

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
—マルチレーザー加工ヘッドと青色半導体レーザーコーティング装置—

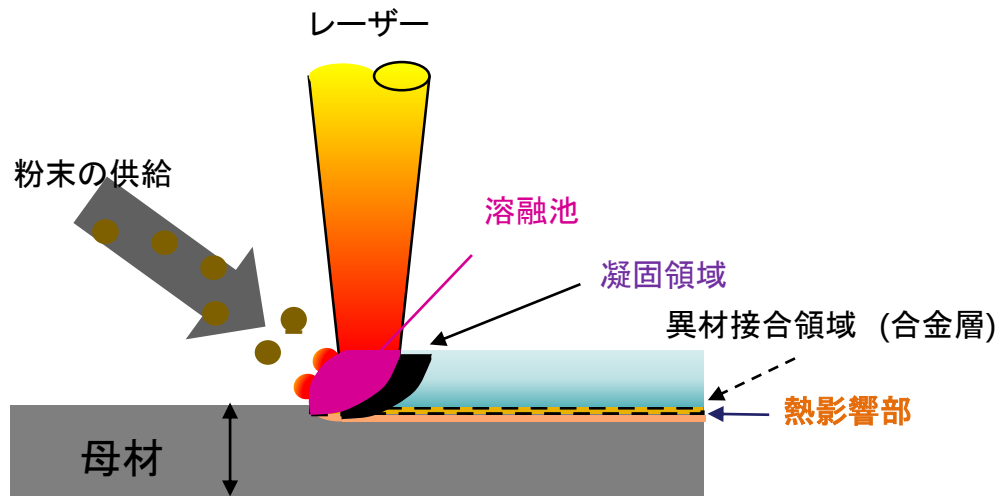
大阪大学接合科学研究所
塚本雅裕

—デライトものづくりによる高付加価値製品の創出をめざして—
SIP革新的設計生産技術 公開シンポジウム2016

2016年11月14日(月) 10:00 –17:00

ヒューリックホール、浅草、東京

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

- ・熔融池安定化技術
- ・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


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


**FURUKAWA
ELECTRIC GROUP**
古河電気工業


**山陽特殊製鋼株式会社
SANYO SPECIAL STEEL Co., Ltd.**
山陽特殊製鋼

【技術協力】


**OMRON
オムロン**


**富士高周波工業株式会社
富士高周波工業**


**株式会社 片岡製作所
片岡製作所**


**Osaka PhoPs
大阪大学光科学センター**

【ユーザー連携】

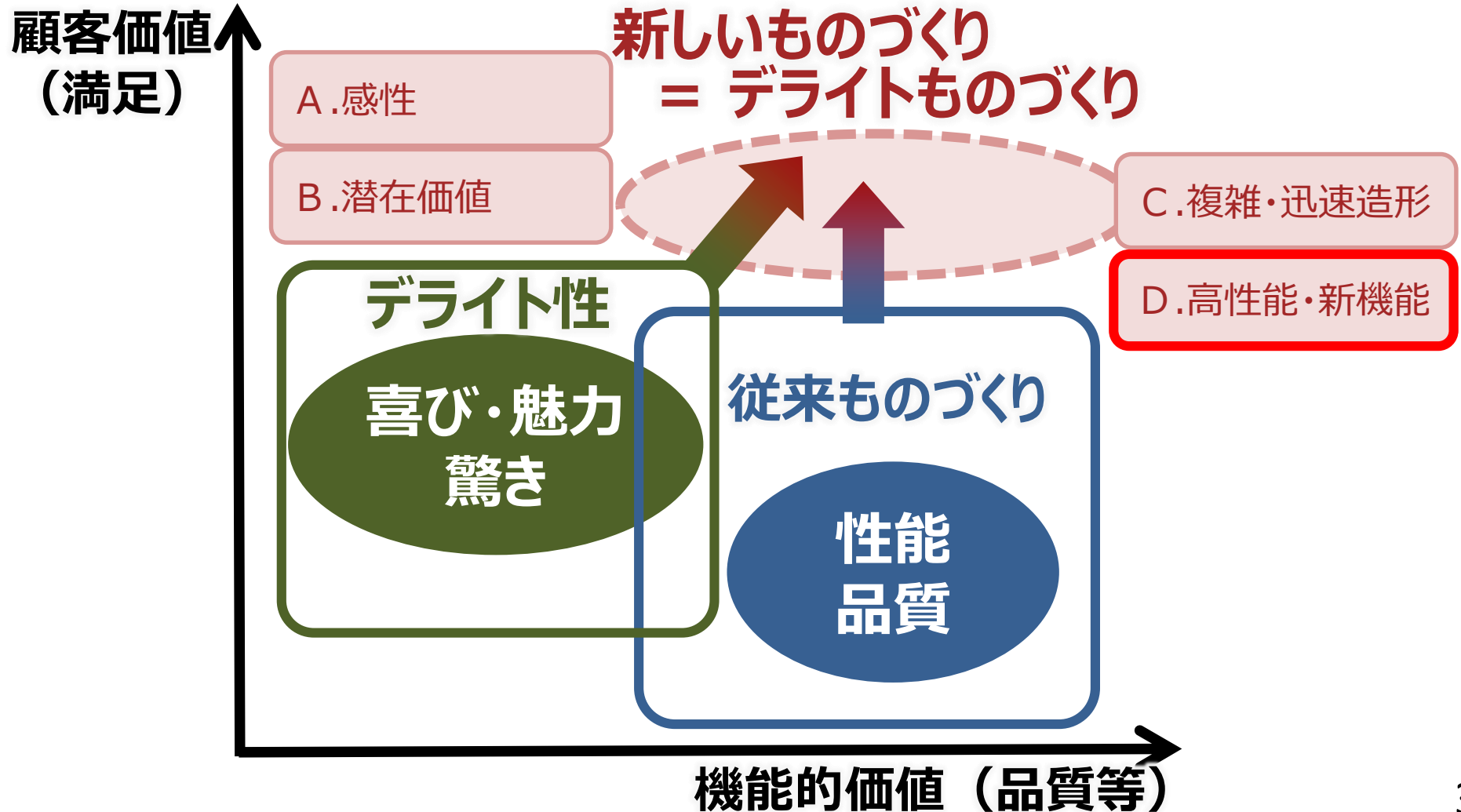

**SHIMADZU
Excellence in Science**
島津製作所


**NICHIA
日亜化学工業**


**Mazak
ヤマザキマザック**

SIP革新的設計生産技術が実現するデライトものづくり

S I P 革新的設計生産技術ではデライトものづくりの中で
A.感性 B.潜在価値 C.複雑・迅速造形 D.高性能・新機能
に集中的に取り組む



高機能材料の高速高品質レーザーコーティング技術開発

表面改質技術の背景

⇒ 耐摩耗、耐腐食・防錆、耐熱、耐衝撃、硬度向上、信頼性向上等、に表面改質技術は用いられている。

適用分野例

鉄鋼、石油化学製紙、樹脂、輸送機器、産業機械、エネルギー、医療機器、宇宙開発、環境機械、自動車等

従来技術

① 金属の熱処理加工

② 溶射加工

③ プラズマ粉体肉盛

課題

母材の金属の特性に依存するため、母材以上の特性を得ることは不可能

課題

皮膜の緻密度が低く、基板-皮膜の密着強度が弱い

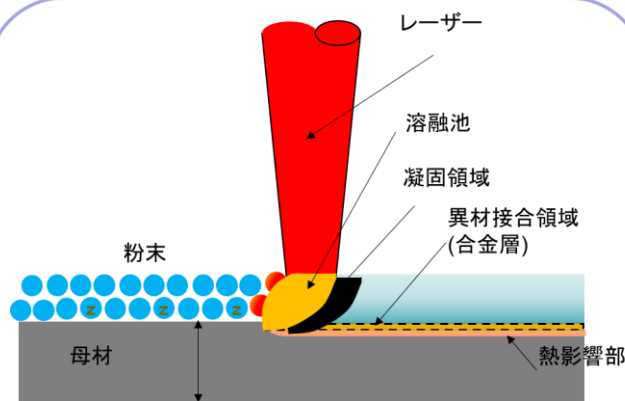
課題

母材への熱影響（母材の変形・強度低下）が大きく、熱影響を抑制するための入熱制御が困難

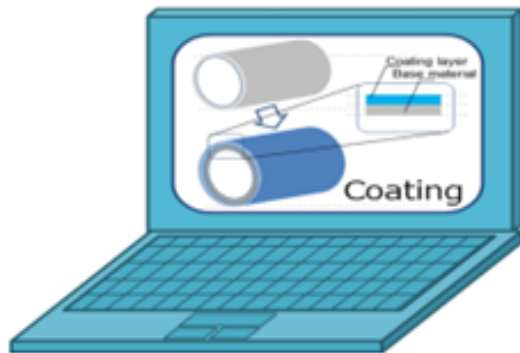
高品質・高機能・高密度および低熱影響なコーティング技術が求められている！

レーザーコーティング技術の開発・高度化

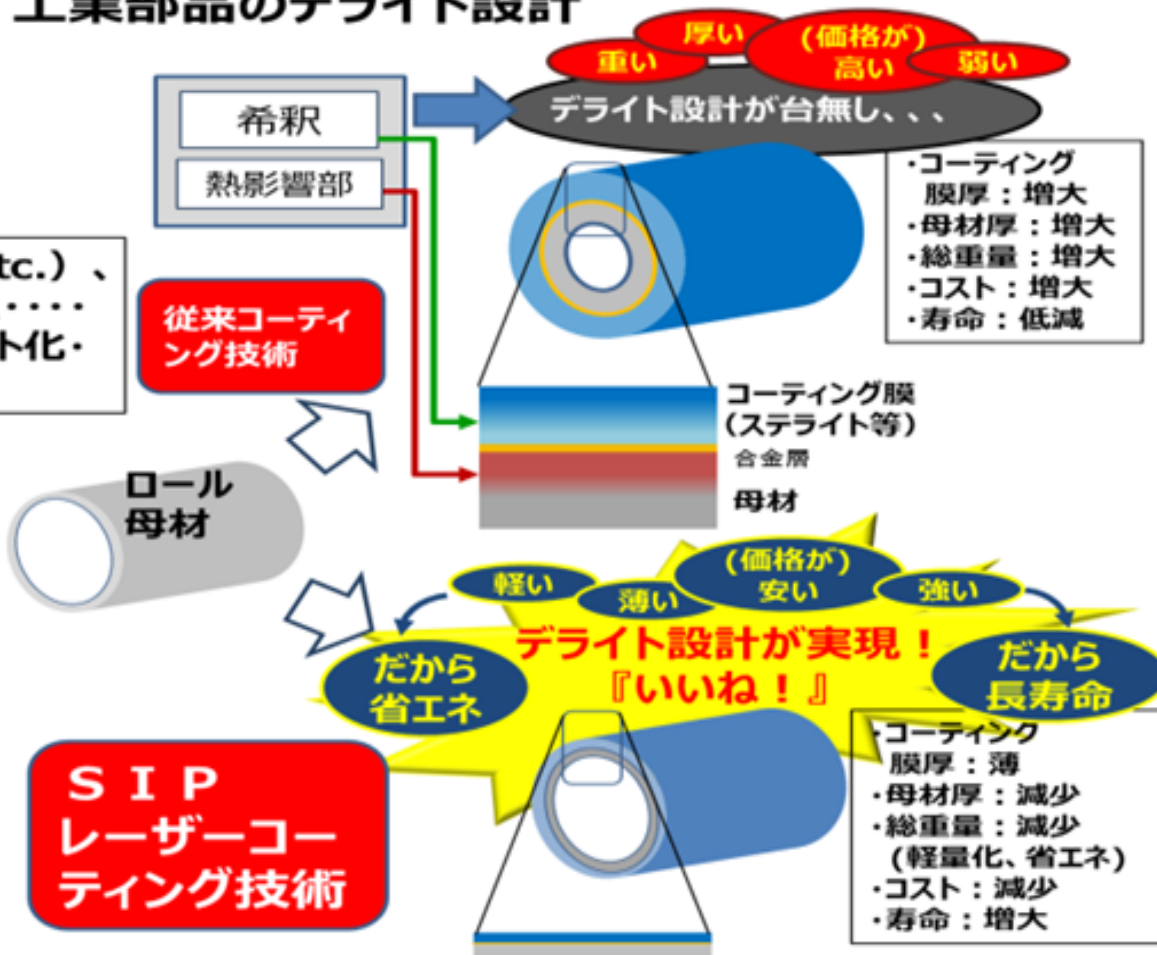
レーザークラッディングの高度化



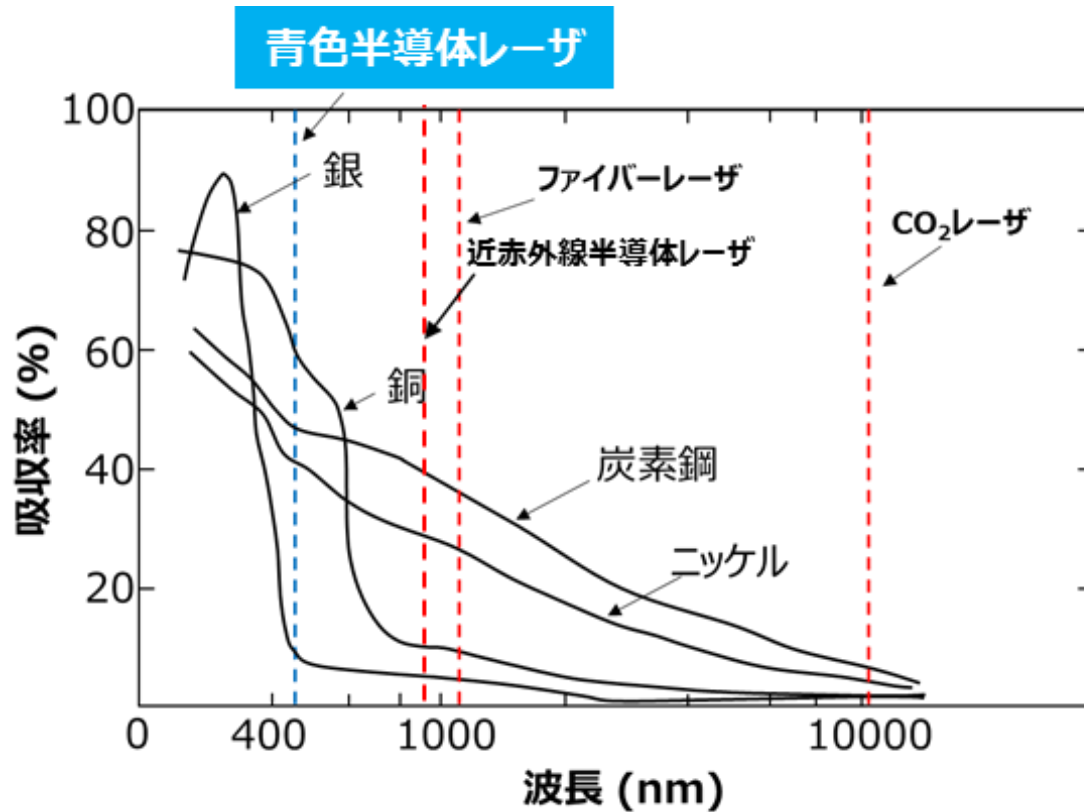
高機能（耐摩耗、耐腐食、etc.）、
高品質コーティングができると……
高強度化・長寿命化・低コスト化・
軽量化を同時に実現



工業部品のデライト設計



レーザーと吸収率



CO₂レーザー

YAGレーザー
(ファイバー
レーザー)
近赤外線半導体
レーザー

青色半導体
レーザー

肉盛溶接

エネルギー
効率向上
品質向上
(高品質)

ファイバー
伝送

難加工材料
の積層

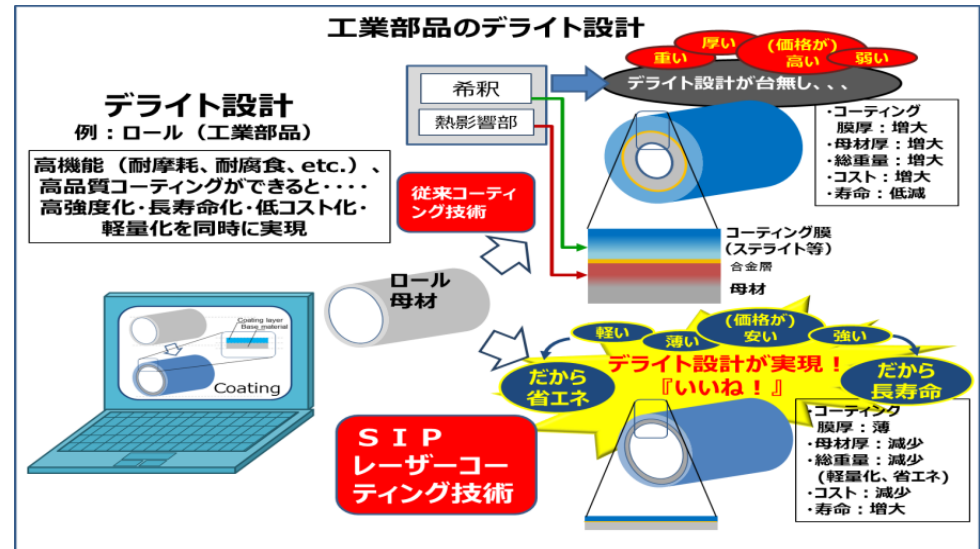
●目的

レーザークラッディング（肉盛溶接）技術を
「レーザーコーティング技術」へ

高機能化のための「難加工材」のレーザーコーティング

本提案で使用する主なコーティング材料

ステライト（Co基合金）：耐摩耗性
ハステロイ（Ni基合金）：耐腐食性
銅：高伝熱性、高電気伝導性
タングステン：耐熱性
チタン・チタン合金：耐腐食性・生体親和性
タンタル：生体親和性



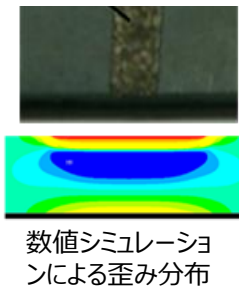
●概要（開発項目）

① レーザー入熱制御技術

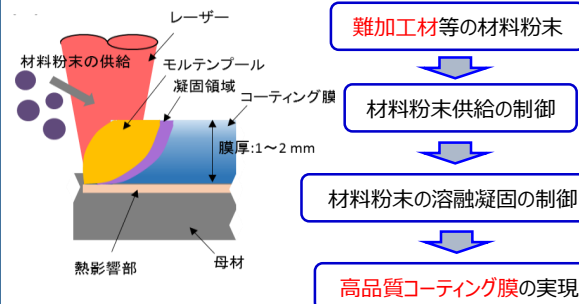
- (1) 計算科学手法による溶融凝固シミュレーション
- (2) レーザーコーティング現象の解明
- (3) 難加工材料の高品質レーザーコーティング技術

コーティング試料

レーザー溶融凝固シミュレーションおよび高エネルギー放射光X線SPRING-8を利用したレーザーコーティングその場時分割計測技術と解析
レーザーコーティング基礎実験

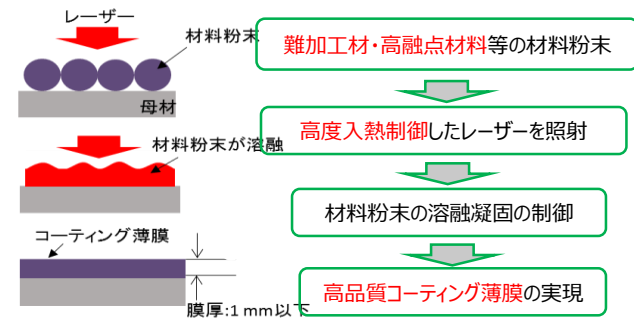


② モルテンプール型レーザーコーティング技術



膜厚1mm以上の高精度厚膜コーティング

③ 非モルテンプール型レーザーコーティング技術



薄膜 1mm以下の高精度薄膜コーティング

現時点成果

テーマ名: 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

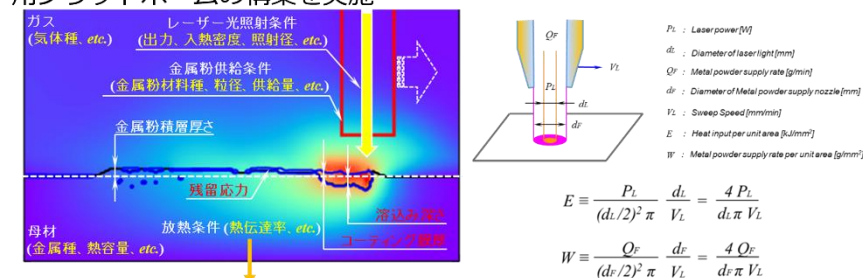
ステージ
ゲート

主な実施項目	H26(2014)	H27(2015)	H28(2016)	H29(2017)	H30(2018)
① レーザー入熱制御技術の開発	レーザー溶融凝固挙動のシミュレーションコードの開発		現象評価	高品質コーティングのシミュレーション	レーザーコーティング条件の最適化
	SPring-8によるその場時分割計測技術の開発		現象解明	相互作用現象計測・考察	材料特性評価
	材料粉末の粒度分布の最適化・空間的・時間的入熱制御技術の開発		レーザー制御技術最適化	溶融・界面・母材の相互作用現象解明	溶融制御の高度化
② モルテンプール型レーザーコーティング技術の開発	高品質化技術・膜質安定化		低希釈薄膜形成技術の確立	産業応用に即したレーザーコーティングの実証	
③ 非モルテンプール型レーザーコーティング技術の開発	材料粉末供給・レーザー制御技術の開発		高精度粉末溶融制御技術の確立	薄膜化技術・実証機開発	
④ イノベーションスタイル	レーザーコーティングに関心のある研究会、研究機関、公設試、会社等の調査・確定		技術配信・評価	フィードバック ユーザー連携の強化・事業化に向けたアドバイザメント・評価	

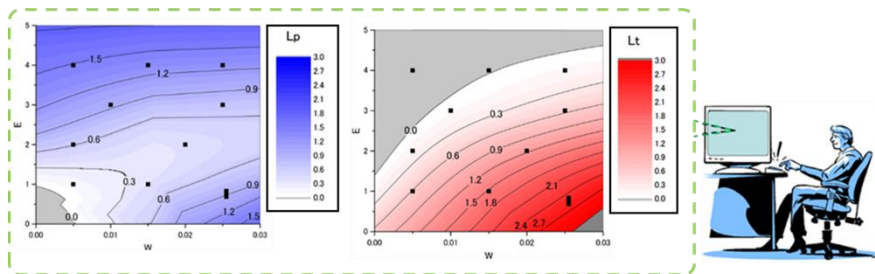
① レーザー入熱制御技術

① レーザー入熱制御技術

(1) 計算科学的手法によるレーザー溶融凝固シミュレーション
計算科学的手法によるレーザー溶融凝固シミュレーションの実現を目指し、必要となる物理・数学モデルの検討を行って、レーザーコーティング評価用プラットフォームの構築を実施

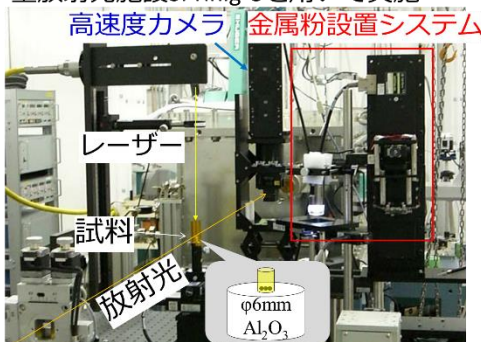


(a) 計算科学シミュレーションモデル



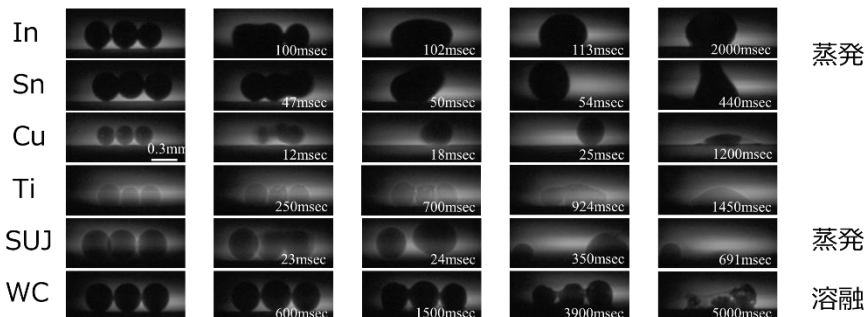
(b) コーティング膜厚と溶け込み深さに対する応答曲面 (母材: SS400、金属粉: ハステロイ)

(2) レーザーコーティング現象の解明
レーザーコーティング現象解明を目指し、金属溶融現象の直接観察を大型放射光施設SPring-8を用いて実施



SPring-8, BL22XU, E = 30keV

	融点 (°C)	沸点 (°C)	熱伝導率 (W・m ⁻¹ ・K ⁻¹)	レーザ出 力(W)	照射時間 (sec)
In	156	2072	81.8	60	2
Sn	232	2602	66.8	90	2
Cu	1084	2562	401.0	90	2
Ti	1668	3287	21.9	90	2
SUJ	1907	2671	46.0	90	2
WC	2900	6000	84.0	60	5

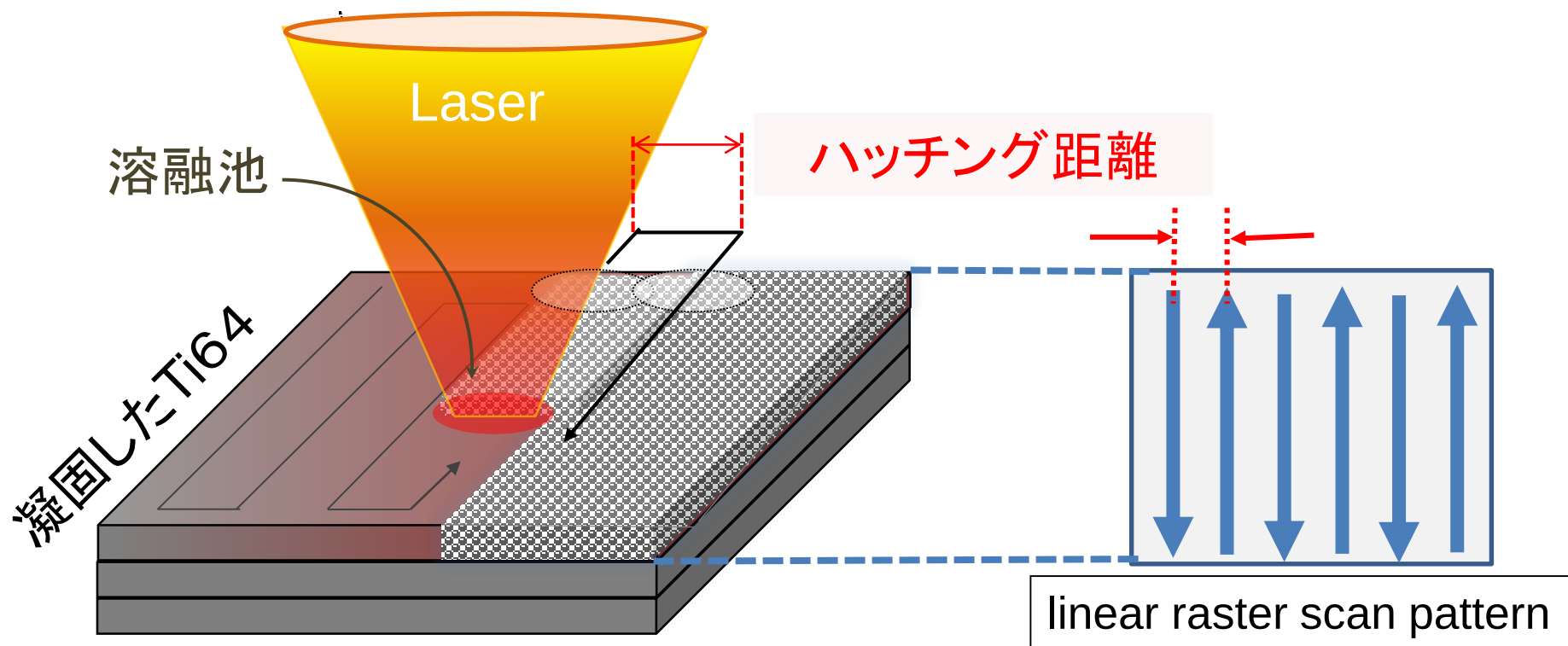


1msecで溶融結合する様子の観測に成功

① レーザー入熱制御技術

(3) 難加工材料の高品質レーザーコーティング技術

粉末設置型



Scanning strategy : linear raster scan pattern

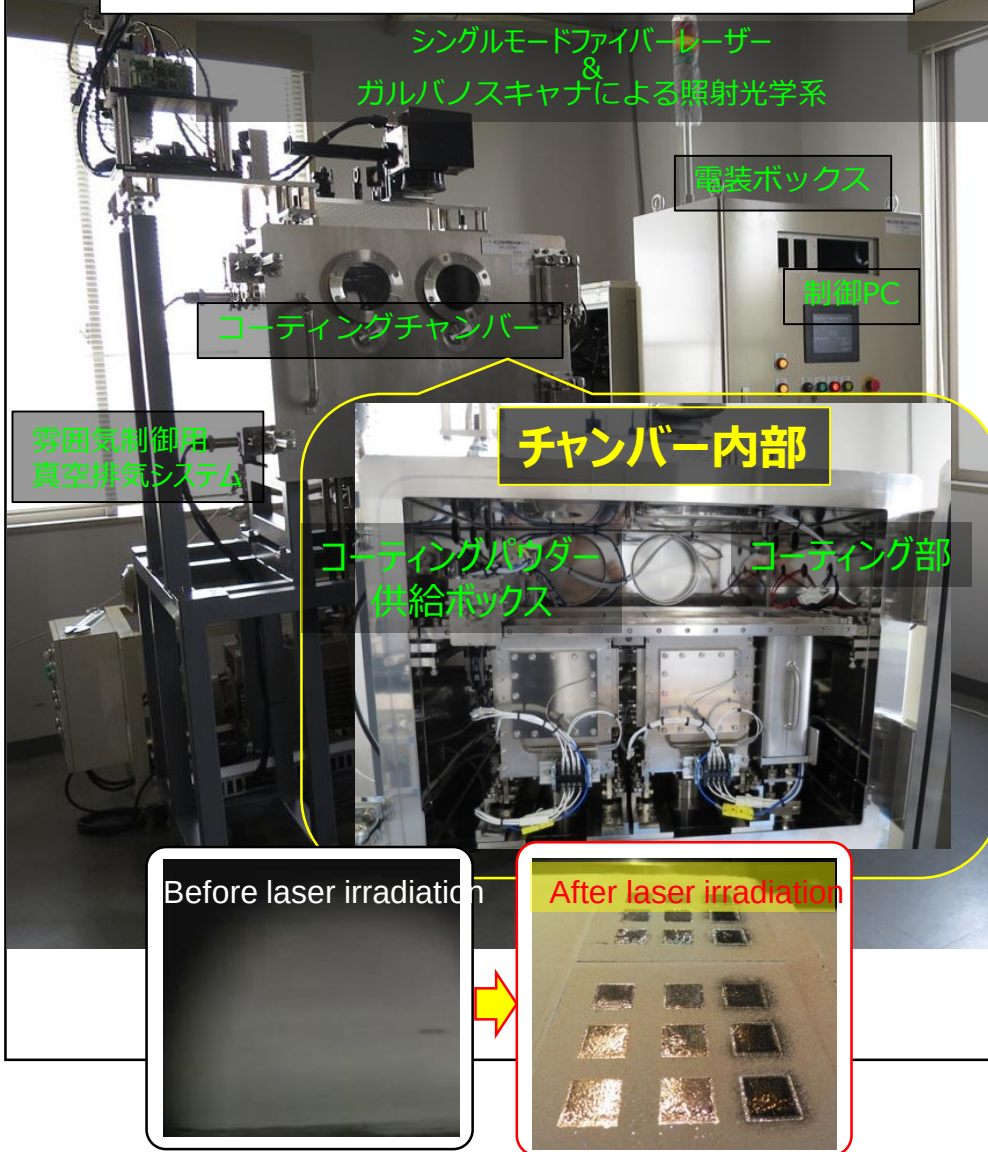
Scan vector length : 12 mm

Scanning speed : 50mm/s

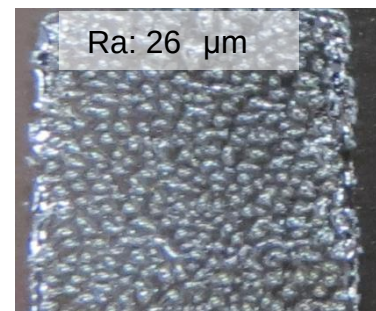
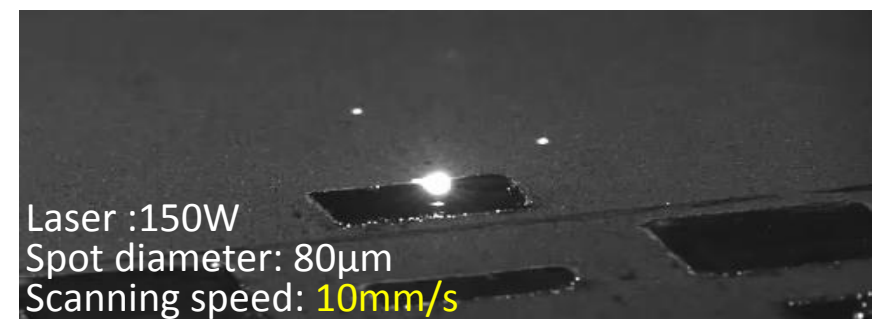
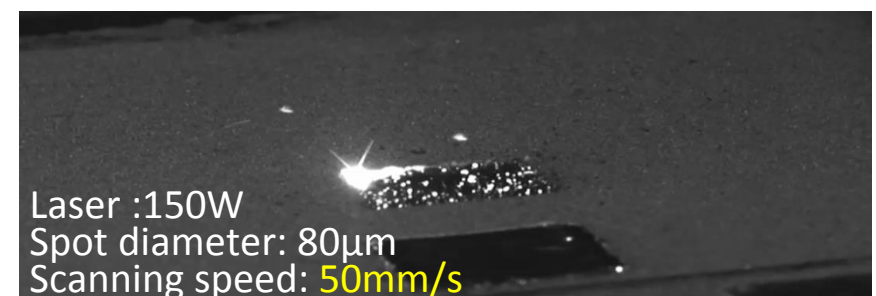
Hatching distance : 50, 100, 150 μm

粉末設置型

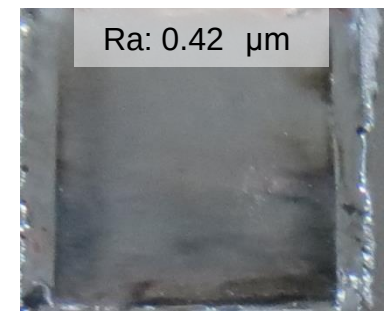
雰囲気制御型金属粉末供給制御装置



◇ラスタースキャンによるSUS基板上へのTi合金コーティング



Laser :150W
Spot diameter: 80μm
Scanning speed: 50mm/s



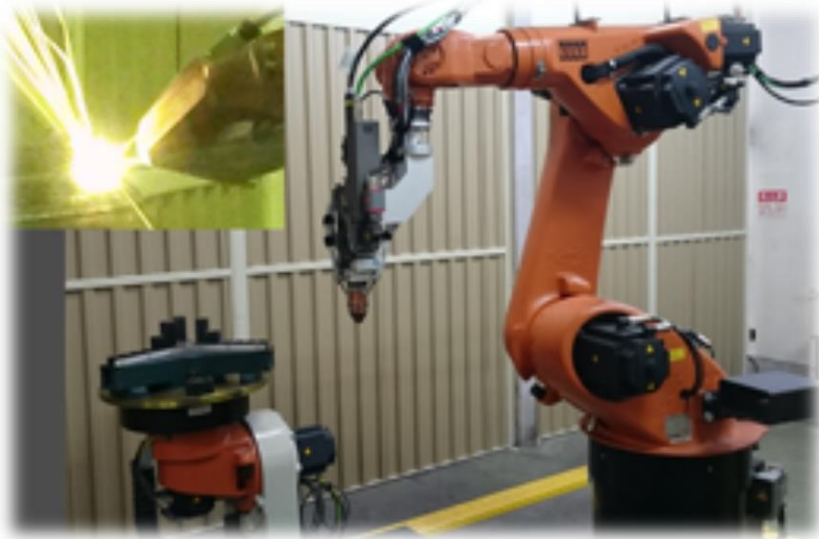
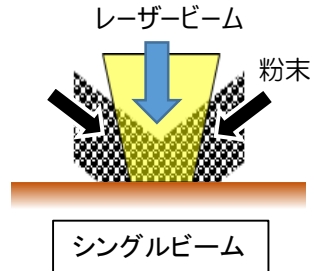
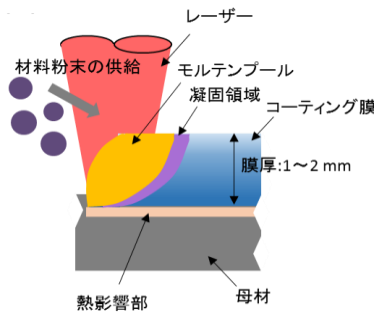
Laser :150W
Spot diameter: 80μm
Scanning speed: 10mm/s

② モルテンプール型レーザーコーティング技術

事業化1

波及効果
長寿命化
軽量化

② モルテンプール型 レーザーコーティング技術

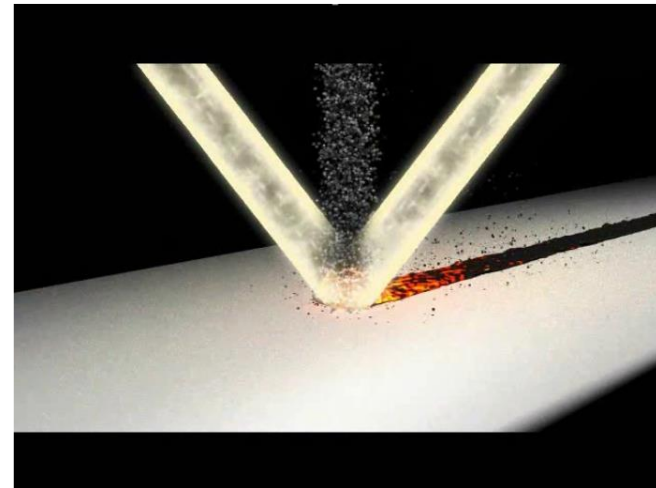
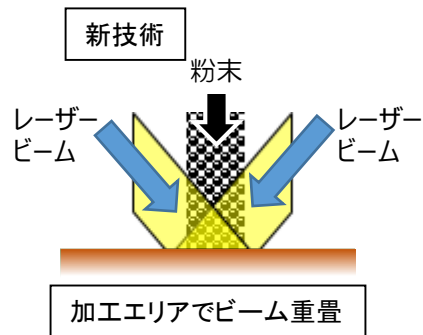


③ 非モルテンプール型レーザーコーティング技術

事業化2

**波及効果
小型化
低コスト化**

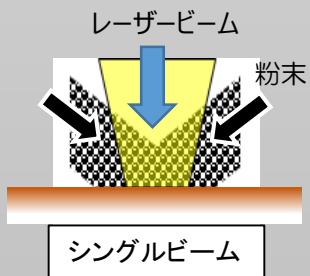
③ 非モルテンプール型レーザーコーティング技術



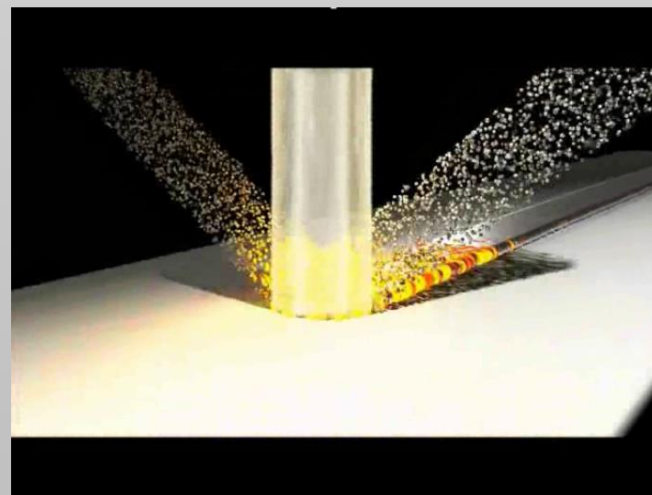
従来方式レーザーメタルデポジッション装置



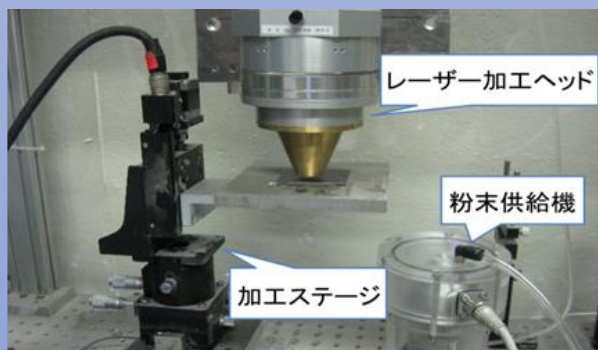
フランフォーファ I L T 加工ヘッド



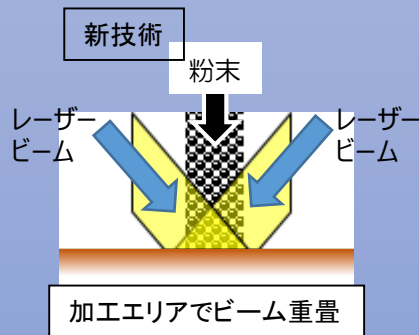
使用されているレーザー：
ファイバーレーザー
半導体レーザー



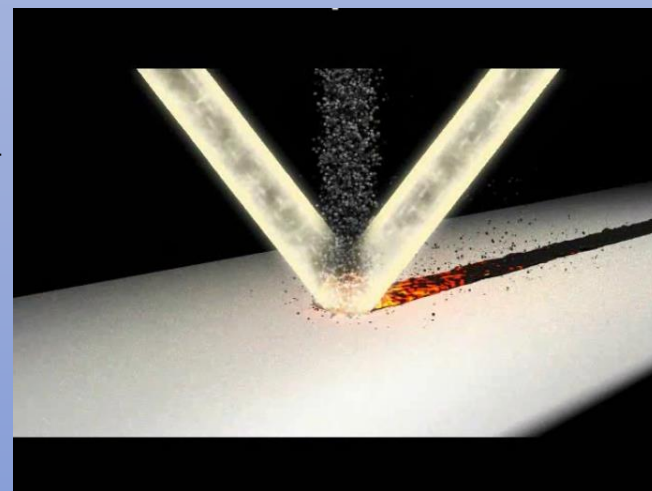
新方式レーザーメタルデポジッション装置

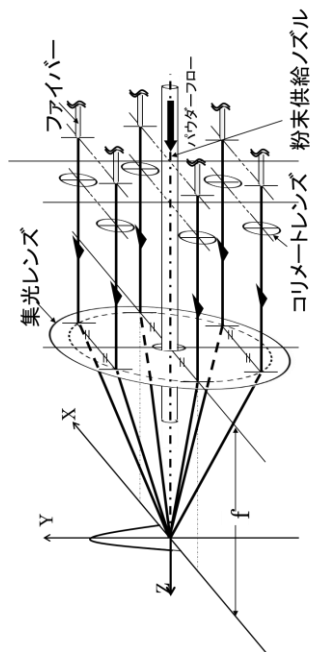


面直粉末噴射型レーザーコーティング試作機

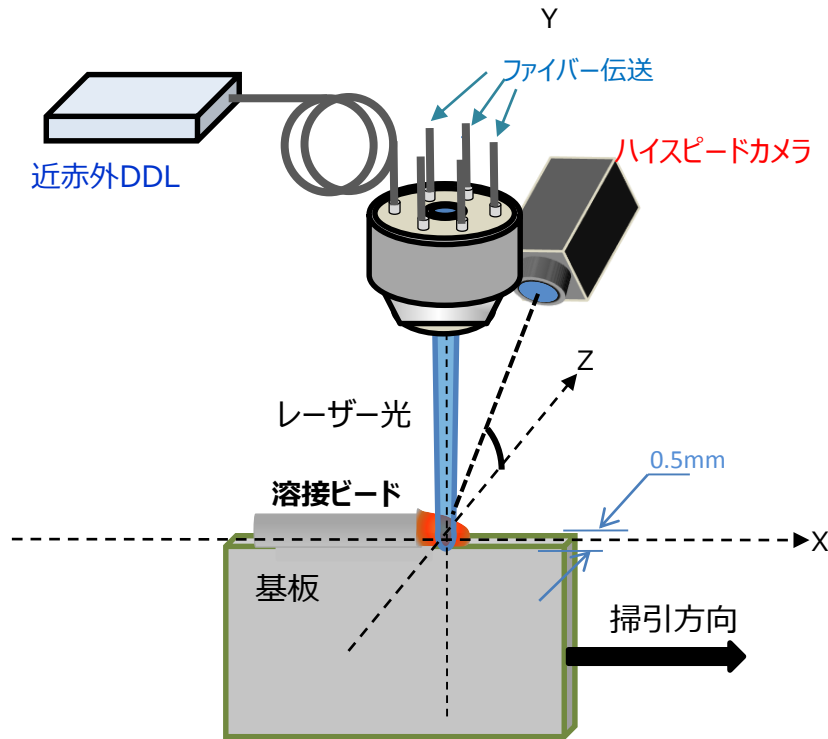


使用されているレーザー：
半導体レーザー





実験③ 放射光とタングステントレーサーを用いたレーザーコーティングの溶融挙動観察



光源：近赤外レーザー

コーティング材：ステライト + 30 μ mタングステンを10wt%
混入した粉末を使用

基板： SUS304 (0.5～1 mm厚)

改善点：今回30 μ mのタングステン粉末を入手出来、これを
ステライト粉と混ぜた試験用粉末を作成し、この粉末をもちい
て造型を試みる。

・溶融層の形成過程を観察するために、純タングステン粉末
10wt%を含有したステライト粉末を用いて、SUS304基板上
の0.5mm幅の上にコーティングを行う。このときのモルテンプ
ール内の対流層、そのサイズ等の検証を測る。

・熱影響の大きい条件で上述した実験を行い、母材側の溶け
込み現象を把握する。



レーザー: 57.7W

Spot: 300 μ m ϕ

Stellite + 10wt% Tungsten

Scanning speed: 10mm/s

Powder feed rate:

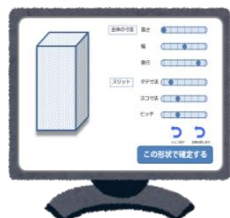


革新的設計生産技術の実用化

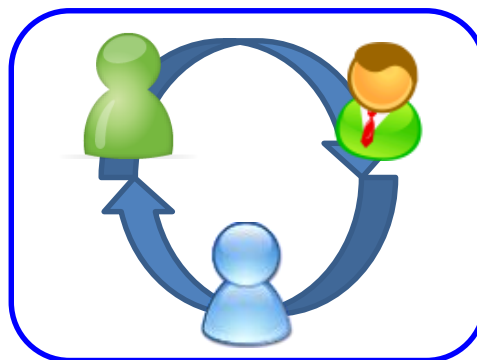
- ・研究成果のツール化【ソフトウェア（プログラム等）、ハードウェア（装置等）】
- ・開発した技術等を拠点に設置し、活用事例の作成を中心に研究成果の実用化を進めていく



【ハードウェア】
新機能・複雑造形等



【ソフトウェア】
感性、潜在価値等



【イノベーションスタイル】
研究開発成果を使用した企業や個人ユーザ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

ハブ拠点

大阪大学

サテライト拠点

石川県工試

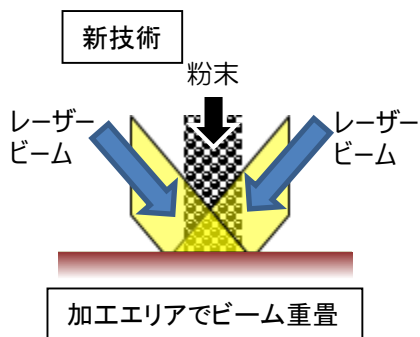
情報共有

大阪府立
産技研

鹿児島県
工業技術
センター

【仕組の構築】
拠点による成果普及

工設試で使ってもらおう



イノベーションスタイル 想定外の展開



【イノベーションスタイル】
研究開発成果を使用した企業や個人
ユーザ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

- ・ 事業化を真剣に考えている。
購入したい。
プロジェクトに協力するから。

- ・ 実際に組み込み装置化したい。
製品化を希望。
プロジェクトが終わるまで
待てません！

A 社

B 社

C 社

D 社

E 社

F 社

新たなイノベーションスタイルの仕組みが必要 (提言)

成果の一部を実際に
企業が活用

マルチレーザー加工ヘッド搭載工作機械



大阪大学接合科学研究所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）

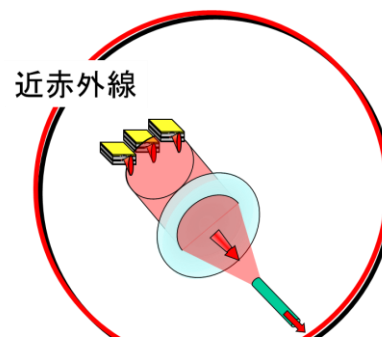
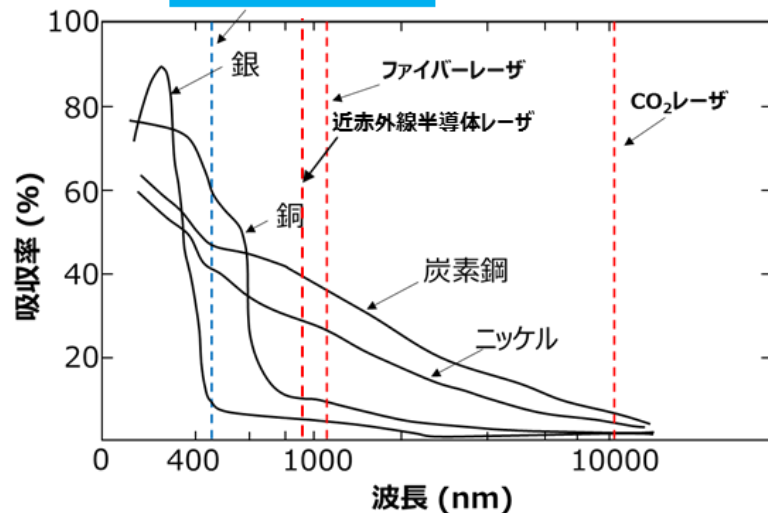


さらなる開発・展開へ

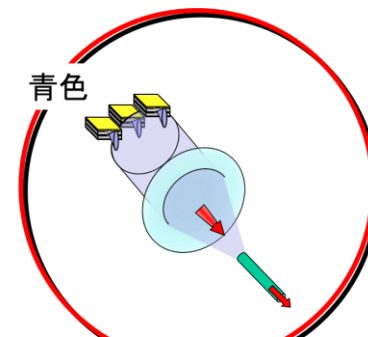
青色半導体レーザーコーティング装置

BLUE TO THE FUTURE

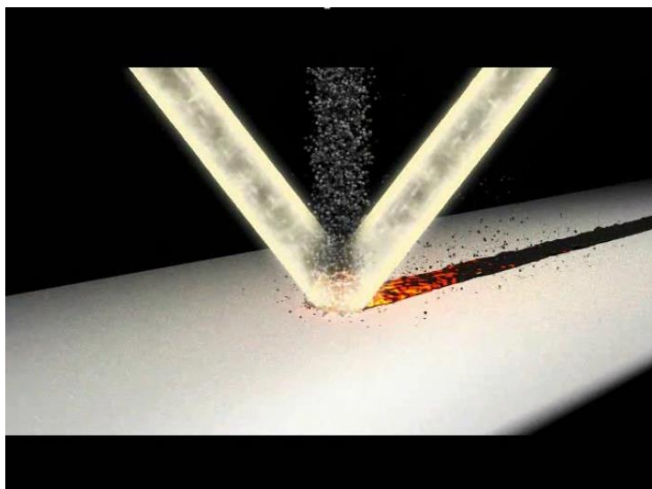
青色半導体レーザ



コア径100 μm, 出力～4(8?) kW



コア径100 μm, 出力20W



技術協力企業:

日亜化学工業

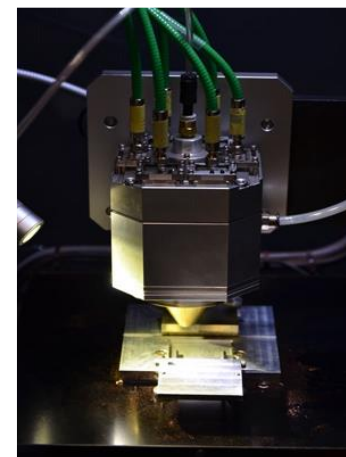
島津製作所





100 W級青色半導体 レーザーコーティング装置

$$20 \text{ W/ユニット} \times 6 \text{ ユニット} \\ = 120 \text{ W} \Rightarrow 100 \text{ W}$$



THANK YOU FOR
YOUR ATTENTION

