

4-3

溶接・溶断における健康と安全*

神山 宣彦¹ 波多野 勲² 山田比路史³
奥野 勉⁴ 山根 敏⁵ 宮崎 邦彰⁶



神山 宣彦

Health and Safety for Welding and Thermal Cutting*

by KOHYAMA Norihiko¹, HATANO Isao², YAMADA Hiroshi³

OKUNO Tsutomu⁴, YAMANE Satoshi⁵ and MIYAZAKI Kuniaki⁶

キーワード 溶接, 溶断, 安全, 健康, ヒューム, 有害ガス, 爆発, 有害光, 騒音, 個人用保護具

1. 緒言

労働者を労働災害や健康障害から守るために、わが国は、戦後、労働基準法（昭和22年）、じん肺法（昭和35年）、労働安全衛生法（昭和47年）さらに作業環境測定法（昭和50年）などの法律をつくり対策を進めてきた。その結果、労働災害事故や健康障害は急速に減少したが、依然として発生しているのも事実である。

溶接・溶断の技術は20世紀に飛躍的な発展を遂げ、船舶、橋梁、建築をはじめ多くの分野で極めて重要な役割を果たしている。今後もその技術は発展を続けるであろう。一方、溶接・溶断作業が直面する危険有害因子は種々あり、その危険有害因子から溶接・溶断作業者を安全に守るための労働安全衛生対策は大きく進歩してきた。しかし、まだ十分でない面もあり、厚労省では平成20年に、第11次労働災害防止計画と第7次粉じん障害防止対総合対策（2008-2012年）を策定して溶接作業における一層の安全衛生の向上を求めている。

こうした状況で、本章では、溶接・溶断作業における様々な危険有害因子とその対策について紹介する。

2. 溶接の健康・安全概論

2.1 溶接、溶断で発生する有害因子と災害、障害の発生

溶接、溶断においては、作業者に障害をもたらすヒューム、ガス、光、スパッタ、熱、騒音、電撃、電磁波などの有害危険因子が発生し、これらにより作業には次のように短期間だけでなく、長期間における障害に対する配慮が必要となる。

- ① 比較的短時間に生じる急性障害：金属熱、一酸化炭素中毒、表層性角膜炎など
- ② 長期間にわたってばく露、吸入された結果生じる慢性障害：じん肺症、白内障など
- ③ 突発事故：酸素欠乏症、感電、感電に起因する転落、火災、爆発など

これらを避けるために、管理者および溶接作業者は各々の対策を充分理解する必要があるが、ここでは法的な規制について概略を以下に紹介する。

2.2 溶接、溶断作業に関する法的規制

労働安全衛生に関する法的規制の根幹は昭和47年に制定された「労働安全衛生法」であり、溶接、溶断作業についても当然、労働安全衛生法をはじめとする法規制を受けることになる。

(1) 労働安全衛生法

「労働安全衛生法」は事業者がその職場における労働者の安全と健康を確保するために計画・推進し、それに基づいて労働者が遵守・協力すべき事項を定めている。

各事項の具体的内容については、「労働安全衛生法施行令」及び「労働安全衛生規則」に定められ、さらに細部については省令や告示、通達などによって規定されてい

原稿受付 平成20年9月17日

¹ 正員 東洋大学 Member, Toyo University

² 正員 日鐵住金溶接工業(株) Member, Nippon Steel & Sumikin Welding Co., Ltd.

³ 正員 (株)重松製作所 Member, Shigematsu Works Co., Ltd.

⁴ 正員 (独)労働安全衛生総合研究所 Member, National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

⁵ 正員 埼玉大学 Member, Saitama University

⁶ 正員 (株)神戸製鋼所 Member, Kobe Steel, Ltd.

表1 ヒュームに含有する物質による人体への障害

物質	障害
シリカ, 銅, 鉄, アルミニウム	じん肺, 肺線維症, 肺気腫
カドミウム, クロム, フッ化物, 鉛, マンガン, マグネシウム, モリブデン, ニッケル, チタン, バナジウム, 亜鉛など	呼吸器への刺激, 重金属中毒, 金属熱, 気管支炎, 肺がん

る。

- ① 人に必要な教育・免許：就業時に必要な特別教育や就業制限のある業務についての規定
- ② 物に必要な性能と保守：検定を受けた溶接装置や呼吸用保護具の使用規定
- ③ 安全基準および衛生基準：通気，換気，遮蔽，電撃，保護具等に関する規定

(2) じん肺法および粉じん障害防止規則

「じん肺法」は労働安全衛生法とは別の系列の法規であるが、じん肺に対する健康診断とその区分が骨子となっている。

「粉じん障害防止規則」は労働安全衛生法に基づいて定められた規則で、粉じん作業の定義や換気，保護具の着用などが規定されている。なお、平成20年3月の改正により従来粉じん作業から除外されていた自動溶接および自動溶断作業も粉じん作業に区分され、従来より厳しい対策が必要となった。

(3) その他

その他の規則として、「鉛中毒予防規則」，「高気圧作業安全衛生規則」，「酸素欠乏症等予防規則」などがあり、該当作業を行う場合は、規定を遵守する必要がある。

3. ヒュームによる健康障害

3.1 ヒュームの性質

金属の溶接・溶断では、高温の金属熔融状態が生じる。このため、そこから蒸発した溶接材料や母材の成分が気中で冷却されて凝縮し、微小な粒子となって空中に浮遊する。これがヒュームと呼ばれるもので、溶接作業の衛生を考える際に、最も重要視されているものである。

ヒュームの粒径分布は、溶接の種類や溶接条件によって異なる。しかしながら、どの場合においても、肺の末端にある肺胞に沈着されるといわれている粒径0.1～数 μ mの粒子を必ず含んでいる。

ヒュームの化学組成は、溶接材料や母材に含まれる元素から生成した複合酸化物やふっ化物などで、一般に、蒸気圧の影響によって、元の組成とは大幅に異なっている。

3.2 ヒュームの人体への影響

肺内に深く入り込んだヒュームは、沈着した部位で病変を引き起こしたり、溶解して肺血流を経て体内標的臓器に集積し、その機能を阻害したり組織を損傷したりする。

ヒュームによる人体影響で特筆すべきことは、それ自体に毒性が無い場合であっても、長年吸入すると、ヒュームが沈着した部位で線維化が生じ、呼吸困難、心機能

障害などを起こす“じん肺（溶接の場合は、溶接工肺ともいわれる）”と呼ばれる不治の病の原因となることである。

ヒュームに含有する物質による人体への障害として、表1¹⁾のような内容が知られている。

ヒューム中の主な元素の有害性は、次のとおりである。

a) クロム

六価クロムは発ガン性が問題視されているが、溶接・溶断作業への影響については、まだ明確な結論がでていない。

b) 亜鉛

金属熱の原因物質として有名である。酸化亜鉛を繰り返し吸入すると、肺胞炎から間質肺炎と進行するおそれがある。

c) カドミウム

急性中毒として化学性肺炎や肺水腫が、慢性中毒として肺気腫、腎機能障害、慢性鼻炎などがある。

d) ニッケル

ニッケル化合物であるニッケルカルボニルは、猛毒で、プラズマアーク溶接の際にニッケル合金（ステンレス鋼）と一酸化炭素が接触すると発生するおそれがある。

e) マンガン

長時間の吸入によって、特異な神経症状があらわれる可能性が指摘されている。

3.3 ヒュームの吸入防止対策

作業場に浮遊するヒュームなどの有害物質の濃度を低下させるためには、全体換気装置、局所排気装置などの設備を導入することである。

しかしながら、溶接・溶断作業者の呼吸領域は、ヒュームの発生源に極めて接近している場合が多く、これらの装置を導入しただけでは溶接・溶断作業者を完全に守ることができない場合も多い。

このため、溶接・溶断作業者は、全体換気装置、局所排気装置などが設置されていない場合はもちろん、これらが設置されている場合でも、防じんマスク、電動ファン付き呼吸用保護具（以下、PAPRという）などの呼吸用保護具を常時着用することが望ましい。

なお、溶接・溶断作業で多く使用されている防じんマスクは、息苦しさを感ずる場合があること、密着性が不十分だと周囲の有害物質が漏れ込むことなどの問題点が指摘されてきた。このため、作業者に対する防じんマスクの装着教育の徹底は不可欠である。

近年、呼吸に負担が掛からず、防護性能が高いPAPRに注目が集まっており、この普及によって、懸案事項である“じん肺撲滅”の達成が期待されている。

表2 溶接等によって発生する有害ガスの種類と発生量

作業の種類		CO ₂	CO	O ₃	NO _x (NO,NO ₂)
ガスシールド アーク溶接	マグ (CO ₂)	○	○	△	—
	マグ (Ar+CO ₂)	△	△	△	—
	ミグ・ティグ	—	—	○	△
プラズマアーク溶接		—	—	△	△
被覆アーク溶接		—	△	—	—
プラズマ切断		—	—	△	○
ろう接		○	○	△	△

注記 ○：濃度が高くなるおそれがあるもの △：条件によっては発生するもの

—：発生しないか、発生するとしても衛生上問題にならないレベル

表3 有害ガスの管理濃度

物質	管理濃度 (ppm)
CO	50
CO ₂	5000
NO	25
NO ₂	5
O ₃	0.1

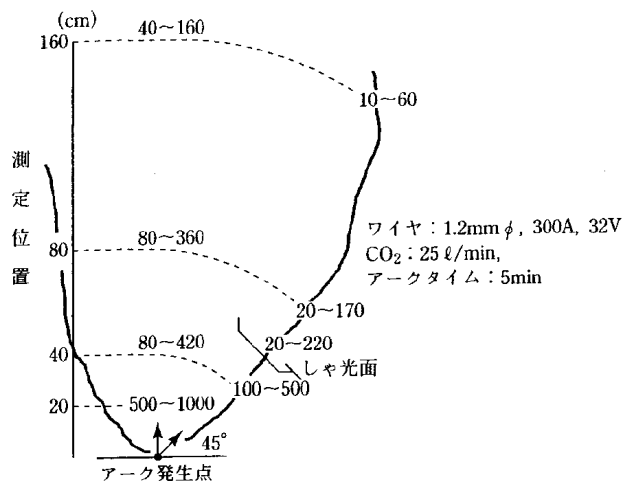


図1 CO ガス分布測定結果

表4 ガス濃度測定結果

溶接法	ワイヤ No.	シールドガス ℓ/min	溶接時間 sec	溶接電流 A	アーク電圧 V	O ₃ ppm	NO ppm	NO ₂ ppm	CO ppm	O ₂ %
被覆アーク	I	なし	15	155	22~26	1.65	12.97	4.09	11.5	21
			15	155	22~26	1.02	20.90	4.46	10.0	21
			15	155	22~26	2.42	19.28	2.62	7.0	21
ミグ	II	なし	80	155	22~26	2.02	3.49	2.60	16.0	20.5
			30	400	37	2.80	1.05	0.63	7.5	21
	III	Ar 25, CO ₂ 2.5	30	400	37	2.60	0.06	0.46	7.5	21
			120	400	37	7.95	0.05	0.14	25.0	20
			120	400	37	1.59	0.28	0.57	58.0	20.5
			120	350	38	1.98	0.44	0.66	32.0	21
			120	360	37	1.58	0.56	0.79	29.5	21
			120	410	41	2.08	5.34	1.13	22.0	20.5
	IV	Ar 25, CO ₂ 2.5	120	210	25	1.87	0.34	0.23	35.0	21
			30	400	37	2.08	0.32	1.15	17.0	20.7

4. 発生ガスによる健康障害

4.1 発生ガスの種類

溶接・溶断作業では、その方法、材料の種類、条件などによって種々な有害ガスが発生する。なかでも、健康への影響が問題となるのは、炭酸ガスアーク溶接などで発生する一酸化炭素 (CO)、溶接アークの高熱によって空気中の窒素が酸化されて生じる窒素酸化物 (NO_x) および強い紫外線の照射によって生じるオゾン (O₃) などがあげられる。各溶接方法において発生する有害ガスの種類および発生量のレベルを表2に示す²⁾。

その他、溶接棒被覆剤やフラックスが熱分解してフッ化水素 (HF) やホスフィン (PH₃) などが発生することや、作業環境中に塩素系有機溶剤が存在すると紫外線による光分解でホスゲン (COCl₂) などが発生することが知られている。

4.2 管理濃度

「溶接、熱切断及び関連作業における安全衛生」(WES 9009-2:2007) では管理濃度を表3のように定めている³⁾。

4.3 発生ガスの濃度

テストチャンバー内で溶接を行い発生した有害ガスの濃度測定結果を表4に示す⁴⁾。被覆アーク溶接では、ガス

シールドアーク溶接に比べて、アーク中への空気の巻き込み量が多いため、 NO_x の発生量が相対的に多い。

マグ溶接ではCOの発生量は多く、溶接条件によって変動するが、シールドガスとして用いる CO_2 の2%程度がCOになると考えられている。

開放的な作業場で CO_2 溶接を行った場合のCOの発生と拡散状況は図-1⁹⁾に示すように、アーク発生点垂直方向20cmで500~1000ppm、40cmで80~420ppm、シャ光保護具内面内側の作業員口元で20~220ppm検出された。このように連続して作業が行われ、アークタイムが長い場合は相当量のCOが発生するので、作業員のCOばく露に注意が必要である。特に狭隘な場所での作業には十分な換気と送気マスクなどの保護具が必須である。

5.4 発生ガスの吸入防止対策

ガスの吸入を避けるには全体換気装置を設置することが必須であり、さらに局所排気装置やプッシュプル方式の換気装置の導入が望ましい。これらの装置が効果的に機能しない場合は、適切な呼吸用保護具の着用が必要である。

また、狭隘な場所で溶接・溶断を行うと一酸化炭素中毒や酸素欠乏症を起こす恐れがある。これらに対しては、溶接作業で通常用いる防じんマスクでは防げないので、給気式呼吸用保護具を使用しなければならない。

5. 有害光による障害

5.1 有害光の種類

溶接・溶断に伴って発生する光には、可視光と目に見えない紫外放射（紫外線）および赤外放射（赤外線）がある。その中で、実際に有害光（有害光線）として問題となるのは、紫外放射および短波長の可視光である青光（ブルーライト）である。なお、赤外放射は、一般に、強度が弱く、障害を起こすことはないと考えられる。

5.2 紫外放射の影響

紫外放射には、さまざまな障害の危険性がある。作業場では、溶接アークの紫外放射によって多くの角膜炎（紫外眼炎）と皮膚炎（紫外皮膚炎）が発生していることは、よく知られている。紫外眼炎では、通常、目の中がごろごろする、目が痛い、涙が出て止まらない、まぶしいなどの症状が、紫外放射ばく露から数時間後に出現し、一日程度で自然に消失する。また、紫外皮膚炎は、実体としては日焼けと同じである。通常、皮膚が赤くなる、水膨れになるなどの症状が、紫外放射ばく露から数時間後に出現し、数日程度で自然に消失する。重い場合には、数日後に表皮が剥落する。そのほか、紫外放射には、白内障、皮膚がんなどの危険性もあり、溶接・溶断に伴う紫外放射によって、このような重い障害も発生している可能性がある。

溶接・溶断に伴う紫外放射は、非常に強く、たとえば、アーク溶接を行うときの作業員の位置であるアークから50cm程度の距離では、瞬間的なばく露であっても危険であることが、実測によって明らかとなっている^{6,7)}。また、紫外放射は、発生源から離れるにつれて弱くなるが、溶接アークから5m、場合によっては10mの位置においても、ばく露は危険であることが、同様に示されている。したがって、近くで他の作業員がアーク溶接を行って

る場合には、その紫外放射にも注意する必要がある。

5.3 青光の影響

溶接アークからは強い青光が発生し、光網膜炎を引き起こす危険性がある。たとえ瞬間的なばく露であっても危険であることが実測によって明らかとなっている⁸⁾。溶接アークによる光網膜炎についての症例のほとんどは、適切な遮光保護具を適切に使用していなかったことに起因している⁹⁾。光網膜炎では、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、青光ばく露直後または1日以内出現するが、その後は、徐々に改善しながら、数週間から数か月間続き、最終的に回復しない場合もある。したがって、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。

5.4 有害光の障害防止対策

紫外放射による障害を防ぐため、溶接用保護面および保護手袋の使用、長袖長ズボンの作業衣の着用、タオルを首に巻くことなどによって、皮膚および目を露出させないように注意する必要がある。また、光網膜炎を防ぐため、溶接用保護面のフィルタプレートは、個々のアーク溶接作業に適した遮光度番号のものを使用する。遮光度番号の目安は、「遮光保護具」(JIS T 8141)の使用標準に示されている¹⁰⁾。一般に、アーク点灯時に、フィルタプレートを通して見た視界が、感覚的に適当な明るさであれば、光網膜炎の危険性はない。

アークに点火する際には、溶接用保護面の装着が遅れ、紫外放射と青光へばく露しないよう注意する必要がある。また、この場合の紫外放射へのばく露に備えて、アーク溶接作業員は、常時、下めがねを着用していることが望まれる。下めがねには、透明または透明に近いフィルターのスペクタクル形またはフロント形、ゴーグル形の遮光めがねまたは保護めがねを使用する。アーク溶接を行う場合には、下めがねの上から、通常の溶接用保護面をかぶることになる。溶接用保護面のかわりに液晶式自動遮光面を使用することによっても、アーク点火時の紫外放射へのばく露を防ぐことができる。

アーク溶接を含む複数の作業が同時に行われている作業場では、アーク溶接の周囲の作業員も、その紫外放射へのばく露に注意する必要がある。この場合のばく露を防ぐため、遮光カーテンまたは不燃性の衝立によって、作業場を区画することが望ましい。さらに、こうした作業場では、アーク溶接作業員が、前述のように、常時、下めがねを着用しているとともに、他の作業員も、常時、同様な遮光めがねまたは保護めがねを着用していることが望まれる。この場合、スペクタクル形の遮光めがねまたは保護めがねであれば、後方および側方からの紫外放射を遮断するサイドシールドが付いたものがよい。また、光網膜炎を防ぐため、アーク溶接の周囲の作業員も、不用意に、溶接アークを見つめないよう注意する必要がある。

6. 感電による災害

日本は夏季に高温多湿となり、建築現場、造船の大組立てなど屋外の作業では汗などをかきやすくなり、感電の危険性が冬季より高まる。人体抵抗は、皮膚の抵抗と

人体内部の抵抗に分けられる。皮膚の抵抗は、印加電圧の大きさ、接触面の濡れ具合などによって変化する。一般に、乾燥した状態であれば普通数kΩ程度であるが、発汗したり、水に濡れた状態であれば非常に小さくなる。一方、人体内部の抵抗は印加電圧に関係なくほぼ一定であり、手と足の間で約500Ωである。そのため、電撃による危険性を考えるとき、最悪の状態を考慮すると500Ωとなる。感電における人体への危険性は、主として次の要因によって定まる。

- 1) 通電電流の大きさ（人体に流れた電流の大きさ）
- 2) 通電時間（電流が人体に流れていた時間）
- 3) 通電経路（電流が人体のどこを流れたか）
- 4) 電流の種類（直流か交流か、周波数など）

であり、このほか間接的には、人体抵抗や電圧の大きさが関係する。人体に流れる電流が感知電流（商用周波数（50 Hzあるいは60 Hz）の交流で約1 mAといわれている。）を超えると、通電経路の筋肉がけいれんし、神経が麻痺して運動の自由がきかなくなり、自力で電源から離脱できなくなる。この状態が長く続くと、呼吸困難になって意識を失ったり、窒息死することがある。

アーク溶接および抵抗溶接作業では、電圧は低いが大電流での作業となる。一般に、溶接電源は通常の使用状態において感電事故が起こらないように安全性を考慮して設計・製作されているが、その使用に当っては取扱説明書を事前によく読み、内容を十分に理解して、これを守る必要がある。

6.1 溶接機の設置場所

溶接電源の設置場所は、その取扱説明書に指示された環境に設置しなければならない。設置場所の選定は、電気に関する有資格者により法規および社内基準に従って行う。とくに、屋内での溶接作業向けに設計された機器は屋外で使用すると、降雨時に水が機器内に進入し、機器の故障の原因となるだけでなく、電源の系統の1次側（動力線）と溶接機本体との絶縁が悪くなり、電撃の危険性が高まる。屋内用に設計されたものは屋内に設置することが要求されており、とくに、溶接機を1次側と接続する場合は十分に注意を払う必要がある。このため、電撃防止のために溶接機器の設置において、入力側の動力線の工事は、電気に関する有資格者により法規および社内基準に従って行うことが重要であり、溶接作業を行うときに必要な接地工事などの適切な処置を講じなければならない。ただし、抵抗溶接機の場合は、母材を接地する必要はない。

6.2 溶接機の取扱い

アーク溶接作業に従事する者は、溶接に関するだけでなく電撃を防止するための十分な知識が必要であるので、特別教育を受けた者でなければ溶接作業をしてはならない。また、溶接ケーブルはできるだけ短く配線し、その接続部は確実に締め付け、かつ絶縁しなければならない。長い溶接ケーブルをループ状に巻いて設置してはならない。狭隘な場所や高所での交流アーク溶接作業には、感電事故による2次災害（墜落事故など）が起こる可能性があるため、必ず自動電撃防止装置付の溶接機を使用しなければならない。溶接作業や溶接機の操作は、安全性を高めるために、取扱説明書の内容をよく理解して、安

全な取扱ができる専門家または教育訓練を受けた者が行う必要がある。溶接作業の開始前には、必ず溶接現場の安全点検、溶接機の異常確認を行う。感電を避けるための重要なことは、帯電部に触れないようにする。ただし、抵抗溶接での二次導体に限っては、溶接作業や電極チップ交換作業時などにやむをえず手が触れる場合があるが、この場合には、二次導体の両端に同時に触れないようにし、二次導体以外の帯電部には触れてはならない。

溶接ケーブルは、火災や感電の原因となるので容量不足のものや損傷したり導線がむき出しになったものは使用しない。

マグ・ミグ溶接機において、コンタクトチップおよびワイヤを交換するときやティグ溶接やプラズマ溶接機・プラズマ切断機において電極棒を交換するときは、予め、溶接機等の電源を切るなどして、交換作業時に溶接出力が出ないようにする。また、感電事故をふせぐには、不必要な機器および故障した機器を接続しないことが重要である。

6.3 服装と保護具

溶接作業時の感電防止のための服装と保護具が重要である。溶接作業環境の条件が最悪の場合（例えば、鉄板上に立つ作業者の身体が汗で濡れ、かつ保護手袋も濡れた状態で溶接棒を握ったとき）、無負荷電圧が高い場合、作業者の身体に流れる電流は190 mAとなる場合があり、感電死する恐れがある。一方、乾燥した状態の保護手袋や安全靴を着用している場合を想定し、感電した場合の電流を計算すると、約2 mAとなり、生命に危険となる電流は流れるおそれがない¹⁾。感電防止のため、溶接作業時、社内規定された作業衣、絶縁性の安全靴および乾いた絶縁性の保護手袋等の保護具を着用し、帯電部に不用意に接触する恐れのある身体部分を露出しないようにする必要があり、保護手袋の下に軍手を用い、軍手が湿ったら交換する。作業衣が破れたり濡れた場合もこれを交換する。

6.4 保守点検

溶接電源からの電撃を防止するためには、保守点検を定期的実施し、損傷した部分は必ず修理してから使用しなければならない。これらの作業は、溶接電源の内部などに触れるので、安全を確実にするために、電気に関する有資格者が行う。社内で保守点検、修理ができないときは、溶接機の製造業者と保守点検、修理について契約することが望ましい。とくにJIS C 9311の交流アーク溶接機用自動電撃防止装置及びJIS C 9300-11の溶接棒ホルダを使用するときは、始業前点検を行わなければならない²⁾。また、漏電遮断装置も始業前に点検を行わなければならない。

7. 高周波による災害

高周波の電磁界中に心臓ペースメーカーなどの医療機器、コンピューター制御された機器などがあると、これらの機器に影響を与え、これらの機器の誤動作につながり、ペースメーカーに関しては生命に関わる問題となる場合がある。そのため、ペースメーカーの装着者は医師の許可があるまで溶接作業に従事しないことや、通電中の溶接作業場所または周囲に近づかないことが重要である。また、NC工作機やクレーンなどが高周波障害を受け

ると2次災害の危険性が高まる。そこで、電子機器の高周波障害を防止するための対策が必要である。

他の機器に及ぼす障害の程度を低減するため、不要な高周波エネルギーを減らすことや他から放射される高周波エネルギーの影響を受けないようにすることの両面から取り組む必要がある。

高周波ノイズ（電磁ノイズ）による障害を低減するために、溶接ケーブルをできるだけ短くし、溶接ケーブルを床や大地にできるだけ近づけて配置・接続する。また、母材側の溶接ケーブルと溶接棒ホルダまたはトーチ側の溶接ケーブルとは互いに沿わせて配置し、溶接ケーブルで大きなループを作らない。これらにより、インダクタンスが小さくなり、溶接電源から出力された電流と、その戻り電流により生じる磁界が打ち消しあい、高周波エネルギーを減らせる。

他からの高周波エネルギーの影響を少なくするためには、母材および溶接機などの接地を他の機器の接地と共用しない。溶接機の筐体は導体であるので、すべての扉、カバーを確実に閉め、固定することにより電磁界に対する遮蔽効果が上がる。高周波エネルギーの発生を抑えるために、溶接機の起動以外は、むやみにトーチスイッチを空押ししない。TIG溶接機の場合、高周波エネルギーは高周波発生装置の火花放電ギャップの長さに比例するので、このギャップを必要以上に大きくしない。また、溶接機等の近くに電子制御された装置があると、高周波が侵入して障害を起こすことがあるので、溶接の計画段階から周辺環境を調査して対応していく必要がある。

8. 火災および爆発による災害¹³⁻¹⁷⁾

火災および爆発は、次の原因で多く発生している。

- ① 燃料ガス（アセチレン、プロパン、水素など）による引火
 - ② 火花やスパッタによる可燃性物質への着火
 - ③ 通電による発熱
 - ④ 通電ケーブルの接続部などのスパーク
- いったん発生すると建物や機械設備を大きく破壊する

とともに、一時に多くの被災者を出す例が多い。

8.1 可燃性物質への対策

管理者および作業者は、火災および爆発を防止するために、可燃性物質の有無の確認、可燃性物質の移動または除去、被加工物の移動（移動不可能な場合は、不燃性シートの使用や床表面を金属の薄板などで保護する）などの防止対策を行う必要がある。また、配電盤、溶接機の近くには、溶接などの作業を行わなくても、可燃性物質を置いてはならない。

8.2 爆発性物質への対策

タンク、圧力容器、ドラム、コンテナ、狭あいな場所での溶接などでは、それらの内部に可燃性のガス、液体などが残留している場合に爆発することが多い。これらの爆発性物質は、空気中にガス、蒸気または粉じんとして表5および表6に示す爆発限界内の濃度で存在する際に、スパッタなどによって着火し、爆発する。そのため、爆発性物質が爆発限界内の濃度で存在するおそれのある場合は、爆発性物質の周辺での溶接などの禁止、可燃性

表5 可燃性ガス及び蒸気の爆発限界

常温の 状態	爆発性物質	爆発限界 vol%	
		下限	上限
気体	水素	4.0	75
	一酸化炭素	12.5	74
	メタン	5.3	14
	エタン	3.0	12.5
	エチレン	3.1	32
	アセチレン	2.5	81
	プロパン	2.2	9.5
	ブタン	1.9	8.5
液体	ベンゼン	1.4	7.1
	トルエン	1.4	6.7
	エーテル	1.9	48
	アセトン	3.0	11
	メタノール	7.3	36
	エタノール	4.3	19

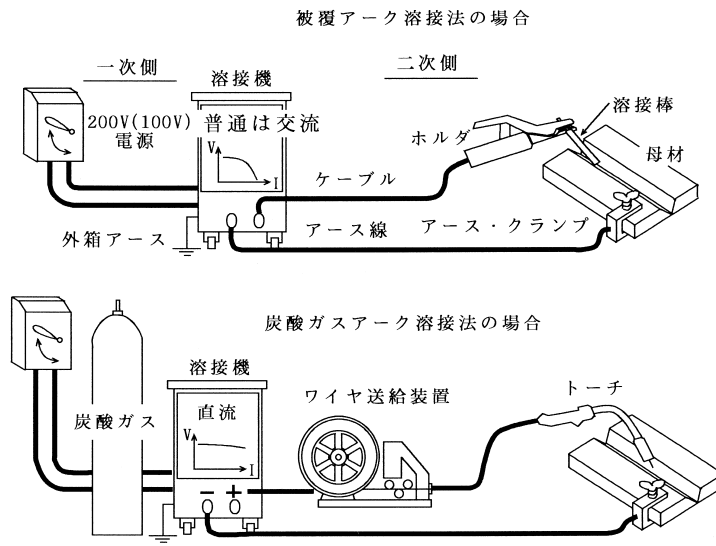


図2 母材の接地

ガス・液体などの周辺への電源，溶接機設置禁止などの対策が必要である。

8.3 ガス集合溶接装置の設置，構造，配管

燃料ガスおよび酸素におけるガス集合装置（専用ガス装置内に設置），ガス容器及び配管については，火気を考慮した設置および処置を講ずる。例えば，ガス集合装置は火気を使用する設備から5m以上離れた場所に設置する。

8.4 通電による災害防止対策

アーク溶接機は，通常数10A～数1000Aの大きな溶接電流を使用するので，通電するケーブルやその接続各部の発熱やスパークの発生に対して十分な管理を行わなければならない。そのため，電気回路や各導線の接続部の締付けや定期点検を実施する。また，母材などの適正な接地（D種設置工事，図2）や，過負荷発熱防止のための定格使用率での使用，入力電源の定格周波数での使用，母材側通電路の確保，漏電の防止および作業中断時の電源シャ断を確実にしなければならない。

8.5 その他

日頃からの整理整頓，始業・終業点検，予防情報の掲

示，溶接作業の点検，および防火装置の確認などを行う必要がある。

9. 熱，騒音および振動による障害¹⁸⁻²¹⁾

9.1 熱

(1) 熱傷

アーク光の紫外線および赤外線が直接皮膚に照射されることによって炎症を起し，また，飛散するスパッタ・スラグおよび溶接等で高温になった材料と接触することによって火傷を負うことがあるので，作業中は，頭部，顔面，のど部，手，足などを露出させてはならない，図3に，保護具装着の一例を示す。

(2) 熱中症

熱中症は，溶接等の熱によって助長されることがあるが，主として高温環境の元となる夏場の炎天下における屋外作業によって発生することが多い。高温環境下での作業に関しては，作業場への熱遮へい物，直射日光を遮る屋根，適度な通風または冷房設備，作業場近隣への冷

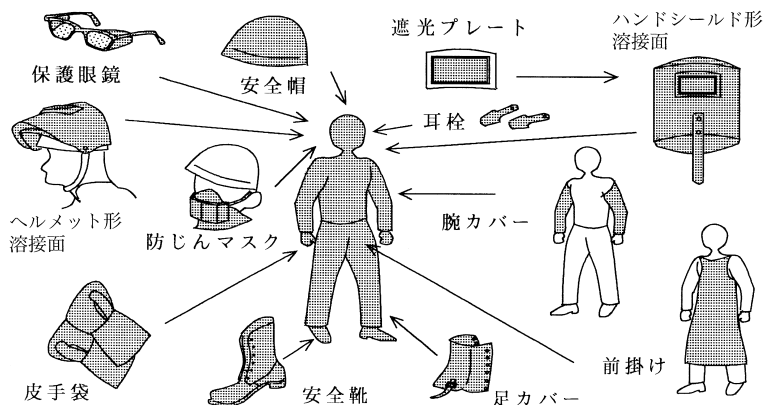


図3 保護具装着の一例

表6 金属粉じん（ $\leq 75\mu\text{m}$ ）の爆発下限界

金属粉じん	爆発下限界 g/m^3
マグネシウム	20
アルミニウム	35
チタン	45
鉄	120
マンガン	210

表8 騒音レベル（A特性音圧レベル）による許容基準

1日のばく露時間（分）	許容騒音レベル(dB)
～480	85
～240	88
～120	91
～60	94
～30	97

表7 騒音の許容基準

中心周波数 (Hz)	各ばく露時間に対する許容オクターブバンドレベル (dB)					
	480分	240分	120分	60分	40分	30分
250	98	102	108	117	120	120
500	92	95	99	105	112	117
1000	86	88	91	95	99	103
2000	83	84	85	88	90	92
3000	82	83	84	86	88	90
4000	82	83	85	87	89	91
8000	87	89	92	97	101	105

表9 手腕振動の許容基準

ばく露時間 (分)	周波数補正振動加速度実効値の 3軸合成値 (m/s ²)
～ 6	25.0
～ 10	19.4
～ 60	7.92
～120	5.60
～240	3.96
～480	2.80

房室、日陰などの涼しい休憩場所の設置や、水分・塩分補給のためのスポーツドリンク備付けなどを行うとともに、作業休止時間または休憩時間の確保、吸湿性・通気性の良い服装着用などの配慮を行う必要がある。

9.2 騒音

エンジン駆動式溶接機、パルスアーク溶接などでは高レベルの騒音を発生するものがあるが、ガス切断、プラズマ切断などでは、さらに大きな騒音が発生する。騒音については、表7および表8に示す許容基準レベルを超えてはならない。また、騒音による障害の防止のため、発生源での騒音抑制を行うことが望ましい。騒音を許容値以下にすることができない場合は、耳栓や耳覆い（イヤマフ）のような個人用保護具を着用する必要がある。

9.3 振動

溶接等に付随する作業の際に使用する機械工具（衝撃工具や回転工具など）によって発生する振動が、人体に伝播することにより多様な症状を生じる。手腕振動については、表9に示す許容基準値以下にしなければならない。また、振動による障害の防止のため、振動工具の適正化・点検整備、操作時間管理・操作方法の適正化、作業環境整備（休憩設備、防寒対応等）、人体に直接伝播しない保護具着用、振動によるばく露時間短縮のための作業計画策定（操作時間の厳守、他の作業との組合せなど）を行う必要がある。

10. 溶接の健康・安全に対する国内外の取り組みの現状

10.1 溶接作業に対するわが国の法規制

戦後の昭和22年に労働基準法が施行され、鉱山業や石炭産業などが最盛期を迎えた昭和35年にはじん肺法が施行された。戦後復興が進み様々な工業が発展するとともに問題となったのが有機溶剤や鉛の中毒で、有機溶剤中毒予防規則（昭和35年）と鉛中毒予防規則（昭和42年）がつくられた。これら3つの規則は、対象の作業を列挙して、それらの作業を規制対象とする作業列挙方式である。逆に列挙されていなければ規制の対象にはならない。昭和40年代には、さらに産業復興が進み様々な化学物質が産業現場に持ち込まれ、作業環境から一般大気まで汚染が進んでしまい、昭和46年に「特定化学物質等障害予防規則」（特化則）が施行された。特化則の制定に当たっては、化学物質による健康障害の予防の面から考えて、規制対象化学物質130種類以上を候補とした。これら多

数の化学物質に関係する作業を列挙するのは事実上不可能であることから、特化則では対象化学物質の空気中の濃度を規制する濃度規制方式を採用し、対象化学物質を47種類に絞った。この作業列挙方式と濃度規制方式という規制方法の違いによって、事業場の側には労働衛生管理がやり難いという声もある。

昭和47年には「労働安全衛生法」（安衛法）、昭和50年には、作業環境測定法（作環法）が公布された。現在、わが国で実施されている「作業環境測定」は安衛法第65条に規定されている。第65条は「有害業務を行う屋内作業場で、政令で定めるものについて、労働省令で定めるところにより必要な作業環境測定を行うこと」と定めている。ここで、「政令で定めるもの（作業場）」とは、「安衛法施行令」第21条によって定めた10種類の作業場をさす。また、「労働省令で定めるところ」とは、粉じん則のことで、その第25条で「作業環境測定を行うべき屋内作業場」が示されている。第25条には、「令第21条第1号の労働省令で定める土石、岩石、鉱物、金属又は炭素の粉じんを著しく発散する屋内作業場は、常時特定粉じん作業が行われる屋内作業場とする。」とあり、昭和54年の改正によって労働省令（粉じん則）で定める屋内作業場は、「常時特定粉じん作業を行う屋内作業場」とされた。

粉じん則の第2条関係の別表一で「粉じん作業」が列挙されており、その第20号に溶接作業が指定されている。別表二には「特定粉じん作業」が列挙されているが、溶接作業はこの「特定粉じん作業」には指定されていないので、作業環境測定や局所排気装置の設置は義務付けられていない。作業列挙方式を採っている粉じん則において溶接作業は、局所排気装置を使うと溶接がうまく行かないので使えない、局所排気装置が使えなければ環境対策はできない、環境対策ができないなら測定しても仕方がない、という論法で、作業環境測定の義務が外されている。しかし、溶接に起因するじん肺は現在も発生しているので、現状を踏まえた対策が望まれている。こうした状況下で、溶接作業環境測定は種々試みられ、それらの結果は学会などで発表されている。また、日本溶接協会の安全衛生・環境委員会でも溶接現場のヒューム濃度やCO濃度などの実態調査を実施している。

10.2 溶接の健康安全に対する国際的な取り組み

国際溶接会議（IIW）の安全衛生委員会（第VIII委員会）では、溶接作業の安全衛生に関する情報をいち早く収集し、問題点を集約・解析して、それらを討議した上で、委員会勧告（警告的ステートメント）を起草し、機関紙 *Welding in the World* に公表している。

最近の討議項目としては、やはりヒュームの性質と健康影響が非常に大きい問題として取り上げられている。金属種としては、マンガン、クロム、コバルト、アルミニウム、亜鉛、モリブデンなどが留意すべき金属として挙げられている。また、ヒュームを超微粒子という観点から研究する必要性が強調されている。ヒュームの発生抑制技術に関しては、ワイヤの改良も進んでいるが、フラックス入りワイヤでは依然として粉じんの発生が高く、難しい問題である。発生ガスに関しては、オゾン、一酸化炭素、窒素酸化物などが対象となっており、ダイオキ

表10 IIW第Ⅰ委員会による警告ステートメント

課題	優先順位	目標期限	プロジェクトリーダー(国)
・癌	1	2001	Dr.W. Zchiesche(D)
・ヒューム中の Al	1	2002	Dr.W. Zchiesche(D)
・ヒューム中の Mn	1	2003	Mr. K. Brown (USA)
・超微粒子	1	2004	Mrs.V.E.Spiegel-Ciobanu(D)
・電磁場曝露	1	2005	Mr.K.Brown (USA)
・人間工学	2	2002	Prof. R.Kadefors (S)
・肺機能	2	2003	Dr.W. Zchiesche(D)
・安全情報シート	2	2005	Mr.S.Hendrick (USA)
・眼障害	3	2003	Dr.G.McMillan (UK)
・ヒューム制御	3	2004	Mrs.V.E.Spiegel-Ciobanu(D)
・騒音	3	2005	Mr.Scmerse (D)
・水中溶接・切断	3	2005	Technical Committee

シン類も指摘されたが大きな問題ではないとされた。ダイオキシン類の発生は、表面に種々の塩素系有機溶剤が付着していたことに因るようだ。

やや高い過剰死亡が認められた溶接工の肺がんの問題では、溶接作業に伴うアスベストばく露とアスベストと喫煙の相乗作用が主な要因とされているが、ヒュームそれ自身の肺がんなどへの有害要因性については、なお、今後も検討すべきとされた。この他、有害光線、電磁場問題、電離放射線問題としてのトリウム電極問題がとりあげられた。トリウム電極は日本ではまだ使用されているようで何らかの対応が必要であろう。

一般環境問題としては、環境に排出された溶接ヒューム、ガスの影響が懸念されている。また、シールドガスとしてCO₂が使用されているが、その使用量は莫大なものになり、一般環境への排出量が無視し得ないレベルになっているとする議論もある。

2000年に実務計画としてまとめた警告ステートメントの課題名、優先順位は、現在の溶接関連の安全衛生問題を知る上でも参考になる。その警告的ステートメントは、次の様である。

2000年以降のIIW 第VIII委員会では、これらを中心にレビューを進め、その結果は順次IIW C-VIII Documentとしてまとめられている。それらはIIWのWebsite：<http://www.iiw-iis.org/>で見ることができる。

11. あとがき

溶接・溶断作業は現代産業社会において基盤技術であり、その技術は今日なお進歩を続けている。その反面、溶接作業者の健康と安全を保持する環境は、本稿で紹介したようになお未解決の問題を残している。主に安全に係る危険有害要因は、技術講習などを通して注意喚起がなされ比較的良く対策されているが、健康に係る危険有害要因は直ぐに結果が表れないこともあり比較的遅れている。デンマークの造船所のように溶接ヒュームの局所排気装置をそこかしこに設えて、作業者のばく露防止対策を徹底している例も見られる²⁰⁾。しかし、それでも欧米では、造船などの若い溶接作業者の減少が著しいことから、溶接作業者の養成とその環境の向上は戦略的資源の確保に必須であるとしてより厳しい対策が始まっている。

わが国でも将来同様な傾向が生じないとも限らない。溶接作業を基盤とする各産業界では、本稿で概観した諸々の有害要因に対して、溶接作業者の健康と安全の確保のために戦略的な対策が望まれる。

参考文献

- (社)日本溶接協会安全衛生環境委員会：溶接安全衛生マニュアル，(2002)，62。
- (社)日本溶接協会：WES 9009-2：2007，6。
- (社)日本溶接協会：WES 9009-2：2007，2。
- 山口他：第50回日本産業衛生学会抄録，1977。
- (社)日本溶接協会安全衛生環境委員会：溶接安全衛生マニュアル，(2002)，86。
- Tsutomu Okuno, Jun Ojima, Hiroyuki Saito (2001) Ultraviolet radiation emitted by CO₂ arc welding, Ann. Occup. Hyg. 45, 597-601.
- 奥野勉，齊藤宏之，北條稔，神山宣彦 (2005) アーク溶接などの作業が発生する紫外放射の有害性の評価，産業医学ジャーナル 28 (6), 65-71.
- Tsutomu Okuno, Jun Ojima, Hiroyuki Saito (2002) Evaluation of blue-light hazards from various light sources, Dev. Ophthalmol. 35, 104-112.
- 奥野勉 (1992) 環境中の紫外放射，光，赤外放射による障害，産業医学レビュー 4, 4, 35-61.
- 日本規格協会 (2003) 遮光保護具 JIS T 8141-2003.
- (社)日本溶接協会，WES9009-4 溶接，熱切断及び関連作業における安全衛生第4部：電撃及び高周波ノイズ解説，2007。
- 労働安全衛生規則，1972。
- (社)日本溶接協会：WES 9009-5:2007 溶接，熱切断及び関連作業における安全衛生第5部：火災及び爆発，(2007)，1。
- (社)日本溶接協会 安全衛生・環境委員会：溶接安全衛生マニュアル，(2002)，161。
- 厚労省安全衛生部安全課：安全管理者の実務，(2004)，207。
- 労働安全衛生規則 (安衛則) [昭和47.9.30 労令第32号]。
- 溶接技術編集部：溶接技術，7 (2005)，78。
- (社)日本溶接協会：WES 9009-5:2007 溶接，熱切断及び関連作業における安全衛生第6部：熱，騒音及び振動，(2007)，1。
- (社)日本溶接協会 安全衛生・環境委員会：溶接安全衛生マニュアル，(2002)，129。
- 労働安全衛生規則 (安衛則) [昭和47.9.30 労令第32号]。
- 溶接技術編集部：溶接技術，7 (2005)，78。
- 神山宣彦 (2003) 労働衛生工学 42号, 77-92。