

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

奥野 勉^{*1} 小嶋 純^{*2} 齊藤 宏之^{*2}

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。本研究では、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、ACGIH 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 日あたりの許容曝露時間は、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。

キーワード: アーク溶接, 青光, Blue light, 実効輝度.

1 はじめに

よく知られているように、アーク溶接のアークは強い紫外放射を発生し、作業現場では、これによって、多くの角結膜炎（電気性眼炎）と皮膚炎（日焼け）が発生している。紫外放射ほど注目されないが、溶接アークの光（可視光）にも、障害の危険性がある。

溶接アークは強い光を発生するが、その中には、有害な成分である青光（Blue light）が、多く含まれている。青光は、短い波長の光であり、光化学的な作用によって網膜障害を引き起こす可能性がある。

表 1 に示すように、実際に、溶接アークを裸眼で、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¹⁻¹⁰⁾。アーク溶接による網膜障害では、視力が低下する、視野の一部が見えなくなる、かすんで見えるなどの症状が、通常、溶接アークを熟視した直後または 1 日以内に現れる。その後は、徐々に改善しながら、数週間から数カ月間続くが、最終的に回復しない場合もある。アーク溶接による網膜障害は、日常生活に大きな影響を及ぼす可能性のある重い障害である。

アーク溶接による網膜障害を防止するための対策が望まれるが、その前提として、アーク溶接の青光が、実際に、どの程度有害であるのかを知る必要がある。しかし、アーク溶接が発生する青光の有害性の評価は、これまで、あまり行われてこなかった。本研究では、ACGIH の許容基準¹¹⁾に従い、我が国で最も多く行われている溶接である軟鋼の炭酸ガスアーク溶接について、発生する青光の有害性を実験的に測定、評価した。

2 方法

図 1 に、実験の配置を、表 2 に溶接の条件を示す。

溶接ロボット（ARCMAN-RON, 神戸製鋼）を用い、水平に置いた軟鋼板の上で、炭酸ガスアーク溶接のアークを発生させた。金属の接合は行わなかった。

溶接アークの分光放射輝度を、分光放射輝度計（PR-705, Photo Research）を用いて測定した。この測定器は、光の波長域（380–780 nm）における分光放

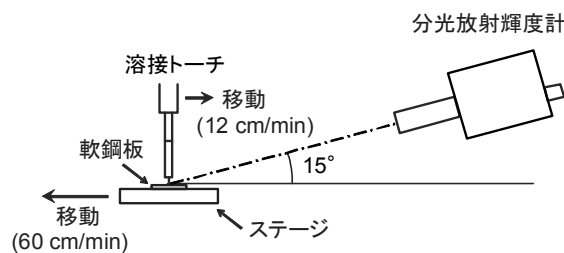


図 1 実験の配置

表 2 溶接の条件

母材	軟鋼板, 100 mm × 75 mm × 12 mm
ワイヤ	ソリッドワイヤ (MG-50T, 神戸製鋼), フラックス入りワイヤ (DW-Z100, 神戸製鋼), 直径 1.2 mm
ワイヤ送給速度	不明*
ワイヤ突き出し長さ	15 mm
シールドガス	炭酸ガス, 流量 20 l/min
溶接速度	72 cm/min
溶接電流	120, 160, 200, ..., 480 A (40A 間隔)
アーク電圧	不明*

*溶接ロボットが内部的に設定する。

*1 労働安全衛生総合研究所人間工学・リスク管理研究グループ。

*2 労働安全衛生総合研究所環境計測管理研究グループ

連絡先: 〒214-8585 神奈川県川崎市多摩区長尾 6-21-1

労働安全衛生総合研究所人間工学・リスク管理研究グループ 奥野

勉^{*1}

E-mail: okuno@h.jniosh.go.jp

表1 アーク溶接による網膜障害の報告

症例	患者(年齢)	状況	眼底所見	症状	文献
1	大学生、女(16)	4-6 フィートの距離で溶接作業を傍観する.	混濁、浮腫、出血、円孔	視力低下、霧視、中心暗点 (残存)	Würdemann 1936 ¹⁾
2	溶接学校生徒、男(18)	保護具を用いずに、200cmの距離で5-10分間アルミニウムのTIG溶接のアーキを見つめる.	浮腫	視力低下、中心暗点 (残存)、周辺視野狭窄	Naidoff and Sliney 1974 ³⁾
3	郵便配達人、男(31)	保護具は用いずに、1フィートの距離で約1分間鋼の溶接のアーキを見つめる.	混濁 (white haze)	中心暗点、変視症 (残存)	Romanchuk et al. 1978 ⁴⁾
4	男(22)	適切な保護具を用いずに、アーク溶接を行う.	浮腫、円孔	視力低下 (残存)、中心暗点、変視症	Uniat et al. 1986 ⁵⁾
5	非専門的溶接工、男(24)	保護具を用いて、5-10分間溶接アークを見る.	黄斑部の変化	中心暗点	Cellini et al. 1987 ⁶⁾
6	機械工、男(26)	保護具を用いずに、1時間半の間に断続的にMIG溶接を行う.	浮腫	暗点	Brittain 1988 ⁷⁾
7	自動車工、男(39)	保護具を用いて、MIG溶接を行う.	変化	視力低下、霧視、暗点、羞明	Brittain 1988 ⁷⁾
8	溶接学校生徒、男(19)	保護具を用いて、アーク溶接の訓練を約3時間受ける.	変化	視力低下	Fich et al. 1993 ⁹⁾
9	女(20)	下半分のみ着色されたフィルターの保護具を用いて、ステンレス鋼のTIG溶接を行う.	変化	視力低下 (残存)、中心暗点	Fich et al. 1993 ⁹⁾
10	男(38)	保護具は用いずに、1日に5時間ずつ2日間溶接を行う.	変化	視力低下、傍中心暗点	Fich et al. 1993 ⁹⁾
11	工学部学生、男(26)	保護具を用いて、アーク溶接のセミナーに出席する.	変化	視力低下、霧視、中心暗点 (残存)	Arend et al. 1996 ¹⁰⁾

射輝度を2 nm 間隔で測定する。感度の較正は、測定の前に、製造業者に依頼して行なった。測定の際には、分光放射輝度計の開口部に、測定視野を小さくするため、コンバージョンレンズ (KR-2005, ケンコー) を装着した。さらに、光の強度を測定可能なレベルに落とすため、付属品のニュートラル・デンシティ・フィルター (ND-10 と ND-100, Photo Research) およびカメラ用のニュートラル・デンシティ・フィルター (PRO ND8, ケンコー) を装着した。付属品のニュートラル・デンシティ・フィルターの透過率に関しては、分光放射輝度計が自動的に補正を行なう。カメラ用のニュートラル・デンシティ・フィルターおよびコンバージョンレンズに関しては、測定終了後に、測定データをその透過率で割ることによって、補正を行なった。

分光放射輝度計を、溶接アークの上方 15°、距離約 80 cm の位置において、開口部が溶接アークの方向を向くように固定した。このときの溶接アークの位置における測定視野の直径は、0.8 mm であり、その視野内の平均の分光放射輝度を測定する。溶接アークを水平方向に 2 cm 移動させながら、10 秒間保持する間に測定を行った。分光放射輝度計の露光時間は、40 ms である。

ACGIH の許容基準¹¹⁾では、青光の有害性の強さは、光源の実効輝度で表わされる。実効輝度の単位は、W/cm²sr, mW/cm²sr などである。ここで、sr は、立体角の単位であり、ステラジアンと読む。

実効輝度は、次式で定義される。

$$L_B = \sum_{305}^{700} L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad (1)$$

ここで、 L_B は光源の実効輝度、 λ は波長、 L_λ は光源の分光放射輝度、 $B(\lambda)$ は青光障害関数 (Blue light hazard function)、 $\Delta\lambda$ は、和をとる際の波長の刻み幅である。青光障害関数は、光の有害性の波長依存性を表す量であり、ACGIH の許容基準¹¹⁾の中で与えられている。これを図2に示す。

実効輝度が 0.01 W/cm²sr 以上の場合、その実効輝度に対する1日あたりの許容曝露時間が、次式によって、計算される。

$$t_{max} = \frac{100}{L_B} \quad (2)$$

ここで、 t_{max} (秒)は、1日あたりの許容曝露時間、 L_B (W/cm²sr) は、光源の実効輝度である。

本研究では、測定した分光放射輝度から、(1)式に従って、実効輝度を計算した。ただし、380 nm未満の波長成分は無視した。この波長域では、青光障害関数の値が小さいので、その影響は小さいと考えられる。得られ

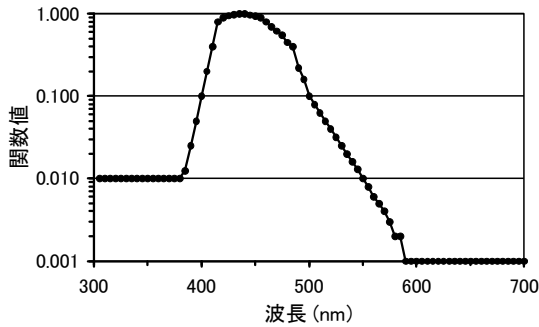


図2 青光障害関数

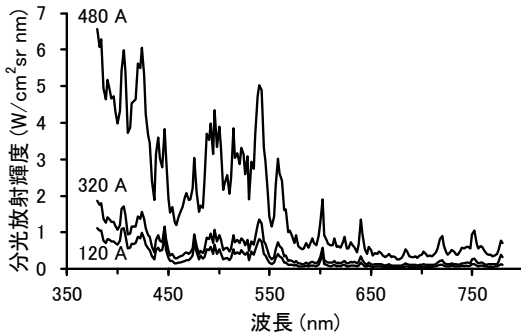


図3 ソリッドワイヤを使用した場合の溶接アークの分光放射輝度の例

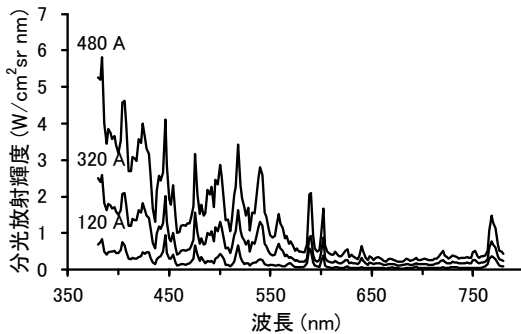


図4 フラックス入りワイヤを使用した場合の溶接アークの分光放射輝度の例

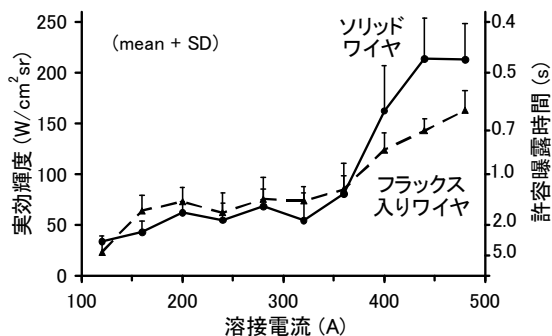


図5 溶接アークの実効輝度

た実効輝度から、さらに、(2)式に従って、1日あたりの許容曝露時間を計算した。

それぞれの条件に対し、実効輝度を13回以上測定し、その平均と標準偏差を求めた。

3 結果

溶接アークの分光放射輝度の測定データの例を、図3と図4に示す。図3は、ソリッドワイヤを使用した場合、図4は、フラックス入りワイヤを使用した場合である。

溶接アークの分光放射輝度は、非常に多くのスペクトル線から成る複雑な形をしており、ソリッドワイヤとフラックス入りワイヤの場合では、その形が異なっていた。

同じワイヤを使用した場合、溶接電流が大きくなると、分光放射輝度は、ほぼ同じ形を保ちながら、高くなった。

図5に、分光放射輝度から計算した実効輝度を、溶接電流の関数として示す。実効輝度に対応する1日あたりの許容曝露時間は、右側の縦軸から読み取ることができる。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。ソリッドワイヤを使用した場合とフラックス入りワイヤを使用した場合の実効輝度は、400A未満の小さい溶接電流では、同程度であったが、それ以上の大きな溶接電流では、ソリッドワイヤの方が高かった。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日あたりの許容曝露時間は、わずか0.47–4.36秒であり、1日の累計の曝露時間としては非常に短い。したがって、溶接アークを直接見ることは、たとえ短時間であっても、危険である。

4 考察

本研究は、溶接アークを直接見るのが非常に危険であることを、ACGIHの許容基準¹¹⁾に基づき、定量的に示した。作業者は、アーク溶接を行なう場合には、必ず適切な遮光能力をもった遮光保護具を使用すべきである。

現在、ほとんどのアーク溶接作業者は、遮光保護具として、溶接用保護面(溶接面)を使用している。溶接面のフィルターは、透過率が非常に低い(色が濃い)ため、アークが点灯していない状態では、これを通しては何も見えない。そこで、アーク溶接を開始する際、はじめは、溶接箇所からねらいを付けるため、溶接面を外しており、その後、アークに点火すると同時に溶接面を装着する。その際、溶接面の装着がアークの点火よりも遅れると、短い時間ではあるが、溶接アークを直接見てしまうことになる。本研究の結果は、こうした瞬間的な曝露も避けるべきであることを示している。アークの点火時には、溶接面の装着が遅れないようにする必要がある。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を使用することによっても、この曝露を防ぐことができる。

アーク溶接が行なわれている作業場では、同時に複数の作業者がアーク溶接を行なっている、または、他の作業者が他の作業を行なっていることが多い。この場合に

は、他の作業者が行なっているアーク溶接のアークも裸眼で見ないようにする必要がある。

参 考 文 献

- 1) Würdemann HV. The formation of a hole in the macula. Light burn from exposure to electric welding. *Am. J. Ophthalmol.* 1936; 19: 457-460.
- 2) Minton J. Occupational diseases of the lens and retina. *Br. Med. J.* 1949; 1: 392-394.
- 3) Naidoff MA, Sliney DH. Retinal injury from a welding arc. *Am. J. Ophthalmol.* 1974; 77: 663-668.
- 4) Romanchuk KG, Pollak V, Schneider RJ. Retinal burn from a welding arc. *Can. J. Ophthalmol.* 1978; 13: 120-122.
- 5) Uniat L, Olk RJ, Hanish SJ. Welding arc maculopathy. *Am. J. Ophthalmol.* 1986; 102: 394-395.
- 6) Cellini M, Profazio V, Fantaguzzi P, Barbaresi E, Longanesi L, Caramazza R. Photic maculopathy by arc welding. A case report. *Int. Ophthalmol.* 1987; 10: 157-159.
- 7) Brittain GPH. Retinal burns caused by exposure to MIG-welding arcs: report of two cases. *Br. J. Ophthalmol.* 1988; 72: 570-575.
- 8) Power WJ, Travers SP, Mooney DJ. Welding arc maculopathy and fluphenazine. *Br. J. Ophthalmol.* 1991; 75: 433-435.
- 9) Fich M, Dahl H, Fledelius H, Tinning S. Maculopathy caused by welding arcs. A report of 3 cases. *Acta Ophthalmologica.* 1993; 71: 402-404.
- 10) Arend O, Aral H, Reim M, Wenzel M. Welders maculopathy despite using protective lenses. *Retina.* 1996; 16: 257-259.
- 11) ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). TLVs and BEIs. Cincinnati: ACGIH; 2010 (CD-ROM).