

(解説)

溶接材料の現状と今後

Present and Future Trends in Welding Consumables



菅 哲男*(工博)
Dr. Tetsuo Suga

Welding consumables for arc welding are widely used in various industrial fields. In Japan, roughly 300,000 tons/year have been consumed over the past few years. Welding consumable development and production at Kobe Steel has been undertaken with the following keywords in mind: "higher efficiency"; "higher performance"; "environmental improvement." In this paper, current state-of-the-art and future trends in the development of welding consumables are described.

まえがき = 日本のアーク溶接技術は、鉄骨・造船・自動車などの種々の産業分野における中核的な生産加工法として、その時々々の社会的あるいは経済的ニーズに対応しながら発展してきた。景気の低迷、産業の空洞化、国際競争の激化などの厳しい経済情勢の中で、溶接技術は、「半自動化・自動化・ロボット化」による溶接の高効率化を通してコストダウンを大きな課題としてきた。また、低合金鋼、ステンレス鋼などの伸びにみられるように、「溶接構造物の高性能化・高級化」により、溶接継手にも同様の要求があり、溶接部の高性能化が図られた。更に、最近では「環境問題の高揚」も受けて、溶接の環境改善への対処も重要なアイテムとなってきている。

このような状況下、溶接材料は「高効率化」、「高性能化」、「環境改善」などを大きな命題として、種々の製品が開発・実用化されてきている^{1),2)}。ここでは、最近における溶接材料の市場動向及び開発動向について述べる。また、溶接材料の今後の展望についても言及する。

1. 溶接材料の市場動向

図1に、この10年間の国内・溶接材料の品種別需要推移を示す³⁾。全需要量は、1990年代初めの約40万トン/年をピークとして減少し、ここ数年は約30万トン/年の水準となっている。品種の構成については、被覆アーク溶接棒に代わってマグ溶接ワイヤ〔ソリッドワイヤとフラックス入りワイヤ(以下、FCW)〕が増加し、特にFCWが伸びている。2003年での品種構成比は、マグ溶接ワイヤが73% (ソリッドワイヤが47%、FCWが26%)、被覆アーク溶接棒が15%、サブマージアーク溶接材料(以下、SAW溶材)が11%、その他が1%である。マグ溶接ワイヤが多いのは、「溶接の自動化・ロボット化」の進展と対応している。なお、ソリッドワイヤを主体とする輸入品の割合は全需要量の約15%であるが、至近において

やや増加している。

次に、日本溶接協会の「溶接材料の使用動向に関する調査結果⁴⁾」によると、自動車、産業機械ではソリッドワイヤが多く、造船ではFCWが主流である。建築・橋梁ではソリッドワイヤが多いが、FCWが増加している。また、SAW溶材が多いボイラ・貯塔槽でも、ワイヤ比率は増えている。ちなみに、溶材の国内出荷量は建築・橋梁が約40%、造船が約20%、自動車が約15%、産業機械が約10%、その他が約15%と推定されている。

なお、世界における溶接材料の需要量は約350万トン/年と推定され、約30万トン/年の日本の10倍強である。北米が約45万トン/年、欧州が約50万トン/年、中国が150万トン/年、ロシア、アフリカ、アセアンがそれぞれ約20万トン/年、韓国が約15万トン/年、南米が約5万トン/年と類推される。世界の中では、中国での需要増大が目目される。

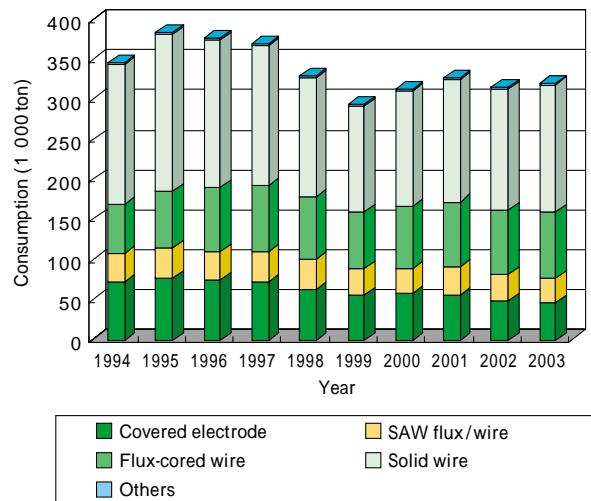


図1 日本における溶接材料の需要推移
Fig. 1 Annual consumption of welding consumables in Japan

* 溶接カンパニー

2. 溶接材料の開発動向

溶接材料は、前述のごとく、「溶接の高能率化」、「溶接部の高性能化」、「溶接の環境改善」をキーワードとして進歩してきた。これらの観点に大別して、溶接材料面の最新技術の現状を説明する。

2.1 高能率化への対応

アーク溶接の半自動化・自動化・ロボット化は各種産業界で進んでおり、高能率化の強力な武器となっている。半自動化・自動化・ロボット化をより効果的に進める上で、ソリッドワイヤ、FCW の能率性に関する改良・開発が行われている。SAW 溶材の高能率化は、造船の板継溶接の「高速 FCB 片面 SAW 溶材」、UOE やスパイラル鋼管などのラインパイプ用の「多電極高速 SAW 溶材」など、種々検討されているが¹⁾、ここでは説明を割愛する。以下に、最近の主なマグ溶接ワイヤについて紹介する。

2.1.1 高性能・銅めっきなしソリッドワイヤ

鉄骨、自動車、産機などのソリッドワイヤ分野では、能率性、溶接品質の確保のために、ワイヤ送給性が重要視される。最近、ワイヤ送給性の究極を目指したワイヤとして「高性能・銅めっきなしソリッドワイヤ(炭素鋼用)」(SE ワイヤシリーズ)が開発されている。SE ワイヤは、従来から常識とされていた銅めっき処理を行わず、最適な表面処理を施すことによって優れたワイヤ送給性を確保し、併せて良好なアーク安定性や低スパッタ性などの特長を有しており、溶接の高能率化に寄与する。

また、コンジットライナに詰まる金属屑の量を比較しても銅めっきがないことから、ワイヤの送給やチップでの通電におけるトラブルが少なくなる。図2に示すように、溶接チップの交換頻度が低下して、ロボットの稼働率が飛躍的に向上する。写真1には、当社のロボットシステム(アークマン RON)との組合せで SE ワイヤ(SEA-50) が建設機械で適用されている状況を示す。

2.1.2 大入熱・高パス間温度対応ソリッドワイヤ

建築鉄骨の溶接施工に関して、より厳格な溶接施工管理が必要になっている。日本建築学会の鉄骨工事技術指針では「溶接部の健全性確保のために、「溶接入熱 40kJ/cm 以下、パス間温度 350 以下」を溶接時の熱管理の目安

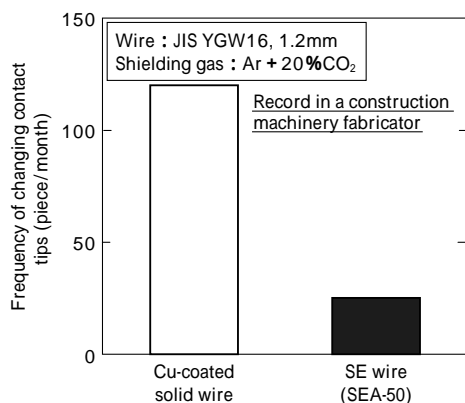


図2 ロボット溶接におけるチップ交換頻度の例

Fig. 2 A record of reducing the frequency of changing contact tips in robotic welding



写真1 SE ワイヤ(SEA-50)によるロボット溶接状況〔建設機械〕
Photo 1 Robotic welding with an SE wire (SEA-50) [construction machinery]

としている。

このような状況に対応して、540MPa 級炭素鋼の溶接ワイヤ分類が日本工業規格に追加されるとともに(JIS Z 3312 YGW18)、管理範囲の上限においても十分な強度と靱性を有する溶接金属が得られる新しいワイヤ「大入熱・高パス間温度対応ソリッドワイヤ(炭素鋼用)」(MG-55)が開発されている。MG-55は、従来のソリッドワイヤ(JIS Z 3312 YGW11)に比較して、溶接入熱やパス間温度の高い条件でもより良好な機械的性質の溶接金属が得られることが特長である(図3参照)。本ワイヤを使用することにより、入熱管理の煩わしさを軽減できるばかりでなく、パス間温度の拡大による冷却待ち時間の短縮ができるなど、高品質・高能率な施工が可能となる。

2.1.3 薄板用ステンレス鋼 FCW

化工機、食品などの分野では、3mm 程度の薄板ステンレス鋼を低電流域で溶接する場合が多くある。しかし、従来の1.2mm のFCWで溶接しようとするときアークが不安定で、スパッタの発生やビード形状が悪くなったりする。このため、このような薄板市場では0.9mm の極細径FCWが用いられ、母材の板厚に応じて1.2mm ワイヤと使い分けられている。これに対して、1.2mm

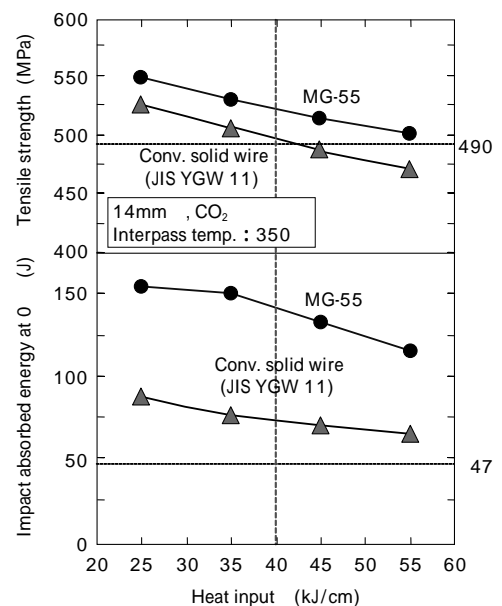


図3 溶着金属の機械的性質に及ぼす入熱の影響

Fig. 3 Effect of welding heat input on mechanical properties of weld metal

で低電流（100-150A）でのアーク安定性に優れる「薄板用ステンレス鋼 FCW」（DW-T シリーズ）が開発されている。

本ワイヤでは、フラックス成分の最適化などにより、低電流でのアーク安定性を向上するとともに、再アーク性も良くしている。また、小脚長溶接にも適したワイヤで、従来の 1.2mm ワイヤで困難であった 4mm 以下の小脚長すみ肉溶接にも十分に対応することができる。図 4 に示すごとく、適正電流範囲は従来ワイヤの 0.9mm と 1.2mm の範囲をカバーしており、ワイヤの取替え頻度の低減などを通して、化工機、食品などの薄板溶接市場での溶接の高能率化に役立つものと期待される。

2.2 高性能化への取組み

低合金鋼、高合金鋼などが適用される構造物では、溶接材料の高性能化・高級化の要求がますます高まっており、性能面の技術課題は多い。高合金鋼関係の溶材としては、「二相ステンレス鋼用溶材」、「高温用ステンレス鋼用 FCW」、「ニッケル基合金用 FCW」など種々の開発が進められているが¹⁾、ここでは最近の低合金鋼用溶材について説明する。

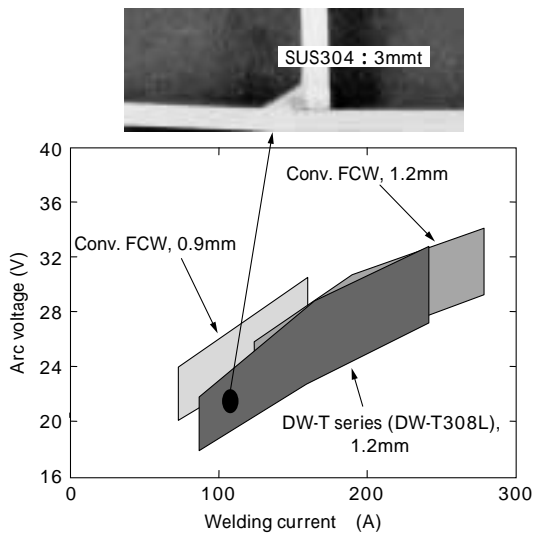


図 4 薄板用ステンレス鋼 FCW の電流範囲とビード断面形状の例
Fig. 4 Proper welding condition range and weld profiles of FCW for stainless steel sheets

2.2.1 海洋構造物用溶材

極低温海域で使用される海洋構造物、低温用アルミキルド鋼が用いられる LPG タンカ及びタンクなど、低温で使用される構造物の溶材としては、「Ti-B 系又は Ni-Ti-B 系の各種低温用鋼用溶材」が実用化されている。

最近の話題としては、「サハリン大陸棚石油・天然ガス開発プロジェクト」などの海洋構造物の溶接材料への対応がある。海構の溶接には、幅広い強度クラス（YP320-690MPa 級高強度鋼用）の溶接材料が用いられ、低温靱性への要求が厳しくなっている。表 1 に、代表的な「低温仕様の海洋構造物用溶材」を示す。-60 程度のシャルピ衝撃性能要求に対応でき、一部の材料を除き、-10 以下での CTOD 要求にも対応可能である。靱性向上には低酸素化とともに溶接金属組織の微細化が必須であるが、その手段とし、YP550MPa 以下では主に Ti-B 複合添加によって、YP600MPa 以上では主に Ni の添加によって組織の微細化を図っている。新規の海洋構造物案件での採用が期待される。

2.2.2 950MPa 級高張力鋼用溶材

代表的な大型構造物の一つである水圧鉄管（ペンストック）では、重量軽減や溶接工数低減を目的として早くから高強度化への取組みが行われている。最近では、東京電力㈱・神流川発電所の水圧鉄管に国内で初めて 950 MPa 級高張力鋼が採用され、建設が開始された。

950MPa 級高張力鋼用溶材としては、被覆アーク溶接棒、SAW 溶材、マグ溶接ワイヤ及びティグ溶接ワイヤが開発されている。これら溶接材料の開発においては、脆性破壊の発生を防止するための高靱性が最大の技術課題であった。この課題に対して、被覆アーク溶接棒及び SAW 溶材ではフラックス中の脱酸性原料の選択と適正化などによって、またマグ溶接ワイヤではシールドガス組成も含めた検討によって、溶接金属の超低酸素化を図り高靱性を達成している。表 2 に、各種の「950MPa 級高張力鋼用溶材」による溶着金属の機械的性質を示す。今後は、水圧鉄管以外の業種への適用が期待される。

2.2.3 高クロムフェライト系耐熱鋼用溶材

発電プラント用ボイラの分野では、近年における地球

表 1 海洋構造物用溶接材料
Table 1 Welding consumables for offshore structures

Welding procedure	Welding consumable	Yield strength level (MPa)	$\sqrt{E_{Temp.}}$ 27J ()				CTOD Temp. 0.25mm()			Chemical composition (%)						Note	
			-20	-40	-60	-80	0	-20	-40	-60	Si	Mn	Ni	Cr	Mo		Ti
SMAW	LB-52NS	400	■	■	■	■	■	■	■	0.4	1.4	0.5	-	-	0.02	0.002	AC power source
	LB-88LT	700	■	■	■	■	■	■	■	0.6	1.8	2.6	-	0.7	-	-	
SAW	PFH-55LT/US-36	400	■	■	■	■	■	■	■	0.2	1.4	-	-	-	0.02	0.003	AC power source
	PFH-80AK/US-80LT	700	■	■	■	■	■	■	■	0.3	1.7	2.5	0.1	0.7	-	-	
GMAW	MGS-50LT	400	■	■	■	■	■	■	■	0.3	1.4	-	-	-	0.02	0.003	Ar + 20%CO ₂ shielding gas
	MGS-88A	700	■	■	■	■	■	■	■	0.3	1.2	3.4	-	0.8	-	-	
FCAW	DW-55L	400	■	■	■	■	■	■	■	0.4	1.3	1.4	-	-	0.05	0.003	CO ₂ shielding gas
	DW-62L	500	■	■	■	■	■	■	■	0.3	1.2	2.4	-	-	0.06	0.004	
	DWA-55L	460	■	■	■	■	■	■	■	0.5	1.3	1.4	-	-	0.05	0.003	Ar + 20%CO ₂ shielding gas
	DWA-65L	550	■	■	■	■	■	■	■	0.4	1.2	1.8	-	0.1	0.05	0.003	

表2 950MPa 級高張力鋼用溶接材料による溶接金属の機械的性質の一例

Table 2 Typical weld metal mechanical properties of welding consumables for 950MPa class high strength steel

Type and brand of welding consumable	Tensile test			Charpy impact test		
	0.2% offset strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	$\sqrt{E_{.60}}$ (J)	$\sqrt{E_{.40}}$ (J)	$\sqrt{E_0}$ (J)
Shielded metal arc welding covered electrode (LB-100J)	845	936	21	-	93	121
Submerged arc welding flux and wire (PFH-100J/US-100J)	826	952	21	108	112	118
MAG arc welding wire (MGS-100J)	875	952	21	-	107 (- 50)	139
TIG arc welding filler wire (TGS-100A)	898	991	21	-	149 (- 50)	218

環境問題 (CO₂ の低減) の関係から、高い発電効率求められる、蒸気条件の高温・高圧化が進められている。鋼材としては、現在よく用いられている Mod. 9Cr-1Mo 耐熱鋼などに続き、高 Cr-W 系で高温での強度特性を更に改善した鋼材の検討がなされており、それに対応した「12クロムフェライト系耐熱鋼用溶材」(ティグ溶接ワイヤ: TGS-12CRS, SAW 溶材: US-12CRS/PF-200S など)が開発されている。Cr を増加させることにより耐酸化性を向上するとともに、W の添加による固溶強化や Nb, V の増加による析出硬化などが図られている。図5に示すごとく、Mod. 9Cr-1Mo 耐熱鋼用溶材に比べてクリープ強度の向上がなされており、ボイラ操業の効率化に寄与するものと期待される。最近では、より高温・高圧の蒸気条件 (650 × 350 気圧) で使用可能な高クロム耐熱鋼に対応するティグ溶接ワイヤの研究も行われており、更なるボイラ操業条件の向上を目指している。

2.3 環境改善への対処

地球環境問題への高まりから、溶接材料に関しては、「溶接作業環境の改善」のみならず、地球環境の保護を視野に入れた「リサイクルへの取組み」などが求められている。溶材メーカーは、経営、開発、生産のあらゆる面まで、地球環境を意識する必要に迫られている。以下に、溶接材料の環境問題への対処例について説明する。

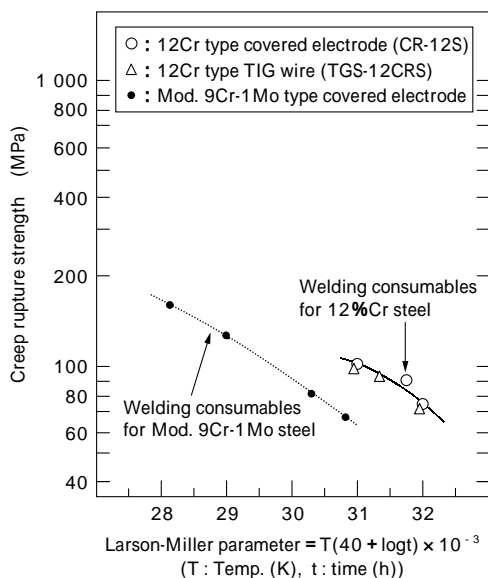


図5 高クロムフェライト耐熱鋼溶接材料のクリープ破断強度

Fig. 5 Creep rupture strength of welding consumables for high Cr ferritic heat resisting steels

2.3.1 低ヒューム・低スパッタ FCW

近年、職場の環境改善への関心が高まってきており、溶接作業現場においても「脱3K」への取組みが進められている。特に、労働安全衛生の面より、溶接ヒュームへの対策が重要である。こうした市場ニーズを受け、従来FCWの特性を維持しつつヒューム発生量及びスパッタ発生量を大幅に低減させた「低ヒューム・低スパッタFCW (炭素鋼用)」(ZシリーズFCW)が開発・実用化されている。

本FCWのヒューム発生量及びスパッタ発生量を図6に示す。このFCWは、従来FCWに比較して、ヒューム発生量・スパッタ発生量がともに約40%減少しており、作業環境の改善に有効である。ワイヤ開発においては、ワイヤ中の低C化やフラックスへのアルカリ金属の添加などの工夫により低ヒューム化がなされている。なお、低ヒューム・低スパッタFCWは、品種(含むステンレス鋼)ごとの開発が進められており、溶接の環境改善に寄与していくと期待できる。

2.3.2 包装材料への対応

自然環境保護の点より、溶接材料・包装資材の回収が重要視されつつある。特に、ワイヤを包装している大容量ペールパック、プラスチックプールが対象となる。パックについては回収再利用が進められているが、プールについては今後の課題となっている。プールの回収・再利用や脱プラスチック(バスケットプールなど)

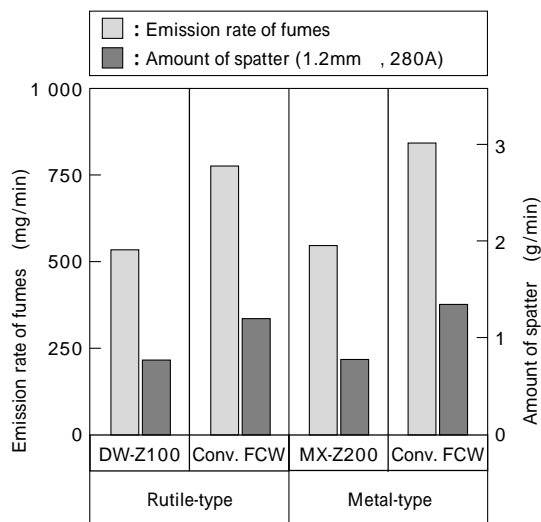


図6 低ヒューム・低スパッタ FCW の特性 (ZシリーズFCW)

Fig. 6 Characteristics of low fume, low spatter FCWs (Z series FCW)



(a) Using state



(b) State got down and folded after use

写真2 ダンボール製バック（エコアロー）

Photo 2 Pack made from corrugated paper (Ecoarrow)

の検討は、溶接材料メーカーが協力して日本溶接棒工業会で行ってきている。欧州では、バスケットスプールが多く使用されて、バックについても廃却を配慮したダンボールバックが拡がりつつある。当社の開発したダンボール製バック「エコアロー」を写真2に示す。バック本体のすべてがダンボール製のため、使用後は分別して古紙としてリサイクルでき、地球環境の保護に寄与すると期待される。

3. 溶接材料の今後の展望

今後の経済情勢をみれば、国際競争の激化、産業の空洞化、金融不安など明るい材料は少なく、しばらくは国内での溶接材料の大幅な需要増加は見込めないであろう。品種構成をみると、減少してきた被覆アーク溶接棒が底を打った感があり、構成比率は安定期に入りつつある。今後は、SAW 溶材が横ばい、被覆アーク溶接棒がやや減少、マグ溶接ワイヤのやや増加が予想される。

溶接材料の開発は、今後とも「高能率化」、「高性能化」、「環境改善」などを大きなテーマとして進められよう。マグ溶接ワイヤについて言えば、「高能率化」のための高溶着化、耐気孔性向上、低スパッタ化などの古くて新しい課題への取組みは今後も続けられていくものと思われる。多電極化の溶接プロセスへの溶接材料の開発も重要である。造船・橋梁などのペイント鋼板すみ肉溶接の高速化を狙った「2電極1プールCO₂アーク溶接法」、造船外板の立向溶接に用いられる「2電極エレクトロガスアーク溶接法」などの高能率溶接法に適した溶材の開発・改良が継続されよう。また、溶接ロボットとそれに適した溶接材料の組み合わせによる高能率な溶接プロセスの更なる追求も継続されていくと考える。

「高性能化」に関しては、低合金・高合金鋼などの鉄鋼材料で進んでいる高強度化・高靱性化に対応した溶接材料の開発がある。低温用鋼、高張力鋼、耐熱鋼、ステンレス鋼などの新しい高性能鋼材に対応した溶材の進歩が期待され、(独)物質・材料研究機構の「超鉄鋼プロジェクト」に代表される新構造材料に対する溶接材料の開発も必要である。

更に、低ヒュームなどの「環境改善」のテーマが一層クローズアップされてこよう。溶接の合理化を考える上で、コストと品質は当然重要であるが、「溶接の3K追放」も忘れてはならない。溶接者の高齢化問題も踏まえると、溶接材料の開発は「クリーンな溶接」をひとつのターゲットとすべきであろう。そして、その「環境改善」は、単に溶接作業環境にとどまらず、地球環境をも視野に入れた開発も新しい流れとなるであろう⁵⁾。今後、溶接材料メーカーは、商品のLCA評価などを積極的に行い、環境負荷の少ない溶接材料の開発に力を入れるべきである。

「グローバル化」が進展する中で、溶接材料の開発は国内市場ニーズに対応した商品の創出とともに、輸出向けの低合金鋼用溶材など的高级品のレベルアップにも力点が置かれていこう。価格で国際競争力の必要な海外向けの一般品は海外拠点での生産が増加していくと思われるが、各国のそれぞれの市場にマッチした商品の追求も必要である。今後は、日本の10倍強の需要がある世界市場での拡大を狙った商品の開発がますます盛んになる。

むすび=最近におけるアーク溶接材料の現状と今後の展望について、その概要を述べた。溶接材料は成熟商品との見方もあるが、製造業の更なる発展のためには、技術革新がまだまだ必要である。高能率、高性能溶接材料の開発と自動化・ロボット化が大きく進展しつつあり、この傾向は将来も続くであろう。今後は、環境問題を意識した技術開発がますます重要となることが予想される。

世界的規模の競争の中で、生き残りをかけた「ものづくりの変革」が急速に行われている。この状況下、製造技術のキーテクノロジーのひとつである溶接材料の果たす役割は大きく、今後も更にユーザのニーズに合致した技術の進歩が期待される。

参考文献

- 1) 菅哲男：溶接学会誌，Vol.67，No.8（1998）p.38.
- 2) 佐藤正晴：溶接技術，Vol.48，No.4（2000）p.58.
- 3) 日本溶接棒工業会統計委員会：平成15年度の溶接材料出荷量分析（2003）.
- 4) 日本溶接協会・溶接棒部会・技術委員会・平成12年度調査第1分科会：業種別に見た各種溶接材料の現状と今後の動向に関する調査，溶接の研究，No.40（2001）p.9.
- 5) 堤紳介：溶接技術，Vol.49，No.7（2001）p.80.