

技術解説

# レーザー溶接技術と適用事例

Laser Welding Technology and Application

瀬渡 直樹 中井 知章

Seto Naoki

Nakai Tomoaki

レーザー溶接は、高速で精密な溶接が容易にできるため、近年自動車や鉄道車両に限らず、様々な製品の接合方法として適用が急速に広がっている。レーザー溶接の普及には、良好な溶接品質を得るために、レーザー溶接の原理、特徴、品質および適用事例を良く理解し、「ものづくり」に応用することができるかが重要なポイントである。

Since laser welding makes it easier to perform speedy and precisely, it is rapidly spread as the joining method applied not only for cars or train vehicles but also for various industrial products. To promote the spread of laser welding, it is important to promote manufactures to understand the principle, the characteristics, the quality and the application of laser welding well, and apply them to their manufacturing.

キーワード：レーザー溶接，キーホール，X線透過観察，ポロシティ，テラードブランク

## 1 はじめに

レーザーは人類が初めて手にした波長や位相が揃った光であるため、直進性や集光性などに優れる特性から、今日では計測や加工など幅広く使われている。振り返ると、人類がレーザー光を手にしたのは1960年にメイマンがルビーレーザーを発振したときである。当時のレーザーは溶接のような加工ができるほど出力が高くなかったが、その後、多くのレーザー発振の技術開発により高出力発振が可能なCO<sub>2</sub>レーザーやYAGレーザーが登場するようになって、レーザーが産業の加工分野に適用されるようになった。レーザー加工の一つであるレーザー溶接は産業用の加工技術として地位を得つつあるが、良好な溶接品質を得るためには、レーザー溶接の原理、特徴、および適用事例をよく理解し、ものづくりに応用することが重要なポイントである。ここでは、レーザー溶接の原理、特徴、欠陥と改善方法、適用事例について報告する。

## 2 レーザ溶接

レーザー溶接とは、レーザー光を熱源として主として金属に集光した状態で照射し、金属を局部的に熔融・凝固させることによって接合する方法のことである。

### 2.1 レーザ溶接装置

レーザー溶接装置の代表的な構成<sup>1)</sup>を図1に示す。装置はレーザー発振器、光路、集光系、駆動系、シールドガス系で構成される。発振器で発振されたレーザーは光路を通じて集光光学系へ導かれるが、CO<sub>2</sub>レーザーの場合はミラーによる折返しで伝送され、YAGレーザーの場合はミラーによる伝送以外に光ファイバーによる伝送も用いられる。近年はレーザー光源として高輝度のファイバーレーザー<sup>\*1</sup>等が登場している。集光系はミラーや集光レンズ等で構成されており、伝送されてきた光が適切なサイズへレーザーを集光して材料に照射することで溶接を行う。

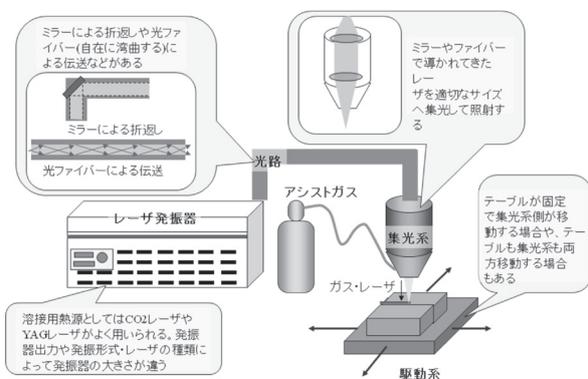


図1 レーザ溶接装置<sup>1)</sup>

\* 1：ファイバーレーザーは、光ファイバーのコア部分にErイオン等をドープした媒体に励起光を与えて得られる光を増幅したレーザーであり、高輝度でよく絞れるビームが得られる。

## 2.2 レーザ溶接の原理

レーザー溶接では溶接したい材料に対してレーザー光を集光して照射している（例えば直径 0.6 mm に集光して 3 kW のレーザーを照射する等）。この場合、単位面積当たりのエネルギー密度は非常に高くなり、照射された箇所では激しい蒸発が起きて深い穴が形成される。この穴をキーホールといい、キーホールの形成を X 線で観察した例を図 2 に示す。

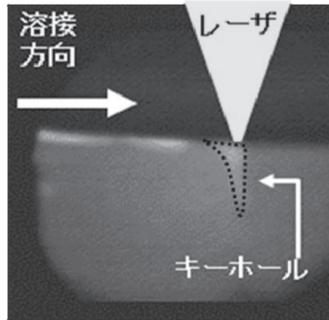


図 2 キーホールの X 線透過観察の例

レーザー溶接はキーホールを形成した状態を維持しながらレーザー照射箇所を移動させて溶接するので、狭い幅で深く溶け込んだ形状を維持した溶接ビードが形成される。また、照射箇所のエネルギー密度が高いため、キーホールの形成は極短時間であり、アーク溶接では溶接困難な数 m/min の高速溶接でもキーホールを維持するのは容易である。

## 2.3 レーザ溶接の特徴

### (1) 長所

レーザー溶接は放電のエネルギーで金属を熔融し凝固させることで溶接するアーク溶接と比べて、熱源が集中することによって、溶接部の形状や溶接速度は大きく異なる。図 3 に典型的な溶接条件で溶接したレーザー溶接とアーク溶接のビード断面を示す。この図からも明らかなようにレーザー溶接の場合は溶接幅が狭くかつ溶接深さが深いこと、溶接速度がアーク溶接より数倍以上大きいことの特徴がある。また、照射箇所のエネルギー密度が高いためレーザー照射場所や時間は極小かつ瞬間になり、溶接に必要な熱（入熱）は非常に小さくなる。そのため、溶接部の熱変形は極めて小さいことも特徴である。

そこで、溶接加工の高精度化、小型化や高速化を果たすために良好な溶接品質を維持しつつ、

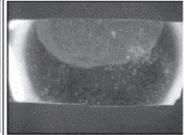
	レーザー溶接	アーク溶接(TIG)
レーザー出力	4 kW	-
アーク電流	-	160-180 A
溶接速度	110 cm/min	10 cm/min
シールドガスと流量	Ar, 20 l/min	Ar, 15 l/min
ビードの断面写真		
溶込み深さと形状	6 mm(貫通) 楔形	3.5 mm 熱伝導形

図 3 レーザ溶接とアーク溶接の比較

アーク溶接からレーザー溶接へ置き換えるには、レーザー溶接の原理や特徴を知っておくことは不可欠である。

### (2) 短所

レーザー溶接は、キーホールなる極小エリアに強力なエネルギー密度で照射するため、適切な溶接条件でないと溶接欠陥が発生することがある。例えば、レーザー溶接する箇所に少しの間隙があっても、レーザーは集光されているので、その大半が隙間からすり抜けることもある。この場合、その部分の溶接は非常に不安定になるため、溶接箇所の隙間や目違いにはアーク溶接の時以上に注意を払う必要がある。

また、レーザー溶接は溶接する材料や溶接条件によっては割れやポロシティ等の溶接欠陥を溶接部に発生し、溶接部の機械的強度等の性能を著しく損ねることがある<sup>2) 3)</sup>。特にポロシティはレーザー溶接時に頻繁かつ多量に発生しやすい特徴があり<sup>2) - 4)</sup>、注意が必要である。なお、比較的大きいポロシティの多くはキーホール内の激しい蒸発によって熔融金属内に気泡を作成し、それが空洞として残るといふ生成挙動が X 線を用いた現象観察研究等で確認されている<sup>5) 6)</sup>。図 4 にポロシティの生成挙動をまとめた。

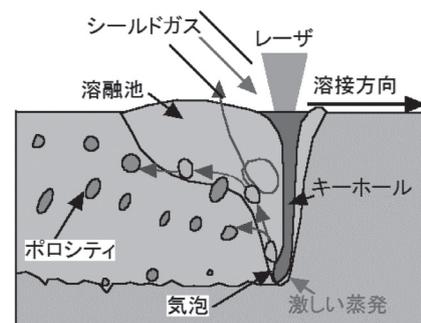


図 4 レーザ溶接時のポロシティ生成機構（模式図）

### 3 レーザ溶接の欠陥と改善方法

レーザー溶接に限らず溶接の品質は、溶接箇所が設計通りの強度や寸法を出せることが最重要であり、これを達成するには溶接部に溶接欠陥を発生させないことがポイントである。また、十分な強度があっても見た目が悪い溶接は製品の印象を壊しかねないので溶接の品質としては良いとはいえない。ここでは代表的なレーザー溶接欠陥とその改善方法について紹介する。

#### 3.1 ポロシティと抑制方法

レーザー溶接時によく発生する欠陥としては、ポロシティがあげられる。ポロシティはレーザー溶接の特徴であるキーホールが原因で発生する気泡が残留した物で、多数発生すると溶接部の強度に影響を及ぼす。ポロシティの抑制には、溶接中に気泡を発生させない溶接方法の採用が有効である。例えば、キーホールを貫通させて気泡の発生機会を無くしたり<sup>5)</sup>、レーザーのパルス発振によって気泡が発生するまでにキーホールを人工的に ON/OFF する<sup>6)</sup> などの手段をとる必要がある。図 5 に示すように、貫通溶接した場合とパルス発振で溶接した場合に、効果は大きいことがわかる。

#### 3.2 割れと防止方法

溶接で「割れ」は最も警戒されている欠陥であるため、レーザー溶接の品質でも最大級の警戒が必要である。割れについては溶接する材料の成分や溶接中の温度変化、応力などに注意する必要がある。例えば、「A6XXX 系のアルミをレーザー溶接する場合、割れ感受性が高く、溶接速度が速過ぎると凝固が速すぎて溶接金属部に割れが残るので、「溶接速度を必要以上に上げないことがポイント」というような知見を知っておくことはレーザー溶接の品質向上の一步である。

#### 3.3 熱変形と抑止方法

レーザー溶接は入熱が小さいので熱変形が極めて小さいが熱変形が皆無ではない<sup>7)</sup>。またレーザー溶接は集光して照射する加工なので、わずかな隙間

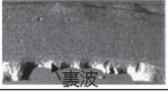
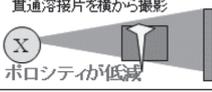
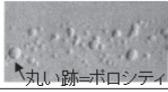
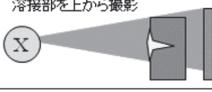
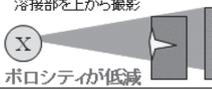
	X線透視写真	X線撮影方向
連続発振 貫通溶接		貫通溶接片を横から撮影 ポロシティが低減 
連続発振 非貫通溶接		溶接部を上から撮影 
パルス発振 非貫通溶接		溶接部を上から撮影 ポロシティが低減 

図 5 貫通溶接/パルス発振のポロシティ低減効果の比較

や凸凹で溶接が不安定になる。そのため、精密な溶接を行う場合には、小さい熱変形を考慮したジグで固定するなどの工夫が必要である。溶接する前にジグに固定した際などに溶接箇所（レーザー照射箇所）が確実に密着しているか等のチェックも品質向上には欠かせない注意点である。

## 4 レーザ溶接の適用事例

レーザー溶接には精密に高速な溶接ができる等の長所は多くあるが、ポロシティ等の溶接欠陥に注意が必要な短所を併せ持つ。しかし、アーク溶接やスポット溶接等の従来溶接法にはできなかったことがレーザー溶接で可能になることが多いため、様々な分野でレーザー溶接が適用されている。

#### 4.1 自動車

自動車はレーザー溶接が最も適用されている分野の一つで、主に車体の溶接に用いられている。図 6 (a) はアウディの車体溶接の例<sup>8)</sup> であるが、車体の溶接をスポット溶接で「点の溶接」からレーザー溶接で「線の溶接」にすることで、車体の剛性等が大幅に改善される利点がある。また、溶接速度が 5 m/min のような高速でも溶接可能なことから車体のような大量生産ラインでも生産効率を落とさない溶接が可能な点も導入を促進していると考えられる。

また、図 6 (b) はテーラードブランク<sup>\*2</sup> 溶接の例<sup>9)</sup> であるが、レーザー溶接が精密な溶接が行えるため、板の厚さが違う材料を先に溶接しておき溶接後にプレスで整形している。これによ

\* 2：テーラードブランクとは、板厚や材質の異なる複数の鋼板をプレス成形前に溶接し、1 枚のブランク（素材）としたものである。

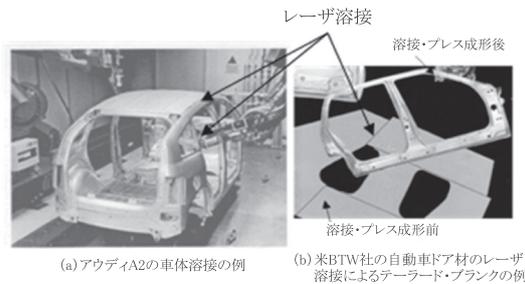


図6 車体におけるレーザー溶接の適用例<sup>8) 9)</sup>

て必要な所だけ板厚や強度を変えることができるだけでなく、車体の軽量化や設計の柔軟性の向上、無駄な材料の排除など、製品のコストダウンや省エネ化がレーザー溶接によって容易にできるようになっている。

## 4.2 電池ケース

レーザー溶接の特徴である精密性を生かした応用例が電池ケースの封止溶接である。携帯電話をはじめとして、リチウムイオン電池は広く使われているが、電池内のリチウムイオンを含む電解液が容器の中に漏洩なく封止されなくては電池として機能しない。そのため電池ケースの溶接では、高い気密性が小型薄型ケースへの溶接で求められるため、従来法のアーク溶接では至難とされていた。しかし、図7に示すように、レーザーで薄肉の電池ケースを精密に狙って細いビードで精緻に溶接することで、電解液を封止している<sup>10)</sup>。このように小さく精密な溶接への適用も日進月歩で広がっている所である。



図7 レーザ溶接の電池ケースへの応用の例<sup>10)</sup>

## 5 おわりに

現在、注目のファイバーレーザーで代表されるように、品質の優れた光輝度レーザーの出現が、溶接技術の革新をもたらし、レーザー溶接の導入検討のきっかけとなっている。しかし、ものづくり製造業への適用はアーク溶接という従来技術と比較すると高い設備コストという大きな壁にぶちあたるのが常である。そこで著者らは、レーザー溶接はその特徴を生かすことによって他の加工では不可能なものづくりができることと、製品の設計から加

工、後処理までのトータルソリューションで考えるとメリットがでてくるという点に着眼し、レーザー溶接技術の進歩と普及に貢献したいと考える。

## <引用文献>

- 1) <http://www.monozukuri.org/mono/db-dm-rc/laser-weld/kiso/index.html>, 独立行政法人産業技術総合研究所 加工技術データベース
- 2) S. Katayama, Y. Yamaguchi, M. Mizutani and A. Matsunawa: Evaluation of Mechanical Properties of Laser Welded Aluminum Alloy, Proc. of ICALEO '97, Vol.83, Part 2, G93-G102, 1997
- 3) A. Matsunawa: Defect Formation Mechanism in Laser Welding and Their Suppression Methods, Proc. of ICALEO '94, Vol.79, 203-209, 1994
- 4) 瀬渡直樹:現場の即戦力 よくわかるレーザー加工, 技術評論社, pp.110-111, 2012
- 5) 瀬渡直樹, 片山聖二, 松縄明:ステンレス鋼CO<sub>2</sub>レーザー溶接時のポロシティ生成機構の解明と低減法, 溶接学会論文集, Vol.19, No.4, pp.600-609, 2001
- 6) 瀬渡直樹, 片山聖二, 松縄明:アルミニウム合金レーザー溶接時のポロシティ生成機構の解明とその抑制法, 溶接学会論文集, Vol.18, No.2, pp.243-255, 2000
- 7) 白井秀彰, 沢本節夫, 佐藤隆文:レーザー溶接における円筒部品の変形挙動解析, デンソーテクニカルレビュー, Vol.6, No.2, pp.107-111, 2001
- 8) [http://www.sanpo-pub.co.jp/omoshiro/freshman/post\\_388.html](http://www.sanpo-pub.co.jp/omoshiro/freshman/post_388.html)
- 9) [http://www.nikkan.co.jp/adv/gyoukai/2008/08\\_01-30\\_01.html](http://www.nikkan.co.jp/adv/gyoukai/2008/08_01-30_01.html)
- 10) <http://www.avio.co.jp/products/assem/application/solution/prismatic-lithium/index.htm>

## 瀬渡 直樹 (せと なおき)

(独) 産業技術総合研究所  
先進製造プロセス研究部門  
集積加工研究グループ  
主任研究員, 工学博士  
e-mail: naoki-seto@aist.go.jp



## 中井 知章 (なかい ともあき)

技術士(機械)/総合技術監理部門

機械部会副部会長  
活用促進委員会委員  
労働安全コンサルタント  
e-mail: 10moaki.nakai@jcom.home.ne.jp

