

(論文)

銅めっきなしマグ溶接ソリッドワイヤ「SE ワイヤ」

興石房樹

溶接カンパニー・技術開発部

Non-copper-coated Solid Wire for MAG Welding “ SE Wire ”

Fusaki Koshiishi

A non-copper-coated solid wire for MAG welding SE wire, with good arc stability and excellent wire feedability, was developed. Through spectroscopic analysis and high-speed photographic observation it was clearly verified that droplet transfer was very stable. The stable droplet transfer of non-copper coated wire was proven to reduce the generation of spatters and fumes in welding, thereby greatly improving the welding operation environment.

まえがき = 近年、溶接材料の技術課題の中心は高能率化・自動化などによる溶接のコストダウンであった。これにともない、造船・橋梁でのフラックス入りワイヤや鉄骨・自動車・建機でのソリッドワイヤなど、各産業にマグ溶接ワイヤの適用が定着化してきた。21世紀を迎え、世界的に地球環境維持・改善に対する取組みが高まるなか、溶接材料に対する技術課題も「環境」が一つのキーワードとなってきている。

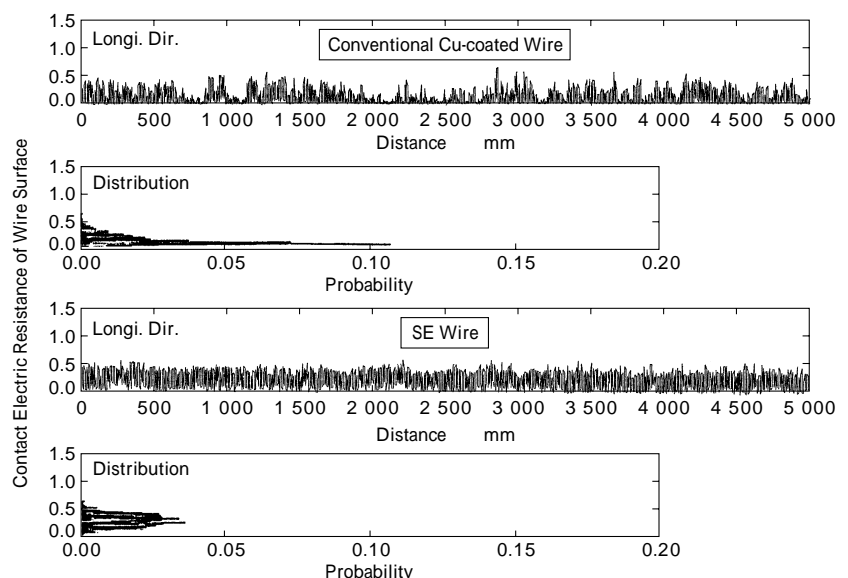
当社では、これを背景として新しく銅めっきなしマグ溶接ソリッドワイヤ「SE ワイヤ」を開発した。SE ワイヤは、ワイヤの高品質性として優れたワイヤ送給性とアーク安定性を有するとともに、銅めっき処理工程を省略できることから地球環境負荷低減に貢献する。さらに、優れたアーク安定性は溶接時のスパッタとヒュームの発生を低減できるなど、溶接作業環境の改善にも貢献する。本稿では、SE ワイヤの環境に対する優れた特性を中心として報告する。

1. SE ワイヤの基本特性

マグ溶接ソリッドワイヤはワイヤ表面に銅めっきを施すことが一般的である。いっぽう、フラックス入りワイ

ヤは世界的に見て、銅めっきを施していないタイプのものが大半である。元来、ワイヤ表面の銅めっきは給電チップでの通電を容易にすることや、製造面での伸線性の確保の点から施されている。しかしながら、廃棄物の低減やエネルギー削減の観点、さらには有害物質の管理の面などからも、銅めっき処理はワイヤの製造工程から是非とも省略すべき工程である。

SE ワイヤは「Smooth」と「Ecology」を追求したマグ溶接ソリッドワイヤである。「Smooth」とは優れたワイヤ送給性とアーク安定性を意味し、これらの特性は今なおマグ溶接ソリッドワイヤにもっとも求められているワイヤ品質である。写真1にワイヤの外観を示すが、SE ワイヤの第一の特徴は銅めっきがないことである。第1図に、従来の銅めっきワイヤとSE ワイヤについて、ワイヤ表面に微小電流を通電したときのワイヤ長手方向の接触電気抵抗を測定した結果を示す。銅めっきワイヤの抵抗値は非常に低い値と比較的高い値で分布しているのに対し、SE ワイヤの抵抗値は高い値で安定している。これは、銅めっきワイヤの表面はミクロ的に見ると、めっき地の裂け目や鉄地の露出した部分が存在しているのに対し、SE ワイヤの表面は全面鉄地であり、しかも製



第1図 ワイヤ表面の接触電気抵抗測定結果
Fig. 1 Contact electric resistance of wire surface



SE Wire Conventional Cu-coated Wire

写真1 SEワイヤの外観
Photo 1 Appearance of SE wire

造工程において非常に均質に仕上げられているためである。

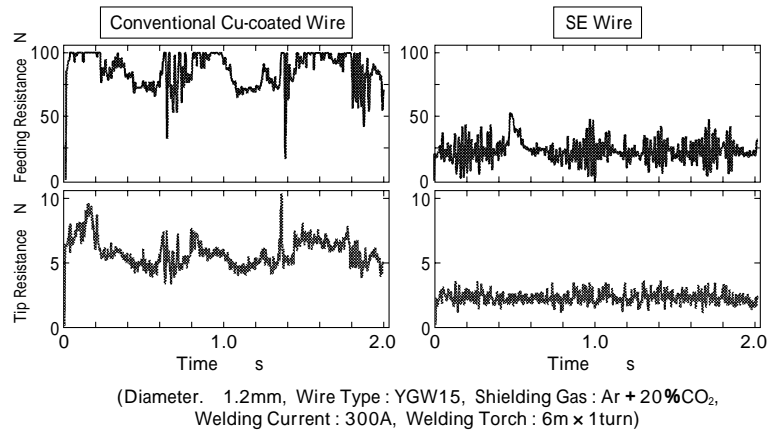
第2図に、6m トーチをもちいた送給系において、溶接時のワイヤ送給性を調査した結果を示す。従来の銅めっきワイヤは給電チップでの抵抗力が高く、全体の送給抵抗力も高くなっているのに対し、SEワイヤは給電チップでの抵抗力がいちじるしく低く、送給抵抗力も低くなっている。このようなSEワイヤの優れた送給性は、第1図に示したワイヤ表面の高位安定した接触電気抵抗が、給電チップでの給電安定性を維持し、チップ融着を低減していることから生まれている。これらの詳細については、別報においてすでに報告している¹⁾。

優れたワイヤ送給性にならぶもう一つのSEワイヤの特長は優れたアーク安定性、つまり溶滴移行の安定性である。これについては、次章において詳細に述べる。

第1表に示すように、現在SEワイヤシリーズとして、軟鋼および490N/mm²級高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤの汎用4品種、SE-50(YGW11), SE-50T(YGW12), SEA-50S(YGW15), SEA-50(YGW16)を揃えている。主な適用業種としては、SE-50は鉄骨・建機、SE-50Tは自動車・製缶、SEA-50Sは建機・産機、SEA-50は産機・自動車などである。

2. 溶滴移行の安定性

溶接作業は「じん肺作業」の一つに指定されるなど3K職場として認識されている。溶接材料開発の面からの脱3Kへの取組みとしては、スパッタの低減ならびにヒュームの低減が古くからの課題であり、これまでに多くの研究・開発がなされている^{2)~4)}。マグ溶接ソリッドワイヤにおいては、スパッタ・ヒュームの低減ともアーク安定性の向上、つまり溶滴移行の安定化がもっとも重要



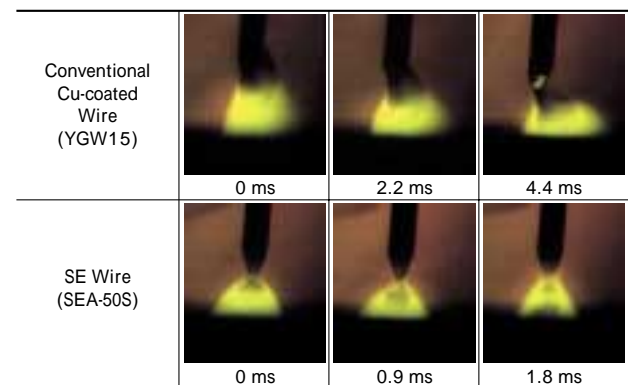
第2図 ワイヤ送給性試験結果
Fig. 2 Test results of wire feedability

な技術要素である。以降、SEワイヤの代表としてAr + CO₂高電流用のYGW15タイプワイヤを中心に、溶滴移行の安定化ならびにスパッタ・ヒュームの低減について述べる。なお、以下の試験に供しているYGW15タイプの銅めっきワイヤならびにSEワイヤの化学組成は同一のものである。

2.1 溶滴移行性の評価

溶滴移行とは、消耗電極式のアーク溶接において、アーク空間を通して電極先端から母材側へ熔融金属が移行する現象である。この溶滴移行は溶接ワイヤの化学組成・ガス組成・溶接電流によって変化する。マグ溶接ソリッドワイヤの場合、比較的低い電流の溶滴移行は電極先端の溶滴と母材との短絡をとまなう短絡移行となり、比較的高い電流においては短絡をとまなわない自由移行となる。とくにAr主体のシールドガスの場合の自由移行は溶滴が小粒であるスプレー移行となる。

写真2に高速度カメラによるYGW15タイプワイヤの

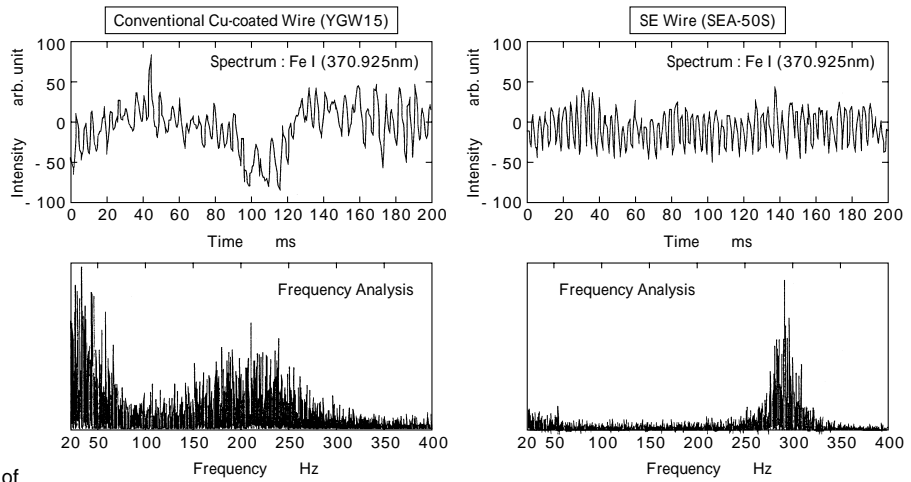


(Diameter: 1.2mm, Wire Type: YGW15, Shielding Gas: Ar + 20%CO₂, Welding Current: 260A)

写真2 溶滴移行の高速度写真
Photo 2 High speed photograph of droplet transfer

第1表 SEワイヤシリーズ
Table 1 Series of SE wire

Trade Name	Classification (JIS Z3312)	Shielding Gas	Application
SE-50	YGW11	CO ₂	Welding of Mild Steel and 490N/mm ² High Tensile Steel by Higher Welding Current
SE-50T	YGW12	CO ₂	Welding of Mild Steel and 490N/mm ² High Tensile Steel by Lower Welding Current
SEA-50S	YGW15	Ar + CO ₂	Welding of Mild Steel and 490N/mm ² High Tensile Steel by Higher Welding Current
SEA-50	YGW16	Ar + CO ₂	Welding of Mild Steel and 490N/mm ² High Tensile Steel by Lower Welding Current



第3図 溶滴移行の分光法解析
Fig. 3 Spectroscopic analysis of droplet transfer

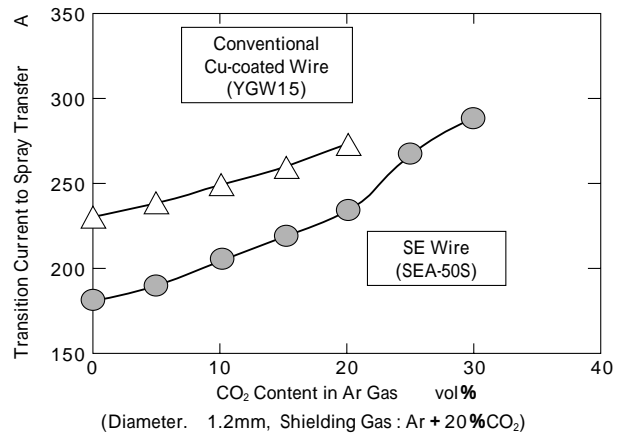
(Diameter: 1.2mm, Shielding Gas: Ar + 20%CO₂, Welding Current: 260A)

溶滴移行観察結果を示す。電流は260Aであり、従来の銅めっきワイヤでは短絡移行とスプレー移行の境界に近い電流である。写真2からわかるように、従来の銅めっきワイヤの溶滴は大きくなる傾向があり、微小な短絡が発生する場合がある。それに対し、SEワイヤの溶滴は非常に小粒であり、短絡のないスプレー移行となっている。

溶滴移行特性をさらに定量的に評価するために、分光法により鉄の発光スペクトルの強度変化の測定ならびに周波数解析をおこなった。この分光法は、スプレー移行のような短絡をともしない溶滴移行の定量的評価に適している。その結果を第3図に示すが、従来の銅めっきワイヤの溶滴移行周期は200Hz付近を中心に鈍いピークがあるのに対し、SEワイヤの溶滴移行周期は300Hz付近に鋭いピークがある。つまり、SEワイヤの溶滴は小粒でかつきわめて規則的であることがわかる。

第4図にArガス中のCO₂ガスの比率を変化させてスプレー移行となる臨界の電流について調査した結果を示す。CO₂ガスの比率の低下とともにスプレー化電流が低下する傾向が認められるとともに、従来銅めっきワイヤと比較してSEワイヤのスプレー化電流は30A程度低下している。このスプレー化電流の低下は、SEワイヤの溶滴移行が規則的でかつ小粒化しやすいことに起因している。

SEワイヤの溶滴移行の規則性は、前章で述べたワイヤ表面の高位安定した接触電気抵抗からくるチップ給電安定性により、ワイヤの溶融がきわめて安定しているた



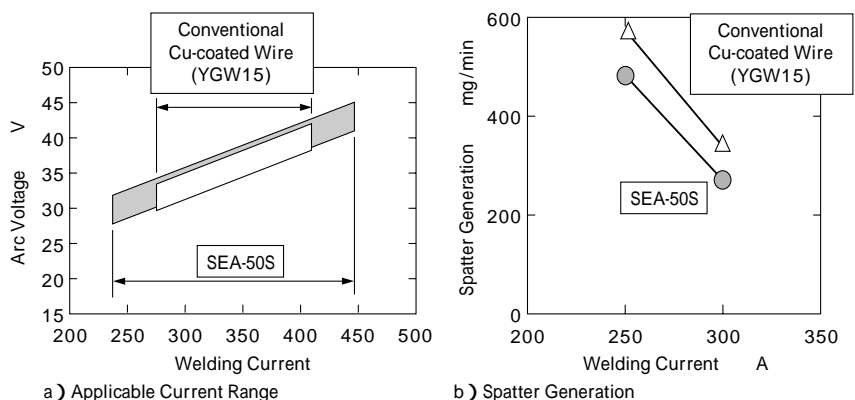
第4図 スプレー移行電流
Fig. 4 Transition current to spray transfer

めである。また、溶滴が小粒化する理由としては、溶滴の表面張力が関与している⁵⁾。つまり、銅めっきがないことにより溶滴への酸素の侵入が容易になり、溶滴の表面張力を低下させているためと推測される。

2.2 スパッタの低減

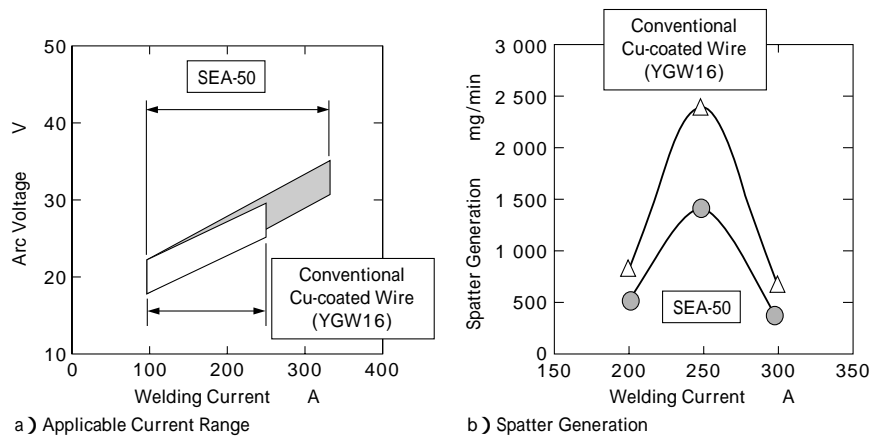
第5図にYGW15タイプワイヤの溶接特性として、良好な溶接が可能な電流範囲とスパッタ発生量の測定結果を示す。従来の銅めっきワイヤと比較して、SEA-50Sは適用可能な電流範囲が下限および上限とも広がっている。下限が広がることは前節で示したスプレー化電流が低下することに起因しており、上限が広がることは優れたワイヤ送給性に起因している。

スパッタ発生量に関しても、従来の銅めっきワイヤと



第5図 SEA-50Sの溶接特性
Fig. 5 Weldability of SEA-50S

(Diameter: 1.2mm, Shielding Gas: Ar + 20%CO₂)



第6図 SEA-50の溶接特性
Fig. 6 Weldability of SEA-50

(Diameter: 1.2mm, Shielding Gas: Ar + 20%CO₂)

比較して、SEA-50Sは少なくなっている。これまでは、マグ溶接ソリッドワイヤのスパッタ低減化といえ、使用するシールドガスや電流条件に応じたワイヤ組成の最適化をおこなってきた。しかしながら、SEワイヤでは銅めっきなしをベースとしたチップ給電安定性からスパッタ低減化を実現した。第6図にYGW16タイプワイヤの溶接特性を示すが、YGW15タイプワイヤと同様に、従来の銅めっきワイヤと比較して、SEA-50は広い電流範囲でスパッタの低減化が達成できている。

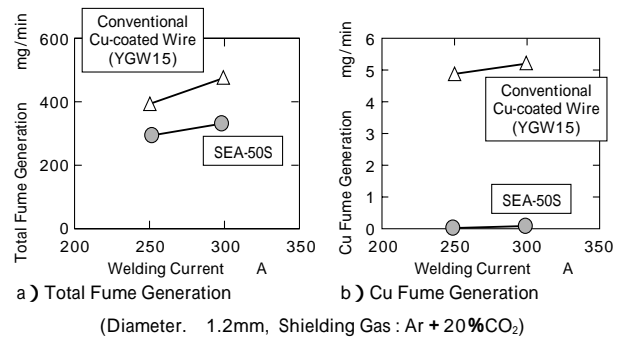
2.3 ヒュームの低減

第7図にYGW15タイプワイヤのヒューム発生量とそのなかに含まれる銅ヒューム発生量を測定した結果を示す。従来の銅めっきワイヤと比較して、SEA-50Sの溶接時のヒューム発生量は少なくなっている。マグ溶接ソリッドワイヤの溶接時のヒューム発生機構としては、溶滴移行に際して高温の金属蒸気がアークの中から吹き出され、蒸気全体が急速に酸化をともないながら冷却固化してヒュームが発生する⁶⁾。したがって、SEA-50Sの場合、溶滴移行が規則的かつ小粒化されていることにより金属蒸気の吹き出し量が少なくなり、ヒューム発生量が低減していると推測される。

SEA-50Sの銅ヒュームに関しては、銅めっきがないことにより発生量が皆無に近くなっている。日本産業衛生学会では、今のところ銅の許容濃度に対する勧告はないが、ACGIH-TLV（米国産業衛生専門家会議による許容濃度）では0.2mg/m³、OSHA-PEL（米国の労働省労働安全衛生局による許容暴露限界）では0.1mg/m³と、非常に低い濃度で銅の濃度を管理するように勧告されている。実際には、防塵マスクなどの呼吸用保護具やヒューム吸引装置の使用などによる適切な対策をおこなえばこの許容濃度を超えることはないが、銅ヒューム発生が皆無に近いSEワイヤはヒュームの低害化が図れている。

2.4 ヒューム・スパッタのさらなる低減

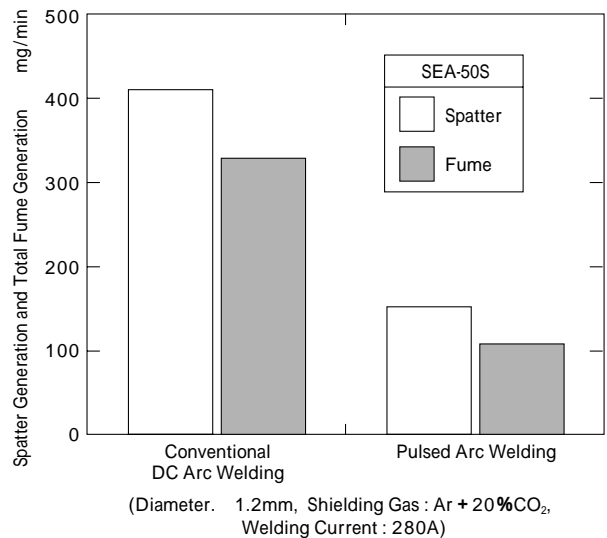
パルスアーク溶接⁷⁾やシールドガス組成との組合せによっても溶滴移行の安定化を図ることができる。第8図にSEA-50Sの溶接にパルスアーク溶接を適用したときのスパッタ発生量とヒューム発生量を調べた結果を示す。通常の直流アーク溶接にくらべて、パルスアーク溶接ではスパッタ・ヒュームとも低減化が達成できている。



第7図 ヒューム発生量と銅ヒューム発生量

Fig. 7 Total fume generation and Cu fume generation

(Diameter: 1.2mm, Shielding Gas: Ar + 20%CO₂)



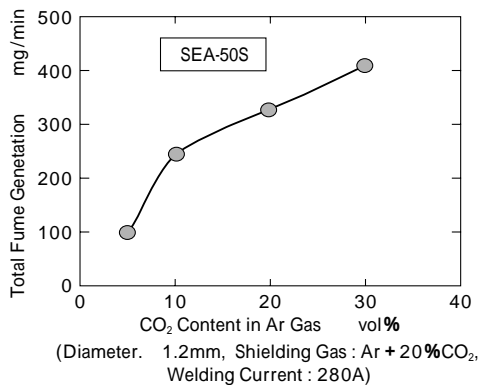
第8図 スパッタ発生量とヒューム発生量に対するパルスアーク溶接の効果

Fig. 8 Effect of pulsed arc welding on spatter generation and total fume generation

(Diameter: 1.2mm, Shielding Gas: Ar + 20%CO₂, Welding Current: 280A)

る。これは、パルスアーク溶接との組合せにより、同電流条件においてさらに溶滴が小粒化できているためと考えられる。

また、第9図にSEA-50SをもちいてArガス中のCO₂ガスの比率を変化させたときのヒューム発生量について調査した結果を示す。CO₂ガスの比率の低下とともにヒューム発生量が少なくなっている。このように、SEワイヤと溶接法（溶接電源）やシールドガスとの組合せによりさらなる溶接作業環境の改善が可能となる。ただし、



第9図 ヒューム発生量に及ぼすシールドガス組成の影響
Fig. 9 Influence of shielding gas composition on total fume generation

パルスアーク溶接の適用やシールドガス組成の変更は、母材への溶込みや耐気孔性などに影響を及ぼすため適用範囲の確認が必要である。

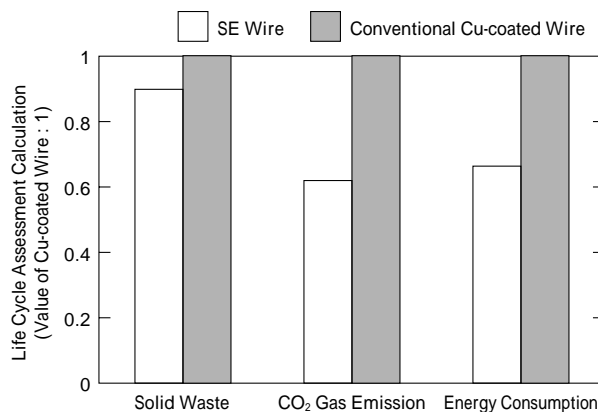
以上のように、SE ワイヤは、その溶滴移行の安定性からスパッタ・ヒュームの低減が可能であり、溶接作業環境の改善に大きく寄与する。

3. 地球環境への対応

地球環境の観点から、溶接材料の開発においても、エネルギー消費の低減、廃棄物の削減、リサイクルの推進、CO₂ 排出の低減など環境維持・改善に努めていかなければならない³⁾。製品の地球環境への負荷を評価する手法として、ライフサイクルアセスメント(以下 LCA)がある。LCA は原料の調達・製造・使用・廃棄に至るすべてのプロセスにおいて定量的な評価をおこなうものであり、今後は LCA を意識した製品設計が重要となる。SE ワイヤは、銅めっき処理工程を省略するなど、「Ecology」を追求した製品であり、この LCA に優れている。

第10図に、従来の銅めっきワイヤと SE ワイヤに関して、LCA の比較をおこなった一例を示す。銅めっきワイヤと比較して、SE ワイヤの LCA は固形廃棄物、CO₂ 排出、エネルギー消費のいずれの点においても勝っており、地球環境への負荷が非常に小さいマグ溶接ソリッドワイヤといえる。他の溶接材料と比較した場合でも、溶接スラグを固形廃棄物として考慮すると、被覆アーク溶接棒やフラックス入りワイヤは廃棄物の点で劣ってくることになる。SE ワイヤは全溶接材料のなかで、もっとも地球環境に優しい溶接材料といえる。

地球環境の面からは、溶接材料の包装材料のリサイクルも重要な課題である。具体的には、大容量のペールパック容器(100~400kg のワイヤを収める円筒形容器、JIS Z3391)やプラスチックプールが対象となり、ペールパックに関しては回収・再利用が進んでいるが、プラスチックプールに関しては大きな問題となってい



第10図 マグ溶接ソリッドワイヤの LCA 計算の一例
Fig. 10 Example of life cycle assessment calculation for MAG welding solid wires

る。欧州においては、脱プラスチック化として鋼製スプール(バスケットスプール)の使用が増加してきており、国内においても検討が始まっている⁴⁾。総合的には、包装材料も含めた取組みが今後の課題である。

むすび=SE ワイヤは、溶滴移行の安定性によりスパッタ、ヒュームの低減化が達成でき、溶接作業環境の改善が図れるマグ溶接ソリッドワイヤである。また、銅めっき処理をおこなわないことなどから地球環境負荷低減にも貢献する。

SE ワイヤは、すでに鉄骨・建機・自動車などの各種産業において実用化されており、ワイヤ送給性や低スパッタ・低ヒュームの面で高い評価を受けている。とくにロボット溶接においては、銅めっきくずに起因していた給電チップでの融着が激減するなど、稼働率向上に大きく寄与している。また、ISO14000 シリーズやグリーン調達の面からも SE ワイヤに対する関心が寄せられている。

SE ワイヤは、高品質な溶接特性から溶接のトータルコストダウンを果たし、溶接作業環境改善も含めた環境対応型の溶接材料として、広く適用されていくことが期待される。

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) M. Ushio: Transaction of JWRI, Vol.19, No.1 (1990) p.1.
- 3) 黒川剛志ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.45, No.1(1995) p.17.
- 4) 菅 哲男: 溶接学会誌, Vol.67, No.8 (1998) p.38.
- 5) 横田泰之ほか: 溶接学会全国大会, 第67集秋 (2000) p.372.
- 6) 菅 哲男ほか: 溶接学会論文集, Vol.2, No.2 (1984) p.221.
- 7) 松縄 朗: 溶接学会誌, Vol.53, No.6 (1984) p.285.
- 8) B. Pekkari: 溶接学会誌, Vol.68, No.8 (1999) p.47.