

インフラ構造物向け表面処理ソリューション「インフラレーザ®」の 社会実装に向けた取り組み

Efforts Toward the Social Implementation of the Surface Treatment Solution “InfraLaser” for Infrastructure Structures

梅野 和行*
Kazuyuki Umeno

齊藤 愛実*
Manami Saito

西島 亮平*
Ryohei Nishijima

岸本 拓也*
Takuya Kishimoto

西野 史香*
Fumika Nishino

糸川 怜*
Rei Itokawa

藤尾 駿平*
Shumpei Fujio

大城 戸優衣*
Yui Okido

佐藤 新治*
Shinji Sato

宮崎 浩樹*
Hiroki Miyazaki

橋本 博*
Hiroshi Hashimoto

西潟 由博*
Yoshihiro Nishigata

西井 諒介*
Ryosuke Nishii

賀屋 秀介*
Shusuke Kaya

〈概要〉

本報告では、当社が製品化を進めている「インフラレーザ」に関し、リリース済みの700 W定置機システム、1 kW可搬システム及び2 kW定置システムに関して、その概要と適用アプリケーションに関して述べる。母材に熱影響を与えない高速レーザ施工を目指した技術開発、安全性を遵守した製品開発を進めている。社会実装の事例として、700 W定置システムに関しては母材熱影響なきことを実証し、信頼性が要求される鉄道台車枠への適用事例を示した。また、船舶分野での社会実装も進めている。それぞれのセグメントにおける共創パートナーとともに、2030年の安全・安心・快適な社会の基盤づくりに向けて、社会実装を目指して開発・製品化を進めていく。

1. はじめに

我が国のインフラ構造物は、高度経済成長期に集中的に整備されたことから、老朽化対策が課題化してきている。再構築が難しいインフラ構造物もあることから、既に構築されたインフラの維持管理と長寿命化が極めて重要である。維持管理に際しては人手が必要な一方、労働者不足を背景により効率的な工法、作業者が使う上で高い安全性・作業性、さらには自動化が求められている。近年、高出力レーザを適用したレーザ施工技術がインフラ維持管理分野で注目されつつある。レーザ施工技術の特徴としては以下の通りであり、環境にも作業にも優しく、省人化技術としても期待できる^{1)~4)}。

- ・電源準備のみでレーザ施工可能、原材料不要
- ・施工にともなう産廃処理費用が極めて少ない
- ・乾式で塩分除去も可能、戻り錆を遅延できる
- ・施工時の振動、騒音が極めて少ない
- ・施工時の反力が無いため負担が少ない
- ・自動化に向き、ロボット・ドローンに搭載可能

当社は、明治時代から日本のインフラ構築に貢献してきた歴史があり、古河電工グループビジョン2030にて「安全・安心・快適な社会」を達成するための社会基盤の創造を目指している。1970年代の光ファイバ黎明期から技術開発を続けているフォ

トニクス技術は重要なコア技術の一つである。レーザ施工ではファイバレーザ(Fiber Laser: FL)発振器が使用され、当社は、FLに使われる特殊光ファイバ(Ybドープアクティブファイバ)、デリバリーファイバケーブル及び900 nm帯AlGaAs系半導体レーザを、また組み立て時に用いる光ファイバ融着器等を素材・設備レベルから製造しており、さらにレーザヘッド、レーザ施工技術及びレーザ施工システムの開発も自社で行っている^{1)~4)}。当社は、高出力レーザによるインフラ構造物向け表面処理ソリューション「インフラレーザ」⁵⁾を新たにブランドとして立ち上げ、このインフラ維持管理市場への事業開発とビジネス展開を進めている。インフラレーザの開発に関しては、お客様の声(VOC: Voice of customers)をセグメント毎に集めてジョブを分析し、プロトタイプを作成、実証実験を通じて改良し、製品化するプロセスを取っている。この手法は古河電工時報第143号に詳しく記載している⁶⁾。

レーザの表面処理技術としては、光出力に応じ様々な対応が可能である。対象物の母材は金属とコンクリートに大別される。現在は金属のレーザ表面処理ソリューションを軸に開発と社会実装を進めている。照射条件に応じて、オイルクリーニング、塩分除去、薄い赤錆の除去をはじめとするレーザクリーニング、塗装剥離や厚い錆除去などのレーザブラストが可能である。本報告では、当社にて開発・製品化している母材ダメージを抑制可能な「インフラレーザ」をベースにした鋼材へのレーザ表面処理技術に関し、現場適用での安全性も含めた技術開発に関して述べる。

* 営業統括本部 レーザ応用事業部 レーザ応用2部

部署名は2026年3月時点の所属を記載しています。



図1 インフラレーザシステムの外観写真
External image of “InfraLaser systems”.



図2 手持式レーザヘッドの外観写真
External image of “Handheld Laser Head”.

2. インフラレーザシステムの特長

2.1 インフラレーザシステムの概要

本実験で用いた当社製インフラレーザシステムを図1に示す。ラインナップとして700 W 定置システム(2024年3月リリース)⁷⁾、1 kW 可搬システム(2025年5月リリース)⁸⁾、2 kW 定置システム(2025年10月リリース)⁹⁾の3システムを開発、販売している。単位のWは最大光出力の単位である。700 W 定置システム及び2 kW 定置システムは内部冷却用に水冷チラーを内蔵しており、出力の安定性を維持した状態で長時間の連続動作が可能である。1 kW 可搬システムは内部冷却に空冷方式を採用しており、作業現場での可搬性とレーザ施工能力の両立を求めるお客様の声から製品化した機種である。2024年にリリースした700 W 定置システムは工場屋内の作業現場で運用する仕様となっている。一方、お客様からの屋外での利用を希望する声を受けて2025年にリリースした1 kW 可搬システム及び2 kW 定置システムは、一定の防水機能や放熱機能も有しており、屋外の作業現場で運用できる仕様となっている。本体上部にアイボルトを標準装備しており、クレーンによる釣り上げ作業なども可能な仕様になっている。レーザ照射部は、図2に示す手持式レーザヘッドであり、定置システム及び可搬システムで共通である。本報告で示したデータのうち、現場対象物でのデータは手持式レーザヘッドによる結果であり、実験室でのデータは手持式レーザヘッドを治具に固定し、焦点距離を一定としてステージを1軸に動かして取得した加工データである。

クラス4のレーザ発振器を搭載しているため、安全には十分配慮した設計が必要である。本システムは、厚生労働省・通達「レーザ光線による障害防止対策要綱」、JIS C 6802「レーザ製品の安全基準」、ISO 11553-2「Safety requirements for hand-held laser processing devices」に準拠する設計としている。レーザヘッドに関してはセンサ搭載により、対象物を認識しない場合にレーザ照射を自動停止する機能を備え、上記通達に沿った設計にしている。また、JIS C 9745-1「手持ち形電動工具」の規格を参考にしている。例えば、レーザヘッド部の温度は動作時の温度上昇における最高温度が60℃以下になる設計として

いる。また、レーザヘッドの耐久性に関しては、機械的強度を高さ1 mからコンクリート面に3回落とし耐える設計としている。また、図1の各システムに関しては連続動作に関しても信頼性試験を実施している。なお、インフラレーザ事業はISO9001を取得し、適切な品質マネジメントを行っている。

2.2 インフラレーザシステムの安全性検証

2.1で示したインフラレーザシステムの安全性検証に関して、人体を模した豚肉へのレーザ照射により検証を実施した。熱影響が特に出やすいCW (Continuous Wave) のFLを搭載しているため、安全性の検証として重要な試験と考えている。図3(a)は、図1のインフラレーザに搭載した当社製FLをガルパノスキャナ(安川電機製YD-3000M)に接続し、レーザ光を定点照射した場合及び1軸レーザスキャンした場合の豚肉表面の写真である。定点照射の場合には厚さ約3 mm程度の豚肉を容易に貫通した。また、1軸レーザスキャンした場合にも豚肉表面が白くなっており、200 Wから700 Wに光出力を増加させるにつれて、より表面が白くなっていることがわかる。本結果から、人体の皮膚に照射された場合には火傷が生じると推定される。一方図3(b)は、図1に示した700 W 定置システムに

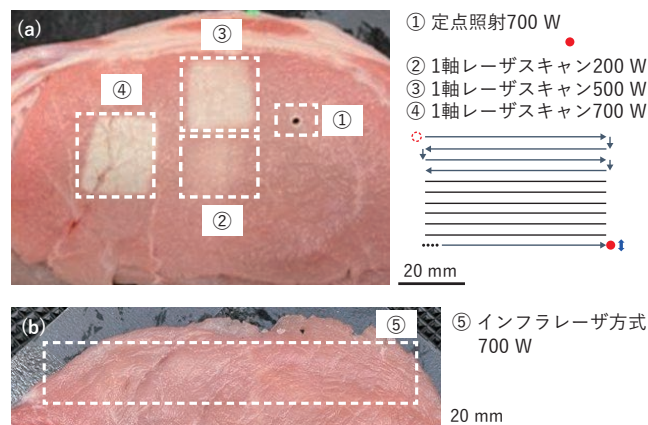


図3 定点、1軸レーザスキャン方式、インフラレーザ方式でそれぞれ1豚肉にレーザ光を照射した場合の表面写真
Surface photographs of pork when irradiated with laser light using fixed-point, single-axis laser scanning, and infrared laser methods, respectively.

より図2の手持式レーザヘッドを通じて約20 mm/sの照射速度でレーザ光を照射した結果である。インフラレーザシステムによるレーザ照射では豚肉表面にまったく影響がでていないことがわかる。手持式レーザヘッドにて700 Wの光出力、約20 mm/sの照射速度で豚肉にレーザ照射した場合の各照射時間における表面写真を図4に示した。インフラレーザは面状でのレーザ照射によりこの安全性を担保しており、この700 Wの条件で錆や塗装が十分に剥離可能である。作業時には作業手袋を着用するルールとなっているが、万が一の対策としてこのような設計にしている。

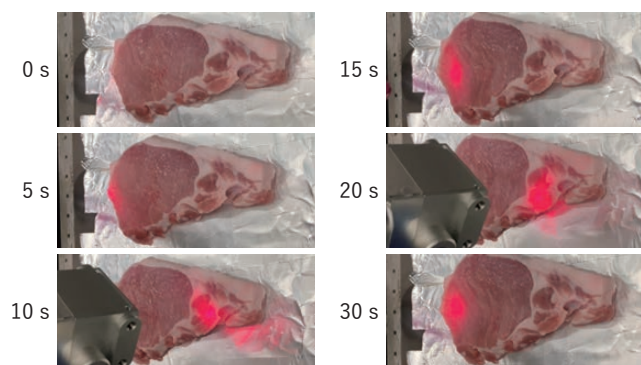


図4 手持式レーザヘッドにて700 Wの光出力で豚肉に約20 mm/sの照射速度でレーザ照射した場合の各照射時間における表面写真
Surface photographs at each irradiation time when irradiating pork with a handheld laser head at a light output of 700 W and an irradiation speed of approximately 20 mm/s.

3. レーザクリーニング技術

3.1 インフラレーザによるレーザクリーニング技術

ここでは、図1に示したインフラレーザ700 W装置システムを用いたオイルのレーザクリーニング検証を実施した。油分の例としての電気絶縁油を表面に塗布したステンレスSUS304を試料として準備した。図1に示した光出力700 W装置システムを利用し、図2に示す手持式レーザヘッドを通じて約20 mm/sの照射速度でレーザ光を照射した。図5に電気絶縁油のクリーニング前後の写真を示す。図5(a)がレーザクリーニング前、図5(b)がレーザクリーニング後の写真になる。図5(b)内の破線で囲った部分がインフラレーザによるレーザクリーニング部である。レーザクリーニング後の残渣を分析するために、全面をレーザクリーニングした試料に対して、ガスクロマトグラフ質量分析 (Gas Chromatography - Mass spectrometry: GC-MS) 法を用いて分析した。その結果を図6に示す。図6(a)のレーザクリーニング前と、図6(c)の電気絶縁油単体のGC-MS分析結果は同じピークを検出しており、油分が残留していることを示している。一方、図6(b)のレーザクリーニング後のGC-MS分析結果ではピークは全く検出されておらず、完全に油分をレーザ光により除去できていることを示している。

3.2 レーザクリーニングの適用事例

レーザクリーニングの適用事例として、図7に船舶の鎖表面に付着した機械油の除去写真を示す。レーザ光により約20 mm/sの照射速度で除去可能である。また、図8に機械設備のギアに

付着したモリブデングリースの除去結果を示す。図8(b)の破線内が除去範囲である。いずれの作業も手作業や薬品での除去では非常に手間がかかり大変であるが、インフラレーザを用いることで油分やグリースを手軽に除去することが可能であった。

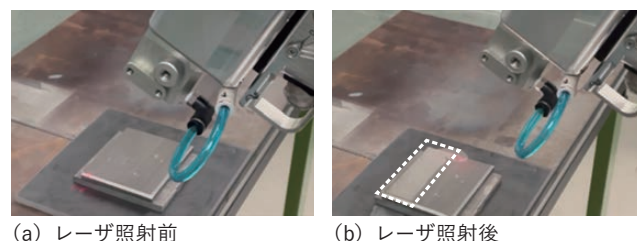


図5 SUS304表面に電気絶縁油を塗布したサンプルへのレーザ照射前後の写真
Photographs of a SUS304 sample coated with electrical insulating oil before and after laser irradiation.

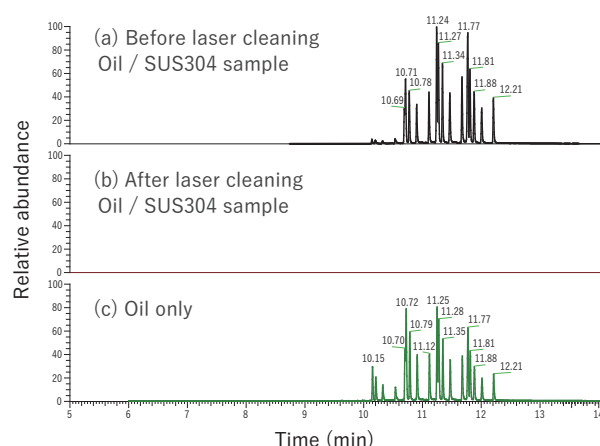


図6 GC-MSによるレーザ照射前後のオイル残留成分の測定結果
GC-MS measurement results of oil residue components before and after laser irradiation.

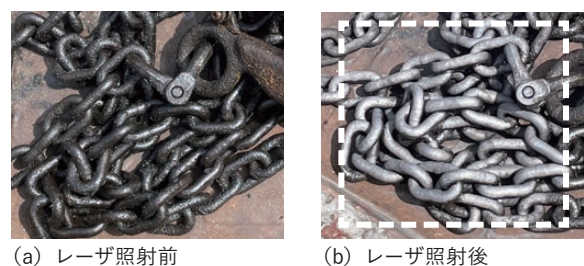


図7 オイルで汚れた船舶用鎖に対するレーザ照射前後の写真
Photographs of oil-contaminated marine chains before and after laser irradiation.

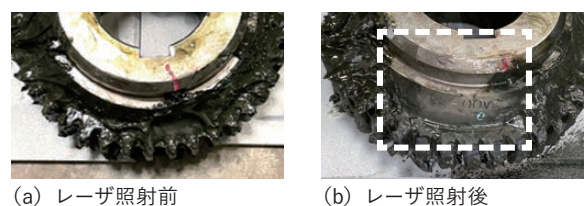


図8 機械設備のギアに付着したモリブデングリースに対するレーザ照射前後の写真
Photographs before and after laser irradiation of molybdenum grease adhering to machinery gears.

4. レーザブラスト技術

4.1 熱影響の無いレーザーブラスト技術の開発

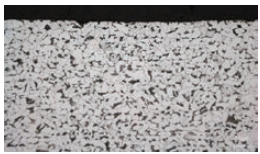
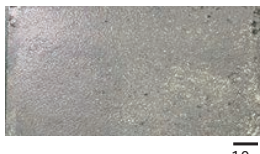
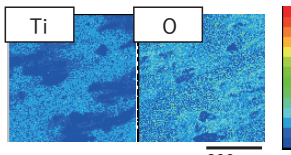
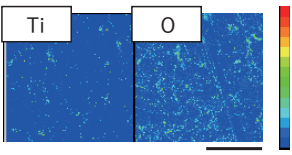
鋼材を保護する塗装の剥離技術のレーザー化は作業負担軽減の観点から非常に重要である。一方で、機械工具と比較して、レーザー光による熱エネルギーが鋼材に対して加わるため、熱影響なきことを示すことは、インフラ構造物へのレーザーブラスト技術適用に関して極めて重要である。ここでは、部分的な塗装剥離によく使われる機械工具であるニードルスケーラとの比較を示す。鉄道車両分野でよく使われる塗膜付き鋼材に対してレーザー施工評価を実施した。検体として、熱影響無きことが要求される鉄道台車枠の塗ニードルスケーラ厚さ9 mmの鋼材SM400Bに対して表面に約100 μm のアクリル系塗料(ねずみ色)を塗装した試料を準備し、ニードルスケーラと図1に示す光出力700 Wの定置システムにより塗膜除去を実施し、断面組織の観察、表面観察、電子プローブマイクロアナライザ(EPMA)でのTi及びOの元素マッピングの比較を行った。また、断面組織の観察時に、マイクロビッカース測定法により、ビッカース硬度(Hv)測定を行った。

表1に比較結果を示す。この場合の施工速度は機械工具及びインフラレーザにて、それぞれ、0.2及び1.4 m^2/h となった。既存の機械工具と比較してインフラレーザでは約7倍の施工速度が実現可能であり、作業効率改善の観点から、省人化にも有効と考えられる。表1に示した施工後のSM400Bに対する断面金属組織の光学顕微鏡像、表面写真を比較すると、両者で断面金属組織に施工後の差は見られなかった。EPMAでのTi及びOの元素マッピングの比較では、機械工具施工では塗料に含まれるTiの残留と表面でのOが検出された。一方、レーザー施工では、それらの元素はほぼ検出されなかった。一般に機械工具による塗膜除去施工は2種ケレン相当であり、微量に塗料残渣であるTiが残る結果は妥当なものと言える。レーザー施工ではSM400Bの素地をしっかりと出せており、鉄酸化膜の成分になるOの検出もされていないことから、レーザーブラスト技術は1種ケレン相当と考えることができる。

図9に、塗装剥離後の断面金属組織評価結果と、マイクロビッカース測定法による各位置でのビッカース硬さの測定結果を示す。今回の試験試料では、インフラレーザの1回のスキャンにより塗装剥離が可能である。図9(b)及び図9(c)では、露悪条件を想定して、インフラレーザにより3回スキャン及び50回ス

表1 機械工具(ニードルスケーラ)とインフラレーザによるレーザー施工後の鋼材断面、表面、EPMAによる残留元素分析結果の比較

Comparison of residual element analysis results from EPMA on steel cross-sections and surfaces after laser processing using machine tools (needle scaler) and InfraLaser.

	機械工具(ニードルスケーラ)	インフラレーザ
Cross section	 100 μm	 100 μm
Surface	 10 mm	 10 mm
EPMA mapping	 200 μm	 200 μm

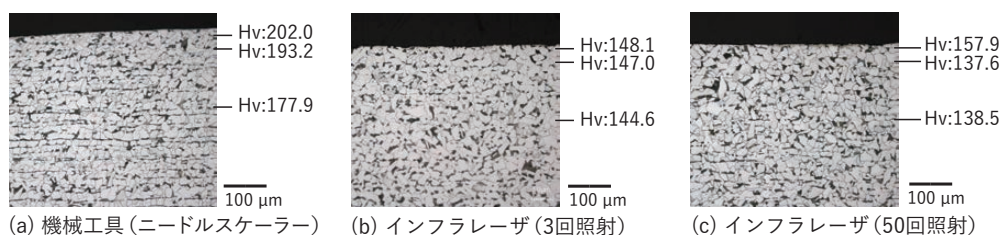


図9 機械工具とインフラレーザにより塗装剥離した鋼材(SM400B)断面と各点におけるビッカース硬度(Hv)の測定結果

Measurement results of Vickers hardness (Hv) at various points on the cross-section of steel (SM400B) with paint removed using mechanical tools and an infrastructure laser.

キャンを行った結果を示した。断面組織は表面側をみても全く変化しておらず、熱影響が極めて低い事を示している。図9(a)に示すニードルスケーラによる塗装剥離結果と図9(c)に示すインフラレーザによる50回スキャン結果を比較すると、Hvの変化量はニードルスケーラよりも低いことがわかる。このことから、熱影響に関しては無視できる程度に極めて小さいことを示している。

厚さ9 mmのSM400Bに対して、レーザ施工前後にてJIS G 3106: 2017 溶接構造用圧延鋼材に基づいて引張試験を行った。図10にレーザ施工前、標準条件での1回レーザスキャン後、標準条件で同一箇所を50回レーザスキャン後、さらなる露悪条件として標準条件に対して4.2倍の光出力で1回レーザ後の4つのSM400B検体の引張強度及び降伏点の比較を示す。いずれの検体もJIS規格で既定された範囲に入るとともに、引張強度及び降伏点ではば違いが無い。したがって、本レーザ施工によるSM400Bの鋼材母材への影響は無視できるレベルにあると考えられる。

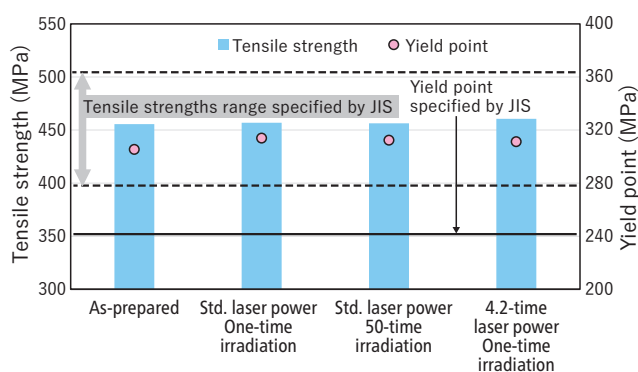


図10 レーザ照射前後の鋼材 (SM400B) に対する引張強度と降伏点
Tensile strength and yield point of steel (SM400B) before and after laser irradiation.

図11に複合サイクル試験と付着力試験の結果を示す。本試験では、ニードルスケーラ及びインフラレーザにより塗膜除去を行った試験体に手作業により再び塗装を行ったものを試験体とした。図11内に塗装厚を記載しているが、手塗りのため、塗装厚にばらつきがあることに注意されたい。クロスカット試験用カッターナイフを用いて長さ50 mmのクロスカットを付けた。再塗装後の耐久性を評価するため複合サイクル試験を実施した。複合サイクル試験機を用い、JIS K 5600-7-9に定義されるサイクルDを4週間にわたり計168サイクル行った。エポキシ系接着剤を用いて直径20mmのドリルを塗膜に接着した。自動プルオフ式付着性試験機を用い、JIS K 5600-5-7に定義される付着力試験 (プルオフ法) を行った。試験速度は0.70 MPa/sとした¹⁰⁾。

図11(a)に示すニードルスケーラによる塗装剥離に対する複合サイクル試験結果と比較し、図11(b)のインフラレーザによるそれとは大きな違いがないことがわかる。また、付着力試験結果の平均値は、ニードルスケーラでの平均付着力4.8 MPaと比較して、インフラレーザの平均付着力11.5 MPaとなっており、インフラレーザの方が高くなっている。また、図11(c)に示す露悪試験である50回レーザスキャン後の結果も平均付着

力10.1 MPaとなっている。

以上のことから、既存の機械工具であるニードルスケーラでの塗装剥離と比較して、インフラレーザによるレーザブラスト技術は、1種ケレン相当となること、熱影響がないこと、塗装付着力としても問題ないことを示すことができたと考えている。



図11 複合サイクル試験と再塗装後の付着力試験の結果
Results of the combined cycle test and adhesion test after repainting.

このような技術開発の背景のもと、東海旅客鉄道株式会社名古屋工場において、在来線鉄道車両における鉄道台車枠に対する溶接部探傷試験前の塗装剥離にインフラレーザによるレーザブラスト技術 (700W 設置システム) を実運用頂いている¹¹⁾。図12に鉄道台車枠に対してインフラレーザを照射している写真を示す。インフラレーザ社会実装の一例である。鉄道台車に傷等があると、脱線などの重大事象に繋がる恐れがあるため、台車の傷の有無を確認する探傷試験は鉄道車両の検査において非常に重要な作業である。探傷試験 (磁粉探傷法) を実施するにあたっては、台車表面の傷を確実に検出するために、表面に

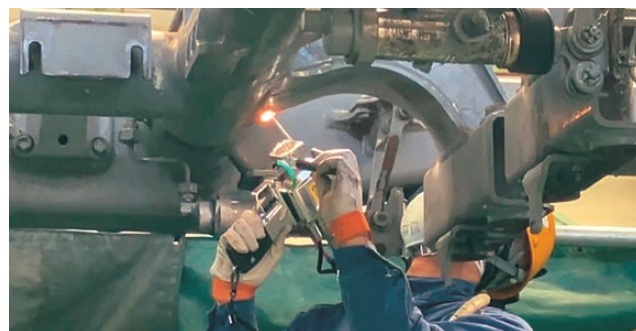


図12 インフラレーザによるレーザブラスト技術を用いた塗膜除去作業 (JR 東海 名古屋工場)
InfraLaser laser blast technology for coating removal (JR Central Nagoya factory).

施されている塗膜を除去する前工程があるが、従来は振動工具による機械的な塗膜除去作業を行っていた。従来の機械的な塗膜除去作業の課題として、塗膜除去が不十分であることから表面に傷の疑似模様が現れ、磁粉探傷法による傷の良否判定に時間を要することに加えて、長時間の手元での強い振動 (15 m/s^2)、大量の粉塵発生による作業負担といった点があった。インフラレーザを用いることで、金属表面を傷つけずに塗膜除去が可能で、磁粉探傷法の欠陥検出精度を向上することが可能になった。また、振動に関しても従来工法 15 m/s^2 に対してゼロで、粉塵の発生もなく、作業時間も従来の約80%に短縮している。

4.2 現場可搬性の向上に向けた1 kW可搬システムの開発と施工事例

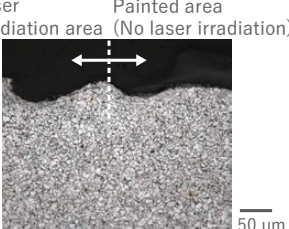
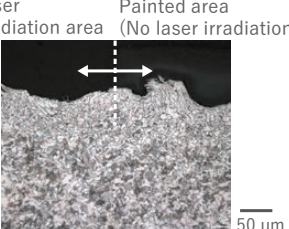
レーザブラストに関しては、現場適用に際しては、可搬性や施工速度の向上がお客様より求められる。そのようなニーズに答えるために光出力1 kWの可搬システムを開発した(図1参照)。表2に700 W定置システムと1 kW可搬システムのレーザブラストを施した金属の表面と断面組織を観測した結果を示す。

実際のワークに近い試料として、鋼材SM400B(厚さ9 mm)

にショットブラストにより表面粗度を形成し、約100 μm のアクリル系塗料(ねずみ色)を表面塗装した。その後、700 W定置システム及び1 kW可搬システムによりレーザ照射を実施した。施工速度は700 W定置システム及び1 kW可搬システムに対して、それぞれ約1.4及び約2.2 m^2/h となった。光出力が700 Wから1 kWと約1.4倍になっており、それにほぼ比例して、施工速度も約1.6倍となっている。表2中の断面図は、レーザ施工後の表面のレーザ照射部と塗装残存部の境界部に関して金属断面組織観察をした結果である。まず、700 W定置システムで施工した塗装残存部とレーザ照射部はほぼ同じ金属断面組織になっていることがわかる。また、1 kW可搬システムの場合も同様である。前述のように、700 W定置システムでのレーザブラスト技術は問題なきことを示しており、1 kW可搬システムに関しても金属断面組織から類推すると鋼材にレーザブラストによる熱影響は与えていないと考えられる。

図13に1 kW可搬システムを用いた塩害地域で塗装劣化及び錆びた実際の鋼材へのレーザブラストを屋外の現場で照射した事例を示す。図13(a)が照射前、図13(b)がレーザ照射後の

表2 700 W定置システムと1 kW可搬システムの塗装剥離後の表面及び鋼材断面の比較
Comparison of surfaces and steel cross-sections after paint stripping for the 700 W stationary system and 1 kW portable system.

	700 W 定置システム	1 kW 可搬システム
Surface		
Cross section		

(a) レーザ照射前



(b) レーザ照射後

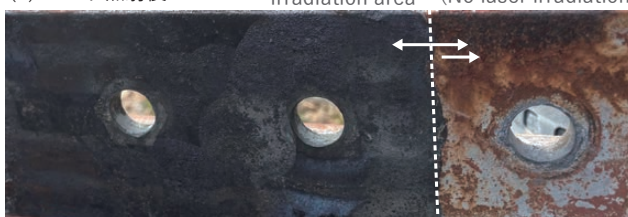


図13 塩害地域で塗装劣化及び赤錆発生した鋼材に対するインフラレーザ1 kW可搬機によるレーザ照射前後の比較写真
Comparison photos before and after laser irradiation using a 1 kW portable InfraLaser on steel materials exhibiting paint degradation and red rust formation in salt-damaged areas.

写真である。このように劣化した塗装と錆を合わせて除去することが可能である。また、インフラレーザはレーザ焦点に対して半径数10 mm程度の裕度があり、照射角度依存性にも鈍感であることから、図14に示すように狭隙部のボルト部の施工も容易に可能である。図14は、重度塩害地域で腐食した、エポキシ系塗装（塗装厚約0.5～1 mm）のボルト部を施工した事例である。また、図15は、タールエポ塗料が塗布されたものの沿岸地域に置かれたために錆てしまった鋼材表面の錆と塗料を同時に除去した事例である。従来1種ケレン相当まで対応できなかったものでも、1種ケレン相当のブラスト施工が可能になる。また、付随的な効果として塩分除去も可能であり、再塗装後の延命にも有効である。

インフラレーザ1 kW可搬システムの活用に関しては、鉄塔のメンテナンス、タンク配管部メンテナンス、工場の部品メンテナンス、船舶甲板上メンテナンスなど多岐にわたる。一例として、商船三井、商船三井ドライバルクと取り組んでいる船舶甲板上メンテナンスの社会実装にむけたトライアル時の写真を図16に示す。1 kW可搬システムの可搬性と施工力についてお客様側から高い評価をいただき、社会実装に向けて進んでいる。

4.3 施工速度向上に向けた2 kW定置システムの開発と施工事例

従来の700W定置システムに関して様々なお客様のVOCを得た結果、主に、屋外での利用希望が多いこと、施工速度の更なる向上が求められることが明らかになった。そこで、リリースしたのが図1に示した2kW定置システムである。表3に光出力2 kWのCWレーザ（単点の1軸レーザスキャン方式）と光出

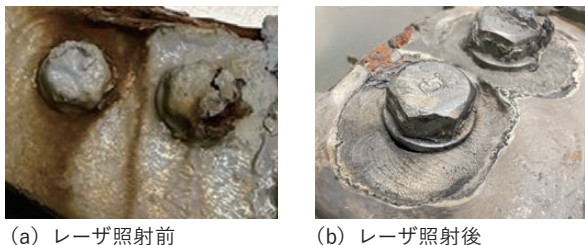


図14 ボルト部で劣化した塗装へインフラレーザ1 kW可搬機によるレーザ照射前後の比較写真
Comparison photos before and after laser irradiation using a 1 kW portable infrared laser on deteriorated paint at the bolt section.



図15 沿岸地域で錆びた鋼材と上部に塗布されたタールエポ塗料の除去事例
Case study: Removal of rusted steel and tar-epoxy coating applied to the surface in coastal areas.

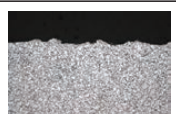
力2 kWのインフラレーザを利用した塗装剥離結果の比較を示す。試料として、塗装厚300 mmの船舶系エポキシ系塗料を塗布した鋼材（SS400）を用いた。インフラレーザ方式では母材溶融なく塗装剥離できているのに対し、1軸レーザスキャン方式の通常のCWレーザ方式では部分的に溶融が発生し、照射痕ができています。さらに、断面を見ると母材溶融が発生しており、部分的にマルテンサイト相が形成されている。剥離速度も同じ光出力2 kWであるがインフラレーザ方式が3.6 m²/hに対して、1軸レーザスキャン方式は1.3 m²/hであった。このように、2 kWのCWレーザに対しても当社独自の光学技術を用いることで、光エネルギーを有効に活用し、母材に影響なく、より速い速度で塗装剥離が可能であることを示している。

インフラレーザ施工の対象となる構造物は金属材料を溶接により接合して形成されている例が多い。前述のように溶接部に関しては法令により定期的に探傷検査が求められる場合があ



図16 貨物船甲板でのインフラレーザによるレーザ施工の事例
Case study of laser construction using an InfraLaser on a cargo ship deck.

表3 光出力2 kWのCWレーザを利用した塗装剥離結果の比較
Comparison of paint removal results using a 2 kW CW laser.

	インフラレーザ 2 kW定置システム	1点スキャン方式 CWレーザ2 kW
照射後 外観	 溶融無し	 部分的に溶融し照射痕が発生
光学顕 微鏡像	 塗膜除去後母材溶融無し	 塗膜除去後母材溶融有り
断面図	 表層の組織変質なし	 表層で溶融凝固層形成 (マルテンサイト化)
処理速度	3.6 m ² /h	1.3 m ² /h

る。図17は石油タンクの溶接部に対してガラスフレーク塗料（塗装厚約800 μm ）を塗装剥離した事例である。ガラスフレーク塗料は強固な塗料であるが、2 kW 定置システムにより除去することが可能である。インフラレーザ方式に関しては母材を傷つけないという特長があり、剥離後に磁粉探傷検査などの検査が可能である。インフラ構造物の探傷用途としても適用することができる。

インフラレーザ方式のレーザ表面処理は様々な金属製機器のクリーニングでも有効である。図18は、火力発電所のタービン部材（ニッケル系耐熱合金）の表面に形成された酸化スケール（厚さ約50 μm ）を2 kW 定置システムにより除去した事例である。火力発電所の機器は運転中に高温高压の水蒸気にさらされるため、非常に強固な酸化スケールが表面に形成され、定期メンテナンスで除去する必要がある。通常は機械工具やブラストで作業するが、インフラレーザにより図18のサンプルでは約2.9 m^2/h の速度で酸化スケールを手軽に除去することが可能である。薄いタービンブレードなどに対しても母材に熱影響なく照射できるのもインフラレーザ方式の特長である。

インフラレーザはインフラ構造物の製造工程でも適用可能である。図19は造船や橋梁の製造で用いられるSM400材に塗布されたジンクリッチペイント（膜厚約30 μm ）を除去した事例である。ジンクリッチペイントは防錆塗料であるが、製造時の溶接工程では開先部などの部分除去が必要であり、インフラレーザにより2 kW 定置システムにより約3 m^2/h の速度で除去可能である。また、インフラ構造物の製造工程では、アーク溶接で接合した後、スラグや酸化皮膜が溶接部に形成される。インフラレーザを用いることにより、溶接時に形成されたスラグや酸化皮膜を約7.5 m^2/h の速度で除去可能である。図20に事例を示す。インフラレーザにより母材に傷つけることなく、非接触でブラスト処理が可能である。これらのように、インフラ構造物の製造工程でもレーザブラスト技術は活用可能である。非接触の施工であるため、産業用ロボットと組み合わせた工程の自動化もレーザ技術が得意な領域である。

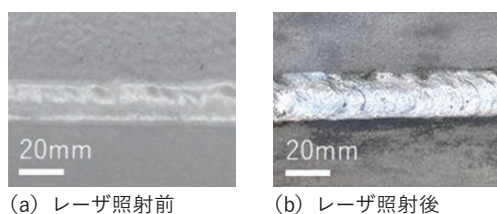


図17 タンクの溶接部に対する探傷検査用の塗装剥離事例
Examples of paint peeling for non-destructive testing of tank welds.

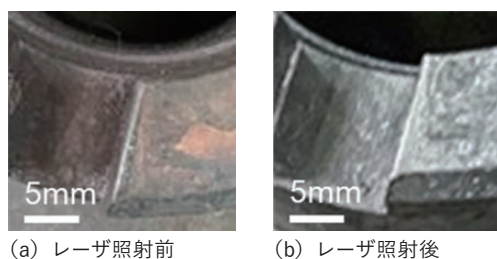


図18 火力発電所のタービン部材の酸化スケール除去事例
Case study: Removal of oxidation scale from turbine components at a thermal power plant.

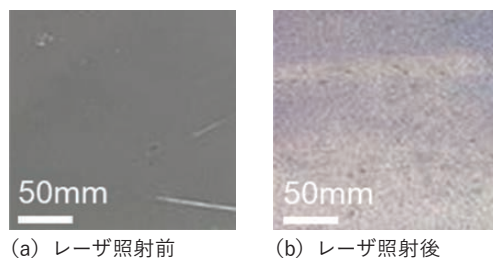


図19 鋼材 (SM400) に塗布されたジンクリッチペイントの除去事例
Case study: Removal of znc-rich pint aplied to seel (SM400).

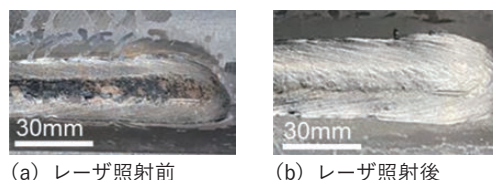


図20 鋼材 (SM400) のアーク溶接部の表面クリーニング事例
Surface ceaning eamples for arc welded joints in steel (SM400).

インフラレーザに関しては母材がアルミニウム系材料の場合も適用可能である。アルミニウム系材料へのレーザブラストは、素材自体の軽量・高強度を生かした航空機や高速鉄道車両の外板や部品、ダイカストによるケーシング部品などに対してニーズがある。図21は、航空機の外板部品に対して、2 kW 定置システムによる塗装剥離を行い、断面顕微鏡でアルミニウム断面を観察した事例である。母材は航空機用のアルミニウムクラッド材となっており、2024合金（超ジュラルミン）の上面及び下面に耐食性のため純アルミニウムが圧着されており、更に航空機用のプライマー塗装（数10 μm ）が塗装されており、定期検査の探傷用途で塗装剥離した事例である。図21に示すように、レーザ照射面とレーザ非照射面で金属組織の変化がなく、拡大図でみても金属組織としての変化が見られていない。このように、インフラレーザ方式はアルミニウム系材料に対しても、母材に傷つけることなく適用可能である。

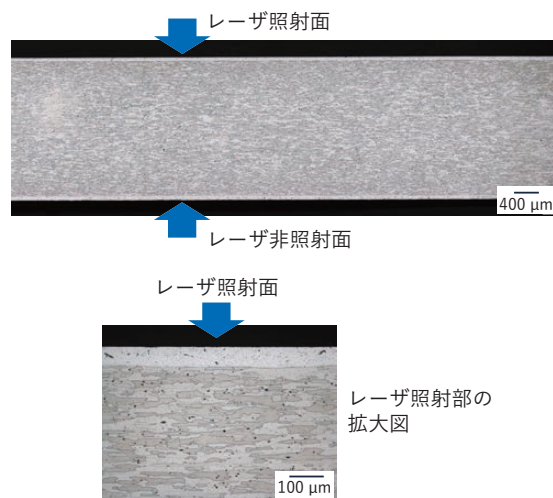


図21 航空機外板部材の塗装剥離後の断面顕微鏡像
Cross-sectional microscopic image of aircraft skin component after paint peeling.

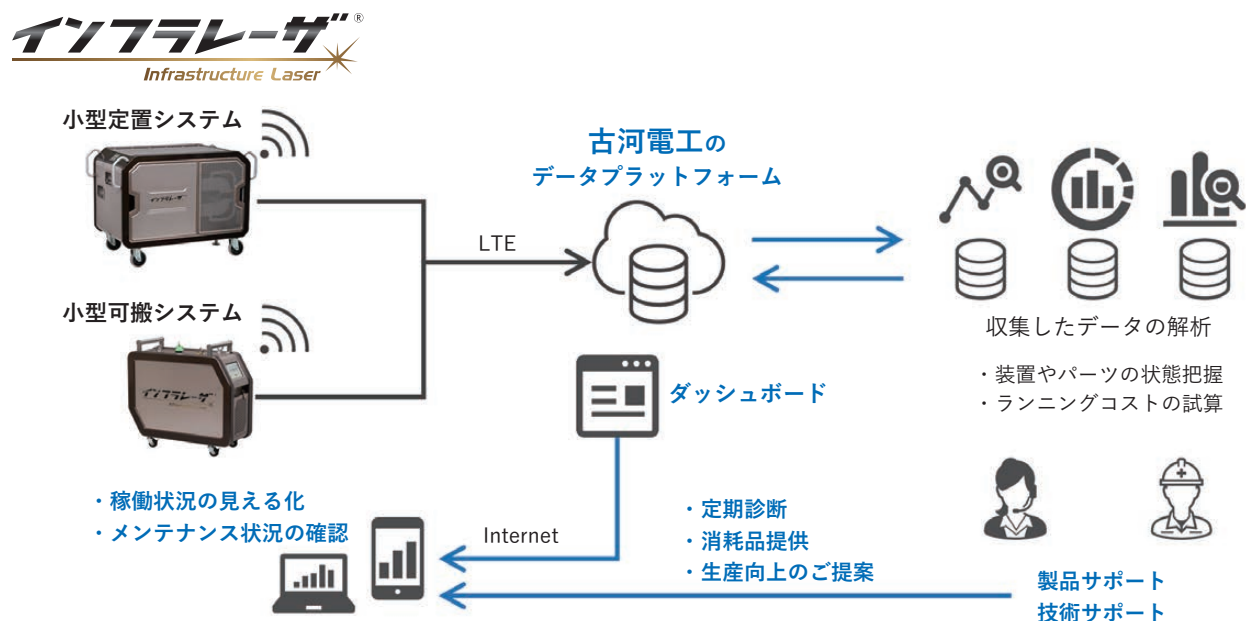


図22 インフラレーザ稼働管理システムの概略図¹²⁾
Schematic diagram of the Infra-Laser operation management system¹²⁾.

5. DX技術の適用

日々の作業や、定期的な修繕において、施工品質のばらつきや機器・装置の状態変化に迅速に対応することが求められており、各種データの記録・管理＝トレーサビリティの重要性が高まっている。こうしたお客様のニーズに応えるため、インフラレーザの稼働データを可視化し、適切な対応を支援する稼働管理システムをDX (Digital Transformation) 機能として搭載している¹²⁾。図22に示す稼働管理システムは、インフラレーザのレーザヘッドやシステム本体に搭載された各種センサから稼働データ（照射状況、照射時間、装置の状態など）をリアルタイムで収集し、当社データプラットフォームに送信される。ユーザ企業と当社間で稼働データの分析を行うほか、機器の状態変化を自動で通知する機能などにより、施工品質の安定化や状態変化の早期検知を実現することができる。将来的には、稼働データに基づく予防的なメンテナンス管理も視野に入れており、データの利活用といったDXの推進を通じて、製造現場における品質管理の透明性向上に加え、属人化の解消や技能継承の容易化にも貢献できるものと考えている。

6. おわりに

本報告では、当社が製品化を進めている「インフラレーザ」に関し、リリース済みの700 W定置機システム、1 kW可搬システム及び2 kW定置システムに関して、その概要と適用アプリケーションを中心に述べた。また、インフラレーザ稼働管理システムによりDX技術の適用に向けた取り組みに関しても示した。母材に熱影響を与えない高速レーザ施工を目指したレーザシステム及びレーザ表面処理技術、安全性を遵守した製品開発を進めている。700 W定置システムに関しては母材熱影響無きことを実証し、鉄道台車枠という極めて重要な鉄道車両部品の探傷試験用塗装剥離にてJR東海 名古屋工場にて運用頂いて

いる。このように、インフラレーザに関しては、社会実装が始まる、あるいは極めて近い段階まで来ている。施工機器としての省人化や労働環境改善に加えて、データのトレーサビリティを手軽に管理するニーズからDX機能の搭載も進めている。明治時代から我が国のインフラ構築に関与・貢献した企業として、将来のインフラ維持管理においても貢献していきたいと考えている。陸上インフラとして橋梁、道路、トンネル、鉄道、鉄塔、発電所、港湾など、また輸送インフラとして鉄道車両、航空機などへのインフラレーザの適用検証を行っている。溶接関係ではアーク溶接前後の前処理/後処理クリーニング、スラグ除去、黒皮除去のニーズがある。それぞれのセグメントにおける共創パートナーとともに、2030年の安全・安心・快適な社会の基盤づくりに向けて、社会実装を目指して開発・製品化を進めている。

謝辞

本開発で評価した鋼材の構造的特性評価と塗装耐久性評価は、京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻構造工学講座との共同研究によります。北根安雄教授に御礼申し上げます。また、当社のインフラレーザテーマに関係頂いた東海旅客鉄道株式会社名古屋工場、株式会社商船三井、商船三井ドライバルク株式会社、常石造船株式会社、関西ペイントマリン株式会社に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 梅野和行：Optronics, Vol.505, pp.38-42 (2024).
- 2) 梅野和行, 西井諒介, 齊藤愛実, 西潟由博, 奈良一孝：レーザ加工学会, Vol.31, No.1, pp.46-48 (2024).
- 3) 梅野和行：Optronics, Vol.521, pp.110-114 (2025).
- 4) 梅野和行：光アライアンス, Vol.35, No.3, pp.52-55 (2024).
- 5) 日本国商標第6699309号及び第6906215号

- 6) 梅野和行, 他: インフラ構造物修繕に向けた「インフラレーザTM」システムとレーザブラスト法の開発, 古河電工時報, Vol.143, pp.33-39 (2024).
- 7) 古河電工HP>ニュースリリース>鉄道メンテナンスに最適な小型レーザ施工システムを製品化(2023年10月23日), https://www.furukawaelectric.com/release/2023/dev_20231023.html (参照日 2025年12月29日)
- 8) 古河電工HP>ニュースリリース>可搬性に優れた「インフラレーザ[®]」小型可搬システムを製品化(2025年5月13日), https://www.furukawaelectric.com/release/2025/dev_20250513.html (参照日 2025年12月29日)
- 9) 古河電工HP>ニュースリリース>光出力2kWの「インフラレーザ[®]」定置システムを製品化(2025年10月7日), https://www.furukawaelectric.com/release/2025/dev_20251007.html (参照日 2025年12月29日)
- 10) 領内秀祐, 北根安雄, 齊藤愛実, 西井諒介, 梅野和行, 2024年度関西土木工学交流発表会, I-8 (2024).
- 11) 古河電工HP>ニュースリリース>JR東海と古河電工が共同開発 鉄道台車向けレーザブラスト技術「インフラレーザ[®]」の運用開始(2025年11月12日), https://www.furukawaelectric.com/release/2025/dev_20251112.html (参照日 2025年12月29日)
- 12) 古河電工HP>ニュースリリース>「インフラレーザ[®]」シリーズの稼働管理システムを開発(2025年7月10日), https://www.furukawaelectric.com/release/2025/dev_20250710.html (参照日 2025年12月29日)