

# アルミニウム合金のティグ溶接中に放射される紫外放射の有害性 Hazard of Ultraviolet Radiation Emitted during Gas Tungsten Arc welding of Aluminum alloys

中島 均, 宇都宮 昭弘, 高橋 潤也, 藤井 信之, 奥野 勉

Hitoshi Nakashima, Akihiro Utsunomiya, Jyunya Takahashi, Nobuyuki Fujii, Tsutomu Okuno

## 1. はじめに

アーク溶接中に放射されるアーク光には強い紫外放射が含まれる。アーク光は周辺全体に放射されるため、アーク溶接が行われている作業場では、多くの作業者が紫外放射に曝露されていると考えられる。その中には、日本国内に約 35 万人いると推定される専門的なアーク溶接作業者のほか、自動車整備士などの様にときおりアーク溶接を行う非専門的なアーク溶接作業員およびアーク溶接が行われる作業場でアーク溶接以外の業務を行う労働者も含まれている<sup>[1]</sup>。

実際、アーク溶接が行われている作業場では、紫外放射によって多くの急性障害が発生している<sup>[1,2]</sup>。日本溶接協会は、アーク溶接の作業場においてアーク溶接およびそれ以外の業務を行う作業員を対象とし、角結膜炎（電気性眼炎）の発生についてのアンケート調査を行っている<sup>[1]</sup>。その結果では、86%の作業員が、過去に角結膜炎を経験しており、さらに、45%が現在(調査当時)でも月 1 回以上の頻度で繰返し経験していた。

ほとんどのアーク溶接作業員は、溶接用保護面を使用しているにもかかわらず、角結膜炎を経験していた。その原因としては、アークを発生する際に、溶接用保護面の装着が遅れ、紫外放射に曝露されること、および同じ作業場で他の作業員がアーク溶接を行っており、その紫外放射に曝露されることが考えられる。従って、アーク溶接作業の現場では、溶接アーク中に放射される紫外放射から作業員を保護するための対策が必要である。その基礎として、アーク溶接中に放射される紫外放射の有害性を定量的に把握することが望まれる。

アーク溶接中に放射される紫外放射の有害性の強さは、溶接条件によって異なると推測される。特に、アルミニウム合金のアーク溶接の場合には、鉄鋼材料のアーク溶接の場合と比較して、作業員が強い日焼け（紅斑）を経験すると言われており<sup>[1]</sup>、有害性の強い紫外放射が放射されていると考えられる。アルミニウム合金の主な溶接法にはミグ溶接とティグ溶接の 2 種類があるが、本稿ではティグ溶接中に放射される紫外放射の有害性について報告する。その中で特に、次の 4 つの条件について検

討を行った。(i)アーク光源から放射方向(角度)。(ii)母材と溶加棒の組合せ。(iii)溶接電流の大きさ。(iv)電極の種類。

## 2. 紫外放射の有害性

### 2.1 紫外放射とその有害性

可視放射の下限である 400 nm 付近の光は人間の目には紫色に見えることから、波長が可視放射よりも短く、およそ 1 nm よりも長い光は紫外放射と呼ばれている<sup>[3]</sup>。紫外放射の内、真空紫外と呼ばれる 190 nm 以下の波長域は、酸素分子に強く吸収されるため、空气中を透過しない。従って、非常に特殊な状況を除けば、人が曝露することはなく、通常は考慮する必要がない。

紫外放射が人体に入射した場合、一般に波長が長いほど深部へ到達する。眼の場合には、波長 280 nm 以下の紫外放射は角膜でほとんど吸収され、眼の深部へ到達しない。しかし、波長約 300 nm 以上の紫外放射は、その一部が角膜を通過し、水晶体へ到達し、吸収される<sup>[4]</sup>。

紫外放射は、しばしば角結膜炎や皮膚炎などの急性障害を引き起こすことが知られている。また、遅発性障害としては白内障、皮膚がん、皮膚の老化がある<sup>[5]</sup>。急性障害の症状は、角結膜炎では羞明(まぶしい)・疼痛(目が痛い)・流涙(涙が出て止まらない)・視力低下・異物感(目の中がごろごろする)・結膜充血などがあり、症状の強い場合には目を開けることすら困難な場合もある。これらの症状は紫外放射の曝露から数時間後に出現し、1 日程度で自然に消滅する。また、皮膚炎では紅斑(皮膚が赤くなる)・水疱(水膨れ)などの症状が紫外放射の曝露から数時間後に出現し、数日程度で自然消滅する。症状の重い場合には数日後に表皮が剥落する。

生産現場等における紫外放射の重要な発生源としては、太陽、アーク溶接およびプラズマ切断のアーク、殺菌灯などの低圧水銀ランプ、工業用紫外線ランプとして用いられる高圧放電ランプなどがあり、実際に障害を引き起こしている。

### 2.2 紫外放射の有害性評価

The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)は、ほとんど健康な労働者が毎日曝露を繰返しても健康に悪影響を及ぼさないと考えられる曝露レベルのガイドラインとして TLVs (Threshold Limit Values)を定めている。その中で、ACGIH は紫外放射(波長範囲 180 nm~400 nm)<sup>[6]</sup>に対し TLVs を定めている。

紫外放射の有害性は波長によって異なり、溶接中に放射されるアーク光の様に様々な波長を含む紫外放射の急性障害(角結膜炎および皮膚炎)に関する有害性の強さは ACGIH の評価基準に従って実効照度で定義される。(1)式に示すように、実効照度は分光放射照度に相対分光有害作用などを乗じて紫外波長範囲で積分し、有害性の最も強い波長 270 nm の単色紫外放射の照度に換算される。

$$E_{\text{eff}} = \sum_{180}^{400} E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 $E_{\text{eff}}$ は実効照度[mW/cm<sup>2</sup>]である。 $E(\lambda)$ はスペクトル中の波長  $\lambda$  の中心波長における分光放射照度 [mW/(cm<sup>2</sup>·nm)],  $S(\lambda)$ は波長  $\lambda$  の中心波長の相対分光有害作用、すなわち波長ごとの有害性の強さを表す値であり ACGIH の勧告の中で与えられている。図 1 に相対分光有害作用を示す。 $\Delta\lambda$ は波長の刻み[nm]である。

また ACGIH では 270 nm の単色紫外放射の TLV(曝露限界の閾値)を 3 mJ/cm<sup>2</sup>と定めており、保護されていない皮膚や眼が曝露する場合の 1 日 8 時間あたりの許容曝露時間  $t_{\text{max}}$ [s]は(2)式によって求めることができる。

$$t_{\text{max}} = \frac{3}{E_{\text{eff}}} \quad \dots \dots (2)$$

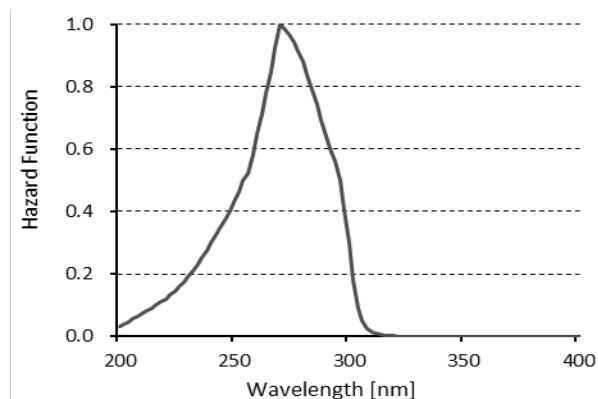


図 1 相対分光有害作用

### 3. 実験方法

#### 3.1 溶接概要

本実験ではアルミニウム合金のティグ溶接中に放射される紫外放射の実効照度の測定を行った。溶接には株式会社ダイヘン製の交直両用パルスティグ溶接機 DA300P を用い

た。溶接に際して、母材表面はアセトンを用いて脱脂洗浄され、その後ドライヤで乾燥された。トーチは傾斜角度 110°で、電極をノズルより 4 mm もしくは 6 mm 突出した後、電極先端と母材間の距離 4 mm に固定された。溶接は前進下向き、メルトラン溶接またはビードオンプレート溶接である。シールドガスには 100 %アルゴンを使用した。溶接電流は交流 100 A または 200 A である。その他の条件については実際の溶接作業条件<sup>[7]</sup>を想定し設定した。主な溶接条件を表 1 に示す。

表 1 溶接条件

| Welding current, A          | 100      | 200      |
|-----------------------------|----------|----------|
| Welding speed, mm/min       | 200      | 200      |
| Size of base metal, mm      | 2×300×75 | 5×300×75 |
| Electrode diameter, mm      | 2.4      | 3.2      |
| Electrode extension, mm     | 4        | 6        |
| Filler rod diameter, mm     | 2.4      | 4.0      |
| Arc length, mm              | 4        | 4        |
| Nozzle diameter, mm         | 16.1     | 17.2     |
| Shield gas flow rate, l/min | 7        | 8        |

#### 3.2 実効照度測定

実効照度の測定には X13 Hazard Lightmeter(計測部)及び XD-45-HUV UV-Hazard Detector Head(検出器)を用いた。いずれも Gigahertz-Optik 社製である。図 2<sup>[8]</sup>に示すように、検出器のセンサ感度は 270 nm 近傍で相対分光有害作用によく一致する。ただし、波長 310 nm~320 nm 付近においてセンサ感度と相対分光有害作用に乖離がみられるが、この波長範囲における相対分光有害作用は 0.015~0.0010 と低いため、その影響は小さく実用上問題ないと考えられる。実際には、この測定器は実効放射露光量 [J/m<sup>2</sup>]を測定する。これを測定時間で除し、単位面積当たりの紫外放射の仕事率 [mW/cm<sup>2</sup>]へ換算し、実効照度とした。なお、測定器は、製造業者において校正を行い、その有効期間である 1 年以内に使用した。

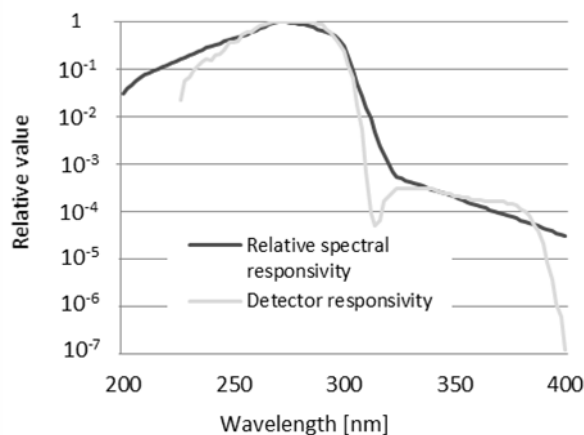


図 2 センサ感度と相対分光有害作用

本実験では検出器を任意の位置に設置し実効照度を測定するため、溶接トーチ(アーク光源)を固定し、走行装置に載せられた母材を直線的に移動させて溶接を行った。

アーク光源から検出器までの距離は実際の溶接作業者とアーク間の距離を想定し 500 mm とした。1 回の測定時間は 40 秒である。また、アークの安定および走行装置の加速に要する時間を除外するため、溶接開始から 5 秒後に測定を開始した。各条件について、測定を 3 回繰り返し、その結果を平均した。図 3 に実験配置図を示す。

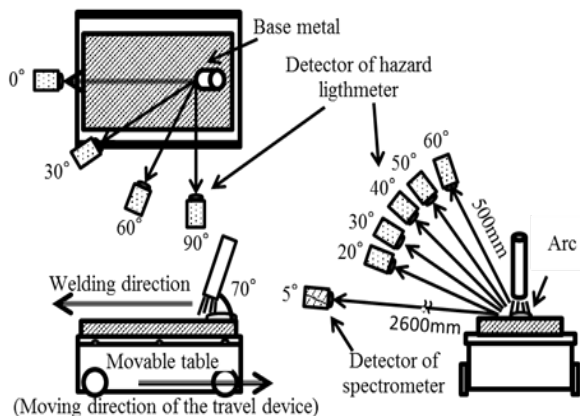


図 3 実験配置図

### 3.3 アーク光源からの放射角度依存性の検討

当研究室で行ったアルミニウム合金のミグ溶接の実験において、紫外放射の有害性はアーク光源からの放射角度に影響されることが明らかにされた<sup>1)</sup>。そこで、ティグ溶接中に放射される紫外放射のアーク光源からの放射角度依存性についても検討するため、水平に設置された母材表面からの角度および溶接進行方向に対して角度を変えて検出器を設置し実効照度を測定した。検出器の設置位置を図 3 に示す。

母材表面からの放射角度依存性については、溶接進行方向に対し 90°、母材表面からの角度は 20°~60°(10°間隔)に検出器を固定した。

溶接進行方向の放射角度依存性については、母材表面から 40°、溶接進行方向に対する角度は 0°~90°(30°間隔)に固定した。溶接は直径 3.2 mm の純タングステン電極を用いて溶接電流 200 A で行った。母材には A5083P-O を用いた。溶加棒については添加していない。

### 3.4 母材と溶加棒および溶接電流の影響の検討

#### 3.4.1 母材の影響

ティグ溶接中に放射される紫外放射の有害性に及ぼす母材の影響を検討するため、JIS H 4000<sup>10)</sup>に規定される 3 種類の母材(A1050P-H24, A5083P-O, A6061P-T6)を用いてメルトラン溶接を行い、溶接中の実効照度を測定した。表 2 にこれらの母材の主な含有成分を示す。A1050P-H24 はほぼ純粋なアルミニウム、A5083P-O は 4%~5% のマグネシウムを含む合金、A6061P-T6 は約 1% のマグネシウムとマグネシウム以外の元素を含む合金である。電極には純タングステンを用いた。溶接電流は 200 A である。検出器の設置位置は母材表面からの角度 40°、溶接進行方向に対し 90°である。

表 2 主な母材含有化学成分(mass %)

| Element    |   | Si   | Fe   | Cu   | Mn   | Mg   | Al      |
|------------|---|------|------|------|------|------|---------|
| Base metal | T |      |      |      |      |      |         |
| A1050P-    | 2 | 0.08 | 0.32 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | > 99.50 |
| H24        | 5 | 0.07 | 0.34 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | > 99.50 |
| A5083P-    | 2 | 0.15 | 0.23 | 0.03 | 0.66 | 4.59 | re      |
| O          | 5 | 0.15 | 0.30 | 0.04 | 0.58 | 4.35 | re      |
| A6061P-    | 2 | 0.61 | 0.43 | 0.28 | 0.02 | 1.01 | re      |
| T6         | 5 | 0.62 | 0.43 | 0.29 | 0.02 | 1.02 | re      |

T: thickness (mm), re: remainder

#### 3.4.2 母材と溶加棒の組合せおよび溶接電流の影響

ティグ溶接中に放射される紫外放射の有害性に及ぼす母材と溶加棒の組合せの影響を検討するため、5 種類の組合せについてビードオンプレート溶接を行い、実効照度を測定した。母材には上記の 3 種類を、また溶加棒には、JIS Z 3232<sup>11)</sup>に規定される 3 種類の溶加棒(A1100BY, A4043BY, A5183BY)を使用した。表 3 にその含有成分を示す。A1100BY はほぼ純粋なアルミニウム、A4043BY は微量のマグネシウムとマグネシウム以外の元素を含む合金、A5183BY は 4%~5% のマグネシウムを含む合金である。表 4 に実効照度を測定した母材および母材と溶加棒の組合せとその記号を示す。加えて、溶接電流の影響を検討するため、溶接電流 100 A および 200 A で溶接を行った。検出器の設置位置は、図 3 に示す内、母材表面からの角度は 40°、溶接進行方向に対し 90°である。

表 3 主な溶加棒含有化学成分(mass %)

| Element     |     | Si   | Fe   | Cu   | Mn   | Mg   | Al      |
|-------------|-----|------|------|------|------|------|---------|
| Filler rods | D   |      |      |      |      |      |         |
| A1100BY     | 2.4 | 0.04 | 0.24 | 0.06 | 0.00 |      | > 99.50 |
|             | 4.0 | 0.05 | 0.23 | 0.07 | 0.00 |      | > 99.50 |
| A4043BY     | 2.4 | 5.14 | 0.14 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | re      |
|             | 4.0 | 4.97 | 0.21 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | re      |
| A5183BY     | 2.4 | 0.07 | 0.17 | 0.00 | 0.70 | 5.12 | re      |
|             | 4.0 | 0.07 | 0.17 | 0.00 | 0.70 | 5.12 | re      |

D: diameter (mm), re: remainder

表 4 母材および溶加棒の組合せと組合せ記号

| Symbol | Base metal      | Filler rod      |
|--------|-----------------|-----------------|
|        | JIS designation | JIS designation |
| P1     | A1050P-H24      | Not applicable  |
| P5     | A5083P-O        | Not applicable  |
| P6     | A6061P-T6       | Not applicable  |
| P1F1   | A1050P-H24      | A1100BY         |
| P5F5   | A5083P-O        | A5183BY         |
| P1F5   | A1050P-H24      | A5183BY         |
| P5F1   | A5083P-O        | A1100BY         |
| P6F4   | A6061P-T6       | A4043BY         |

#### 3.4.3 有害性に影響を与える要因元素の同定

アーク光のように様々な波長の紫外放射が含まれる場合、波長ごとに照度を測定し、有害性の強い波長域の発光元素を同定することで、有害性に影響を及ぼす元素を特定することができる。そこで、上記 3 種類の母材に対し溶接電流 200 A を用いたメルトラン溶接中に放射される紫外放射の分光放射照度を測定した。計測器にはマルチチャンネル分光器(朝日分光機製 HSU-100S)を使用した。測定波長精度は±1.2 nm である。アーク光源からの距離は 2600 mm、測定時間は測定器によって 0.13 s~0.24 s に自動的に設定された。図 3 に実験配置図を示す。

3.4.4 実効照度に及ぼす電極の影響

タングステン電極が紫外放射の有害性に及ぼす影響を検討するため, JIS Z 3233<sup>[12]</sup>に規定される 5 種類の電極 (YWP, YWce-2, YWLa-2, WZ8, YWTh-2)を用いて溶接を行い, 溶接中の実効照度を測定した. 表 5 に JIS に規定されるタングステン電極の含有成分を示す. YWP は, 純タングステン電極, その他は, 酸化物入り電極である. 母材には A5083P-O を用い, 溶接電流 200 A でメルトラン溶接を行った. 検出器の設置位置は溶接進行方向に対し 90°, 母材表面からの角度 40°である.

表 5 タングステン電極含有成分(mass %)

| Electrodes<br>(JIS designation) | Chemical compositions                  |            |           |  |
|---------------------------------|--|------------|-----------|--|
|                                 | Oxide content                          | Impurities | Tungsten  |  |
| YWP                             | -                                      | ~0.10      | > 99.00   |  |
| YWce-2                          | Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1.8~2.2 | ~0.10      | Remainder |  |
| YWLa-2                          | La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1.8~2.2 | ~0.10      | Remainder |  |
| WZ8                             | ZrO <sub>2</sub> 0.7~0.9               | ~0.10      | Remainder |  |
| YWTh-2                          | ThO <sub>2</sub> 1.7~2.2               | ~0.10      | Remainder |  |

4. 結果

本実験において, アーク光源から 500 mm の距離において測定された紫外放射の実効照度は 0.091 mW/cm<sup>2</sup>~0.91 mW/cm<sup>2</sup>であった. また(2)式より算出された 1 日 8 時間あたりの許容曝露時間は 3.3 s~33 s であった.

母材表面からの角度ごとの実効照度を図 4 に示す. 実効照度は, 角度が 40°の時に最大であり, それよりも角度が小さく, または, 大きくなるにつれて低下した.

溶接進行方向に対する角度ごとの測定結果を図 5 に示す. 実効照度の明確な角度依存性は確認できなかった.

メルトラン溶接およびビードオンプレート溶接中の母材と溶加棒の組合せと実効照度を図 6 に示す. メルトラン溶接中の実効照度は, 母材にマグネシウムを多く含む P5 の時に最も高く, 以下少量のマグネシウムを含む P6, マグネシウムを含まない P1 の順に低くなった. 図 7 にメルトラン溶接中に測定された分光放射照度を示す. すべての母材について, 波長 240 nm~260 nm および波長 300 nm~310 nm にアルミニウムの発光が見られた. P5 および P6 の場合には, 波長 280 nm 近傍でマグネシウムの発光が見られた. ビードオンプレート溶接時の実効照度は母材と溶加棒の両方にマグネシウムが含まれる組合せ P5F5 の時に最も高かった. 溶加棒のみにマグネシウムが含まれる組合せ P1F5 と母材のみにマグネシウムが含まれる組合せ P5F1 を比較した時, 顕著な差は認められなかった. また, 純アルミニウムの組合せ P1F1 が最も低く, 少量のマグネシウムと珪素が含有する組合せ P6F4 が次に低かった. さらに, 母材 A5083 P-O に対しメルトラン溶接された P5 と溶加棒 A5183BY を用いてビードオンプレート溶接された P5F5 を比較すると P5 の方が実効照度は高かった. 同様に P1 および P1F1 を比較すると, メルトラン溶接された P1 の実効照度が高かった. すべての母材と溶加棒の組合せにおいて, 溶接電流が 100A の時よりも, 200 A の時の方が, 実効照度が高かった.

電極ごとの実効照度測定結果を図 8 に示す. 純タングステン電極である YWP よりも酸化物が入ったその他の電極を用いた方が実効照度は 10%~20%高くなった.

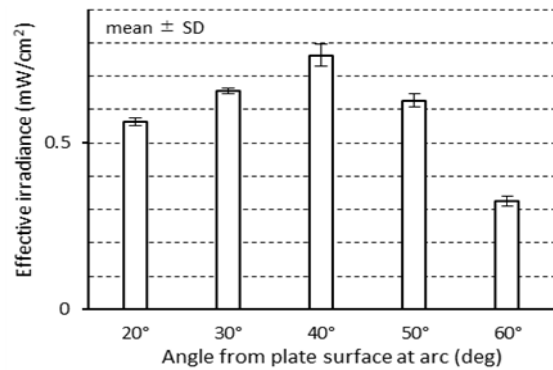


図 4 紫外放射の母材表面からの角度依存性



図 5 紫外放射の溶接進行方向角度依存性

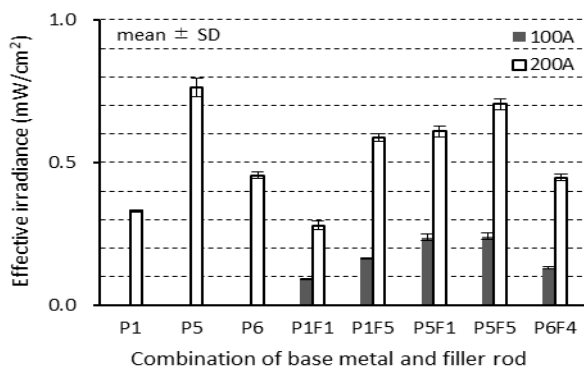


図 6 母材および溶加棒の組合せと実効照度

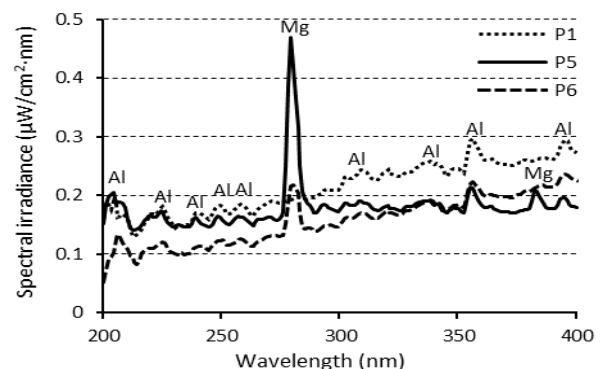


図 7 メルトラン溶接中に放射された紫外放射の母材ごとの分光放射照度

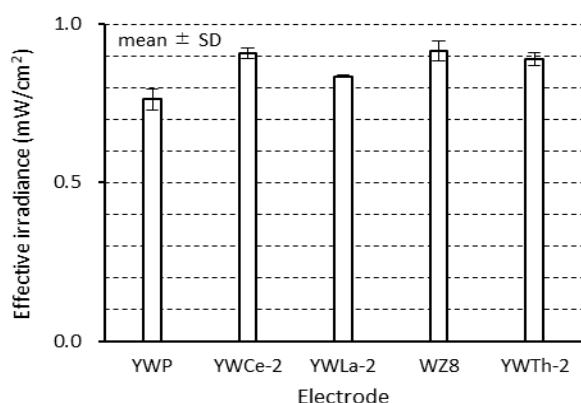


図8 各種タングステン電極を用いたアーク溶接中に放射された紫外放射の実効照度

## 5. 考察

アーク光源から 500 mm の距離において測定された実効照度は、0.091 mW/cm<sup>2</sup>~0.91 mW/cm<sup>2</sup>であった。これに対する許容曝露時間はわずか 3.3 s~33 s であり、1 日 8 時間当たりの累計の曝露時間としては極めて短い。従って、アルミニウム合金のティグ溶接を行う作業者はたとえわずかな時間であっても紫外放射へ曝露されることは危険であると考えられる。

紫外放射の実効照度は、逆二乗の法則に従ってアーク光源から離れるにつれて低下する<sup>[4, 13]</sup>と仮定すると、アーク光源から 5 m の距離における 1 日 8 時間当たりの許容曝露時間は 330 s~3300 s となる。従って、アーク光源から 5 m の距離においても、放射される紫外放射が強い場合には、わずかな時間であっても紫外放射に曝露されることは危険であり、また弱い場合にも、継続的な曝露は危険であると考えられる。従って、アルミニウム合金のティグ溶接が行われている場合には、その周辺の作業者も、溶接アークから放射される紫外放射に曝露されないよう注意する必要がある。

### 5.1 アーク光源からの放射角度依存性

ティグ溶接中に放射される紫外放射の実効照度は、母材表面からの角度が 40° の時に最大であり、それよりも角度が小さく、または、大きくなるにつれて低下した(図 4)。図 9 に紫外放射検出器の設置位置から観察された、溶接トーチ (ノズル) と模擬溶融池の関係を示す。図中、電極先端の円は模擬溶融池を表す。ティグ溶接では溶融池表面より発生した金属蒸気を起因として紫外放射が放射されるため、母材表面からの角度が小さい場合には溶融池の見かけ面積は小さく、角度の増加に伴い溶融池の見かけ面積が増加し実効照度が強くなったためだと考えられる。しかし、角度が 40° を超えて大きい場合には、溶接トーチのノズルが溶融池を覆い紫外放射検出器に検出される紫外放射をカットしたため、実効照度が低くなったと考えられる。従って、溶接作業者が、通常の姿勢でティグ溶接を行う場合には、紫外放射は溶接作業者の頭

部・頸部周辺で最も強くなる。溶接作業者はその部分を保護面・保護具などで完全に防御しなければならない。特に夏季には暑さによって頸部周辺の保護具の着用がおろそかになりがちであるから、紫外放射被曝に対する一層の注意が必要である。

ティグ溶接中に放射される紫外放射の実効照度は、溶接進行方向に対する角度が変わっても変化しなかった(図 5)。ミグ溶接の場合には、溶接進行方向に近い方向で、実効照度の低下が見られた<sup>[9]</sup>が、これはミグ溶接が発生するヒューム (溶接時に発生する煙) が紫外放射を吸収または散乱したためだと考えられる。ティグ溶接ではヒュームの発生がほとんど無いため、溶接進行方向に対する角度依存性が見られなかったと考えられる。

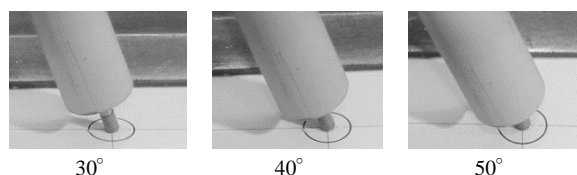


図9 母材からの角度と紫外放射検出器から観察された溶融池と溶接トーチ (ノズル) の関係

### 5.2 母材と溶加棒および溶接電流の影響

#### 5.2.1 溶接電流の影響

ビードオンプレート溶接において、溶接電流 100 A 時と比較し、溶接電流 200 A 時には、他の条件が同じであれば 2.6 倍~3.6 倍の実効照度が測定された(図 6)。このような傾向は鋼やマグネシウム合金のアーク溶接中に放射される紫外放射<sup>[13-17]</sup>と同様である。従って、溶接電流は紫外放射の有害性に影響を及ぼす重要な因子であり、溶接電流が増加すると放射される紫外放射の有害性は急速に強まると考えられる。

#### 5.2.2 母材の影響

アルミニウム合金のティグ溶接では、溶接金属にマグネシウムが含有される組合せで、実効照度が高くなった(図 6)。母材に A5083P-O および A6061P-T6 を用いた P5 および P6 の時、波長 280 nm 近傍でマグネシウムを起因とする発光が観察され、波長 240 nm~260 nm および波長 300 nm~310 nm で母材の主成分であるアルミニウムの発光が観察された(図 7)。マグネシウムの含有量はわずかであるにもかかわらず、紫外放射範囲の分光放射照度分布の中では、アルミニウムの発光と同程度、またはそれよりも強いことが確認できる。マグネシウムの沸点 (1090°C) が、アルミニウムの沸点 (2470°C) よりもかなり低いため、溶融池から優先的にマグネシウムが蒸発し、紫外放射を放射させたためと考えられる。さらに、紫外放射の波長ごとの有害性の相対的強さを表す量である相対分光効果値は、波長 280 nm で 0.88、波長 240 nm~260 nm で 0.3~0.65、また波長 300~310 nm で 0.015~0.3 であるため、アルミニウムが実効照度に及ぼす影響はマグネシウムと比較し小さい。従って、アルミニウム合金のティ

グ溶接の場合, 紫外放射の有害性の強さは, 主としてマグネシウムの発光に影響されると考えられる。

### 5.2.3 母材と溶加棒の組合せの影響

ほぼ同成分の母材と溶加棒を用いた溶接では, メルトラン溶接の方がビードオンプレート溶接より高い実効照度が測定された(図 6)。その要因は溶加棒の添加によって一時的に溶融池の温度が低下し, 金属蒸気量が減少したことにあると考えられる。これらの溶融池の温度低下は溶加棒添加時に溶融池の一時的な収縮が観察されることから確認できる。母材 A5083-O をメルトラン溶接した時(P5)の実効照度は  $0.76 \text{ mW/cm}^2$  であり, 母材 A5083-O に溶加棒 A5183 を添加しビードオンプレート溶接した時(P5A5)の実効照度は  $0.70 \text{ mW/cm}^2$  である。(2)式より許容曝露時間を算出するとそれぞれ 3.9s および 4.3s となる。ビードオンプレート溶接よりもメルトラン溶接の実効照度が強く 1 日当たりの許容曝露時間が短いことは, 実際上非常に重要である。メルトラン溶接はタック溶接の時にしばしば行われている。タック溶接はアークの継続時間が短く断続的になるため, 溶接作業者は溶接用保護面をかぶらず, アーク光源から顔をそむけたり, 目を閉じながら溶接を行う傾向にある。紫外放射への曝露の防止の観点からは, 溶接用保護面の着用は不可欠であり, また溶加棒の使用が望ましいことになる。これらのことから, 溶接作業者や溶接施工管理者はメルトラン溶接が強い紫外放射を伴うことを認識すべきと思われる。

### 5.2.4 タングステン電極の影響

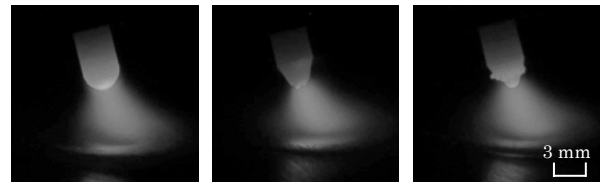
純タングステン電極を用いた溶接時よりも酸化物入り電極を用いた方が実効照度は 10%~20% 高くなった(図 8)。図 10 に示す様に, 酸化物入り電極は, 純タングステン電極と比べ, 電極先端部の溶融変形が小さくアークの集中性が良い。アークの集中性が高まることで溶融池周辺の温度が上昇しマグネシウムの気化量が増え実効照度が高くなったと考えられる。また, 酸化物が添加された電極は消耗が少なく<sup>[18]</sup>, 長時間にわたり安定したアークが得られる。従って純タングステン電極と比較して作業効率が低い反面, 1 日当たりの溶接作業量(アークの発生時間)が増加する。従って, 酸化物入り電極を使用したティグ溶接作業時には, 作業者はより多くの紫外放射に曝露される可能性があるため一層の注意が必要と考えられる。

本研究で得られたティグ溶接中に放射される紫外放射の実効照度は, 以前の研究で得られたアルミニウム合金のミグ溶接中に放射される実効照度と比較すると約 1/10 であった。どちらの研究においても, 実際の現場で広く用いられている溶接条件を用いた溶接中に放射される紫外放射を調べている。従って, 実際に現場においても, アルミニウム合金のミグ溶接は, ティグ溶接よりも, 紫外放射の有害性が強いと考えられる。

## 6. まとめ

アルミニウム合金のティグ溶接中には有害性の強い紫外放射が放射される。これへ曝露されることは ACGIH の評価基準に従って危険であるとみなされる。アルミニウム合金のティグ溶接中に放射される紫外放射は以下の様な特徴を有す。

- (1) 紫外放射の有害性は溶接電流が大きい方が強い。
- (2) 紫外放射の有害性は溶接材料にマグネシウムが含まれると強くなる。
- (3) 紫外放射の有害性はメルトラン溶接中が強く, 溶加棒の添加によって弱くなる。
- (4) 紫外放射の有害性はアーク光源からの放射角度に影響される。
- (5) 紫外放射の有害性は純タングステン電極よりも酸化物入り電極を使用した方が強い。
- (6) ティグ溶接中に放射される紫外放射の有害性は, 実際の現場で広く用いられている溶接条件と比較した場合, ミグ溶接時の約 1/10 の強さである。



YWP YWce-2 WZ8  
図 10 タングステン電極とアークの集中性

注

本研究資料は Industrial Health, 54-2(2016), 149-156. に掲載された原著論文を和訳・再構成したものである。

### 参考文献

- [1] 日本溶接協会:「しゃ光保護具の性能評価等に関する調査研究 成果報告書」, 日本溶接協会(1980).
- [2] E. A. Emmet, C. R. Buncher, R. B. Suskind, K. W. Rowe: "Skin and eye diseases among arc welders and those exposed to welding operations", Journal of Occupational Medicine 23 (1981), 85-90.
- [3] International Commission on Illumination: "International lighting vocabulary, CIE Standard CIE S 017/E:2011", International Commission on Illumination (2011).
- [4] D. Sliney, M. Wolbarsht: Safety with Lasers and Other Optical Sources, Plenum press (1980).
- [5] World Health Organization: "Ultraviolet radiation, Environmental Health Criteria 160", World Health Organization (1994).
- [6] ACGIH: Ultraviolet radiation. In: "2016 TLVs® and BEIs®", ACGIH (CD-ROM) (2016).
- [7] 軽金属溶接協会:「アルミニウム合金薄板における交流ティグ溶接および直流パルスミグ溶接の基礎的技法」, 軽金属溶接協会 (2013).
- [8] Gigahertz-Optik: "X13 Manual", 14-12 (2014).
- [9] 中島 均, 宇都宮 昭弘, 藤井 信之, 奥野 勉:「アルミニウ

ム合金のミグ溶接で放射される紫外放射量の検討」, 軽金属溶接, 52-8 (2014), 290-298.

- [10] 日本規格協会, 日本アルミニウム協会: 「JIS H 4000, アルミニウム及びアルミニウム合金の板及び条」, 日本規格協会 (2014).
- [11] 日本規格協会: JIS Z 3232, アルミニウム及びアルミニウム合金の溶加棒及び溶接ワイヤ, 日本規格協会 (2014).
- [12] 日本溶接協会: 「JIS Z3233, イナートガスアーク溶接並びにプラズマ切断及び溶接用タングステン電極」, 日本規格協会 (2001).
- [13] T. L. Lyon, W. J. Marshall, D. H. Sliney, N. P. Krial, P. F. Del Valle: "Nonionizing radiation protection special study No. 42-0053-77, Evaluation of the potential from actinic ultraviolet radiation generated by electric welding and cutting arcs", US Army Environmental Hygiene Agency Aberdeen Proving Ground ADA033768 (1976).
- [14] 奥野 勉, 斎藤 宏之, 北条 稔, 神山 宣彦: 「アーク溶接などの作業が発生する紫外放射の有害性評価」, 産業医学ジャーナル, 28 (2005), 65-71.
- [15] Okuno, T., Ojima, J., Saitoh, H: "Ultraviolet radiation emitted by CO<sub>2</sub> arc welding", Ann. Occup. Hyg. 45 (2005) 597-601.
- [16] 中島 均, 藤井 信之, 奥野 勉, 榎本 正敏: 「マグネシウム合金のティグおよびミグ溶接で発生する紫外放射の有害性」, 軽金属溶接, 54-1 (2016), 17-23.
- [17] H. Nakashima, A. Utsunomiya, J. Takahashi, N. Fujii, T. Okuno: "Hazard of Ultraviolet Radiation Emitted in Gas Metal Arc Welding of Mild Steel", Journal of Occupational Health, 58-5(2016), 452-459.
- [18] 松田 福久, 牛尾 誠夫, 熊谷 達也: 「ランタン, イットリウム, セリウム入り各タングステン電極によるアーク特性の比較研究」, ガス・タングステン・アーク電極の研究(1), 溶接学会論文集, 6-2 (1988), 199-204.

(原稿受付 2019/1/6, 受理 2019/6/5)

\*中島 均, 博士 (環境科学)

職業能力開発総合大学校, 能力開発院, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1 email: nakashima@uitech.ac.jp  
Hitoshi Nakashima, Faculty of Human Resources Development, The Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035.

\*宇都宮昭弘

静岡職業能力開発促進センター, 〒422-8033 静岡県静岡市駿河区登呂 3-1-35 email: Utsunomiya.Akihiro@jeed.or.jp  
Akihiro Utsunomiya, The Polytechnic Center Shizuoka, 3-1-35 Toro, Suruga-ku, Shizuoka, Shizuoka 422-8033.

\*高橋潤也, 修士 (工学)

職業能力開発総合大学校, 能力開発院, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1 email: j-takahashi@uitech.ac.jp  
Jyunya Takahashi, Faculty of Human Resources Development, The Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035.

\*藤井信之, 博士 (工学)

職業能力開発総合大学校, 能力開発院, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1 email: nfuji@uitech.ac.jp  
Nobuyuki Fujii, Faculty of Human Resources Development, The Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035.

\*奥野 勉, 博士 (工学)

首都大学東京, 大学院, システムデザイン研究科, 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 email: okuno@j.email.ne.jp  
Tsutomu Okuno, Department of Electrical & Electronic Engineering, Graduate School of science and engineering, Tokyo Metropolitan University.  
1-1 Minamiosawa, Hachioji, Tokyo, 192-0397.