

アーク溶接作業における有害因子に関する調査研究

Hazardous Agents Associated with Arc-welding Processes

奥野 勉^{*1} 人間工学・リスク管理研究グループ

■OKUNO Tsutomu

アーク溶接は、多くの産業分野、特に製造業および建設業を支える基本技術であり、日本では、100万人以上の作業者がアーク溶接に携わっていると考えられる。アーク溶接は、粉じん、一酸化炭素ガス、有害光線、磁場など多くの種類の有害因子を伴う。これらの有害因子による健康障害が実際に発生し、または、その可能性が懸念され、社会的行政的な問題となっている。本プロジェクト研究では、アーク溶接に伴う有害因子および健康障害に関して、健康影響の調査、有害因子の測定評価、有害因子の測定評価方法、障害防止の対策の面から、調査研究を実施した。

1 はじめに

アーク溶接は、多くの産業分野、特に製造業および建設業を支える基本技術である。アーク溶接による健康影響から作業者を保護することは、広範な産業分野の活動を保証する必要条件である。

日本には、30万人もの専門的アーク溶接作業者がいるが、その他にも、仕事の一部としてアークを行なう作業者がいる。合わせて100万人以上の作業者がアーク溶接に携わっていると考えられる。さらに、アーク溶接が行なわれている作業場では、通常、他の作業者が、他の作業を行っている。それらの作業人も、アーク溶接による健康影響を受ける可能性がある。アーク溶接に関する労働衛生は、多くの作業者に係る点においても重要である。

アーク溶接は、多くの種類の有害因子を伴うが、これによる健康障害が実際に発生し、または、その可能性が懸念されている。社会的行政的には、特に、次の障害または有害因子が問題だと考えられている。

(1) じん肺新規有所見労働者の中でアーク溶接作業に係る作業者の占める割合が高い(厚生労働省 第10次労働災害防止計画、労働安全衛生総合研究所 粉じん障害防止対策の課題と方向性について、厚生労働省 第6次粉じん障害防止総合対策)。

(2) 通風の不十分な場所におけるアーク溶接作業によって、一酸化炭素中毒が発生している(厚生労働省 アーク溶接作業における一酸化炭素中毒の防止について、平成16年)。

(3) アーク溶接作業場で働く作業者の大部分が、有害光線による電気性眼炎を経験する(労働省委託研究 シャー光保護具の性能評価等に関する調査研究、昭和54年)。また、適切な遮光保護具を用いずに溶接アークを見た作業者が、重篤な網膜障害を受けている。さらに、アーク溶接の有害光線が、白内障、皮膚がんなど他の障害も引き起こしている可能性がある。

(4) アーク溶接は強い磁場を発生する。現在、国際的に、作業者の磁場へのばく露を規制する動きがある(Directive EC/2004/20)が、この規制によって、アーク溶接作業の実施が不可能となる可能性がある。

(5) アーク溶接に伴って発生する粉じんの金属成分により、がん、金属熱等の様々な障害が発生している。

本プロジェクト研究では、これらの社会的行政的に重要な有害因子に関して、健康影響の調査、有害因子の測定評価、有害因子の測定評価方法、障害防止の対策の面から、合計10課題の調査研究を実施した(表1)。以下では、これについて述べる。

2 健康影響の調査

溶接作業時には数多くの有害因子にばく露される可能性があり、それに伴う様々な健康影響の問題が指摘されている。ばく露と健康影響の因果関係を明らかとし、有効な対策を講じるためには疫学的な研究が不可欠であるが、残念ながら我が国では殆ど行われていないのが現状である。今回、我々は建設業従事者集団を対象とした溶接作業による健康影響調査を実施した。アーク溶接経験群および対照群において呼吸器系自覚症状、既往症、呼吸機能検査結果、聴診結果の比較を行ったところ、呼吸器系自覚症状の訴えが溶接経験群で高く、特に喘鳴は有

^{*1} Human Engineering and Risk Management Research Group,
National Institute of Occupational Safety and Health

表 1 本研究の研究課題

健康影響の調査	<ul style="list-style-type: none"> 溶接作業に伴う健康影響についての調査 建設業従事者集団を対象とした調査結果
有害因子の測定評価	<ul style="list-style-type: none"> 溶接作業における作業者の磁界ばく露の実態調査 軟鋼の炭酸ガスアーク溶接が発生する青光の実験的評価
有害因子の測定評価方法	<ul style="list-style-type: none"> 溶接粉じんの個人ばく露濃度測定法の提案 炭酸ガスアーク溶接ヒュームの質量濃度変換係数 併行測定の採取位置の影響 溶接作業場における一酸化炭素濃度測定に対する提言
障害防止の対策	<ul style="list-style-type: none"> 溶接作業場におけるヒュームの抑制 溶接用局所排気フードの試作 炭酸ガスアーク溶接ヒュームの上昇速度の測定 低ヒュームワイヤによるばく露低減効果の検証 液晶式自動遮光溶接面を使用してアーク溶接を行なう場合のアーク点火時の青光へのばく露

意な差が見られた。既往症では電気性眼炎、眼内異物が溶接経験群で有意に高かった。その一方で、呼吸機能ならびに聴診結果では溶接経験群の方が良好な傾向が見られた。この原因については現時点では不明であるが、Healthy Worker Effect (健康労働者効果) や、建設業従事者における多種多様な有害業務への従事が影響しているものと思われる。今後、今回の結果をさらに詳細に解析すると共に、さらに調査対象を拡大し、可能であれば対象を建設業以外に広げることも念頭に入れてさらなる調査を行う必要があると思われる。

3 有害因子の測定評価

アーク溶接では 100A 単位の比較的大きな電流を使用することや、抵抗溶接においては数 kA 単位の大電流を使用することから、近年、作業時の電磁界ばく露が懸念されている。そこで、アーク溶接作業者の作業中の磁界ばく露について、最もばく露磁界が大きくなると予想される手首部分に着目して実態調査を行った。その結果、溶接作業者の最大ばく露磁界は、0.35-3.35 mT (Mean ± S.D.: 1.55 ± 0.93 mT, N=17) , 1 日平均は 0.04-0.12 mT (Mean ± S.D.: 0.07 ± 0.02 mT, N=17) であった。電磁界解析の結果から、手首では最大ばく露磁界は 1.49 mT で作業環境でのばく露磁界測定の結果と大きな離れはなかった。このとき筋組織では 4.28 mA/m² の誘導電流が推定された。この誘導電流の値は、ガイドライン等で知られている神経刺激の閾値より十分小さいものであった。

アーク溶接のアークを裸眼で、または、不適切な遮光保護具を使用して熟視した結果、網膜障害を受けた症例が、多数報告されている。その原因は、溶接アークが発生する青光 (Blue light) である。そこで、軟鋼の炭酸ガスアーク溶接のアークを実験的に発生させ、その青光の有害性を、AGGIH の許容基準に従って、測定、評価した。溶接ワイヤは、ソリッドワイヤまたはフラックス入りワイヤを使用し、溶接電流は、120 - 480 A の範囲で変化させた。青光の有害性の強さを表す量である溶接アークの実効輝度は、一般に、溶接電流が大きくなると、高くなった。今回調べた条件の下では、実効輝度は、22.9 - 213.1 W/cm²sr の範囲にあった。これに対する 1 日あたりの許容ばく露時間は、わずか 0.47 - 4.36 秒であり、溶接アークを直接見ることが危険であることが示された。アーク溶接を行なう作業者は、適切な遮光保護具を必ず使用し、また、アークに点火する際には、遮光保護具の装着が遅れないようにすべきである。また、作業場では、他の作業者が行なっているアーク溶接の青光にも注意する必要がある。

4 有害因子の測定評価方法

アーク溶接時に発生する高濃度の金属粉じんへのばく露は技術的に対策が困難なため、新規じん肺有所見者数に占める溶接作業従事者の比率は依然として高い状況にある。しかし溶接粉じんの有害性に対する認識には未だ不足が見られ、今後、同作業場における粉じん濃度測定の必要性がより高まると予想される。溶接作業者の粉じんばく露の実態を正確に把握するには、場の測定を主体とする従来の作業環境測定法では不十分なため、個人サンプラーを用いたばく露濃度測定を行うべきだが、溶接作業の場合はこの個人サンプラーを溶接用遮光保護面の内側に取付ける必要がある。一般的な個人サンプラーは作業者の襟元などに装着するように造られているため、同サンプラーを遮光保護面の内側に固定する簡易な方法と用具を考案、試験し、その実用性を確認した。これによって、溶接ヒュームの濃度が適正に測れると考えられる。

炭酸ガスアーク溶接から発生する金属粉じん (溶接ヒューム) はナノ・レベルの極めて微小な粒子として生成するため、発生直後から速やかに凝集し、粒径および形状を変化させながら周囲に拡散する。このような粒子の物理的変化は光散乱式相対濃度計の感度に大きく影響を及ぼすため、溶接現場で粉じん濃度を測定する際は、採取位置によって相対濃度計の質量濃度変換係数 (K 値) も変わることが予想される。そこで、実験室内で溶接ロボットによる炭酸ガスアーク溶接を行って併行測定を試みたところ、K 値と測定点 (採取点) ~ 発生源距離には負の相関が認められ、測定点が発生源から水平方向に 2m 離れた場合、K 値は発生源近傍で得られる値の 1/5 程度に低下することが確認された。溶接作業場の粉じん測定では、複数の K 値を求めた上で最適な K 値を適宜

使い分けるような措置が正確な粉じん濃度を求める上で望ましいと思われる。

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、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。

5 ばく露防止の対策

一般に溶接作業では粉じんの発生源が移動を伴うため、作業環境改善に多用される一般的な局所排気装置を有効に適用することが困難な場合が多い。そこで、このような移動発生源に対応すべく、二次元の移動機能を具備した溶接用局所排気フードを試作、その実用性を確認した。このフードは、作業者が溶接中でも容易に操作できるよう二軸のモーターにより位置調整ができるものである。モーターは作業者の足元スイッチによって制御されるため、溶接作業を中断することなくフードの位置調整が可能となり、作業性を損なわない点を特長としている。

プッシュプル型換気装置は比較的広い換気区域を有し移動作業に対応が可能なので、適切に使用すればアーク溶接時の粉じん対策にも有効である。しかし現行の性能要件では、気流の一様性を確保した上で「捕捉面上平均風速を 0.2 m/sec 以上に保つ」という、いわば最低限の基準であるため、溶接ヒュームに対し常に十分な排気効果が得られるかは疑問である。大きな初速度を持つ溶接ヒュームを捕捉・排気するには、ヒュームの搬送を担う上昇気流を勘案した風速の設定が必要だからである。そこで、種々の条件で炭酸ガスアーク溶接を行い、その際に発生するヒュームの上昇速度の測定を試みた。実験の結果、溶接ヒュームの上昇速度は、ソリッドワイヤ、フラックス入りワイヤの何れの電極材を用いた場合におい

ても溶接電流値と正の相関関係があり、法規の定める「捕捉面における平均風速」の 0.2 m/sec を大きく上回る約 $0.7 \text{ m/sec} \sim 1.0 \text{ m/sec}$ の速度で上昇することが確認された。最大で約 1.0 m/sec もの上昇速度を持つ溶接ヒュームをプッシュプル型換気装置によって捕集するには、プッシュ・フードに $0.4 \text{ m/sec} \sim 2.8 \text{ m/sec}$ 程度の吹き出し気流を与える必要があるものと予測される。

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。

新しい種類の溶接用遮光保護具である液晶式自動遮光溶接面（液晶面）は、明るさ（透過率）が変化する液晶フィルタプレートと、溶接アークの点滅を検出する光センサーをもつ。アーク溶接作業では、液晶フィルタプレートを、アークが点灯している場合には暗く、消灯している場合には明るくなるよう変化させる。このため、液晶面は、従来の溶接用保護面と異なり、アークの点滅にかかわらず、常時、着用していることができる。しかし、液晶面の着用者は、アーク溶接を開始する際、アークの点灯から液晶フィルタプレートの作動までの短い時間に、網膜障害を引き起こす危険性がある青光へばく露される。そこで、市販の液晶面の製品について、これを使用してアーク溶接を行なう場合のアーク点火時の青光へのばく露量を、ACGIH の許容基準に従って実験的に測定、評価した。液晶面を着用して溶接アークに点火した場合の青光へのばく露量は、液晶面の製品、その設定、溶接の条件によって異なり、 0.24 から $77 \text{ mJ/cm}^2\text{sr}$ の範囲にあった。ACGIH は、任意の 10000 秒間における青光へのばく露の許容値を $100 \text{ J/cm}^2\text{sr}$ としているが、現実の状況では、作業者のばく露量がこの値を超えることはないと考えられる。現在、ISO では、保護めがねなどに関する規格の策定が行なわれているが、本結果は、液晶面に対する規定を検討する際の基礎となると考えられる。

研究業績リスト

課題名：アーク溶接作業における有害因子に関する調査研究

平成23年度(2011年)		
1	国内外の研究集会発表	齊藤宏之, 久保田均, 久永直見, 柴田英治, 毛利一平, 山口さち子, 坂本龍雄, 佐々木毅, 田井鉄男, 柳場由絵, 奥野勉(2011)建築業従事者における溶接作業の健康影響に関する調査 第二報), 第84回日本産業衛生学会
2	国内外の研究集会発表	柴田英治, 齊藤宏之, 久保田均, 山口さち子, 坂本龍雄, 佐々木毅, 田井鉄男, 柳場由絵, 奥野勉, 毛利一平, 久永直見(2011)建設作業者の胸部単純X線所見に及ぼす作業要因の影響, 第84回日本産業衛生学会
平成22年度(2010年)		
1	原著論文	Sachiko Yamaguchi-Sekino, Jun Ojima, Minoru Hojo, Hiroyuki Saito, Masaki Sekino, Tsutomu Okuno (2011) Measuring Exposed Magnetic Fields of Welders in Working Time, Industrial Health 49(3), p274-279.
2	原著論文	Tsutomu Okuno, Jun Ojima, Hiroyuki Saito (2010) Blue-light hazard from CO2 arc welding of mild steel, Ann. Occup. Hyg. 54, p293-298.
3	原著論文	小嶋 純(2011)低ヒュームワイヤによるばく露低減効果の検証, 労働安全衛生研究, Vol.4, No.1, p39-41.
4	原著論文	小嶋 純(2010)炭酸ガスアーク溶接ヒュームの上昇速度の測定, 産業衛生学雑誌, Vol.52, No.6, p285-287.
5	総説ほか(査読有無問わず)	Sachiko Yamaguchi-Sekino, Masaki Sekino, Shoogo Ueno (2011) Biological Effects of Electromagnetic Fields and Recently Updated Safety Guidelines for Strong Static Magnetic Fields, Mag Reson Med Sci, 10(1), p1-10.
6	総説ほか(査読有無問わず)	小嶋 純(2011)呼吸域と個人曝露濃度測定, セイフティダイジェスト, Vol.57, No.4, p8-12.
7	著書・単行本	奥野 勉 (2010) 紫外放射、可視光、赤外放射のリスクマネジメント, 職場の物理的因子のリスクマネジメント, 櫻井治彦, (財)産業医学振興財団, 東京 p74-80.
8	国内外の研究集会発表	Sachiko Yamaguchi-Sekino, Jun Ojima, Masaki Sekino, Hiroyuki Saito, Minoru Hojo, Tsutomu Okuno (2010) Measuring Exposed Magnetic Fields of Welders in Working Time, International Symposium on Industrial Safety and Health 2010
9	国内外の研究集会発表	齊藤宏之, 久保田 均, 久永直見, 柴田英治, 毛利一平, 山口さち子, 坂本龍雄, 佐々木 毅, 田井鉄男, 柳場由絵, 奥野 勉 (2010) 建築業従事者における溶接作業による健康影響調査 第一報), 第251回日本産業衛生学会関東地方会例会
10	国内外の研究集会発表	山口さち子, 小嶋 純, 北條 稔, 齊藤宏之, 関野正樹, 奥野 勉(2010)溶接作業における作業者の磁場ばく露の実態調査. 第50回日本労働衛生工学会, 抄録集, p198-199.
11	国内外の研究集会発表	奥野 勉, 小嶋 純 (2010) 液晶式自動遮光溶接面を使用してアーク溶接を行なう場合のアーク点火時の青光への曝露, 日本労働衛生工学会, 第50回日本労働衛生工学会抄録集, p196-197.
12	国内外の研究集会発表	奥野 勉 (2010) 保護めがねなどに関するISO規格の策定の現状, 日本溶接協会安全衛生・環境委員会
13	国内外の研究集会発表	奥野 勉 (2010) 有害光線と遮光保護具について, 神奈川県溶接協会講演会「溶接・切断の安全衛生」, 川崎
平成21年度(2009年)		
1	原著論文	Jun OJIMA (2009) Laboratory Evaluation of Carbon Monoxide Exposure in CO2 Arc Welding, J Occup Health, Vol.51, No.4, p377-379.
2	原著論文	小嶋 純(2009)炭酸ガスアーク溶接ヒュームの質量濃度変換係数 併行測定における採取位置の影響, 産業衛生学雑誌, Vol.51, No.6, p141-143.
3	原著論文	奥野 勉 (2009) 保護めがねなどの個人用眼保護具に対する光拡散の試験方法について, セイフティダイジェスト 55(9), p2-6.
4	総説ほか(査読有無問わず)	小嶋 純(2009)溶接作業場におけるヒュームの抑制 -溶接用局所排気フードの試作-, セイフティダイジェスト, Vol.55, No.2, p7-9.
5	総説ほか(査読有無問わず)	奥野 勉 (2009) 紫外放射、可視光、赤外放射のリスクマネジメント, 産業医学ジャーナル 32, 5, p28-33.
6	著書・単行本	奥野 勉 (2009) 有害光線, 労働衛生工学とリスク管理, (社)日本作業環境測定協会, (社)日本作業環境測定協会, 東京 p143-153,

アーク溶接作業における有害因子に関する調査研究

7	国内外の研究集会発表	奥野 勉, 小嶋 純, 齊藤宏之(2009)軟鋼の炭酸ガスアーク溶接が発生する青光の実験的評価. 第49回日本労働衛生工学会, 抄録集 p58-59.
8	国内外の研究集会発表	齊藤宏之, 久保田均, 奥野 勉, 毛利一平 (2009) 既存のじん肺特殊検診データベースを用いた溶接作業者の健康影響評価, 日本労働衛生工学会, 第49回日本労働衛生工学会抄録集, p62-63.
9	国内外の研究集会発表	奥野 勉, 中西孝子, 植田俊彦, 安原 一, 小出良平 (2009) ブタ水晶体上皮細胞に対する紫外放射の有害性の波長依存性, 日本労働衛生工学会, 第49回日本労働衛生工学会抄録集, p60-61.
10	国内外の研究集会発表	久保田 均, 齊藤宏之, 奥野 勉, 柴田英治, 久永直見 (2009) 建設国保組合員における有害作業の現況に係わる質問紙調査結果-石綿等粉じん、騒音、振動、溶接作業について、日本労働衛生工学会, 第49回日本労働衛生工学会抄録集, p64-65.
11	国内外の研究集会発表	奥野 勉 (2009) アーク溶接作業場における有害光線の問題, 日本作業環境測定協会京葉支部見学会, 資料
12	その他(表彰/報道等)	小嶋 純(2009)産業衛生学雑誌 優秀論文賞「炭酸ガスアーク溶接ヒュームの質量濃度変換係数 併行測定における採取位置の影響」
平成20年度(2008年)		
1	原著論文	小嶋 純(2008)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, Vol.1, No.3, p267-269.
2	原著論文	奥野 勉 (2009) 金属製フレーム保護めがねからのニッケルの溶出, 労働安全衛生研究 2(1), p11-18.
3	総説ほか(査読有無問わず)	小嶋 純(2008)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, Vol.54, No.4, p7-9.
4	総説ほか(査読有無問わず)	神山宣彦, 波多野 勲, 山田比路史, 奥野 勉, 山根 敏, 宮崎邦彰 (2008) 溶接・溶断における健康と安全, 溶接学会誌 77, 8, p40-48.
5	国内外の研究集会発表	Tsutomu Okuno, Takako Nakanishi-Ueda, Toshihiko Ueda (2008) Spectral sensitivity of cultured lens epithelial cells. International Congress for Eye Research, Book of Abstract, p130.
6	国内外の研究集会発表	奥野 勉(2008)金属製フレーム保護めがねからのニッケルの溶出, 日本労働衛生工学会, 第47回日本労働衛生工学会抄録集, p130-131.