

レーザー円形走査溶接法を用いた 車体骨格開発

トヨタ自動車株式会社

代表取締役社長 豊田 章 男

トヨタ自動車(株) ボデー先行開発部 是石 智 正

トヨタ自動車(株) MSボデー生技部 牧野 潤一郎

トヨタ自動車(株) MSボデー生技部 小倉 修 平

はじめに

安全性、信頼性、骨格剛性など車両性能の基盤を成している車体骨格の接合は、スポット溶接がその大部分を占めるが、分流により溶接ピッチを短くすることができないため、接合点数には限界があり十分に骨格部材の強度・剛性を引き出すことが困難である。分流をしない接合技術としてレーザー溶接があるが、溶接時に発生する亜鉛の金属蒸気によって溶接欠陥を生じる(図1)。そのため金属蒸気を逃がすために板隙を0.1mm～0.3mm程度にコントロールしなければならず、レーザー溶接を車両全体に適用する上で課題となっている。

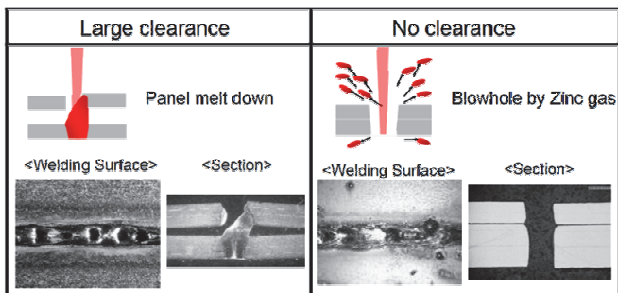


図1 従来のレーザー溶接の難しさ

開発のねらい

LSW (Laser Screw Welding) の開発は、レーザー溶接の課題であった板隙裕度の狭さを解決するため、レーザー溶接の溶接技術を独自開発しレーザー溶接を車体骨格全体に適用させることで車両性能の向上を目指す。技術的な難易度を踏まえて、開発は図2に示すステップを設けて行われた。2011年にレクサスを生産する田原工場へLSW工程を導入し、約150点のLSW追加打点を採用することで操安性・乗り心地を向上させる技術として商品化。そして、開発当初から目標とするLSW本来の使い方として、骨格構造の刷新および衝突安全性能など車両性能へ寄与させる開発を実施した。

装置の概要

LSW はリモートレーザー溶接技術を応用したもので、図3のようにスキャナからレーザーを照射し、複数枚重ねて構成している車両骨格

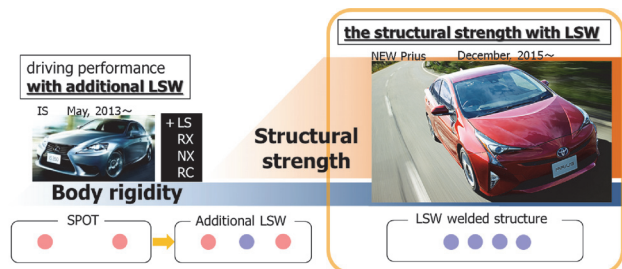


図2 LSWの開発ステップ

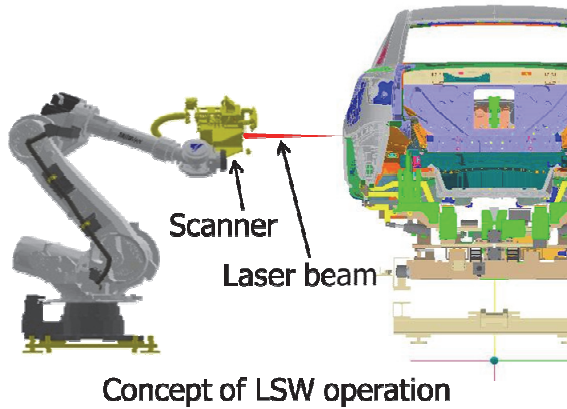


図3 装置の概要

の鋼板を溶接する。

LSWは複数枚の板を一度に接合でき、また、**図4**に示すようにスポット溶接と同様に円形の溶接形状をしているため、現在広く車体骨格の溶接に用いられるスポット溶接に代わる溶接技術として開発された。また、レーザー溶接の特徴である片側からアクセス可能な接合であり、かつ、従来のスポット溶接と比較して溶接速度が約3倍あることから、将来に渡り競争力のある生産性を持ち合わせている。

LSWの主な特徴

1. 高速で溶接することが可能
2. 溶接ピッチに制約がない
3. 片側溶接が可能
4. スポット溶接と同等に扱える溶接形状

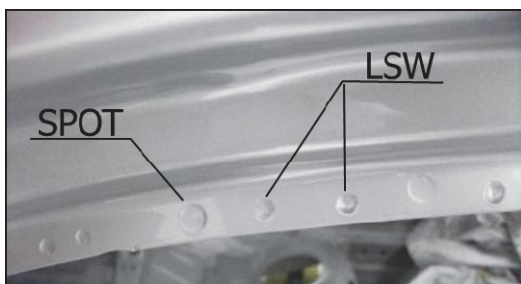
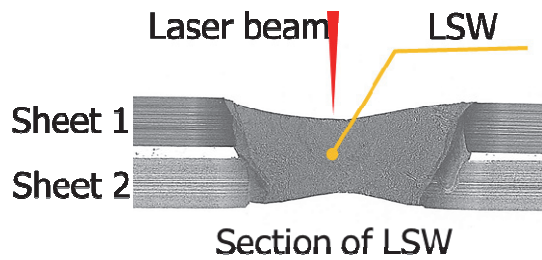


図4 LSWの断面と外観

技術上の特徴

LSWの溶接条件の開発が、開発全体の中でも特に苦心しており、また世界初の革新的な技術開発となったため、その溶接技術は特許技術としてトヨタ自動車が保有している。

先に述べた通り、レーザー溶接を車体へ採用する上での課題は板隙に対する適用範囲の狭さである。板隙が大きい場合は溶け落ちが生じ、板隙がない場合は、溶接時に発生する亜鉛の金属蒸気により爆飛し穴が開く場合がある。つまり車体を構成する部品の寸法精度および組立精度によって溶接品質が左右されてしまう。

この課題を解決するために開発した溶接原理を紹介する。**図5**は特定のレーザー照射条件により溶融した鉄がうねり攪拌される様子を示す。

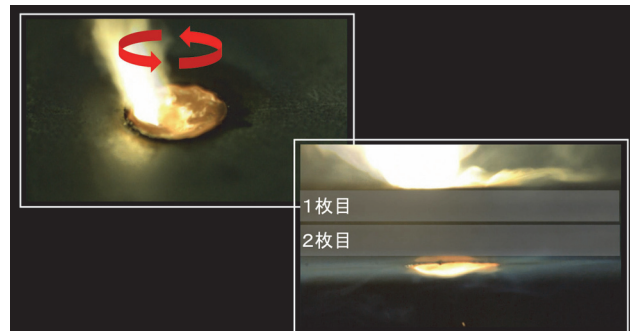


図5 溶接時の攪拌の様子

この現象により溶融した鉄を攪拌させながら亜鉛の金属蒸気を取り除くことができる。レーザー出力やレーザー走査径、走査速度などを適正に組み合わせることで溶融した鉄の流動を制御して攪拌する条件や溶接径を拡大する条件などを作り出す。攪拌するプロセスに加えて徐々

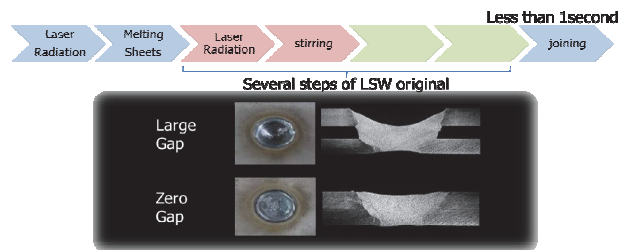


図6 LSWのプロセスおよび溶接品

に溶接径を拡大するプロセスを組み合わせ溶接を行うと、**図6**に示すように板隙裕度が改善し安定した溶接品質を得ることができる上、1点当たりの加工時間は0.3秒～0.8秒であり、スポット溶接と比較し高速で溶接できる。従来のレーザー溶接はレーザーを照射、熔融し接合するプロセスであるのに対してLSWは溶接プロセスそのものが異なる革新的な溶接技術である。

LSWを用いることで板隙裕度は大幅に改善され、レーザー溶接の最大の懸案を払拭し車両全体への適用が可能となった。

実用上の効果

車体骨格は**図7**に示すようにそれぞれの衝突形態への負荷、操縦安定性のための剛性や耐久性といった車両全体への負荷に対応できる接合強度が求められ、基本的にはすべての部位に対して適用可能な接合技術でなければ車体骨格の性能に対して主体的に寄与させることは難しい。よって、部位が限定的な従来のレーザー溶接では車体骨格の性能へも限定的な寄与しか得ることができないが、板隙裕度の広いLSWは車両全体に適用することができるため車両性能向上への効果が高い。

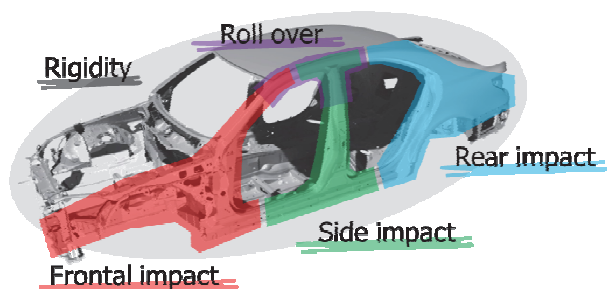


図7 車体骨格に求められる性能

〈LSWを活用した車両性能向上〉

LSWを活用した際の設計面でのメリットの1つは、短い溶接ピッチで配置する短ピッチ溶接が可能となることである。スポット溶接は分

流が生じるため溶接ピッチが短いと溶接品質が安定しない特徴があったが、LSWは溶接ピッチに制約がない。短ピッチ溶接を車体骨格のフランジに適用することで骨格剛性が向上し乗り心地・操縦安定性が高まる。

また、ホットスタンプ材などの超高張力鋼板の溶接は母材強度より溶接部の強度が低下するため溶接を配置したフランジ強度の確保が課題となるが、接合点数を集中的に増やすことができるLSWは、骨格部材の強度を高める重要な手段となる。**図8**に示す車体骨格への採用例では、ホットスタンプ材の骨格部材に対してLSWによる短ピッチ溶接を集中的に採用し衝突性能を効率的に向上させることができる。

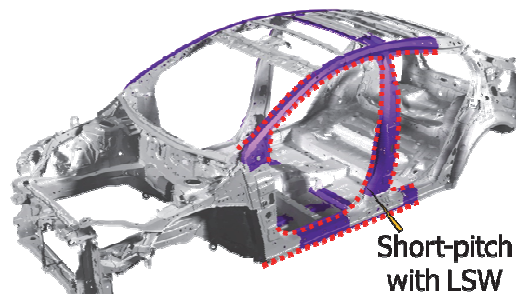


図8 ホットスタンプ材の採用部位とLSW適用部位

もう1つのメリットは、片側アクセスのメリットを活かした溶接である。スポット溶接では溶接ガンをアクセスするための作業穴が必要となることがあり骨格強度・剛性の低下を招く。そのためアーク溶接やボルト締結、または順序工程を追加し作業穴が開かないように組み立てる必要があるが、いずれも生産性が悪化する。そこで、LSWの片側アクセスの溶接を活用することで生産性を悪化させることなく、リアボディ

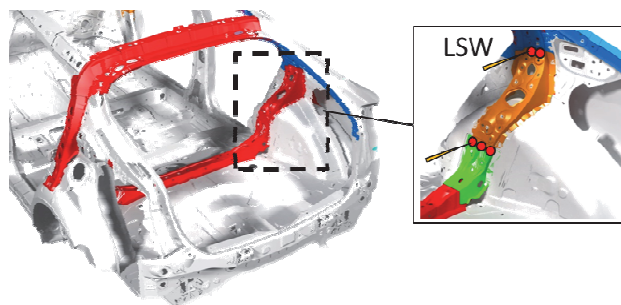


図9 リアボディ環状骨格構造

環状骨格構造のように閉じ断面を連続的に結合させる構造を実現できる（図9）。

〈LSWの生産性向上〉

LSWが従来のスポット溶接に比べて溶接速度が約3倍速く、スポット溶接と同様に車体全体に適用できることから車体全体で数千点あるスポット溶接の一部をLSWに置換えることで生産性を向上させることができる。

LSWを導入した車体骨格の溶接工程はスポット溶接をLSWに置き換えることで工程を40%短縮することができる。LSWを開発の目的は、車体骨格の基本性能向上にあるため溶接工程を短縮して空いたスペースを活用し、さらに付加価値の高い車体骨格を生産すべく、LSWによる接合点数の増強とアーチヘミングといった意匠性能を向上させる工程を導入し、工程を延伸することなく溶接工程を刷新した（図10）。また、同レーザーを用いて溶接した直後に約0.1秒程度、検査レーザーを照射することで溶接状態を瞬時に検査判定する技術を開発しLSW工程に導入。品質の安定性と高速性を両立した。

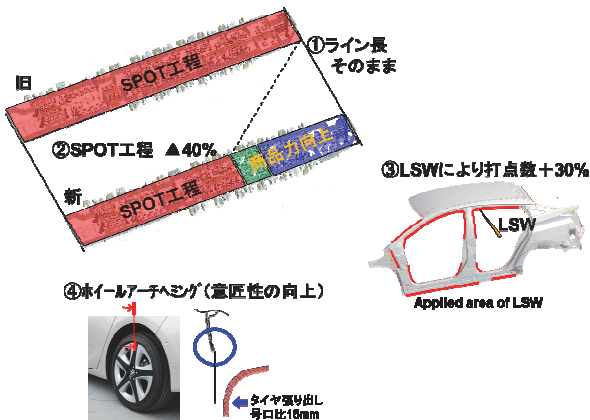


図10 LSWによる溶接工程の刷新

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

- ① 日本国特許第 5609595 号
名称：レーザー溶接方法

概要：亜鉛メッキ鋼板の亜鉛を気化させて
接合するレーザー溶接方法

- ② 日本国特許第 5754542 号

名称：レーザー接合構造及びレーザー接合方法
概要：片側溶接を活用したレーザー接合構造

- ③ 日本国特許第 5892140 号

名称：車体部材の接合構造及び車体構造
概要：レーザー溶接の板隙を活用した接合構造

- ④ 日本国特許第 5929948 号

名称：溶接部の検査方法
概要：溶融部からの放出光により溶接部の
溶接状態を検査する方法

- ⑤ 日本国特許第 6011598 号

名称：レーザー溶接方法
概要：溶接不良の発生を容易に抑制する
ことができるレーザー溶接方法

むすび

LSWは従来のレーザー溶接を量産化する上で課題となる板隙裕度を解決できる世界初の溶接技術である。LSWによる短ピッチ溶接・片側溶接は優れた運動性能を実現できるだけでなく、車体骨格の衝突安全性能と軽量化の両立が求められ高強度部材の採用が拡大する中、その軽量化効果を引き出す重要な解決策となり得ることを車体骨格の開発によって示すことができた。

本技術は、溶接技術と車体の開発に留まらず、量産・商品化に向けて協力会社を含め非常に多くの関係者のご尽力があり、開発から量産までものづくりとして開発できたことの意義は大きい。今後さらに適用車種拡大を図っていくとともに、もっといいクルマづくりに貢献できるレーザー溶接技術の開発を推進していきたい。