

溶接作業場における一酸化炭素濃度測定に対する提言

小 嶋 純

溶接時には金属粉じん（ヒューム）ばかりでなく種々の有害ガスも同時に発生し、それによる中毒事故がしばしば起きる。しかし、溶接作業の労働衛生課題はヒュームのばく露対策が中心であったため、有害ガスの問題はさほど重視されておらず、測定法に関する研究報告も国内では未だ僅少である。そこで本報では炭酸ガスアーク溶接に伴って発生する一酸化炭素ガスに着目し、国内外の規格が定めているばく露濃度測定法を参考に、同ガスの適切なサンプリング方法のあり方について検討を試みた。実験の結果、溶接作業者が常用する遮光保護面の内側と外側では一酸化炭素濃度に顕著な差異を生じることが確認され、一酸化炭素のばく露濃度測定においても面体内部でのサンプリングが重要不可欠であることが証明された。ただし、作業者が対面方向から微弱な気流を受けるような場合においては、面体内外で明らかな濃度差は認められなかった。

キーワード: 溶接、一酸化炭素、個人サンプラー、ばく露濃度。

1 はじめに

炭酸ガスアーク溶接では、金属粉じん（溶接ヒューム）ばかりでなく、オゾン、窒素酸化物、有害光線など様々な有害因子が同時に発生し、作業者はこれら全てにばく露することになる。一酸化炭素も同作業においてばく露が問題となる有害物質の一つで、シールドガスとして使用される炭酸ガスがアークの高熱を受けて変成するものである。従来、溶接作業における労働衛生課題はヒュームのばく露対策が中心であったが、現場では一酸化炭素による中毒事故もしばしば発生しており、ヒュームと同様に管理及び対策を行う必要がある。

一般に、溶接作業場における気中有害物質の環境濃度は、ばく露濃度と比べ顕著に低くなる傾向がある。そのため、いわゆる“場の測定”を主体とする我が国特有の作業環境測定法では作業者のばく露実態が十分に反映されず、適正に対処できないという問題が発生する。そこで、個人サンプラーによるばく露濃度測定を導入する必要があるのだが、一般的なばく露濃度測定法では溶接作業者のばく露濃度を正確に測れないことが以前から指摘されている。通常、溶接作業者はアークから発する強い光線やスパッターから顔面を保護するため溶接用遮光保護面を被るので必然的に呼吸域はこの保護面の内側に覆われるが、一般的な個人サンプラーは面体の外部（＝呼吸域の外）に装着するからである。そこで、国際規格（ISO 10882-1, ISO 10882-2）や日本工業規格（JIS Z 3950, JIS Z 3952）が定める溶接作業者の個人ばく露濃度測定法では、サンプリング位置を保護面の内側にするよう明記しているが、これは保護面内外にヒュームおよびガス（オゾン、窒素酸化物）の顕著な濃度差が存在することを明かした過去の研究報告¹⁾⁷⁾が根拠になっている。

さて、当研究で着目した一酸化炭素も面体内外で有意の濃度差を生じることが類推されるので、ばく露濃度の測定に際しては上記の規格に従うのが適当と予想されるが、本当に一酸化炭素でも濃度差が生じるのか、検証は未だされていないようである。そこで本報では、実験室内に設けた溶接ロボットおよびダミー作業者と一酸化炭素濃度モニター等を用い、炭酸ガスアーク溶接時に保護

面内外で起き得る一酸化炭素ガスの濃度差を測定して、同ガス測定時に適用される国内外の規格の正当性を検証した。

2 装置及び実験方法

保護面体の内外における一酸化炭素の濃度測定には、赤外線吸収方式の一酸化炭素モニター（柴田科学(株)製；Model CO-2）を使用した。実験器具などの配置状況を図1に示す。

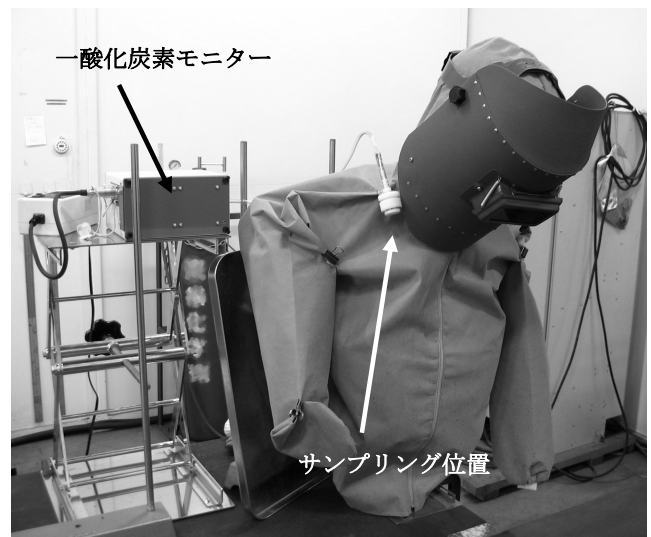


図1 一酸化炭素モニターとダミー作業者の配置状態。
この図では、一酸化炭素を保護面体の外部（作業者の右肩上）にてサンプリングした際の状態を写している。

実験における溶接には自動溶接ロボット（神戸製鋼（株）製；ARCMAN-RON）を用い、270 m×270 m×12 m サイズの軟鋼母材上に、以下の条件にてビード・オン・プレート溶接を行った。

溶接電流：100 Aおよび300 A

溶接速度：30 cm/min
 電極材：1.2 m φ ソリッドワイヤ (JIS Z 3312)
 シールドガス：炭酸ガス 20 liter/min
 溶接姿勢：下向き姿勢
 アーク時間：90 秒

上記の溶接ロボットと、溶接用遮光保護面を被せたダミー作業員（上半身のみの等身大マネキン）を実験室内に適当に配置して、生身の溶接作業員による作業を模すものとした。母材表面中央部とダミー作業員呼吸域との距離は 50 cm としている。一酸化炭素モニター（本体）はダミー作業員の脇に置き、これにフィルター・カセット付きのサンプリング・チューブをつないで所定位置からサンプリングが行えるようにした。サンプリング位置は、(1) ダミー作業員の呼吸域内；保護面体の内側で、ダミーの口の右端から 5 cm 以内の部位。(2) ダミー作業員の呼吸域外；ダミーの右肩上で、保護面体の外側に位置する。の 2 箇所とした。一酸化炭素濃度の測定値は、アーク時間（90 秒間）中の時間平均値として記録した。また、気流の影響を付加する実験（図 2）では、その発生装置として、プッシュプル型換気装置（興研(株)製；MS-01）用の送風ユニットを流用している。この気流の大きさは、アーク点上方 10 cm 位置における風速として 0.3 m/s に設定した（一熱線式風速計で確認）。さらに、面体内部における一酸化炭素濃度の瞬間最大値を記録するため、別途、携帯型一酸化炭素モニター（新コスモス電機(株)製；Model XC-2200）を併用した。



図 2 気流の存在が一酸化炭素の濃度測定に及ぼす影響を調べるための実験。気流はダミー作業員の正面から風速 0.3 m/s で吹き付けるものとした。

3 実験結果および考察

保護面体の内外で測定された一酸化炭素濃度の測定結果を表 1（次々頁）に示す。ただし、表中の数値は全て時間平均濃度であり、同じ条件で 12 回の測定を繰り返

して行った際の幾何平均値で表記してある。これより、無風状態においては、面体内部の一酸化炭素濃度は面体外の濃度の 12%～23%となり、両者間の差は統計的に有意であることが確認された。これは、保護面を着用することにより一酸化炭素のばく露濃度を低減させる効果があったことを意味する。しかし、ダミー作業員が正面から気流を受ける状況下では、面体内外の一酸化炭素濃度に差は認められなかった。これは恐らく、面体と顔面下部との間にできた隙間を通して、立ち昇ってくる一酸化炭素を気流が押し込む形となり、結果的に面体内の一酸化炭素濃度を押し上げたものと考えられる。従って、面体着用によるばく露低減効果は、外部状況に左右される不確実なものであり、それ故、面体外濃度から内部濃度を予測することも、一定の呼吸保護具的效果を期待することも困難であることが明かされた。

次に、面体内における一酸化炭素濃度の瞬間最大値を測定したところ、無風状態下では、溶接電流が 100 A の場合で 58 ppm、300 A の場合で 153 ppm であった。一方、気流の存在する状況下においては、溶接電流が 300 A の場合で、同濃度は 325 ppm になった。表 1 と併せ見れば明らかのように、炭酸ガスアーク溶接中にばく露する一酸化炭素の時間平均濃度は日本産業衛生学会の勧告する許容濃度（50 ppm）を下回るものの、短時間内では米国 NIOSH の定める天井値（200 ppm）を超える恐れのあることが示された。

以上より、炭酸ガスアーク溶接中に発生する一酸化炭素は、溶接ヒュームやオゾン、窒素酸化物と同様に、面体内外で大きな濃度差を生じる可能性のあることが確認され、ばく露濃度を正確に把握するには、前述した国内外の規格に則り、保護面内部でサンプリングする必要のあることが示された。昨今、一酸化炭素のばく露濃度測定において肩サンプリングを行う方法が提案されているが、これが不適切であることは今回の結果より明らかなので、別して避けることを勧めたい。

なお、一酸化炭素濃度の測定器具を保護面の内側に収容することが困難な場合は、図 3-1～図 3-3 に示すようなチューブによるサンプリングも可能なので参考とされたい。

※ 本稿は、J Occup Health（社団法人 日本産業衛生学会 英文誌）51 巻 4 号 377-379 ページ（2009 年）に掲載された「Laboratory Evaluation of Carbon Monoxide Exposure in CO2 Arc Welding」を和訳・修正したものです。



図 3-1 面体内部からのサンプリング方法の例

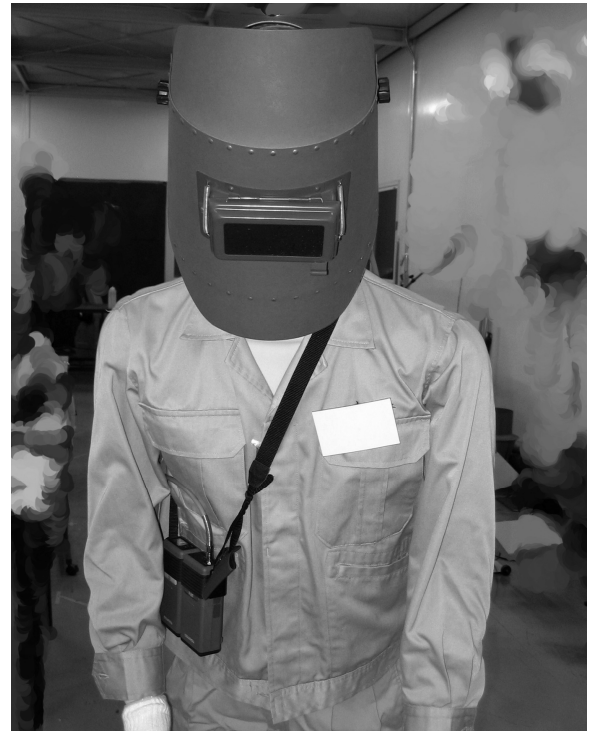


図 3-3 面体内部からのサンプリング方法の例



図 3-2 面体内部からのサンプリング方法の例

参 考 文 献

- 1) Johnson WMS. An investigation into the true exposure of arc welders by means of simultaneous sampling procedure. *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.* 1959 ; 20 : 194-196.
- 2) Alpaugh EL, Phillippo KA, Pulsifer HG. Ventilation requirement for gas-metal-arc welding versus coverd-electrode welding. *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.* 1968 ; 29 : 551-557.
- 3) Frank CSJr, Alexander BR. Exposure to iron oxide fume at arc air and powder-burning operations. *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.* 1969; 30 : 143-146.
- 4) Vorpahl KW, Jordan PT, Mathews EJ. Chrome alloy welding fume study. *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.* 1976 ; 37 : 566-569.
- 5) Goller JW, Paik NW. A comparison of iron oxide fume inside and outside of welding helmets. *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.* 1985 ; 46 : 89-93.
- 6) Chung KYK, Carter GJ, Stancliffe JD. Laboratory evaluation of a protocol for personal sampling of airborne particles in welding and allied processes. *Appl.Occup.Environ.Hyg.* 1999 ; 14 : 107-118.
- 7) Cole H, Epstein S, Peace J. Particulate and gaseous emission when welding aluminum alloys. *J.Occup.Environ.Hyg.* 2007; 4: 678-687.

表 1 保護面内外における一酸化炭素濃度値の比較 (n = 12)

溶接電流 [A]	気流	一酸化炭素濃度 [ppm]		濃度比 (C _o / C _i)
		面体内側 (C _i)	面体外側 (C _o)	
100	—	5.1±5.8	9.9±6.3	1.9
300	—	6.1±7.1	19.0±7.5	3.1
300	○	14.1±2.2	14.3±3.5	1.0