高付加価値設計・製造を実現する レーザーコーティング技術の研究開発

研究テーマ責任者：大阪大学　塚本雅裕

参画機関：

委託先：大阪大学接合科学研究所，日本原子力研究開発機構

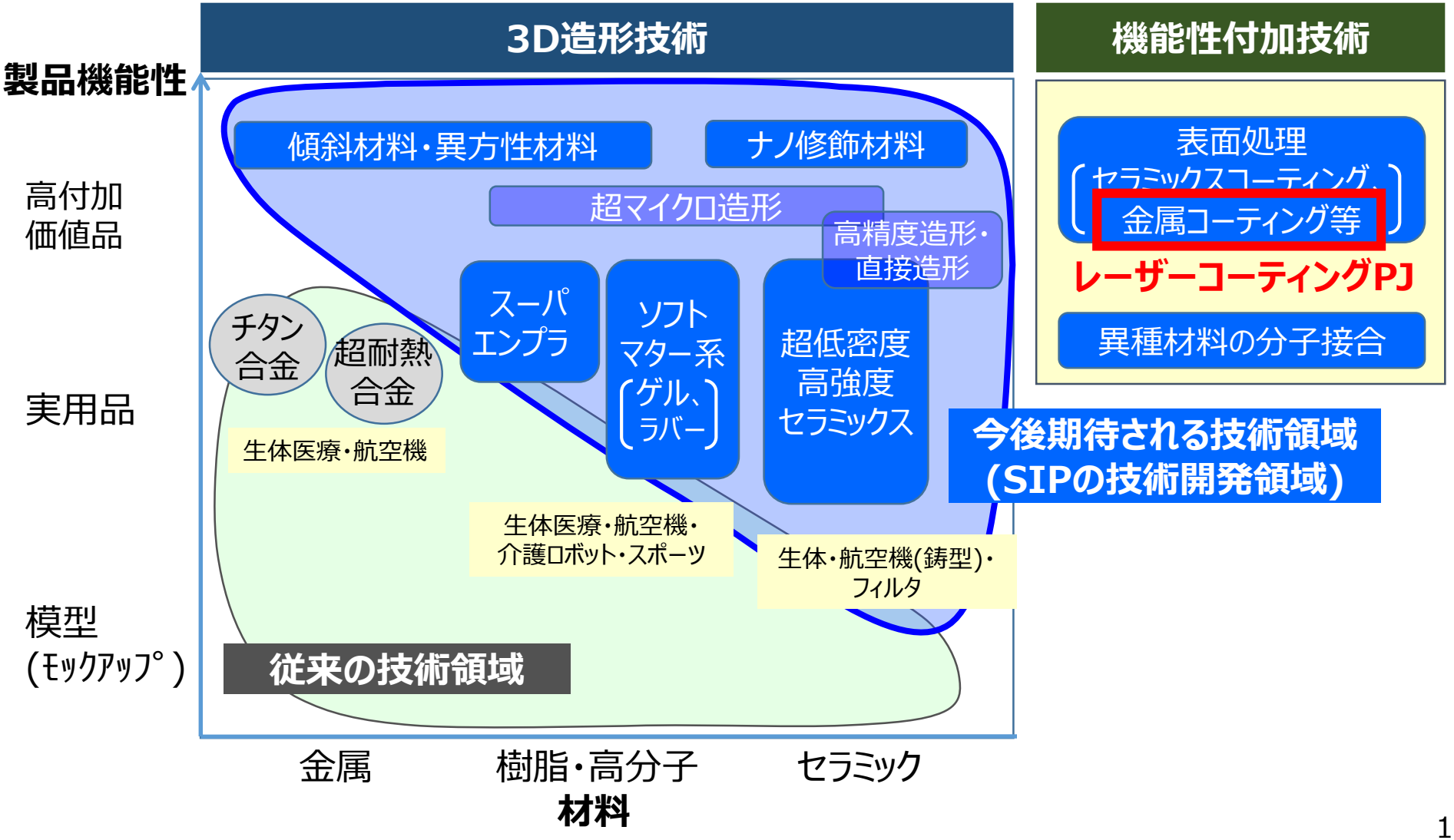
共同実施先：石川県工業試験場、大阪富士工業（株）、（株）村谷機械製作所、山陽特殊製鋼（株）
古河電気工業（株）

SIP革新的設計生産技術
公開シンポジウム2017
―革新的ものづくりの実現をめざして―

フクラシア品川クリスタルスクエア
2017年11月13日（月）
10:25－10:40

革新的設計生産技術における位置づけ

多様なニーズに応じた設計に対応できる、複雑な形状や、多様な材料を用いて従来にない機能を実現する生産技術が重要

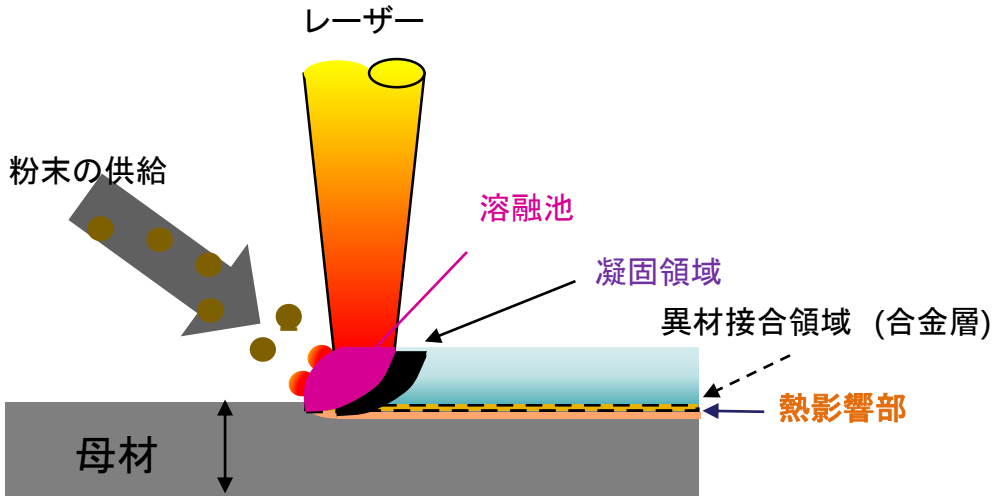


SIP 革新的設計生産技術

高付加価値設計・製造を実現する
レーザーコーティング技術の研究開発

ACTION D

レーザークラッディング（肉盛溶接）技術の高度化
レーザーコーティング技術へ



技術開発課題

- 溶融池安定化技術
- 凝固速度制御技術
- 熱影響部極小化技術
- 異材接合領域極小化技術
- 粉末供給制御技術
- 粉末材料制御技術開発　etc.

} レーザーによる入熱制御技術（時間的・空間的波形制御技術）

大阪大学接合科学研究所　日本原子力研究開発機構

【共同実施】

大阪富士工業　村谷機械製作所　石川県工業試験場

古河電気工業　山陽特殊製鋼

【技術協力】

島津製作所　日亜化学工業

富士高周波工業

片岡製作所　大阪大学光科学センター

【ユーザー連携】

ヤマザキマザック

目 次

1. 背景
2. 目標
3. 実施内容のアピールポイント
4. 研究開発成果
5. 社会実装に向けての提案
6. まとめ

研究背景

【背景(課題)】

- 高付加価値製品を創出可能な三次元造形技術「難加工材」。これまでにない高強度化、長寿命化、軽量化、低コスト化、高機能化等　の高付加価値を生み出す生産・製造技術等の高度化
- イノベーションスタイルの実証・実践研究開発成果を使用した企業や個人ユーザーの意見を得て新たな問題点を洗い出し、研究開発に迅速に　フィードバックする、一連の試行錯誤を繰り返す仕組み

高機能化のための「難加工材」のコーティング

レーザーによる「難加工材」のコーティングを実現することにより、高強度化、長寿命化、軽量化、低コスト化といったユーザーニーズに応えるものづくりに大きく貢献する。

目　標

高付加価値設計・製造を実現するレーザーコーティング技術の研究開発

開発項目

① 入熱制御技術の開発
（担当：日本原子力機構、大阪大学接合研、石川工試、山陽特殊製鋼、古河電工）

② モルテンプール型レーザーコーティング技術の研究開発
（担当：大阪富士工業、大阪大学接合研、日本原子力機構）

③ 非モルテンプール型レーザーコーティング技術の研究開発
（担当：村谷機械、石川工試、大阪大学接合研、日本原子力機構）

研究開発項目	最終目標	ベンチマークならびに目標理由
①入熱制御技術の開発	• レーザーコーティングの各種金属の基礎データベースの構築 • マルチカラーレーザーコーティング技術の開発（+α 分）	・レーザーコーティングのシミュレーション、SPring-8による高輝度放射光による解析、実践評価システムによるコーティング現象の解明を基に、世界初のレーザーコーティング技術を開発し、産業応用するため。
②モルテンプール型レーザーコーティング	• 連続コーティングにおける母材温度変化が及ぼす影響の解明と長時間のレーザーコーティング膜質安定化を可能とするフィードバック制御に必要な安定化因子の特定	・従来技術と比較するためにユーザー目線の実証試験を行い、レーザーコーティングの優位性を明らかにするため。 ・世界最高品質のレーザーコーティング技術を開発するため。
③非モルテンプール型レーザーコーティング	• 最小コーティング幅が0.3mm以下、最小厚さ0.1mm以下を実現するレーザーコーティング装置の開発	・世界最高レベル以上のレーザーコーティング精度を達成するレーザーコーティング装置を開発するため。

アウトプットに対するベンチマーク①
直噴型レーザーコーティングヘッド

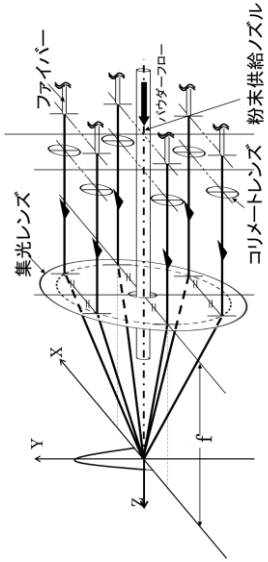
	テーマ実施	代替Ａ
	直噴型レーザーコーティングヘッド	A社製　LMDヘッド（同軸タイプ）
最小噴流径	ϕ0.5mm以下	ϕ0.6mm以上
噴流集束長(コア長)	5mm以上	1mm以下
最小レーザー集光径	ϕ0.28mm	ϕ0.3mm以上
施工可能姿勢	垂直方向から水平方向まで自在	垂直のみ
重量	1kg	10kg
価格	2,000千円	6,000千円
汎用性	3Dコーティング可能	2Dコーティングのみ

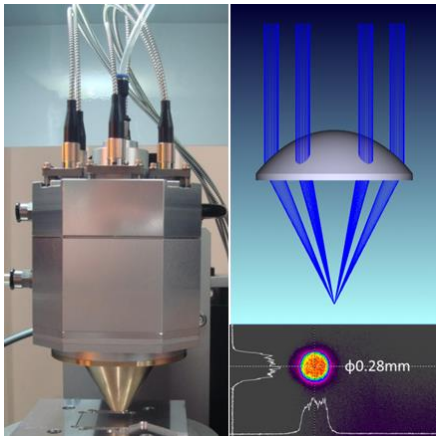
ＰＲポイント

・粉末噴流径が細く，その集束長さ(コア長)が長いため，精密で微細なコーティングが可能

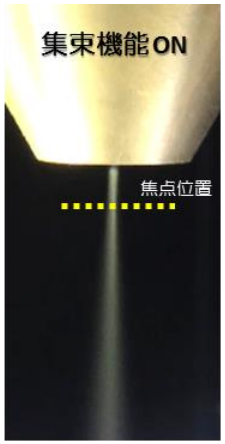
・軽量でコーティング姿勢に制限がなく，工作機械やロボットと組み合わせての利用が可能

・低価格





マルチビーム式コーティングヘッド



粉末噴流の集束を実現

具体的成果、テストユース

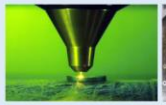
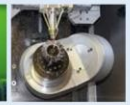
(1)ヤマザキマザック㈱

《ニーズ》
- 水平まで傾斜可能なハイブリッド工作機機械向けレーザー加工ヘッドを開発したい
- 付加加工時の熱変形を低減したい
- 低コスト化を図りたい

■従来技術等での問題

《従来製造方法》
- 粉末原料をサイドから供給する方式のレーザー加工ヘッドを搭載

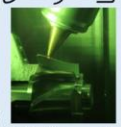
《従来技術の課題》
- レーザー加工ヘッドの姿勢は下向きのみ
- 加工時の熱変形が大きい
- 高コスト

■【ツール／技術名】

《技術名》
- マルチビーム式直噴型レーザーコーティングヘッド

《改良点》
- 原料粉末をセンタから供給することで噴流の指向性向上
- ヘッドを水平近くまで傾斜させても動作可能
- 熱変形が小さい
- 低コスト


傾斜可能ヘッド

従来品

開発品

新型ハイブリッド工作機械

■将来への発展

《ハイブリッド工作機械》
- 新型ハイブリッド工作機械として販売

《課題》
- コーティング速度の向上

《H30年度の取組》
- レーザー光の高出力化

(2)耐食性二相ステンレス鋼のコーティング

■ 企業のニーズ

・腐食性流体中で使用する部品の耐摩耗性、耐食性を向上させたい。（海洋プラント等）

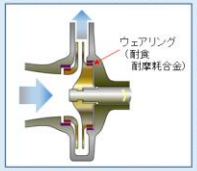
フランジ部　隙間腐食

■ ツール活用で判明した問題点

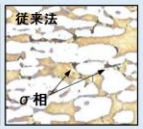
・腐食性流体で使用する部品は、二相ステンレス鋼が用いられる場合が多い。
二相ステンレス鋼は、被覆時に入熱が大きいと、それにより耐食性の劣化や脆化が生じるおそれがある。
（従来の肉盛溶接では、施工は困難）

■ 代表的な改良点（研究開発への反映）

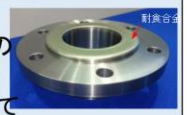
【大型ポンプ用ウェアリング】



レーザーコーティングの入熱を抑えた施工により、母材への耐食性、じん性を確保し、さらに硬度と耐食性を備えた表面改質に成功しました。



【耐食フランジ】



金属同士やパッキンとの隙間において隙間内外の濃淡電池作用によって腐食が進行する『すきま腐食』が起こる。レーザーコーティングにてフランジ面に歪の無い耐すき間腐食材料を被覆することに成功しました。

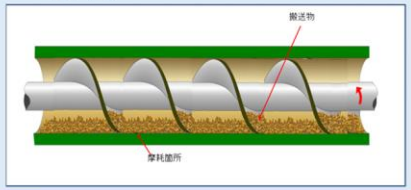
(3)耐摩耗性付与スクリューコンベアー

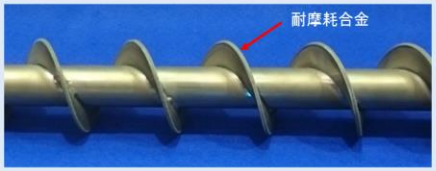
・粉体や砂利、その混合物や高粘度液体などの搬送に使用するスクリューコンベアは、スクリュー先端部とケース内面との間に入り込んだ搬送物による、先端部の摩耗が大きな問題となっている。そこで先端部の耐摩耗性を向上させて、長寿命化を図りたい。

■ ツール活用で判明した問題点

・従来の肉盛溶接等では、先端部が薄いために溶け落ち施工が困難。そのため、窒化や焼入などの薄い硬化層しか形成することができない。

■ 代表的な改良点（研究開発への反映）





レーザーコーティングを用いることにより、硬化層がミリオーダーとなり、大きく機械寿命を延長することに成功しました。

(4)【石川県工業試験場】

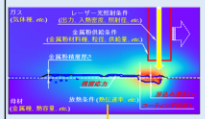
計算科学シミュレーションによるレーザー照射条件の適切化とフロントローディングの実現により、レーザーコーティング装置の一般産業展開時におけるエンドユーザーの負荷軽減を図る。

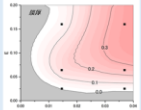
■従来技術等での問題

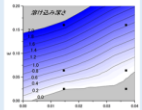
レーザー照射条件の適切化を行う場合、設計空間の可視化等を実験により行う必要があるが、この作業ではトライアル＆エラーを伴う膨大な時間とコストを要求し、場合によっては数カ月にも及ぶ期間が必要となる。

■【計算科学的手法を用いたレーザーコーティングシミュレーションコード SPLICE】

汎用エンジニアリングワークステーション上で、レーザー照射による金属溶融から、加工終了後の金属凝固までのプロセスを一気通貫で評価可能となり、設計空間の可視化とレーザー照射条件の適切化作業を数週間で実施可能とした。SPLICE コードと同等なパフォーマンスを有するものは世界的にも皆無の状況である。


【 SPLICE シミュレーション 】


【 膜厚の設計空間】


【 溶け込み深さの設計空間】

■将来への発展

SPLICE コードを利用する上での入力データ規定等の自動化を達成し、エンドユーザーの負荷を更に低減するため、専門家知識をデータベースとする知識処理機能を導入する。

社会実装に向けて

レーザーコーティングの研究開発により従来法(例えばPTA法)では、施工が困難であった製品に(材質的・形状的)機能性表面改質技術の適用が検討され、優位性についても検証が進んでいる。レーザーコーティング技術の研究開発の内容を各種展示会・学会発表にて幅広くPRする事により、さらなるテストユースの増加と各種蓄積されたデーターにより、各テストユース先の企業での製品化に繋げる。

レーザーコーティング技術は、従来法(PTA)との比較にて(材質的・形状的)機能性表面改質の優位性・適用が確立され、大阪大学接合科学研究所・石川県工業試験場にてテストユースを提供して課題を抽出し、研究開発にフィードバックされている。そのため、継続的に製品化及び事業化に向けた開発は体制が確立されている

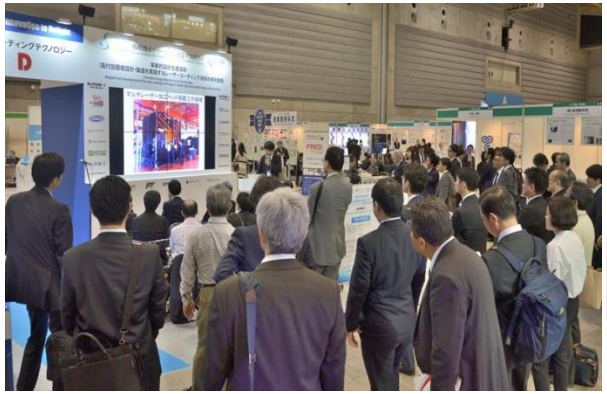
社会実装に向けて

◇普及活動における装置デモ

普及活動において、ポスター展示、成果発表だけでは、次のステップに進まない。

原因：　ユーザー側の誤解や偏見が生じやすい

出張成果発表

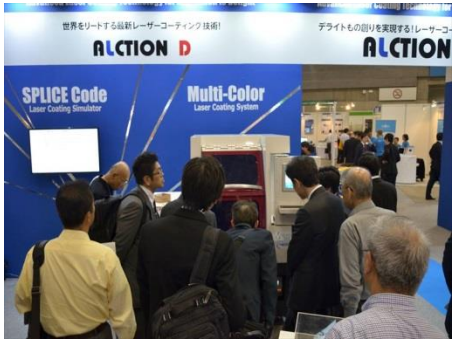


成果の普及のために、レーザーコーティングの原理・現象の解明や応用展開とシーズの提供

出張コーティングデモ

- **実演によって、開発した技術の理解が深まる**
- **ユーザー側のニーズの発掘**

コーティング装置の演習（使い方およびテストユース作製）



- ユーザーに応じた加工相談
- 装置使用に関する講習
- 事例等の開示

テストユース依頼　・　装置の購入依頼　⇒　製品化・実用化へ加速

日経テクノロジーonline

JIMTOF2016

複数レーザーで金属を造形するハイブリッド加工機

ヤマザキマザックがSIPの成果を適用して製品化

中山 力　2016/11/01 19:14

ヤマザキマザック（本社愛知県・大口町）は、切削技術と付加製造（AM：Additive Manufacturing）技術を融合したハイブリッド加工機の新製品「INTEGREX i-200S AM （M-LMD仕様）」を開発し、2016年11月17日に販売を開始する。金属材料を使う付加製造技術として、内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」の成果である「マルチレーザー式金属積層 （Multi-Laser Metal Deposition：M-LMD）技術」を適用した。

M-LMD技術は、複数のレーザービームをヘッド先端より照射し、中心部より噴出される金属粉末を効率良く溶融して積層する造形技術。加工点へ金属粉末を安定して供給できるため、金属粉末の溶融効率を高め、母材への熱影響を低減できる。従

図1　「INTEGREX i-200S AM （M-LMD仕様）」
切削加工の機能に、金属の付加製造（AM：Additive Manufacturing）技術である「マルチレーザー式金属積層（Multi-Laser Metal Deposition：M-LMD）技術」を融合した。

技術協力企業：
ヤマザキマザック

⇒　耐久性評価

ユーザー連携企業：
ヤマザキマザック

⇒　製品化

加えて新製品では、加工領域の制限やなどの影響を排除するため、ガントリー発している。ガントリー駆動式AM加工軸と独立して駆動するため、加工エリアークの制限が発生しにくい。大きな加工機部品などの複雑形状を効率よく造形す

図3　ガントリー駆動式加工ヘッド

機部品や化学プラントのバルブなどの強度や耐久性を向上させる金属型やタービンブーレードの部分補修や微細造形などを想定する。

ヤマザキマザックは、SIPの対象10課題の1つ「革新的設計生産技術」の研究テーマとして採択された「高付加価値設計・製造を実現するレーザーコーティング技術の研究開発」に参画。大阪大学接合科学研究所准教授の塚本雅裕氏の研究チームが開発したM-LMD技術を、同社のハイブリッド加工機へ応用して今回製品化した。

価格は9900万円（税別）からで、年間15台を販売目標とする。なお、同社はINTEGREX i-200S AM （M-LMD仕様）を2016年11月17日に開幕する「第28回 日本国際工作機械見本市（JIMTOF 2016）」に出展する予定だ。

当研究所加工プロセス学分野の塚本雅裕准教授が研究開発責任者を務める内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）革新的設計生産技術「高付加価値設計・製造を実現するレーザーコーティング技術の研究開発」の成果の一部(マルチレーザー加工ヘッド)を工作機械に搭載。第28回日本国際工作機械見本市 (JIMTOF 2016, Nov. 17 – 22, TOKYO BIG SIGHT, JAPAN)

国際金属加工見本市出展（ドイツ、ハノーバー）

EMO Hannover 2017

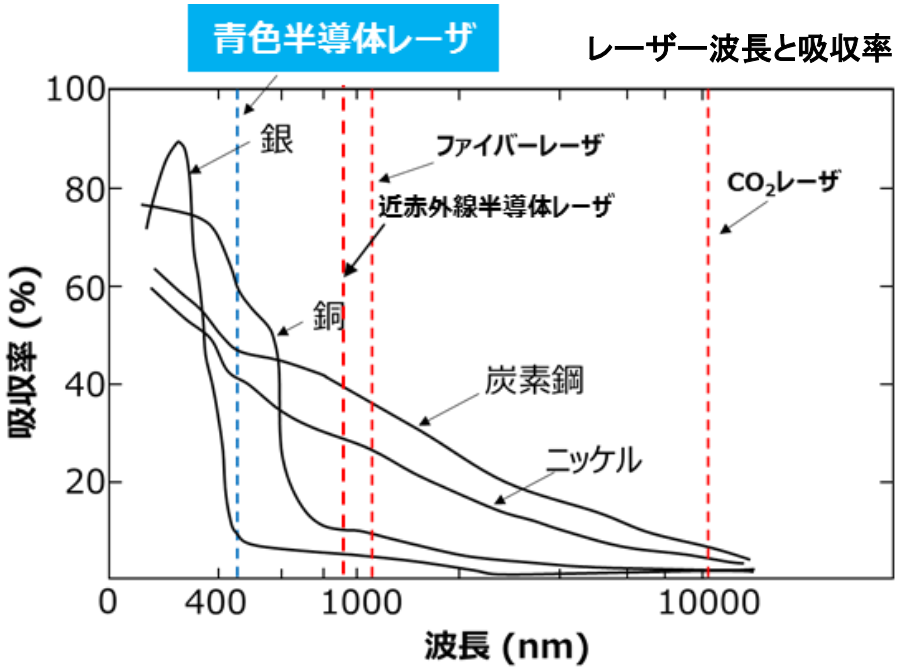
（2017年9月18日－23日）

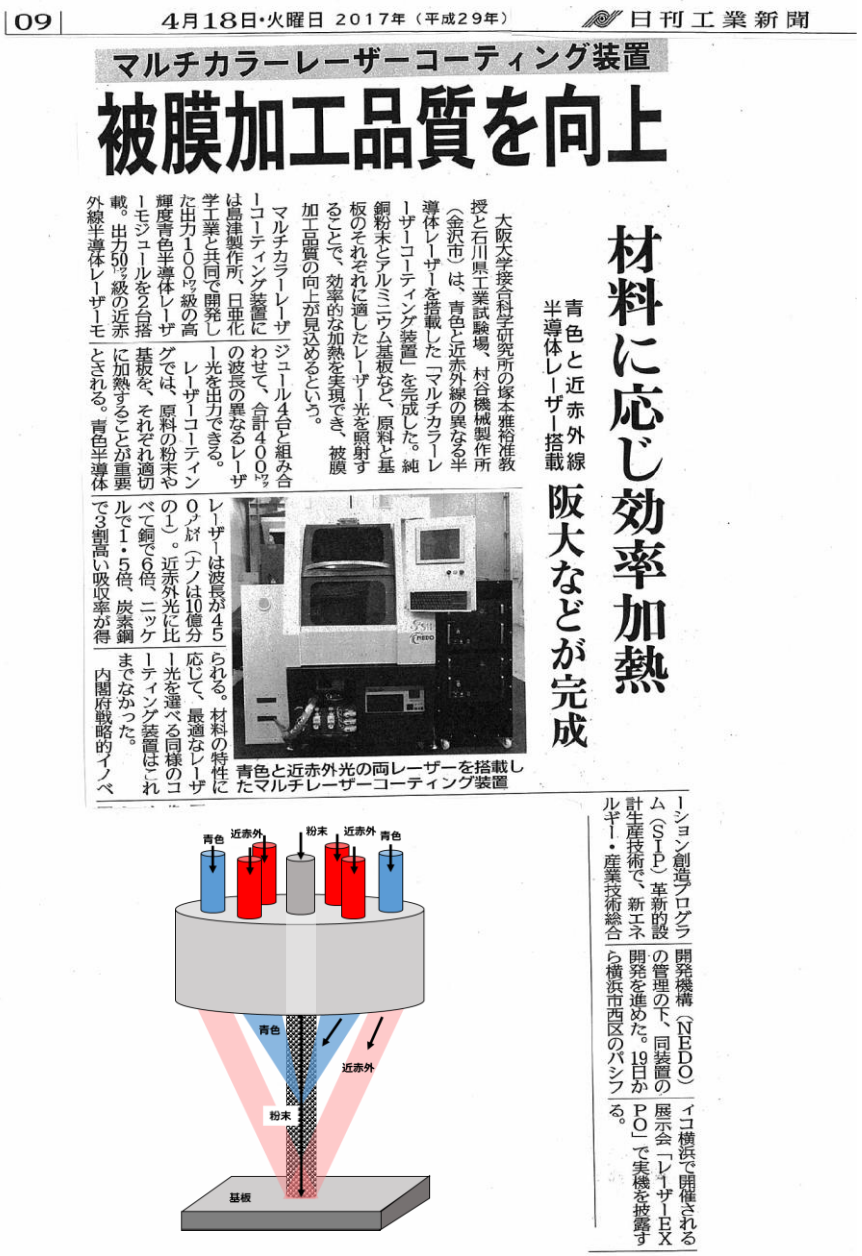
「マルチビーム式レーザーコーティングヘッド」搭載
複合加工機を世界に向けて販売

マルチビーム式レーザーコーティングヘッド

【機能性付加】高付加価値レーザーコーティング

社会実装に向けて





09 4月18日・火曜日 2017年（平成29年） 日刊工業新聞

マルチカラーレーザーコーティング装置

被膜加工品質を向上

材料に応じ効率加熱

青色と近赤外線半導体レーザー搭載 阪大などが完成

大阪大学接合科学研究所の塚本雅裕准教授と石川県工業試験場、村谷機械製作所（金沢市）は、青色と近赤外線の異なる半導体レーザーを搭載した「マルチカラーレーザーコーティング装置」を完成した。純銅粉末とアルミニウム基板など、原料と基板のそれぞれに適したレーザー光を照射することで、効率的な加熱を実現でき、被膜加工品質の向上が見込めるという。

マルチカラーレーザーコーティング装置には島津製作所、日亜化学工業と共同で開発した出力100ワット級の高輝度青色半導体レーザーモジュールを2台搭載。出力50ワット級の近赤外線半導体レーザーモジュール4台と組み合わせて、合計400ワットの波長の異なるレーザー光を出力できる。

レーザーコーティングでは、原料の粉末や基板を、それぞれ適切に加熱することが重要とされる。青色半導体レーザーは波長が445ナノメートル（ナノは10億分の1）。近赤外光に比べて銅で6倍、ニッケルで1・5倍、炭素鋼で3割高い吸収率が得られる。材料の特性に応じて、最適なレーザー光を選べる同様のコーティング装置はこれまでなかった。

内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）革新的設計生産技術で、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の管理の下、同装置の開発を進めた。19日から横浜市西区のパシフィコ横浜で開催される展示会「レーザーEXPO」で実機を披露する。

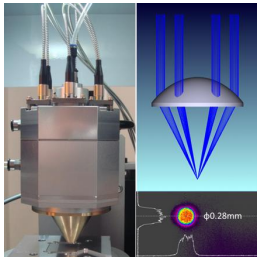
青色と近赤外光の両レーザーを搭載したマルチレーザーコーティング装置

まとめ

高強度化・長寿命化・軽量化・低コスト化に必要な高機能・高品質を実現するレーザーコーティング技術の開発

～ユーザ連携企業・技術協力企業との研究開発～

◇マルチビーム加工ヘッド



装置・技術の開発
プレスリリース・特許取得・
イノベーションスタイル

技術協力企業・
ユーザー連携企業にて
性能・耐久性テスト

ヤマザキマザック社のハイブリッド加工機
で製品化を実証

日本で出展

2016年11月
国際工作機械見本市
JIMTOF2017（日本）
に出展

世界へ向けて

2017年9月
国際金属加工見本市
EMO Hannover（ドイツ）
に出展

～SIP内での装置等の実用化進捗状況～

開発成果

- **5軸レーザーコーティング装置**
- **モルテンプール型レーザーコーティング技術**
- **SPLICEコードのシミュレーション技術　等**

SIPレーザーコーティングPJ 普及活動

- **展示会出展　計14回**
- **研究会主催　計10回**
- **学会・論文等での発表（100件以上）**

事業化に向けた取り組み

- **ユーザー連携企業・技術協力企業、共同研究企業などを通じて、課題等のヒアリングを行い、開発にフィードバック**