

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560862

研究課題名(和文)次世代プラズマMIGハイブリッド溶接の知的自動制御に関する基礎研究

研究課題名(英文)Development of Automatic Control System in Plasma-MIG Hybrid Welding

研究代表者

山根 敏(YAMANE, Satoshi)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：10191363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：プラズマ溶接は深い溶け込みが得られ、活性化ガスを用いないので、溶接後の接合部の機械特性が良好である。しかし、溶接効率は悪い。一方、不活性ガスを用いる消耗電極を用いるMIG溶接の能率は高いが、アークが不安定となるために、安定な溶接結果が得られない。そこで、高品質で高能率な溶接結果を得るために、プラズマ溶接とMIG溶接を組み合わせたハイブリッド溶接システムを構築した。これら2種類の溶接電源の同期をとるための回路設計・制作が行われた。このシステムと高速度ビデオカメラを用いて、溶接現象を撮影し、安定な溶接を実現するための電極配置ならびに溶接条件を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The deep penetration can be obtained in plasma welding under inert shielding gas. The good mechanical property can be obtained due to the inert shielding gas, too. But efficiency of the welding is not good. On the other hand, a high efficiency of the welding was achieved by using MIG welding. The arc in MIG welding becomes unstable. In order to improve the arc stability, the hybrid welding system by using plasma and MIG welding was developed. The control circuit was made to synchronize the plasma welding with the MIG welding. Arc phenomena were analyzed by using the circuit and by taking with high speed video camera. The conditions for set up and welding were specified.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・複合材料・表界面工学

キーワード：プラズマ溶接 MIG溶接 ロボット CCDカメラ 溶滴移行 アーク安定化

### 1. 研究開始当初の背景

温暖化対策のために、省エネルギー技術が求められており、建設機械などの車体の軽量化、タワーや建物などの高層建築物および橋梁など鋼構造物のために高張力鋼鋼材等の使用が高まっている。とくに、これらの鋼構造物の機械的強度は材料そのものの特性だけでなく、接合部の品質（溶接状態）に依存している。安心・安全性の観点から、品質の確保、高信頼性が要求されている。消耗電極を用いたアーク溶接法は電極ワイヤに電流を通電し、そのワイヤを溶かし、これを材料（母材）に溶着させ、接合を行っている。活性化ガスを用いているので、溶融部に酸化物が生成し、母材表面に陰極点が安定に存在するため、安定なアークが発生し、生産効率は非消耗電極法より高い。しかし、活性化酸素が溶融金属に入ると、炭素などと接合し、機械的強度が低下する。これを防ぐために高品質溶接を行う場合、シールドガスに純 Ar ガスが用いられるが、純 Ar ガスを用いると酸化物が生じにくいのでアークが安定せず、溶着金属（ビード）が蛇行するなど難溶接となる。非消耗電極溶接を用いるプラズマ溶接は溶接トーチ内のパイロットアークでパイロットガスをプラズマ化させ、これを溶接対象物に照射するために、高電流密度での溶接が可能になり、熱を集中させ、母材を貫通させることができ、確実に裏面まで溶かせ、融合不良は起きない。その上、アークは純 Ar のシールドガスを用いても安定化できる。しかし、溶着金属を用いないので、効率は良くない。一方、MIG 溶接では電極ワイヤが電流で消耗されるため、高能率の溶接が可能であるが、純 Ar シールドガス下では、アークは不安定となる。そこで、MIG 溶接のアーク電流をプラズマ溶接のアーク電流と同じところに流し、安定な溶滴移行状態を作り出す。これにより、溶着金属を確保することにより、従来困難であった難溶接での自動化が可能になる。

### 2. 研究の目的

本研究では純 Ar ガスシールド下において、非消耗電極溶接を安定して行う次世代プラズマ・MIG のハイブリッド溶接法の確立を試みる。このために、

- ①プラズマ溶接において、安定な貫通溶接を得るため、開先倣い技術の確立および溶接条件の調整を行う。
- ②高品質・高能率溶接を実現するために、100%Ar シールドガス中での非消耗電極と消耗電極を組み合わせた場合のアーク現象を解明し、そのアーク現象の安定化を図る。
- ③プラズマアークによる貫通状態はプラズマの圧力と溶融池の重力のバランスで維持しているので、MIG 溶接の溶滴移行の影響を明らかにする。溶け落ちの原因も明らかにする。
- ④溶接の強度を決定する要因の一つである

溶融池形状の制御について検討し、溶融池表面形状や入熱条件（溶接電流、電圧、速度等）を明らかにする。

### 3. 研究の方法

プラズマ溶接と MIG 溶接法を組み合わせたハイブリッド溶接の基礎研究およびその自動溶接に関する研究事例が少ないので、この溶接のアーク安定性の実現および溶け込み現象のメカニズムの検討から行う。プログラム制御可能なハイブリッド溶接システムを構築し、アーク、表面および裏面の溶融現象を高速度ビデオカメラおよび CCD カメラで観察し、同時に電流・電圧の計測を行い、溶融原理を解明する。その結果からアーク現象を安定化させる。

#### ① システム構成

プラズマ電源は強い電気雑音を出すために、既存のパソコンを直接接続すると、その雑音により、正常に動作しないことがことは困難である。そこで、AD 変換器と DA 変換器を持つ dsPIC を導入した。これによりプラズマ電源を制御した。一方、2 種類の溶接トーチを用いて、溶接をまた、プラズマ電源と MIG 電源を組み合わせ、ハイブリッド溶接システムを Fig.1 のように構築した。プラズマ電源と MIG 電源の同期をとるために、システムはコンピュータによって制御されている。プラズマ溶接トーチを先行電極として、MIG 溶接トーチを後行電極として用いる。

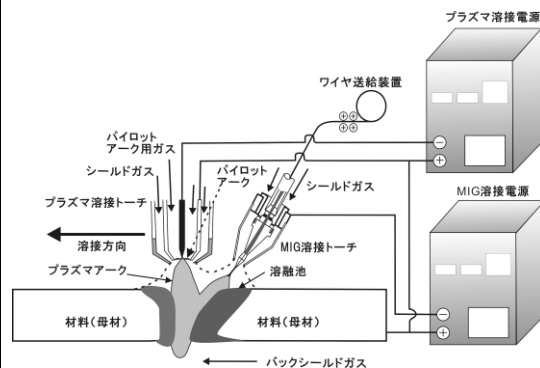


Fig.1 System configuration.

#### ② 溶接時の電流波形の形成

2 電極溶接において、互いの電流が電磁力により干渉が生じる。まず、プラズマ溶接で安定にキーホールを得るためのパルス電流の条件を求めた。この電流の干渉を検討するために、この電流に同期して、Fig.2 に示すように MIG 溶接のパルスピーク電流になるようにした。

毎秒 10000 フレームで高速度ビデオカメラを用いて、溶滴移行現象の撮影を行った。同時に、溶接電流・溶接電圧もサンプリング周波数 100kHz で計測した。これにより、アーク現象の映像と同期した電流・電圧波形を考

察することで、最適な溶接電流波形および溶滴移行状態を検討した。

### ③ プラズマトーチ電極とMIG トーチ電極の極性の検討

溶接時の各電極の電流により、磁界が発生し、これにより、それぞれのアークに電磁力が生じる。2つの電極が負極性の場合、電極母材間の電流の向きが同じになり、このために、アークに引力が働き、この力がMIG溶接における溶滴移行への影響を調べる。その後、極性変更し、MIG溶接側のトーチの極性を正極性に変える。この場合、電流の流れる方向が反対になるために、それぞれのアークに働く力は反発力となる。これらの実験を行って、高速度ビデオカメラで溶滴移行を観察し、MIG溶接における溶滴移行への影響を調べる。さらに、2電極の極間距離がビードに与える影響についても調べる。

## 4. 研究成果

プラズマ溶接トーチおよびMIG溶接トーチの極性が負極性の場合、電流は母材からトーチに流れる。これにより、Fig.3(a)に示すようにMIG溶接時の溶滴が電磁力を受け、プラズマトーチの方向に飛び、大半のものは溶融池には溶滴移行しなく、正常な溶接ビードが形成されない。

一方、MIG溶接トーチの極性を正極性に変えて実験を行った。プラズマ溶接側では、母材からトーチに電流が流れる。MIG溶接側では、電流がプラズマ溶接とは異なり、逆方向に流れる。このために、電磁力はFig.3(b)に示すように反発力として働く。この実験における電流波形と高速度ビデオカメラ画像をFig.4に示す。一般にArシールドガス雰囲気では、アークは不安定となるが、プラズマ溶接側からの磁界の影響(反発力)を受けて、アークおよび溶滴移行の方向は後方か直下に固定される。これにより、電流波形の各点における対応する溶滴移行からもわかる

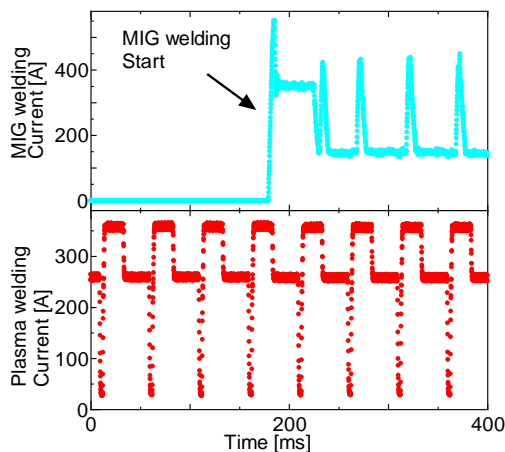
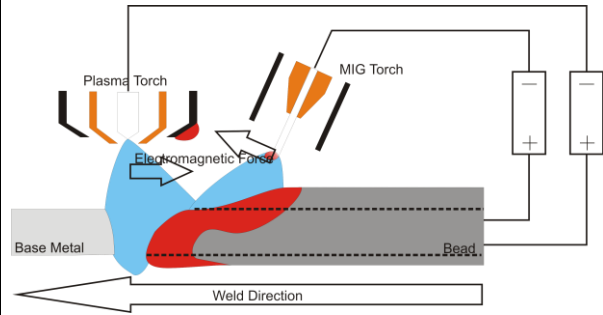


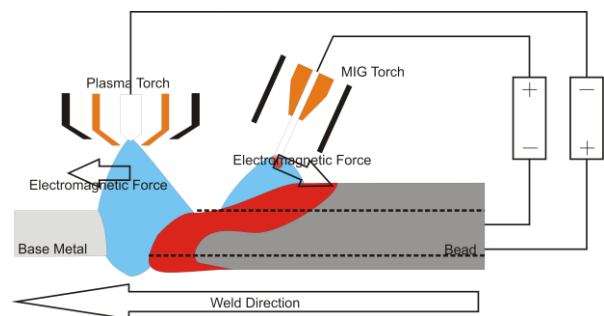
Fig.2 Welding current.

ように安定な溶滴移行が得られている。

しかし、MIGアークによる熱がキーホール部分に直接入熱されるために、裏ビードが不安定になる。そこで、電磁力が働き、なおか



(a) Polarity of MIG welding torch is negative.



(b) Polarity of MIG welding torch is negative.

Fig.3 Electromagnetic force.

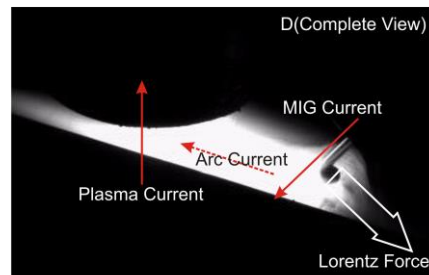
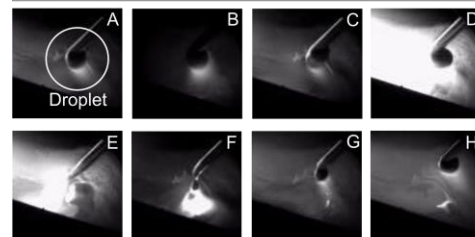
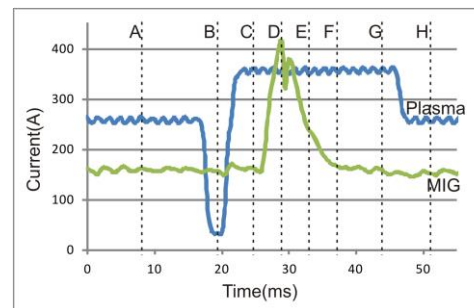


Fig.4 Welding phenomena under one pool.

つ、各電極の直下生じている溶融池がつかないように、高速度ビデオカメラで用いて、現象を観察しながら、2 電極間の距離を離していった。このようにして独立した溶融池を形成した。高速度ビデオカメラで撮影したその溶接現象を Fig.5 に示す。同図において独立した溶融池を持つ場合の溶滴移行を示す。溶滴移行は Fig. 4 と同様に安定に行われている。この結果、先行電極で溶込みを確保し、後方電極で溶着量を確保できる。その溶接結果を Fig. 6 に示す。表および裏のビードも安定しており、純 Ar シールドガスにおいて高効率で品質の高い溶接結果が得られた。

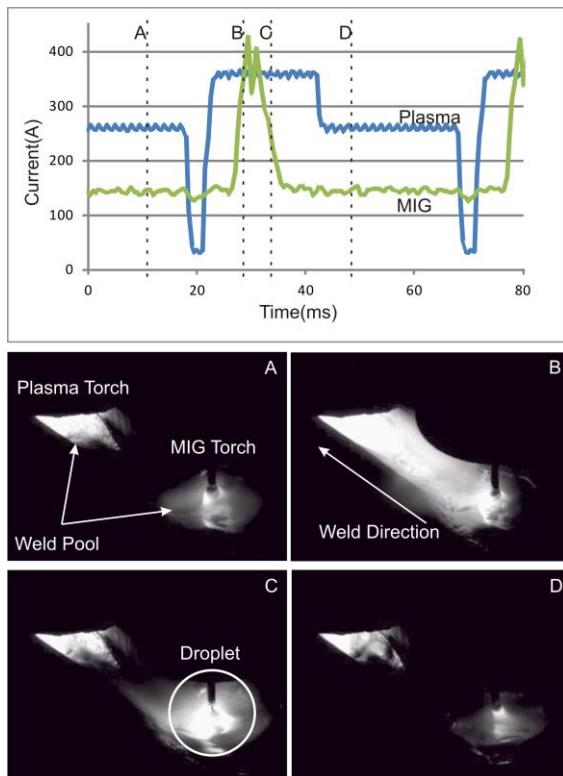


Fig.5 Metal transfer in hybrid welding.

Plasma-MIG Hybrid Welding

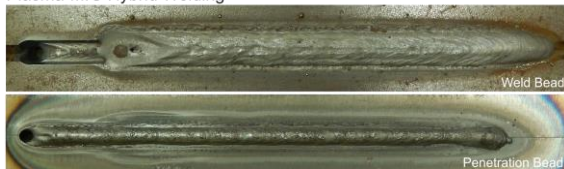


Fig.6 Bead appearance.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 2 件)

- ① YAMANE S., SUZUKI H., TOMA J., GODO T., HOSOYA K., NAKAJIMA T., YAMAMOTO H., Image Processing of the Weld Pool in Robotic Plasma Welding System,

QUARTERLY JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY, Vol. 30, pp. 44s-47s (2013) (査読有)

- ② 山根 敏, 神戸 孝博, 細谷 和道, 中嶋 徹, 山本 光, プラズマ溶接における画像処理による溶接線検出と倣い制御, 溶接学会論文集, Vol. 31, pp. 175-180 (2013) (査読有)

〔学会発表〕 (計 17 件)

- ① 塚野 草太, 代田 雄人, 豊田 匠, 山根 敏, パルス MAG 溶接におけるアークセンサの構築, 溶接学会平成 26 年度春季全国大会 (2014. 4. 22), 東京ビックサイト (東京都江東区)
- ② 代田 雄人, 塚野 草太, 豊田 匠, 山根 敏, パルス MAG 溶接における溶融池の観察, 溶接学会平成 26 年度春季全国大会 (2014. 4. 22), 東京ビックサイト (東京都江東区)
- ③ 小池 伴幸, 藤間 次郎, 山根 敏, 細谷 和道, 中嶋 徹, 山本 光, プラズマ溶接におけるカメラリンクを用いたキーホール観察, 溶接学会平成 26 年度春季全国大会 (2014. 4. 22), 東京ビックサイト (東京都江東区)
- ④ 沼澤 広樹, 孔 繁龍, 山根 敏, 細谷 和道, 中嶋 徹, 山本 光, プラズマ・MIG による二電極溶接法における電極間距離の影響に関する研究, 溶接学会平成 26 年度春季全国大会 (2014. 4. 22), 東京ビックサイト (東京都江東区)
- ⑤ 鈴木 洗, 藤間 次郎, 山根 敏, 細谷 和道, 中嶋 徹, 山本 光, プラズマ溶接における視覚ロボットの構築, 溶接学会平成 25 年度秋季全国大会 (2013. 9. 2), 岡山理科大学 (岡山県岡山市)
- ⑥ 沼澤 広樹, 孔 繁龍, 山根 敏,

- 細谷 和道, 中嶋 徹, 山本 光, プラズマ・MIG の 2 電源による溶接現象の観察, 溶接学会平成 25 年度秋季全国大会 (2013. 9. 2), 岡山理科大学 (岡山県岡山市)
- ⑦ YAMANE S., NUMAZAWA H., KONG F., HOSOYA K., NAKAJIMA T., YAMAMOTO H., Observation of Welding Phenomena in Two-electrode Welding of Plasma and MIG, Doc. 212-1295-13, Proc. of International Institute of Welding Study Group 212 (2013. 9. 14), ドイツ, エッセン
- ⑧ YAMANE S., SUZUKI H., TOMA J., HOSOYA K., NAKAJIMA T., YAMAMOTO H., Tracking of Welding Line and Standoff Control in Plasma Welding by using CCD camera, Doc. XII-2140-13, Proc. of International Institute of Welding Commission XII (2013. 9. 14), ドイツ, エッセン
- ⑨ 孔 繁龍, 沼澤 広樹, 神戸 貴博, 山根 敏, 細谷 和道, 中嶋 徹, 山本光, プラズマ電源と MIG 電源による多電極溶接に関する研究, 溶接学会平成 25 年度春季全国大会 (2013. 4. 17~4. 19), 学術総合センター (東京都千代田区)
- ⑩ 藤間 次郎, 鈴木 洸, 神戸 貴博, 山根 敏, 細谷 和道, 中嶋 徹, 山本光, プラズマ溶接における視覚センサの適用, 溶接学会平成 25 年度春季全国大会 (2013. 4. 17~4. 19), 学術総合センター (東京都千代田区)
- ⑪ SUZUKI H., TOMA J., GODO T., YAMANE S., HOSOYA K., NAKAJIMA T., YAMAMOTO H., Image Processing of the Weld Pool in Robotic Plasma Welding System, Visual-JW2012, PT-6 (2012. 11. 28), ホテル阪急万博 (大阪府茨木市)
- ⑫ 藤間 次郎, 鈴木 洸, 神戸 貴博, 山根 敏, 細谷 和道, 中嶋 徹, 山本光, プラズマアーク溶接における溶融池の画像処理, 溶接学会平成 24 年度秋季全国大会 (2012. 9. 28), 奈良県商工会議所 (奈良県奈良市)
- ⑬ 豊田 匠, 塚野 草太, 山根 敏, 電源特性によるパルス GMA 溶接の制御, 溶接学会平成 24 年度秋季全国大会 (2012. 9. 28), 奈良県商工会議所 (奈良県奈良市)
- ⑭ YAMANE S., TOMA J., GODO T., HOSOYA K., NAKAJIMA T., YAMAMOTO H., Application of Visual Sensor to Robotic Plasma Welding System, IWJC-Korea 2012 (2012. 5. 9) (招待講演), Juju, Korea
- ⑮ 神戸 貴博, 高梨 太郎, 山根 敏, 山本光, 中嶋 徹, 細谷 和道, プラズマアーク溶接への視覚センサの適用, 溶接学会平成 24 年度春季全国大会 (2012. 4. 11), 大阪南港 ATC ホール (大阪府大阪市)
- ⑯ 山根 敏, 高梨 太郎, 神戸 貴博, 細谷 和道, 中嶋 徹, 山本光, V 開先パルスプラズマ溶接における溶融池のセンシングと制御, 溶接学会平成 23 年度秋季全国大会 (2011, 9. 7), 皇學館大学 (三重県伊勢市)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

該当なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山根 敏 (YAMANE, Satoshi)

埼玉大学 理工学研究科・准教授

研究者番号: 10191363