

(技術資料)

# 高能率溶接プロセス搭載ハイエンド溶接機 SENSARC™ RA500

中司昇吾\*<sup>1</sup>・小川 亮\*<sup>1</sup>・佐藤英市\*<sup>1</sup>・徐 培尔\*<sup>1</sup>・関口翔太\*<sup>1</sup>

## Welding Machine “SENSARC™ RA500” with Highly Efficient Welding Processes

Shogo NAKATSUKASA・Akira OGAWA・Eiji SATO・Baini JO・Shota SEKIGUCHI

### 要旨

高能率プロセスを搭載したアーク溶接機 SENSARC™ RA500 を開発した。現行機種 SENSARC™ AB500 を包含する上位機種として 2021 年夏に販売を開始した。当社が得意とする建築鉄骨、建設機械、橋梁、車両などの中厚板の自動溶接に適した高能率プロセスと機能を備えたハイエンド溶接機である。本稿では、能率を拡大したパルス MAG 溶接法、さらなる低スパッタ化を実現した REGARC™、高速溶接に特化したタンデム溶接法など、SENSARC™ RA500 に搭載した高能率溶接法について紹介する。

### Abstract

SENSARC™ RA500 is an arc-welding machine newly developed with highly efficient processes. It was launched in the summer of 2021 as a higher-end model encompassing the current SENSARC™ AB500. This high-end welding machine is equipped with highly efficient processes and functions suitable for automated welding of medium-to-thick plates for, for example, architectural steel frames, construction machinery, bridges, and vehicles, which are Kobe Steel's specialty. This paper introduces the highly efficient welding methods realized by SENSARC™ RA500, including pulsed MAG welding with expanded efficiency, REGARC™ with even lower spatter, and tandem welding specialized for high-speed welding.

### 検索用キーワード

溶接電源、高能率、高溶着、低スパッタ、中厚板、建設機械、鉄骨、溶接システム

まえがき = 建築鉄骨や建設機械など、板厚が大きく、多層溶接による製罐を行う大型溶接構造物では、溶接量が多く溶接工程が長時間になるため、常に高能率化が求められている。また、比較的板厚が小さく、1パスすみ肉溶接を主とする業種では、溶接速度の向上による高能率化のニーズが強い。ただし、高速溶接時に生じる溶接欠陥やビード外観の劣化、スパッタ発生量増加など、溶接品質との両立が必要となり、技術課題も多い。これらの課題解決のために、当社は自社製品である溶接材料・溶接ロボット・溶接機のトータルソリューションを提案し

ている。

本稿では、溶接ロボットシステムの中核的役割を果たし、課題解決に貢献できる、さまざまな高溶着溶接プロセスを搭載した新型ハイエンド溶接機 SENSARC™<sup>注1)</sup> RA500 (以下、RA500 という) を紹介する (図 1)。

### 1. RA500 の特徴

当社のアーク溶接ロボットは、1980 年代初頭から中厚板分野を中心に、国内外の顧客において数多く採用されている。当分野の溶接システムに求められるニーズとして①能率の向上 (サイクルタイム短縮、稼働率の向上)、②高品質の溶接施工、③自動化の拡大が挙げられる。能率向上では、一般的にロボットが稼働する時間の 7~8 割を占めるアークタイムが重要になる。アークタイムを短縮するためには、溶着速度を上げるべく溶接電流の出力上限を拡大し、それに見合った溶接電流波形の制御が溶接電源に求められる。

#### 1.1 溶接電源

新溶接電源 RA500 と従来機種である溶接電源 SENSARC™ AB500 との仕様例を比較して表 1 に示す。基本性能では、RA500 はパワー回路および筐体 (きょう



図 1 溶接電源 SENSARC™ RA500 の外観図

Fig.1 Outside viewing of welding power source SENSARC™ RA500

脚注 1) SENSARC™ は当社の登録商標である。

\*<sup>1</sup> 溶接事業部門 技術センター

表 1 開発機と従来機の仕様比較

Table 1 Comparison of specifications between development machines and conventional machines

	RA500	AB500
Rated output	100%-500 A DC-CV 100%-450 A PULSE 60%-500 A PULSE	90%-500 A DC-CV 100%-400 A PULSE 40%-500 A PULSE
Physical dimensions	W386×D629×H810(mm) 71(kg)	W370×D663×H685(mm) 69(kg)
Temperature range	Operation -10°C to 40°C	Operation -10°C to 40°C
Controller	Control cycle : 12.5μs Sampling cycle : 2 MHz	Control cycle : 50μs Sampling cycle : 40 KHz
Connectable device	Welding robot Welding carriage	Welding robot
Industrial network	EtherCAT Ethernet/IP	CANopen

たい) 設計を見直し, 100%使用率を大幅に拡大させた点に大きな違いがある。直流定電圧溶接法は450 Aから500 A, 直流パルス溶接法は400 Aから450 Aに拡大し, 大電流領域での効率向上が可能になっている。後述するが, 拡大した直流パルスの大電流域に新たな出力制御を採用し, 高能率かつ高品質な溶接を実現している。

パワー回路の制御部は制御周期12.5μs (従来比4倍), フィードバックサンプリング周波数は2 MHz (従来比50倍) に高めた出力制御とした。これにより, アーク長や溶滴移行をより精密に制御することができ, さまざまな溶接材料の特性や溶接施工に合わせた溶接が可能になった。

溶接電源本体の外形寸法は, 従来機種 AB500 よりも高さが125 mm 増加しているが, 接地面積比率は同等程度としている。パワー回路の発熱部および電子回路の制御部と冷却部は, 完全に分離配置させることにより, パワー回路と電子回路の防塵 (ぼうじん) 性を高めている (図 2)。強制空冷はサイドフロー構造 (側面から吸気して前面背面から排気する) を採用し, 冷却能力を向上させている。例えば, 従来機種では周囲遮蔽物との距離が300 mm 必要であったが, 特定の条件下において RA500 では50 mm で使用率を満足することができる。さらに, メンテナンス性を考慮して, ヒートシンクの清掃を前面パネルから行える構造としている。これにより, ロボットシステムから溶接電源を移動させることなく, 容易に清掃が行える (図 3)。

### 1.2 送給装置

送給装置は, 溶接回路との不用意な接触から保護するフルカバー構造とし, ワイヤ送給装置の規格 JIS C 9300-5 最新版を満足している (図 4)。

加えて, 送給モータの防塵性を高めて IP 規格保護等級は IP53 とした。送給装置としての性能も向上させており, 定格負荷トルクは約13%増加し, 耐久時間は従来機種の1.5倍になっている (負荷1.5 Nm, 送給速度22 mpm)。このように, 安全性, 防塵性, 耐久性を兼ね備えた送給装置になっており, 長時間の連続溶接に耐えうる十分な性能を確保しつつ, 最大30 mpmの送給速度を実現している。

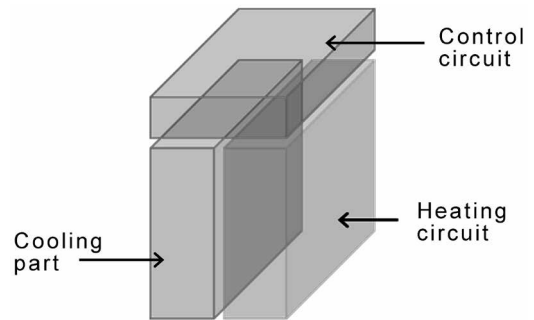


図 2 溶接電源内部のレイアウト  
Fig.2 Layout inside the welding power source



図 3 サイドフローの構造  
Fig.3 Side flow structure

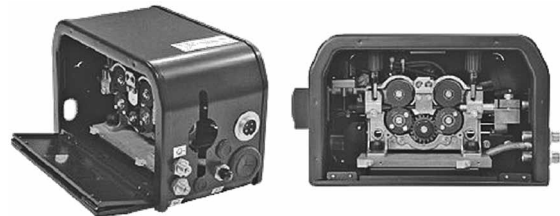


図 4 送給装置の外観図  
Fig.4 Outside viewing of wire feeder

## 2. 溶接プロセス

### 2.1 標準溶接モード

アーク溶接機は, 汎用的な軟鋼用溶接材料を中心にそれぞれの材料特性に合わせた溶接モードを搭載している (表 2)。RA500では, ルチル系とメタル系を区別して, それぞれにフラックス入りワイヤの溶接モードを設ける

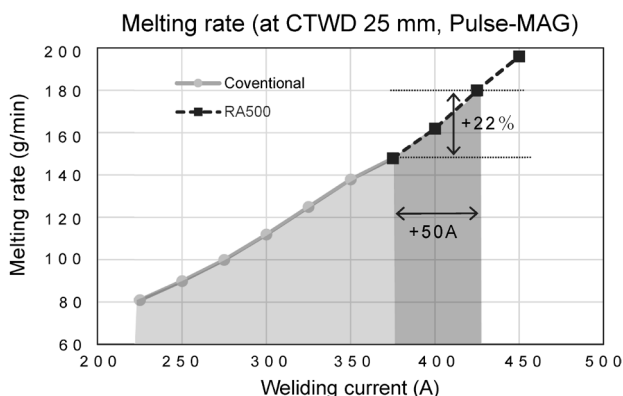
ことにより、よりきめ細かい出力制御による溶接品質の向上を目指した。軟鋼以外の溶接材料に対しても、必要に応じて溶接モードを拡張して搭載することができる。

100%使用率の拡大に伴い、直流パルス溶接では400 A超の電流条件により高能率化を可能にした。一例として、ソリッドワイヤφ1.2 mmの高効率化効果を図5に示す。RA500の最大溶融速度はこれまでの150 g/minから185 g/minと約20%向上し、高能率の溶接施工が可能になった。なお、直流パルス溶接の100%使用率は450 Aであるが、φ1.2 mmワイヤの送給速度の高速化による送給系消耗品への負担や溶融金属の安定性を考慮すると、溶接電流は430 A程度が上限と考えられる。また、一般的に400 A超の溶接条件下では、パルス溶接であっても細かなスパッタの付着が見られるが、RA500ではこの領域に最適なパルス出力制御を採用しており、付着スパッタ量を限りなく低減させている(図6)。

高能率化の具体例として、板厚16 mm、50° V形開先突き合わせ溶接のアークタイム試算結果を図7に示す。

表2 標準搭載の溶接モード  
Table 2 Built-in welding mode

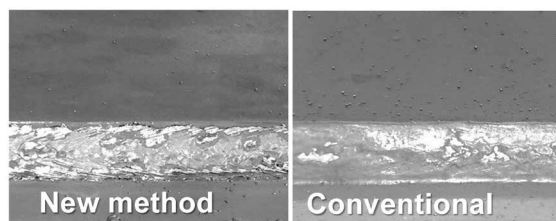
Welding method	GAS	Wire materials	Wire diameter (mm)
DC-CV	CO <sub>2</sub>	MILD STEEL(SOLID)	1.2, 1.4, 1.6
		MILD STEEL(Rutile-FCW)	1.2, 1.4,
		MILD STEEL(Metal-FCW)	1.2, 1.4,
	Ar+CO <sub>2</sub>	STAINLESS(FCW)	1.2
PULSE	Ar+CO <sub>2</sub>	MILD STEEL(SOLID)	1.2
		MILD STEEL(SOLID)	1.2, 1.4



Ar80%+CO<sub>2</sub> solid wire, φ1.2 mm,

図5 溶接電流とワイヤ溶融速度の関係

Fig.5 Relationship between welding-current and wire melting rate



Pulse-MAG, WFR:22 mpm, CTWD: 25 mm  
Travel: 350 mm/min, Solid wire: φ1.2 mm, Conditions: 430 A

図6 付着スパッタ量の低減

Fig.6 Adhesive spatter reduced by new method

初層は溶け込みの確保、仕上げ層は外観を重視し、主に中間層に対して最大溶融速度を適用した例である。中間層の割合が最も小さいこの例においても、AB500に比べて約13%のアークタイムの短縮が見込める。

## 2.2 新パルス制御

RA500では、ソリッドワイヤの直流パルスモードに新開発のパルス制御を採用しており、小電流から大電流まで全領域において安定したパルスアーク溶接を実現している。この新パルス制御は、とくにφ1.4 mmのパルスMAG溶接で効果が発揮される。従来のパルス制御では、ベース時間変調(図8)によりアーク長制御を行っていたが、RA500のアーク長制御では大電流領域にピーク電流変調(図9)を採用している。具体的には、450~500 A以下ではベース変調制御、450~500 A以上ではピーク変調制御を適用している(図10)。これにより、これまで課題であった500 A超の大電流溶接における溶融プールの振動を抑制し(図11)、止端の整ったビードを形成することができる。また、母材に付着するスパッタも少ない(図12)。ただし、大電流領域では溶滴移行がローテーション移行になることもあり、シールドガスの乱れによる大気由来の気孔欠陥が発生しやすいため、十分な注意が必要である。

この新パルス制御プロセスにおける適正の溶接電流の上限は560 A程度(ワイヤ径φ1.4 mm、並列仕様の場合)と考えられる。このとき、ワイヤ溶融速度は約260 g/minになる。安定したビード形成の限界が500 A程度であるAB500に比べて、ワイヤ溶融速度は約20%向上する。これ以上の出力増加も可能であるが、溶融金属が先行して流れるなど溶融プールの制御が困難となるため、推奨できない。溶融速度と出力電流の関係を図13に示す。

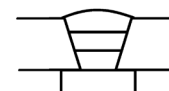
具体例として、板厚16 mm、50° V形開先突き合わせ溶接のアークタイム試算結果を図14に示す。AB500に対して約14%のアークタイムの短縮が見込まれる。

## 2.3 タンデムMAGパルス

タンデムMAGパルス溶接は、当社の高能率溶接法として最も歴史ある溶接法であり、溶接機の開発・改良とともに進化を続けている。AB500のタンデムモードでは、後行極は先行極と同期してパルス出力することにより、二電極でも単電極と同等のアーク安定性を実現している。これに対して、RA500では後行極の制御を見直し、

	Pass	Welding current [A]	Welding travel [mm/min]	Wire feed rate [m/min]	Melting rate [g/min]	ARC time [min/m]
RA500	1	280	280	12	105	10.6
	2	430	290	22	190	
	3	400	290	20	173	
AB500	1	280	250	12	104	12.0
	2	380	250	18	154	
	3	380	250	18	154	

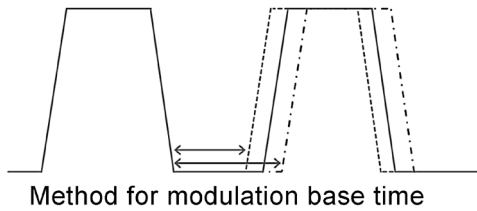
80%Ar+CO<sub>2</sub> DC-PULSE  
φ1.2 mm, YGW15  
CTWD: 25 mm



T: 16 mm  
V: 50°  
GAP: 5 mm

図7 突き合わせ継手の能率比較例

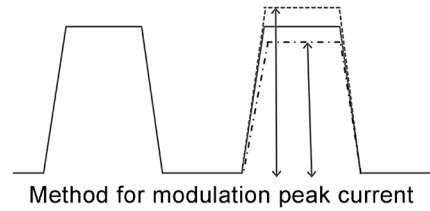
Fig.7 Comparative examples of efficiency of butt welding



Method for modulation base time

図8 従来法 (ベース時間変調方式)

Fig.8 Conventional method (modulating base-time)



Method for modulation peak current

図9 新方式 (ピーク電流変調方式)

Fig.9 New method (modulating peak-current)

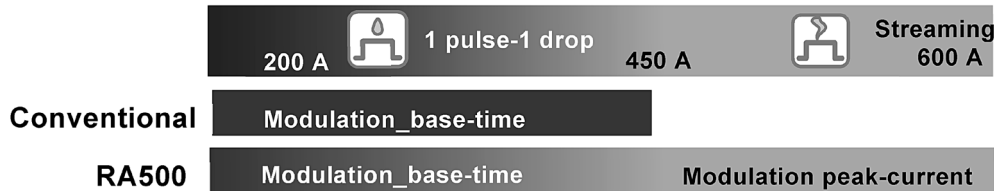
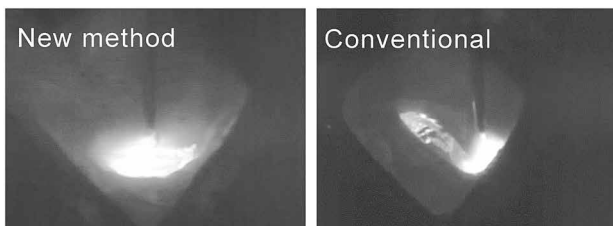


図10 新パルス制御の適用イメージ

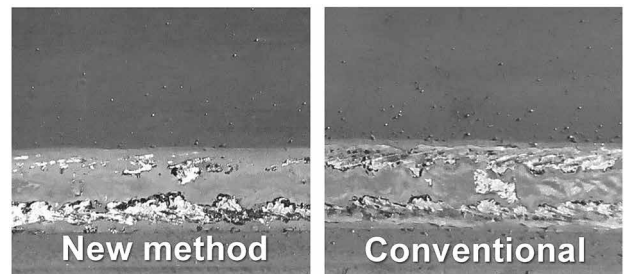
Fig.10 Application image of new pulse control



Welding current: 600 A, Wire feed rate: 24 mpm  
Solid wire (YGW11)  $\phi$  1.4 mm, CTWD: 30 mm

図11 新パルス制御と従来制御の比較

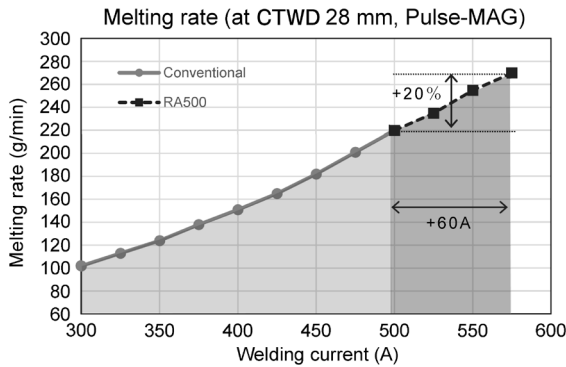
Fig.11 Comparison between new pulse control method and conventional pulse control method



Pulse-MAG, WFR: 20 mpm, CTWD: 30 mm  
Travel: 350 mm/min, Solid wire:  $\phi$  1.4 mm, Conditions:550 A

図12 ビードの外観

Fig.12 Appearance of welding bead



Ar80%+CO<sub>2</sub>, Solid wire:  $\phi$  1.4 mm, YGW15

図13 溶接電流とワイヤ溶融速度

Fig.13 Welding current and wire melting-rate

	Pass	Welding current [A]	Welding travel [mm/min]	Wire feed rate [m/min]	Melting rate [g/min]	ARC time [min/m]
RA500	1	280	350	9	109	8.6
	2	560	350	22	260	
	3	450	350	16	189	
AB500	1	280	350	9	109	9.8
	2	500	290	18	213	
	3	450	285	15	177	

80%Ar+CO<sub>2</sub>, DC-PULSE  
 $\phi$  1.4 mm, YGW15  
CTWD: 28 mm



図14 突合せ継手の能率比較例

Fig.14 Efficiency comparison example of butt welding

さらなるアーク安定性を実現している。なお、RA500 タンデム溶接システムは2022年6月に発売を開始している。

また、RA500のタンデムモードは、ソリッドワイヤに加えて、フラックス入りワイヤによるタンデム溶接モードも搭載している。タンデム溶接法は二電極により電極を分割しているため、同一溶融速度のシングル溶接に比べて高速溶接性が優れる特徴を持つ。しかし、さらに高速化させるとビードが凸形状になりやすいこと、溶着量増加に伴う溶融プールの不安定化が課題になる。いっぽう、フラックス入りワイヤを用いると、このワイヤの溶

滴移行での特徴であるフラックス柱の効果により、400 A以上の高電流領域においても電極同士が干渉せずに安定したストリーミング移行を維持することができる。この作用により溶融プールの挙動が抑制され、脚長8 mm、溶接速度1,000 mm/minの高速溶接においてもフラットなビードが形成できる(図15)。また、高溶着用途にも対応することができ、 $\phi$  1.3 mmの低スラグ系フラックス入りワイヤを用いた場合、先行極430 A - 後行極400 Aの条件で約350 g/minの溶着量となり、これは当社が提案する施工法において最も溶着量の多いプロセスにあたる(図16)。

フラックス入りワイヤを使用する他のメリットとして、ソリッドが用いられるタンデム溶接では通常直流パルス溶接法が用いられるが、フラックス入りワイヤによるタンデム溶接モードでは、フラックス柱の作用により定電圧直流溶接法が適用できる。このため、施工条件の設定が直流パルス溶接法と比較して容易であり、さらに直流パルス溶接法の適用は必須でないため、チップ摩耗による給電の不安定化も生じにくい(表3)。

## 2.4 New REGARC™<sup>注2)</sup>

鉄骨溶接では、シールドガスに比較的安価な炭酸ガスを用い、能率を高めるために高電流で溶接することが主流である。とくに、高電流域では溶滴が不規則なグローブユール移行となるため、スパッタ発生量が増加するという課題を長年抱えていた。この課題を解決するために、当社が開発したREGARC™溶接法では、炭酸ガスアーク溶接における溶滴形成・離脱過程の各タイミングにお

いて、溶接電流を特殊なパルス波形にすることにより溶滴の押し上げを抑制している。これにより、溶滴が大きく成長する前に規則正しく溶融池に移行させることができる。短絡および大粒スパッタの飛散を抑制している溶接法であり、適用先が急激に拡大している<sup>1)</sup>。

RA500では、従来REGARC™溶接法の出力波形およびアーク長制御を改良した新出力制御によりさらなる低スパッタ化を実現している(図17)。

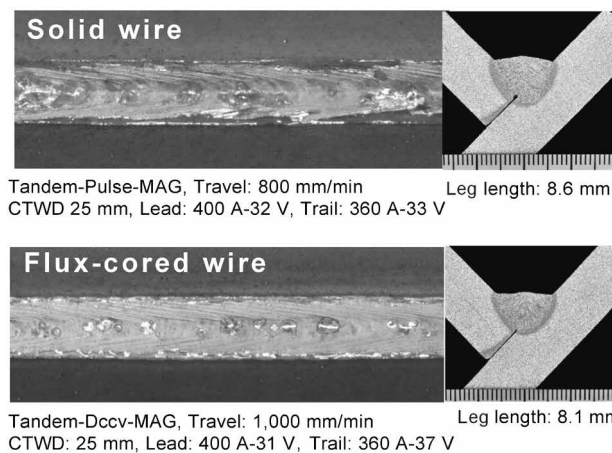


図15 タンデム溶接法の一例  
Fig.15 Example of tandem welding method

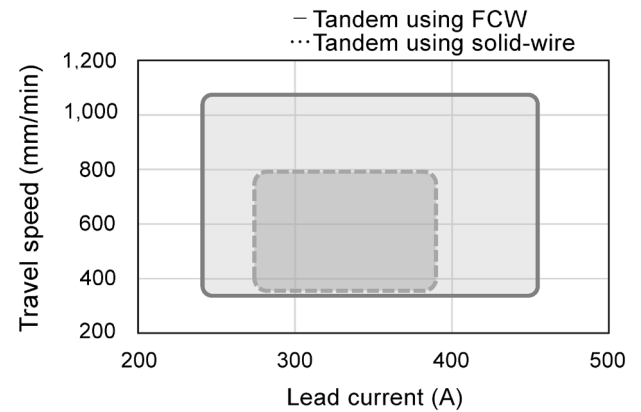


図16 FCWを用いたタンデム溶接法の適用範囲  
Fig.16 Applicable range of tandem welding method using FCW

表3 フラックス入りコアードワイヤの優位性  
Table 3 Advantages of flux-cored wire

	Solid wire	Flux-cored wire
Welding method	Pulse	DC-CV
Bead appearance	△	○
Tip durability	△	○
High speed welding	△	○
Versatile	△	○

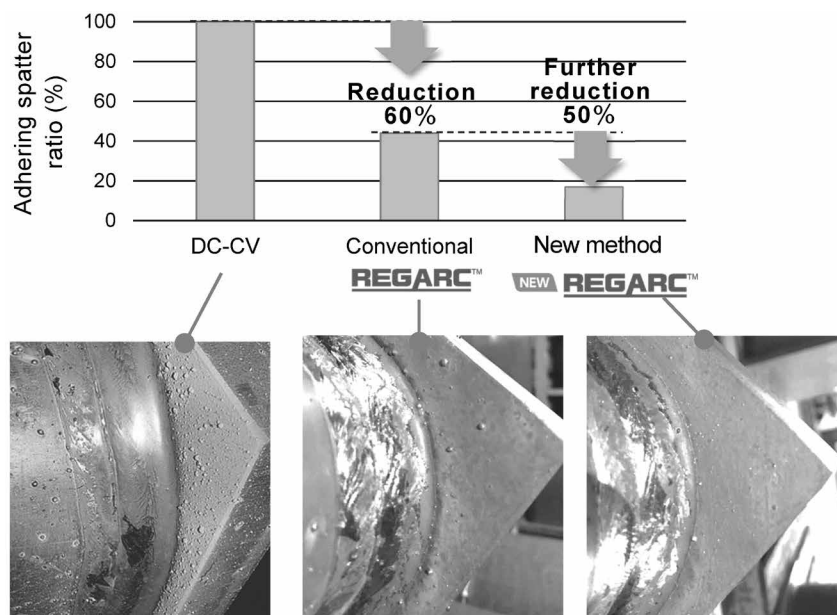


図17 New REGARC™による付着スパッタ量の低減  
Fig.17 Reduced adhesive spatter amount in new REGARC™

脚注2) REGARC™は当社の登録商標である。

表4 ロボットとの組み合わせ機能  
Table 4 Combination function with robot

Maintenance information	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welding operation time</li> <li>• Temperature inside the welding power source</li> <li>• Rotation error of cooling fan</li> <li>• Fine-adjustment of welding ball removal control</li> <li>• Motor overcurrent warning detection level</li> <li>• Voltage detection error sensitivity adjustment</li> </ul>
Welding information	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wire-feed load monitor</li> <li>• Welding current monitor</li> <li>• Welding voltage monitor</li> </ul>

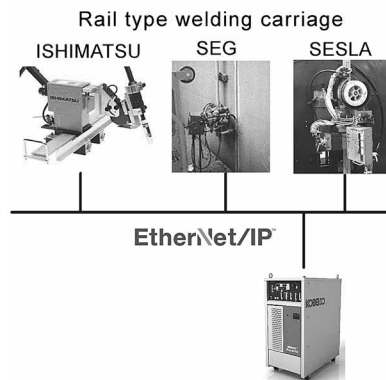


図18 自動溶接装置との接続  
Fig.18 Cooperation with rail-type welding carriage

### 3. アプリケーション

#### 3.1 ロボット機能

RA500は、当社ロボット溶接システムの溶接機として、ロボットとの組合せによる情報収集機能を持つ。溶接機の稼働時間や溶接時間の記録、各種アラーム、溶接電流やワイヤ送給速度負荷等のモニタなど、溶接機のメンテナンスに役立つアプリケーションを備えている（表4）。

#### 3.2 デジタルインタフェース

RA500では、当社の多関節ロボットARCMAN<sup>TM</sup>注3)とのデジタル接続にEtherCATを用いているが、小型可搬型ロボットとのデジタル接続を考慮して複数プロトコルに対応できる設計にしている。一例として、当社石松コントローラとのデジタル接続にはEtherNet/IP<sup>TM</sup>によるシステム化を予定している（図18）。

また、RA500はAnybus<sup>®</sup> CompactComを搭載しているため、各自動機に応じたさまざまな種類のデジタル通信プロトコル（Modbus, DeviceNetなど合計11種類）の開発が可能になっている。デジタル通信インタフェースに対しては、順次通信可能なプロトコルを増やしていく予定である。

このデジタル通信インタフェースおよび前章で説明し

たロボット機能を用いて、自動機接続用途としてアークスタートやクレータ処理などの溶接条件指令機能を搭載している。さらに、各種自動機だけでは実施不可能な溶接情報の記録やモニタリング、将来的には溶接部位ごとに施工記録を閲覧できる機能なども検討している。

むすび=本稿では、新型ハイエンド溶接機SENSARC<sup>TM</sup> RA500を紹介した。本稿で紹介した溶接プロセスや機能に加え、今後も継続的に新たな溶接プロセスの開発を進めていく。2024年度以降の商品化に向けて、短絡フリー型送給制御方式の炭酸ガスプロセス<sup>2)</sup>であるAXELARC<sup>TM</sup>注4)をRA500に搭載する予定である。また、他の機能を拡張しながら、溶接材料・溶接装置とともに、溶接品質と能率向上に向けた課題解決に貢献していく所存である。

#### 参考文献

- 1) 山崎 圭ほか、溶接学会全国大会講演概要. 2010-04-20/22, 溶接学会, 2010, p.138-139.
- 2) 北村佳昭ほか、溶接学会全国大会講演概要. 2022-09-08/10, 溶接学会, 2022, p.282-283.

脚注 3) ARCMAN<sup>TM</sup>は当社の登録商標である。

脚注 4) AXELARC<sup>TM</sup>は当社の登録商標である。