

低ヒュームワイヤによるばく露低減効果の検証

小 嶋 純

実験室内に設けた溶接ロボット等を用いて、溶接作業場における粉じん対策を目的に開発された低ヒュームワイヤのばく露低減効果を検証した。溶接ヒューム、一酸化炭素、オゾンの各ばく露濃度を測定し、低ヒュームワイヤと従来型ワイヤとの比較を行ったところ次の結果を得た。① 低ヒュームワイヤは溶接ヒュームのばく露濃度を約 5%低下、もしくは約 25%増大させた。② 低ヒュームワイヤは一酸化炭素のばく露濃度を約 15%～24%低下させた。③ 低ヒュームワイヤはオゾンのばく露濃度を約 25%増大、もしくは約 75%低下させ、これらは統計的に有意であった。以上の結果より、低ヒュームワイヤのばく露低減効果は製品情報等から期待される程のものではなく、粉じん対策上あくまで補助的手段に留めるべきであることが示唆された。

キーワード: 低ヒュームワイヤ、炭酸ガスアーク溶接、溶接ヒューム、一酸化炭素、オゾン。

1 はじめに

国内の多くの溶接作業場では依然として高濃度の金属粉じんばく露が見られ、年間のじん肺新規有所見者の約 4 割がアーク溶接作業に係る労働者で占められているのが実状である。そのためアーク溶接における金属粉じん（＝溶接ヒューム）へのばく露防止対策は今も労働衛生上の一重要課題となっており、第 7 次粉じん障害防止総合対策（基発第 0319006 号；平成 20 年 3 月 19 日付）でもアーク溶接時のヒューム対策を重点事項の一つと位置付けている。

概してアーク溶接作業は他の粉じん作業と比べて粉じん対策が技術的に難しいため、十分なばく露抑制を経常的に実現している事業所は少ない。この様な状況に対し、厚生労働省労働基準局安全衛生部が各都道府県労働局に向けて発出した通達「アーク溶接作業における粉じん障害防止のための工学的対策の推進」（基安発第 0220001 号；平成 18 年 2 月 20 日付）では、効果的な粉じん対策法として局所排気装置やプッシュプル型換気装置の導入を促進し、全体換気装置等を設置する場合には吸引トーチ及び低ヒューム溶材の併用を勧奨している。

ここで言う低ヒューム溶材とは、蒸気圧の低い成分等を添加させることによりヒューム及びスパッタの発生量を低減させるという電極材で、使用に際しては作業方法の変更が不要で、費用も安い点などが長所とされる。既に複数の国内メーカーから市販品が出ており、そのうちの一家（溶接材料等の大手メーカー；以下、K 社とする。）のウェブ・サイトを閲覧すると、同社製の低ヒュームワイヤは従来製品と比べ、性能を維持したままヒューム発生量を約 30～40%低減させると謳っている。またスパッタ除去作業に要する時間も短縮させるため、作業の効率化にも寄与するという。

一般に発生源対策は工学的対策や保護具の着用など他の粉じん対策より優先して講ずべきもので溶接においても例外ではないが、その具体策の一つである低ヒューム溶材の効用に関しては、ヒューム発生量の低減がメーカーにより確認されているものの、作業者のばく露低減効果を直接検証した報告は見当たらない。そこで本報では

炭酸ガスアーク溶接用の低ヒューム溶材（低ヒュームワイヤ）に着目し、これを使用した際のヒュームばく露濃度を実験室内で測定して、同ワイヤによるばく露低減効果を検証することとした。また、ヒュームの多寡が同時発生する毒性ガスの生成量に影響を及ぼす可能性も考えられることから¹⁾、本報ではヒュームと併せて一酸化炭素及びオゾンのばく露濃度低減効果についても検証した。

2 装置及び実験方法

実験は気積約 335m³（6.0m×15.5m×3.6m）の屋内実験施設内に設置した自動溶接ロボットと各種測定器及びダミー作業員（等身大マネキン人形）を用いて行った。使用したロボットは（株）神戸製鋼所製炭酸ガス自動溶接ロボット ARCMAN-RON である。実験時のシールド用炭酸ガス流量は 20ℓ/min、電極材は K 社製の従来型フラックス入りワイヤ（JIS Z 3313）と K 社及び N 社（国内溶接材料メーカー）製の低ヒュームワイヤ（何れもφ 1.2mm）とし、溶接速度 30cm/min で 270mm×270mm×12mm の鉄板上に連続 90 秒間のビード・オン・プレート溶接を行ってヒューム及びガスを発生させた。この際の溶接電流は、K 社による実験において低ヒュームワイヤからのヒューム発生量が従来製品と比べ約 30～40%低減したとされる条件（＝280A）に合わせた。ヒュームのばく露濃度の測定には柴田科学株式会社製 PM4 個人サンプラー NWPS-254（ろ紙径 25mm）及びミニンプ MP-Σ 300 を、一酸化炭素の測定には新コスモス電機株式会社製携帯用複合型ガス検知器 XA-913C を、オゾンには理研計器株式会社製ポータブル特殊材料ガスモニター SC-90 をそれぞれ使用した。ばく露濃度測定の際のサンプリング位置は、国際規格（ISO10882-1, 10882-2）及び国内規格（JIS Z 3950, Z3952）に則り遮光保護面内側にて行った（図 1-1, 図 1-2）。これは、誤ったサンプリング位置（面体の外側、例えば作業員の肩など）にてばく露濃度を測ることにより測定値を著しく過大に導く危険を避ける為に以前から設けられている規程である²⁻⁴⁾。遮光保護面を着用させたダミー作業員は、

実際の溶接作業を模し、前傾姿勢でアーク点を見下ろす体位で設置した。ダミー作業者の呼吸域(口の端から 5cm 以内の部位と規定される。)からアーク点までの垂直距離は約 55cm とした。

上記の機器及び器具を用いて、同一溶接条件における従来型ワイヤと低ヒュームワイヤ使用時のばく露濃度を比較し、後者によるヒューム、一酸化炭素およびオゾンに対するばく露の低減効果を調べた。



図 1-1 サンプルング位置

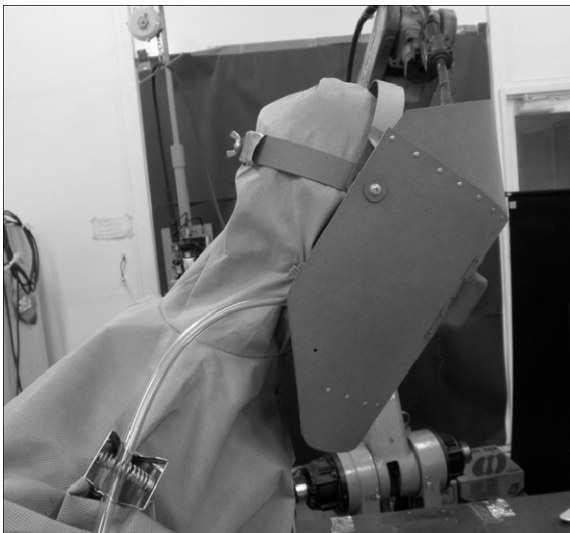


図 1-2 サンプルング位置 (遮光保護面装着時)

3 実験結果

従来型ワイヤ及び低ヒュームワイヤを用いて溶接を行った際の吸入性ヒューム、一酸化炭素及びオゾンのばく露濃度(90秒間の時間平均濃度)を表 1 に示す。ただし表中の値は全て 10 回の測定(算術平均±標準偏差)として表示した。

表 1 に示したように、ヒュームのばく露濃度はどのワイヤを用いた場合においても約 $70\sim 90\text{mg/m}^3$ となり、少なくともアーク中は日本産業衛生学会が勧告する溶接ヒュームの許容濃度 (1mg/m^3) を大きく超えるばく露を受けることが判明した。K 社製の低ヒュームワイヤを使用した場合、従来型ワイヤの場合と比べ、ばく露濃度は約 5% 低下したものの、両者の間に統計的な有意差 (5% 水準, t 検定; 以下同じ) は認められなかった。N 社製低ヒュームワイヤの場合は、ばく露濃度は逆に 25% ほど増大し、しかもその差は統計的に有意であった。

一酸化炭素のばく露濃度は、何れのワイヤの使用時においても米国 NIOSH の天井値 (200ppm) を下回るものであった。従来型と比べ、K 社製低ヒュームワイヤの使用でばく露濃度は約 15% 減少したが統計的には有意でなく、N 社製では約 24% 有意に減少した。

オゾンのばく露濃度は、従来型ワイヤを使用した場合、米国 NIOSH の天井値 (0.1ppm) を若干下回ったが、K 社製の低ヒュームワイヤの場合は天井値と同程度、N 社製の場合は天井値の約 20% であった。K 社製低ヒュームワイヤの使用によりオゾンのばく露濃度は 25% ほど上昇したが、N 社製では大幅に低下し、何れの場合もその差は統計的に有意であった。

表 1 ヒューム、一酸化炭素およびオゾンのばく露濃度測定結果 (n=10)

	溶接ヒューム (mg/m^3)	一酸化炭素 (ppm)	オゾン (ppm)
従来型	73.2 ± 16.2	113.9 ± 21.9	0.08 ± 0.01
低ヒューム型*	69.6 ± 14.8	96.4 ± 17.2	0.10 ± 0.02
低ヒューム型**	91.2 ± 21.5	86.1 ± 14.0	0.02 ± 0.01

* K社製品

** N社製品

4 考察とまとめ

低ヒュームワイヤは、ヒュームのみならずスパッタの発生量も低減させるため、清掃や付着したスパッタの除去作業に要する時間を短縮させて作業効率向上が図られ、積極的に導入を勧奨するだけの便益はある。しかし労働衛生の観点からは、今回の実験で明らかになったように、同ワイヤによるばく露低減効果は製品情報(ヒューム発生量の低減率)から期待される程ではなく、主要なばく露対策の一方法とするには不十分であることが判明した。

また場合によってはヒュームおよびオゾンのばく露量を増やす危険もあるようである。

アーク点周囲を煙幕のように覆うヒュームはオゾン生成を促す紫外線を遮る効果があるため、ヒュームの発生量を減らすと結果的にオゾン発生量が増加すると言われるが⁵⁾、今回の実験結果と照合すると、ヒュームのばく露濃度が増大したN社製ワイヤにおいてオゾンのばく露濃度は有意に減少しており、この知見を裏付けるものと考えられる。

この様に低ヒュームワイヤでは必ずしも有害物質のばく露低減が期待できないため、溶接作業場の発生源対策としては、前述の通達で同じく推奨されている吸引トーチ⁶⁾の使用やアークの密閉化など、ほぼ確実な効果が期待できる措置を先ず講じ、低ヒューム溶材の使用はあくまで補助的ないし追加的な手段にすべきと考える。なお、これ以外の発生源対策として、シールドガスの成分、溶接電圧、ワイヤの供給速度などの調整も、ヒュームの低減化ないし低毒化に有効であることが報告されている。例えば、Grayら⁷⁾によると、アルゴンガスと炭酸ガスを適当な比率で混合させたシールドガスを用いることにより、或いは溶接電圧を30V以下とすることにより、MIG溶接時のヒューム発生率を大幅に低下できたことが報告されている。またXinら⁸⁾によれば、φ1.4mmソリッドワイヤをガスアーク溶接に使用してヒューム発生率(1分間当たりのヒュームの生成量)を測定したところ、一定の条件下で、ワイヤ供給速度が350 [インチ/min]の場合の発生率は、550 [インチ/min]の場合の約30%であったと報告している。現場においては、それぞれの状況や制約に応じて、このような種々の発生源対策を適宜選択・組み合わせるなどして有効に活用されたい。

※ 本稿は、労働安全衛生研究 4 巻 1 号 39-41 ページ (2011 年) に掲載された 短報 「低ヒュームワイヤによるばく露低減効果の検証」を修正したものです。

参 考 文 献

- 1) Faggetter A K, Freeman V E, Hosein H R. Novel engineering methods for ozone reduction in gas metal arc welding of aluminum. Am Ind Hyg Assoc J 1983; 44: 316-320.
- 2) 小嶋 純. 溶接作業者の粉じんばく露濃度測定. セイフティダイジェスト 2008 ; 54(4) : 7-9.
- 3) 小嶋 純. 溶接粉じんの個人ばく露濃度測定法の提案. 労働安全衛生研究 2008 ; 1 : 267-269.
- 4) OJIMA J. Laboratory evaluation of carbon monoxide exposure in CO₂ arc welding. J Occup Health 2009; 51: 377-379.
- 5) 村田 克. アーク溶接作業における粉じん対策. 安全と健康 2010 ; 6 : 34-38.
- 6) OJIMA J. Performance of a fume-exhaust gun system in CO₂ arc welding. J Occup Health 2006; 48: 207-209.
- 7) Gray C N, Hewitt P J. Control of particle emissions from electric-arc welding by process modification. Ann occup Hyg 1982; 25: 431-438.
- 8) Xing H, Geng Z, North T H. Fume generation during solid and metal cored wire welding. Weld J Res Supp 2001; 80(7): 173-183.