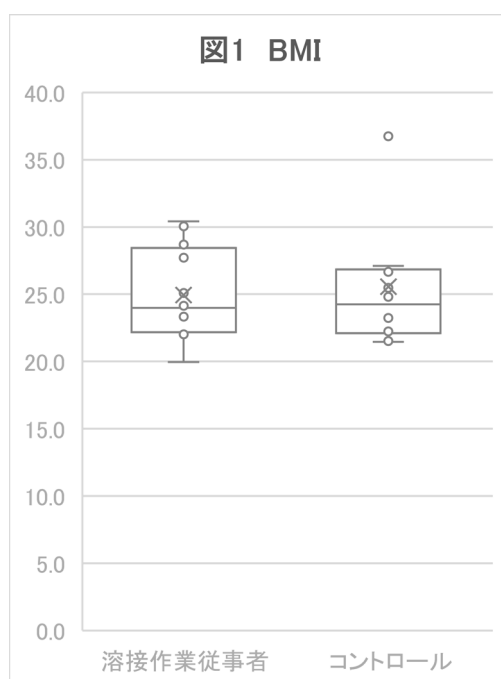
表1 対象者

	男(人)
溶接作業従事者	16
コントロール	16

年齢、BMI、溶接業務従事年数の基本情報を示す(表2)。BMIを箱ひげ図(Excel「包括的な中央値」を採用)にて示す(図1)。

表2 対象者背景:基本情報

	溶接作業従事者(n=16)		コントロール(n=16)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	41.9	11.3	40.4	12.5
BMI	24.9	3.2	25.5	4.8
溶接に従事した期間(年)	19.9	12.2	4.9	11.5

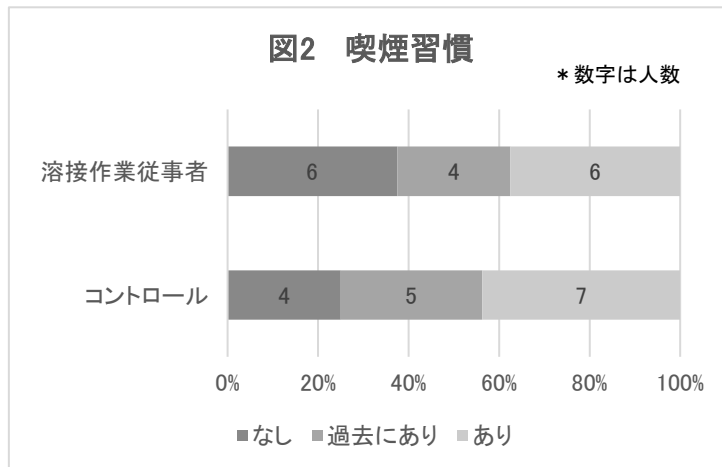


年齢およびBMIにおいて溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Mann-Whitney U test)。

○生活習慣

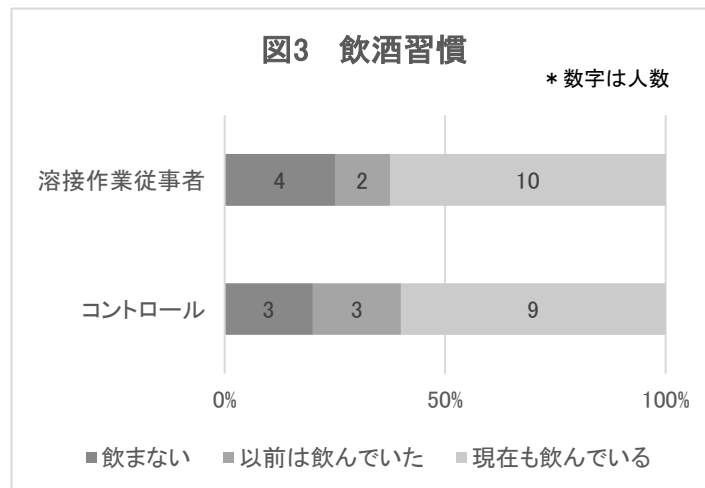
・喫煙状況

溶接作業従事者群の 37.5% (6名)、コントロール群の 43.8% (7名)が現在喫煙者であった(図 2)。



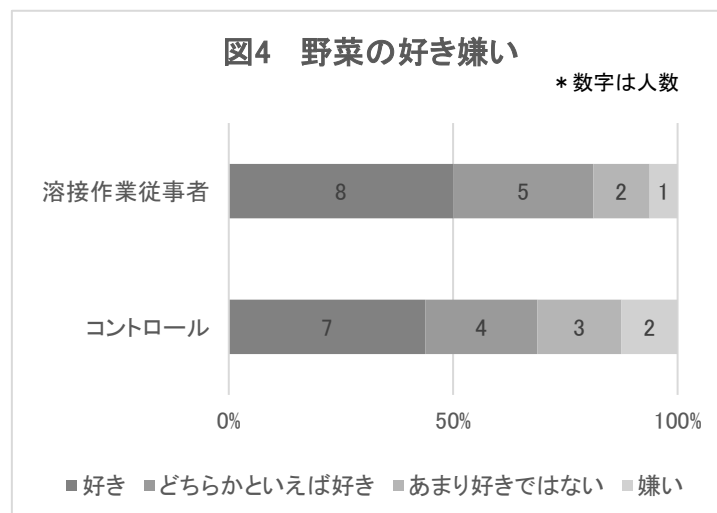
・飲酒状況

「現在も飲んでいる」と回答した割合は、溶接作業従事者群は 62.5% (10名)、コントロール群は 56.3% (9名)(図 3)。



・食生活状況(マンガンを多く含む野菜が「好き」との回答)

溶接作業従事者群は 50.0% (8名)、コントロール群は 43.8% (7名)であった(図 4)。

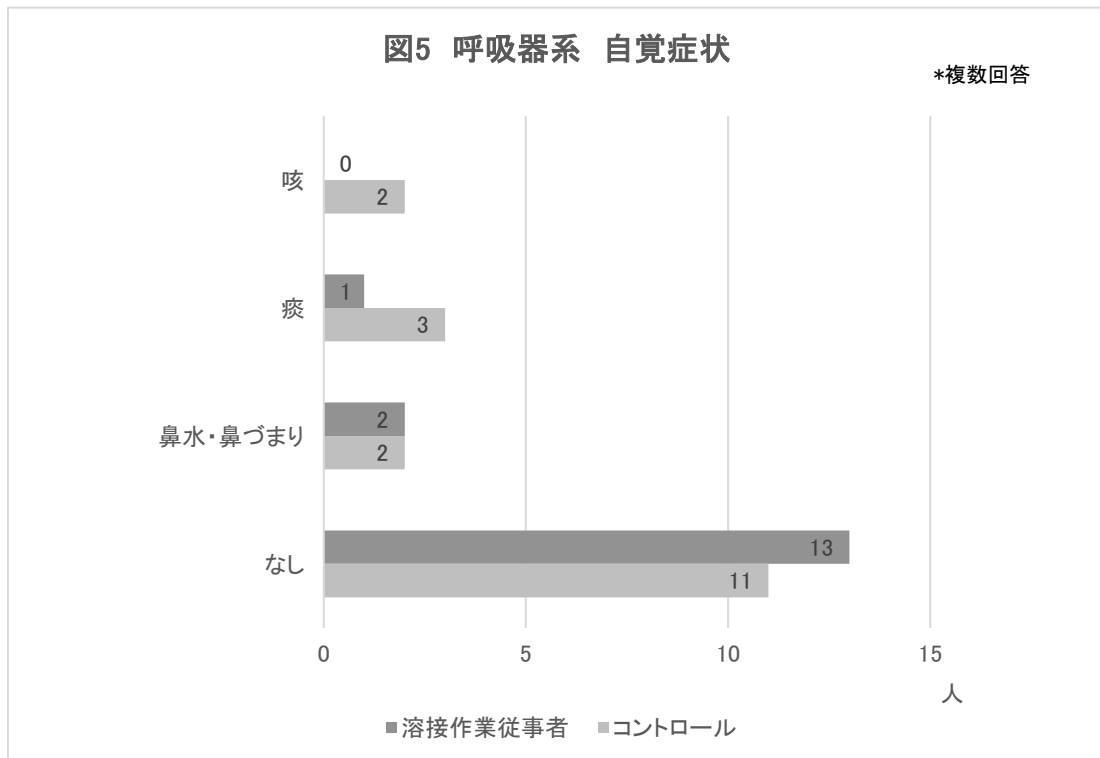


喫煙状況、飲酒状況、食生活状況(野菜)において、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。

○自覚症状・既往症

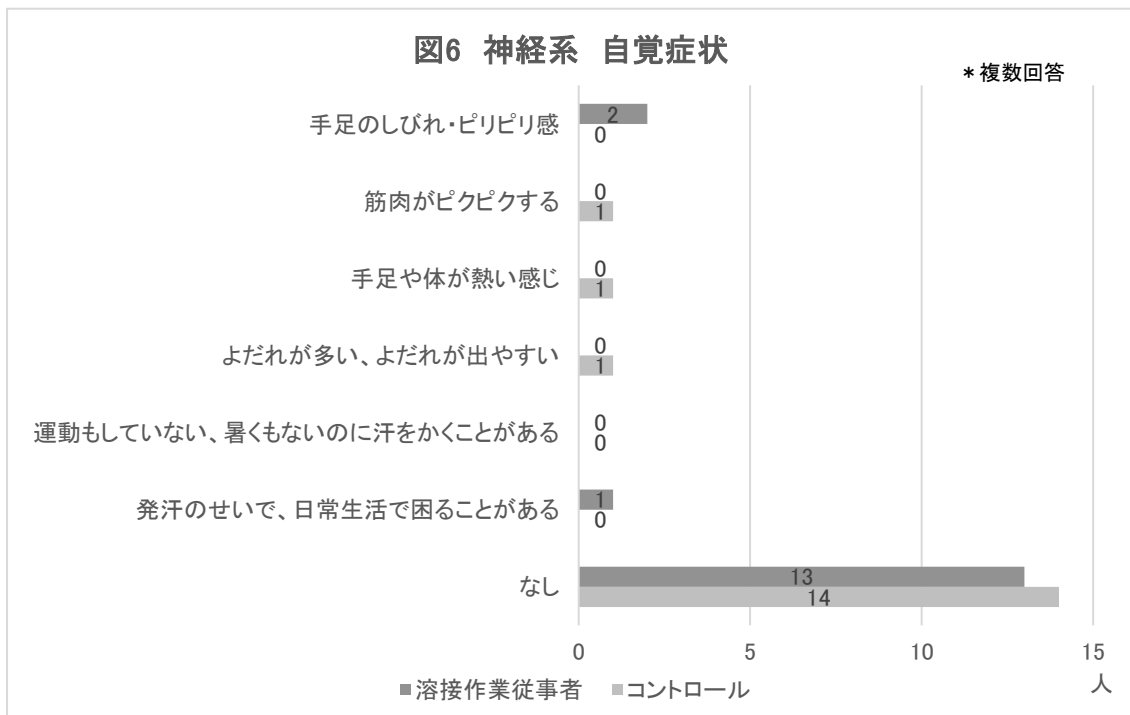
・呼吸器系(咳、痰、喘鳴、息切れ、鼻水・鼻づまり症状)の自覚症状

溶接作業従事者群に鼻水・鼻づまり(2名)、痰(1名)、コントロール群は痰(3名)、咳(2名)、鼻水・鼻づまり(2名)の回答があった(図5)。



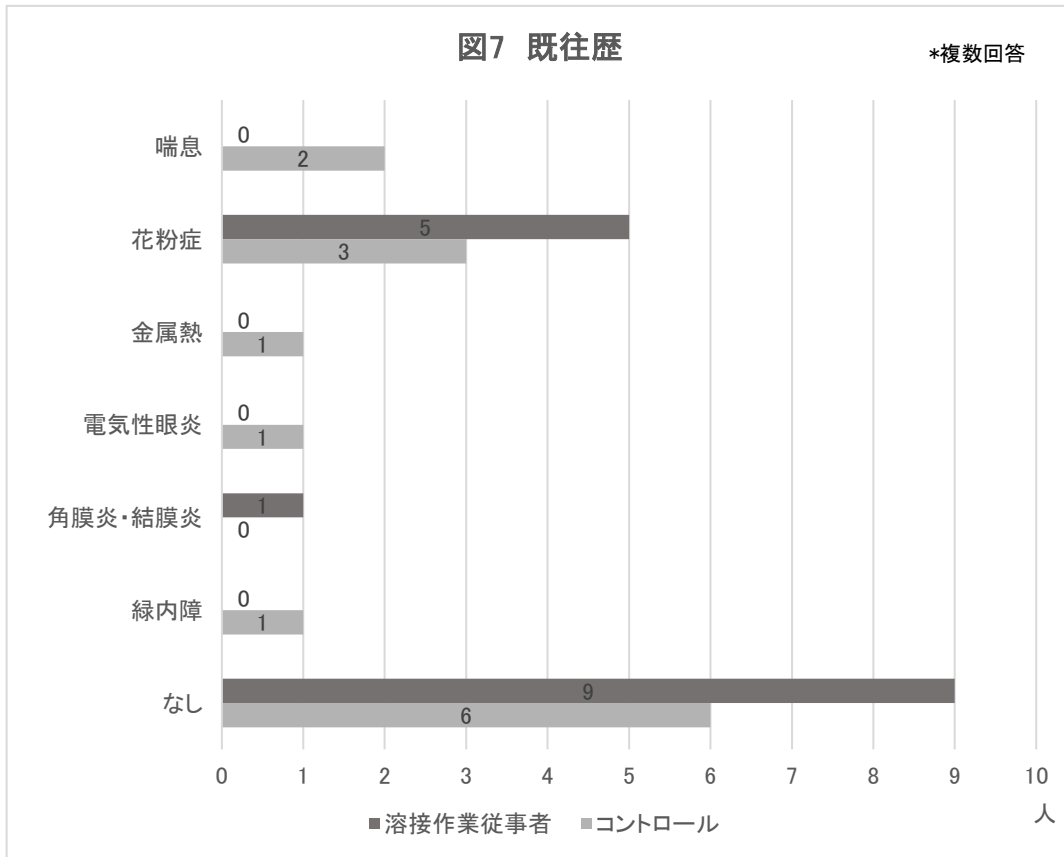
・神経系の自覚症状

溶接作業従事者群では手足のしびれ・ピリピリ感(2名)、発汗のせいで、日常生活で困ることがある(1名)、コントロール群では筋肉がピクピクする(1名)、手足や体が熱い感じ(1名)、よだれが多い、よだれが出やすい(1名)の回答があった(図6)



・既往歴

溶接作業従事者群では花粉症(5名)、角膜炎・結膜炎(1名)、コントロール群では花粉症(3名)、喘息(2名)、電気性眼炎(1名)、金属熱(1名)、緑内障(1名)の回答を認めた(図7)。



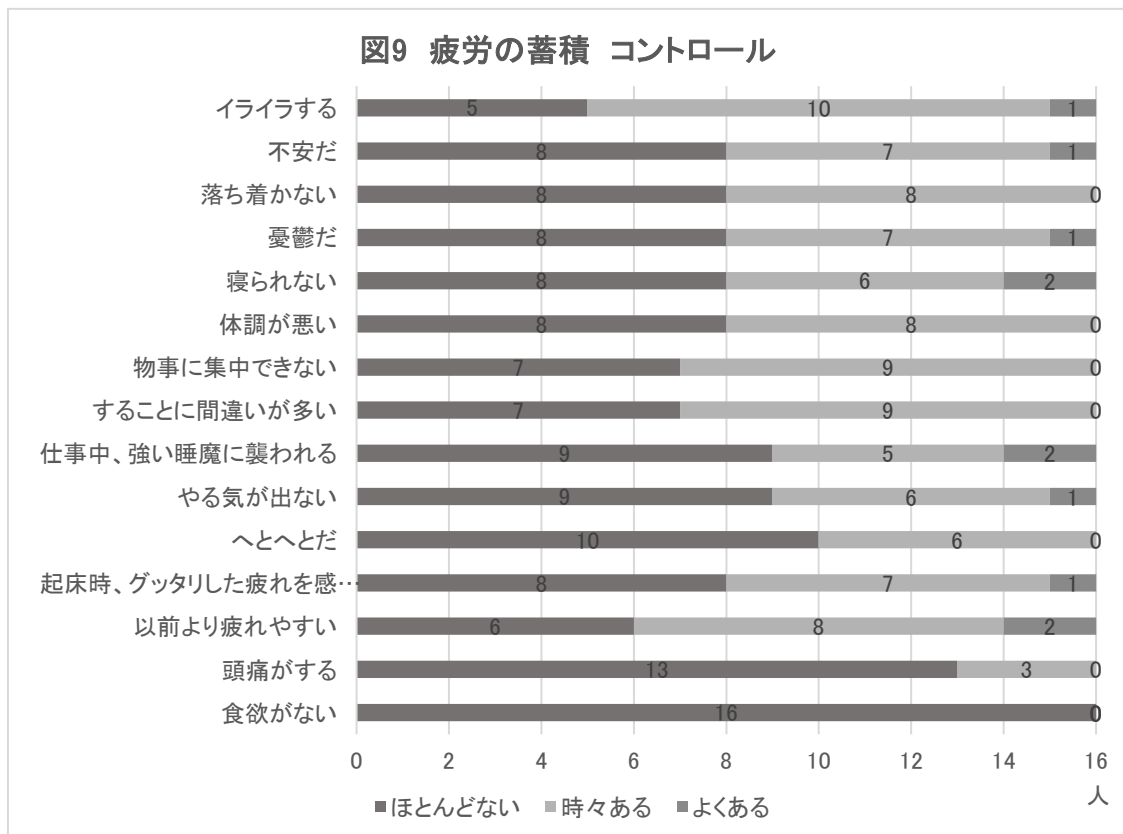
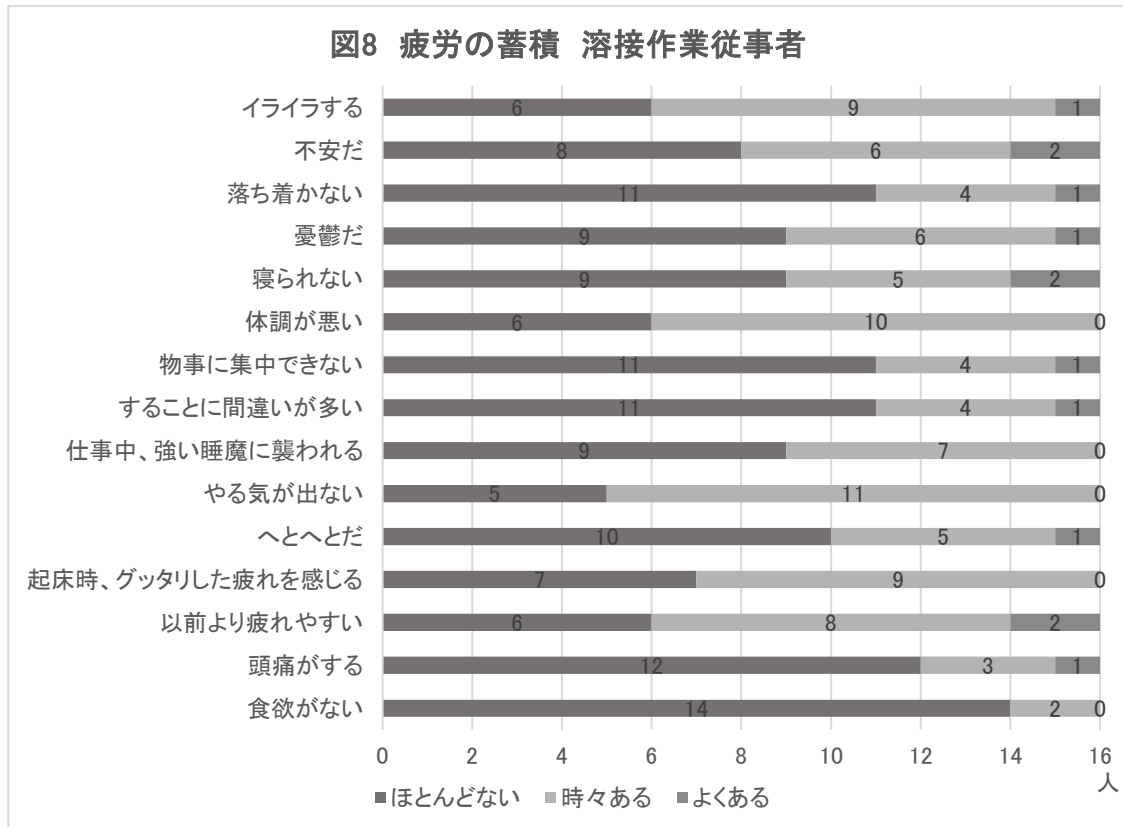
調査の説明



質問票記入

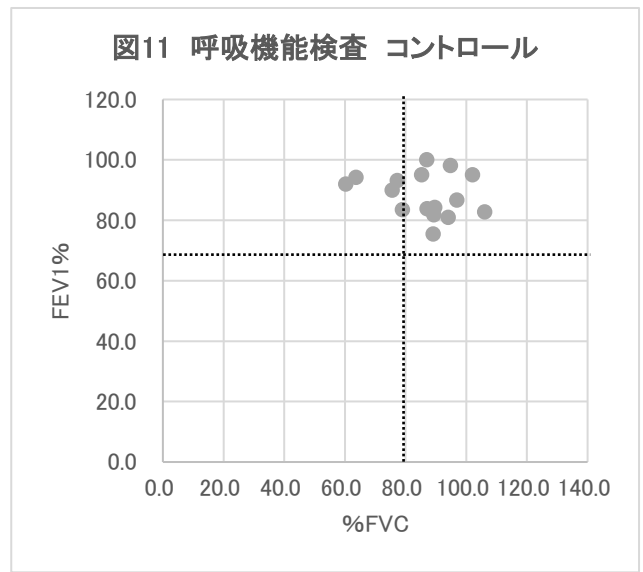
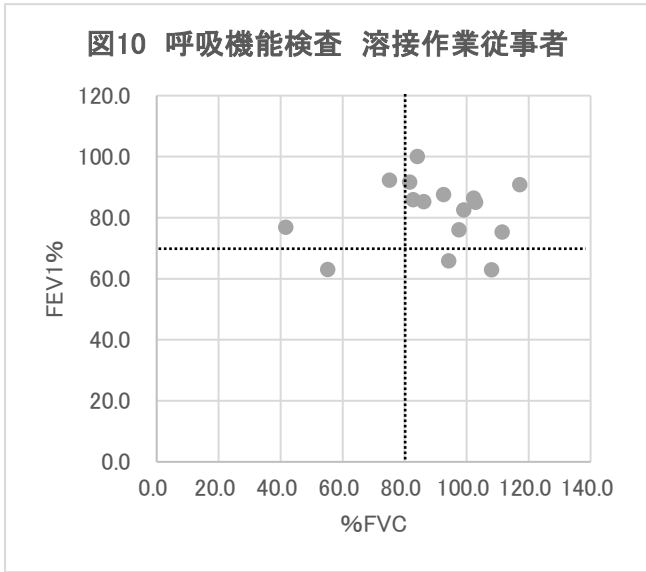
○疲労の蓄積

溶接作業従事者群は図8、コントロールは図9に示す。いずれの項目も溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。



<呼吸機能検査>

呼吸機能検査は%肺活量(%FVC)および一秒率(FEV1.0%)を評価対象とした。それぞれの基準値(%FVC:80%、FEV1.0%:70%)を超えるかどうかを評価した(図 10、11)



呼吸機能検査

<神経学的検査>

○タッピング

利き手と非利き手の示指 30 秒間の合計数を用い Mann-Whitney U test にて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差が認められなかった(表 3、4)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 12、13)。

表 3 タッピング 利き手

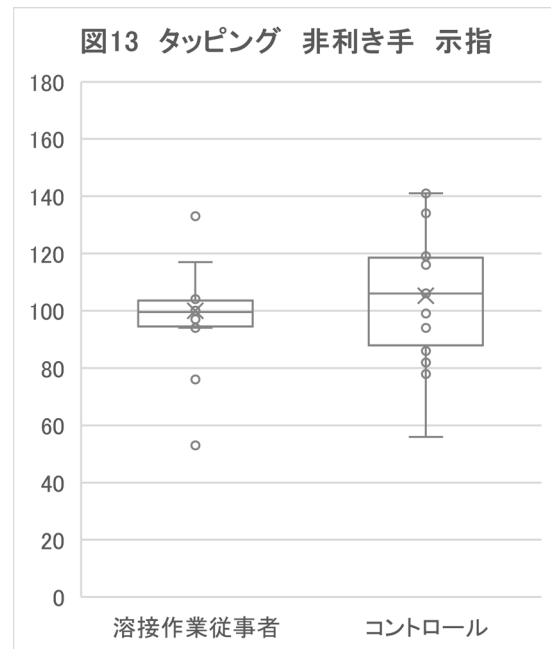
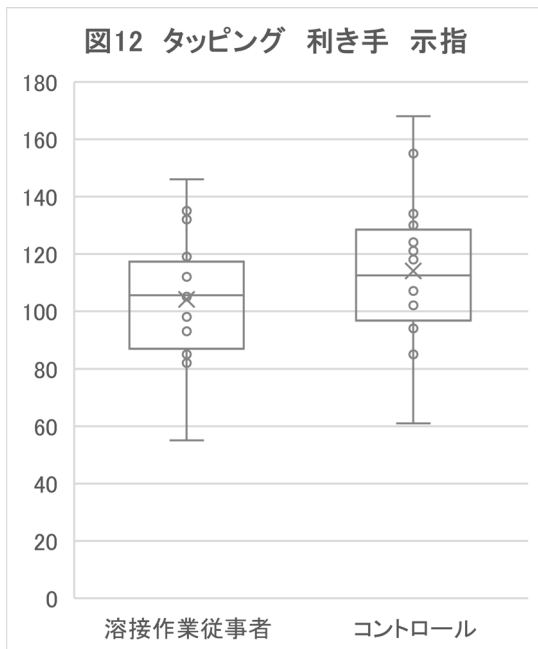
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	55.0	91.0	105.5	113.8	146.0	0.291
コントロール	61.0	100.3	112.5	125.5	168.0	

(Mann-Whitney U test)

表 4 タッピング 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	53.0	95.5	99.5	102.5	135.0	0.496
コントロール	56.0	92.0	106.0	117.5	141.0	

(Mann-Whitney U test)



タッピング

○握力

利き手と非利き手の握力を2回測定した合計数を用い Mann-Whitney U test にて評価した(表 5、6)。溶接作業従事者群とコントロール群の非利き手で有意差が認められた($p < 0.05$)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 14、15)。

表 5 握力 利き手

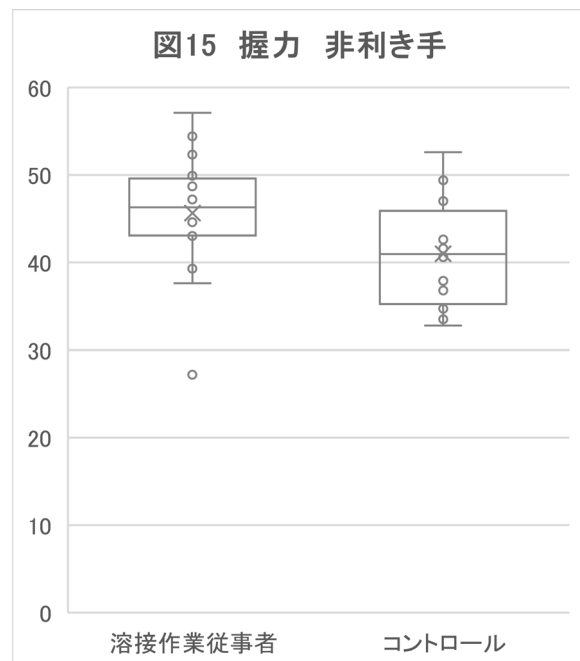
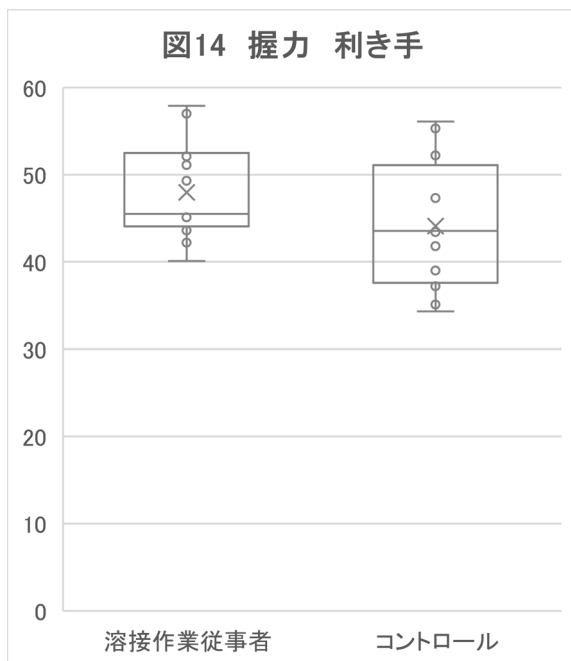
	最小	25%	中央値	75%	最大	p 値
溶接作業従事者	39.3	43.9	45.5	52.2	57.9	0.110
コントロール	34.3	37.8	43.6	48.9	56.1	

(Mann-Whitney U test)

表 6 握力 非利き手

	最小	25%	中央値	75%	最大	p 値
溶接作業従事者	27.2	44.3	46.3	49.0	57.1	0.019
コントロール	32.8	36.3	41.0	43.7	52.6	

(Mann-Whitney U test)



質 問 票

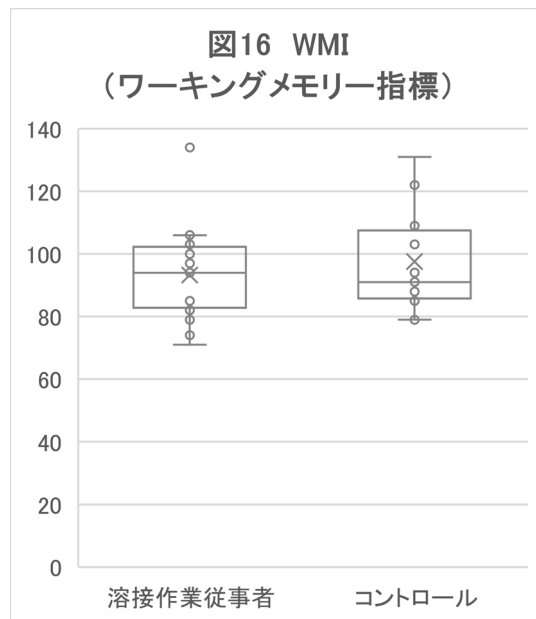
OWAIS-IV WMI(Working Memory Index:ワーキングメモリー指標)

「数唱」「算数」の評価点合計に基づいて得点化している。Mann-Whitney U test では、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差が認められなかった(表 7)。溶接作業従事者群とコントロール群を箱ひげ図にて示す(図 16)。

表 7 WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー指標)

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	81.0	84.3	94.0	100.8	134.0	0.558
コントロール	79.0	87.3	91.0	104.5	131.0	

(Mann-Whitney U test)



WAIS-IV



WAIS-IV後採点

<溶接ヒュームの濃度測定>

1) 作業環境測定基準および個人サンプラーを用いた測定

● 作業環境測定デザインの図

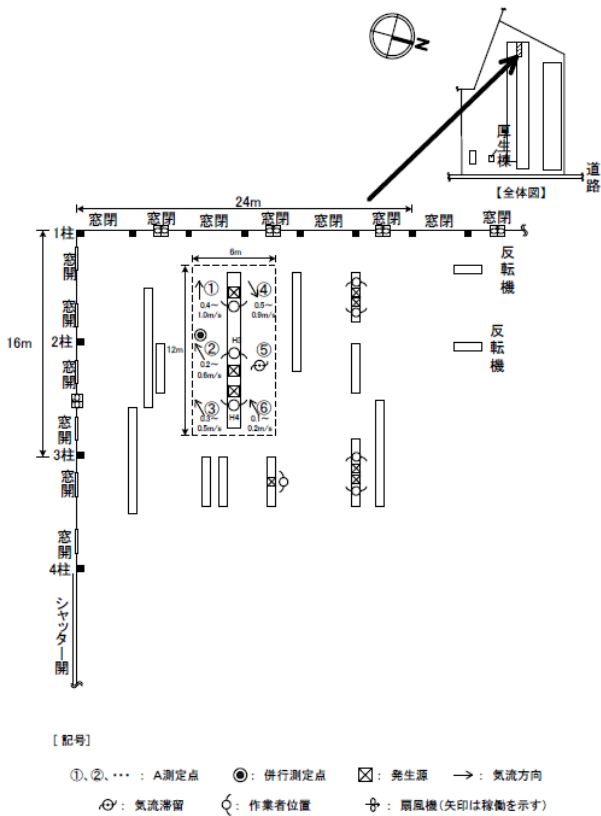


図1 デザイン

* サンプル実施時に当該単位作業場所で行われていた作業、設備の稼働状況等及び測定値に影響を及ぼしたと考えられる事項の概要
 [作業工程と発生源及び作業員数]
 作業工程: 梁溶接作業 部材の搬入~溶接~ガウジング~ハンドグラインダーによる仕上げ研磨~部材の反転又は搬出(この作業を繰り返す)
 発生源: 溶接の作業位置である 作業員: 8名(うち2名が個人ばく露測定対象者 H3,H4)
 (呼吸用保護具着用(取替え式防じんマスク: DR28SU2K(RL2)((株)重松製作所)、溶接面使用)
 [設備、排気装置の稼働状況]
 ・全体換気装置: 5台稼働
 ・局所排気装置等: 無
 [ドア、窓の開閉、気流の状況]
 ・シャッター: 開
 ・窓: 一部開
 ・シャッター、窓から外気の流入が見られた。
 [当該単位作業場所の周辺からの影響]
 特になし
 [各測定点に関する特記事項] 特になし
 併行測定点 気温 20.5°C 湿度 34% 気流 0.2~1.3m/s
 外気条件 気温 17.6°C 湿度 41% 晴(15時50分)

表1 A 測定データ

測定方法 No.	測定方法	相対濃度(cpm)	吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)	吸引性粉じん濃度 (mg/m ³)	備考
1		249	2.66	4.08	
2		173	1.85	2.84	
3		95	1.02	1.56	
4		86	0.92	1.41	
5		76	0.81	1.25	
6		53	0.57	0.87	
7		以下余白	以下余白	以下余白	

表2 吸入性粉じん濃度測定 作業環境測定結果

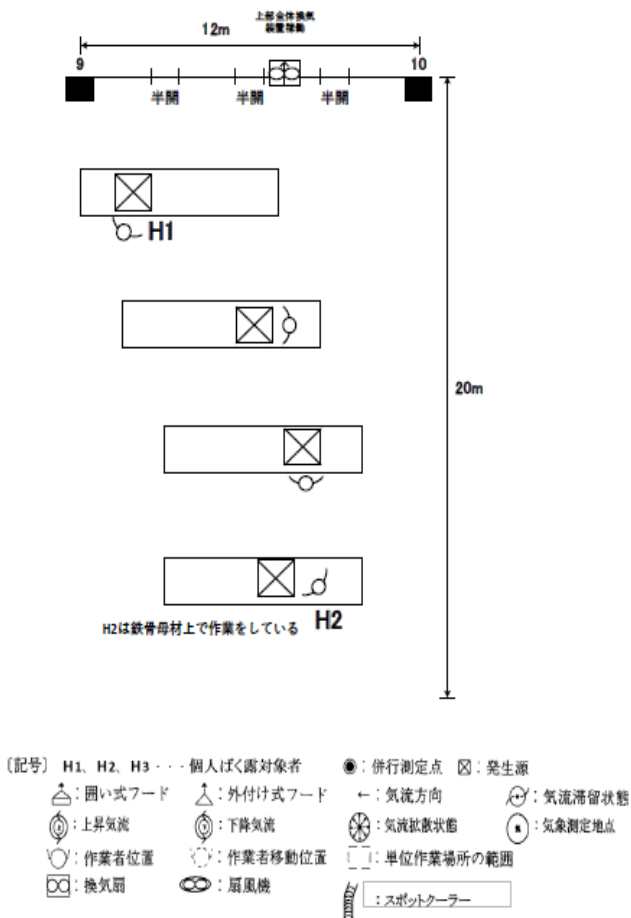
幾何平均値	M1 = 0.50 mg/m ³	M2 = — mg/m ³	M = 1.13 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 1.17	σ2 = —	σ = 2.40
第1評価値	EA1 = 4.80 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 1.67 mg/m ³		
管理濃度	30mg/m ³		
評価	A 測定	区分 2	
	評価結果	第 2 管理区分	

表3 吸引性粉じん濃度測定 作業環境測定結果

幾何平均値	M1 = 1.74 mg/m ³	M2 = — mg/m ³	M1 = 1.74 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 1.77	σ2 = —	σ = 2.40
第1評価値	EA1 = 7.35 mg/m ³		
第2評価値	EA2 = 2.55 mg/m ³		

2)個人サンプラーを用いた測定

H-1, H-2: 鉄骨加工棟、大組立溶接作業(図2)



〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程: 鋼構造物の製作における大組溶接作業
 部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応じて
 ガウジング作業、サンダー作業
 (上記、この作業を繰り返す)

・発生源: 溶接作業、ガウジング作業、サンダー作業位
 置である

・作業人数: 4名

※呼吸用保護具着用 DR28SU2K(RL2) (株)重松製作
 所

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・工場内全体換気装置: 稼働

・局所排気装置等: 無

・扇風機: 無

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・窓: 一部開

・気流の状況: 窓から外気が流入していた

〔作業場所の周辺からの影響〕

・工場内では、至るところで溶接作業が行われていたが、
 各作業場は離れており、他の作業場からの影響はなかつた
 と考えられる。

〔特記事項〕

・作業員 H2 は、鉄骨上を作業位置とし溶接作業をおこ
 なっていた。

H-3, H-4: 鉄骨加工棟、サブマージュ溶接、エレクトロスラグ溶接作業(図3)

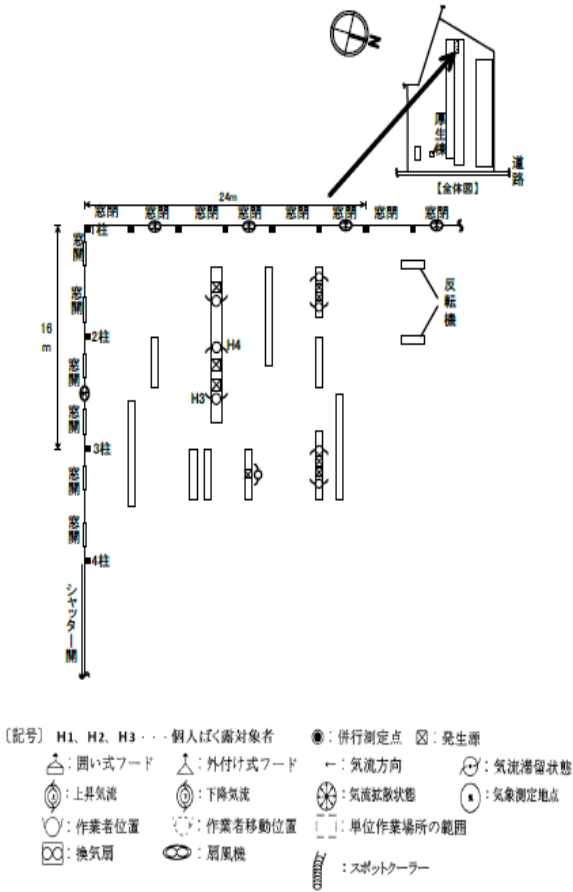


図3 デザイン

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程: 鋼構造物の製作におけるサブマージュ溶接、エレクトロスラグ溶接作業 部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応じてガウジング作業 (上記、この作業を繰り返す)

・発生源: 溶接作業、ガウジング作業、である

・作業者数: 8名

※呼吸用保護具着用 DR28SU2K (RL2) ((株)重松製作所)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・工場内全体換気装置: 5台稼働

・局所排気装置等: 無

・扇風機: 無

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・シャッター: 開

・窓: 一部開

・気流の状況: シャッター、窓から外気が流入していた

〔作業場所の周辺からの影響〕

・工場内では、至るところで溶接作業が行われていたが、各作業場は離れており、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。

〔特記事項〕 ・特になし

H-5, H-6: 鉄骨加工棟、柱組立溶接作業(図4)

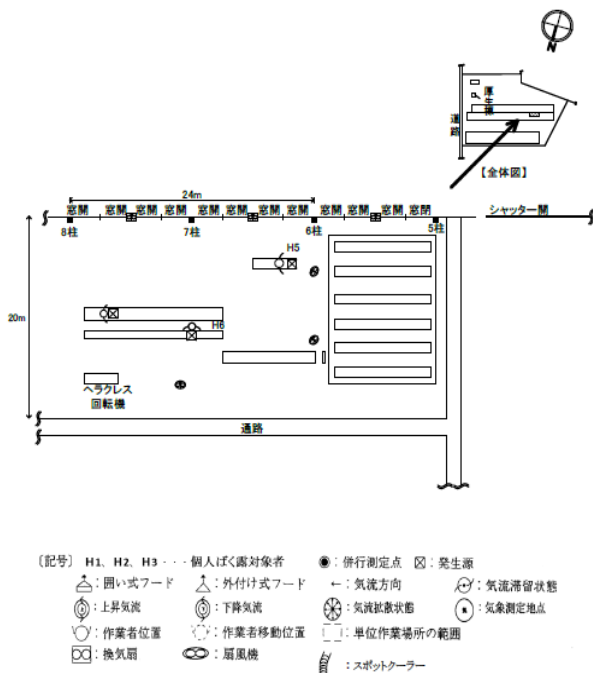


図4 デザイン

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程: 鋼構造物の製作における柱組立溶接作業 部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応じてガウジング作業、グラインダー作業、掃除等 (上記、この作業を繰り返す)

・発生源: 溶接作業、ガウジング作業、グラインダー作業位置である

・作業者数: 3名

※呼吸用保護具着用 DR28SU2K (RL2) ((株)重松製作所)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・工場内全体換気装置: 稼働

・局所排気装置等: 無

・換気扇: 3台稼働

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・窓: 一部開

・気流の状況: 窓から外気が流入していた

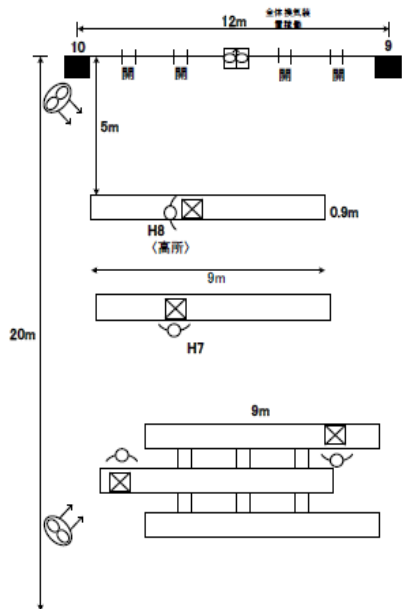
[作業場所の周辺からの影響]

・工場内では、至るところで溶接作業が行われていたが、窓が開いており換気は良い状況であった。そのため、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。

[特記事項]

・特に無し。

H-7, H-8: 鉄骨加工棟、仕口溶接作業(図5)



(記号) H1, H2, H3...個人ばく露対象者 ●: 併行測定点 □: 発生源
△: 囲い式フード △: 外付け式フード ←: 気流方向 ⊕: 気流滞留状態
⊙: 上昇気流 ⊙: 下降気流 ⊗: 気流拡散状態 ⊙: 気象測定地点
○: 作業者位置 ○: 作業者移動位置 □: 単位作業場所の範囲
⊠: 換気扇 ⊗: 扇風機 ⊔: スポットクーラー

図5 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

・作業工程: 鋼構造物の製作における仕口溶接作業
部材を準備する～位置決め～溶接作業
(上記、この作業を繰り返す)

・発生源: 各溶接作業位置である

・作業員数: 4名

※呼吸用保護具着用 DR28SU2K(RL2) ((株)重松製作所)

[設備、排気装置の稼働状況]

・工場内全体換気装置: 稼働

・局所排気装置等: 無し

・扇風機: 2台稼働(工場上部にある全体換気装置のある方向へ気流を作っていた)

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

・窓: 一部開

・気流の状況: 窓から外気が流入していた

[作業場所の周辺からの影響]

・工場内では、至るところで溶接作業が行われていたが、各作業場は離れており、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。

[特記事項]

・作業員 H7, H8 は、鉄骨上を作業位置とし溶接を行っていた。



個人サンプラー装着

H-9, H-10: 橋梁棟、アーク溶接・仕上溶接作業サブマージュ溶接作業(図6)

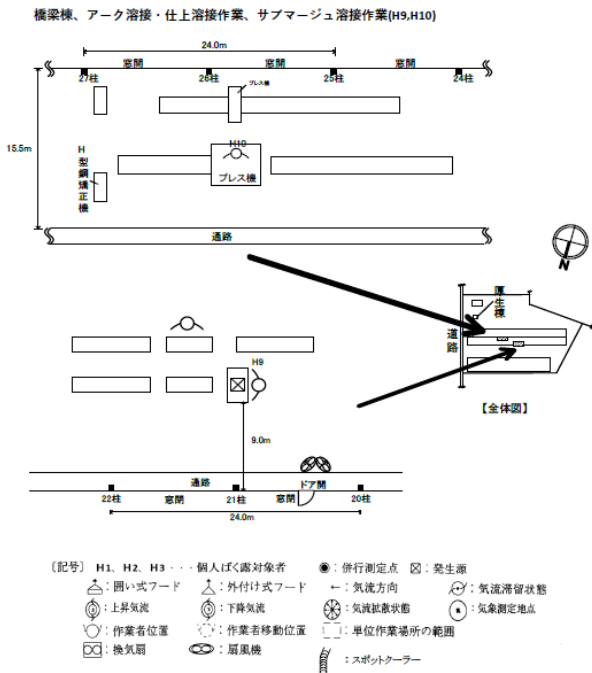


図6 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

・作業工程: 鋼構造物(橋梁)の製作におけるアーク溶接・仕上溶接作業、サブマージュ溶接作業

部材を準備する～位置決め～溶接作業・仕上げ作業～必要に応じてグラインダー作業

(上記、この作業を繰り返す)

・発生源: 溶接作業、グラインダー作業位置である

・作業員数: 3名

※呼吸用保護具着用 H9: DR28SU2K (RL2)、H10:

DR76DSU2K (RL2) (株)重松製作所 H10: 呼吸用保護具(設備、排気装置の稼働状況)

・工場内全体換気装置: 稼働

・局所排気装置等: 無

・扇風機: 2台稼働

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

・ドア: 開、窓: 一部開

・気流の状況: ドア、窓から外気が流入していた

[作業場所の周辺からの影響]

・工場内では、至るところで溶接作業が行われていたが、各作業場は離れており、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。

[特記事項]

・作業員 H10 は、本調査日は一日を通して溶接作業はなかった。(主に曲げ加工作業)

H-11, H-12: 橋梁棟、組立て・溶接作業(図7)

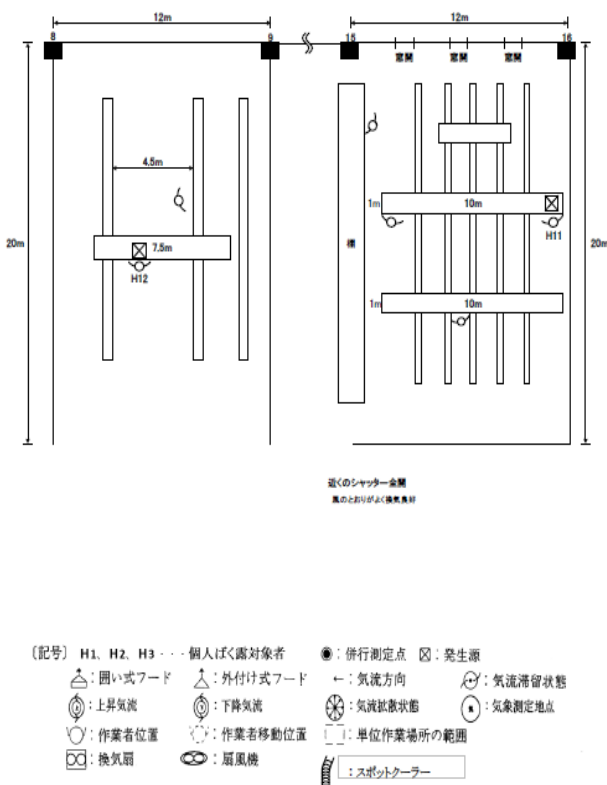


図7 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

・作業工程: 鋼構造物(橋梁)の製作における組立て・溶接作業

部材を準備する～位置決め～組立作業～溶接作業

(上記、この作業を繰り返す)

・発生源: 溶接作業位置である

・作業員数: 6名

※呼吸用保護具着用: DR76DSU2K (RL2) (株)重松製作所

[設備、排気装置の稼働状況]

・工場内全体換気装置: 稼働

・局所排気装置等: 無

・扇風機: 無

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

・窓: 一部開

・気流の状況: 窓から外気が流入していた

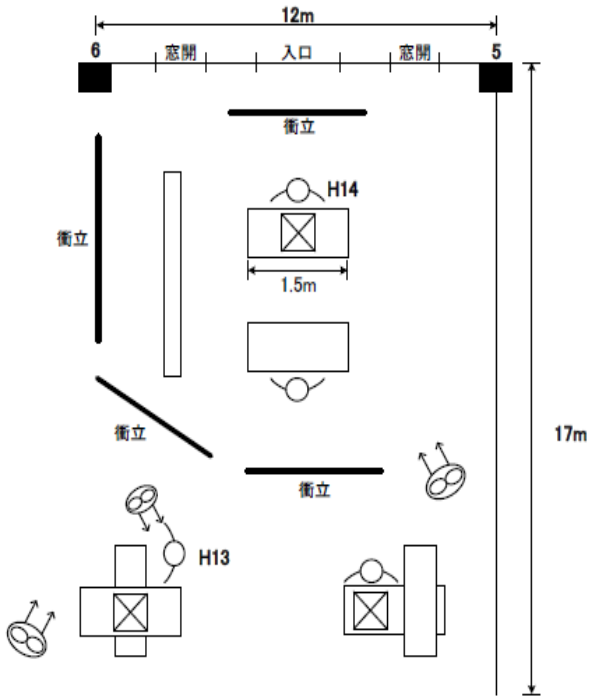
[作業場所の周辺からの影響]

・工場内では、至るところで溶接作業が行われていたが、各作業場は離れており、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。

[特記事項]

・作業員 H11 は、本調査日は一日を通して溶接作業はなかった。(主にケガキ作業、ガス切断、グラインダー作業等)。

H-13, H-14: 橋梁棟、橋梁溶接作業(図8)



(記号) H1, H2, H3... 個人ばく露対象者 ●: 併行測定点 ☒: 発生源
 △: 囲い式フード ▲: 外付け式フード ←: 気流方向 ⊙: 気流滞留状態
 ⊕: 上昇気流 ⊖: 下降気流 ⊗: 気流拡散状態 ⊙: 気象測定地点
 ○: 作業員位置 ○: 作業員移動位置 □: 単位作業場所の範囲
 ☒: 換気扇 ⊕: 扇風機 ⊕: スポットクーラー

図8 デザイン

[[作業工程と発生源及び労働者数]

・作業工程: 鋼構造物(橋梁)の製作における橋梁溶接作業

部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応じてグラインダー作業、スパッタ除去作業(上記、この作業を繰り返す)

・発生源: 溶接作業、グラインダー作業、スパッタ除去作業位置である

・作業員数: 4名

*呼吸用保護具着用 DR28SU2K(RL2) ((株)重松製作所)

[設備、排気装置の稼働状況]

・工場内全体換気装置: 稼働

・局所排気装置等: 無

・扇風機: 3台稼働

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

・窓: 一部開

・気流の状況: 窓から外気が流入していた

[作業場所の周辺からの影響]

・工場内では、至るところで溶接作業が行われていたが、各作業場は離れており、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。

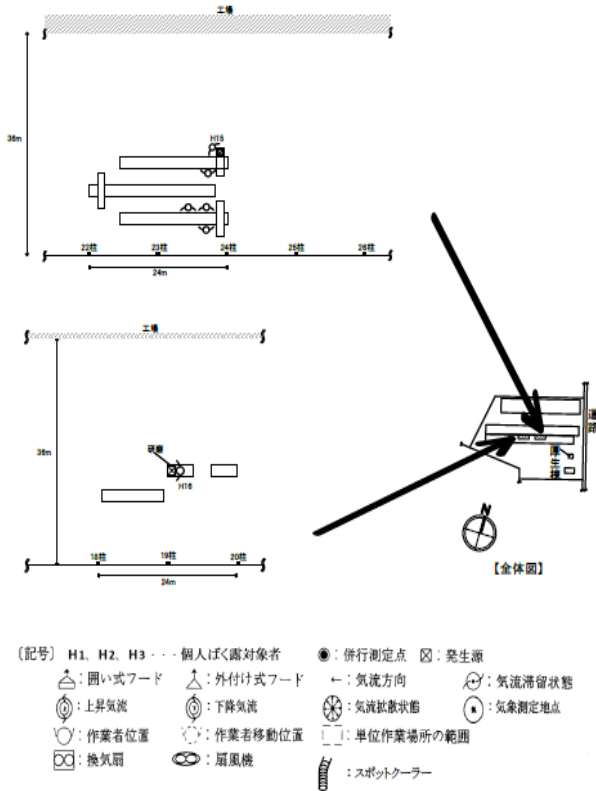
[特記事項]

・特になし



個人サンプラー装着

H-15, H-16: 仕上げ・手直し溶接作業(屋外)(図9)



〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程: 鋼構造物(橋梁)の製作における仕上げ・手直し溶接作業

部材を準備する～溶接作業～必要に応じてグラインダー作業、スパッタ除去作業

(上記、この作業を繰り返す)

・発生源: 溶接作業、グラインダー作業、スパッタ除去作業位置である

・作業者数: 5名

*呼吸用保護具着用 DR28SU2K(RL2) ((株)重松製作所)

〔設備、排気装置の稼働状況〕 屋外作業

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕 屋外作業

〔作業場所の周辺からの影響〕

・屋外での溶接作業のため、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。

〔特記事項〕

・屋外での作業であった。

図9 デザイン



個人サンプラー装着

○個人ばく露測定

溶接作業従事者16名の個人ばく露濃度測定結果(粉じん)を表4に示す。

個人ばく露測定では、吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は16名のうち9名が1mg/m³を超えた。吸入性マンガンの(時間加重平均濃度)は16名のうち、13名は0.05mg/m³以上であった。吸入性マンガンの(8時間加重平均濃度)は16名のうち13名は0.02mg/m³を超えた。

表4 個人ばく露濃度測定結果

対象者	時間加重平均吸入性粉じん濃度(mg/m ³)	8時間加重平均吸入性粉じん濃度(mg/m ³)*	時間加重平均吸入性マンガンの濃度(mg/m ³)**	8時間加重平均吸入性マンガンの濃度(mg/m ³)***
H-1	1.04157	0.44267	0.08188	0.03480
H-2	10.49486	4.76642	1.50826	0.68500
H-3	9.41286	5.00058	1.17969	0.62671
H-4	4.24205	2.41267	0.31865	0.18123
H-5	2.33811	1.23725	0.25183	0.13326
H-6	4.50031	2.45642	0.42002	0.22926
H-7	1.85665	0.85483	0.19088	0.08789
H-8	7.00689	3.56183	0.88739	0.45109
H-9	8.38030	4.67900	0.85187	0.47563
H-10	0.09137	0.05692	0.00727	0.00453
H-11	0.49224	0.27483	0.01165	0.00651
H-12	0.62879	0.36942	0.06637	0.03899
H-13	2.91333	1.49308	0.42923	0.21998
H-14	2.16359	1.15392	0.28560	0.15232
H-15	1.45577	0.74608	0.16897	0.08660
H-16	0.18341	0.09400	0.00096	0.00049

*日本産業衛生学会:許容濃度(第2種粉じん)酸化鉄 1mg/m³

**金属アーク溶接等作業における溶接ヒュームの気中濃度の基準値(Mnとして) 0.05mg/m³

***米国産業衛生専門家会議(ACGIH)ばく露限界値(2013年設定) 0.02mg/m³

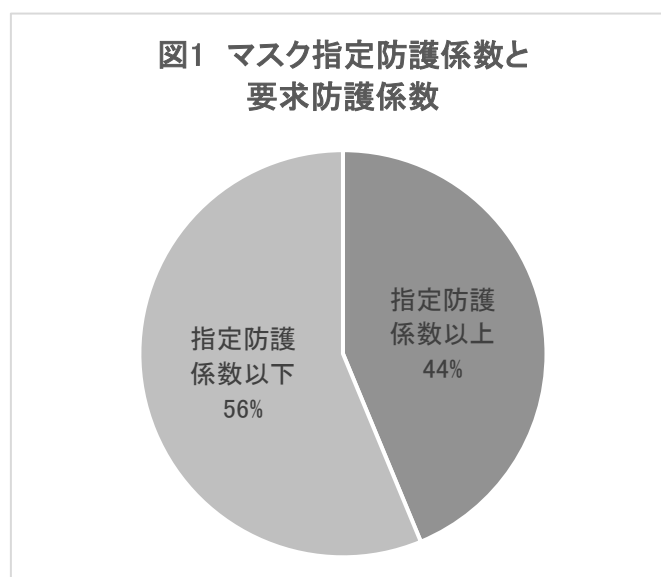
○マスク要求防護係数

各溶接作業従事者の要求防護係数等を表5に示す。溶接作業従事者の要求防護係数は指定防護係数を上回るものが7名(44%)だった(図1)。

表5 各溶接従事者作業者の指定防護係数と各要求防護係数

対象者	マスクメーカー	品番	指定防護係数	要求防護係数
H-1	重松	DR28SU2W	10	30.2
H-2	重松	DR28SU2W	10	30.2
H-3	重松	DR28SU2W	10	23.6
H-4	重松	DR28SU2W	10	23.6
H-5	重松	DR28SU2W	10	8.4
H-6	重松	DR28SU2W	10	8.4
H-7	重松	DR28SU2W	10	17.7
H-8	重松	DR28SU2W	10	17.7
H-9	重松	DR28SU2W	10	17
H-10	重松	DR76DSU2K	10	1.7
H-11	重松	DR76DSU2K	10	1.3
H-12	重松	DR76DSU2K	10	1.3
H-13	重松	DR28SU2W	10	8.6
H-14	重松	DR28SU2W	10	8.6
H-15	重松	DR28SU2W	10	3.4
H-16	重松	DR28SU2W	10	3.4

図1 マスク指定防護係数と
要求防護係数



《マスクフィットテスト》

溶接作業従事者に、労研式マスクフィッティングテスターMT-05U型を用いて、定量的フィットテスト(JIS T8150:2021)を行った。その結果を表1に示す。マスクの種類別のPASS・FAILを表2に示す。また1回目のFAIL、PASSの割合を図1に示す。

表1 マスクフィットテスト結果

対象者	1回目
H-1	FAIL
H-2	PASS
H-3	PASS
H-4	PASS
H-5	PASS
H-6	FAIL
H-7	FAIL
H-8	FAIL
H-9	PASS
H-10	FAIL
H-11	PASS
H-12	PASS
H-13	PASS
H-14	PASS
H-15	PASS
H-16	FAIL
PASS 合計	10

図1 マスクフィットテスト1回目(n=16)

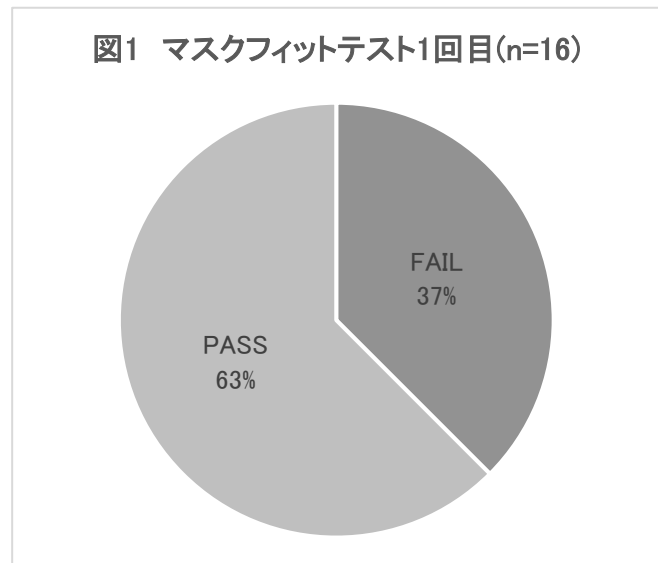
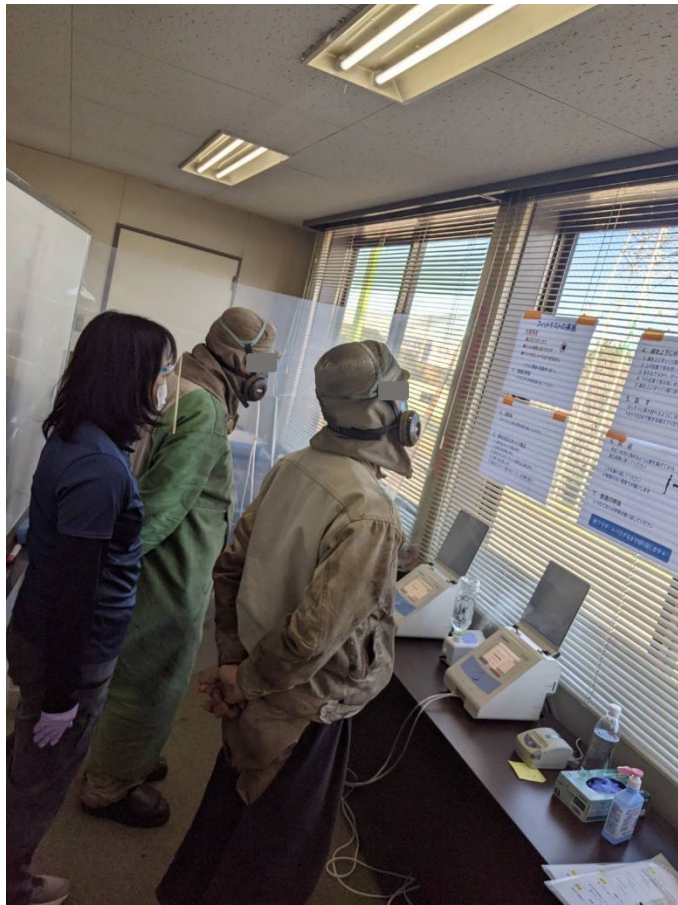


表2 マスクの種類別 PASS・FAIL

マスクの種類	PASS	FAIL
DR28SU2W	8	5
DR76DSU2K	2	1
合計	10	6



マスクフィットテスト



重松 防じんマスク DR28SU2Wの使用1例

事業所 H(建築・鉄鋼構造物工事業)

調査日:2022年4月19日(火)~22日(金)

健康影響に関する調査

<質問票調査>

対象者の溶接作業従事者とコントロールの人数と性別を示す(表1)。

表1 対象者

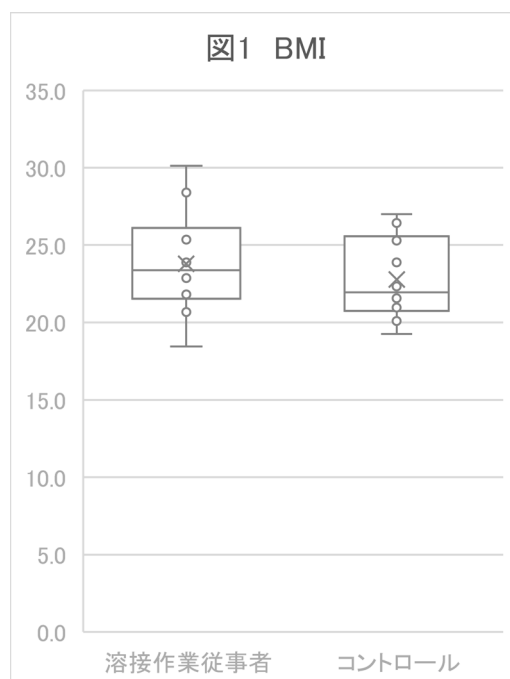
	男(人)	女(人)
溶接作業従事者	9	1
コントロール	9	1

年齢、BMI、溶接業務従事年数の基本情報を示す(表2)。BMIを箱ひげ図(Excel「包括的な中央値」を採用)にて示す(図1)。

表2 対象者背景:基本情報

	溶接作業従事者(n=10)		コントロール(n=10)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	35.9	12.7	36.1	12.2
BMI	23.8	3.5	22.8	2.7
溶接に従事した期間(年)	14.7	10.0	0.1	0.3

※コントロール群のうち1名は過去に1年間の溶接作業歴があった

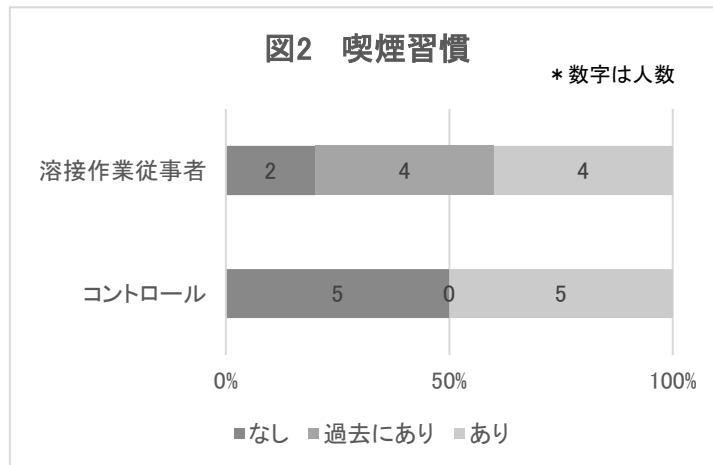


年齢およびBMIにおいて溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Mann-Whitney U test)。

○生活習慣

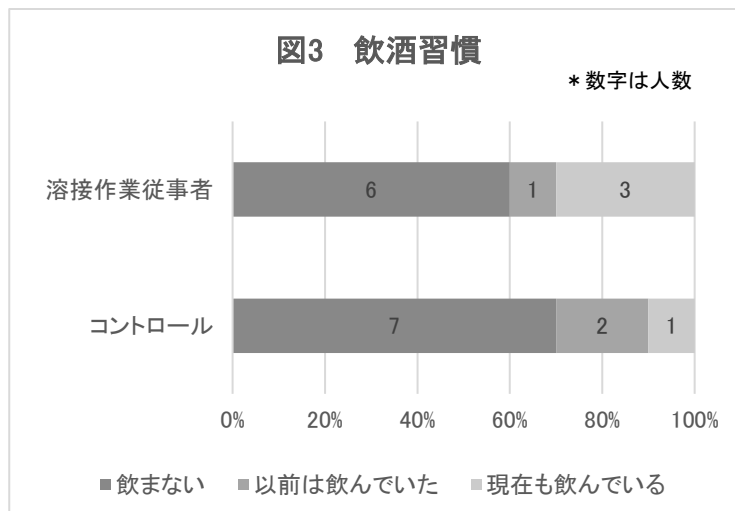
・喫煙状況

溶接作業従事者群の 40.0% (4 名)、コントロール群の 50.0% (5 名) が現在喫煙者であった (図 2)。



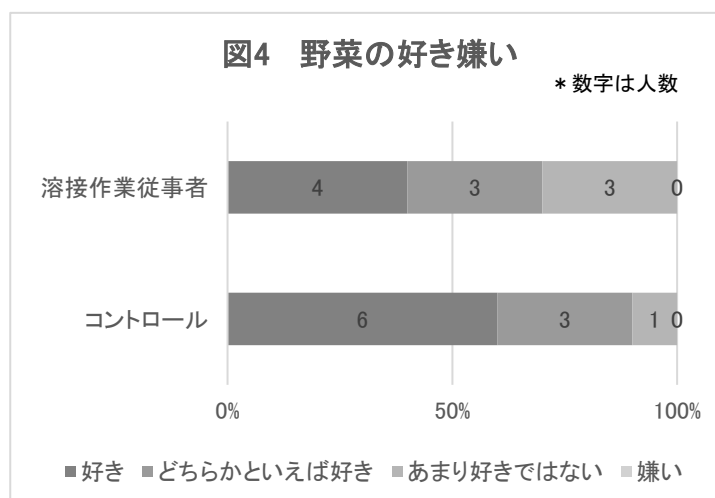
・飲酒状況

「現在も飲んでいる」と回答した割合は、溶接作業従事者群は 30.0% (3 名)、コントロール群は 10.0% (1 名) (図 3)。



・食生活状況 (マンガンを多く含む野菜が「好き」との回答)

溶接作業従事者群は 40.0% (4 名)、コントロール群は 60.0% (6 名) であった (図 4)。

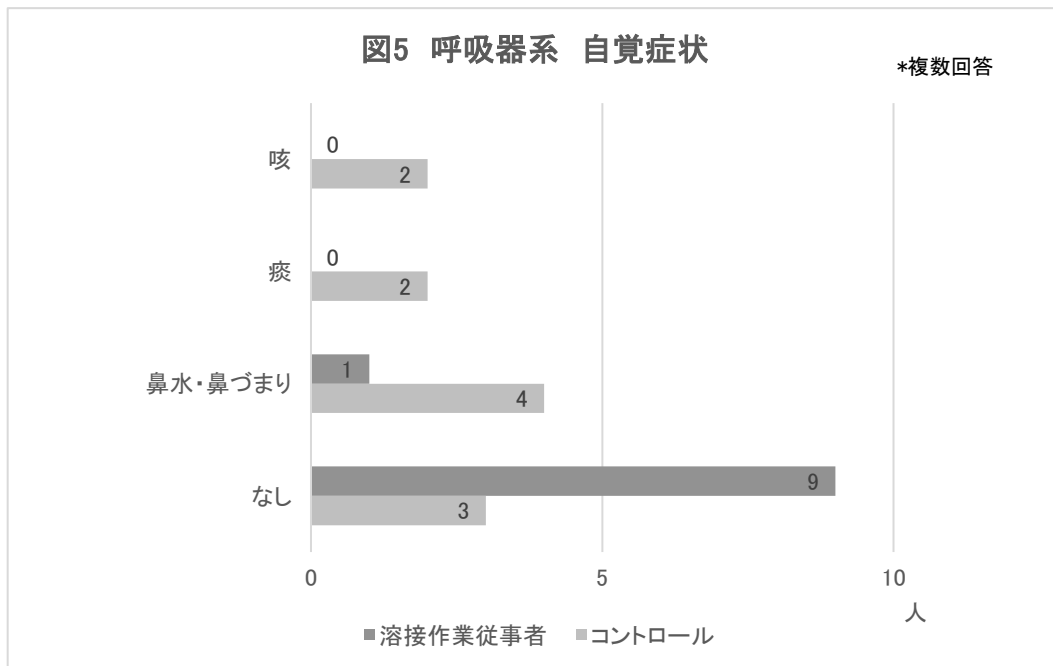


喫煙状況、飲酒状況、食生活状況 (野菜) において、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった (Fisher 検定)。

○自覚症状・既往症

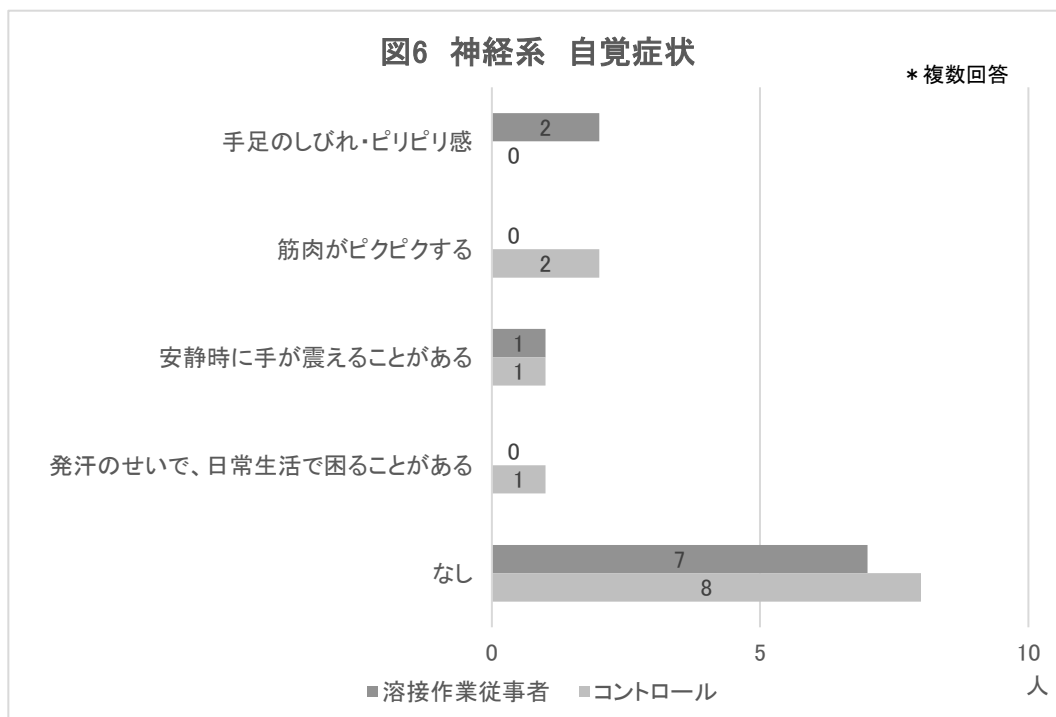
・呼吸器系(咳、痰、喘鳴、息切れ、鼻水・鼻づまり症状)の自覚症状

溶接作業従事者群に鼻水・鼻づまり(1名)、コントロール群は鼻水・鼻づまり(4名)、咳(2名)、痰(2名)の回答があった(図5)。



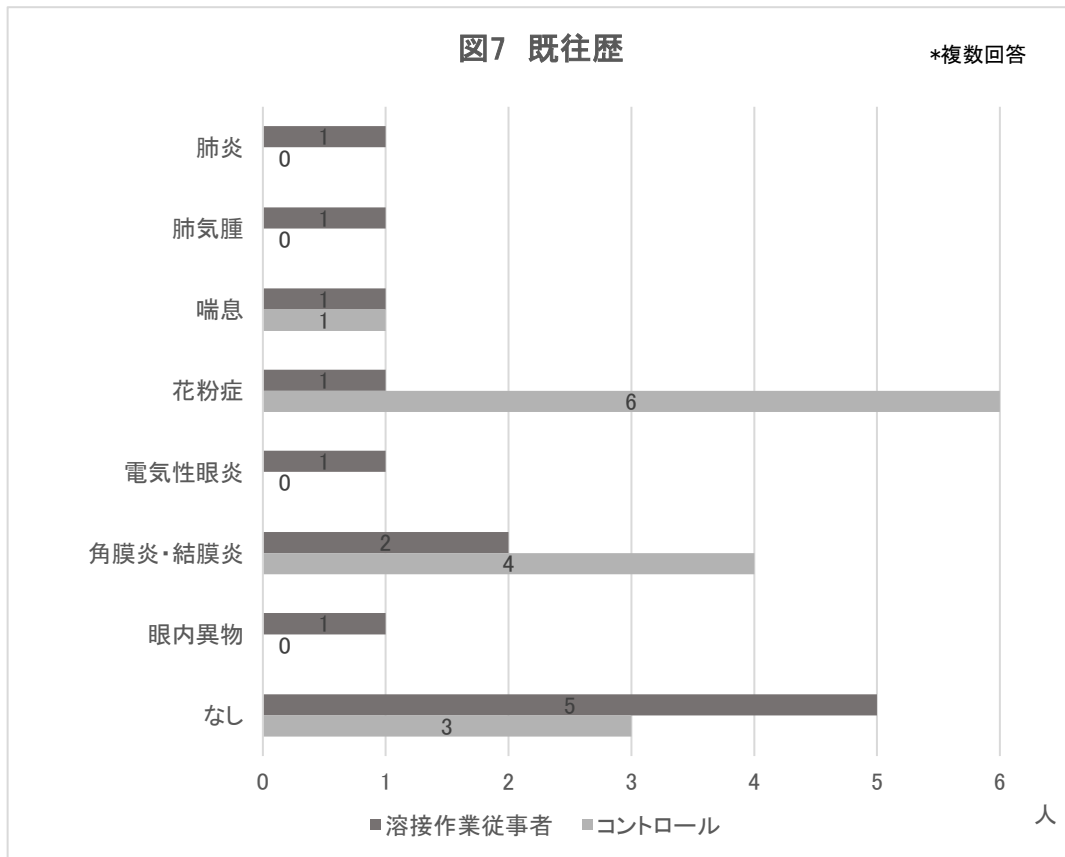
・神経系の自覚症状

溶接作業従事者群では足のしびれ・ピリピリ感(2名)、安静時に手が震えることがある(1名)、コントロール群では筋肉がピクピクする(2名)、安静時に手が震えることがある(1名)、発汗のせいで、日常生活で困ることがある(1名)の回答があった(図6)



・既往歴

溶接作業従事者群では角膜炎・結膜炎(2名)、花粉症(1名)、肺炎(1名)、肺気腫(1名)、喘息(1名)、電気性眼炎(1名)、眼内異物(1名)、コントロール群では花粉症(6名)、角膜炎・結膜炎(4名)、喘息(1名)の回答を認めた(図7)。



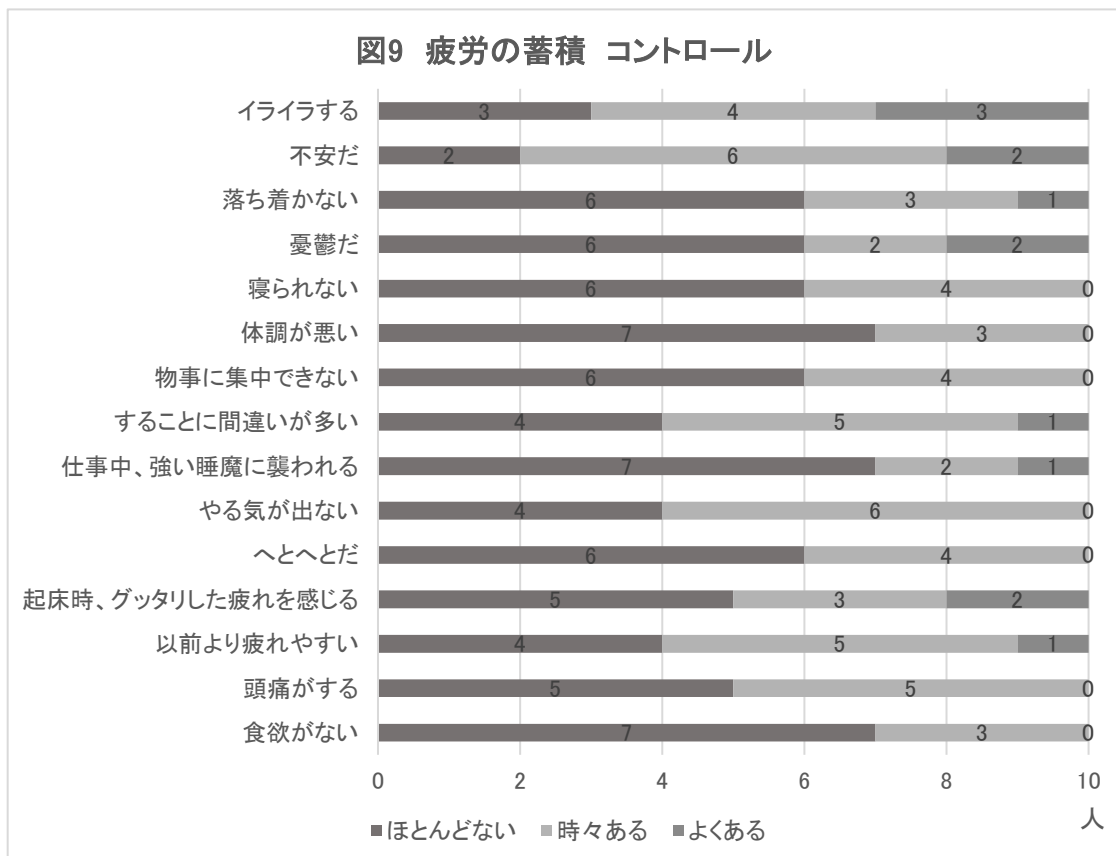
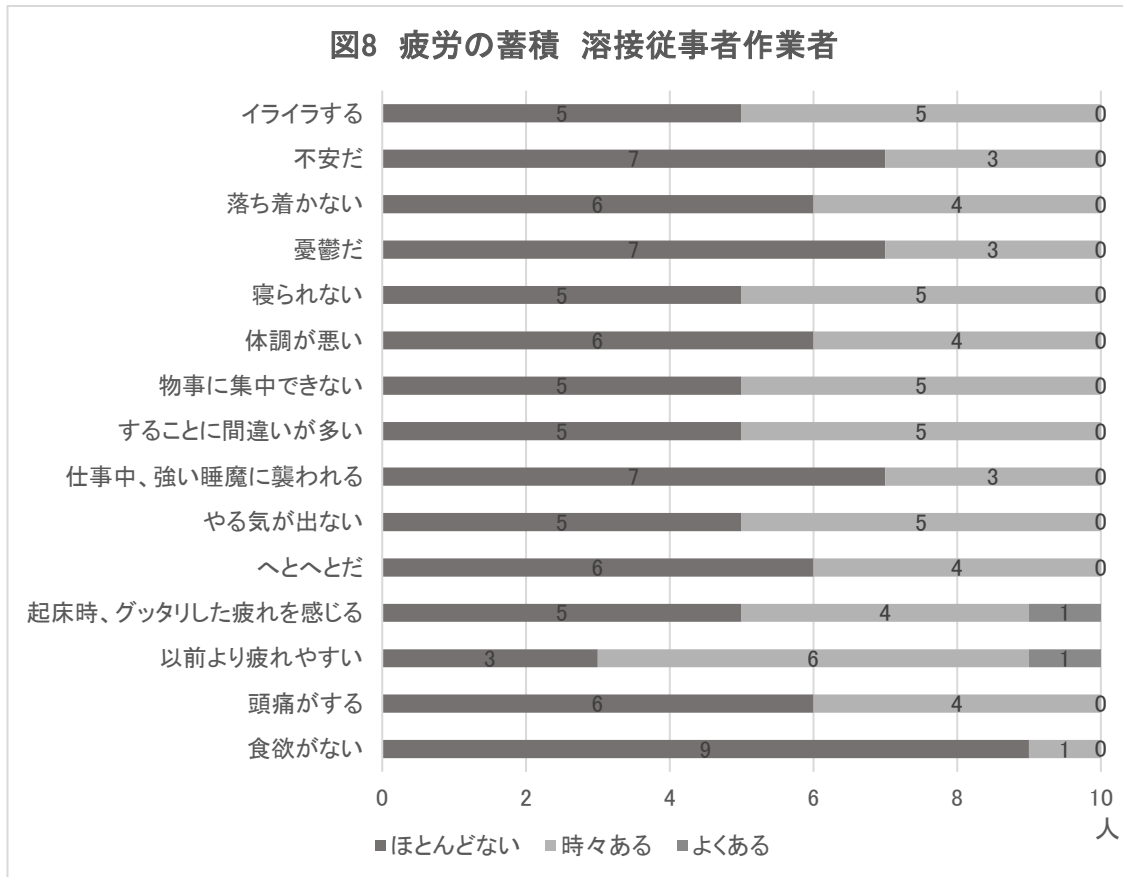
調査の説明



WAIS-IV

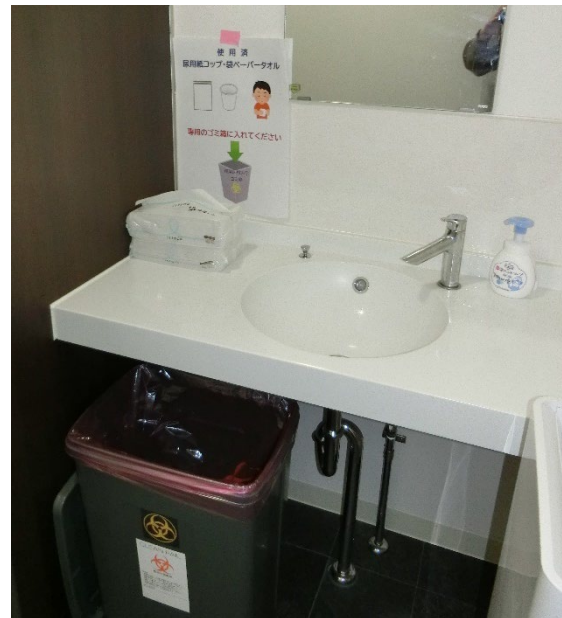
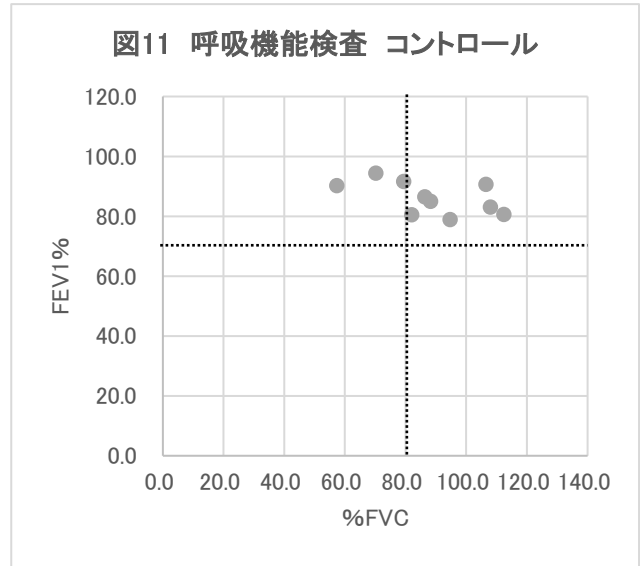
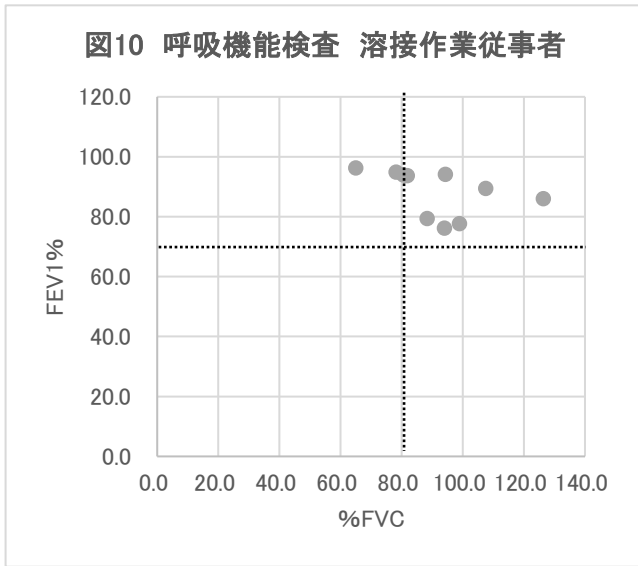
○疲労の蓄積

溶接作業従事者群は図 8、コントロールは図 9 に示す。いずれの項目も溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。



<呼吸機能検査>

呼吸機能検査は%肺活量(%FVC)および一秒率(FEV1.0%)を評価対象とした。それぞれの基準値(%FVC:80%、FEV1.0%:70%)を超えるかどうかを評価した(図10、11)



採尿

<神経学的検査>

○タッピング

溶接作業従事者群・コントロール群を全員と男性のみに分け、利き手と非利き手の示指 30 秒間の合計数を用い、Mann-Whitney U test にて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差が認められなかった(表 3～表 6)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 12、13)。

表 3 タッピング 利き手(全員)

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	45.0	83.8	119.5	136.5	152.0	0.289
コントロール	85.0	108.0	127.0	140.8	170.0	

(Mann-Whitney U test)

表 4 タッピング 利き手(男性のみ)

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	45.0	89.0	123.0	141.0	152.0	0.353
コントロール	85.0	123.0	130.0	141.0	170.0	

(Mann-Whitney U test)

表 5 タッピング 非利き手(全員)

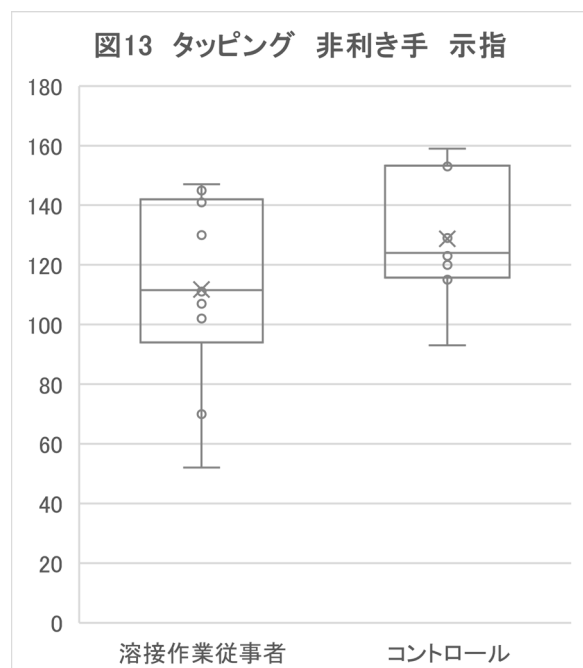
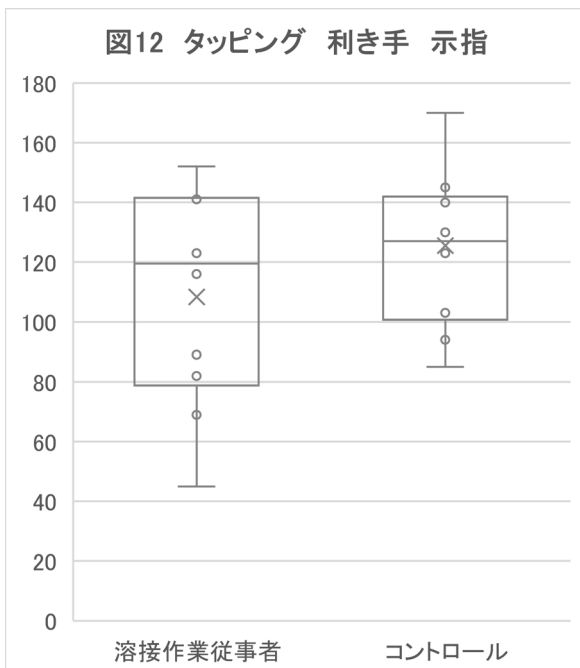
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	52.0	103.3	111.5	138.3	147.0	0.172
コントロール	93.0	117.0	124.0	147.0	159.0	

(Mann-Whitney U test)

表 6 タッピング 非利き手(男性のみ)

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	52.0	107.0	112.0	141.0	147.0	0.272
コントロール	93.0	120.0	125.0	153.0	159.0	

(Mann-Whitney U test)



○握力

溶接作業従事者群・コントロール群を全員と男性のみに分け、利き手と非利き手の握力を 2 回測定した合計数を用い Mann-Whitney U test にて評価した(表 7～表 10)。溶接作業従事者群とコントロール群の非利き手(男性のみ)で有意差が認められた($p<0.05$) (表 10)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 14、15)。

表 7 握力 利き手(全員)

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	24.7	41.1	49.8	58.2	59.5	0.290
コントロール	28.8	39.9	44.1	48.4	51.6	

(Mann-Whitney U test)

表 8 握力 利き手(男性のみ)

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	37.9	42.4	55.3	58.5	59.5	0.200
コントロール	38.7	40.6	47.3	48.4	51.6	

(Mann-Whitney U test)

表 9 握力 非利き手(全員)

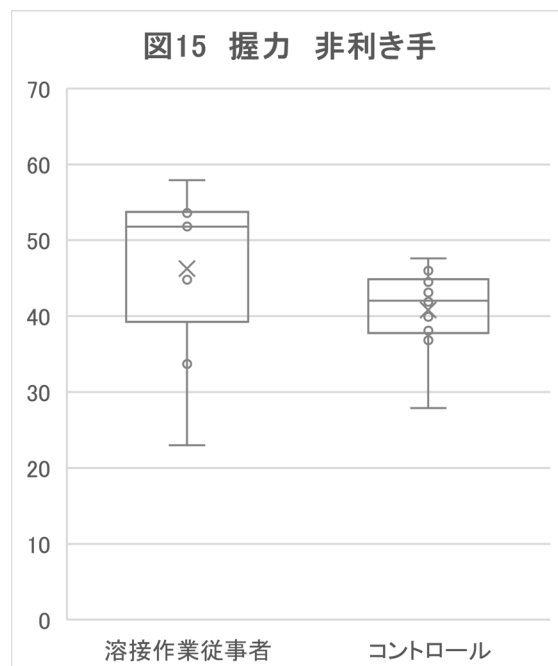
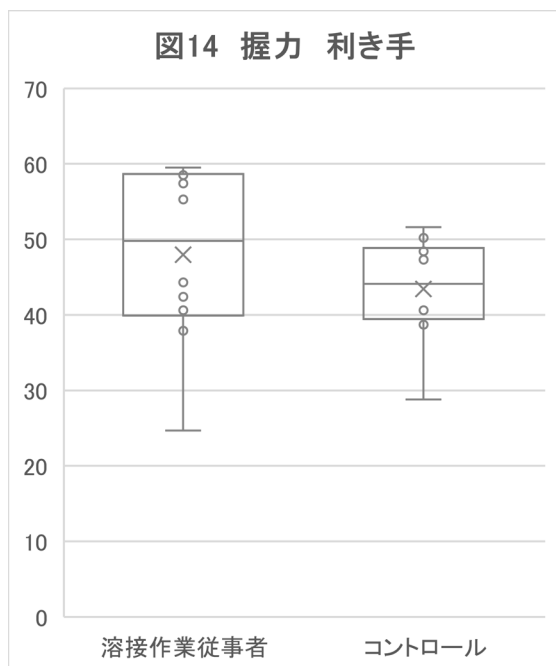
	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	23.0	44.8	51.8	53.6	57.9	0.079
コントロール	27.9	38.6	42.1	44.2	47.6	

(Mann-Whitney U test)

表 10 握力 非利き手(男性のみ)

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	33.7	45.0	52.3	53.7	57.9	0.027
コントロール	36.8	39.9	42.2	44.5	47.6	

(Mann-Whitney U test)



OWAIS-IV WMI(Working Memory Index:ワーキングメモリー指標)

「数唱」「算数」の評価点合計に基づいて得点化している。溶接作業従事者群・コントロール群を全員と男性のみに分け、Mann-Whitney U test にて評価したところ、有意差が全員 ($p<0.05$ (表 11))と男性のみ ($p=0.009$ (表 12))とも認められた。溶接作業従事者群とコントロール群を箱ひげ図にて示す(図 16, 17)。

表 11 WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー指標)(全員)

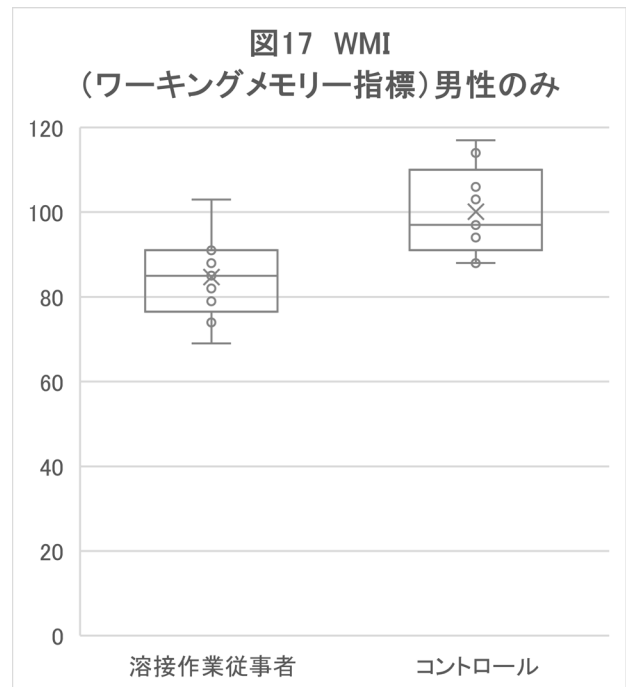
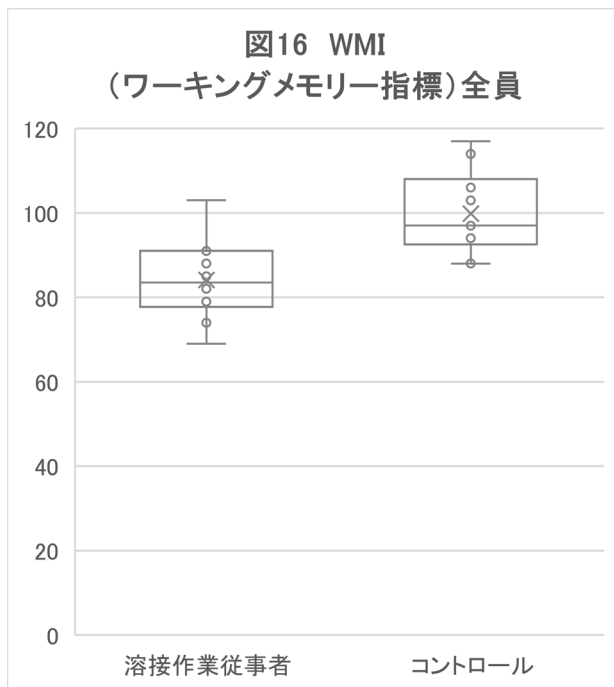
	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	69.0	79.0	83.5	90.3	103.0	0.004
コントロール	88.0	94.0	97.0	105.3	117.0	

(Mann-Whitney U test)

表 12 WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー指標)(男性のみ)

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	69.0	79.0	85.0	91.0	103.0	0.009
コントロール	88.0	94.0	97.0	106.0	117.0	

(Mann-Whitney U test)



WAIS-IV

<溶接ヒュームの濃度測定>

1)作業環境測定基準および個人サンプラーを用いた測定

●作業環境測定 未測定

2)個人サンプラーを用いた測定

H-1, H-2, H-5, H-6:組立溶接作業場(橋梁・高架橋)(図1)

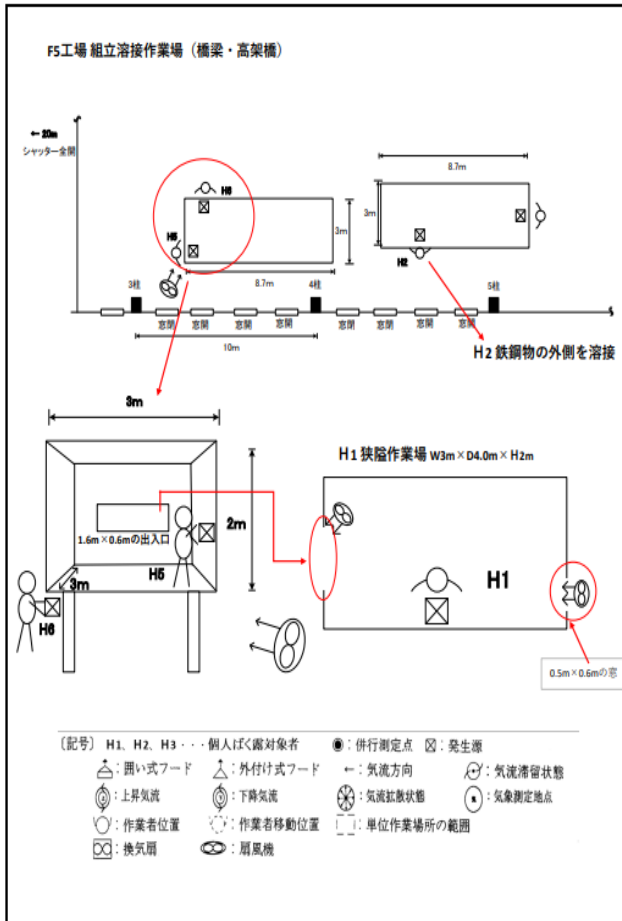


図1 デザイン



個人サンプラー装着

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程:建築用鉄鋼物(橋梁高架橋)の組立溶接作業

部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応じてガウジング作業、サンダー作業

(上記、この作業を繰り返す)

・発生源:溶接作業、ガウジング作業、サンダー作業位置である

・作業員数:8名

*呼吸用保護具着用 サカキ式 1005RR-05 型(RL2)、作業員 H6 のみ 1015-02 型(RL2)(興研株式会社)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・工場内全体換気装置:稼働

・局所排気装置等:無

・扇風機:有

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・窓:一部開

・シャッター開

・気流の状況:シャッター、窓からわずかに外気が流入していた

〔作業場所の周辺からの影響〕

・工場内では、至るところで溶接作業が行われているが、各作業場は離れており、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。

〔特記事項〕

・作業員 H1、H5、H6 は、同じ建築用鉄鋼物(ボックス型)の溶接作業をおこなっていた。作業員 H1 は鉄鋼物の狭隘部分(W3m×D4.0m×H2m)の中に入り作業を行っていた。作業員 H5 は鉄鋼物の周辺や時折狭隘部分に入り作業を行っていた。作業員 H6 は、鉄鋼物の外部周辺のみ溶接作業であった。また、作業員 H2 は、同型の建築用鉄鋼物の外部周辺の溶接を行っていた。

H-3, H-4: セグメント溶接作業(図2)

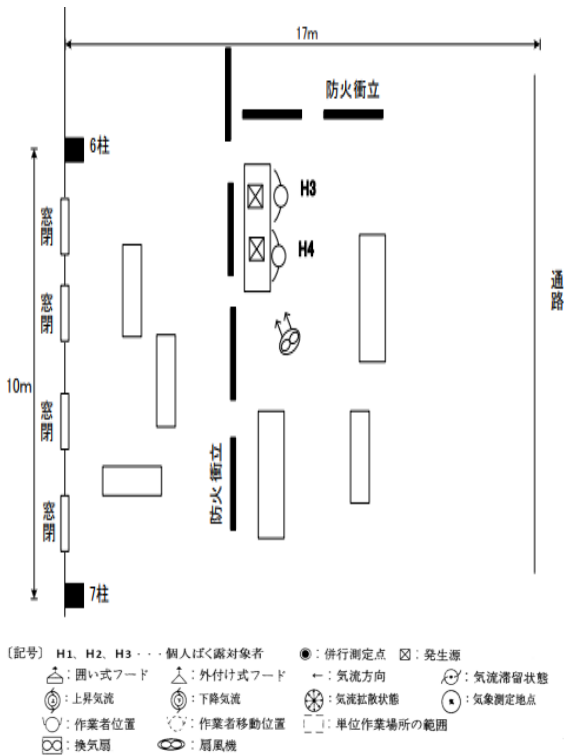


図2 デザイン

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程:建築用鉄鋼物(セグメント)の組立溶接作業
 部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応じて
 サンダー作業、クレーン作業
 (上記、この作業を繰り返す)

・発生源:溶接作業、サンダー作業位置である

・作業者数:2名

*呼吸用保護具着用

サカキ式 1005RR-05 型(RL2) (興研株式会

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・工場内全体換気装置:稼働

・局所排気装置等:無

・扇風機:有

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・窓:閉

・シャッター開

〔作業場所の周辺からの影響〕

・工場内では、至るところで溶接作業が行われているが、
 各作業場は離れており、他の作業場からの影響はなかつた
 と考えられる。

〔特記事項〕

・特になし

H-7, H-8: 組立溶接作業(屋根鉄骨)(図3)

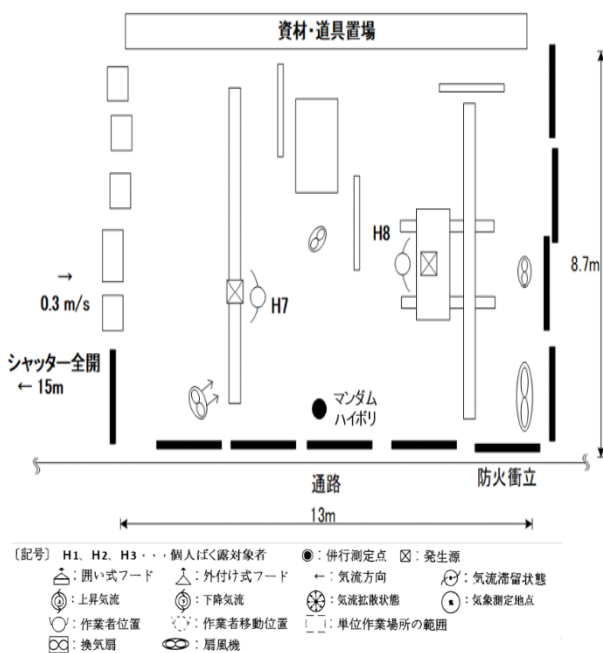


図3 デザイン

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程:鋼構造物の製作における柱組立溶接作業
 部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応じて
 ガウジング作業、グラインダー作業、掃除等
 (上記、この作業を繰り返す)

・発生源:溶接作業、ガウジング作業、グラインダー作業
 位置である

・作業者数:3名

*呼吸用保護具着用 DR28SU2K (RL2) ((株)重松製作
 所)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・工場内全体換気装置:稼働

・局所排気装置等:無

・換気扇:3台稼働

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・窓:一部開

・気流の状況:窓から外気が流入していた

〔作業場所の周辺からの影響〕

・工場内では、至るところで溶接作業が行われていたが、窓が開いており換気は良い状況であった。そのため、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。

〔特記事項〕

・特に無し。

H-9, H-10: 橋梁(鉄骨梁)の溶接作業(図4)

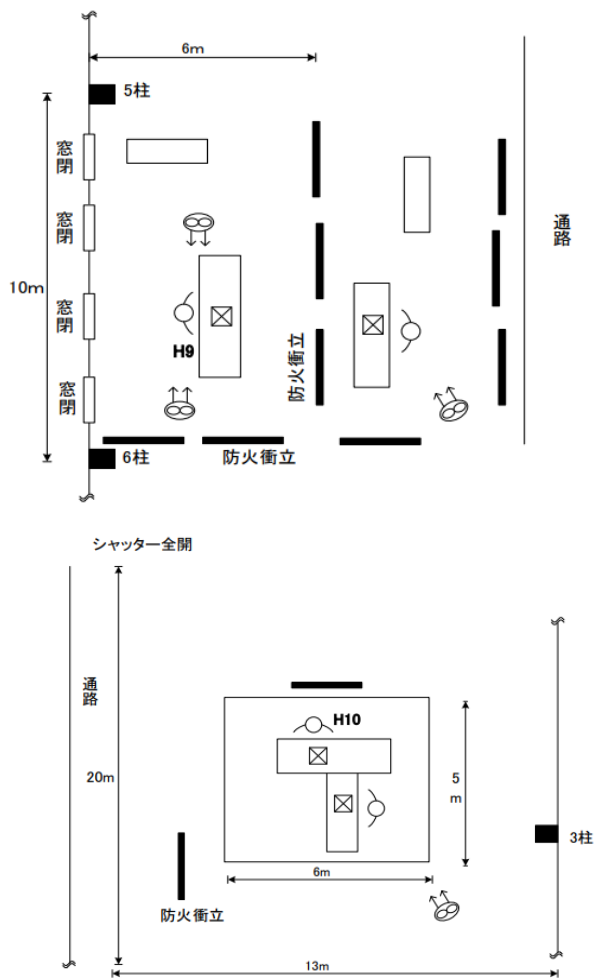


図4 デザイン

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程:橋梁(鉄骨梁)の溶接作業
部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応じてグラインダー作業
(上記、この作業を繰り返す)
・発生源:溶接作業、グラインダー作業位置である
・作業数:4名
*呼吸用保護具着用 サカキ式 1005RR-05 型(RL2)
(興研株式会社)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・工場内全体換気装置:稼働
・局所排気装置等:無
・扇風機:有

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・窓:窓近くになし
・シャッター開

〔作業場所の周辺からの影響〕

・工場内では、至るところで溶接作業が行われているが、各作業場は離れており、他の作業場からの影響はなかったと考えられる。また、H10が溶接している作業場から20m離れた出入口(シャッター全開)からの外気の流入が確認できた。

〔特記事項〕

・なし



個人サンプラー装着

○個人ばく露測定

溶接作業従事者10名の個人ばく露濃度測定結果(粉じん)を表4に示す。

個人ばく露測定では、吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は10名全員 $1\text{mg}/\text{m}^3$ を超えた。吸入性マンガン(時間加重平均濃度)も10名全員 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 以上であった。吸入性マンガン(8時間加重平均濃度)も10名全員が $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ を超えた。

表4 個人ばく露濃度測定結果

対象者	時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m^3)	8時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m^3)*	時間加重平均 吸入性マンガン濃度 (mg/m^3)**	8時間加重平均 吸入性マンガン濃度 (mg/m^3)***
H-1	17.42165	7.04125	1.62268	0.65583
H-2	7.15034	4.43917	0.90826	0.56388
H-3	18.75649	10.23792	2.81756	1.53792
H-4	4.21979	2.48792	0.60320	0.35564
H-5	7.77860	4.39167	0.93624	0.52858
H-6	2.54202	1.26042	0.19723	0.09779
H-7	2.11311	1.17542	0.28408	0.15802
H-8	3.02721	1.71542	0.43864	0.24856
H-9	1.91655	1.11000	0.28291	0.16385
H-10	4.50727	2.71375	0.58685	0.35333

*日本産業衛生学会:許容濃度(第2種粉じん)酸化鉄 $1\text{mg}/\text{m}^3$

**金属アーク溶接等作業における溶接ヒュームの気中濃度の基準値(Mnとして) $0.05\text{mg}/\text{m}^3$

***米国産業衛生専門家会議(ACGIH)ばく露限界値(2013年設定) $0.02\text{mg}/\text{m}^3$



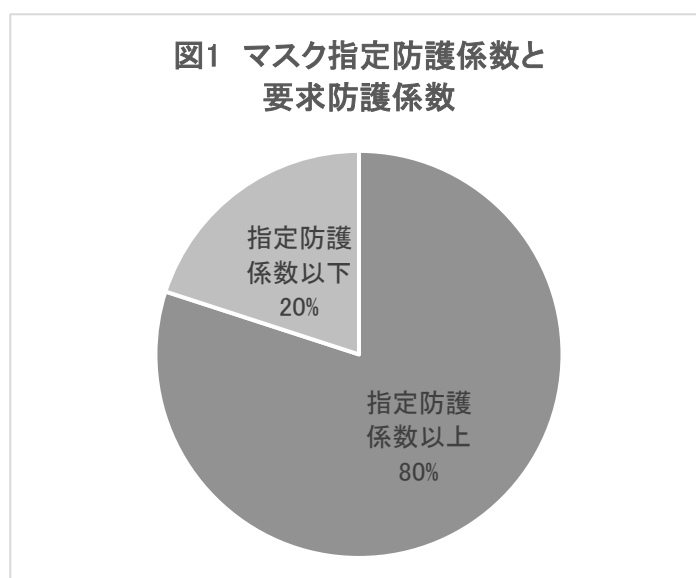
個人サンプラー装着

○マスク要求防護係数

各溶接作業従事者の要求防護係数等を表5に示す。溶接作業従事者の要求防護係数は指定防護係数を上回るものが8名(80%)だった(図1)。

表5 各溶接従事者作業者の指定防護係数と各要求防護係数

対象者	マスクメーカー	品番	指定防護係数	要求防護係数
H-1	興研	1005RR-05	10	32.5
H-2	興研	1005RR-05	10	32.5
H-3	興研	1005RR-05	10	56.4
H-4	興研	1005RR-05	10	56.4
H-5	興研	1005RR-05	10	32.5
H-6	興研	1005RR-05	10	32.5
H-7	興研	1005RR-05	10	8.8
H-8	興研	1005RR-05	10	8.8
H-9	興研	1005RR-05	10	11.7
H-10	興研	1005RR-05	10	11.7



《マスクフィットテスト》

溶接作業従事者に、労研式マスクフィッティングテスターMT-05U型を用いて、定量的フィットテスト(JIS T8150:2021)を2回行った。その結果を表1に示す。また1回目、2回目のFAIL、PASSの割合を図1、図2に示す。1回目にFAILとなった溶接作業従事者に正しい装着方法の説明・指導を行い2回目を行ったところ、1回目FAILであった4名のうち3名がPASSした。

表1 マスクフィットテスト結果

対象者	1回目	2回目	備考
H-1	FAIL	PASS	
H-2	FAIL	PASS	
H-3	FAIL	PASS	
H-4	PASS		PASS(2回目も実施)
H-5	PASS		PASS(2回目も実施)
H-6	FAIL	FAIL	女性
H-7	PASS		PASS(2回目も実施)
H-8	PASS		PASS(2回目も実施)
H-9	PASS		PASS(2回目も実施)
H-10	PASS		PASS(2回目も実施)
PASS 合計	6	4	

図1 マスクフィットテスト1回目 (n=10)

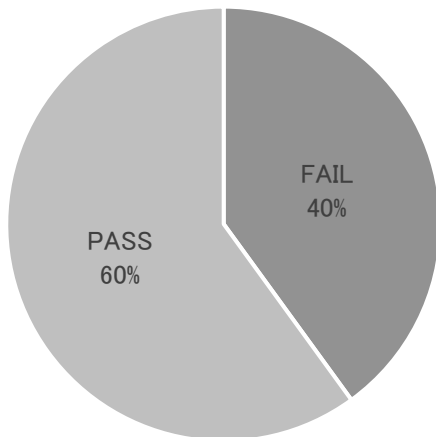
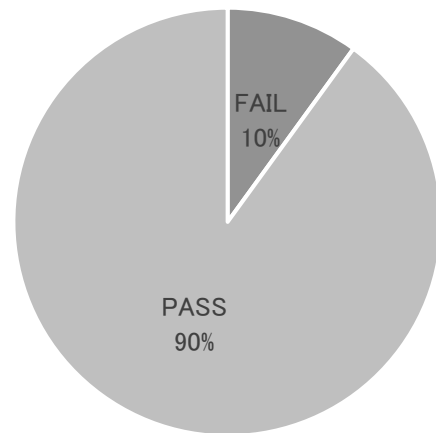


図2 マスクフィットテスト2回目 (n=10)





マスクフィットテスト



興研 防じんマスク サカキ式 1005RR-05 型

事業所 I(鉄構事業)

調査日: 2022 年 6 月 7 日(火)~10 日(金)

健康影響に関する調査

<質問票調査>

対象者の溶接作業従事者とコントロールの人数と性別を示す(表 1)。

表1 対象者

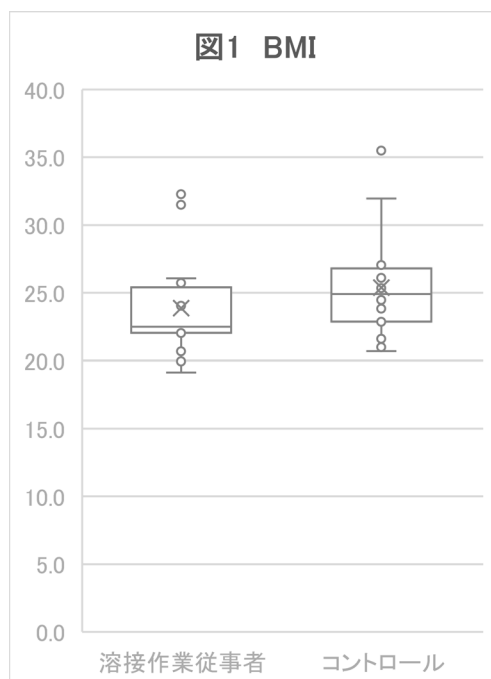
	男(人)
溶接作業従事者	16
コントロール	16

年齢、BMI、溶接業務従事年数の基本情報を示す(表 2)。BMI を箱ひげ図(Excel「包括的な中央値」を採用)にて示す(図1)。

表 2 対象者背景:基本情報

	溶接作業従事者(n=16)		コントロール(n=16)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	35.3	11.7	35.1	11.8
BMI	23.9	3.7	25.4	11.8
溶接に従事した期間(年)	13.6	10.4	0.3	1.3

※コントロール群のうち 1 名は過去に 5 年間の溶接作業歴があった

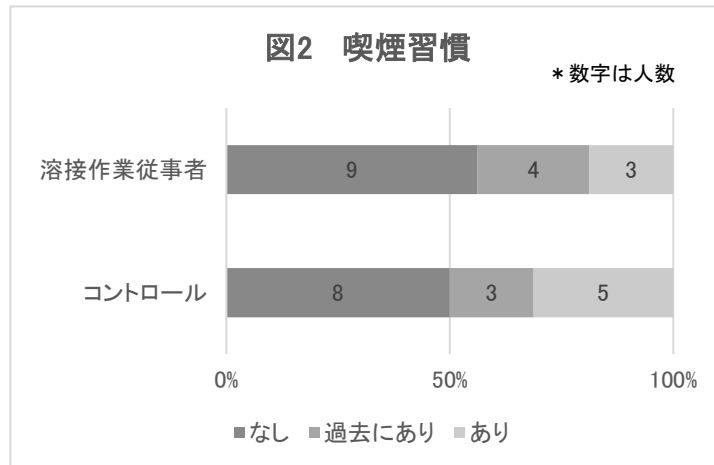


年齢および BMI において溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Mann-Whitney U test)。

○生活習慣

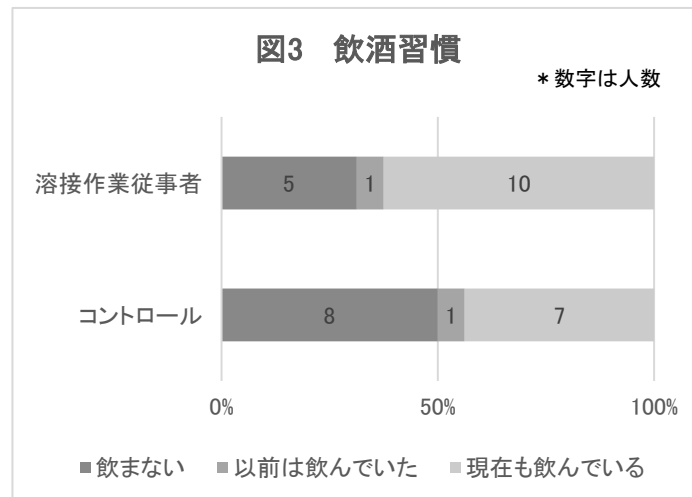
・喫煙状況

溶接作業従事者群の 18.8% (3 名)、コントロール群の 31.3% (5 名) が現在喫煙者であった (図 2)。



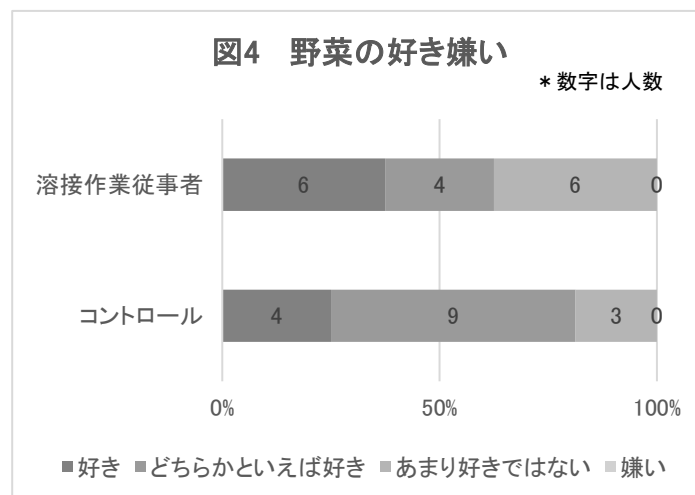
・飲酒状況

「現在も飲んでいる」と回答した割合は、溶接作業従事者群は 62.5% (10 名)、コントロール群は 43.8% (7 名) (図 3)。



・食生活状況(マンガンを多く含む野菜が「好き」との回答)

溶接作業従事者群は 37.5% (6 名)、コントロール群は 25.0% (4 名) であった (図 4)。

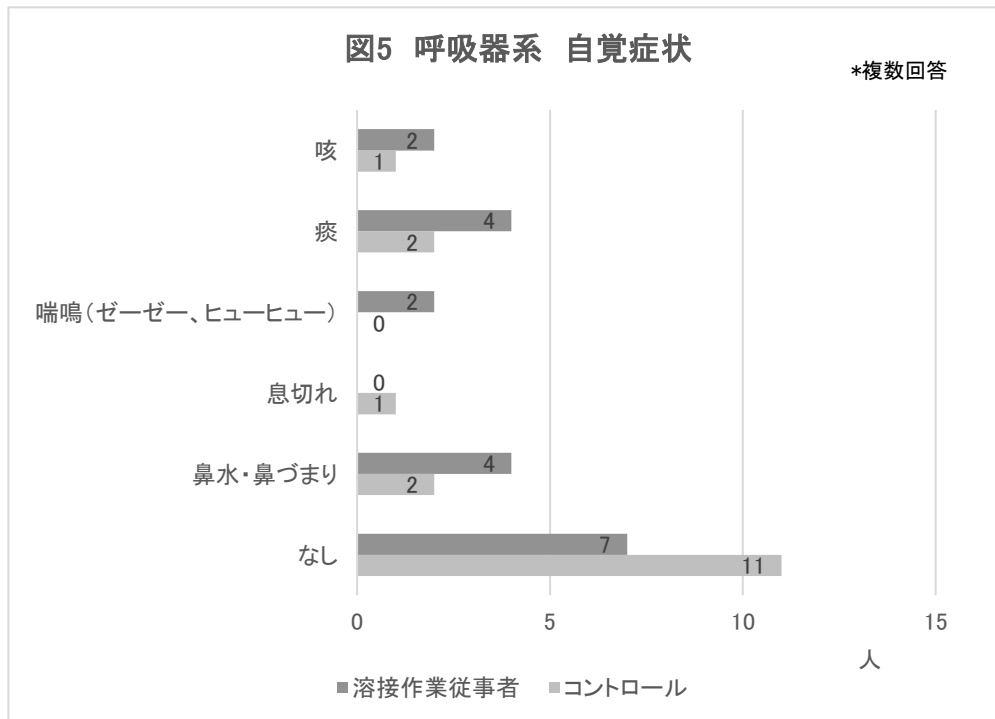


喫煙状況、飲酒状況、食生活状況(野菜)において、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった (Fisher 検定)。

○自覚症状・既往症

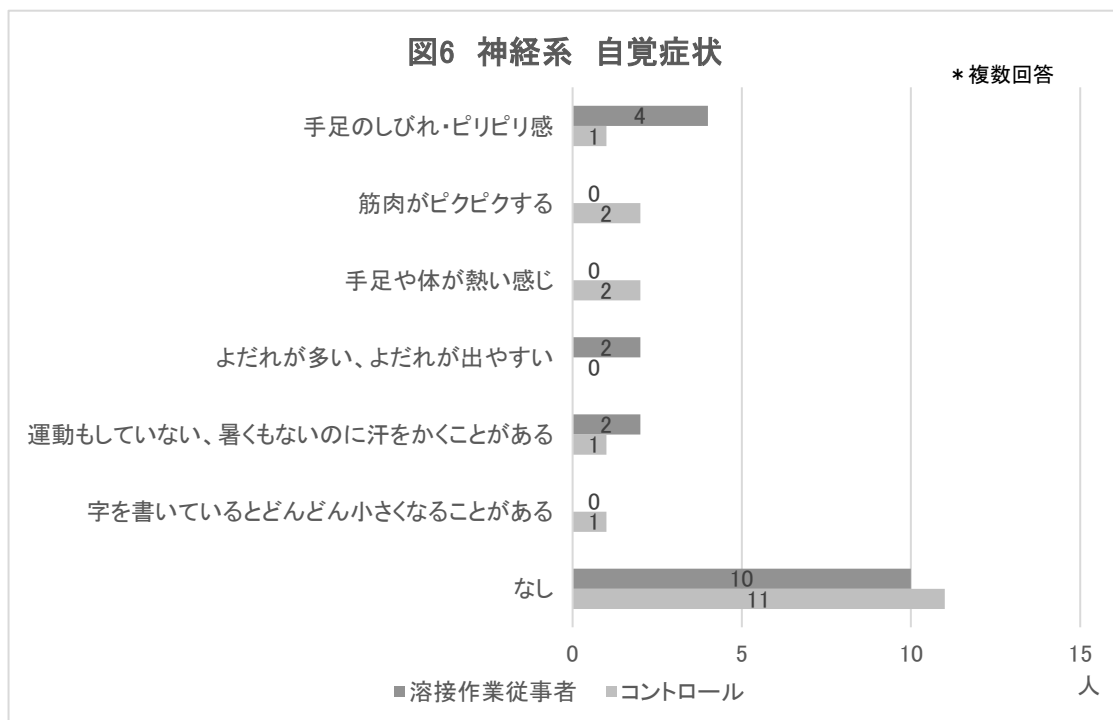
・呼吸器系(咳、痰、喘鳴、息切れ、鼻水・鼻づまり症状)の自覚症状

溶接作業従事者群に鼻水・鼻づまり(4名)、痰(4名)、咳(2名)、喘鳴(2名)、コントロール群は鼻水・鼻づまり(2名)、痰(2名)、咳(1名)、息切れ(1名)の回答があった(図5)。



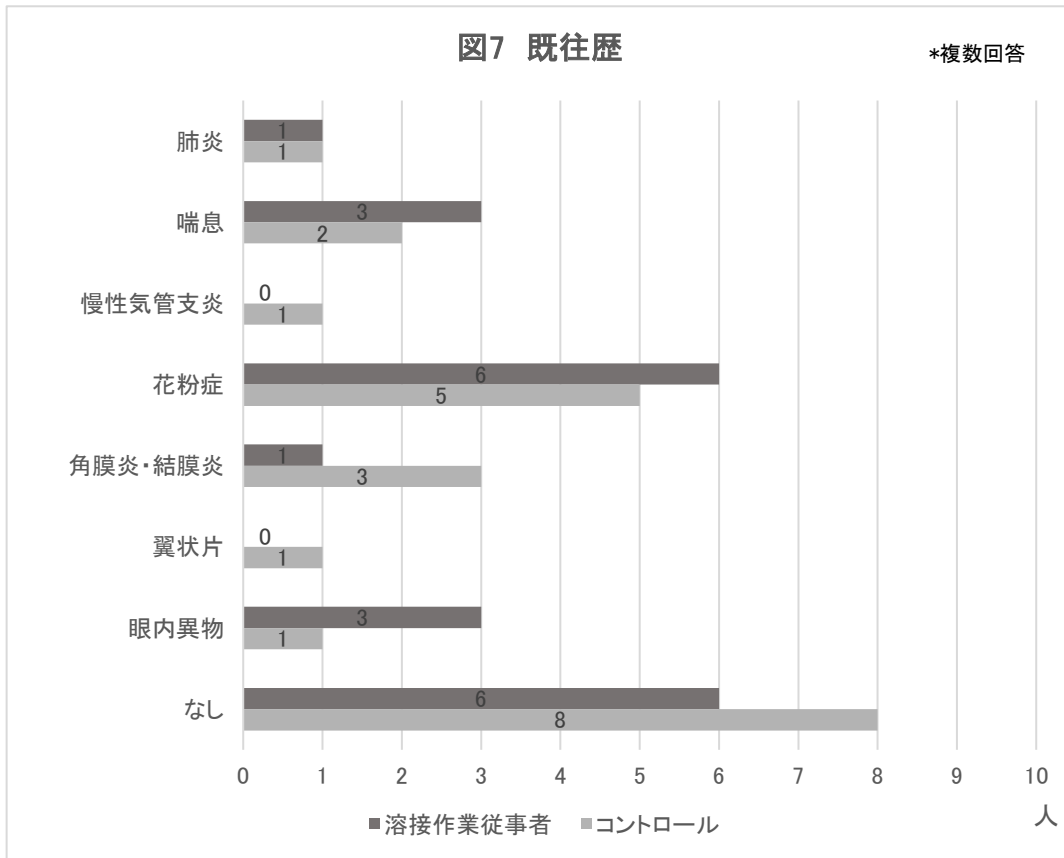
・神経系の自覚症状

溶接作業従事者群では手足のしびれ・ピリピリ感(4名)、よだれが多い、よだれが出やすい(2名)、運動もしていない、暑くもないのに汗をかくことがある(2名)、コントロール群では筋肉がピクピクする(2名)、手足や体が熱い感じ(2名)、手足のしびれ・ピリピリ感(1名)、運動もしていない、暑くもないのに汗をかくことがある(1名)の回答があった(図6)



・既往歴

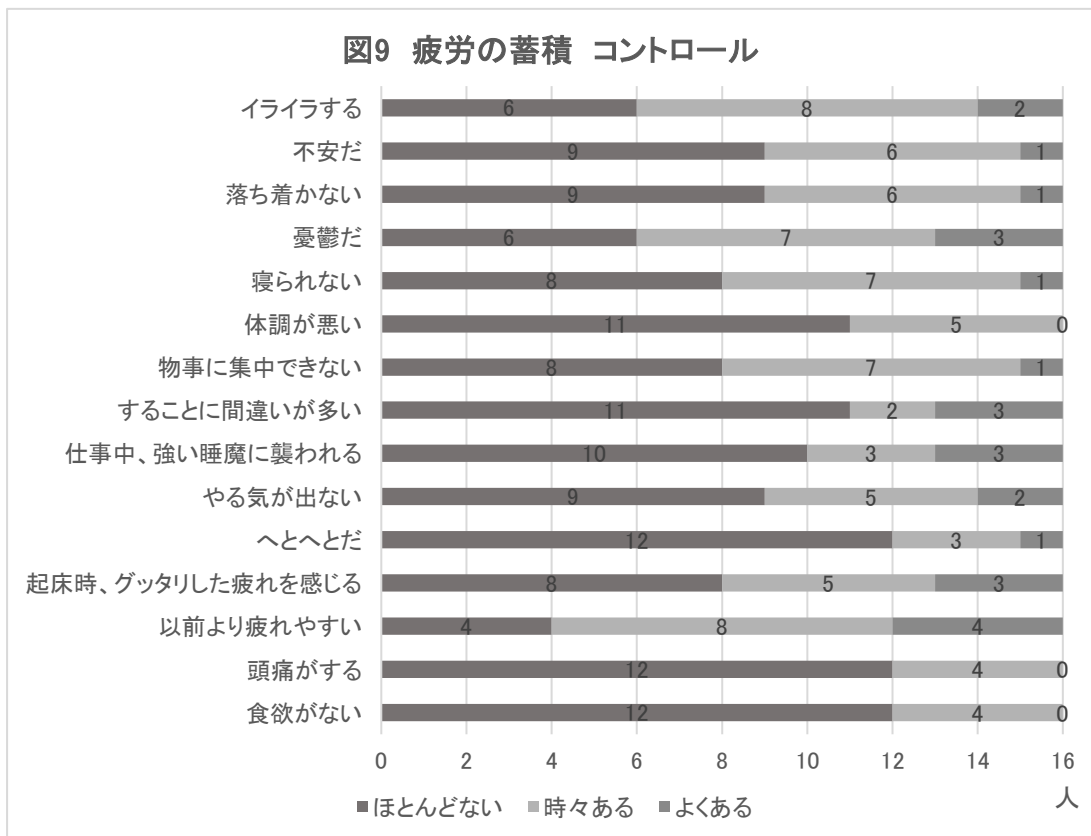
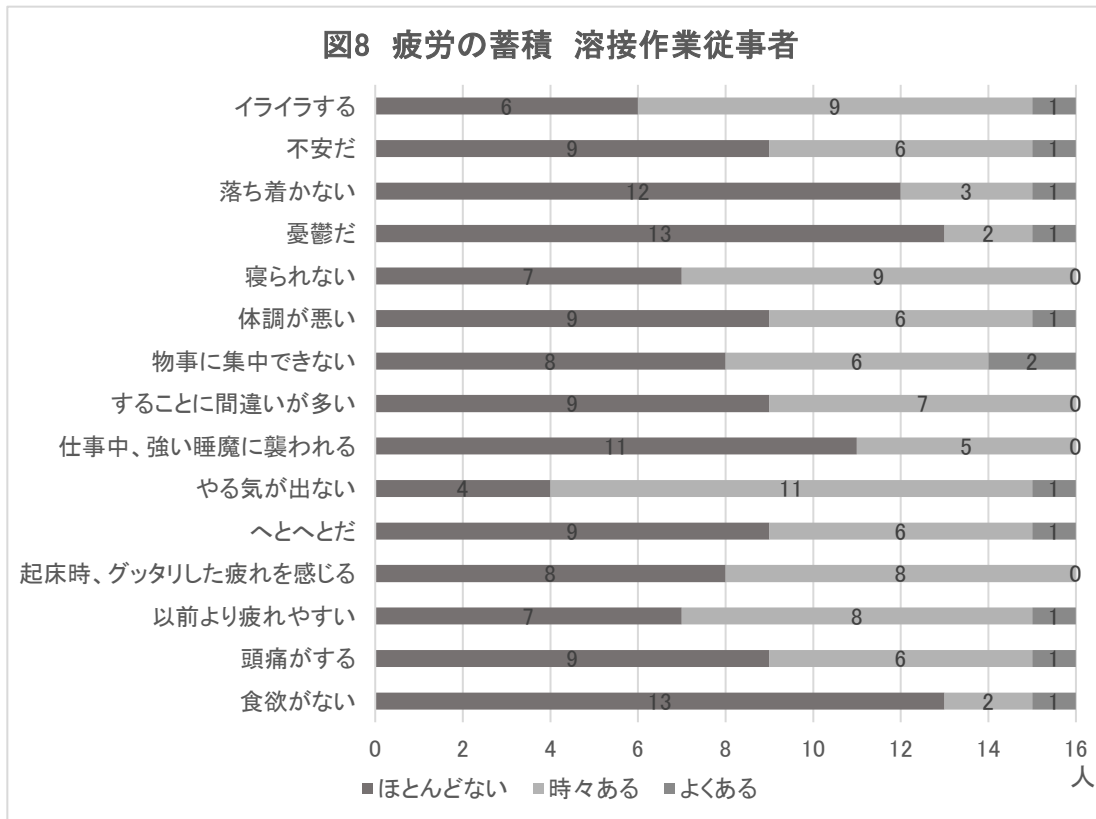
溶接作業従事者群では花粉症(5名)、眼内異物(3名)、喘息(3名)、肺炎(1名)、角膜炎・結膜炎(1名)、コントロール群では花粉症(5名)、角膜炎・結膜炎(3名)、喘息(2名)、肺炎(1名)、慢性気管支炎(1名)、眼内異物(1名)、翼状片(1名)の回答を認めた(図7)。



調査の説明

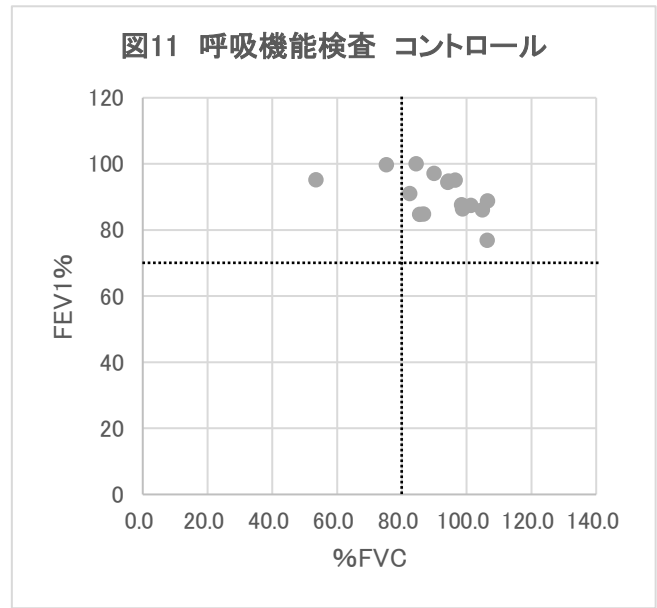
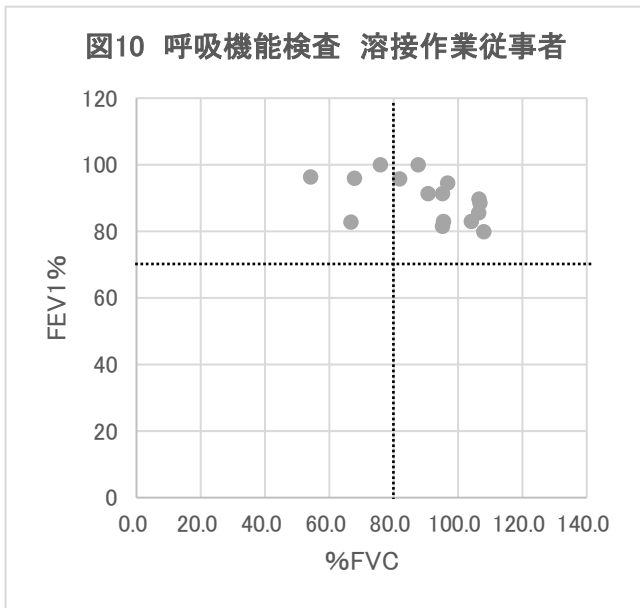
○疲労の蓄積

溶接作業従事者群は図8、コントロールは図9に示す。いずれの項目も溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。



<呼吸機能検査>

呼吸機能検査は%肺活量(%FVC)および一秒率(FEV1.0%)を評価対象とした。それぞれの基準値(%FVC:80%、FEV1.0%:70%)を超えるかどうかを評価した(図 10、11)



呼吸機能検査



皮膚検査

<神経学的検査>

○タッピング

溶接作業従事者群・コントロール群を利き手と非利き手の示指 30 秒間の合計数を用い Mann-Whitney U test にて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差が認められなかった(表 4、表 5)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 12、13)。

表 4 タッピング 利き手(全員)

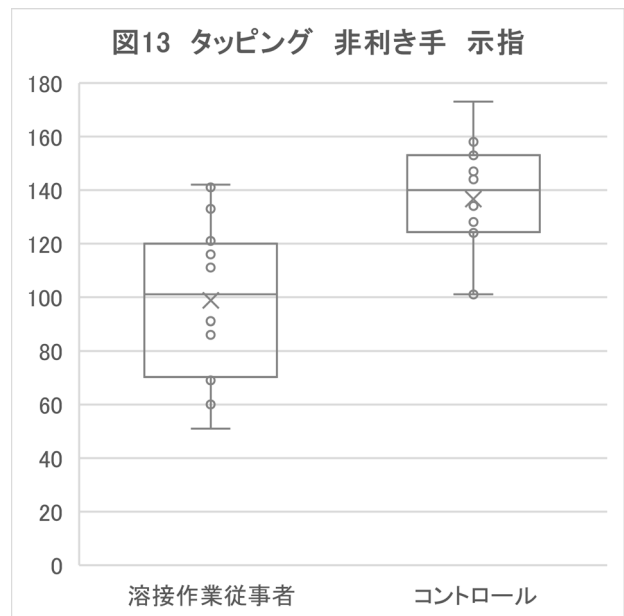
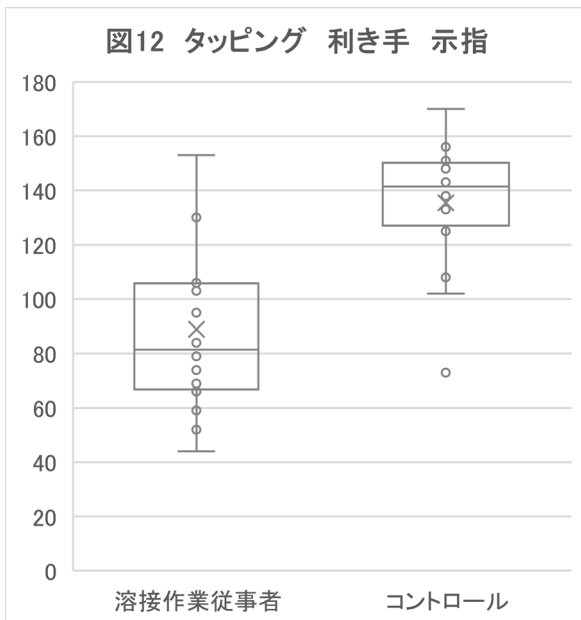
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	44.0	68.3	81.5	105.3	153.0	<0.001
コントロール	73.0	131.0	141.5	148.8	170.0	

(Mann-Whitney U test)

表 5 タッピング 非利き手(全員)

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	51.0	70.8	101.0	118.0	142.0	<0.001
コントロール	101.0	124.8	140.0	153.0	173.0	

(Mann-Whitney U test)



タッピング機器

○握力

溶接作業従事者群・コントロール群を利き手と非利き手の握力を2回測定した合計数を用い Mann-Whitney U test にて評価した(表 6、表 7)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 14、15)。

表 6 握力 利き手(全員)

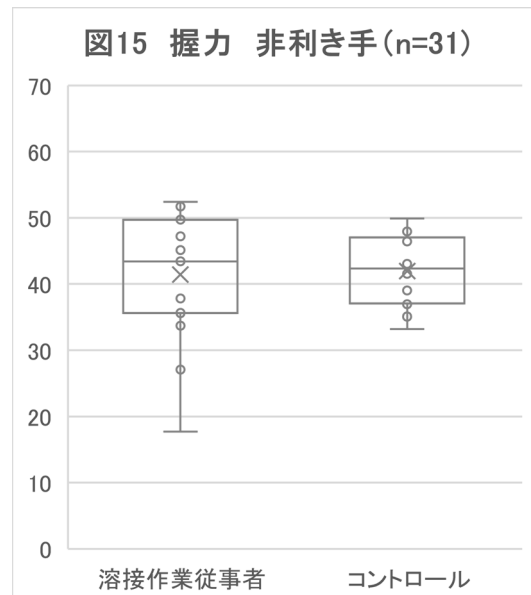
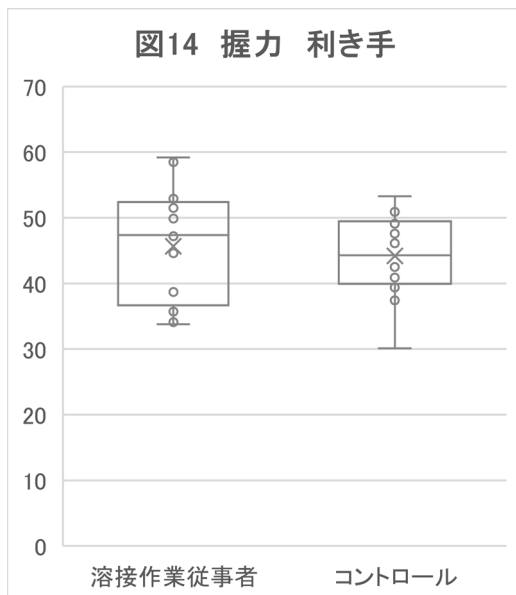
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	33.8	36.8	47.4	51.8	59.2	0.734
コントロール	30.1	40.1	44.3	49.2	53.3	

(Mann-Whitney U test)

表 7 握力 非利き手(全員)

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	17.7	35.9	43.4	48.8	52.4	0.722
コントロール	33.2	37.4	42.3	46.6	49.9	

(Mann-Whitney U test)



調査スタッフ

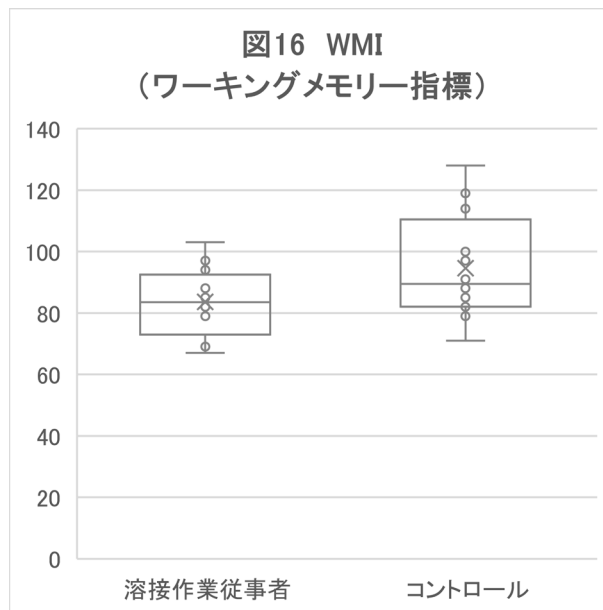
OWAIS-IV WMI(Working Memory Index:ワーキングメモリー指標)

「数唱」「算数」の評価点合計に基づいて得点化している。溶接作業従事者群・コントロール群を全員と男性のみに分け、Mann-Whitney U test にて評価したところ、有意差は認められなかった(表 8)。溶接作業従事者群とコントロール群を箱ひげ図にて示す(図 16)。

表 8 WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー指標)

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	67.0	77.0	83.5	89.5	103.0	0.0691
コントロール	71.0	82.0	89.5	103.5	128.0	

(Mann-Whitney U test)



WAIS-IV

<溶接ヒュームの濃度測定>

1)作業環境測定基準および個人サンプラーを用いた測定

●作業環境測定 未測定

2)個人サンプラーを用いた測定

H-1, H-2, H-6, H-5: 第一工場 中央作業場(図1)

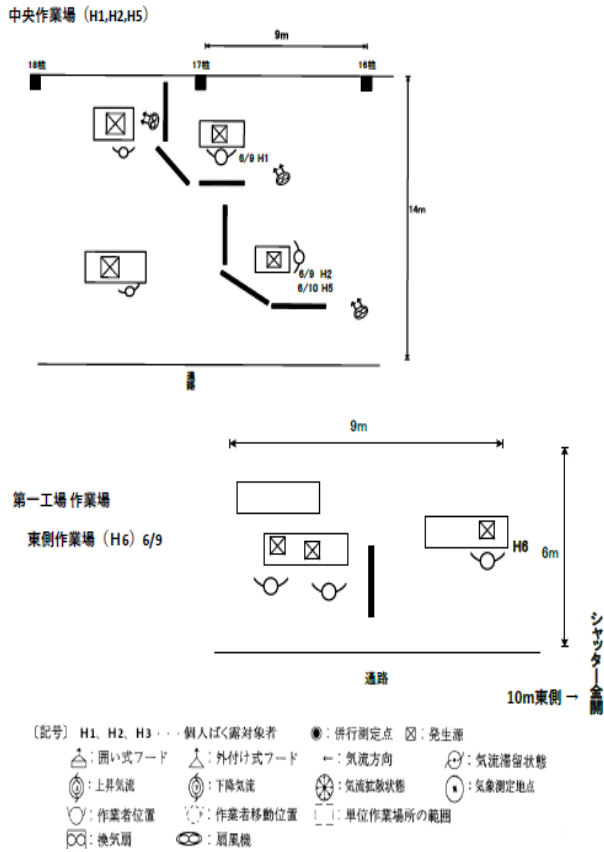


図1 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

- ・作業工程: 建築用鉄鋼物の溶接作業
部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応じてガウジング作業、グラインダー作業、スパッタ除去(上記、この作業を繰り返す)
- ・発生源: 溶接作業、ガウジング作業、グラインダー作業、スパッタ除去位置である
- ・作業人数: 7名

*呼吸用保護具着用 サカキ式 1005-R-RA-08 型 (RL2) (興研株式会社)

[設備、排気装置の稼働状況]

- ・工場内全体換気装置: 稼働
- ・局所排気装置等: 無
- ・扇風機: 3台有

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

- ・窓: 一部開
- ・シャッター開
- ・気流の状況: シャッター、窓からわずかに外気が流入していた

[作業場所の周辺からの影響]

- ・工場内では、至るところで溶接作業が行われていたため、中央作業場付近では、ヒュームがやや立ち込めていた。

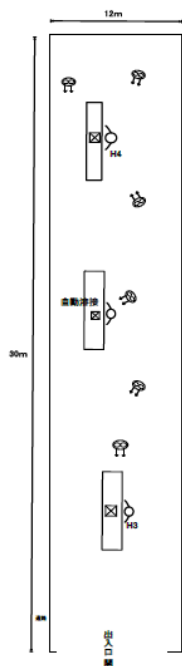
[特記事項]

- ・特に無し。



個人サンプラー装着

H-3, H-4: 移動式テント内の溶接作業場(図2)



〔記号〕 H1, H2, H3...個人ばく露対象者 ●: 併行測定点 □: 発生源
 △: 圓い式フード ▲: 外付け式フード ←: 気流方向 ⇄: 気流滞留状態
 ⊙: 上昇気流 ⊗: 下降気流 ⊗: 気流拡散状態 ⊙: 気象測定地点
 ○: 作業位置 ⊙: 作業移動位置 □: 単位作業場所の範囲
 ⊗: 換気扇 ⊗: 扇風機

図2 デザイン

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程: 建築用鉄鋼物の仕上げ溶接作業
 部材を準備する～位置決め～溶接作業開始～必要に応じてガウジング、サンダー作業、クレーン作業。
 (上記、この作業を繰り返す)

・発生源: 手動での溶接作業、ガウジング作業、サンダー作業位置である

・作業人数: 2名

*呼吸用保護具着用 サカキ式 1005-R-RA-08 型 (RL2) (興研株式会社)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・工場内全体換気装置: 稼働

・局所排気装置等: 無

・送風機 6 台稼働

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・窓: 無

・気流の状況: 屋外にある大型テントの中での作業のため、気流が確認できた。

〔作業場所の周辺からの影響〕

・テント内では、至るところで溶接作業が行われていたが、出入り口は全開しており影響はなかった。

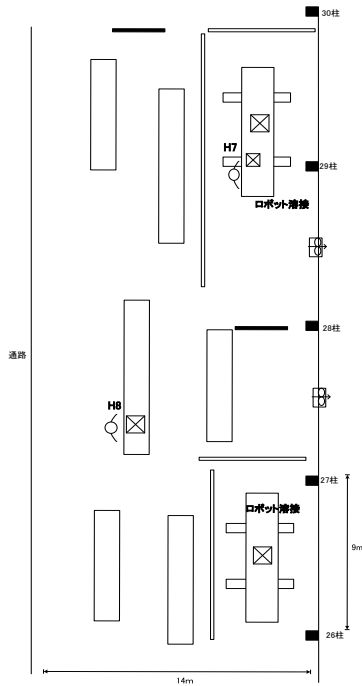
〔特記事項〕

・特に無し



個人サンプラー装着

H-7, H-8: 第一工場 ロボット溶接作業場(図3)



〔記号〕 H1, H2, H3...個人ばく露対象者 ●:併行測定点 □:発生源
 △:開い式フード ▲:外付け式フード ←:気流方向 ⇄:気流滞留状態
 ⊙:上昇気流 ⊖:下降気流 ⊗:気流拡散状態 ⊕:気象測定地点
 ○:作業者位置 ⊙:作業者移動位置 □:単位作業場所の範囲
 ⊞:換気扇 ⊞:扇風機

図3 デザイン

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程: 建築用鉄鋼物の仕上げ溶接作業
 部材を準備する～位置決め～ロボット溶接作業
 開始～必要に応じて手動で溶接作業、ガウジング作
 業、グラインダー作業。

(上記、この作業を繰り返す)

・発生源: 手動での溶接作業、ガウジング作業、グラ
 インダー作業位置である

・作業者数: 2名

*呼吸用保護具着用 サカキ式 1005R-08 型
 (RL2) (興研株式会社)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・工場内全体換気装置: 稼働

・局所排気装置等: 無

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・窓: 閉

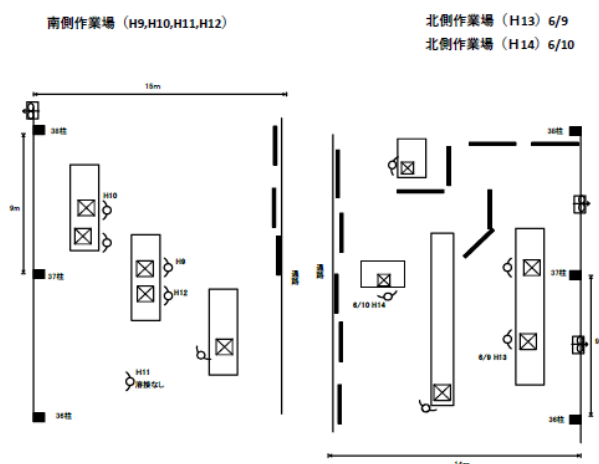
・気流の状況: 窓、シャッターが開いていないため気
 流はなかった。

〔作業場所の周辺からの影響〕 ・工場内では、至ると
 ころで溶接作業が行われていたが、各作業場が離れ
 ており影響はなかった。

〔特記事項〕

・特に無し

H-9, H-10, H-11, H-12, H-13, H-14: 第一工場 西作業場(図4)



〔記号〕 H1, H2, H3...個人ばく露対象者 ●:併行測定点 □:発生源
 △:開い式フード ▲:外付け式フード ←:気流方向 ⇄:気流滞留状態
 ⊙:上昇気流 ⊖:下降気流 ⊗:気流拡散状態 ⊕:気象測定地点
 ○:作業者位置 ⊙:作業者移動位置 □:単位作業場所の範囲
 ⊞:換気扇 ⊞:扇風機

図4 デザイン

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程: 建築用鉄鋼物の仕上げ溶接作業
 部材を準備する～位置決め～溶接作業～必要に応
 じてガウジング作業、グラインダー作業、スパッタ除去
 (上記、この作業を繰り返す)

・発生源: 溶接作業、ガウジング作業、グラインダー作
 業、スパッタ除去位置である

・作業者数: 11名

*呼吸用保護具着用 サカキ式 1005-R-RA-08 型
 (RL2) (興研株式会社)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・工場内全体換気装置: 稼働

・局所排気装置等: 無

・扇風機: 無

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・窓: 一部開

・シャッター開

・気流の状況:シャッター、窓からわずかに外気が流入していた

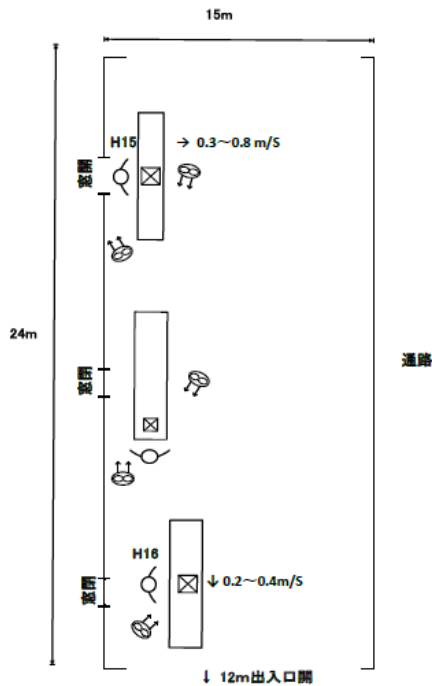
[作業場所の周辺からの影響]

・工場内では、至るところで溶接作業が行われており、作業場西エリアはヒュームがやや立ち込めていた。

[特記事項]

・特に無し。

H-15, H-16: 第二工場内の溶接作業場(図5)



〔記号〕 H1, H2, H3 ... 個人ばく露対象者 ●: 併行測定点 □: 発生源
 △: 圓い式フード ▲: 外付け式フード ←: 気流方向
 ↑: 上昇気流 ↓: 下降気流 ⊗: 気流拡散状態 ⊙: 気象測定地点
 ○: 作業者位置 ○: 作業者移動位置 □: 単位作業場所の範囲
 ⊠: 換気扇 ○: 扇風機

図5 デザイン

[作業工程と発生源及び労働者数]

・作業工程: 建築用鉄鋼物の溶接作業

部材を準備する～位置決め～溶接作業開始～必要に応じてスパッタ除去作業。(上記、この作業を繰り返す)

・発生源: 手動での溶接作業、スパッタ除去作業位置である

・作業人数: 2名

*呼吸用保護具着用 サカキ式 1005-R-RA-08 型 (RL2) (興研株式会社)

[設備、排気装置の稼働状況]

・工場内全体換気装置: 稼働

・局所排気装置等: 無

[ドア、窓の開閉、気流の状況]

・窓: 無

・気流の状況: H15 の作業場近くの窓は開いており気流が確認できた。

[作業場所の周辺からの影響]

・工場内では、至るところで溶接作業が行われていたが、全体換気装置が稼働しており影響は少なかった。また、出入口も開放されていたため影響は少なかった。

[特記事項]

・特に無し。



個人サンプラー装着

○個人ばく露測定

溶接作業従事者 16 名の個人ばく露濃度測定結果(粉じん)を表 1 に示す。

個人ばく露測定では、吸入性粉じん(8 時間加重平均濃度)は 16 名のうち 12 名が 1mg/m³を超えていた。吸入性マンガンの(時間加重平均濃度)、16 名のうち 14 名は 0.05mg/m³以上であった。吸入性マンガンの(8 時間加重平均濃度)は 16 名のうち 15 名は 0.02mg/m³を超えていた。

表 1 個人ばく露濃度測定結果

対象者	時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m ³)	8 時間加重平均 吸入性粉じん濃度 (mg/m ³) *	時間加重平均 吸入性マンガンの濃度 (mg/m ³) **	8 時間加重平均 吸入性マンガンの濃度 (mg/m ³) ***
H-1	1.11268	0.51925	0.17096	0.07978
H-2	5.34202	2.64875	0.83338	0.41322
H-3	0.74480	0.38792	0.09559	0.04979
H-4	4.65120	2.42250	0.89752	0.46746
H-5	8.35934	4.19708	1.24539	0.62529
H-6	2.01069	1.09750	0.27263	0.14881
H-7	0.57109	0.30458	0.04371	0.02331
H-8	4.46973	2.43042	0.34866	0.18958
H-9	4.61939	1.88625	0.62658	0.25585
H-10	5.97430	3.09917	0.84859	0.44021
H-11	0.31630	0.14958	0.02399	0.01135
H-12	9.74000	4.87000	1.70646	0.85323
H-13	4.69125	2.57042	0.64300	0.35231
H-14	2.09647	1.11375	0.30964	0.16450
H-15	2.41481	1.22250	0.30329	0.15354
H-16	9.39149	5.51750	1.21950	0.71646

* 日本産業衛生学会:許容濃度(第 2 種粉じん)酸化鉄 1mg/m³

** 金属アーク溶接等作業における溶接ヒュームの気中濃度の基準値(Mn として) 0.05mg/m³

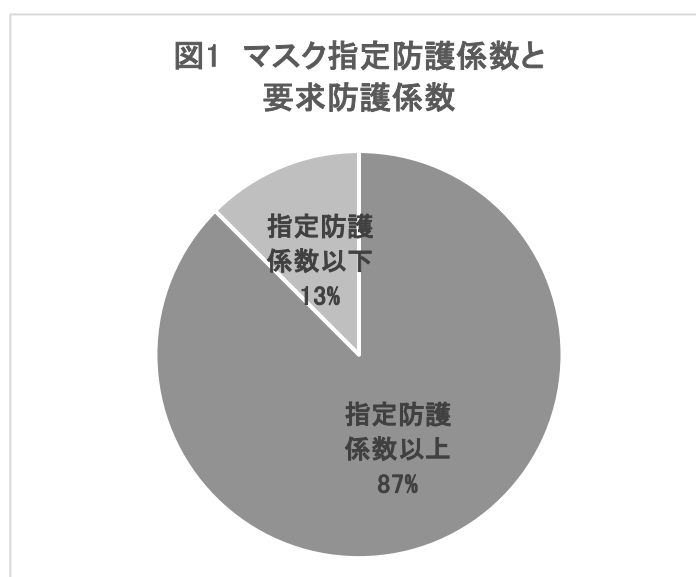
*** 米国産業衛生専門家会議(ACGIH)ばく露限界値(2013 年設定) 0.02mg/m³

○マスク要求防護係数

各溶接作業従事者の要求防護係数等を表 2 に示す。溶接作者従事者の要求防護係数は指定防護係数を上回るものが 14 名(87%)だった(図1)。

表 2 各溶接従事者作業者の指定防護係数と各要求防護係数

対象者	マスクメーカー	品番	指定防護係数	要求防護係数
H-1	興研	1005-R-RA-08	10	24.9
H-2	興研	1005-R-RA-08	10	24.9
H-3	興研	1005-R-RA-08	10	18
H-4	興研	1005-R-RA-08	10	18
H-5	興研	1005-R-RA-08	10	24.9
H-6	興研	1005-R-RA-08	10	24.9
H-7	興研	1005-R-RA-08	10	7
H-8	興研	1005-R-RA-08	10	7
H-9	興研	1005-R-RA-08	10	34.1
H-10	興研	1005-R-RA-08	10	34.1
H-11	興研	1005-R-RA-08	10	34.1
H-12	興研	1005-R-RA-08	10	34.1
H-13	興研	1005-R-RA-08	10	34.1
H-14	興研	1005-R-RA-08	10	34.1
H-15	興研	1005-R-RA-08	10	24.4
H-16	興研	1005-R-RA-08	10	24.4



《マスクフィットテスト》

溶接作業従事者に、労研式マスクフィッティングテスターMT-05U型を用いて、定量的フィットテスト(JIS T8150:2021)を2回行った。その結果を表1に示す。また1回目(本人マスク)、2回目(新品マスク)のFAIL、PASSの割合を図1、図2に示す。1回目にFAILとなった溶接作業従事者に正しい装着方法の説明・指導を行い、2回目を行ったところ1回目FAILであった4名のうち3名がPASSした。

表1 マスクフィットテスト結果

対象者	1回目 本人	2回目 新品	3回目 新品
H-1	PASS	PASS	
H-2	PASS	PASS	
H-3	PASS	PASS	
H-4	PASS	PASS	
H-5	FAIL	PASS	
H-6	FAIL	PASS	
H-7	FAIL	FAIL	FAIL
H-8	PASS	PASS	
H-9	PASS	PASS	
H-10	PASS	PASS	
H-11	PASS	PASS	
H-12	PASS	PASS	
H-13	PASS	PASS	
H-14	PASS	PASS	
H-15	PASS	PASS	
H-16	FAIL	PASS	
PASS 合計	12	15	

図1 マスクフィットテスト1回目

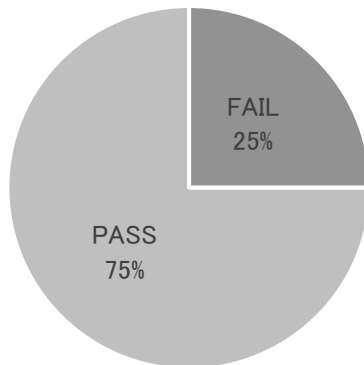
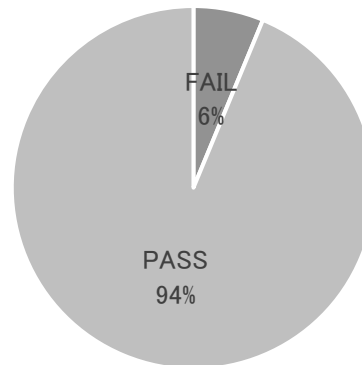


図2 マスクフィットテスト2回目





マスクフィットテスト



マスクフィットテスト後着用指導

事業所 J(自動車用ウレタンフォーム製造業)

調査日: 2022年7月27日(水)~29日(金)

健康影響に関する調査

<質問票調査>

対象者の溶接作業従事者とコントロールの人数と性別を示す(表1)。

表1 対象者

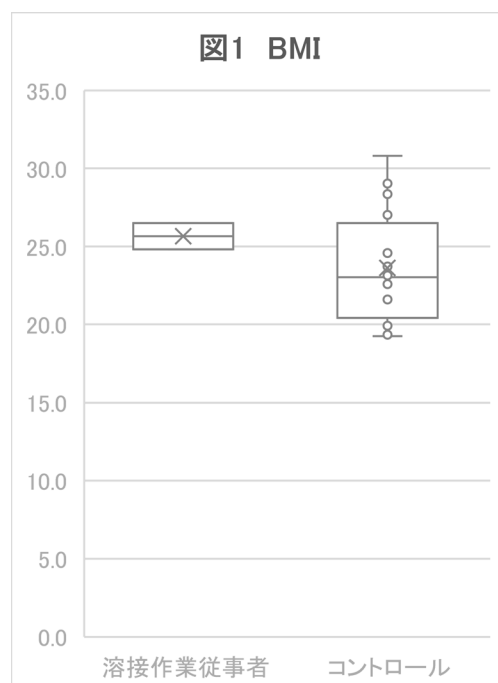
	男(人)
溶接作業従事者	2
コントロール	20

年齢、BMI、溶接業務従事年数の基本情報を示す(表2)。BMIを箱ひげ図(Excel「包括的な中央値」を採用)にて示す(図1)。

表2 対象者背景:基本情報

	溶接作業従事者(n=2)		コントロール(n=20)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
年齢(歳)	38.5	21	40.1	9.5
BMI	25.6	1.2	23.6	9.5
溶接に従事した期間(年)	6.5	7.8	0.2	0.7

※コントロール群のうち1名は過去に5年間の溶接作業歴があった

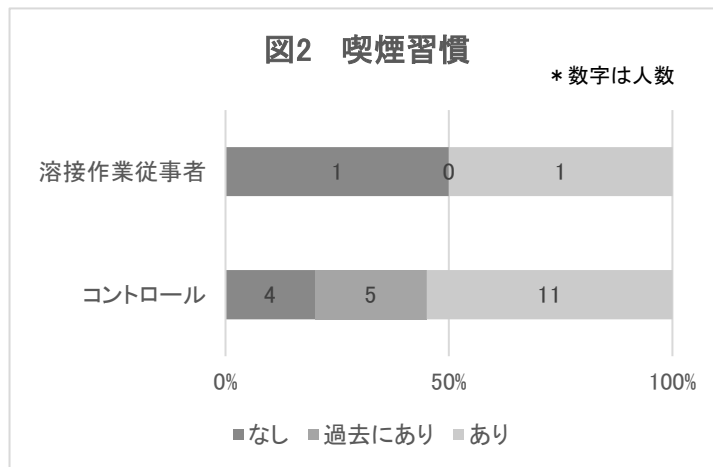


年齢およびBMIにおいて溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Mann-Whitney U test)。

○生活習慣

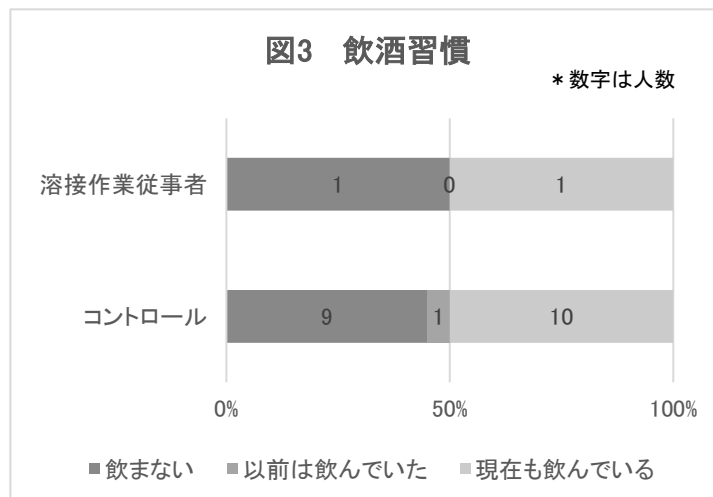
・喫煙状況

溶接作業従事者群の 50.0%(1 名)、コントロール群の 55.0%(11 名)が現在喫煙者であった(図 2)。



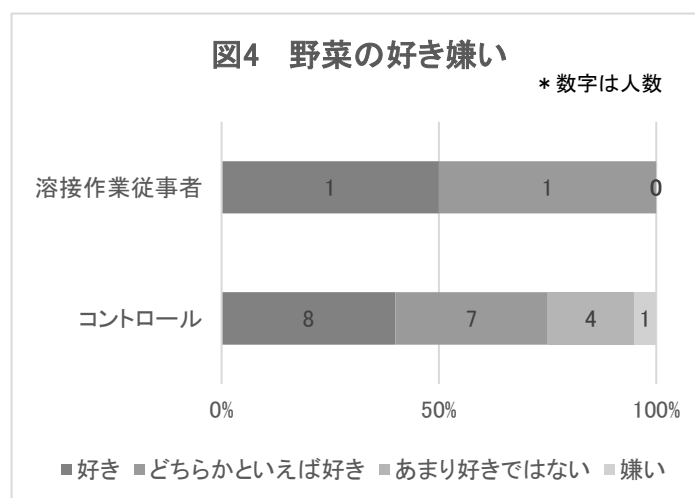
・飲酒状況

「現在も飲んでいる」と回答した割合は、溶接作業従事者群は 50.0%(1 名)、コントロール群は 50.0%(10 名)(図 3)。



・食生活状況(マンガンを多く含む野菜が「好き」との回答)

溶接作業従事者群は 50.0%(1 名)、コントロール群は 40.0%(8 名)であった(図 4)。

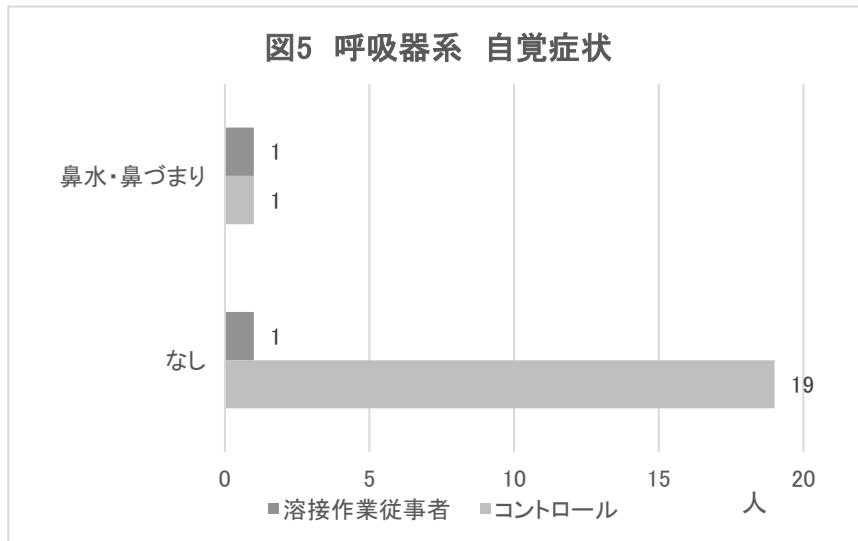


喫煙状況、飲酒状況、食生活状況(野菜)において、溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。

○自覚症状・既往症

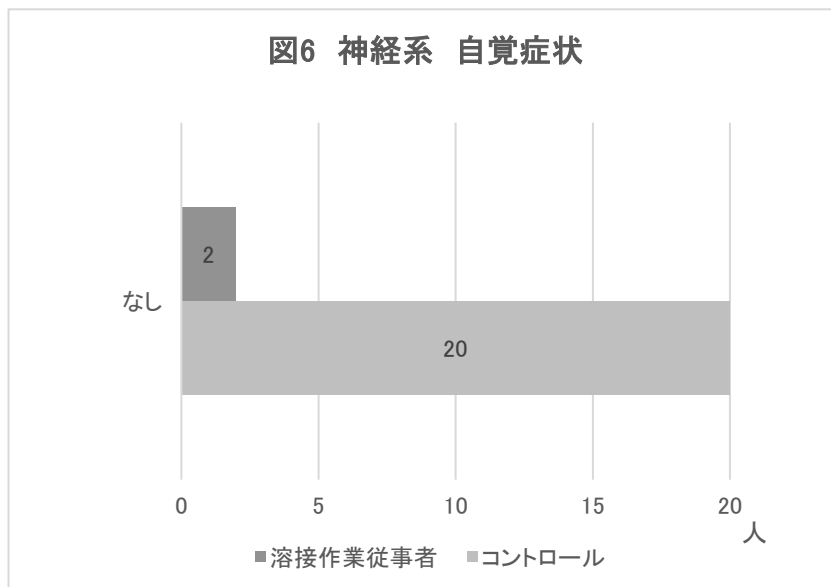
・呼吸器系(咳、痰、喘鳴、息切れ、鼻水・鼻づまり症状)の自覚症状

溶接作業従事者群に鼻水・鼻づまり(1名)、コントロール群は鼻水・鼻づまり(1名)の回答があった(図5)。



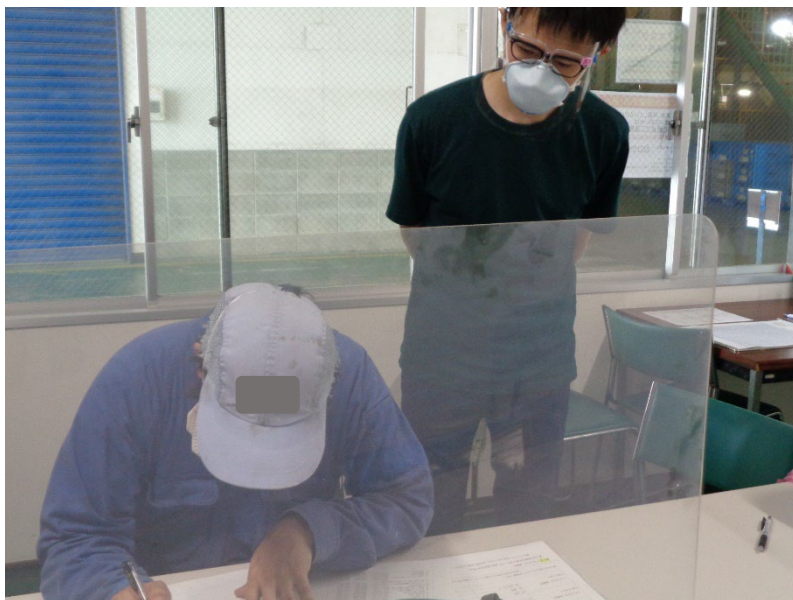
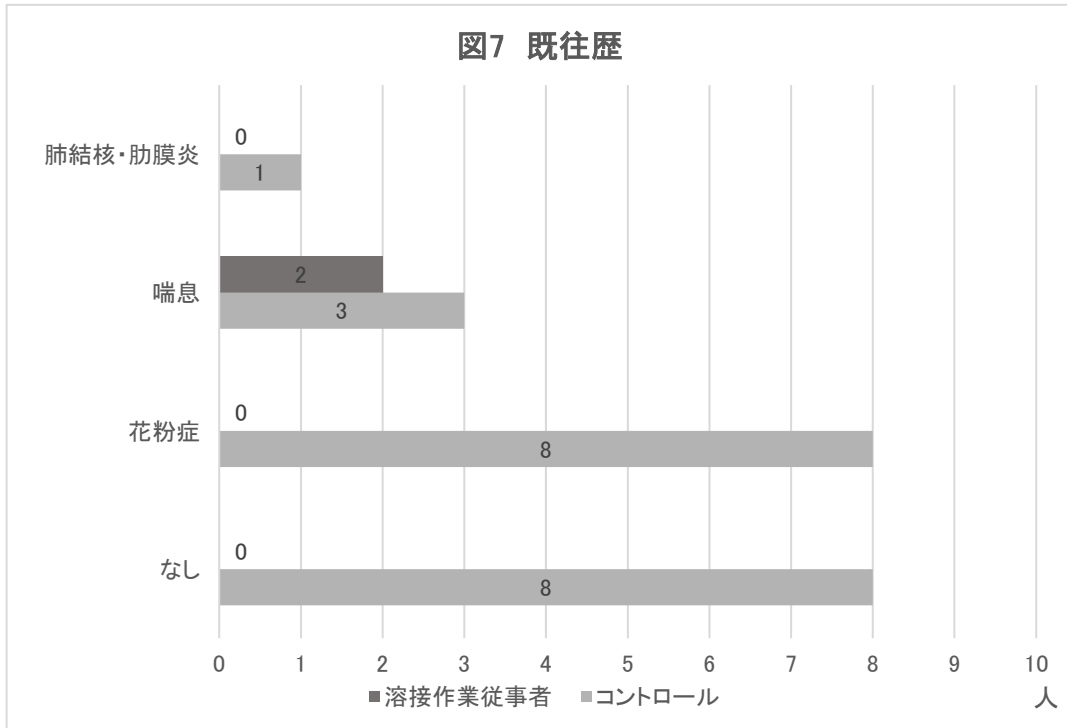
・神経系の自覚症状

溶接作業従事者群、コントロール群ともに回答はなかった(図6)



・既往歴

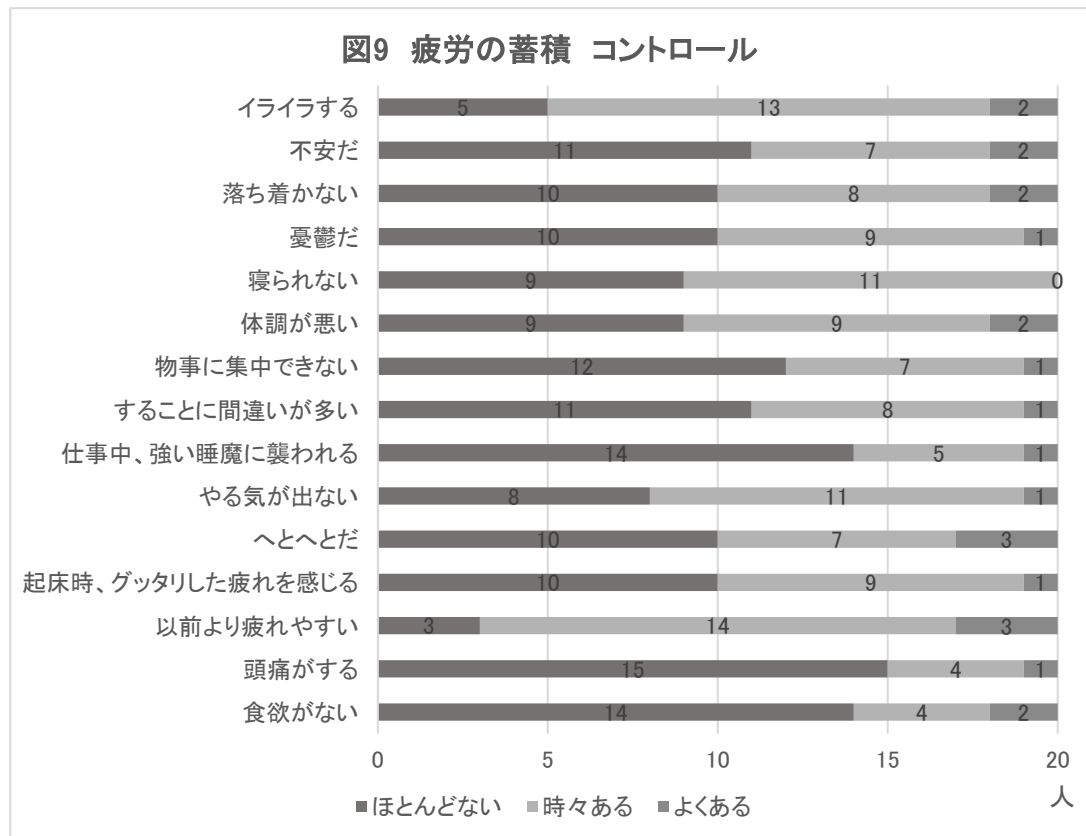
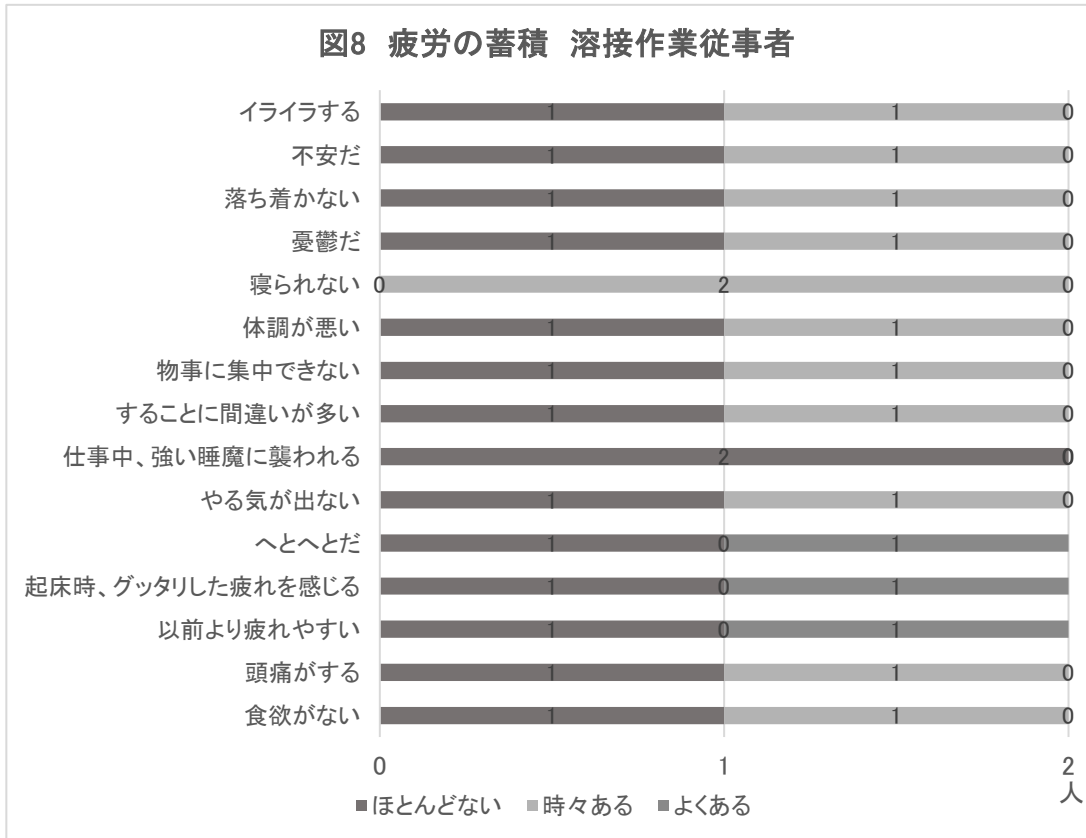
溶接作業従事者群では喘息(2名)、コントロール群では花粉症(8名)、喘息(3名)、肺結核・肋膜炎(1名)の回答を認めた(図7)。



質問票

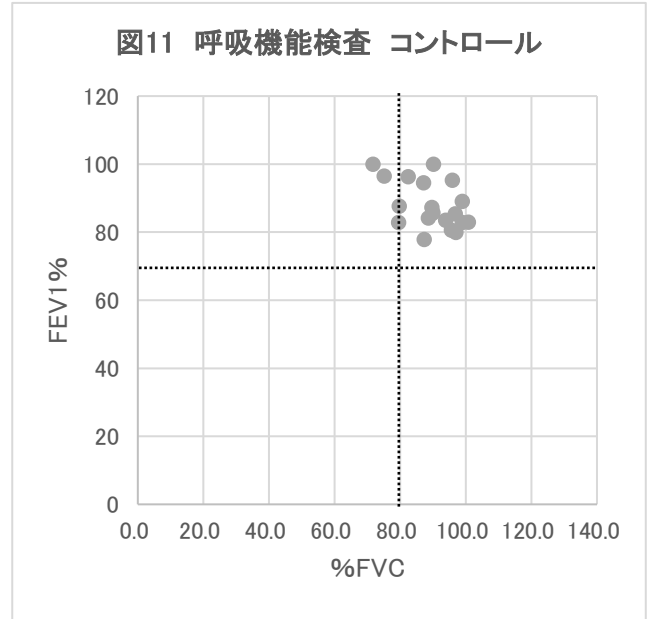
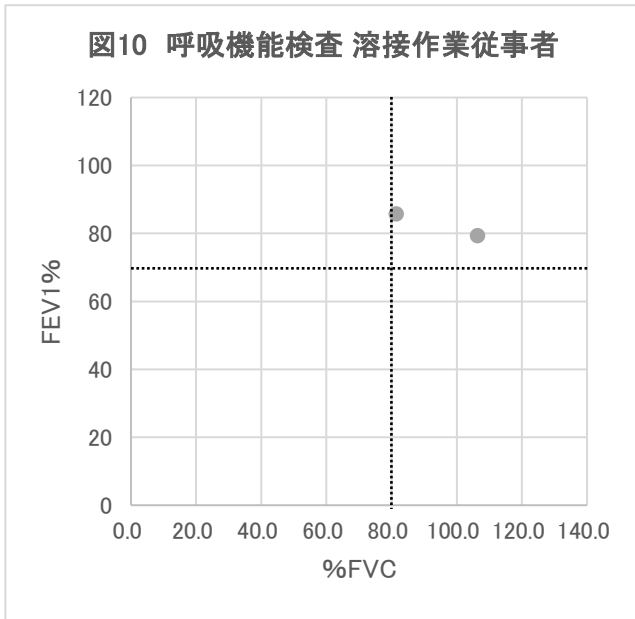
○疲労の蓄積

溶接作業従事者群は図8、コントロールは図9に示す。いずれの項目も溶接作業従事者群とコントロール群の間で有意差は認められなかった(Fisher 検定)。



<呼吸機能検査>

呼吸機能検査は%肺活量(%FVC)および一秒率(FEV1.0%)を評価対象とした。それぞれの基準値(%FVC:80%、FEV1.0%:70%)を超えるかどうかを評価した(図 10、11)



月日	集合時間	終了予定時刻	予定所要時間	対象者	対象者	対象者	対象者	調査内容
R4.7.27	15:00	15:40	30分	H-1	H-2	-	-	説明・同意・マスクフィットテスト
R4.7.28	8:30	9:20	50分	C-1	C-2	C-3	C-4	調査説明・同意書・質問票・WAIS・タッピング・握力
	9:30	10:20	50分	C-5	C-6	C-7	C-8	調査説明・同意書・質問票・WAIS・タッピング・握力
	10:30	11:20	50分	C-9	C-10	C-11	C-12	調査説明・同意書・質問票・WAIS・タッピング・握力
	15:20	15:40	20分	C-1	C-2	C-3	C-4	採血・採尿→謝礼受け渡し
	15:40	16:00	20分	C-5	C-6	C-7	C-8	採血・採尿→謝礼受け渡し
	16:00	16:20	20分	C-9	C-10	C-11	C-12	採血・採尿→謝礼受け渡し
R4.7.29	8:30	9:20	40分	H-1	H-2	-	-	質問票・握力・WAIS・スパイロ・タッピングなど終了後→個人サンプラー取付
	9:30	10:20	50分	C-13	C-14	C-15	C-16	調査説明・同意書・質問票・WAIS・タッピング・握力
	10:30	11:20	50分	C-17	C-18	C-19	C-20	調査説明・同意書・質問票・WAIS・タッピング・握力
	12:00	12:05	5分	H-1	H-2	-	-	休憩時個人サンプラー取り外し
	15:20	15:40	20分	C-13	C-14	C-15	C-16	採血・採尿→謝礼受け渡し
	15:40	16:00	20分	C-17	C-18	C-19	C-20	採血・採尿→謝礼受け渡し
	16:00	16:20	20分	H-1	H-2	-	-	個人サンプラー取り外し後、採血・採尿→謝礼受け渡し

調査スケジュール(簡易バージョン)

<神経学的検査>

○タッピング

溶接作業従事者群・コントロール群を利き手と非利き手の示指 30 秒間の合計数を用い、Mann-Whitney U test にて評価した。溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差が認められなかった(表 3、4)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 12、13)。

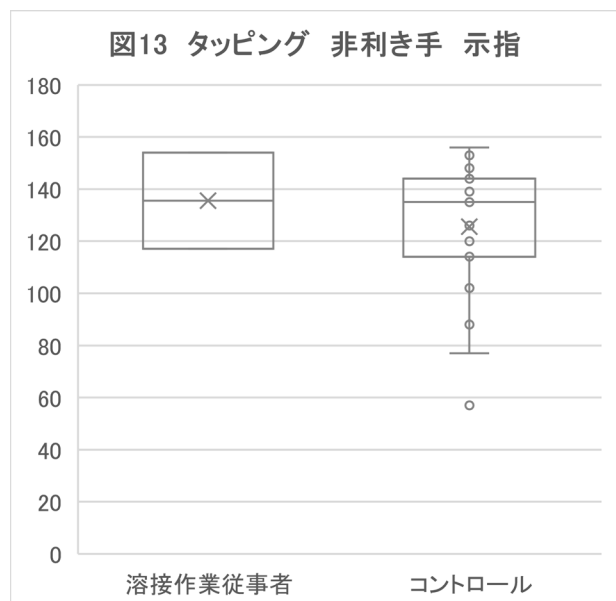
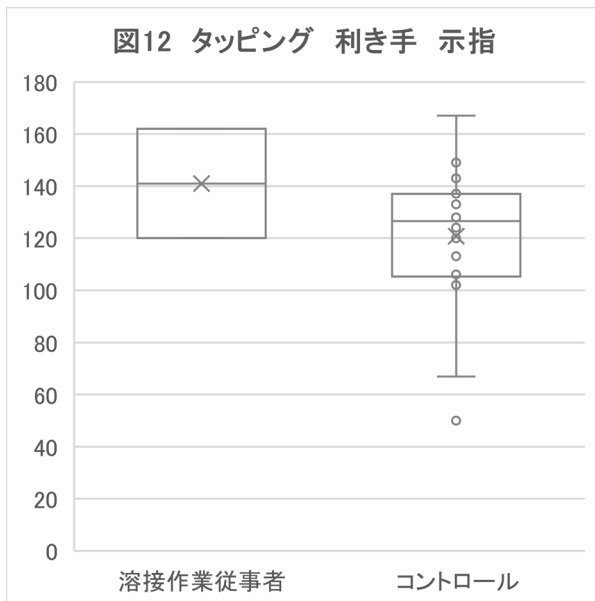
表 3 タッピング 利き手(全員)

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	1200	130.5	141.0	151.5	1620	0.493
コントロール	500	105.8	126.5	137.0	1670	

表 4 タッピング 非利き手(全員)

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	1170	126.3	135.5	144.8	1540	0.618
コントロール	570	114.0	135.0	144.0	1560	

(Mann-Whitney U test)



労研式タッピング測定器

○握力

溶接作業従事者群・コントロール群を利き手と非利き手の握力を2回測定した合計数を用い Mann-Whitney U test にて評価した(表 5、6)。溶接作業従事者群とコントロール群の利き手と非利き手の合計数を示す(図 14、15)。

表 5 握力 利き手(全員)

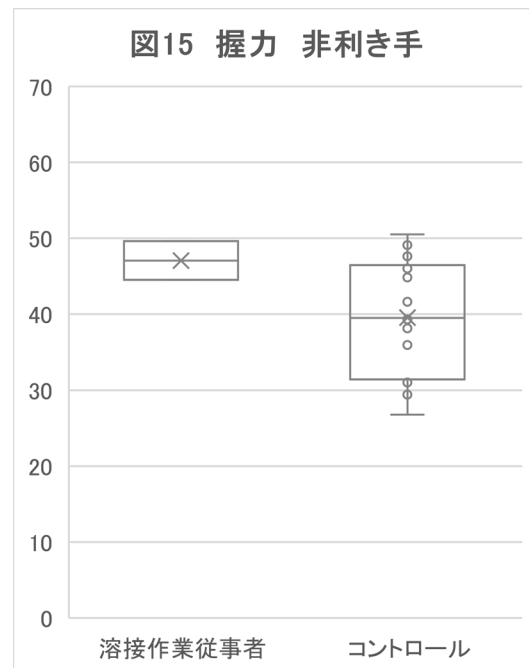
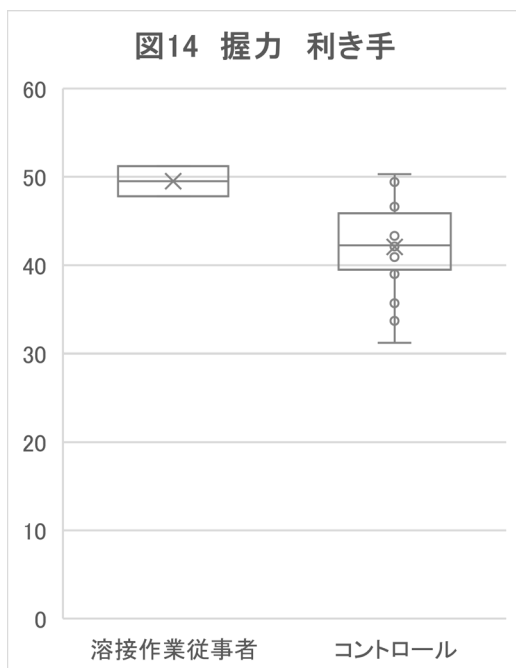
	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	47.8	48.7	49.5	50.4	51.2	0.059
コントロール	31.2	40.4	42.3	44.4	50.3	

(Mann-Whitney U test)

表 6 握力 非利き手(全員)

	最小	25%	中央値	75%	最大	p値
溶接作業従事者	44.5	45.8	47.1	48.3	49.6	0.189
コントロール	26.8	31.7	39.5	46.1	50.5	

(Mann-Whitney U test)



握力計

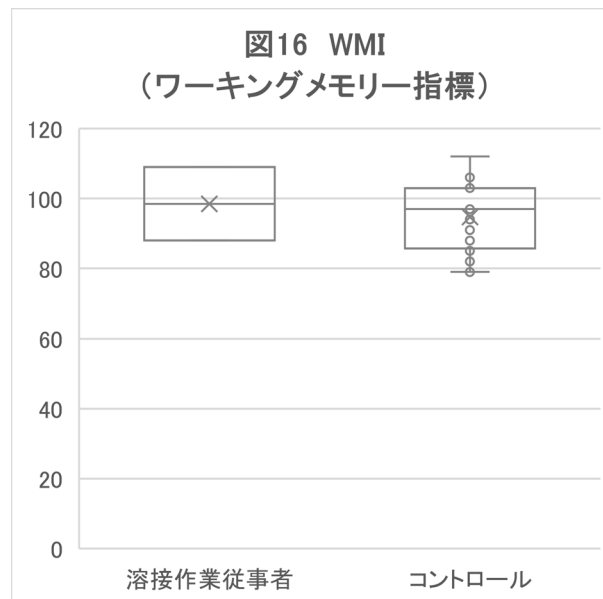
OWAIS-IV WMI(Working Memory Index:ワーキングメモリー指標)

「数唱」「算数」の評価点合計に基づいて得点化している。Mann-Whitney U test では、溶接作業従事者群とコントロール群の間に有意差が認められなかった(表7、図16)。

表7 WAIS-IV WMI(ワーキングメモリー指標)

	最小	25%	中央値	75%	最大	ρ 値
溶接作業従事者	88.0	93.3	98.5	103.8	109.0	0.605
コントロール	79.0	87.3	97.0	103.0	112.0	

(Mann-Whitney U test)



調査に際してのお願い

1. 対象者について
2. 調査日に関して
3. 調査に必要な部屋に関して

1. 対象者について

- ①溶接作業従事者
20歳以上の男性 2名程度
- ②一般作業者（溶接作業に従事されていない方）
20歳以上の男性 20名程度

2. 調査日に関して

令和4年7月以降～
調査日：木曜日・金曜日 設営：水曜日

3. 調査に必要な部屋に関して

調査を行う部屋 3部屋
1部屋は窓がある広めの部屋とその近くにもう2部屋
※トイレが近いと採尿の際に助かります。

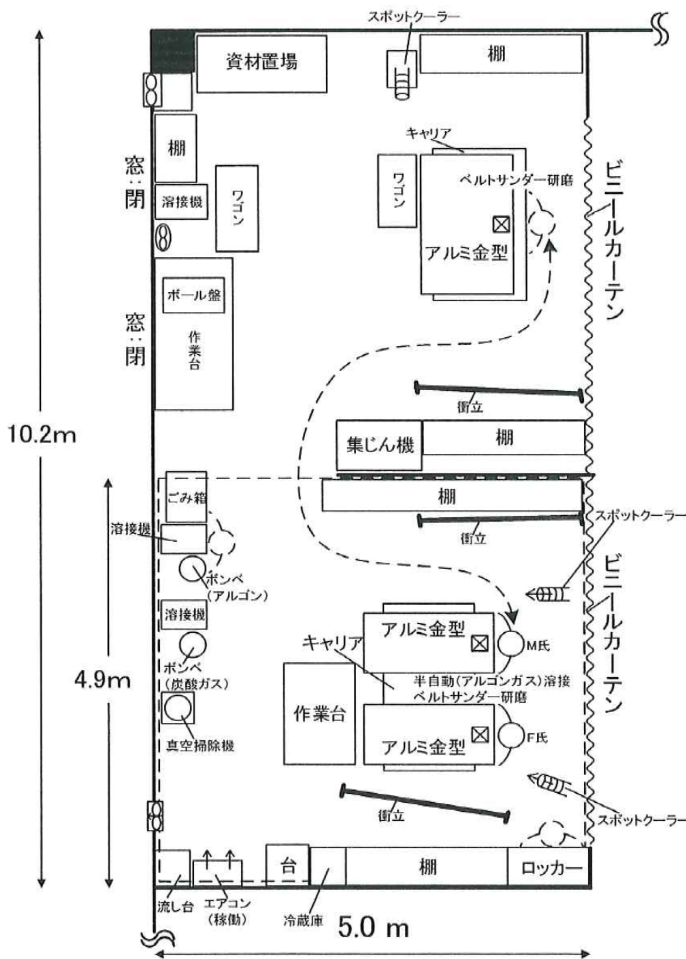
調査事前のお願い

＜溶接ヒュームの濃度測定＞

1) 作業環境測定基準および個人サンプラーを用いた測定

● 作業環境測定

メンテ室



〔記号〕

- : 作業者、 ⊠: 溶接ヒューム発生源
- △: 囲い式フード、 ▲: 外付け式フード、 ⇨: プッシュプル型換気装置
- ⊙: 扇風機 (矢印は稼働を示す)、 ⊕: 天井扇 (矢印は稼働を示す)
- ⊗: 換気扇 (矢印は稼働を示す)

図1 デザイン

* サンプル実施時に当該単位作業場所で行われていた作業、設備の稼働状況等及び測定値に影響を及ぼしたと考えられる事項の概要

〔作業工程と発生源及び作業人数〕

作業工程: キャリアにアルミ金型を置く→調整(MIG 溶接、ベルトサンダーによる研磨等)→確認→搬出

発生源: MIG 溶接作業及びベルトサンダーによる研磨作業。

作業人数: 2名(使い捨て式防じんマスク着用)。

〔設備、排気装置の稼働状況〕

- ・換気扇: 1/2稼働。
- ・扇風機: 停止
- ・スポットクーラー: 稼働
- ・エアコン: 稼働

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

- ・窓: 閉。
- ・ビニールカーテン: 閉。
- ・気流の状況: スポットクーラーやエアコンが稼働していたため、一部の測定点ではその吹き出し気流の影響が見られた。

〔当該単位作業場所の周辺からの影響〕

特になし

〔各測定点に関する特記事項〕

特になし

外気: 気温 29.85°C 湿度 68% 晴(10時)

表1 A 測定データ

No	相対濃度(cpm)	質量濃度(mg/m ³)
1	416	0.832
2	354	0.708
3	1010	2.02
4	711	1.42
5	203	0.406

表2 吸入性粉じん濃度測定 作業環境測定結果

幾何平均値	M1 = 0.93 mg/m ³	M2 = — mg/m ³	M = 0.93 mg/m ³
幾何標準偏差	σ1 = 1.87	σ2 = —	σ = 2.49
第1評価値	EA1 = 4.16 mg/ m ³		
第2評価値	EA2 = 1.41 mg/ m ³		
管理濃度	221mg/m ³		
評価	A 測定	区分 2	
	評価結果	第 2 管理区分	

2)個人サンプラーを用いた測定

H-1, H-2: メンテ室(図1)

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程: キャリアにアルミ金型を置く→肉盛り・接合(半自動溶接(炭酸ガス・アルゴンガス))→スパッタ除去・表面加工(ベルトサンダー使用)

・発生源: 各種アーク溶接作業

・作業人数: 2名

※呼吸用保護具着用 使い捨て式防じんマスク 9105J DS2 (3M 社製)

〔設備、排気装置の稼働状況〕

・壁換気扇: 1/2基稼働

・扇風機: 停止(午後は一部稼働)

・エアコン・スポットクーラー: 稼働

・半自動(炭酸ガス)溶接機(1基)、半自動(アルゴンガス)溶接機(1基): 稼働

・TIG 溶接機(1基): 停止

〔ドア、窓の開閉、気流の状況〕

・ビニールカーテン: 閉(午後は一部開放)

・窓: 閉

・気流の状況: 一部のスポットクーラーを溶接作業位置に向けて稼働させていたため、溶接作業位置ではその吹き出し気流の影響が見られた

〔作業場所の周辺からの影響〕

・特になし

〔特記事項〕

・特になし



個人サンプラー装着

○個人ばく露測定

溶接作業従事者2名の個人ばく露濃度測定結果(粉じん)を表3に示す。

個人ばく露測定では、吸入性マンガンの(時間加重平均濃度)は、2名とも0.05mg/m³以下であった。吸入性マンガンの(8時間加重平均濃度)は2名とも0.02mg/m³以下であった。

表3 個人ばく露濃度測定結果

対象者	時間加重平均吸入性粉じん濃度(mg/m ³)	8時間加重平均吸入性粉じん濃度(mg/m ³)*	時間加重平均吸入性マンガンの濃度(mg/m ³)**	8時間加重平均吸入性マンガンの濃度(mg/m ³)***
H-1	-	-	<0.005	<0.005
H-2	-	-	0.00700	<0.005

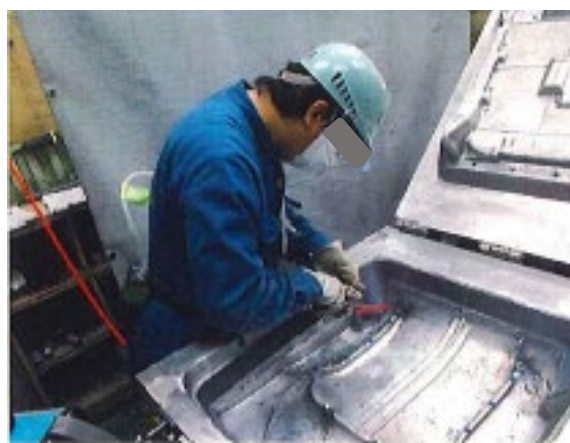
*日本産業衛生学会:許容濃度(第2種粉じん)酸化鉄 1mg/m³

**金属アーク溶接等作業における溶接ヒュームの気中濃度の基準値(Mnとして) 0.05mg/m³

***米国産業衛生専門家会議(ACGIH)ばく露限界値(2013年設定) 0.02mg/m³



溶接作業



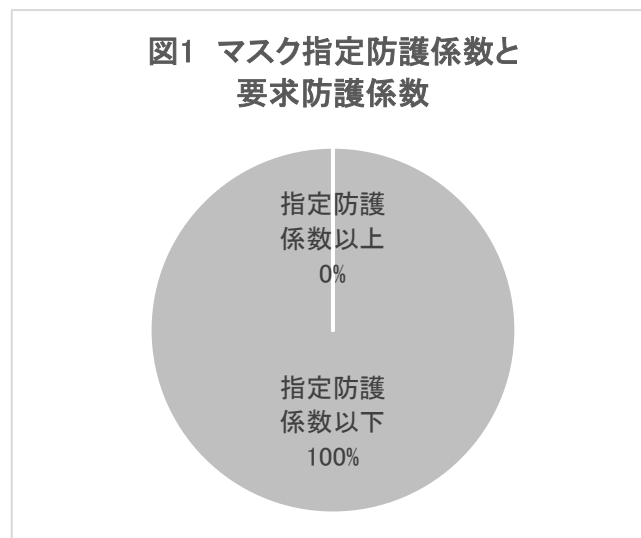
ベルトサンダーによる研磨作業

○マスク要求防護係数

各溶接作業従事者の要求防護係数等を表4に示す。溶接作業従事者2名とも要求防護係数は指定防護係数を上回まわらなかった(図1)。

表4 各溶接従事者作業者の指定防護係数と各要求防護係数

対象者	マスクメーカー	品番	指定防護係数	要求防護係数
H-1	3M	9105J-DS2 (レギュラー)	10	0.13
H-2	3M	9105J-DS2 (レギュラー)	10	0.13



換気状況1



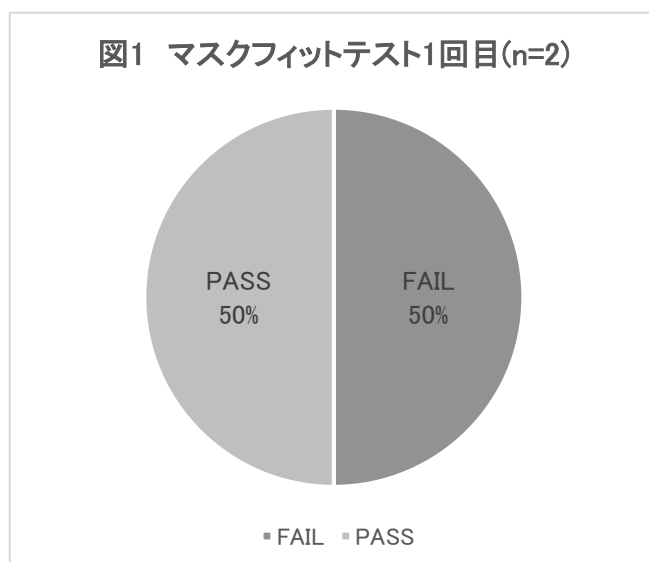
換気状況2

《マスクフィットテスト》

溶接作業従事者に、労研式マスクフィッティングテスターMT-05U型を用いて、定量的フィットテスト(JIS T8150:2021)を2回行った。その結果を表1に示す。また1回目、2回目のFAIL、PASSの割合を図1、図2に示す。1回目にFAILとなった溶接作業従事者に正しい装着方法の説明・指導を行い2回目を行ったがFAILであった。FAILした1名には、今後マスクの検討を行い、マスクフィットテストを行う予定である。

表1 マスクフィットテスト結果

対象者	1回目	2回目
H-1	PASS	
H-2	FAIL	FAIL
PASS 合計	1	0



ヒューム曝露による血清サイトカインおよびケモカイン量の変化

研究分担者 石原 康宏 広島大学大学院統合生命科学研究科 生命医科学プログラム 准教授

研究結果

ヒューム曝露による血清サイトカインおよびケモカイン量の変化を以下に記す。

I. 序論

金属アーク溶接などにより発生する溶接ヒューム(一般的に、粒子径 $1\mu\text{m}$ 以下の微粒子)は、長期間にわたって吸引すると肺組織の線維化や気腫性変化、炎症などを特徴とするじん肺のリスクとなる。気管支炎、肺がん、気胸などの合併症に罹患することもあり、ヒュームへの曝露をやめても症状は進行する。また、現在、じん肺の治療法は存在しない。従って、ヒュームへの曝露状況を把握し、作業環境を改善するなど、予防に努めることが重要である。溶接ヒュームは令和3年4月1日より特定化学物質(第2類物質)に追加されるなど、政令の改正も進んでいる。

ヒュームは固体が気化した後に急速に冷却されることによって生じる、おおよその径が $1\mu\text{m}$ 以下の球状または結晶状の微粒子である。溶接ヒュームの主成分は金属であり、酸化鉄や酸化マンガンを多く含む(溶接学会誌 75(7):7, 2006)。溶接ヒュームは、その曝露により炎症を引き起こすことが報告されている(*Toxicol Appl Pharmacol* 223(3):234, 2007; *Exp Lung Res.* 23(3):205, 1997)。最近、吸入した微粒子が肺胞マクロファージに貪食され、 $\text{IL-1}\alpha$ の放出をトリガーとして炎症性細胞が肺に浸潤することが示された(*Immunity* 45(6):1299, 2016)。従って、ヒュームの曝露により生じる炎症

反応が肺の障害に関わっているかもしれない。

本研究課題では、溶接作業者のヒューム曝露による健康影響を評価するために、血清中のサイトカインとケモカインを測定する。LEGENDplex によるサイトカイン、ケモカインの一斉定量法を確立し、サイトカイン 10 種($\text{IL-1}\beta$ 、 $\text{IFN-}\alpha 2$ 、 $\text{IFN-}\gamma$ 、 $\text{TNF-}\alpha$ 、 IL-6 、 IL-10 、 IL-12p70 、 IL-17A 、 IL-18 、 IL-23 、 IL-3)、ケモカイン 12 種(IL-8 、 CCL2 、 CCL3 、 CCL4 、 CCL11 、 CCL17 、 CCL20 、 CXCL1 、 CXCL5 、 CXCL9 、 CXCL10 、 CXCL11)の計 22 種の分子の定量を行った。工場従業員(事務員、溶接作業従事者)を測定対象とした。また、事業所 H と I については、ハイボリュウムエアースンプラーにより溶接工場内の $\text{PM}_{2.5}$ を採取し、ICP-MS により金属分析を行うことによって、工場内の $\text{PM}_{2.5}$ 成分組成を解析した。工場事務室あるいは食堂の空間濃度も測定し、曝露状況を評価した。

II. 方法

1. 溶接工場内 $\text{PM}_{2.5}$ のサンプリング

石英フィルターを装着したハイボリュウムエアースンプラー(HV-500R、柴田科学)を溶接現場近傍に設置し、 $500\text{L}/\text{min}$ の吸入量で溶接工場内の $\text{PM}_{2.5}$ をフィルター上に採取した。なお、2 時間吸入すると圧損が生じたため、1 時間半の採取とした。



図 1. 溶接工場における PM2.5 採取の様子

得られたフィルターから PM2.5 を抽出した。フィルターをハサミで細かく裁断し、蒸留水を添加した。10W で 1 分間超音波処理を行った後、ピンセット

を用いてフィルターを取り除いた。20,000 g で 5 分間遠心分離を行い、得られた沈殿を溶接工場内大気中の PM2.5 とした。

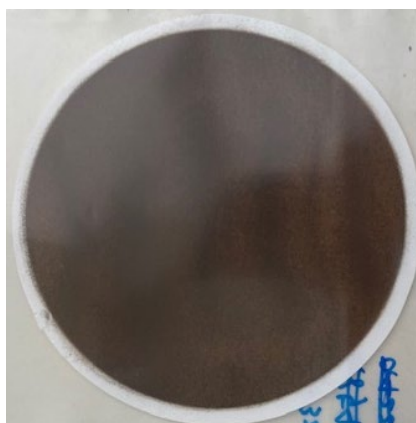


図 2. 石英フィルター上に捕集された溶接工場内 PM2.5

2. 大気中微粒子濃度の測定

大気中微粒子濃度をパーティクルカウンター (KC-51、リオン) を用いて測定した。0.3 μm ~ 0.5 μm 、0.5 μm ~ 5 μm 径の微粒子について、幾何平均径と微粒子の密度 (ドイツ都市部 PM2.5 密度 1.60 g/cm³, Environ Sci Technol 42:5087, 2008) 大気中重量濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) を算出した。

3. PM2.5 に含まれる重金属の定量

重金属の定量は、ICP-MS を用いて行った。測定はいであ株式会社に委託した。試料 0.0085mg にフッ化水素酸 3mL 及び硝酸 5mL を添加し、マイクロ波による加熱加圧分解を行った。次に、過酸化水素水 1mL を添加し、ホットプレート上で加熱してフッ化水素酸を除去した後、内標準物質溶液を加えて超純水で 10mL に定容した。適宜希釈を行い、ICP-MS で測定した。定量は、内標準法で行った。

表 1. ICP-MS 測定条件

ICP-MS (Agilent 7900, Agilent Technologies 社製)	
高周波出力 : 1,550W	
Carrier Gas 流量 : 1.05 L/min	
Make Up Gas 流量 : 0.10 L/min	
Spray Chamber 温度 : 2 °C	
衝突/反応ガス : He 4.5 mL/min (Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, As, Zn)	
H ₂ 6.0 mL/min (K, Ca, Fe, Se, Cd)	
H ₂ 8.0 mL/min (S)	
測定対象元素(m/z) :	[内標準]
Mg (24), Al (27), S (33), K (39),	Ge (ゲルマニウム) (72)
Ca (40), Ti (47), V (51), Cr (52),	
Mn (55), Fe (56), Co (59), Ni (60),	
Cu (63), Zn (66), As (75), Se (78)	
Cd : 111	In (インジウム) (115)
Pb : 208	Tb (テルビウム) (159)

表 2. 検出対象元素およびその検出・定量下限値

対象元素	検出下限値 (µg/g)	定量下限値 (µg/g)	対象元素	検出下限値 (µg/g)	定量下限値 (µg/g)
Mg	0.9	3	Fe	40	200
Al	20	40	Co	0.004	0.02
S	20	70	Ni	0.3	0.7
K	6	20	Cu	0.04	0.2
Ca	20	40	Zn	1	4
Ti	4	20	As	0.03	0.09
V	0.02	0.04	Se	0.004	0.02
Cr	0.04	0.2	Cd	0.005	0.02
Mn	0.7	3	Pb	0.06	0.2

4. ヒト血清検体

本研究は広島大学疫学研究倫理審査委員会の許可を得て遂行した(許可日:令和2年9月3日, 許可番号:第E-2181号、承認日:2022年2月21日, 承認番号:E-1440-2)。ヒト血清(溶接工場事務員および溶接従事者)は産業医科大学医学部衛生学講座より提供を受け、測定まで-80°Cで保存した。測定終了後の残余血清は、産業医科大学医学部衛生学講座に返送した。

5. フローサイトメーターを用いた血清中サイトカイン、ケモカインの網羅的解析

解析には LEGENDplex Human Inflammation Panel 1 (13-plex) with Filter Plate (Bio Legend,

740808) および LEGENDplex HU Proinflam. Chemokine Panel 1 (12-plex) with Filter Plate (Bio Legend, 741080)を使用した。測定は添付マニュアルに沿って行った。フィルタープレートの溶液の吸引除去にはマルチスクリーン HTS バキュームマニホールド (MSVMHTS00, ミリポア)を使用した。ベックマン・コールター社製コンパクトフローサイトメーターCytoFLEX S (488nm, 561nm レーザー搭載)によりビーズの蛍光を測定した。当該キットによる炎症性分子定量には、2種の蛍光の同時測定が必要である。PE と PerCP、PE と PE-Cy7 および PE と PC5.5 のチャンネルについて蛍光の混ざりこみを測定したところ、蛍光混ざり込み補正をした上で PE と PE-Cy7 のチャンネルを使用すると、蛍光の

混ざり込みを最低限におさえて精度が高い測定値を得ることができることが分かった (Data not shown)。そこで、PE と PE-Cy7 チャンネルによりサイトカインを定量することとした。クラウドベースの解析ソフト (<https://www.biolegend.com/en-us/legendplex>) を用い、血清中に含まれるサイトカインを算出した。尚、検出限界以下であった場合、キットマニュアルに記載されている検出限界地の 1/2 を便宜上用いた。

6. 統計解析

統計解析には GraphPad Prism version 9 (GraphPad Software) を使用した。平均値、標準誤差を算出し、また、Mann-Whitney U test により母集団の平均値を比較した。

Ⅲ. 結果

1. 溶接事業所内の環境と大気中微粒子組成
 パーティクルカウンターを用いて事務室および溶接工場内の微粒子の空間濃度を測定した。尚、測定対象は直径 0.3~5 μ m の微粒子である。H 社溶接工場内 (2022 年 4 月 21 日 10 時) の微粒子濃度は 112 μ g/m³ であった。一方、H 社事務所内 (2022 年 4 月 21 日 16 時) の微粒子濃度は 62 μ g/m³ であった。溶接工場内で高い空間濃度を

示すことは予想されることであるが、事務所内においても PM2.5 環境基準 (35 μ g/m³ 以下) よりも高い空間濃度が検出された。また、I 社において同様の測定をしたところ、溶接工場内 (2022 年 6 月 10 日 10 時) で 81 μ g/m³、事務所内 (2022 年 6 月 9 日 12 時) で 83 μ g/m³ の空間濃度であった。以上の結果より、溶接を行う事業所においては、工場内だけでなく事務室等でも高い空間濃度となることが明らかとなった。

溶接工場 H 社と I 社において工場内で PM2.5 を収集し、PM2.5 に含まれる 18 種類の金属を ICP-MS により定量した (表 3)。ヒュームの成分である鉄やマンガンが多く含まれる一方、カルシウムなどヒュームとは直接関連しない金属も多く検出された。また、H 社でマグネシウムや銅、亜鉛が多く含まれるなど、事業所間の違いも検出された。また、これらの金属をすべて足し合わせても、PM2.5 の質量の半分にも及ばない。環境中の PM2.5 等の微粒子の流れ込みに加えて、工場内にはディーゼル発電機など、微粒子を排出する機器が多く設置されているため、これらからの排出微粒子も寄与していると考えられる。鉄やマンガンなどヒュームに特徴的な金属をヒューム由来と考えたととしても、溶接工場内 PM2.5 のなかでヒュームが占める割合は 30~40% 程度ではないかと予測される。

表 3. 溶接工場内 PM2.5 に含まれる金属濃度

	H 社	I 社
Mg	25000	1600
Al	22000	17000
S	1200	740
K	7800	5200
Ca	46000	21000
Ti	20000	7200
V	87	22
Cr	400	240
Mn	68000	34000
Fe	220000	230000
Co	15	15
Ni	1200	220
Cu	3800	650
Zn	27000	5000
As	64	19
Se	9.3	0.35
Cd	2.4	0.41
Pb	200	120 (ng metal/mg PM2.5)

2. 溶接作業従事者、事務員の血清中サイトカイン、ケモカイン濃度の測定

産業医科大学医学部衛生学講座より溶接事業者 10 社(A-J 社)の従業員の血清(事務員 129 検体、溶接作業従事者 105 検体)の提供を受けた。これらの血清中に含まれるサイトカイン 10 種(IL-1 β 、IFN- α 2、IFN- γ 、TNF- α 、IL-6、IL-10、IL-12p70、IL-17A、IL-18、IL-23、IL-3)、ケモカイン 12 種(IL-8、CCL2、CCL3、CCL4、CCL11、CCL17、CCL20、CXCL1、CXCL5、CXCL9、CXCL10、CXCL11)の計 22 種を定量し群間比較を行った。尚、J 社事務員 1 検体について血清中 IL-17A が平均値の 1,000 倍と非常に高い測定値が得られたため、外れ値としてこれを除外して統計

解析を行った。その他測定検体については、すべての検体より得られた測定値について統計解析を行った。

まず、サイトカイン 10 種を測定した。IL-1 β を測定したところ、溶接事業所事務員と比較して、溶接作業従事者において血清中濃度が有意に低下していた(図 3A)。また、TNF α 、IL-10、IL-12p70、IL-17A および IL-33 についても、IL-1 β と同様の傾向が認められた(図 3B-E, G)。即ち、溶接事業所事務員の血清中濃度は溶接作業従事者と比較して有意に高い。IL-23 においても、溶接作業従事者の血清濃度が減少する傾向にあったが、2 群間で有意差は得られなかった(図 3F)。

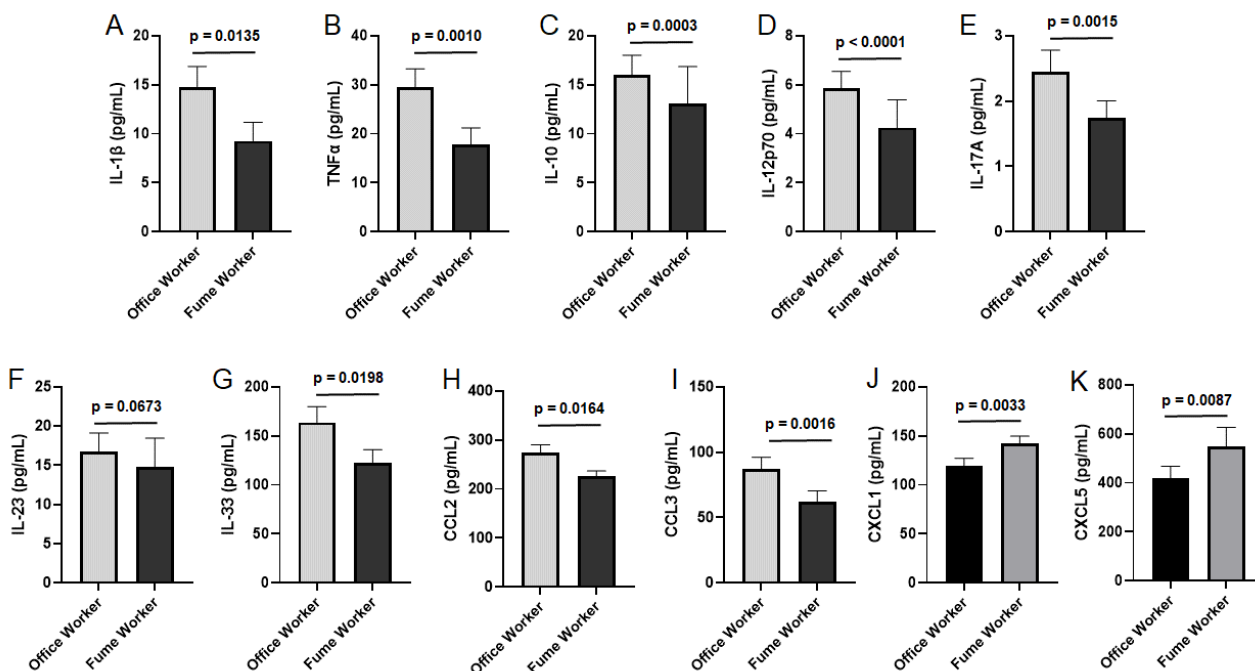


図 3. 事業所事務員 (Office Worker) および溶接作業従事者 (Fume Worker) における血液中サイトカイン、ケモカイン量の比較

事業所事務員および溶接作業従事者から得たヒト血清について、LEGENDplex マニュアルに従ってビーズおよび検出抗体で処置し、フローサイトメーター CytoFLEX S により蛍光値を測定した。検量線より、血清中サイトカインおよびケモカイン濃度を算出した。バ

ーは標準誤差であり、分散分析の後に Mann-Whitney U test を行った。事業所事務員 N=129、溶接作業従事者 N=105 であるが、IL-17A 測定においてのみ外れ値を除いて事業所事務員 N=128 で比較している。

次に、ケモカイン 12 種を測定した。CCL2 を測定したところ、溶接事業所事務員において、溶接作業従事者よりも血清中濃度が有意に低下していた (図 3H)。CCL3 血清中濃度も CCL2 と同様の傾向にあった (図 3I)。一方、溶接作業従事者の血清中 CXCL1 および CXCL5 濃度は、事業所事務員と比較して有意に増加していた (図 3J, K)。従って、炎症性サイトカイン類については、溶接事業所事務員と比較して、溶接作業従事者において血清中濃度が有意に低下するという同様の傾向が認められたが、炎症性ケモカインへの影響はその種類によって異なることが明らかとなった。

IV. 考察

溶接作業に伴う金属ヒュームへの曝露は金属ヒューム熱を引き起こすことが広く知られている。金属ヒューム熱は、亜鉛、マンガン、銅、ニッケル、カドミウム、アルミニウムなどの金属蒸気の吸入によって生じる風邪によく似たいわゆる職業性疾病であり、酸化亜鉛ヒューム、酸化銅ヒュームによるものが多いとされる。ヒュームに曝露した労働者はしばしば呼吸器系症状や全身性症状を示す (American Welding Society. Metal fume fever. Safety and Health Fact Sheet No. 25)。金属ヒューム熱は、曝露後に生じる可逆的な症状であると考えられていたが、様々な症例研究により金属ヒュームが肺へのびまん性損傷など長期的、或いは不可逆的な症状を引き起こすことが明らかになりつつある (J Thorac Imaging. 25:W27-29, 2010; Emerg Med (Fremantle) 13:373-375, 2001)。加えて、疫学的研究より、溶接ヒュームの吸入と、心不整脈、心筋虚血、およびアテローム性動脈硬化症などの心血管イベントの発生率の増加との関連が示されている (Environ Health Perspect 115:1046-1051, 2007; Br J Ind Med. 47:83-90, 1990)。Cavallari らは、ボイラー製造事業所に勤務する労働者が金蔵ヒューム PM2.5 に曝露すると、心拍数が増加することを示した (Environ Health 7:36, 2008)。また、金属ヒュームへの長期曝露により心悸亢進や徐脈が生じること報告されており (J

Occup Environ Med 58:227-231, 2016)、金属ヒュームへの曝露は、呼吸器系だけでなく循環器系へも影響すると考えられる。金属ヒュームには高濃度の有害重金属が蒸気として含まれており、金属ヒューム吸入のヒトリスクを正しく把握するためには、これら金属の吸引により生体内で生じる現象をとらえることは極めて重要である。

今回の研究より、溶接作業従事者と比較して、事業所事務員において血清中 IL-1 β が有意に上昇していた。IL-1 β は前駆体として合成され、インフラマソームにおいて Caspase-1 によって切断することにより成熟する炎症性サイトカインである。従って、事業所事務員は溶接作業従事者と比較して全身性の炎症が亢進していると考えられる。このことは、TNF α など、他のサイトカインの血清中濃度についても、溶接作業従事者と比較して事業所事務員で高いことから支持される。事業所事務室内の空間微粒子濃度は環境基準と比較して、非常に高い値であった。従って、事業所事務員の IL-1 β 高値は、この空間濃度を反映していると考えられる。一方、溶接工場内と事務所内の空間微粒子濃度はほぼ同一である。従って、事業所事務員と溶接作業従事者の血清中サイトカイン濃度の違いは空間微粒子濃度からは説明できない。溶接作業従事者は作業時には溶接マスクなどの高度な保護具を身に付けている一方、事務員はコロナ禍の折、マスクは着用しているが、高度な保護具を身に付けていない。従って、空間微粒子濃度が同程度である以上、保護具の有無が曝露量、ひいては全身性の炎症状態に関係しているのかもしれない。溶接ヒューム曝露のリスクを評価している研究において、溶接作業従事者 (welders) と事務員 (office workers) を比較した論文は多い (Chem Res Toxicol. 25:676-686, 2012; Ecotoxicol Environ Safe. 215:112144, 2021)。しかし、これらの報告には、溶接作業現場と事務室等事務員が常在する場所における空間 PM2.5 濃度の測定がなされておらず、特に事務員の曝露評価に難がある。ヒューム曝露評価において、事業所内やその周囲の PM2.5 濃度や成分組成を正確

に把握し、防護器具を加味した上で曝露量を見積もってリスク管理を行う必要がある。また、ヒューム曝露に限らず産業曝露を評価する研究において、事業所労働者や事業所事務員、近隣住民だけでなく、事業所から距離がある一般住民も含めてバイオマーカーを測定し、曝露リスクが評価されるべきかもしれない。

Fine らは、健康成人に対して酸化亜鉛ヒューム (2.5 mg/m^3 および 5 mg/m^3) を 2 時間吸入曝露し、その健康影響を調べている (JOEM 39:722-726, 1997)。いずれの濃度の曝露によっても体温が上昇し、血漿中 IL-6 濃度が上昇した。その一方で、酸化亜鉛ヒューム曝露は、血漿中 TNF α 濃度には影響しなかった。また、 5 mg/m^3 の曝露より、咳、倦怠感、筋肉痛などの全身症状が生じた。また、Luo らは自動車製造会社においてスポット溶接やアーク溶接に従事する従業員と事務員の尿中金属とバーカー分子を測定し、亜鉛が IL-6 や GSH 量と相関し、銅が GSH と相関することを明らかにした (JOEM 51:95-103, 2009)。これらの研究では、溶接ヒュームの曝露により血液中および尿中の IL-6 濃度が上昇しており、血液中 TNF α 濃度は影響を受けなかった。一方、本研究では血液中 IL-6 濃度に有意な変化はなく、事業所事務員において血液中 TNF α 濃度が高かった。先に考察したように、既報では事業所事務員を対照群と用いて比較しているが、事務員の曝露状況は記載されていない。また、保護具の着用の有無やどの程度正確に着用しているかによっても応答が変わると考えられる。また、重金属の種類によっても炎症誘導能は異なる。重金属曝露によって生じる活性酸素種 (ROS) は、サイトカイン、ケモカイン発現のマスターレギュレーターである NF- κ B を活性化することが知られている (Cell Res. 21:103-15, 2011)。重金属の中でも安定な 2 つ以上の酸化状態をとる金属はフェントン反応やハーバーワイス反応を介して反応性が高いラジカル種であるヒドロキシルラジカルを生じることが知られており、特に鉄や銅においてフェントン反応が起こりやすい。また、亜鉛も様々な酵素の活性中心となっており、電子

遷移を媒介することが可能であり、NF- κ B の活性化に影響することが報告されている (Inflammopharmacology. 25(1):11-24, 2017)。これらのことを鑑みると、溶接ヒューム中の金属組成が発現するサイトカイン量や種類に影響すると考えられる。また、溶接作業所内で大気中より PM2.5 を捕集すると、溶接ヒューム以外にも都市大気粉塵に含まれる化学物質が捕集される。これらの化学物質の中には、多環芳香族炭化水素やエンドキシシンなど強い炎症誘発能を有する化学物質も含まれることから (J Toxicol Sci. 47:201-210, 2022)、実環境で捕集した溶接ヒューム曝露を考える場合、溶接ヒューム以外の曝露成分の影響を考慮する必要もあると考えられる。また、本研究では、炎症性ケモカイン濃度の変化が群間によって整合性がとれず、溶接作業従事者で減少するケモカイン、増加するケモカインの双方が認められた。サイトカインと比較してケモカインの発現誘導に係る研究は進んでいない。先に述べたように、溶接ヒュームには重金属類以外にも様々な物質が含まれているため、これらのケモカイン誘導への関わりについても調べる必要がある。

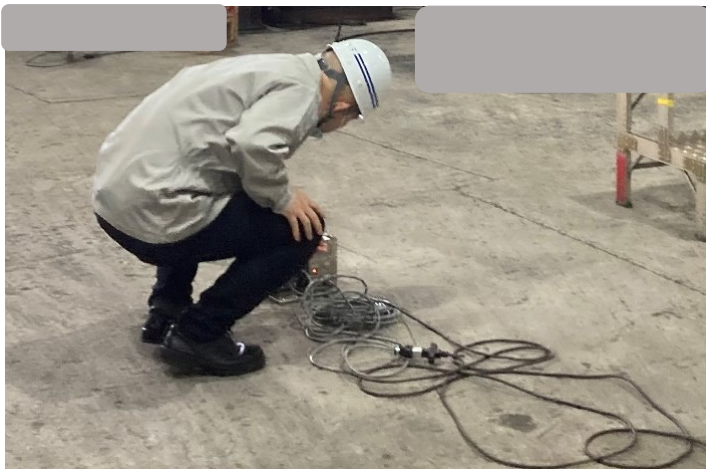
職業性ぜんそくでは、小麦粉やイソシアネートなども原因として挙げられているが、その中でも溶接ヒュームは気道上皮への強い炎症反応を引き起こす (J Allergy Clin Immunol 148:1072-1080, 2021)。Kuo らは溶接作業従事者の尿のメタボローム解析を行い、溶接作業従事者においてグリシン、タウリン、ベタイン、セリン、スルホホスチン、馬尿酸、グルコン酸、クレアチニンおよびアセトン濃度が上昇する一方、クレアチン濃度が減少することを報告し、様々な代謝経路が影響を受けていることを示唆した (Chem Res Toxicol. 25:676-686, 2012)。また、Lai らは溶接ヒュームの曝露により、尿中のコルチゾールが持続的に減少することを示し、副腎の機能不全を示唆している。溶接ヒューム曝露は、呼吸器系だけでなく様々な組織、器官に影響することが明らかになってきている。

SD ラットにおいて、溶接ヒュームを曝露するとリステリア・モノサイトゲネス感染時の肺定着率 (時間)

が有意に増大することを示し、ヒューム曝露が易感染性を引き起こすことを示唆した (Toxicol Appl Pharmacol 200:206-218, 2004)。この作用はヒューム種特異性があり、特にステンレスヒュームに肺の免疫抑制作用と易感染性誘導作用が強いとされる (Toxicol Appl Pharmacol 223:234-45, 2007)。溶接材の種類や、或いはそこで生じるヒュームの粒子径分布など、同じ事業所であっても作業ごとにリスクは異なると考えられる。溶接ヒュームのリスク評価においては、その作業環境や防護器具への理解と共に作業内容も加味する必要があり、丁寧な検証が求められる。

IV. 結論

本研究では、溶接事業所の環境、大気中微粒子組成および事務員、溶接作業従事者の血清中サイトカイン、ケモカイン量を定量した。事業所事務員と溶接作業従事者を比較すると、事業所事務員で全身の炎症状態が高まっていることが明らかとなった。正確な作業環境の把握と曝露量の推定が、ヒュームを始めとした微粒子のリスク管理に繋がるであろう。



ハイボリュームエアサンプラー工場内設置



筆者(石原)と研究代表者 辻 真弓

ヒューム曝露による経皮曝露および肌状態への影響

研究協力者 河野 まおり 大阪大学大学院薬学研究科先端化粧品科学共同研究講座 特任助教

研究結果

ヒューム曝露による経皮曝露および肌状態への影響を以下に記す。

【背景】

溶接作業時に生じた蒸気が空気中で凝固した固体の粒子(粒径 0.1~1 μm 程度)の総称である溶接ヒュームは、様々な健康被害の可能性が示唆されている。その中で経皮曝露に関してはあまり重要視されていないものの、露出度が高くヒト最大の臓器である皮膚への健康影響を検討する必要があると考える。先行研究において、微小粒子状物質の1つである PM2.5 が高濃度に曝露される地域で生活したヒト皮膚を調査したところ、皮膚バリア機能関連因子が低下することが報告されており(Byung Eui Kim et al., 2021)、溶接ヒュームも同様に肌へ曝露されることによって、肌バリア機能をはじめ様々な影を与える可能性があると思定した。そこで、溶接作業従事者および工場事務員の肌状態について、真皮層・表皮層の弾力性や色味などの評価を実施し、溶接作業従事者や工場事務員の肌状態に関する知見を得た。また、バリア機能を評価できるケラチノサイト細胞を多層化させた再構築三次元表皮モデル(以下表皮モデル)を用いて、遺伝子の動きや組織学上的変化について検討することとした。

【方法】

1. 大気中微粒子濃度の測定

訪問した事業所内の、工場および工業隣接事業所内の大気中微粒子濃度を、パーティクルカウンター(KC-51、リオン)を用い、測定した。パーティクルカウンター内の各サイズ粒子径(0.3 μm ~0.5 μm 、0.5 μm ~5 μm)の幾何平均径と微粒子の密度(ドイツ都市部 PM2.5 密度 1.60 g/cm^3 、Environ Sci Technol 42:5087, 2008)を参考に、大気中重量濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)を下記の式を用いて算出した。

PM 濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$) =

$$(0.3\text{--}0.5 \mu\text{m の粒子数}) \times 1.6 \times 4/3 \pi (0.39/2)^3 + (0.5\text{--}5.0 \mu\text{m の粒子数}) \times 1.6 \times 4/3 \pi (1.58/2)^3$$

2. ヒト肌測定試験

2-1. 色味測定

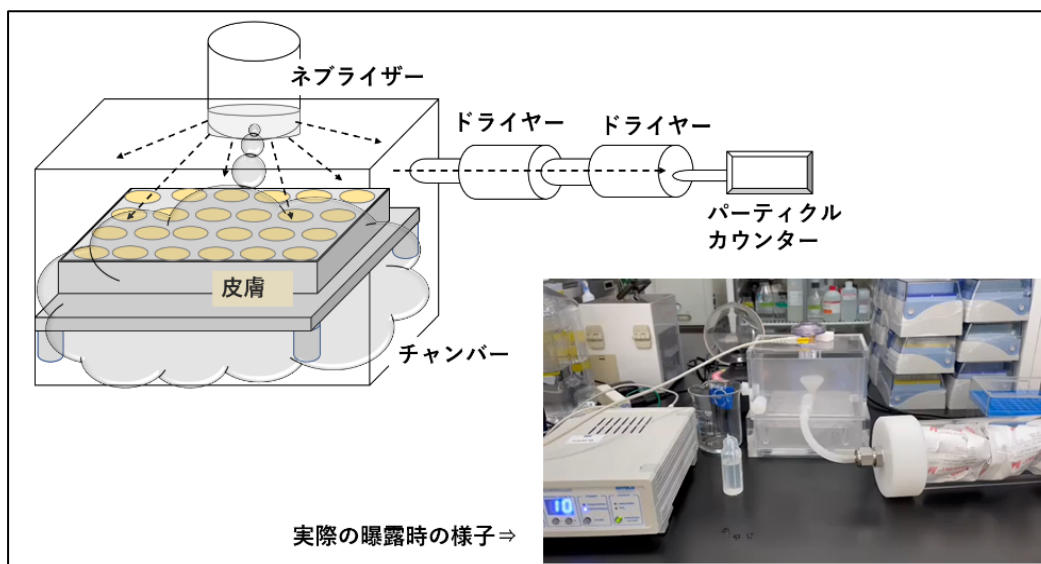
色差計(CM-700d:コニカミノルタ製)を用いて、頬部、頸部の肌の明るさ、赤味、黄味を計測した。

2-2. 弾力性(真皮・表皮)

キュートメーター (MPA580D: Courage+Khazaka) を用いて、頸部の弾力性を評価した。陰圧によってプローブの開口部から皮膚を吸引/陰圧にした後、解除し、皮膚の変位量の推移から弾力性を評価した。真皮の評価には、口径は 6 mm を、表皮の評価には、口径 2 mm のプローブを用いた。

3. 表皮モデルを用いた肌影響への検討

3-1 ネブライザーによる気相曝露



気相曝露システムの概略 (左: イメージ、右: 実際の様子)

皮膚モデルの角質層側からのみ曝露されるようにインサートカップ用台座にトランスウェルを設置し、アクリルチャンバー内で超音波式ネブライザーにより霧化した PM2.5 懸濁液を1時間曝露した後、23 時間 37°C 5% CO₂ インキュベーター内で静置させた。

各濃度に十分に懸濁した PM2.5 溶液をネブライジングしてチャンバー内に霧化し充填した。チャンバー内の PM2.5 空間濃度を、乾燥剤として塩化マグネシウム(ニッソードライ)を封入した拡散ドライヤーにつないだパーティクルカウンターから計測した。チャンバー内大気中重量濃度は、上記方法中の "1. 大気中微粒子濃度の測定" 記載と同様の方法にて算出した。

3-2 細胞生存率の測定

細胞生存率を Cell Counting Kit-8 (CCK-8, DOJIN) を用いてキット付属のプロトコールに従って実施した。

3-3 DNA アレイによる遺伝子に関する包括的な変動解析

Maxwell RSC simply RNA Tissue Kit (Promega) を用い、メーカー推奨プロトコールに従って細胞株からの mRNA の抽出を行った。包括的な遺伝子変動検出には、ClariomS human array (ThermoFisher) を、解析には TAC4.0 ソフトを用いて実施した。

3-4 組織切片および HE 染色による組織形状変化

組織切片の作製および HE 染色(アプライドメディカルサーチ社実施)後、組織切片観察を KEYENCE 顕微鏡にて行った。

【結果および考察】

1. 大気中微粒子濃度の測定

工場内、工場隣接事業所および、大阪大学吹田キャンパス薬学部 4 号館室内において、パーティクルカウンターを用いて、各微粒子数を測定した。

工場内での、0-0.3 μm 、0.3-0.5 μm 、0.5-5.0 μm の粒子数の値の平均値は、96000、8170、228 であり、事業所内の平均はそれぞれ、43630、4711、20 であった。一方、阪大室内では、87、2、6 であった。以上より、事業所内は、作業場である工場内と比較すると約半分のカウンター値であったものの、阪大室内と比較すると、非常に高い値であることが分かった。

2. ヒト肌測定試験

ヒト肌測定群について、群分けは下記とした(下表)。

ヒト肌測定試験の群分け

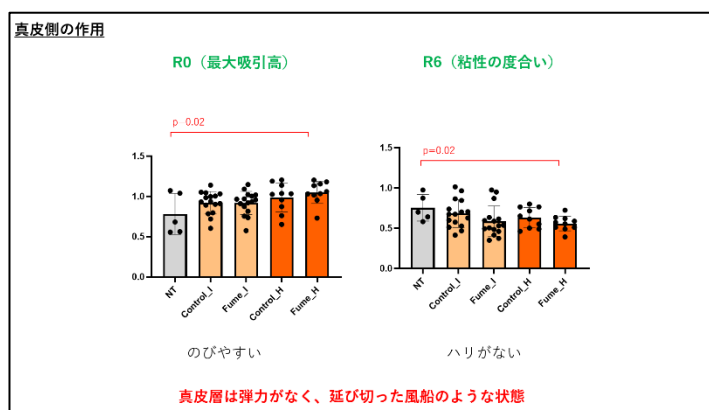
Sample name	n数	職業	測定場所
NT	5	医師など (工場非関係者)	事業所I
Control_I	16	工場隣接事業所にて勤務 (溶接作業以外)	事業所I
Fume_I	16	溶接作業	事業所I
Control_H	10	工場隣接事業所にて勤務 (溶接作業以外)	事業所H
Fume_H	10	溶接作業	事業所H

2-1. 色味測定

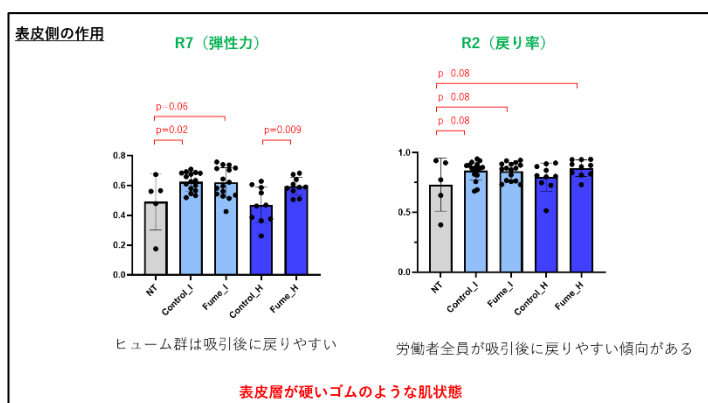
頸部において、NT と比較して他群は総じて明るさが低く(くすんでいる)、赤みが高いという結果となった。PM2.5 がマウス皮膚、ヒト皮膚モデルにおいて IRE1 α 経路を介してメラニン産生を増加させることが報告されており(Yuri Ahn et al., Journal Journal of Investigative Dermatology,2021)、工場内および付近で大気中に滞留している溶接ヒュームおよび PM2.5 がメラニンを介した肌の色へ影響を与えている可能性があると考ええる。

2-2. 弾力性(表皮・真皮)

表皮層については、NT 群と比較して、硬いゴムのような肌状態であり、真皮層は弾力がなく、延び切った風船のような状態であることが分かった(右図)。



大気汚染物質がヒト摘出皮膚に付着することによって真皮層のコラーゲン量が低下するという報告があり(Minkyung Kim et al., 2019)、PM2.5 や溶接ヒュームが弾力性に影響を与える可能性は十分に想定される。NT 群の n 数を増やし、更なる知見を蓄積していく必要があると考える。



3. 表皮モデルを用いた肌影響への検討

3-1 ネブライザーによる気相曝露

300 $\mu\text{g/mL}$ の溶接ヒューム溶液を上記の系で曝露した際のチャンバー内空間濃度は、事業所 H の工場内で測定した際のパーティクルカウンター値と近い値であった。300 $\mu\text{g/mL}$ の溶接ヒューム懸濁液を気相曝露システムにて曝露した際のチャンバー内空間内濃度は、300 $\mu\text{g/cm}^3$ 程度であり、PM2.5 の日本の環境基準値が年平均 15 $\mu\text{g/cm}^3$ 、24 時間平均で 35 $\mu\text{g/cm}^3$ であることを考えると、各事業所の工場内には高濃度の溶接ヒュームが大気中に滞留していることが想定される。

3-2 細胞生存率の測定

気相曝露法にて、300 $\mu\text{g/mL}$ を最高濃度として 1 時間曝露し、その後 wash out なしで、23 時間ポストインキュベーションした結果、細胞障害性は認められなかった。以降は、300 $\mu\text{g/mL}$ のヒュームを 1 時間角層側からネブライジングシステムを用いて、気相曝露し皮膚モデルを用いて、実験を実施した。

3-3 DNA アレイによる遺伝子に関する包括的な変動解析

網羅的な遺伝子変動解析を実施した結果、コラーゲン分解酵素である MMP ファミリー (MMP-1,9,10 遺伝子) 変動が大きいという結果であった (右図)。このことから、ヒューム曝露により、MMP 発現量の誘導を介した真皮コラーゲン量の減少や、ハリ・弾力が低下することが示唆された。

4-4 組織切片および HE 染色による組織形状変化

組織形態的な顕著な変化は認められなかった。DNA アレイの結果より、MMP 関連タンパク質の発現上昇が想定され、免疫組織染色等により、MMP 発現部位や量についても検討していく必要があると考える。

Gene Symbol	Description	P-val
MMP9	matrix metalloproteinase 9	<0.001
ANXA1	annexin A1	<0.001
IL1R2	interleukin 1 receptor, type II	<0.001
MMP1	matrix metalloproteinase 1	<0.001
TM4SF1	transmembrane 4 L six family member 1	<0.05
C15orf48; MIR147B	chromosome 15 open reading frame 48; microRNA 147b	<0.05
GPRC5A; MIR614	G protein-coupled receptor, class C, group 5, member A; microRNA 614	<0.01
PCBP1	poly(rC) binding protein 1	<0.001
SEMA3C	sema domain, immunoglobulin domain (Ig), short basic domain, secreted, (semaphorin) 3C	<0.01
DHRS9	dehydrogenase/reductase (SDR family) member 9	<0.001
LAMB3; MIR4260	laminin, beta 3; microRNA 4260	<0.001
CLDN4	claudin 4	<0.001
ATP1B1	ATPase, Na ⁺ /K ⁺ transporting, beta 1 polypeptide	<0.01
HK2	hexokinase 2	<0.001
ERO1A	endoplasmic reticulum oxidoreductase alpha	<0.05
SKIL	SKI-like proto-oncogene	<0.001
SPRR2A	small proline-rich protein 2A	<0.01
RHCG	Rh family, C glycoprotein	<0.01
HIST1H2AA	histone cluster 1, H2aa	<0.001
MMP10	matrix metalloproteinase 10	<0.01

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
辻 真弓、安村 美子、保利 一、 上野 晋、一瀬 豊日、後藤 元秀、 石塚 恒年、長谷川 渉	呼吸用保護具の定量的フィ ットテストから得られた知 見 ～金属アーク溶接等作業 に従事する労働者を対象と した調査から～	産業医学ジヤ ーナル	45(5)	52-57	2022
Mayumi Tsuji, Chihaya Koriyama, Yasuhiro Ishihara, Toyohi Isse, Tsunetoshi Ishizuka, Wataru Hasegawa, Motohide Goto, Rie Tanaka, Noriaki Kakiuchi, Hajime Hori, Kazuhiro Yatera, Naoki Kunugita, Megumi Yamamoto, Toshihide Sakuragi, Yoshiko Yasumura, Maori Kono, Mami Kuwamura, Kyoko Kitagawa, Susumu Ueno	Associations between welding fume exposure and neurological function in Japanese male welders and non-welders.	Journal of Occupational Health	65(1)	e12393	2023
Mayumi Tsuji1, Hajime Hori, Chihaya Koriyama, Rie Tanaka, Toyohi Isse, Yasuhiro Ishihara, Tsunetoshi Ishizuka, Wataru Hasegawa, Motohide Goto, Kazuhiro Yatera, Naoki Kunugita, Mami Kuwamura, Toshihide Sakuragi, Yoshiko Yasumura, Megumi Yamamoto, Susumu Ueno	The effect of mask fit test on the association between the concentration of metals in biological samples and the results of time-weighted average personal exposure: a study on Japanese male welders	Journal of Occupational Health	65(1)	e12399	2023

● 投稿論文 ●

呼吸用保護具の定量的フィットテストから得られた知見 ～金属アーク溶接等作業に従事する 労働者を対象とした調査から～

辻 真弓 安村 美子 保利 一 上野 晋
一瀬 豊日 後藤 元秀 石塚 恒年 長谷川 渉

要約

令和5年4月1日から、金属アーク溶接等作業を継続して行う屋内作業場で面体を有する呼吸用保護具を使用させる場合、1年以内に1回、フィットテストによって労働者が呼吸用保護具を適切に装着できていることを確認することが義務付けられる。本調査では、溶接作業に従事する労働者を対象に定量的フィットテストを行い、テストに不合格となった理由の探索を行った。

はじめに

溶接ヒュームに含まれるマンガン及びその化合物が労働者に神経障害等の健康障害を及ぼすおそれがあることが明らかとなり、令和3年4月1日より「溶接ヒューム」が特定化学物質（第2類物質）に加えられることとなった。また健康障害防止措置の一環として、個人ばく露測定により空気中の溶接ヒューム濃度を測定し、その測定結果によって呼吸用保護具を選択すること、呼吸用保護具が適切に装着されているかを確認するためにフィットテストが実施されることとなった。フィットテストは、日本産業規格T八一五〇（JIST 8150）に定める方法またはこれと同等の方法により労働者の顔面と呼吸用保護具の面体との密着の程度を示す係数（フィットファクタ）を求め、フィットファクタが呼吸用保護具の種類に応じた要求フィットファクタを上回っていることを確認するテストである。大きく分けて定性的方法と定量的方法の2種類があり、定量的フィットテストは発生エアロゾルまたは大気じんを用いて行われる。

著者らは、溶接ヒュームばく露の健康影響と溶接ヒューム濃度並びに生体試料中の溶接ヒ

ューム関連化学物質濃度の関係を明らかにすることを目的として、令和2年度より労災疾病臨床研究「溶接作業者の溶接ヒュームばく露（個人ばく露と生体内ばく露）と健康影響の関係に関する疫学的研究（代表者：辻真弓）」を行っている。本稿では、研究の一環として行っている定量的フィットテストの一事業所の結果を示し、不合格の原因を探索することとする。

方法

対象者は、国内の機械製造業に勤務する溶接作業従事者9名（男性）である。使用している呼吸用保護具は、取替え式防じんマスクDR28SU2W（株式会社重松製作所）である。2021年8月に対象者に定量的フィットテストを2回行った（図1）。1回目は、著者らの「いつも通りにマスクを装着してください」という指示後に、対象者が現在使用中のマスクを用いてテストを行った。ほぼ全員のマスクに、何かしらの汚れや劣化が認められた（図2）。メリヤスを使用していたり、頭巾の上からマスクを使用していたりした場合も、そのままテストを行った（図3）。2回目は、マスクの正しい装着方法

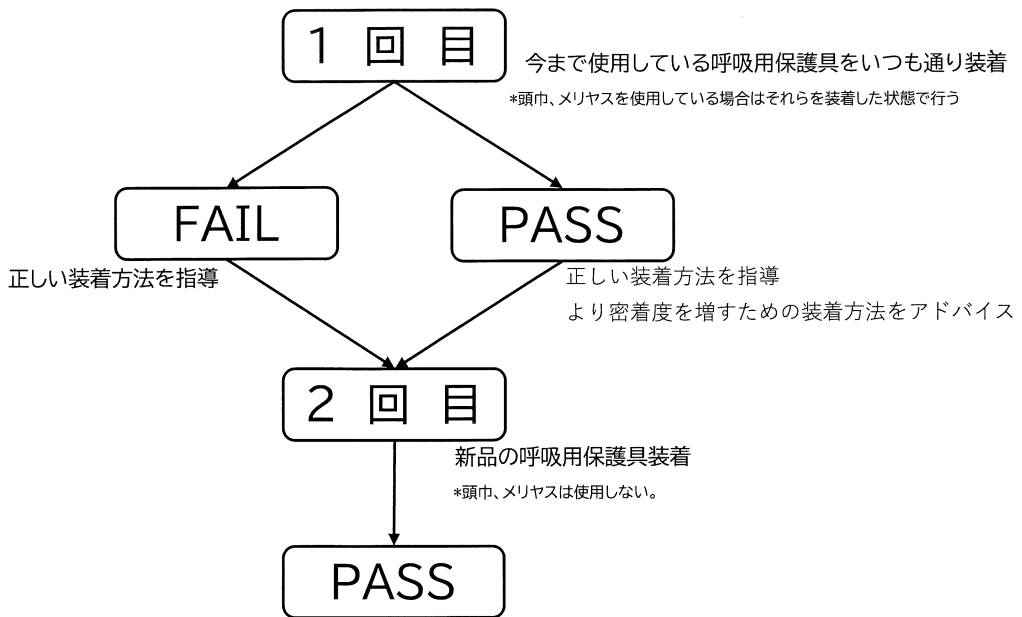
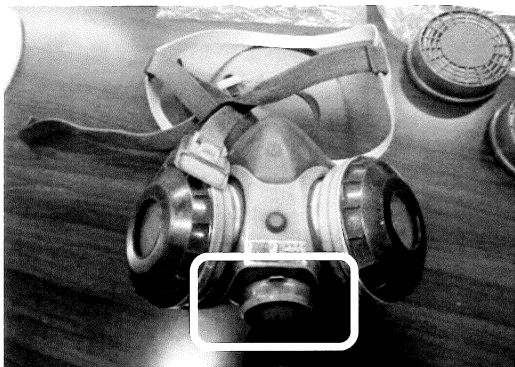
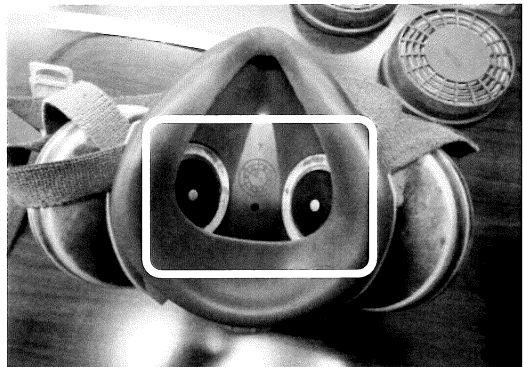


図1 本調査で行った2回の定量的フィットテストの流れ



①排気弁・弁座に汚れ



②吸気弁に汚れ



③メリヤス装着、しめひも劣化



④接顔体変形、しめひも劣化

図2 使用している呼吸用保護具の現状の例



溶接従事歴：11年



溶接従事歴：15年

図3 1回目定量的マスクフィットテストの光景

表1 本調査の定量的フィットテスト1回目施行後に指導した内容

	指導内容
1	頭巾の上からマスクは装着しない *しめひもは頭巾の上からではなく、直接頭頂部に掛ける
2	しめひもはねじりやゆるみのないようにする
3	しめひもが劣化していたら交換する
4	ひげやもみあげの手入れに注意する
5	汚れ、粉じんがついていたら、水等で汚れを落とす
6	マスクの接顔体のゴム部分、吸・排気弁などの劣化に注意する
7	マスク装着時、密着性の確認をする 陰圧法によるユーザーシールチェック（フィットチェック）を行う

を指導後(表1), 全員新品のマスクを装着して行った。使用したマスクフィッティングテスターは、労研式マスクフィッティングテスターMT-05U型(柴田科学株式会社)である。対象者は定められた動作を行い(表2), 動作ごとにフィットファクタが算出され、最終的に総合的なフィットファクタが算出された(図4)。

また、質問票を用いて、年齢、身長、体重、溶接作業従事年数等の情報を取得した。群間の結果の比較は、Stata/IC 14.0(StataCorp., College Station, TX, USA)を用いてFisherの正確性検定を行った。

本研究は産業医科大学倫理委員会の承認を得

表2 標準の定量的フィットテスト動作¹⁾

動作	動作の内容
1 通常の呼吸(1分以上)	話さずに通常の呼吸を繰り返す
2 深呼吸(1分以上)	ゆっくりとした深い呼吸を繰り返す
3 頭を左右に回す(1分以上)	①顔を正面から息を吐きながら、右にゆっくり振る ②右端で静止して息を吸う ③息を吐きながら、ゆっくり顔を左に振る ④左端で静止して息を吸う ⑤息を吐きながら、ゆっくり顔を右に振る ②~⑤の繰り返し
4 頭を上下に動かす(1分以上)	①顔を正面から息を吐きながら、上にゆっくり振る ②上で静止して息を吸う ③息を吐きながら、ゆっくり顔を下に振る ④下で静止して息を吸う ⑤息を吐きながら、上にゆっくり振る ②~⑤の繰り返し
5 発声(1分以上)	フィットテスト実施者にははっきりと聞き取れるように、ゆっくりと大きな声を出す。はっきり聞き取れるように、数を数える
6 前屈(1分以上)	直立姿勢から手をつま先にできるだけ触れるように腰を曲げてから、また直立姿勢に戻る。それを繰り返す
7 通常の呼吸(1分以上)	話さずに通常の呼吸を繰り返す

て実施した（第 R2-011号）。

結果

1 回目の定量的フィットテストの結果を表 3 に示す。対象者 9 名中、PASS は 2 名（22%）、FAIL は 7 名（78%）であった。全員頭巾の上からマスクを装着していた。また 9 名中 6 名はメリヤスを使用していた。PASS の対象者 2 名中 2 名がメリヤスを使用しておらず、FAIL の対象者 7 名中 6 名はメリヤスを使用していた。

一方、2 回目の定量的フィットテストでは、正しいマスクの装着指導後に、頭巾とメリヤスは使用せず、新品のマスクを装着した上で行ったところ、9 名全員が PASS（100%）となった（表 4）。

表 5 は 1 回目の定量的フィットテストの結果と年齢、BMI、溶接作業従事年数、メリヤス、マスク使用年数別の関係を示したものである。定量的フィットテスト動作ごとの評価において、メリヤスあり群は各動作のすべてでフィットファクタが 100 を下回った。メリヤスなし群は、前半の 4 つの動作（普通の呼吸、深呼吸、顔を左右に回す、顔を上下に動かす）でフィットファクタが 100 を下回った場合でも、動作の後半の 3 つの動作（発声、前屈、普通の呼吸）ではフィットファクタが 100 を上回った。

フィットファクタの計算式

$$\text{フィットファクタ (FF)} = \frac{\text{マスク等外部の測定対象物質の濃度}}{\text{マスク等内部の測定対象物質の濃度}}$$

各動作（表 1 の 1～7 の動作）のフィットファクタ（FF）から総合的なフィットファクタ（ FF_{overall} ）が算出される。

$$FF_{\text{overall}} = \frac{7}{\frac{1}{FF_1} + \frac{1}{FF_2} + \frac{1}{FF_3} + \frac{1}{FF_4} + \frac{1}{FF_5} + \frac{1}{FF_6} + \frac{1}{FF_7}}$$

総合的なフィットファクタ（ FF_{overall} ）が呼吸用保護具の種類に応じた要求フィットファクタを上回っていた場合、呼吸用保護具は適切に装着されていると評価され、フィットテスト合格（PASS）となる。下回る場合は不合格（FAIL）となる。

各呼吸用保護具の要求フィットファクタ

呼吸用保護具の種類	要求フィットファクタ
半面形面体を有するもの	100
全面形面体を有するもの	500

図 4 定量的フィットテストの評価の流れ²⁻³⁾

考察

定量的フィットテストの結果、1 回目は 9 名のうち 2 名のみ PASS であったが、正しい装着方法を指導し、新品のマスクに変更後の 2 回目は 9 名全員が PASS という結果であった。令和 5 年以降、1 年に 1 回定期的に行われるフィットテストでは、呼吸用保護具に不備がないかを確認し、不備が見つかった場合は不備を解消して、合格するまでテストを行う必要がある。今回は 2 回目のテストで全員 PASS しているため、1 回目のテストで FAIL になった原因は対象者の体格や骨格ではないことがわかる。すなわち 1 回目に 9 名中 7 名が FAIL になった理由は、適切に呼吸用保護具を装着していなかったこと（頭巾の上からのマスク装着、メリヤス使用）が原因と考えられる。本調査対象者は日常的に全員が頭巾の上からマスクを装着していた。今回、頭巾の有無と定量的フィットテストの関係を統計学的に比較することはできなかったが、著者らの他事業所での調査において、頭巾やヘルメットの上から呼吸用保護具を装着していた場合、頭巾やヘルメットなしの労働者と比較すると、頭部が動く動作の際にフィットファクタが小さくなることを経験している。また、メリヤスを使用していた場合は、初めの動作からほぼ全員のフィットファクタが小さいことを

表3 1回目定量的フィットテスト結果

No	性	年齢	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (%)	定量的フィットテスト動作ごとの評価 [†]											最終的評価 [‡]	
						溶接に従事した年数(年)	頭巾	メリヤス	マスクの使用年数	普通の呼吸	深呼吸	顔を左右に回す	頭を上下に動かす	発声	前屈	普通の呼吸		
A	男性	28	1.68	66	23.4	10	あり	あり	半年	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	FAIL
B	男性	39	1.70	62	21.5	11	あり	あり	1年	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	FAIL
C	男性	27	1.74	72	23.8	9	あり	あり	2年	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	FAIL
D	男性	35	1.80	64	19.8	15	あり	あり	3年	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	FAIL
E	男性	34	1.70	80	27.7	14	あり	あり	1年	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	FAIL
F	男性	30	1.74	60	19.8	3	あり	なし	半年	fail	fail	fail	fail	pass	pass	pass	pass	FAIL
G	男性	24	1.65	57	20.9	7	あり	なし	2年	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	PASS
H	男性	52	1.70	80	27.7	33	あり	あり	2年	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail	FAIL
I	男性	25	1.72	55	18.6	7	あり	なし	3年	pass	pass	fail	fail	pass	pass	pass	pass	PASS

†:各動作のフィットファクタが半面形体呼吸用保護具の要求フィットファクタ(100)を上回った場合pass、下回った場合fail.

‡:総合的なフィットファクタが半面形体呼吸用保護具の要求フィットファクタ(100)を上回った場合PASS、下回った場合FAIL.

表4 2回目定量的フィットテスト結果

No	性	年齢	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (%)	定量的フィットテスト動作ごとの評価 [†]											最終的評価 [‡]	
						溶接に従事した年数(年)	頭巾	メリヤス	マスクの使用年数	普通の呼吸	深呼吸	顔を左右に回す	頭を上下に動かす	発声	前屈	普通の呼吸		
A	男性	28	1.68	66	23.4	10	なし	なし	新品	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	PASS
B	男性	39	1.70	62	21.5	11	なし	なし	新品	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	PASS
C	男性	27	1.74	72	23.8	9	なし	なし	新品	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	PASS
D	男性	35	1.80	64	19.8	15	なし	なし	新品	pass	pass	pass	fail	pass	pass	pass	pass	PASS
E	男性	34	1.70	80	27.7	14	なし	なし	新品	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	PASS
F	男性	30	1.74	60	19.8	3	なし	なし	新品	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	PASS
G	男性	24	1.65	57	20.9	7	なし	なし	新品	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	PASS
H	男性	52	1.70	80	27.7	33	なし	なし	新品	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	PASS
I	男性	25	1.72	55	18.6	7	なし	なし	新品	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass	PASS

†:各動作のフィットファクタが半面形体呼吸用保護具の要求フィットファクタ(100)を上回った場合pass、下回った場合fail.

‡:総合的なフィットファクタが半面形体呼吸用保護具の要求フィットファクタ(100)を上回った場合PASS、下回った場合FAIL.

経験している。

溶接ヒューム現場は、高温かつ粉塵やヒュームが大気中に多く存在するため、強力な換気や送風を行いたくなる職場であるが、特に現場でよく使われるガスシールドアーク溶接においては、気流がシールドを劣化させ、高品質な溶接金属を得ることを阻害するため、気流に配慮した作業環境の整備が行われている。防じんマスクの着用により皮膚に湿しん等を起こすおそれがある場合にメリヤス等を使用することはあるが、この場合でも面体と顔面との密着性が良好であるときに限って使用されなければならない。メリヤスの使用率は昨今低下していると考えられるが⁴⁾、依然として現場で使用されている。調査を通して著者らがメリヤスを使用していた理由を労働者に聞くと、「湿しんを起こすことはないが、現場は暑いし、長時間マスクを装着すると汗が気になるから」と答えるケースが

多かった。したがって、作業時間の短縮、および休憩時間の確保の徹底等といった作業管理、加えて防じんマスクの適正な装着・使用方法ならびに顔面と面体の密着性の確認方法についての教育訓練を実施することが、溶接ヒュームに対する適切な呼吸用保護具の使用に繋がると考えられる。

今回の調査では全員のマスクに劣化や汚れが認められた。フィルター交換は使用時間や目詰まりによって息苦しくなったら等、認識しやすい交換目安がある。しかしながらマスク自体の交換時期は、「破損、変化や劣化(排気弁・吸気弁、しめひも、パッキン、接顔体のゴム部分、本体のひびなど)が見られたら交換する」ということになっており、どの程度の変形や劣化で交換するかの基準は個人によって異なる。また、ユーザーシールチェック(フィットチェック)の方法を知らない労働者も散見された。溶接ヒ

表5 1回目の定量的フィットテストの結果と年齢, BMI, 溶接作業従事年数, メリヤス, マスク使用年数別の関係

		定量的フィットテスト動作ごとの評価 [†]														最終の評価 [‡]	
		普通の呼吸		深呼吸		顔を左右に回す		頭を上下に動かす		発声		前屈		普通の呼吸		PASS	FAIL
		pass (人数)	fail (人数)	pass (人数)	fail (人数)	pass (人数)	fail (人数)	pass (人数)	fail (人数)	pass (人数)	fail (人数)	pass (人数)	fail (人数)	pass (人数)	fail (人数)	(人数)	(人数)
年齢	30歳未満	2	2	2	2	1	3	1	3	2	2	2	2	2	2	2	2
	30歳以上	0	5	0	5	0	5	0	5	1	4	1	4	1	4	0	5
BMI	25未満	2	5	2	5	1	6	1	6	3	4	3	4	3	4	2	5
	25以上	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
溶接作業従事年数	5年以下	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1
	6-10年	2	2	2	2	1	3	1	3	2	2	2	2	2	2	2	2
	11年以上	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4
メリヤス	なし	2	1	2	1	1	2	1	2	3	0*	3	0*	3	0*	2	1
	あり	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6
マスク使用年数	半年	0	2	0	2	0	2	0	2	1	1	1	1	1	1	0	2
	1年	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
	2年	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	3年	1	1	1	1	0	2	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1

†: 各動作のフィットファクタが半面形呼吸用保護具の要求フィットファクタ (100) を上回った場合pass、下回った場合fail.

‡: 総合的なフィットファクタが半面形呼吸用保護具の要求フィットファクタ (100) を上回った場合PASS、下回った場合FAIL.

*: p<0.05

ューム作業従事者の健康を守るために、マスクフィットテストの施行される場が、労働者がマスクの重要性を認識し、適切なマスクの装着を確認する場として今後積極的に活用されていくことが望まれる。

謝辞

調査および分析にあたり、産業医科大学産業保健学部教授 樺田尚樹先生、産業医科大学産業生態科学研究所作業関連疾患予防学 垣内紀亮先生、国立水俣病総合研究センター国際・総合研究部部長 山元恵先生、産業医科大学医学部衛生学 北川恭子先生、田中里枝先生に多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

文献











- 1) 呼吸用保護具フィットテスト実施マニュアル等検討委員会・編：呼吸用保護具フィットテスト実施マニュアル。公益社団法人日本保安用品協会, pp15-16, 2021.
- 2) 中央労働災害防止協会・編：アーク溶接作業者のための溶接ヒュームの健康障害防止対策（改訂第2版）。中央労働災害防止協会, p12, 2021.

- 3) 呼吸用保護具フィットテスト実施マニュアル等検討委員会・編：呼吸用保護具フィットテスト実施マニュアル。公益社団法人日本保安用品協会, p14, 2021.
- 4) 相羽洋子, 青柳幹治, 名古屋俊士, 清水英佑：屋外作業場における粉じん取扱作業者の呼吸用保護具の使用状況に関する実態調査。産業衛生学雑誌, 56(6): 268-274, 2014.

つじ まゆみ	産業医科大学医学部衛生学教授
やすむら よしこ	産業医科大学医学部衛生学特定補助職員
ほり はじめ	産業医科大学 名誉教授
うえの すずむ	産業医科大学産業生態科学研究所職業性中毒学 教授
いっせ とよひ	産業医科大学医学部進路指導部 副部長
ごとう もとひで	産業医科大学産業生態科学研究所職業性中毒学 助教
いしづか つねとし	産業医科大学産業生態科学研究所職業性中毒学 修練医（後期課程）
はせがわ わたる	産業医科大学産業生態科学研究所職業性中毒学 修練医（後期課程）

ORIGINAL ARTICLE

Associations between welding fume exposure and neurological function in Japanese male welders and non-welders

Mayumi Tsuji¹  | Chihaya Koriyama² | Yasuhiro Ishihara³  | Toyohi Isse⁴  |
Tsunetoshi Ishizuka⁵ | Wataru Hasegawa⁵ | Motohide Goto⁵  | Rie Tanaka¹  |
Noriaki Kakiuchi⁶ | Hajime Hori⁷ | Kazuhiro Yatera⁸ | Naoki Kunugita⁹  |
Megumi Yamamoto¹⁰  | Toshihide Sakuragi¹  | Yoshiko Yasumura¹ |
Maori Kono¹¹ | Mami Kuwamura¹  | Kyoko Kitagawa¹ | Susumu Ueno⁵ 

¹Department of Environmental Health, School of Medicine, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

²Department of Epidemiology and Preventive Medicine, Kagoshima University Graduate School of Medical and Dental Sciences, Kagoshima, Japan

³Program of Biomedical Science, Graduate School of Integrated Sciences for Life, Hiroshima University, Hiroshima, Japan

⁴Section of Postgraduate Guidance School of Medicine, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

⁵Department of Occupational Toxicology, Institute of Industrial Ecological Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

⁶Institute of Industrial Ecological Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

⁷Department of Occupational Hygiene, School of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

⁸Department of Respiratory Medicine, School of Medicine, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

⁹Department of Occupational and Community Health Nursing, School of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

¹⁰Department of Environment and Public Health, National Institute for Minamata Disease, Kumamoto, Japan

¹¹Laboratory of Advanced Cosmetic Science, Graduate School of Pharmaceutical Sciences, Osaka University, Osaka, Japan

Correspondence

Mayumi Tsuji, Department of Environmental Health, School of Medicine, University of Occupational and Environmental Health, 1-1 Iseigaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu, Fukuoka 807-8555, Japan.
Email: tsuji@med.uoeh-u.ac.jp

Funding information

Ministry of Health, Labour and Welfare, Grant/Award Number: JPMH 200501

Abstract

Objectives: There are some studies reporting the association between (manganese [Mn]) exposure to welding fume and neurological dysfunction. This study examined the relationship between Mn exposure and neurological behavior in Japanese male welders and non-welders using biological samples, which to date has not been assessed in Japan.

Methods: A total of 94 male welders and 95 male non-welders who worked in the same factories were recruited. The blood and urine samples were obtained from all the participants to measure Mn exposure levels. Neurological function tests were also conducted with all participants. The sampling of the breathing air zone using a personal sampler was measured for welders only.

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

© 2023 The Authors. *Journal of Occupational Health* published by John Wiley & Sons Australia, Ltd on behalf of The Japan Society for Occupational Health.

Results: The odds ratios (ORs) for the Working Memory Index (WMI) scores were significantly higher among all participants in the low blood Mn concentration group than those in the high blood Mn concentration group (OR, 2.77; 95% confidence interval [CI], 1.24, 6.19; $P = .013$). The association of WMI scores and blood Mn levels in welders had the highest OR (OR, 3.73; 95% CI, 1.04, 13.38; $P = .043$). Although not statistically significant, a mild relationship between WMI scores and blood Mn levels was observed in non-welders (OR, 2.09; 95% CI, 0.63, 6.94; $P = .227$).

Conclusions: The results revealed a significant positive relationship between blood Mn and neurological dysfunction in welders. Furthermore, non-welders at the same factories may be secondarily exposed to welding fumes. Further research is needed to clarify this possibility.

KEYWORDS

manganese, neurological function, welder, Working Memory Index

1 | INTRODUCTION

Welding is the joining of metallic components by melting the metals using heat or pressure. Welding fumes contain various metals that are harmful to health.¹ In particular, adverse psychological performance and neurotoxicity from manganese (Mn) exposure in welders have been reported.²⁻⁴ In Japan, there are approximately 180 000 metal welding and fusion cutting workers, and they account for 0.3% of the total working population.⁵ The Japanese government had announced to partially revise laws and regulations in 2020 with the aim of strengthening measures to prevent welders' health hazards related to Mn and welding fumes.⁶

Many reports on the toxicity of Mn relate to respiratory toxicity and neurotoxicity. Poor ventilation in the workplace was associated with decreased lung function among shipyard welders, although there was no relationship between Mn concentrations in the respiratory zone of the workplace and acute decreases in lung function.⁷ Respiratory symptoms such as nasal congestion and dry cough have been observed in welders.⁸ Studies on neurotoxicity among those exposed to Mn are much more numerous than on respiratory toxicity. In a study of male workers at Korean shipbuilding companies, there was no relationship between the development of Parkinson's disease and airborne Mn levels.⁹ However, there are many reports indicating chronic exposure to Mn is associated with Parkinsonism.¹⁰⁻¹² Park et al.¹³ reported that a higher blood level of Mn reduced neurological functions in welders, such as the Working Memory Index (WMI), and verbal intelligence quotient. Among alloy manufacturing plant workers exposed to Mn, the workers in the high-exposure

group exhibited poorer performance in addition, symbol digit, finger tapping, and digit span tests.

In Japan, a few studies have been conducted on neurotoxicity or respiratory toxicity among welders exposed to Mn. A 56-year-old welder working for 30 years whose serum and urine Mn levels were high developed postural instability and writing clumsiness.¹⁴ One study investigated the relationship between welding fume exposure and lung function among 143 male welders.¹⁵ Another study investigated the relationship between respirable dust exposure and pneumoconiosis by examining of 1006 chest X-ray films of workers including shipyard welders.¹⁶ Unfortunately, two of these three studies did not measure metal concentrations in workers' biological samples but examined the strength of the residual magnetic field of externally magnetized lungs or environmental chemical concentrations and biological effects.

Therefore, this study examined the relationship between Mn exposure and neurological behavior in welders and non-welders using biological samples which to date has not been assessed in Japan.

2 | METHODS

2.1 | Study participants

A total of 94 male welders from 7 factories in Japan were included in this study. These include one shipbuilding industry, an automobile manufacturing industry, two factories for manufacturing construction materials, and three steel industries. Forty-eight workers treated high-strength steel, 29 treated mild steel, 15 treated carbon steel, and two

treated stainless steel as the base material. Three workers were engaged in Tungsten Inert Gas welding using Argon (Ar) gas for shielding gas, and 91 in Metal Active Gas (MAG) welding using CO₂ gas for shielding gas. Sixteen workers occasionally engaged in MAG welding using CO₂ and Ar gas for shielding gas. The welding wire used was Japanese Industrial Standards Z 3312 YGW11, YGW12, and YGW18.

Ninety-five male non-welders who worked in the same factories were recruited as control participants. Recruited non-welders were not engaged in welding work at the time of this study, even if they had previously engaged in welding work. We recruited until the number of participants was almost the same as that of the welders. The non-welders included 77 clerical workers, 6 manufacturing line workers, 3 product designers, 3 product inspectors, and 6 manufacturing managers. The welders and non-welders were aged 20 years or older and were recruited from April 2021 to June 2022.

2.2 | Questionnaire survey

Data on age, smoking and drinking habits, welding exposure-years, current neurological findings (drooling, muscle twitching, numbness and tingling in hands and feet, and excessive sweating), and current respiratory symptoms (cough, shortness of breath, rhinorrhea, nasal congestion, wheezing, and sputum) were obtained through a self-administered questionnaire. Regarding welding exposure-years, we ascertained not only current welding experience, but past welding experience as well in addition to self-administered questionnaire. Fatigue symptoms self-awareness scores were determined using the Workers' Fatigue Accumulation Self-Assessment Checklist.¹⁷

2.3 | Neurological function tests

2.3.1 | Grip strength

Hand grip strength was measured in both the dominant and non-dominant hands with a digital grip strength dynamometer (TKK5401; Takei Scientific Instruments Co., Ltd.). After holding the grip strength meter in an upright position and adjusting the second joint of the index finger to 90°, the measurement was repeated twice alternately with the dominant and non-dominant hands. The dominant hand was determined by asking participants if they were right- or left-handed. The mean value was recorded in kilograms. A rest period of at least 10 min was provided between grip strength and finger tapping measurements

to prevent fatigue affecting the grip strength results. Abnormalities related to the skeletal muscles of the hands and arms were confirmed verbally before measuring grip strength. Two welders responded that there was an abnormality in their non-dominant hands; thus, we assessed the non-dominant hand grip strength of 92 welders.

2.3.2 | Finger tapping

Finger tapping measures the maximum speed of repetitive finger movement. The fingers used are the index and middle fingers of the dominant and non-dominant hands, respectively. Performance is evaluated as the mean number of taps during three 10-s trails for each hand.¹⁸

2.3.3 | Working Memory Index

The Wechsler Adult intelligence Scale-IV (WAIS-IV) has subset WMI comprised of digit span forward, digit span backward, digit span sequencing, and arithmetic sections, and is recalculated considering the influence of age on these scores. The arithmetic section requires a participant to mentally solve arithmetic word problems, presented orally, within a specific time limit.^{19,20} Ninety-two welders underwent WMI because two welders refused to participate due to lack of time.

Grip strength, finger tapping, and WMI were performed before work to avoid fatigue.

2.4 | Blood and urine sampling

The participants provided 8 mL blood and 10 mL urine samples at the end of their working shifts to medical doctors for measurement of metal concentration. The collected blood and urine were given to the staff of SRL (SRL, Inc.) within 2 h after sampling. Blood cadmium (Cd), nickel (Ni), Mn, chromium (Cr), and lead (Pb) and urine Cd, Mn, and Cr concentrations were determined at SRL. The detection limit for each metal were 0.2, 0.2, 0.2, 0.03, and 1.1 µg/dL for Cd, Ni, Mn, Cr, and Pb, respectively, and in the urine samples were 0.5, 1.1, and 0.3 µg/L for Cd, Mn, and Cr, respectively.

2.5 | Breathing air zone sampling using a personal sampler for welders

Welders' breathing air zone sampling using a personal sampler was measured by a professional measurer from an external organization (Japan Industrial Safety & Health

Association) in basic accordance with the guidelines for personal exposure measurements of chemical substances established by Japan Society for Occupational Health.²¹ The Air Check 2000 sampler (SKC Inc.), NWPS-254 sampler (Shibata), and TF98R PTFE binding filter (Shibata) with 2.5L/min air flow rate were used to measure respirable dust concentration and total dust concentration during work. In order to determine Mn concentrations of welding fumes, the samples collected on the filters after extraction were analyzed using Agilent 7800 Quadrupole ICP-MS (Agilent Technologies). Using the air sampling data, the 8-h time-weighted average (8h-TWA) of respirable dust, TWA of respirable Mn, and 8h-TWA of respirable Mn were calculated.

2.6 | Statistical analyses

Two-group comparisons were performed using the Mann–Whitney *U* test, Fisher's exact test, or multivariable logistic regression analyses. When metal concentration was not detected, we imputed the data by 1/10 for each detection limit. All participants were automatically divided into three groups (each containing about a third of the participants) according to metal concentrations in their blood and urine using a statistical software. The tertile 1 (T1) group contains participants with low levels of metal concentration, the tertile 2 (T2) group contains participants with intermediate levels of metal concentration, and the tertile 3 (T3) group contains participants with high levels of metal concentration. The odds ratio (OR) for neurological dysfunction risk and the corresponding 95% confidence intervals (CIs) were estimated after adjusting for the effects of age, body mass index (BMI), smoking habits, drinking habits, and factory, and welding exposure-years. All statistical analyses were performed in STATA (StataCorp. LLC); statistical significance was $P < .05$ (two-sided).

3 | RESULTS

Table 1 presents the study population characteristics. The values are mean (standard deviation) or number (%). The welders had stronger grips, fewer numbers of finger tapping and lower WMI scores than non-welders. Sixteen of the non-welders had previous welding experience.

Table 2 shows the distribution of metal concentrations in non-welders and welders. Urine Cd, blood and urine Mn, and urine Cr and blood Pb concentrations of the welders were high in our study (urine Cd, $P < .001$; blood and urine Mn, $P < .001$, $P < .001$, respectively; urine Cr, $P < .001$; blood Pb, $P = .016$). The percentage of

participants having concentrations below the detection limits for metal concentrations in the biological samples was 89% for blood Cd, 58% for urine Cd, 79% for blood Ni, 0% for blood Mn, 91% for urine Mn, 93% for blood Cr, 3% for urine Cr, and 24% for blood Pb.

Tables 3–5 show the results of the multivariable logistic analyses to estimate the risk of neurological dysfunction, grip strength reduction, the number of finger tapping, and WMI scores. There was no significant relationship between grip strength and finger tapping for both the dominant and non-dominant hands and blood Mn concentrations (Tables 3 and 4). The OR for lower WMI scores were significantly higher among all participants in the high blood Mn group (T3) than those in the low blood Mn group (T1) (OR, 2.77; 95% CI, 1.24, 6.19; $P = .013$). Although not statistically significant, a mild relationship was observed between low WMI scores and high blood Mn levels in non-welders (OR, 2.09; 95% CI: 0.63–6.94; $P = .227$). The association of WMI scores and blood Mn levels in welders had the highest OR, and the relationships were statistically significant (OR, 3.73; 95% CI, 1.04, 13.38; $P = .043$) (Table 5). In addition to blood Mn, urine Cr, and blood Pb were detectable in many participants, and a logistic analysis was conducted for these two metal concentrations. However, there was no statistically significant relationship between WMI and urine Cr and blood Pb concentrations (Tables S1 and S2).

The distribution of individual sampler results of median (min and max) (mg/m^3) were 8h-TWA of respirable dust; 1.02 (0.01, 10.24), TWA of respirable Mn; 0.189 (0.0001, 2.818), 8h-TWA of respirable Mn; 0.094 (0.00007, 1.538). Figure 1 shows the distribution of 8h-TWA of respirable dust, TWA of respirable Mn, and 8h-TWA of respirable Mn by blood Mn concentration among welders. In the results of all individual sampler results, the respirable dust and Mn concentrations were higher in the group with high blood Mn concentration (8h-TWA of respirable dust, $P < .001$; TWA of respirable Mn, $P < .001$; 8h-TWA of respirable Mn, $P < .001$, by covariance analysis after adjusting for the effects of age, BMI, smoking habits, drinking habits, factory, and welding exposure-years).

4 | DISCUSSION

Compared to non-welders, welders had higher concentrations of urine Cd, blood Mn, urine Mn, urine Cr, and blood Pb. Lower WMI scores were observed in the high Mn blood concentration group (T3) than in the low Mn blood concentration group (T1) in welders. Although not statistically significant, a mild relationship between WMI scores and blood Mn concentrations was observed in non-welders.

TABLE 1 Study population characteristics.

	Total (<i>N</i> = 189)	Non-welders (<i>N</i> = 95)	Welders (<i>N</i> = 94)	<i>P</i> value
Age (years)	40.6 (12.9)	40.2 (12.4)	41.1 (13.3)	.810 ^a
Body mass index	24.4 (3.5)	25.1 (3.8)	23.8 (3.0)	.019 ^a
Smoking habits				
Never/former	103 (55%)	57 (60%)	46 (49%)	.145 ^b
Current	86 (45%)	38 (40%)	48 (51%)	
Drinking habits				
No	90 (48%)	54 (57%)	36 (38%)	.287 ^b
Yes	99 (52%)	41 (43%)	58 (62%)	
Welding exposure-years (years)	10.6 (13.9)	2.0 (6.8)	19.2 (13.9)	<.001 ^a
Neurological findings ^c				
No	137 (72%)	69 (73%)	68 (72%)	1.000 ^b
Yes	52 (28%)	26 (27%)	26 (28%)	
Respiratory symptoms ^d				
No	126 (67%)	68 (72%)	58 (62%)	.167 ^b
Yes	63 (33%)	27 (28%)	36 (38%)	
Fatigue symptoms self-awareness score				
0–4	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	.546 ^b
5–10	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	
11–20	121 (64%)	63 (66%)	58 (62%)	
21–	68 (36%)	32 (34%)	36 (26%)	
Hand grip strength (kg)				
Dominant hand	45.5 (7.7)	43.8 (6.9)	47.2 (8.1)	.009 ^a
Non-dominant hand ^e	43.3 (7.6)	41.7 (6.4)	44.9 (8.3)	.002 ^a
Finger tapping (number/10s)				
Dominant hand	37.6 (10.1)	40.5 (8.7)	34.6 (10.5)	<.001 ^a
Non-dominant hand	36.5 (9.0)	38.8 (7.9)	34.1 (9.4)	<.001 ^a
Working Memory Index ^e	92.9 (15.4)	97.6 (15.8)	88.0 (13.5)	<.001 ^a

Note: Values are mean (standard deviation) or number (%).

^a*P* values were obtained using Mann–Whitney *U* test.

^b*P* values were obtained using Fisher's exact test.

^cDrizzling, muscle twitching, numbness and tingling in hands and feet, excessive sweating.

^dCough, shortness of breath, rhinorrhea, nasal congestion, wheezing, sputum.

^eNumber of welders = 92.

Cd, Ni, Mn, Cr, and Pb are well-known metals contained in welding fumes.^{4,22,23} These metals are found in the blood and urine of welders due to occupational exposure.^{23,24} In this study, urinary Ni concentration was not greater in welders than in non-welders, and there was no difference between them. Ni is a metal often used in welding using stainless steel as a base material.²⁴ Since this time the study was conducted in factories using high-strength, mild, or carbon steel, whose raw material is iron as the base metal, it is possible that Ni was not significantly detected in the population of welders in this study.

In this study, we found a relationship between welders with a high blood Mn concentration and a lower WMI

score. Similar to previous studies, there was an association between blood or urine Mn concentrations and WAIS-related tests in welders.^{13,18} One study reported 9.6 µg/L (range 5.1–15.3) for the mean blood Mn of welders and their WMI scores was reduced by exposure after considering dilation of employment.¹³ Another study demonstrated blood Mn and urine Mn of workers exposed Mn ranged from 4 to 18 µg/L and from 0.7 to 7 µg/L, respectively.¹⁸ The high-concentration exposure group had reduced finger tapping and digit span scores.¹⁸ Our results had similar or slightly higher values compared to these Mn concentrations. Therefore, it would be acceptable to consider whether there is a relationship between blood

		Median (minimum and maximum) ($\mu\text{g/dL}$)			
		Total ($N = 189$)	Non-welders ($N = 95$)	Welders ($N = 94$)	P value ^a
Cd					
Blood		0.02 (0.02, 0.30)	0.02 (0.02, 0.20)	0.02 (0.02, 0.30)	.446
Urine		0.05 (0.05, 5.10)	0.05 (0.05, 2.10)	0.60 (0.05, 5.10)	<.001
Ni					
Blood		0.02 (0.02, 0.30)	0.02 (0.02, 0.30)	0.02 (0.02, 0.30)	.862
Mn					
Blood		1.00 (0.40, 2.80)	0.90 (0.40, 1.50)	1.20 (0.60, 2.80)	<.001
Urine		0.11 (0.11, 4.30)	0.11 (0.11, 0.11)	0.11 (0.11, 4.30)	<.001
Cr					
Blood		0.003 (0.003, 0.14)	0.003 (0.003, 0.12)	0.003 (0.003, 0.14)	.801
Urine		0.50 (0.03, 2.70)	0.40 (0.03, 1.30)	0.60 (0.03, 2.70)	<.001
Pb					
Blood		1.50 (0.11, 3.70)	1.40 (0.11, 2.60)	1.60 (0.11, 3.70)	.001

Note: When metal concentration was not detected, we recorded 1/10 of above the detection limits.

Abbreviations: Cd, cadmium; Cr, chromium; Mn, manganese; Ni nickel; Pb, lead.

^a P values were obtained using the Mann–Whitney U test.

Mn levels and neurological dysfunction in the welders of our study.

Although not statistically significant, a mild relationship between WMI scores and blood Mn concentrations was observed in non-welders that were presumably not directly occupationally exposed to high Mn levels. The blood Mn concentration in adult males was $1.3 \mu\text{g/dL}$ (median) in Japan in a previous report using general population data,²⁵ therefore, the blood Mn concentration of non-welders was not high in comparison. However, the effect of Mn exposure on neuronal function cannot be clarified using its relationship with blood concentrations of Mn at any time point.¹³ Mn concentrations in the environment, duration of Mn exposure, and usage of personal protective equipment (PPE) to prevent Mn exposure are important factors in determining whether Mn exposure affects neurological function.¹³ In an Italian study targeting residents exposed to Mn, the Mn dust concentration near the ferroalloy industries factories was high, and the residents living near the factories had a high incidence of Parkinson's disease.²⁶ In a study of residents near an Mn manufacturing plant, the group with higher blood Mn levels (median $7.5 \mu\text{g/L}$) showed decreased neurological function, such as poorer learning and recall.²⁷ In our study, non-welders who had been working at the current factory for 15 years (median) and did not wear PPE during work. Depending on the job, non-welders will also be in and out of the factory. Concerning these facts, it is considered that non-welders, like the residents near factories in previous reports, were in an environment where they were

TABLE 2 Distribution of metal concentrations by non-welders and welders.

likely to be secondarily exposed to Mn from factories for a long period of time. Our findings suggest that secondary exposure to Mn from factories may have decreased the WMI of the non-welders.

In addition to Mn, working memory of the participants in our study may have been affected by chemical factors, such as metals and chemical substances^{28–30} and other factors, such as occupation, task difficulty, fatigue, stress, and sleep quality.^{31–35} This time the participants work with high-strength, mild, or carbon steel, with iron as the base material. Excessive iron in select regions of the brain may be involved in the etiology of neurodegenerative disorders and has been reported to be associated with memory impairment.^{36–38} The aluminum contained in the wire flux affects memory by modifying hippocampal calcium signal pathways.²⁸ Long-term exposure to carbon monoxide generated by carbon dioxide gas arc welding in the welding process may cause health problems, such as deterioration of memory in the welders.^{29,30} However, our study did not examine the concentrations of these chemical factors in biological or environmental samples. We analyzed the relationship between fatigue symptoms, self-awareness scores, occupations, and WMI. There was no statistically significant difference between them and WMI in our study. However, even among welders in the same factory, work processes and task difficulty are widely different at individual levels. These differences might be possibly related to WMI. In addition, we have not obtained the data of stress level, sleep quality, and working forms, such as night shifts. In the future, before concluding that there is

TABLE 3 Results of the multivariable analysis for the relationships between hand grip strength and blood manganese (Mn) concentrations.

Blood Mn (µg/dL)	All				Non-welders				Welders			
	≥Mean ^a	<Mean	OR (95% CI)	P value ^b	≥Mean ^a	<Mean	OR (95% CI)	P value ^b	≥Mean ^a	<Mean	OR (95% CI)	P value ^b
Dominant hand												
T1 (0.5–0.8)	26	29	1.00 (referent)		18	23	1.00 (referent)		8	6	1.00 (referent)	
T2 (0.9–1.1)	30	37	1.01 (0.46–2.21)	.972	11	24	1.36 (0.49–3.76)	.554	19	13	0.94 (0.22–4.07)	.930
T3 (1.2–2.8)	35	32	0.89 (0.40–1.99)	.777	11	8	0.50 (0.15–1.74)	.279	24	24	1.31 (0.32–5.34)	.711
			<i>P</i> for trend	.936			<i>P</i> for trend	.330			<i>P</i> for trend	.805
Non-dominant hand												
T1 (0.5–0.8)	26	28	1.00 (referent)		18	23	1.00 (referent)		8	5	1.00 (referent)	
T2 (0.9–1.1)	32	35	1.06 (0.49–2.33)	.877	9	26	1.99 (0.70–5.67)	.196	23	9	0.64 (0.14–2.90)	.559
T3 (1.2–2.8)	41	25	0.74 (0.33–1.67)	.468	11	8	0.60 (0.18–2.01)	.410	30	17	0.79 (0.19–3.33)	.753
			<i>P</i> for trend	.613			<i>P</i> for trend	.177			<i>P</i> for trend	.832

Abbreviations: CI, confidence interval; OR, odds ratio; T, tertile.

^aMean of dominant hand is 45.5 (kg), non-dominant hand is 43.3 (kg).

^b*P* values were obtained using multivariable logistic regression analysis adjusted for age, body mass index, smoking habits, drinking habits, factory, and welding exposure-years.

TABLE 4 Results of the multivariable analysis for the relationships between finger tapping and blood manganese (Mn) concentrations.

Blood Mn (µg/dL)	All				Non-welders				Welders			
	≥Mean ^a	<Mean	OR (95% CI)	P value ^b	≥Mean ^a	<Mean	OR (95% CI)	P value ^b	≥Mean ^a	<Mean	OR (95% CI)	P value ^b
Dominant hand												
T1 (0.5–0.8)	34	21	1.00 (referent)		27	14	1.00 (referent)		7	7	1.00 (referent)	
T2 (0.9–1.1)	37	30	1.25 (0.58–2.73)	.568	25	10	0.85 (0.30–2.42)	.756	12	20	1.53 (0.36–6.43)	.561
T3 (1.2–2.8)	30	37	1.48 (0.66–3.28)	.339	12	7	1.11 (0.33–3.77)	.870	18	30	1.36 (0.35–5.28)	.661
			<i>P</i> for trend	.632			<i>P</i> for trend	.916			<i>P</i> for trend	.845
Non-dominant hand												
T1 (0.5–0.8)	32	23	1.00 (referent)		27	14	1.00 (referent)		5	9	1.00 (referent)	
T2 (0.9–1.1)	37	30	1.04 (0.48–2.25)	.919	21	14	1.19 (0.43–3.28)	.735	16	16	0.40 (0.09–1.81)	.233
T3 (1.2–2.8)	33	34	1.13 (0.51–2.51)	.760	13	6	1.00 (0.28–3.60)	.995	20	28	0.50 (0.12–2.13)	.350
			<i>P</i> for trend	.952			<i>P</i> for trend	.939			<i>P</i> for trend	.475

Abbreviations: CI, confidence interval; OR, odds ratio; T, tertile.

^aMean of dominant hand is 37.6 (number/10 s), non-dominant hand is 36.5 (number/10 s).

^b*P* values were obtained using multivariable logistic regression analysis adjusted for age, body mass index, smoking habits, drinking habits, factory, and welding exposure-years.

TABLE 5 Results of the multivariable analysis for the relationships between WMI and blood manganese (Mn) concentrations.

Blood Mn (µg/dL)	All			Non-welders			Welders		
	≥Mean ^a	<Mean	OR (95% CI)	≥Mean ^b	<Mean	OR (95% CI)	≥Mean ^b	<Mean	OR (95% CI)
WMI									
T1 (0.5-0.8)	35	20	1.00 (referent)	27	14	1.00 (referent)	8	6	1.00 (referent)
T2 (0.9-1.1)	29	37	2.14 (0.99-4.64)	17	18	2.38 (0.87-6.49)	12	19	2.10 (0.56-7.82)
T3 (1.2-2.8)	22	44	2.77 (1.24-6.19)	9	10	2.09 (0.63-6.94)	13	34	3.73 (1.04-13.38)
			<i>P</i> for trend			<i>P</i> for trend			<i>P</i> for trend
			.033			.184			.111

Abbreviations: CI, confidence interval; OR, odds ratio; T, tertile; WMI, working memory index.

^aMean of WMI is 92.9.

^b*P* values were obtained using multivariable logistic regression analysis adjusted for age, body mass index, smoking habits, drinking habits, factory, and welding exposure-years.

^cBold values indicate *P* < 0.05.

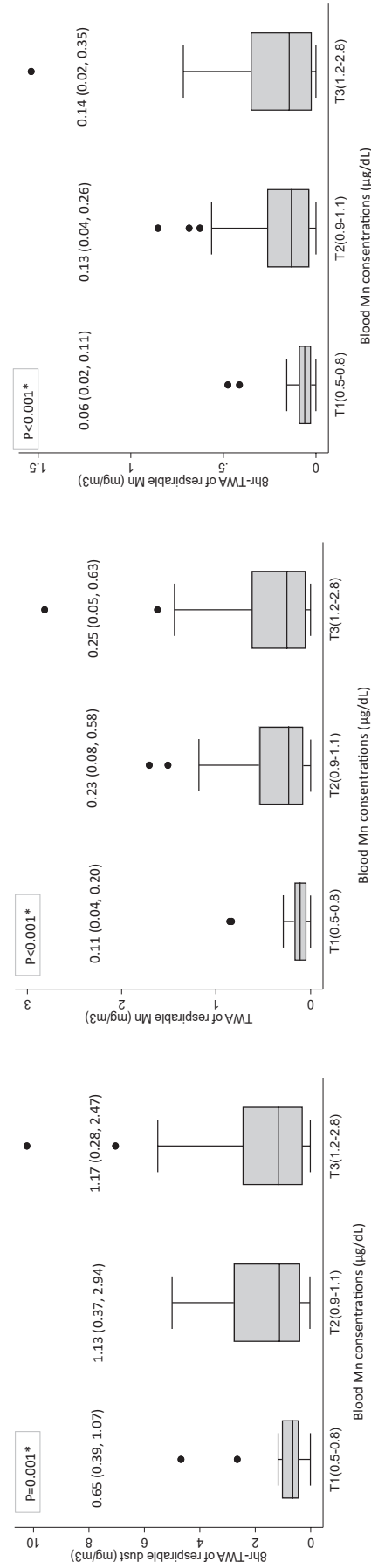


FIGURE 1 Distribution for individual sampler results of welders by blood manganese (Mn) concentration sub-groups (tertiles). Values are Median (mg/m³) (25th and 75th percentiles). **P* values were obtained using an analysis of covariance adjusted for age, body mass index, smoking habits, drinking habits, factory, and welding exposure-years. T, tertile; TWA, time-weighted average.

a relationship between Mn exposure and WMI, it is necessary to examine various factors that are related to WMI, and carefully examine whether there is a relationship between Mn exposure and WMI.

Blood Mn concentration increased by approximately $1 \mu\text{g/L}$ for each $\text{mg/m}^3 \times \text{month}$ of (unprotected) cumulative exposure in welders.¹³ In the general population, blood Mn levels are affected by diet, especially tea, nuts, and vegetables.³⁹ According to Figure 1, there was a relationship between the blood Mn concentration and the Mn in the breathing area of the welders. Therefore, the source of blood Mn concentrations for welders was likely to be Mn exposure from factories. However, there was no significant difference between the likes and dislikes of vegetables and blood Mn concentration ($P = .934$) (data not shown). Although this was not clear because we did not conduct a detailed dietary survey, it is possible that the source of Mn exposure in participants was not due to the diets.

In the Ordinance on Prevention of Hazards Due to Specified Chemical Substances, doctors can order the measurement of Mn concentration in urine or other biological samples of welders for secondary health checkup. However, the main excretion route of Mn is through the liver and feces, and excretion into the urine is small.⁴⁰ Our study also found few participants had detectable urine Mn, and participants with high blood Mn did not necessarily have high urine Mn levels detected. Blood Mn has been reported to correlate more sensitively with neurological findings than urine,¹⁸ thus when examining the relationship between Mn and biological effects, blood concentration should be measured rather than urine.

This study has several limitations. First, in this study, we focused solely on Mn as the metal in welding fumes that affected WMI. There is a need to measure other factors, which could be possibly related to WMI. Second, we did not measure the breathing air zone samples by personal sampler for non-welders. Factory workers who work near a welding site may be secondarily exposed to welding fumes from the welding site. In the future, it will be necessary to conduct studies in which personal samplers are obtained for welders and non-welders working near the welding site. Third, we did not conduct detailed dietary surveys, thus we could not accurately determine whether there was an effect of Mn oral exposure from food. Information on dietary Mn concentrations is necessary to determine whether occupational exposure is involved. Fourth, our study involved a small sample size. Although not statistically significant, higher Mn concentrations may be associated with the lower grip strength of non-welders. Since skeletal muscle abnormalities affect grip strength measurements, we verbally confirmed the absence of skeletal muscle abnormalities among the study subjects before measuring grip strength in this study.

However, it is desirable to confirm the absence of skeletal muscle abnormalities with a specialist. In the future, it is necessary to increase the sample size and investigate the effects of secondary exposure in detail.

5 | CONCLUSION

There was a significant relationship between blood Mn concentrations and lower WMI scores in welders. Furthermore, non-welders at the same factories may be secondarily exposed to welding fumes. Further research is needed to clarify this possibility.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Mayumi Tsuji, Chihaya Koriyama, Yasuhiro Ishihara, Hajime Hori, Kazuhiro Yatera, and Susumu Ueno contributed to the study's conception. Mayumi Tsuji, Toyohi Isse, Tsunetoshi Ishizuka, Wataru Hasegawa, Motohide Goto, Rie Tanaka, Noriaki Kakiuchi, Naoki Kunugita, Toshihide Sakuragi, Yoshiko Yasumura, and Maori Kono contributed to the study design and recruitment. Mayumi Tsuji, Yasuhiro Ishihara, Megumi Yamamoto, Mami Kuwamura, Kyoko Kitagawa, and Susumu Ueno contributed to experimental design and recruitment. Mayumi Tsuji and Chihaya Koriyama analyzed the data and wrote the article. Hajime Hori, Tsunetoshi Ishizuka, Wataru Hasegawa, and Susumu Ueno reviewed the article and provided advice. All authors have read and approved the final manuscript.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by MHLW Program Grant Number JPMH 200501. We would like to thank Editage (<http://www.edita.ge.jp>) for English language editing.


DATA AVAILABILITY STATEMENT

Data sharing is not applicable to this article as no new data were created or analyzed in this study.

DISCLOSURE

Approval of the research protocol: This study was approved by the Institutional Ethics Committee at the University of Occupational and Environmental Health in 2020 (R2-011). *Informed consent:* Written informed consent was obtained from all participants. *Registry and the registration no. of the study/trial:* N/A. *Animal studies:* N/A. *Conflict of interest statement:* The authors declare that there is no conflict of interest.

ORCID

Mayumi Tsuji  <https://orcid.org/0000-0002-9579-4418>
Yasuhiro Ishihara  <https://orcid.org/0000-0001-9751-7660>

Toyohi Isse  <https://orcid.org/0000-0001-8323-5216>
 Motohide Goto  <https://orcid.org/0000-0002-0674-0152>
 Rie Tanaka  <https://orcid.org/0000-0002-8127-5414>
 Naoki Kunugita  <https://orcid.org/0000-0002-6516-8379>
 Megumi Yamamoto  <https://orcid.org/0000-0002-4301-3827>
 Toshihide Sakuragi  <https://orcid.org/0000-0003-1724-6755>
 Mami Kuwamura  <https://orcid.org/0000-0001-8962-0596>
 Susumu Ueno  <https://orcid.org/0000-0003-0098-871X>

REFERENCES

- Antonini JM, Lewis AB, Roberts JR, Whaley DA. Pulmonary effects of welding fumes: review of worker and experimental animal studies. *Am J Ind Med.* 2003;43(4):350-360. doi:10.1002/ajim.10194
- Iregren A. Psychological test performance in foundry workers exposed to low levels of manganese. *Neurotoxicol Teratol.* 1990;12(6):673-675. doi:10.1016/0892-0362(90)90085-q
- Racette BA, Criswell SR, Lundin JI, et al. Increased risk of parkinsonism associated with welding exposure. *Neurotoxicology.* 2012;33(5):1356-1361. doi:10.1016/j.neuro.2012.08.011
- Rahmani A, Golbabaie F, Dehghan SF, Mazlomi A, Akbarzadeh A. Assessment of the effect of welding fumes on welders' cognitive failure and health-related quality of life. *Int J Occup Saf Ergon.* 2016;22(3):426-432. doi:10.1080/10803548.2016.1164499
- Statistics Bureau of Japan. Population and Households of Japan. 2015. Accessed November 6, 2022. <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003209883> (in Japanese)
- Ministry of Health, Labour and Welfare. Amendments to ordinance on prevention of hazards from specified chemical substances, work environment measurement standard. Accessed November 6, 2022. https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunit/suite/bunya/0000099121_00001.html (in Japanese)
- Akbar-Khanzadeh F. Short-term respiratory function changes in relation to workshift welding fume exposures. *Int Arch Occup Environ Health.* 1993;64(6):393-397. doi:10.1007/bf00517944
- Hedmer M, Karlsson JE, Andersson U, Jacobsson H, Nielsen J, Tinnerberg H. Exposure to respirable dust and manganese and prevalence of airways symptoms, among Swedish mild steel welders in the manufacturing industry. *Int Arch Occup Environ Health.* 2014;87(6):623-634. doi:10.1007/s00420-013-0896-3
- Park J, Yoo CI, Sim CS, et al. A retrospective cohort study of Parkinson's disease in Korean shipbuilders. *Neurotoxicology.* 2006;27(3):445-449. doi:10.1016/j.neuro.2006.01.005
- Kissani N, Naji Y, Mebrouk Y, Chraa M, Ghanima A. Parkinsonism and chronic manganese exposure: Pilot study with clinical, environmental and experimental evidence. *Clin Park Relat Disord.* 2020;3:100057. doi:10.1016/j.prdoa.2020.100057
- Dlamini WW, Nelson G, Nielsen SS, Racette BA. Manganese exposure, parkinsonian signs, and quality of life in South African mine workers. *Am J Ind Med.* 2020;63(1):36-43. doi:10.1002/ajim.23060
- Rolle-McFarland D, Liu Y, Mostafaei F, et al. The association of bone and blood manganese with motor function in Chinese workers. *Neurotoxicology.* 2022;88:224-230. doi:10.1016/j.neuro.2021.12.005
- Park RM, Bowler RM, Roels HA. Exposure-response relationship and risk assessment for cognitive deficits in early welding-induced manganism. *J Occup Environ Med.* 2009;51(10):1125-1136. doi:10.1097/JOM.0b013e3181bd8114
- Sato K, Ueyama H, Arakawa R, Kumamoto T, Tsuda T. [A case of welder presenting with parkinsonism after chronic manganese exposure]. *Rinsho Shinkeigaku.* 2000;40(11):1110-1115. (in Japanese).
- Nakadate T, Aizawa Y, Yagami T, Zheg YQ, Kotani M, Ishiwata K. Change in obstructive pulmonary function as a result of cumulative exposure to welding fumes as determined by magnetopneumography in Japanese arc welders. *Occup Environ Med.* 1998;55(10):673-677. doi:10.1136/oem.55.10.673
- Tagigawa T, Kishimoto T, Nabe M, et al. The current state of workers' pneumoconiosis in relationship to dusty working environments in Okayama Prefecture, Japan. *Acta Med Okayama.* 2002;56(6):303-308. doi:10.18926/amo/31694
- Ministry of Health, Labour and Welfare. Workers' fatigue accumulation self-assessment checklist. Accessed November 6, 2022. <https://www.mhlw.go.jp/topics/2004/06/tp0630-1.html> (in Japanese)
- Lucchini R, Selis L, Folli D, et al. Neurobehavioral effects of manganese in workers from a ferroalloy plant after temporary cessation of exposure. *Scand J Work Environ Health.* 1995;21(2):143-149. doi:10.5271/sjweh.1369
- Wechsler D. *WAIS-IV Administration and Scoring Manual.* The Psychological Corporation; 2008.
- Wechsler D. *WAIS-IV Technical and Interpretive Manual.* The Psychological Corporation; 2008.
- Japan Society for Occupational Health. Guidelines for personal exposure measurement of chemicals. *Sangyo Eiseigaku Zasshi.* 2015;57(2):A13-A60. (in Japanese).
- Yu KM, Topham N, Wang J, et al. Decreasing biotoxicity of fume particles produced in welding process. *J Hazard Mater.* 2011;185(2-3):1587-1591. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.09.083
- Baloch S, Kazi TG, Baig JA, Afridi HI, Arain MB. Occupational exposure of lead and cadmium on adolescent and adult workers of battery recycling and welding workshops: Adverse impact on health. *Sci Total Environ.* 2020;720:137549. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137549
- Li N, Taneepanichskul N. Associations between welding fume exposure and blood hemostatic parameters among workers exposed to welding fumes in confined space in Chonburi, Thailand. *PLoS One.* 2021;16(11):e0260065. doi:10.1371/journal.pone.0260065
- Ministry of the Environment. The exposure to chemical compounds in the Japanese people. Accessed November 6, 2022. https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11656271/www.env.go.jp/chemi/dioxin/pamph/cd/2017en_full.pdf (in Japanese)
- Lucchini RG, Albin E, Benedetti L, et al. High prevalence of Parkinsonian disorders associated to manganese exposure in the vicinities of ferroalloy industries. *Am J Ind Med.* 2007;50(11):788-800. doi:10.1002/ajim.20494
- Mergler D, Baldwin M, Bélanger S, et al. Manganese neurotoxicity, a continuum of dysfunction: results from a community based study. *Neurotoxicology.* 1999;20(2-3):327-342.
- Klotz K, Weistenhöfer W, Neff F, Hartwig A, van Thriel C, Drexler H. The health effects of aluminum exposure. *Dtsch Arztebl Int.* 2017;114(39):653-659. doi:10.3238/arztebl.2017.0653

29. Tamura T, Sugihara G, Takahashi H. Memory impairment and hippocampal volume after carbon monoxide poisoning. *Arch Clin Neuropsychol*. 2021;36(1):145-148. doi:10.1093/arclin/aaaa050
30. Ministry of Health, Labour and Welfare. Prevention of carbon monoxide poisoning in arc welding work. Accessed January 25, 2023. <https://www.jaish.gr.jp/anzen/hor/hombun/hor1-45/hor1-45-33-1-0.htm> (in Japanese)
31. Van der Elst W, Van Boxtel MP, Jolles J. Occupational activity and cognitive aging: a case-control study based on the Maastricht Aging Study. *Exp Aging Res*. 2012;38(3):315-329. doi:10.1080/0361073x.2012.672137
32. Galy E, Mélan C. Effects of cognitive appraisal and mental workload factors on performance in an arithmetic task. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2015;40(4):313-325. doi:10.1007/s10484-015-9302-0
33. Jain S, Nataraja NP. The effect of fatigue on working memory and auditory perceptual abilities in trained musicians. *Am J Audiol*. 2019;28(2S):483-494. doi:10.1044/2019_aja-ind50-18-0102
34. Yuan Y, Leung AW, Duan H, et al. The effects of long-term stress on neural dynamics of working memory processing: An investigation using ERP. *Sci Rep*. 2016;6:23217. doi:10.1038/srep23217
35. Xie W, Berry A, Lustig C, Deldin P, Zhang W. Poor sleep quality and compromised visual working memory capacity. *J Int Neuropsychol Soc*. 2019;25(6):583-594. doi:10.1017/s1355617719000183
36. Wang X, Zhang J, Zhou L, et al. Long-term iron exposure causes widespread molecular alterations associated with memory impairment in mice. *Food Chem Toxicol*. 2019;130:242-252. doi:10.1016/j.fct.2019.05.038
37. Hirsch EC. Iron transport in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*. 2009;15(suppl 3):S209-S211. doi:10.1016/s1353-8020(09)70816-8
38. Shi Z, Li M, Wang Y, Liu J, El-Obeid T. High iron intake is associated with poor cognition among Chinese old adults and varied by weight status-a 15-y longitudinal study in 4852 adults. *Am J Clin Nutr*. 2019;109(1):109-116. doi:10.1093/ajcn/nqy254
39. Barceloux DG. Manganese. *J Toxicol Clin Toxicol*. 1999;37(2):293-307. doi:10.1081/clt-100102427
40. U.S. Environmental Protection Agency. Drinking water criteria document for manganese. Accessed November 6, 2022. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-12/documents/dw-criteria-manganese.pdf>












SUPPORTING INFORMATION

Additional supporting information can be found online in the Supporting Information section at the end of this article.

How to cite this article: Tsuji M, Koriyama C, Ishihara Y, et al. Associations between welding fume exposure and neurological function in Japanese male welders and non-welders. *J Occup Health*. 2023;65:e12393. doi:10.1002/1348-9585.12393

ORIGINAL ARTICLE

The effect of mask fit test on the association between the concentration of metals in biological samples and the results of time-weighted average personal exposure: A study on Japanese male welders

Mayumi Tsuji¹  | Hajime Hori² | Chihaya Koriyama³  | Rie Tanaka¹  |
Toyohi Isse⁴  | Yasuhiro Ishihara⁵  | Tsunetoshi Ishizuka⁶  | Wataru Hasegawa⁶  |
Motohide Goto⁶  | Kazuhiro Yatera⁷ | Naoki Kunugita⁸  | Mami Kuwamura¹  |
Toshihide Sakuragi¹  | Yoshiko Yasumura¹ | Megumi Yamamoto⁹ | Susumu Ueno⁶ 

¹Department of Environmental Health, School of Medicine, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

²Department of Occupational Hygiene, School of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

³Department of Epidemiology and Preventive Medicine, Kagoshima University Graduate School of Medical and Dental Sciences, Kagoshima, Japan

⁴Section of Postgraduate Guidance School of Medicine, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

⁵Program of Biomedical Science, Graduate School of Integrated Sciences for Life, Hiroshima University, Hiroshima, Japan

⁶Department of Occupational Toxicology, Institute of Industrial Ecological Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

⁷Department of Respiratory Medicine, School of Medicine, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

⁸Department of Occupational and Community Health Nursing, School of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health, Fukuoka, Japan

⁹Department of Environment and Public Health, National Institute for Minamata Disease, Kumamoto, Japan

Correspondence

Mayumi Tsuji, Department of Environmental Health, School of Medicine University of Occupational and Environmental Health 1-1 Iseigaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu, Fukuoka 807-8555, Japan.
Email: tsuji@med.uoeh-u.ac.jp

Funding information

Ministry of Health, Labour and Welfare, Grant/Award Number: JPMH 200501

Abstract

Objectives: The mask fit test confirms whether the wearing condition of the wearer's face and the facepiece of the respirators are used appropriately. This study aimed to examine whether the results of the mask fit test affect the association between the concentration of metals related to welding fumes in biological samples and the results of time-weighted average (TWA) personal exposures.

Methods: A total of 94 male welders were recruited. Blood and urine samples were obtained from all participants to measure the metal exposure levels. Using personal exposure measurements, the 8-h TWA (8h-TWA) of respirable dust, TWA of respirable Mn, and 8-h TWA of respirable Mn were calculated. The mask fit test was performed using the quantitative method specified in the Japanese Industrial Standard T8150:2021.

Results: Fifty-four participants (57%) passed the mask fit test. Only in the Fail group of the mask fit test, it was observed that blood Mn concentrations be

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

© 2023 The Authors. *Journal of Occupational Health* published by John Wiley & Sons Australia, Ltd on behalf of The Japan Society for Occupational Health.

positively associated with the results of TWA personal exposure after adjusting for multivariate factors (8-h TWA of respirable dust; coefficient, 0.066; standard error (SE), 0.028; $P=0.018$, TWA of respirable Mn: coefficient, 0.048; SE, 0.020; $P=0.019$, 8 h-TWA of respirable Mn: coefficient, 0.041; SE, 0.020; $P=0.041$).

Conclusions: The results clarify that welders with high concentrations of welding fumes in their breathing air zone are exposed to dust and Mn if there is leaking air owing to the lack of fitness between respirators and the wearer's face when using human samples in Japan.

KEYWORDS

manganese, mask fit test, welder, welding fume

1 | INTRODUCTION

Welding is a necessary process in the construction and maintenance of industries including large structures, vehicles, ships, and several practices involving metal work practices.¹ There are more than 5 million welders in the world and approximately 180 000 in Japan.^{2,3} Welders are at high risk of being exposed to high concentrations of welding fumes because they work close to the welding spots. Welding fumes contain cadmium (Cd), nickel (Ni), manganese (Mn), chromium (Cr), lead (Pb), and other metals depending on the type of base material.^{2,4,5,6} Metals in welding fumes are known to have health effects upon exposure. Cadmium is known to cause osteomalacia and osteoporosis by inhibiting calcium metabolism in the kidney.⁴ Hexavalent Cr and Ni compounds are causative agents of lung cancer.^{7,8} In addition, adverse psychological effects and neurotoxicity due to Mn exposure have been reported.^{9–11} Exposure to Pb causes headaches, nausea, encephalopathy, anemia, and chronic muscle pain.¹²

In workplaces where there is a possibility of exposure to hazardous substances, it is important to implement fundamental countermeasures to improve the working environment and work processes. Therefore, it is important that workers avoid exposure to hazardous substances. However, if such a drastic method is difficult to implement, workers must wear suitable personal protective equipment (PPE) to prevent exposure to hazardous substances. Respirators, which is a type of PPE, are used to prevent diseases caused by inhalation of airborne particulate matter and gases in workplaces. Without proper wearing of respirators, hazardous substances can enter a worker's body. A total of 41 incidents resulted in 45 deaths due to asphyxiation or chemical poisoning while wearing respirators for 12-year period in the United States.¹³ Similarly, in Japan, occupational diseases occur every year due to nonwearing or improper wearing of respirators.¹⁴

From the viewpoint of proper wearing of respirators, it is important to determine whether there is fitness between the

face and the respirators. A higher fit ratio reduces the amount of ambient contaminants that leaks into respirators.^{15,16} With the intention of increasing measures to avoid welders' health hazards related to welding gases, the Japanese government announced a partial change in the laws and regulations in 2020.¹⁷ Based on the revised laws, respirators should be selected according to the results of time-weighted average (TWA) of respirable Mn. In addition, the mask fit test, which is a test to confirm the wearing condition of the wearer's face and facepiece, will be conducted once a year from 2023 onwards to check whether the respirators are properly worn by the welders. To our knowledge, no previous studies in Japan have investigated the relationship between metal concentrations in biological samples, metal concentrations in the breathing zone, and mask fit test results.

Therefore, this study aimed to examine whether the results of the mask fit test affect the association between the concentration of metals related to welding fumes in biological samples and the results of TWA personal exposures before the mask fit test is implemented by revised law in 2023 in Japan.

2 | METHODS

2.1 | Study participants

Between April 2021 and June 2022, 94 male welders from seven factories were recruited. These include one shipbuilding industry, three equipment manufacturers, and three steel industries.

2.2 | Questionnaire survey

Data on age, body mass index (BMI), smoking habits (never or former/current), drinking habits (No or Yes), and years of welding exposure; current neurological findings

(drooling, muscle twitching, numbness and tingling in hands and feet, and excessive sweating); current respiratory symptoms (cough, shortness of breath, rhinorrhea, nasal congestion, wheezing, and sputum); and fatigue symptoms that might be related to Mn exposure^{9–11} were collected using a questionnaire. Fatigue symptoms were estimated using fatigue symptom self-awareness scores, which were determined using the Workers' Fatigue Accumulation self-assessment checklist.¹⁸ We asked whether there were any abnormalities in the previous chest radiographs (No or Yes).

2.3 | Blood and urine sampling

To measure the metal concentration, 8 mL of blood and 10 mL of urine samples were obtained from the participants at the end of their working shifts by medical doctors. The collected blood and urine samples were provided to the staff of the SRL (SRL, Inc.) within 2 h of sampling. The samples were used to determine blood Cd, Ni, Mn, Cr, and Pb and urine Cd, Mn, and Cr concentrations at SRL. In the blood samples, the detection limit for each metal was 0.2 µg/dL, 0.2 µg/dL, 0.2 µg/dL, 0.03 µg/dL, and 1.1 µg/dL for Cd, Ni, Mn, Cr, and Pb, respectively. In the urine samples, the detection limit for each metal was 0.5 µg/L, 1.1 µg/L, and 0.3 µg/L for Cd, Mn, and Cr, respectively.

2.4 | Time-weighted average (TWA) personal exposures

Welders' breathing zones were measured by a professional measurer from an external organization (Japan Industrial Safety & Health Association, Tokyo, Japan) using a personal sampler following the guidelines for personal exposure measurements of chemical substances established by the Japan Society for Occupational Health.¹⁹ The Air Check 2000 sampler (SKC Inc.), TF98R PTFE binding filter (Shibata), and NWPS-254 sampler (Sibata) with 2.5 L/min air flow rate were used to measure respirable dust concentration and total dust concentration during work. To determine the Mn concentrations of the welding fumes, the samples collected on the filters after extraction were analyzed using an Agilent 7800 Quadrupole ICP-MS (Agilent Technologies). Using the air sampling data, the 8-h TWA (8-h TWA) of respirable dust, TWA of respirable Mn, and 8-h TWA respirable Mn were calculated. Time-weighted average was calculated as the TWA concentration for the entire time engaged in work such as welding. In accordance with the guidelines,¹⁹ the 8-h TWA was calculated as the 8-h average concentration. If there was no target work outside the sampling time

period, the exposure concentration during the nontarget work period was assumed to be 0 µg/L. The specified values for Mn concentration are as follows: Occupational exposure limit of Mn and its compounds specified by the Japan Society for Occupational Health is 0.02 mg/m³ as respirable particulate matter.²⁰ Working Environment Evaluation Standards of Mn and its compounds specified by the Minister of Health, Labor, and Welfare suggest 0.05 mg/m³ as respirable particulate matter.²¹

2.5 | Mask fit test

The examiner instructed the participants to "put on your respirator as usual" and conducted the test without giving instructions on how to properly wear the respirator.

The mask fit test was performed using a quantitative method using MT-05 U (Shibata), which is specified in the Japanese Industrial Standard T8150:2021.^{22,23}

In the mask fit test, seven types of standard motion (1. normal breathing, 2. deep breathing, 3. shaking the head left and right, 4. moving the head up and down, 5. vocalization, 6. bending forward, and 7. normal breathing) were performed. The fit factor of each standard motion (FF₁–FF₇) was calculated by dividing the test substance concentration outside the respirator by that inside the respirator. The total fit factor was calculated using FF₁–FF₇.

$$\text{Total fit factor} = \frac{1}{\frac{1}{\text{FF}_1} + \frac{1}{\text{FF}_2} + \frac{1}{\text{FF}_3} + \frac{1}{\text{FF}_4} + \frac{1}{\text{FF}_5} + \frac{1}{\text{FF}_6} + \frac{1}{\text{FF}_7}}$$

Total fit factor was used to pass or fail the mask fit test. As all participants used half-masks, a total fit factor of 100 or more was judged to be "Pass," and that of <100 was judged to be "Fail" in our study.

2.6 | Statistical analyses

Two-group comparisons were performed using the Mann–Whitney *U* test or Fisher's exact test. Associations between metal concentrations in biological samples and the results of TWA personal exposures; 8-h TWA of respirable dust, TWA of respirable Mn, and 8-h TWA of respirable Mn, were evaluated by multilevel linear regression models nested within seven factories. This model included the following possible confounding factors: age, BMI, smoking habits, drinking habits, years of welding exposure, and mask fit test results. When the metal concentration was not detected, the data were imputed to 1/10 of each detection limit. The distribution of metal concentrations and the results of TWA personal exposures were skewed. Therefore, natural logarithmic conversions were

applied to the variables before multilevel linear regression analysis. All statistical analyses were performed using STATA15 (StataCorp. LLC), and statistical significance was set at $P < 0.05$ (two-sided).

3 | RESULTS

Table 1 presents the characteristics of the study population. Values are expressed as mean (standard deviation) or number (%). Among the 94 participants, six used MOLDEX4600DS2 (Moldex/Metric, Inc.), 40 used 1005RR-05 (KOKEN Ltd.), 16 used 1005R-08 (KOKEN LTD.), and 32 used DR28SU2W (SHIGEMATSU WORKS CO., LTD.). Of the 94 participants, 54 (57%) passed the mask fit test. The

PASS rate for each mask was 17% for MOLDEX4600DS2, 58% for 1005RR-05, 75% for 1005R-08, and 56% for DR28SU2W. Only MOLDEX4600DS was a disposable type mask; others are replaceable type masks. Comparing the PASS rate of disposable type and replaceable type masks, the PASS rate of disposable masks was significantly lower ($P = 0.037$). The Fail group of the mask fit test (Fail group) was older than the Pass group of the mask fit test (Pass group; Pass group mean 38.7 years, Fail group mean 44.4 years), and the welding exposure-years were longer (Pass group mean 16.1 years, Fail group mean 23.5 years). Abnormal shadows on chest radiography were previously reported in eight participants. We confirmed the reasons provided by participants during face-to-face interviews. Two of them underwent a detailed examination: One had been treated for tuberculosis and the

	Total (N = 94)	Mask fit test result		P value
		Pass (N = 54)	Fail (N = 40)	
Age (years)	41.1 (13.3)	38.7 (12.6)	44.4 (13.7)	0.042*
Body mass index (BMI)	23.8 (3.0)	24.0 (3.2)	23.5 (2.8)	0.511*
Smoking habits				
Never/Former	46 (49%)	28 (52%)	18 (45%)	0.538 [†]
Current	48 (51%)	26 (48%)	22 (55%)	
Drinking habits				
No	36 (38%)	18 (33%)	18 (45%)	0.284 [†]
Yes	58 (62%)	36 (67%)	22 (55%)	
Welding exposure-years (years)	19.2 (13.9)	16.1 (12.4)	23.5 (14.9)	0.013*
Abnormalities in previous chest radiographs				
No	86 (91%)	53 (98%)	33 (83%)	
Yes	8 (9%)	1 (2%)	7 (17%)	0.010 [†]
Neurological findings ^a				
No	68 (72%)	42 (78%)	26 (65%)	0.243 [†]
Yes	26 (28%)	12 (22%)	14 (35%)	
Respiratory symptoms ^b				
No	58 (62%)	36 (67%)	22 (55%)	0.287 [†]
Yes	36 (38%)	18 (33%)	18 (45%)	
Fatigue symptoms self-awareness score				
0–4	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0.524 [†]
5–10	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	
11–20	58 (62%)	35 (65%)	23 (58%)	
21–	36 (38%)	19 (35%)	17 (42%)	

Note: Values are mean (SD) or number (%).

Abbreviation: SD, standard deviation.

^aDrooling, muscle twitching, numbness, and tingling in hands and feet, excessive sweating.

^bCough, shortness of breath, rhinorrhea, nasal congestion, wheezing, and sputum.

*P-values were obtained using Fisher's exact test.

[†]P-values were obtained using Mann–Whitney U test.

TABLE 1 Study population characteristics.

other had been treated for cystic lung disease. None of the patients required a detailed examination of recent chest radiographs. The remaining six participants did not have abnormalities in consecutive years, and no abnormal shadows were identified on recent chest radiographs.

Table 2 shows the distribution of the results of TWA personal exposures; 8-h TWA of respirable dust, TWA of respirable Mn, and 8-h TWA of respirable Mn, by the mask fit test. There was no significant relationship between the results of the TWA personal exposures and mask fit test results. Therefore, the concentration of chemical substances around the breathing zone was similar in the Pass and Fail groups.

Table 3 shows the distribution of the metal concentrations based on the mask fit test. There was no significant relationship between the metal concentrations and mask fit test results. However, after adjusting for potential

confounding factors and TWA personal exposure by multi-level linear regression analysis, blood Mn concentrations, adjusted values, were significantly higher in the Fail group than in the Pass group (Table 4). The percentages of participants with concentrations below the detection limits for metal concentrations in the blood samples were 77%, 80%, 0%, 93%, and 27% for Cd, Ni, Mn, Cr, and Pb, respectively, and in the urine samples were 47%, 82%, and 2% for Cd, Mn, and Cr, respectively. As we observed significantly higher concentrations of blood Mn in the Fail group after adjustment, a similar analysis was performed for urine Cr detected in >90% of the participants. However, there were no significant differences between adjusted urine Cr concentrations and mask fit test results.

Lastly, we investigated the association between blood Mn and the results of TWA personal exposure using the mask fit

TABLE 2 Distribution of the results of TWA personal exposures by mask fit test.

	Median (min and max) (mg/m ³)			P value*
	Total (N = 94)	Mask fit test result		
		Pass (N = 54)	Fail (N = 40)	
8-h TWA of respirable dust				
	1.02 (0.01, 10.24)	1.06 (0.02, 5.47)	1.00 (0.01, 10.24)	0.951
TWA of respirable Mn				
	0.189 (0.0001, 2.818)	0.195 (0.0030, 1.706)	0.187 (0.0001, 2.818)	0.976
8-h TWA of respirable Mn				
	0.094 (0.00007, 1.538)	0.114 (0.0020, 0.853)	0.090 (0.00007, 1.538)	0.921

Abbreviation: TWA, time-weighted average.

*P-values were obtained using Mann-Whitney U test.

TABLE 3 Distribution of metal concentrations by mask fit test.

	Median (min and max; µg/dL)			P value*
	Total (N = 94)	Mask fit test result		
		Pass (N = 54)	Fail (N = 40)	
Cd				
Blood	0.02 (0.02, 0.30)	0.02 (0.02, 0.30)	0.02 (0.02, 0.30)	0.245
Urine	0.60 (0.05, 5.10)	0.05 (0.05, 2.50)	0.85 (0.05, 5.10)	0.286
Ni				
Blood	0.02 (0.02, 0.30)	0.02 (0.02, 0.20)	0.02 (0.02, 0.30)	0.669
Mn				
Blood	1.20 (0.60, 2.80)	1.10 (0.70, 2.50)	1.30 (0.60, 2.80)	0.272
Urine	0.11 (0.11, 4.30)	0.11 (0.11, 2.70)	0.11 (0.11, 4.30)	0.909
Cr				
Blood	0.003 (0.003, 0.14)	0.003 (0.003, 0.09)	0.003 (0.003, 0.14)	0.369
Urine	0.60 (0.03, 2.70)	0.60 (0.03, 2.70)	0.60 (0.30, 1.60)	0.799
Pb				
Blood	1.60 (0.11, 3.70)	1.60 (0.11, 3.70)	1.60 (0.11, 2.60)	0.599

*P values were obtained using Mann-Whitney U test.

TABLE 4 Adjusted metal concentrations by mask fit test.

	Blood Mn		P value [†]	Urine Cr		P value [†]
	Mean (SE) ^a	Mean (SE) ^a		Mean (SE) ^a	Mean (SE) ^a	
	Mask fit test result			Mask fit test result		
	Pass (N=54)	Fail (N=40)		Pass (N=54)	Fail (N=40)	
8 h-TWA of respirable dust	0.11 (0.06)	0.24 (0.06)	0.034	−0.58 (0.12)	−0.50 (0.13)	0.594
TWA of respirable Mn	0.11 (0.06)	0.24 (0.06)	0.033	−0.58 (0.12)	−0.50 (0.13)	0.592
8 h-TWA of respirable Mn	0.11 (0.06)	0.25 (0.06)	0.032	−0.58 (0.12)	−0.50 (0.13)	0.592

Abbreviation: SE, standard error.

^aMean (SE) were estimated mean after adjustment for age, BMI, smoking habits, drinking habits, welding exposure-years and either of the following three variables; 8 h-TWA of respirable dust or TWA of respirable Mn or 8 h-TWA of respirable Mn.

[†]P values were obtained by a multilevel linear regression model nested with 7 factories, adjusting for age, BMI, smoking habits, drinking habits, welding exposure-years and either of the following three variables; 8 h-TWA of respirable dust, TWA of respirable Mn or 8 h-TWA of respirable Mn.

TABLE 5 The association between metal concentrations and the results of TWA personal exposures by mask fit test result.

	Total (N=94)			Mask fit test result			Fail (N=40)		
	Coefficient	SE	P value ^a	Pass (N=54)			Fail (N=40)		
				Coefficient	SE	P value ^a	Coefficient	SE	P value ^a
(a) 8 h-TWA of respirable dust									
Blood Mn	0.033	0.023	0.156	0.022	0.036	0.538	0.066	0.028	0.018
Urine Cr	0.013	0.049	0.785	−0.007	0.095	0.945	0.030	0.042	0.480
(b) TWA of respirable Mn									
Blood Mn	0.030	0.018	0.088	0.021	0.028	0.454	0.048	0.020	0.019
Urine Cr	0.006	0.037	0.878	−0.019	0.076	0.800	0.023	0.031	0.463
(c) 8 h-TWA of respirable Mn									
Blood Mn	0.025	0.018	0.153	0.021	0.028	0.458	0.041	0.020	0.041
Urine Cr	0.005	0.037	0.900	−0.031	0.076	0.665	0.024	0.030	0.431

Note: BMI, smoking habits, drinking habits, welding exposure-years and Mask fit test result. The bold values are $P < 0.05$.

Abbreviations: Coefficient, regression coefficient; SE, standard error.

^aCoefficients were estimated by a multilevel linear regression model nested with 7 factories, adjusting for age.

test results (Table 5). Urine Cr was also analyzed for comparison. Only in the Fail group were blood Mn concentrations positively associated with the results of TWA personal exposures after adjusting for multivariate factors (8-h TWA of respirable dust: Coefficient, 0.066; SE, 0.028; $P=0.018$; TWA of respirable Mn: Coefficient, 0.048; SE, 0.020; $P=0.019$, 8-h TWA of respirable Mn: Coefficient, 0.041; SE, 0.020; $P=0.041$). Conversely, urine Cr was not significantly associated with the TWA personal exposure results.

4 | DISCUSSION

Our study clarified two points. First, in the Fail group, the blood Mn concentration was positively associated with the results of TWA personal exposures. It means that our study is the first to clarify whether welders with high concentrations

of welding fumes in their breathing air zone were exposed to dust and Mn, which are related to welding fumes, if there is leaking air owing to a lack of fitness between respirators and the wearer's face using human participants in Japan. Second, the Fail group of the mask fit test contained more welders who were older and had longer welding exposure-years than the Pass group did. In other words, experienced welders were more likely to fail the mask fit test.

We examined three factors: TWA personal exposures, metal concentrations in biological samples, and mask fit tests in our study analysis. In Tables 2 and 3, which examine two factors out of three, no statistically significant relationship is observed. However, as shown in Tables 4 and 5, statistically significant relationships are observed when all three factors were analyzed simultaneously. These findings will help our future efforts to prevent the negative health effects of Mn present in factories welding fumes.

The mask fit test will be performed annually from April 2023.¹⁷ It is premature to conclude that human exposure to welding fumes is unaffected by mask fit test alone. As a result of the health checkup conducted once every 6 months, if the doctor deems it necessary, the working conditions will be investigated, and the Mn concentration in the biological sample will be measured.¹⁷ To determine whether or not welding fumes in factories affect blood Mn levels and health conditions in welders, it is important to comprehensively assess the working environment at factory by using every opportunity, such as a health checkup.

Numerous studies have already shown that the causes of lack of fitness between respirators and the wearer's face are the face shape and the presence or absence of a beard.^{24–26} In this study, we did not collect face shape data; however, we checked whether they had beards and used towels around the mouth and facial knits cover during the mask fit test. The reason for investigating the use of towels and facial knits covers is that, as with beards, they are the reason for creating a gap between the respirator and face, and they are related to increased air leaks. In our study, there were 80 participants who did not have used towels around the mouth and facial knits cover (Pass group: $N=50$, Fail group: $N=30$), and 14 participants who had used them (Pass group: $N=4$, Fail group: $N=10$). Those using towels around the mouth and facial knits significantly failed the mask fit test ($P=0.037$). Nineteen participants had beards, and the presence or absence of a beard was not associated with mask fit test results ($P=0.796$). Previous studies have reported that the length and density of beards are negatively related to the mask fit.^{27,28} The presence of a towel around the mouth and the facial knits cover is almost the same as the presence of a very dense beard. Therefore, similar to previous research, it is thought that the degree of close contact with the face decreased due to the use of towels around the mouth and facial knits cover this time. Previous studies have found a negative relationship between beard lengths of about 0.3 cm (0.125 inches) or longer and the mask fit test Pass rate.²⁷ We did not measure the beard length in this study. However, the beard length of the participants appeared to be shorter than that of the overseas survey participants.^{24,27} Therefore, the lack of an association between beards and the mask fit test Pass rate may be due to the short beard length of our participants.

Lack of fit between respirators and the wearer's face may be caused not only by towels around the mouth and facial knit covers, but also by improper wearing and deterioration of the mask. After the mask fit test for our study, 67 workers agreed to undergo a second mask fit test, and we gave them instructions on how to put on the mask correctly. New masks were then distributed, and the mask fit test was conducted after removing towels around the mouth and facial knit covers. Sixty-two of the 67 participants passed the second mask fit test. Therefore, it can be

inferred that the main reason for failing the mask fit test in our study was inappropriate mask wearing, towels around the mouth, and facial knit covers.

In this study, we could not clarify why the experienced welders were more likely to fail the mask fit test. A previous study reported that human errors, such as incorrect use of protective equipment and work tools and incorrect work methods and actions, may be caused by empirical assumptions for workers such as lack of attention due to habituation associated with experience.²⁹ To eliminate human error, it is necessary to systematically and continuously establish preventive measures and risk assessments in terms of awareness, behavior, and management.²⁹ We have not investigated the types of human error countermeasures that are taken at each factory; therefore, further investigation is necessary.

The correlation between blood Mn and 8-h TWA of respirable Mn: Coefficient, 0.018; SE, 0.017; $P=0.292$. Furthermore, we calculated the approximate exposure concentration by multiplying the 8-h-TWA of respirable Mn with the mask leakage rate and analyzed the correlation between blood Mn and the approximate 8-h-TWA of respirable Mn: Coefficient, 0.026; SE, 0.012; $P=0.039$. A slightly higher correlation coefficient and a significant difference were obtained using the approximate 8-h-TWA of respirable Mn compared to 8-h-TWA of respirable Mn. Similar results were obtained for 8-h-TWA of respirable dust and TWA of respirable Mn.

In this study, we focused on the mask fit test results, Pass or Fail, which were continuously recorded at factories. However, even if the worker passed the mask fit test, there were chances of a slight mask leakage. It cannot be denied that the accumulation of harmful substances in the body caused by the slightest mask leakage can harm human health during long-term work. Therefore, instead of focusing only on the mask fit test results, the risk of mask leakage should always be kept in mind. It is necessary to make efforts to reduce the concentration of hazardous substances in the work environment.

This study has several limitations. First, we did not investigate in the causes of the failure of the mask fit testing detail. In addition to the presence or absence of beards and the use of towels and facial knife covers, it would be better to investigate the shape of the face, measures to prevent human error in each company, and the management system of workers. Second, we used MT-05 U for the mask fit test in our study. Recently, equipment that can perform shortened quantitative mask fit test by condensation particle counter is also on the market. It is necessary to consider whether differences in equipment and methods affect mask fit test results. Third, the target audience members were male. The number of female welders is increasing.^{29,30} There was a sex difference in the fit of

the respirator.²⁵ Future studies including female welders are required. Fourth, age, gender, and genetics are related to Mn metabolism.³¹ In our study, age was used as an adjustment factor for multilevel analysis. However, we did not investigate genetic factors in this study. It is necessary to increase the number of participants, investigate the factors involved in Mn metabolism, and perform a more detailed analysis in the future.

5 | CONCLUSIONS

In the Fail group, the blood Mn concentration was positively associated with personal exposure to TWA. Wearing a high-quality respirator equipped with excellent filters is insufficient to ensure the full protection of workers exposed to hazardous substances. Therefore, improving the fit of masks would help protect the health of workers.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Mayumi Tsuji, Hajime Hori, Chihaya Koriyama, Yasuhiro Ishihara, Kazuhiro Yatera, and Susumu Ueno contributed to the conception of the study. Mayumi Tsuji, Toyohi Isse, Wataru Hasegawa, Motohide Goto, Rie Tanaka, Naoki Kunugita, Toshihide Sakuragi, Mami Kuwamura, and Yoshiko Yasumura contributed to study design and recruitment. Mayumi Tsuji, Hajime Hori, Yasuhiro Ishihara, Megumi Yamamoto, and Susumu Ueno contributed to experimental design and recruitment. Mayumi Tsuji, Hajime Hori, and Chihaya Koriyama analyzed the data and wrote the article. Toyohi Isse, Wataru Hasegawa, Motohide Goto, Naoki Kunugita, and Susumu Ueno reviewed the article and provided advice. All the authors have read and approved the final manuscript.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the MHLW Program (Grant Number JPMH 200501). We would like to thank Editage (<http://www.edita.ge.jp>) for the English language editing.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

Authors declare no conflict of interests for this article.

DATA AVAILABILITY STATEMENT











Data sharing is not applicable to this article, as no new data were created or analyzed in this study.

DISCLOSURE

Approval of the Research Protocol: This study was approved by the Institutional Ethics Committee at the University of Occupational and Environmental Health in 2020 (R2-011). Informed Consent: Written informed

consent was obtained from all the participants. Registry and the Registration No: N/A. Animal Studies: N/A.

ORCID

Mayumi Tsuji  <https://orcid.org/0000-0002-9579-4418>
 Chihaya Koriyama  <https://orcid.org/0000-0003-3676-8866>
 Rie Tanaka  <https://orcid.org/0000-0002-8127-5414>
 Toyohi Isse  <https://orcid.org/0000-0001-8323-5216>
 Yasuhiro Ishihara  <https://orcid.org/0000-0001-9751-7660>
 Motohide Goto  <https://orcid.org/0000-0002-0674-0152>
 Naoki Kunugita  <https://orcid.org/0000-0002-6516-8379>
 Mami Kuwamura  <https://orcid.org/0000-0001-8962-0596>
 Toshihide Sakuragi  <https://orcid.org/0000-0003-1724-6755>
 Susumu Ueno  <https://orcid.org/0000-0003-0098-871X>

REFERENCES

- Dahal S, Kim T, Ahn K. Indirect prediction of welding fume diffusion inside a room using computational fluid dynamics. *Atmosphere*. 2016;7(6):74.
- Antonini JM, Stone S, Roberts JR, et al. Effect of short-term stainless steel welding fume inhalation exposure on lung inflammation, injury, and defense responses in rats. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2007;223(3):234-245. doi:10.1016/j.taap.2007.06.020
- Statistics Bureau of Japan. Population and Households of Japan 2015. Accessed November 30, 2022. <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003209883> (in Japanese).
- Bernhoft RA. Cadmium toxicity and treatment. *Sci World J*. 2013;2013:394652. doi:10.1155/2013/394652
- Yu KM, Topham N, Wang J, et al. Decreasing biotoxicity of fume particles produced in welding process. *J Hazard Mater*. 2011;185(2-3):1587-1591. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.09.083
- Meo SA, Al-Khlaiwi T. Health hazards of welding fumes. *Saudi Med J*. 2003;24(11):1176-1182.
- Gibb H, Wang J, O'Leary K, Chen C, Bateson TF, Kopylev L. The effect of age on the relative risk of lung cancer mortality in a cohort of chromium production workers. *Am J Ind Med*. 2020;63(9):774-778. doi:10.1002/ajim.23152
- Lightfoot N, Berriault C, Semenciv R. Mortality and cancer incidence in a nickel cohort. *Occup Med (Lond)*. 2010;60(3):211-218. doi:10.1093/occmed/kqp197
- Iregren A. Psychological test performance in foundry workers exposed to low levels of manganese. *Neurotoxicol Teratol*. 1990;12(6):673-675. doi:10.1016/0892-0362(90)90085-q
- Racette BA, Criswell SR, Lundin JI, et al. Increased risk of parkinsonism associated with welding exposure. *Neurotoxicology*. 2012;33(5):1356-1361. doi:10.1016/j.neuro.2012.08.011
- Rahmani A, Golbabaie F, Dehghan SF, Mazlomi A, Akbarzadeh A. Assessment of the effect of welding fumes on welders' cognitive failure and health-related quality of life. *Int J Occup Saf Ergon*. 2016;22(3):426-432. doi:10.1080/10803548.2016.1164499
- Mohammadyan M, Moosazadeh M, Borji A, Khanjani N, Rahimi MS. Investigation of occupational exposure to lead and its relation with blood lead levels in electrical solderers. *Environ Monit Assess*. 2019;191(3):126. doi:10.1007/s10661-019-7258-x
- Suruda A, Milliken W, Stephenson D, Sesek R. Fatal injuries in the United States involving respirators, 1984-1995. *Appl Occup Environ Hyg*. 2003;18(4):289-292. doi:10.1080/10473220301405

14. Japan Industrial Safety and Health Association. *General Guidebook on Industrial Health*. Japan Industrial Safety and Health Association; 2022 (in Japanese).
15. Pan X, Li X, Kong P, et al. Assessment of use and fit of face masks among individuals in public during the COVID-19 pandemic in China. *JAMA Netw Open*. 2021;4(3):e212574. doi:10.1001/jamanetworkopen.2021.2574
16. Manganyi J, Wilson KS, Rees D. Quantitative respirator fit, face sizes, and determinants of fit in south African diagnostic laboratory respirator users. *Ann Work Expo Health*. 2017;61(9):1154-1162. doi:10.1093/annweh/wxx077
17. Ministry of Health, Labour and Welfare. *Amendments to Ordinance on Prevention of Hazards from Specified Chemical Substances, Work Environment Measurement Standard*. Accessed November 30, 2022. https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000099121_00001.html (in Japanese)
18. Ministry of Health, Labour and Welfare. *Workers' Fatigue Accumulation Self-Assessment Checklist*. Accessed November 30, 2022. <https://www.mhlw.go.jp/topics/2004/06/tp0630-1.html> (in Japanese)
19. Japan Society for Occupational Health. Guidelines for personal exposure measurement of chemicals. *Sangyo Eiseigaku Zasshi*. 2015;57(2):A13-A60. (in Japanese).
20. The Japan Society for Occupational Health M. Recommendation of occupational exposure limits (2021–2022). *Environ Occup Health Pract*. 2021;3(1):Roel2021. doi:10.1539/eohp.ROEL2021
21. Ministry of Labour. Ordinance on Prevention of Hazards Due to Specified Chemical Substances. Accessed February 28, 2023. https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=74098000&dataTtype=0&pageNo=1 (in Japanese)
22. Japanese Standards Association. *Guidance for Selection, Use and Maintenance of Respiratory Protective Devices*. Accessed November 30, 2022. https://webdesk.jsa.or.jp/preview/pre_jis_t_08150_000_000_2021_j_ed10_ch.pdf (in Japanese)
23. Yamada H. Outline of fit test for respirators used in welding work. *Welding Dent Technol*. 2021;44-49.
24. Balkhyour MA. Evaluation of full-facepiece respirator fit on fire fighters in the municipality of Jeddah, Saudi Arabia. *Int J Environ Res Public Health*. 2013;10(1):347-360. doi:10.3390/ijerph10010347
25. Oestenstad RK, Elliott LJ, Beasley TM. The effect of gender and respirator brand on the Association of Respirator fit with facial dimensions. *J Occup Environ Hyg*. 2007;4(12):923-930. doi:10.1080/15459620701709619
26. Oestenstad RK, Bartolucci AA. Factors affecting the location and shape of face seal leak sites on half-mask respirators. *J Occup Environ Hyg*. 2010;7(6):332-341. doi:10.1080/15459621003729909
27. Floyd EL, Henry JB, Johnson DL. Influence of facial hair length, coarseness, and areal density on seal leakage of a tight-fitting half-face respirator. *J Occup Environ Hyg*. 2018;15(4):334-340. doi:10.1080/15459624.2017.1416388
28. Prince SE, Chen H, Tong H, et al. Assessing the effect of beard hair lengths on face masks used as personal protective equipment during the COVID-19 pandemic. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2021;31(6):953-960. doi:10.1038/s41370-021-00337-1
29. Satani K. Approach to human error prevention. *J Jpn Soc Saf Eng*. 1999;38(6):380-388. doi:10.18943/safety.38.6_380
30. Arrandale VH, Beach J, Cembrowski GS, Cherry NM. Urinary metal concentrations among female welders. *Ann Occup Hyg*. 2015;59(1):52-61. doi:10.1093/annhyg/meu079
31. O'Neal SL, Zheng W. Manganese toxicity upon overexposure: a decade in review. *Curr Environ Health Rep*. 2015;2(3):315-328. doi:10.1007/s40572-015-0056-x

How to cite this article: Tsuji M, Hori H, Koriyama C, et al. The effect of mask fit test on the association between the concentration of metals in biological samples and the results of time-weighted average personal exposure: A study on Japanese male welders. *J Occup Health*. 2023;65:e12399. doi:10.1002/1348-9585.12399

労災疾病臨床研究事業費補助金
令和2年度～令和4年度 総合研究報告書

溶接作業者の溶接ヒュームばく露（個人ばく露と生体内ばく露）と
健康影響の関係に関する疫学的研究
令和5（2023）年 3月

研究代表者 辻 真弓
産業医科大学医学部衛生学講座
〒807-8555 北九州市八幡西区医生ヶ丘1-1
TEL 093-691-7429
FAX 093-691-9341