

# レーザ・アークハイブリッド溶接法

山田景太\*  
 桧山昌之\*\*  
 西原順二\*\*\*

Laser/Arc Hybrid Welding

Keita Yamada, Masayuki Hiyama, Junji Nishihara

## 要旨

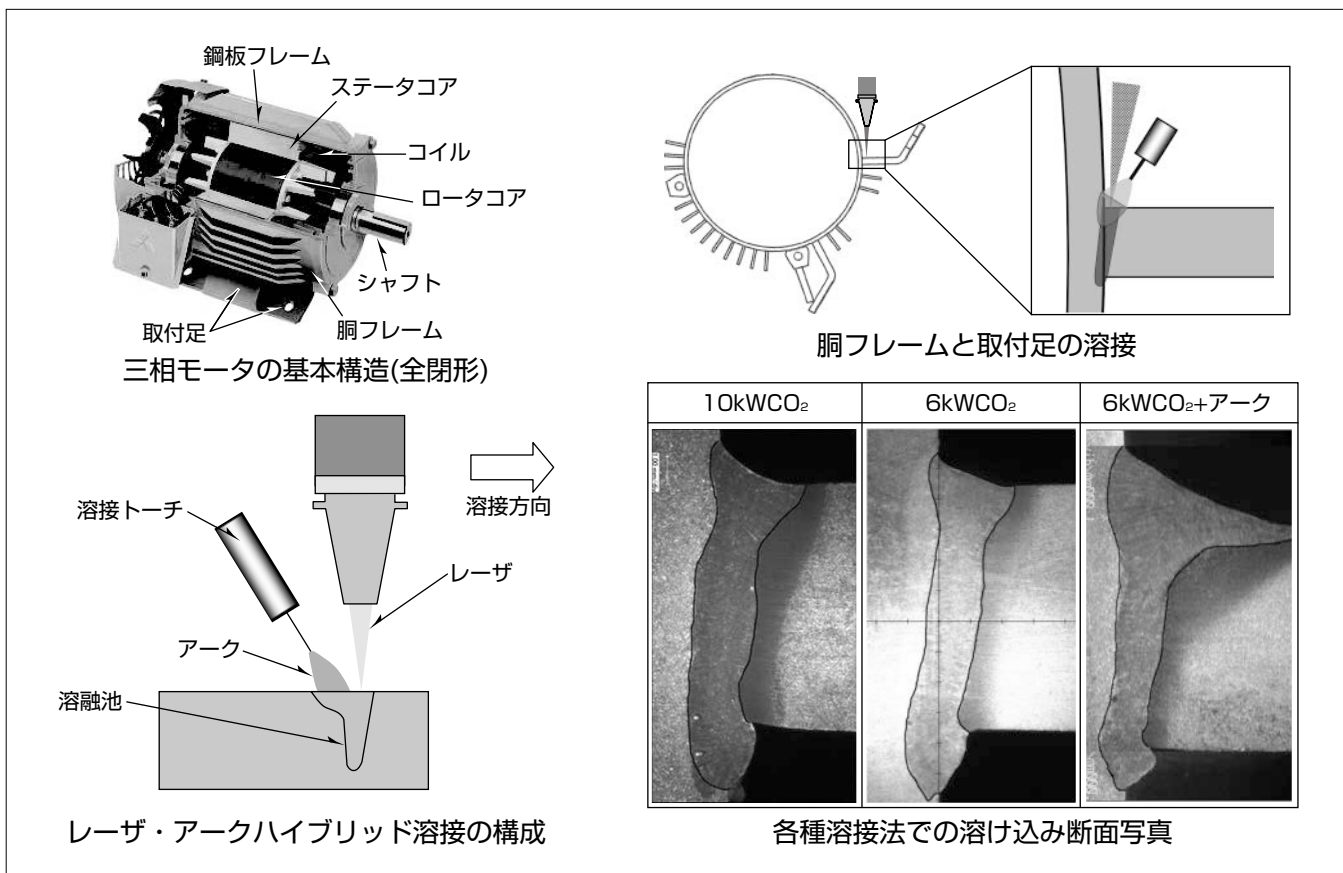
近年、レーザ装置の高出力化、小型化、ビーム高品質化に伴い、レーザ加工は切断や溶接など、適用範囲を多岐に広げている。レーザ溶接は深溶け込み・低歪(ひず)みなどの特長があるが、溶け込み幅が狭いため狙い位置精度が厳しいという課題がある。この課題に対し、レーザ溶接とアーク溶接とを組み合わせ溶け込み幅を拡大させて狙い位置精度を拡大できるレーザ・アークハイブリッド溶接技術の研究が盛んに行われ、自動車、造船、橋梁(きょうりょう)分野へ実用化されつつある。

本稿では、三相モータ用鋼板フレームのレーザ溶接工程で、胴フレームと取付足のT字継ぎ手に対してレーザ・ア

ークハイブリッド溶接の適用を検討する。その結果、従来の10kWCO<sub>2</sub>レーザでの溶接と同等の溶接を6kWCO<sub>2</sub>レーザとデジタルインバータ制御MAG溶接<sup>(注1)</sup>を組み合わせたレーザ・アークハイブリッド溶接で実現した。

溶接部の溶け込み不足については、高速ビデオカメラの現象観察によって、レーザエネルギーを吸収するレーザ誘起プラズマがレーザ溶接単独時よりも大きく発生し溶け込みが浅くなることを解明した。対策としてアーク及びレーザ溶接用のシールドガス雰囲気制御することで貫通完全溶接を実現した。

(注1) Metal Active Gas溶接(活性ガスを用いた溶接方法)



## レーザ・アークハイブリッド溶接の特長

レーザ後方にアーク電極を配置してレーザで形成される溶融池内にアークを発生させることで、レーザ溶接単独の溶け込み深さ、アーク溶接単独よりも大きな溶け込み幅を得ることができる。

### 1. ま え が き

レーザー溶接は、低入熱・高精度・高速溶接や深溶け込み溶接という優れた特長があり、各種産業で実用化されているが、レーザーが細く絞られているため開先形状に高い寸法精度が要求される。一方、アーク溶接はもっとも広範囲に利用されており、技術的蓄積、信頼性が高い溶接方法であるものの、レーザー溶接と比較して入熱が高いことから溶接変形が大きく、高速溶接時には不整ビードが形成されやすい問題点がある<sup>(1)</sup>。このような両者の欠点を補うため、各熱源を組み合わせることによって、より高効率・高品質な溶接を目指した技術がハイブリッド溶接技術であり、近年、研究開発が行われ、鉄鋼や船舶、重工業の分野で板厚6mm以上の中厚板の溶接に適用されつつある<sup>(2)</sup>。

本稿では、レーザー・アークハイブリッド溶接(以下“ハイブリッド溶接”という。)の構成、溶け込み特性等の特長とともに、三相モータ用鋼板フレームの溶接工程への適用事例について述べる。

### 2. 三相モータ用鋼板フレームの構造と溶接方法

図1に三相モータの基本構造と鋼板フレームの外観を示す。胴の縦継ぎ、取付足をフィラーワイヤ供給ありのレーザー溶接、放熱フィン、吊りボルト座、Br座等はアーク溶接で接合しており、溶接姿勢は品質面から下向き溶接とするため図2に示すように鋼板フレームを回転させながら、奥行き方向にレーザーを走査し溶接している。

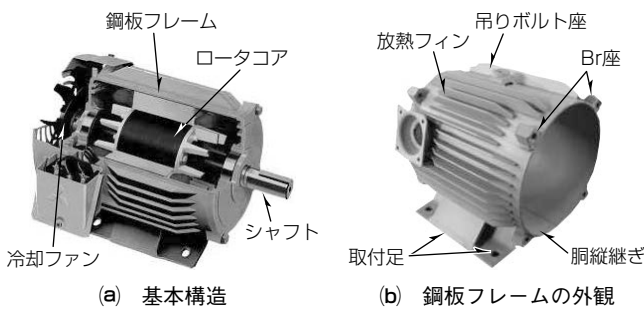


図1. 三相モータ基本構造(全閉形)

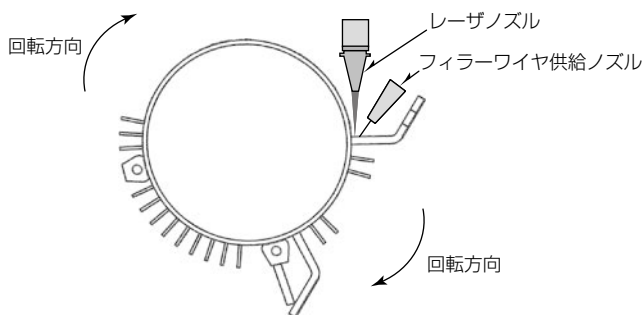


図2. 取付足レーザー溶接時の模式図

図3に胴フレームと取付足(板厚9mm)のレーザー出力による溶接溶け込み写真を示す。溶接速度0.8m/minで設定出力8kW(10kWCO<sub>2</sub>発振器)を5.5kW(6kWCO<sub>2</sub>発振器)に低下することで溶け込み幅が狭くなり、胴フレームと取付足の未接合部が生じる。出力5.5kWで同等の溶け込みを得るためには溶接速度を0.5m/minまで低下させる必要があった。課題は図4に示すように、5.5kWのパワーでは対象板厚の貫通溶接は容易であるが、溶け込み幅が小さい点にある(図4(a))。又は、レーザー溶接の狙いを胴フレーム側に寄せることで溶け込みを確保できるが、今度は貫通溶接が困難になる(図4(b))。対策として、図5に示すように、アーク溶接を組み合わせ、貫通溶接をレーザーに、胴フレームと取付足の溶け込み確保をアークに分担させるハイブリッド溶接を適用することで溶接速度を低下させずに溶接が可能となる。

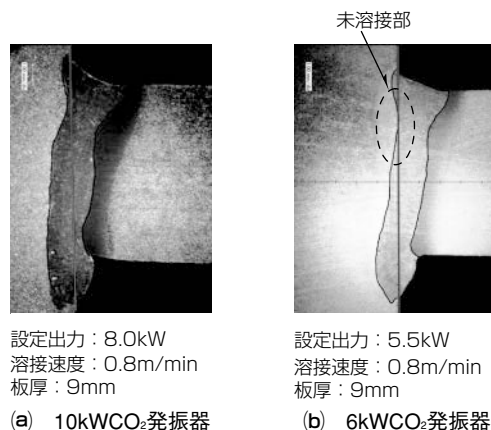


図3. レーザ出力による溶け込み比較

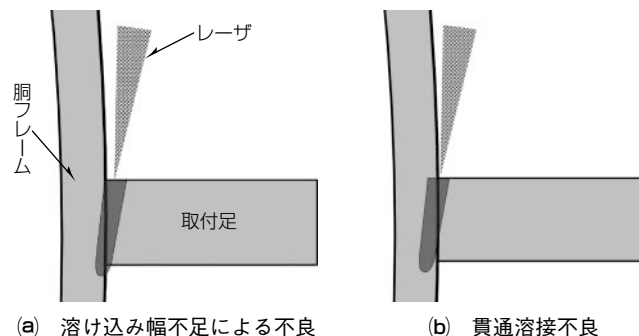


図4. レーザ溶接単独における溶け込み

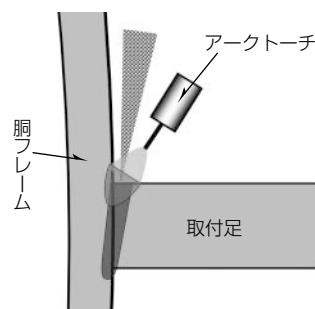


図5. ハイブリッド溶接の溶け込み

### 3. レーザ・アークハイブリッド溶接法

#### 3.1 レーザ・アークハイブリッド溶接の構成

図6にハイブリッド溶接の構成を示す。レーザーは三菱電機製の6kWCO<sub>2</sub>発振器(ML60CF-R)から伝送され、レンズによって母材表面に集光させる。アーク電源は㈱ダイヘン製のデジタルインバータ制御式パルスMAG溶接機(DP350)を使用し、溶接ワイヤの狙い位置はレーザー照射点の後方1~4mm程度とした。ハイブリッド溶接ではレーザー溶接で形成される溶融池にアークを発生させることで、

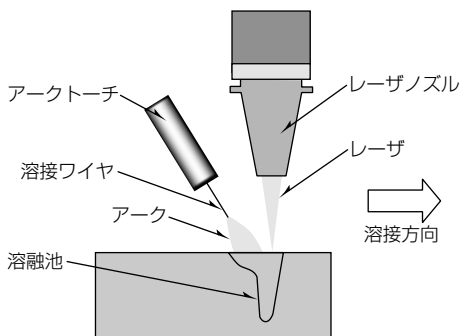


図6. レーザ・アークハイブリッド溶接の構成

アーク溶接	レーザー溶接	ハイブリッド溶接
溶接速度: 0.7m/min 溶接電流: 150A 溶接電圧: 20V 溶接ワイヤ: φ1.2mm	溶接速度: 0.7m/min 設定出力: 5.5kW Heシールド: 25L/min	溶接速度: 0.7m/min 溶接電流: 150A 溶接電圧: 20V 溶接ワイヤ: φ1.2mm 設定出力: 5.5kW Heシールド: 25L/min

図7. 各種溶接法の溶け込み写真

レーザー溶接単独よりも溶け込み幅を増加させ、高速度化が可能となる。

#### 3.2 レーザ・アークハイブリッド溶接の溶け込み特性

図7に各種溶接法における溶け込み写真を示す。アーク溶接は幅広で浅く、レーザー溶接は幅狭で深く、ハイブリッド溶接はアークとレーザーの足し合わせ以上に幅広で深い溶け込みとなった。図8に各種溶接法における溶け込み深さ及びビード幅の測定結果を示す。ハイブリッド溶接のビード幅がアーク溶接と比べ1.5倍、溶け込み深さはレーザー溶接と同等を確保することができた。

### 4. 三相モータ用鋼板フレームへの適用

#### 4.1 溶接狙い位置裕度の拡大による溶接高速化

取付足を溶接する際の溶接トーチの構成及びビーム狙い位置を図9に示す。ビーム狙い位置が大きすぎると胴フレームと取付足に未溶着部が生じてしまうため、十分な溶け込み幅が確保できる条件が望まれる。

図10に6kWCO<sub>2</sub>発振器を用いたレーザー溶接単独とハイブリッド溶接のビーム狙い位置裕度を示す。ハッチング内部は胴フレームと取付足に十分な溶け込みが得られている

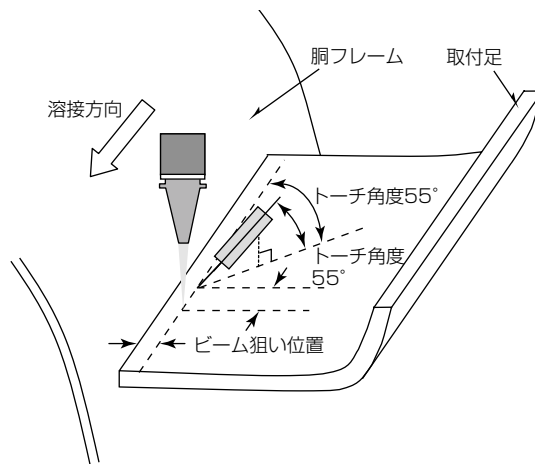


図9. 溶接トーチの構成とビーム狙い位置

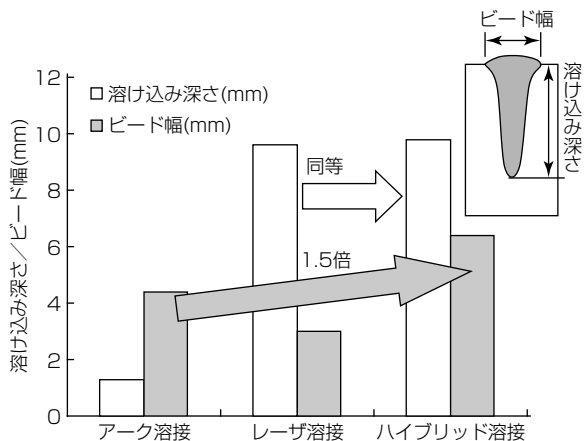


図8. 各種溶接法の溶け込み深さとビード幅の比較

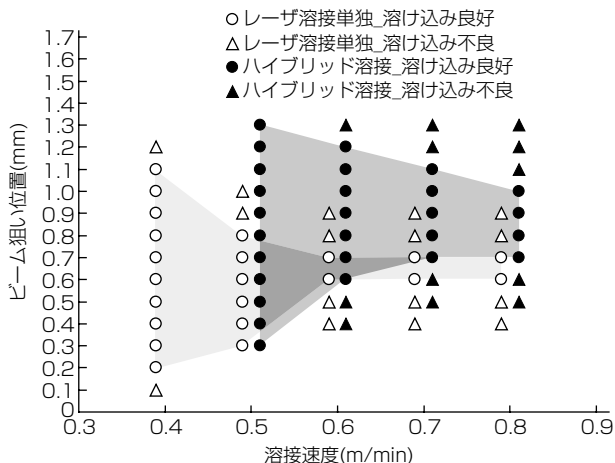


図10. 取付足(板厚9mm)におけるビーム狙い位置裕度の比較

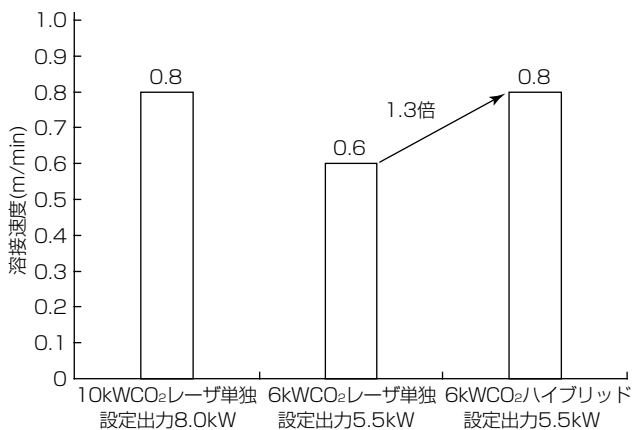


図11. 取付足(板厚 8 mm)での溶接速度の比較

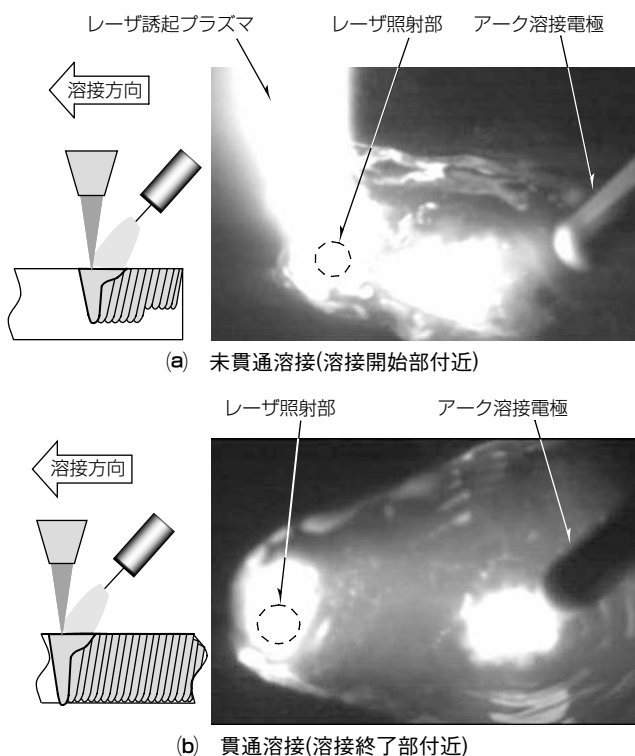


図12. ハイブリッド溶接時の溶け込み写真と高速度カメラ画像

ことを示す。溶接速度0.6m/minにおけるビーム狙い裕度は、レーザー溶接単独で0.1mmであるがハイブリッド溶接では、アーク溶接による溶け込み幅増大でおよそ6倍の0.6mmを確保することができる。図11に取付足(板厚 8 mm)での溶接速度を示す。一方、ハイブリッド溶接を適用させることで、6kW CO<sub>2</sub> レーザ溶接単独よりも1.3倍の0.8m/minまで高速化でき10kW CO<sub>2</sub> レーザと同等の速度を確保できた。

#### 4.2 レーザ・アークハイブリッド溶接適用の課題

ハイブリッド溶接では溶接開始部で貫通溶接ができないという課題があった。図12にハイブリッド溶接時の溶け込み写真及び高速度カメラ画像を示す。未貫通溶接時(同図(a))にはレーザー照射部で高輝度の発光体が観察できた。これは図13に示すように高温の金属蒸気が電離し大きく成

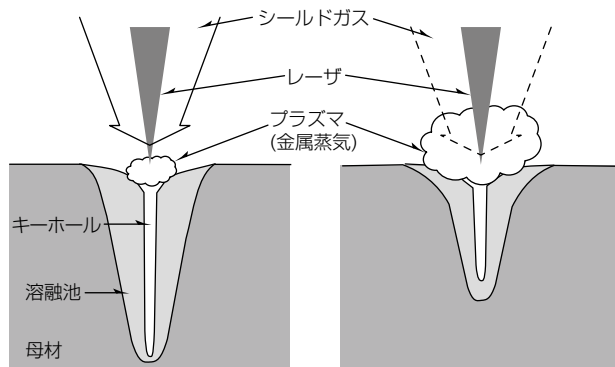


図13. プラズマ発生に溶け込み深さの違い

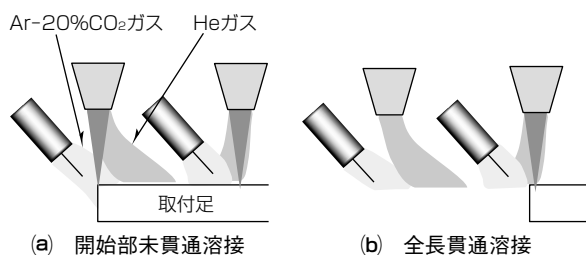


図14. 溶接開始部のHeシールド領域の比較

長したレーザー誘起プラズマであり、レーザーエネルギーを吸収したものである。したがって、溶け込み深さはこのプラズマの影響によって浅くなる。プラズマを抑制するためシールドガスにHeを使用しているが、ハイブリッド溶接におけるアーク側のシールドガス(Ar-20%CO<sub>2</sub>)の吹き付けによってHeのシールド性が弱まったと考える。溶接開始部以外で貫通溶接が可能であるのは図14(a)に示すようにレーザー加工機ヘッドが移動していく中でレーザー照射部のHeシールド性が高まったことにある。これを踏まえ加工機ヘッド稼働位置を手前にずらし溶接開始位置でHeシールド性を高めることで全長貫通溶接を実現した(図14(b))。

### 5. む す び

ハイブリッド溶接の三相モータ用鋼板フレームへの適用を目指し、溶け込み特性やレーザー狙い位置裕度拡大に伴う溶接高速化について述べた。

ハイブリッド溶接はそれぞれの溶接法を単に組み合わせただけの効果を得ることができ、薄板ではギャップ裕度の向上、中厚板では低歪み、溶接高速化を実現できる溶接法とし他の製品にも広く適用できるものとする。

#### 参考文献

- (1) 川口 勲：レーザー・アークハイブリッド溶接技術の現状と今後の課題, IIC REVIEW No.42, 49~54 (2009)
- (2) 加野潤二, ほか：溶接・接合をめぐる最近の動向, 溶接学会誌, 81, No.5, 66~67 (2012)