

## 自動車ボディへのレーザ溶接適用

日産自動車株式会社  
車両技術開発試作部  
森 清 和

自動車ボディは、軽量化、構造合理化やコスト削減などのニーズに対応するため多様な溶接技術が用いられている。そのなかでもレーザ溶接は、1980年代からテーラードブランク、連続一方向溶接、リモート溶接、ブレイジングへと、様々な応用がなされてきた。それらは新しいレーザ発振器や加工技術の進歩により、段階的に新しい加工応用技術として実用化されてきている。本報告では、自動車ボディの構造と材料の動向を解説し、各社のレーザ加工応用の事例の分析を行った後、それぞれの加工事例の技術的な特徴を解説する。

### 1. はじめに

#### 1.1 自動車ボディに用いられる材料

自動車ボディは軟鋼板をプレスしてスポット溶接で組み立てることを基本的な生産技術としてきた。そのうえで、ボディの強度や剛性の向上、燃費向上や運動性能向上を目的とした軽量化等のニーズに答えるために、構造合理化・工法開発・材料開発が連携して進められている。

図1は自動車ボディの一例として日産リーフの材料構成を表したものである<sup>1)</sup>。図中の薄いブルーで示されている部分は引張強度で270MPa程度の軟鋼 (Mild steel) である。この車種では重量比で50%以下である。濃いブルーとピンクで示された部位は高張力鋼板 (ハイテン: HSS/High Strength Steel, 高強度ハイテンAHSS/Advanced High Strength Steel) である。紫で示された部分は超ハイテン (UHSS/Ultra High Strength Steel) と分類され、980MPa級のプレス材料や、プレスと同時に焼き入れするダイクエンチ材 (熱間プレス、PHS/Press Hardened Steel、またはボロン鋼とよばれることもある) が主な鋼種であり、その比率はこの車種では10%を超えている。超ハイテンは強度や使用部位がさらに増加しており、例えば2013年度に発表された日産Infinity Q50では1180MPa (1.2GPa) 材が採用されている<sup>2)</sup>。

鋼材以外の軽量化材料としては、アルミ合金がカバー部品 (ドアやフード、トランクリッドのように開閉する部品) を中心に用いられている。図1ではアルミ合金部品は緑色で表現されており約10%を占めている。また、欧州車を中心に少数ではあるが、ボディの主要構成部品をすべてアルミ合金にした、いわゆるオールアルミ車体も生産されている。さらに、AudiのTTやBenzのSクラス

のようにスチールとアルミ合金を一台のボディ骨格の中で使い分けたマルチマテリアル車体も登場している<sup>3)</sup>。

さらなる軽量化を目指してCFRPをボディの骨格構造に用いた例も登場し始めた。2013年秋にはBMW i3がアルミ合金のフレームとCFRPのキャビンの組み合わせとして発表されている<sup>3)</sup>。

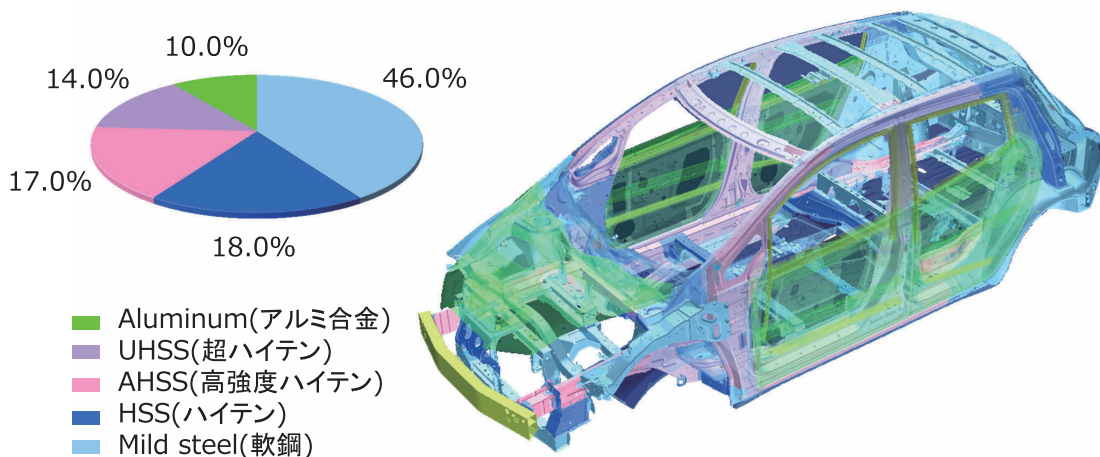


図1 自動車ボディの材料構成の例（日産リーフ）<sup>1)</sup>

## 1.2 自動車ボディの接合法

ボディの材料が多様化していくにつれ、接合法も多く種類が用いられている。現在用いられている主な接合法を図2に示す。材料を溶かし合わせる融接のグループではスポット、アーク、プラズマ、レーザの各接合法が用いられる。ろう接としては主に銅系のろう材をワイヤ供給し、MIGアーク、レーザ、プラズマが熱源として用いられる。圧接・機械的接合では、アルミ合金やスチールとアルミ合金の異材接合において、さまざまな種類が用いられている。接着のグループでは強度・剛性を目的にした構造接着や防錆目的のシーラーなどが用いられている。

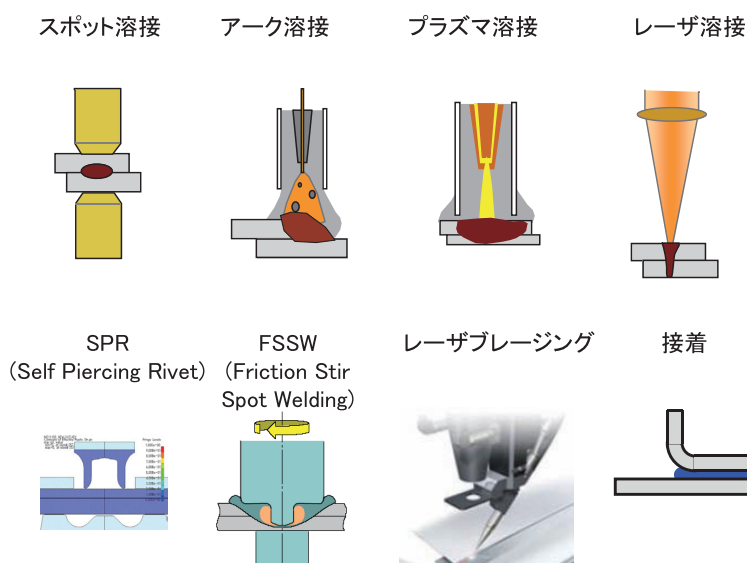


図2 自動車ボディの主な接合法

### 1.3 典型的な自動車ボディでの接合技術採用例

接合工法によって接合部形状が点状や線状と異なるので、各接合工法の使用比率を量的に比較するには換算が必要である。表1はドイツのACI (Automotive Circle International) が定義したスポット換算打点：WSE (WeldSpot Equivalents) である。ACIが主催するシンポジウムであるEuro Car BodyおよびEALA (European Automotive Laser Application) では各社が公表したボディ接合に用いられたWSEを公表している。このデータを基に、特徴的な車両の接合技術採用割合を著者が加工したものを図3に示す<sup>3)</sup>。

表1 スポット換算打点の定義 (ACI\*による)

スポット溶接	1:1
アーク溶接	20 mm = 1 WSE**
レーザ溶接	15 mm = 1 WSE
MIGブレイジング	20 mm = 1 WSE
レーザブレイジング	30 mm = 1 WSE
構造接着	50 mm = 1 WSE
リベット類	1 joint = 1 WSE
クリンチ	1 joint = 1 WSE
ドリル類(FDS等)	1 joint = 1 WSE

注) ACI\*: Automotive Circle International  
WSE\*\*: WeldSpot Equivalents

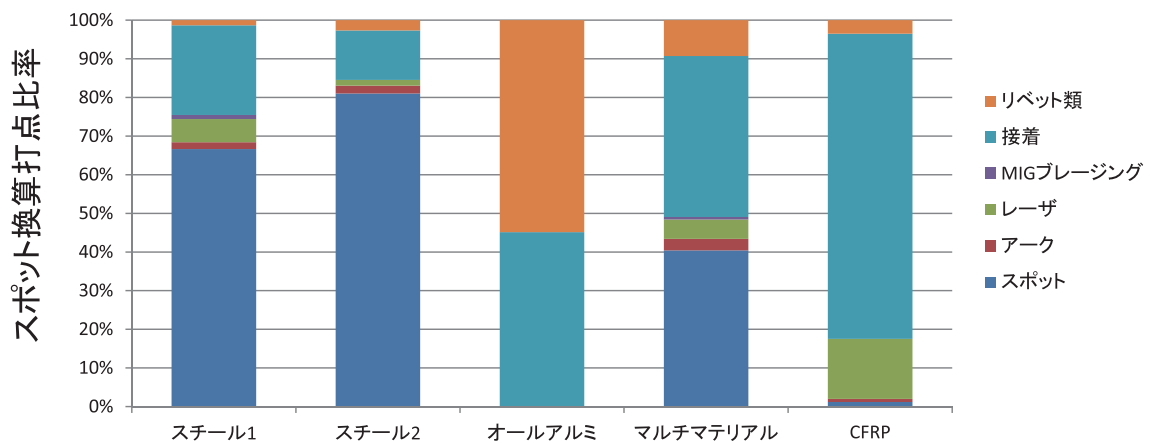


図3 車体種類と接合技術<sup>3)</sup>

このように絶対値にとられずに概観すると、いくつかの特徴点が見られる。図3の左側に示したスチールベースのボディでは、スポット溶接が7割から9割を占め、次いで接着が多い。レーザ溶接は10%程度で自動車メーカーごとの採用比率に大きなばらつきがあり、ドイツ車の採用量が多い。

オールアルミ車やマルチマテリアル車体ではスポット溶接の比率は小さく、接着やリベットの比率が大きくなるのがわかる。CFRPベースのボディでは接着が中心であり、レーザ溶接が用いられているのはアルミ合金のフレーム部である。

このように自動車ボディに用いられる接合工法は、ボディの材料、メーカーごとの考え方の違いによって特徴があることがわかる。以降はの中で、レーザを用いた接合にフォーカスして解説する。

## 2. 自動車ボディに用いられるレーザ加工技術

### 2.1 レーザ加工の適用の経緯<sup>4)6)7)</sup>

図4に自動車ボディに用いられているレーザ接合技術を年代ごとに並べて示す。エンジン・変速機・サスペンションといったパワートレイン部品や切断・マーキングのような接合以外の加工は除いた。

レーザ溶接の自動車ボディへの採用は、1990年代初め頃から先ず平板の（つまりは2次元の）テーラードブランク溶接で始まった。その後に抵抗スポット溶接の代替としての三次元レーザ溶接が採用され始めた。2000年代半ばになるとリモート溶接が採用され始めてきている。

このような適用事例の経緯はレーザ発振器の進歩と関連が深い。すなわち、鋼材の高速溶接可能な数kWクラスのCO<sub>2</sub>レーザの開発と共にテーラードブランク溶接が開発された。kWクラスのYAGレーザが開発されると、光ファイバー導光が可能となりロボットと組み合わせて車体の3次元溶接が開発された。さらに、集光性能が良く500mmを超えるような長焦点距離でも溶接が可能なファイバーレーザが開発されると、リモートレーザが実用化された。

これらの代表的な加工事例について次項以降で解説する。

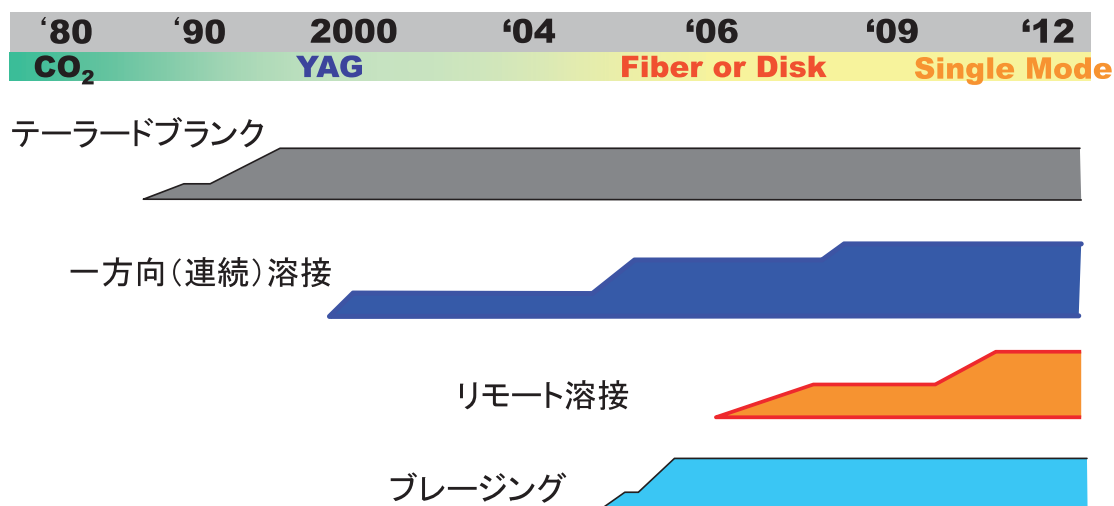


図4 自動車ボディへのレーザ接合適用経緯

### 2.2 テーラードブランク溶接

図5に自動車車体のパネル部品の平板状態の素材（ブランク材）を突き合わせ溶接し、一体でプレス成形するいわゆるテーラードブランク工法を示す。図6に示すドアインナーでは強度の必要なヒンジ部分の板厚を大きくすることにより、効率的な補強が可能となり、部品の軽量化が図れている。センターピラーレインフォースでは、大きな力が加わった際に変形を小さくしたい上部と、エネルギー吸収をさせたい下部で違う鋼種を接合して一体でプレスしている。

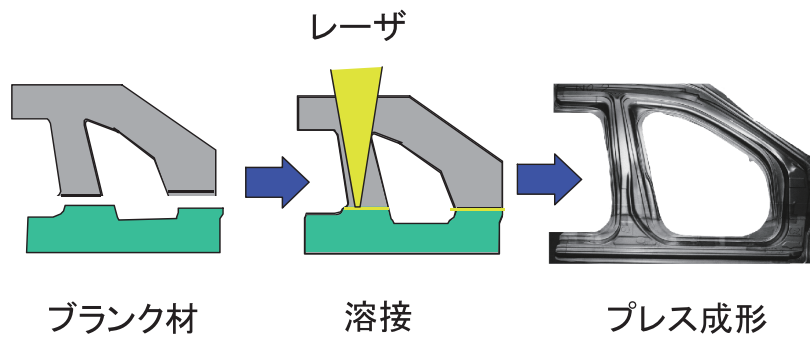


図5 テーラードブランク工法

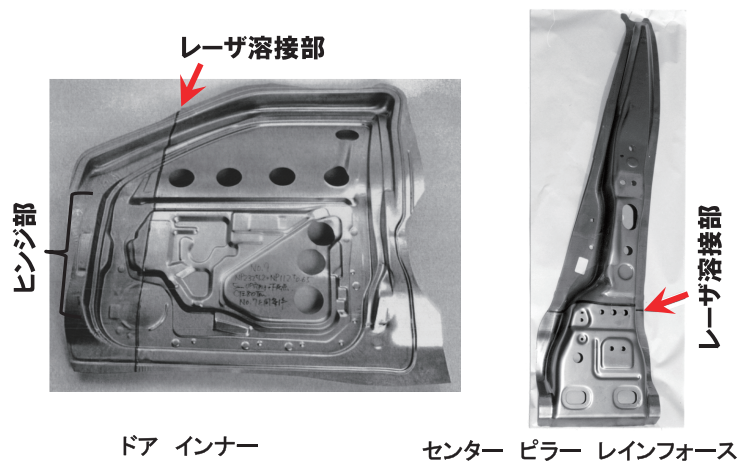


図6 テーラードブランクの部品例

### 2.3 車体の3次元溶接

図7にボディへレーザ溶接が採用されている部位を示す。ルーフ部はレーザ溶接の一方向から、しかも狭い溝の中を溶接できるという、スポット溶接では不可能な構造的なメリットを得るために採用されている。

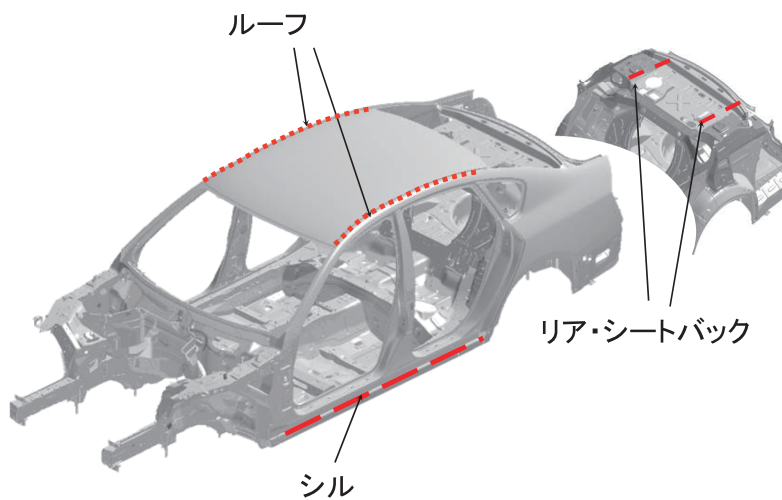


図7 車体の3次元レーザ溶接事例

ボディシル部のレーザー溶接の狙いは、ねじり剛性向上である。良く知られているように、単純な閉断面のフランジを抵抗スポット溶接した場合には、スポット間のピッチを小さくしていくとねじり剛性が増大する。しかしスポット溶接では既打点への分流によりピッチを小さくする限界がある。レーザー溶接の場合は連続的に溶接可能なので、限界に近い捩じり剛性値が期待できる。実際にはフランジのどの部位（縦壁に近い位置かフランジ端部に近い位置か）によって、剛性が向上する割合は大きく影響を受け、数%から十数%の幅がある。図8はリア・シートバックのレーザー溶接部を示している。板組みの変化部を除いて200mmから300mmのビードを連続して接合している。

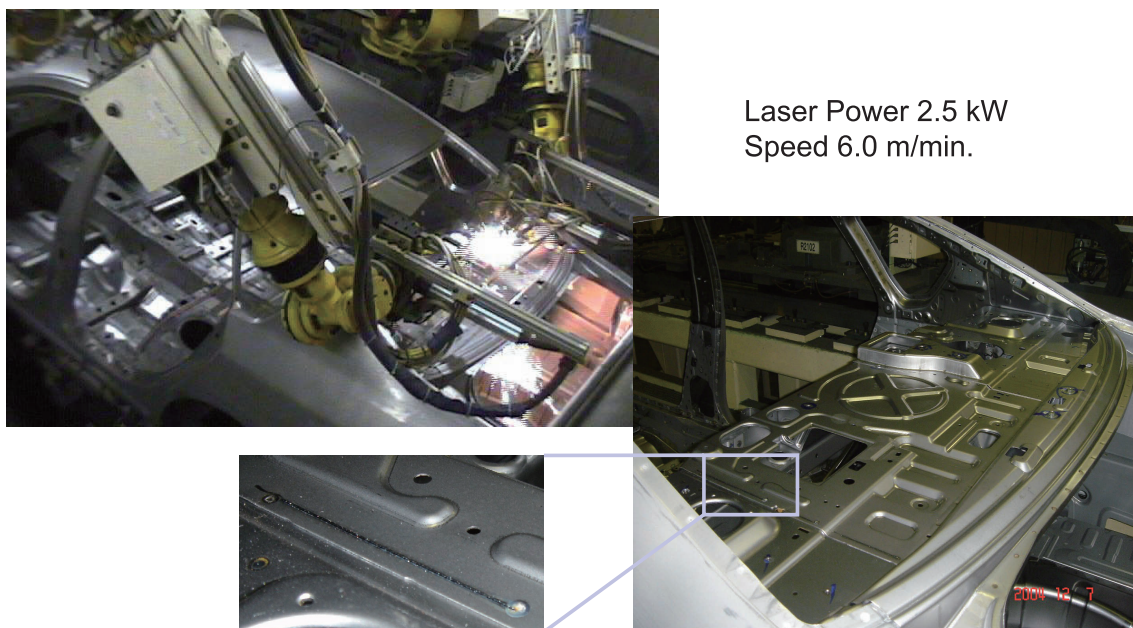
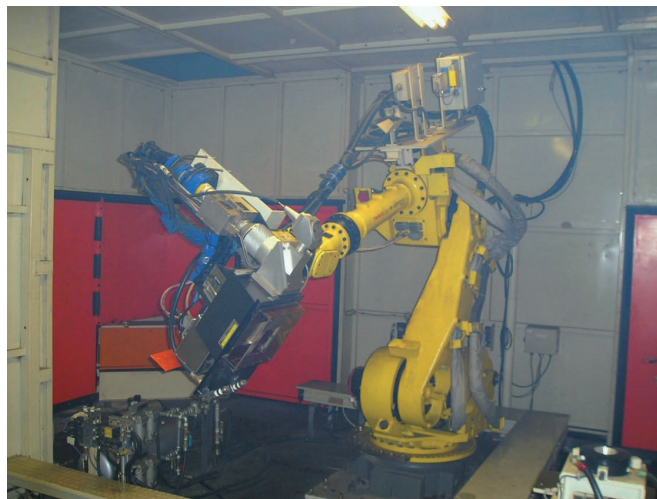
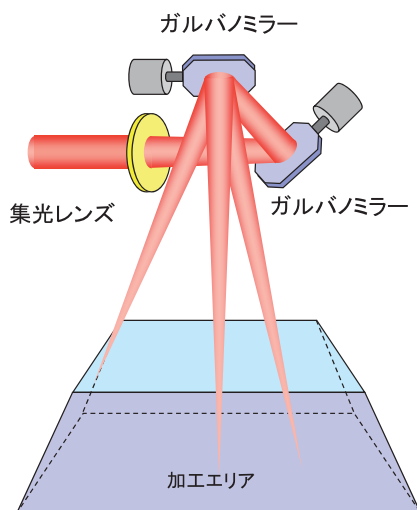


図8 リア・シートバック部のレーザー溶接適用事例

#### 2.4 リモートレーザー<sup>6)</sup>

図9にリモートレーザー溶接工法を示す。レーザー溶接は一方向溶接や剛性向上といったメリットがある反面、板間の隙間の管理やコスト等の大きな課題が存在する。ここではレーザー溶接採用によるコストメリット増大の可能性としてリモートレーザー技術が開発された。リモートレーザーは最近入手可能となった集光性能の良いレーザー発振器を用いて、図9に示すように焦点距離を従来の200mm程度を数倍大きくし、500から1000mm程度の集光光学系を用いてレーザー溶接する。焦点距離が大きくなると光路中に可変ミラー（ガルバノミラー）を置くことが可能となりミラーの角度変更により瞬時に照射位置を移動することが出来る。これによって、レーザー溶接時間そのものは変わらないものの、次の溶接点までの空走時間がこれまでのロボット全体が移動していたのに比べてけた違いに小さく出来る。図10はリモートレーザー溶接の事例である。リモートレーザー溶接技術は現在も開発中の技術であり、様々なシステム構成が提案されている。



ロボットによるリモートレーザ

図9 リモート溶接工法

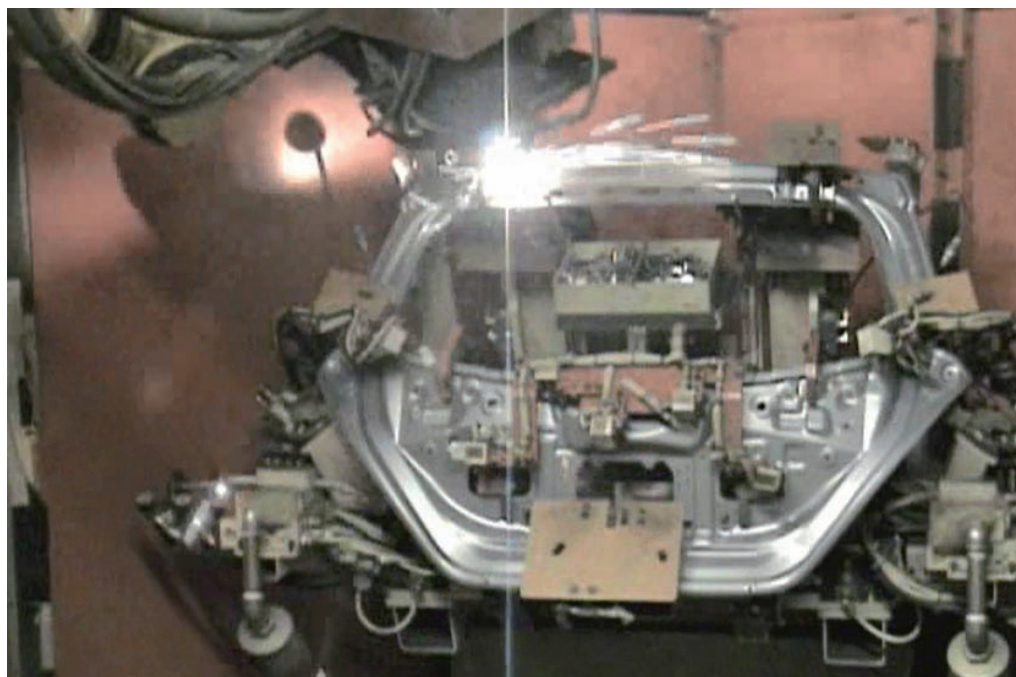


図10 リモート溶接の事例

## 2.5 レーザブレイジング

レーザーブレイジングは、亜鉛めっき鋼板同士の接合の場合、銅を主成分としたワイヤ（融点は1000℃強）をレーザーで溶融させ、スチールパネル（融点は1500℃強）は溶かさずにろう付けにより接合する技術である。接合条件を適切にコントロールすると、そのまま塗装して外板面にキャラクタラインとして通用するほどの安定した見栄えのビードが得られる。図11はボディサイドとルーフの接合の概観と、その断面写真である。分割線をなめらかに見せることが可能となっている。レーザーブレイジングの課題は接合条件の変化が外観品質の変化になることである。例えば形状変化部で加工速度を減速したり、再加速したりするとビード幅が変化し、接合強度には影響が少ないものの外観品質は大きく影響する。

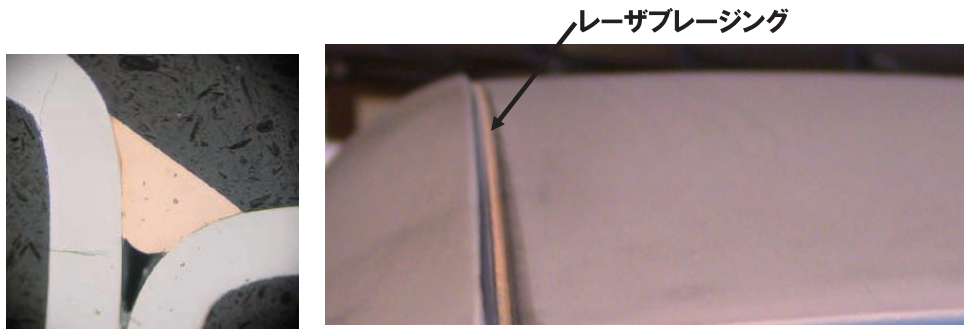


図11 レーザブレイジングの適用事例

### 3. 将来動向

図12にボディのレーザー加工に関するレーダーチャートを示す。扇形の中心を現在として外側にどのような技術が予想されるかを示している。これまで見てきたようないくつかのトレンドがある。まず、レーザー発振器そのものの開発は継続しており、高輝度で高出力、小型で低コストな発振器が実用化されると予想される。それらの新開発された発振器や、スキャナ光学系などの周辺機器の開発により、さらに新しい適用事例が生まれていくものと考えられる。それらの開発の動機は、さらなる軽量化のための新材料・新構造のニーズである。さらに、EV（Electric Vehicle：電気自動車）やFCV（Fuel Cell Vehicle：燃料電池車）、HEV（Hybrid Electric Vehicle：ハイブリッド車）といった自動車の電動化技術の進展に伴い、これまでになかったようなレーザー加工のニーズがさらに出てくるものと思われる。

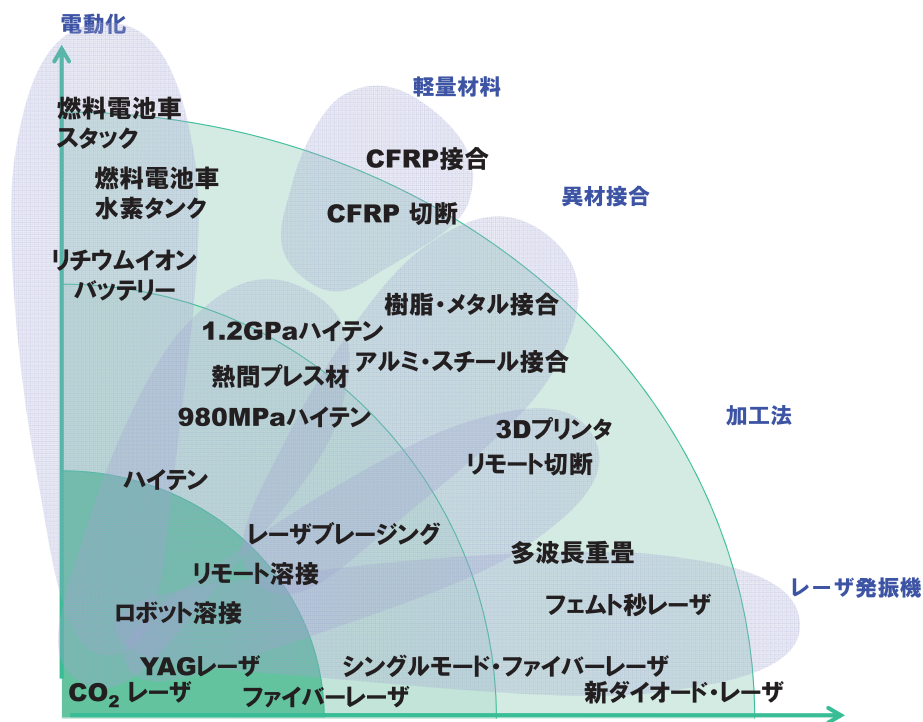


図12 レーザ加工のテクノロジー・レーダー

## 参考文献

---

- 1) 寺島、武志、Nissan LEAF, ACI, Euro Car Body 2011
- 2) Nissan Newsroom , 日産「超高張力鋼板」で軽量化に挑戦,  
YouTube :  
[http://www.youtube.com/watch?v=\\_VnRRROMFkc&feature=share&list=PLEQxtnh\\_-XP7POG5RwBEeGRmIwOIByd54&index=31](http://www.youtube.com/watch?v=_VnRRROMFkc&feature=share&list=PLEQxtnh_-XP7POG5RwBEeGRmIwOIByd54&index=31)
- 3) Euro Car Body ,ACI , 2002 ~ 2013
- 4) 森、自動車製造におけるレーザ加工技術の応用事例と展望、第71回応用物理学会シンポジウム,  
2010
- 5) 吉川、森ら、Development of New Remote Welding for All Closure Assembly, ACI , EALA2011
- 6) 森、樽井ら、Quality assurance technique for body laser welding, ACI , EALA2012
- 7) 森、欧州自動車業界のレーザ加工動向、レーザ加工学会 第80回大会、2013

### <略歴>

---

1980年 大阪大学 工学部 溶接工学科 卒業  
1980年 日産自動車(株)入社 試作部配属  
1997年 大阪大学 大学院工学研究科より 博士(工学) 取得  
2007年 車両技術開発試作部、エキスパートリーダー 現在に至る