

# 技術情報協会

技術情報協会編

「自動車用車体材料の高機能化・車体構造の最適化と適用技術」 2007年2月末発行

## 第3章 「自動車材料の成形・加工技術」

### 第1節 「レーザーによる自動車材料の接合技術」

名古屋大学 沓名宗春

#### 1. はしがき

この10年間、地球温暖化、環境問題、安全性の向上など自動車産業の課題も広がっており、軽量化のみならず、各種材料およびその加工技術が自動車生産に利用されている。また、開発途上国での自動車の利用拡大により、その生産台数も増加している。従来から、接合技術としては抵抗スポット溶接やシーム溶接、アーク溶接、摩擦溶接、電子ビーム溶接などが主に適用されてきた。しかし近年、使用される材料がSPCC鋼、高張力鋼、中・高炭素鋼、アルミニウム合金、樹脂（エンイニアリングプラスチックなど）などが適用されるようになってきた。その板厚も薄くなり、溶接ひずみが問題となる場合が多い。そこで、入熱がすくなく、溶接変形の少ないレーザー溶接が注目されるようになってきた。この傾向はこの15年間で一層進み、世界的傾向となってきた。生産システムの近代化を進め、産業の活性化を図っている例として、ドイツのフォルクスワーゲン社では普通車の製造組み立てに3000余点の抵抗スポット溶接を適用してきたが、このうち約1500点をレーザー溶接に切り替えている<sup>1)</sup>。この車体生産に用いられる溶接法の適用率を図1に示す[1]。レーザー溶接が約45%適用されている。すでに、各種レーザー加工のために約600台の高出力レーザーを導入し、レーザー利用生産システムを開発・導入して、一層生産性の向上と低ひずみ化を図っている。

この節では自動車産業での接合技術として、レーザー溶接、レーザーろう付、レーザー溶着およびその適用について述べる。

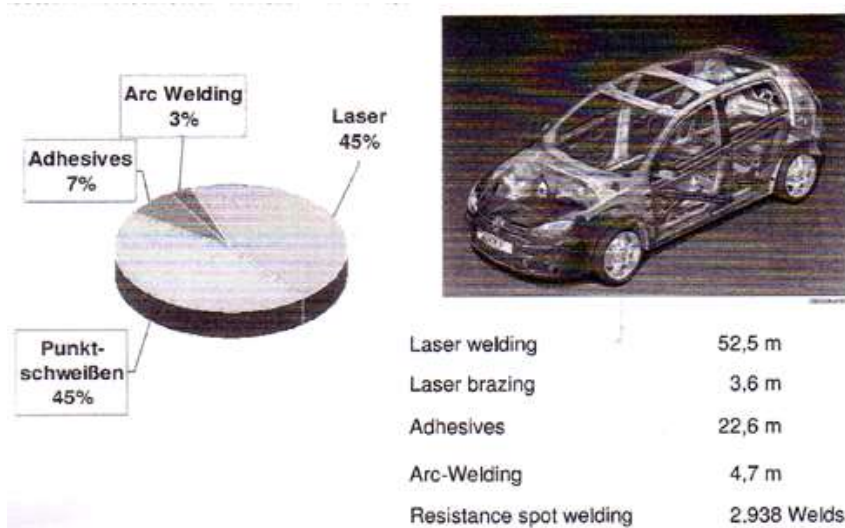


図1 自動車車体の接合に用いられる溶接法の適用率の例（フォルクスワーゲン社）[1]

#### 2. 自動車産業へのレーザー加工導入の流れ（1971年～2000年まで）

##### (1) 1970年代

1960年にルビーレーザーが開発され、1964年にCO<sub>2</sub>レーザーおよびYAGレーザーが開発されたが、自動車産業への応用が始まったのは出力の比較的高いCO<sub>2</sub>レーザーが開発された1970年代初期であった。1970年代初期にGM社及びフォード社が大出力レーザーを自動車生産にいかにか研究・開発を開始した。例えばフォードでは図2に示すような車体パネルの溶接としてHamilton-Standard社製レーザー加工システムでアンダーボディの溶接を検討したり[2]、また、加熱モータのヨークのレーザー溶接を検討したが実用化されなかった。しかし、1971年にGM社はコヒーレント社の300WCO<sub>2</sub>レーザーを用いて、図3に示すイグ

ミッションコイルペーパーのレーザ切断を自動車産業で始めて実用化した[3]。1974年にはGM社はPhoton Sources社のCO<sub>2</sub>レーザ装置を用いて、図4に示すようにデトロイトのSaginow工場においてパワーステアリングギヤハウジング内面のレーザ焼入れを実用化した[3]。1977年には同社はディーゼルエンジンシリンダーライナー内面のレーザ焼入れの実用化にも成功した。

1979年Prima Progetti社(イタリア)はポリマーの切断にSpectra-physics 973モデルパネルの穴明けやカムシャフトの穴明けなども研究開発された。表面処理ではねずみ鋳鉄のバルブガイドへの適用が研究された。同じ頃、GMもレーザ加工の実用化研究を進め、結局、最初に実用化に漕ぎ着けたのはGM社であった。

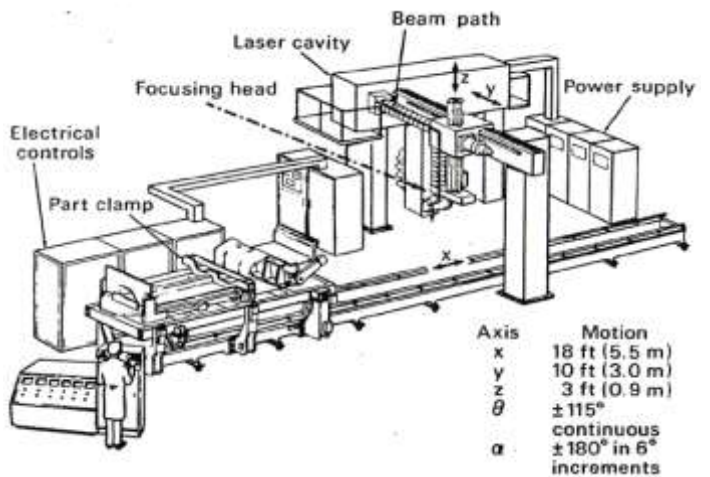


図2 車体パネルのレーザ溶接の試み[2]

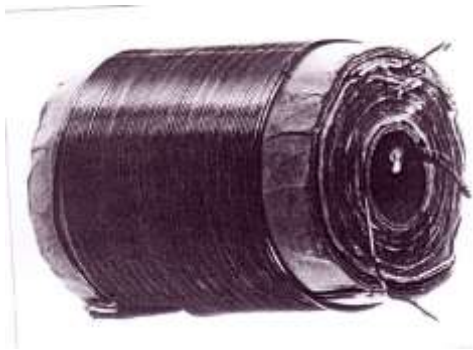


図3 イグニッションコイルとその絶縁紙[3]



図4 パワーステアリングギヤハウジング内面のレーザ焼入れ[3]

## (2) 1980年代

1980年代になり急速にレーザ加工が世界の自動車産業に浸透していく。1970年代後半のレーザ切断の実用化に続いて、レーザ溶接が実用化される。1981年にはAT部品のクラッチハウジングのレーザ溶接をGM社やトヨタ自動車開始する。図5はミッションギヤとレーザ溶接状況を示す。多加工ステーションを利用してタクトタイムが数10秒になるように工夫されている。

GM社はドラムとシャフトのレーザ溶接も開始する。1983年フィアットのトリノMirafiori工場ではシンクロギヤをSpectra-physics社製CO<sub>2</sub>レーザ(973モデル、2.5kW)でレーザ溶接を開始している。1983年ドイツのThyssen Stahl社は

Audi社より1,960 x 3,000 x 0.75mmのサイズの亜鉛メッキ鋼板の供給を依頼される。同社はレーザでこの自動車の図6に示す床板パネルを溶接することを研究開発する[5]。1984年Daimler Benz社はドイツ自動車界では最初のレーザ溶接として図7に示すTappet Housingのレーザ溶接を開始した。もう1つの応用例であるPre-combustion chamberの溶接も1.5kWの装置で4秒タクトで溶接を始めた[6]。



図5 ミッションギヤのレーザ溶接[4]

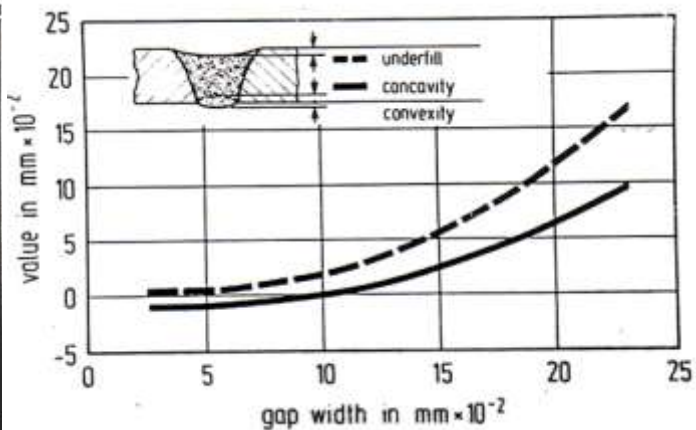
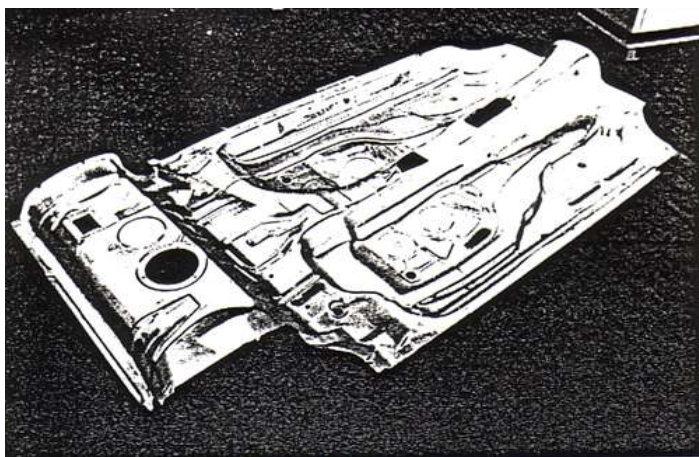


図6 レーザ突合せ溶接されたアンダーボディと開先精度[5]

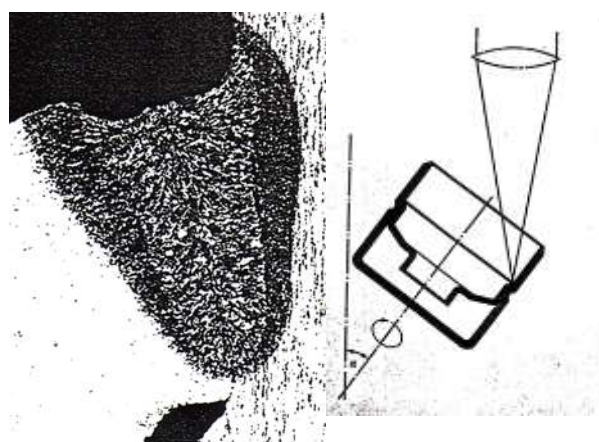
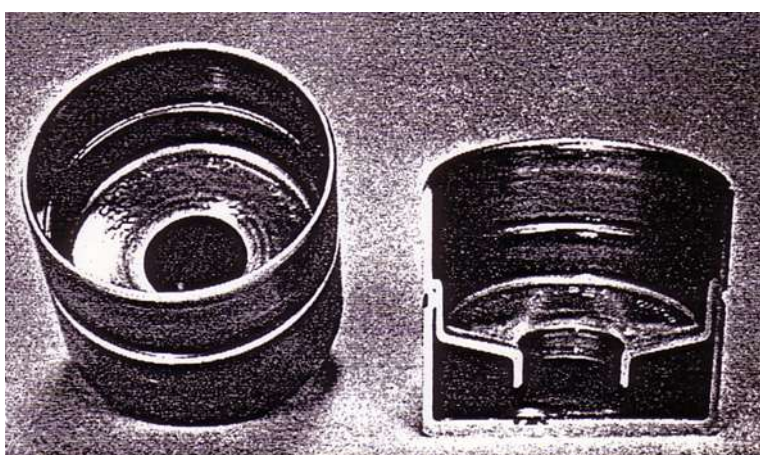


図7 タペットハウジングのレーザー溶接部と断面マクロ[6]

1984年にトヨタグループの愛三工業は図8に示すインジェクターの組み立てにCO<sub>2</sub>レーザー溶接を採用し現在に至っている[7]。1984年GM及びトヨタではプレス部品及びコンソールのレーザートリミングを500WクラスのCO<sub>2</sub>レーザーロボットを用いて開始する[8]。1985年前後よりレーザーロボットが導入され、図9に示すようにボディパネルや樹脂部品の3次元切断、ギヤやパネルのレーザー溶接も実用化される。後半には図10に示すようにエンジンバルブのレーザー肉盛なども実用化された[9]。1985年にクライスラー社のKokomo工場では9台のkW級レーザーでトランスミッションギヤハウジングのレーザー溶接(溶込み:2.5mm~4.5mm)を始めた。

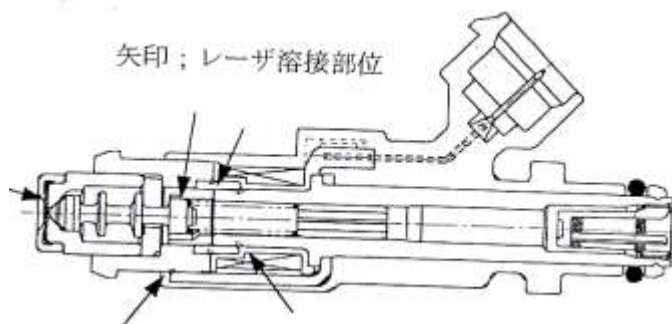
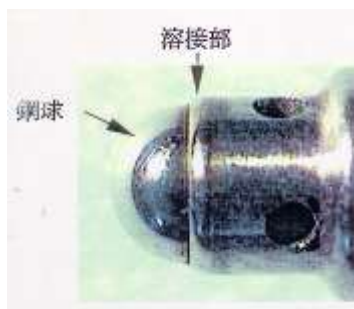


図8 燃料噴射器(インジェクター)のレーザー溶接[7]

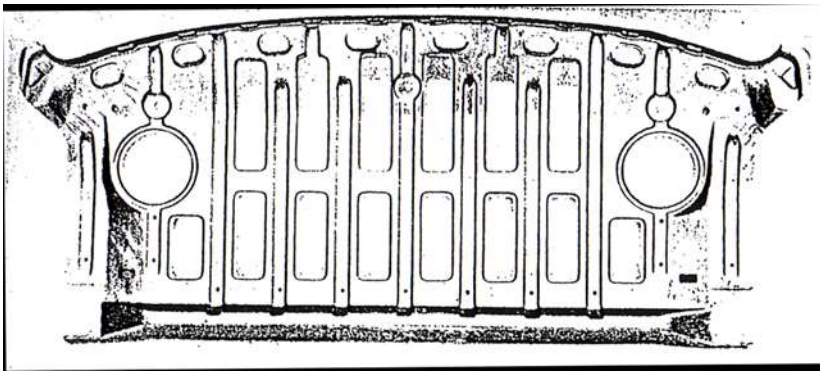


図9 テールパネルのレーザトリミング[8],

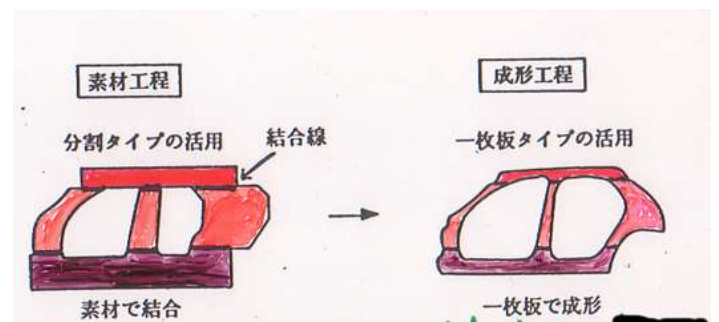
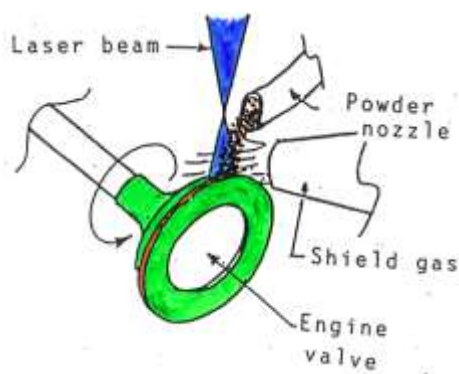


図10 エンジンバルブのレーザ肉盛[9]

図11 ドアパネルのテーラードブランク材の溶接[10]

1985年にトヨタ自動車は世界に先駆けて、図11に示すような車体パネルのテーラードブランク材のレーザ溶接および一体プレス加工法を開発し実用化した[10]。1986年 Thyssen Stahl 社も Audi 社より Audi 80, 90 のアンダーボディパネルの生産を始め、月産40,000枚の生産量になった。図12は世界的に広く移用されている自動車パネル（テーラードブランク材）のレーザ溶接例を示す[11]。

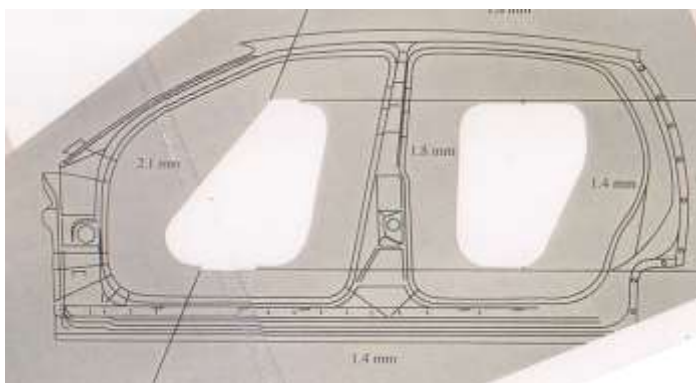
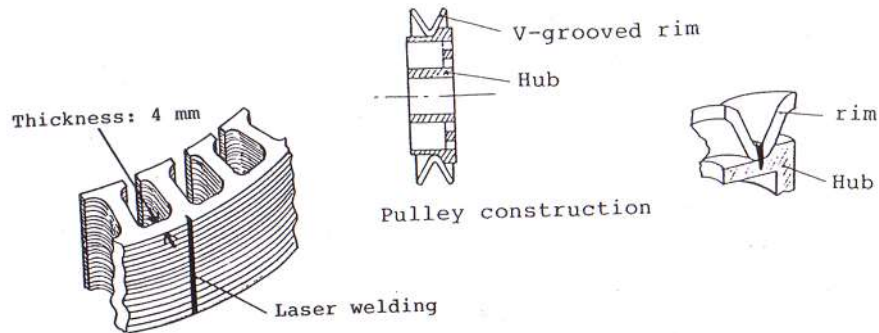


図12 自動車パネル（テーラードブランク材）のレーザ溶接例[11]

さらに、デンソー（旧日本電装）が図13に示すように自動車用モータのステータコアおよびプーリーのレーザ溶接を実用化した[12]。1986年トヨタ自動車と愛三工業はエンジンバルブの全自動レーザ肉盛システムを開発し、月産30万箇のエンジンバルブを量産化した。現在も同装置で量産を続けている。

また、日産自動車も試作車パネルのトリミングなどのために三次元レーザ切断システムを CAD/CAM 化した。1987 年にはボルボ社が B-pillar 及び Drip mound 薄板の溶接にレーザ溶接ロボット装置を導入した。1987 年には BMM 社がルーフパネルとリアパネルを 3 次元でレーザ溶接するシステムを開発した。



(a) ステータコアのレーザ溶接 (b) プーリーのレーザ溶接

図 1 3 自動車用モータのステータコアおよびプーリーのレーザ溶接[12]

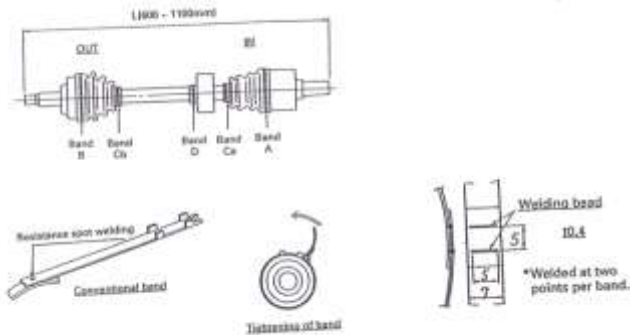


図 1 4 ドライブシャフト・ブーツバンドのレーザ溶接[13]

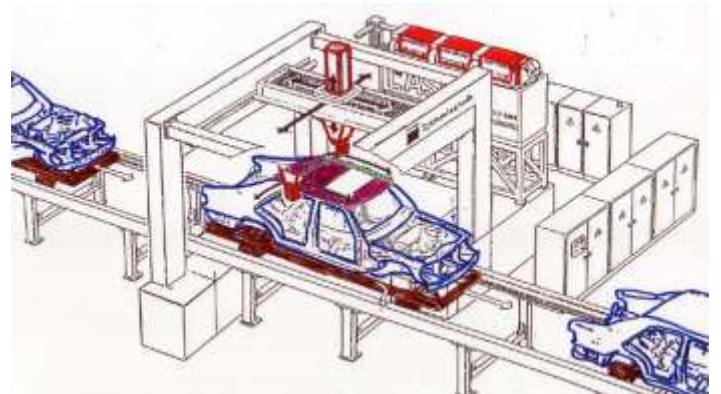


図 1 5 ルーフとボディパネルの 3 次元オンラインレーザ溶接システム[14]

1989 年より本田技研は図 1 4 に示すようなドライブシャフト・ブーツバンドのレーザ溶接を実用化した [13]。

### (3) 1990 年代

1990 年代後半にはテーラードブランクのレーザ溶接が世界的に採用されるようになる。そして、直線だけでなく、曲線継手にも採用されるようになる。さらに、レーザ機器のコストの低減がおきるとともにレーザ加工の実用化が一層自動車産業で拡大する。後半には高出力半導体レーザの開発により、その効率の高さにより、さらにランニングコストの削減が実現される。LD 励起 YAG レーザの採用も増加している。アルミニウムパネルやフレームのレーザ溶接も益々研究・開発され、後半には実用化された。1990 年 IC レギュレータ内部回路リードのレーザ溶接およびディゼルエンジン用燃料噴射ノズルのレーザ穴明けを愛三工業が実用化した。1991 年にはメルセデス・ベンツ社と Trumpf 社はルーフとドアパネルを図 1 5 に示すようにオンラインで 3 次元レーザ溶接するシステムを 2 年余の歳月

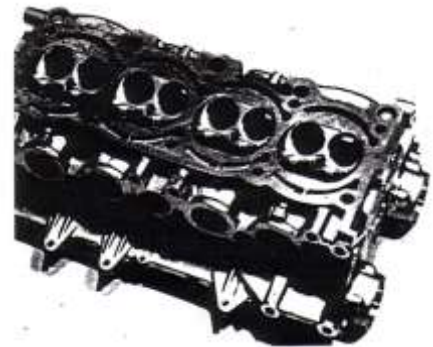
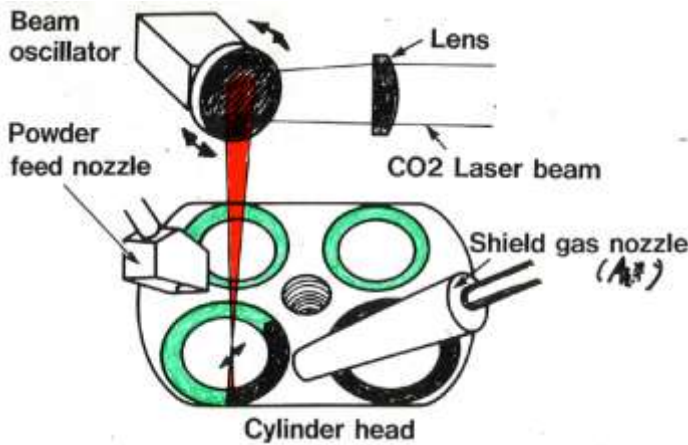


図 1 6 YAG レーザによるアンテナ穴のオンライン穴あけシステム[15]

をかけて完成した[14]。その後、この技術は GM, Volvo, BMW、トヨタでも採用されている。1991年トヨタ自動車高岡工場ではカロラの組み立てラインに YAG レーザロボットによるオンラインレーザ切断システムを稼働させ、図 1 6 に示すようにアンテナの穴明けをこれで実施している[15]。

1992年 GM社は Mansfield 工場において後部ドアパネルおよび Seat-brace extension のレーザ溶接やフロアパンの切断に 3 台のレーザ加工システムを稼働させた。1993年三菱自動車がエメロードのセンターピラーの溶接を抵抗スポット溶接からレーザシーム溶接に変え、6 kW CO<sub>2</sub> レーザで量産を開始した。1993年には、日本の自動車業界のレーザ加工機の保有台数が約 2000 台を超えた。

更にトヨタ自動車は図 1 7 に示すようにエンジンバルブシートへの銅合金粉末のレーザ肉盛溶接技術を開発し、1993年に量産化する[16]。また、マツダはアルミボンネットのヘミング部(図 1 8)の溶接に MIG 溶接に代わり、レーザ溶接を採用した[17]。同年、日産では自動車用金属触媒サポート部品のエッジ溶接にレーザを採用した。1994年 ルノーではトランスミッションギヤシャフトの周溶接に 5 kW の Rofin Sinar の CO<sub>2</sub> レーザ装置を採用した。



アルミニウム合金製エンジンブロック

図 1 7 エンジンバルブシートへの銅合金粉末のレーザ肉盛溶接技術[16]

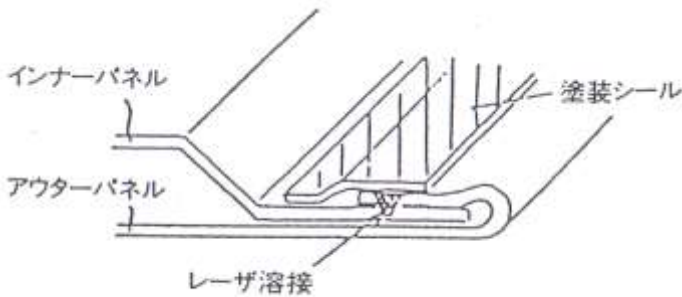


図 1 8 アルミボンネットヘミング部のレーザ溶接[17]



図 1 9 メタルガスケットの YAG レーザ溶接例[18]

1996年大豊工業では図 1 9 に示すようにメタルガスケットの製作(250ミクロンの基板に120ミク

ロンのステンレスリングを溶接)に YAG レーザ溶接を 6 ヘッド同時溶接で実用化した[18]。1998 年 ダイムラー・クライスル社は図 2 0 に示す二重壁エキゾーストマニホールド製造にレーザ溶接を採用した[19]。また、ダイムラー・クライスル社で図 2 1 に示すように自動車用プラスチック部品 (キーペンダント) の接合に 8 0 W の半導体レーザを 2 0 台採用する[20]。2000 年にはホルクスワーゲン社はアルミニウムフレームの溶接にミグ溶接の他にレーザ・アークハイブリッド溶接システムを 3 台導入した。

このように、自動車産業 1 つを例にとってもレーザ加工の実用化ならびに適用レーザ機器が変化してきているのが読みとれる。1971 年からの 30 年間に、多くのレーザ加工が各国で実用化され、各種部品製造に利用され、自動車の品質向上やコストダウンを計ってきた。図 2 2 は CO<sub>2</sub> および YAG レーザがどのように自動車産業で使われているかその分野を 1993 年のデータで示す。溶接よりも切断、穴明け、マーキングに広く使われている。ただ最近ではテラードブランクの溶接を中心に溶接への応用が広がっている。



図 2 0 二重壁エキマキのレーザ溶接例[19]



図 2 1 プラスチック部品 (キーペンダント) の半導体レーザ溶接[20]

	車体	ユニット	その他
切断 穴明け	パネル部品3次元トリム 車体のライン内切断	エキゾーストパイプ穴明け コンロッドの油穴明け	レーザブランク型
接合	プレスブランク材の溶接 車体の3次元溶接	ミッションギヤの溶接 補機類の溶接	
表面 改質	塗装面の処理 レーザダル鋼板	油圧部品の焼入れ エンジン部品の肉盛り	プレス切刃の焼入れ
その他	車体情報のマーキング	管理情報マーキング	ステレオ リソグラフィ

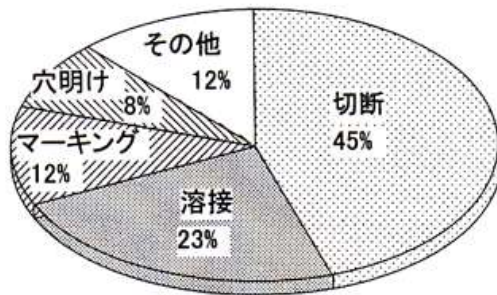


図 2 2 自動車生産におけるレーザ加工の適用分野と応用例[21]

### 3. 最新レーザ加工機器の進展

1990 年からの高出力半導体レーザの急速な発達により、従来の CO<sub>2</sub> レーザや Nd:YAG レーザ以外の、各種高出力レーザが開発され、工業的に適したレーザ装置が多数開発され、注目されている。これら最新のレーザ機器の特性を紹介する。

#### 3. 1 半導体レーザ (LD) の高出力化

2005 年の米国レーザ学会主催の ICALEO 会議の特別講演で、工業用半導体レーザの開発状況が紹介された。その中でこの 15 年間に価額が 100 \$ / W から 2 \$ / W にコストダウンしたことが図 2 3 のように示された[22]。また、10 mm レーザバーの出力が 10 W から 100 W (連続出力) にまで向上したこと、その寿命も

約9倍向上したこと等が紹介された。最近ではGaAsP半導体でなく、AlGaAs半導体が主流になっており、その性能も高性能、高出力、高効率になっている。

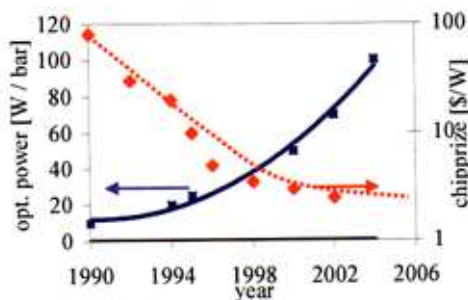


図 2.3 15年間の半導体レーザーの価額と出力の変化[22]

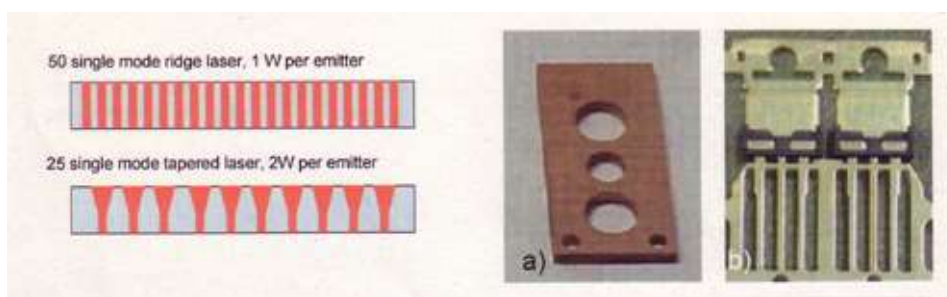


図 2.4 レーザバーの積層技術(左図), 銅冷却技術(a), およびパッケージング技術(b) [22]

さらに、ビーム品質を高めるためのレーザーバーの積層技術、冷却技術、およびパッケージング技術が図 2.4 のようにコンパクト化を可能とし、工業用半導体の益々高性能、低コスト化を可能にしている[22][23]。

また、英国サザンプトン大学のマイクロニクス研究センターと SPI 社が開発しているシングルモードの高出力ファイバーレーザーの開発も進み、その応用も注目されている。マルチモードのファイバーレーザーは1985年ころから開発されてきたが、2002年より急激に高出力化された。1 kWのシングルモードファイバーレーザーのビーム品質が1 mm・mradとなり、1.4 kWでは $M^2$  値が1.4、200 Wで $M^2$  は1.1以下となる。よって、100 Wでは切断に用いたとき、そのカーフ幅は20  $\mu$ m と狭い。ビーム品質が非常に良く、将来マイクロ接合・切断やリモート溶接に利用できると思われる。パルス発振ファイバーレーザーとしては321 WのEr:Yb MOPA (Master Oscillator/ Power Amplifier) で1 GHzの繰り返しで20 psの短パルスレーザーが開発されている。

ここ15年間の半導体レーザーの発展により、レーザー加工に使用されるレーザー装置及び加工システムにも大きな進展があった。CO<sub>2</sub>レーザー、YAGレーザー、エキシマレーザーなどの発展はもとより、高出力半導体レーザー(Laser Diode=LD) およびLD励起YAG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。2~4 kWの半導体レーザーおよび4~6 kWのLD励起YAGレーザーが市販されている。表1はこれら各種加工用レーザーの波長、発振効率、ビーム品質、伝送用ファイバー径などの比較を示す[24]。特に近年、半導体レーザーの高出力化が進み、これらを励起源に用いたYb:ファイバーレーザーやLD励起Nd:YAGレーザーが利用されるようになってきた。図2.5にこれらのビーム品質と出力の関係を示す[25]。半導体レーザーはビーム品質の点でまだYAGレーザーやファイバーレーザーにくらべ悪いが、最近ではビーム品質の向上が著しい。例えば、3 kWダイレクト半導体レーザーをファイバー系400  $\mu$ mで伝送した装置ではそのビーム品質は40 mm・mradと改善され、レーザー溶接やレーザーろう付に利用している。自動車のトランク・リッドのレーザーろう付では4 mm板厚のものを5 m/minの速度で接合している<sup>5)</sup>。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倍以上の2万~5万時間であり、光への転換熱効率は約50%から60%とランプの寿命の約10倍以上である。



表 1 高出力レーザー装置の比較[24]

		半導体レーザー DLD	LD励起 YAGレーザー	ランプ励起 YAGレーザー	CO <sub>2</sub> レーザー (軸流)	ディスク DKL	ファイバー FBL
波長(μm)		0.8	1.064	1.064	10.6	1.03	1.07
チラーを含む総効率(%)		25-30	6	1	6	15	20
レーザーヘッド、電源、 チラーの占有面積 (LDを1として)		1	7-8	12-15	6-7	7-8	1
ビーム吸収 率(%)	Fe	40	35	35	12	35	35
	Al	13	7	7	2	7	7
取換え時間(Hrs)		LD 10,000	光学系 2,000 LD 10,000	光学系 2,000 フラッシュランプ 500-1,000	光学系 2,000 ブロー/タービン 20,000	光学系 2,000 LD 10,000	LD 50,000
ビーム品質 及びファイバー径	BPP(mm*mrad)	100	25	25	6	8	5
	ファイバー径 (φmm)	1.0	0.6	0.6	(焦点径) 0.1	0.2	0.1

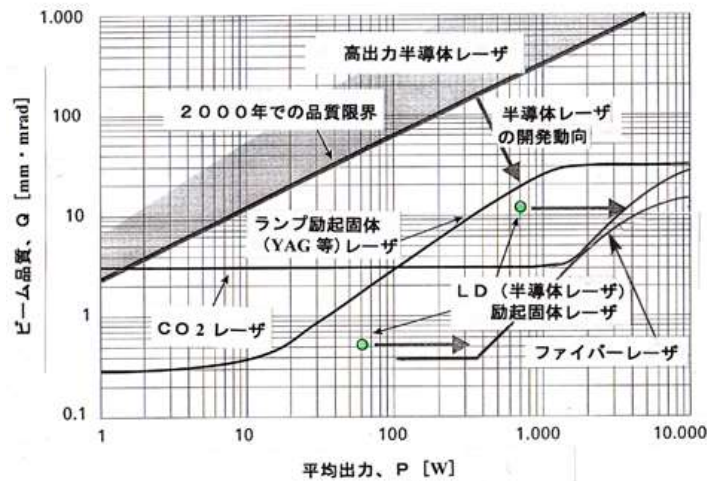


図 25 加工用レーザーの開発動向とビーム品質[25]

### 3. 2 LD励起YAGレーザー

YAGレーザーにはランプ励起型とLD励起型があり、前者は従来型のNd:YAGで精密部品の溶接や微細加工、ならびに自動車など薄板製品のレーザー加工に広く利用されている。後者は半導体レーザー(LD)をYAG結晶の励起に用いることで、従来2~3%であった電気-光変換効率を20~30%と高めたもので、従来のフラッシュランプ励起に比べて、格段に効率が高く、しかも、装置がコンパクトである。ランプの寿命2000時間に比べ、半導体の寿命は2万~5万時間と長く、世界各社でLD励起のYAGレーザー装置が開発市販されている。ドイツではすでに4~6kWのLD励起YAGレーザーを市販している。米国では6kWのLD励起型YAGレーザーを開発している。この高輝度の6kWLD励起スラブYAGレーザー装置により65mm板厚の鋼を溶接速度3cm/minで溶接できる。スラブ形YAG結晶の熱ひずみを極力抑えることにより、ピーク出力を10倍以上に高めている。

### 3. 3 高出力LD励起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てきた。一例として、このレーザーは図26に示すように従来のNdの代わりにYbをドーピングした中心のYAGファイバー(径約5~9μm)の外側に石

石英ファイバーをクラッドし、この石英ファイバーに伝送した半導体レーザーで内側の YAG レーザを励起して出力を上げるシステムである[26]。これによるビーム品質を YAG レーザ以上に改善したものである。

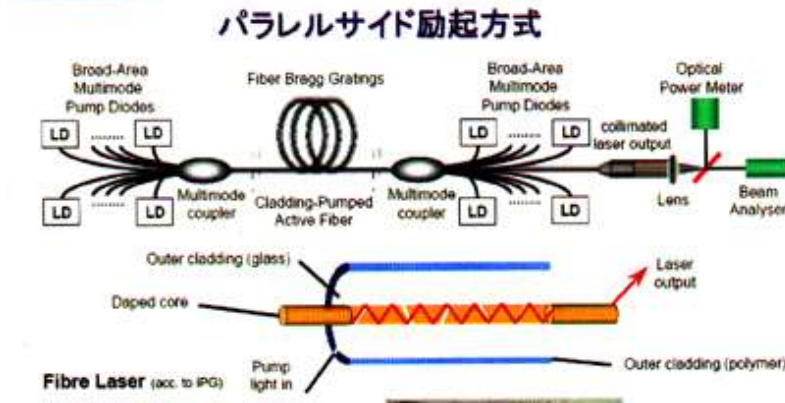


図 2 6 ファイバーレーザーの励起方式の一例[26]

10 kWのファイバーレーザーの溶接特性を図 2 7 に示す[27]。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同図に示すように非常に電子ビームに似ていくさび形である。その接合速度（＝溶接速度 x 溶込み深さ）を他の溶接法と比較し図 2 8 に示す[28]。

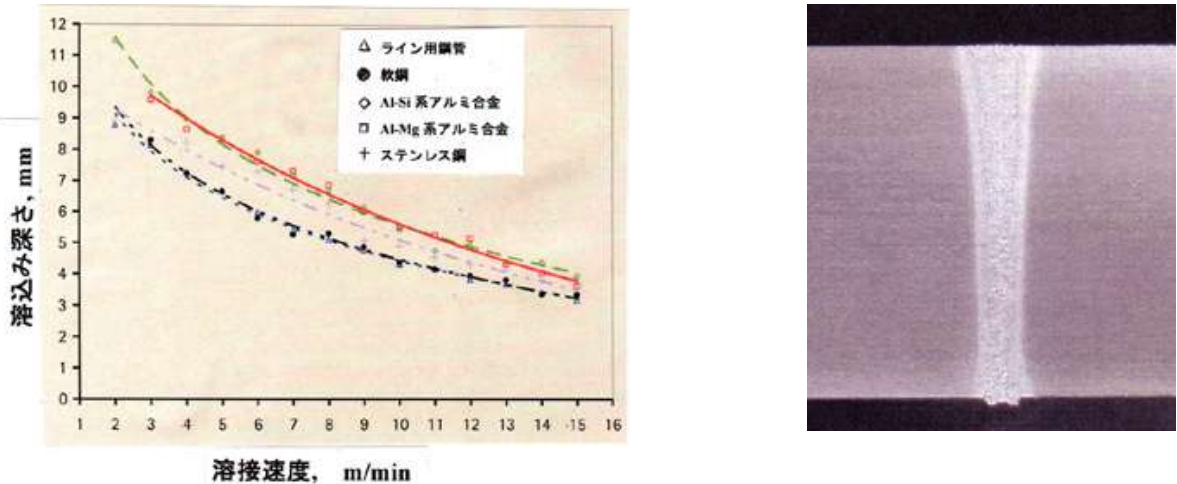


図 2 7 10 kW ファイバーレーザーによる溶接特性および溶込み形状 (11.2mm 板厚) [27]

10 kWファイバーレーザーの接合速度は45 kWの電子ビーム溶接の接合速度に相当するのは驚きである。これはそのビーム集光性がよく、焦点でのビーム径が電子ビーム溶接のビーム径よりの小さいことによる。将来の薄板のレーザー溶接へ適用も拡大するとみられる。すでに国内に10台以上の高出力ファイバーレーザーの導入が見られる。

### 3. 4 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 9 に示す[29]。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。2006 年 4 月に東京で開催された Welding Show では Trumpf 社は 6 kW を用いたリモートレーザー溶接装置を展示していた。ビーム品質もファイバーレーザー並に良好である。

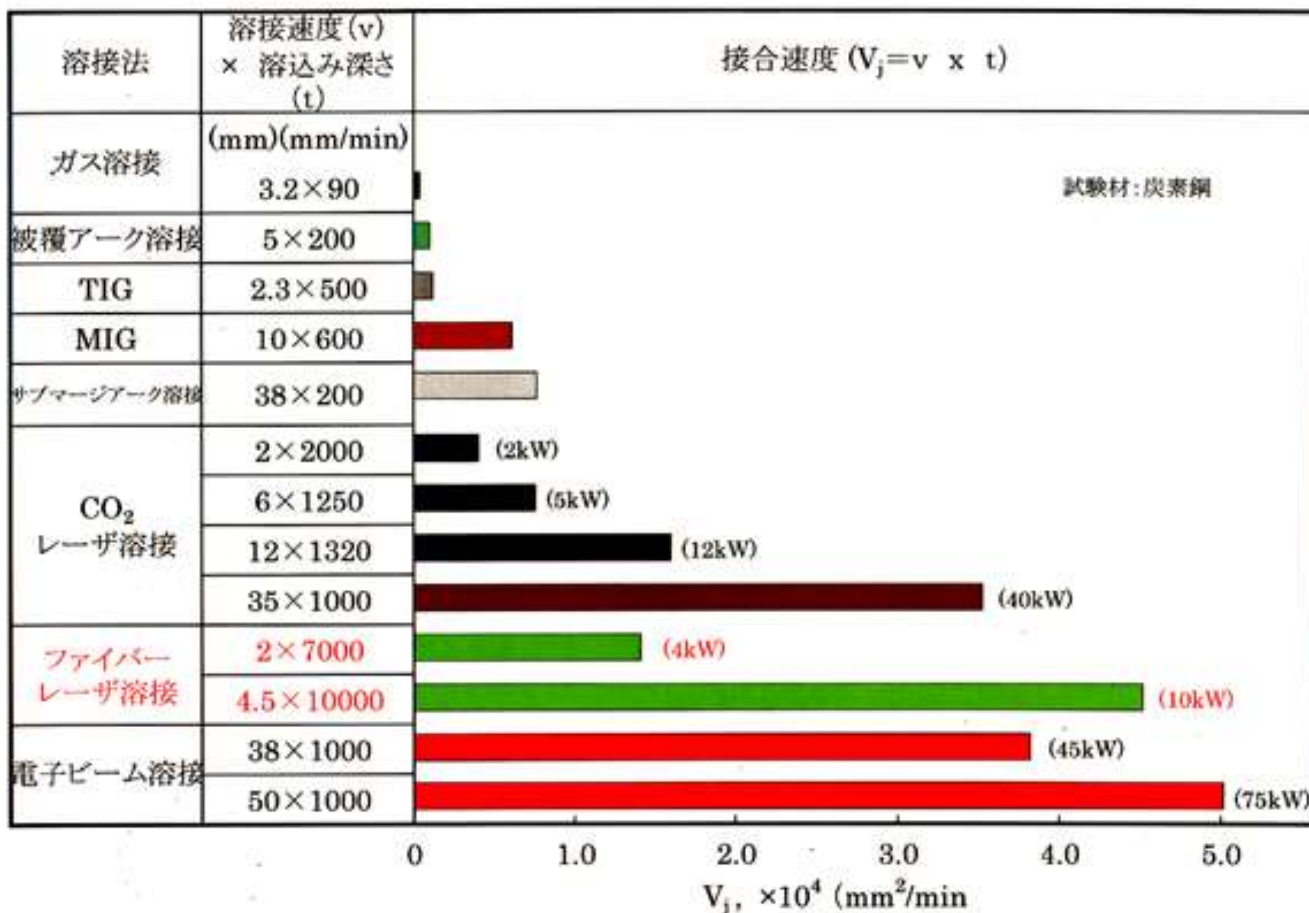


図 2 8 各種溶接法の接合速度の比較[28]

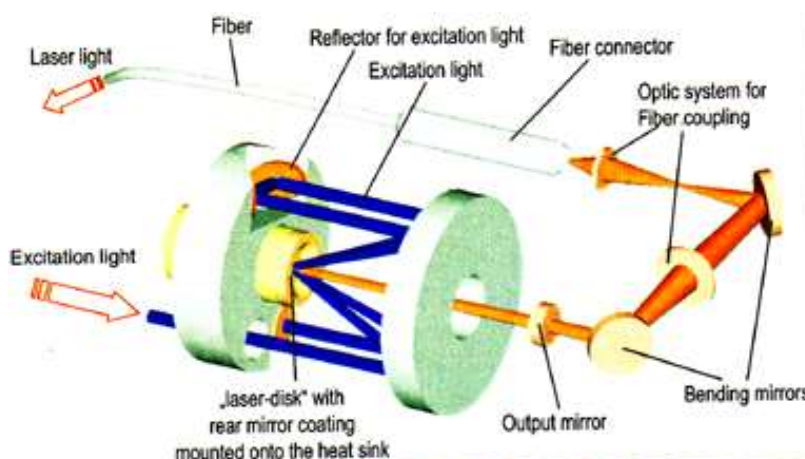


図 2 9 高出力 LD 励起ディスクレーザ[29]

### 3. 5 最新レーザ利用生産システム (ALIMS)

半導体レーザおよびLD励起の高出力レーザは効率の高いレーザ装置であるので、日本のように電力コストが高い国では非常に好都合である。半導体レーザそのものが50～70%の効率を持つので、従来のランプ励起Nd:YAGレーザの効率が2～3%に比べて、LD励起YAGレーザは20～30%と高い。また、ランプの寿命は約2000時間であるが、半導体レーザは2万～10万時間と長く、ランニングコストを著しく低減でき

る。このような最新のレーザを用いた生産システムが今後は要求される。

ここで、溶接や切断などの熱加工に利用される熱源のエネルギー（出力）密度を比較した例を図30に示す[24]。従来のアーク熱源は出力密度が約0.2から0.5 kW/mm<sup>2</sup>であるのに対して、従来のYAGレーザで14 kW/mm<sup>2</sup>、高輝度の半導体レーザが32 kW/mm<sup>2</sup>、最近のマルチモードの5 kW Yb : ファイバーレーザで159 kW/mm<sup>2</sup>、シングルモードの300 Wファイバーレーザは4,718 kW/mm<sup>2</sup>とアークに比べて、約20,000倍の密度を持っている。図31に200 Wマルチモードのファイバーレーザでステンレス鋼を40 m/minで溶接したビードの断面マクロ写真を示す[30]。溶込み深さは320 μmで、結晶粒も非常に微細である。

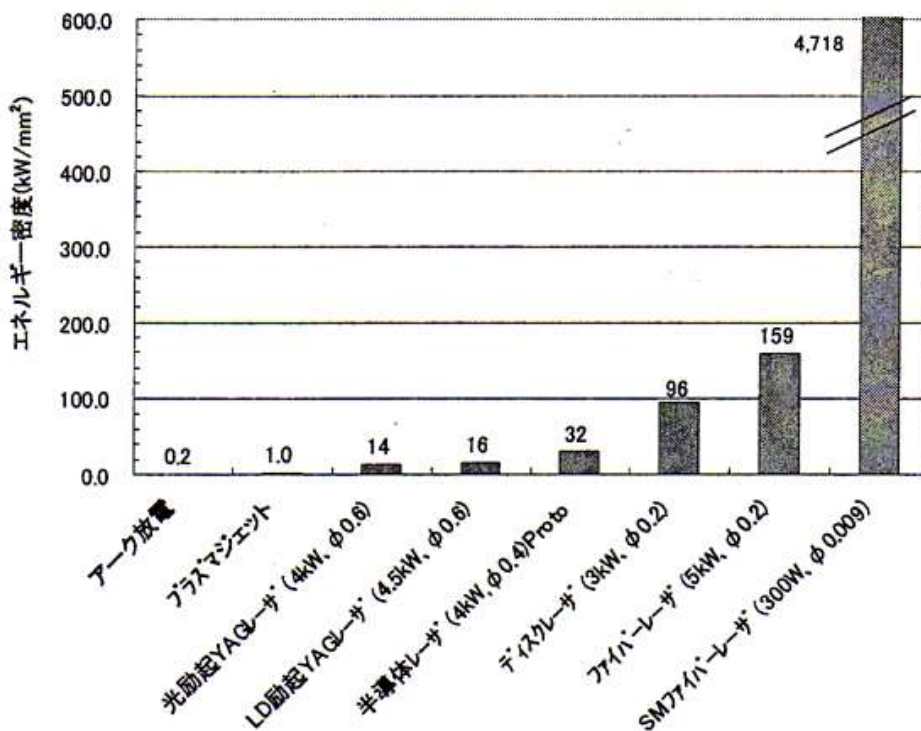


図30 溶接・切断用熱源のエネルギー密度の比較[24]



図31 ステンレス鋼の高速溶接(100WCW ファイバーレーザ, v = 40m/min, 溶込み : 320 μm) [30]

従来のレーザ生産システムに比べて、最新レーザ利用生産システム（ALIMS）は恐ろしいほどの能力を持っており、次のような特徴がある[31]。

- ◆従来のレーザ機器の数10倍から数100倍出力密度が高い。
- ◆高速度加工が可能になる
- ◆ビーム品質が非常によく、高精度加工に最適である。
- ◆電気―光変換効率が20%以上と非常に高い。
- ◆半導体レーザの寿命は2万時間～10万時間と長い。
- ◆消耗品が少なく、ランニングコストが低い。
- ◆メンテナンスフリーに近い。

著者らは多目的の最新レーザ利用生産システム（Advanced Laser Integrated Manufacturing System (ALIMS)）として図3 2に示すような2 kWファイバーレーザを用いたリモート加工が可能な ALIMS ロボットを開発した。これは平成16年度および17年度に経済産業省の地域新生コンソーシアム研究開発事業に採択された「最新レーザ利用生産システムおよび高強度・高機能部材の開発」により開発したものである[32]。

このシステムの主な仕様はつぎの通りである。

- 1) 高出力 LD 励起ファイバレーザおよび加工光学系を用いた3次元加工システムで、多関節ロボット+XY 2軸テーブル+ALIMS ヘッド(目的、用途に応じて付替え、組合せ自由)よりなる。
- 2) 各種異種金属の高強度・高機能部材の製造技術用のレーザロール溶接装置（図3 4）にALIMS ロボットを適用することにより各種異種金属構造部材を軽量、高強度、低コストで生産できる[33]。
- 3) フレキシブルな環状ビーム光学系の開発により、図3 5に示すような円筒部材をひずみなく瞬時レーザ加工が可能である[32]。
- 4) アシストガスフリー高速レーザ切断に利用できる。



図3 2 3次元リモートレーザ加工用 ALIMS ロボット[32]



図3 3 異種金属継手用レーザロール溶接システム[33]

高出力半導体レーザの発達から始まる最新レーザを用いたレーザ利用生産システムはここ2、3年で現実化してきた。非常に高品質・高出力の半導体レーザやファイバーレーザの出現がそれを演出している。ハイブリッド溶接やリモート溶接などの ALIMS 溶接システムも開発できた。これらに応用する環境はまだ十分整っていないが、今後の装置の発展や研究開発により可能になろう。高出力のファイバーの今後の展開は厚板分野にもレーザ加工を拡大していき、そのインパクトが非常に大きいということである。いよいよ「第4の波」の到来である。第3の波の代表的溶接法がロボット溶接ならば、第4の波の代表的溶接法はリモートレーザロボット

溶接になると予想される。

アキシコンレンズ方式環状ビーム成形ヘッド(ALIMS-FH)

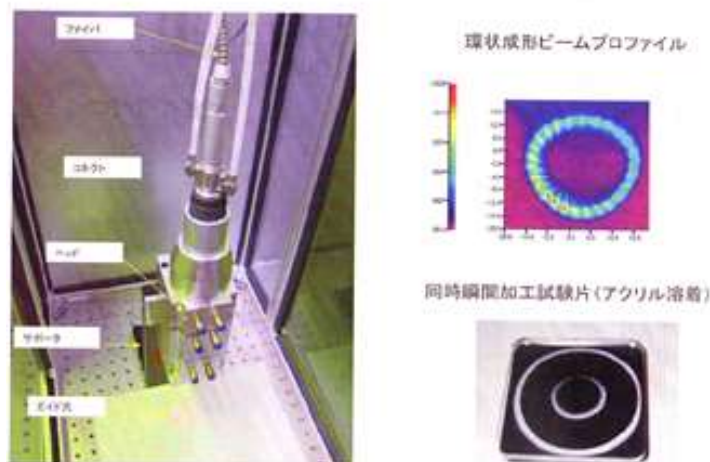


図3-4 環状ビームを用いるALIMSによるアクリル部品の瞬間溶接の例[32]

#### 4. 自動車産業への最新レーザー利用生産システムの導入

この2、3年に、レーザーろう付技術が自動車産業で実用化されている。図3-5はEDAG社のレーザーろう付技術がルーフパネルとドアパネルの接合部に適用された例を示す[34]。従来、樹脂トリムをその接合部に当てていたが、その必要がなくなった。



(a) 従来法 (樹脂トリムを使用)



(b) レーザ溶接を適用



(c) レーザろう付を適用

図3-5 ルーフパネルとドアパネルの接合部のレーザーろう付の適用例[34]

レーザー溶接の車体パネルへのスティッチ溶接は図3-6に示すように従来の抵抗スポット溶接の重ね溶接にくらべ、フランジ幅を大幅に低減できるので、車体重量の低減が可能になるばかりか、薄板の剛性の向上にもなり、ドアパネルへの適用や図3-6に示すようにセンターピラーへの適用がなされている[34]。

レーザー溶接も従来のロボットを用いた方法のほか、x-yガルバノミラー光学系を用いたリモートレーザー溶接システムと図32に示したようにロボットのアームの先にx-yガルバノミラー光学系を取り付けたリモートレーザー溶接ロボット方式などが開発され、適用されつつある。

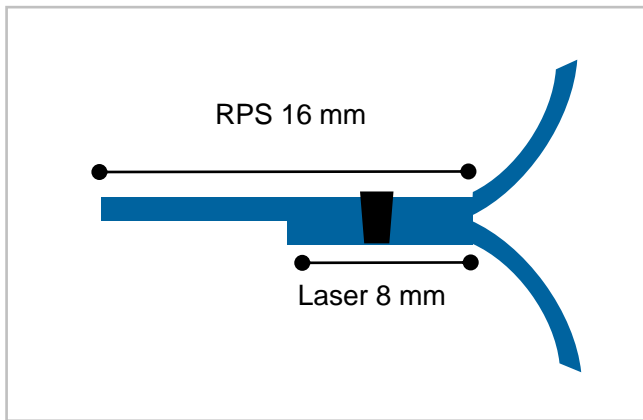


図36 車体パネル重ね継手のレーザースティッチ溶接とピラーへの適用例[34]

## 5. まとめ

自動車産業へのレーザー加工の適用の歴史もすでに30余年となり、着実に拡大してきた。現在でも、超高張力鋼やアルミニウム合金のレーザー溶接、マグネシウム合金のレーザー溶接、アルミニウム合金と低炭素鋼の異種金属継手のレーザー溶接やレーザーろう付、樹脂の射出成形金型のレーザー直接造形、自動車部品のレーザーピーニングなど、多くの課題が研究・開発されている。益々レーザーの特性を生かした加工法が今後開発され、自動車を高性能に、高精度で、低コストで生産するシステムとして利用されていくことと思う。

### 参考資料

- [1] Klaus Loeffler:第64回レーザー加工学会論文集、(2005.7), pp.1-32
- [2] M.Yessik, D.J.Schmatz:Laser Processing at Ford, Metal Progress, 1975,May ,p61-66
- [3] Photon Sources 社カタログ
- [4] Triumph 社カタログ Laser Processing Center for Cutting,Welding and Surface Treatment, 1999
- [5] W.Prange: Use of laser welding technology in sheet processing, Proc. of Intern. Conf. on Application of Laser Processing in Automobile Fab.Ind..Dec.3-4, 1987,Cambridge UK,
- [6] C.J.Dawes: Proc. of LAMP'87, Osaka (Mat,1987) , p.523
- [7] 平田: 中部レーザー応用技術研究会、創立記念フォーラム予稿集、2001,2月、p19
- [8] L.Bakowsky: Proc. of 4th CISFFEL, Cannes ,26-30 Sept.1988, 709
- [9] 高木: 溶接技術、37-8(1989) p.62-68
- [10] 高木: レーザ加工ハンドブック、第3章、テック出版、1991、東京 p94-100,
- [11] TWB社カタログ、
- [12] Y.Iwai, N.Okumura, O.Miyata: Proc. of LAMP'87, Osaka, May 1987, p.517-523
- [13] 丸山: Proc. of Intern. Forum on Laser Processing '96
- [14] ライトフーダック: 溶接技術、37-1(1990)、p.29-31
- [15] K.Shibata: Proc. of Automotive Laser Applications Workshop'93, Mielugan, March 8-9,1993,
- [16] 田中、斉藤ら: 豊田中央研究所R&Dレビュー、28-3(1993,9月)、p.35-45
- [17] 高橋: OPTRONICS ,1994,No7, p.127
- [18] 井下、市川; 日本鉄鋼協会、第28回「接合・複合」分科会資料(1997,2月)
- [19] Triumph 社技術資料、2000
- [20] Fraunhofer Institut lasertechnik 技術資料,Fugen von Kunststoffen mit Laserstrahlung, 2000

- [21] 光産業振興協会資料、2002
- [22] M.Behringer,H.Konig:Diode Lasers for Industrial Applications, Proc. ICALEO, Oct.31-Nov.3,2005, Miami, p.1-8
- [23] M.Peters,V.Rossin,et al:High-Efficiency. High Power Laser Diodes, Proc.ICALEO, Oct.31-Nov.3, 2005, Miami, 207-213
- [24] 荒谷：高出力次世代レーザの可能性,レーザ加工フォーラム2006テキスト(産報主催)、2006,4,13,東京、p.2-6
- [25] 杓名：最近のレーザシステムの動向(1)、機械の研究、57-9(2005),p.923-929
- [26] I.P.G.社技術資料、High Power Fiber Laser,(2003),17
- [27] I.P.G.社技術資料、High Power Fiber Laser,(2005)
- [28] M. Kutsuna, et al; Proc. of Intern. Conf. on Welding Research in the 1980's, by J. Welding Soc. Osaka(1980),p.79
- [29] Adolf Giessen: 日本溶接協会主催、公開特別講演会資料、2003年6月12日、東京
- [30] F.Vollertsen and C.Thomy: Welding with Fiber lasers from 200W to 17000W, Proc.of ICALEO, Oct.31-Nov.3, 2005, Miami, 254-263
- [31] 杓名：最近のレーザシステムの動向(2)、機械の研究、57-10(2005),p.1050-1058
- [32] 杓名、劉：高エネルギービーム加工研究会「ファイバーレーザ加工の現状と今後の展開」シンポジウム資料、2006、10月、東京、
- [33] 杓名、ラウト・マノージュ：レーザロール圧接による A5052 合金と SPCC 鋼の接合、溶接学会論文集、21-2(2003),p.282-294
- [34] Jochen Schneegans: Latest Laser Application in Europe, 中部レーザ応用技術研究会第61回研究会資料、2006.9.13, 名古屋,