

ハンドトーチ型レーザーによる水密溶接技術の開発

Development of Watertight Welding Technology by the Hand Torch Type Laser

遠藤 翔太 Shota ENDO
河田 直樹 Naoki KAWADA
側垣 正 Tadashi SOBAGAKI
吉澤 正皓 Masaaki YOSHIZAWA

ステンレス製車両の在来工法は、抵抗スポット溶接による点接合が主であるため、その接合点間の水密性は樹脂シールによって確保されている⁽¹⁾。「sustina」車両では樹脂シールの劣化に対するメンテナンスを省くため、樹脂シールを廃止しレーザー重ね隅肉溶接を窓と外板および出入り口フレームと外板の接合に適用し水密隅肉溶接部を形成した。今回、倣い性と加工部のシールド性に優れるハンドトーチ型レーザーを用いて上記水密隅肉溶接部への適用を検討する。さらに工数の低減・継手品質の安定化・作業従事者の拡大を目指している。

1 はじめに

sustina車両では樹脂シールの劣化に対するメンテナンスを省くため、樹脂シールを廃止しレーザー重ね隅肉溶接を窓及び出入り口フレームと外板の接合に適用したが、水密隅肉溶接は大型の門型装置による施工をしていたため、ロボットのティーチングに多大な時間を要していた。

ロボットによるティーチングは何も無い空間に点を取って倣いをしなければいけないが、ハンドトーチ型レーザーでは、例えば外板と出入り口や窓の溶接において、外板をガイドに溶接することができるため、安定した倣いが可能であり、ティーチングによる工数を低減することができる。

ティーチングの難しい部位やワークギャップに対処し、工数低減と溶接品質向上のために、溶接部の倣い性や加工部のシールド性に優れるハンディタイプのレーザーシステムを調査した結果、今回のハンドトーチ型レーザーを適用することにした。

2 ハンドトーチ型レーザー溶接機の概要

2. 1 装置の特徴

ハンドトーチ型レーザーとは簡単に言うと、レーザー発振器から光ファイバを介して、トーチ先端部分からレーザーを射出し溶接する装置である。特徴は小型軽量で省スペースであり本体を移動できること。トーチ先端でワークに接触することにより倣い性や加工点のガスのシールド性に優れ、初心者でも比較的簡単に溶接ができる点である（アーク溶接や他の溶接のように技能や技量をそれほど必要としない）。操作もタッチパネル式のコントロー

ラで操作できるため直感的な操作が可能で使いやすい。

ハンドトーチ型レーザーのように、ある一定のクラスのレーザー装置ではレーザーと人を分離して安全を確保しなくてはいけないため、レーザー管理区域＝作業範囲の設定を行う必要がある。現状ではテストピースレベルの溶接のため遮光ガラスで作業範囲を囲うことにより、この範囲をレーザー管理区域としている。人がレーザー管理区域に入らなくてはならない場合、安全を確保するためにレーザーに対する危険を最小化しなければならない。その手段のひとつとしてインタロック機能がある。インタロックはある一定の条件を満たさないと作動しない状態のことである。つまり、インタロック機能が動作して始めてレーザーが射出される仕組みである。

このハンドトーチ型レーザーは①フットスイッチ、②ワニ口クリップ、③保護メガネ、④トーチ先端チップの接触、⑤トーチの射出スイッチの5つのインタロックを備えており安全性にも配慮した構造となっている。

図1にハンドトーチ型レーザーの外観を示す。図に示すように冷蔵庫程度の大きさであり、装置自体がコンパクトであることが分かる。

2. 2 装置の性能、仕様など

ハンドトーチ型レーザーはピーク出力が最大3000W、平均出力が最大300Wであり、エントリモデルに比べてハイパワーモデルである。消費電力は1600W、単相AC200Vで動作する。レーザーの集光スポット径は0.6mmである。連続発振（CW）とパルス発振（QCW）の射出が可能であり、溶接の形態によって使い分けができる。また、発振器は空冷式でありチラー（冷却水循環

装置)が不要のため装置はより小型でメンテナンスに優れる。

図2にハンドトーチ型レーザーの簡単な装置構成を示す。内部は、発振器、制御盤、カプラから構成されており、発振器から発振されたレーザーはカプラ、本体から伸びたファイバケーブルを通りトーチ先端から出射される。

ファイバケーブルは最長で20mまで伸ばすことができるため、20m級の鉄道車両の製造にも対応可能である。



図1 ハンドトーチ型レーザー装置外観

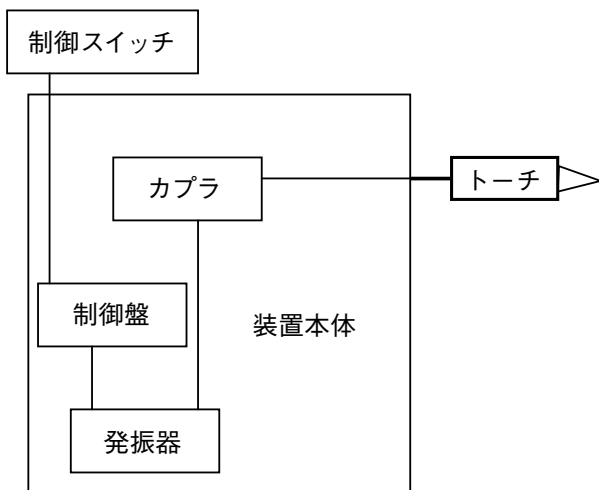


図2 ハンドトーチレーザー装置構成

3 水密溶接技術の開発

sustina車両は外観の見栄え向上のため、窓フレームおよび出入り口フレームはすべて内はめ式になっている。図3にsustina車両の外観を示す。構体強度を担う接合に関しては従来どおりのスポット溶接にゆだねており、構体基本構造を抜本的に変更することなく水密性の高い構造を実現している⁽²⁾。図中で囲った窓、出入り口にハンドトーチレーザーと抵抗スポット溶接の併用構造による水密隅肉溶接を適用する予定である。



図3 sustina 車両外観⁽¹⁾

図4にsustina車両の側窓部を示す。この側窓部はSUS301L-DLT t1.5 (外板) + SUS304 t1.5 (窓フレーム)の重ね隅肉溶接継手で構成されているが、矢印で示した部分にハンドトーチレーザーで水密隅肉溶接を適用する予定である。

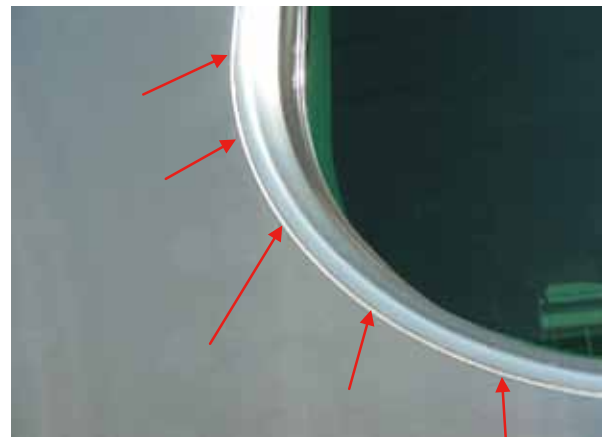


図4 側窓部⁽¹⁾

図5にsustina車両の側出入り口部を示す。この側出入り口はSUS301L-DLT t1.5 (外板) + SUS304 t4.0 (出入り口フレーム)の重ね隅肉溶接継手で構成されているが、矢印で示した部分にハンドトーチレーザーで水密隅肉溶接を適用する予定である。

また図6に出入り口と外板の模式図を示すが、始めに①の外板と出入り口フレームの隅部を隅肉溶接した後、外板はお客様が触れるところでもあるため、②の角部を面取り溶接し安全を確保する。

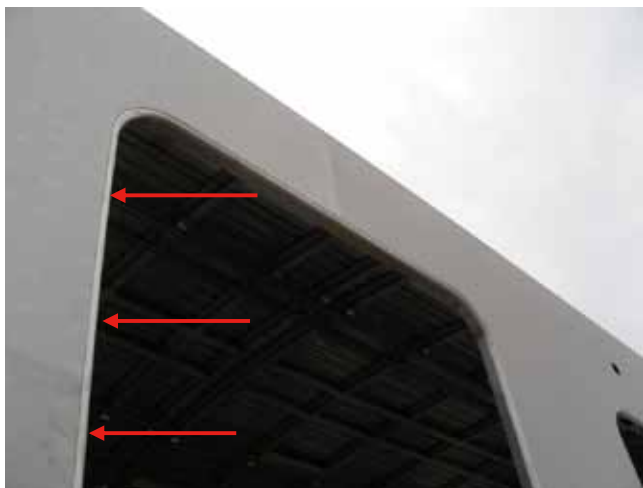


図5 側出入り口部⁽¹⁾

4. 2 隅肉溶接

板と板を重ねた、重ね隅肉溶接用使用するチップを図7に示す。図8には重ね隅肉溶接のイメージを示すが、重ねた下板の表面に接触させつつ、上板の端面に沿わせるようにしてチップを当てて溶接する。トーチは手前に引くように動かす。板厚の組み合わせは上板がt4.0, t1.2, t1.5のそれぞれの組み合わせを想定している。図9には溶接後のサンプルを示すが、従来のレーザ溶接などと比べ溶接ビードはやや細く、またパルス発振による溶接のため溶接部がうろこ状になっていることが分かる。

パルス発振（QCW）はピーク出力が大きいがトータルの入熱量が小さいため、溶け込みが局所的である。そのため同じ部分を繰り返し溶接しても裏面に抜けにくく、溶け落ちが発生しにくいいため、溶接に失敗してもやり直しができる利点がある。

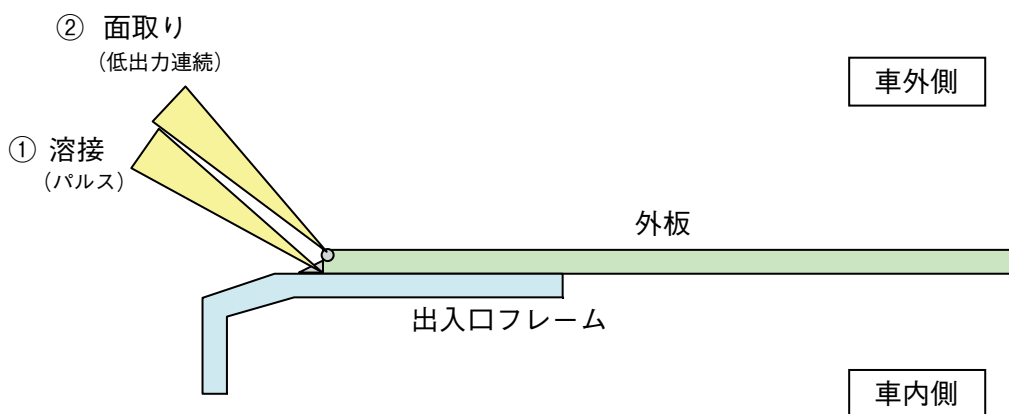


図6 出入口フレームと外板の模式図

4 ハンドトーチ型レーザチップの開発

4. 1 チップの形状と溶接方法

ハンドトーチ型レーザはトーチの先端にチップを取り付けて溶接する。代表的な隅肉溶接用のチップを図7に示す。溶接用チップの役割はレーザの狙い位置を決めるためのガイドとレーザ溶接における加工点周辺のガスの雰囲気を保つ覆いである。チップは加工形態に応じて必要であるため、それぞれ隅肉溶接用、角部面取り用、端部溶接用がある。また、チップにはカーボン製と銅製がありカーボン製はチップの滑りがよいが、割れやすい。銅製は耐摩耗性に優れるが、熱変形性に弱いという特性がそれぞれある。



図7 隅肉用チップ 側面イメージ



図8 重ね隅肉溶接イメージ



図10 角部面取り用 t1.5, t1.2 用チップ 正面イメージ



図9 隅肉溶接後のサンプル

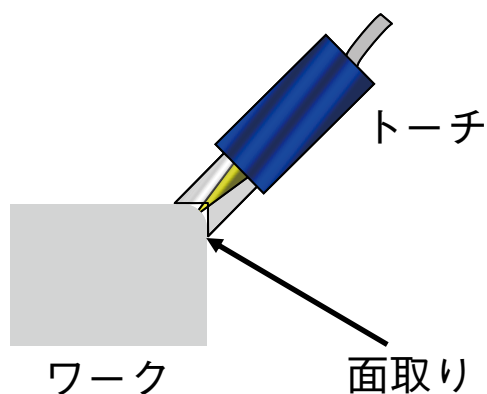


図11 角部面取りイメージ

4. 3 角部面取り

図10に角部面取り用チップを示す。このチップは板材の角部を面取りする際に使用するチップであり、板の上面と端面で形成する角部にチップの切り欠きを押し当てるようにして使用する。図11に角部面取りのイメージ図を示す。角部面取りのチップは重ね隅肉継手の角部を面取りする場合、下板が干渉するため板厚に応じてチップの形状を変える必要がある。そのためt1.5, t1.2用の他にt4.0用がある。

4. 4 端部溶接

図12に端部溶接用のチップを示す。このチップは図13の狙い位置のイメージに示すように重ねた2枚の板の端部を溶接するために使用するチップであり、重ねた2枚の板の端部にレーザーが当たるようチップを沿わせる。



図12 端部溶接用チップ側面イメージ

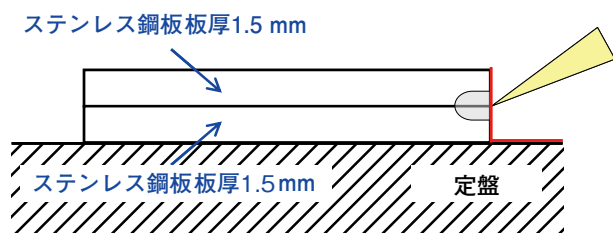


図 13 端部溶接レーザ狙い位置イメージ

5 重ね隅肉継手の評価

sustina車両では構体強度を担う接合に関しては従来どおりのスポット溶接で担保している。構体基本構造を抜本的に変更することなく水密性の高い構造を実現しており²⁾、窓、出入り口にハンドトーチレーザと抵抗スポット溶接の併用構造による水密隅肉溶接を適用する予定である。水密溶接を評価する方法として水密性、耐食性、強度が挙げられる。本稿では水密溶接部の強度を確認するために引張試験を行った。試験片の材質はSUS301L-DLT t1.5+ SUS301L-DLT t1.5である。試験片サイズは図14に示す通りである。スポット溶接の日常管理用試験片を使用し継手形態は重ね隅肉溶接継手である。

なお、引張試験速度は10mm/minで実施した。

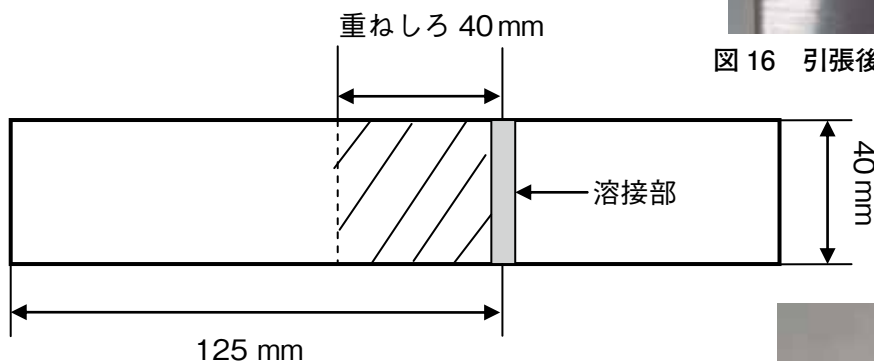


図 14 引張試験片イメージ

図15に20Jの継手の引張試験後の試験片外観を図16に破断部の拡大図を示すが破断部の拡大図に注目すると、破断箇所は溶接部であることが分かる。また破断部の溶接ビードは連続しているので少なくとも水密性を考慮した場合に健全な溶接部であるといえる。

図17には10Jの継手の引張試験後の試験片外観を図18には破断部の拡大図を示す。破断部の拡大を見るとやはり10Jの継手も破断箇所は溶接部であり、破断部の溶接ビードは連続した形状であるが、入熱量が少ない分20Jより細い溶接ビードとなっている。

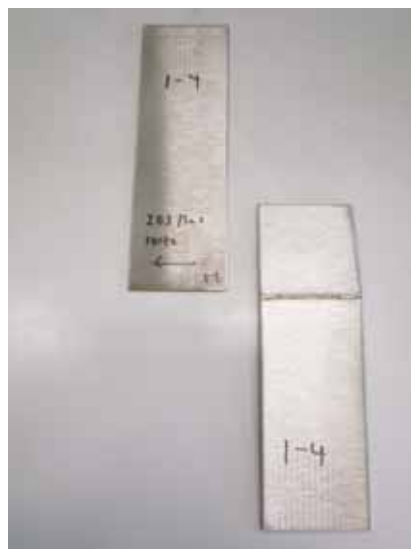


図 15 引張後の試験片外観（20J 継手）



図 16 引張後の試験片 破断部拡大（20J 継手）

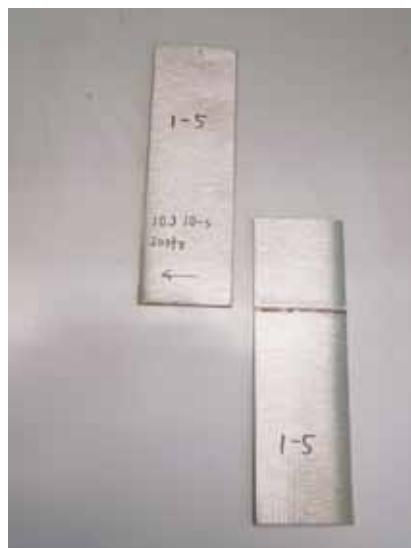


図 17 引張後の試験片外観（10J 継手）

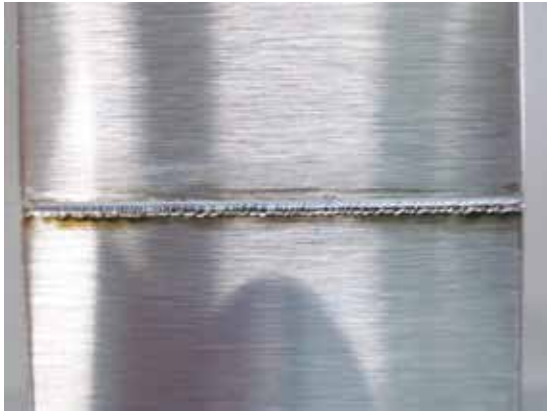


図 18 引張後の試験片 破断部拡大 (10J 継手)

ハンドトーチレーザー，半導体レーザー，抵抗スポット溶接のそれぞれの溶接方法の最適溶接条件における重ね継手（レーザーは重ね隅肉）の強度比較を表1に示す．この結果からレーザー溶接，スポット溶接と比較しても遜色ない強度を持っていると言える．このことから，水密部の強度を考慮した場合でも十分な強度を持つと考えられる．

表 1 他の溶接方法との強度比較

溶接方法	引張せん断強度
ハンドトーチレーザー 1 (20J)	15.8kN
ハンドトーチレーザー 2 (10J)	10.97kN
DDL (半導体レーザー)	12.7kN
抵抗スポット(現行条件)	7.5kN

6 まとめ

ハンドトーチ型レーザーを導入し，溶接チップの開発，継手強度の確認を行ってきた．そして，それぞれに検証を行った結果，チップを使い分けることにより，隅肉溶接や角部面取り，端部溶接が可能であること，継手強度がレーザーや抵抗スポットと遜色ないことが分かった．

今後は適正な溶接条件の把握，工数低減，コスト低減，ギャップに対する裕度，利き手ごとの対応などに取り組んでいく．

さらにsustina車両では直線的で長尺の部位は従来レーザーとし，曲線や曲面の部位はハンドトーチレーザーとするフレキシブルなレーザー溶接を目指している．

参考文献

- (1) 遠藤翔太，他：「sustinaステンレス構体水密化のためのレーザーすみ肉溶接技術の開発」，総合車両製作所技報第2号，12-13，(2013)，(株) 総合車両製作所
- (2) 浅賀哲也，他：「sustina国内第1号車両の開発」，総合車両製作所技報 第2号，4-5，(2013)，(株) 総合車両製作所

著者紹介



遠藤翔太
生産本部
技術部（接合技術センター）



河田直樹
博士（工学）
生産本部
技術部（接合技術センター） 主査



側垣 正
生産本部
生産管理部（生産技術） 主査



吉澤正皓
生産本部
技術部（接合技術センター）