

溶接管理技術者の体験紹介

溶接ヒュームへの個人ばく露低減対策について

池田工業株式会社
平沢 実

1. はじめに

特定化学物質障害予防規則の改正 (令和3年4月1日施行) により、溶接ヒュームが規制の対象となり、金属アーク溶接等作業を継続して屋内作業場で行う事業者には「全体換気による換気等」及び「溶接ヒュームの測定、その結果に基づく呼吸用保護具の使用及びフィットテストの実施等」他が課せられた。

具体的には、「溶接ヒュームへのばく露防止」として主に次の事柄が示されている。

* 溶接ヒュームの濃度がマンガンとして $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の場合、換気装置の風量の増加その他必要な措置及び有効な呼吸用保護具を選択し、労働者に使用させる等の措置が必要となった。

* 呼吸用保護具の選択方法

溶接ヒュームの濃度の測定結果から得られたマンガン濃度の最大の値(C)を使用し、次の計算式により「要求防護係数」を算定する。

[要求防護係数] $\text{PFr} = C \div 0.05$

「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を選択する。

今回の改正を受けて、弊社にて実施した溶接ヒュームへの個人ばく露低減対策の経緯とその考察を述べる。

2. 対策① (全体換気) 「プッシュプル型換気装置の設置」 (2020. 11. 29)

2.1 全体換気方法

弊社のように溶接対象物のサイズが 2.5m~12.5m と長大で、溶接作業者がその周りを動き回って溶接を行う場合は、局所排気装置の設置は適さないため、**図1**、**図2** の様にプッシュプル型換気装置を設置し、ヒューム濃度低減対策とした。

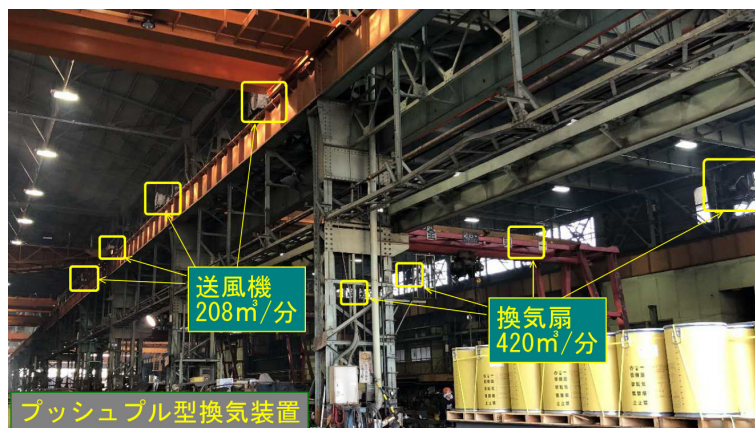


図1 換気扇設置状況

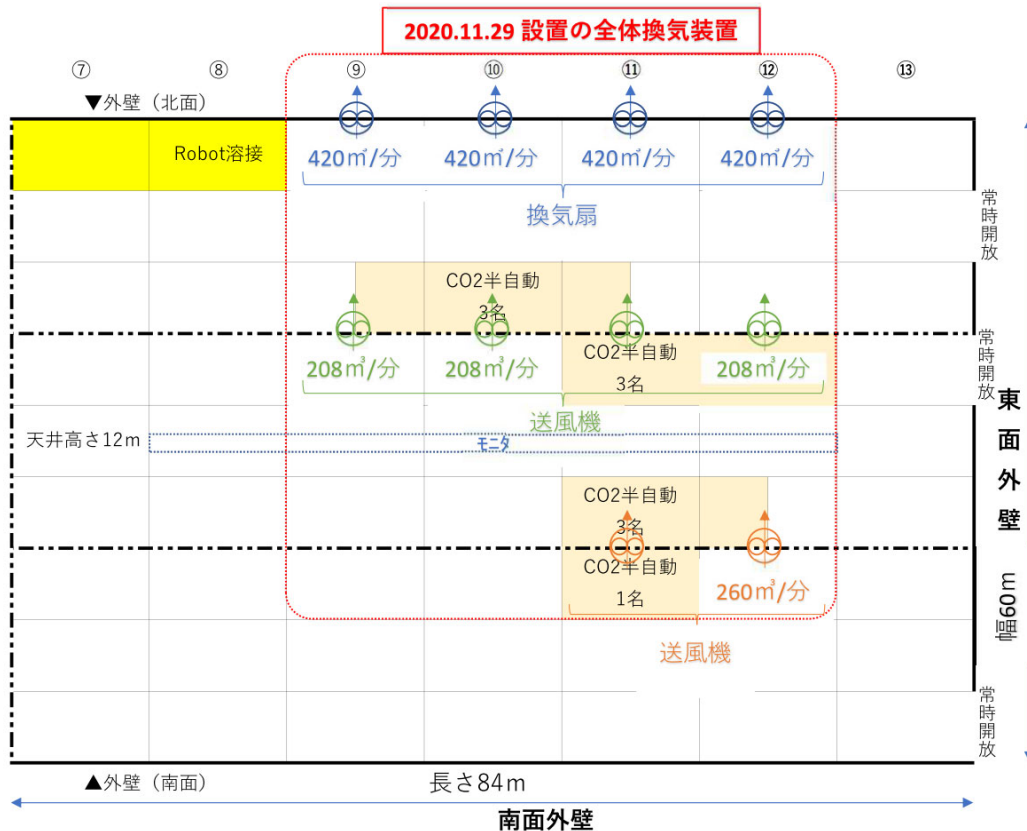


図2 全体換気装置配置図

2.2 プッシュプル型換気装置の能力と時間当たり換気回数の設定

工場容積と導入したプッシュプル型換気装置の能力から、1時間あたりの換気回数を計算した。換気回数は時間当たり 1.67 回になることが判った。

【換気回数の計算式】

工場容積	:	(幅) 60m × (長さ) 84m × (高さ) 12m	= 60,480 m ³ ……(a)
換気扇排気能力	:	420 m ³ /分 × 60 分/h × 4 台	= 100,800 m ³ /h ……(b)
換気回数 (1 時間当り)	:	(b) ÷ (a) ÷	1.67 回/h
∴換気回数	:	1.67 回/h	≥ 1 回/h

2.3 机上での溶接ヒューマンガン濃度の試算

(1) マンガン発生量

工場内のヒューマンガン発生量をワイヤメーカーの溶接ヒュームデータを基に算出した結果を表1に示す。表1から弊社工場での1時間あたりのヒューマンガン発生量は8,529.3mgであることが判明した。

表 1 ヒューマンガン発生量 (* : ワイヤメーカーの溶接ヒュームデータを参考に算出)

ヒューム発生源:	ヒューム発生量×マンガンの比 × 3,600s/h × アークタイム率 × 発生数 = マンガン発生量										
溶接ロボット 1 台:	6.5 mg/s*	×	0.15*	×	3,600s/h	×	0.23	×	1	=	807.3 mg/h
炭酸ガスアーク											
溶接 10 名:	13 mg/s*	×	0.11*	×	3,600s/h	×	0.15	×	10	=	7,722 mg/h
										合計	8,529.3 mg/h・・・①

(2) 作業環境測定上の溶接ヒューム濃度試算

強制換気の無い状態で作業開始 1 時間後の作業環境溶接ヒューム濃度を試算した。その結果を式(c)に示す。

$$\text{①} \div \text{(a)} = \underline{0.14 \text{ mg/m}^3} \quad (\text{要求防護係数} : 0.14 \div 0.05 = 2.8) \dots\dots\dots \text{(c)}$$

次に、プッシュプル型強制換気実施時の作業環境溶接ヒューム濃度を試算した。その結果を式(d)に示す。

$$\text{①} \div \text{(b)} = \underline{0.08 \text{ mg/m}^3} \quad (\text{要求防護係数} : 0.08 \div 0.05 = 1.6) \dots\dots\dots \text{(d)}$$

以上の結果から、プッシュプル型換気による、ヒューム濃度低減効果(机上計算予測)は57%に低減し、要求防護係数も一桁の保護具で十分であることが推定された。

2.4 実際の溶接ヒューム濃度測定結果 第 1 回目 (2021. 5. 7)

実際の溶接ヒューム測定結果を表 2 に示す。

表 2 実際の溶接ヒューム測定結果

測定対象	溶接ヒューム濃度	要求防護係数
本溶接作業	<u>2.19 mg/m³</u>	<u>43.8</u>
非溶接作業エリア定点測定	0.04 mg/m ³	0.8

今回の測定結果から以下のことが推察される。

本溶接作業者の個人ばく露溶接ヒューム濃度は、2.19 mg/m³ (要求防護係数 43.8)、有効な呼吸用保護具の選定では、これまで使用してきた指定防護係数 10 の防じんマスクは不適合であり、指定防護係数 43.8 以上の電動ファン付呼吸用保護具の適用が必須となった。

又、今回の測定では工場の非溶接作業エリアでの定点測定を追加し、結果は溶接ヒューム濃度 0.04 mg/m³、前項の (2) で試算した強制換気の無い状態のヒューム濃度試算値 0.14 mg/m³ の約 28% (強制換気時の試算値 0.08 mg/m³ の半分) の値となった。

一方で、本溶接作業者の個人ばく露溶接ヒューム濃度は 2.19 mg/m³ で、定点測定値 0.04 mg/m³ の 50 倍以上である。このことは、溶接ヒュームの発生源が手元にある溶接作業者の呼吸域におけるヒューム濃度があまりにも高く、それに比べプッシュプル型換気装置の更なる能力向上によるヒューム濃度の低減量は僅かであり、個人ばく露溶接ヒューム濃度の低減効果は、このプッシュプル型換気装置では殆ど期待でき無いことが分かった。

3. 対策②（個人ばく露濃度低減）「溶接作業者の呼吸域に新鮮な空気を供給」することで、個人ばく露溶接ヒューム濃度の低減実施（2021. 8月）

3.1 個人ばく露低減方法

この対策（図3～図6）は、コンプレッサーから供給される圧縮空気の吹き出し口を作業者のヘルメットのつばに取付け、溶接面と顔や胸に囲まれた呼吸域に新鮮な空気を供給することで、溶接作業者の個人ばく露溶接ヒューム濃度を低減させる方法とした。



図3 前面



図4 後面



図5 ヘルメット内面



図6 溶接状況

3.2 溶接ヒューム濃度測定結果 第2回目 (2021.8.11)

個人ばく露対策実施後の溶接ヒューム量測定結果を表3に示す。

表3 個人ばく露対策実施後の溶接ヒューム量測定結果

測定対象	溶接ヒューム濃度	要求防護係数
本溶接作業	0.87 mg/m ³	17.4

測定結果から本溶接作業は前回測定結果（プッシュプル型換気）の40%まで低減でき大きな効果が得られた。要求防護係数17.4となり、指定防護係数33の電動ファン付呼吸用保護具（後述図8参照）の選択が可能となった。

3.3 プッシュプル型換気装置と個人ばく露低減方式の組み合わせ

図7にプッシュプル型換気装置と個人ばく露低減方式の設置位置、及びそのヒューム濃度測定位置図を示す。新たに個人ばく露低減方式導入により、要求防護係数も大きく下がっていることが判った。

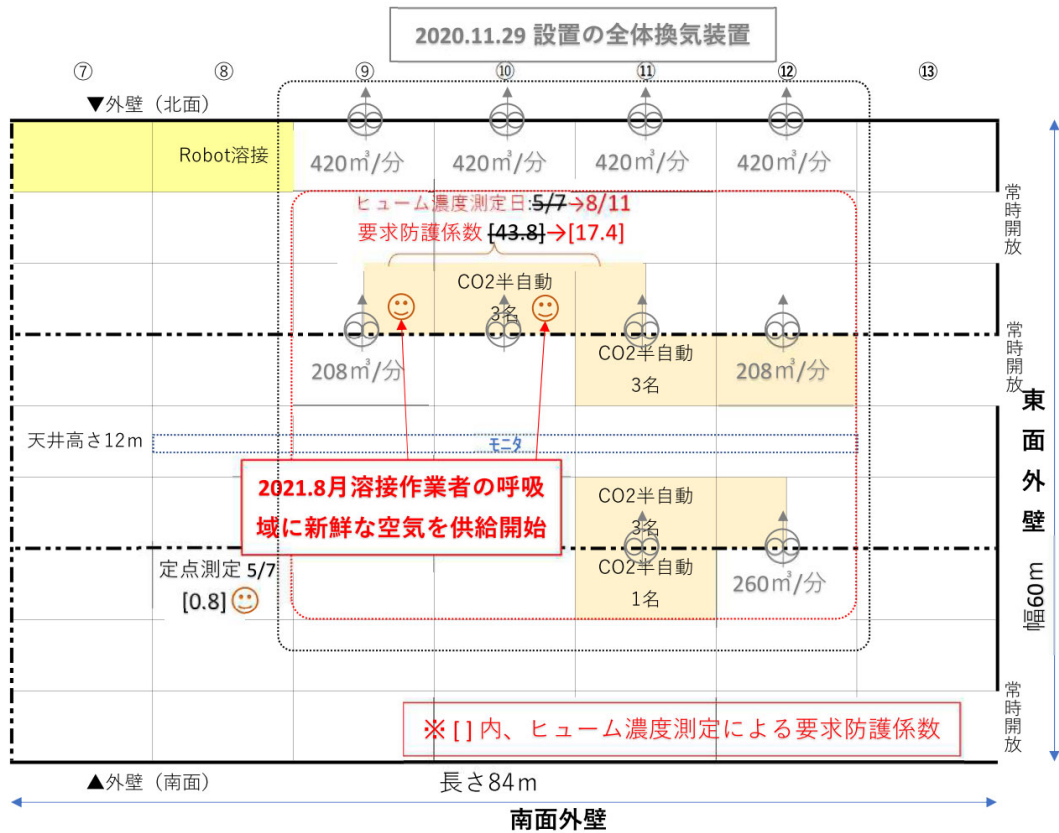


図7 ヒューム濃度測定結果配置図

4. 対策③「【指定防護係数 33】の電動ファン付呼吸用保護具の採用」(2021. 10. 4)

プッシュプル型換気装置、個人ばく露低減方式を採用した結果、要求防護係数は 17.4 となった。従来使用していた防じんマスクは防護係数 10 であるため、新たに防護係数 33 の電動ファン付き呼吸用保護具を導入した。従来の防じんマスク、新規導入した電動ファン付き呼吸用保護具を図8に示す。



図8 電動ファン付き呼吸用保護具の採用

5. まとめ

当初、個人ばく露溶接ヒューム濃度の低減対策として、対策①「プッシュプル型換気装置の設置」を行ったが、この対策はあくまでも工場内作業環境への溶接ヒュームの蓄積防止と作業環境に対する溶接ヒューム濃度低減に留まるものとなった。溶接ヒュームの発生源が手元にある溶接作業者の呼吸域でのヒューム濃度はあまりにも高く、それに比べプッシュプル型換気装置によるヒューム濃度の低減量は僅かであり、個人ばく露溶接ヒューム濃度への低減効果は限定的と言わざるを得ない。

従って、プッシュプル型換気については非溶接作業エリアでの要求防護係数を10以下に保つことを目標とし、他作業の者が通常の使い捨てマスク（DS2）【指定防護係数10】での作業が可能な条件を確保した。目安として、換気量を1時間当たり工場容積の1回分程度とし、ヒュームガスが徐々に蓄積していくことを防止した。

非溶接作業エリアでの定点測定結果は、要求防護係数を1以下に保つことができ、更に良好な結果となった。

対策②「溶接作業者の呼吸域に新鮮な空気を供給」する対策では、ヒューム濃度低減効果2.5分の1と、予想以上に効果が大きく、対策③【指定防護係数33】の電動ファン付呼吸用保護具を適用可能とすることができた。

しかし、コンプレッサーの圧縮空気にはオイルミストが含まれており、そのオイルミストを取り除くために通常のみストフィルターに加え更に高性能なフィルターが必要となった。

また、コンプレッサーの消費電力量もプッシュプル型換気の換気扇同様、相当に高まるため、それらのコスト増に加え地球規模の環境破壊に加担してしまうことは避けられない。

今回、対策として採用しなかったが、すみ肉溶接用の溶接ワイヤをフラックスワイヤからソリッドワイヤに変更することも、限定的ではあるが個人ばく露溶接ヒューム濃度への低減効果が期待できる。

【資料①】「溶接ヒューム濃度測定結果報告書(2021.5.7)」

[本溶接作業]

保存:当該作業の方法を用いなくなった日から起算して3年経過まで 2021年5月21日
報告書(証明書)番号 JH202105002

特定化学物質障害予防規則第38条の21第2項及び第4項に基づく
空气中の溶接ヒューム濃度の測定結果報告書(証明書)

池田工業 株式会社 様

貴事業場より委託を受けた標記測定の結果は、下記及び別紙溶接ヒューム濃度測定結果記録表に記載したとおりであることを証明します。

溶接ヒューム濃度の測定を実施した作業環境測定機関

①名称	株式会社 日本環境技術センター	②代表者職氏名	代表取締役 市原 大貴
		②-(2)測定結果の管理を担当する者の氏名	岩田 孝明
③所在地(TEL, FAX)	〒491-0076 愛知県一宮市貴船町三丁目5番地2 [Tel. 0586-73-1512] [Fax. 0586-73-1620]		
④登録番号	23-49	⑤作業環境測定に関する精度管理事業への参加の有無	(有) (2019年度参加No.0053)
⑥連絡担当作業環境測定士氏名	鷺見 和也	⑦登録に係る指定作業場の種類	第①②③④⑤
		⑦-(2)個人サンプリング法が実施できる旨の登録の有無	(有) ・ 無

測定を委託した事業場等

⑧名称	池田工業 株式会社
⑨所在地(TEL, FAX)	〒492-8057 愛知県稲沢市下津長田町56-1 [TEL. 0587-23-4071 FAX. 0587-21-3188]

記

- 測定を実施した屋内作業場の名称: 低棟 本溶接
- 測定した物質の名称等: 溶接ヒューム(レスピラブル粒子)
呼吸用保護具の要求防護係数の計算に係る基準値: マンガンとして 0.05 mg/m³
- 測定年月日(1日目) 2021年5月7日 (2日目) ※
- 測定結果

⑩測定した溶接ヒューム濃度の最大値	⑪要求防護係数PPF(最大値/0.05)
2.19 mg/m ³	43.8

5. 測定の区分 ([新規] 変更、改善効果確認)
変更の場合は、その内容 (母材、溶接材料等、溶接方法、作業場所、その他())

【事業場記入欄】(以下については事業場の責任において記入すること)

作成者職氏名	作成年月日
--------	-------

(1) 衛生委員会、安全衛生委員会又はこれに準ずる組織に測定結果を報告した際の意見

(2) 産業医又は労働衛生コンサルタントの意見

(3) 測定の結果に応じて講じた作業環境改善措置の内容と有効な呼吸用保護具の概要

(4) 改善後の測定(第38条の21第4項)の場合、前回の測定結果

前回の測定結果	
mg/m ³	

[非溶接作業エリア 定点測定]

報告書

池田工業 株式会社 様

第 N202105018号 1/1
2021年5月21日

作業環境測定機関 23-49
株式会社 日本環境技術センター
本社 〒491-0076 愛知県一宮市貴船町三丁目5番地2
TEL. 0586-73-1512 FAX. 0586-73-1620
可見営業所 〒496-8244 愛知県稲沢市下津長田町56-1
TEL. 0574-63-3851 FAX. 0574-63-3852

測定した結果を下記の通り報告致します。

溶接ヒューム中のマンガン濃度測定
(非溶接作業エリア 定点測定)

依頼者 池田工業 株式会社

測定年月日 2021年5月7日

測定位置 柱(3-06)付近

物質の種類 溶接ヒューム中のマンガン

測定方法

物質の種類	試料採取方法	分析方法
溶接ヒューム中のマンガン	分粒装置を用いた過捕集方法	ICP発光分光分析法

測定結果

溶接ヒューム濃度	要求防護係数PPF
0.04 mg/m ³	0.8

備考

【資料②】「溶接ヒューム濃度測定結果報告書(2021.8.11)」

報告書(証明書)番号 JH202108002

特定化学物質障害予防規則第38条の21第2項及び第4項に基づく
空气中の溶接ヒューム濃度の測定結果報告書(証明書)

池田工業 株式会社 様

貴事業場より委託を受けた標記測定の結果は、下記及び別紙溶接ヒューム濃度測定結果記録表に記載したとおりであることを証明します。

溶接ヒューム濃度の測定を実施した作業環境測定機関

①名称	株式会社 日本環境技術センター	②代表者職氏名	代表取締役 市原 大貴
		②-(2)測定結果の管理を担当する者の氏名	岩田 孝明
③所在地(TEL, FAX)	〒491-0076 愛知県一宮市貴船町三丁目5番地2 [Tel. 0586-73-1512] [Fax. 0586-73-1620]		
④登録番号	23-49	⑤作業環境測定に関する精度管理事業への参加の有無	(有) (2019年度参加No.0053)
⑥連絡担当作業環境測定士氏名	鷺見 和也	⑦登録に係る指定作業場の種類	第①②③④⑤
		⑦-(2)個人サンプリング法が実施できる旨の登録の有無	(有) ・ 無

測定を委託した事業場等

⑧名称	池田工業 株式会社
⑨所在地(TEL, FAX)	〒492-8057 愛知県稲沢市下津長田町56-1 [TEL. 0587-23-4071 FAX. 0587-21-3188]

記

- 測定を実施した屋内作業場の名称: 低棟 本溶接
- 測定した物質の名称等: 溶接ヒューム(レスピラブル粒子)
呼吸用保護具の要求防護係数の計算に係る基準値: マンガンとして 0.05 mg/m³
- 測定年月日(1日目) 2021年8月11日 (2日目) ※
- 測定結果

⑩測定した溶接ヒューム濃度の最大値	⑪要求防護係数PPF(最大値/0.05)
0.87 mg/m ³	17.4

5. 測定の区分 ([新規] 変更、改善効果確認)
変更の場合は、その内容 (母材、溶接材料等、溶接方法、作業場所、その他())

平 沢 実 (ひらさわ みのる)

<略歴>

1987年 名古屋工業大学 建築学科 卒業
1987年 クボタハウス株式会社 入社 中部支店 設計課
1989年 池田工業株式会社 入社 設計課
1996年 同上 製造部長
2003年 同上 代表取締役 現在に至る

<資格>

1992年 一級建築士
1993年 鉄骨製作管理技術者 1級
2000年 溶接管理技術者 特別級
2001年 IIW IWE
JSNDI UT-3