

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3年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 辻 真弓

令和4(2022)年3月

# 目 次

## I. 総括研究報告

- 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 ----- 5  
研究代表者：産業医科大学 医学部 衛生学 教授 辻 真弓
2. 溶接作業従事者の健康影響に関する検討：血中・尿中の金属濃度等の比較 ----- 53  
分担研究者：鹿児島大学大学院医歯学総合研究科疫学・予防医学 教授 郡山千早
3. 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 ----- 71  
分担研究者：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

# 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）と健康影響の関⽣に関する疫学的研究

主任研究者 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）、神経既往障害、呼吸器系障害などの有害性が知られている。しかしながら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 3 年度（2021 年度）は令和 2 年度（2020 年度）のパイロット調査から得られた知見をもとに、全国 5 か所の事業所にて本調査を行った。前年度と同様、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。

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、作業環境測定、個人サンプラーを用いた測定およびマスクフィットテスト（溶接作業従事者を対象）を一連の調査として事業所 B, C, D, E, F にて行った。（B の結果は昨年度の報告書に一部記載済み）

個人サンプラー 吸入性マンガン（時間加重平均濃度）0.05mg/m<sup>3</sup> 以上の割合：事業所 B は 100%（5 名全員）、事業所 C は 17%（6 名中 1 名）、事業所 D は 80%（15 名中 12 名）、事業所 E は 88%（16 名中 14 名）、事業所 F は 63%（16 名中 10 名）であった。

マスクフィットテスト 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）であった。

質問票、呼吸機能検査、神経学的検査で統計学的に差がみられた項目：事業所 D はヒュームばく露（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く（ $p=0.026$ ）、タッピング回数が少なく（ $p=0.010$ ）、WAIS のワーキングメモリー値が低かった（ $p=0.017$ ）。

事業所 E は、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（ $p=0.031$ ）。

血中・尿中の金属濃度測定：ヒュームばく露群では血中の Mn と Pb 濃度、尿中の Cd、Mn と Cr 濃度が高い値を示し、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。個人サンプラーによる吸入性粉塵および Mn 濃度のいずれの測定値も、血中・尿中金属濃度との間に相関は認められなかった。

サイトカイン・ケモカイン量の測定：3 か所の事業所（事業所 B, D, E）を検討した結果、事業所 B ではヒューム曝露群において複数のサイトカイン、ケモカインの発現の変動が認められた。

事業所ごとに粉じんおよびマンガン濃度が異なり、それぞれの事業所における作業および作業環境を十分に考慮した上で、溶接ヒュームばく露による生体試料中の金属濃度や炎症のマーカーとの関連や健康影響を検討する必要があると考えられた。

## 分担研究者

矢寺 和博(産業医科大学 医学部 呼吸器内科)  
郡山 千早(鹿児島大学 医学部 疫学予防医学)  
櫻田 尚樹(産業医科大学 産業保健学部  
産業・地域看護学)  
上野 晋 (産業医科大学 産業生態科学研究所 職  
業性中毒学)  
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 環境・保健  
研究部)  
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)  
石原 康宏 (広島大学 大学院統合生命科学研究科  
生体機能化学研究室)  
一瀬 豊日(産業医科大学 進路指導部)

## 研究協力者

北川 恭子(産業医科大学 医学部 衛生学)  
田中 里枝(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う。令和3年度(2021年度)は令和2年度(2020年度)のパイロット調査から得られた知見をもとに、全国5か所の事業所にて本調査を行った。前年度と同様、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。

## B. 研究方法

### ① 対象事業所 B, C, D, E, F

事業所 B(溶接作業従事者 5名,コントロール 5名)<sup>※1</sup>、  
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)  
<sup>※2</sup>

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、個人サンプラーを用いた測定およびマスクフィットテスト(溶接作業従事者を対象))の結果を実施した。<sup>※1</sup>前年度実施、<sup>※2</sup>次年度報告

②血中・尿中の金属濃度等の比較(事業所 B, C, D, E, F)

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、ヒュームばく露(溶接作業従事者)群と同事業所に所属する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。5つの事業所を対象とし、ばく露群 58名、コントロール群 60名(すべて男性)について、生体試料中の金属濃度の測定を行った。

③血清サイトカインおよびケモカイン量の変化(事業所 B, D, E)

### 1. 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。

2. フローサイトメーターを用いた血清中炎症性分子の網羅的解析

解析には LEGENDplex Human Inflammation Panel 1 (13-plex) with Filter Plate (Bio Legend, 740808) および LEGENDplex Human Proinflammatory Chemokine Panel (13-plex) with Filter Plate (Bio Legend, 740984) 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地の 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。

## (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本調査の実際と結果(事業所 B, C, D, E, F)

事業所 B(溶接作業従事者 5名,コントロール 5名)の個人ばく露濃度測定は吸入性粉じん(8時間加重平均濃度)は、実施者5名とも 1mg/m<sup>3</sup>(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 0.05mg/m<sup>3</sup>(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/m<sup>3</sup>(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われていない。

事業所 C(溶接作業従事者 6名,コントロール 6名)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 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 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(溶接作業従事者15名、コントロール17名)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。個人ばく露濃度測定結果は吸入性粉じん(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(溶接作業従事者16名、コントロール16名)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 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 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(溶接作業従事者16名、コントロール16名)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 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 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)。

②血中・尿中の金属濃度測定(事業所B, C, D, E, F)

○事業所別の比較(ヒュームばく露群):

事業所Cのばく露群は他の事業所と比べて、血中のMnとPb濃度が低く、一方、血中Cr濃度は事業所D, E, Fが低い分布を示した。血中CdとNi濃度は事業所間で差は認めなかった。事業所Eは尿中Cd濃度が、事業所Aは尿中Cr濃度が、他の事業所のばく露群と比べて低く、事業所間の差がみられた。

○個人サンプラーによる測定結果(ヒュームばく露群):

血中Cd, Ni, Crおよび尿中Crは、検出限界値以下の者が多かったため、以降の解析には含めていない。個人サンプラーによる吸入性粉塵およびMn濃度のいずれとも、血中・尿中金属濃度との間にほとんど相関はなかった。個人サンプラー測定値が、粉塵、吸入性Mn濃度が上位20名に限定した上で、血中・尿中金属濃度との相関を検討した。血中・尿中金属濃度との間にほとんど相関はなかった。

○溶接年数との関連(ヒュームばく露群):血中の金属濃度では顕著な関連は認められなかった。(Spearman相関係数)尿中カドミウム濃度と正の相関傾向を認めた。(Spearman相関係数)

●年齢と血液中・尿中の金属濃度(コントロール群):いずれの金属濃度も年齢との関連はみられなかった。

(Spearman相関係数)

●BMIと血液中・尿中の金属濃度(コントロール群):いずれの金属濃度もBMIとの関連はみられなかった。

(Spearman相関係数)

●喫煙習慣と血液中・尿中の金属濃度(コントロール群):いずれの金属においても、喫煙習慣によって顕著な差はみられなかったが、血液中鉛の濃度が喫煙経験者で高い傾向であった。

●飲酒習慣と血液中・尿中の金属濃度(コントロール群):いずれの金属においても、飲酒習慣によって顕著な差はみられなかった。

◎血液・尿中の各金属濃度分布の比較(ヒュームばく露群 vs コントロール群):ヒュームばく露群において、尿中のCdおよびMn濃度が高い者が分布していた。また統計的有意差はないものの、血中MnとPbにおいてもばく露群で値が高い傾向が認められた。

◎血液・尿中の各金属濃度(測定値)の比較(ヒュームばく露群 vs コントロール群):ヒュームばく露群で、血液中MnとPbの値が有意に高かった。ヒュームばく露群で、尿中Cd, MnとCrの値が有意に高かった。

◎喫煙習慣を考慮した生体内の金属曝露量の比較(ヒュームばく露群 vs コントロール群):単変量解析において差を認めた血中のMnとPb濃度、尿中のCdとCr濃度について重回帰分析を行った。血中Mn、

Pb 濃度および尿中 Cd 濃度の分布には偏りがあったため、対数変換を行った上で解析に用いた。いずれの金属濃度においても、ヒュームばく露群で高いことが示された。

### ③ サイトカイン・ケモカイン量の測定(事業所 B, D, E)

事業所 B の検体についてサイトカイン、ケモカインを測定し、ヒューム曝露の影響を比較検討した。事業所 B については、就業前(AM)、就業後(PM)の血清検体があるため、まず就業前におけるコントロールとヒューム曝露群を比較した。IL-18 の発現がヒューム曝露群において有意に上昇した。また、統計における有意差はなかったが、IFN- $\gamma$  ( $p = 0.091$ )、Eotaxin ( $p = 0.061$ ) は増加傾向にあった。一方、就業後のコントロール群、ヒューム曝露群の炎症性分子発現量を比較すると、IL-18 発現には有意な差は認められず、MIP-3 $\alpha$  の発現が有意に増加した一方、MIP-1 $\beta$  の発現は有意に低下した。有意差は得られなかったものの、ヒューム曝露により MIG の発現が上昇する傾向にあった ( $p = 0.092$ )

事業所 D より得られたコントロール血清 17 検体およびヒューム曝露血清 15 検体について、上記と同様にサイトカインとケモカインを定量した。測定した 23 種のサイトカイン、ケモカインについて、コントロール群とヒューム曝露群間に有意な差は認められなかった。また、E 社から得られた検体(コントロール、ヒューム曝露それぞれ 16 検体)についても有意に増減するサイトカイン、ケモカインは認められなかった。

## D. 考察

### ① 結果まとめ 事業所 B, C, D, E, F

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)が異なった。吸入性マンガ(時間加重平均濃度) 0.05mg/m<sup>3</sup> 以上の割合: 事業所 B は 100%(5 名全員)、事業所 C は 17%(6 名中 1 名)、事業所 D は 80%(15 名中 12 名)、事業所 E は 88%(16 名中 14 名)、事業所 F は 63%(16 名中 10 名)であった。

マスクフィットテスト 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)であった。

質問票、呼吸機能検査、神経学的検査で統計学的に差がみられた項目: 事業所 D は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く ( $p = 0.026$ )、タッピング回数が少なく ( $p = 0.010$ )、WAIS のワーキングメモリー値が低かった ( $p = 0.017$ )。

事業所 E は、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 ( $p = 0.031$ )。

### ② 血中・尿中の金属濃度測定(事業所 B, C, D, E, F)

コントロール群と比べて、ヒュームばく露群では血中の Mn と Pb 濃度、尿中の Cd、Mn と Cr 濃度が高い値

を示し、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。

### ③ サイトカイン・ケモカイン量の測定(事業所 B, D, E)

事業所 B においては、ヒューム曝露群において複数のサイトカイン、ケモカインの発現変動が認められた一方、事業所 D と E においてヒューム曝露はサイトカインとケモカインの発現に影響を及ぼさなかった。

コントロール群に溶接作業環境への出入りがある作業者が含まれていることが事後の聞き取りで判明している。今後は、コントロール群においても実際の作業状況(溶接作業者の近くでの作業の有無など)の確認を行う必要がある。

現在は個人サンプラーの結果と生体試料の結果のみを連結して解析を行っている。最終年度の令和 4 年度では、さらに協力事業所・対象者を増加させ、マスクフィットテストの結果等調査でえられたデータをすべて連結させ、調査の目的である「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」を明らかにするための解析を行う予定としている。

## E. 結論

コントロール群と比較して、ヒュームばく露(溶接作業従事者)群において、血中 Mn、Pb 尿中 Cd、Mn と Cr 濃度が高かった。またいくつかの事業所ではワーキングメモリー低値、疲労度の蓄積がヒュームばく露群で認められている。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(マスク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. 研究発表

論文発表 該当無し

学会発表 該当無し

## H. 知的財産権の出願・登録状況

特許取得 該当無し

実用新案登録 該当無し

その他 該当無し

## 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、全国5か所の事業所(C, D, E, F, G)にて本調査を実施した。事業所B(前年度未報告分)、C, D, E, Fの結果を示す。※生体試料中の濃度測定の結果は「溶接作業従事者の健康影響に関する検討:血中・尿中の金属濃度等の比較」に記載

**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(粉じん):**前年度に報告 **マスクフィットテスト:**前年度に報告

**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、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。

健康影響に関する調査:前年度に報告

**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、実施者6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6名のうち1名(測定2回のうち1回)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6名のうち1名が $0.02\text{mg}/\text{m}^3$ (ACGIHのTLV-TWA(ばく露限界値))を超えた。6名の吸入性粉じん中のマンガン含有率:0.25~7.96%

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。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(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。15名の吸入性粉じん中のマンガン含有率:4.22~13.8%

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( $p=0.0255$ )。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( $p=0.0102$ )、WAISのワーキングメモリー値が低かった( $p=0.0167$ )。握力検査では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(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。16名の吸入性粉じん中のマンガン含有率:3.04~9.27%

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のワーキングメモリー値が低かった( $p=0.0313$ )。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(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。16名の吸入性粉じん中のマンガン含有率:3.86~17.9%(調査日において3名は溶接作業なし)。

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。各種神経学的検査に関して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。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)。

## 分担研究者

矢寺 和博 (産業医科大学 医学部 呼吸器内科)  
郡山 千早 (鹿児島大学 医学部 疫学予防医学)  
樺田 尚樹 (産業医科大学 産業保健学部  
産業・地域看護学)  
上野 晋 (産業医科大学 産業生態科学研究所 職業  
性中毒学)  
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 環境・保健  
研究部)  
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)  
石原 康宏 (広島大学 大学院統合生命科学研究所 生  
体機能化学研究室)  
一瀬 豊日 (産業医科大学 進路指導部)

## 研究協力者

北川 恭子 (産業医科大学 医学部 衛生学)  
田中 里枝 (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、令和2年度（2020年度）のパイロット調査で得られた知見を踏まえ、令和3年度（2021年度）は溶接ヒューム作業従事者における溶接ヒュームばく露状況と健康影響について検討することを目的とし、本調査を実施した。

尚、前年度と同様に新型コロナウイルス感染症流行下であるため、感染防止対策を徹底し、全国5事業所で本調査を実施した。

## 2. 研究方法

実施場所：全国5か所の事業所

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Gについては令和4年度（2022年度）最終年度の報告に記載する。

### ●事業所C(電気工事業等)

#### ① 調査日

2021年4月22日木曜日、6月16日水曜日

#### ② 対象者

溶接<sup>※1</sup>作業従事者6名（H-1～H-6）

※1 母材：軟鋼、ステンレス

コントロール6名（C-1～C-6）

#### ③ 健康影響に関する調査 4月22日木曜日

##### ・C-③-1

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、職業歴等  
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

##### ・C-③-2

呼吸機能検査：努力肺活量（FVC）、%FVC、一秒率、%一秒量

##### ・C-③-3

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

##### ・C-③-4

生体試料 血液10ml：血清中炎症マーカー、酸化ストレスマーカー測定等（結果は分担研究者 石原報告書内に記載）

#### ④ 溶接ヒュームの濃度測定 4月22日木曜日

・C-④-1

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

・C-④-2

個人サンプラーを用いた測定方法（個人）

・C-④-3

測定対象物質：粉じん濃度、マンガン

⑤ マスクフィットテスト 4月 22 日木曜日

方法：JIS T8150:2021 に従う。

定量的マスクフィットテスト

⑥ 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(4月 22 日木曜日就業後)

対象測定物質：

マンガン、クロム、ニッケル、カドミウム、鉛

検査方法：原子吸光法

●事業所D(建築工事業等)

① 調査日

2021年5月27日木曜日、28日金曜日、

2021年7月1日木曜日、2日金曜日

② 対象者

溶接<sup>※2</sup>作業従事者 15名 (H-1~H-15)

※2 母材：490N 級炭素鋼

コントロール 17名 (C-1~C-17)

③ 健康影響に関する調査 5月 27 日木曜日、28 日金曜日、7月 1 日木曜日、2 日金曜日

・D-③-1

質問票調査・・・C-③-1 と同様

・D-③-2

呼吸機能検査・・・C-③-2 と同様

・D-③-3

神経学的検査・・・C-③-3 と同様

・D-③-4

生体試料採取・・・C-③-4 と同様

④ 溶接ヒュームの濃度測定 7月 1 日木曜日、2 日金曜日

・D-④-1

作業環境測定基準による方法（事業場）

・・・C-④-1 と同様

・D-④-2

個人サンプラーを用いた測定方法（個人）

・・・C-④-2 と同様

・D-④-3

測定対象物質・・・C-④-3 と同様

⑤ マスクフィットテスト 7月 1 日木曜日、2 日金曜日

方法：JIS T8150:2021 に従う。

定量的マスクフィットテスト

⑥ 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(5月 27 日木曜日、28 日金曜日、7月 1 日木曜日、2 日金曜日就業後)

対象測定物質：

マンガン、クロム、ニッケル、カドミウム、鉛

●事業所E(建設機械関連等)

⑦ 調査日

2021年7月8日木曜日、9日金曜日、

⑧ 対象者

溶接<sup>※3</sup>作業従事者 16名 (H-1~H-16)

※3 母材：軟鋼

コントロール 16名 (C-1~C-16)

⑨ 健康影響に関する調査 7月 8 日木曜日、9 日金曜日

・E-③-1

質問票調査・・・C-③-1 と同様

・E-③-2

呼吸機能検査・・・C-③-2 と同様

・E-③-3

神経学的検査・・C-③-3 と同様

・E-③-4

生体試料採取・・C-③-4 と同様

⑩ 溶接ヒュームの濃度測定 7月8日木曜日、9日金曜日

・E-④-1

作業環境測定基準による方法（事業場）

・・C-④-1 と同様

・E-④-2

個人サンプラーを用いた測定方法（個人）

・・C-④-2 と同様

・E-④-3

測定対象物質・・C-④-3 と同様

⑪ マスクフィットテスト 8月26日木曜日、27日金曜日

方法：JIS T8150:2021 に従う。

定量的マスクフィットテスト

⑫ 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（7月8日木曜日、9日金曜日就業後）

対象測定物質：

マンガン、クロム、ニッケル、カドミウム、鉛

●事業所 F(建築用鉄骨加工)

⑬ 調査日

2021年10月5日火曜日～8日金曜日

⑭ 対象者

溶接<sup>※4</sup>作業従事者 16名（H-1～H-16）

※4 母材：一般構造用圧延鋼材、  
建築構造用圧延鋼材

コントロール 16名（C-1～C-16）

⑮ 健康影響に関する調査 10月7日木曜日、8日金

曜日

・F-③-1

質問票調査・・C-③-1 と同様

・F-③-2

呼吸機能検査・・C-③-2 と同様

・F-③-3

神経学的検査・・C-③-3 と同様

・F-③-4

生体試料採取・・C-③-4 と同様

⑯ 溶接ヒュームの濃度測定 10月7日木曜日、8日金曜日

・F-④-1

作業環境測定基準による方法（事業場）

・・C-④-1 と同様

・F-④-2

個人サンプラーを用いた測定方法（個人）

・・C-④-2 と同様

・F-④-3

測定対象物質・・C-④-3 と同様

⑰ マスクフィットテスト 10月5日火曜日、6日水曜日

方法：JIS T8150:2021 に従う。

定量的マスクフィットテスト

⑱ 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（10月7日木曜日、8日金曜日就業後）

対象測定物質：

マンガン、クロム、ニッケル、カドミウム、鉛

3. 研究結果 10 ページ以降に添付

(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)

#### 4. 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)、神経既往障害、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 3 年度 (2021 年度) は令和 2 年度 (2020 年度) のパイロット調査から得られた知見 (生体試料の最適な採取タイミング) をもとに、全国 5 か所の事業所にて本調査を行った。前年度と同様、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。

B, D, E, F 事業所では吸入性粉じん (8 時間加重平均濃度) が日本産業衛生学会の許容濃度である  $1\text{mg}/\text{m}^3$  を超えた対象者の割合はそれぞれ 100%, 46.7%, 37.5%, 31.3% であり、吸入性マンガンの (時間過重平均濃度) が溶接ヒュームの気中濃度の基準値である  $0.05\text{mg}/\text{m}^3$  を超えた対象者の割合はそれぞれ 100%, 80.0%, 87.5%, 62.5% であった。さらに、吸入性マンガンの (8 時間加重平均濃度) が ACGIH の TLV-TWA (ばく露限界値)  $0.02\text{mg}/\text{m}^3$  を超えた対象者の割合はそれぞれ 100%, 86.7%, 93.8%, 68.8% であった。一方、事業所 C では吸入性粉じん (8 時間加重平均濃度) が日本産業衛生学会の許容濃度である  $1\text{mg}/\text{m}^3$  を超えた対象者は 6 名中 0 名で、吸入性マンガンの (時間過重平均濃度) が溶接ヒュームの気中濃度の基準値である  $0.05\text{mg}/\text{m}^3$  を超えた対象者は 6 名中 1 名 (測定 2 回のうち 1 回)、吸入性マンガンの (8 時間加重平均濃度) が ACGIH の TLV-TWA (ばく露限界値)  $0.02\text{mg}/\text{m}^3$  を超えた対象者は 6 名中 1 名であった。尚、作業環境測定では E 事業所で第 2 管理区分、C, D, F 事業所では第 1 管理区分であった。事業所ごとに粉じんおよびマンガンの濃度環境が異なる

ことが示唆された。それぞれの事業所における作業および作業環境を十分に考慮した上で、溶接ヒュームばく露による生体試料中の金属濃度や炎症マーカーとの関連や健康影響を検討する必要がある。

マスクフィットテストは 1 回目で PASS となった対象者の割合は C~F 事業所それぞれ 16.7%, 60.0%, 50%, 50% であり、C 事業所はマスクフィットテストが 1 回目で PASS となる対象者人数の割合が低いものの、マスク装着方法の指導後の 2 回目を含めると PASS となる対象者人数の割合は 83% まで上がった。同様に各事業所の 2 回目を含めた PASS となる対象者の割合は D 事業所では 80%, 100%, 100% まで上がった。保護具の正しい装着方法の教育の有効性が示唆された。

健康影響に関する調査では、D 事業所で疲労の蓄積点数や一部の神経学的検査結果において、また E 事業所では一部の神経学的検査において、溶接作業従事者群とコントロール群とで有意な差が認められた。また D 事業所でのみ溶接作業従事者群がコントロール群と比較して呼吸機能検査結果が正常範囲外の人数が多いという結果であった。なお、F 事業所の呼吸機能検査では溶接作業従事者 5 名、コントロール群 10 名が正常範囲以外であったが、測定中の測定機器故障および代替機使用により結果の信頼性を勘案し、FEV1.0% が 5 以下の 3 名は欠損値とするのが妥当と考えられた。

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。

#### 5. 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。生体試料中の金属・炎症マーカーの測定結果および健康影響については、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。

## 《マスクフィットテスト》

溶接ヒューム対象者に、定量的フィットテストを行った。

### ・使用機器

労研式マスクフィッティングテスターMT-05U 型

### ・フィットテスト動作 各1分間

動作	動作の内容
1. 通常の呼吸	話さずに通常の呼吸を繰り返す
2. 深呼吸	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顔を右にゆっくり振る ②右端で息を吸う ③息を吐きながら、ゆっくり顔を左に振る ④左端で息を吸う ①～④の繰り返し
4. 頭を上下に動かす	①顔を上にゆっくり振る ②上で息を吸う ③息を吐きながら、ゆっくり顔を下に振る ④下で息を吸う ①～④の繰り返し
5. 話す	はっきり聞き取れるように、1 から数を数える
6. 前屈	手をつま先にできるだけ触れるように腰を曲げてから、直立姿勢に戻る
7. 通常の呼吸	話さずに通常の呼吸を繰り返す

### ・測定方法

装着するマスクの外側の粉じん粒子数( $C_o$ )及びマスクの内側の粉じん粒子数( $C_i$ )を計測し、フィットファクター( $FF$ )を下の式によってそれぞれの動作ごとに計算される。

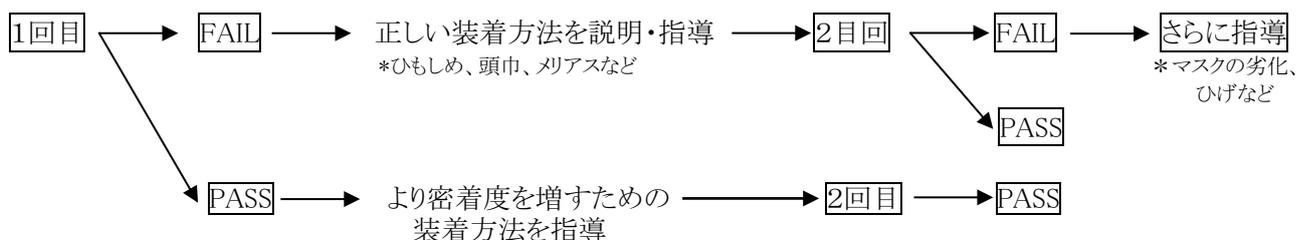
$$FF = \frac{C_i}{C_o}$$

総合的なフィットファクター(判定結果)は、7動作のフィットファクターの合計を7で割った数値である。

要求フィットファクターは、面体の種類によって異なり、全面形面体 500 以上、半面形面体 100 以上となり、総合的なフィットファクターが要求フィットファクターを上回っていた場合PASSとなる。

本調査では、以下の方法でマスクフィットテストを2回行った。

1回目は通常通りマスクを装着してもらい、FAIL・PASS に応じて、下の通りテストを行った



## 事業所 C (溶接作業従事者 6 名、コントロール 6 名)

### <質問票調査>

#### ○基本情報・生活習慣

表 1 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
溶接に従事した期間(年)	19.8	8.9	1.0	-

※コントロール群の 1 名は過去に 6 年間の溶接作業歴があり

表 2 生活習慣

	溶接作業従事者 (n=6)		コントロール (n=6)	
	n	%	n	%
たばこ				
吸わない	0	0.0	1	16.7
過去に吸っていた	2	33.3	2	33.3
現在吸っている	4	66.7	3	50.0
アルコール				
飲まない	1	16.7	2	33.3
過去飲んでいて	1	16.7	0	0.0
現在飲んでいる	4	66.7	4	66.7
野菜				
好き	4	66.7	3	50.0
どちらかといえば好き	0	0	0	0
あまり好きではない	1	16.7	3	50.0
好きではない	1	16.7	0	0

#### ○自覚症状・既往歴

・溶接作業従事者：呼吸器系の自覚症状として鼻水・鼻づまり症状 (3 名)、痰 (2 名)、息切れ (1 名) の回答があり、神経系の自覚症状として、手足のしびれ・ピリピリ感 (1 名) の回答があった。既往歴としては角膜炎・結膜炎 (1 名) の回答があった。

・コントロール：呼吸器系の自覚症状として咳 (1 名) の回答があり、神経系の自覚症状として、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。既往歴としては肺炎 (1 名)、花粉症 (2 名)、白内障 (1 名) の回答があった。

表 3 疲労の蓄積

	平均値	n	標準偏差	最大値	最長値
コントロール	16.7	6	2.9	21.0	13.0
溶接作業従事者	17.7	6	3.4	22.0	14.0
Total	17.2	12	3.1	22.0	13.0

Mann-Whitney 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。

<呼吸機能検査>

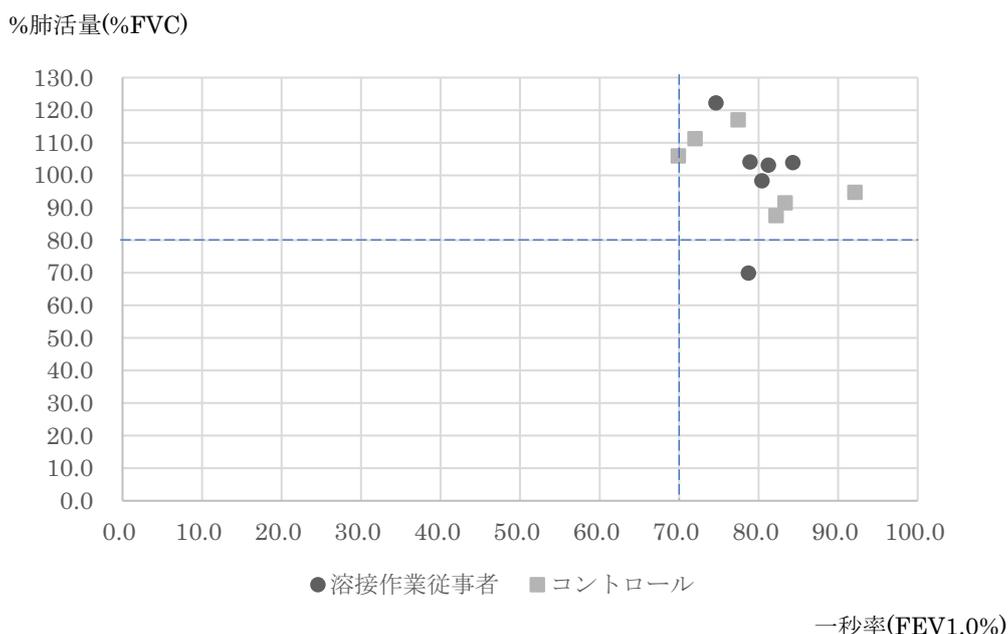


図1 呼吸機能検査

<神経学的検査>

表4 タッピング

	平均値	n	標準偏差	最大値	最長値
コントロール	132.8	6	16.8	151.0	109.0
溶接作業従事者	144.7	6	15.6	166.0	122.0
Total	138.0	12	16.7	166.0	109.0

Mann-Whitney 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 握力

	平均値	n	標準偏差	最大値	最長値
コントロール	43.2	6	3.9	48.2	37.7
溶接作業従事者	47.9	6	13.2	66.9	34.0
Total	45.5	12	9.6	66.9	34.0

Mann-Whitney 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6 WAIS

	平均値	n	標準偏差	最大値	最小値
コントロール	98.2	6	16.1	119	76
溶接作業従事者	100.8	6	11.3	114	88
Total	99.5	12	13.3	119	76

Mann-Whitney 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。

## C <溶接ヒュームの濃度測定>

### 1) 作業環境測定

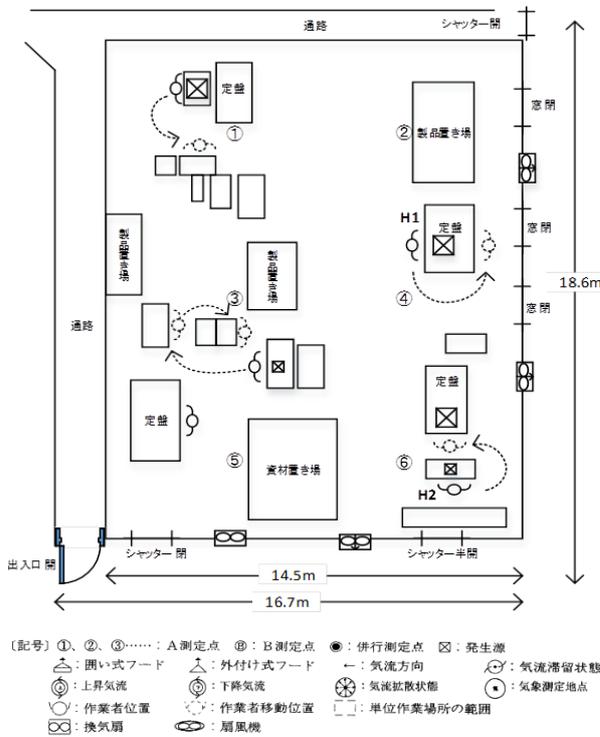


図1 デザイン

\* 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：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

作業員：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

No.	測定方法	相対濃度(cpm)	吸入性粉じん濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	吸引性粉じん濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
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 <sup>3</sup>	M2 = - mg/m <sup>3</sup>	M = 0.12 mg/m <sup>3</sup>
幾何標準偏差	σ1 = 1.31	σ2 = -	σ = 2.05
第1評価値	EA1 = 0.40 mg/m <sup>3</sup>		
第2評価値	EA2 = 0.16 mg/m <sup>3</sup>		
管理濃度	3.0mg/m <sup>3</sup>		
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 <sup>3</sup>	M2 = - mg/m <sup>3</sup>	M1 = 0.32 mg/m <sup>3</sup>
幾何標準偏差	σ1 = 1.31	σ2 = -	σ = 2.05
第1評価値	EA1 = 1.04 mg/m <sup>3</sup>		
第2評価値	EA2 = 0.41 mg/m <sup>3</sup>		

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)

[作業工程と発生源及び労働者数]

- ・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

表4 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H1	322	0.0456
2	H2	315	0.0132

表5 測定結果

マンガンの最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.0456
要求防護係数 PF <sub>γ</sub> = C/0.05	0.9

H-3 : 測定場所 第2工場 (図2)

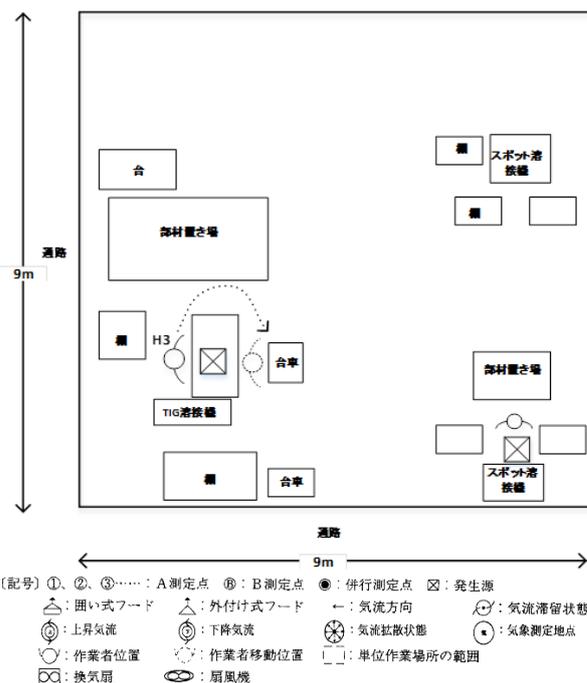


図2 デザイン

[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)

表6 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H3 (1回目)	80	0.105
2	H3 (2回目※)	55	0.005 未満

※1回目とは別日に実施

表7 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.105
要求防護係数 (P F γ)	2.1

- ・発生源：各溶接、研磨作業位置である
- ・作業者数：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)

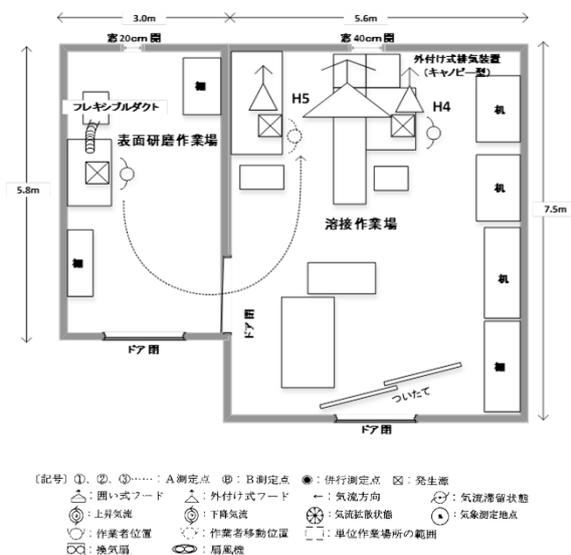


図 3 デザイン

[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  
 表 8 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H4	195	0.005 未満
2	H5	229	0.005 未満

表 9 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.005 未満
要求防護係数 (PF <sub>γ</sub> )	0.1

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：2 閉、 窓：10～20 cm 開
- ・気流の状況：窓からの気流の流入は認められなかった。

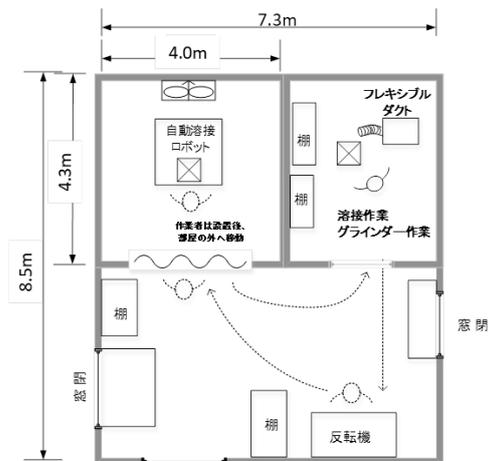
[作業場所の周辺からの影響]

- ・特に無し

[特記事項]

- ・特に無し

H-6 : 測定場所 第 4 工場 (図 4)



(記号) ①、②、③……: A測定点 ④: B測定点 ●: 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

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

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

表 1 0 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H6 (1 回目)	93	0.005 未満
2	H6 (2 回目※)	90	0.005 未満

※1 回目とは別日に実施

表 1 1 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.005 未満
要求防護係数 (PF <sub>γ</sub> )	0.1

C社マスクフィットテスト結果 モルデックス社 使い捨て式防じんマスク 4600DS2

表 1

動作	普通の呼吸	深呼吸	顔を左右に振る	顔を上下に振る	話す	前屈	普通の呼吸	平均	PASS・FAIL
H-1 1回目	19	27	30	56	86	120	121	41	FAIL
H-1 2回目	435	374	410	502	317	540	252	460	PASS
H-2 1回目	394	254	428	501	521	129	593	316	PASS
H-3 1回目	21	19	31	17	13	9	31	17	FAIL
H-3 2回目	45	28	18	20	33	10	42	22	FAIL
H-4 1回目	96	169	180	172	43	138	53	91	FAIL
H-4 2回目	172	98	153	108	38	108	293	100	PASS
H-5 1回目	22	77	54	67	67	60	118	53	FAIL
H-5 2回目	117	125	142	123	150	115	202	134	PASS
H-6 1回目	107	99	190	266	114	41	98	97	FAIL
H-6 2回目	359	244	431	613	472	119	122	237	PASS

表 2

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

モルデックス社 使い捨て式防じんマスク 4600DS2 装着風景



## 事業所 D (溶接作業従事者 15 名、コントロール 17 名)

### <質問票調査>

#### ○基本情報・生活習慣

表 1 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
溶接に従事した期間(年)	28.0	18.3	.	.

表 2 生活習慣

	溶接作業従事者 (n=15)		コントロール (n=17)	
	n	%	n	%
たばこ				
吸わない	3	20.0	6	35.3
過去に吸っていた	3	20.0	6	35.3
現在吸っている	9	60.0	5	29.4
アルコール				
飲まない	6	40.0	6	35.3
過去飲んでいて	0	0.0	2	11.8
現在飲んでいる	9	60.0	9	52.9
野菜				
好き	10	66.7	9	52.9
どちらかといえば好き	1	6.7	6	35.3
あまり好きではない	3	20.0	2	11.8
好きではない	1	6.7	0	0.0

#### ○自覚症状・既往歴

・溶接作業従事者：呼吸器系の自覚症状として鼻水・鼻づまり (3名)、痰 (2名)、咳 (1名)、息切れ (1名)、神経系の自覚症状として手足のしびれ・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) との回答があった。既往歴として花粉症 (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) であった。

・コントロール：呼吸器系の自覚症状として鼻水・鼻づまり (1名)、痰 (1名)、咳 (1名)、息切れ (2名)、喘鳴 (2名)、神経系の自覚症状として手足のしびれ・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もある (1名) との回答があった。既往歴は花粉症 (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) であった。

表 3 疲労の蓄積

	平均値	n	標準偏差	最大値	最長値
コントロール	17.9	17	5.4	32	13
溶接作業従事者	20.6	15	3.8	27	15
Total	19.2	32	4.8	32	13

平均値の比較 : Mann-Whitney test  $p=0.0255$

## <呼吸機能検査>

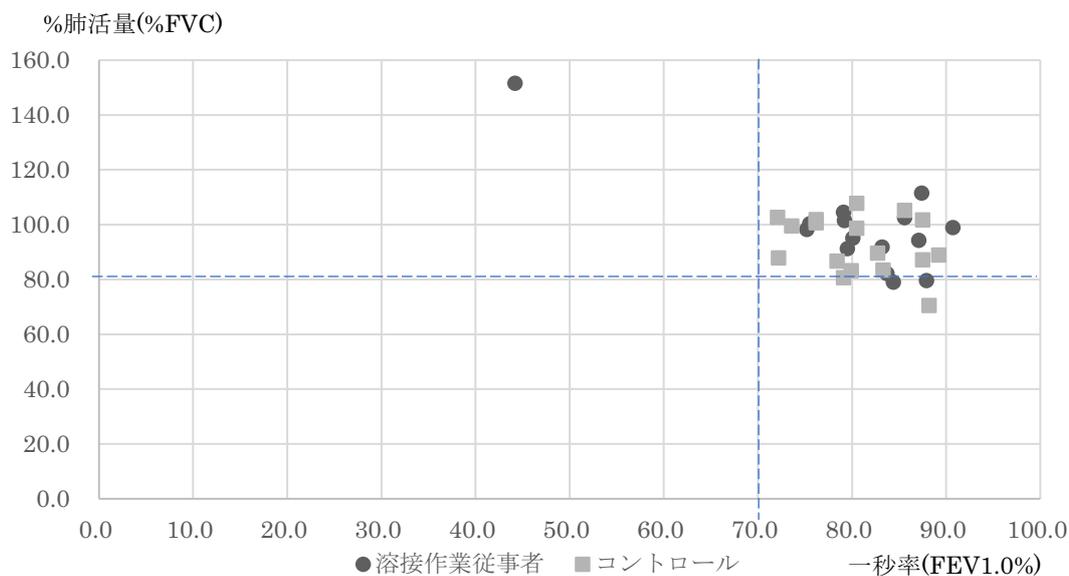


図1 呼吸機能検査

## <神経学的検査>

表4 タッピング

	平均値	n	標準偏差	最大値	最小値
コントロール	110.2	17	34.0	156	48
溶接作業従事者	79.1	15	33.7	153	28
Total	95.6	32	36.9	156	28

平均値の比較 : Mann-Whitney test  $p=0.0102$

表5 握力

	平均値	n	標準偏差	最大値	最小値
コントロール	40.7	17	6.7	54.5	29.2
溶接作業従事者	45.2	15	7.8	57.65	34.9
Total	42.8	32	7.5	57.65	29.2

Mann-Whitney 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6 WAIS

	平均値	n	標準偏差	最大値	最小値
コントロール	91.9	17	13.9	125	74
溶接作業従事者	80.2	15	10.0	94	65
Total	86.4	32	13.4	125	65

平均値の比較 : Mann-Whitney test  $p=0.0167$

## D <溶接ヒュームの濃度測定>

### 1) 作業環境測定

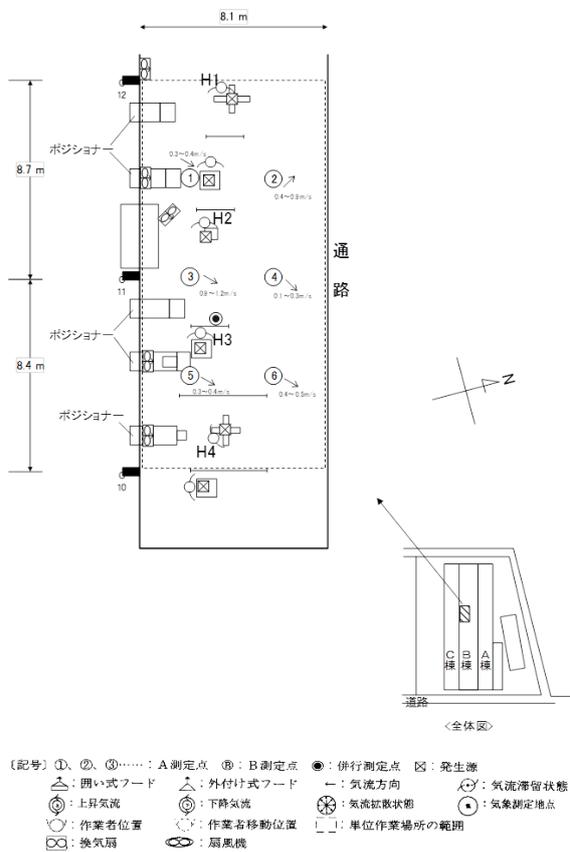


図1 デザイン

\* 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～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℃ 湿度

49% 気流 0.1～1.2m/s

外気条件 気温 28.2℃ 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 <sup>3</sup> )	吸引性粉じん濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
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 <sup>3</sup>	M2 = — mg/m <sup>3</sup>	M = 0.82 mg/m <sup>3</sup>
幾何標準偏差	σ 1 = 1.29	σ 2 = —	σ = 2.04
第1評価値	EA1 = 2.64 mg/m <sup>3</sup>		
第2評価値	EA2 = 1.05 mg/m <sup>3</sup>		
管理濃度	3.0mg/m <sup>3</sup>		
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 <sup>3</sup>	M2 = — mg/m <sup>3</sup>	M1 = 1.61 mg/m <sup>3</sup>
幾何標準偏差	σ 1 = 1.29	σ 2 = —	σ = 2.04
第1評価値	EA1 = 5.22 mg/m <sup>3</sup>		
第2評価値	EA2 = 2.08 mg/m <sup>3</sup>		

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

・作業員数：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)

〔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

〔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。

〔特記事項〕

・特に無し

表4 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H1	228	1.185
2	H2	206	0.4306
3	H3	201	0.9159
4	H4	213	0.5756
5	H5	187	0.0612

表5 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	1.185
要求防護係数 (P F γ)	24

H-6, H-7 : 測定場所 大組溶接場 (図2)

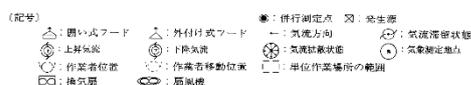
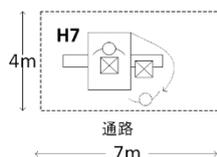
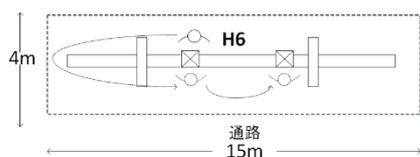


図2 デザイン

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

- ・作業工程：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

表6 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H6	213	0.0639
2	H7	200	0.6079

表7 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.608
要求防護係数 (P F Y)	12

H-8, H-9, H-10 : 測定場所 梁溶接場 (図3)

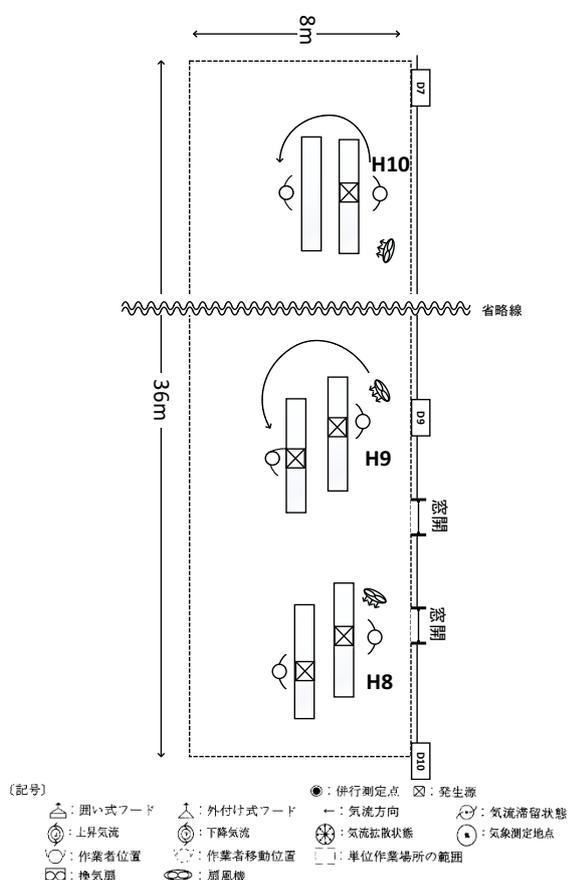


図3 デザイン

〔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  
・作業員数：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

表 8 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H8	199	0.6536
2	H9	209	1.442
3	H10	202	0.1838

表 9 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	1.442
要求防護係数 (P F Y)	29

H-11, H-12 : 測定場所 C棟組立場 (図 4)

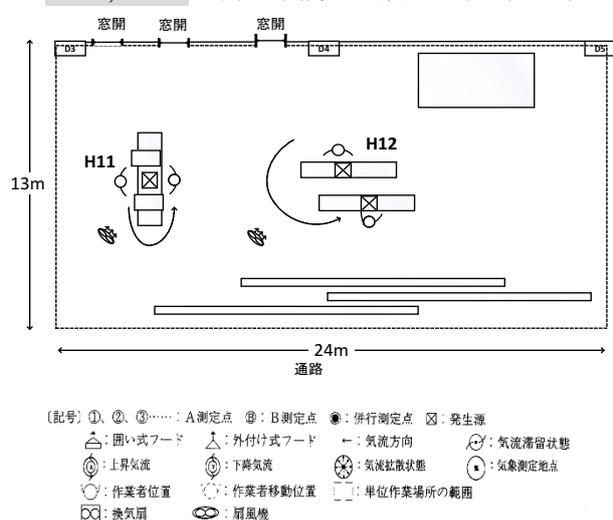


図 4 デザイン

〔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

表 10 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H11	149	0.0843
2	H12	175	0.0255

\*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。

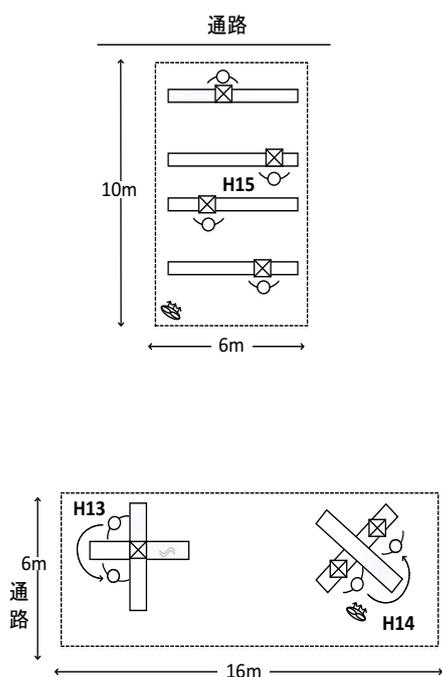
〔特記事項〕

- ・特に無し

表 1 1 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.0843
要求防護係数 (P F Y)	1.7

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)



(記号)  
 △: 開い式フード △: 外付け式フード ●: 併行測定点 □: 発生源  
 ⊙: 上昇気流 ⊖: 下降気流 →: 気流方向 ⊕: 気流滞留状態  
 ⊙: 作業員位置 ⊙: 作業員移動位置 ⊗: 気流拡散状態 ⊙: 気象測定地点  
 ⊙: 換気扇 ⊙: 扇風機 ⊕: 単位作業場所の範囲

図 5 デザイン

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

- ・作業工程: 鉄骨製品の本溶接作業

部材を準備する～溶接位置決め～組立溶接

表 1 1 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H13	209	0.0496
2	H14	163	0.0923
3	H15	181	0.0412

表 1 2 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.0923
要求防護係数 (P F Y)	1.8

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

D 社マスクフィットテスト結果 興研 防じんマスク サカキ式 1005RR-05 型

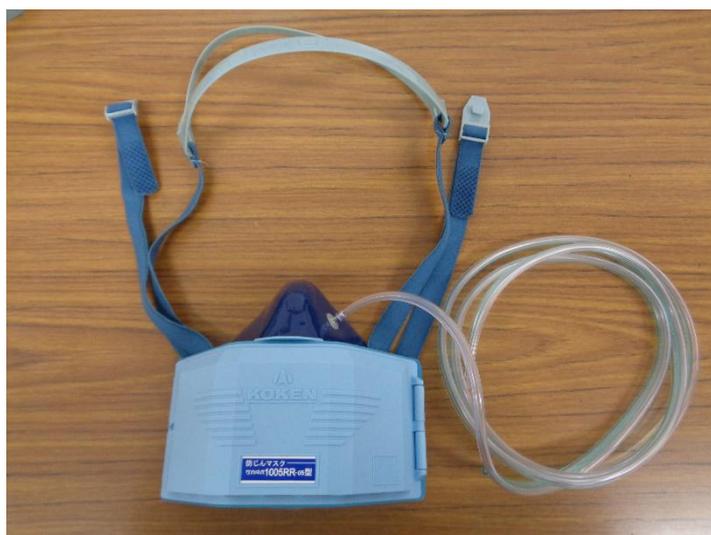
表1

動作	普通の呼吸	深呼吸	顔を左右に振る	顔を上下に振る	話す	前屈	普通の呼吸	平均	PASS・FAIL
H-1 1回目	2667	1811	1282	2786	2506	1690	3172	2076	PASS
H-2 1回目	1346	6013	267	2895	4091	188	621	574	PASS
H-3 1回目	2	2	2	3	6	3			FAIL
H-3 2回目	68	62	127	66	96	143	190	91	FAIL
H-4 1回目	29	42	71	62	45	26	47	41	FAIL
H-4 2回目	3796	6910	574	4572	3624	31	52	129	PASS
H-5 1回目	525	1128	108	152	2638	495	5793	331	PASS
H-6 1回目	834	1899	506	1763	3365	1146	8776	1260	PASS
H-7 1回目	20	33	17	29	27	13	25	21	FAIL
H-7 2回目	2165	787	213	496	994	325	1288	526	PASS
H-8 1回目	7	17	17	18	7	18	10	11	FAIL
H-8 2回目	179	254	169	567	318	221	680	265	PASS
H-9 1回目	179	160	232	329	1082	68	1020	195	PASS
H-10 1回目	1135	178	82	21	1378	128	560	92	FAIL
H-10 2回目	372	358	86	25	129	141	1224	95	FAIL
H-10 3回目	1447	106	77	132	888	153	935	177	PASS
H-11 1回目	1745	527	336	320	1869	108	568	348	PASS
H-12 1回目	1262	1140	197	1018	822	572	2558	632	PASS
H-13 1回目	8258	1355	586	585	460	83	951	359	PASS
H-14 1回目	5	10	13	16	22	11	12	11	FAIL
H-14 2回目	12	15							FAIL
H-15 1回目	3189	1744	830	1281	2826	977	3491	1543	PASS

表 2

D 事業所	1 回目	2 回目	3 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	PASS
H-11	PASS		
H-12	PASS		
H-13	PASS		
H-14	FAIL	FAIL	
H-15	PASS		
PASS 合計	9	3	

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 (溶接作業従事者 16 名、コントロール 16 名)

### <質問票調査>

#### ○基本情報・生活習慣

表 1 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

表 2 生活習慣

	溶接作業従事者 (n=16)		コントロール (n=16)	
	n	%	n	%
たばこ				
吸わない	3	18.8	7	43.8
過去に吸っていた	2	12.5	3	18.8
現在吸っている	11	68.8	6	37.5
アルコール				
飲まない	6	37.5	9	56.3
過去飲んでいて	2	12.5	0	0.0
現在飲んでいる	8	50.0	7	43.8
野菜				
好き	6	37.5	6	37.5
どちらかといえば好き	5	31.3	6	37.5
あまり好きではない	5	31.3	4	25.0
好きではない	0	0.0	0	0.0

#### ○自覚症状・既往歴

・溶接作業従事者：呼吸器系の自覚症状として鼻水・鼻づまり (4名)、痰 (2名)、咳 (1名)、神経系の自覚症状として筋肉がピクピクする (1名)、発汗のせいで、日常生活で困ることがある (1名)、よだれが多い、よだれが出やすい (1名) との回答があった。既往歴として花粉症 (7名)、肺炎 (1名)、喘息 (3名) であった。

・コントロール：呼吸器系の自覚症状として鼻水・鼻づまり (2名)、神経系の自覚症状として手足のしびれ・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、日常生活で困ることがある (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) との回答があった。既往歴は花粉症 (9名)、喘息 (2名)、肺炎 (2名)、角膜炎・結膜炎 (1名)、黄斑変性 (1名) であった。

表 3 疲労の蓄積

	平均値	n	標準偏差	最大値	最小値
コントロール	19.6	16	5.3	35	13
溶接作業従事者	17.9	16	4.3	29	13
Total	18.8	32	4.8	35	13

Mann-Whitney 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。

## <呼吸機能検査>

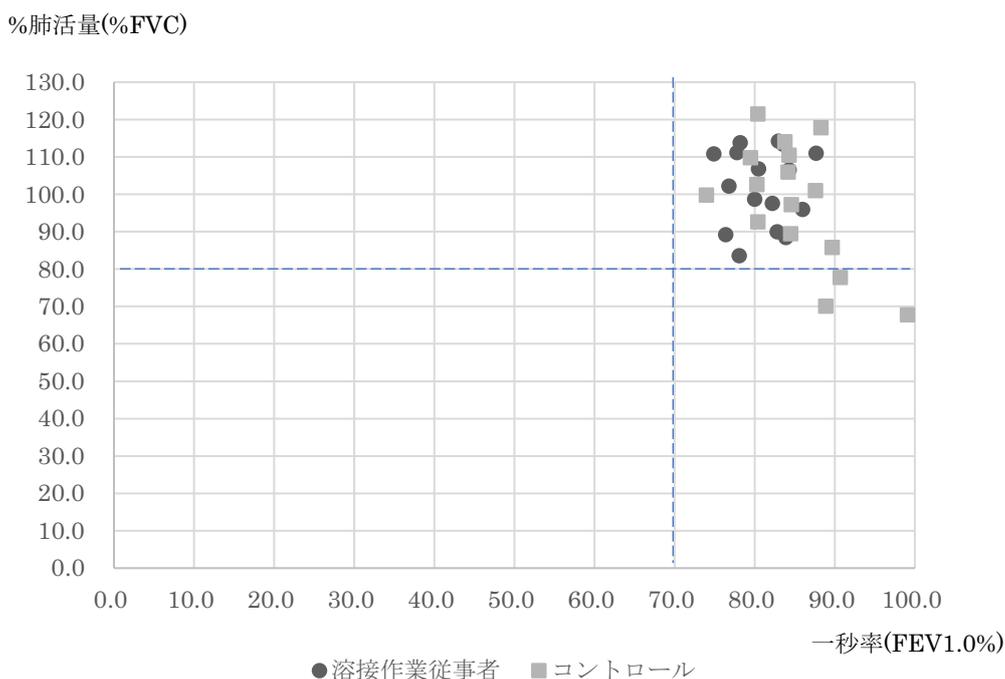


図1 呼吸機能検査

## <神経学的検査>

表4 タッピング

	平均値	n	標準偏差	最大値	最小値
コントロール	118.0	16	31.0	168	52
溶接作業従事者	111.3	16	26.1	157	64
Total	114.6	32	28.4	168	52

Mann-Whitney 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 握力

	平均値	n	標準偏差	最大値	最小値
コントロール	43.6	16	7.9	57.6	32.9
溶接作業従事者	48.7	16	7.3	61.4	34.7
Total	46.2	32	7.9	61.4	32.9

Mann-Whitney 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6 WAIS

	平均値	n	標準偏差	最大値	最小値
コントロール	106.6	16	13.2	125	88
溶接作業従事者	95.1	16	15.8	134	76
Total	100.8	32	15.5	134	76

平均値の比較 : Mann-Whitney test  $p=0.0313$

## E <溶接ヒュームの濃度測定>

### 1) 作業環境測定

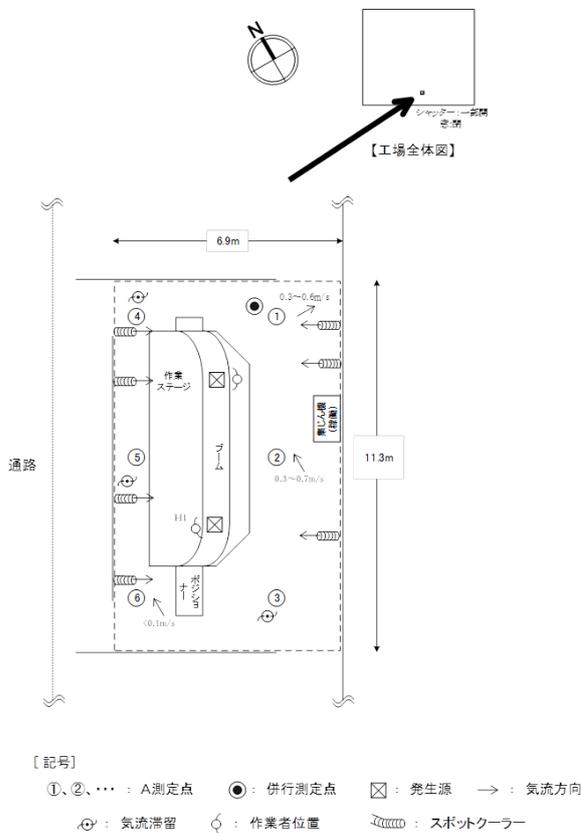


図1 デザイン

\* 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者数〕

作業工程：本溶接作業

部材の搬入～はつり作業（チッ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

作業者：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 <sup>3</sup> )	吸引性粉じん濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
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 <sup>3</sup>	M2 = - mg/m <sup>3</sup>	M = 1.35 mg/m <sup>3</sup>
幾何標準偏差	σ 1 = 1.82	σ 2 = -	σ = 2.45
第1評価値	EA1 = 5.90 mg/m <sup>3</sup>		
第2評価値	EA2 = 2.01 mg/m <sup>3</sup>		
管理濃度	3.0mg/m <sup>3</sup>		
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 <sup>3</sup>	M2 = - mg/m <sup>3</sup>	M1 = 1.73 mg/m <sup>3</sup>
幾何標準偏差	σ 1 = 1.82	σ 2 = -	σ = 2.45
第1評価値	EA1 = 7.58 mg/m <sup>3</sup>		
第2評価値	EA2 = 2.59 mg/m <sup>3</sup>		

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)

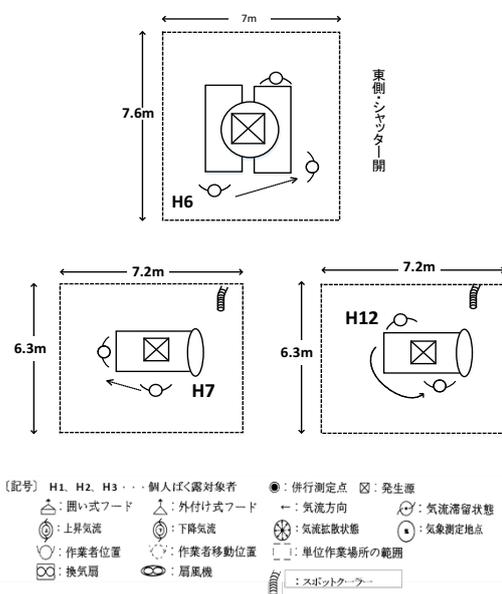


図2 デザイン

〔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

\*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レーンが各 1 台づつ稼働していた

・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

表4 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H6	241	0.0758
2	H7	246	0.186
3	H12	255	0.0611

表5 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.186
要求防護係数 (P F Y)	3.7

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

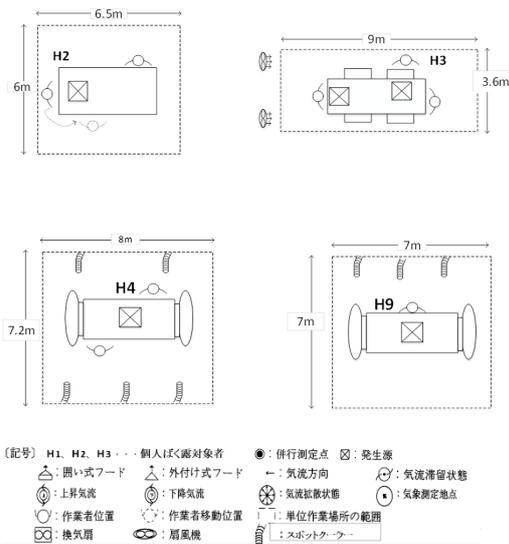


図3 デザイン

[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

表6 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H2	255	0.0556
2	H3	284	0.192
3	H4	278	0.457
4	H9	281	0.0955

表7 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.457
要求防護係数 (P F Y)	9.1

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

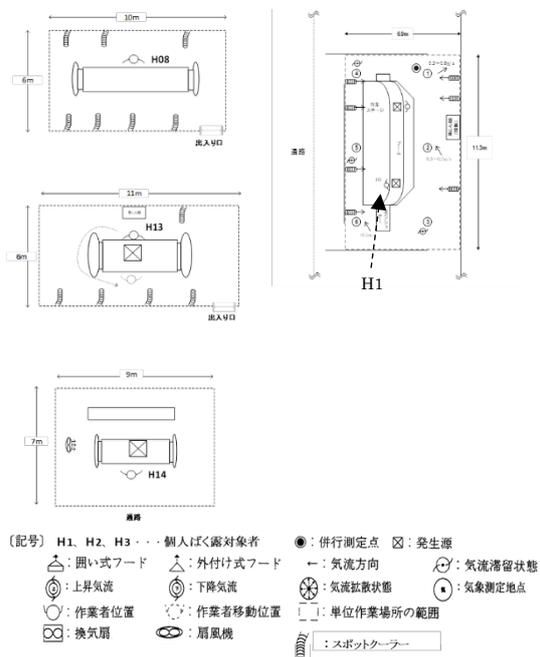


図4 デザイン

〔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

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

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づつ稼働していた

・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

表8 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H1	260	0.0903
2	H8	250	0.107
3	H13	285	0.0446
4	H14	272	0.135

表9 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.135
要求防護係数 (P F Y)	2.7

H-5, H-10, H-11 : 測定場所 (作業) センターフレーム組 (図5)

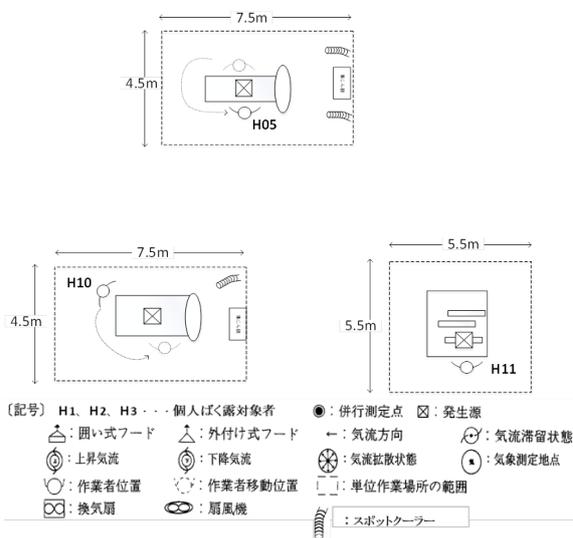


図5 デザイン

〔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レーン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

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。

表 1 0 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H5	258	0.165
2	H10	260	0.775
3	H11	253	0.0120

表 1 1 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.775
要求防護係数 (P F Y)	15.5

H-15 H-16：測定場所（作業）薄版・プレス組（図 6）

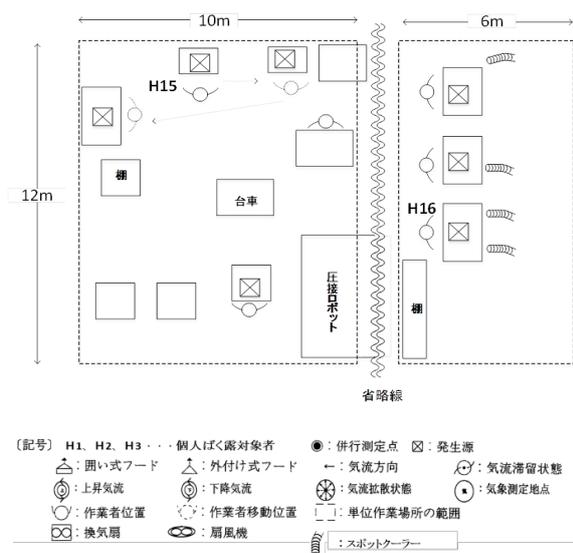


図 6 デザイン

〔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

・作業者数：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

・半自動溶接場：無

・No.㉒、㉓ K 棟 14 スパンの作業場にはスポットクレーン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レーン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。

表 1 2 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H15	248	0.0869
2	H16	303	0.126

表 1 1 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.126
要求防護係数 (P F Y)	2.5

## E 社マスクフィットテスト結果 重松 防じんマスク DR28SU2W

表 1

動作	普通の呼吸	深呼吸	顔を左右に振る	顔を上下に振る	話す	前屈	普通の呼吸	平均	PASS・FAIL
H-1 1回目	10	12	12	13	18	17	16	13	FAIL
H-1 2回目	7741	5387	3323	2741	2747	4785	3909	3869	PASS
H-2 1回目	5	5	4	6	6	6	6	5	FAIL
H-2 2回目	4430	4371	1125	19704	10693	14345	33538	4411	PASS
H-3 1回目	14	9	12	14	25	12	18	14	FAIL
H-3 2回目	7525	16281	6035	12402	3211	5638	15578	7045	PASS
H-4 1回目	3	3	4	4	3	3	3	3	FAIL
H-4 2回目	846	831	1442	27	377	246	1031	147	PASS
H-5 1回目	3	7	8	6	3	6	6	5	FAIL
H-5 2回目	4542	2728	1945	3859	4648	2051	9319	3226	PASS
H-6 1回目	3915	4632	3971	3426	2624	9084	7871	4286	PASS
H-6 2回目	2265	6670	3816	7125	1990	10126	32269	4305	PASS
H-7 1回目	1752	2939	1692	5640	2966	2363	9395	2749	PASS
H-7 2回目	3887	13224	3076	6290	9992	526	28365	2452	PASS
H-8 1回目	489	510	874	1567	2007	936	1429	869	PASS
H-8 2回目	1503	1383	1391	1354	1618	2017	2523	1607	PASS
H-9 1回目	1486	3582	673	636	2911	762	7111	1205	PASS
H-10 1回目	480	2279	107	311	281	10483	488	336	PASS
H-11 1回目	70	16	35	76	512	1176	1888	57	FAIL
H-11 2回目	6471	5031	4837	3718	2436	3536	4262	3984	PASS
H-12 1回目	8124	3917	1729	5619	2070	4086	14201	3621	PASS
H-12 2回目	9256	9628	6439	15052	5511	12234	20372	9384	PASS
H-13 1回目	108	130	75	87	87	147	112	101	PASS
H-13 2回目	2558	14307	4537	3144	1195	4724	18984	3333	PASS
H-14 1回目	9	15	15	13	6	13	8	10	FAIL
H-14 2回目	937	1229	394	639	2554	550	4426	832	PASS
H-15 1回目	292	3928	12	6	9	35	274	17	FAIL
H-15 2回目	1177	8176	9847	16024	3387	170	112	431	PASS
H-16 1回目	712	509	50	52	2265	322	1942	150	PASS
H-16 2回目	1317	1463	1086	1659	9129	2850	3560	1888	PASS

表 2

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	

重松 防じんマスク DR28SU2W を使用した場合



## 事業所 F (溶接作業従事者 16 名、コントロール 16 名)

### <質問票調査>

#### ○基本情報・生活習慣

表 1 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

表 2 生活習慣

	溶接作業従事者 (n=16)		コントロール (n=16)	
	n	%	n	%
たばこ				
吸わない	2	12.5	5	31.3
過去に吸っていた	3	18.8	3	18.8
現在吸っている	11	68.8	8	50.0
アルコール				
飲まない	2	12.5	10	62.5
過去飲んでいて	0	0.0	2	12.5
現在飲んでいる	14	87.5	4	25.0
野菜				
好き	7	43.8	8	50.0
どちらかといえば好き	4	25.0	5	31.3
あまり好きではない	5	31.3	3	18.8
好きではない	0	0.0	0	0.0

#### ○自覚症状・既往歴

・溶接作業従事者：呼吸器系の自覚症状として鼻水・鼻づまり (2名)、痰 (2名)、咳 (3名)、息切れ (1名)、神経系の自覚症状として手足のしびれ・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) との回答があった。既往歴として花粉症 (5名)、肺炎 (1名)、喘息 (1名)、眼内異物 (2名) であった。

・コントロール：呼吸器系の自覚症状として鼻水・鼻づまり (4名)、咳 (1名)、痰 (1名)、喘鳴 (1名)、神経系の自覚症状として手足のしびれ・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)、字を書いているとどんどん小さくなる (1名)、発汗のせいで、日常生活で困ることがある (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) との回答があった。既往歴は花粉症 (6名)、喘息 (4名)、気管支炎 (1名)、角膜炎・結膜炎 (1名)、白内障 (1名)、眼底出血 (1名)、がん・悪性腫瘍 (1名) であった。

表 3 疲労の蓄積

	平均値	n	標準偏差	最大値	最小値
コントロール	18.2	16	3.9	25	13
溶接作業従事者	19.1	16	4.3	26	13
Total	18.7	32	4.1	26	13

Mann-Whitney 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。

## <呼吸機能検査>

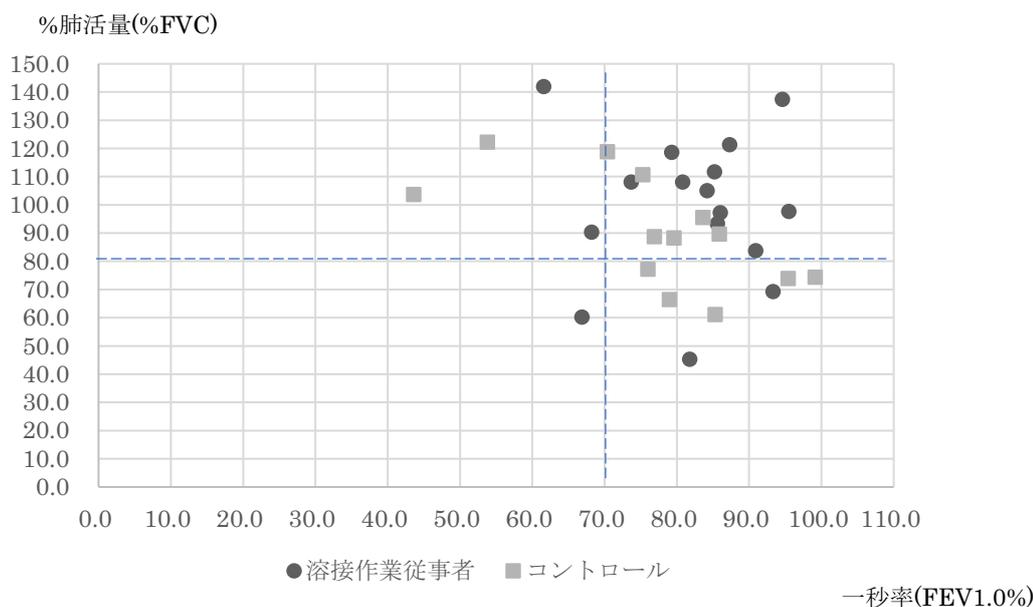


図1 呼吸機能検査

\*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  
 コントロールのうち、一秒率 (EFV1.0%) が10以下の3名は欠損値として取り扱った。

## <神経学的検査>

表4 タッピング

	平均値	n	標準偏差	最大値	最小値
コントロール	108.7	16	32.8	170	48
溶接作業従事者	92.4	16	34.9	163	35
Total	100.5	32	34.4	170	35

Mann-Whitney 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 握力

	平均値	n	標準偏差	最大値	最小値
コントロール	44.1	16	8.2	61.7	29.1
溶接作業従事者	43.2	16	6.2	57.1	34.3
Total	43.7	32	7.2	61.7	29.1

Mann-Whitney 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6 WAIS

	平均値	n	標準偏差	最大値	最小値
コントロール	95.3	16	19.3	141	71
溶接作業従事者	83.6	14	8.1	94	74
Total	89.8	30	16.0	141	71

Mann-Whitney 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。

## F <溶接ヒュームの濃度測定>

### 1) 作業環境測定

#### 梁溶接作業場所

(作業環境測定、個人ばく露測定者 H13,H14)

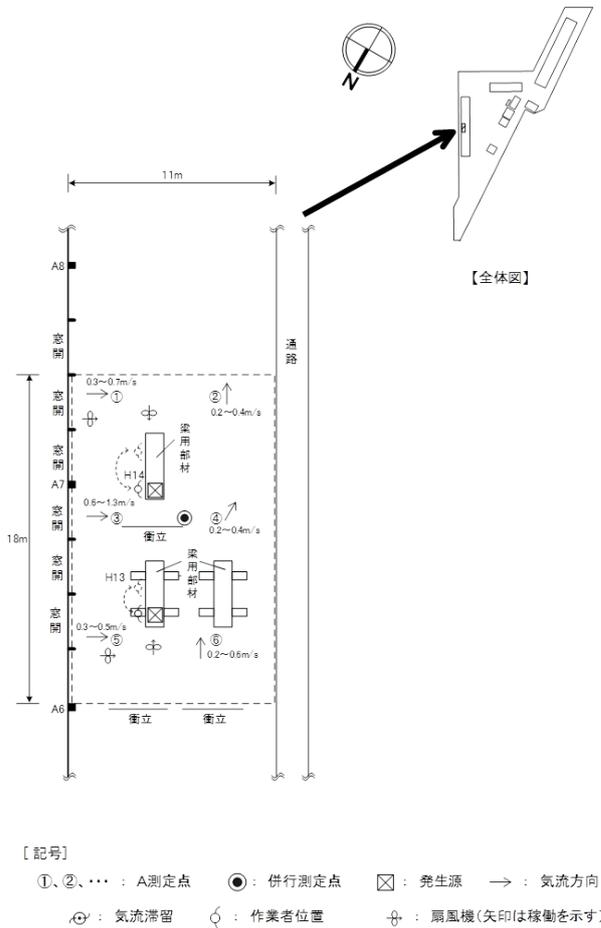


図1 デザイン

\* 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、サカキ式 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

測定方法 No.	相対濃度(cpm)	吸入性粉じん濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	吸引性粉じん濃度 (mg/m <sup>3</sup> )
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 <sup>3</sup>	M2 = - mg/m <sup>3</sup>	M = 0.50 mg/m <sup>3</sup>
幾何標準偏差	σ 1 = 1.11	σ 2 = -	σ = 1.96
第1評価値	EA1 = 1.50 mg/m <sup>3</sup>		
第2評価値	EA2 = 0.62 mg/m <sup>3</sup>		
管理濃度	3.0mg/m <sup>3</sup>		
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 <sup>3</sup>	M2 = - mg/m <sup>3</sup>	M1 = 0.72 mg/m <sup>3</sup>
幾何標準偏差	σ 1 = 1.11	σ 2 = -	σ = 1.96
第1評価値	EA1 = 2.18 mg/m <sup>3</sup>		
第2評価値	EA2 = 0.90 mg/m <sup>3</sup>		

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)

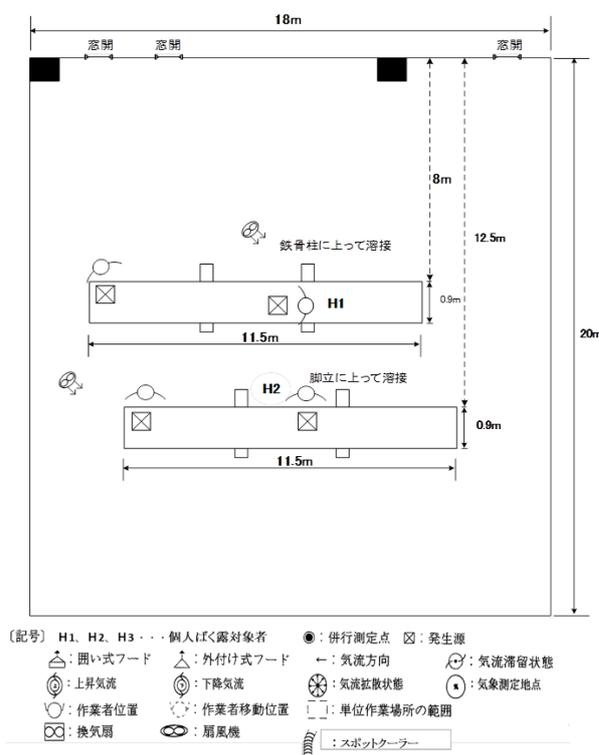


図2 デザイン

[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、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。

・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。

〔特記事項〕

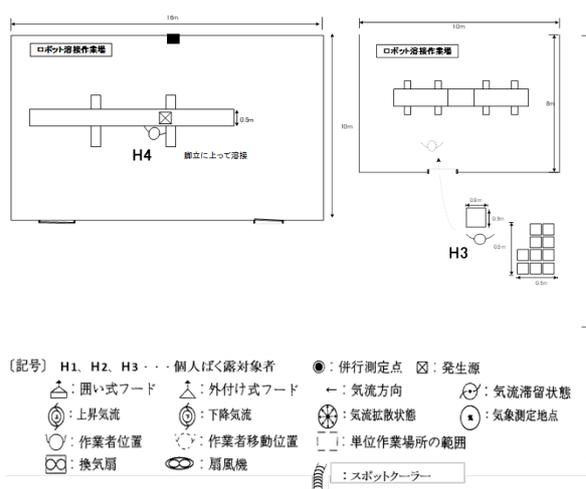
表 4 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H1	288	0.758
2	H2	281	0.475

表 5 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.758
要求防護係数 (P F Y)	15.2

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)



〔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い  
 ・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ったと考えられる。

〔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った。

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)

表6 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H3	300	0.003
2	H4	307	0.026

表7 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.026
要求防護係数 (P F Y)	0.5

H-5, H-6 : 測定場所 (作業) PL、H 一次加工 (図4)

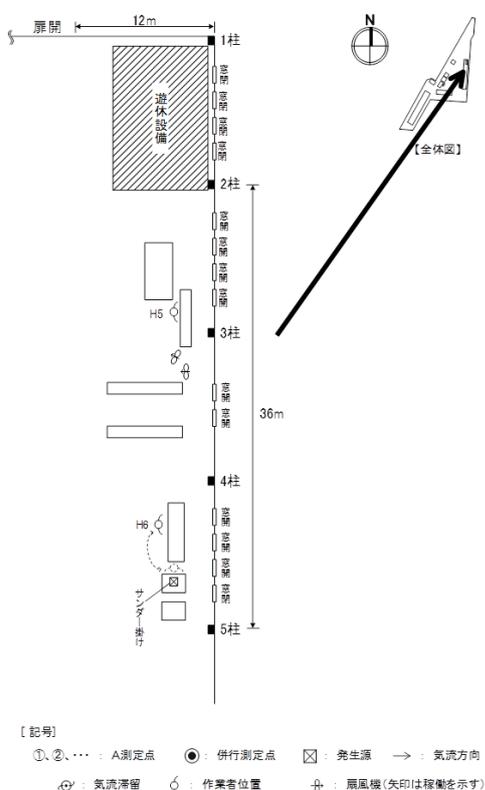


図4 デザイン

〔作業工程と発生源及び労働者数〕

・作業工程：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

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

・作業者数：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った

・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ったと考えられる。

〔特記事項〕

・作業員 H5、H6 共に、本調査日は溶接作業はなかったが、溶接作業を行う日もある。

表8 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H5	331	0.003
2	H6	332	0.003

表 9 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.003
要求防護係数 (P F Y)	0.1

H-7, H-8 : 測定場所 (作業) 柱仕口、大組立溶接作業 (図 5)

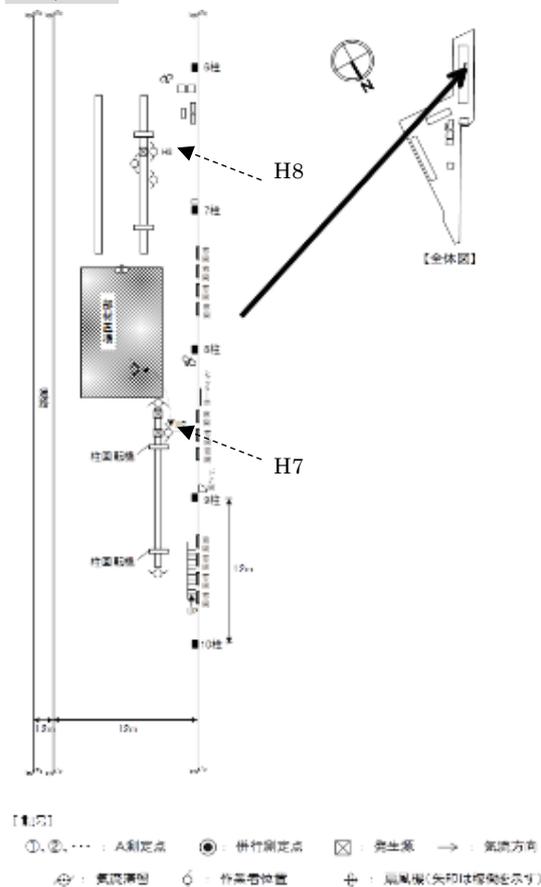


図 5 デザイン

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]

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

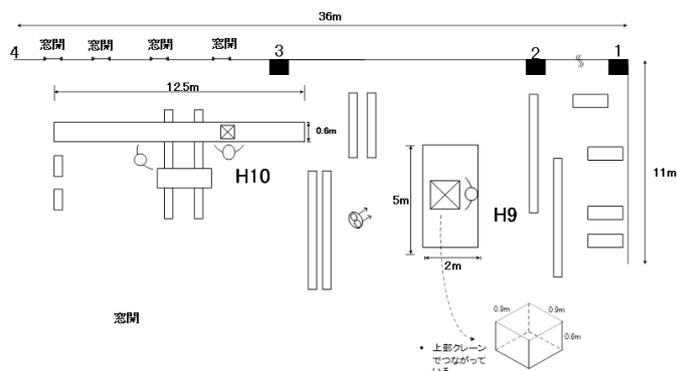
表 10 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H7	291	0.052
2	H8	294	0.096

表 11 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.096
要求防護係数 (P F Y)	1.9

H-9, H-10 : 測定場所（作業）柱仕口、大組立溶接作業（図6）



- ・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

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

・作業人数：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

〔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)

表12 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H9	313	0.203
2	H10	300	0.021

表13 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.203
要求防護係数 (PFY)	4.1

H-11, H-12 : 測定場所（作業）梁溶接作業（図7）

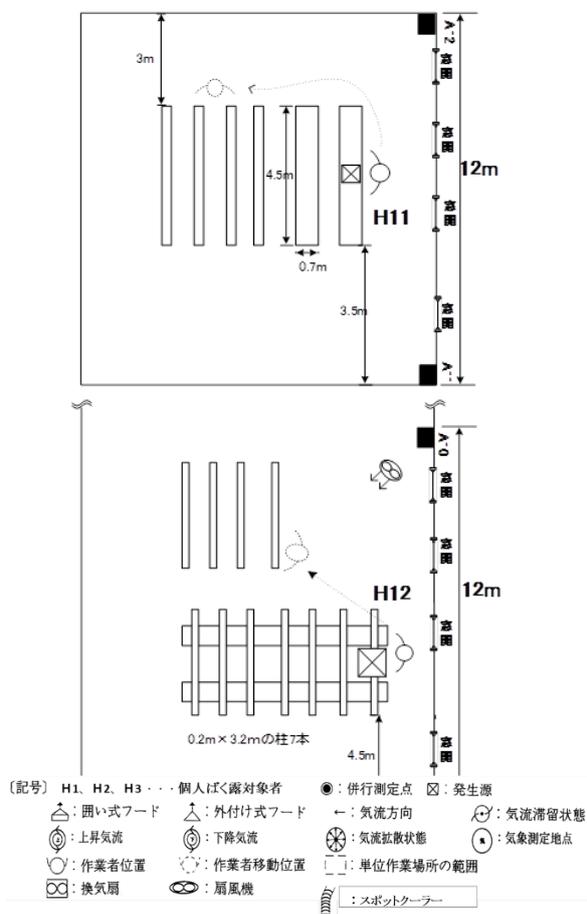


図7 デザイン

〔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。

表14 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H11	274	0.112
2	H12	285	0.038

表15 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.112
要求防護係数 (P F γ)	2.2

H-13, H-14 : 測定場所 (作業) 梁溶接作業 (図 8)

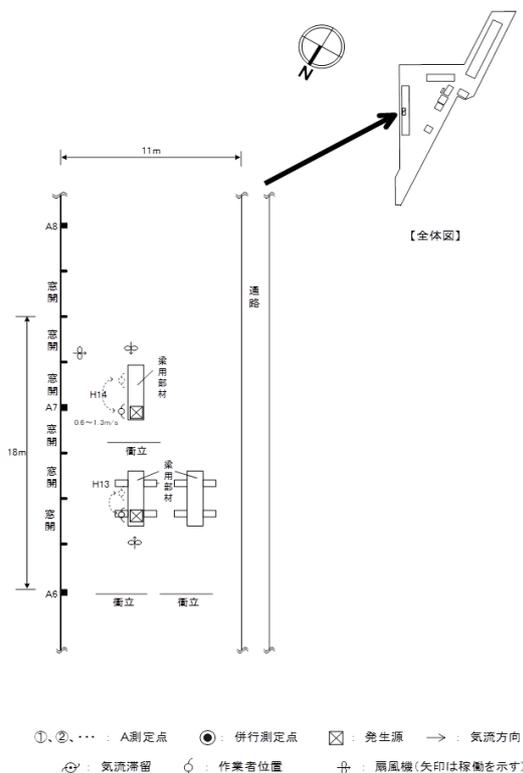


図 8 デザイン

[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：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

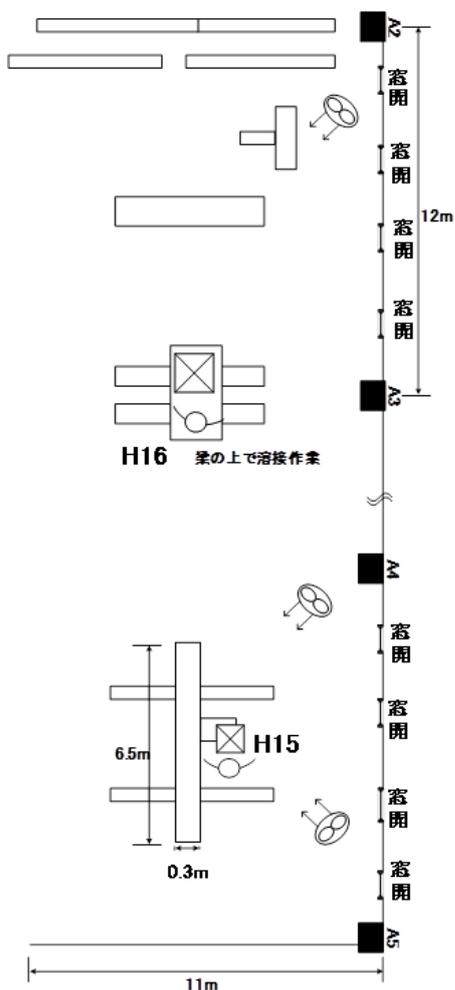
表 1 6 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H13	263	0.480
2	H14	272	0.163

表 1 7 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.480
要求防護係数 (P F Y)	9.6

H-15, H-16 : 測定場所 (作業) 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

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

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

表 1 8 個人ばく露測定結果一覧

No.	氏名等	サンプリング時間 (分)	測定時間加重平均濃度 マンガンとして (mg/m <sup>3</sup> )
1	H15	296	0.220
2	H16	308	0.409

表 1 9 測定結果

マンガン濃度の最大の値 (C) (mg/m <sup>3</sup> )	0.409
要求防護係数 (P F Y)	8.2

F 社マスクフィットテスト結果 興研 防じんマスク サカキ式 1005RR-05 型

表 1

\*プリンターの不具合のため、記録できず

動作	普通の呼吸	深呼吸	顔を左右に振る	顔を上下に振る	話す	前屈	普通の呼吸	平均	PASS・FAIL
H-1 1回目	*	*	*	*	*	*	*	*	FAIL
H-1 2回目	1564	342	132	240	403	51	184	*	PASS
H-2 1回目	29	298	256	133	76	44	*	81	FAIL
H-2 2回目	177	193	362	280	67	64	*	*	PASS
H-3 1回目	13	17	11	16	29	10	24	15	FAIL
H-3 2回目	479	255	252	59	213	28	440	100	PASS
H-4 1回目	457	1429	152	95	382	114	6229	222	PASS
H-4 2回目	3642	2176	355	623	9818	1033	2766	1063	PASS
H-5 1回目	783	144	360	954	1396	190	1803	377	PASS
H-5 2回目	4414	471	849	176	1704	136	825	381	PASS
H-6 1回目	239	192	597	1118	440	66	1260	233	PASS
H-6 2回目	465	1530	494	1804	1535	227	282	501	PASS
H-7 1回目	3402	21577	2872	6245	5186	718	12191	2782	PASS
H-7 2回目	8622	15619	8988	14110	3666	2500	6003	5826	PASS
H-8 1回目	715	1218	199	120	1613	526	249	317	PASS
H-8 2回目	2695	2299	394	510	2079	474	2293	840	PASS
H-9 1回目	269	158	912	750	1720	215	222	315	PASS
H-10 1回目	270	1287	459	1545	2571	629	5947	741	PASS
H-11 1回目	90788	8321	4406	8399	7252	1603	80313	5594	PASS
H-11 2回目	82349	9493	9455	7773	8171	1153	31963	5098	PASS
H-12 1回目	3	3	4	4	5	5	6	4	FAIL
H-12 2回目	1983	3918	423	819	721	398	18088	843	PASS
H-13 1回目	156	853	2080	492	583	345	1143	449	PASS
H-13 2回目	1552	598	1378	1768	2927	508	1752	1079	PASS
H-14 1回目	131	73	14	60	113	102	363	54	FAIL
H-14 2回目	1517	752	653	557	1689	167	1393	555	PASS
H-15 1回目	1555	204	107	5	436	55	1784	28	FAIL
H-15 2回目	1167	910	77	138	828	52	1557	162	PASS
H-16 1回目	5	8	167	55	14	8	4	9	FAIL
H-16 2回目	1037	402	553	458	328	316	735	466	PASS

表 2

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	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		PASS(2 回目も実施)
H-10	PASS		PASS(2 回目も実施)
H-11	FAIL	PASS	
H-12	PASS		PASS(2 回目も実施)
H-13	FAIL	PASS	
H-14	FAIL	PASS	
H-15	FAIL	PASS	
H-16	FAIL	PASS	
PASS 合計	8	8	

興研 防じんマスク サカキ式 1005RR-05 型を使用した場合



溶接作業従事者の健康影響に関する検討：  
血中・尿中の金属濃度等の比較

研究分担者 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

**研究結果**

溶接作業従事者の健康影響に関する検討：血中・尿中の金属濃度等の比較を 54 ページ以降に記す。

## 目的および測定対象の金属について

1. 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、ばく露群（溶接作業従事者）と同事業所に所属する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 つである。いずれも週後半の午後に採取した生体試料を用いた。なお、亜鉛とアルミニウムの測定は、1つの事業所（10名）のみであったことより、今回は解析の対象から除いている。

- 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

基準値については、公表されている値を参考にした。

	カドミウム(Cd)	ニッケル(Ni)	マンガン(Mn)	クロム(Cr)	鉛(Pb)
血液	0.5 $\mu$ g/dL 以下	0.6 $\mu$ g/dL 以下	0.4~2.0 $\mu$ g/dL	基準値なし	1.0 $\mu$ g/dL 以下
尿	3.8 $\mu$ g/L 以下	基準値なし	2.0 $\mu$ g/L 未満	基準値なし	基準値なし

2. 個人サンプラーを用いた測定結果を用い、溶接作業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。

## 研究対象者

5つの事業所を対象とし、ばく露群 58 名、コントロール群 60 名（すべて男性）について、生体試料中の金属濃度の測定を行った。対象者の属性を表 1 に示す。

コントロール群と比べて、ヒュームばく露群は、肥満者の割合が低く、喫煙率が高く、飲酒習慣のある者が多い集団であった。

表 1 本調査の対象者の属性分布

		コントロール群 (n=60)	ヒュームばく露群 (n=58)	P 値
事業所	B	5 (8%)	5 (9%)	
	C	6 (10%)	6 (10%)	
	D	17 (28%)	15 (26%)	
	E	16 (27%)	16 (28%)	
	F	16 (27%)	16 (29%)	
年齢	平均値(SD)	41.0 (12.7)	43.2 (14.2)	0.540*
BMI	平均値(SD)	25.0 (3.7)	23.0 (2.9)	0.005*
	25 未満	33 (55%)	44 (76%)	0.016**
	25 以上	19 (32%)	13 (22%)	
	30 以上	8 (13%)	1 (2%)	
溶接経験	なし	45 (75%)	0	<0.001**
	あり	15 (25%)	58	
溶接経験年数	中央値 (範囲)	6 (0, 41)	16.5 (0***, 56)	0.001*
	10 年未満	9 (64%)	14 (24%)	0.008
	10 年以上	4 (29%)	19 (33%)	
	20 年以上	1 (7%)	25 (43%)	
喫煙習慣	なし	20 (33%)	8 (14%)	0.008**
	禁煙	18 (30%)	13 (22%)	
	現在、喫煙	22 (37%)	37 (64%)	
受動喫煙#	ほとんどなし	31 (82%)	18 (86%)	0.283**
	週 1-3 日	6 (16%)	1 (5%)	
	週 4 日以上	1 (3%)	2 (10%)	
飲酒習慣	飲まない	29 (48%)	16 (28%)	0.047**
	以前、飲んでいて	5 (8%)	4 (7%)	
	現在も飲んでいる	26 (43%)	38 (66%)	

\*Mann-Whitney U test

\*\*Fisher's exact test

\*\*\*周囲で溶接作業をしている職場環境にある者 1 名を含む

#現在、喫煙者を除く

生体試料中の金属濃度の分布

ヒュームばく露群とコントロール群において、血液・尿中の各金属濃度の分布を比較した（表 2）。カテゴリーのカットオフ値には、検出限界値および公表されている基準値（前述）をそれぞれ用いた。ばく露群において、尿中の Cd および Mn 濃度が高い者が分布していた。また統計的有意差はないものの、血中 Mn と Pb においてもばく露群で値が高い傾向が認められた。

表 2 ばく露群とコントロール群の比較：試料中の金属濃度分布（基準値/限界値別）

金属	試料	カテゴリー	人数 (%)		P 値*
			コントロール群	ヒュームばく露群	
Cd	血液 ( $\mu\text{g/dL}$ )	限界値 (0.1) 以下	53 (88%)	51 (88%)	1.00
		基準値 (0.5) 以下	7 (12%)	7 (12%)	
		>基準値 (0.5)	0	0	
	尿 ( $\mu\text{g/L}$ )	限界値 (0.4) 以下	38 (63%)	17 (29%)	<0.001
		基準値 (3.8) 以下	22 (37%)	40 (69%)	
		>基準値 (3.8)	0	1 (2%)	
Ni	血液 ( $\mu\text{g/dL}$ )	限界値 (0.1) 以下	53 (88%)	53 (91%)	0.762
		基準値 (0.6) 以下	7 (12%)	5 (9%)	
		>基準値 (0.6)	0	0	
Mn	血液 ( $\mu\text{g/dL}$ )	基準値 (0.4) 未満	0	0	0.055
		基準値 (0.4~2.0)	60 (100%)	54 (93%)	
		>基準値 (2.0)	0	4 (7%)	
	尿 ( $\mu\text{g/L}$ )	限界値 (1.0) 未満	60 (100%)	51 (88%)	0.006
		基準値 (2.0) 未満	0	5 (9%)	
		$\geq$ 基準値 (2.0)	0	2 (3%)	
Cr	血液 ( $\mu\text{g/dL}$ )	限界値 (0.02) 以下	49 (82%)	47 (81%)	1.00
		>限界値 (0.02)	11 (18%)	11 (19%)	
	尿 ( $\mu\text{g/L}$ )	限界値 (0.2) 以下	1 (2%)	1 (2%)	1.00
		>限界値 (0.2)	59 (98%)	57 (98%)	
Pb	血液 ( $\mu\text{g/dL}$ )	基準値 (1.0) 以下	23 (38%)	13 (22%)	0.073
		>基準値 (1.0)	37 (62%)	45 (78%)	

\*Fisher's exact test

## 血液中の金属濃度の比較

血液中の各金属濃度（測定値）を用いて、ヒュームばく露群とコントロール群の比較を行った（表 3）。なお、検出限界値以下を示した者については、各限界値の 10 分の 1 の値を用いた上で比較している。ヒュームばく露群で、Mn と Pb の値が有意に高かった。

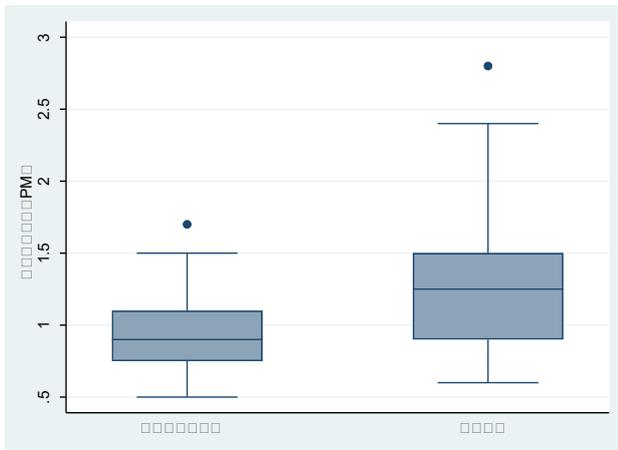
表 3 ばく露群とコントロール群の比較：血液中の金属濃度分布（連続量\*）

	コントロール群		ヒュームばく露群		P 値**
	人数	中央値（範囲） $\mu\text{g/dL}$	人数	中央値（範囲） $\mu\text{g/dL}$	
Cd	60	0.01 (0.01, 0.2)	58	0.01 (0.01, 0.3)	0.948
Ni	60	0.01 (0.01, 0.3)	58	0.01 (0.01, 0.2)	0.528
Mn	60	0.9 (0.5, 1.7)	58	1.25 (0.6, 2.8)	<0.001
Cr	60	0.002 (0.002, 0.2)	58	0.002 (0.002, 0.14)	0.888
Pb	60	1.3 (0.1, 2.6)	58	1.6 (0.1, 2.9)	0.013

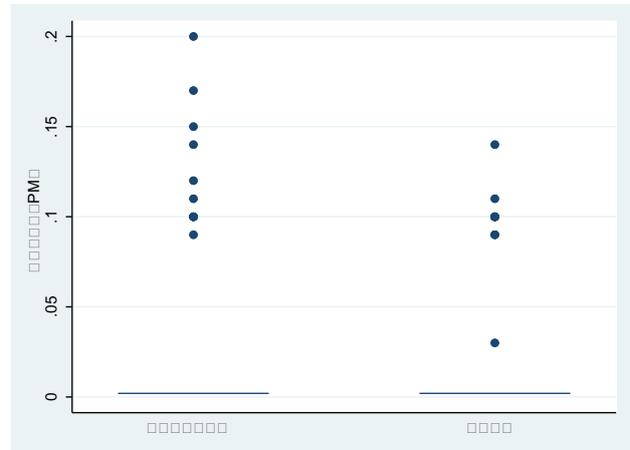
\*各金属濃度の検出限界値以下を示した者については、限界値の 10 分の 1 の値に置き換えて算出した。

\*\*Mann-Whitney U test

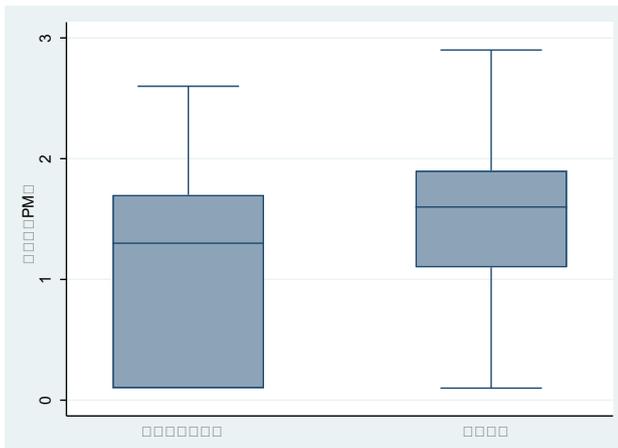
### 血中マンガン濃度



### 血中クロム濃度



### 血中鉛濃度



## 尿中の金属濃度の比較

尿中の各金属濃度（測定値）を用いて、ヒュームばく露群とコントロール群の比較を行った（表 4）。なお、検出限界値以下を示した者については、各限界値の 10 分の 1 の値を用いた上で比較している。ヒュームばく露群で、Cd, Mn と Cr の値が有意に高かった。

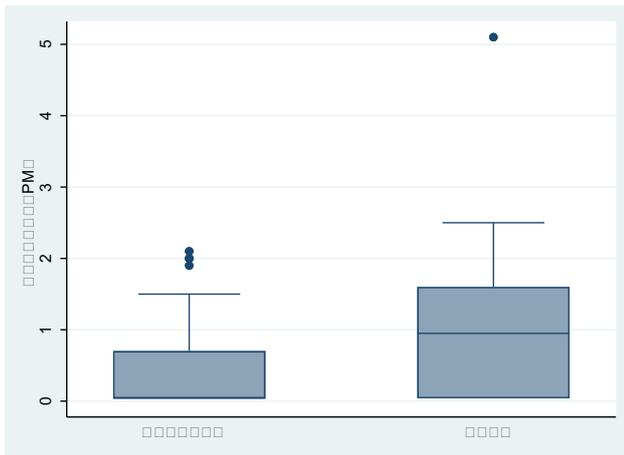
表 4 ばく露群とコントロール群の比較：尿中の金属濃度分布（連続量\*）

	コントロール群		ヒュームばく露群		P 値
	人数	中央値（範囲） $\mu\text{g/L}$	人数	中央値（範囲） $\mu\text{g/L}$	
Cd	60	0.04 (0.04, 2.1)	58	0.95 (0.04, 5.1)	<0.001
Mn	60	0.1 (0.1, 0.1)	58	0.1 (0.1, 7.4)	0.011
Cr	60	0.4 (0.02, 1.3)	58	0.7(0.02, 1.6)	<0.001

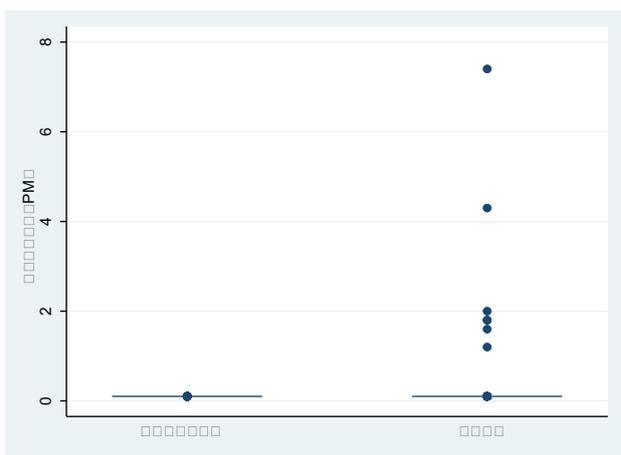
\*各金属濃度の検出限界値以下を示した者については、限界値の 10 分の 1 の値に置き換えて算出した。

\*\*Mann-Whitney U test

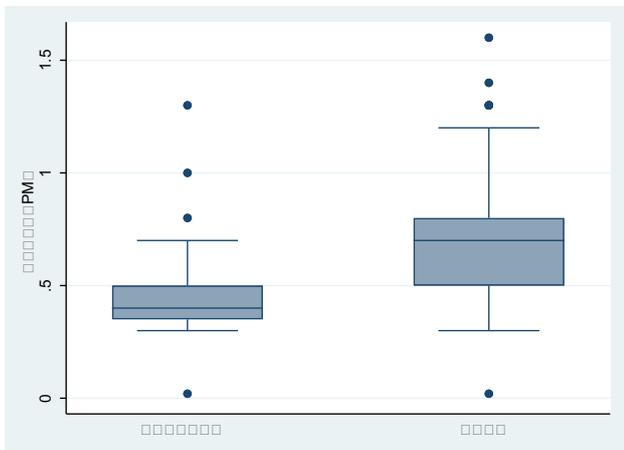
### 尿中カドミウム濃度



### 尿中マンガン濃度



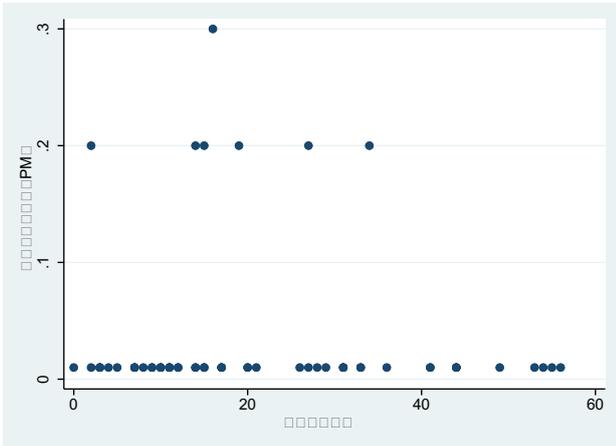
### 尿中クロム濃度



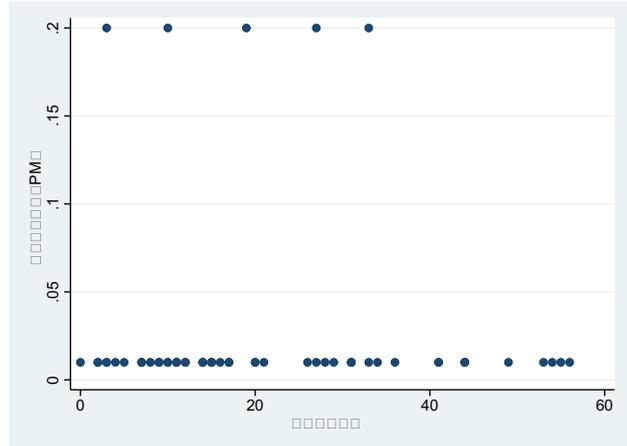
溶接年数との関連（ヒュームばく露群のみ）

ばく露群のみを対象として、溶接作業経験年数と金属濃度との関連を検討したが、血中の金属濃度では顕著な関連は認められなかった。（Spearman 相関係数）

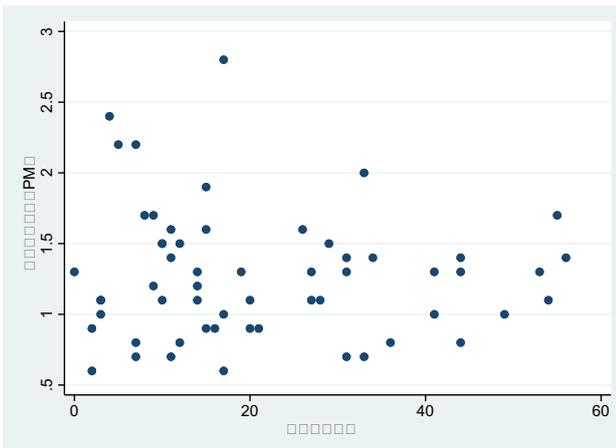
血中カドミウム( $\rho=-0.02$ )



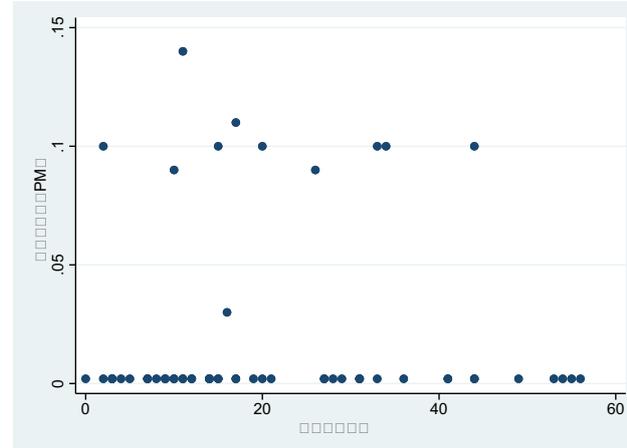
血中ニッケル( $\rho=-0.03$ )



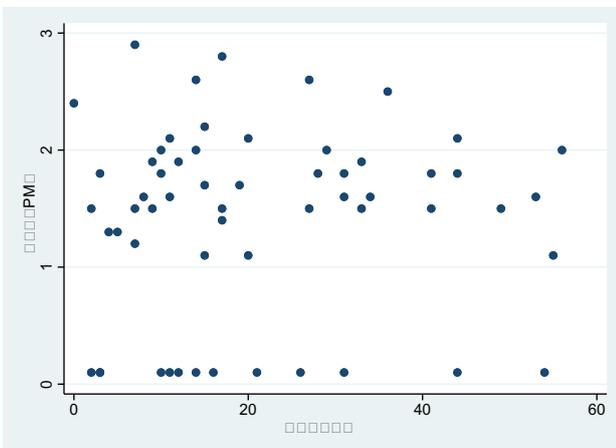
血中マンガン( $\rho=-0.02$ )



血中クロム( $\rho=0.04$ )



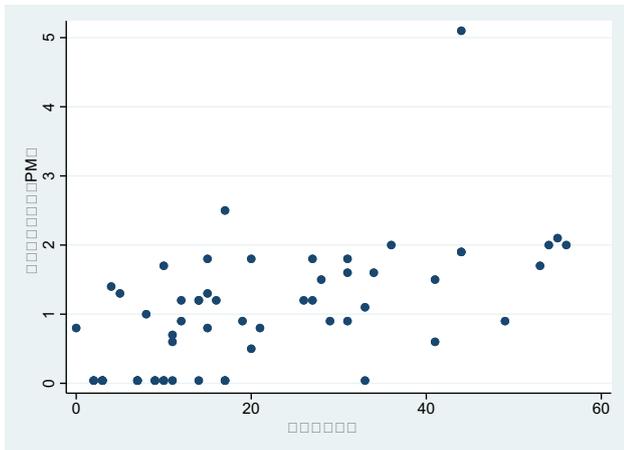
血中鉛( $\rho=0.08$ )



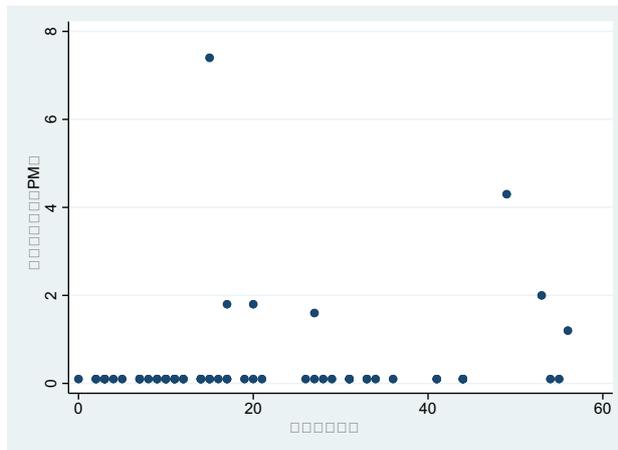
ばく露群のみを対象として、溶接作業経験年数と尿中の金属濃度の相関を検討したところ、カドミウム濃度と正の相関傾向を認めた。(Spearman 相関係数)

尿中カドミウム濃度が高い1例 (5.1  $\mu\text{g/L}$ ) を除いた場合でも同様の結果であった ( $\rho=0.62$ )。

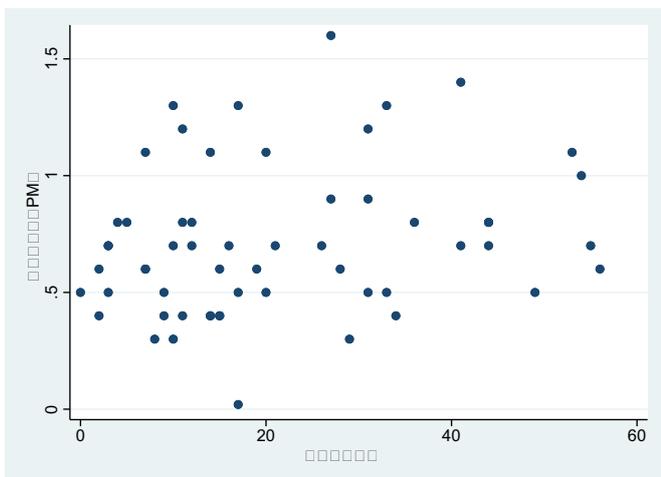
尿中カドミウム( $\rho=0.63$ )



尿中マンガン( $\rho=0.28$ )



尿中クロム( $\rho=0.23$ )



事業所別の比較（ヒュームばく露群のみ）

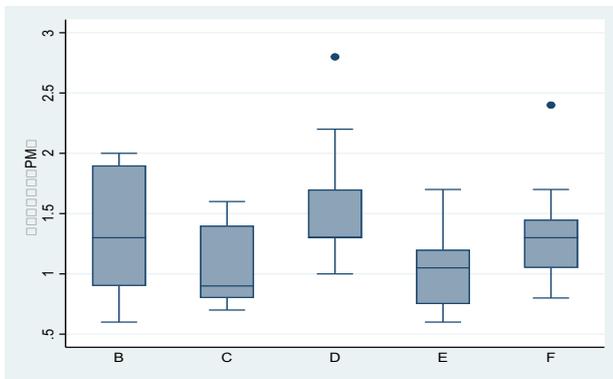
事業所 C のばく露群は他の事業所と比べて、血中の Mn と Pb 濃度が低く、一方、Cr 濃度は事業所 D,E,F が低い分布を示した。Cd と Ni 濃度は事業者間で差は認めなかった。

表 5 血中金属濃度の比較（事業所別）

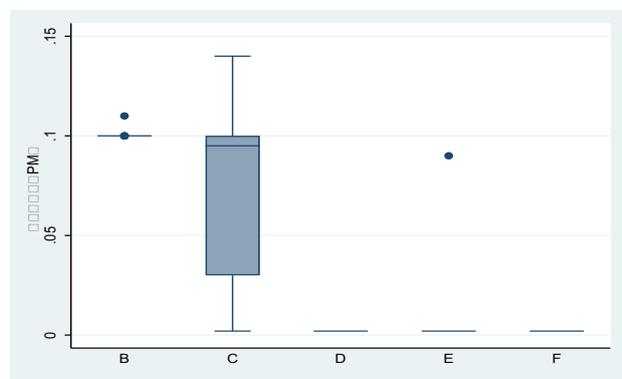
	中央値（範囲） $\mu\text{g/dL}$					P 値*
	B (n=5)	C (n=6)	D (n=15)	E (n=16)	F (n=16)	
Cd	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.3)	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.2)	0.383
Ni	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.01)	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.2)	0.735
Mn	1.3 (0.6, 2)	0.9 (0.7, 1.6)	1.3 (1, 2.8)	1.05 (0.6, 1.7)	1.3 (0.8, 2.4)	0.033
Cr	0.1 (0.1, 0.11)	0.095 (0.002, 0.14)	0.002 (0.002, 0.002)	0.002 (0.002, 0.09)	0.002 (0.002, 0.002)	<0.001
Pb	1.5 (1.5, 1.8)	0.1 (0.1, 1.6)	1.4 (0.1, 2.9)	1.55 (0.1, 2.2)	2 (1.3, 2.8)	0.002

\*Kruskal-Wallis test

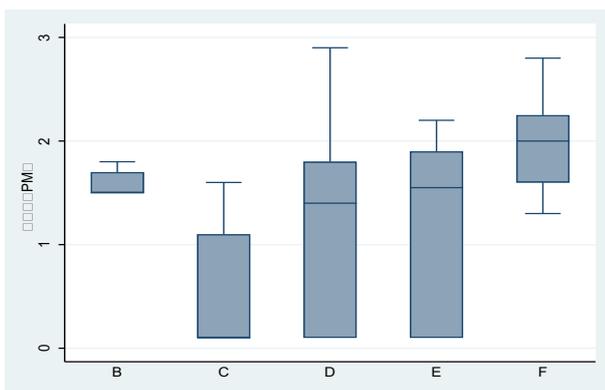
血中マンガン



血中クロム



血中鉛



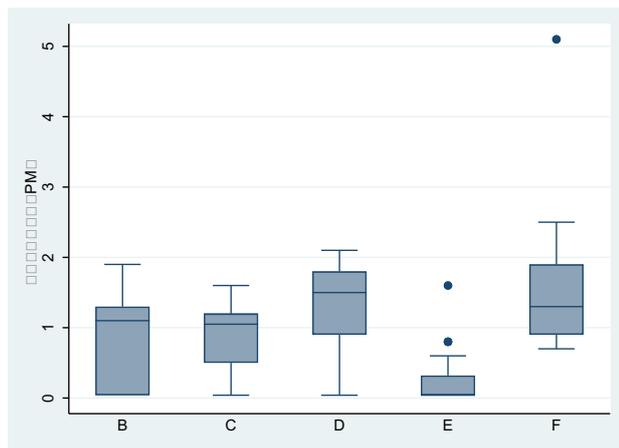
尿中の金属濃度を事業者間で比較したところ、事業所 E は Cd 濃度が、事業所 A は Cr 濃度が、他の事業所のばく露群と比べて低く、事業者間の差がみられた。

表 6 尿中金属濃度の比較（事業所別）

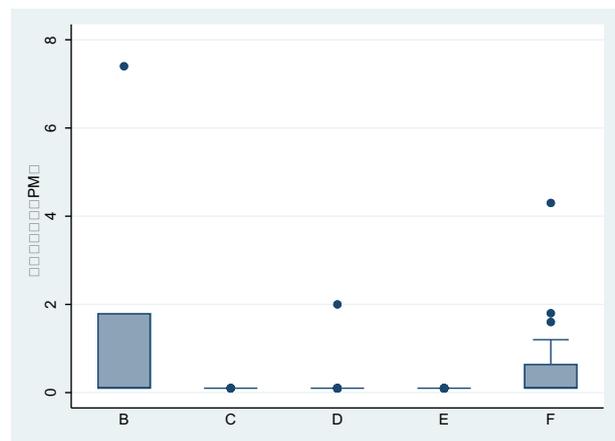
	中央値（範囲） $\mu\text{g/L}$					P 値*
	B (n=5)	C (n=6)	D (n=15)	E (n=16)	F (n=16)	
Cd	1.1 (0.04, 1.9)	1.05 (0.04, 1.6)	1.5 (0.04, 2.1)	0.04 (0.04, 1.6)	1.3 (0.7, 5.1)	<0.001
Mn	0.1 (0.1, 7.4)	0.1 (0.1, 0.1)	0.1 (0.1, 2)	0.1 (0.1, 0.1)	0.1 (0.1, 4.3)	0.049
Cr	0.5 (0.4, 0.7)	0.7 (0.4, 1.2)	1 (0.4, 1.4)	0.6 (0.3, 1.3)	0.7 (0.02, 1.6)	0.030

\*Kruskal-Wallis test

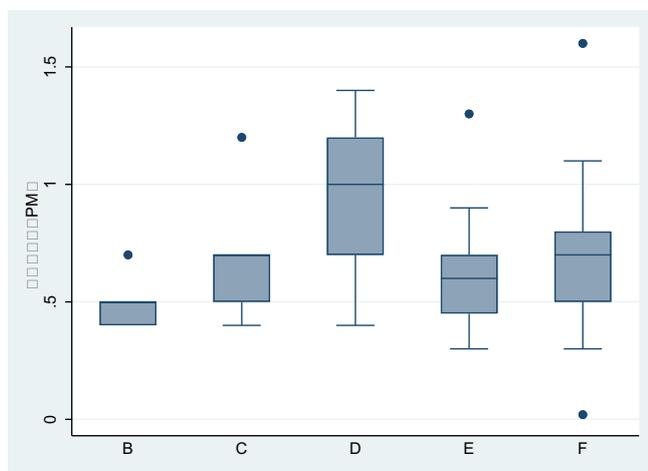
尿中カドミウム



尿中マンガン



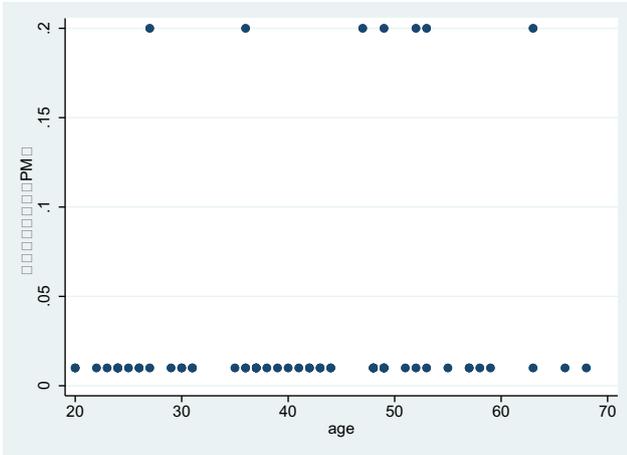
尿中クロム



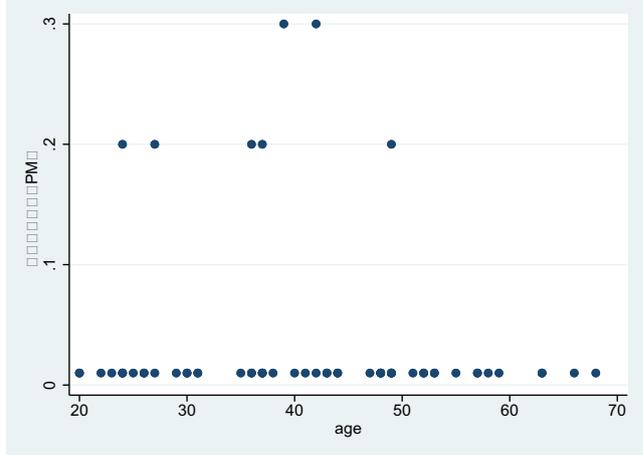
年齢と血液中の金属濃度 (コントロール群のみ)

いずれの金属濃度も年齢との関連はみられなかった。(Spearman 相関係数)

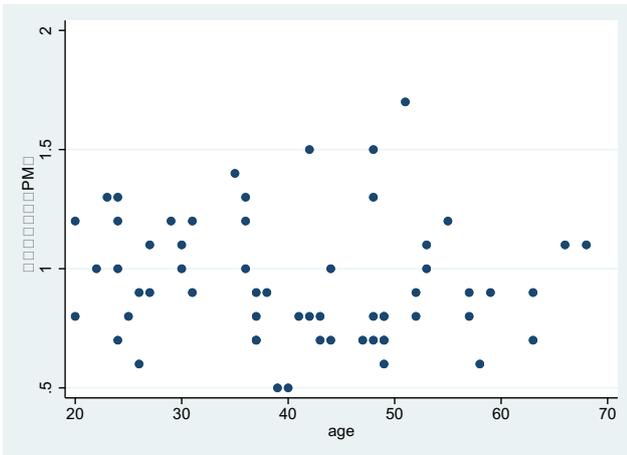
血中カドミウム( $\rho=0.17$ )



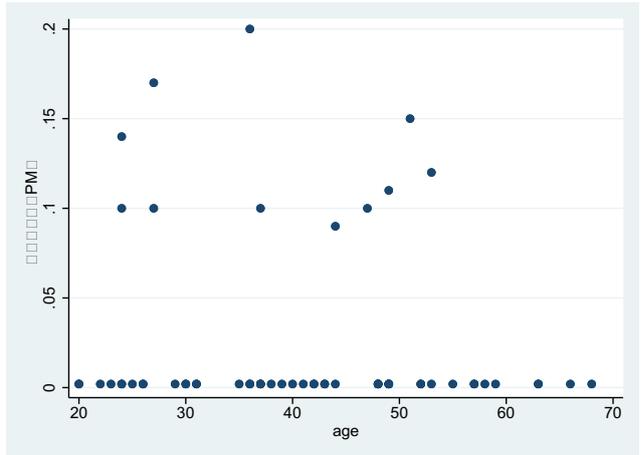
血中ニッケル( $\rho=-0.13$ )



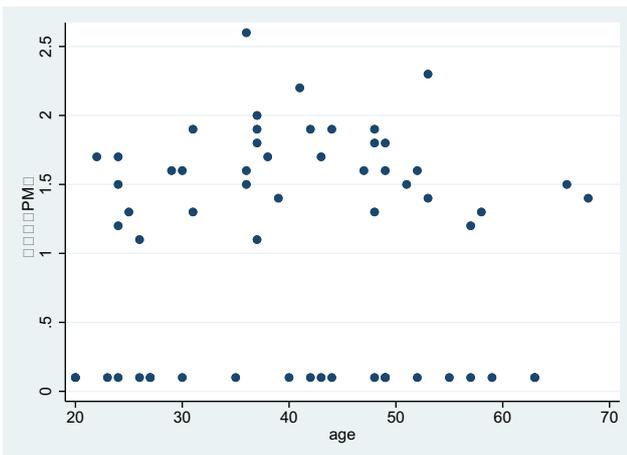
血中マンガン( $\rho=-0.19$ )



血中クロム( $\rho=-0.10$ )



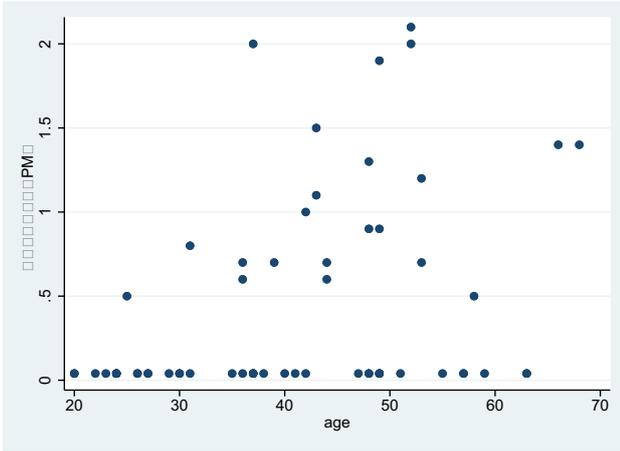
血中鉛( $\rho=-0.02$ )



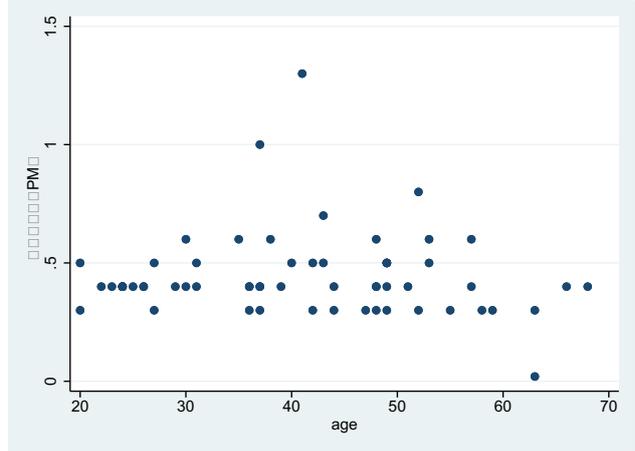
年齢と尿中の金属濃度（コントロール群のみ）

いずれの金属濃度も年齢との顕著な関連はみられなかった。マンガンについては、コントロール群は全員検出限界値未満であったので、図に示していない。（Spearman 相関係数）

尿中カドミウム( $\rho=0.35$ )



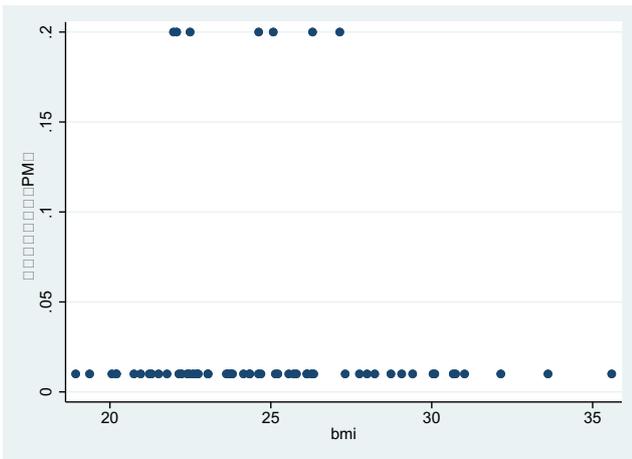
尿中クロム( $\rho=-0.08$ )



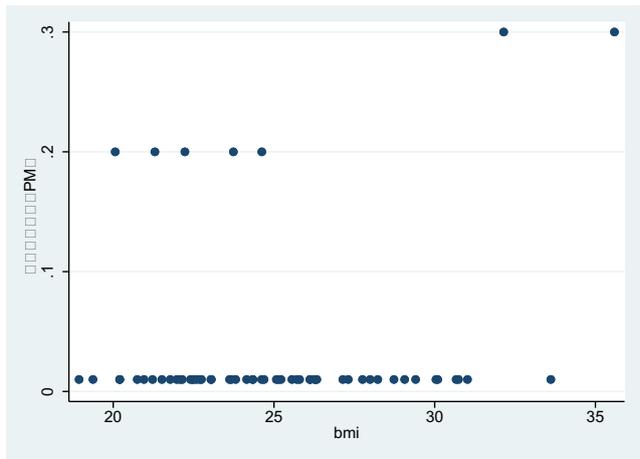
BMI と血液中の金属濃度（コントロール群のみ）

いずれの金属濃度も BMI との関連はみられなかった。（Spearman 相関係数）

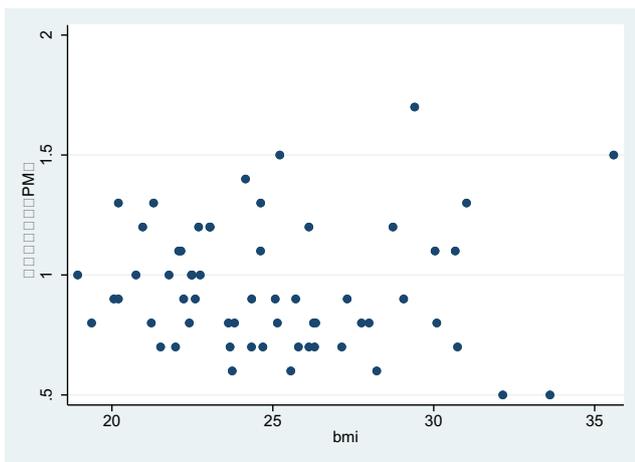
血中カドミウム( $\rho=-0.05$ )



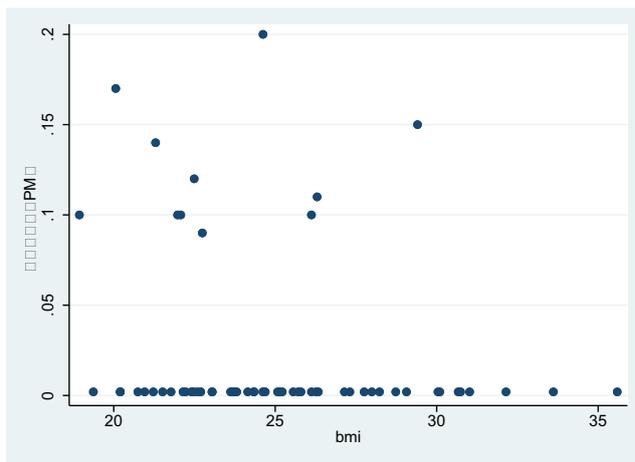
血中ニッケル( $\rho=-0.01$ )



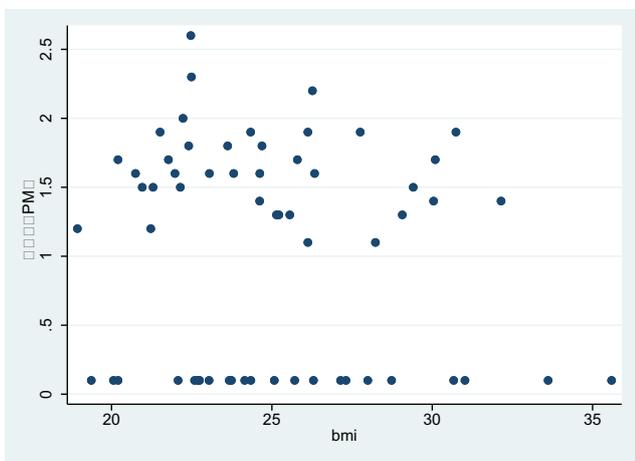
血中マンガン(rho=-0.16)



血中クロム(rho=-0.22)



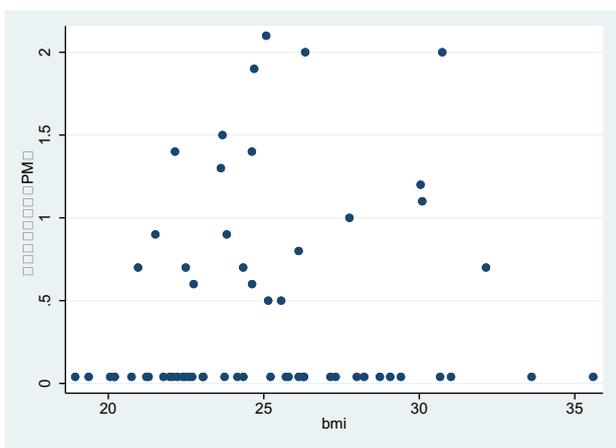
血中鉛(rho=-0.12)



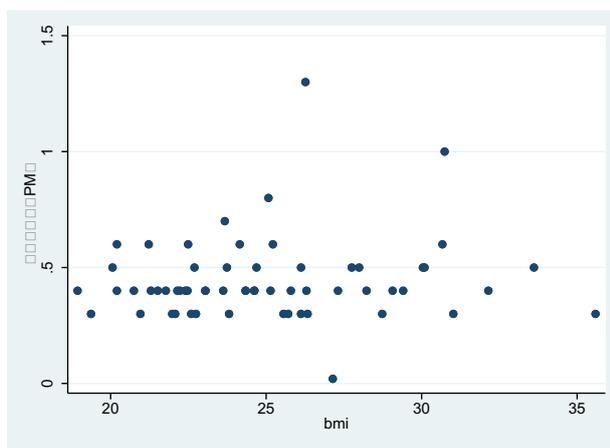
年齢と尿中の金属濃度 (コントロール群のみ)

いずれの金属濃度も年齢との顕著な関連はみられなかった。マンガンについては、コントロール群は全員検出限界値未満であったので、図に示していない。(Spearman 相関係数)

尿中カドミウム(rho=0.14)



尿中クロム(rho=0.07)



喫煙習慣と血液中の金属濃度（コントロール群のみ）

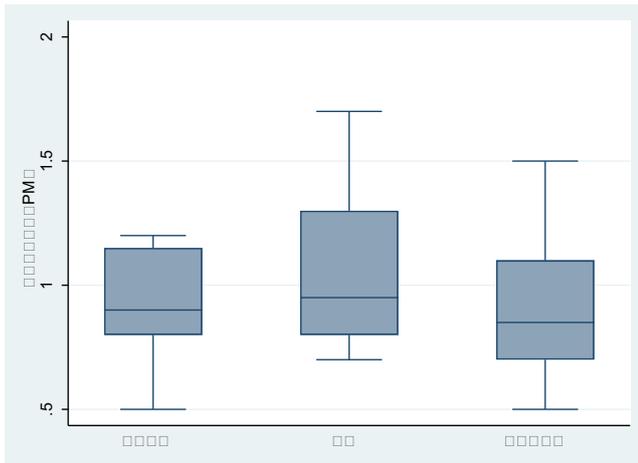
いずれの金属においても、喫煙習慣によって顕著な差はみられなかったが、鉛の濃度が喫煙経験者で高い傾向であった。

表7 血中金属濃度の分布（喫煙習慣別）

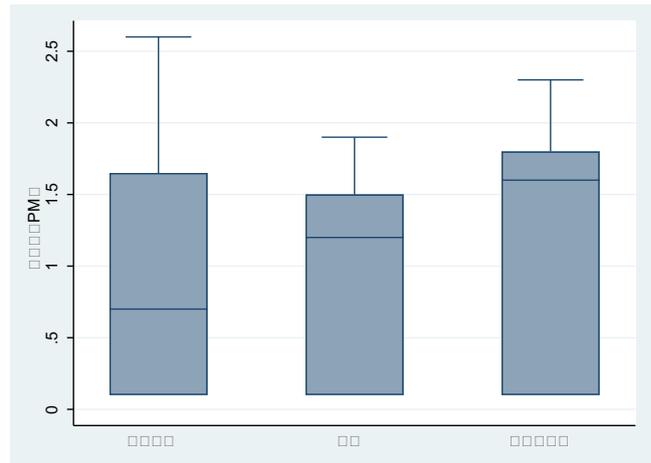
	中央値（範囲）			P 値*
	喫煙なし(n=20)	禁煙した(n=18)	現在、喫煙(n=22)	
Cd	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.2)	0.418
Ni	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.3)	0.892
Mn	0.9 (0.5, 1.2)	0.95 (0.7, 1.7)	0.85 (0.5, 1.5)	0.437
Cr	0.002 (0.002, 0.17)	0.002 (0.002, 0.2)	0.002 (0.002, 0.12)	0.150
Pb	0.7 (0.1, 2.6)	1.2 (0.1, 2.3)	1.6 (0.1, 2.3)	0.189

\*Kruskal-Wallis test

血中マンガン（喫煙習慣別）



血中鉛（喫煙習慣別）



喫煙習慣と尿中の金属濃度（コントロール群のみ）

いずれの金属においても、喫煙習慣によって顕著な差はみられなかった。

表8 尿中金属濃度の分布（喫煙習慣別）

	中央値（範囲）			P 値*
	喫煙なし(n=20)	禁煙した(n=18)	現在、喫煙(n=22)	
Cd	0.04 (0.04, 1.2)	0.04 (0.04, 1.5)	0.04 (0.04, 2.1)	0.251
Cr	0.4 (0.3, 0.6)	0.4 (0.02, 0.7)	0.4 (0.3, 1.3)	0.351

\*Kruskal-Wallis test

飲酒習慣と血液中の金属濃度（コントロール群のみ）

いずれの金属においても、飲酒習慣によって顕著な差はみられなかった。

表9 血中金属濃度の分布（飲酒習慣別）

	中央値（範囲）			P 値*
	飲まない (n=29)	前は飲んでいた (n=5)	現在も飲んでいる (n=26)	
Cd	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.01)	0.01 (0.01, 0.2)	0.594
Ni	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.2)	0.01 (0.01, 0.3)	0.125
Mn	0.9 (0.6, 1.4)	0.8 (0.5, 1.3)	0.85 (0.5, 1.7)	0.740
Cr	0.002 (0.002, 0.17)	0.002 (0.002, 0.14)	0.002 (0.002, 0.2)	0.685
Pb	1.4 (0.1, 2.3)	1.4 (0.1, 1.8)	1.15 (0.1, 2.6)	0.523

\*Kruskal-Wallis test

飲酒習慣と尿中の金属濃度（コントロール群のみ）

いずれの金属においても、飲酒習慣によって顕著な差はみられなかった。

表10 尿中金属濃度の分布（飲酒習慣別）

	中央値（範囲）			P 値*
	飲まない (n=29)	前は飲んでいた (n=5)	現在も飲んでいる (n=26)	
Cd	0.04 (0.04, 2.1)	0.04 (0.04, 1.3)	0.04 (0.04, 2)	0.583
Cr	0.4 (0.3, 1)	0.5 (0.4, 0.5)	0.4 (0.02, 1.3)	0.308

\*Kruskal-Wallis test

## 重回帰分析

以上の結果より、生体内の金属曝露量の比較においては、事業所と喫煙習慣を考慮した上で、ヒュームばく露群とコントロール群の比較を行うこととし、単変量解析において差を認められた血中の Mn と Pb 濃度、尿中の Cd と Cr 濃度について重回帰分析を行った。血中 Mn、Pb 濃度および尿中 Cd 濃度の分布には偏りがあったため、対数変換を行った上で解析に用いた。

いずれの金属濃度においても、ヒュームばく露群で高いことが示された。

表 11 重回帰分析結果

従属変数	対象人数	ヒュームばく露群 (vs コントロール)		P 値
		回帰係数	標準誤差	
血中 Mn (対数変換)	118	0.115	0.026	<0.001
血中 Pb (対数変換)	74*	0.041	0.021	0.048
尿中 Cd (対数変換)	63*	0.129	0.051	0.015
尿中 Cr	118	0.261	0.049	<0.001

いずれの回帰モデルとも、事業所と喫煙習慣を共変数に加えた。

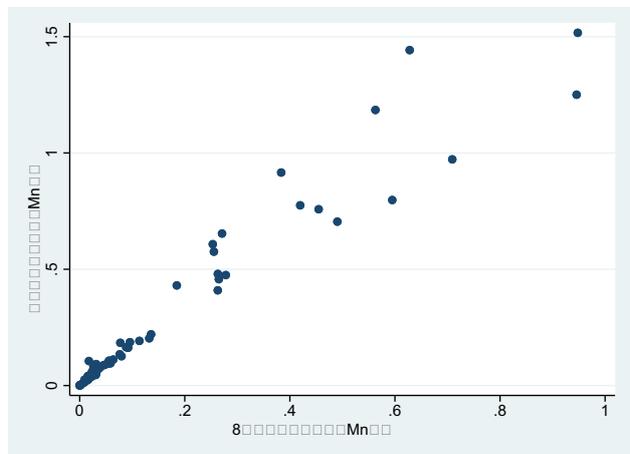
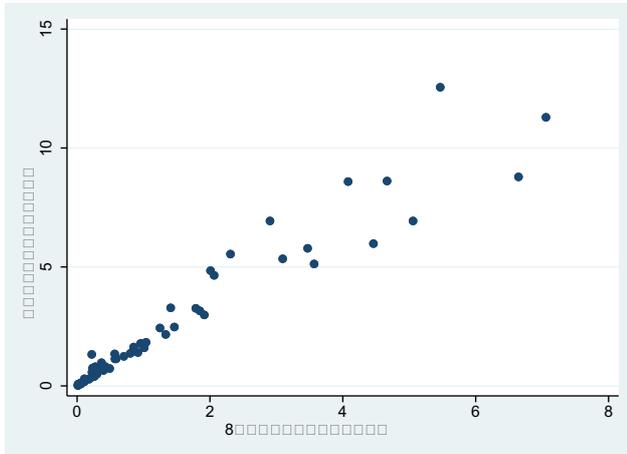
\*検出限界値以下を示した者は除いた。

個人サンプラーによる測定結果

時間加重平均と 8 時間加重平均値との相関

吸入性粉塵濃度 (rho=0.980)

吸入性 Mn 濃度 (rho=0.981)



血中 Cd, Ni, Cr および尿中 Cr は、検出限界値以下の者が多かったため、以降の解析には含めていない。個人サンプラーによる吸入性粉塵および Mn 濃度のいずれとも、血中・尿中金属濃度との間にほとんど相関はなかった。

表 12 個人サンプラーによる吸入性粉塵・Mn 濃度と金属濃度との相関

	Spearman 相関係数			
	血中 Mn	血中 Pb	尿中 Cd	尿中 Cr
粉塵濃度	0.133	-0.050	-0.017	-0.098
粉塵濃度 (8hrs)	0.080	-0.012	-0.031	-0.090
吸入性 Mn 濃度	0.189	0.027	0.097	-0.082
吸入性 Mn 濃度 (8hrs)	0.122	0.057	0.058	-0.113

個人サンプラー測定値が、粉塵、吸入性 Mn 濃度が上位 20 名に限定した上で、血中・尿中金属濃度との相関を検討した。血中・尿中金属濃度との間にほとんど相関はなかった。

表 13 個人サンプラーの吸入性粉塵・Mn 濃度と金属濃度との相関 (個人サンプラー測定値上位 20 名のみ)

	Spearman 相関係数			
	血中 Mn	血中 Pb	尿中 Cd	尿中 Cr
粉塵濃度	0.118	-0.359	0.124	0.075
粉塵濃度 (8hrs)	-0.045	-0.217	0.063	-0.016
吸入性 Mn 濃度	0.150	-0.478	-0.195	0.074
吸入性 Mn 濃度 (8hrs)	-0.035	-0.302	-0.245	-0.123

金属濃度との相関：事業所別

表 16-1 個人サンプラーの吸入性粉塵・Mn 濃度と金属濃度との相関（事業所 D）

	Spearman 相関係数			
	血中 Mn	血中 Pb	尿中 Cd	尿中 Cr
粉塵濃度	0.353	-0.354	0.324	-0.218
粉塵濃度 (8hrs)	0.363	-0.267	0.285	-0.119
吸入性 Mn 濃度	0.230	-0.228	0.323	-0.407
吸入性 Mn 濃度 (8hrs)	0.262	-0.242	0.298	-0.407

表 16-2 個人サンプラーの吸入性粉塵・Mn 濃度と金属濃度との相関（事業所 E）

	Spearman 相関係数			
	血中 Mn	血中 Pb	尿中 Cd	尿中 Cr
粉塵濃度	0.082	0.407	-0.095	0.082
粉塵濃度 (8hrs)	-0.039	0.320	-0.058	0.174
吸入性 Mn 濃度	0.090	0.430	-0.192	0.018
吸入性 Mn 濃度 (8hrs)	0.068	0.382	-0.161	0.024

表 16-3 個人サンプラーの吸入性粉塵・Mn 濃度と金属濃度との相関（事業所 F）

	Spearman 相関係数			
	血中 Mn	血中 Pb	尿中 Cd	尿中 Cr
粉塵濃度	0.005	-0.062	0.098	-0.036
粉塵濃度 (8hrs)	-0.018	-0.028	0.111	0.018
吸入性 Mn 濃度	-0.024	-0.034	0.126	-0.018
吸入性 Mn 濃度 (8hrs)	-0.003	-0.062	0.126	-0.021

まとめ

コントロール群と比べて、ヒュームばく露群では血中の Mn と Pb 濃度、尿中の Cd と Cr 濃度が高い値を示し、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。

個人サンプラーによる吸入性粉塵および Mn 濃度のいずれの測定値も、血中・尿中金属濃度との間に相関は認められなかった。

労災疾病臨床研究事業費補助金

分担研究報告書

## 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 72 ページ以降に記す。

## 1. 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も多く含む（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、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。昨年度に手法として確立した LEGENDplex により、IL-1 $\beta$ 、IFN- $\alpha$ 2、IFN- $\gamma$ 、TNF- $\alpha$ 、IL-6、IL-10、IL-12p70、IL-17A、IL-18、IL-23、IL-33、IL-8、IP-10、Eotaxin、TARC、MCP-1、MIP-1 $\alpha$ 、MIG、ENA-78、MIP-3 $\alpha$ 、GRO $\alpha$ 、I-TAC および MIP-1 $\beta$  の 23 種類のサイトカイン、ケモカインを定量した。また、サイトカインとケモカイン濃度とマンガン曝露量との関連性についても議論した。

## 2. 方法

### 1. 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）。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  $-80^{\circ}\text{C}$  で保存した。

### 2. フローサイトメーターを用いた血清中炎症性分子の網羅的解析

解析には LEGENDplex Human Inflammation Panel 1 (13-plex) with Filter Plate (Bio Legend, 740808) および LEGENDplex Human Proinflammatory Chemokine Panel (13-plex) with Filter Plate (Bio Legend, 740984) 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、ケモ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>) を使い、血清中に含まれるサイトカイン、ケモカイン量を算出した。

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 を便宜上用いて平均値を算出し、また統計解析を行った。

### 3. 結果と考察

産業医科大学医学部衛生学講座より B 社、D 社、E 社のコントロールおよびヒューム曝露検体（血清）の提供を受けた。また、B 社、D 社、E 社労働者のマンガン吸入量、血液中マンガン濃度および尿中マンガン濃度については、産業医科大学医学部衛生学講座において測定され、その結果の提供を受けた。

まず、B 社検体についてサイトカイン、ケモカインを測定し、ヒューム曝露の影響を比較検討した。B 社については、就業前（AM）、就業後（PM）の血清検体があるため、まず就業前におけるコントロールとヒューム曝露群を比較した（Fig. 1）。IL-18 の発現がヒューム曝露群において有意に上昇した。また、統計における有意差はなかったが、IFN- $\gamma$ （ $p = 0.091$ ）、Eotaxin（ $p = 0.061$ ）は増加傾向にあった。一方、就業後のコントロール群、ヒューム曝露群の炎症性分子発現量を比較すると、IL-18 発現には有意な差は認められず、MIP-3 $\alpha$  の発現が有意に増加した一方、MIP-1 $\beta$  の発現は有意に低下した。有意差は得られなかったものの、ヒューム曝露により MIG の発現が上昇する傾向にあった（ $p = 0.092$ ）

IL-18 は TNF $\alpha$  などのサイトカインと異なり、mRNA レベルでの調節を受けないことが知られている。IL-18 は活性のない前駆体であるプロ体（pro-IL-18）として細胞内に存在し、caspase-1 による切断を受けることにより成熟 IL-18 となって細胞外に放出される。IL-18 はマクロファージ等の細胞から産生され、抗原刺激なしに T 細胞、B 細胞、マクロファージ、NK 細胞などに作用して IFN- $\gamma$  産生を誘導し、Th1 型免疫応答を誘導する。また、抗原刺激を受けた Th1 細胞に作用すると、IFN- $\gamma$  と Th2 サイトカインを産生し、Th1 型気管支喘息やア

トピー性皮膚炎を発症させる（J Exp Med 199:535, 2004）。本研究における B 社就業前検体において、IL-18 が有意に上昇し、IFN- $\gamma$  についても有意差は得られないものの上昇傾向であった。従って、IL-18 依存的なアレルギー性炎症が生じているのかもしれない。Th1 分化においては IFN- $\gamma$  に加えて IL-12 が重要な役割を果たす。IL-12p70 の発現は、個人差が大きいもののヒューム曝露群においてコントロール群の 2 倍程度となっており、このことから IL-18 依存的アレルギー性炎症が示唆される。

一方、就業後に血清中サイトカイン・ケモカインを測定したところ、コントロールおよびヒューム曝露群間で IL-18 の濃度に差は認められず、IFN- $\gamma$  や IL-12p70 についても変化は認められなかった（Fig. 2）。従って、IL-18 依存的アレルギー性炎症の兆候は観察されない。また、IL-33 は Th2 型アレルギーに密接に関わるサイトカインであり、喘息患者において重篤度依存的に発現が増大することが知られている（J Immunol 183:5094, 2009）。しかし、コントロール群とヒューム曝露群において、IL-33 発現の差異も認められなかった（Fig. 2）。従って、古典的な Th1、Th2 炎症は生じていないのではないかと考えられる。その一方で、ヒューム曝露群において MIP-3 $\alpha$  発現の上昇と MIP-1 $\beta$  発現の低下が認められた（Fig. 2）。MIP-3 $\alpha$  は CCL20 とも呼ばれるサイトカインであり、その受容体である CCR6 を介して樹状細胞や T 細胞、B 細胞の遊走を引き起こす。MIP-1 $\beta$  は CCL4 としても知られ、マクロファージによって産生され、受容体である CCR5 を介して NK 細胞やマクロファージの遊走に関わるとされる。ヒューム曝露によりこれらケモカインの発現上昇がどのような意味をもつのかについては今後の検討課題である。

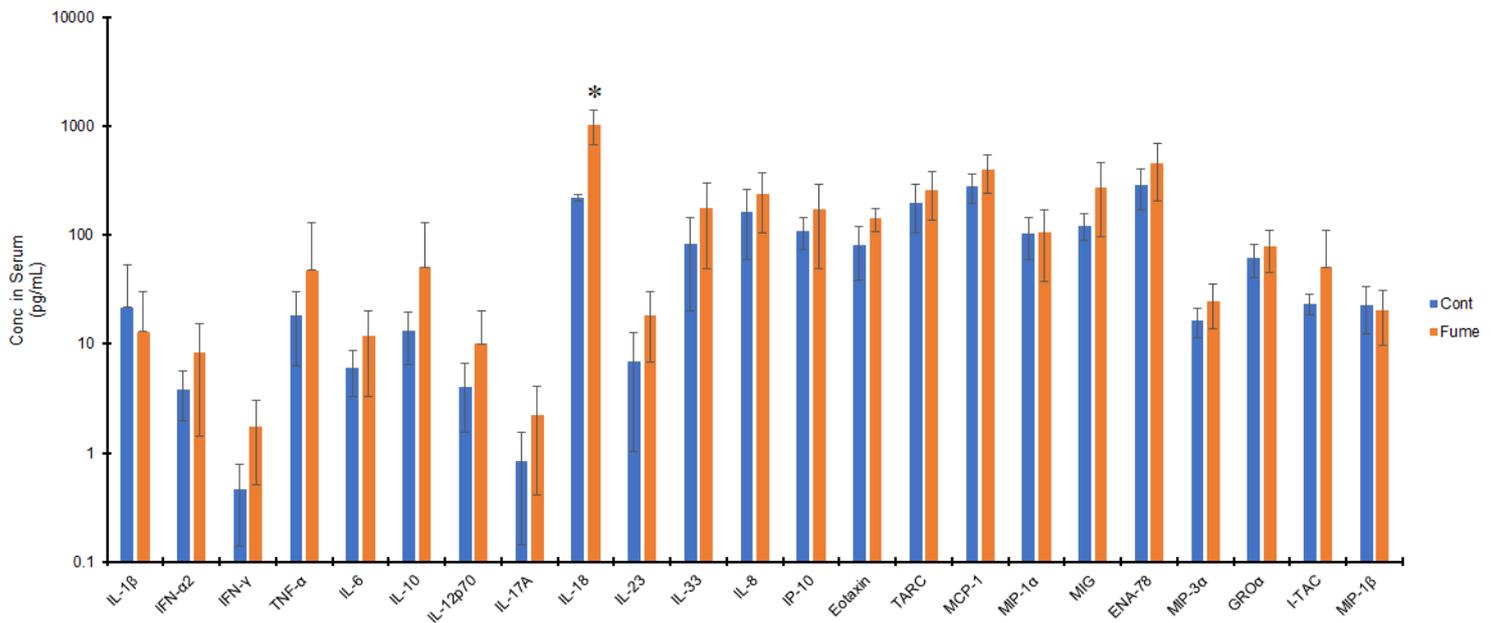


Fig. 1. B社就業前 (AM) 検体における血清中炎症性分子濃度

コントロール (Cont) およびヒューム曝露 (Fume) 検群より得たヒト血清について、LEGENDplex Human Inflammation Panel 1 (13-plex) および LEGENDplex Human Proinflammatory Chemokine Panel (13-plex) のマニュアルに従って処理し、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・ケモカイン濃度を算出した。Bar は標準偏差であり、検体数はコントロール 4 検体、ヒューム曝露群 4 検体である。Student t-test により統計解析を実施し、p 値が 0.05 以下となった場合に有意であると考え。\* $p < 0.05$  vs Cont.

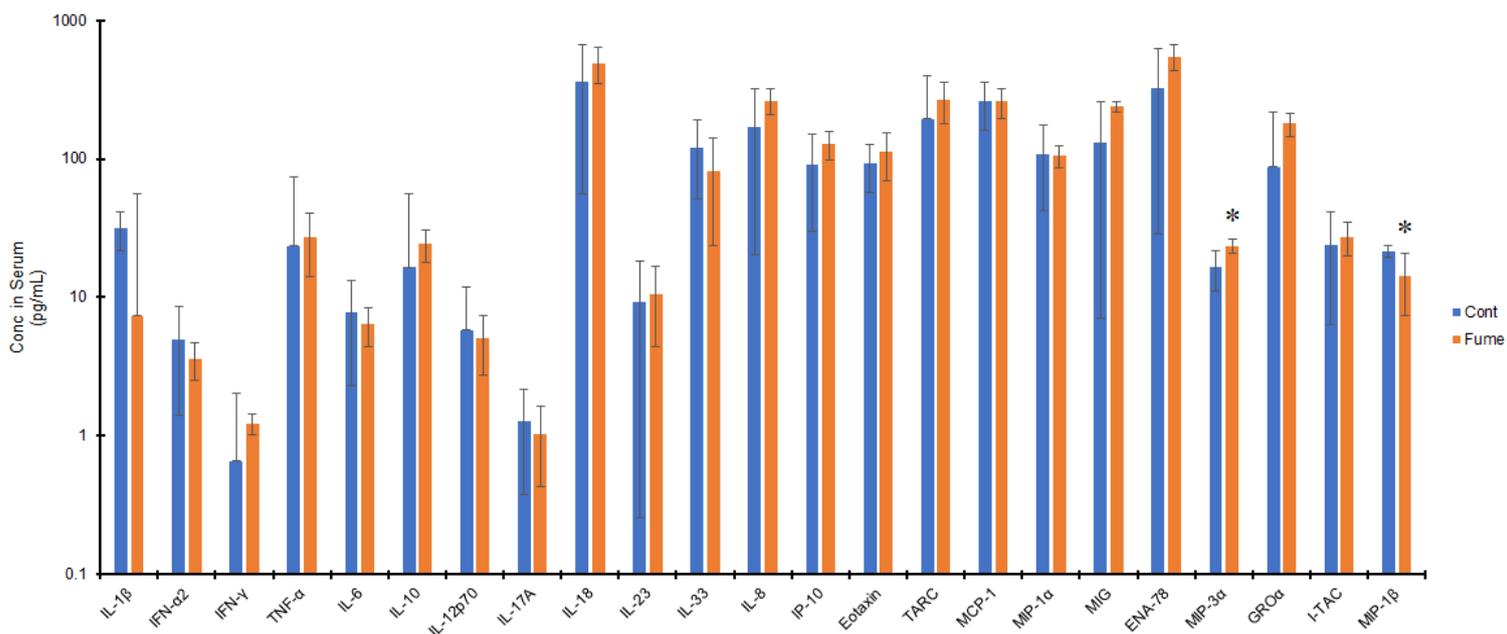


Fig. 2. B社就業後（PM）検体における血清中炎症性分子濃度

コントロール(Cont)およびヒューム曝露(Fume)検群より得たヒト血清について、LEGENDplex Human Inflammation Panel 1 (13-plex)およびLEGENDplex Human Proinflammatory Chemokine Panel (13-plex)のマニュアルに従って処理し、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・ケモカイン濃度を算出した。Barは標準偏差であり、検体数はコントロール4検体、ヒューム曝露群4検体である。Student t-testにより統計解析を実施し、p値が0.05以下となった場合に有意であると考えた。\* $p < 0.05$  vs Cont.

次に D 社より得られたコントロール血清 17 検体およびヒューム曝露血清 15 検体について、上記と同様にサイトカインとケモカインを定量した。測定した 23 種のサイトカイン、ケモカインについて、コントロール群とヒューム曝露群間に有意な

差は認められなかった (Fig. 3)。また、E 社から得られた検体 (コントロール、ヒューム曝露それぞれ 16 検体) についても有意に増減するサイトカイン、ケモカインは認められなかった (Fig. 4)。

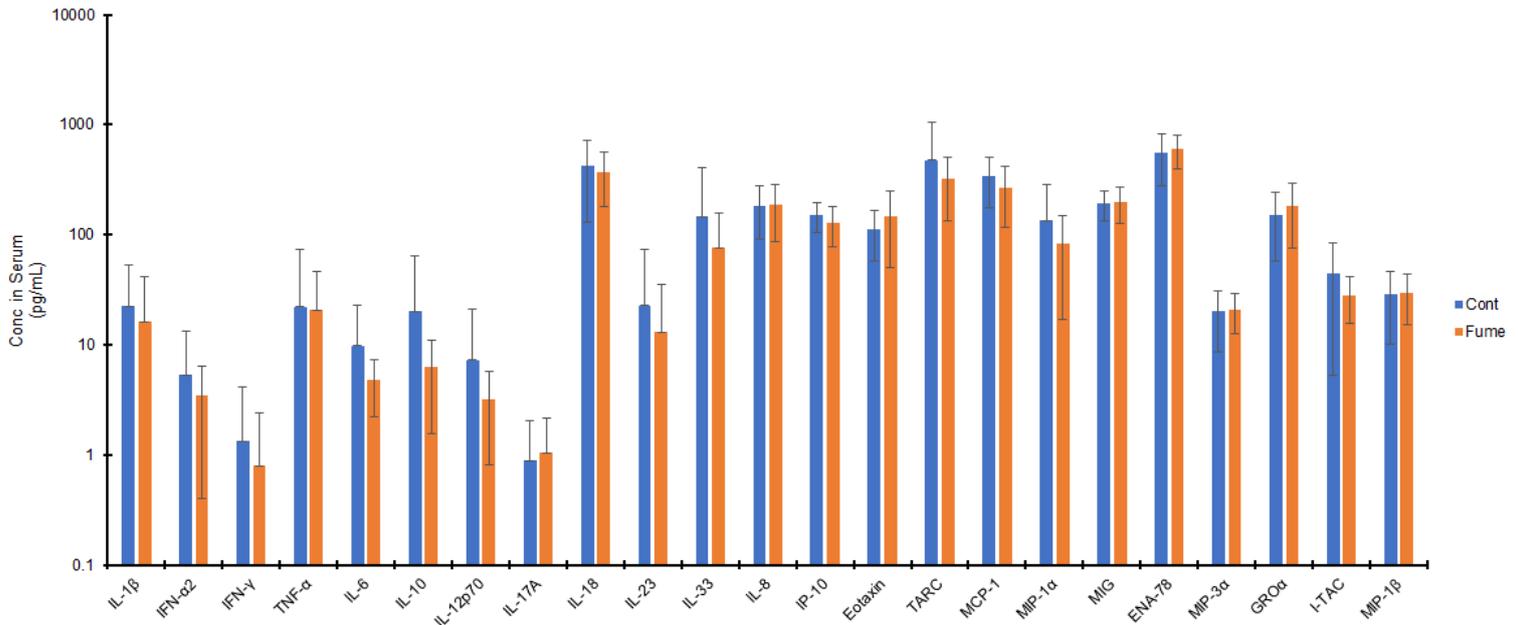


Fig. 3. D 社就業後検体における血清中炎症性分子濃度

コントロール (Cont) およびヒューム曝露 (Fume) 検群より得たヒト血清について、LEGENDplex Human Inflammation Panel 1 (13-plex) および LEGENDplex Human Proinflammatory Chemokine Panel (13-plex) のマニュアルに従って処理し、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・ケモカイン濃度を算出した。Bar は標準偏差であり、検体数はコントロール 17 検体、ヒューム曝露群 15 検体である。Student t-test により統計解析を実施し、p 値が 0.05 以下となった場合に有意であると考えた。

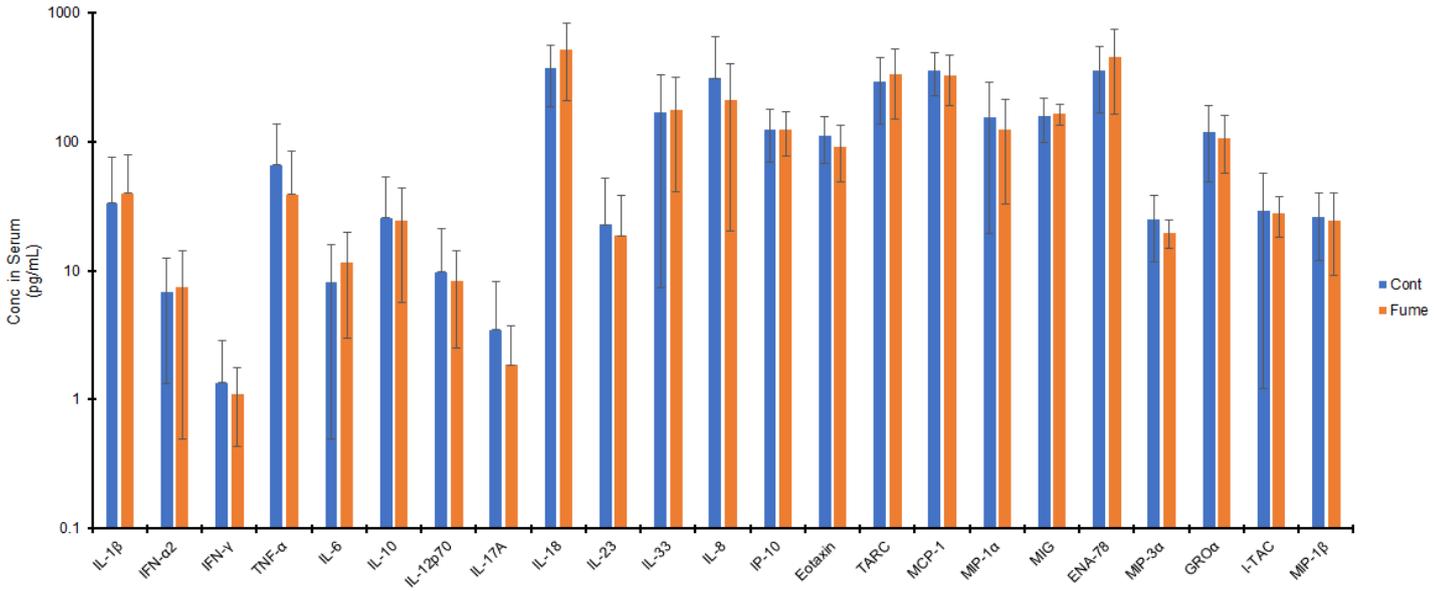


Fig. 4. E社就業後検体における血清中炎症性分子濃度

コントロール (Cont) およびヒューム曝露 (Fume) 検群より得たヒト血清について、LEGENDplex Human Inflammation Panel 1 (13-plex) および LEGENDplex Human Proinflammatory Chemokine Panel (13-plex) のマニュアルに従って処理し、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・ケモカイン濃度を算出した。Bar は標準偏差であり、検体数はコントロール 16 検体、ヒューム曝露群 16 検体である。Student t-test により統計解析を実施し、p 値が 0.05 以下となった場合に有意であると考えた。

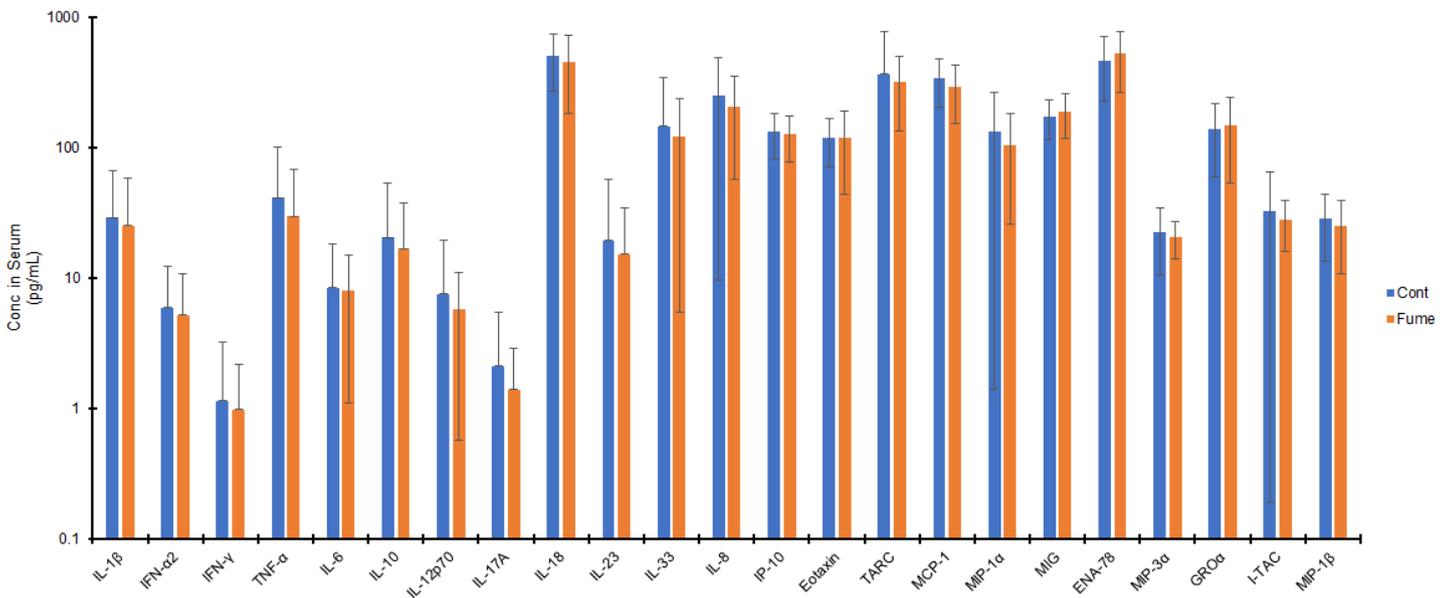


Fig. 5. B, D および E社就業後検体における血清中炎症性分子濃度

コントロール (Cont) およびヒューム曝露 (Fume) 検群より得たヒト血清について、LEGENDplex Human Inflammation Panel 1 (13-plex) および LEGENDplex Human Proinflammatory Chemokine Panel (13-plex) のマニュアルに従って処理し、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・ケモカイン濃度を算出した。Bar は標準偏差であり、検体数はコントロール 37 検体、ヒューム曝露群 35 検体である。Student t-test により統計解析を実施し、p 値が 0.05 以下となった場合に有意であると考えた。

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）。鉄はヘムの成分などとして用いられ、生体内に多く存在する。一方、マンガンも必須金属であり、酵素の活性中心など生体内で重要な役割を果たすが、生体への要求量は鉄と比較してごく微量であり、米国医学研究所は成人の耐容上限量を11mg/dayとしている。マンガンは経気道吸収されることも知られており、マンガン中毒では強い精神障害やパーキンソン病に似た中枢神経系障害に加えて肺炎を生じることもある。そこで、事業所ごとのヒューム曝露検体におけるサイトカイン、ケモカイン量の違いを考察するために、事業所ごとのマンガン曝露量を調べた。

B社の吸入性マンガン濃度の8時間加重平均は約0.8 mg/m<sup>3</sup>であった（Fig. 6）。一方でD社、E社の吸入性マンガン濃度の8時間加重平均はいずれも0.2 mg/m<sup>3</sup>以下であり、B社と比較して有意に低かった（Fig. 6）。従って、B社の溶接作業従事者は、他の2社と比較してマンガン曝露量が多いと推測される。各事業所労働者の血液中マンガン濃度を測定し、事業所ごとのコントロール検体間で比較したところ、B社のコントロール検体のマンガン濃度は他2社と比較して高かった（Fig. 7）。各事業所のコントロールおよびヒューム曝露検体の血液中マンガン濃度を比較したところ、D社においてヒューム曝露検体のマンガン濃度はコントロールを比較して有意に高かった（Fig. 7）。しかしながら、B社とD社のヒューム曝露検体の血液中マンガン濃度は同程度であり（Fig. 7）、B社におけるコントロール検体の血液中マンガン濃度高値がこの結果に反映されていると考えられる。E社労働者の血液中マンガン濃度は、コントロール群、ヒューム曝露群ともにD社コントロール群と同程度であった（Fig. 7）。また、尿中のマンガン濃度について、B社ヒューム曝露群4検体中2検体で検出限界以上（7.4および1.8μg/L）、D社ヒューム曝露群15検体中1検体で検出限界以上（2.0μg/L）

となった以外、すべての検体で1.0μg/L以下であった。

マンガンは炎症反応を引き起こすことが知られており、脳内の免疫細胞であるミクログリアにおいて、マンガン曝露によりIL-18の発現が上昇することも報告されている（*Biol Trace Elem Res* 199(9):3423, 2021）。マンガンによるIL-18発現誘導は、NLRP3経路を介して起こり、NF-κBの阻害によりIL-18の発現も抑制される（*J Neuroinflammation* 17(1):343, 2020）。従って、吸入したヒュームに含まれるマンガンがインフラマソームを活性化し、IL-18依存的なTh1アレルギー性炎症の原因となっているかもしれない。一方、マンガンによる生体影響は、その毒性であるパーキンソニズムが注目されているために、中枢神経系に焦点があてられて研究が進んでいる。上記報告においても、中枢神経系の免疫担当細胞であるミクログリアのマンガン応答に着目している。しかしながら、微粒子としてのヒュームが脳に多く移行し蓄積するとは考え難く、またミクログリアの免疫応答が末梢に波及するとも思えない。従って、B社ヒューム曝露群におけるIL-18発現上昇がどの組織、気管で生じているかについてはさらなる検討が必要であろう。

IL-18の発現上昇が認められたB社ヒューム曝露群において、B社コントロールと比較して血液中マンガン濃度は有意な上昇が認められなかった一方、4検体中2検体で尿中マンガン濃度の高値が認められた。しかしながら、上述のように、B社ではコントロール検体における血液中マンガン濃度が他者のコントロール検体と比較して高いことから、B社コントロールをマンガン非曝露群として取り扱うことに疑問が残る。事業所内コントロールではなく、一般コントロールとの比較も検討するべきかもしれない。

また、溶接においては接合する母材によって生じるヒューム中の金属組成が異なる。今回の報告では、溶接ヒュームに含有するマンガンによる神

経機能障害が多数報告されていること、マンガンに係る管理濃度の変更もあることからマンガンに着目した。一方、クロムや鉛などマンガン以外の

有害金属もヒュームに含まれる。溶接に使用する母材、あるいは溶接棒の組成も加味した評価も必要であろう。

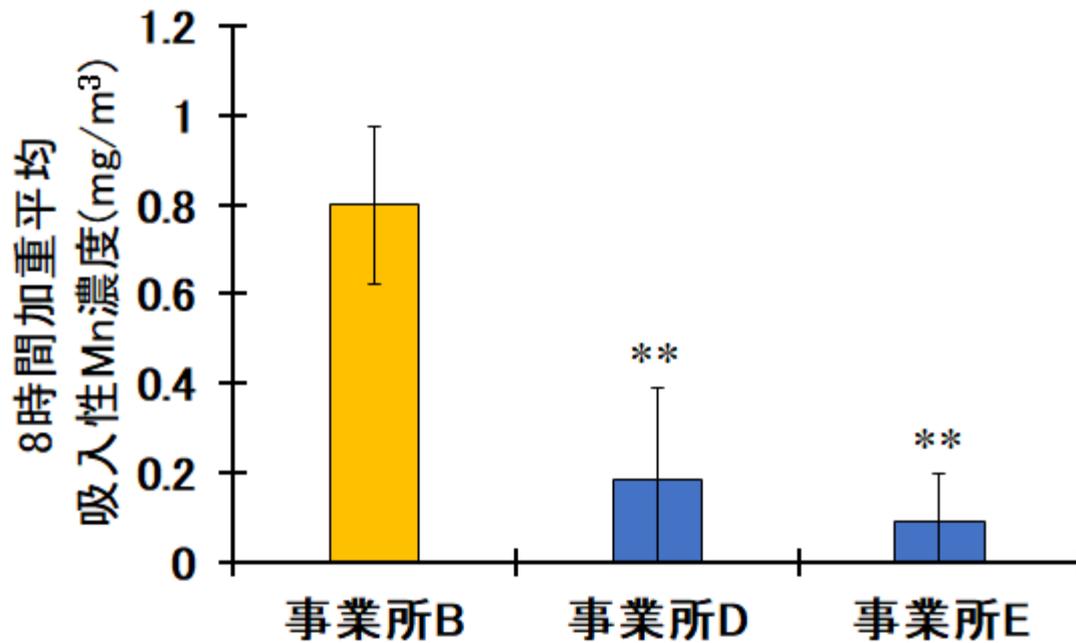


Fig. 6. 各事業所の8時間加重平均吸入性マンガン濃度

各事業所で採取した検体について、マンガン量を測定し、単位体積当たりのマンガン濃度を算出した。Bar は標準偏差であり、検体数はB社4検体、D社17検体、E社16検体である。一元配置分散分析を行った後に Turkey test により統計解析を行った。p 値が 0.05 以下となった場合に有意であると考えた。 $**p < 0.01$  vs 事業所 B. 事業所 D と E 間では有意な差は得られなかった。

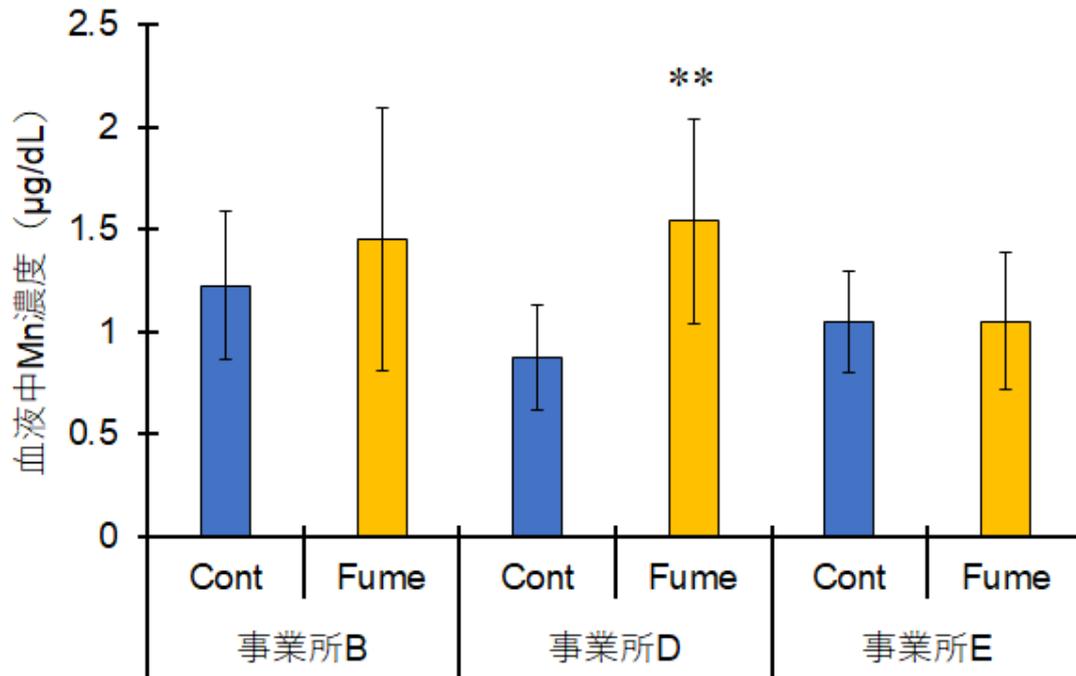


Fig. 7. 事業所労働者における血液中マンガンの濃度

事業所 B、D および E の労働者(コントロール(Cont)およびヒューム曝露(Fume))より採血し、血液中のマンガンの濃度を測定した。Bar は標準偏差であり、検体数は事業所 B:コントロール 4 検体、ヒューム曝露群 4 検体、事業所 D:コントロール 17 検体、ヒューム曝露群 15 検体、事業所 E:コントロール 16 検体、ヒューム曝露 16 検体である。Student t-test により統計解析を実施し、p 値が 0.05 以下となった場合に有意であると考えた。\*\*p<0.01 vs Cont.

#### 4. 結論

本研究では、事業所 B、D および E のコントロール群とヒューム曝露群における血清中サイトカインおよびケモカイン濃度を測定した。事業所 B においては、ヒューム曝露群において複数のサイトカイン、ケモカインの発現上昇が認められた一方、事業所 D と E においてヒューム曝露はサイトカインとケモカインの発現に影響を及ぼさなかった。事業所 B において、他事業所と比較してコントロ

ール群の血液中マンガンの濃度が高く、血液中マンガンの濃度からの考察が難しかった一方、ヒューム曝露検体の 50%に検出限界以上の尿中マンガンを検出されており、事業所 B における溶接作業従事者は多くのマンガンの曝露されていることが示唆される。ヒューム中のマンガンの曝露と末梢炎症状態との関連については、検体数を増やすなどより詳細に検討する必要がある。

労災疾病臨床研究事業費補助金  
令和3年度 総括・分担研究報告書

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4（2022）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