

レーザクリーニング装置「レーザクリアシリーズ」の開発 ～ 応用分野拡大を目指して ～

大脇 桂 ^{*1} <i>Oowaki Katsura</i>	川口 勲 ^{*2} <i>Kawaguchi Isao</i>	海老名信一 ^{*3} <i>Ebina Shinichi</i>
藤田 秀一 ^{*3} <i>Fujita Shuichi</i>	大阿見尚弥 ^{*3} <i>Ooami Naoya</i>	牧 聡美 ^{*3} <i>Maki Satomi</i>

レーザクリーニング技術とは、レーザ光を用いたドライプロセスの洗浄技術であり、飛散物以外の廃棄物が出ないことから、環境規制の厳しいヨーロッパを中心に適用が進んでいる。当社では、2013年よりレーザクリーニング技術を用いた表面洗浄装置の開発を開始し、2015年にレーザクリーニング装置「レーザクリア 50」の製造・販売を開始した。本稿では、はじめに、レーザクリーニング技術を簡単に紹介し、続いて、当社製品の仕様、本機を使用した適用例、表面層除去性能の評価技術例を紹介する。また、現在実施中の開発例として、①可搬性向上を目指したバックパック型レーザクリア、②除去効率向上を目指した大出力型レーザクリア、および③除去性能の均一性向上を目指したレーザ照射端部処理機構について紹介する。

キーワード：レーザクリーニング技術、レーザ加工、ファイバーレーザ

1. はじめに

これまで、自動車や航空機をはじめとする工業製品の洗浄技術として、有機溶剤や酸などの薬品による洗浄、水などを用いた高圧洗浄、サンドブラストによる洗浄などが広く用いられてきた。しかしながら、近年、環境規制が厳しくなったことから、これらの洗浄方法で排出される二次廃棄物処理の課題を解決するため、廃材がほとんど出ないレーザクリーニング技術に注目が集まっている。

レーザクリーニングは、高いエネルギー密度のレーザ照射により固体あるいは液体の表面から構

成物質が爆発的に昇華、蒸散されるレーザアブレーションと呼ばれる現象を利用している。近年、数多くのタイプのレーザ発振器の開発が進んでおり、パルスレーザに関しては瞬間的に高いエネルギーを連続的に投入することが可能になった。レーザクリーニングは主にこの技術を応用して、開発が進められている。

本技術は、すでに、溶接の前後処理、塗装などの表面層除去、金型や部品の鑄取りや表面仕上げなど、数多くの分野に適用、もしくは、検討、試行がされており、今後も、さらなる応用分野の拡大が予想される⁽¹⁾⁽²⁾。

当社では、レーザクリーニングのメリットを最

*1：機器装置事業部 レーザ技術グループ 次長
*2：機器装置事業部 レーザ技術グループ 課長
*3：機器装置事業部 レーザ技術グループ

大限に活かせるように研究開発を実施し、2013～2014年にかけて最大平均レーザ出力が20Wのレーザクリーニング装置「レーザクリア20」を開発した⁽³⁾⁽⁴⁾。続いて、2015年にレーザ出力を50Wに増加させた「レーザクリア50」の販売を開始した。本機は、すでに自動車分野などに適用していただいているとともに、さらなる応用分野の拡大を目指し開発を継続中である。本稿では、レーザクリーニング技術を簡単に紹介し、続いて、製品版「レーザクリア50」の紹介とその適用例、除去性能の評価実施例を紹介する。また、現在進めている応用分野拡大を目指した技術開発例を紹介する。

2. レーザクリーニング技術の概要

2.1 レーザクリーニングの特徴

従来技術（洗浄工程）とレーザクリーニングのメリット、デメリットを図1、図2に示す⁽¹⁾。レーザクリーニングプロセスは溶剤や水などを用いないドライ環境でのクリーニングであり、二次廃棄物の処理を必要とせず、機械的な切削とは異なり非接触加工であるため、処理条件を適正に選定することにより母材自身を傷つけずにクリーニングを行うことが可能である。

また、化学洗浄では、通常マスキングなどで非施工部の保護を行うが、レーザクリーニングでは

洗浄方法	メリット	デメリット
薬液超音波洗浄	・汚れが隅々まで落ちる	・廃液処理が必要 ・表面を傷つける
サンドブラスト	・扱いやすい	・表面を傷つける ・粉塵
ドライアイスブラスト	・製造現場での洗浄が可能	・洗浄能力が低い ・騒音 ・ランニングコスト
洗浄ゴムシート	・製造現場での洗浄が可能	・洗浄能力が低い
レーザ	→図2	・初期コスト ・光が当たらない場所は除去できない

図1 従来の洗浄技術のメリット・デメリット

- (1)水・薬剤・プラスト材を使用しない。
→ 光エネルギーのみを使用するため廃棄物量が大幅に削減
- (2)ドライプロセスである。
衛生的な環境の保持
- (3)母材にダメージを与えない。
金属母材の損傷なしに表面層の除去が可能
- (4)非接触である。
レーザ光による非接触クリーニング方式
- (5)無騒音である。
作業環境及び周辺環境への騒音低減
- (6)高精度コントロール・表面層の一部の除去が可能
従来のマスキング方式から、塗装後のクリーニングとすることで生産性が向上
マスクの製造・取付・洗浄工程が不要
- (7)低ランニングコスト
薬品・水・プラスト材などにかかるランニングコストが不要
- (8)インラインプロセス処理が容易
溶接工程においてロボットによる一括処理が容易で、前処理工程を大幅に短縮可能

図2 レーザクリーニングのメリット

マスキングを使用しなくても、非施工部に影響を与えることなく洗浄を行える利点があり、マスキング工程（材料の調製、塗布、剥離処理）の省略に伴い、大幅な生産性向上、コストダウンが可能である。

これらのメリットを活かし、溶接前の脱脂や塗装、酸化膜の除去処理、溶接後の溶接焼けのクリーニング、金型や部品表面の錆取り、清掃や仕上げ処理、塗装膜やめっき層の除去、および原子力プラントの除染など幅広く適用されはじめている。

2.2 レーザクリーニング技術の基本原則

レーザークリーニングは、レーザーアブレーションと呼ばれるレーザー照射による物質の蒸散を利用する加工プロセスである。パルスレーザーをスキャナで走査し、材料の最表面層に照射することで、表面のコーティング層、あるいはコンタミ層（腐食層、汚染層など）を蒸発させる。同時に材料の表面にはマイクロプラズマが生成し、その衝撃波、熱膨張圧で目標物が破壊される。適正なレーザーパラメータを選択することで母材に損傷を与えることなく安全にコンタミ層のみを除去することができる。生成した飛散物はバキューム装置で吸引し、フィルターに吸着させることにより回収が可能である。

母材に損傷を与えないためのレーザークリーニングの要件として、**図3**に示すように表面層がアブレーションを起こすために必要なエネルギー密度を E_c 、母材そのもののアブレーションが起きるエネルギー密度を E_s とした場合、 $E_c < E_s$ の関

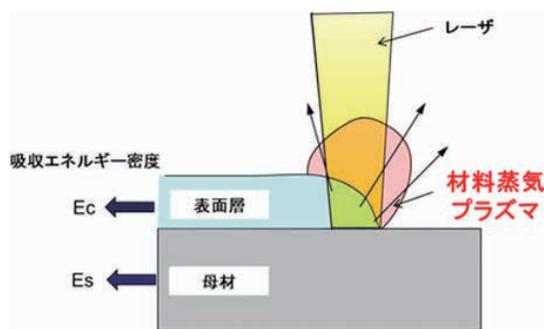


図3 レーザクリーニング技術の基本原則

係が成り立つ必要がある。

3. 「レーザークリア 50」を使用したレーザークリーニング技術

3.1 「レーザークリア 50」の仕様と除去例

当社では、レーザークリーニング技術のメリットを活かし、2014年にプロトタイプ機「レーザークリア 20」を開発し、「2014 国際ウエルディングショー」にて展示した。その際に要望が多かった除去性能の向上を図るため、レーザー出力を高出力化した製品版「レーザークリア 50」を開発し、2015年に販売を開始した⁽²⁾。その主な仕様を**表1**に、装置外観および照射ヘッドの外観を**図4**に示す。本機は、クラス4レーザーの安全対策を適正に実施することにより⁽⁴⁾、ユーティリティとして商用電源であるAC100Vを使用するだけで、効果的な洗浄技術を提供することが可能である。

この「レーザークリア 50」を使用した表面層除去の例として、**図5 (a)** チタンの溶接焼け、**(b)** 塗装面、**(c)** 錆、**(d)** アルミの酸化被膜の除去

表1 「レーザークリア 50」の主な仕様

電源	単相50/60Hz AC100V 15A
冷却方式	空冷
サイズ/重量	(本体) W525 × D475 × H965mm/85kg (照射ヘッド) W100 × D320 × H58mm/2300g
レーザー種類	ファイバーレーザー クラス4
最大平均出力	50W
ダイオード寿命	10,000時間(期待値)
スキャン幅	~100mm

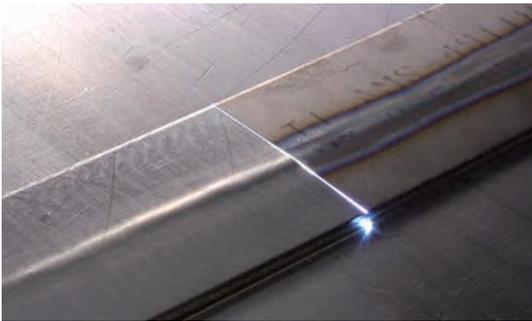


(a) 装置部 (本体)

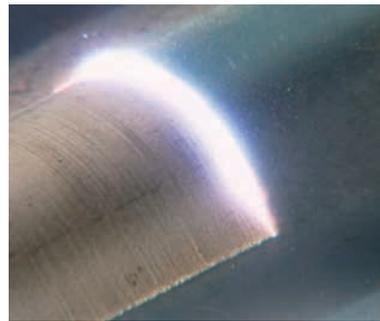


(b) 照射ヘッド部

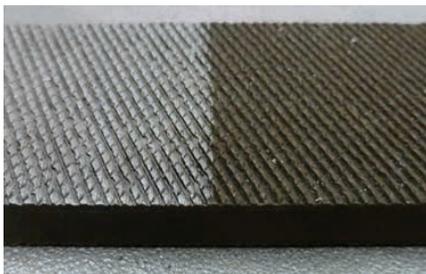
図4 「レーザクリア 50」の外観



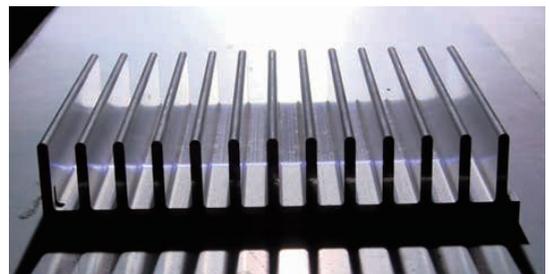
(a) 溶接焼け



(b) 塗装



(c) 錆



(d) 酸化被膜

図5 レーザクリアによる表面層除去例

状況をそれぞれに示す。このように、レーザクリーニング技術は、(a)～(c)に示すような各種の表面層除去として適用範囲が広いだけでなく、(d)に示すように機械的な除去が困難な狭あい部にお

ける除去が簡便に行えること、空間的な選択的除去が容易に可能であることなど、生産技術として極めて有用である。

3.2 除去性能の解析例

レーザークリーニングによる表面層の除去状況は、材料表面の外観から評価できる場合も少なくない。しかしながら、表面層の除去性能や母材変化の有無を厳密に評価することは容易ではない。当社では、除去した表面層の面積や除去物の重量などによる除去効率とともに、母材変化を評価するため、詳細な材料表面の観察や断面マクロ観察、EPMA（電子線マイクロアナライザ）による表面

層の残留物評価結果を提供している。図6、図7はそれぞれ、アルミの酸化被膜の除去状況の表面および断面マクロ観察、EPMAの面分析を実施した例である。これらは、レーザー照射の1パルスのエネルギーにより除去性能が変化する場合の評価結果を示している。表面層の残留物評価が必要な場合、これらの技術により除去状況を評価することが重要である。

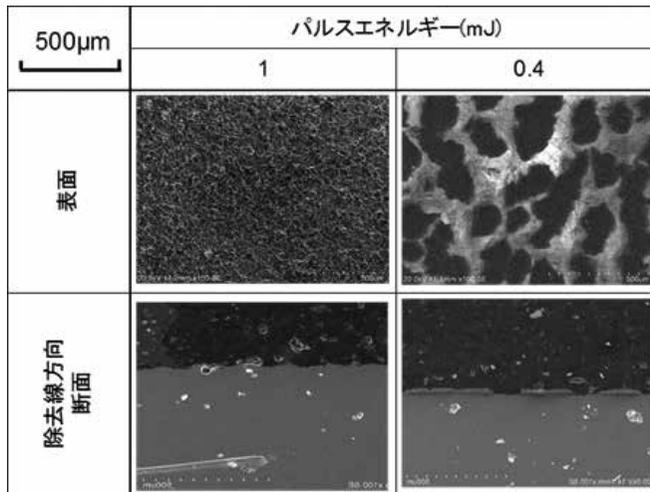


図6 表面観察および断面観察による除去性能の評価

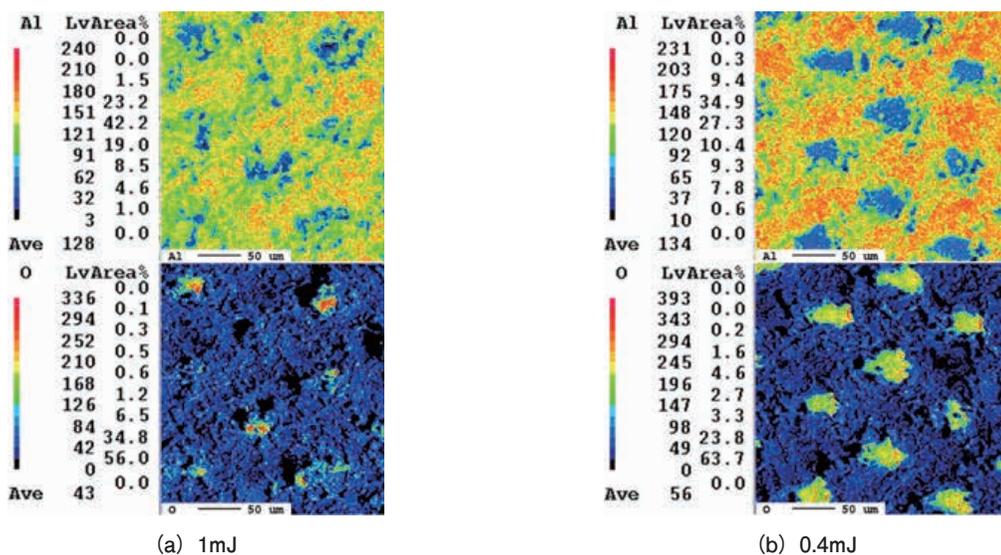


図7 パルスエネルギーを変化させた場合のEPMAによる表面層の除去状況の評価例

4. 応用分野拡大を目指した開発

当社では、現在も、レーザークリーニング技術の応用分野拡大を目指し、(1)～(3)に示す目的の研究開発を継続している。以下にそれぞれの開発例を示す。

- (1) 装置軽量化・小型化による可搬性向上
- (2) レーザ出力の大出力化による除去性能向上
- (3) より均一な表面層除去性能の提供

4.1 バックパック型レーザークリアの試作

レーザークリーニング装置の可搬性向上が要求される現場作業のような箇所に対処するため、表2に示すように、レーザークリア 50 と比較し、大幅な小型化・軽量化を達成した試作機を開発した。この試作機の外観を図8に、使用状況を図9(a)

に示す。現場作業における狭あい部の表面層除去を想定し、小型化とともに、重量に関して19.5kgと大幅な軽量化を達成した。本機を用いることにより、大型装置の導入が困難な場所であっても、背負って持ち込むことが可能であり、商用電源を導入するだけでレーザークリーニングが可能となっ



図8 バックパック型レーザークリア試作品の外観

表2 バックパック型レーザークリアの開発内容

要求	実施内容	結果
装置小型化	・本体タッチパネル部の廃止 ・各部品配置の見直し	「レーザークリア 50」の約 1/5 の容積 W:525mm D:475mm H:965mm →W:360mm D:254mm H:500mm
装置軽量化	・筐体素材の軽量化 ・タッチパネル廃止による電源軽量化 ・耐強度の見直し	「レーザークリア 50」の 1/4 以下 85kg→19.5kg
操作の簡易化	・Wi-Fi 通信による ガイド光/Laser 切替	パラメータ選定やガイド光/Laser の切替など、すべて手で操作可能
メンテナンスの簡易化	・空冷を活かした部品配置の工夫	装置空冷によるメンテナンスの簡易化・可搬性向上



(a) 狭あい部の施工例



(b) モックアップ試験体

図9 バックパック型レーザークリアの橋梁塗装剥離への適用検討例

た。合わせて、レーザー出力などのパラメータ選定を本体部から手元で操作できるように変更するなど、現場における作業性を考慮した設計とした。

現在、IHIグループでは、橋梁の狭あい部の塗装剥離への本機の適用を目指し、**図9 (b)** に示すモックアップ試験体を用意し、試験を進めている。

4.2 大出力型レーザークリーニング装置の開発

可搬性よりも除去効率の高い洗浄処理が求められる適用箇所に対する解決方法としてレーザー出力を増加させる方法が考えられる。当社では、各種のレーザー発振器を用い、高出力レーザーを発生させることにより、除去効率を増加させる試験を実施した。その結果を**図10**に示す。この結果と必要な除去効率などの要求仕様から、レーザー発振器、冷却システムなどを総合的に選定し、提案可能な体制を整えている。**図11**は、レーザー出力500Wのレーザー発振器を使用した場合のレーザークリーニング装置の検討例である。

4.3 レーザー照射端部の除去性能の均一化

レーザークリーニング技術において、洗浄範囲を面とするためにはいくつかの方法がある。レーザー



図11 大出力型レーザークリーニング装置の検討例

クリアシリーズは**図12**に示すようなガルバノスキャナによりレーザー照射位置をスキャンニングしてクリーニングを行っている。この方法の場合、**図12**に示したレーザー照射端部において、**図13**に示すように除去性能が不均一になる場合がある。このような不均一性の問題を解決するため、レーザー照射端部におけるレーザー出力を制御する方法を使用したレーザー照射端部処理機構を開発した。この結果、**図14**に示すように、レーザー照射端部においても均一に表面層を除去することが可

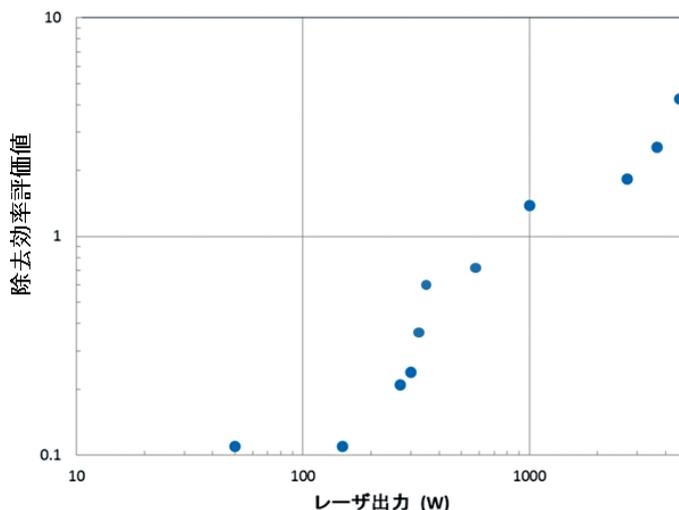


図10 レーザー出力増加による除去能率の向上

能になった。本技術は、わずかな母材の除去量や母材組織の変化が問題になる適用対象に対して不可欠な技術である。

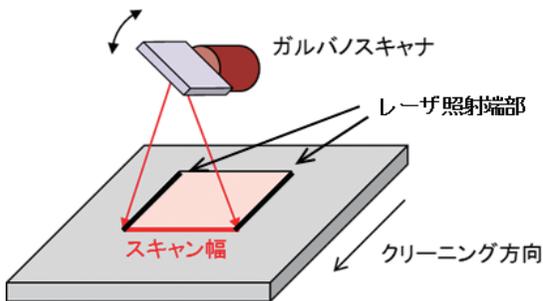


図 12 ガルバノスキャナによるレーザークリーニング

5. おわりに

当社では、レーザークリーニング装置「レーザークリアシリーズ」として各種の研究開発を行っており、本稿では以下の内容について紹介した。

(1) 現在、販売中の「レーザークリア 50」の仕様とその適用例として溶接焼けの除去、塗装剥離、錆の除去、アルミの酸化被膜除去を紹介した。

(2) 当社で実施しているレーザークリーニング技術の評価方法の一例として、アルミの酸化被膜除去の場合の断面観察や EPMA の結果を紹介した。

(3) 大幅に軽量化・小型化を達成した試作機

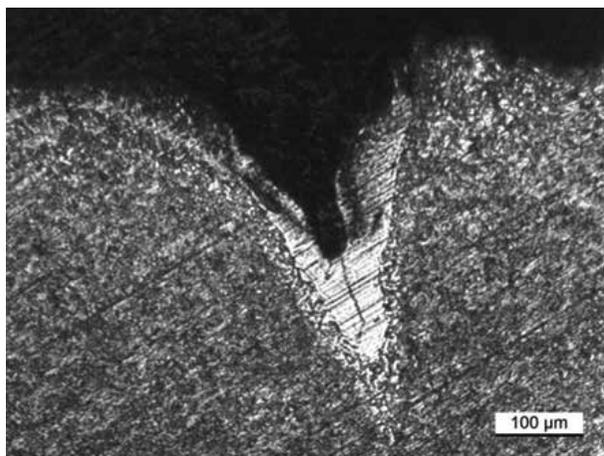
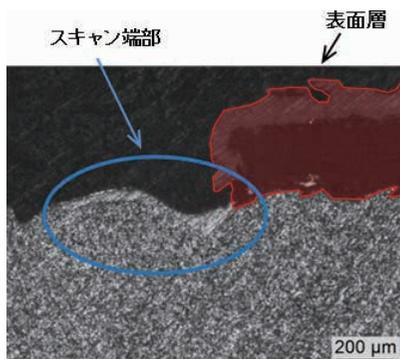
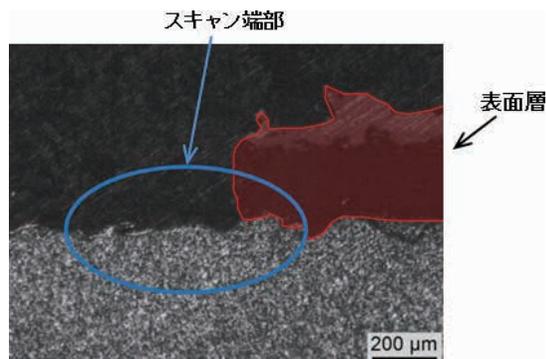


図 13 レーザ照射端部において除去能力が不均一になる例



(a) 端部処理なし



(b) 端部処理あり

図 14 レーザ照射端部処理機構による除去性能の均一化

「バックパック型レーザーリア」の仕様とその外観、および本機の橋梁塗装剥離への適用例を紹介した。

(4) 除去効率を向上させるために、大出力レーザーを用いた場合の除去効率増加例を示した。それと同時に、大出力型レーザーリアの装置外観の検討例を紹介した。

(5) レーザ照射端部処理機構を用いることにより、より表面層除去性能の均一化と母材の損傷低減が可能になった。

レーザークリーニング技術には、現在開発中の技術を製品へ適用するだけでなく、自動化への適用や、特殊環境への対応、安全性の向上など、幅広いニーズがあり、今後もこれらに対応した技術開発を行っていく。

参考文献

- (1) 三瓶和久、社本英泰、本村孔作：レーザークリーニング技術とシングルモードファイバーレーザー加工例の紹介、レーザー加工学会誌、Vol.17、No.4、2010、pp.164-170
- (2) 大脇桂：レーザークリーニング装置の適用：レーザーリア紹介、溶接技術、第62巻、第11号、2014/11、pp.61-66
- (3) 大脇桂：レーザークリーニング装置「レーザーリア20」、IIC REVIEW、No.52、2014/10、pp.88-90
- (4) 金属のドライクリーニング：IHI 技報、第54巻、第3号、2014、pp.40-41
- (5) レーザー光線による障害防止対策要綱：厚生労働省 労働基準情報、基発第0325002号別紙、2005年3月25日



機器装置事業部
レーザー技術グループ
次長
大脇 桂
TEL. 045-759-2120
FAX. 045-759-2534



機器装置事業部
レーザー技術グループ
課長
川口 勲
TEL. 045-759-2120
FAX. 045-759-2534



機器装置事業部
レーザー技術グループ
海老名 信一
TEL. 045-759-2120
FAX. 045-759-2534



機器装置事業部
レーザー技術グループ
藤田 秀一
TEL. 045-759-2120
FAX. 045-759-2534



機器装置事業部
レーザー技術グループ
大阿見 尚弥
TEL. 045-759-2120
FAX. 045-759-2534



機器装置事業部
レーザー技術グループ
牧 聡美
TEL. 045-759-2120
FAX. 045-759-2534