

特集：溶接用シールドガス

シールドガスの種類、製造方法、規格体系及び取扱い上の注意点

大陽日酸株式会社
佐々木 智章

1. シールドガスの使用目的

図1に示すとおり、シールドガスはアークや熔融金属を大気から保護するために使用される。例えば窒素が混入するとブローホールが発生し、過剰な酸素が混入すると機械的性質が劣化するからである。窒素が何故ブローホールの原因となるかを考える際重要なのは、溶解度の温度依存性である。図2¹⁾に示すように、窒素は温度依存性が大きく、高温と低温での溶解度の差が大きいため、高温領域の熔融金属で多量に溶解するが、温度低下に伴う凝固によって多くが固溶できなくなり、ブローホールとして析出する。

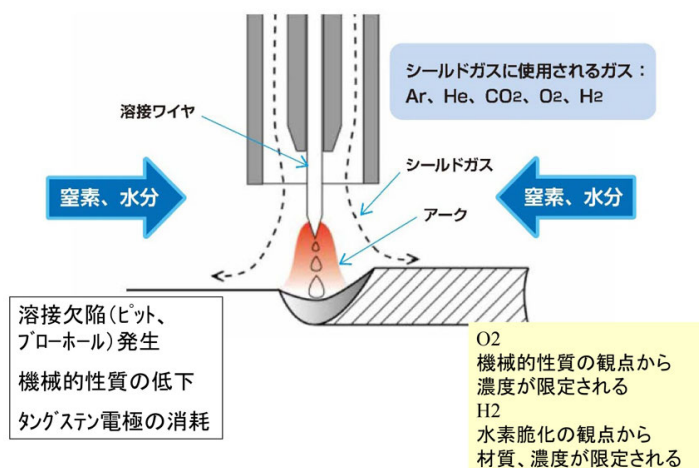


図1 シールドガスのはたらき—大気からの保護—

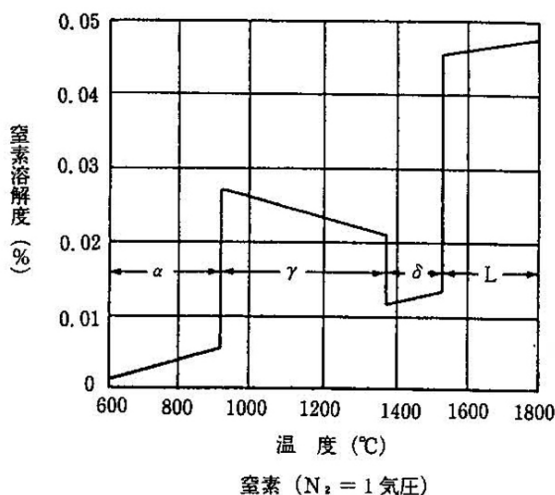
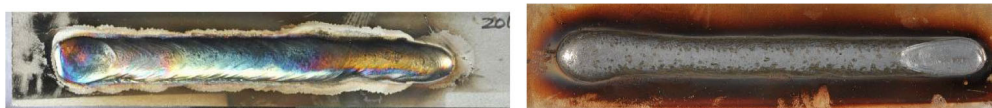


図2 鉄への窒素溶解度¹⁾

しかしながら、実際のアーク溶接プロセスにおいては、シールドガスは他にももっと異なった重要な役割を果たす。図3はステンレス鋼を純アルゴン(Ar)で溶接した場合と、Ar-2%酸素(O₂、以降全て容量%を意味する)で溶接した場合を比較して示したものである。いずれも消耗電極式のGMAWの結果である。純Arを用いた場合、母材上の陰極点が固定されずアークがふらついてしまうため、ビードの止端の不揃いな溶接ビードとなってしまう。シールドガスに一定の酸化性ガスを添加することで、陰極点が固定され、安定した溶接が可能となる。



(a) 純 Ar

(b) Ar-2%O₂

図3 ステンレス鋼の消耗電極式アーク溶接ビード

また、Ar-炭酸(CO₂)混合ガスシールドの場合には、シールドガス中のCO₂濃度の減少は、溶け込み不足やブローホール増大という危険を含んでいる。CO₂濃度の最適値は一定ではなく、板厚等の溶接条件により変化する。条件毎に濃度を最適化する必要があると考える。適切な溶接プロセス制御にシールドガスは、溶接機、溶接ワイヤと並んで必要不可欠な因子といえる。

2. シールドガスの種類およびその製造方法

産業ガス全体の売上規模から見ると、その内の大半を「酸素(O₂)」「窒素(N₂)」「アルゴン(Ar)」の3大ガスが占める。この3大ガスは大気中に含まれており、O₂ 20.9%、N₂ 78%、Ar 0.9%、その他(CO₂、ネオン(Ne)、ヘリウム(He)、クリプトン(Kr)、キセノン(Xe))が主な成分となる。これを、図4に示すように、空気液化分離装置と呼ばれるガス製造プラントで、空気を圧縮、冷却液化し、蒸留することによって、分離・製造する。つまり原料は空気であり、原材料は「タダ」となる。原料費がいくらタダといっても、製造コストには膨大な電気代がかかり、およそ半分以上は電気代が占める。よって省エネプラントの技術開発は、大きなポイントでもある。溶接で使用されるシールドガスは、毒ガス発生特性、経済性を考慮して、上述したAr、O₂、N₂の他に、CO₂、He、H₂の6種類から構成されており、それらを単体もしくは3種類まで混合させて、シールドガスとして使用している。

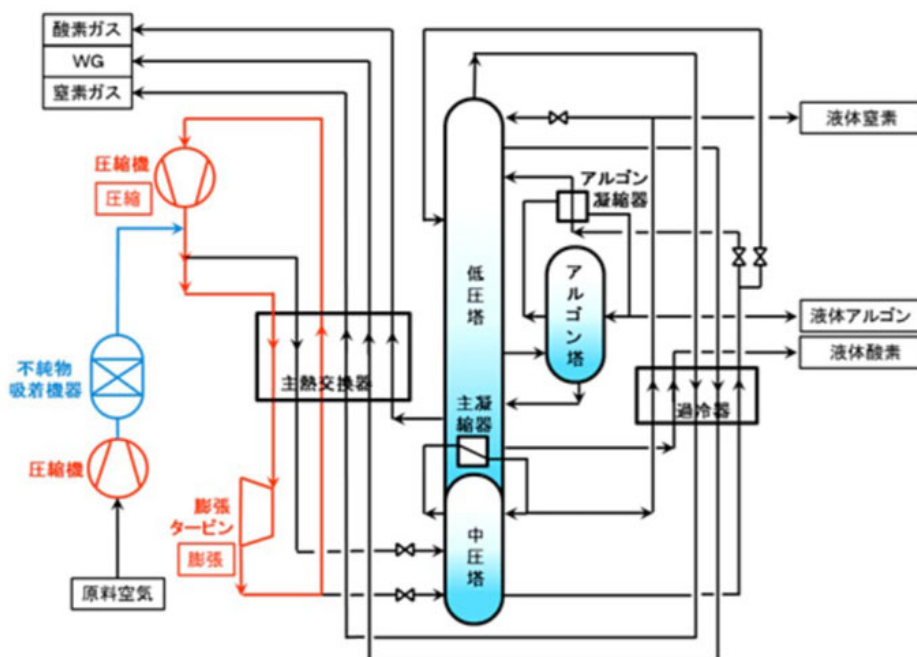


図4 空気分離装置のフローチャート

Ar とはギリシア語で「怠け者」を意味し、その名の通り高温、高圧でも他の元素と化合しない、化学的にきわめて不活性な性質を持っている。無色・無味・無臭のガスで、工業的には上述したとおり、空気を冷却することにより酸素、窒素などとともに分離・精製して製造されるが、空気中におよそ約 0.93%しか含まれていないため、酸素、窒素に比べ高価なガスとなる。不活性ガスであるため、全ての材料の溶接に適用でき、混合ガスとして使用される場合は、全てのガスのベースガスとなっている。

CO₂は無色・無臭、不燃性のガスで、大気中に約 0.03%程度存在している。自然界では、動物と植物の間を相互の呼吸作用を通じて循環しており、特に植物の成長には欠かせない。CO₂は空気の約 1.5 倍の重量があり、水によく溶けて炭酸水になり他の物質とよく反応するが、乾いた状態では他の物質とほとんど反応しない不活性なガスである。石油精製や石油化学プラントなどで発生する CO₂を回収し、精製・加工して液化 CO₂/ドライアイス製造している。ガスシールドアーク溶接においては、炭素鋼のマグ溶接で使用される他、フラックス入りワイヤとの組み合わせによりステンレス鋼等にも使用されている。

O₂は無色・無味・無臭のガスで、空気の約 21%（容積比）を占めている。呼吸により生物の生命維持に不可欠な役割を果たしている。また、化学的にはきわめて活性が高く、他のものを酸化する（つまり、燃やす）力が強く、多くの元素と化合する。そのため、Ar に添加する形で混合ガスとして使用する必要があり、添加濃度を大きくしすぎると、溶接金属の機械的性質低下やスラグ発生量の増大を招くため注意が必要である。工業的には、空気を冷却することにより窒素、Ar などとともに分離・精製して製造される。

Heは無色・無臭・不燃性のガスで、大気中に約 5.2ppm 存在している。化学的にはまったく不活性で、通常の状態では他の元素や化合物と結合しない。そこで、全ての材料の溶接ガスとして適用できる。ただし、ガス密度が低いシールド性能が低く、イオン化ポテンシャルが高いことでアークの発生が不安定になりやすいため、Ar との混合ガスとして用いられることが多い。理論的には空気から分離抽出できるが、含有量があまりに希薄なため、工業的には天然ガス中に約 0.5%前後含まれるヘリウムを分離・精製する方法が採用されている。

N₂は無色・無味・無臭のガスで、空気の約 78%（容積比）を占めているほか、たんぱく質やアンモニアなどの窒素化合物として、自然界にたくさん存在している。常温では化学的に不活性で、他の物と化合することはない。工業的には、空気を冷却することにより酸素、Ar などとともに分離・精製して製造される。前述したとおりブローホールの原因となりやすいのでシールドガスとして使われるケースは少ないが、オーステナイト組織を形成させる作用があるため、2相ステンレス鋼における相バランスをコントロールするガスとして用いられることがある。

H₂は無色・無味・無臭、可燃性のガスで、比重 0.07（空気=1）と地球上の元素の中では最も軽い気体である。また、熱伝導が非常に大きく、粘性が小さく、金属などの物質中でも急速に拡散する。還元性の強い雰囲気ガスである。溶接ガスとして使用する場合は水素ぜい性とブローホール発生に注意する必要があり、適用される材質はこれらの問題が起こりにくいオーステナイト系ステンレス鋼またはニッケル合金に限定される。Ar に添加した混合ガスとして使用されているが、水素ぜい性と安全性の観点から添加濃度は制限される。

3. シールドガスの規格体系

ガスシールドアーク溶接は、まず消耗電極式と非消耗電極式に大別される。そして、消耗電極式の場合にはシールドガスの種類によってミグ（Metal Inert Gas）溶接とマグ（Metal Active Gas）溶接とに分けられる。ミグ溶接は Ar、He（または、これらの混合ガス）のような不活性ガスをシールドガ

スとして用いる方法である。一方、マグ溶接はシールドガスとして CO₂ を用いるものと、Ar と CO₂、O₂ などの活性ガスを含む混合ガスを用いるものに大別される。Ar と CO₂ の混合ガスの混合比は、80:20 の場合が多くなっている。CO₂100%を用いる場合は、炭酸ガス(CO₂)アーク溶接と呼ぶことが多い。

一方、非消耗電極式のガスシールドアーク溶接としては、ティグ (Tungsten Inert Gas) 溶接があり、Ar 雰囲気中でタングステン電極と母材との間にアークを発生させ、そのアーク熱によって溶加材および母材を溶融して溶接する方法である。ティグ溶接では、その名の通り不活性ガスがシールドガスとして用いられる。

ガスシールドアーク溶接に用いられるシールドガス種は JIS 規格「JIS Z 3253 : 2011 溶接及び熱切断用シールドガス」にその組成範囲などが分類・規定されている。表 1 にその概要を示すが、用途に応じて多種多様な混合ガスが使用されている。JIS Z 3253 には、各種シールドガス種毎に求められる品質レベルとその評価方法も示されているが、要求される項目としては、“シールドガスの純度および水分”と“混合ガス濃度の許容差”の 2 項目となる。それらを表 2 と表 3 に示す。表 2 において、不活性ガスだけのシールドガス種 (大分類 I) および、不活性ガスと水素の混合ガス (大分類 R) において、他のガス種よりも厳しい純度が規定されているが、主な溶接用途がティグ・ミグ溶接であり、非鉄金属への適用など比較的高品質な溶接品質が求められることが大きな要因である。

表 1 JIS Z 3253 : 2011 [アーク溶接及び熱切断用シールドガス]

種類	ガス組成	濃度範囲	反応挙動	主な用途
R	Ar-H ₂		還元性	TIG、プラズマなど
I	Ar-He		不活性	MIG、TIG、プラズマなど
M1	Ar-CO ₂ -O ₂	CO ₂ 5%以下 O ₂ 3%以下	弱酸化性	MAG
M2	Ar-CO ₂ -O ₂	CO ₂ 25%以下 O ₂ 10%以下	強酸化性	MAG
M3	Ar-CO ₂ -O ₂	CO ₂ 50%以下 O ₂ 15%以下	強酸化性	MAG
C	CO ₂ -O ₂		強酸化性	MAG
N	N ₂ -H ₂		低反応性 還元性	プラズマ切断、バックシールド

表 2 シールドガスに求められる純度

種類	純度 (vol.%)	水分 (vol.ppm)
R	99.95以上	40以下
I	99.99以上	40以下
M1	99.90以上	40以下
M2	99.90以上	80以下
M3	99.90以上	120以下
C	99.80以上	120以下
N	99.90以上	40以下

表 3 混合ガス濃度の許容差

単位 : vol.%

混合ガス濃度	許容差
1以上5以下	±0.5
5を超え50以下	± (濃度×0.10)

4. シールドガスの供給方法

シールドガスは、前述したとおり多種多様なガス種があるが、混合ガスの場合、基本的な供給方法は図 5 に示されるような高圧ガス容器（シリンダー、通称ボンベ）か、溶接する工場内などで専用のガス混合装置（例えば図 6）によって現地で混合して製造・使用されるかのいずれかになる。混合ガスのシリンダーはプレミックスボンベとも呼ばれ、専用の高圧ガス製造工場では各ガス種が容器内に充填され、その後、容器内の混合ガス濃度が均一化されるなどの工程を経た後、各種の検査が行われて出荷される。一般的なシリンダー容器としては内容積が 47L で、圧力を約 15MPa にて圧縮し、35℃ の状態でおよそ 7m³ のガス量充填するものが最も多く流通している。また、Ar や He のような単一ガス種も同様にシリンダー容器で供給されることも多く、この場合、混合ガス濃度の安定化工程や混合精度の試験などは省略されるが、それ以外は同様の仕様で製造・出荷される。ただし、CO₂ 単体をシリンダーで供給する場合、CO₂ は圧縮すると常温でも容易に液化する性質があるため、通常、液化ガスの状態で CO₂ 専用のシリンダーで供給される。専用のシリンダーは標準的には約 30 kg 充填され、気体にした状態では 35℃ で約 17m³ 程度になる。



図 5 高圧ガス容器（シリンダ）

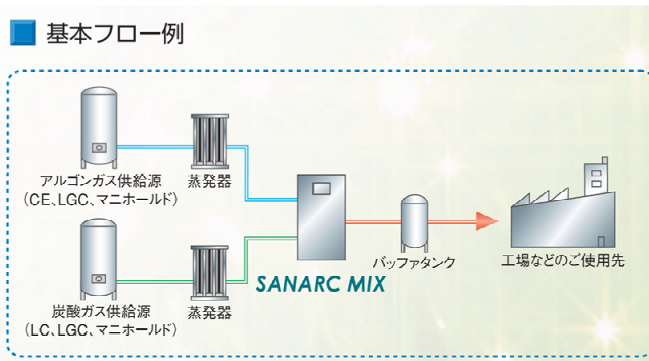


図 6 溶接ガス混合装置

なお、シリンダーの塗色は高圧ガス保安法によってガス毎に規定されており、シリンダー容器の表面積の半分以上を指定色にするように定められている。シールドガス用の各種混合ガスは、Ar や He などと同様に「ねずみ色」、液化 CO₂ は「緑色」となっている。また、N₂ は「ねずみ色」、O₂ は「黒色」、H₂ は「赤色」、そしてアセチレン(C₂H₂)は「かつ色」となっているため、シリンダー容器の色

だけである程度ガス種の識別が可能である。

一方、混合ガスをプレミックスでなく溶接工場内で混合装置によって製造・使用する場合は、工場において比較的大量の混合ガスを使用することが多く、結果的に混合する前の原料ガスを各工場で大
量、かつ、効率的に貯蔵・供給することが求められる。この場合、Ar や CO₂ などの各原料ガスを超
低温液化ガス状態（Ar で-189℃以下）で貯蔵することが一般的で、**図 7** に示すような専用の超低温
液化ガス貯槽（CE : Cold Evaporator）や、**図 8** に示すような可搬式超低温容器（LGC: Liquid Gas
Container）を工場に設置し、CE の場合は個別のタンクローリー（**図 9**）でそれぞれ輸送・供給する
（LGC については工場で充填）。



図 7 CE（タンク）



**図 8 LGC
（エルフ/可搬式容器）**



図 9 タンクローリー

ここで、シールドガスをプレミックスシリンダーとして利用する場合と、工場内で原料ガスを混合
して製造する場合で、それぞれの長所・短所などについて説明する。まずプレミックスシリンダーは、
その製造工場の品質管理の下、一定レベルの品質が保証されるため品質面で安心して利用することが
可能となる。また、工場内を溶接機などと一緒に移動させることも可能であり、フレキシブルに利用
できるというメリットがある。

しかしながらシリンダー容器は 7m³ 程度のガス量であるため、連続的にガスを使用する場合、シ
リンダーの交換頻度が多くなり、長時間使用における安定供給の観点ではややリスクが生じる。また、
大量に使用する場合、現地での混合ガス製造に比べて余分な充填製造コストやシリンダー配送コスト
が発生し、ランニングコスト面でデメリットとなる。

一方、工場内で混合・製造する場合、上記と逆に大量使用時のコストメリットが大きく、安定供給
も可能となる。

しかしながら、この場合懸念されるのは混合精度とその長期的維持管理の課題である。設備導入時
に混合装置を含む工場内へのガス供給の全体システムを詳細に検討する必要がある。特に混合装置の
選定は重要であり、ガス流量の制御方法や混合メカニズム、そして結果として得られる混合精度、さ
らには耐久性やメンテナンス性なども考慮する必要がある。最近ではガス濃度その他の常時モニタリ
ングなども実用化され始めており、ガス供給システムとしての完成度も高くなっている。

ガス使用量に応じた供給方法選択の目安を**図 10** に示す。また長い距離をガスホースで供給する場
合、通常のゴムホースを使用すると、ホース内でガスが汚染し、**図 11** に示されるとおりシールドガ
スの露点が悪化する。このような場合は、溶接専用の高性能ホース（例えば**図 11**）の使用を推奨する。

図 11 は各ホース長さにおいて、ホース出口におけるガスの露点の測定結果を示したものである。

黒線が一般のゴムホースで、赤線が高性能ホース（サンアーク スーパードライチューブ）の結果である。ゴムは水分の透過が大きく、大気中の水分が透過してシールドガスの露点が悪化したものと考えられる。

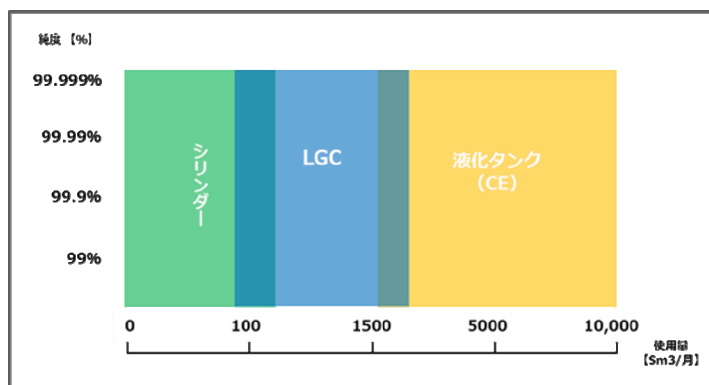


図10 月間アルゴン使用量 (Sm³/月) に応じた供給方法

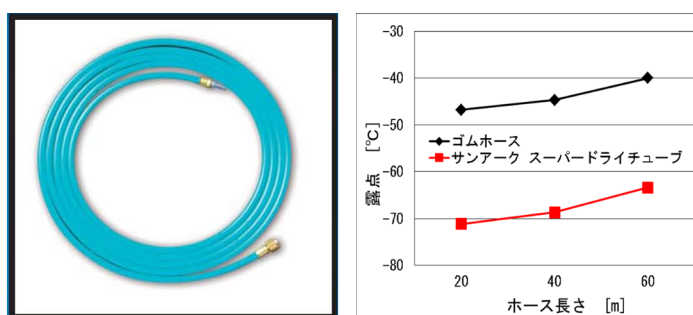


図11 各種ホースの水分放出特性

5. シールドガス取扱い上の注意点

シールドガスの純度および混合精度が適切に維持されていても、使用方法に問題があると、溶接欠陥が発生する。注意点をまとめたものが、表4と表5になる。まずはガス流量であるが、ティグ溶接で5~15L/min.程度、マグ溶接では10~30 L/min.程度が一般的な値となる。実験室内のような優れた環境下ではそれほど多くのガス流量を必要としないが、工場内の溶接では風等のシールド性を劣化させる要因を考慮して、ガス流量設定に余裕代を見込む必要がある。ただし、ガス流量を増加させれば良いというものでなく、過大になるとガス流速が増大し、大気の巻き込みが発生するため、注意が必要である。つまりノズルの内径もガス流量を決定するための重要な因子であり、ノズル径が大きくなるほど、ガス流量を増大させる必要がある。これらをまとめたものが、表6と表7である。電流の増大とともに、ノズル径が大きくなるのは、電流の増大とともに熔融池の大きさが大きくなり、シールドしなければならない領域が拡大するためである。

表4 シールド性悪化の要因

因子	原因
ガス流量	<ul style="list-style-type: none"> 流量過少:シールド効果の不足 流量過多:大気の巻き込み
風	<ul style="list-style-type: none"> 風速2m/s以上において防風処置なし 局部的に風が当たっている
スパッタ	<ul style="list-style-type: none"> ノズル内部の付着スパッタによるシールド性の低下
ノズル	<ul style="list-style-type: none"> オリフィスの破損や欠品、短いノズルの採用によるシールド性の低下
ガス供給系	<ul style="list-style-type: none"> ガスリークやゴムホース劣化による大気や水分の混入

表5 適正なシールドを保つ方法

因子	対策
ガス流量	<ul style="list-style-type: none"> 目安は15~25L/min程度 ノズル径に合わせた流量設定
風	<ul style="list-style-type: none"> 風速2m/s以下での溶接作業 つい立等の防風処置
スパッタ	<ul style="list-style-type: none"> ノズル内部のスパッタ除去の実施 スパッタ発生量の低減策の実施
ノズル	<ul style="list-style-type: none"> 破損のないオリフィスの装着 適正な長さのノズル採用により、ノズル先端から母材までの距離を適正に保つ
ガス供給系	<ul style="list-style-type: none"> 継手、ホース、トーチ等のリークチェック 劣化したホース、トーチの交換 撥水性に優れたホースの使用

風はシールドガスの流れを乱す要因となるため、注意が必要である。夏場のエアコンの風についても要注意である。溶接個所が、風の当たる場所となる場合は、ついでに等の防風壁を設置しなければならない。また、マグ溶接においてスパッタを完全に無くすることは出来ないが、ノズル内部にスパッタが付着すると、それによりシールドガスの流れに乱れが発生する。そのため、定期的にノズル内部を清掃し、スパッタを除去する必要がある。さらに、ノズル先端から母材までの距離も、シールド性能に重要な影響を及ぼす因子であるが、その目安を表 6 にあわせて示す。最後にガス供給系に異常が無いかを確認する必要があるが、そのチェック項目を表 8 にまとめて記す。

表 6 溶接電流・突き出し長さ と ガス 流量 の 関 係 (MAG 溶 接)

溶接電流 [A]	トーチ内径 [mm]	ガス流量 [L/min.]	ワイヤ径 [mm]	突き出し長さ [mm]
130前後	14	15	0.8~0.9	12~16
200前後	17	18	1.0~1.2	14~18
250前後	20	21	1.2~1.6	16~20

表 7 溶接電流値 と ノズル径 及 び ガス 流量 と の 関 係 (TIG 溶 接)

電流[A]	ノズル径[mm]	ガス流量[L/min.]
10~100	4~9.5	4~5
101~150	4~9.5	4~7
151~200	6~13	6~8
201~300	8~13	8~9
301~500	13~16	9~12

表 8 ガス供給系チェック項目

ボンベ	ボンベの残圧力が0.5MPa以上である
圧力調整器	減圧弁が凍結していない
	減圧弁の圧力計のフルスケールが大きすぎない 流量計の設定圧力と実際の配管圧力が一致している
ホース	ガスホースが長すぎないか？流量計が2個直列に設置されていないか？
	電磁弁の動作不良がない
	ガスホースなどのガス通路に油分の付着がない ガスホースに穴が無く、接続部にゆるみがない
トーチ	チップがノズル内で芯ずれしていない
	トーチ部に水分が結露していない
その他	十分にパージされている

なお、シールドガス流量の設定・計測にはフロート式流量計といわれるガラス管内の浮き子を目盛りに合わせてる方式の流量計が汎用的に使用されている。この流量計では、ガス種、一次側圧力、およ

び使用温度が規定されている。実使用と合致する流量計を選定する必要があるが、特にガス種、一次側圧力が異なる場合は、大きく実流量と異なってしまうため、注意が必要となる。

しかしながら、シールドガスに混合ガスを使用する場合など専用の流量計が入手できない場合もある。この場合、フロート式流量計においては次の計算式によって実際に流す混合ガス種のガス密度がわかれば概算することが可能となる。

$$Q_1^2 = Q_0^2 \times \delta_0 / \delta_1$$

ここで、 Q_1 ：実ガス流量 (L/min.)、 Q_0 ：流量計の計測値 (L/min.)、 δ_1 ：実ガスの密度 (kg/m^3)、 δ_0 ：流量計で規定されたガス種の密度 (kg/m^3)

6. まとめ

以上記載したとおり、シールドガスとして使用される各種産業ガスは、厳密な管理下で製造されているが、適正な条件で使用されないと溶接欠陥の原因となる。本稿では使用上の注意点をいくつか記したが、少しでもご参考になれば幸いである。

一方、実際のアーク溶接において、シールドガスはもっと重要な役割を果たしている。シールドガスはアーク現象や冶金現象に大きく影響し、シールドガスの種類によってスパッタ発生量の作業性や溶け込み等の溶接品質が大きく変わる。

溶接品質向上や生産効率改善に向けて、シールドガスの最適化は必要不可欠と考える。

参考文献

- 1) 大江次男 溶接部に発生する欠陥とその対策. 配管技術、1993、35 (9)、p86-93

<略歴>

佐々木 智章 (ささき ともあき)

1988年 大阪大学 大学院 工学研究科 溶接工学専攻 前期課程修了

1988年 日本酸素株式会社 入社 機械本部 配属

2020年 大陽日酸株式会社 加工技術部 専門部長

現在に至る