

特集：溶接材料の基本と進歩

## ガスシールドアーク溶接用ソリッドワイヤの基礎

一般社団法人 日本溶接協会  
技術アドバイザー 山口 忠政

### 1. ガスシールドアーク溶接用ソリッドワイヤとは

#### 1.1 ソリッドワイヤ

ソリッド (Solid) とは、“固体” あるいは“中身が詰まっている”、“中空でない” という意味であり、ソリッドワイヤ (Solid Wire) は中身の詰まった中空でないワイヤを意味し、中実ワイヤとも呼ばれている。本稿ではガスシールドアーク溶接に使用されるソリッドワイヤに関し、製造法、使用上の留意点、JIS 規格変遷、要求される品質などについて紹介する。

ガスシールドアーク溶接材料には、図 1 にその断面を示すソリッドワイヤ (線径 0.8~1.6mm φ) と FCW (Flux Cored Wire : フラックス入りワイヤ、線径 1.2~1.6mm φ) がある。FCW は中空状の鋼中央部にフラックスを包含したパイプ構造であるのに対し、ソリッドワイヤの断面は 100%鋼の中実構造であり、一般的には外面に銅めっきが施されている。

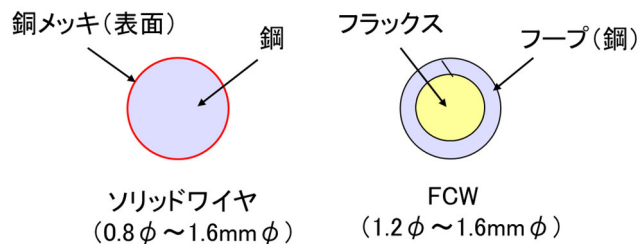


図 1 ガスシールドアーク溶接に使用されるソリッドワイヤ、FCW の断面

一般社団法人日本溶接材料工業会の調査データによる、2022 暦年の輸入溶接材料を含まない国内向け溶接材料出荷量を図 2<sup>1)</sup> に示す。ソリッドワイヤが約 41% (86,847 t/年) と最も多く、この他に 3~4 万 t/年程度のソリッドワイヤも輸入されているため、ソリッドワイヤ消費量は国内出荷量よりもはるかに多い。

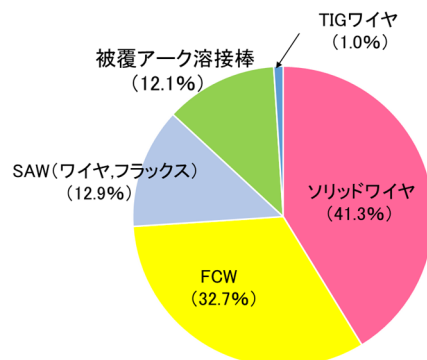


図 2 2022 暦年溶接材料品種別国内出荷量 (計 210,505 t) <sup>1)</sup>

## 1.2 ソリッドワイヤの製造方法

ソリッドワイヤは、高炉メーカー、電炉メーカーで連続鋳造により鋳込んだブルーム（断面形状□300×400mm程度の鋼片）を、熱間圧延によりビレット（断面形状□150×150mm程度の鋼片）とし、さらに約5.5mmφ、単重約2tの線材に熱間加工した後、ソリッドワイヤ製造工場で冷間加工により製造されている。図3にソリッドワイヤ製造工場における工程の一例を示すが、焼鈍、銅めっき実施時の線径や、めっき後の冷間加工量などは、製造メーカーによりそれぞれの考え方があるため、多少の違いはある。

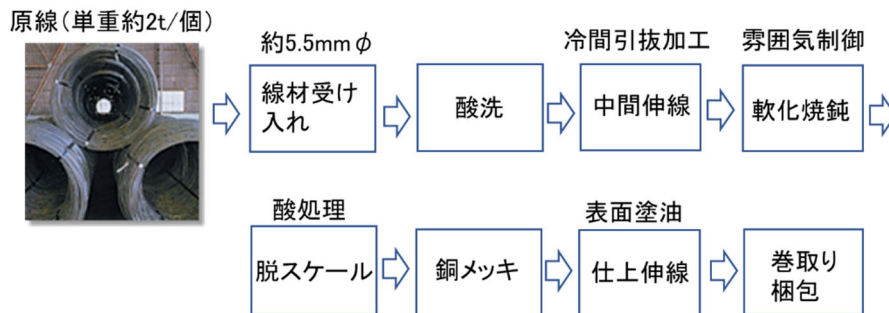


図3 ソリッドワイヤ製造工場における工程の例

通常は、①ワイヤ表面の防錆、②溶接時ワイヤへの給電性確保、③冷間引き抜き加工時の潤滑作用を目的に表面に銅めっきを施し、最終仕上げ伸線である線引き加工（ダイスの穴を通して引き抜く事で線径を小さくする加工法）を行うが、ダイスとワイヤ間の摩擦軽減および溶接時のワイヤ送給性確保を目的に各社独自の固体潤滑剤、液体潤滑剤が使用され、最終工程でワイヤ表面に塗油して仕上げられる。ワイヤ表面の残留潤滑剤量、油量は溶接時のワイヤ送給性に影響する重要な要因となるため各社の管理基準に従って厳しく管理されている。なお、銅めっき時に使用する薬剤の環境への負荷軽減、銅めっきワイヤ表面の残留銅粉に起因するワイヤ送給不良防止を目的に、めっきにかわる特殊な表面処理を施しためっき無しワイヤも実用化されている<sup>2)</sup>。

巻き取ったワイヤは、図4に一例を示す10~20kg巻きのスプールや250~400kg梱包のペールパックの荷姿で出荷される。

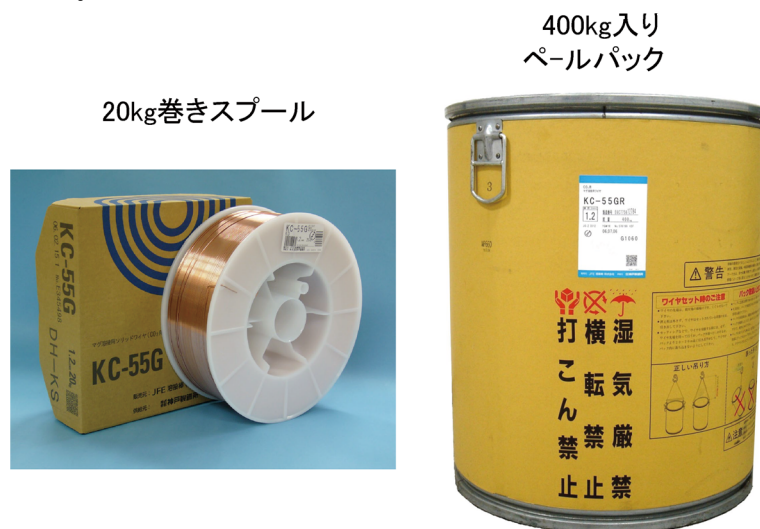


図4 ソリッドワイヤ荷姿の一例

(ユーザー使用時、ペールパック上部にワイヤ引出し装置が装着される)

### 1.3 ガスシールドアーク溶接法の原理と特徴

ガスシールドアーク溶接法の縦断面イラスト図を図 5 に示す。ワイヤをモーターで連続的に送給し、ノズルから CO<sub>2</sub> (炭酸ガス)、Ar-CO<sub>2</sub> (アルゴン、炭酸ガスの混合ガス。日本では Ar-20%CO<sub>2</sub> ガスが多い)、Ar-O<sub>2</sub> (アルゴン、酸素の混合ガス。日本では Ar-2~5%O<sub>2</sub> ガスが多い)、Ar 等のシールドガス (Shielding Gas) を一定量流して空気をシールド (Shield : 遮断) しながら行うアーク溶接方法である。給電は先端の給電チップから行き、通常は DCEP (Direct Current Electrode Positive : 直流、ワイヤプラス) で行う。

シールドガスとして CO<sub>2</sub>、Ar-CO<sub>2</sub>、Ar-O<sub>2</sub> など CO<sub>2</sub> や O<sub>2</sub> の活性ガスを含むガスを用いる場合をマグ (MAG : Metal Active Gas) 溶接法と呼ぶが、シールドガスとして 100%CO<sub>2</sub> を用いる溶接法は、マグ溶接法と区別して炭酸ガスアーク溶接法 (CO<sub>2</sub> Arc Welding) と呼ばれる事も多い。以後本稿では 100%CO<sub>2</sub> を用いる溶接法を炭酸ガスアーク溶接法、Ar-20%CO<sub>2</sub> ガスを用いる場合をマグ溶接法と記述する。

不活性ガスである Ar、He 等を用いる溶接法はミグ (MIG : Metal Inert Gas) 溶接法と呼ばれるが、鉄鋼のミグ溶接は、アークの安定性確保の難しさ、ガスコストの面から適用例は限られており、以降は普通鋼の炭酸ガスアーク溶接、マグ溶接に用いられるソリッドワイヤについて述べる。

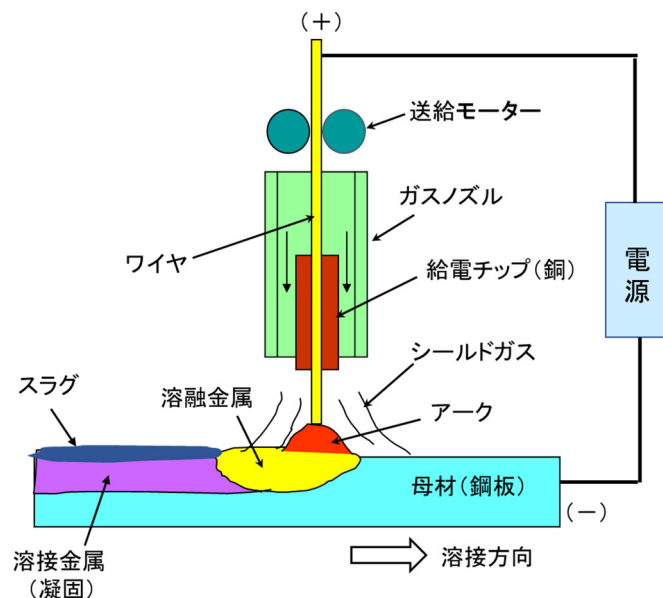


図 5 ガスシールドアーク溶接法縦断面イラスト図

ガスシールドアーク溶接法の主な長所として以下の項目が挙げられている。

- ①ワイヤが連続的に送給され、連続溶接が可能であるため半自動溶接や、ロボット溶接に適している。
  - ②細径ワイヤに大電流を流す高能率溶接方法であり、溶着速度が速く溶込みが深い。
  - ③上向溶接や立向溶接を含む全姿勢溶接が可能である。
  - ④溶接金属中の拡散性水素量が少なく、溶接金属、溶接熱影響部の低温割れが起こりにくい。
- 一方、短所としては、
- ①炭酸ガスアーク溶接では、中・高電流域でスパッタ発生量が多い。
  - ②風によりガスの流れが影響を受け、シールド性が損なわれ易い。
  - ③アーク光の紫外線が強く、目や皮膚がアークにさらされると炎症を起こし易い。

等が挙げられている。

#### 1.4 ガスシールドアーク溶接時の留意点

ガスシールドアーク溶接法の適用に当たっては、健全な溶接部を得るために留意しなければならない点が多くあるが、ここでは下記3点について簡単に説明する。これ以外の問題点とその対策に関しては紙面の都合上他資料<sup>3)</sup>を参考にして頂きたい。

##### (1) 炭酸ガスアーク溶接用ワイヤとマグ溶接用ワイヤのクロス使用回避

溶材メーカーに対し、余剰炭酸ガスアーク溶接用ワイヤを、マグ溶接で使用しても良いかとの問い合わせや、逆にマグ溶接用ワイヤを炭酸ガスアーク溶接で使用しても良いかとの問い合わせが時々ある。答えはNOである。図6は第2章で解説するワイヤ JIS YGW11（炭酸ガスアーク溶接用）と JIS YGW15（マグ溶接用）を本来のシールドガス以外で使用した場合の問題点についてまとめたもので、主に脱酸剤でもあり溶接金属の強度を高める合金元素でもある Mn、Si の歩留まり（脱酸消費後の溶接金属残留 Mn、Si 量）がシールドガス中の CO<sub>2</sub> 量比率の影響を受け大きく変わるため、要求される溶接金属の引張強さやじん性を保証出来ないという問題がある。同じく JIS YGW18（炭酸ガスアーク溶接用）と JIS YGW19（マグ溶接用）のクロス使用も、合金元素添加量が多い分、問題はより深刻であり、YGW11、YGW15 以上に NO である。JIS で規定されている適用シールドガス以外のガスの使用は避けるべきである。

ガス、ワイヤ	ワイヤSi量	ワイヤMn量	解 説
100%CO <sub>2</sub> 用 YGW11	YGW15より 相対的に 多い	YGW15より 相対的に 多い	<ul style="list-style-type: none"> <li>•CO<sub>2</sub>シールドではSi、Mnの脱酸消費量多くなるためYGW15よりSi、Mn量の多い設計。</li> <li>•Ar-20%CO<sub>2</sub>での使用は、Si、Mnの脱酸消費少なく溶接金属強度がアップし、じん性の低下で割れ発生のリスクが増大する事もある。</li> </ul>
Ar-20%CO <sub>2</sub> 用 YGW15	YGW11より 相対的に 少ない	YGW11より 相対的に 少ない	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Ar-CO<sub>2</sub>シールドではSi、Mnの脱酸消費量少ないためYGW11よりSi、Mn量も少ない設計。</li> <li>•100%CO<sub>2</sub>での使用は、Si、Mnの脱酸消費多く、溶接金属強度が低下し、強度不足のリスクがある。</li> </ul>

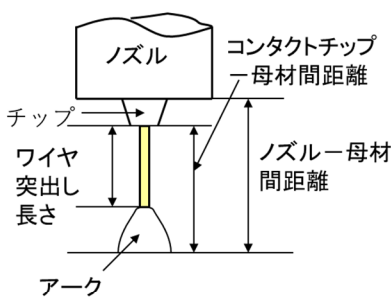
CO<sub>2</sub>用ワイヤはCO<sub>2</sub>で、Ar-20%CO<sub>2</sub>用ワイヤはAr-20%CO<sub>2</sub>で使用することが重要

図6 YGW11 と YGW15 のクロス使用時の問題点

##### (2) シールド乱れの回避

シールドガスは無色透明であるため、シールドが完全であるか否かを目視では観察できず、風の強い屋外環境ではシールドが乱れ、ブローホールの発生等の原因となる可能性がある。これを回避するため風速 2m/秒を超える場合、ついたて等の防風対策が必要とされている。さらに夏場の高温・高湿な工場内作業時、暑さ対策として扇風機を使用するケースも多いが、溶接部に風が直接当たらない配慮も必要である。シールドの乱れによる溶接部への影響を回避するための考え方、一般的対策例を表1に示す。

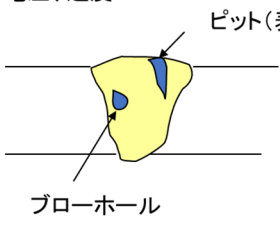
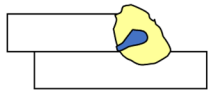
表 1 シールドガス流量、風影響の考え方

溶接条件	条件選定のポイント	溶接への影響と対策
シールドガス流量 (一般)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・流量少ない場合 → 空気巻き込みにより溶接金属靱性劣化、気孔発生の危険性</li> <li>↓</li> <li>・室内では15~25リットル/分が一般的</li> <li>・ただしワイヤ突出し長さ、トーチ角度、開先形状、ノズル形状によっては増量も必要</li> <li>・ノズル-母材間距離は25mm以下</li> </ul>
風の影響 (屋外他)	<p>屋外作業の場合は風の影響を考慮する事が必要。夏場は室内の扇風機にも注意</p> <p>↓</p> <p>空気の巻き込み防止</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・風によるシールド乱れ防止必要</li> <li>↓</li> <li>・屋外で風速が2m/秒を超える場合は、つuitate等の防風対策が必要</li> <li>・屋外では、室内溶接時よりもガス流量を増やす事が推奨される</li> <li>・室内で扇風機使用时、溶接部に直接風を当てない</li> </ul>

(3) 気孔発生防止

表 2 はガスシールドアーク溶接において最も発生し易い欠陥のひとつである気孔の発生原因と防止策について簡単にまとめたものである。ビード表面に開口したものをピット、内部に閉じ込められているものをブローホールといい、空気の巻き込みのみならず、鋼板表面の水分、錆、油や、防錆のためのプライマー、亜鉛めっき等も発生原因となるため、表面をきれいにし必要に応じて防錆剤を除去して溶接する事が推奨される。

表 2 気孔の発生原因とその対策

欠陥名	原因	対策
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブローホール</li> <li>・ピット</li> </ul>	<p>窒素、水素、一酸化炭素などの気体によって溶接金属内部に生じる欠陥。亜鉛めっきの亜鉛蒸気でも同じ現象が起こる。</p> <p>(1)シールド不良による空気の巻き込み  <ul style="list-style-type: none"> <li>・ガス流量、突出し長さ、風、溶接電流、電圧、速度</li> </ul> </p>  <p>ピット(表面に開口)</p> <p>ブローホール</p> <p>(2)母材表面の水分、錆び、油、プライマ塗布、亜鉛めっき</p>  <p>主に重ねすみ肉溶接部が問題</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガス流量を15リットル/分以上にする</li> <li>・風が2m/分以上の場合は、<b>風対策を行う(表1参照)</b>。</li> <li>・突出し長さを15~25mm程度で管理。長すぎるとシールド不十分となり、短すぎてもアーク不安定となりシールドが乱れる</li> <li>・溶融池表面全体をシールドガスが覆うようにする(速度速くしすぎない。過度のウイピングをしない)</li> <li>・ワイヤ狙い位置はできるだけ中央</li> <li>・重ねすみ肉溶接の重ね面の錆び、油、プライマ、亜鉛がガス化して発生する。<b>重ね面をきれいに溶接</b></li> <li>・亜鉛めっきには亜鉛めっき鋼板用ワイヤを適用</li> </ul>

## 2. ソリッドワイヤの JIS (Japan Industrial Standards: 日本工業規格、現日本産業規格) 変遷

### 2.1 新しいワイヤ規格 YGW18、YGW19 の JIS 追加 (1999 年)

1995 年 1 月に発生した阪神・淡路大地震では、建築鉄骨の柱-梁溶接部から破壊した例が多く見られた。当時鉄骨溶接に使用されていたソリッドワイヤは、『JIS Z 3312 : 1974 軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ』に規定されていた高電流溶接用(厚板溶接用) YGW11 (シールドガス: CO<sub>2</sub>)、YGW15 (シールドガス: Ar-20%CO<sub>2</sub>) である。

上記背景を受け、鋼材、建築に関係する学協会と、当時の(社)日本溶接協会が共同で、鉄骨破壊の原因と対策を検討する事になり、溶接材料については溶接協会が担当する事になった。途中経過は割愛するが、高電流用ワイヤ YGW11、YGW15 について溶接入熱量、パス間温度が溶着金属の機械的性質に及ぼす影響について詳細な検討を行った結果、これらのワイヤは(社)日本建築学会が『鉄骨工事技術指針』<sup>4)</sup>の中で推奨していた溶接条件管理目標値(溶接入熱量 40kJ/cm 以下、パス間温度 350℃以下)における最大溶接入熱量、最高パス間温度の条件下では、溶着金属引張強さ 490N/mm<sup>2</sup>以上、0℃における吸収エネルギー47J 以上という JIS 規格値の確保は難しいと判断された。これを受け最大管理目標値の条件でも JIS 規定値を満足できる溶着金属が得られるソリッドワイヤを溶材メーカーが開発し、建築・鉄骨溶接用ワイヤ YGW18、YGW19 として JIS に追加する事になり 1999 年に JIS が改正された。改正後の JIS 抜粋を表 3<sup>5)</sup>に示す。なお 1999 年改正の JIS では、引張強さの単位は N/mm<sup>2</sup>を使用していたが、後記する 2009 年改正時に N/mm<sup>2</sup>から MPa 表記に統一された。

表 3 JIS Z 3312 : 1999 ソリッドワイヤの種類の記号 (抜粋)<sup>5)</sup>

JIS記号	シールドガス	主な適用鋼種	備考
YGW11 YGW12 YGW13 YGW14	炭酸ガス	軟鋼および引張強さ 490N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	
YGW15 YGW16 YGW17	Ar-CO <sub>2</sub> 混合ガス	軟鋼および引張強さ 490N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	
YGW18	炭酸ガス	引張強さ490、520、540 N/mm <sup>2</sup> 級高張力鋼	建築・鉄骨溶接用 高入熱、高パス間 温度対応ワイヤ
YGW19	Ar-CO <sub>2</sub> 混合ガス		
YGW21 YGW22	炭酸ガス	引張強さ570N/mm <sup>2</sup> 級 高張力鋼	
YGW23 YGW24	Ar-CO <sub>2</sub> 混合ガス		

YGW18、YGW19 は溶接入熱量 40kJ/cm、パス間温度 350℃という条件でも引張り強さ 490N/mm<sup>2</sup>以上、0℃における吸収エネルギー47J 以上の溶着金属が得られる建築・鉄骨溶接用炭酸ガスアーク溶接、マグ溶接用ワイヤであり、当時 540N/mm<sup>2</sup>級ワイヤと呼ばれていたが、高入熱溶接時に溶着金属引張り強さ 540N/mm<sup>2</sup>を保証しているものではない。

表 4<sup>5)</sup> は、JIS Z 3312:1999 の解説に明記されていたワイヤ使用区分を示したもので、当時の(社)日本建築学会では、柱-梁溶接で所定の機械的性質を確保するためには、表 4 に示すように溶接入熱量、パス間温度を管理する必要があるとして、『JASS 6』と呼ばれる『建築工事標準仕様書 (JASS 6)

鉄骨工事 (2002 年)』<sup>6)</sup> の中に引用し、具体的な規定として取り入れた。従来ワイヤ YGW11、YGW15 は鋼材強度が 490N/mm<sup>2</sup> の場合、最大溶接入熱量 30kJ/cm、最大パス間温度 250℃が適用限界である。

表 4 JIS Z 3312:1999 における入熱、パス間温度の使用区分<sup>6)</sup>

入熱量 (kJ/cm)	パス間温度 (°C)	鋼材強度		
		400N/mm <sup>2</sup>	490N/mm <sup>2</sup>	520N/mm <sup>2</sup>
≤20	≤150	YGW11、18 YGW15、19	YGW11、18 YGW15、19	YGW18、19
≤30	≤250	YGW11、18 YGW15、19	YGW11、18 YGW15、19	YGW18、19
≤40	≤350	YGW11、18 YGW15、19	YGW18、19	—

- ・YGW18、19が1999年JIS改正時に追加された建築鉄骨溶接用ワイヤ
- ・上記が改正JIS解説記事に『解説表1 鉄骨造建築物におけるワイヤの使用区分』として明記されていた。

なお、YGW11、15、18、19 以外のワイヤ種類毎の主な用途は、YGW12、16 が低電流溶接用（薄板溶接用）、YGW13 はビード形状改善等を目的に Ti、Al を添加した水平すみ肉用、YGW14、17 は Si、Mn 等の合金元素の規定が無く、メーカー各社が使用目的に応じて独自に製造しているワイヤ、YGW21～24 は 570 N/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼用の高電流溶接用（厚板溶接用）で 590N/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼用としても使用されていたワイヤである。

## 2.2 ソリッドワイヤ JIS の国際規格との整合（2009 年）

少し難しい話になるが、1995 年に WTO（World Trade Organization：世界貿易機構）/TBT 協定（Agreement on Technical Barriers to Trade：貿易の技術的障害に関する協定）が成立した。簡単に言えば、『工業製品等の各国の規格、およびその適合性評価手続きが不必要な貿易障害となってはならず、各国は国際規格を基礎とした国内規格を策定し、その透明性を確保しなければならない。』という事である。これを受け JIS を国際規格である ISO（International Organization for Standardization：国際標準化機構）に整合させるという国の方針の基、溶接材料に関する国際規格整合化は（社）日本溶接協会と（財）規格協会が推進する事になった。

ソリッドワイヤ JIS と ISO 規格との整合には、多くの時間を要したが、JIS Z 3312:1999 は 2009 年に『JIS Z 3325：低温用鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ』と統合され、『JIS Z 3312：2009：軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用のマグ溶接及びミグ溶接ソリッドワイヤ』として ISO 規格と整合化された。旧 JIS（1999 年）からの変更点に関しては、多くの資料<sup>7)、8)</sup> で解説されているのでそれらを参照頂きたい。ここでは参考に改正 JIS 抜粋を表 5<sup>9)</sup> に、また図 7<sup>9)</sup> に旧 JIS 区分を継承した JIS 特有規定の種類の記事具体例を、図 8<sup>9)</sup> に ISO に基づいた ISO 共通規定の種類の記事具体例を示す。表 5 に示すように旧 JIS の YGW11～YGW19 は ISO 共通規定の種類との併記が認められ、どちらの記号を用いても良い事になった。ISO 種類記号の頭の G は Gas Shield の頭の G を表している。

表 5 JIS Z 3312 : 2009 ソリッドワイヤの種類の記事 (抜粋) 9)

JIS特有規定の種類	ISO共通規定の種類	シールドガス	溶着金属の機械的性質の一部			
			引張り強さ (MPa)	耐力 (MPa)	衝撃試験温度 (°C)	吸収エネルギーの規定値 (J)
YGW11	G49A0UC11	C	490~670	400以上	0	47以上
YGW12	G49A0C12			390以上	0	27以上
YGW13	G49A0C13				0	27以上
YGW14	G43A0C14			430~600	330以上	0
YGW15	G49A2UM15	M	490~670	400以上	-20	47以上
YGW16	G49A2M16			390以上	-20	27以上
YGW17	G43A2M17			430~600	330以上	-20
YGW18	G55A0UC18	C	550~740	460以上	0	70以上
YGW19	G55A0UM19	M			0	47以上
—	G57A1UCXX	C	570~770	490以上	-5	47以上
—	G57A1CXX					27以上
—	G57A2UMXX	M			-20	47以上
—	G57A2MXX					27以上

C:炭酸ガス、M:Ar-20~25%CO<sub>2</sub>混合ガス

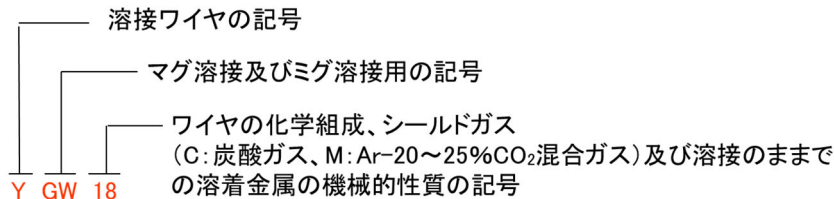


図 7 改正 JIS Z 3312:2009 ソリッドワイヤ種類の記事の付け方例 9)

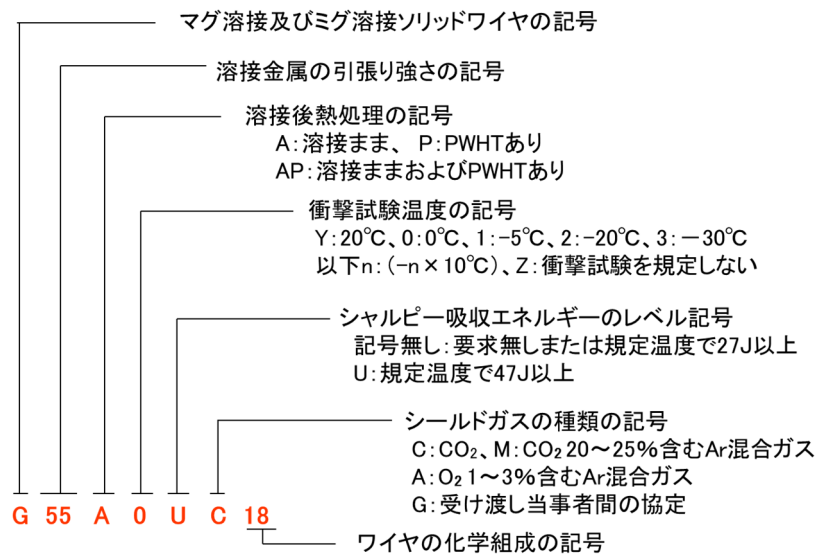


図 8 改正 JIS Z 3312:2009 ソリッドワイヤ ISO 種類の記事の付け方例 9)

なお JIS(1999)の解説記事に掲載されていた表 4 の入熱、パス間温度の使用区分も、改正 JIS(2009)では実際に適用される溶接条件を考慮して一部追加等がなされているので、必要に応じて実際の JISを確認頂きたい。

### 2.3 ISO 規格検討の裏話

多くの ISO 規格の基になっているのは、採用国数の多い EN 規格 (European Norm : ヨーロッパ規格) であり、CEN (European Committee for Standardization : 欧州標準化委員会) が検討している。一方、溶接材料の ISO 規格案は IIW (International Institute of Welding : 国際溶接学会) が担当しているが、規格体系の異なる JIS、AWS (American Welding Society : アメリカ溶接協会)、EN の規格 1 本化は難しく、制定には数年を要した。とくに問題となったのは単位系の異なる溶着金属の機械性能に関する項目等であった。この解決策として『ISO 共存型規格の手法』が導入されたが、これは図 9 に一例を示すように EN に基づく『System A』と、環太平洋 (日本 : JIS、米 : AWS) でまとめた『System B』をひとつの規格の中に共存させる方式で、これにより溶接材料の ISO 規格作製が促進される事になった。なお共通数値表示の問題の無い規格、例えば化学組成が重要なサブマージアーク溶接用フラックス等に関する ISO は IIW 案と EN 案の完全一致型として制定された。

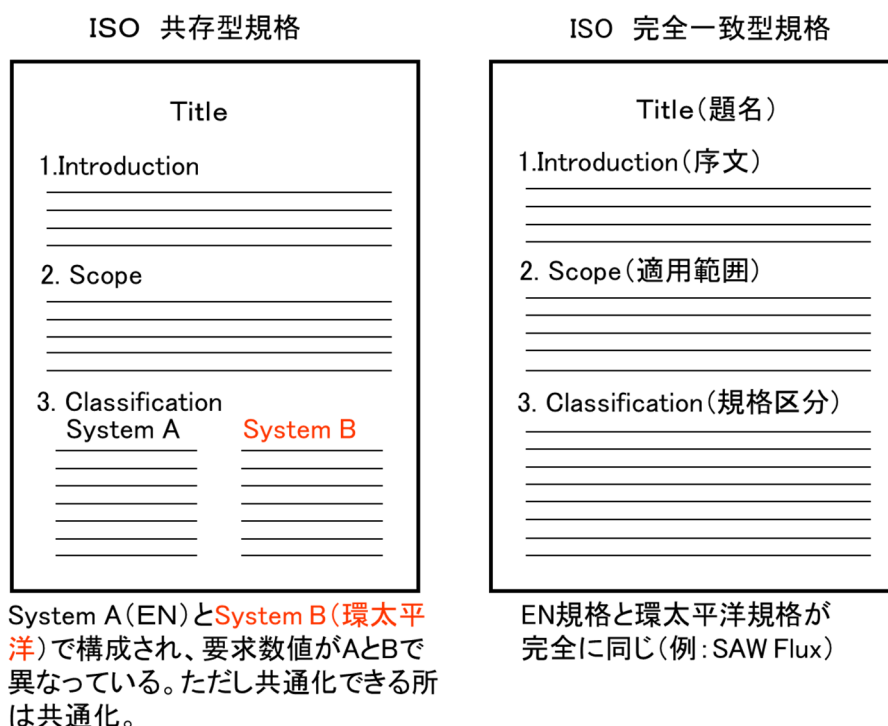


図 9 ISO 共存型規格と完全一致型規格

共存型規格が正式検討される前の 1998 年～2000 年の 3 年間に渡り、溶接材料の ISO 案に関する日本溶接協会と AWS の会議が、年 1 回のペースで米国オハイオ州クリーブランドにあるリンカーン (Lincoln 社 : 世界最大の溶材、溶接機器メーカー) 本社で開催された。日本の溶材メーカーから筆者を含む 3 人が出席したが、ここで問題になったのも溶着金属の機械的性質に関する項目等であった。単位系が異なる JIS と AWS 規格を合わせる事は極めて難しく、最終的には JIS 案、AWS 案をそれぞれ ISO 案に生かす事で折り合った。

表 5 に示した JIS 特有規定の種類と ISO 共通規定の種類に記されている末尾数字は、ワイヤの化学組成を示す記号であるが、例えば JIS YGW11 の末尾 11 と、対応する ISO G49A0UC11 の末尾 11 は共通しており、他のワイヤも同様に同じ数字になっている。これは最終 ISO 『System B』の中に日本の主張が反映されている事を示しており、同じく AWS のソリッドワイヤ規格 AWS A.5.18 2001 ER70S-2～ER70S-7 に合致するように ISO 規定の末尾に 2～7 を付けたアメリカ ISO 案も『System B』の中に反映されている。

### 3. ロボット溶接用ソリッドワイヤに要求される特性

#### 3.1 溶接ロボットの稼働率に影響する因子

ワイヤが連続的に自動送給されるガスシールドアーク溶接法の最大の特長は、ロボット溶接に適している事である。ロボットによる溶接では、セットしてスタートさせれば、夜間の無人運転も可能であり、溶接コスト削減に大きく貢献できるため、鉄骨・橋梁、自動車等の産業分野で広く採用されているが、何らかの原因によりロボットの停止、溶接欠陥の発生等の問題が起こる事もある。ロボット稼働停止、稼働率低下には様々な原因があるが、特に問題となる下記 3 点を絞って述べる。

- ①ワイヤ送給性 → ワイヤ付着物（潤滑剤、油、鉄・銅などの金属粉等）のワイヤ送給経路への堆積等によるワイヤ送給停止。ロボット溶接に使用されるペールパックで起こるキンク等のワイヤもつれもロボット停止原因となるが、今回はワイヤ付着物による送給不良をとりあげる。
- ②スパッタの発生 → 大粒スパッタの給電チップ先端への付着によるワイヤ送給ストップ、鋼板表面付着スパッタの除去作業、ノズル内面に付着したスパッタによるシールドガス乱れ等による溶接欠陥発生とノズル手入れ工数増加が問題となる。
- ③スラッグの剥離性 → ビード表面への非電導性のスラッグ堆積、剥離不良による多パス溶接時のアークスタート失敗、スラッグ除去工数増による稼働率低下が、とくに鉄骨溶接ロボットで問題となる。

#### 3.2 ワイヤ送給性

ワイヤ送給性の評価方法は特に決まっていないが、図 10 に模式的に示すように、一定長さのコンジットケーブルに直径 30cm 程度の輪を 1～2 個作り、溶接時の溶接電流や、アーク電圧の変動、ワイヤ送給モーターの送給負荷を測定し、正常ワイヤと相対比較する方法<sup>10)</sup>や、給電チップの穴径の拡大に起因するアークの不安定さを測定する方法などがある<sup>11)</sup>。ワイヤ製造時の仕上げ伸線工程では、各社独自の潤滑剤の使用、最終工程での塗油によりワイヤ送給性を高めているが、詳細なノウハウは公開されていない。この潤滑材や油量が管理基準外の場合、送給性に問題が起こる事がある。潤滑剤過多の場合は、チップ詰まりによるワイヤ送給停止が発生し易く、逆に潤滑材や油量が不足している場合は、ワイヤ・チップ間の摩擦によりチップ穴径が大きくなる事による給電不安定を招き易く、チップ交換頻度が増え、稼働率低下原因となる。対策として最適な潤滑剤の使用と残留潤滑剤量、油量の厳格な管理をしている他、ワイヤ表面に残留するめっき由来の銅粉が、送給経路に堆積する事による送給停止や、めっき不良がある場合に起こるチップとワイヤの溶着によるアークストップ等を回避する事を目的に、特殊な表面処理を施した銅めっき無しワイヤも製品化されている<sup>2)</sup>。

一方、ソリッドワイヤ製造工程におけるワイヤ焼鈍時の雰囲気制御により、ワイヤ表面に酸素を付加し、かつ仕上げ伸線時に図 11<sup>12)</sup>に示す微細な亀裂を表面に生成させ、その亀裂に油をしみこませ、送給時の抵抗を軽減するという亀甲パターン高送給性ワイヤも実用化されている。

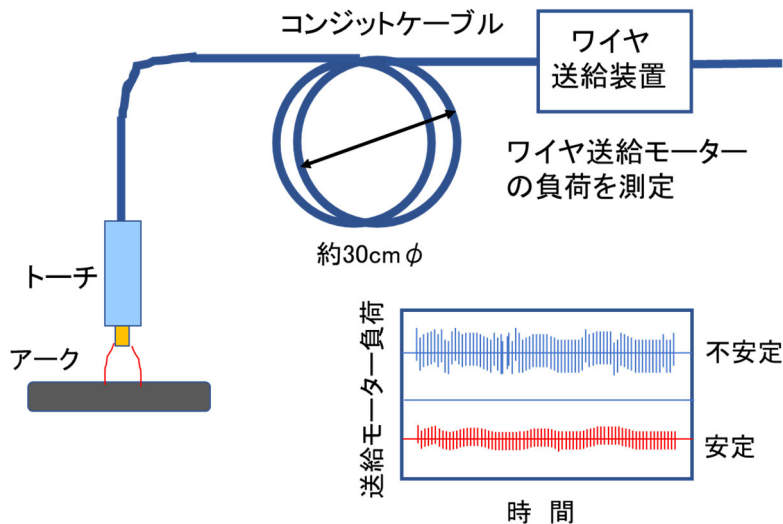


図 10 ワイヤ送給性評価の一例概略図



ワイヤ表面写真(亀甲パターン)  
亀甲パターンの溝が潤滑剤をしっかりと保持

図 11 熱処理による表面改質高送給性ワイヤの拡大表面<sup>12)</sup>

### 3.3 低スパッタ化

炭酸ガスアーク溶接で発生するスパッタは主に反発移行時や短絡移行後の再アーク時に発生するもの、瞬間的短絡により発生するものがある。大粒のスパッタは鋼板表面に付着するため、これを除去処理する必要があり、またノズル内面に付着してシールドガス流を乱流化し、溶接欠陥発生原因にもなる事から、ノズル清掃が必要であり、いずれも溶接能率低下原因となっていた。また場合によってはチップ先端に付着し、ワイヤ送給ストップの原因にもなる。低スパッタ化対策としては、①溶接ワイヤの表面改質他による方法、②シールドガスにより溶滴の移行形態を変える方法、③溶接電源による電流波形、電圧波形、ワイヤ送給の高速制御等があるが、①、②は言わば溶接冶金的アプローチであり、③は最近のデジタル技術(内蔵するマイコンにより、量を数値として取り扱う制御方式を用いた技術)による方法である。

#### ①溶接ワイヤ表面改質他による方法

3.2 項で述べた亀甲パターンワイヤの表面処理技術によりワイヤ表面層に酸素を濃化させ、この酸素により溶鋼の表面張力や粘性低下によりワイヤ先端の溶滴の離脱を促進し、かつ細粒化することができるため母材表面への付着が少なく、除去処理時間を大幅に短縮できると言われている<sup>12)</sup>。

この他の例として、適量の REM (Rare Earth Metal : 希土類金属) を添加したワイヤを用い、一般的なガスシールドアーク溶接と逆の極性である DCEN (Direct Current Electrode Negative : 直流・ワイ

ヤマイナス) で炭酸ガスアーク溶接すると、DCEP によるミグ溶接やマグ溶接時のスプレー移行と同じ溶滴移行となり、スパッタ発生の問題はほぼ無いという高度な技術も実用化されている<sup>13)</sup>。

#### ②シールドガス組成により溶滴の移行形態を変える方法、

炭酸ガス溶接でのスパッタ発生の原因となっている溶滴の移行形態を変える方法である。ガスコスト面の課題はあるものの Ar-CO<sub>2</sub> シールドガスを用いるマグ溶接法では、炭酸ガスアーク溶接に比較してスパッタを低減する事ができる。特に溶接電流、アーク電圧を適正化する事で溶滴の移行形態をスプレー移行にする事が可能なため、スパッタ量を問題のないレベルまで低減できる。ただし低～中電流条件下では Ar-CO<sub>2</sub> シールドガスを用いてもスプレー移行形態にはならず、低～中電流で行う自動車の薄板溶接では、高品質化要求に対応するため下記③に示す電源による波形制御との組み合わせで低スパッタ化を図っている。

#### ③溶接電源による電流、電圧、ワイヤ送給制御

インバータ制御溶接電源の出現により、高速出力制御が可能になり、さらにデジタル制御技術が加わり、溶接電流、電圧波形の他、ワイヤ送給をより高速・高精度で制御できるようになった。これにより薄板のマグ溶接から、近年は厚板の高電流炭酸ガス溶接での溶滴移行制御も可能となり、スパッタの大幅低減もできるようになっている。最近の低スパッタ化は、ほぼこの波形制御が主流であり、溶接ロボットシステムの進化と相俟って溶接能率の大幅アップがはかられている。紙面の都合上詳しい解説は他資料<sup>14)～16)</sup>を参照頂きたい。

### 3.4 スラグ剥離性

鉄骨溶接ロボットには 1999 年に JIS に追加された高入熱・高パス間温度炭酸ガスアーク溶接用ワイヤ YGW18 が搭載される事が多い。このワイヤは脱酸元素である Si、Mn 含有量が多いため、発生スラグ量も多く、また合金元素も添加されているため生じたスラグは従来ワイヤである YGW11 のスラグよりも緻密で剥離性が劣っている。溶接パスを重ねる毎にスラグ量は増加し、電導性の無い SiO<sub>2</sub>、MnO スラグが一定の厚さに達すると次パスのアークスタートができなくなる事、スラグ巻き込み等の溶接欠陥の原因となる事から、対策として一定パス数溶接後、溶接トーチをスラグ除去用トーチに付け替えスラグ除去し、再び溶接トーチに戻してアークスタートするという動作がロボットに組み込まれている。このスラグ除去工程が、溶接効率低下要因となっており、解決策としてスラグ剥離性を改良したロボット溶接用ワイヤが実用化されている<sup>17)</sup>。開発ワイヤのスラグは自然剥離し易く、容易に除去できるため再アークスタート、安定した連続溶接が可能であり、スラグ剥離作業工程の回数を減らす事による稼働率アップに繋がっている。

以上述べた様に、デジタル制御溶接電源の適用による大幅な低スパッタ化、溶接ロボットシステムの進化、ロボット溶接に適した送給性が良好でスラグ剥離性に優れた炭酸ガスアーク溶接用ソリッドワイヤの開発が相俟ってロボット溶接の高能率化、溶接品質の著しい向上が図られている。

## 4. まとめ

ガスシールドアーク溶接に使用されるソリッドワイヤの特長、製造法、溶接時に留意すべき点、さらには現在適用されているワイヤ JIS 規格の制定経緯、ロボット溶接で使用されるワイヤの具備すべき特性等に関し、現状を簡単にまとめた。技術の進歩はめざましく、ユーザーニーズに対応できるソ

リッドワイヤ、溶接技術、溶接機器等が次々と開発提供されているが、将来の労働力不足に対応するためには、高品質で現状以上に効率の良い溶接が可能となる新技術が必要とされる事も予想される。関係分野の総合力による新技術の実用化を期待してまとめたい。

## 5. 参考文献

- 1) 一般社団法人 日本溶接材料工業会：溶接展望 2023年1月号
- 2) 清水：銅めっき無し溶接用ソリッドワイヤ、 R&D 神戸製鋼技報 Vol. 50 No.2 (Sep. 2000) pp.15-18
- 3) 溶接学会・日本溶接協会編：新版改訂 溶接・接合技術入門 第4章 4.5 溶接欠陥の防止 (pp.279-287)
- 4) (社) 日本建築学会：鉄骨工事技術指針 (1996)
- 5) JIS Z 3321:1999 軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ
- 6) (社) 日本建築学会：建築鉄骨標準仕様書 (JASS 6) 鉄骨工事 (2002年)
- 7) 赤秀：軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ワイヤ JIS Z 3321 および Z 3313 改正内容の解説、一般社団法人 日本溶接協会 WE-COM マガジン第2号 (2011年10月)
- 8) 社団法人 日本溶接協会 溶接棒部会技術委員会：溶接材料 JIS の改正内容の解説 第2回 - JIS Z 3312 軟鋼、高張力鋼および低温用鋼のマグ溶接及びミグ溶接ソリッドワイヤ -, 溶接技術 2009年3月号 pp.85-90
- 9) JIS Z 3312:2009 軟鋼、高張力鋼および低温用鋼のマグ溶接及びミグ溶接ソリッドワイヤ
- 10) 「溶接材料の作業性およびワイヤ送給性評価」 JFE テクノリサーチ株式会社 pdf (<https://www.jfe-tec.co.jp/>) で閲覧可能
- 11) 松井、服部：消耗電極式アーク溶接におけるコンタクトチップの摩耗現象, 溶接学会論文集 第34巻 第4号 pp.231-238
- 12) 「F030 ニツテツの優れたソリッドワイヤの秘密 溶接 Q&A 技術情報」 日鉄溶接工業株式会社 html (<https://www.weld.nipponsteel.com/>) で閲覧可能)
- 13) 片岡、池田、安田：極低スパッタ CO<sub>2</sub>アーク溶接技術「J-STAR Welding」の開発、JFE 技報 No.16 (2007年.6月) pp.50-53
- 14) 原田、上山：最近のデジタル制御アーク溶接機の進展、溶接学会誌 第74巻 (2005)、第7号 pp.35-40
- 15) 八島：REGARC™ プロセス搭載「石松」、神戸製鋼 ぼうだより 技術レポート-1 (Vol.60 2019-3)
- 16) 一般社団法人日本溶接協会：浪速博士の溶接がってん！R 溶接機のデジタル制御とインバータって何？の巻、WE-COM マガジン 第48号 (2023年4月)
- 17) 中野、鈴木：アーク溶接ソリッドワイヤの開発、R&D 神戸製鋼技報 Vol. 55 No.2 (Sep.2005) pp.56-60

<略歴>

**山 口 忠 政 (やまぐち ただまさ)**

---

1970年 東北大学工学部 金属加工学科卒業  
1972年 東北大学大学院 工学研究科 金属加工学修士課程修了  
1972年 川崎製鉄(株) 入社 技術研究所溶接研究室  
1974年～1975年 (社) 日本鉄鋼協会技術部派遣部員  
1975年 川崎製鉄(株) 技術研究所溶接研究室  
1994年 鉄鋼企画営業本部  
1999年 同溶接棒セクター室  
2001年 同棒線セクター室  
2002年～2014年 (株) JFE 溶接棒 (現(株) JKW) 技術本部  
2014年 一般社団法人日本溶接協会 技術アドバイザー  
現在に至る