

## レーザー加工技術の現状と今後の課題

大脇 桂\*  
Katsura Owaki

レーザー加工技術（溶接や切断等）の発展は目覚しく、高精度で高速加工が可能になり自動車など薄板加工分野では多くの適用事例がある。一方、これまで課題となっていた厚板への適用にはレーザー発振器の高出力化やアーク溶接と組み合わせたハイブリッド溶接の研究・開発などにより実用化段階に来ている。これらレーザー加工分野への取り組みについて、技術動向や最新技術とその適用事例などについて紹介する。

キーワード：レーザー加工、レーザー溶接、水中溶接、レーザークラッド、ファイバーレーザー、ディスクレーザー、ハイブリッド溶接

### 1. はじめに

レーザー光を熱源として溶接・切断・表面改質等の熱加工に用いるレーザー加工は、低入熱・高精度・高速加工が可能であることから、幅広い産業分野での適用が期待されている。実際に電機・電子産業における微細加工分野や、自動車の薄板加工分野ではすでに多くの実用化例を見ることができる。しかしながら対象物の板厚が厚くなり、サイズが大きくなると、レーザー発振器の出力と発振効率、対象物の精度管理とハンドリング、加工そのものの安定性等において解決すべき課題が増えることから、重工業分野における普及はそれほど多いとはいえない。

しかしながら、近年、レーザー発振器のビーム品質・出力・信頼性が急速に進歩してきたことや、

発振・励起方式の異なるいくつかのレーザー発振器が高出力レベルでの実用化を迎えていること、またモニタリングやビーム制御技術等の周辺技術が進歩してきたことから、新たな段階を迎えつつある。

ここではIICにおけるこれまでのレーザー加工技術への取り組みと今後の展開および産業界の最近の技術動向について紹介する。

### 2. レーザー加工技術の現状

レーザー加工は通常のアーク熱源を用いた加工と比較してインシャルコスト（設備投資額）が格段に高いため、レーザーでなければ不可能あるいは信頼性が確保できないという対象物から適用してきた。図1はレーザー加工技術の適用範囲拡大のための検討項目を示したものである。以下にこれらの

\* 研究開発事業部 生産技術部 溶接加工グループ 課長

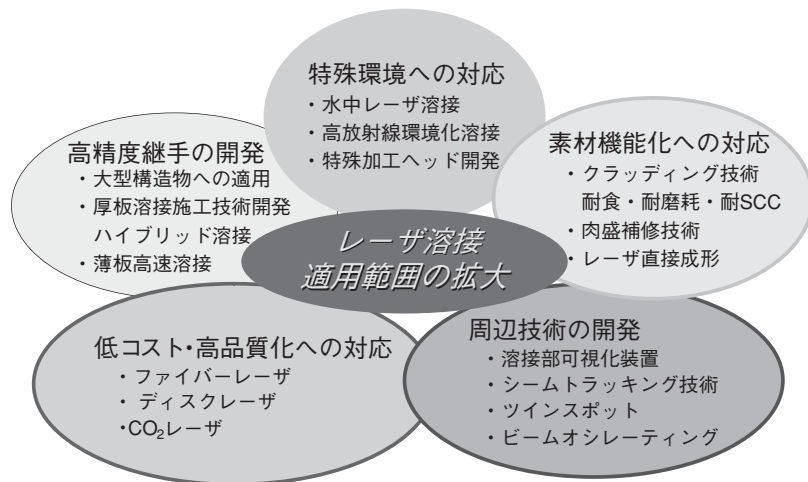


図1 レーザ加工技術の適用範囲拡大のための検討項目

検討項目ごとにこれまで取り組んできた内容について述べる<sup>1)</sup>。

## 2.1 狭隘部・特殊環境

狭隘部や水中・人の近づけない放射線環境下における溶接では遠隔・自動溶接が不可欠な技術であり、光ファイバー伝送が可能な YAG レーザ溶接は、アーク溶接で問題となる電圧降下や高電圧伝送を考慮する必要がなく非常に有効な手段となる。

### ・水中レーザ溶接技術

近年、原子力分野において高品質の水中溶接技術の要求が高まっており、ファイバー伝送の可能な大出力 YAG レーザが従来の溶接法に代わる新たな溶接方法として注目されている。筆者らは、タンク内面の肉盛補修溶接や原子炉内構造物の表面改質へ水中 YAG レーザ溶接を適用する技術開発を行っている。

図2に水中 YAG レーザ溶接の原理を示す。溶接ヘッド内には、レーザービームとシールドガスが同軸で供給されており、被溶接部はこのシールドガスによって部分的に気中雰囲気になっている。遮水の構造は極めてシンプルであるが、この方法で十分なシールド性を確保できる。水中における

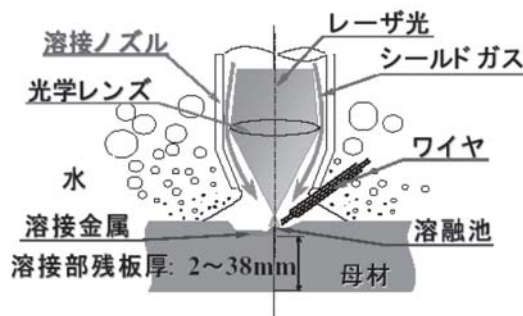


図2 水中 YAG レーザ溶接

ビードの形成はシールドガス流量、溶接速度、ノズル高さおよびノズル穴径などによって影響される。これらを適切に選択することで安定した溶接が可能である。

図3は水中溶接ロボットの外観模式図である。本ロボットを用いた母材部およびすみ肉継手への補修溶接施工法は、経済産業省より特殊方法溶接として認可されており、実機工事に即時投入が可能である。

## 2.2 素材機能化

素材に新たな機能を付加する表面改質においてもレーザ加工技術は素材への熱影響が小さいという点で非常に有効な手段である。ここでは高い信

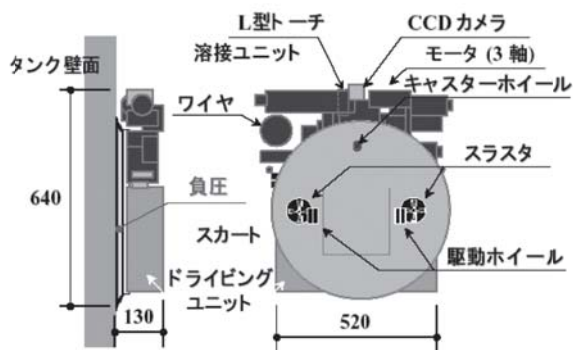


図3 水中ロボット

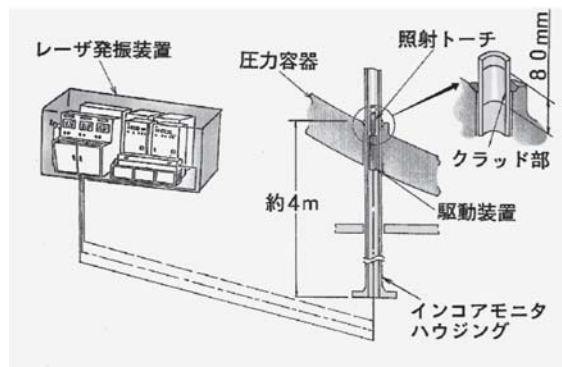


図4 ICM 配管へのレーザークラディング

頼性と安全性を要求される原子力プラントでの実用化例について述べる<sup>1)</sup>。

- ・原子炉 ICM 配管へのレーザークラディングの適用

原子力プラントでは年一回の定期検査が義務付けられており、ここで補修あるいは予防保全対策が必要とされたものについては、現地にて信頼性の高い技術を用いて効率的に作業を進めることが要求される。

過去に BWR（沸騰水型原子炉）において、予防保全の観点から、既設ステンレス小口径配管（インコアモニタハウジング）の溶接部内面における応力腐食割れ性を改善したいというニーズがあった。この狭隘部に対する工法として、YAG レーザを用いて高耐食性合金を配管内面にクラディングする技術を開発、実用化した。図4に本工法の概要、図5にクラディング部の外観を示す。屋外から光ファイバーにて伝送されたレーザー光により、既設配管内面に予め塗布された高耐食性合金粉末層を溶融し、高耐食性合金層を形成させる。予防保全対策としての本技術は、既設プラントの寿命延長を可能とした。

- ・熱交換器フランジシール面へのレーザークラディングの適用  
炭素鋼製熱交換器フランジシール面ではガス

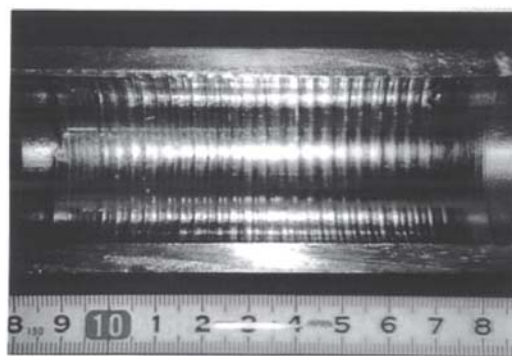


図5 クラディング部外観

ケット面に孔食が発生し易く、この部分に対する恒久対策としてステンレス鋼のレーザークラディングを実施した。対象部材は図6に示すような外径約1800mmのフランジで、肉盛幅60mmの大面积をクラディングする必要がある、その上シール面であることから変形を極力抑える必要があるため、レーザークラディングを採用することとした。本工法では母材による希釈を極力抑え、かつ初層の炭素鋼成分による硬化を2層目クラディングにより再熱することで、施工後の熱処理を省略することも可能としている。

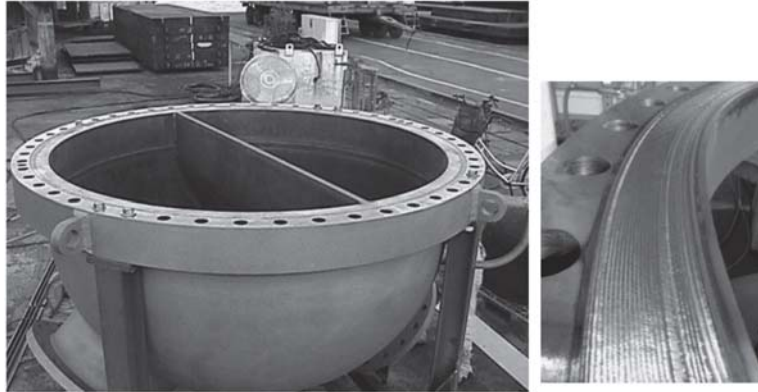


図6 炭素鋼製熱交換器フランジシール面とクラディング外観

### 2.3 高精度・低入熱溶接

・欧州におけるレーザー発振器の開発状況

自動車、電気産業、重工業分野などで金属材料の溶接や切断加工において、高出力のディスクレーザーやファイバーレーザーの適用が拡大している。大出力レーザーの代表例であるLD励起YAGレーザーやCO<sub>2</sub>レーザーが主に用いられてきたが、コストや性能面で劣っているのが現状である。現在盛んに使用されつつあるファイバーレーザーは、これまで高出力化が困難であると考えられてきたが、現在では100W～17kWの出力を持った発振器がラインナップされている。産業界では、自動車分野や橋梁、造船などの構造部材に適用されつつある。各メーカーから販売されている発振器を図7に示す。IHI、IICにおいては、構造部材への適用を目標として、ファ

イバーレーザーを用いたレーザー溶接やアーク溶接を併用したハイブリッド溶接の研究開発を進めている。

### 2.4 周辺技術・システム化

レーザー加工は実用化に際して自動化が不可欠な技術であり、そのためには施工技術を確立すると同時にシステムとしての周辺技術開発が非常に重要となる。ここではこれまでに開発した周辺技術と共に、これらを駆使したシステムの実用化例について述べる。

・溶接部可視化技術

周辺技術としては、溶融プールおよびその周辺をより鮮明に観察するため溶接部可視化装置を改良中であり、今回ガルバノスキャナに高速度カメラを設置し同軸で溶融プールを観察することに成功した。図8にリモート溶接による観察



17kWファイバーレーザー

4kWディスクレーザー

10kW半導体レーザー

図7 レーザー発振器

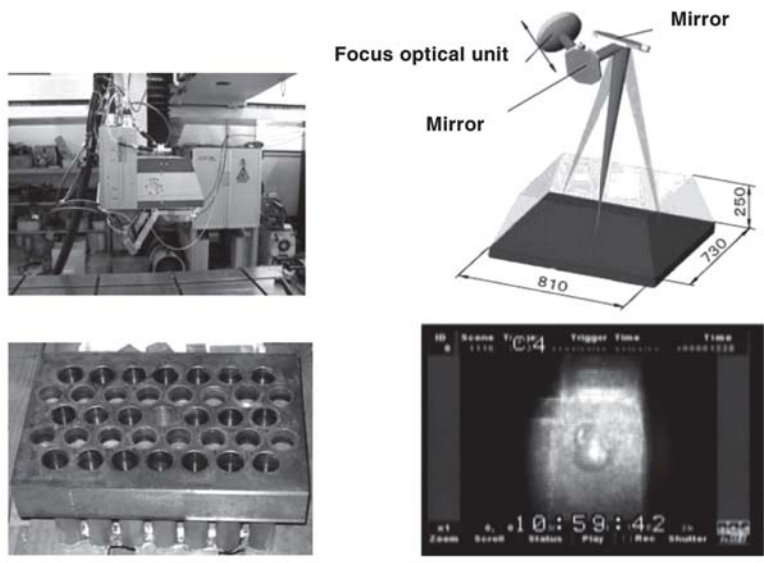


図8 リモート溶接のモニタリング例

画像の一例を示す。現在、本システムを用いたインプロセスモニタリング制御技術を研究開発中である。

3. 産業界における最近のレーザ・アークハイブリッド溶接現象とその適用

レーザ・アークハイブリッド溶接（以下、ハイブリッド溶接）は、図9に示すように、レーザとアークの熱源で一つの溶融池を形成させる、レーザ溶接とアーク溶接の両方を組み合わせた溶接方法である。レーザとアークの特長を活かし、さらに

ハイブリッド化により生じるさまざまな特徴を生かした新しい溶接方法としての研究・開発が行われ、現在では実用化を含めて、各方面で利用されている。

ここでは、ハイブリッド溶接の装置構成や特徴および溶接現象を観察した一例について述べるとともに、現在、実用化またはそれに向けて適用が検討されている例について紹介する。

3.1 レーザ・アークハイブリッド溶接の構成

レーザ・アークハイブリッド溶接装置は、レーザ溶接に使用するレーザ発振器と、市販されてい

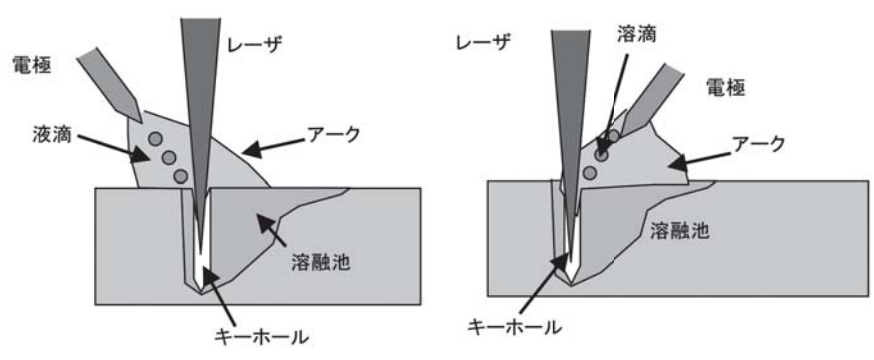
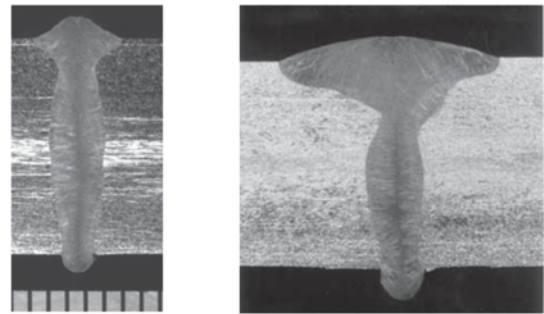


図9 レーザ・アークハイブリッド溶接の概略

るアーク溶接用の電源を組合せ、市販されているレーザーヘッドや、独自に開発したハイブリッド用のレーザーヘッドにアーク溶接用のトーチを装着させて行うことが、一般的である。

ハイブリッド溶接に使用するレーザー発振器は、通常のレーザー溶接と同様の発振器から選択される。この中でも、光ファイバーでレーザーが伝送できる YAG レーザが操作性の面から有利であり、採用されることが多い。近年では、より高品質なビーム品質が得られるディスクレーザやファイバーレーザの使用例が増加している。特にファイバーレーザは従来の他のレーザと比較して、発振器の大きさが小さく、また、高効率であること、高ビーム品質が得られることから、従来のレーザ以上に高速溶接や、深溶込み溶接が可能となった。この性能が期待され、各分野で適用のための研究開発が活発に展開され、一部では実用化が始まっている。ハイブリッド溶接でも、このファイバーレーザのこの効果を期待し、多くの研究開発が実施されている<sup>2)</sup>。

図 10 及び図 11 にハイブリッド溶接におけるビード外観と断面マクロ写真を示す。



(a) レーザ単独溶接 (溶接速度45cm/min) (b) ハイブリッド溶接 (溶接速度60cm/min)

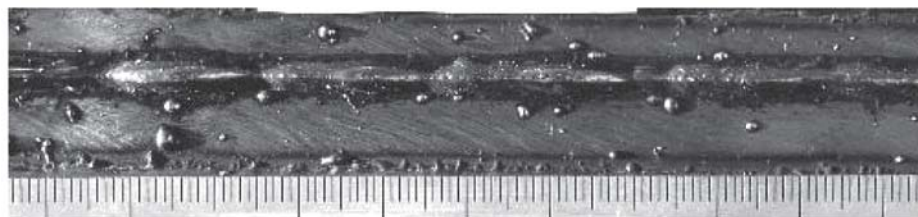
図11 レーザ溶接とハイブリッド溶接の断面マクロ

### 3.2 レーザ・アークハイブリッド溶接の最近の適用

#### ・薄板への適用例

薄板は、寸法精度の向上とともに高速溶接が行える点と、継手特性の面で溶け込み深さや溶着量を増やすことができる点などから、これら施工性が需要である箇所に適用が進められている。

その一つとして自動車分野ではドア部分へのレーザー・アークハイブリッド溶接の適用が行われており<sup>3)</sup>、そのほか、テーラードブランク材やアルミ溶接へのハイブリッド溶接の検討もさ



(a) アーク単独溶接において発生するハンピングビード



(b) (a)と同じ速度によるハイブリッド溶接のビード外観

れている<sup>4)</sup>。

#### ・厚板への適用例

厚板には、変形が少なく後工程の仕上げ調整や組み立て工数の削減がメリットとなる適用箇所が考えられる。ヨーロッパでは、造船用部材の隅肉溶接や、突合せ溶接にハイブリッド溶接が実用化されている。また、ギャップ裕度拡大と継手特性の改善を目的に、パイプの全姿勢溶接などへの適用も検討されている<sup>5)</sup>。

### 3.3 自動化への動向

ハイブリッド溶接は、アーク溶接条件、レーザー溶接条件などパラメータが多く、また、レーザー溶接を用いる特性上、自動化は不可欠である。基本的には、複雑な溶接線や比較的小型な部材には、多関節ロボットが多く用いられ、直線の溶接には、精度に優れた、カンチレバータイプや、ガントリータイプのロボットが多く用いられる。また、大型構造物になるにしたがって大型装置が必要になるが、コスト面からの制約も大きくなる。このような観点から、走行台車を用いたハイブリッド溶接装置の開発がヨーロッパで行われ、著者らも、溶接装置を開発し、良好な溶接継手を得ている。また、このような大型部材を溶接する場合には、狙い位置精度、溶接変形などの観点から、開先倣い機構を用いた溶接装置の開発が重要となる。

## 4. 今後の展望

#### ・熱源の選択

現在、事業展開している「溶接関連機器の開発」において、熱源の選択は熱源ありきではなく、材質や板厚、ユーザの必要とする生産タクトに合わせた最適な熱源を選択している。その中でも次世代レーザーとして開発されているファイバーレーザーやディスクレーザーを活用した事業展開を行っており、今後もユーザに対して最適な熱源を選択し、提案していく所存である。

#### 参考文献

- 1) 大脇ら：“最近のレーザー・アークハイブリッド溶接現象とその適用”，平成19年度溶接技術講習会（(社)日本溶接協会中国支部）
- 2) 大脇ら：“重工業分野におけるレーザー加工技術の現状と今後”，溶接学会レーザーフォーラム（2004）
- 3) 安部、林：“レーザー・アーク複合溶接法とその将来”，溶接技術 Vol.51（2003），No.7, pp.62-67
- 4) 河合、岩見、馬場、小川：“レーザー・アークハイブリッド溶接現象の観察”，第153回溶接アーク物理研究委員会資料
- 5) 村山、外館：“パイプのレーザーハイブリッド全姿勢溶接”，溶接技術 Vol.54（2006），No.4, pp.52-59



研究開発部 生産技術部  
溶接加工グループ  
課長  
大脇 桂  
TEL. 045-759-2120  
FAX. 045-759-2155