特集

溶接プロセスの高機能化にむけた新しい展開

総説 シールドガス*

佐藤 豊 幸**

Shielding Gases*

by SATO Toyoyuki**

キーワード シールドガス, アーク溶接, TAG溶接, ハイブリッド溶接, ガス供給, 規格

1. はじめに

1930年代に、ガスシールド溶接法が不活性ガスによってアークをシールドする溶接法として開発されて以来、炭素鋼などのGMA溶接法として実用化が進み、現在あらゆる産業界においてガスシールド溶接法が多用され、現代の製造業において必須の溶接技術となっている。図1¹⁾に国内における溶接材料の種類毎の変遷を示す。1970年代以降、それまで2割以下であったガスシールドワイヤ（ソリッド及びフラックスコアード）の比率が急激に増加し、現時点で約8割程度を占めていることから、現在のこの溶接法の重要性がよく示されている。また、溶接技術全体の変遷から見ると、シールドガスに関わる実用的な技術開発は、ここ最近、約30年程度で著しく変化してきたといえ、今後とも技術開発による進化の可能性が高いことも示唆している。

溶接用語（JIS Z 3001）によると、「シールドガス」とは、「溶接中にアークと溶融金属とを覆い、空気が溶接雰囲気内に侵入することを防ぐために用いるガス」と定義されている。確かに一義的には正しい説明であるが、シールドガスがこの理解の範囲にとどまっているために、しばしば誤解されることがあるのも事実である。単に大気からの遮蔽のみの目的で利用されるのであれば、全てArなど単一のガス種で十分であり、現在のような多種多様な混合ガスは不要である。また、我々が普段遮光面などを通して目にしている“アーク”と思われる部分は、実はプラズマ状態のガスそのものであり、ガスを直接的な媒体として溶接しているわけである。従って、当然ながらガス種によって、そのアーク現象は変化し、溶接品

質やその作業性に多大な影響を及ぼすことになる。

現在、シールドガスとして利用されている種々の混合ガスは徐々に認知されてきていると思われるが、溶接法研究委員会による最近のアンケート結果では、依然としてCO₂溶接が主流であった。しかしながら、混合ガスは一部の業種で、少しずつ拡大している傾向も見られ、かつその種類も少し変化の兆しが表れている。ただし、現時点においても、そのシールドガスの効果やそれぞれの特徴などが理解され、最適な条件で活用している事例はまだそれほど多くないのではないだろうか。実際的には、アーク現象におけるガスの影響について、いまだ定量的に把握されていない部分も多く、多くの場合、実用化に向けた実験による検証や現場での試行錯誤に頼らざるを得ない部分もあるであろう。しかしながら、将来的に最適化されたアーク溶接施工法を考えた場合、やはりシールドガスは欠くべからざる重要な因子であり、今後とも果たす役割は小さくないと考えられる。

本稿では、現時点での国内外のシールドガスの種類やその差異について紹介するとともに、最近の新しいシー

図1 国内の溶接材料生産比率推移

*原稿受付 平成19年12月10日

**正 員 大陽日酸(株) Member, Taiyo Nippon Sanso Corp.

表1 溶接用混合シールドガス種一覧

ガス種		欧州	米国	日本	主な用途
2種	Ar-He	○	○	○	TIG・MIG
	Ar-H ₂	○	○	○	TIG・ブラスマ
	Ar-CO ₂	○	○	○	MIG・MAG
	Ar-O ₂	○	○	○	MIG・MAG
	Ar-N ₂ ※1	○	○	—	TIG・MIG
3種	Ar-He-CO ₂	○	○	○	MIG・MAG
	Ar-He-N ₂ ※	○	—	—	TIG・MIG
	Ar-He-H ₂	○	—	○	TIG・ブラスマ
	Ar-CO ₂ -O ₂	○	○	○	MIG・MAG
	Ar-CO ₂ -H ₂	○	○	○	MIG
	Ar-N ₂ -H ₂ ※	○	—	—	TIG・MIG
4種	Ar-He-CO ₂ -O ₂	○	○	○	MIG・MAG
	Ar-He-CO ₂ -H ₂	○	—	—	MIG
	Ar-He-CO ₂ -N ₂ ※	○	—	—	MIG

※ : N₂を含むシールドガスは、主に2相SUSやNi基金向け

ルドガスの開発動向などから、将来のシールドガスの可能性を考えてみたい。また、シールドガスに関する国内外規格の最新情報についても紹介する。

2. 世界におけるシールドガスの種類

表1に日本と欧米で市販されている主な混合シールドガスの種類を示す。なお、当然ながら混合ガス以外に単体ガスとして、Ar、He、及びCO₂も多数利用されている。

10数年前までは、日本では、欧米ほど多くの種類のシールドガスが流通しておらず、ほとんどCO₂溶接が主体であり、混合ガスといえば、80%Ar-20%CO₂しか認知されていないという状態であった。それが、表1の通り、現時点では、汎用性の高いガス種ではそれほど大きな差異が無いことがわかる。ただし、欧州では、4種混合ガスやN₂を含む特殊なガスもある程度実績があり、これまでの混合シールドガスの歴史が大きく影響している他、2相ステンレス鋼やNi系材料の普及といった事情も伺える。

3. シールドガスとして利用されるガスの種類

表1において使用されているガスの種類を見るとわかるように、現時点においては、Arをはじめとして、CO₂やO₂など、日常ごく汎用的なガス種のみが利用され、H₂を除けば、爆発などの危険性の高いガスや毒性の強い特殊なガスは含まれていない。これは、シールドガスが工場などにおいて人間が直接取り扱う対象物であるため、安全第一で選択されていることと、各種構造物の汎用的な製造技術として、ガスコストが重視されていることによる。将来的には、完全密閉空間での無人自動溶接や、付加価値の極めて高い製品に関わる溶接などにおいては、従来にない特殊なガスの活用なども、可能性があると考えている。

シールドガスは、適用する溶接法及び材料ごとに構成

表2 アーク溶接に主に利用されるシールドガス種の物理的性質

	Ar	CO ₂	O ₂	He	H ₂
分子量	39.95	44.01	32.00	4.00	2.02
密度 kg/m ³ (0℃,1atm)	1.783	1.977	1.429	0.1786	0.0899
熱伝導率×10 ⁻⁶ cal/cm・g℃ (0℃,1atm)	38.4	35.2 55.8(CO)	58	341.6	415.5
イオン化ポテンシャル eV	15.76	13.77 14.1(CO)	12.07	24.59	15.43
解離熱 eV	—	5.5 10.0(CO)	5.1	—	4.4

するガス種そのものが大きく変わり、また、その使用目的・ニーズなどによって、その具体的な組成が定まってくる。一般的にはGMA溶接などの溶極式であるか、GTA溶接などの非溶極式であるか、及び材料が鉄系であるか非鉄系であるかによって、シールドガス中の酸化性ガスの要否が定まる。次に溶込みやその他の溶接品質などの総合的な要求に応じて、溶滴移行や入熱などを考慮し、各組成が定まるのである。

ここで、GMA溶接における溶滴移行を支配する力は、次の4種類であると言われている。すなわち、高い電流密度に起因する電磁気力によるピンチ力、またそのピンチ力によって生ずるプラズマ気流による引きずり力、ワイヤ先端の熔融金属部分の表面張力、そして重力の4つである。このうち、シールドガスは、重力以外の3つの因子に作用するため、溶滴移行はガスの影響を大きく受けるのである。

表2に、ガスシールドアーク溶接に主に利用されている各ガスの物性の一覧を示すが、これらのガス固有な普遍的な性質が、アークの形状や温度分布に影響し、結果的に上述の溶滴移行に定量的な影響を及ぼすのである。

図2 ステンレス鋼 TIG 溶接における溶込み形状に及ぼすシールドガスの影響

図3 亜鉛めっき鋼板のハイブリッド (YAG+MAG) 重ねすみ肉溶接における

4. 最近のシールドガスの開発事例及び将来への展開

欧米で最初にガスシールドアーク溶接法が進化し、そのシールドガス種の開発も欧米主導で進んできたため、数年前までは、ほとんどのガス種は、欧米での実績を元に日本でも紹介されて利用が広まってきたともいえる。しかしながら、最近日本においてもその独自の市場性・技術背景などから、従来にない日本オリジナルのシールドガスも発表されており、以下にその事例を2つ紹介する。

(1) 表面張力対流制御による超深溶込み TIG 溶接用シールドガス

図2にステンレス鋼のTIG溶接の「溶込み」を改善することを目的として開発されたシールドガスの例を示す。二重シールドトーチを用いて電極を保護しながら溶融池に酸化性ガスを供給し、表面張力対流の向きを内向きに変えることによって著しい深溶込みが得られている。このシールドガスの効果は、従来のTIG溶接の概念を覆し、“不活性ガスによる溶融金属部の保護”を完全に変えてしまっている。この意味で、TIG (Tungsten Inert Gas Arc Welding) ではなく、TAG (Tungsten Active Gas Arc Welding) という新しい分類の溶接法であるといっても過言ではない。しかも、これまでのTIGの欠点である低エネルギー性を飛躍的に改善していることから、今後、他の溶接法の代替としてこの溶接法の普及が注目される。

“シールドガス”という認識を大きく変えることが出来た好事例であろう。

(2) 亜鉛めっき鋼板ハイブリッド溶接 (YAG+MAG) 用シールドガス

図3に亜鉛めっき鋼板のハイブリッド溶接において問題となる「ピット・ブローホール」を改善することを目的として開発されたシールドガスの例を示す。亜鉛めっきの蒸気圧と溶融池の表面張力を制御することにより、ピット・ブローホールの発生を抑制している。

レーザー溶接は、いまだ現場への普及がそれほど広がっておらず、集中熱源としてのレーザーの特長も十分に生かされているとはいえない状況である。また亜鉛めっき鋼板の利用は今後とも自動車を中心として継続される可能性が高いが、この材料の溶接性についても、全て解決されたとはいえない。従って、このシールドガスの効果は、自動車に多用される亜鉛めっき鋼板の溶接能力を大幅に改善する可能性があり、レーザーとMAGとのハイブリッド溶接の利用が拡大する可能性も示唆している。

5. 最近のシールドガス供給技術

製造現場においてシールドガスの各種効用を最大限に活かすためには、ガスの供給管理も忘れてはならないポイントである。何らかの理由でシールドガスの純度や混合精度に問題が生じている場合は、期待するシールドガスの性能が発揮できないばかりか、溶接品質の著しい劣化も引き起こす可能性がある。最終的に溶接部で消費されるシールドガスは、トーチ先端から流出するガスであるが、工場における供給元で如何に狙い通りの組成のガスを発生させて、かつ途中の配管系およびガスホースを

經由しても如何に汚染されずに溶接部へ供給されるかがポイントとなる。

供給元で混合ガスを製造する混合装置については、なんといってもその混合精度の維持管理性能が重要であり、年間を通して、温度・圧力などの変動要因の影響を受けないような機種を選定する必要がある。近年、溶接シールドガス専用の高性能混合装置（図4参照）も提案されており、最適なシールドガス種とともに適切な混合器の選択も同時に検討すべきである。また、自動溶接時などのシールドガス濃度安定性への配慮から、最近、混合ガス濃度監視機能を附属するなどの要求も高まっている。

次に、ガスを供給する樹脂製のガスホースについてもその材質により、大気成分の透過に対して大きな差異がある（表3参照）。一般的なゴムホースはその特性により、他と比較して水分を著しく透過し易いため、チタンやアルミニウムなど活性な材料の溶接やTIG溶接時の電極の

表3 各種樹脂におけるガスの透過係数

単位：[cm³・cm・cm⁻²・s⁻¹・cmHg⁻¹]

材質	酸素 (×10 ⁻¹⁰)	水分 (×10 ⁻¹⁰)
ポリイソブレン（天然ゴム）	23.3	2290
ポリ塩化ビニル（PVC）	0.045	275
ポリエチレン（LDPE）	2.2	68
ポリプロピレン（PP）	1.2	35
ポリテトラフルオロエチレン（テフロン）	4.2	4.8

図4 溶接シールドガス専用の高性能なガス混合装置の例

図5 ガスホース材質による水分放出特性の比較

消耗などに悪影響を及ぼすことが知られている。図5に具体的なガスパージによる水分放出特性の比較結果を示すが、高品質な溶接専用ホースを用いることにより、実用上は工場での利用が難しいとされるテフロンと同等の性能が得られていることがわかる。

6. シールドガスに関する規格の動向

以前、国内には、溶接シールドガスに関するまとまった規格が存在せず、ガス単体のJIS規格（例えば、JIS K 1105 アルゴン、JIS Z 1106 液化炭酸ガスなど）や、日本溶接協会規格に一部のガス種についての規格（例えば、WES5402 アーク溶接用炭酸ガス、WES5401 アーク溶接用アルゴン-炭酸ガス混合ガス）が規定されているのみであった。一方、海外には、ISO14175 “Shielding Gases for Arc Welding and Cutting” や、AWS A5.32 “Specification for Welding Shielding Gases” が規定され、全てのシールドガスが包括的に規定されていた。そこで、日本においても、ISO14175 と整合化したJIS規格（JIS Z 3253 アーク溶接及びプラズマ切断用シールドガス）を2003年に制定し、それに伴い、現在、上記2種類のWES規格は廃版となっている。この新JIS規格には、それぞれのガスの性質に応じた分類があり、それぞれ、R（還元性）、I（不活性）、M（酸化性）、C（強酸化性）、F（無反応性）として規定され、全てのガスシールドアーク溶接

表4 JIS Z3253 におけるシールドガスの種類（概要）

種類		組成 (vol.%)						
グループ	番号	CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂	
R	1, 2	—	—	残部	—	～35	—	
I	1	—	—	100	—	—	—	
	2	—	—	—	100	—	—	
	3	—	—	残部	～95	—	—	
M1	1～4	0～5	0～3	残部	—	～5	—	
M2	1～4	0～25	0～10	残部	—	—	—	
M3	1～3	0～50	0～15	残部	—	—	—	
C	1, 2	残部	0～30	—	—	—	—	
F	1, 2	—	—	残部	—	0～50	残部	

表5 混合ガス濃度の許容差（単位：vol.%）

混合ガス濃度	許容差
5未満	±0.5
5以上50以下	±（濃度×0.10）

表6 シールドガスの純度及び水分の比較

種類 (グループ)	純度 (vol.%)		水分 (vol.ppm)	
	JIS	ISO	JIS	ISO
R	99.99 以上	99.95 以上	30 以下	40 以下
I	99.99 以上	99.99 以上	10 以下	40 以下
M1	99.90 以上	99.70 以上	30 以下	40 以下
M2	99.80 以上	99.70 以上	60 以下	80 以下
M3	99.60 以上	99.70 以上	110 以下	120 以下
C	99.50 以上	99.70 以上	150 以下	200 以下
F	99.99 以上	99.50 以上	30 以下	40 以下

法に用いられる多種多様なガス種が、包含されている(表4参照)。

また、参考までに表5に本規格に規定されている「混合ガス濃度の許容差」を示し、表6には「シールドガスの純度と水分」についてのJISとISOの比較を示す。濃度の許容差は、JISとISOとは全く同一であるが、純度と水分の規定においては、ほとんど全ての種類のシールドガスにおいて、JIS規格値がISOの数値より厳しい値となっており、より高品質なガスを規定していることがわかる。

最近、ISO14175の内容が大幅な見直しが行われており、1年以内に改訂版が公布される見通しである。日本としても、日本溶接協会内にワーキンググループをつくり、このISO見直しに積極的に参画して、規格内容の変更に對して日本の意見を反映すべく対応した。結果的に、シールドガスの適用範囲が拡大する予定であり、レーザ溶接・レーザ切断におけるアシストガスなども対象として含まれ、新たに純酸素も規格内に加えられることとなる。そして、ISO改訂版の公布に合わせて、近くJIS規格の大幅見直しも検討されている。

7. おわりに

今後の日本の“ものづくり”においては、国内消費の伸びがそれほど期待できないことに加えて、海外においても特にアジアなどの諸外国との競争がより一段と加速することが予測され、溶接をはじめとする生産技術の高効率化は製造業にとって最大の課題になると考えられる。溶接施工を限りなく効率化させるためには、極めて高度なプロセス制御や、全く新しい概念の溶接プロセスの導入が必要であると考えられる。そのためにはシールドガスからのアプローチも必須の検討項目であると思われる。将来的に開発されるであろう新しい溶接プロセスにおけるシールドガスの最適化もさることながら、今後、シールドガス側からの新しい視点による新溶接プロセスの開発が重要な意味を持つのではないだろうか。

溶接における“シールドガス”の果たすべき役割を再度見つめなおし、プロセス開発の新たな可能性を探っていきいたいと考えている。

参考文献

- 1) 別冊溶接ニュース，溶接関連資料集（2006），産報出版。