

# 外部磁場を利用した高張力鋼の純ArMIG溶接時におけるアークの安定制御

棚原 靖、羽地龍志、松本幸礼

高張力鋼の溶接には、TIG溶接が有効であるが溶接効率が劣ることからアルゴンガスを用いたMIG溶接による高能率溶接が望まれている。アルゴンガスを用いたMIG溶接ではアークの蛇行や溶融液柱が発生することが知られており、それらを抑制するような溶接材料の開発やTIG溶接とMIG溶接を組み合わせた溶接方法などの開発も行われている<sup>1)2)</sup>が、アーク制御に関する事例は少ない。

そこで、本研究ではアークの安定化に溶融池磁気制御アーク溶接法を応用して、電磁力によるアークの安定化を試みた結果、安定したアークの発生と良好なビード形状を形成する溶接条件を得た。

## 1 はじめに

近年、部材の軽量化への要望に伴い、使用される材料の高張力化が進んでおり、自動車を筆頭に東京スカイツリーに代表されるような高層建築物等へニーズも高まっている。

高張力鋼の溶接には、TIG溶接が有効であるが溶接効率が劣ることからアルゴンガスを用いたMIG溶接による高能率溶接が望まれている。一般的に、純度99.99%のアルゴンガスを用いたMIG溶接は、アルミニウムやステンレス鋼の溶接に用いられ、軟鋼や高張力鋼など鋼材の溶接には使用されない。なぜならば、アークは、母材の溶融池の酸化物を選んで発生する性質がある<sup>3)</sup>ことから、アルゴンガスをシールドとして用いた溶接では、溶融池表面に酸化物がほとんど存在しないため、アークが不安定となるからである。また、溶接ワイヤが側面から溶融し始めることによる溶融金属液柱の発生することも知られており<sup>4)</sup>、これらの影響からアルゴンガスシールドによるMIG溶接は困難とされている。

本研究ではアルゴンガスシールドMIG溶接に溶融池磁気制御アーク溶接法（以下、ECMP法）を適用することで、電磁力によるアークの安定制御について検討した。

## 2 実験方法

### 2-1 MIG溶接へのECMP法の適用

図1にECMP法の概念を示す。溶接進行（Y軸）方向に対して垂直（X軸）方向に外部磁場を付与すると、一般的にMIG溶接では溶接ワイヤをプラス極にとることから電流は下向き（Z軸）方向に流れるため、フレミングの左手の法則に従い、溶接進行方向に電磁力が発生する。この電磁力によってアークが強制的に溶融池前方に偏向する。この偏向現象は磁気吹きと呼ばれ、溶込み不足や溶接ビードの欠陥の原因となることから好ましくないが、

不安定なアークに対しては、強制的に方向付けする役割を果たし、結果的にアークの安定化に寄与する可能性がある。

実験に用いた磁化コイルは図2に示すように、コの字型の軟鋼性ヨークにφ20 mmの鉄心を2本取り付け、その周りに耐熱被覆銅線を各々160回巻きつけている。溶接ワイヤにできるだけ磁場が集中するように形状を細くした磁極先端を取り付けている。磁極先端の間隔は40 mmで固定し、磁極先端外側の倣いローラにて、試験片と磁極先端とは一定の間隔（0.5 mm）を保つよう実験を行った。

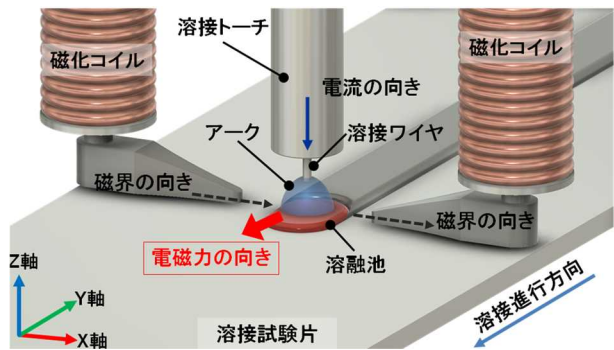


図1 MIG溶接時のECMP法概念図

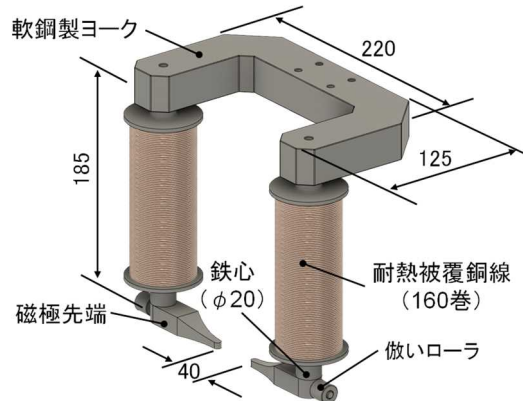


図2 磁化コイルの詳細図

## 2-2 実験条件

溶接試験片(母材)は板厚3.2 mmの溶接構造用圧延鋼材(SM490A)を使用した。溶接ワイヤには直径1.2 mmのJISYGW12を用いた。

その他詳細な実験条件を表1に示す。実験は、アークの挙動観察を容易にするため、平板上でのビードオンプレート溶接とした。

なお、アークの挙動を観察するため、溶接進行側面からは赤外線領域を撮影できるよう改良した一眼レフカメラにバンドパスフィルター(970 nm)とNDフィルターを装着し、溶接中の撮影を行った。

また、溶接進行正面からは高速度ビデオカメラ(FANTOM V311(株)ノビテック)を使用し、フレームレート1,000 fpsで撮影した。

表1 実験条件

溶接姿勢	下向き
溶接方法	ビードオン
溶接電流/電圧	125 A/19 V
	150 A/21 V
	200 A/24 V
溶接速度	500 mm/min
シールドガス	Ar:25 L/min
アーク長	2 mm
磁束密度	6,12,18,24 mT
チップ・母材間距離	12 mm
試験片と磁化コイルの間隔	0.5 mm
溶接材料	SM490A
試験片寸法	70×360×3.2 <sup>2</sup> mm
溶接ワイヤ材料および直径	YGW12 φ1.2 mm

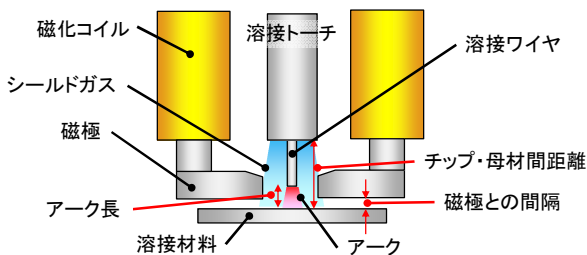


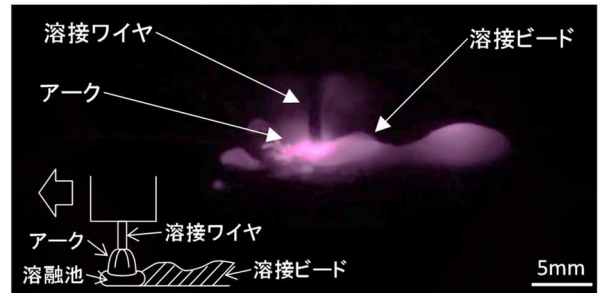
図3 実験配置図

## 3 実験結果および考察

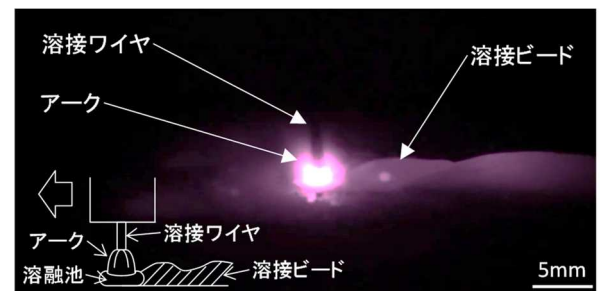
### 3-1 アークの挙動について

図4に磁場を付与せずに溶接を行った時の溶接進行方向側面から観察したアークの挙動ならびに溶接ビード形成状況を示す。なお溶接条件は、溶接電流150 A、溶接電圧21 V、溶接速度500 mm/minであり、a)は溶接開始時、b)は100mm溶接進行時の写真である。溶接開始時から形成される溶接ビードは、こぶ状の不連続な形状を呈しており、アークの発生も不安定であった。溶接が進行するに従い溶接ビード形状は幾分改善されるものの、未だ凹

凸を有しており、アークも不安定であった。これに対し、図5に示すとおり磁場を付与した場合(溶接条件は図4と同様)では、溶接開始時から安定したアークの発生が確認され、形成される溶接ビードの凹凸も少ない。この状況は100 mm溶接進行時においても同様で、その後も溶接全線にわたってアークの発生ならびに溶接ビードも安定しており、常に溶接進行方向に対してアークが先行していることも観察された。

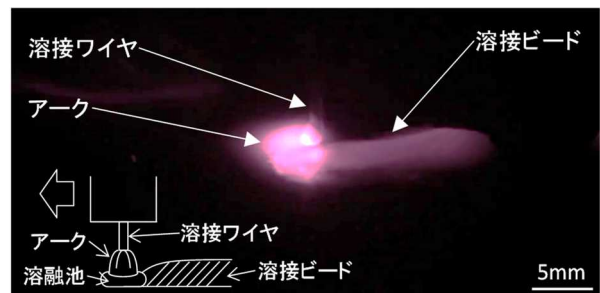


a) 溶接開始時

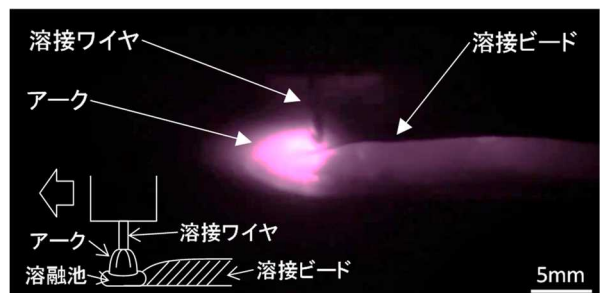


b) 100 mm進行時

図4 溶接進行方向側面からの写真(0 mT)



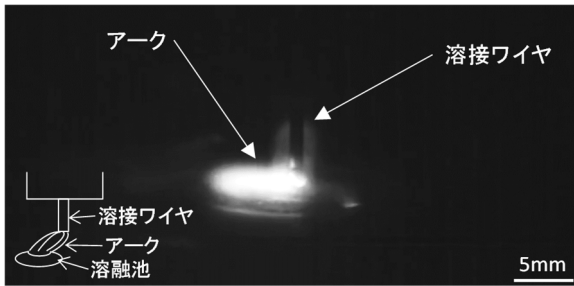
a) 溶接開始時



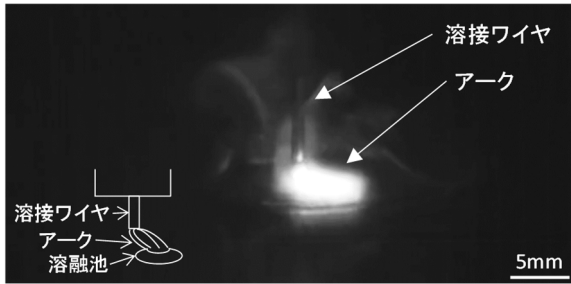
b) 100 mm進行時

図5 溶接進行方向側面からの写真(12 mT)

図6には、溶接進行方向正面から観察した磁場を付与しない場合のアークの挙動について溶接開始時、100 mm溶接進行時の写真を示す。正面からの観察では、アークの挙動の変化が顕著であり、磁場を付与しない場合には溶接開始時からアークが左右に振れ、100 mm進行時においても同様な状況となっていた。これに対し、図7の磁場を付与した場合には、アークは開始時から溶接終了まで左右に振られることなく釣り鐘型の安定した形状を呈していた。

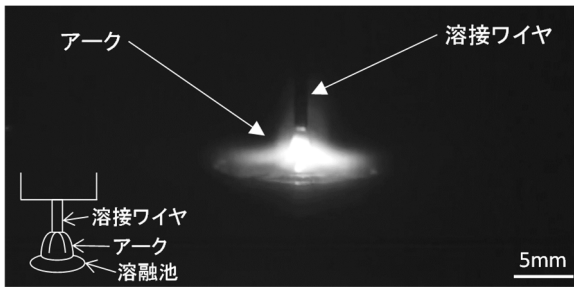


a) 溶接開始時

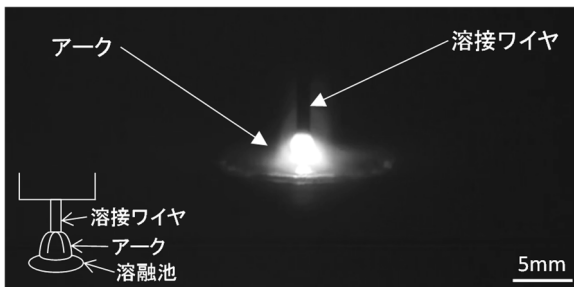


b) 100 mm進行時

図6 溶接進行方向正面からの写真 (0 mT)



a) 溶接開始時



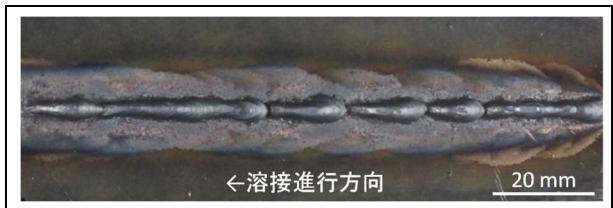
b) 100 mm進行時

図7 溶接進行方向正面からの写真 (12 mT)

### 3-2 ビード形状について

図8～9に溶接速度500 mm/minを一定とし、溶接条件を変化させた場合における磁場の有無で比較した溶接ビード形状写真を示す。

図8の磁場を付与しない場合の溶接ビード形状は、アークの蛇行のみならず溶接電流に対し溶接速度が速すぎる場合に発生するハンピング（不連続なこぶ状）も重畳しているが、磁場を付与することによって、安定した溶接ビードを形成している。図9の溶接電流150 Aの磁場を付与しない場合では、ハンピングは抑制されているもののビードの蛇行やガスシールド幅に不安定さが見られるが、磁場を付与した場合は、ビード形状、ガスシールド幅ともに一定な形状となっており、溶接時のアークが安定していることが示唆される。図10の溶接電流200 Aでは、ガスシールド幅に一定の効果が確認できるものの、溶接ビード自体には磁場の有無による差は見られなかった。



←溶接進行方向

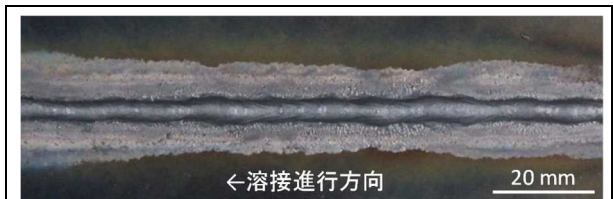
a) 磁場なし



←溶接進行方向

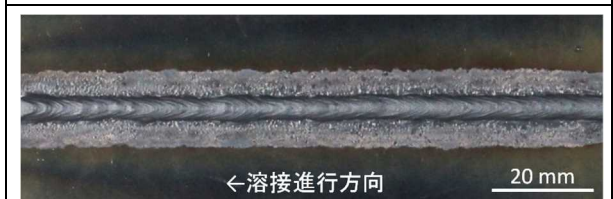
b) 磁場あり (12 mT)

図8 溶接ビード形状  
(溶接電流125 A、溶接電圧19 V)



←溶接進行方向

a) 磁場なし



←溶接進行方向

b) 磁場あり (12 mT)

図9 溶接ビード形状  
(溶接電流150 A、溶接電圧21 V)



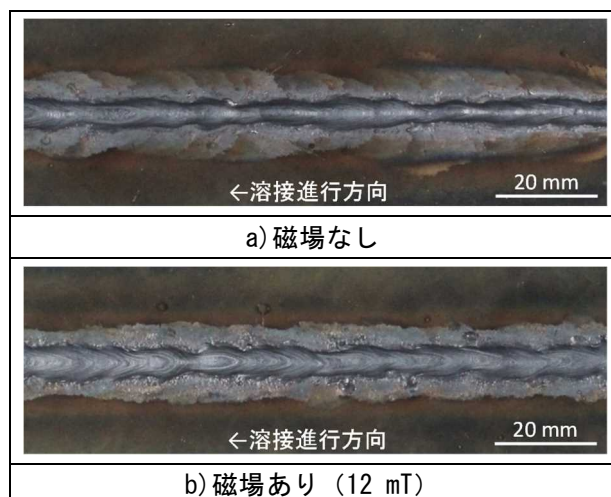


図10 溶接ビード形状  
(溶接電流200 A、溶接電圧24 V)

一般的にアークは溶接電流の増加に伴い硬直性が増すことから、磁束密度12 mTの条件下では、発生する電磁力よりも硬直性が勝っていたものと考えられる。

そこで、溶接電流200 Aの条件下において、磁束密度を変化させたときのアークの安定効果を確認するため実験を行った結果を図11に示す。

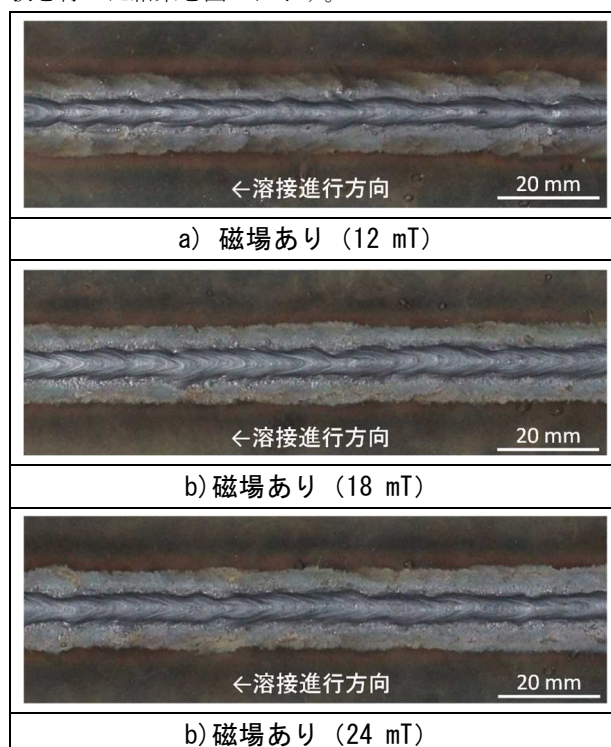


図11 溶接ビード形状  
(溶接電流200 A、溶接電圧24 V)

図より、磁束密度の増加に伴い、溶接ビード形状にわずかな改善効果が見られるものの、溶接電流150 A以下の条件下で見られたような劇的な改善効果を得ることは

できなかった。図12は溶接電流150 Aの条件下において磁束密度を変化させた結果であるが、わずか6 mTの磁束密度においても溶接ビード形状は安定していることから、電磁力によってアークを安定的に制御できる溶接電流の上限値が存在する可能性がある。

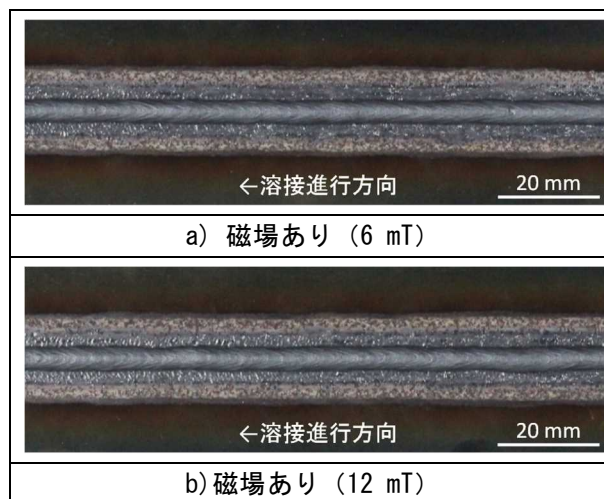


図12 溶接ビード形状  
(溶接電流150 A、溶接電圧21 V)

#### 4 まとめ

本研究ではアルゴンガスシールドMIG溶接にECMP法を適用することで、電磁力によるアークの安定制御について検討した結果、以下の結論を得た。

- ・溶接時のアークの挙動を観察したところ、溶接進行方向の電磁力を発生させる磁場を付与した場合には、付与しない場合と比較して、アークの発生を安定できることを確認した。

- ・形成された溶接ビードを比較したところ、磁場の有無で大きな差があり溶接電流150 A以下においては、良好なビード形状を得た。

- ・溶接電流200 Aにおいては、磁場を増加させたにも関わらず良好なビード形状が得られなかったことから、制御可能な溶接電流の上限値の存在が示唆された。

本研究は、「外部磁場を利用した高張力鋼の純ArMIG溶接時におけるアークの安定制御 (2019技013)」として実施したものである。

#### 参考文献

1) 金丸周平, 佐々木智章, 佐藤豊幸, 田中学, : TIG-MIG複合溶接法の基礎的検討, 溶接学会論文集, Vol.30(2012), No.1, 29-34

- 2) 中村照美, 平岡和雄: 純Ar中でのGMA溶接を可能とする共金系9%Ni鋼用同軸複層ワイヤ, 溶接学会論文集, Vol.30(2012), No.3, 254-261
- 3) 松田福久, 牛尾誠夫, 才川至孝, 丸山裕, 荒谷雄: 9%Ni鋼の共金溶接のためのGMA溶接に関する研究, 溶接学会誌, Vo.52(1983), No.3, 306-313
- 4) 銭谷哲, 中村照美, 平岡和雄, 篠崎賢二: 微量酸素軸流局部添加によるAr-MIGアーク溶接特性, 溶接学会論文集, Vol.25(2007), No.1, 187-195

## **Stable control of arc during pure Argon MIG welding of high-tensile steel using external magnetic field**

Yasushi TANAHARA, Tatsushi HANEJI, Yukinori MATSUMOTO

Okinawa Industrial Technology Center

Although TIG welding effectively welds high-tensile steel, high performance welding by MIG welding using Argon gas is desired because TIG welding efficiency is inferior. It is known that the meandering of the arc and the melting liquid column are generated in MIG welding using Argon gas. Although the development of welding materials for suppressing the phenomena and of a welding method combining TIG and MIG welding is performed<sup>1)-2)</sup>, the number of cases concerning arc control is small.

Therefore, this research attempted the stabilization of arc by Electromagnetic Controlled Molten Pool Welding Process to the stabilization of arc. As a result, welding conditions for the generation of a stable arc and the forming of an excellent bead shape were obtained.

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。