

鉄道車両製造における レーザービーム溶接

マリアナ・フォレスト、ホルガー・アルダー

技術によって、成長する公共交通市場におけるトレーサビリティを向上

車体製造におけるレーザー加工の利点は、この数十年間で広く実証されており、近年では、レーザー溶接が鉄道車両製造においてますます関心を集めている。多数の溶接アセンブリ部品が、欧州と日本で既に製造されており、一部は米国においても姿を見せ始めている。しかし、このような新しい鉄道車両製造には、大量のプロセスデータの取得と管理が義務付けられる、複雑でクリティカルな作業が伴う。独フォトン社 (Photon AG) は、欧州においてこのような分野の草分け的存在であることから、本稿では、できる限り高い効率を達成し、すべての安全面を制御するために、計画から製造および監視ま

での工程で、デジタルプロセスデータ管理を利用することの必要性について解説する。

鉄道車両市場

鉄道車両業界は、レーザー溶接の興味深い新市場である。世界中において公共交通機関の必要性が高まっていることから、製造される溶接部の長さがますます増加しているためである。現在製造されている部品の例と、レーザー溶接を適用することによるメリットを以下に示す。

- ・ 通勤列車用のステンレス鋼製ルーフパネルは、車両重量を15%削減可能

(図1a)

- ・ 14m×3.5mのめっき鋼製サイドパネルは、最大9枚の(厚さやグレードなどが異なる鋼板で構成可能で、重量を大幅に削減できる(図1b))
- ・ 図1dのアセンブリの外層となる加工済みブランク側板の拡大写真。窓枠隅には他よりも高い負荷がかかるため、それに耐えるより厚い材料が必要となる(図1c)
- ・ 高速列車用の3Dレーザー溶接側壁を製造するフォトン社工場におけるフルオートメーションのレーザー室。3D構造のアセンブリは、水平と垂直の補強材からなり、補強材は互いおよび外側パネルにレーザー溶接されている(図1d)

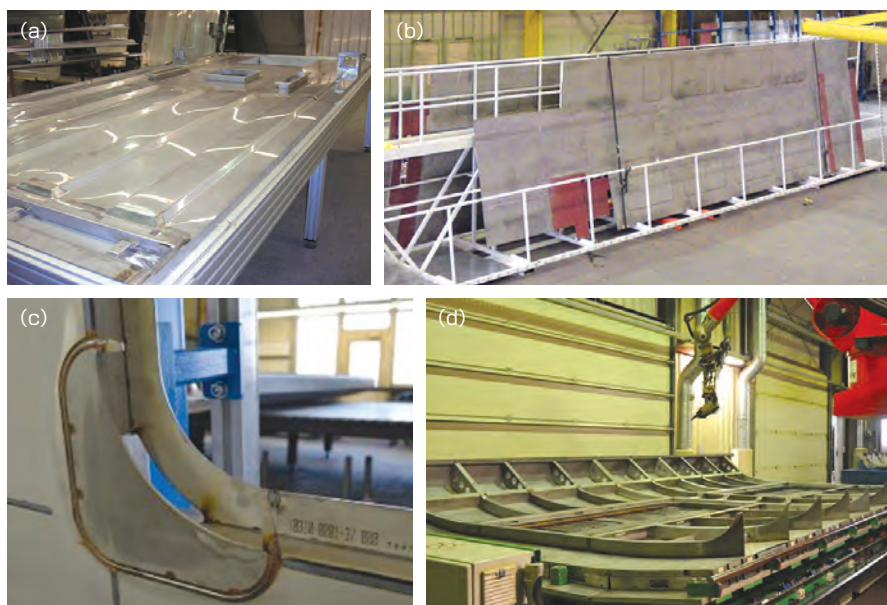


図1 (a)通勤列車用のステンレス鋼製ルーフパネル、(b)地域列車用のめっき鋼製ダブルデッキサイドパネル、(c)高速列車の外層となる加工済みブランク(窓枠隅)、(d)高速列車用のレーザー溶接された3D側壁アセンブリ。

サービスと製品

フォトン社は、溶接部品とアセンブリの供給に加えて、応用のノウハウやプロセスに対するサポートを世界中の顧客に提供している。その重要な一例が、プロセス統合、監視、診断用の多目的システム「FokusMonitor」である。当初は、複雑なプロセスの開発および最適化や、製造品質性能の監視といったフォトン社社内のニーズに向けて開発されたこのシステムには、同社社内の経験と専門知識が統合されており、その後、独フォトン・レーザー・エンジニアリング社 (PLE: Photon Laser Engineering) の製品となった。現在では、世界中で180台を超えるFokusMonitor

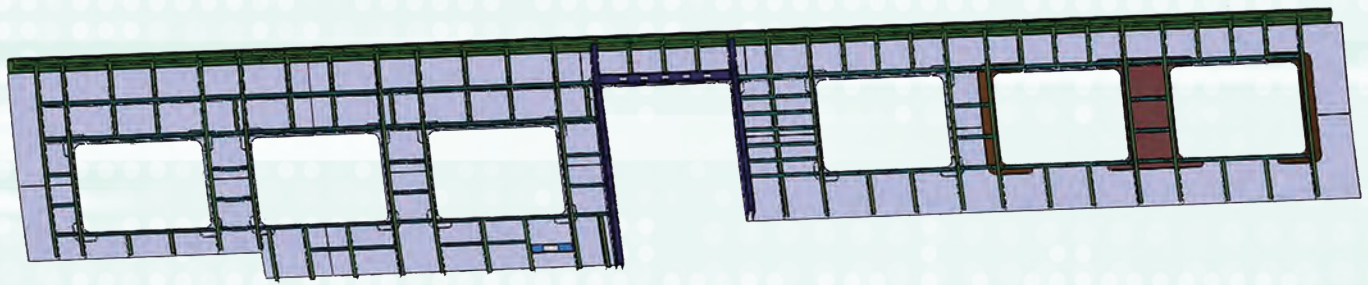


図2 およそ400の溶接シームを持つレーザー溶接された側壁。

システムが、さまざまな用途に対して利用されている。それらの用途では、3Dのパスや軌道に沿ったレーザー溶接、ろう付け、切断、クラディングを含む溶接および塗布のプロセスや、接着結合やアーク溶接といったレーザー以外のプロセスが行われる。

製造チェーンに沿った プロセスデータ

鉄道車両製造における、安全性に関わる複雑なアセンブリのレーザー溶接では、製造プロセスチェーン全体を通して、対応するコンピュータ支援設計(CAD: Computer Aided Design)とプロセスデータを使用する必要がある。プロセスデータ管理は非常に重要である。すべての製品モデルがまずはCADデータとして用意され、CADからのすべての許容差(0.001mm単位)を16mの長さの金属部品にマスタリングする作業を含めて、それを実物に変換することが必要になるためだ。さらに部品の製造後には、プロセスの継続的な最適化を支援し、クリティカルなアセンブリの場合はトレーサビリティの要件を満たすために、大量の製造監視および品質データの分析か、少なくともその保管を管理する必要がある。

より小さな部品を格段に大量に製造する自動車業界や医療機器業界とは対照的に、鉄道車両業界では、少なくともそれらと同等の安全性要件を満たしつつ、非常に少数の超大型部品にレー

ザ溶接を適用する。また、以下の要件に対応するために、非常に柔軟性の高いプロセスを必要とする。

- ・ さまざまな種類(最終車両、中間貨車、特殊な台車など)
- ・ さまざまな部品(サイドパネル、ドア、ルーフ、長い横材などその他多数)
- ・ 複数の工程で実行される、さまざまな溶接プロセスと溶接形状
- ・ 実際の溶接におけるプロセスパラメータに関する安全性の文書化

図2は、およそ400の溶接シームを持つ、レーザー溶接された側壁の例である。

鉄道車両業界は、特別仕様の少量生産で占められているため、ほとんどすべての鉄道車両ごとにデザインが異なる。また、この業界は保守的である。高い安全規制が設けられ、30年以上にわたる法的責任が課されることか

ら、おのずと「稼働中のシステムには決して手を加えないこと」と「コピーアンドペースト」(慣例の踏襲)の傾向が強くなっている。広く採用されているのは、品質が実証済みの既存モデルを「組み合わせる」ことによって新車両を製造する方法であり、その代償としてイノベーションのペースは遅い。最適化の余地は大きいものの、自動車市場における大量生産と短い製品サイクル用に使用されるレーザー技術を、鉄道市場の新しい条件に適応させなければならぬという難しい課題が残る。

部品をレーザー溶接することによる処理速度と品質のメリットを享受するには、最初の部品を製造するよりも前に、すべての可変情報が、固定ながらも柔軟性を備えるフルオートメーションのロボットプログラムに入力されている

独フォルクスワーゲン社(VW: Volkswagen)と独ダイムラー社(Daimler)の合併事業からのスピンオフ企業として1998年に創設された独フォトン社は、自動車のボディインホワイト製造におけるレーザー溶接とろう付けの分野(ルーフ、デッキリッド、ドアなど)の初期開発において重要な役割を演じた。同社は現在、ドイツで3社の子会社を運営し、ドイツ以外では欧州、北米、中近東の全域で事業を展開している。独フォトン・レーザー・エンジニアリング社(PLE: Photon Laser Engineering)と独フォトン・レーザー・マニュファクチャリング社(PLM: Photon Laser Manufacturing)は主に、鉄道車両業界を対象としている。PLEは、同業界の用途に対するプロセスと必要ツールを開発しており、PLMは、溶接アセンブリの完成品を製造および提供している。フォトン社は、薄い板金溶接アセンブリを専門に取り扱っており、高速列車、地域列車、通勤列車、機関車において求められる非常に平坦な表面を実現することに力を入れている。同社は、DIN EN 15085-2 Quality level CL1 (European Governmental Railway Certificate)に基づく鉄道安全用の溶接アセンブリの製造に関してISO 9001 認証を取得している。

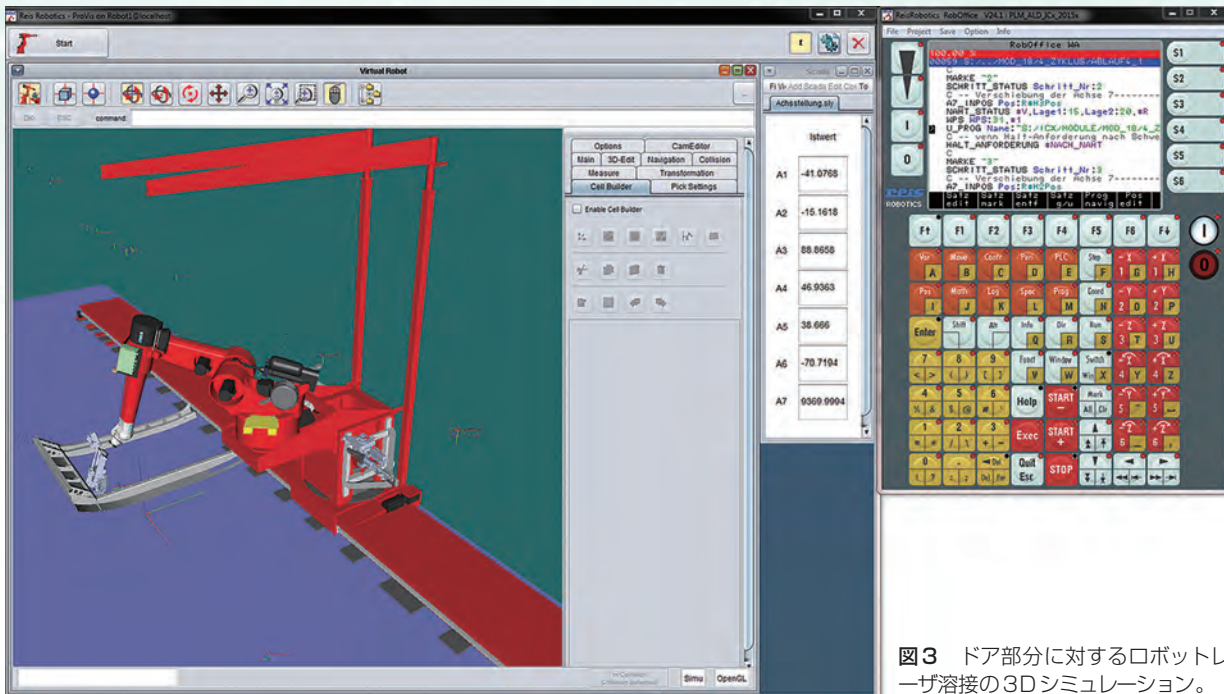


図3 ドア部分に対するロボットレーザー溶接の3Dシミュレーション。

必要がある。できる限り最良で効率的な方法として、ロボットのすべての動作を、実際の部品、ロボット、ステーション形状によって3Dで完全にシミュレーションすることが行われる(図3)。このシミュレーションには、製造最適化に向けた設計に影響を与えるという別の目的もある。

オフラインシミュレーションは、組み立てと溶接のシーケンス全体の計画を網羅する。例えば、ロボットの動きだけでなく、どの部品をどの時間にどのプログラムシーケンスで処理するかという計画や、ロボットのアクセシビリティに関する計画もこれに含まれる。

分析結果は部品設計者に送り返され、それによって部品設計者は、溶接シーケンスにおける変更の妥当性を確認したり、より時間とコストの効率に優れた新しいシーケンスに置き換えたりすることができる。この完全な仮想

プロセスの結果として、以下のような特定の製造プロセス要件を満たすロボットプログラムが得られる。

- ・ 自動実行
- ・ モジュール型プログラミング
- ・ 安全第一
- ・ アクセスのパーソナライズによる、慎重なユーザーレベルの設定
- ・ プロセスパラメータの監視 (Fokus Monitor など)
- ・ 品質管理エンジニアの要求に即応して一カ所の溶接を補修する戦略
- ・ すべての必要関連情報に対するデータ管理と文書化

トレーサビリティ

レーザー技術のメリットが、新しい欧州鉄道車両設計にもたらされたのは最近のことである。それを示す1つの証拠が、現時点で欧州最大の鉄道車両プロジェクトである「ICx project」(2017

～2023年で160の列車を製造する、約40億ユーロ規模のプロジェクト)だ。

フォトン社は、このプロジェクトに対して側壁部分(図4)を供給しており、約30種類の異なる部品に対して2400を超えるシーム、開始、追跡プログラムがこれまでに生成されている。製造は、2カ所の異なる工場における2つのステーションで、同じプログラムと溶接プロセスを使用して実施されている。12台の貨車からなる列車には、約170枚のサイドパネル部分が必要で、約8000mにも及ぶ溶接長に対して安全性が文書化されている。

仮想的なプロセス設計と計画が完了した時点で、次の主な作業は、この仮想ドメインのデータを実世界で使用することである。

最大で20mにも及ぶ長さの部品を溶接するには、それに応じた実世界の条件を設定する必要がある。独フォト

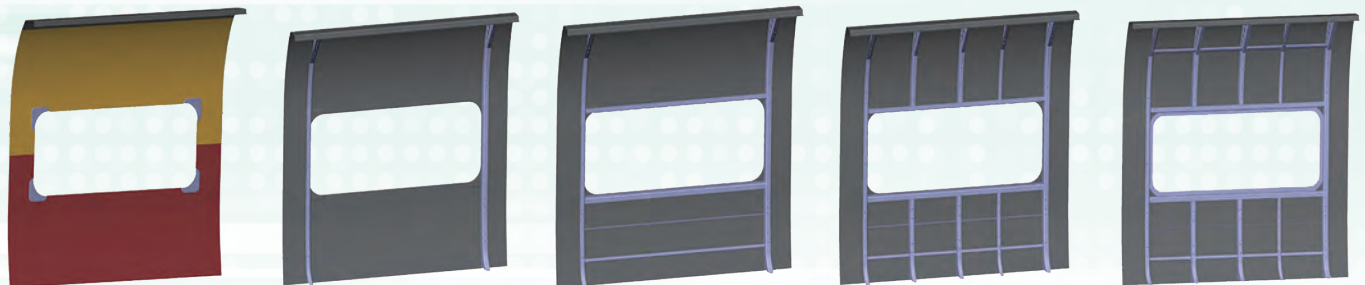


図4 レーザ溶接サイドパネルの組み立てシーケンス(抜粋)。

ン・レーザ・マニュファクチャリング社 (PLM:Photon Laser Manufacturing) が鉄道車両製造に使用するシステムには、最大25×9×7mのレーザ室が含まれる。各レーザ室には、ロールアップ式ドアを介してレール上を移動する自動固定具が取り込まれ、また、最大6kWの固体レーザが接続されている。図5aは、PLM社の工場に設置されたレーザ溶接ステーションである。この工場では、独トランプ社 (TRUMPF) の「TruDisk 4002」レーザが使用されている。

プロセスの安全性と堅牢性に加えて、製造信頼性を確保するための最も重要な要素として、FokusMonitorによる中央管理型のステーションインターフェースがある(図5b)。このインターフェースでは、ビデオ監視、プログラム選択、プロセス制御、プログラムおよびデータのストレージ、企業ネットワークとERPとの接続に加えて、特に重要な機能としてプロセスデータ監視が提供されている。

FokusMonitorは、システムの他の部分と相互に接続されており、データ管理機構の頭脳として機能する(図6)。FokusMonitorは、HMIやPLCの機能に加えて、プロセス監視、データ取得、書込み保護されたデータストレージ、

アクセシビリティ制御、監視、生産性分析、作業指示など、他にも多数の機能を実行する。

(用意されたプログラムが搭載された)ロボットの下に部品と固定具を設定したら、例えば、実際の機械とシミュレーションモデルとの違い、固定具の位置、固定具上の部品の配置、部品の製造状態、装置の配置ずれ、動作時の動的な振る舞い、時間依存の信号のスイッチ

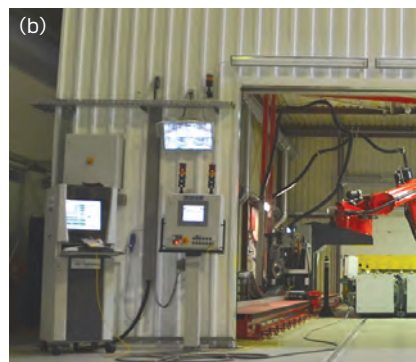


図5 PLM社のベルリン工場におけるフォトン社レーザ室(a)と、レーザ室の中央管理インターフェース(b)。

ングなどに起因するずれと、許容差を補正するようにプログラムを校正する必要がある。

最良のステーションを使用して、最良のデータ概念設計と実装を適用する場合でも、理論と実際の部品間の許容差に対処することが、やはり最大の問題として残る。0.5~1.5mmのスポットサイズに対して校正済みの溶接パラメータを再生成するには、15mを超える長さのシームに対して、フォーカススポットからジョイントまでの距離の許容差が±0.1mmとなるようにする必要があり。

これを達成するために、利用可能なセンサ技術を組み合わせて、欠けていた要素を開発した。そのような社内開発の1つが、計画と実際のずれを半自動的に補正することのできる、三角測量の原理に基づくビジョンセンサシステムを用いたオフライン校正プロセスである。

図7aは、プログラムされた位置から部品がずれている様子を示している。ラインの不連続部は、ジョイント位置と、焦点位置の照準を表している。市場で提供されている他のシーム追跡システムとは異なり、このプロプライエタリシステムはTCP内で直接動作し(事前起動の必要なし)、半径が非常

LED設計・アプリケーション開発展

LED JAPAN 2016

2016.9.14 Wed.-16 Fri.

パシフィコ横浜 Pacifico Yokohama

アプリケーション例 / 出展対象例

- UV-LED殺菌・除菌 (UV-C光源、モジュール)
- LED可視光通信 (フォトダイオード、イメージセンサ、通信モジュール)
- UV-LED 樹脂硬化・印刷 (UV-B光源、モジュール)
- 面発光照明 (省電力発光デバイス)・車載照明 ほか

来場対象

LED 製造メーカーおよび製造機器商社、LEDシステムインテグレータ、総合電機メーカー、通信機器メーカー、自動車メーカー、医療機器メーカー、サイン/ディスプレイ/信号機器メーカー、計測機器メーカー設計/デザイナー、大学/研究機関/官公庁 ほか

6月30日(木)まで出展申込受付中!!

▶▶▶ www.led-japan.com/

All about Photonics 2016
Utilities & Key Devices

LED Japan 2016 は、3つの同時開催とともにアプリケーション開発・設計者が集まる Face to Face マッチングの場を提供します。

INTERNATIONAL OPTOELECTRONICS EXHIBITION 2016
interOpto 2016

BioOpto Japan
2016 Conference + Exhibition

LaserTech 2016 LED JAPAN 2016

展示会についての
お問い合わせ・お申し込み

LED Japan事務局
株式会社JTBコミュニケーションデザイン

〒105-8335 東京都港区芝3-23-1 セレスティン芝三井ビルディング
TEL: 03-5657-0769 FAX: 03-5657-0645
email: all_about_photonics@jtbcom.co.jp

Owned & Produced by: Jtb
Communication
Design

Flagship Media Sponsors:

LEDs
MAGAZINE
JAPAN

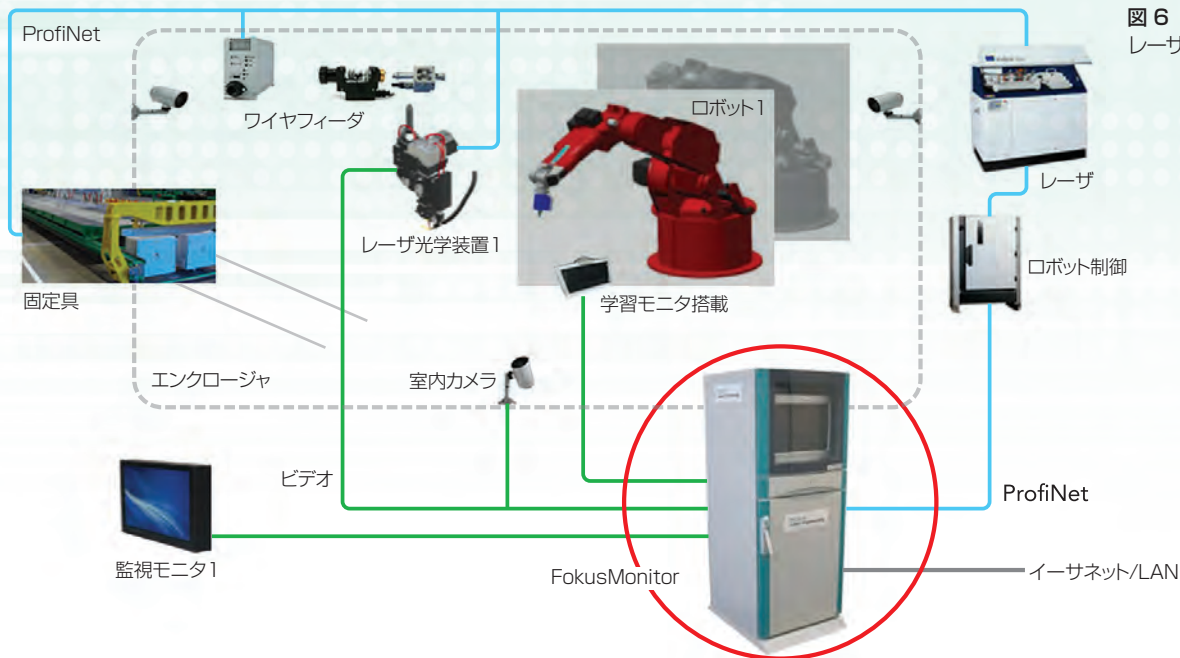


図6 FokusMonitorとレーザー室の間の接続構造。

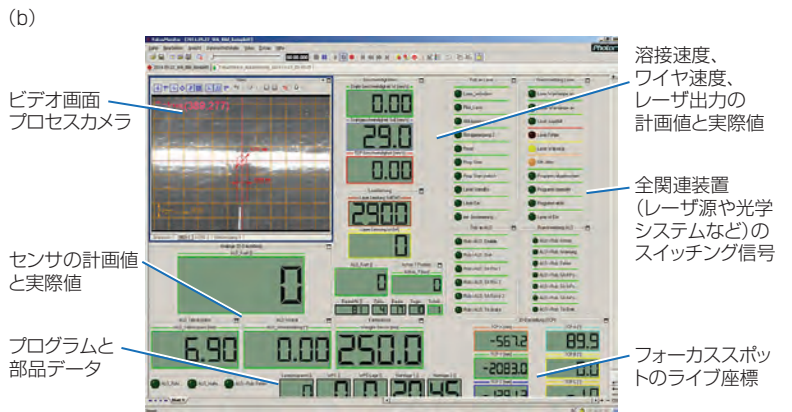
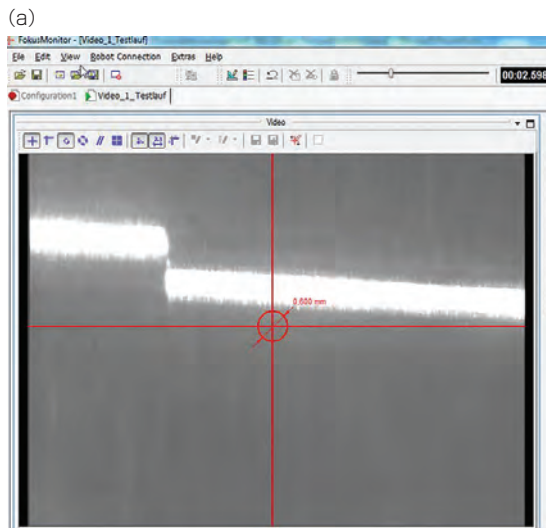


図7 校正プロセスにおけるFokusMonitorのスクリーンショット。(a)は最適化前、(b)は溶接開始前の測定値が表示されている。

に小さい形状でも追跡および学習が可能である。

校正後、部品が製造されて、Fokus Monitorにおいてプロセスが実行されて文書化される。図7bは、製造用溶接のサンプル設定において、多数のデータが視覚化されている様子を示したスクリーンショットである。表示されて

いるすべての値(と、それ以外の視覚化されていない多数の値)が、1つの書込み保護されたデータファイルと一緒に格納される。このファイルは、そのステーションで製造されたすべての個々の部品におけるすべての溶接の製造証明とトレーサビリティ用に保管される。

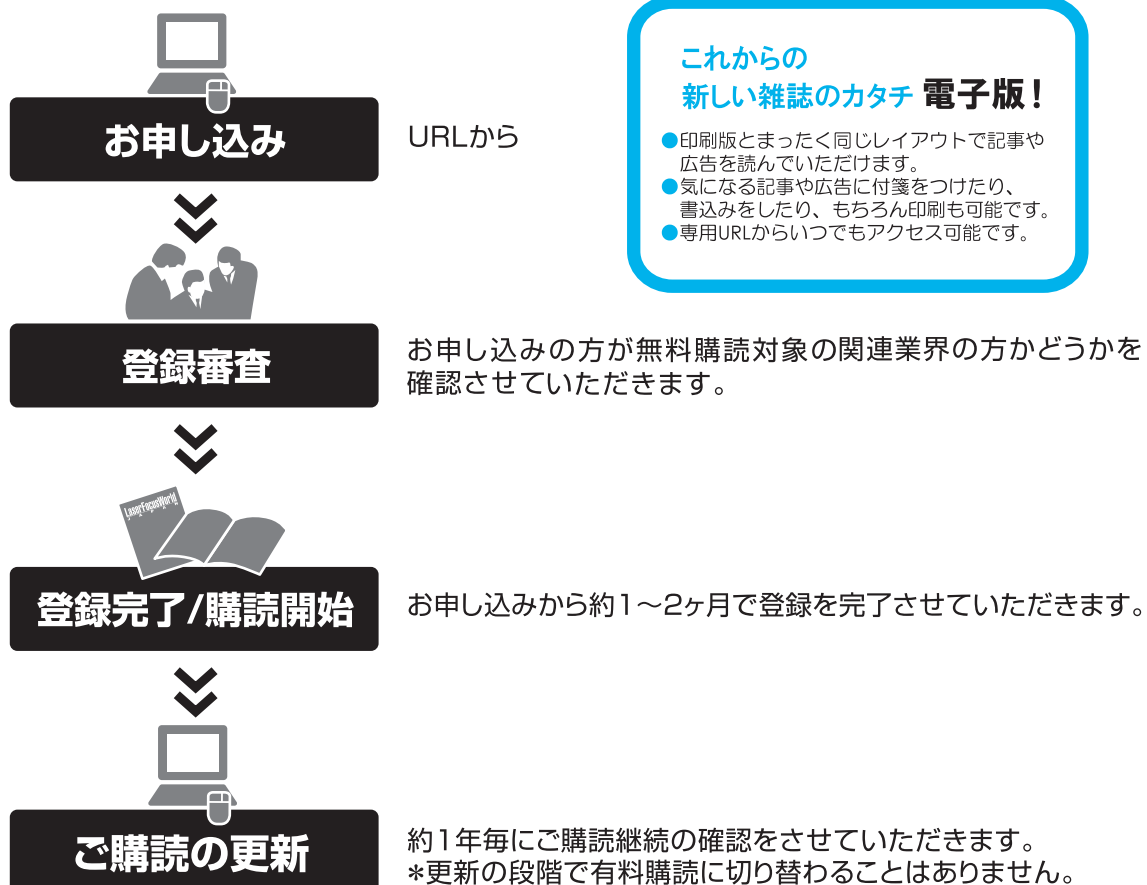
ディレクトリツリー画面(図8左)には、データストレージ構造が示されている。フォルダとデータファイルには、部品データとシーム名に基づく名前が付けられており、そこにプロセスファイルが、製品番号、カウンタ、溶接シーケンス、シーム番号、部品製造とファイル保存の日時に基づいて格納される。

無料購読お申込み方法

Industrial Laser Solutions Japanは、板金加工からマーキング、マイクロ加工まで、ますます広がる産業用レーザに焦点を当て、そのアプリケーション、技術、ユーザレポートを紹介する雑誌です。また、年に1回、産業用レーザの市場予測を特集します。無料購読をご希望の方は、オンラインからご登録ください。ご登録内容を確認させていただいた上で読者として正式登録させていただきます。

URLから登録が可能です。 <http://ex-press.jp/ilsj/>

ご登録の流れ



個人情報に関する当社の方針はこちらをご確認ください。 >> <http://ex-press.jp/ilsj/privacy-ilsj/>

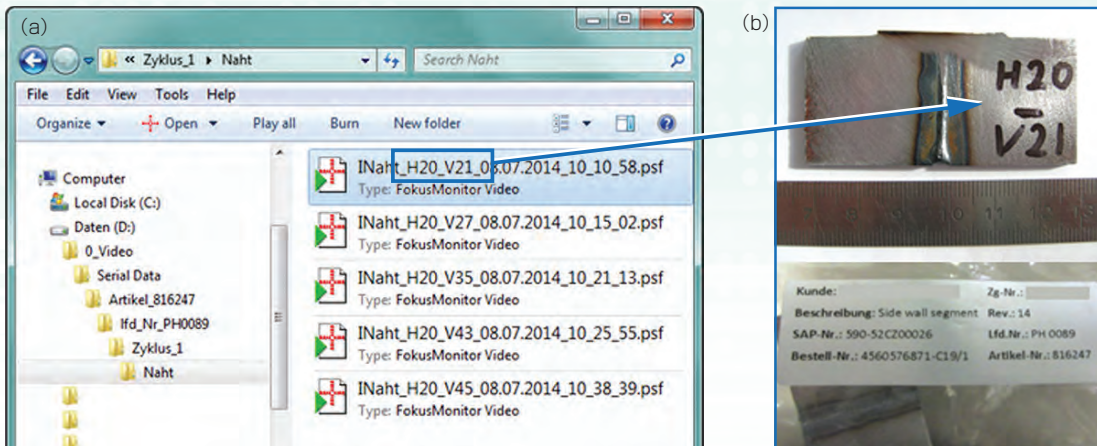


図8 ディレクトリツリーのスクリーンショット(a)と溶接の物理的証拠を示すレコード(b)。

また、溶接プロセスの物理的証拠として、例えば、実際の部品の溶接シーム上のラン開始とラン終了を示すタグの切り抜き写真などが、同じ構造と名前で格納される(図8右)。このようにしてプロセスレコードと物理的証拠を組み合わせて保管することで、クリティカルなアセンブリのトレーサビリティを可能にする1対1の文書化チェーンが保証される。

このような課題に対処することによって、高品質なレーザ溶接アセンブリを2年前から顧客に一貫して供給し続けている。図9に示すのは、2014 InnoTransで展示した側壁部分である。



図9 鉄道技術見本市InnoTrans 2014において展示された、ICxプロジェクト用にフォトン社が開発した側壁部分。

まとめ

多数の溶接部からなり、さまざまな種類の部品モデルを持つ、安全性に関わる複雑な溶接アセンブリを製造するには、設計、手法、プログラミング、溶接、品質、製造といった製造チェーンに関わる全部門を取り込んだ綿密な計画が必要である。装置や溶接シーケンス全体の事前シミュレーションを含む、溶接室全体のCADモデルが、計画とプログラミングに不可欠である。

最後に、理論から現実への変換を可能にするために、標準的な機械制御に高度なセンサと制御技術を追加する必要があること、製造ラインの制御と最適化のために、プロセスデータ監視が非

常に重要であること、そして1カ所の溶接のパラメータにいたるまでのトレーサビリティを実現するために、プロセスデータの保管が必須であることを書き添えておく。

著者紹介

マリアナ・フォレスト博士は、米ラサップ社(Lasap, Inc.)社長。

e-mai: mariana.forrest@las-ap.com URL: www.las-ap.com

ホルガー・アルダーは、独フォトン・レーザ・エンジニアリング社(Photon Laser Engineering)のマネージングディレクター兼独フォトン社(Photon AG)の最高技術責任者(CTO)。

URL: www.photonag.com

ILSJ