

2.4.1 レーザ溶接

(1) レーザ溶接の基本と特性

エネルギー密度のレーザービームを金属に照射すると、エネルギー密度が非常に高いため、金属蒸気の孔（キーホールと呼ぶ）が図 2.4.1 のように形成され、これを高速で移動してレーザー溶接を行うことが可能である。すなわち、金属材料などを加熱、熔融、気化させるという特性を利用して、低入熱（アーク溶接の約 10 分の 1）で溶接が可能である。よって、生じる溶接変形も少ない。アーク溶接と同様に、突合せ継手、重ね継手、すみ溶接継手、へり継手、角継手の他、ステイク継手もある。特にエネルギー密度が高いため、図 2.4.2 に示すように、溶込み深さがビード幅に対して大きいビードが得られるのが特徴である¹⁾。2013 年には 100 kW が開発され、1 パスで溶込み深さ 50 mm の溶接が可能になった。各種溶接法の接合速度（＝溶接速度 X 溶込み深さの積）を比較すると、図 2.4.3 に示すように、電子ビーム溶接に匹敵する接合速度をもつ。

100 kW のファイバーレーザーの接合速度は 10 万 mm² となり、100 kW の電子ビーム溶接の接合速度に匹敵する。被覆アーク溶接法の 100 倍の速度が得られる。また、薄板の溶接では、高速溶接が可能であり、板厚が 0.3 mm の鋼板を 300 m/分で溶接できる。

溶接入熱量は従来のアーク溶接の約 100 分の 1 に制御できる。その結果、図 2.4.4 に示すように、溶接後の歪み（溶接変形）を極めて小さくできる。この特性は、精密な部品や 6 mm 以下の厚さの薄板を溶接する場合、非常に重要な性質である。現在、世界各国で図 2.4.5 に示すような自動車パネル（0.5mm～2.0mm 厚さのテーラード blanks 材）が年間約 4 億枚レーザー溶接されているが、高速溶接特性と溶接変形を最小にできる特性を利用している。また、世界最大級の豪華客船一隻の溶接長さ 980 km のうち、450 km が図 2.4.6 に示すように 6 kW のファイバーレーザーで溶接されている。ただ、レーザー加工装置が高価であることから、中小企業への導入には慎重な面もある。レーザー・アークハイブリッド溶接による厚板構造物への適用が造船業、パイプライン、建築、橋梁分野で適用が始まっている。今後は益々厚板分野でもレーザー溶接が適用されると考えられる。

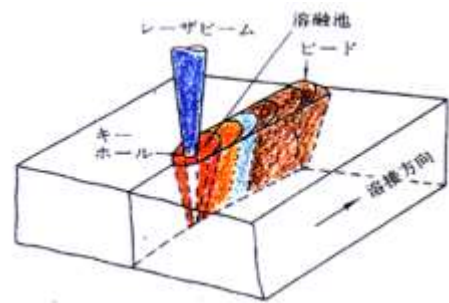


図 2.4.1 レーザ溶接の模式図

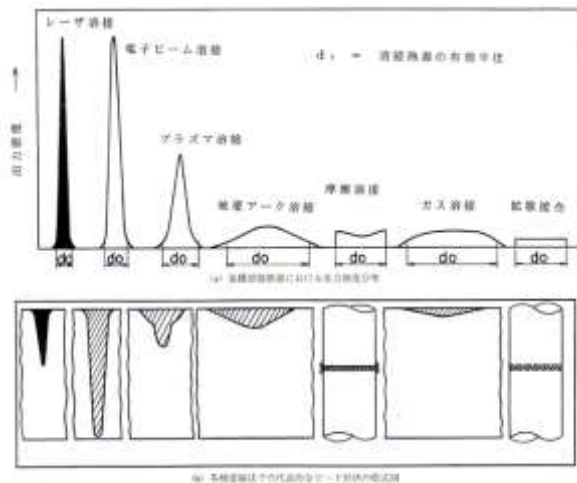


図 2.4.2 各種溶接法のエネルギー密度分布と溶込み深さ¹⁾

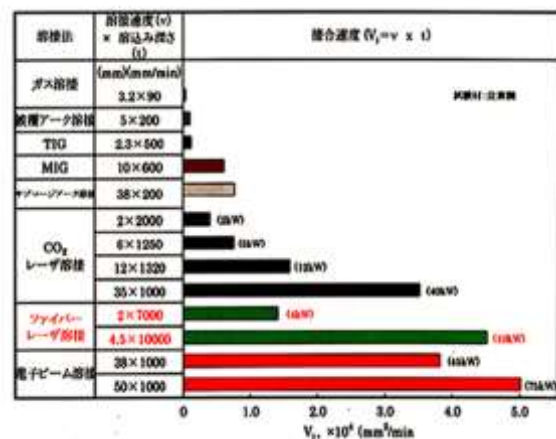


図 2.4.3 各種溶接法の接合速度の比較¹⁾

図 2.4.3 各種溶接法の接合速度の比較¹⁾

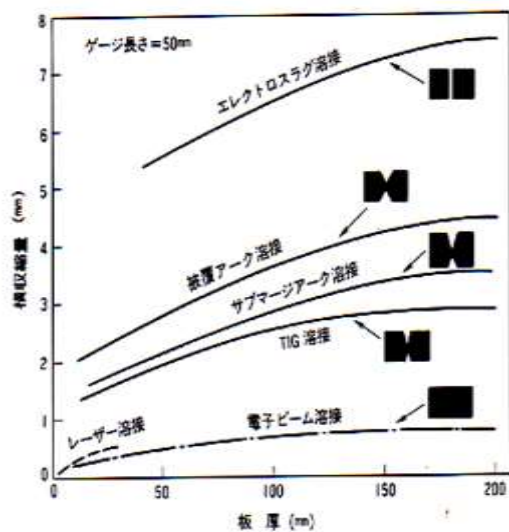


図 2.4.4 各種溶接法の溶接変形量²⁾



図 2.4.5 自動車パネルのレーザ溶接例³⁾

レーザ溶接は非接触の溶接法である。遠隔の被溶接物を非接触で溶接できる。狭い部分でもレーザビームを送って溶接が可能である。2000年より、リモートレーザ溶接法が開発され、超高速（約300m/分）の溶接も実用化されている。材質および表面状態によりレーザ溶接の吸収率が左右されるので、品質に影響する。金、銀、銅、アルミニウムなど電気伝導度の高い金属はビーム吸収率が低く、溶接しにくい材料である。表面粗さや表面の酸化皮膜によっても吸収率が変化するので、考慮する必要がある。最近では2倍波（波長が532nm）のレーザを用いることにより銅や銀の溶接を溶接している。また電子ビーム溶接に比べても、つぎの長所を有する。

- ・加工時にX線の発生がない。
- ・磁場によりビームが偏向しない。
- ・大気中で利用できる。（ワークの寸法が制限されない。）

これらの特性は最近太陽電池の製造などで要求される微細で高性能な溶接技術に最適である。次節で説明するようにレーザ溶接機器の発達で、大出力、小型、長寿命、メンテナンスフリーで、低価額の装置の開発で、広くレーザ溶接が適用される時代がやってきた。



図 2.4.6 造船におけるレーザ溶接およびレーザ・アークハイブリッド溶接の適用⁴⁾

(2) 溶接に用いるレーザ加工機器

金属材料のレーザ溶接を高能率に行うには2～5kWが必要であり、厚板では10kW～30kWも必要となる。従来はCO₂レーザやYAGレーザ装置が用いられてきたが、2000年以降

は高出力の半導体レーザー、ディスクレーザーおよびファイバーレーザーがレーザー溶接に利用される傾向にある。高出力の半導体レーザー、ファイバーレーザー、およびディスクレーザーが比較的安価で、高変換効率、低ランニングコスト、メンテナンスフリー、高ビーム品質であることから、長時間の連続運転に十分耐え得る工業的加工機器として適用されている。周辺メカトロニクス、半導体エレクトロニクスなどの支援により、センサーを用いたインプロセス制御の利用とともに、高度なレーザー加工生産システムとして、5軸三次元レーザー加工機、レーザーアークハイブリッド溶接機、リモートレーザー溶接装置、リモートレーザーロボットなどが生まれてきた。

1) 半導体レーザー

半導体レーザーの発展はめざましい。n型半導体とp型半導体を組合せて、それに電流を流すことにより発振させる半導体レーザーをマイクロレンズで集光し、これを積層して10Wから150Wの高出力レーザーバーが開発されている。これらから4～6kW級の半導体レーザー装置が設計・市販されるようになった。ここ20年間の半導体レーザーおよびLD励起固体レーザー、LD励起ファイバーレーザー、LD励起ディスクレーザーの発展が目覚ましい。2～6kWの半導体レーザーおよびLD励起の固体レーザーが開発され、メンテナンスフリーで市販されるまでになった。問題となっているビーム品質(Beam Product Parameter=BPP)の向上も高出力化とともに改善が計られている。

図2.4.7はドイツで開発された高輝度の10kW半導体レーザー装置を示す⁵⁾。半導体レーザーアレイを組合せたレーザースタックを光学系でうまく集光させ、高輝度の集光性の高いビームに改良している。アルミニウム合金部材を図2.4.8に示すように溶接できる⁶⁾。

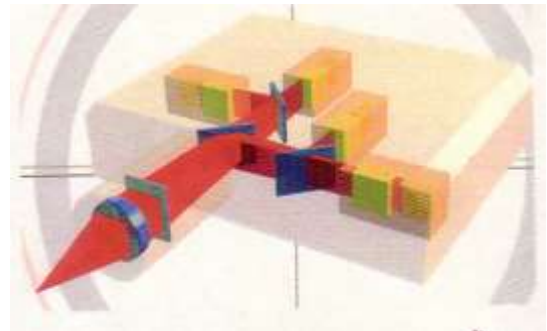


図 2.4.7 4 kW高輝度半導体レーザー⁵⁾

これらの半導体レーザー(LD=Laser Diode)の寿命はランプの2000時間に比べて10倍の20,000時間であり、光への転換熱効率は約50%から60%とランプ励起の10倍以上である。

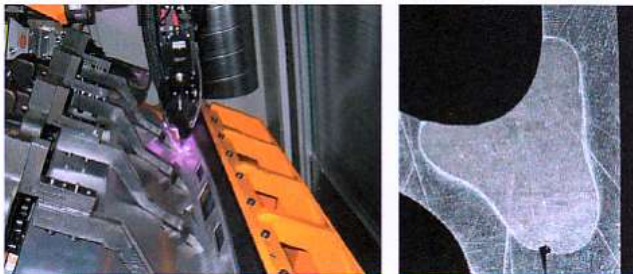


図 2.4.8 4 kW半導体レーザーによるアルミニウム合金(1.2mm厚)の溶接⁶⁾

金属材料へのビーム吸収率が高い。特にアルミニウムに対しては800nm～900nmの半導体レーザーは約15%とYAGの約7%に比べ、2倍の吸収率がある。

2) 高出力ファイバーレーザー

2001年以降、急速にファイバーレーザーの高出力化が可能になった。このレーザーは図2.4.9に示すように従来のNdの代わりにYbをドーピングした固体レーザーで、中心の励起ファイバー(径は約5～15μm)の外側に石英ファイバーを形成し、二重にクラッドしており、この石英ファイバーに伝送した半導体レーザーでコアファイバー中のYbを励起してレーザーを発振させるシステムである。これによりビーム品質を高出力領域で改善したものである。高出力領域でCO₂レーザー以上に高品質なビーム特性を示す。

10 kWのファイバーレーザー装置で各種金属を溶接した時の溶接特性を図 2.6.10 に示す⁷⁾。3～4 mm厚の鋼材やアルミニウム合金が約 15 m/min の超高速で溶接できる。中厚の場合のビード形状は図 2.6.10 に示すように非常に電子ビームに似た“くさび形”である。その接合速度

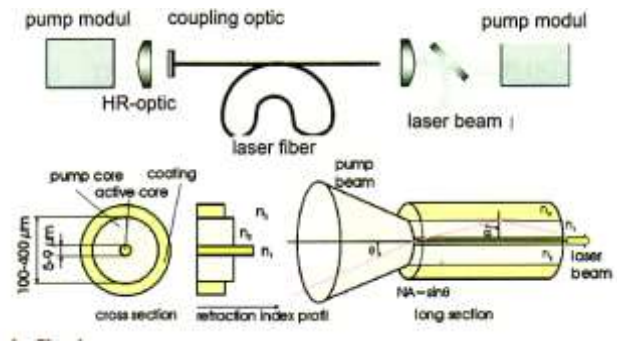


図 2.4.9 高出力ファイバーレーザーの機構⁷⁾

材質 : X70 鋼管
板厚 : 11.2 mm
レーザー出力 : 10 kW
溶接速度 : 2.2 m/min



図 2.4.10 X70 鋼管のファイバーレーザー溶接⁷⁾

図 2.4.11 100 kWファイバーレーザー装置⁸⁾

高い理由はそのビーム品質がよく、焦点でのビーム径が電子ビーム溶接のビーム径より小さく、出力密度が非常に高いことによる。アーク溶接の出力密度は0.2 kW/mm² に対して、ファイバー径 100 μm のプロセスファイバーを用いた 2 kWファイバーレーザーのそれは約 220 kW/mm² と約 1000 倍である。因みに、従来型 YAG レーザーは約 14 kW/mm² である。高出力であり、すでに 20 kW の装置が市販されており、将来は造船や橋梁などの厚板のレーザー溶接分野へ適用がレーザー・アークハイブリッド溶接として拡大するとみられる。

3) 高出力 LD 励起ディスクレーザー

LD 励起の高出力レーザーとして、ドイツのシュツットガルト大学レーザー研究所のギーセン助教授が開発したディスクレーザーもビーム品質の良いレーザーとして注目されている。この装置の概要を図 2.6.12 に示す⁹⁾。厚さ 200 μm の直径約 30 mm の Yb をドーピングしたディスクに幾度も半導体レーザーを入射して最終的に良質のビーム品質を得る装置として興味深い。2007 年に Trumpf 社は 8 kW を用いたリモートレーザー溶接装置を発表している。ビーム品質もファイバーレーザー並に良好である。よって、すでに、ベンツ社で自動車のリモートレーザー溶接に利用されている。2009 年には 16 kW の装置を市販している。21 世紀になり、ますます、レーザーの適用技術の研究開発が進み、レーザー加工機が各種企業で“工具”として日常使われてきた。

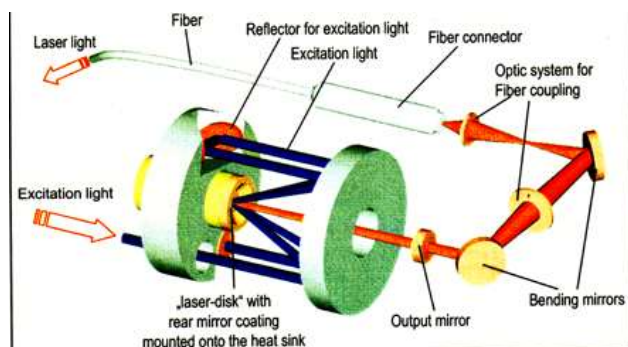


図 2.4.11 高出力 LD 励起ディスクレーザーの概念図⁹⁾

引用文献

- 1) 沓名宗春：この30年間のレーザー加工機器及びレーザー加工技術の発展、LMP レーザシンポジウムテキスト、大阪、(2008、Jan. 22-23)、p. 1-15
- 2) 沓名宗春：レーザー溶接のパラメータ（その1）；SHEET METAL, 東京、39-2(1995, Feb), p64-69
- 3) TWB 社：カタログ、(1998)
- 4) Schuler AG, 2001, Schuler AG's metal forming Magazine, Vol.2002/1, Germany
- 5) Laser Line 社：技術カタログ、(2006)
- 6) Laser Line 社：技術カタログ、(2012)
- 7) IPG 社技術カタログ (2004) 技術資料, Fugen von Kunststoffen
Mit Laserstrahlung, (2000)
- 8) ナ・デックス社：技術カタログ、(2013)
- 9) Rifin Sinar 社 技術カタログ (2006)