

「レーザー溶接と溶接部品質検査」に関する技術紹介 Technology Related to “Laser Welding and Weld Quality Inspection”



立石 雄一
Yuuichi Tateishi
ロボティクス事業部
西日本センター



吉ノ元 哲也
Tetsuya Yoshinomoto
ロボティクス事業部
西日本センター



村上 卓也
Takuya Murakami
ロボティクス事業部
西日本センター



嶋田 桂
Kei Shimada
ロボティクス事業部
西日本センター

本稿ではレーザー溶接と溶接部品質検査に関して、これまでの取り組みを振り返り TWB 溶接を事例に、ご紹介する。そこで得られた個別技術 (1) 素材の“バリ形状”や“巻き癖”に応じて素材の突き合せ方式や、突き合せトルクを任意に設定変更することが可能な高機能突き合せ機構 (2) 素材の“板厚差”や“端面形状”に応じて溶接ヘッドを狙った位置に倣わせることが可能な溶接倣い機能 (3) 素材溶接部の直線性が規定値に収まってないケースでも不足する溶融金属を補って溶接後強度を確保することが出来るフィラー溶接技術 (4) 溶接部品質検査技術の詳細説明と併せて、今後の開発テーマについて概要を説明したい。これらが読者のお目に留まり、お役立ちできれば幸いです。

TWB：次頁 2. レーザー溶接と溶接部品質検査を応用した TWB 設備 を参照

In this paper, we will review our past efforts in laser welding and weld quality inspection, and introduce individual technologies obtained through these efforts, using TWB welding as a case study: (1) A highly functional butt mechanism that allows the butt welding method and butt welding torque to be set and changed as desired according to the "burr shape" and "winding habit" of the material, (2) weld line tracking function that enables the welding head to follow the target position according to the "thickness difference" and "end-face shape" of the material, (3) filler welding technology that can compensate for the lack of molten metal and ensure post-weld strength even in cases where the linearity of the welded part of the material is not within the specified value, (4) detailed explanation of welding quality inspection technology. In addition to the above-mentioned, we would like to give an overview of future development themes. We hope that these will catch the reader's attention and be useful to them.

1. はじめに

YAGレーザーや炭酸ガスレーザーの発振器は1964年に登場し、既に半世紀以上が経過している。21世紀以降には、超短パルスレーザーが登場し、産業適用が進展している。このような新技術の適用として、当事業部の前進である産業プラント事業部が2004年よりレーザー溶接の取り組みを開始し、TWB設備の商品化を実現した。また現在はパルスレーザーの適用開発に鋭意、取り組み中である。本稿はレーザー溶接に関するこれまでの取り組みを振り返り、ご紹介させて頂くものである。

2. レーザー溶接と溶接品質検査を応用したTWB設備

西日本センターの主力商品に、溶接技術を応用したTWB設備がある。TWBとは自動車産業において、環境や安全性強化の面から車体の軽量化、高剛性化を両立するため「板厚／材質／表面処理が異なる鋼板」を溶接して一体化部品とする設備で同一部品の中で部分的に異なる強度特性を持たせ、歩留り向上や組立部品点数の削減を図るものである。(図1参照)

①板厚の違う素材を突き合わせる



②厚板側のエッジ部にレーザーを照射する



③厚板側のエッジ部を溶かして薄板側と接合する



図1：TWB溶接（概要）

TWB設備は、コイルセンターや部品メーカー等に合計26台の納入実績がある。TEX製のTWB設備は競合他社メーカーと比較し「段取りレス／短サイクル／同板厚材の溶接検査／溶接前突合せ技術／溶接時のレーザー照射位置制御」等の優れた特徴を有している。(図2参照)

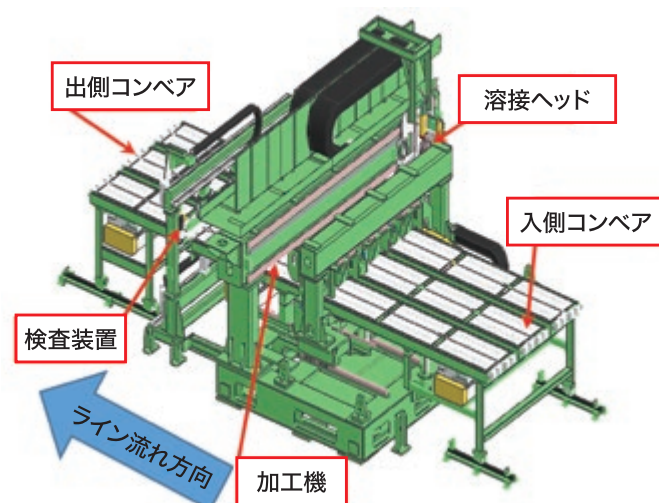


図2：TWB設備

TWB設備には、溶接検査装置を付属する事が一般的である。溶接検査は溶接部の形状およびピンホール有無を連続的に計測し品質良否判定を行うものであり、形状測定についてはラインレーザーを鋼板の溶接部に照射し、その反射をカメラで捉え形状測定するものである。(図3参照)

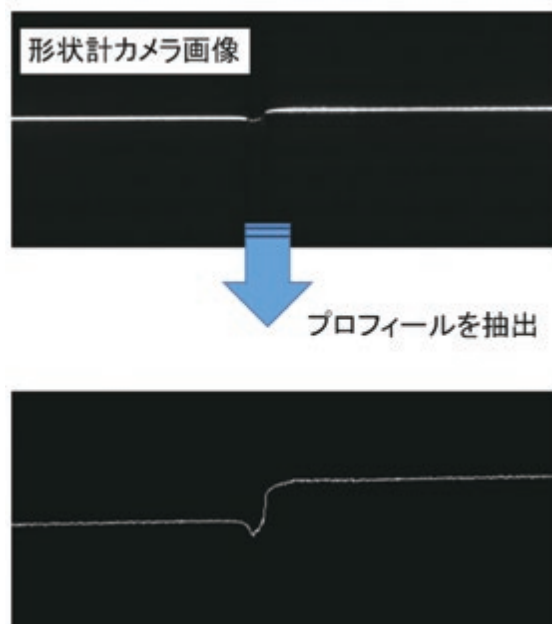
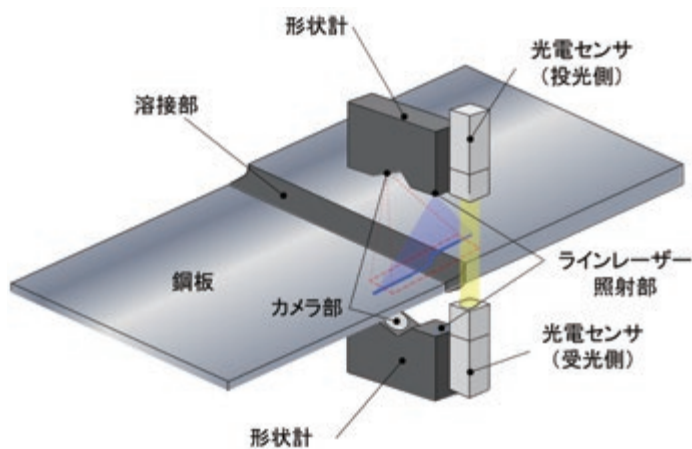


図3：溶接検査装置（概要）

3. レーザー溶接と溶接品質検査に関する技術

レーザー溶接では一般的に高精度な突き合せ機構や、溶接部に柔軟に倣わせる機能の他、板厚差・ギャップ精度に応じた溶接技術が重要であり当社では (1) 高精度突き合せ機構 (2) 溶接線に沿って高精度に溶接ヘッド(レーザー)を追従させる溶接倣い機能 (3) フィラーによる溶接強度向上技術がある。また溶接品質検査では安定した溶接の合否判定が求められるが、当社では (4) 品質判定に関する知見の蓄積や技術開発に対して積極的に取り組んできた。

※本稿ではレーザー溶接と溶接品質検査の事例について紹介する。

4. 個別技術ポイント

▶4.1 高精度突き合せ機構

TWB溶接では、先行材と後行材それぞれ別々の材料を接合するため、材料の突き合せ時は素材の直線性や、切断面の形状の影響により、材料の突き合せ部に隙間が生じるという課題がある。（図4参照）

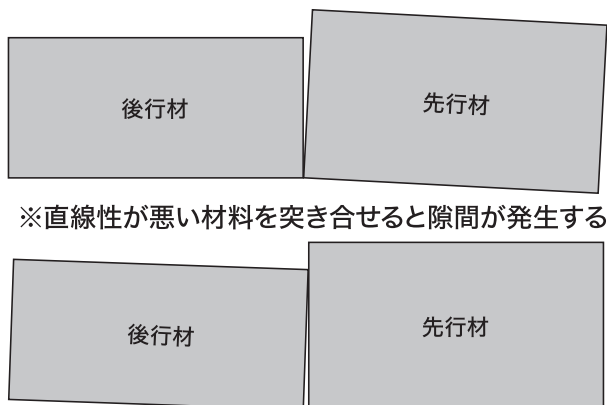
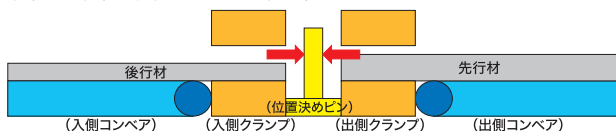


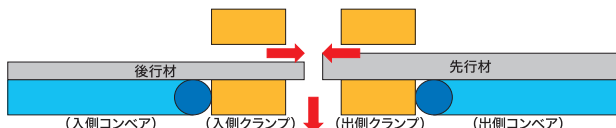
図4: 突き合せ時の課題

上記課題を解決する為に、既存TWB設備では図5の①～⑤手順にて、素材突き合せを行う。通常動作は、後行材のクランプ圧を弱クランプとし、先行材端面に押し当てながら後行材を動かすことで隙間を推奨条件値の50 μ m以内に（弱クランプ側を滑らせながら押し込む）収める。

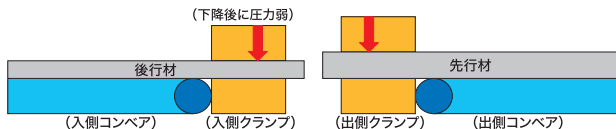
①先行材と後行材を位置決めピンに押し当てる



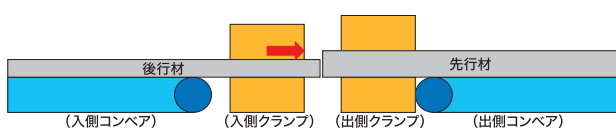
②位置決めピンに押し当て後、ピンが下降する



③クランプを下降して入側圧力を「弱」にする



④入側クランプを前進させて後行材を先行材に突き合わせる



⑤後行材を0.5mm滑らせて先行材との隙間を減らす

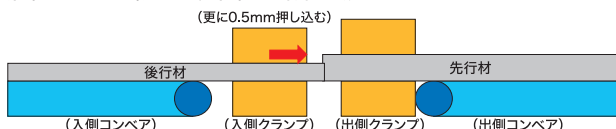


図5: 素材突き合せ方法（弱クランプ）

しかし、素材溶接端面の直線性に問題がある材料（ダレ、バリ）の影響が大きいものは、入側クランプを強クランプのまま、任意

のトルク設定値になるまで押し込む動作とし、突き合せの精度を阻害する端部のダレやバリを、僅かに変形（トルク制限範囲内）させることで課題を解決した。現実的には部品ごとにクランプの制御条件を任意設定する事で、溶接品質・歩留まりを最大化させているが、上記クランプ制御技術を用いても、溶接が安定しない条件下では、後述のフィラー溶接技術などの補強対策を講じることとしている。

▶4.2 溶接食い機能

素材溶接時にビード形状を安定させるためには、素材溶接部の狙い位置と、溶接ヘッド自体を凡そ50 μ mのズレ量に制御する必要がある。この精度を実現する前提として溶接加工機の走行LM（溶接ヘッド走行軸）とワーク位置決めピンとの並行度が最悪でも50 μ m以下の機械精度となるように設計・製作している。その上で、素材直線性が一定でない事による、偏差吸収の手段として食い制御を実施している。食い制御のポイントは突き合せ部の計測精度である。当社の突き合せ部の計測は、検出精度と信頼性確保の観点から、板厚差がある場合と、無い場合で検出手法を使い分けている。板厚差がある場合は、素材溶接部にスリットレーザ照明を照射して、素材の端点をカメラで測定する。（図6参照）

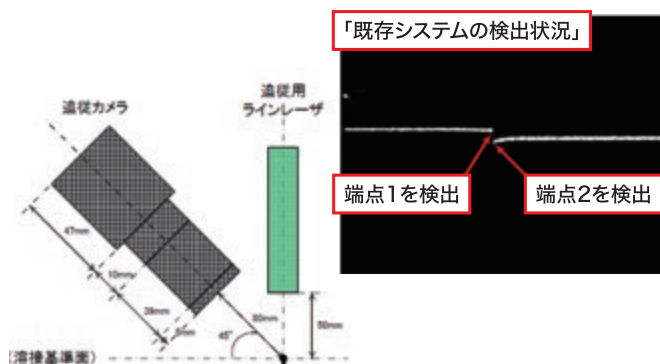


図6: 溶接食い（板厚差有）

板厚差が無い（同厚）場合や、端面形状により認識が不安定な場合は、バー照明により素材端点を認識する。（図7参照）

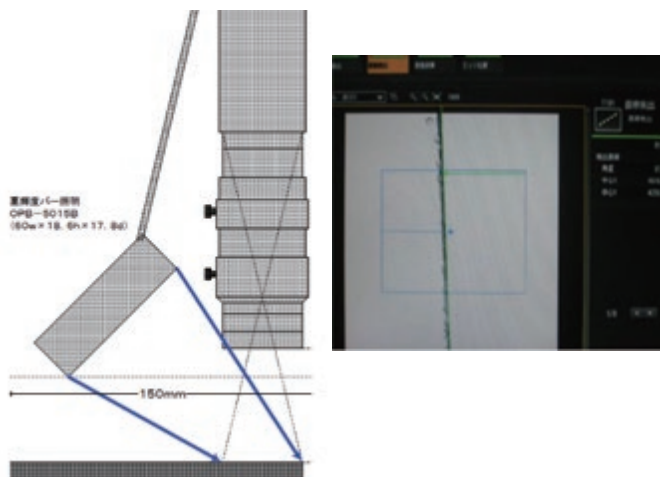


図7: 溶接食い（同厚対策）

更に、2種類の検出方法を1台のカメラ情報で実現する事で、設置スペースやシステム設計面で効率化を図った。(図8参照)

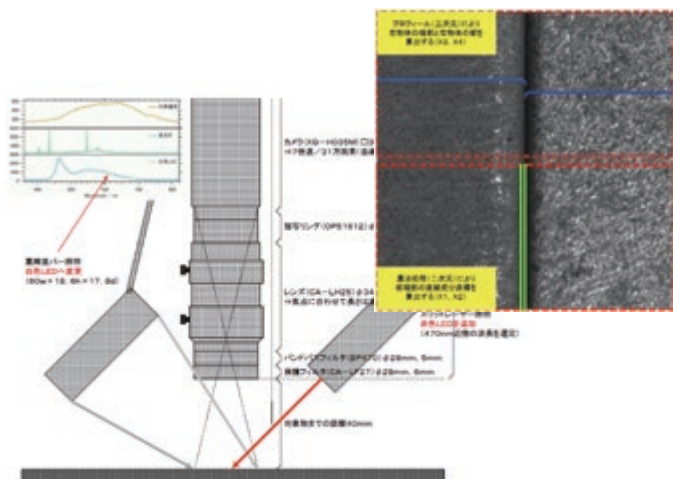


図8：溶接食い（改善版）

この対策により、突き合せ位置の検出精度が格段に向上し、溶接ヘッドを目標照射位置に倣わせることが可能となった。レーザー溶接品質では、突き合せ精度や照射位置制御が重要な要素であり当社は素材の特性に対して柔軟に対応できる、きめ細やかな改善機能を付加することに努めている。

▶4.3 フィラー溶接技術

レーザー溶接におけるフィラーは素材の板厚差が大きい場合や、突き合せギャップ精度が安定しない場合などに使用される。フィラー溶接の概要図を示す。(図9参照)

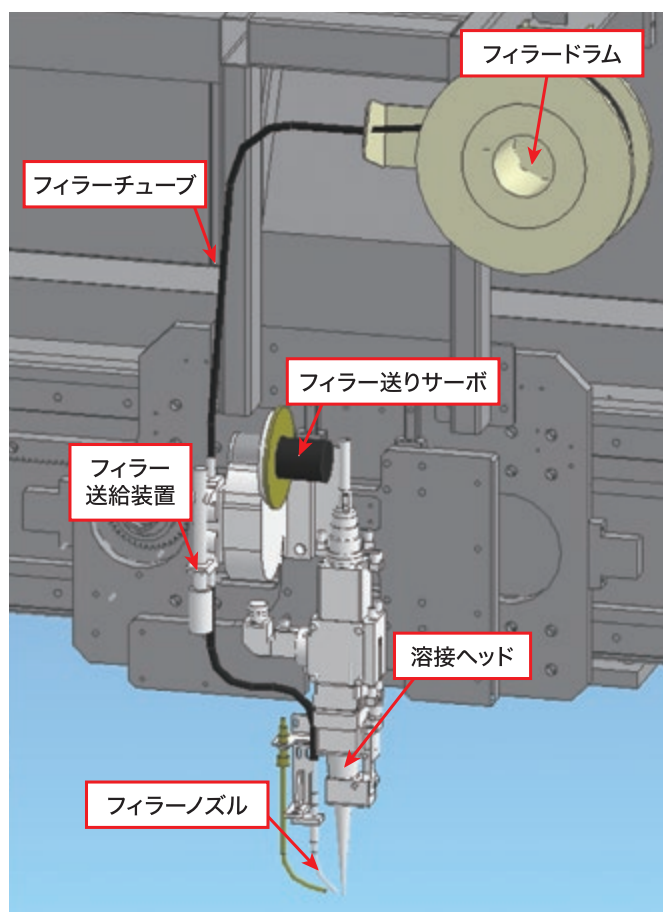


図9：フィラー溶接（概要）

フィラー溶接の適用に当たり、確認する基本項目を以下に示す。具体的には、フィラー径／フィラー挿入方向／フィラー挿入角度／シールドガス条件／溶接条件（出力、速度、オフセット）等、当社では、事前テストを実施することで設備化する際の諸条件を決定している。以下に事例を紹介する。

(1) フィラー挿入方向（適切なビード幅：1mmと定義）

前方からフィラーを挿入した場合は、溶接部を溶かしながら、かつ、フィラーも溶かしながら溶接するため、溶接ビード幅は約1mmの太さで安定する。(図10参照)

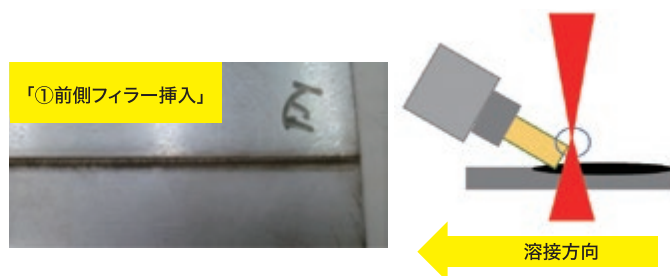


図10：前方フィラー挿入（検証結果）

後方からフィラーを挿入した場合は、溶接部を溶かした溶融池にフィラーを後から挿入するため、溶接ビード幅は約1mm～1.5mmの太さとなり不安定であった。(図11参照)



図11：後方フィラー挿入（検証結果）

ビード幅は太ければ良いのではなく、均一（安定）であることが最優先と考え設備化に反映した。さらに溶接ビードの安定化（溶接部強度の均一化）のためフィラー供給にサーボ制御を採用し、溶接速度に合わせて同期制御している。

(2) フィラー挿入角度

フィラー挿入角度は20°~40°の範囲で条件を変化させ、前方フィラー挿入前提でテストを実施した。テスト結果は挿入角度を変更しても、溶接ビード幅は約1mmで安定していた為中間角度で設備化を決定。

(3) シールドガス条件

アルゴン／エア／ガス無しの3水準で、シールドガス条件を変更し、前方フィラー挿入前提でテストを実施。テスト結果は、シールドガス条件を変更しても、溶接ビード幅は約1mmで安定していたが、シールドガス無しだとヒュームが滞留する可能性が懸念されるため、アルゴンもしくはエアによる、パージ対策が必要であった。

今回紹介したフィラー溶接は既存技術であるが、より高度化させ適用範囲の拡大に努める。

▶4.4 溶接品質検査技術

溶接後の製品はプレス後、直ちにユーザー様へ供給されるため厳しい検査が求められる。当社は、レーザー溶接への取り組みと同時に検査装置の開発に取り組んできた。溶接検査装置は、表裏面の高速検査を特徴としており、過去に30台（国内15台／海外15台）の納入実績がある。最新の溶接検査装置スペックに関する検査ユニット部、各検査項目、PCの仕様を表1に示す。

表1：溶接検査装置（基本仕様）

	名 称		最新機種
	検査速度		500mm/sec
検査ユニット	プロファイル計測分解能	X(幅方向)	5 μ m
		Y(検査方向)	0.5mmピッチ
		Z(高さ)	0.5 μ m
	プロファイル計測被写界深度		± 7.3 m
	検査幅		16mm(3200pixel)
検査項目	穴あき検知能力(検出可能幅)		0.1mm(22mm)
	輝度		1024階調
	両面		ヒケ、突出し
	表面	ヒケ、突出し、段差、ビード幅、スパッタ、余盛面積	
	裏面	ヒケ、突出し、段差、ビード幅、未溶接、裏面形状変位	
PC	その他		穴あき、幅ズレ、形状取得異常
	対応Windows		Windows 10
	PC スペック		CPU,メモリ,HDD容量増

最新のパソコン画面を図12に示す。本画面にて溶接部画像、合否判定結果、溶接部断面形状、品質基準値／定量データ等の溶接検査に関連する情報を一括表示する。

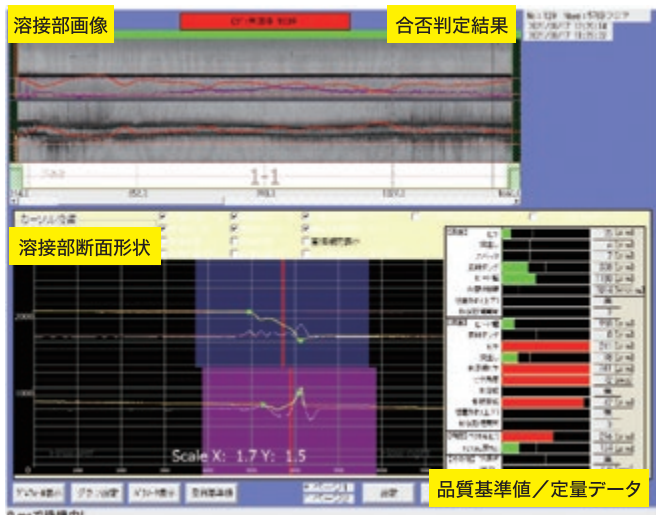


図12：溶接検査装置（画面仕様）

実際の検査事例を以下に紹介する。図13の右側が、断面マクロの“OK品”と“NG品”の現物で、左側が表裏面形状となる。この断面凹みを“アンダーフィル”凸を“突出し”幅を“ビード幅”と定義している。

素材裏面の溶接部は段差、形状変化が少なく溶接変化点を安定して検出（裏面ビード幅検出）するため、常に様々な技術改善に取り組んでおり、より高性能な汎用プロフィール計の採用に

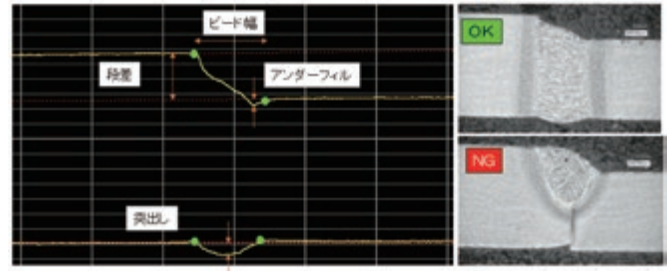


図13：各検査項目の演算およびOK／NG判定

より高精度な形状変化の計測が可能となった。さらに当社独自の变化点検出アルゴリズムを開発することで、検出性能改善が行えた。図14に示すように、旧タイプの赤点が最新の緑点の様に、改善され、断面形状パターンごとに精度アップおよび、異常値の低減を実現している。

品質診断に関する、アルゴリズムは他の計測システム対しても柔軟に対応が可能であるため、更なる高性能化に努める。

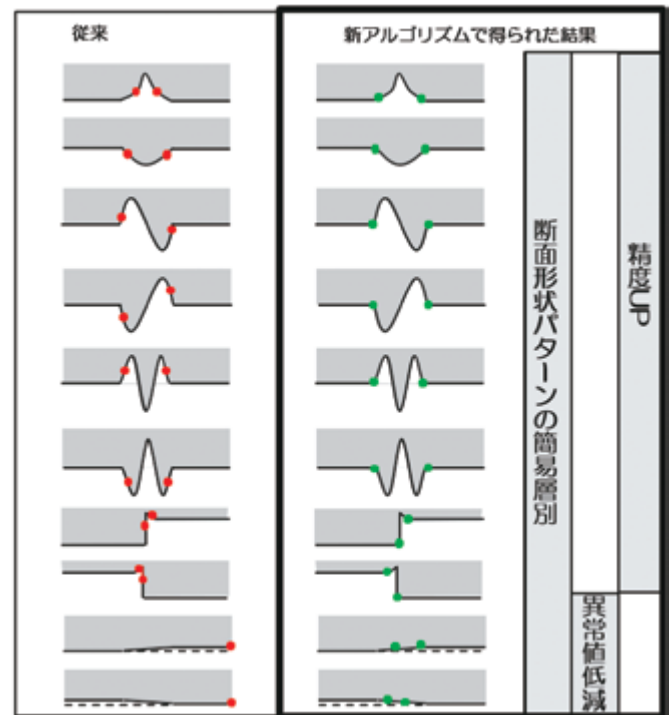


図14：新旧変化点検出アルゴリズム

5. 今後の展開と纏め

今回紹介した4つの技術はレーザー溶接には、共通の基本技術と認識しており、今後も高度化に取り組んでいく所存である。

以下に、将来展開に向けたテーマを述べる。

(1) 高機能突き合せ機構

高強度部材、3次元形状へのレーザー溶接適用における、クランプ、突き合せ制御技術の開発

(2) 溶接食い機能

3次元形状への溶接食いとしてロボット制御技術の高度化

(3) フィラー溶接技術

HOTフィラー溶接の適用

(4) 溶接品質検査技術

高強度部材、3次元溶接部材など新分野での計測技術の開発

溶接技術と品質検査に関連した、4つの新たな技術について紹介させて頂いたが、これらの一つでも読者のお目に留まり、お役立ちできれば幸いである。

当社ロボティクス事業部は生産ラインの自動化／省力化を通じて、安全性向上／作業負荷低減／生産性向上／品質の安定化／省人化など、お客様の様々な課題を解決してきました。今後もこれまでの経験や知見を活かした自動化／省力化提案することで社会貢献に努めて参ります。もし自動化に関するご相談やお困り事などございましたら、是非御一報下さい。

お問い合わせ先

ロボティクス事業部

本社 企画管理部 営業グループ

TEL 03-6860-6627

西日本センター

TEL 079-237-5377

東日本センター 名古屋ロボティクスグループ

TEL 052-604-4164

東日本センター 苫小牧ロボティクスグループ

TEL 0144-57-0177