

特集：低スパッタマグ溶接～溶滴移行形態の新しい制御方法～

周期的アーク周辺ガス雰囲気変化を用いた
溶滴移行制御法

川田工業株式会社
藤原 康平

1. はじめに

GMA 溶接法の一つである炭酸ガスシールドアーク溶接法は、高い能率や深い溶込みが得られることに加え、シールドガスに 100%CO₂ を用いることからガスコストが安価であるといった多くのメリットを有し、産業界に広く用いられている。一方、スパッタの発生量が多いというデメリットがあり、パルス電流波形を用いた溶滴移行制御¹⁾ や、さらにそれらにワイヤ逆送プロセスを組み合わせた短絡移行を前提としないワイヤ送給制御²⁾、REM 元素を含む特殊なワイヤを用いて DCEN で溶接する手法³⁾ など、様々な低スパッタプロセスが開発されている。しかしながらこれらの技術は溶接電源をはじめとする比較的高価な設備や溶接材料を必要とすることから導入のハードルは低くない。

また GMA 溶接法の低スパッタ化には、シールドガスに Ar と CO₂ の混合ガスを用いることが有効である。混合ガスを用いたマグ溶接法ではアーク形状が溶滴全体を包み込むようなフレア型のアークになることで、中・高電流領域では溶滴移行形態がプロジェクト移行、ストリーミング移行の所謂スプレー移行となり (図 1)、ワイヤ先端に下垂する小さな溶滴がスムーズに落下することで、これらが飛散し生じるスパッタ量を激減させることが出来る。さらにはパルス電流波形制御も併用することでほぼスパッタレスの溶接も実用化されている⁴⁾。しかし高価な Ar の使用量が多いためガスコストが上昇することや、溶込み形状が極端なフィンガー状となること、ブローホールが発生しやすいこと等デメリットも多くある。

そこで、我々は設備コストやガスコストを抑えつつ溶滴移行を制御できる新たな GMA 溶接法を開発し、「パルスガスマグ溶接 (Pulsed Gas MAG Welding)」と名付けた^{5),6)}。本稿では、本溶接法の概要について解説する。

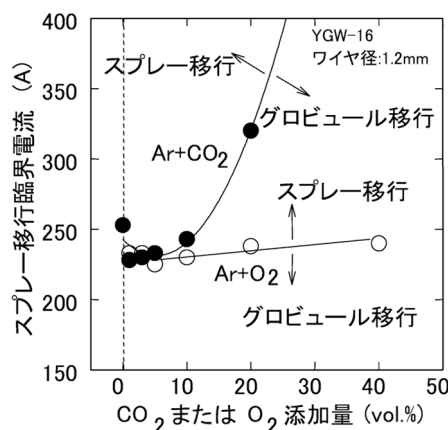


図 1 ミグ・マグ溶接の溶滴移行に及ぼすシールドガス組成の影響⁷⁾

2. パルスガスマグ溶接法の原理

本溶接法は二重ノズルを使用し、アーク雰囲気を CO₂ 主体の期間と Ar 主体の期間を繰り返しながら溶滴移行制御を行うプロセスである (図 2)。図 3 に可視化したガス流 (アークなし) の動画を示すが、アウターノズルからは CO₂ が定期的な流れしており、インナーノズルからは断続的に Ar がパルス添加される。CO₂ は通常の炭酸ガスシールドアーク溶接と同程度 (25 L/min) を流し、Ar は平均流量 2~4 L/min 程度を添加する。Ar はパルス添加のため平均流量が少量でも瞬間的な最大流量 (以下、ピーク流量) は数十 L/min 程度となり、アーク周辺が高濃度の Ar 雰囲気になるため CO₂ アークからの Ar アークへと切り替えることが可能である。

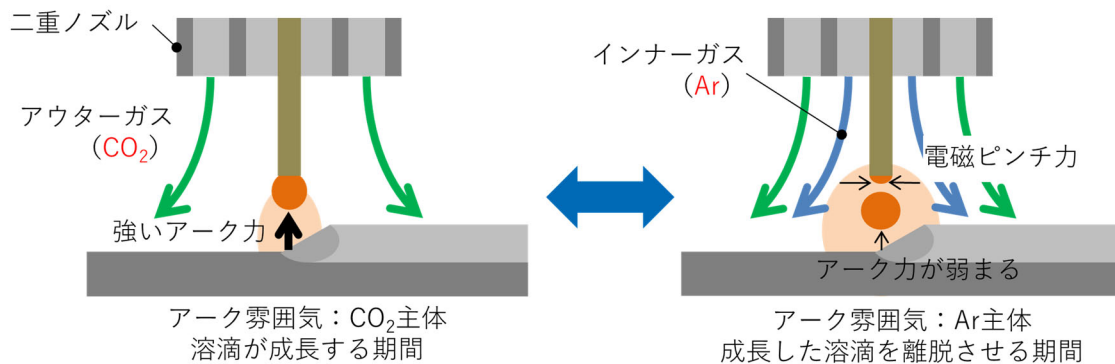


図 2 パルスガスマグ溶接法の模式図

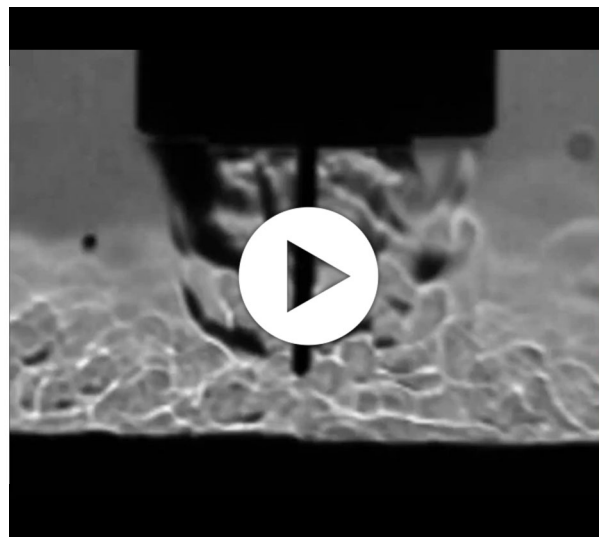


図 3 可視化したガス流

本溶接法の原理について、実際の溶接中の電流・電圧波形およびアーク形状を例に解説する。なお前提として、本溶接法では通常の直流定電圧特性の溶接電源を用いており、いわゆるパルス電源は使用していない。図 4 に高速度カメラで撮影したアーク近傍の写真、Ar 添加用電磁弁パルス信号および電流・電圧波形を示す。まず波形に着目すると、電磁弁開信号の立ち上がり (図中 0 ms) により添加された Ar は、電圧が急低下した 5 ms 付近でアーク周辺に到達したと考えられる。この電圧低下は CO₂ 雰囲気から高濃度の Ar 雰囲気へと変化したことによるもので、ガス種における電離・解離エネルギーおよび電気伝導率の差⁸⁾ により電位傾度が急変したことによるものである。

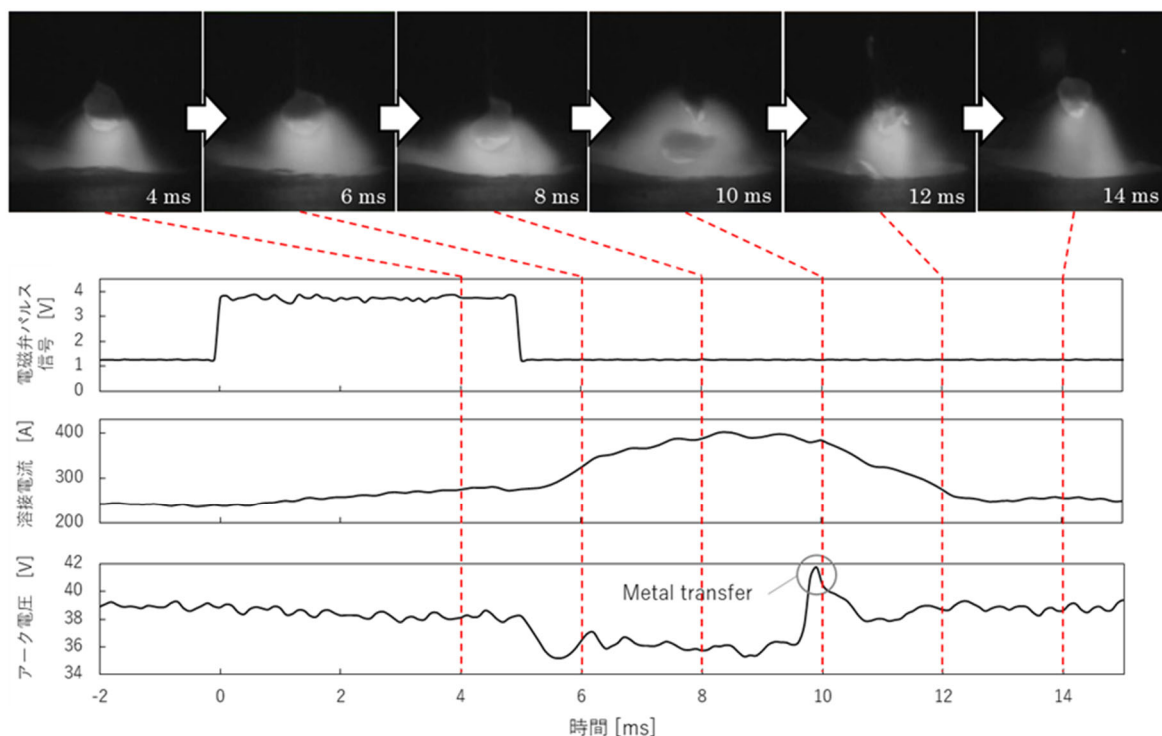


図4 パルスガスマグ溶接法の溶滴移行と Ar 添加用電磁弁パルス信号および電流・電圧波形 (静止画)

またこの時4~6msにかけてアーク形態がCO₂アークの緊縮型からArアークのフレア型に切り替わっていることがわかる。そして電圧低下から若干遅れて電流が上昇する。これは溶接電源の外部特性に従ったものであり、今回は150A程度上昇した。低下した電圧やフレア型アークは10ms付近で溶滴が離脱するまで保たれ、その後はそれぞれ元の値・アーク形状に戻った。以上のように、CO₂主体の緊縮型アークからAr主体のフレア型アークへと急変することで溶滴は強力なアーク反力から解放され、さらに電流増加による電磁ピンチ力の増加が溶滴離脱に有効に働くことで溶滴が速やかに離脱すると考えられる。以上の原理によりアーク雰囲気を変化的に変化させ、溶滴移行制御を行う。一連の溶滴移行および各波形の動画を図5に示す。

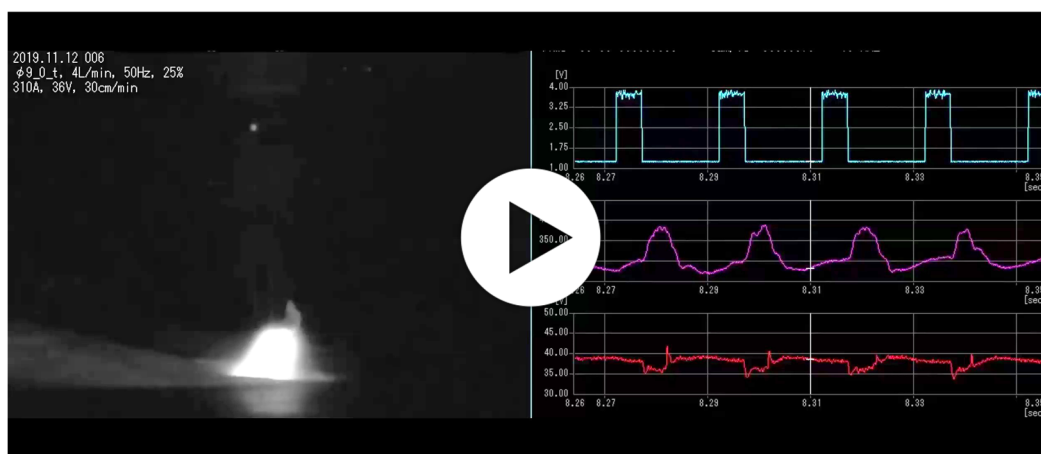


図5 パルスガスマグ溶接法の溶滴移行と Ar 添加用電磁弁パルス信号および電流・電圧波形 (動画)

3. パルスガスマグ溶接法のシステム構成

図 6 にパルスガスマグ溶接法のシステム構成を示す。2 章で述べた通り本溶接法では特殊な溶接電源は不要であり、一般的な GMA 溶接のシステムに二重ノズル、Ar 添加用電磁弁、電磁弁ドライバを後付けするのみというシンプルな構成となっている。そのため導入時の設備コストが比較的安価に抑えられることに加え、ロボット等の自動溶接はもちろんのこと、半自動溶接にも適用可能である。

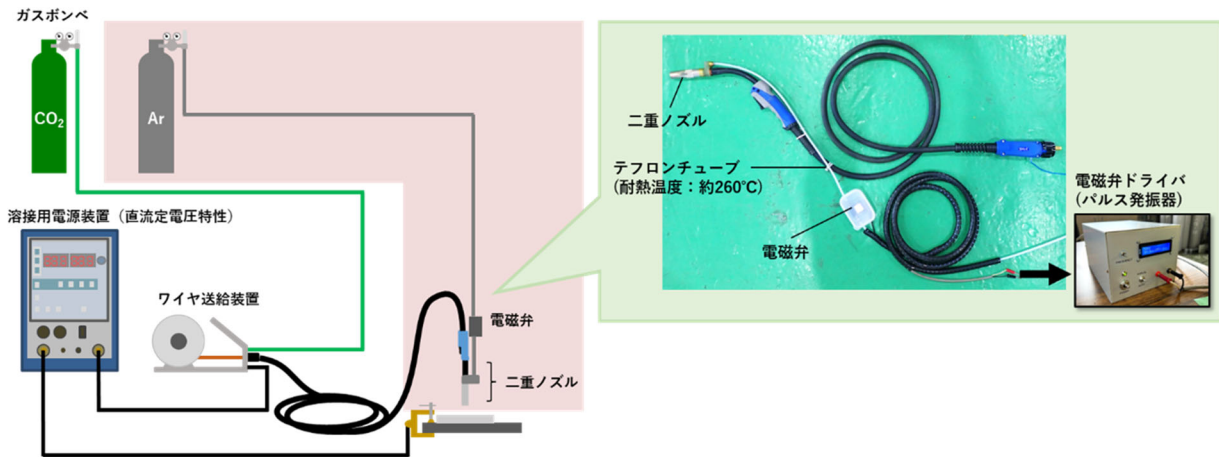


図 6 パルスガスマグ溶接法のシステム構成

4. 溶込み形状とスパッタ量

図 7 に炭酸ガスシールドアーク溶接、パルスガスマグ溶接、混合ガスを用いたマグ溶接 (Ar-20%CO₂) におけるビードオン溶接のマクロ断面を示す。パルスガスマグ溶接の中央の溶込み深さは炭酸ガスシールドアークよりも深くなった。またマグ溶接では典型的なフィンガー状となる一方、パルスガスマグ溶接では極端なフィンガー状にならず、両脇も深く溶込んだ良好な溶込み形状に見える。野々村らが提唱する溶込み形状評価指標 Pf⁹⁾ (Pf が低いほどフィンガー状を示す) を用いて溶込み形状を定量評価したところ、炭酸ガスシールドアーク溶接が Pf=2.77、マグ溶接が Pf=0.12 に対し、パルスガスマグ溶接は Pf=2.56 であった。このことから、パルスガスマグ溶接の溶込み形状は炭酸ガスシールドアーク溶接のものに近く、フィンガー状の溶込み形状で懸念される多層溶接時の融合不良も生じづらいと思われる。

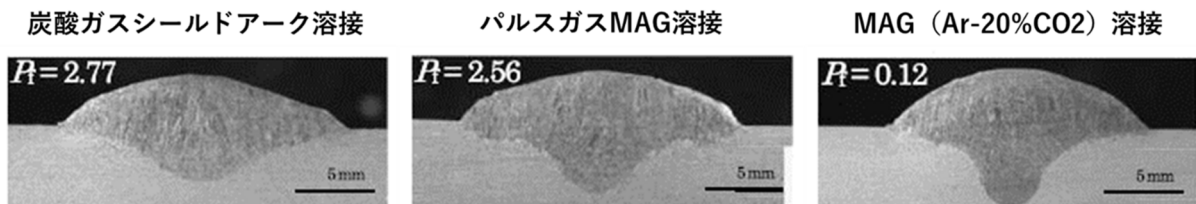


図 7 ビードオン溶接における溶込み形状の比較

スパッタ発生量の比較として、**図 8**に溶接中の動画を示す。動画の序盤は炭酸ガスシールドアーク溶接、溶接中にパルスガスマグ溶接に切り替わる。**図 8**より周囲に飛散するスパッタ量が明らかに減少することが分かる。また、**図 9**に本溶接法の同期条件におけるスパッタ発生状況について、従来の炭酸ガスシールドアーク溶接および混合ガス (Ar-20%CO₂) によるマグ溶接と定量比較した結果を示す。スパッタ発生量は、鋼板および溶接トーチ全体を銅製の捕集箱で囲み、すべてのスパッタを捕集して測定した。本溶接法では、混合ガス未満のスパッタ発生量となることが確認できた。特に、炭酸ガスシールドアーク溶接に比較して鋼板付着スパッタが激減しているが、CO₂ 雰囲気期間中にワイヤ先端に形成された溶滴を、Ar の添加によって適切な周期で過大成長する前に、安定的に離脱させた効果が出ているものと思われる。



図 8 溶接中の様子 (炭酸ガスシールドアーク溶接、パルスガスマグ溶接)

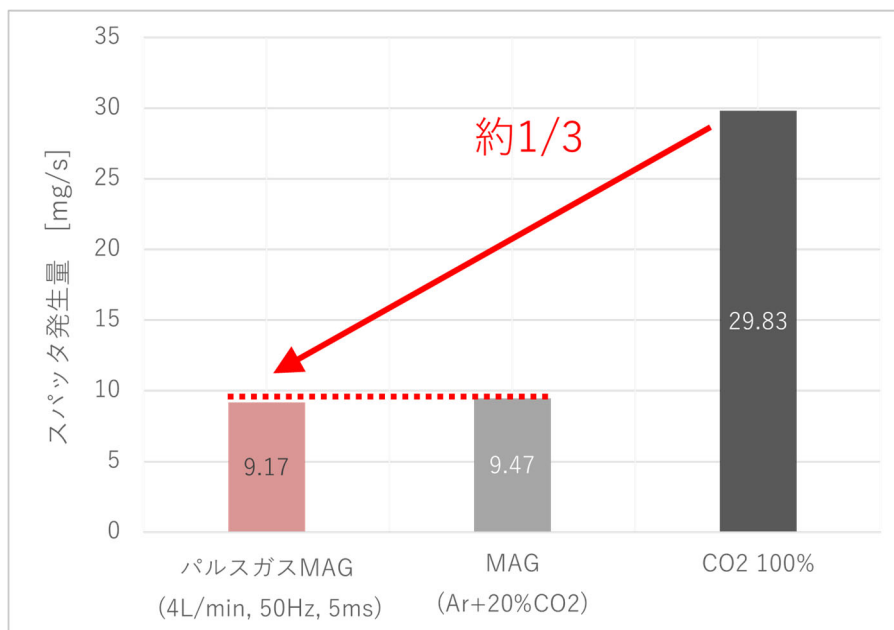


図 9 スパッタ発生量の比較

5. 最後に

本稿では、著者らが開発した新しい溶滴移行制御プロセスとしてパルスガスマグ溶接法について解説した。多くの低スパッタ化技術は溶接電源やその周辺装置の制御により溶滴移行制御を試みたものだが、本溶接法はアーク周辺のガス雰囲気を一時的に変化させることで溶滴移行制御を行う新しい観点からのプロセスであり、それが故に原理現象的に不明瞭な点もまだ多くあると考える。そこで現在では実用化に向けた取り組みを進めるとともに、学術的な現象解明にも着手している。取り組みの一部として数値シミュレーションを活用した例を図 10 に示す。本稿では動画の紹介にとどめるが、図 10 は GMA 溶接中に空間内の雰囲気を 100%CO₂ から 100%Ar へと急激に入れ替えることでパルスガスマグ溶接法の再現を試みたものである。大胆なシミュレーションではあるものの、図 10 中左の実際のアーク形状変化および溶滴の挙動と概ね一致しており、今後の溶滴離脱駆動力の可視化やアーク雰囲気中の Ar 濃度など、現象解明に活用していきたい。

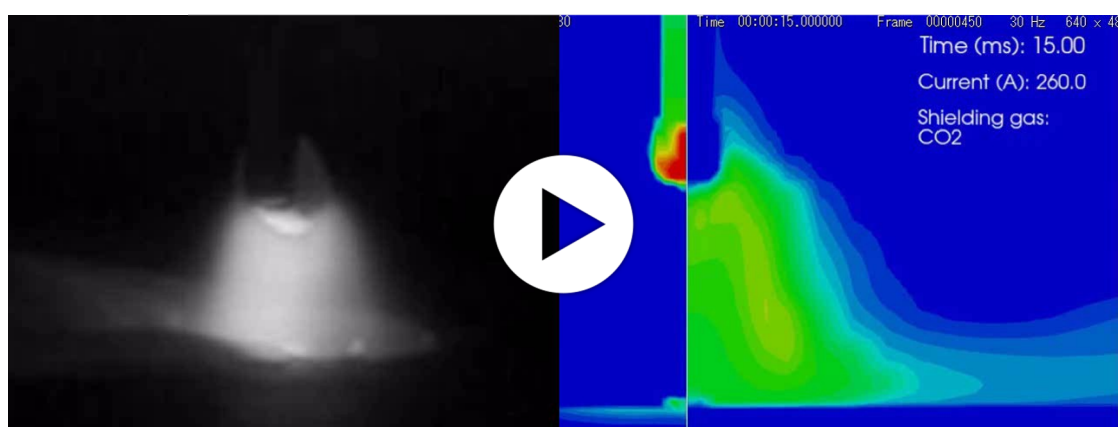


図 10 パルスガスマグ溶接の溶滴移行と数値シミュレーション結果¹⁰⁾

参考文献

- 1) 上山智之, 恵良哲生, “:「電流波形制御によるガスシールドアークプロセスの進化」 溶接学会誌 vol.81 (2012) No.1 p.5-15”.
- 2) 北村佳昭, 山崎圭, 中司昇吾, 小川亮, 井上芳英, 橋本裕志, “:「短絡移行を前提としないワイヤ送給制御プロセスの開発」 溶接学会秋季全国大会講演概要 第 111 集 (2022-9) p.282-283”.
- 3) 片岡時彦, 池田倫正, 小野守章, 安田功一, 平田好則, “:「炭酸ガスアーク現象に及ぼすワイヤへの REM 添加の影響」 溶接学会論文集 第 26 巻 第 1 号 (2008) p.37-41”.
- 4) 恵良哲生, 上山智之, “:「電流波形制御による GMA 溶接のスパッタ低減」 溶接学会誌 vol.75 (2006) No.7 p.565-569”.
- 5) 小原昌弘, 水口隆, 宮田幹人, 津山忠久, 藤原康平, “:「アーク雰囲気ガス組成の動的変化を用いた新しい溶滴移行制御方法について」 溶接学会論文集 第 38 巻 第 4 号 (2020) p.363-378”.
- 6) 藤原康平, 津山忠久, 小原昌弘, 水口隆, 迎井直樹, 井上芳英, “:「周期的 Ar ガス添加による炭酸ガスシールドアーク溶接の溶滴移行制御に関する実験的研究」 溶接学会論文集 第 38 巻 第 4 号 (2020) p.379-391”.
- 7) 池上祐一, 宮内秀樹, 山本信也, 内原正人, “:「シールドガスによるスパッタ低減について」 溶接学会誌 vol.75 (2006) no.7 p.570-574”.

- 8) 三報出版(株), “:「新改訂版 溶接・接合技術入門」 第3版 p.17-18”.
- 9) 野々村将一, 兵間賢吾, 小林和行, 山岡弘人, 宮坂史和, “:「パルス電流波形による溶込み形状の制御」 溶接学会論文集 第33巻 第1号 (2015) p.82-88”.
- 10) 藤原康平, 津山忠久, 荻野陽輔, 小原昌弘, “:「パルスガス MAG 溶接法の開発 第3報—アーク雰囲気的气体組成変化による溶滴移行シミュレーション—」 溶接学会秋季全国大会講演概要 第110集 (2022-4) p.10-11”.

<略歴>

藤原康平 (ふじわら こうへい)

2019年 香川高等専門学校 専攻科 機械電子コース 修了

2019年 川田工業株式会社 四国工場生産開発課

(現 橋梁事業部生産統括部生産開発室) 入社

現在に至る