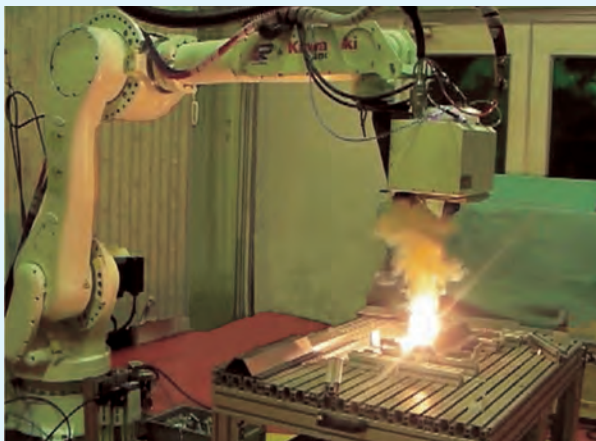


# 先進接合ロボットシステム

## Advanced Joining Robot System



福原 一美① Kazumi Fukuhara  
 藤本 光生②※ Mitsuo Fujimoto  
 黒川 英朗③ Hideaki Kurokawa  
 平塚 充一④\* Mitsuichi Hiratsuka

製造業を取り巻く環境は急激に変化しており、省エネルギーや地球温暖化排出ガスの低減が求められている。それは、製品だけでなく、製造工程においても要求されており、接合品質と高い次元で両立することが必要となっている。本稿では、最新の接合技術として摩擦攪拌点接合とアーク・レーザ溶接の動向ならびに適用状況について述べる。

The environment surrounding the manufacturing industry is rapidly changing, and a reduction in energy consumption and a decrease in global warming gas emissions are being demanded of the industry. The demand goes beyond products to impact production processes, and a compatibility of a higher order between this demand and the quality of joints is needed. This paper describes the latest trends in Friction Spot Joining and Hybrid Laser-arc welding technology and how these technologies are applied.

### まえがき

各メーカーから上市されているロボットは、動作速度や位置決め精度など、ロボット単体の性能が目覚ましく向上している。しかし、その性能は互角であり、各メーカーには、ロボット単体でのコスト競争力、もしくは、付随する機能および付加機能を含めたシステムとしての提案力が要求されている。付随する機能には、ハンドリング、切断、加工、接合および研磨・研削などの種々の生産工程がある。

その中でも接合技術の動向に関しては、1990年頃に英国TWI (The Welding Institute) が開発した摩擦攪拌接合 (FSW: Friction Stir Welding) が、アルミニウム合金製の鉄道車両を中心に適用されており、当社がFSWを応用し開発した摩擦攪拌点接合 (FSJ: Friction Spot Joining)<sup>1)</sup> が、自動車メーカーの生産ラインに導入され、適用車種ならびに台数を着実に増やしている。また、ここ数年、電子デバイスの急速な進歩により、従来のアーク溶接、抵抗スポット溶接における制御ならびに監視機能が向上している。さらに、適用拡大がめざましいレーザ発振器についてもファイバーレーザを中心に大出力化が図られている。

## 1 摩擦攪拌点接合 (FSJ)

### (1) FSJの概要

FSJは、図1に示す接合ツールと呼ばれる先端にネジ加工された突起 (プローブ) を有する工具を用いて行われる。そのため、接合部にはプローブの圧入痕が凹みとなって残る。接合プロセスは図2に示す3段階で行われる。すなわ

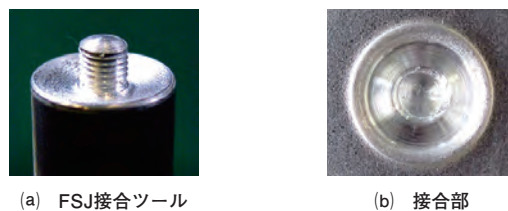


図1 FSJ接合ツールと接合部  
 Fig. 1 FSJ joining tool and joint

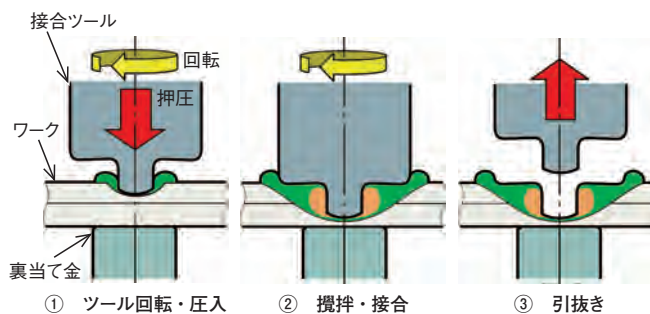


図2 FSJ接合プロセス模式図  
 Fig. 2 Schematic diagram of FSJ joining process

ち、上下2枚に重ねられたワークは、回転しながら圧入するツールとワークの間で生じる摩擦熱により軟化され、突起のネジにより上下の材料が攪拌されることで一体化される。その後、接合ツールをワーク表面方向に移動させることなく引き抜くことで接合過程が終了する。

### (2) FSJを取り巻く周辺状況

自動車産業を中心とする輸送機器部門では、省エネルギーおよび温室効果ガス排出量削減の要求が高まっている。

48 ① 精密機械カンパニー ロボットビジネスセンター 自動車総括部 自動車二部  
 ②③ 技術開発本部 システム技術開発センター 生産技術開発部  
 ④ 技術開発本部 システム技術開発センター 制御システム開発部

※工学博士  
 \*技術士 (機械部門)

また、そのニーズは自動車、航空機、鉄道車両および船舶などの製品だけでなく製造過程においても要求され始めている。その結果、車体の軽量化だけでなく、製造過程における省エネルギーが緊急の課題となっている。

### (3) 自動車産業における適用

自動車産業においては、軽量化を達成するため、車体外板を中心に高張力鋼やアルミニウム合金などの軽合金、また、樹脂材料の適用が進められている。従来の鋼と異なる材料の適用により、切断や接合工程についても新たなプロセスの導入が求められており、接合工程の中でも、外板の接合に多用される点接合については、FSJの適用が拡大しつつある。自動車生産ラインは、多種多様なワークが流れ



図3 FSJロボット  
Fig. 3 FSJ robot

る混流生産ラインであるため、ワークによって異なる打点に対応できるように産業用多関節ロボットが導入されている。このロボットは、動作位置だけでなくツールの押圧力や回転速度などの接合を教示することで、精度よく繰り返し接合が行える。FSJロボットは、図3に示す可搬重量が165kgfないしは200kgfの中型ロボットにFSJガンを搭載することで構成される。国内の自動車メーカーでは、図4に示す蓋物と称されるフロントフードやバックドアにアルミニウム合金が多く適用されており、その接合法としてFSJが用いられている<sup>3)</sup>。FSJロボットはすでに200台以上が市場に導入され、100万台以上の車に適用されている。

### (4) 航空機産業における適用

航空機の機体接合は、自動車外板と同様、重ね継手の点接合が多く用いられている。しかし機体に適用する場合、プローブの圧入痕や余盛といった凹凸は厳しく制限されるため、従来の穴有りFSJではなく、穴無しFSJの開発が求められている。穴無しFSJの航空機機体への適用については、当社だけでなく海外においても、ボーイングやエアバスが研究機関と連携して研究を進めており、今後、研究が加速することが予想される。

穴無しFSJ接合ツールの先端部と接合部の外観を図5に示す。接合ツールは同心円状にプローブとショルダに分割でき、ツール外周を覆うクランプと併せて用いることで接合後の外観を平滑とする接合法を開発している。開発した接合法のプロセスは図6に示すように複雑であるが、接合メカニズムはこれまでのFSJと同様、摩擦による軟化と攪

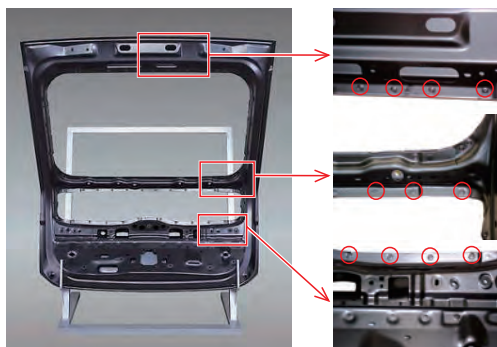
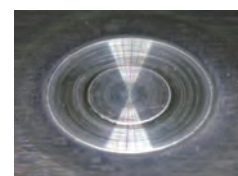


図4 FSJの適用例  
Fig. 4 Example of application of FSJ



(a) 先端部



(b) 接合部

図5 穴無しFSJ接合ツール先端部と接合部  
Fig. 5 Appearance of hole-free FSJ joining tool and joint

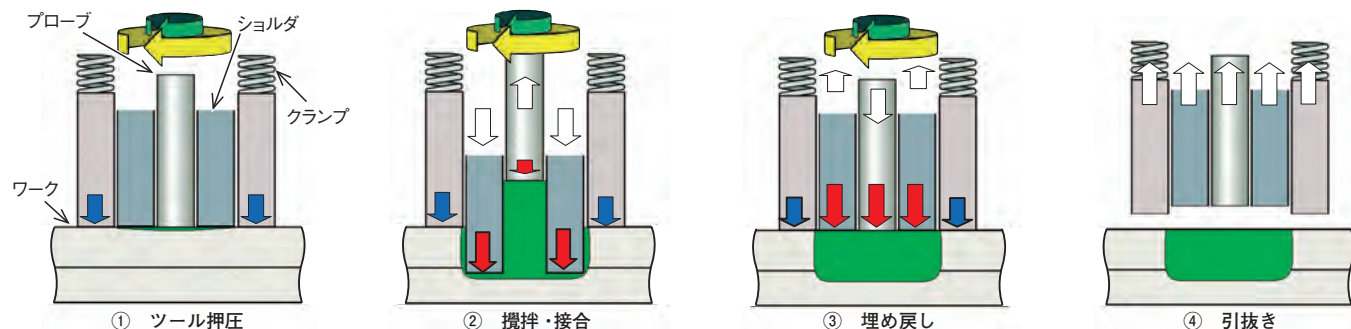
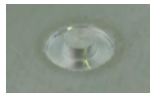


図6 穴無しFSJ接合プロセス  
Fig. 6 Hole-free FSJ joint process

攪拌・接合



埋め戻し



引抜き

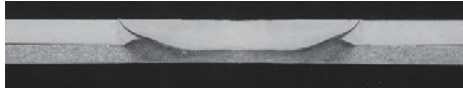
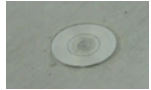


図7 穴無しFSJ接合中の材料移動状況

Fig. 7 Plastic flow materials in double-acting hole-free FSJ joint

拌による材料の一体化である。ワークの材料はツールの圧入、引抜きに応じて移動している。穴無しFSJ接合中の材料の移動状況を図7に示す。

(5) 規格化に関する動向

FSJの基礎となる接合法であるFSWは、2004年から国際的な規格化の活動が行われて、2011年度に国際標準化機構(ISO)で規格化された。今後、ISOを参考にJIS化されることから、国内においてもFSWの適用が急激に拡大するものと期待される。

一方、FSJについても、2006年からISOでの規格化の活動が行われており、2009年から我が国も軽金属溶接協会を中心に国内の装置メーカー、ユーザーおよび中立機関で委員会を設立して国際会議に参加し、規格化に取り組んでいる。世界的に見ても、FSJを実用化しているのは我が国だけであり、設計するための方針や評価方法について主導的な役割を担っている。当社も、装置メーカーであることから、代表幹事として国内外の委員会に出席している。

2 アーク・レーザ溶接

アーク溶接やレーザ溶接など、溶融溶接を採用している企業においても、生産性の向上や品質の向上による製品競争力の強化が要求されている。これら溶融溶接における課題は、溶接で生じる歪の低減および材料品質の低下の抑制である。

(1) 大電流MAG (Metal Active Gas welding) 溶接

厚板を対象とするアーク溶接では、溶接金属を充填する開先を小さくするとともに、1回の溶接で充填できる溶接金属を多くすることで生産性の向上を実現している。しかし、開先を小さくした場合、開先の底部にアークが届かず融合不良等の欠陥が発生し易くなる。また、溶接電流を大きくした場合、ある程度以上の大電流となると、「溶接電流」

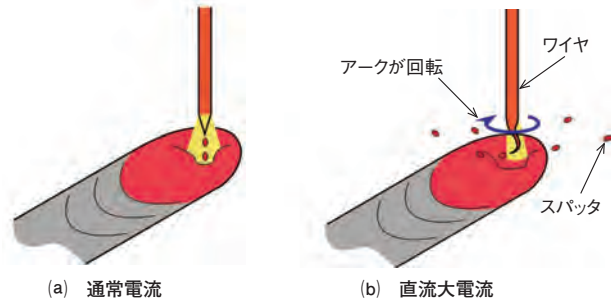


図8 大電流溶接におけるローテーティングアーク  
Fig. 8 Rotating arc in high-current welding

と、溶接電流で生じる「磁界」との相互作用により液滴が回転するローテーティングアークが発生し、スパッタの多い外観となる(図8)。そこで、アークを集中させることにより狭い開先の底部も十分に溶融させ、大電流でも平滑な外観が得られる大電流MAG溶接法を開発している。当社においても、本溶接法の特徴を十分に把握し、ロボットに搭載することで厚板溶接の高能率化を図っている。

(i) 大電流MAG溶接の原理

大電流MAG溶接は、図9に示すように二つの溶接電源を用い、大きな溶接電流にも耐え得る溶接トーチと組み合わせる。大電流を流すために単純に溶接電源を2台接続した場合、ローテーティングアークとなり溶接品質が低下するため、溶接電源が電流を精緻に制御することで、大電流を流しながら適正な溶滴移行を実現している。

(ii) 大電流MAG溶接導入のメリット

従来の電流域で施工した継手に比べて、本溶接法では施工パス数が少なくなっているだけでなく、開先を小さくすることで、施工時間および歪が低減される。例えば、図10左に示すようにルートギャップをほぼ0mmとすることで充填すべき溶接金属が約半分になる。図10右に従来の溶接電流域で施工した継手の断面マクロ写真と大電流MAG溶接で施工したものを示す。大電流MAG溶接では狭い開先の底部も十分に溶融しており、欠陥の無い良好な継手が得られていることが分かる。

また、図10のような継手形状の場合、溶接金属が収縮す

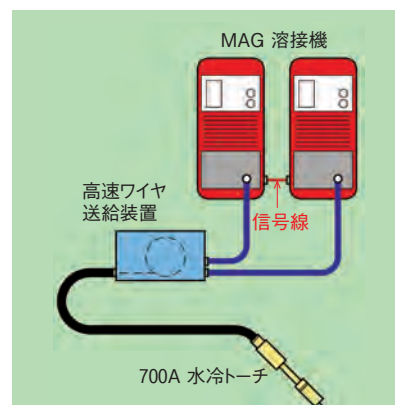
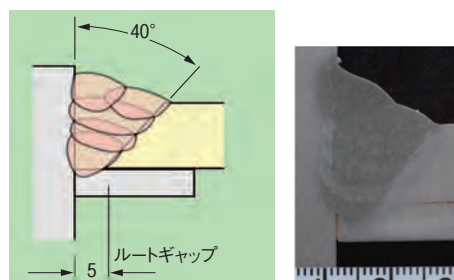
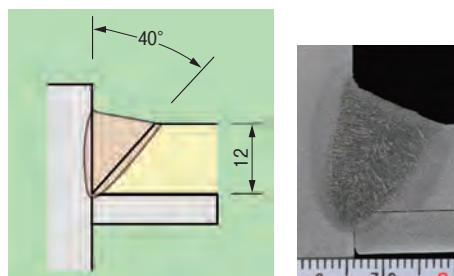


図9 大電流MAG溶接の装置構成

Fig. 9 Device configuration in high-current MAG welding



(a) 従来の溶接法



(b) 大電流MAG溶接法

図10 従来の溶接法と大電流MAG溶接法の開先形状と断面マクロ写真  
Fig.10 Joint geometry and cross-sectional photo in high-current MAG welding process and conventional welding process

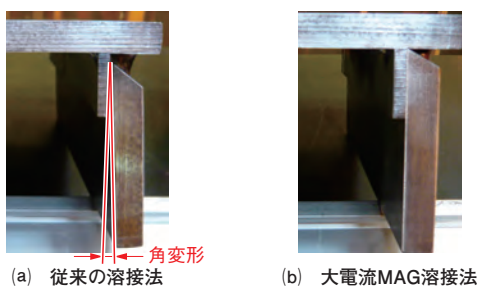


図11 従来の溶接法と大電流MAG溶接法による変形量の比較  
Fig.11 Comparison of deformation between high-current MAG process and conventional welding process

ることにより、溶接後に開先が小さくなる方向に変形すること（角変形）が知られている。両施工法による模擬試験体の外観を図11に示す。従来の溶接法では約5度の角変形が生じているが、大電流MAG溶接法では約1度に軽減されていることが分かる。

## (2) レーザ溶接

重工業におけるレーザ溶接については、レーザ共振媒体に光ファイバーを用いたファイバーレーザや、同じく媒体にディスクを用いたディスクレーザなど、より高品質なレーザが主流となっており、当社においても車両の側構体へ適用し<sup>5) 6)</sup>、従来の抵抗スポット溶接に比べて外観品質の向上に貢献している。適用車種、適用台数とも着実に増加しており、今後も拡大が期待される。また、アーク溶接と併用するレーザ・アークハイブリッドに関する研究を進めている。レーザ・アークハイブリッドは、レーザ溶接とアーク溶接の両者のメリットを活かす溶接法である（図12）。他にも、ワークから離れた位置にある光学ミラーを高速で

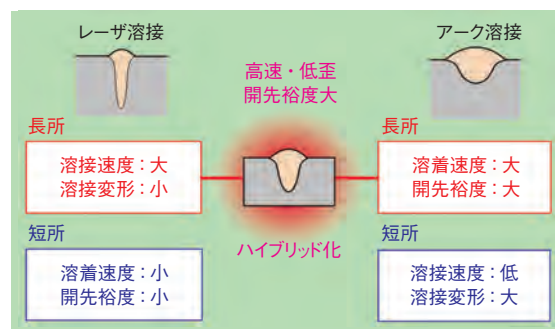


図12 レーザ・アークハイブリッドのメリット  
Fig.12 Advantages of Hybrid Laser-arc welding process

動作させて溶接するリモートレーザのような新しい接合法についても研究開発が進んでいる。

## あとがき

接合技術は成熟した分野であると言われることが多いが、FSJのような全く新しい接合法や、レーザ発振器の大出力化に伴い、生産現場における接合工程は変革の時期を迎えていると言っても過言ではない。今後、これらの新たな接合法を積極的に導入し、社内外の製品の品質ならびに生産性の向上に貢献していく所存である。

## 参考文献

- 1) 長谷川, 古賀, 武市, 八木, 小池, 荒砂: “最新接合技術を適用したロボット溶接システム”, 川崎重工技報, No.152, pp.22-27 (2003)
- 2) 瀬田, 榎木, 竹内, 福原, 藤本: “新接合システム - フリクションスポット接合 (FSJ) ロボット-”, 川崎重工技報, No.163, pp.14-17 (2007)
- 3) M.Fujimoto, Y.Tsukeshiba, K.Nomura: “Friction Stir Spot Welding Application on Hybrid Car”, 溶接学会誌, pp.227-230 (2011)
- 4) 岡田, 上向, 藤本: “フリクションスポット接合について, 第47回飛行機シンポジウム” (2009)
- 5) 平嶋, 梅林, 田口, 下山, 神岡, 丸谷, 村田, 平松: “美しい車体を作る - レーザ溶接ステンレス構体, FSJ ハモニカアルミ構体-”, 川崎重工技報, No.160, pp.50-53 (2006)
- 6) 古賀, 瀬渡, 藤本, 大久保, 犬塚: “新溶接・接合技術の適用”, 川崎重工技報, No.164, pp.22-25 (2007)

