

(技術資料)

自動車用マグ・ミグ溶接ワイヤの動向

Trends in MAG and MIG Welding Wire Related to Automobile Production



鈴木 励一
Reiichi Suzuki



中野 利彦
Toshihiko Nakano

The reduction of auto body weight improves fuel efficiency and influences the structural materials and arc welding materials employed. Naturally, to reduce thickness, high tensile strength steel and light materials such as aluminum alloys are required. On the other hand, to decrease maintenance costs in the welding process, mild steel are primarily favored at present. In such situations, the welding technology is more important. This paper introduces trends in MAG and MIG welding wire for automobile production.

まえがき = 自動車業界では、燃費向上を目的としたエンジン開発、車体軽量化などの技術開発が進展している。この動向が、重要製造工程であるアーク溶接にも影響を及ぼしている。車体軽量化については、高強度鋼板（ハイテン）による薄板化が拡大している。さらに、アルミニウム合金による軽量化の検討及び適用も広がっている。しかし、これらの新素材も溶接技術が伴わなければその用途は極めて限定的となる。このため、最適な継手性能や高能率が得られる溶接ワイヤや施工法の開発が望まれている。一方で、徹底したコストダウンをはかるべく、従来の溶接工程についても、手直し工程のミニマム化、スパッタ発生量低減による設備メンテナンス費用の削減など、溶接技術に関する従来からの課題についてもさらなる改善が要求されている。本稿ではこれらの動向を踏まえ、自動車向けのマグ・ミグ溶接ワイヤの動向を紹介する。

1. 自動車製造で使用される溶接法の概要

自動車の製造工程で使用される溶接法としては、現在はスポット溶接とアーク溶接が主流である。アーク溶接法は、強度面での信頼性が高いこと、継手形状を選

ばないこと、プレス精度の感受性が低いこと（ギャップに強いこと）、などの特徴から、図1のように主に足回り部品や排気系部品、複雑な形状の部品などの溶接法として多く使われている。アーク溶接の種類としては、かつては被覆アーク溶接棒が使用されていたが、昭和30年代以降ワイヤを用いたマグ溶接が普及し、溶着効率が高い、ロボットと組み合わせることにより自動化が可能、などの優れた特長によって、現在では主流となっている。特に溶接ロボットの適用率が鉄骨、造船などの他業界と比べて極めて高いことが自動車業界の特徴となっている。今後は大幅な高速化、低歪み化が可能なレーザ溶接の普及も見込まれているが、継手形状の自由度が低いこと、ギャップ裕度が低いこと、コストが高いこと、などの欠点があり、当面はマグ・ミグ溶接法が主流であると考えられる。マグ・ミグ溶接自体も、シールドガスが炭酸ガスからアルゴン+炭酸ガスへ、溶接機はサイリスタ制御からインバータ制御、インバータパルス制御、デジタル制御へと進歩している。適用素材については、かつては軟鋼が圧倒的であったが、最近は高張力鋼やアルミニウム合金、ステンレス鋼など多岐になっている。溶接ワイヤはこのような新素材への対応だけでなく、

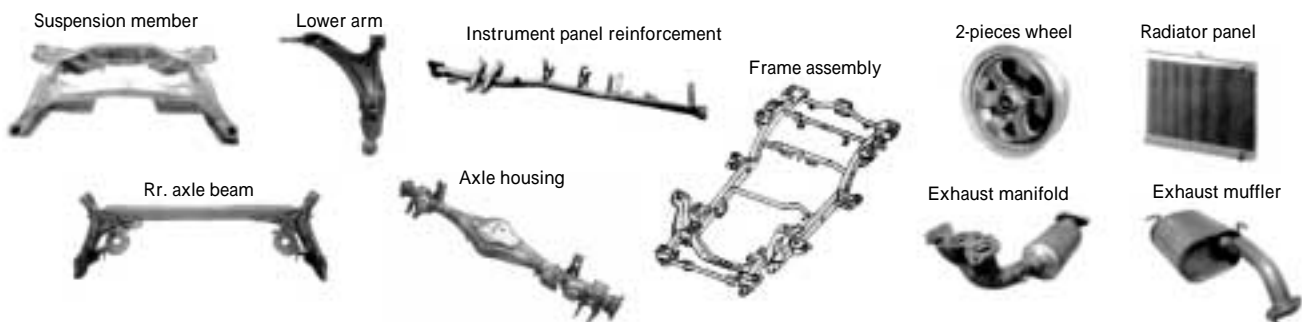


図1 代表的なマグ・ミグ溶接適用自動車部品の例

Fig. 1 Examples of typical automobile assembly that MAG and MIG welding is applied

溶接カンパニー・技術開発部

溶接作業性面の改良も含めて開発が進んでいる。

2. 一般炭素鋼用マグ溶接ワイヤ

自動車部品のアーク溶接における素材の主流は440MPa級以下の炭素鋼である。これに対するマグ溶接ワイヤは490MPa級のソリッドワイヤが多く用いられている。一般の炭素鋼用ソリッドワイヤは使用され始めてからの歴史が長く、その溶接性及び使用方法は概ね確立されている。しかし、実際には以下に示す課題がユーザーの所望するレベルに達しておらず改善が望まれている。

スパッタ発生量、ヒューム発生量の低減

ワイヤ送給トラブルによるアーク切れ、及びそれに伴うライン停止(いわゆる溶接ロボットでのチョコ停)の低減

アークの安定化によるビード形状及び溶込み深さの安定性向上

これらの課題に対しては、溶接機の波形制御、ワイヤ送給系の改善、シールドガス組成の調整などの点から改善が試みられているが、溶接ワイヤ面からも改善に向けての開発が行われている。

このような目的に対し、当社は従来のマグ溶接ワイヤに比べて大幅な改善が図られる画期的なワイヤとして、「SEワイヤ」を開発・発売した。既にSEワイヤは上記課題の改善に効果が高いワイヤとして好評を得ている。SEワイヤの製品上の特徴は次のとおりである。

- (1) 従来のマグ溶接ソリッドワイヤでは一般的であった銅めっきを廃し、特殊な表面処理を施した。
- (2) ワイヤの表面改質によって、送給性、アーク安定性、スパッタ発生量、適正条件範囲などを従来のワイヤと比較して大幅に改善した。
- (2) ヒューム(アークで発生する金属蒸気)中の銅を排除し、溶接作業者の健康への害を軽減した。
- (3) 銅めっき用の有害化学薬品を使用しないため、製造プロセスとして環境にやさしい商品となっている。ワイヤの外観を写真1に示す。現在、ラインアップとし

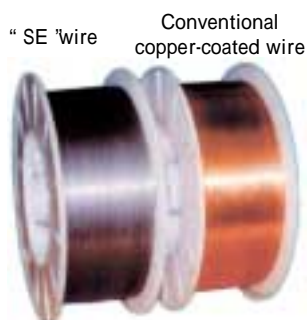


写真1 SEワイヤと従来の銅めっきワイヤの外観

Photo 1 Wire appearance of SE-wire and conventional copper-coated wire

表1 SEワイヤの種類と用途
Table 1 The kind and applications of "SE-wires"

Brand name	JIS standard (Z3312)	Shielding gas	Applications
SE-50	YGW11	CO ₂	Middle-high current range welding
SE-50T	YGW12	CO ₂	Low-middle current range welding
SEA-50S	YGW15	Ar + CO ₂	Middle-high current range welding
SEA-50	YGW16	Ar + CO ₂	Low-middle current range welding
SEA-1TS	YGW17	Ar + CO ₂	Pulsed MAG welding

て表1の銘柄を発売しており、全て490MPa級である。

従来のソリッドワイヤは一般に銅めっきを施しているが、この理由として以下が挙げられる。

- (a) コンタクトチップ/ワイヤ間の電気抵抗低下による通電性向上
 - (b) 耐錆性の向上
 - (c) コンタクトチップの摩耗速度低減
 - (d) 潤滑効果による製造時の伸線性向上
- しかし、現実的には次の欠点が避けられなかった。
- (A) 銅めっきが微視的に不均一であったり疵があるため接触電気抵抗のばらつきが大きくなり、アーク不安定あるいはスパッタ増加が生じる。
 - (B) 銅めっきの剥離によってめっき屑がワイヤ送給経路に堆積したり、ワイヤとチップの融着を助長するためワイヤ送給性が劣化する。
 - (C) 銅めっきが不均一であったり疵がある場合、露出した鉄と銅の局部電池効果によって錆が発生しやすくなる。

SEワイヤは、このような従来銅めっきワイヤの欠点を見直し、全く新規な手段でそれらを改善したワイヤである。具体的には、銅めっきを廃することでワイヤ表面の不均一性を改善し、接触電気抵抗を安定させてアーク安定性及びスパッタ発生量を改善した。銅めっきの剥離も当然生じなくなることからワイヤの送給不良が解決され、鉄と銅の接触部が存在しないことから耐錆性が改善された。また、新開発の特殊表面処理により、(a)接触電気抵抗の安定性向上、(b)耐錆性向上、(c)コンタクトチップの耐摩耗性向上を果した。さらに、銅めっきを廃することにより、溶接時に溶滴の酸素吸収が促進されて表面張力が低下する効果があり、溶滴の小径化、移行の安定性を向上させることにつながる。通電点が安定することにより、チップ内の瞬間融着現象が低減し、ワイヤ送給性も向上する¹⁾。

以上の特徴を有したSEワイヤは図2,3に示すように

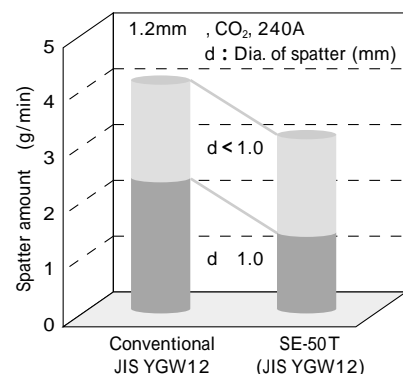


図2 SEワイヤのスパッタ発生量一例

Fig. 2 Example of spatter amount of SE-wire

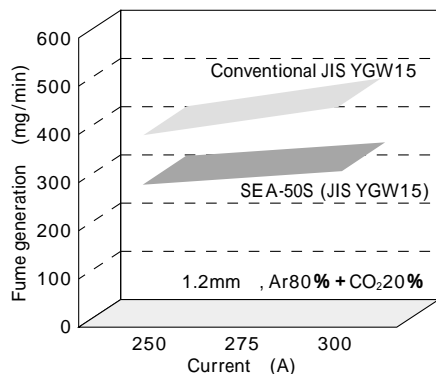


図3 SEワイヤのヒューム発生量一例
Fig. 3 Example of fume generation of SE-wire

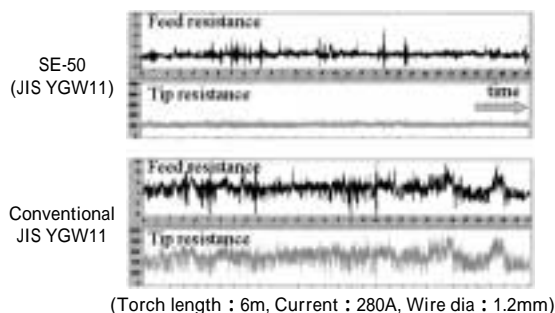


図4 SEワイヤの送給安定性一例
Fig. 4 Example of feedability of SE-wire

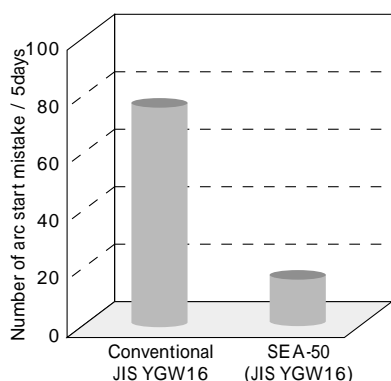


図5 SEワイヤによるアークスタート不良の改善例
(某自動車部品メーカーでの実測)
Fig. 5 Example of an improvement with arc start error by SE-wire
(Survey by one automobile assembly fabricator)

スパッタ及びヒューム発生量の低減効果が得られる。また、図4に示すように、ワイヤ送給性が向上する。さらに図5に示すように、チップの融着がおこりにくくなることからアークスタートミスが減少し、ライン停止頻度が低下して、生産性の向上に寄与することができる。

SEワイヤは、これまで自動車メーカーが抱えていた主な課題を大きく改善できるマグ溶接用ワイヤであり、今後

一般炭素鋼用ワイヤとして主力と期待される商品である。

このほかの一般炭素鋼用ワイヤとしては、開先の隙間裕度の大きい「耐ギャップ性改善ワイヤ」、亜鉛蒸気によるピット発生を低減できる「亜鉛めっき鋼板用ワイヤ」、極低スパッタ化が可能な「高周波パルスマグ用ワイヤ」、1mm以下の板厚の鋼板でも溶接可能な「極薄鋼板溶接ワイヤ」など、自動車特有の諸目的に応じた溶接ワイヤが開発されており²⁾、今後も様々なニーズに応じた溶接ワイヤが開発され続けるものと考えられる。

3. 高強度鋼板用マグ溶接ワイヤ

環境問題意識の高まりを受け、自動車各社では燃費向上を果たす一つの策として車体の軽量化が進められている。車体軽量化のためには、軟鋼を高強度・薄板化(以下ハイテン化)する、アルミニウム、樹脂などへ材質変更する、テールドラックにより板厚を最適化する、部品点数を削減する、などの手段がある。なかでも鋼板のハイテン化は比較的成本アップ幅が小さいこともあり、至近では多くの部材で実用化が促進されている。当初はバンパ、シートフレーム、インストルメントパネル、インパクトメンバなど高い疲労強度があまり必要なく、接合部の少ない部品への適用が多かった。しかし、最近ではアーム、ビーム、フレームなど強度が大きくかかる足回りの重要部材への拡大が本格化している。また、今後はサスペンション系の防錆鋼板もハイテン化が検討されると思われる。現在、DP鋼(Dual Phase steel)やTRIP鋼(Transformation Induced Plasticity steel)のように成形性や疲労特性をより改善した鋼板の開発が進められており、鋼板強度自体も440MPa級、590MPa級、780MPa級、980MPa級以上と、より高強度・薄板化が進展すると予想される。

一般的に、溶接部には鋼板と同程度以上の強度が要求されることが多いので、鋼板がハイテン化すると、溶接ワイヤも従来よりも高強度のものが必要となる場合が出てくる。当社では、表2に示すとおりハイテン用のマグ溶接ワイヤを豊富に揃えている。

溶接ワイヤの選定に際して留意すべき点として、JISにおけるワイヤの強度クラスと薄板溶接での溶接金属の実際の強度には差が生じることが挙げられる。溶接ワイヤの強度クラスは、JIS Z3312に沿った条件で得られた溶着金属の機械的性質である。JISでは板厚20mmの多層・突合わせ溶接を行うこととなっており、板厚数mmの1パス重ねすみ肉溶接がほとんどの自動車部品の溶接とは

表2 590~780MPa級マグ溶接ソリッドワイヤの銘柄と溶着金属の化学組成一例
Table 2 The kind of 590-780MPa class MAG solid wires and example of chemical composition of these deposited metals

Brand name	Applications	Chemical composition of deposited metal (wt%)							
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
MG-60	590MPa-class CO ₂ welding	0.08	0.51	1.39	0.012	0.009	-	-	0.29
MGS-63B	590MPa-class Ar + CO ₂ welding	0.08	0.50	1.09	0.007	0.008	-	0.42	0.29
MG-70	690MPa-class CO ₂ welding	0.07	0.48	1.37	0.011	0.012	0.98	-	0.56
MGS-70	690MPa-class Ar + CO ₂ welding	0.07	0.31	1.03	0.007	0.005	1.84	0.20	0.40
MG-80	780MPa-class CO ₂ welding	0.08	0.36	1.23	0.009	0.011	2.10	-	0.59
MGS-80	780MPa-class Ar + CO ₂ welding	0.09	0.32	1.05	0.008	0.010	2.71	0.24	0.49

表3 供試母材成分
Table 3 Chemical composition of test steel plates

TS class	Thickness (mm)	Chemical composition (wt%)					
		C	Si	Mn	P	S	Other
590MPa	2.9	0.06	0.51	1.54	0.010	0.001	add.
780MPa	2.6	0.05	0.72	1.82	0.008	0.001	add.
980MPa	2.0	0.16	1.33	2.01	0.015	0.001	free

大きく条件が異なっている。薄板溶接では、次バスによる再熱を受けないこと、入熱が非常に小さいこと、バス開始温度が低いことなどの理由により、多層・突合せ溶接よりも溶接金属の結晶粒は微細化し、強度は高くなる。よって、一般的には自動車部品を対象とした薄板溶接では、鋼板強度よりも低い強度クラスの溶接ワイヤが適用可能な場合が多い。

実例を紹介する。表3に示す590MPa、780MPa、980MPa級強度の鋼板と、490MPa、590MPa、780MPa級強度の溶接ワイヤを用いてパルスマグ溶接法による水平重ねすみ肉溶接を行った。得られた溶接部より図6のとおり継手引張試験片を採取し、引張試験に供した。試験結果を表4に示す。780MPa級、980MPa級鋼板の結果から、鋼板強度よりも200MPa低いクラスの溶接ワイヤで母材破断がおこることがわかる。なお、鋼板によっては破断強度が強度クラスよりも低い値を示すことがある。これは成分系によっては母材熱影響部(HAZ)が軟化するためである。また、自動車向け高強度鋼板は強度以外の分類として、成形性などの目的によって種類が幾つかあり、さらにミルメーカーによっても成分系が微妙に異なるため、厳密には必ずしも本試験結果と同様にはならない可能性があるので注意が必要である。

今後、590MPa級を越える高強度鋼板の採用が増えれば、高強度マグ溶接ワイヤの採用が増加すると期待される。

4. アルミニウム合金溶接用ミグ溶接ワイヤ

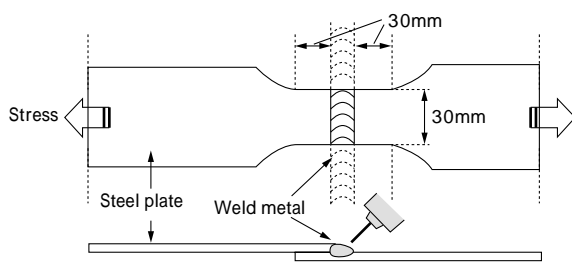


図6 重ねすみ肉継手引張試験方法
Fig. 6 Tensile test method for lap welded joint

表4 重ね継手引張試験結果
Table 4 Results of tensile test for lap welded joints

Welding wire / Steel plate	MIX-50 (490MPa-class)	MGS-63B (590MPa-class)	MGS-80 (780MPa-class)
590MPa-class	[627]	[633]	-
780MPa-class	× [713]	[768]	[775]
980MPa-class	× [801]	× [851]	[960]

Fracture point ; : Steel plate (Heat affected zone), x : Weld metal
[] : Tensile strength (MPa)

車体軽量化効果が大きい手段として、アルミニウム合金の採用があげられる。アルミニウム合金は鋼に比べて現在のところ高コストと言われるが、既に欧州車で多く採用されはじめ、現在日本においても採用が始まっている。乗用車向けアルミニウム製品の使用量予測を図7に示す。今後、特に板、押出材のいわゆる圧延品の使用量が急激に伸び、27年間で6.3倍になると予測されている。採用される部材としても、これまではフード、ルーフ、トランクリッドなどのパネル、熱交換器といった比較的アーク溶接適用箇所の少ないものが多かった。しかし、最近ではAudi A8, AL2のように車体構造としてアルミニウム合金によるスペースフレーム構造を採用する量産車が現れ、また、日本の自動車メーカーでもサスペンションとしてリア・サブフレーム(写真2)にアルミニウム合金が本格的に採用され始めている。これらのフレーム構造では、アーク溶接が比較的多く採用されている。以上のような点より、これまで使用量の少なかったアーク溶接用ワイヤも今後使用量が大幅に伸びるものと考えられる。

これまでアルミニウム合金溶接ワイヤのユーザ業種としては、造船、タンク、車両などが多かった。これらに対して自動車にアルミ溶接が適用される際の課題は能率である。低コスト化のために高い生産能率と不良率の低減が求められる。生産能率という点では、従来はティグ溶接法(Tungsten Inert Gas Arc Welding)が多かったのに対し、自動車メーカーにおいては溶接速度の大きいミグ

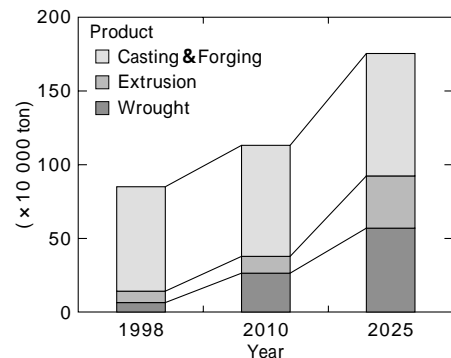


図7 乗用車のアルミ使用量の推移³⁾
Fig. 7 Transition of the amount of aluminum used for passenger cars³⁾



写真2 アルミニウム合金で作られたリア・サブフレーム⁴⁾
Photo 2 Rr. sub-frame made by aluminum alloys⁴⁾

表5 アルミニウム合金ミグ溶接ワイヤの種類

Table 5 The kind of aluminum alloy MIG welding wires

Brand name	Chemical composition of wires (wt%)							Examples of tensile test of weld joint	
	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Ti	Al	Tensile strength (MPa)	Base plate
KOBE A1070-WY	-	-	-	-	-	-	99.70 over	77	A1100P-0
KOBE A1100-WY	-	0.09	-	-	-	-	99.0 over	93	A1100P-0
KOBE A4043-WY	5.4	-	-	-	-	-	Remain	198	A6061P-T6
KOBE A4047-WY	12.0	-	-	-	-	-	Remain	237	A6061P-T6
KOBE A5183-WY	-	-	0.64	5.0	0.07	0.07	Remain	289	A5083P-0
KOBE A5356-WY	-	-	0.14	5.0	0.12	0.11	Remain	289	A5083P-0
KOBE A5554-WY	-	-	0.68	2.8	0.12	0.12	Remain	236	A5454P-0

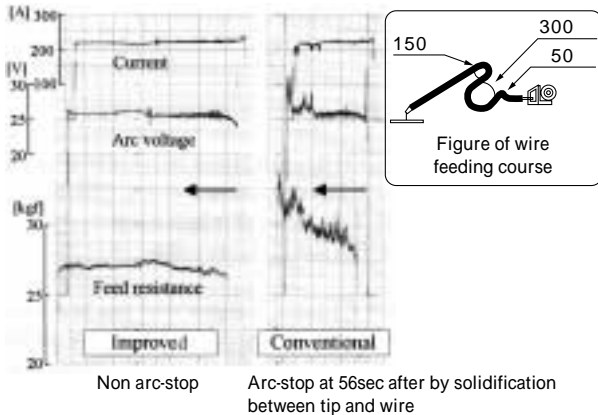


図8 アルミニウム合金ミグ溶接ワイヤの改良品と従来品の送給性比較

Fig. 8 The comparison of wire feedability of aluminum alloy MIG wire between improved and conventional wire

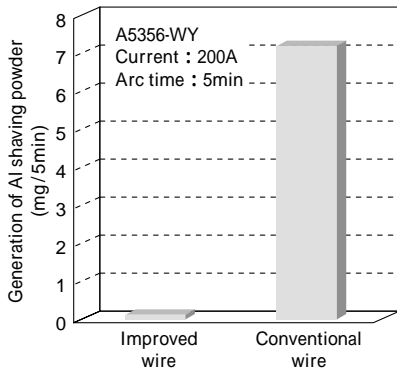


図9 アルミニウム粉発生量の改良点と従来品の比較

Fig. 9 The comparison of generation of aluminum shaving powder between improved and conventional wire

溶接法 (Metal Inert Gas Arc Welding) が溶接ロボットに組合わされ、一般的に採用される傾向にある。当社のミグ溶接用ワイヤの種類と成分例を表5に示す。

アルミニウム合金のミグ溶接ワイヤは鋼溶接ワイヤよりワイヤ抗張力が低いため、座屈変形を起こしやすく、送給性が劣る傾向にある。また、送給ローあるいはコンジットライナの機械的接触によって削り粉が生じやすい。アルミ粉が送給系内に堆積すると送給抵抗の増大、通電チップ/ワイヤ間での融着現象の原因となる。当社では、このようなアルミニウム合金ミグ溶接ワイヤに特有な短所を製造技術の改良により大幅に改善している。図8に改善前後の送給性を、図9にアルミニウム粉発生



写真3 アルミニウム合金ミグワイヤのバック形態

Photo 3 The form of packed MIG wire of aluminum alloys

量の比較を示す。また、ロボット溶接で必要とされる大容量バック形態は、送給性や通電安定性確保の点で技術的に難易度が高かったが、当社では他社に先駆けてアルミニウム合金ミグワイヤの大容量バック製品を開発、上市した(写真3)。ワイヤ交換頻度が低減し、効率化に寄与している。

むすび=自動車向けのマグ・ミグ溶接ワイヤとして、軟鋼用高性能鋼めっき無しマグソリッドワイヤ、高張力鋼溶接用マグソリッドワイヤ、アルミニウム合金溶接用ミグ溶接ワイヤの動向と特性などについて述べた。そのほか当社では、エキゾーストマニホールドやマフラといった排気系に使用されるステンレス用ミグ溶接ワイヤもラインナップしている。当社は、溶接材料のトップメーカーとして自動車に使用される多くの金属の溶接材料を揃えており、今後も積極的に優れた溶接ワイヤの開発を継続し、自動車産業に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 清水弘之: R&D 神戸製鋼技報, Vol.50, No.2 (2000) p.15.
- 2) 鈴木励一: 神戸製鋼所溶接だより 技術がいど, No.368 (2000) p.1.
- 3) (社)日本アルミニウム協会 自動車アルミ化委員会: 第35回 東京モーターショーにおけるアルミニウム化動向調査結果.
- 4) 総合資源エネルギー調査会自主行動フォローアップ合同小委員会 化学・非鉄金属 W.G., (社)日本アルミニウム協会参考資料.