

# 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

研究年度 R2（2020）～R4（2022）年

## 研究目的

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。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、本研究の目的は、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である。

## 研究方法

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。対象者は、10か所（事業所A～J）の事業所の溶接作業従事者105名、溶接作業非従事者（コントロール群）129人である。各事業所で下記の項目を調査した。

調査項目：質問票調査、呼吸機能検査、神経学的検査、生体試料（血液・尿）の採取、個人サンプラーを用いた粉じん、マンガン濃度の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）、ヒト肌測定試験（事業所H, I）、粉じんの作業環境測定（H, Iは未測定）

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を対象として溶接作業従事者と溶接作業非従事者の結果の比較を行った。具体的には、血中金属濃度やサイトカイン濃度と神経機能の関係やフィットテスト合否による血中金属濃度などの差についての解析を行った。

採取した生体試料を用いて、血中・尿中の5種の金属濃度（カドミウム、ニッケル、マンガン、クロム、および鉛）、11種の血清サイトカイン（IL-1 $\beta$ 、IFN- $\alpha$ 2、IFN- $\gamma$ 、TNF- $\alpha$ 、IL-6、IL-10、IL-12p70、IL-17A、IL-18、IL-23、IL-3）と、12種の血清ケモカイン（IL-8、CCL2、CCL3、CCL4、CCL11、CCL17、CCL20、CXCL1、CXCL5、CXCL9、CXCL10、CXCL11）を測定した。

肌測定結果については、工場非関係者と対象者のデータを比較した。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に工場内と同様のPM2.5をばく露し、溶接作業従事者の肌状態を再現して肌影響の検討を行った。

## 研究成果

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、溶接作業従事者においてより強い関連を認めたこと、②溶接作業従事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、溶接作業従事者に比べて溶接作業非従事者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、高い空間微粒子濃度の存在する工場を含む事業所内に保護具未着用で溶接作業非従事者が出入りすることによる二次ばく露の影響を示唆した結果と考えられた。

工場関連者の皮膚色は明るさが低く赤みが強く、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る結果が得られた。

## 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、血中マンガン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。また、溶接作業非従事者の二次ばく露の影響の有無も今後詳細に調べる必要がある。

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（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。

## 今後の展望

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、溶接作業従事者に1年以内に1回、マスクフィットテストを行い、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た。

調査で得られた結果は、複数本論文として掲載されている。本研究により適切なマスク着用の重要性、溶接ヒュームの二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、溶接作業を行う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。