

# 自動車「プロセス・施工編」\*



松井仁志\*\*

Automobile (Process&Construction)\*

by MATSUI Hitoshi\*\*

キーワード

自動車, 溶接, アーク溶接, シャシー, パルスマグ溶接, 溶接電源, 溶接ワイヤ, 溶接トーチ, 亜鉛めっき鋼板

## 1. はじめに

本稿は2008年から2010年にかけて紹介された基礎編の応用と位置付けられている。基礎編第1章～第4章の36編の中に自動車に関連するものとしては、「1-8 抵抗溶接」および「4-9 自動車」があり、ボデーの抵抗溶接に関しては基礎から応用まで十分な紹介がされている。またシャシー部品については「1-2 ミグ/マグ溶接」に述べられている内容は基礎技術の中の基礎といえる部分であり、実際の施工技術との隔たりが大きい。そこで本稿ではマグ溶接の基礎技術の補完およびシャシー部品への応用技術を中心に述べる。これに上記の3編を併せると自動車の主要な技術を網羅した形になる。なお上記以外にも若干の関連があり、参考になるものとして、「1-1 アーク及びティグ溶接」, 「2-3 材料と溶接部の試験法」, 「2-9 軽金属」, 「3-8 溶接構造物の疲労設計」がある。これ以外にも「1-4 レーザ溶接」, 「1-5 FSW」, 「2-2 合金と平衡状態図」, 「2-5 溶接割れについて」, 「2-6 耐熱鋼およびその溶接」, 「3-1 材料の力学と強度」, 「3-2 材料の機械的特性試験」, 「3-4 溶接変形と残留応力」, 「3-6 溶接継手の疲労強度の基礎」, 「4-5 溶接・接合施工システム」については幅広く学習する場合には参考となるが、「溶接・接合教室」以外の他の文献の方が詳細に紹介されている。なおその他残りの19編については自動車との関連は殆ど無いので特に読む必要性はないと思われる。

## 2. 製品と工作法

自動車はボデーとシャシーから構成され、ボデーは乗員

の居住空間に関する範囲を指し、シャシーはボデーを取り除いた後に残った「走る、曲がる、停まる」の基本機能を備えた範囲と定義され、動力系（エンジン）、駆動系（パワートレイン）、懸架系（サスペンション）、排気系に分かれる。表1に自動車に用いられる接合法と適用分野を示す。ボデーにおける主たる接合法はスポット溶接であり、車両1台に3000～4000点適用されている。一方シャシーではアーク溶接が主体であり、乗用車1台当たりの溶接長の合計は30～40mですべて1パス溶接である。またシャシーフレーム付のSUVや小型トラックなどの溶接長は約70mとなる。

アーク溶接に適用される継手を図1に示す。重ねすみ肉継手で上板の薄い場合が最も品質安定性に優れているが、重量・強度・剛性・コスト等の面で競争力のある製品として成り立たない場合もあるので、実際には上板の厚い場合がやや主となる。その他の継手も製品の制約に応じて各種適用されている。代表的なプレス・溶接部品の継手構造の変遷を図2に示す。本体の断面構造に示すように初期にはハット型断面構造に重ねスポット溶接が適用されたが、継手効率および剛性が低いため連続継手であるアーク溶接に移行した。しかしハット型断面構造の重ねすみ肉継手

表1 自動車に用いられる接合法と適用分野

	スポット プロジェクション	アーク	電子ビーム レーザー	摩擦 FSW	ろう付
ボデー	○	△	△	△	△
エンジン	△	—	△	—	△
駆動	△	○	○	○	—
シャシー	○	○	—	△	—
排気	△	○	—	—	△

○: 部品点数が多いあるいは接合長が長く多用  
△: 適用は比較的少 ー: 一般的には適用無し

\*原稿受付 平成25年9月6日

\*\*正 員 株式会社自動車部品溶接研究所 Member, Auto Parts Welding Inc.

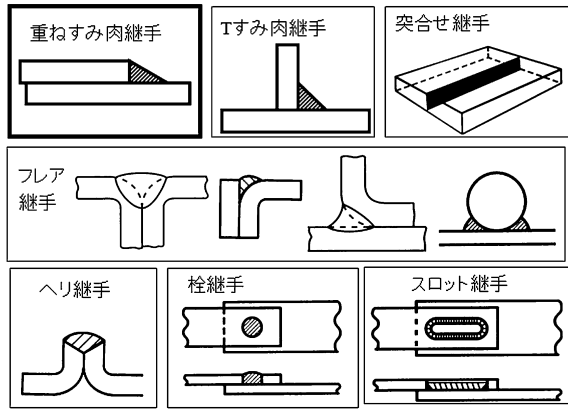


図1 自動車に適用されるアーク溶接継手

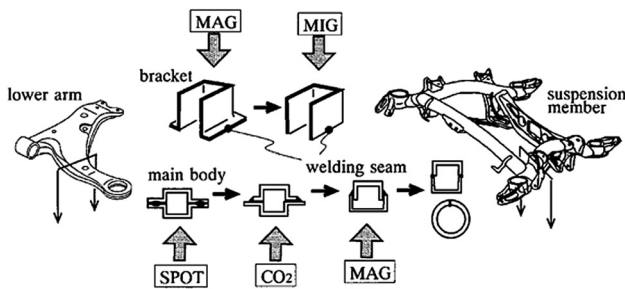


図2 アーク溶接継手構造の変遷

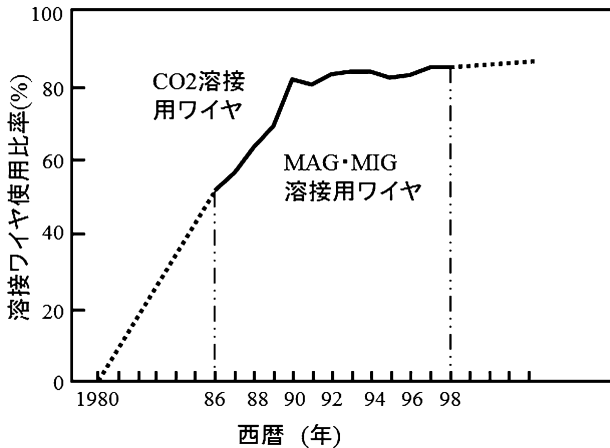


図3 マグ/ミグ溶接の普及状況

の場合は、下板端にシヤア面が残り疲労亀裂の起点となるため、さらにボックス型断面構造に移行し、板端のシヤア面を溶接によって消滅させる構造となった。さらに一部の部品では重ね代も無いスリムな突合せ継手に移行したのもある。一方本体に取り付けるブラケット等は、従来継手部を折り曲げて重ねすみ肉溶接をしていたが、外力が加わると重ね部が開くように弾性変形する。軽量化のため単に薄板化するだけでは製品全体の剛性が低下して乗員の乗り心地を害する。そこでこれを保障するため高剛性継手であるTすみ肉継手構造へと移行した。

以上に述べた変遷は自動車の宿命である薄板軽量化と高剛性の両立を、溶接継手に求めてきた結果であり、車両の性能向上に大いに貢献してきたといえる。反面溶接施工

面においては多くの問題が生じた。ハット型断面構造では電極の狙いずれを管理すれば下向き姿勢で安定して溶接できたものの、ボックス型断面構造になると両部材を円滑に嵌め合わせる作業に必要な間隙に、プレス品の形状変動も加わり、溶接継手の間隙変動が溶接品質を不安定にする大きな要因となった。しかも一つの治具に部品をセットした状態で両側の溶接をするため、縦壁の水平溶接姿勢で行わざるを得ない。またブラケット類の溶接においては、重ねすみ肉継手のように間隙が生じても上板が溶融すると間隙を埋める効果が生じるのに対して、Tすみ肉継手においては間隙を溶接ワイヤの溶融量を増加させることによって補う必要があり、そのために電流を増大させると上板の溶融範囲が広がり、穴明きが生じてさらに溶着量の増加が必要になるという悪循環に陥る場合がある。

シャシー部品は路面に近い位置に配置されているため過酷な腐食環境に曝される。ボデーと異なり赤錆程度は問題とならないが、板を貫通する腐食は強度低下すなわち重要保安問題となる。薄板化と耐食寿命向上を両立させるために、垂鉛めっき鋼板の使用が必要となる部品も一部ある。サスペンションメンバは2mm程度の板厚であり、水の溜まり易い複雑な形状をしているため、これには垂鉛めっき鋼板が採用されている。溶接中に垂鉛が蒸発して従来の技術では気孔や不整ビードの発生およびスパッタの激増が問題となり、後述するように新溶接技術の適用が必要となる。

### 3. 溶接プロセスおよび施工

#### 3.1 基本的な溶接法の選択

自動車の溶接技術を管理していく上では、多岐にわたる海外現地生産、技術者の限られたマンパワー、技術の伝承等を考慮し、できるだけ技術を共通化してこの性能向上に注力し、標準技術として展開することが戦略的に重要と考えられる。自動車部品に最適なアーク溶接法の選択に当たっては、薄板の1パス高速溶接、設備停止時間の低減、垂鉛めっき鋼板への対応、継手間隙およびワイヤ狙い変動への余裕度確保を考慮して、無短絡溶接すなわちアークタイム率100%でスパッタが発生せず、溶込みが過度に中央に集中せず薄板で穴あきが生じ難く、アーク力の方向や周期性を制御しやすいパルスマグ/ミグ溶接が採用されている。図3にワイヤ使用量の比率でパルスマグ溶接(含むミグ溶接)の普及度を示す。1981年のロボット導入とともに新設ラインには全面的にマグ溶接用ワイヤを導入し、1990年までほぼ直線的に増加しており、特別な事情のある製品を除いてこの時点でパルスマグ化が完了した。炭酸ガス溶接に対して何れの点においても優位にあるパルスマグ溶接であるが、業界の一部にはガスコストの理由で敬遠されるケースもある。しかし設備保全費など他の費用も含めて単位溶接長のトータルコストを長期間の実績と比較すると、液化アルゴンを使用した場合以外は未調査であるが、明らかにパルスマグ溶接の方が低いことが確かめられている。したがって低コストと高品質が両立する溶接法としてパルスマグ/ミグ溶接を選択している。

3.2 パルスマグ/ミグ溶接法の基本的な特長

各種消耗電極式アーク溶接の中でもパルスマグ/ミグ溶接法はアーク力、入熱および溶着量にある程度独立に制御できるため、板厚のバリエーション、高速高能率化、表面処理鋼板等の課題に比較的フレキシブルに対応できる潜在能力を有し、上記の戦略に最も適合すると考えられる。

母材への入熱は電流の時間積分値  $\int Idt$  にほぼ比例する。また溶着量も同様であるがワイヤ突出し長およびワイヤ径による抵抗発熱、あるいはワイヤ先端でのアークの発生形態によって、電流一定でもある程度制御できる。一方溶融池に影響を及ぼすアーク力は電流の2乗の積分値  $\int I^2 dt$  にほぼ比例する。したがって平均電流一定でも電流波形に凹凸を設ける、すなわちパルス化するとその程度によってアーク力の増大量を制御できる。

消耗電極式パルスアーク溶接の周波数は一般的にはワイヤ先端に作用する電磁ピンチ力による溶滴形成に用いられ、1パルスで溶滴が1個形成される。ワイヤ径1.2mmの場合平均電流1アンペアで約1パルス程度の割合で周波数が設定される均一な波形である。さらにパルスのピーク電流に大小を持たせるとアーク力が増減するので、これを溶融池の固有振動数に近い数10Hzの周波数で切り替える低周波重畳パルスにすると、溶融池に作用するアーク力がこれに伴って変動し、溶融池が前後に振動しやすくなる。ピーク電流の差は20~30A程度でよく、1パルス1溶滴移行を保ちつつ溶融池の縦振動を惹き起こすことができる。さらに周波数を1桁低い数Hzの極低周波重畳パルスにすると、溶融池の固有振動数と桁が違うので、溶融池の振動は起こりにくくなるが、その代わり入熱の周期的な変動が顕著になり、溶融池寸法の拡張を制御できるようになる。以上のように重畳するパルス周波数帯域を選ぶことによって、溶滴移行制御に加えて溶融池振動および溶融池寸法の制御が可能となり、ノンスパッタ化だけでなく、亜鉛めっき鋼板の気孔や薄板の溶落ち・穴あき等の問題への対策が可能となる。

3.3 溶接技術の変遷

自動車の草創期からの溶接技術の変遷については既に本誌に紹介されており、ここでは特に近年におけるアーク溶接技術の変遷を述べる。1980年ころから自動化率を上げるためロボットが導入されたが、当時は国内で単一車種を大量生産して輸出を拡大した時代であったため、溶接速度および設備稼働率の向上に応える高速ノンスパッタ溶接技術が開発実用化された。その中核的な技術がインバータパルス電源、パルスマグ溶接用ワイヤおよびこれらの普及前に補完的に開発実用化されたトーチノズル自動クリーニング装置である。

その後1980年代後半には北米で路面凍結防止剤による腐食の問題が浮上して、亜鉛めっき鋼板が採用され、気孔およびスパッタの低減技術が開発実用化された。その中核的な技術が高速ノンスパッタ溶接が開発されたインバータパルス電源、亜鉛めっき鋼板用溶接ワイヤおよび酸素混合シールドガスである。インバータパルス電源は普通鋼板用に開発されたものであるが、短絡を回避するという点においては亜鉛めっき鋼板に通ずるものがあり、そのまま適用して大きな効果が得られたが、さらに気孔を皆無とする

ために低周波重畳パルス電源が開発実用化された。

1990年代に入ると地球温暖化対策として燃費向上の目的から軽量化をさらに推進することになり、薄肉材の採用と継手構造の変更に対応する技術が開発実用化された。これの中核的な技術がミグ溶接の適用技術およびワイヤ成型型溶接トーチである。

3.4 溶接システムを構成する基本要素

自動車部品の溶接では大型構造物に比べて板厚が薄く溶融池は小さい。したがって瞬時でも何らかの変動があると溶融池に影響が顕著に現われる。しかも溶接速度が大きい、一旦溶融池に変化が起きても回復する余裕が無く、痕跡が溶接欠陥として残り易い。したがってワイヤの狙い位置や先端における供給速度、アーク長、給電位置等ビード形成を左右する各因子を高精度に制御することが必要である。即ち溶滴移行に極めて高い周期性を持たせ、ある位相でストロボ的に観察すると電極先端が丸いティグ溶接と見誤るほどの安定性を持たせることが目標となる。これを主眼としてその他の目的も含め、開発実用化してきた溶接機器・材料の各要素技術の概略を以下に述べる。

図4に世界で最初に開発実用化された機種インバータパルス電源のパルス電流波形を、前身の2次側トランジスタチョッパ型電源の波形と比較して示す。従来の台形波から矩形波となったため電磁ピンチ力が強化され、規則正しい溶滴形成が容易になり、溶滴形成に必要な入熱に相当するパルス電流の時間積分値が約30%小さくなった。またこれに併せて電磁ピンチ力に応じて溶滴が変形しやすい物性を持つようなワイヤ組成を見出した。図5は微小なスパッタが発生するようなアーク電圧に設定し、各組成のワイヤについて1パルス1溶滴移行に適合するパルス時

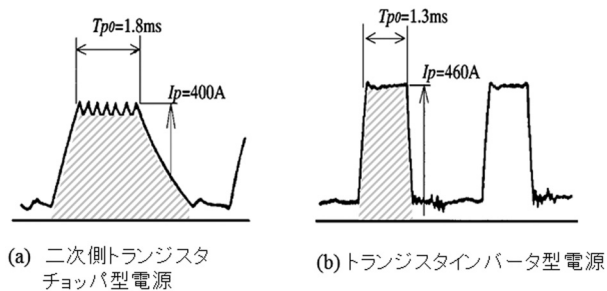


図4 パルス電流波形による電磁ピンチ力の強化

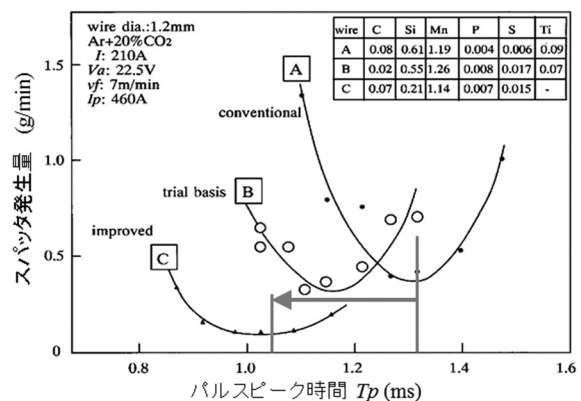


図5 ワイヤ組成によるパルス時間の短縮

間を、スパッタ発生量が最小になる時間として求めた結果である。図から分かるように約20%短縮される。これらにより溶滴の体積は電流波形によって30%、ワイヤ組成によって20%減少して短絡限界のアーク長を小さくでき、アンダカットの生じない高速限界も20%以上向上した<sup>9)</sup>。

規則的な溶滴移行とするためには、1パルス1溶滴移行を確実にするだけでなく、パルスに対する溶滴移行の位相も安定化する必要がある。微小短絡状態において短絡時期を検出し、パルスの立下り開始からの溶滴離脱の遅れ時間の分布を示したのが図6である。このような評価によってできるだけ集中した分布を持つワイヤを選定することが重要である。ばらつきが小さいことは電流の増加によってベース時間が短縮される場合にも、ベース期間での溶滴離脱を容易にし、高速高能率溶接におけるノンスパッタの電流上限を向上させることができる。

自動車部品には溶接長の短い部位が多くある。また治具構成や高能率化のために工程を分割し、本溶接の前に仮付け工程を設ける場合もある。したがって溶接長に対してアーク発生回数が比較的多いのが特徴である。前述のノンスパッタ技術だけでは工程全体のスパッタ低減には限界がある。アーク点弧時にスパッタを発生させないためには、ワイヤが母材に接触した時の短絡電流を低く抑えつつ、ワイヤをモータの逆回転あるいはロボットの動作によって引き上げてアークを発生させ、その後モータの正転・本電流の開始を行えばよい。電流および電圧の変化の一例を図7に示す。条件さえ整えれば開始から終了まで完全にスパッタの発生しないティグ溶接のような溶接が可能になっ

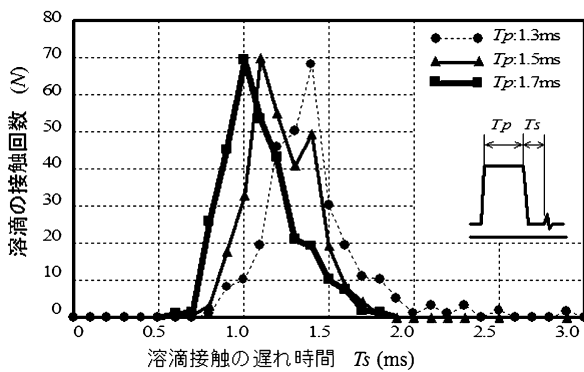


図6 溶滴離脱位相の安定化

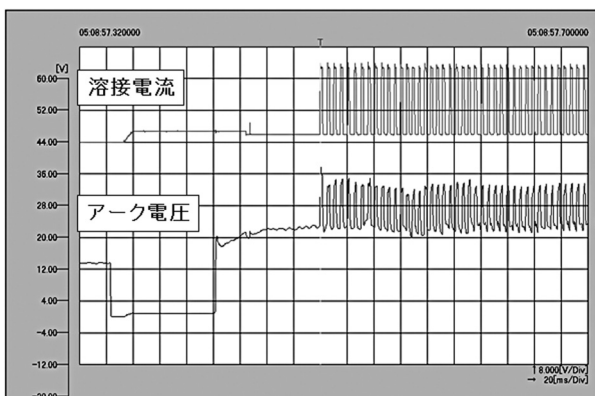


図7 ワイヤリトラクトスタート

た<sup>9)</sup>。

ティグ溶接のような安定した溶接を可能とするには、スパッタを皆無とし、電極先端の形状変化を規則的にするだけではなく、電極先端の前後・左右・上下の位置が一定でなければならない。これに大きく関与するのが溶接トーチ、ワイヤおよびワイヤ送給系である。ロボット溶接ではワイヤがコンジット内で曲げ変形を受け、トーチ先端で旋回し易い。したがってコンジットで受けた変形以上に一定の曲率でワイヤを曲げると同時に、旋回を抑える機能を持つトーチが一つの解となる<sup>9)</sup>。図8に示したのがワイヤ成形型溶接トーチである。流入側のワイヤ曲率中心と流出側のワイヤ曲率中心とが反対側にあり、トーチ内でワイヤが成形されていることがわかる。またワイヤの旋回を抑える機能は2段Rを持つS字状の経路で得られる。一定の曲率を持ったワイヤが一定の向きに送り出されるため、図9に示すように、先端はトーチを基準としてほぼ定まった位置に制御される。

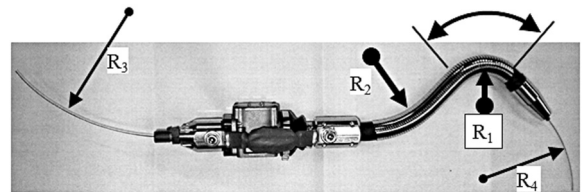
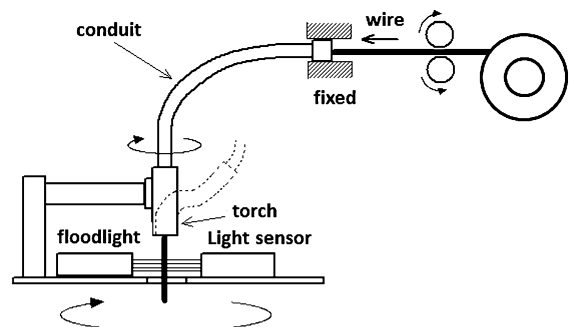


図8 ワイヤ成形型溶接トーチ



	Straight torch	Wire reforming type torch
Rotated angle 180°		
Rotated angle 360°		

図9 ワイヤ狙いの安定化

電流およびアーク電圧の安定性で示したのが図10である。比較した (b), (c) の小刻みな変動が送給速度の変動によるものであり、(b) における長期の変動はワイヤの曲率が小さいために給電位置が移動したためであると考えられる。

なお上記のような高精度のワイヤ送給が安定して行われるためには、ワイヤを駆動する送給ローラとワイヤ間でスリップを生じないことが大前提である。そのためには図11に示す4ローラ送給器が非常に有効であり、新設ラインに導入した現場ではその効果を実感して、従来のラインへも自主的に導入した経緯がある。ローテクの最たるものであり軽視されやすいが、消耗電極式溶接はワイヤが正常に送られてこそ成り立つことを再認識する必要がある。

以上に述べたようにトーチ内でワイヤを成形することによって、ワイヤ先端の前後・左右・上下の変動を極めて小さく抑えることができ、より一層ティグ溶接のようなパルスマグ溶接に近づいたといえる。この溶接トーチと前述のインバータパルス電源および溶滴離脱位相が安定する溶接ワイヤを組み合わせたシステムでは、ビデオ観察では確認できないほどの微小な溶融池自然振動も、図12に示すように電流の周波数解析によって振動数を捉えることができる<sup>9)</sup>。ティグ溶接では電流によって溶融池にインパルスを与え、その余振動時のアーク電圧を周波数解析して固有振動を捉える研究が行われており<sup>6-11)</sup>、そこで得られたS/N比と比べて同等以上のS/N比が得られている。この

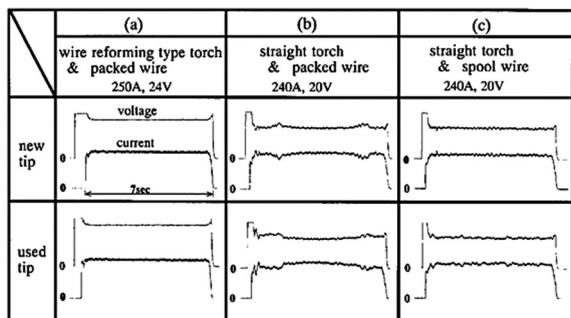


図10 ワイヤ先端高さの安定化

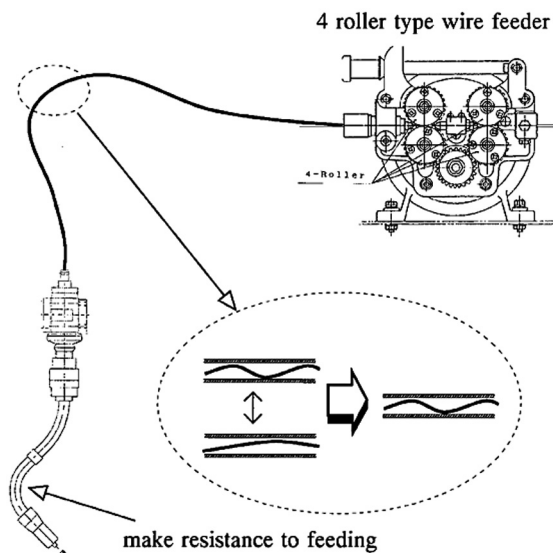


図11 ワイヤ送給力の安定化

ような事情から、本稿で述べた溶接機器・材料を組み合わせたシステムは、通常のマグ溶接に比べて遥かにアークの安定性が高く、ティグ溶接のレベルに近いといえる。

3.5 量産における外乱・諸変動への対応

量産において品質に大きく影響する要因は、継手に対するワイヤ狙いずれおよび継手間隙の変動であり、これらは主に母材の成形精度および溶接治具に起因する。したがって量産開始前には図13に示すような変動余裕度の確認が必要である。特に薄板のT継手の場合には余裕が無く、溶落ちと溶込み不足の両者を同時に解決する方法が必要になる。基本的には入熱の分散あるいは入熱に対するワイヤ溶着量比の増大を図ることになる。入熱の分散手段としてはウィーピング、下り坂姿勢や前述の極低周波パルスを状況に応じて用いる場合がある。また溶着量増大の手段としてはワイヤ突出し長、コアードワイヤ、高電気抵抗ワイヤ等の手段がある。各種の手段がある中で余裕度拡大効果とコストおよび使い勝手を考慮して、数%の酸素を安定して含む粗アルゴンによるガスシールドが用いられている。学術的には少ないとはいえ酸素を含んでいるのでマグ溶接に分類されるが、ビード形成に大きな違いがあるので、製造現場では区別してミグ溶接と称している。アークの特性による入熱分散、アーク電圧低下による入熱減少の他、これらによって溶込みが浅くなり、溶込み一定の条件では電流の増大が可能となり、間接的に溶着量の増加も可能となる。溶着量が増加すると対流による入熱分散が進み、さらに電流の増大が可能になるという好循環が生まれ、図14に示すように狙いずれおよび間隙変動の許容範囲が大幅に拡大する<sup>12)</sup>。

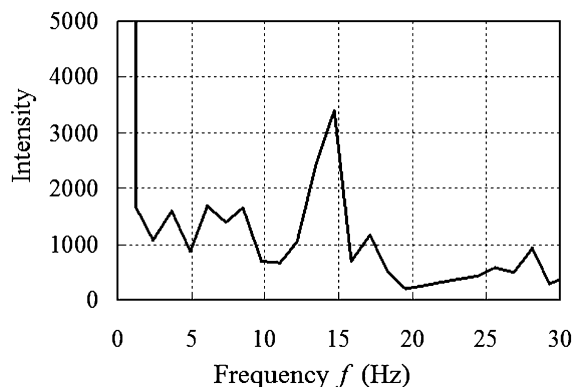


図12 溶融池自然振動数の検出

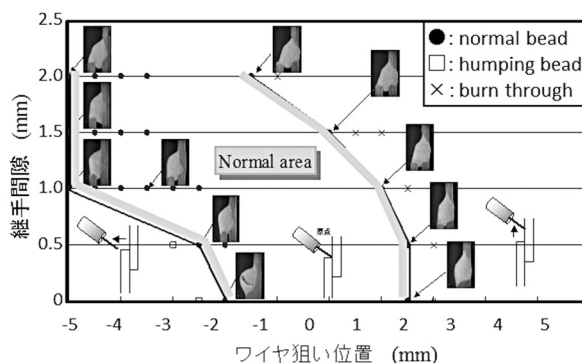


図13 ワイヤ狙い・継手間隙の変動に対する余裕度

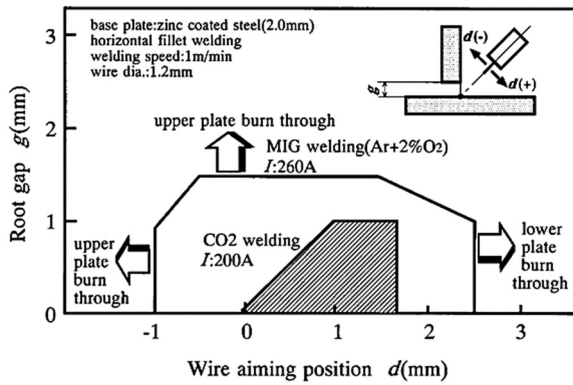


図14 アルゴンリッチガスによる溶込みの安定化

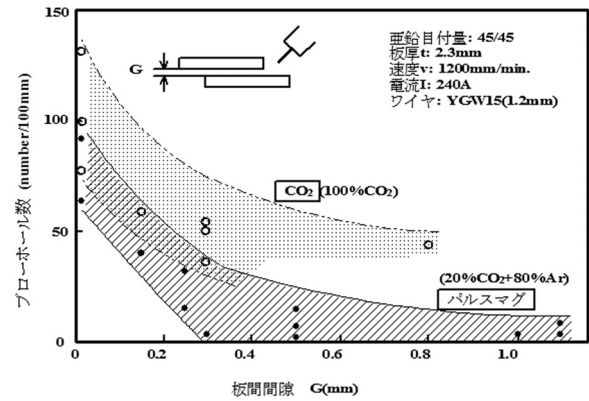


図16 溶接法による気孔発生量の違い

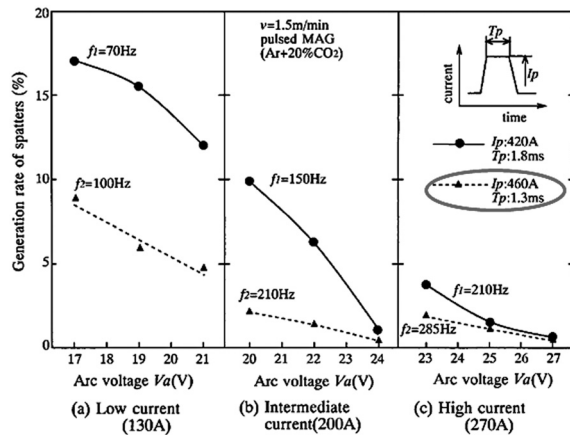


図15 アークタイム率向上によるスパッタ低減効果

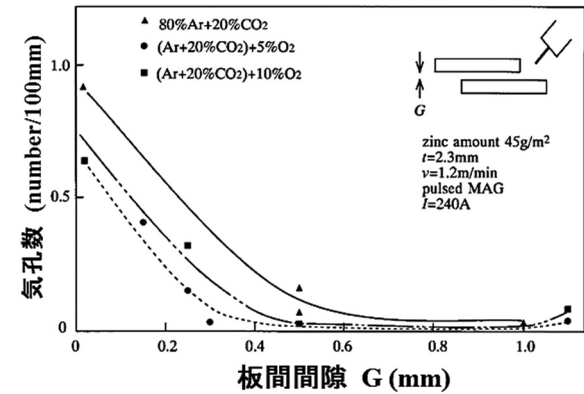


図17 亜鉛酸化の効果

3.6 亜鉛めっき鋼板のアーク溶接技術

亜鉛めっき鋼板のアーク溶接で問題となるスパッタの激増および気孔の多発は、いずれも亜鉛の気化によるものである。したがって最も基本となる方策は亜鉛を溶融池前方で気化・散逸させ、電極直下を亜鉛が除去された状態にすることである<sup>13)</sup>。亜鉛の気化を促進するためにはアーク発生範囲を拡大するとともに、短絡を回避してアークタイム率を100%に近づける必要がある。普通鋼板の溶接において短絡によるスパッタの低減を目的に、インバータ電源によるパルスマグ/ミグ溶接法を実用化し、溶滴を細粒化した。この技術は亜鉛めっき鋼板の溶接においてもそのまま通用することを意味する。スパッタに関してインバータ電源による矩形波パルス電流の効果を、従来の2次側チョッパ型トランジスタ電源の台形波パルス電流と比較して図15に示す。(a)の低電流においては入熱が少ないため溶融池前方の亜鉛の気化が充分行われず、効果は認められるもののスパッタを皆無とするのは困難である。(b)の中電流におけるアークタイム率向上の効果は顕著にみられる。特に短絡の無い高電圧においては、台形波であってもアークタイム率が100%に近い場合、亜鉛を充分気化することができる。(c)の大電流においては短絡の頻度が高い低電圧においても、亜鉛の気化に必要な入熱が充分得られるため、アークタイム率向上の必要性は小さい。

アーク発生範囲の拡大およびアークタイム率の向上は、気孔に関して効果を得られる。パルスマグ溶接と炭酸ガ

ス溶接における気孔発生量を比較して図16に示す。板間に隙が無い場合は、板間の亜鉛が気化して溶融池に噴出して多量の気孔が発生するが、パルスマグ溶接の場合は隙の拡大とともに気化した亜鉛は奥の方へ抜けやすくなり気孔は減少する。しかし炭酸ガス溶接の場合は隙が拡大してもかなりの気孔が残る。この気孔は板間の亜鉛によるものでなく、アーク側に露出した部分の亜鉛によるものである。アークタイム率が低く溶融池前方の亜鉛が事前に充分気化しなかったためであり、同様なことは通常の条件下で気孔がほとんど発生しない、ビードオンプレートのパルスマグ溶接において、短絡の多い低電圧条件とした場合に多発することからも確かめられている。

以上に述べたように、溶融池前方亜鉛の気化促進にはインバータパルスマグ溶接法が必須手段といえるが、アークから直接加熱されることが無い板間の亜鉛に対しては有効とはいえない。亜鉛が酸化すると昇華点1720℃の酸化亜鉛となり、気化は1200~1300℃から始まると考えられるので、シールドガスに酸素を混合して板間に送り込むことによって、906℃の沸点を持つ亜鉛の気化をある程度抑制できる。その効果を示したのが図17であり、5%程度の酸素の混合が最も効果的であり、0.3mmの隙であれば気孔はほぼ皆無となる<sup>14)</sup>。

しかし板間が密着している場合には、亜鉛を処理する手段が無く、他に抜け道のない亜鉛ガスが溶融池に噴出する。板間から噴出するガスによる気泡は溶融池底部に根を

持っているので、この根を断ち切るように湯流れを生じさせれば、浮き上がらせて溶融池から排出できる。このために開発実用化した技術が低周波重畳パルス電源である<sup>15)</sup>。アーク力が数10Hzの周波数で変動するようにパルス電流を変調させると、溶融池が前後に振動し気泡の根を断ち切ることができる。気孔低減効果を図18に示す。

以上に述べた各種の気孔低減手段の効果をまとめると図19のようになり、板間が密着していても普通鋼板とほぼ同等のレベルになることが分かる。なお図中のワイヤ組成については、トーチノズルへのスパッタ堆積によるシールド不良に備え、大気巻込みによるピット発生防止を目的に開発したものであるが、結果的には亜鉛による気孔にも効果が得られている。

実際の量産ラインでは必ずしも最新の機器を全て取り揃えて生産できるわけではなく、また製品や治具の構造によってはトーチの干渉を避けるため、無理なトーチ角度を取らざるを得ない場合もある。諸々の事情からスパッタの発生が避けられない場合には、設備稼働率および溶接品質を低下させないように、トーチノズルに堆積するスパッタを自動で除去する装置が必要となる。そのために開発実用化したのが磁力吸引式のスパッタ除去装置である<sup>16)</sup>。図20に示すようにスパッタ付着力を小さくするためにカーボンノズルを用い、コンデンサの放電によってコイルに磁束を発生させ、スパッタを磁力で吸引して離脱させる。コン

デンサを充電するほかには、1~2ヶ月に1回消耗したノズルを交換するだけでよく、ほぼメンテナンスフリーである。自動車だけでなくプレハブ住宅の工場にも導入されたが、現在では日本よりもむしろ欧米の自動車メーカで使われることが多い。耐久試験の結果を図21に示す。図中 pattern I では先端のスパッタを除去するが、試験するまでもなく確実に除去できるので、ここでは pattern II でノズル奥のガス噴き出し口付近のスパッタを30サイクルに1回除去し、スパッタ重量を測定している。

3.7 その他周辺機器

量産ラインを安定に稼働させるためには、異常な状態での設備停止を避けることが重要である。特に溶接途中で停止した場合には、取り扱い方によっては溶接不足のまま後工程、さらには市場へ流出することになる。その要因の一つがパックあるいはスプールのワイヤの消耗によって、終端が送給ローラにまで達してしまうことである。これを避けるためおよびワイヤ交換による設備停止時間を皆無とするため、ワイヤに連続性を持たせたのが図22に示すエンドレスワイヤシステムである。使用中ワイヤの終端と新ワイヤの始端とを簡易なバット溶接機で接合し、溶接設備の中でワイヤを抜き差しする作業を省くとともに、ワイヤの供給時刻に自由度を持たせ、作業者が非定常な作業を行わなくて済むようにしている。

3.8 溶接技術の応用

駆動系および懸架系のアーク溶接を中心に述べてきたが、エンジン系の部品は鋳造や焼結をはじめ様々な素材を機械加工・表面改質した部品が大半であり、溶接技術の適

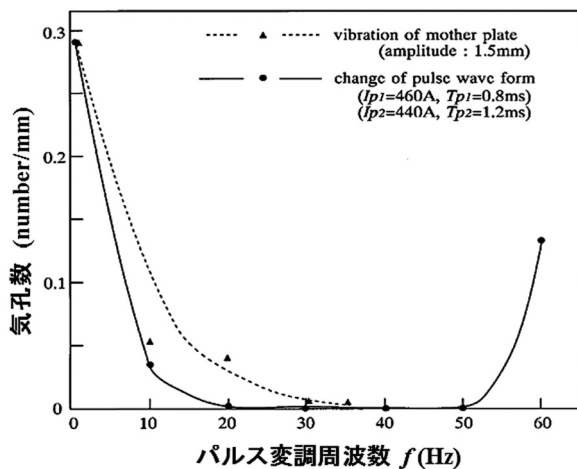


図18 溶融池振動による気孔低減効果

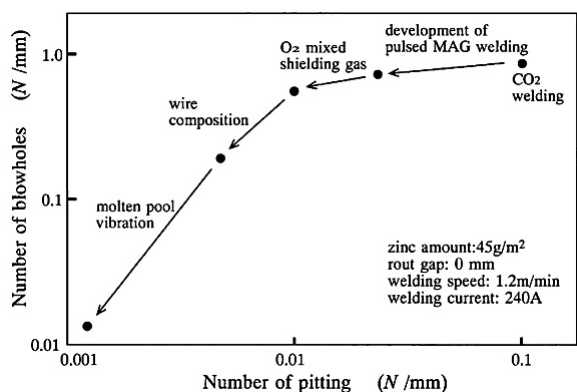


図19 気孔低減手段と効果

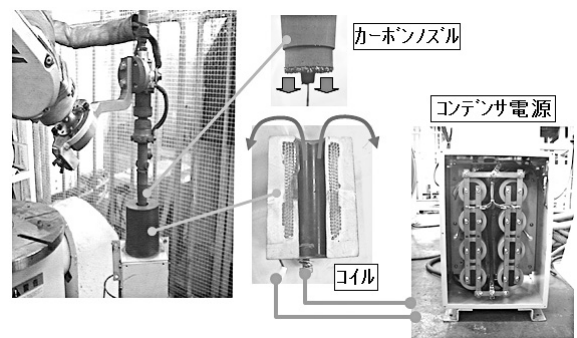


図20 磁力吸引式スパッタ除去システム

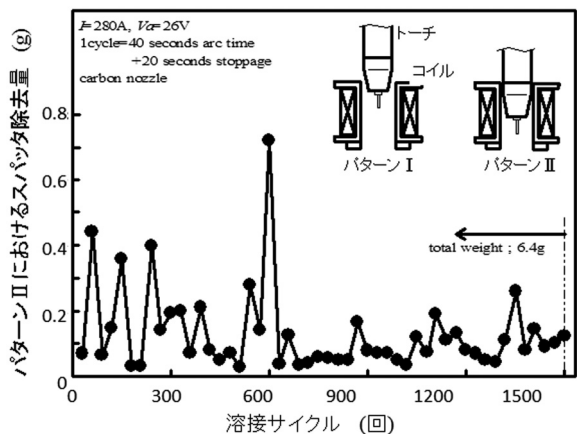


図21 スパッタ除去能力の持続性

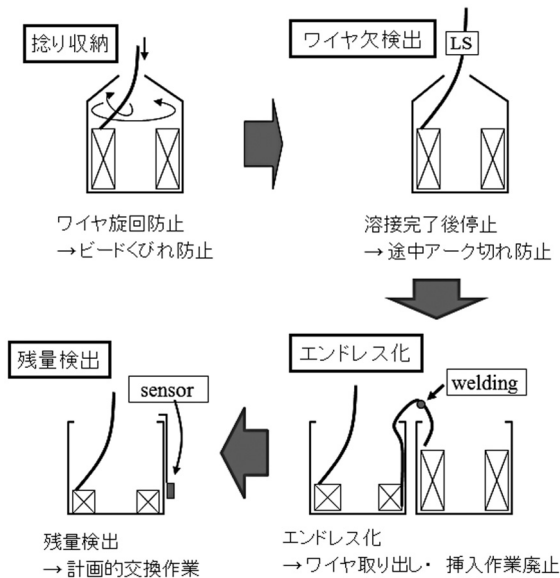


図22 溶接ワイヤのエンドレス化

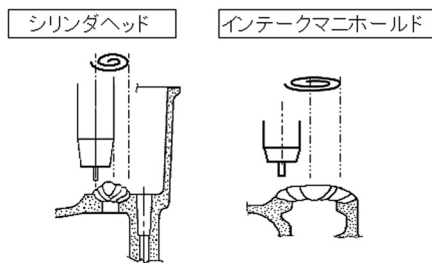


図23 アーク溶接技術の応用例

用は限られる。接合による一体化よりはむしろ溶接技術の基本要素を分解して熱加工の一手段として再構築した応用技術が求められる。図23にシリンダヘッドやインテークマニホールド等の中空アルミ鋳物へミグ溶接技術を適用した例を示す。鋳込み後に中子砂を砕いて抜いた後、残る穴を密閉するのであるが、機械加工の3工程およびボルト・ワッシャを用いる代わりに、ミグ溶接で穴中心に向かって水平方向に肉盛を1工程で行う。図24にスポット溶接技術を応用した例を示す。(a)は脆いアルミダイカストに延性を持たせるため通電により加熱し、電極加圧力によって突起を押し潰しつつ外側の鋼板部品の穴に食い込ませる機械的結合である。(b)はHv1000を超える超高硬度の鋳造部品の穴に、メネジを設けるため炭素鋼を差し込み、これを通電加熱によって軟化させて穴に設けた小さな凹凸に食い込ませた後、ネジ加工する。ほかにも多くの応用例があるが、ニーズが出る都度発想しているのが現状であり、溶接技術でどのような応用ができるかをマトリックスにするような、発想のシステム化にまでは至っていない。

#### 4. 検査・品質管理

溶接を適用する部品の多くは人命にかかわる重要保安部品であり、個々のユーザに対して安全を保証するため、全数保証が前提となる。しかし溶接部の内部を全数検査できる

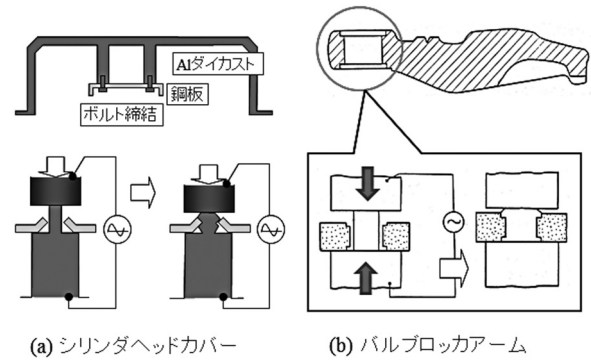


図24 スポット溶接技術の応用例

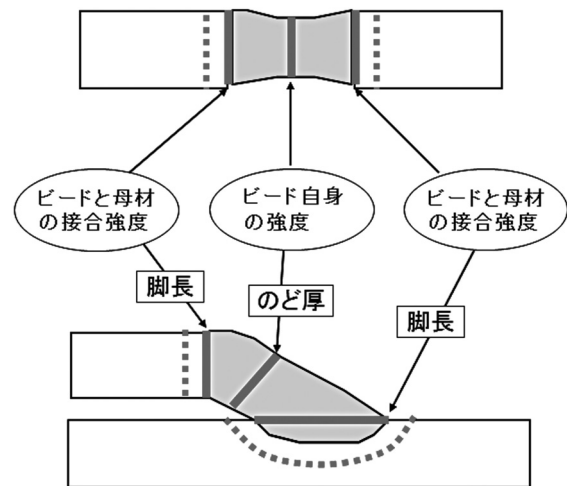


図25 溶接部の強度保証

のは機械加工品を電子ビームあるいはレーザーで溶接した場合に限られ、超音波が用いられている。アーク溶接における全数検査は外観のみであり、製品によって溶接部位の数、ビードの位置、余盛の形状等についてサンプルとの比較やゲージとの照合を行うが、判定眼を養うために作業者を訓練するほか資格制度を設ける場合もある。溶込み断面の検査は定期的な抜き取りで行う。気孔やアンダカットなどの欠陥の無い場合には、図25に示すように脚長およびのど厚が強度保証の基本となる。その背景となる考え方は、継手部を溶接金属部および両部材の3点に分け、溶接金属部と母材との境界部2か所で破壊しないこと、および溶接金属自身が破壊しないで保証しようとするものである<sup>17)</sup>。

また設備トラブルや溶接欠陥の発生など、トラブルが生じた場合には処理後にも検査をして合格の確認が取れるまで生産を停止する。溶込み断面の検査には時間がかかり、現場では生産能率面から厭われやすいため、作業時間を短縮することが重要な課題である。研究段階では超音波を用いて溶込みプロファイルを計測できることが示唆されており、将来は内部の全数検査が可能になるかも知れないが、現時点ではまだその用途は立っていない。

#### 5. おわりに

自動車部品のような薄板のアーク溶接では、厚板の溶接

に比べてより一層精密な機器・材料の装備が必要であり、本稿ではその基本となる技術を中心に述べた。

自動車部品は大型構造物と違い、接合しなくても成立する部品が多い。そのうえ鋳造や塑性加工等、周辺の一体加工分野では薄肉化および複雑形状化の技術が進歩しつつある。素材においても樹脂化が徐々に進み、また動力源においては液体燃料から電力化への転換が進み、エンジン周辺の部品への熱および振動の負荷が軽減されつつある。今後はさらに動力伝達系にも変化が及ぶと予想される。このような流れの中で接合技術の役割も、徐々に変化していくものと思われるが、シャシー部品のアーク溶接は、主に重要保安部品を構成する手段であり、比較的变化しにくい分野である。したがって薄板用の基本技術が出揃った現段階では、その普及・伝承が最も重要な課題であり、技術の本質を理解して着実に実践する技術者が求められる。本稿がその一助になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 松井仁志：20世紀の溶接施工技術「ものづくりの歴史」自動車，溶接学会誌，Vol.69 (2000)，No.8，10-15.
- 2) 松井仁志，鈴木弘：高速パルス MAG 溶接におけるスパッタ発生量の低減，溶接学会論文集，Vol.15 (1997)，No.2，254-258.
- 3) MATSUI Hitoshi: Technical Trends and Future Prospectives of the Arc Welding in Chassis Parts, 57th IIW International Conference.
- 4) 松井仁志，服部泰治：消耗電極式アーク溶接トーチにおけるワイヤ先端振れの抑制，溶接学会論文集，Vol.16 (1998)，No.2，282-289.
- 5) 松井仁志，千葉利彦，山崎圭：消耗電極式アーク溶接における溶融池固有振動の検出と増幅，溶接学会論文集，Vol.28 (2010)，No.1，123-129.
- 6) 菅泰雄，常盤琢也，安田馨：パルスティグ溶接における溶融池固有振動数の検出および溶込形態の推定，溶接学会論文集，Vol.19 (2001)，No.1，19-26.
- 7) Y. H. Xiao and G. den Ouden: A Study of GTA Weld Pool Oscillation, Weld. J., No.9 (1990), 289s-293s.
- 8) Y. H. Xiao and G. den Ouden: Weld Pool Oscillation during GTA Welding of Mild Steel, Weld. J., No.8 (1993), 428s-434s.
- 9) R. B. Madigan, R. J. Renwick, D. F. Farson and W. Richardson: Computer Based Control of Full Penetration GTA Welds Using Pool Oscillation Sensing, Computer Technology in Welding, No.6 (1986), 165-174.
- 10) 丸尾大，平田好則：溶融池の固有振動数と振動モード，溶接学会論文集，Vol.11 (1993)，No.1，50-54.
- 11) C. D. YOO, R. W. Richardson: Modeling of Weld Pool Oscillation using Energy Method, 溶接学会論文集，Vol.12 (1994)，No.1，30-38.
- 12) 松井仁志：薄鋼板のアーク溶接法選択指針，溶接学会誌，Vol.70 (2001)，No.7，3.
- 13) 松井仁志，山田幹雄：溶融亜鉛めっき薄鋼板のアーク溶接施工法に関する基礎検討，溶接学会論文集，Vol.15 (1997)，No.3，484-493.
- 14) 松井仁志，山田幹雄：溶融亜鉛めっき薄鋼板の高速アーク溶接における気孔の低減，溶接学会論文集，Vol.15 (1997)，No.3，476-483.
- 15) 松井仁志，塩野谷哲：亜鉛めっき鋼板のアーク溶接における溶融池振動による気孔の低減，溶接学会論文集，Vol.16 (1998)，No.1，45-50.
- 16) 松井仁志，服部泰治：アーク溶接トーチノズルのスパッタ除去の自動化に関する研究，溶接学会論文集，Vol.16 (1998)，No.4，421-430.
- 17) 松井仁志：自動車部品のアーク溶接における品質管理，溶接技術誌，Vol.56 (2008)，No.5，92-94.