

# アーク溶接に起因する溶接ヒュームの濃度の測定方法とその規制

渡辺 達也<sup>\*1</sup> 知恵賢二郎<sup>\*2</sup>  
Watanabe Tatsuya Chie Kenjiro

2021年4月1日に特定化学物質障害予防規則(特化則)が改正・施行され、金属アーク溶接等作業により発生する溶接ヒュームが、新たに特化則の特定化学物質(管理第2類物質)として位置づけられた。本改正により、金属アーク溶接等作業を行う場合には、特定化学物質としての規制が課されることとなり、全体換気装置による換気、溶接ヒューム濃度の測定、毎日の掃除、特定化学物質作業主任者の選任、特殊健康診断の実施等が必要となった。

本稿では、溶接ヒュームに関する規制とその測定方法について紹介する。

キーワード：アーク溶接、溶接ヒューム、個人ばく露測定、作業環境測定機関

## 1. はじめに

1904年に被覆アーク溶接法が発明されて以来、アーク溶接技術は100年を超える歴史を有しており、1930年にはティグ溶接法、1936年にはミグ溶接法、1953年には炭酸ガスアーク溶接法が開発された<sup>(1)</sup>。これらの溶接法は、後にマグ溶接法を産出し、現在に至るまで幅広く使用されている。しかしながらこれらの溶接法は、溶接に伴い発生するヒュームにより、作業員へじん肺等の健康障害を及ぼし<sup>(2)</sup>、作業員の健康を維持するためには、対策が不可欠であった。

## 2. 人体に対する影響

### 2.1 溶接作業の人体に対する影響について

溶接作業に対する健康障害の防止については、

かねてより検討が重ねられており、厚生労働省が開催した、「平成30年度第1回化学物質による労働者の健康障害防止措置に係る検討会」で議論が交わされ、その後複数回に渡り検討会が開催され、その結果が2021年2月に労働者の健康障害防止措置に係る検討会の報告書<sup>(3)</sup>により報告された。本報告書では、溶接作業により発生する溶接ヒュームに着目し、溶接ヒュームのばく露による健康影響について、代表的な4つの報告を紹介している。

本報告書によると、Bowlerら(2007)は閉鎖空間で溶接を行っていた43人の溶接工が、マンガンの累積ばく露指標と神経機能作用との間に、統計的に明らかなばく露反応関係があったと報告した。

その他にも、Ellingsenら(2008)は、96人の溶接作業員と対照被験者に神経心理学的検査を実施

\*1：計測事業部 環境・化学部 福浦グループ 環境計量士 一般計量士 第一種作業環境測定士

\*2：計測事業部 企画管理部 ソリューションエンジニアリンググループ 次長 博士(理学) 環境計量士 一般計量士 第一種作業環境測定士

し、マンガンばく露濃度（幾何平均）と指タップ運動機能（※1）について、有意なばく露反応関係が観察されたと報告した。

Laohaudomchok ら（2011）は、46 人の溶接作業者にマンガン累積ばく露指標と感情状態指標の悪化には、ばく露反応関係が認められたと報告した。

Sen ら（2011）は、7 人の溶接作業者と 7 人の対照被験者に対して、MRI スキャンによる脳内のマンガンの沈着部位の評価と神経行動学検査を実施した。その結果、嗅球、前頭葉白質、被殻にマンガンが蓄積されていることが認められ、マンガンの脳内の沈着が運動機能に影響を与えることを示唆していると報告した。

※1：母指と示指の指腹同士をなるべく早く触れるようにタップする試験。神経障害があるとタップ速度が遅くなる等の症状がある。

## 2.2 溶接ヒュームによる健康影響について

溶接ヒュームへのばく露により、じん肺が誘発されることは以前から知られており、古くは溶接工肺と呼ばれていた。これは粉じんが発生する作業全般に生じる症状であるが、最近、溶接ヒュームに含有されるマンガンにより神経障害の症状（性不能、疲労、うつ、頭痛等）が引き起こされる可能性があることが示唆された。

また、国際がん研究機構（IARC）は 2017 年に、溶接ヒュームをグループ 1（ヒトに対する発がん性）に分類した。これは、溶接作業等溶接ヒュームにばく露する者の肺がんのリスクが上昇していることが報告されたためであり、累積ばく露に関するばく露反応関係も確認されたとしている。

以上の報告により、溶接ヒュームは、じん肺の発症やそれに含有されるマンガンの毒性のみならず、溶接ヒューム自体に発がん性があることが示唆されたため、2021 年に溶接ヒュームが独立した特定化学物質（管理第 2 類物質）として位置づけられた。

## 3. 関連法規制とその測定方法

### 3.1 アーク溶接作業と溶接ヒュームの関連法規制

アーク溶接作業は既に、安全・衛生面で次の法令の規制を受けている（表 1）<sup>(4)</sup>。

これらの規則は、主として屋内で実施しているアーク溶接作業に係るものであるが、2021 年の特化則の改正では、これらの規制に加え、表 2 の特化則の規制が追加された。また、溶接ヒュームそのものが特定化学物質に分類されたことにより、アーク溶接作業以外にも、直接アーク溶接を実施しない作業（作業場内の床面等に堆積した溶接ヒュームを清掃する作業等）も特化則の範囲内となり、等しく表 2 の規制を受けることとなった。

表 1 溶接作業に係る主な規制内容

法令則	規制内容
労働安全衛生法施行令 労働安全衛生規則（安衛則）	危険防止、健康障害防止、安全衛生教育等
粉じん障害防止規則 （粉じん則）	全体換気装置の設置、休憩設備の設置 清掃の実施、呼吸用保護具の着用
鉛中毒予防規則 （鉛もしくは鉛合金の製品を溶接する場合等に限る。）	局所排気装置・プッシュプル型換気装置の設置 作業環境測定の実施 健康診断、呼吸用保護具の着用等
じん肺法	教育、就業時・定期・定期外・離職時健康診断

表2 溶接ヒュームに係る特化則の主な規制内容

規制内容	補足
全体換気装置の設置	全体換気装置は、動力により全体換気を行う装置を言う。
溶接ヒュームの濃度の測定	現にアーク溶接を実施している作業場は、2022年3月31日までに測定を実施する必要がある。
呼吸用保護具の着用	溶接ヒュームの濃度の測定結果に基づき呼吸用保護具を選択する。粉じん則で定める呼吸用保護具と比較し、性能の高い方を選択する。
フィットテストの実施	フィットテストは2023年4月1日から適用される。
清掃の実施	水洗等（HEPA フィルター付き真空掃除機を含む）により、毎日1回以上実施する。
特定化学物質作業主任者の選任	特定化学物質及び四アルキル鉛等作業主任者技能講習の修了者から選任する必要がある。
特殊健康診断の実施	アーク溶接作業に常時従事する労働者に対し、雇入れ時およびその後6ヵ月以内ごとに1回実施。
安全衛生教育	雇入れ時及び作業内容変更時に実施。
ぼろ等の処理	溶接ヒュームで汚染されたウエス、紙くず等はふた付きの不浸透性容器に納めておく。
不浸透性の床の設置	不浸透性はコンクリート、鉄板等
立入禁止措置	関係者以外の立入禁止と、その旨の表示を行う。
運搬貯蔵時の容器等の使用等	貯蔵には堅固な容器等を使用する。
休憩室の設置	作業場所以外の場所に休憩室を設ける。
洗浄設備の設置	洗眼・洗身またはうがいの設備、更衣設備、洗濯のための設備を設けること。
喫煙または飲食の禁止	溶接ヒュームを取り扱う作業場での喫煙・飲食の禁止とその旨の表示を行う。
有効な呼吸用保護具の備え付け	必要な呼吸用保護具を作業場に備え付ける。

これらの規制の中でも、溶接ヒュームの濃度の測定は、事業者が最初期に実施しなければならず、既存の溶接作業においては、2022年3月31日までに、測定後の措置の完了まで必要となったため、早急な対応が望まれる。なお、溶接ヒュームの濃度の測定後に必要な措置の流れは図1のとおりである。

### 3.2 溶接ヒュームの濃度の測定方法の概要

溶接ヒュームの濃度の測定方法は、厚生労働省告示(令和2年厚生労働省告示第286号)により定められた方法で実施するが、その内容は、作業環境測定基準(昭和51年労働省告示第46号)で定める作業環境測定(マンガンおよびその化合物)の個

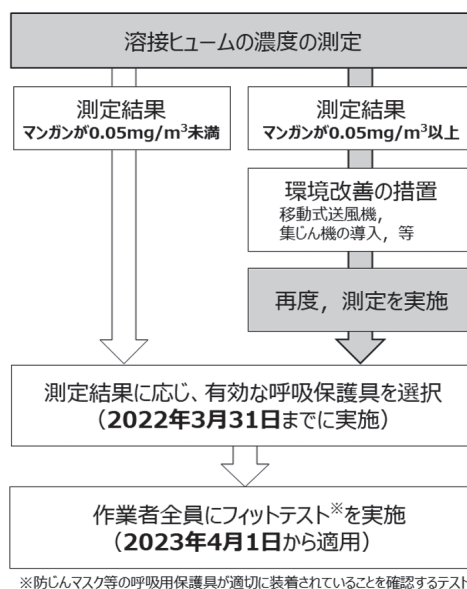


図1 溶接ヒュームの濃度の測定に係る必要な措置の流れ

人サンプリング法<sup>(5)</sup>と類似している。表3に、溶接ヒュームの濃度の測定方法と作業環境測定の個人サンプリング法の測定方法の相違点を示す。

### 3.3 有効な呼吸用保護具の選択法について

溶接ヒュームの濃度の測定により、呼吸用保護具の選択根拠である要求防護係数の算定が可能となる。算定した要求防護係数と表4の指定防護係数を比較し、要求防護係数を上回る指定防護係数

を有する呼吸用保護具が、測定実施作業に適用可能な保護具となる。例としては、当該溶接作業の測定結果として、要求防護係数が9.7と算定された場合には、使い捨て式防じんマスクのDS3、DS2が使用可能であるが、要求防護係数が51.2と算定された場合には、電動ファン付き呼吸用保護具(全面形面体)のS級、A級を使用しなければならない。

表3 溶接ヒュームの濃度の測定方法と作業環境測定(個人サンプリング法)の比較

測定の名称	溶接ヒュームの濃度の測定方法	マンガン及びその化合物の作業環境測定(個人サンプリング法)
測定の位置づけ	個人ばく露測定	作業環境測定
目的	保護具選定のため	作業環境の実態を把握するため
測定が必要な作業場	金属アーク溶接等作業を継続して行う屋内作業場	マンガン及びその化合物を製造しまたは取り扱う作業(屋内作業場に限り)
試料の捕集の方法	個人サンプリング(ろ過捕集方法)	
測定対象物質	マンガンおよびその化合物	
測定点数	最低2名(作業者が1名の場合は2日間計測)	最低5点+発生源近傍1点(作業者が5人未満の場合には、測定時間の分割が必要)
採取時間	1作業日において金属アーク溶接作業等に従事する全時間とし、短縮を認めない	作業場所内での全作業時間(条件次第では、2時間まで短縮が可能。)
分析の方法	吸光光度分析方法、原子吸光分析方法、左記と同等以上の性能を有する分析方法(ICP発光分光分析法を含む)	
測定結果の評価	測定値を管理濃度と比較し、得られた係数により保護具を選定する	測定値から評価値を統計的に処理により算出し、評価値と管理濃度の比較により評価する
測定頻度	既存の金属アーク溶接等作業は、2022年3月31日までに測定 その後は新たな金属アーク溶接等作業の方法を採用しようとするとき、当該作業の方法を変更しようとするときに測定を実施	6ヵ月以内に1回測定を実施
関係法令	特定化学物質障害予防規則	
測定実施可能者	第1種作業環境測定士、作業環境測定機関等の十分な知識・経験を有する者	第1種作業環境測定士(個人サンプリング法について登録を受けているものに限る。)

表 4 呼吸用保護具の指定防護係数一覧（抜粋）

呼吸用保護具の種類			指定防護係数	
防じんマスク	取替え式	全面形面体	RS3 または RL3	50
			RS2 または RL2	14
			RS1 または RL1	4
		半面形面体	RS3 または RL3	10
			RS2 または RL2	10
			RS1 または RL1	4
	使い捨て式		DS3 または DL3	10
			DS2 または DL2	10
			DS1 または DL1	4
電動ファン付き呼吸用保護具	全面形面体	S 級	PS3 または PL3	1000
		A 級	PS2 または PL2	90
		A 級または B 級	PS1 または PL1	19
	半面形面体	S 級	PS3 または PL3	50
		A 級	PS2 または PL2	33
		A 級または B 級	PS1 または PL1	14
	フード形 または フェイスシールド形	S 級	PS3 または PL3	25
		A 級		20
		S 級または A 級	PS2 または PL2	20
		S 級, A 級または B 級	PS1 または PL1	11

#### 4. 試料採取・分析方法

溶接ヒュームの濃度の測定方法について、試料採取法およびその分析方法についての一例を以下に紹介する。

#### 4.1 試料採取方法

試料採取装置を図 2 に示す。ろ過捕集方法は作業環境測定基準第 2 条第 2 項の要件を満たす分粒装置を用いる。本法では、分粒装置中にフィルターを装着し、溶接ヒューム中の吸入粉じんをフィルター上に捕集する。

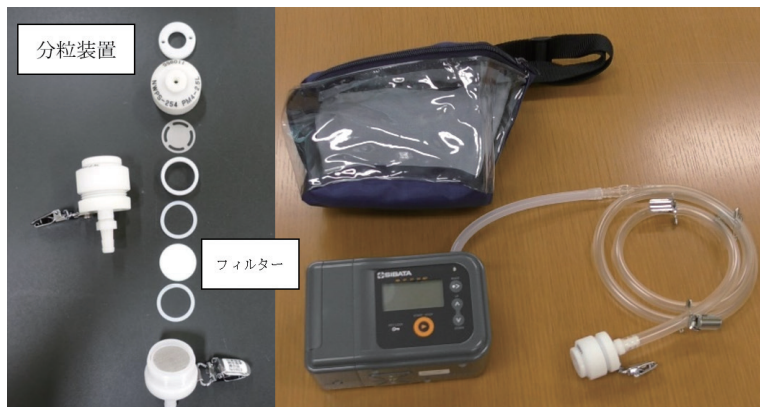


図 2 作業環境測定基準第 2 条第 2 項の要件に該当する分粒装置を用いるろ過捕集方法の測定機材例

また、当該試料採取装置を溶接作業者に装着する際には、以下の注意点がある(図3)。

- ・ 試料採取装置は溶接作業者の行動の妨げとならない位置に装着する。
- ・ 試料採取装置の採取口は呼吸域に装着する。
- ・ 採取口は溶接面の内側となるように装着する。

#### 4.2 分析方法の概要<sup>(6)</sup>

① 試料を捕集したフィルター(図4)をビーカーにとり、塩酸と過酸化水素水を加え、一晩放置する。

② フィルター片を碎きビーカーに時計皿をかぶせ、水浴で加熱する。その後、溶出液へ過酸化水素水を加える。

③②の溶出液と、容器を洗った洗液をフィルターろ過し、不溶性物質を除いたのちに定容し、ICP(Inductively Coupled Plasma: 高周波誘導結合プラズマ)発光分光分析法により定性定量分析を実施し、溶出液のマンガン濃度を定量する。



図3 溶接作業者への測定機材装着例

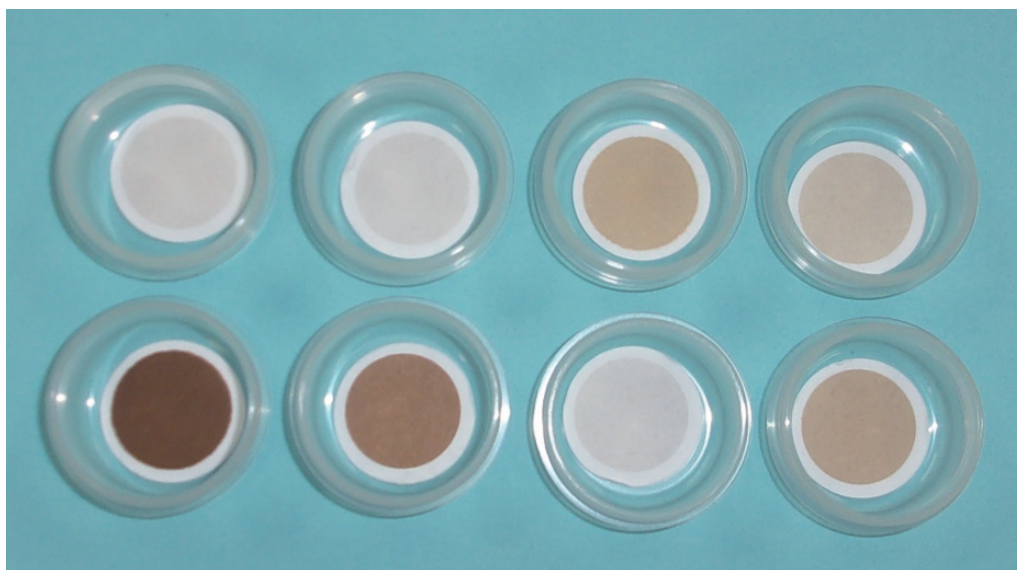


図4 試料捕集後のフィルター

## 5. おわりに

2021年4月に施行された特化則の改正に伴い、溶接ヒュームが特定化学物質として位置づけられたため、金属アーク溶接等作業を実施している事業者は数々の規制を受けることとなった。その中でも、溶接ヒュームの濃度の測定は事業者が最初期に取り組むべき対応であり、2022年3月31日までにその後の措置まで完了することが必須である。本測定には測定条件の設定から測定作業の実施まで、作業環境測定士等の知識・経験を有する者の判断が必要な場面が多く存在するため、溶接ヒュームの濃度の測定は作業環境測定機関に依頼することを強く推奨する。

## 参考文献

- (1) 清水弘之：アーク溶接の材料とプロセス、溶接学会誌、第80巻第8号、2011、pp.21-30
- (2) 佐野辰雄：溶接作業の安全衛生について、特に溶接工じん肺について、溶接学会誌、第37巻第4号、1968、pp.15-21
- (3) 厚生労働省：令和元年度 化学物質による労働者の健康障害防止措置に係る検討会 報告書（マンガン及びその化合物並びに溶接ヒューム）、2020
- (4) 一般社団法人日本溶接協会 安全衛生・環境委員会：溶接および溶断の安全・衛生に係る法令、溶接技術、7月号、2003、pp.92-99
- (5) 公益社団法人日本作業環境測定協会：作業環境測定のためのデザイン・サンプリングの実務—C・D測定編—、初版、2020、pp.8-57
- (6) 公益社団法人日本作業環境測定協会：作業環境測定ガイドブック4 金属類、第5版第3刷、2014、p.50



計測事業部 化学・環境部  
福浦グループ  
環境計量士 一般計量士  
第一種作業環境測定士  
渡辺 達也

TEL. 045-791-3516  
FAX. 045-791-3542



計測事業部 企画管理部  
ソリューションエンジニアリング  
グループ 次長 博士(理学)  
環境計量士 一般計量士  
第一種作業環境測定士  
知恵賢二郎

TEL. 045-791-3518  
FAX. 045-791-3541