

# 「次世代型産業用 3 D プリンタの 造形技術開発・実用化事業」

(事後評価)

(2017年度～2018年度 2年間)

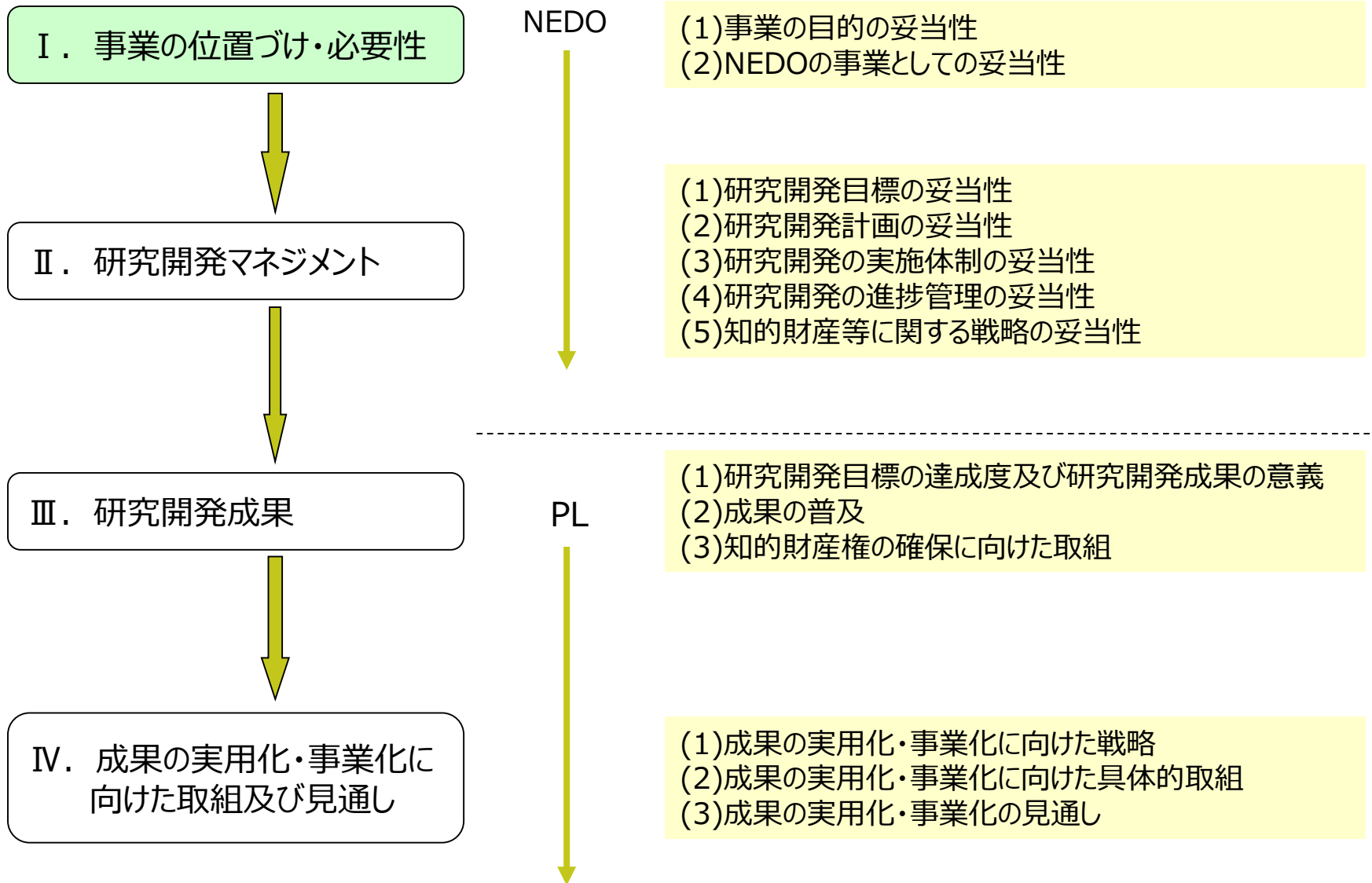
プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

IoT推進部

2019年12月18日

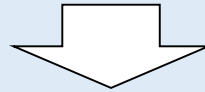
# 内容



# ◆ 事業実施の背景と事業の目的

## 社会的背景

3Dプリンタに代表される**三次元積層造形技術の進歩**は、これまでにない高機能製品の開発を加速するだけでなく、新たな付加価値を持つ製品の創製から設計・生産までの時間の大幅短縮、地理的制約からの開放など、**ものづくりに“革命”を起こす潜在力を秘めている**とされ、次世代のものづくりをリードするためには三次元積層造形技術の開発・実用化が喫緊の課題となっている。



現状の3Dプリンタ市場では、**海外企業製品のシェアが高く**、ユーザーは迅速かつ十分なサポートが受けられない、コストが高いなどの問題を抱えており、国内企業の競争力を確保するために**高性能3Dプリンタの国産化**が望まれている。

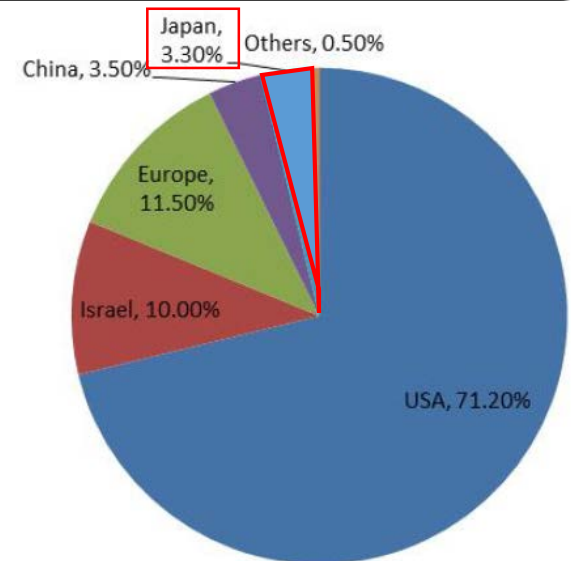
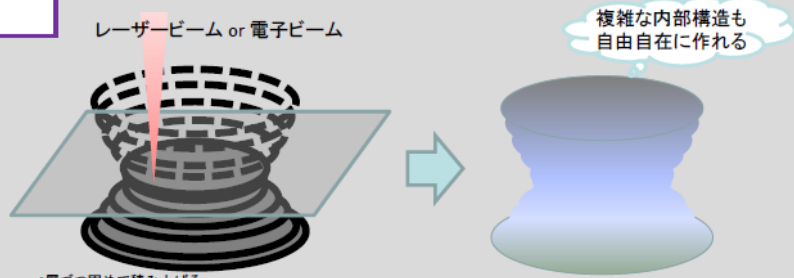
### Additive Manufacturing: AM (付加製造技術)

材料を付加することによって、三次元形状に作成する製造法。粉体材料等を積層しながらレーザー等で固めることによって製造し、金属等の塊から切削加工する製造法と対照的なもの。

### 積み上げ型の製造法



3D積層造形装置

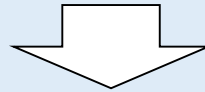


出典: (Wohlers report 2015による)

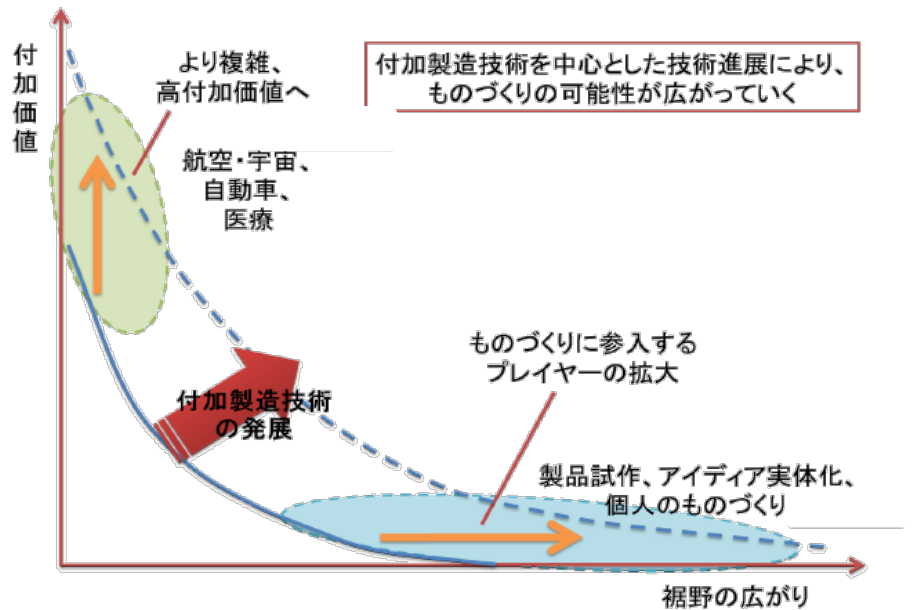
# ◆ 事業実施の背景と事業の目的

## 事業の目的

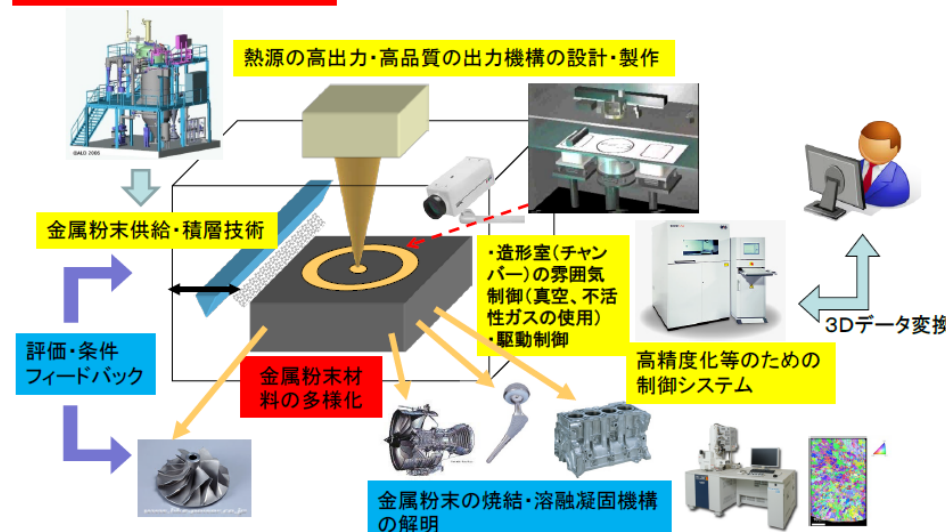
我が国ものづくり産業がグローバル市場において持続的かつ発展的な競争力を維持するため、**3Dプリンタを核とした新たなものづくり産業の創出**を目指し、3Dプリンタを普及させることにより、エネルギー効率の改善による**省エネルギー型製造プロセスの創出を目指す**。



少量多品種で高付加価値の製品・部品の製造に適した **三次元積層造形技術や金属等の粉末材料の多様化・高機能複合化等の技術開発及びその周辺技術を開発する**。



### 3D積層造形用金属粉末製造技術



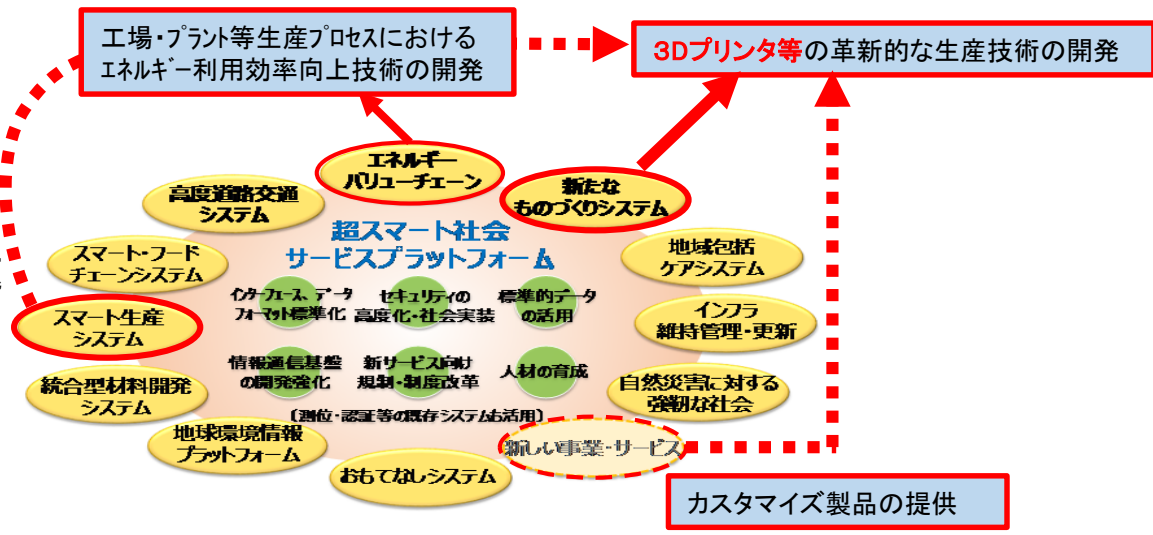
1. 事業の位置付け・必要性  
 (1) 事業の目的の妥当性

# ◆政策的位置付け

科学技術政策

第5期科学技術基本計画（2016-2020）	超スマート社会（Society 5.0）実現のための12のシステム・課題「新たなものづくりシステム」
科学技術イノベーション総合戦略2016	「3Dプリンタ等の革新的な生産技術の開発」
日本再興戦略2016－第4次産業革命に向けて－	中堅企業・中小企業・小規模事業者の革新

内閣府「第5期科学技術基本計画」  
 Society 5.0実現のためのシステム・課題



日本再興戦略2016 中短期工程表 「中堅企業・中小企業・小規模事業者の革新⑨」

2013年度～2015年度	2016年度	2017年度	2018年度
<成長分野進出に向けた専門的支援体制の構築>			
平成26年度予算において、技術研究組合を設立し、次世代産業用3Dプリンタ技術等の開発を開始（2014年4月）	技術開発プロジェクトの推進、進捗状況を踏まえた更なる装置の検討		

2013年経済産業省立上げのプロジェクトを2017年よりNEDOが継続した。

# ◆技術戦略上の位置付け

主要課題	装置	金属材料	造形
コスト低減	<ul style="list-style-type: none"> <li>造形速度の向上</li> <li>安価な装置の使用</li> <li>繰返し品質安定化技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>歩留まり向上 (粒度分布制御技術向上)</li> <li>造形品が求める品質に応じた材料の使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計・開発期間の短縮</li> <li>造形時間以外の加工処理時間 (サポート材の切断、熱処理時間等) の短縮</li> </ul>
品質向上 安定化	<ul style="list-style-type: none"> <li>精度の向上</li> <li>オンライン測定およびフィードバック制御技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>金属材料の品質特性の造形品に与える特性の影響の把握</li> <li>従来測定項目でない要素の把握</li> <li>金属材料の保管管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>造形条件の最適化</li> <li>測定技術 (欠陥等) の向上</li> </ul>
新規材料の使用	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>バルクでは困難な金属組成の粉体開発とその開発効率 (MI: マテリアルインテグレーション)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来データを活用した造形条件の最適化</li> </ul>

1<sup>st</sup> STEP  
 市場に普及させるための共通技術開発

2<sup>nd</sup> STEP  
 新規材料で価値を高めるための材料技術開発 (用途を特定)

ヒアリング結果よりTSCにて作成

1<sup>st</sup> STEP

研究開発

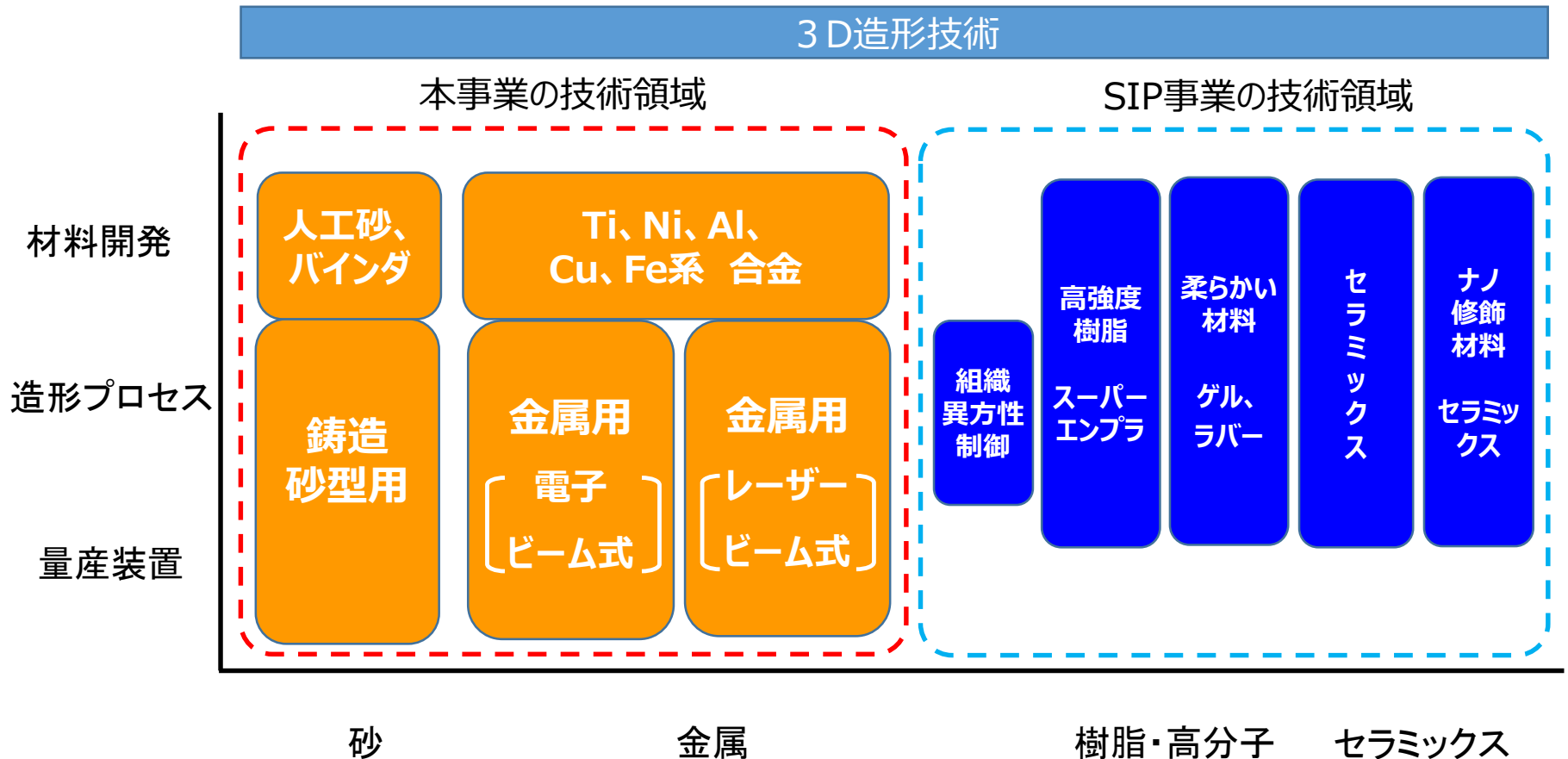
- ① 大きな造形物を精度良く、スピーディーに製造できる **3Dプリンタ装置本体の開発**
- ② 3Dプリンタに最適な流動性および溶融・凝固挙動の最適化を実現できる特性を有する **金属粉末材料製造技術の開発**
- ③ 溶融凝固プロセスを健全化できる最適レシピ (造形条件) と、造形物形状データと最適レシピに基づき、必要な造形物形状を造形するための **制御ソフトウェアの開発**

## ◆国内外の研究開発の動向と比較

国	取り組み・プロジェクト例	予算規模	内容
米国	National Additive Manufacturing Innovation Institute (NAMII) ⇒America Makesに改称	約30億円 (国防省より) 約40億円 (企業、州より)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・40以上の個別テーマ・プロジェクトを運営</li> <li>・3Dのパイロット拠点</li> <li>・材料データベース構築</li> <li>・次世代装置、造形プロセス</li> <li>・モデリングシミュレーションツール</li> </ul>
欧州	ドイツ Direct Manufacturing Research Center、 Industrie 4.0とAMは強く関連付けられている。	約14億円 (2013年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計ルール、コスト分析、リペア、複雑形状、材料開発、強度評価等を産学官で研究</li> <li>・Fraunhofer研究所、Paderborn大学 拠点で金属3D技術開発</li> </ul>
	英国 Manufacturing Technology Center 高付加価値製造カタパルト	約60億円  239億円 (総額)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・産学連携拠点</li> <li>・AM実用化研究</li> <li>・Arcam社装置を活用</li> <li>・Rolls-Royce、AirBus等が参画</li> </ul>
中国	3Dプリンタ技術産業連盟 “Made in China 2025” (中国製造2025) の一部としてAMを強調		<ul style="list-style-type: none"> <li>・国、大学、企業による共同出資</li> <li>・精華大、北京航空航天大学等が参画</li> </ul>
シンガポール	RIE2020計画	約30億円 (南洋理工大) 他、500億円/5年 投資予定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・南洋理工大に研究センター立ち上げ(2014)</li> <li>・防衛用Al、Cu合金、ハイブリッド構造等を研究</li> </ul>
台湾	レーザー積層造形産業クラスター		<ul style="list-style-type: none"> <li>・3次元積層造形向けのレーザー技術、積層造形産業用アプリケーションの研究を促進</li> </ul>
日本	TRAFAM SIP	91億円 42億円	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電子ビーム方式粉末床溶融結合法、レーザーデポ法等</li> <li>・世界最高水準の装置開発</li> <li>・異方性カスタマイズ技術開発等</li> </ul>

# ◆他事業との関係

■ 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 (2014年度～2018年度) とは、3D造形技術に対する対象となる材料の違いで開発技術の棲み分けがされている。  
本事業：金属・砂型の3D造形技術、 SIP：スーパーエンブラ、ゲル、ラバー、セラミックスの3D造形





## ◆NEDOが関与する意義

### ■ 国家的課題に対する取り組み

- ・我が国の新たなものづくり産業の創出に貢献

### ■ 我が国産業の競争力強化に貢献

- ・複雑構造等の高機能製品の開発を加速等、ものづくり産業の国際競争力向上

### ■ チャレンジングな技術開発

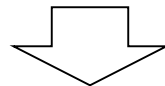
- ・国内企業の競争力を確保するために高性能3Dプリンタ関連製品の国産化

### ■ 異なる技術領域を統合するための異業種の連携

- ・装置、金属粉末製造、制御ソフトウェア等、技術を持つ企業が連携し、一体的に開発

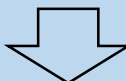
### ■ 成果の社会実装と技術普及

- ・公設試への導入と人材育成、プロジェクト終了後の継続的な成果活用



NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

# ◆プロジェクト効果

市場		
<b>マシンビジネス</b> 3Dプリンタ市場からの予測 (Wohlers Repoert 2016より推算) 樹脂を含む3Dプリンタ全体      金属3Dプリンター 2015年    5000億円                      800億円 (808台) 伸び率 年30% 2021年    2.6兆円                              4000億円 (4000台) 2021年    装置+金属材料で                  8000億円 2030年    2021年の2倍と見積もって      1.6兆円  台数シェア50%として    装置+金属材料で 8000億円		工作機械市場からの予測 現在の工作機械市場(W.W) 8兆円  (2030年も市場規模が同じとして) 工作機械の市場の2割が 3Dプリンタに 1.6兆円
<b>アプリケーションビジネス</b> 2030年 全体の市場規模                      造形部品市場規模 金型・工具      7.8兆円                      8050億円 補修部品      4兆円                              200億円      建機・航空機 医療用      5.9兆円(2020)                  5600億円      整形外科インプラント 自動車(部品)    3.4兆円                              600億円      ターボ、シリンダーヘッド 発電(火力全体)    24兆円                              200億円      タービンプレード、ノズル 航空(エンジン)    5.7兆円(2020)                  1100億円      タービンプレード、ノズル ロボット      1.9兆円                              1000億円 2030年造形部品市場規模合計      1.67兆円		ニッケル合金、チタン合金、 アルミ合金、銅、 ステンレス、鉄系合金  人工歯、人口骨 軽量化、意匠性、高機能化 効率向上

## ◆実施の効果（費用対効果）

### ■ プロジェクト費用の総額

2017年度～2018年度事業費合計： 22.7億円

2013年度～2018年度事業費合計： 91.2億円（内、NEDO負担額 22.7億円）

### ■ 市場獲得

年間売上額

2030年 装置 + 金属材料 8000億円

アプリケーションビジネス 1.67兆円

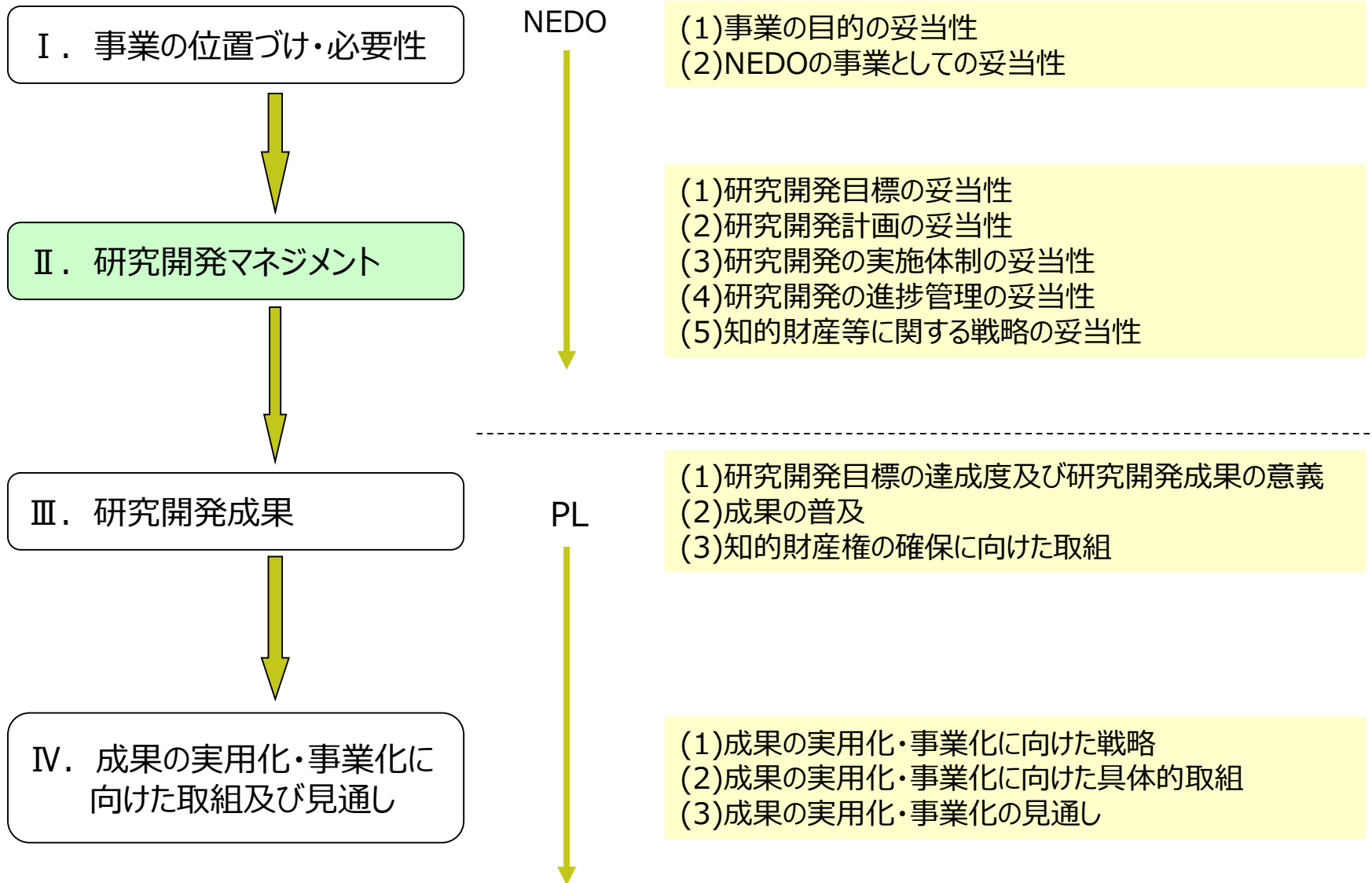
### ■ CO2 削減効果

三次元積層造形技術の適用が広がることにより、金属加工ものづくり工程が短縮され、エネルギー消費量が削減される。

CO2 削減効果、2024年度で 36 万 t / 年、2030年度で 146 万 t / 年が見込まれる。

資源エネルギー庁「エネルギー白書2016」等の報告書などより、  
鉄鋼業、金属製品製造業、輸送用機械器具製造業でのエネルギー消費量よりMETIにて試算

# 内容



# ◆事業の目標

- ・高付加価値の製品製造に適した三次元積層造形技術の基盤技術、および装置を開発する。
- ・開発された各要素技術を集約し、造形物の品質確保のための実用化技術開発する。

研究開発項目	開発の内容
①基盤技術の研究開発（委託）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 金属粉体の溶解・凝固プロセス解明</li> <li>・ 三次元積層造形条件・材料データベース構築</li> <li>・ 溶融凝固シミュレーション技術</li> </ul>
②高速・高性能の3Dプリンタの技術開発（委託）（助成 1/2）	それぞれが得意とする材料、加工品質、生産性によって応用分野を分ける傾向にある、電子ビームとレーザービームの2つの方式の装置開発と高速化・複層化改良実証。 (a) 電子ビーム方式3Dプリンタ（大型プリンタ、複層プリンタ） (b) レーザービーム方式3Dプリンタ（大型プリンタ、複層プリンタ）
③ 金属等粉末製造技術及び粉末修飾技術の開発（助成：1/2）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高融点・高活性金属粉末製造技術</li> <li>・ 金属粉末分級技術</li> <li>・ 粉末修飾技術</li> </ul>
④ 铸造用砂型 3Dプリンタの技術開発（助成 1/2）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 3Dプリンタの装置開発と高速化、複層化</li> <li>・ 耐熱積層鋳型による高融点金属鋳造への対応</li> <li>・ 局所的冷却性能制御技術の開発</li> </ul>
⑤ 金属積層造形技術の実用化に向けた実証（助成 1/2）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 造形品の品質保証方法</li> <li>・ 組合員ユーザーの試作部品を作成し、製品特性と再現性の評価</li> </ul>



国産  
3Dプリンタ等  
の事業化



## ◆研究開発目標と根拠

研究開発項目	最終目標	根拠
①基盤技術の研究開発	造形・材料データベースの構築とシミュレーション技術による最適な加工条件の導出	積層造形を普及させるには装置・材料に対応したレシピ、熱変形予測 シミュレータ、実際の造形結果データ等が必要
②高速・高性能の3Dプリンタの技術開発	(a) 電子ビーム方式 ・速度：500cc/h ・精度：±50μm ・造形サイズ：1,000 mm ×1,000 mm ×600 mm ・価格：5000 万円  (b) レーザービーム方式 ・速度：500cc/h ・精度：±20μm ・造形サイズ：1,000 mm ×1,000 mm ×600 mm ・価格：5000 万円	平成30 年度までに、積層造形速度が平成25 年時点の既存欧米装置の10 倍、製品精度が同 5 倍となる3 Dプリンタ装置が求められる。目標価格はユーザーサイドの希望額をもとに設定。
③ 金属等粉末製造技術及び粉末修飾技術の開発	真球形状で、高流動性と耐酸化性を有する、Ti系、Ni系、Al系、Cu系、Fe系の合金等粉末。低コスト化試作。	3 Dプリンタに適した真球形状、高流動性、狭幅粒度分布、微細サイズ、高純度等の性能を有し、かつ低コストなTi系、Ni系、Al系、Cu系、Fe系の合金等粉末材料が必要
④ 鋳造用砂型3Dプリンタの技術開発	・速度：10 万 cc/h ・造形サイズ：1,000 mm ×1,000 mm ×600 mm ・価格：2000 万円	平成29年度までに、積層造形速度が平成24年時点の既存欧米装置の10 倍、製品精度が同 5 倍となる3 Dプリンタ装置が求められる。目標価格はユーザーサイドの希望額をもとに設定。
⑤ 金属積層造形技術の実用化に向けた実証	組合員ユーザーによる量産技術としての評価認定、造形データベースの構築	想定されるユーザー企業を巻き込んだ技術力強化を推進し、競争力を強化する必要がある

# ◆研究開発のスケジュール


研究開発項目		経産省直執行				NEDO事業		2019年度
		2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	
① 基盤技術の研究開発	委託		設備導入	メカニズム解明 造形条件・ 材料データベース構築		メカニズム解明（溶解・凝固） 造形条件・材料データベース構築		最終目標
② 高速・高性能の3Dプリンタの技術開発 (a) 電子ビーム	委託・助成		新電子コラム、 改良型粉体供給・ 複層システム開発・高速化		新電子コラム、 改良型粉体供給・複層システム展開 量産試作機開発			
② 高速・高性能の3Dプリンタの技術開発 (b) レーザービーム	委託・助成		試作機 モニタリング機能開発 1 kWレーザー開発		高速化（レーザー2 kW化）、 品質安定化改良・評価 量産試作機開発			
③ 金属等粉末製造技術及び 粉末修飾技術の開発	助成		高性能製造技術の開発、 粉末分級技術の開発、 粉末修飾技術の開発		高性能化（真球化等）、 低コスト化試作			
④ 鋳造用砂型3Dプリンタの技術開発	助成		積層造形装置の試作・開発・評価 耐熱バインダ材料開発 高冷却積層鋳造技術開発		高速化・複層化 実証 販売試作機開発	最終目標		
⑤ 金属積層造形技術の実用化に向けた実証	助成		設計・品質保証検討 試験運用・評価		応用試作・評価 導入検討		最終目標	

中間目標

# ◆プロジェクト予算

## 次世代型産業用3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業

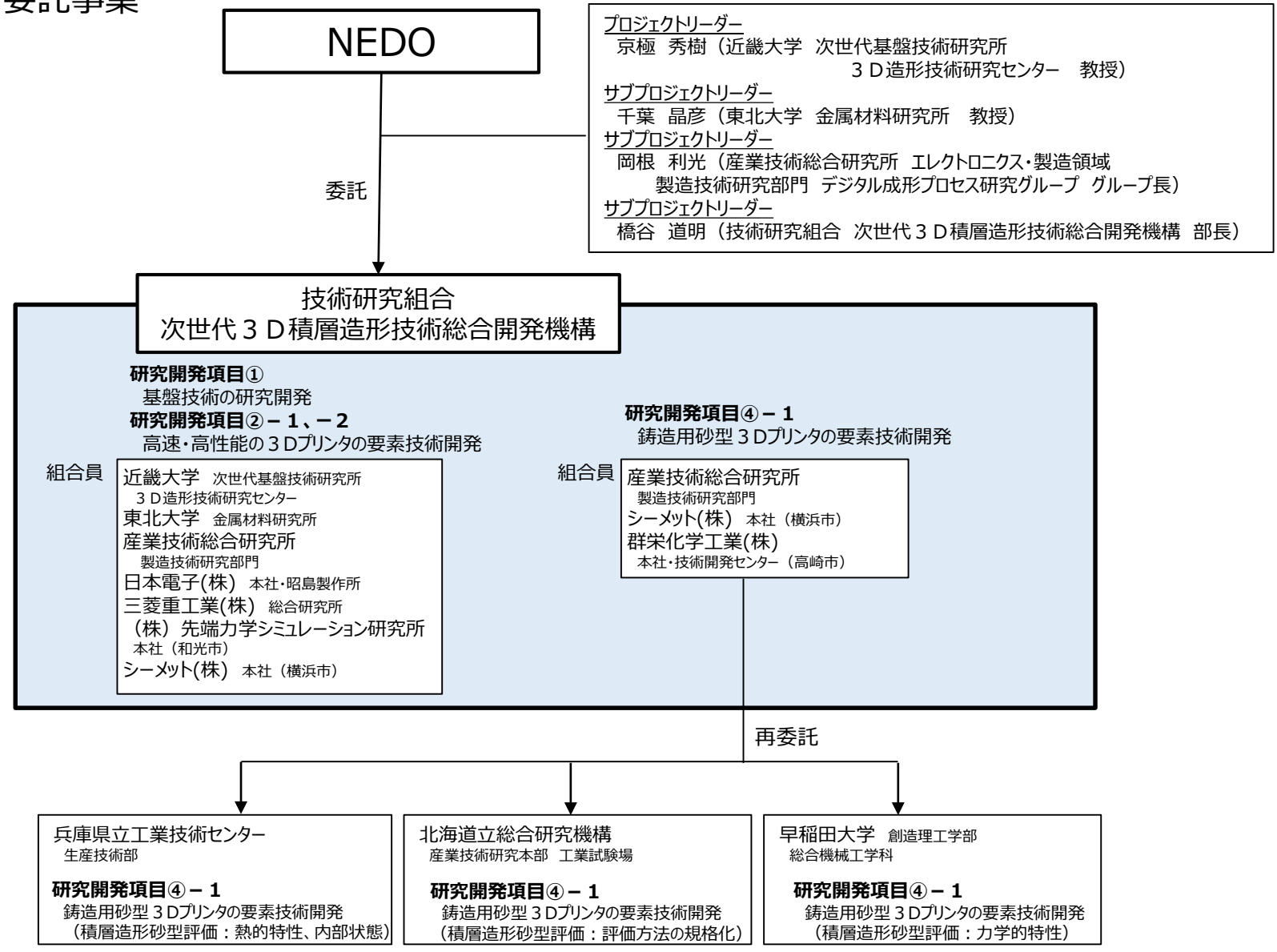
[単位：百万円]

予算額	経産省直執行				 NEDO事業		全期間	研究開発内容
		<b>委託 (100%)</b>						
(25年度)	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	総額	共通になる部分 ・基盤研究 ・装置共通課題 ・FSとしてモニタリング技術	
148	3,749	1,824	700	<b>360</b>	<b>595</b>	7,376 (内NEDOプロ) <b>955</b>		
	<b>助成 (補助率1/2)</b>							
(25年度)	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	総額	・各装置の実用化開発 ・ユーザー造形・実証 ・粉末製造、修飾技術	
----	----	----	420	<b>726</b>	<b>533</b>	1,679 (内NEDOプロ) <b>1,259</b>		
<b>事業額</b>	計							
(25年度)	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	総額		
148	3,749	1,824	1,120	1,086	1,128	9,055		



# ◆ 研究開発の実施体制

## 委託事業



# ◆研究開発の実施体制

## 助成事業

NEDO

助成

技術研究組合  
 次世代3D積層造形技術総合開発機構

プロジェクトリーダー  
 京極 秀樹 (近畿大学 次世代基盤技術研究所  
 3D造形技術研究センター 教授)

サブプロジェクトリーダー  
 千葉 晶彦 (東北大学 金属材料研究所 教授)

サブプロジェクトリーダー  
 岡根 利光 (産業技術総合研究所 エレクトロニクス・製造領域  
 製造技術研究部門 デジタル成形プロセス研究グループ グループ長)

サブプロジェクトリーダー  
 橋谷 道明 (技術研究組合 次世代3D積層造形技術総合開発機構 部長)

**研究開発項目②-1、-2**  
 高速・高性能の3Dプリントの実用化開発

組合員

多田電機(株) 本社・応用機工場 (尼崎市)  
 (株)東芝 生産技術センター (横浜市)  
 東芝機械(株) 沼津本社  
 日本電子(株) 本社・昭島製作所  
 古河電気工業(株) 情報通信・エネルギー研究所  
 (市原市)  
 (株)松浦機械製作所 本社 (福井市)  
 三菱重工業(株) 総合研究所 横浜地区  
 高砂地区  
 名古屋地区  
 三菱重工工作機械(株) 本社 (栗東市)  
 (株)C&Gシステムズ 東京本社  
 (株)先端力学シミュレーション研究所  
 本社 (和光市)  
 シーメット(株) 本社 (横浜市)  
 (株)ニコン 横浜製作所  
 富士通(株) 富士通ソリューションスクエア (蒲田)

**研究開発項目③**  
 金属等粉末製造技術及び  
 粉末修飾技術の開発

組合員

山陽特殊製鋼(株)  
 本社 (姫路市)  
 大同特殊鋼(株)  
 技術開発研究所 (名古屋市)  
 福田金属箔粉工業(株)  
 本社・京都工場、滋賀工場  
 東洋アルミニウム(株)  
 日野製造所、八尾製造所

**研究開発項目④-2**  
 鋳造用砂型3Dプリントの実用化開発

組合員

シーメット(株) 本社 (横浜市)  
 群栄化学工業(株)  
 本社・技術開発センター (高崎市)  
 伊藤忠セラテック(株)  
 本社 (瀬戸市)

**研究開発項目⑤**  
 金属積層造形技術の実用化に向けた実証

組合員

宇宙航空研究開発機構 筑波宇宙センター  
 (株)IHI 基盤技術研究所 (横浜市)  
 川崎重工業(株) 技術研究所 (明石市)  
 金属技研(株) 神奈川工場 (海老名市)  
 (株)コイワイ 本社 (小田原市)  
 (株)木村鋳造所  
 先端プロセス技術センター (伊豆の国市)  
 コマツキャスト(株) 本社工場 (氷見市)  
 (株)小松製作所 生産技術開発センター (枚方市)  
 住友精密工業(株) 本社・工場 (尼崎市)  
 (株)東芝 京浜事業所 (横浜市)  
 帝人ナカシマメディカル(株) 本社・工場 (岡山市)  
 日産自動車(株) 鶴見事業所  
 (株)本田技術研究所 四輪R&Dセンター (栃木)  
 三菱重工業(株)  
 名古屋誘導推進システム製作所本工場 (小牧市)  
 名古屋航空宇宙システム製作所大江工場  
 矢崎総業(株) 矢崎部品(株) 裾野製作所内  
 トヨタ自動車(株) 本社 (豊田市)

## ◆研究開発の進捗管理

- NEDO／実施者主催の会議体を通じ、プロジェクトの運営管理にNEDOの意思を反映
- **技術推進委員会を開催**し、外部有識者の提言をプロジェクト運営に活用

会議名	対象開発項目	頻度	主催者	内容
技術推進委員会 (旧総合委員会)	全項目	2回/年	NEDO	・外部有識者委員による、開発方針・推進計画、開発進捗、実用化・事業化に関する確認
技術検討会	全項目	3回/年	実施者 (項目毎)	・進捗報告、確認 ・テーマ毎に計画、研究内容紹介、特別テーマの議論
成果活用についての会議	項目毎	随時	実施者 (項目毎)	・事業化検討会、知財審議会、 ・データベース検討会
ISO国内審議委員会	全項目	数回/年	国内審議委員会	・ISO標準化提案およびJIS化取り進め
サイトビジット	全分室	1回/年	NEDO	・装置、成果物の確認、担当者との意見交換
シンポジウム	全項目	1回/年	実施者と共催	・各年度毎の進捗成果を一般に紹介

※その他、METI・NEDO・TRAFAM定例会、展示会を随時実施

	2017年度												2018年度									2019				
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	9
イベント	契約締結(委託・助成)		第1回ISO国内審議委員会 総合委員会		第3回公開シンポジウム		第1回技術推進委員会	ものづくりマッチング展 サイトビジット			第2回技術推進委員会	第2回ISO国内審議委員会			第1回ISO国内審議委員会		第4回公開シンポジウム 第1回技術推進委員会	第2回ISO国内審議委員会	ものづくりマッチング展	第3回ISO国内審議委員会 サイトビジット			第2回技術推進委員会	第4回ISO国内審議委員会		第5回公開シンポジウム

# ◆ 動向・情勢の把握と対応

・開発状況、外部情勢を踏まえ、実施計画の変更等を実施

赤字：委託（技術実証）から助成（実用化）へ

青字：委託2018年度実施項目にFS追加

2017年度		2018年度	
<b>委託</b>		<b>委託</b>	
①-1 基盤技術	溶融凝固モニタリング 溶融凝固シミュレーション 積層条件・材料・特性のデータベース構築開始	① 溶融凝固モニタリング 溶融凝固シミュレーション 積層条件・材料・特性のデータベース構築開始	
②-1 電子ビーム	電子銃、電子コラム開発 <b>複層造形技術の実証</b>	②-1	FSを委託に追加
②-2 レーザービーム	高出力レーザーによる高速化、品質安定化 <b>複層造形技術の実証</b>	②-2	
		<b>委託</b>	
		①-2	インプロセスモニタリング技術の先導研究 デジタルプラットフォーム構築の予備的研究
<b>助成</b>		<b>助成</b>	
②-1 装置 (電子ビーム)	スペック装置開発	②-1	スペック装置開発と <b>複層造形の実用化</b>
②-2 装置 (レーザー)	スペック装置開発	②-2	スペック装置開発と <b>複層造形の実用化</b>
③ 粉末	高性能化（スペック的）と低コスト化	③	高品質造形の要件を満たす高性能化と製造技術
⑤ ユーザー造形	製品特性と再現性の評価	⑤	実証評価から実用性の実証

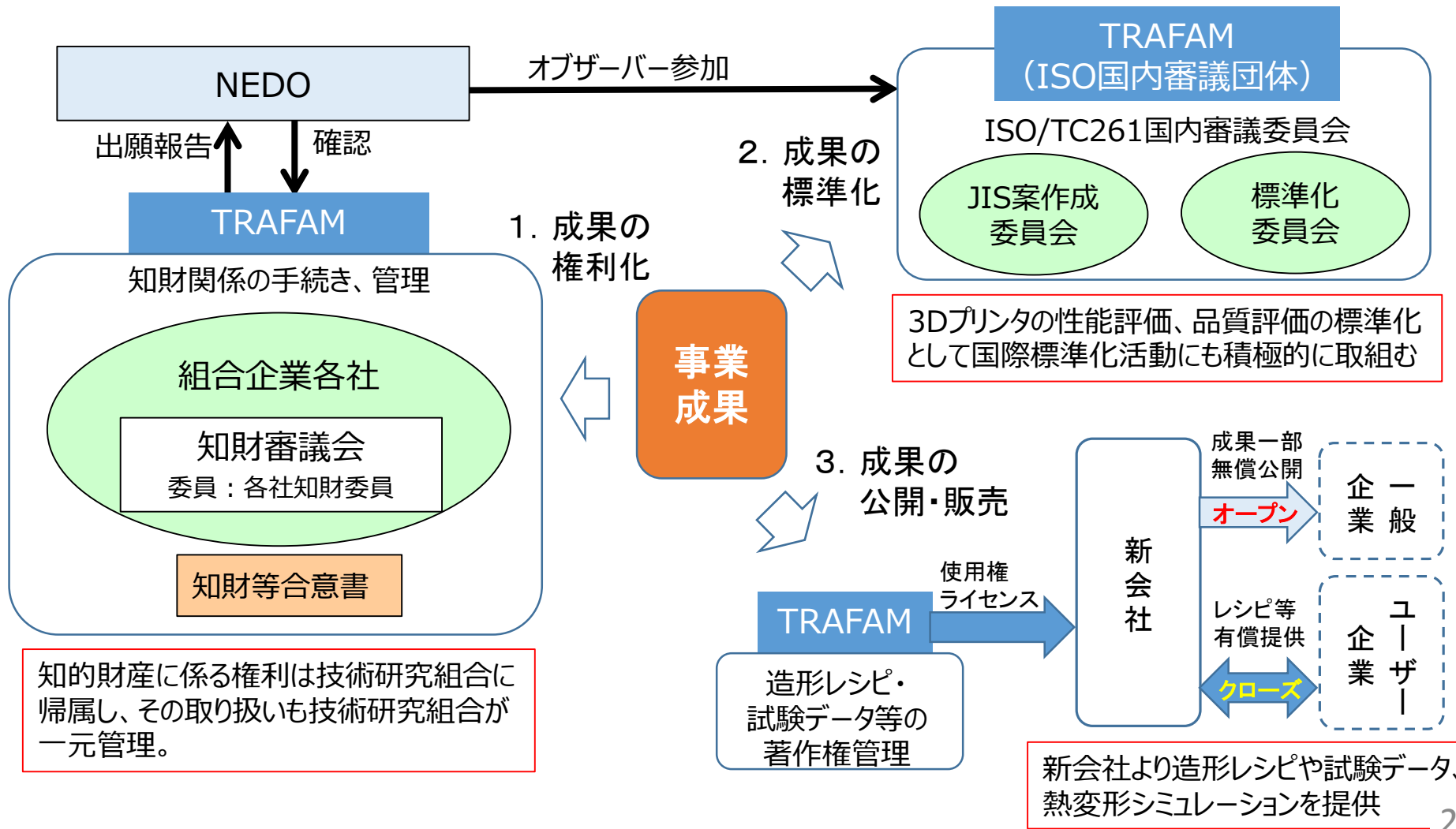
委託から助成へ

## 動向・情勢の把握の結果を踏まえた対応

件名	年度	金額 (百万円)	目的	成果
実施項目① 電子ビーム方式基盤技術研究開発／ 交流方式の粉末電気抵抗測定器による高精度測定を追加	2017年度	2	溶融の際の電子ビーム照射時に原料粉末が飛散してしまう <b>スモーク現象対策</b> にNiコーティング等の粉末修飾技術が極めて有効だという技術的成果が上がっており、本対策を、より多くの金属粉末に対して展開するため。	交流電気抵抗測定を行うことで、粉末表面の酸化物層のキャパシタ成分を計測でき、昇温に伴いキャパシタ成分が減少している様子が観察された。 <b>交流測定が、電子ビーム積層造形用の粉末特性評価に有効であった。</b>
実施項目① 電子ビーム方式基盤技術研究開発／ チタン系金属間化合物のTiAlの造形を追加	2017年度	31	プロジェクト開始後の市場動向変化に対応するため、今後、積層造形において有用と見込まれる金属材料に重点的に取り組むことによって、プロジェクト終了時までには、 <b>造形レシピ開発</b> を間に合わせるため。	TiAl 金属間化合物の造形を実施し、造形物(引張試験片、疲労試験片)の評価を行い、 <b>相対密度、熱処理条件、機械的性質、疲労試験結果</b> をデータベース化した。
実施項目① レーザービーム方式基盤技術研究開発／ 真空中での溶融金属物性の取得を追加	2017年度	1.8	二流体モデルの溶融凝固シミュレーションを採用したことで、先行するLLNL(ローレンス・リバモア国立研究所)に対し、モデルの精緻化の点で優位性を確保できた。 <b>パラメーターの材料物性値を実測する事で、シミュレーションの精度向上</b> を図るため。	金属粉末上にレーザービームまたは電子ビームを走査することで生じるミクروسケールでの溶融・凝固現象を蒸発気体と溶融金属の二流体モデルで計算する際、計算に用いる物性データに実測値を用いることで、 <b>スパッタおよびプルームの予測精度が向上した。</b>
実施項目① レーザービーム方式基盤技術研究開発／ チタン系合金としてNiTi合金の造形を追加	2017年度	5	プロジェクト開始後の市場動向変化に対応するため、今後、積層造形において有用と見込まれる形状記憶合金Ni-Tiの <b>造形レシピを開発</b> するため。	Ni-Ti合金の造形を実施し、試験片の評価を行い、 <b>造形レシピ</b> をデータベース化した。

# ◆知的財産権等に関する戦略と管理

1. 知財マネジメント強化のため、権利全般とその取り扱いは、**技術研究組合が一元管理**。
2. 性能評価、品質評価の**標準化確立**に技術研究組合が**主導的に取組む**。
3. 研究成果も活用し、**新会社を通して、造形レシピや各種物性データ、シミュレーション等を提供**。



# 発表内容

## 1. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

## 2. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

## 3. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の普及
- (3)知的財産権の確保に向けた取組

## 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び  
研究開発成果の意義

# ◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (1)

◎大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

研究開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方法
項目① 「基盤技術の研究開発」	造形・材料データベースの構築とシミュレーション技術による最適な加工条件の導出（電子ビーム方式）	電子ビームでの課題である“スモーク現象”発生原因を解明し、粉末表面特性の改善により仮焼結温度を大幅に低下できた。また、造形条件におけるプロセスマップを機械学習法に依り短期間で作成することを可能にするとともに、最適な加工条件の導出を可能とした。	◎	
	造形・材料データベースの構築とシミュレーション技術による最適な加工条件の導出（レーザービーム方式）	溶融凝固現象の解明を行い、欠陥発生の原因を明らかにした。新たな溶融凝固モデルを提案し、溶融凝固現象を再現することができ、最適な加工条件の導出が可能となった。新たに形状記憶合金材料のNiTiの造形・材料データベースを構築できた。	◎	
項目②- 1 「複層電子ビーム方式の3Dプリンタ技術開発」	積層造形速度：500cc/h 以上	6kW高出力電子銃を搭載した装置開発及び予熱と溶融時間の短縮により、209cc/hを達成。	△	500cc/h達成には複数の電子銃の制御が必要。
	造形物の精度：±50μm 以下	新たな電子銃と照射機構を開発することにより、±11μmを達成。	◎	
	複層造形技術の実用化	複層粉末散布機構の開発を行い、複層造形品を造形し、達成。	○	
	最大造形サイズ：300 mm×300mm×600mm以上	300 mm×300mm×600mmの装置を2台開発。	○	
項目②- 1 「大型電子ビーム方式の3Dプリンタ技術開発」	積層造形速度：500cc/h 以上	大面積高速電子ビームコラムの開発及び放熱対策により、最大367 cc/hを達成。	△	500cc/h達成には複数の電子銃の制御が必要。
	造形物の精度：±50μm 以下	大面積高速電子ビームコラムの高精度化により±47μm(実測値-3/+47μm) を達成。	○	
	最大造形サイズ：1,000 mm×1,000 mm×600mm以上	大面積電子ビーム照射技術の開発及び粉末自動供給装置の開発により500 mm×500mm×600mmサイズの装置を開発。	△	1000mm×1000mmを可能にするためには偏向角を大幅に広げる電磁レンズが必要であるが、それを構成する大口径コアの国内調達先が存在しないため海外を含めて調査。



3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び  
研究開発成果の意義

# ◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (2)

◎大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

研究開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方法
項目②- 2 「複層レーザー ビーム方式の 3Dプリンタ技術開発」	積層造形速度：500cc/h 以上	高性能ノズル・ヘッドの開発により510cc/hを達成。	○	
	造形物の精度：±20μm 以下	高性能ノズル・ヘッド及び5軸CAMソフトの開発により±19μmを達成。	○	
	複層造形技術の実用化	複層用ノズル及び複層用5軸CAMソフトの開発により複層造形品を造形し、達成。	○	
	最大造形サイズ：300 mm×300mm ×300mm 以上	300 mm×300mm×300mmサイズの装置と併せてφ2000× 1000mm (H)サイズの大型装置開発を行い、達成。	◎	
項目②- 2 「複層レーザ ビーム（マシ ニング）方式の 3Dプリンタ技 術開発」	積層造形速度：500cc/h 以上	高性能ノズル及び機構の開発（高出力化：6 kW）により 501cc/hを達成	○	
	造形物の精度：±20μm 以下	高性能ノズルの開発（高精度ノズル）及び造形プロセスの開発 により±12μm達成。モニタリング・フィードバック機能の開発により 高品質化を達成。	◎	
	複層造形技術の実用化	複層用ノズル及び機構及び複層用5軸CAMソフトの開発により3 種類の自動車用等複層造形品を造形し、達成。	○	
	最大造形サイズ：300 mm×300mm ×300mm 以上	300 mm×300mm×H100mmサイズの実証用装置開発。	○	
項目②- 2 「大型高速 レーザービーム方 式の3Dプリン タ技術開発」	積層造形速度：500cc/h 以上	レーザーの高出力化（1 kW及び2 kWシングルモードファイバ ーレーザーの開発）及びマルチレーザー制御システムの開発により 151cc/hを達成。	△	レーザーの高出力化とマル チビーム（4台）制御に よる検討実施。
	造形物の精度：±20μm 以下	高精度化のためのCAMソフトウェアの開発により±20μmを達成。	○	
	最大造形サイズ：1,000 mm×1,000 mm×600mm 以上	600 mm×600mm×600mmサイズの装置を開発。	△	1000mmサイズの実現 には、レーザーのマルチ ビーム化と、それにともな う技術開発が必要。

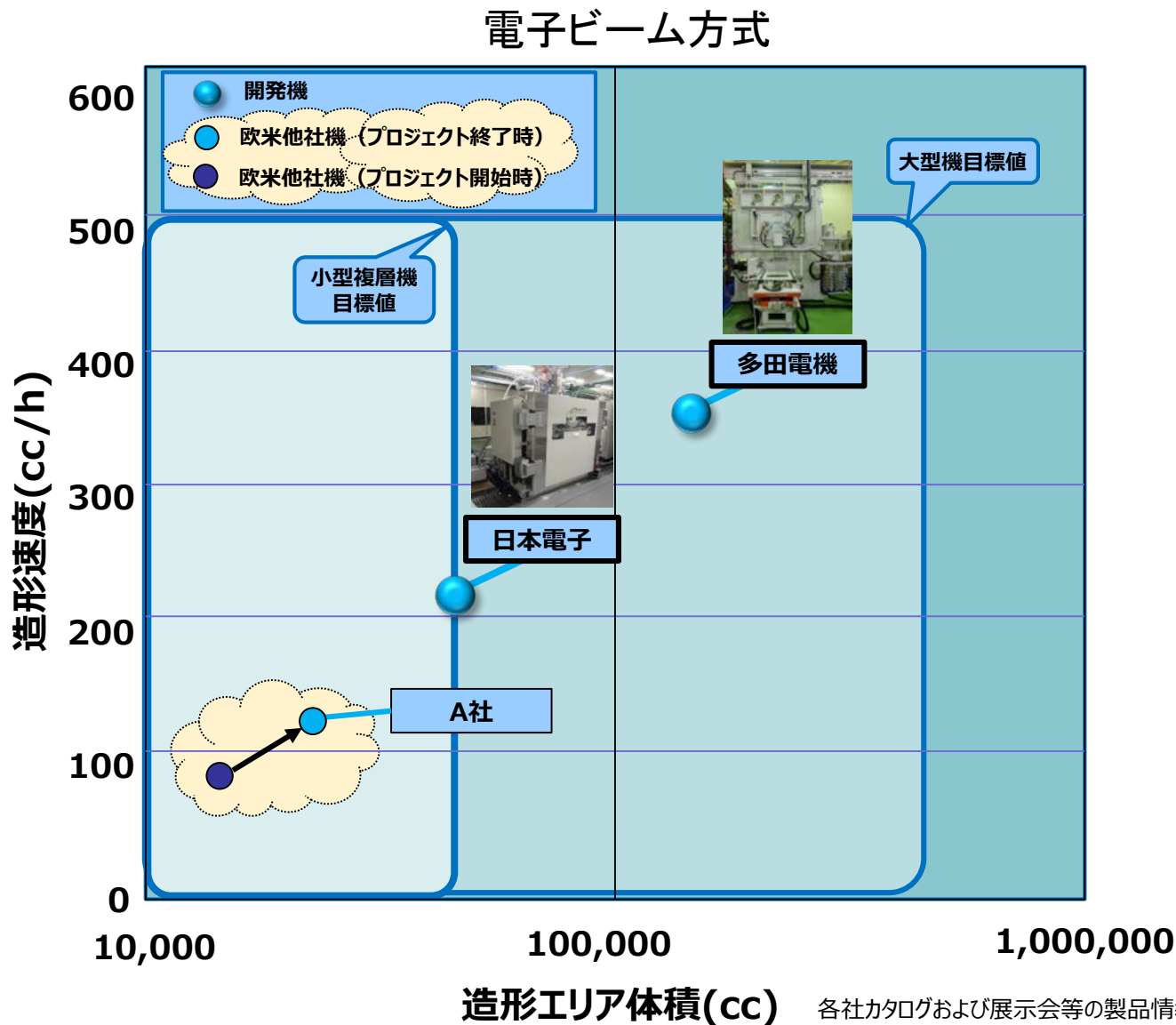
## ◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (3)

◎大きく上回って達成、○達成、△一部達成、×未達

研究開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と 解決方法
項目③ 「金属等粉末製造技術及び粉末修飾技術の開発」	真球形状で、高流動性と耐酸化性を有する、Ti系、Ni系、Al系、Cu系、Fe系の合金粉末。低コスト化試作。	新アトマイズ法によるチタン合金系などの高融点、高活性金属粉末、高機能表面修飾技術による高機能銅粉末、遠心アトマイズ法によるアルミ合金粉末製造技術も開発し、真球形状の流動性に優れる製造技術を確立。また、解砕分散と遠心分離を組み合わせた高精度分級機構の開発し、サテライトのない球状を粉末を製造できるとともに、造形装置に相応しい粒度分布の粉末を提供できる技術を確立。	○	
項目④ 「 casting用砂型 3Dプリンタの技術開発」	無機バインダー硬化システムの開発	無機バインダーをコーティングした砂と硬化剤のインクジェットとの組み合わせによる硬化システムを開発し、造形、鑄造を実施して性能を確認した。	○	
	高冷却性能を有する有機バインダーおよび鑄型砂の開発	固体硬化剤をコーティングした砂とバインダーのインクジェットとの組み合わせによる硬化システムを開発し、造形、鑄造を実施して性能を確認した。	○	
	積層造型速度：10万cc/h以上	リコーター、インクジェット描画の高速化技術を開発、それを搭載した積層造形装置を開発して、10万cc/hの速度を達成した。	○	
	最大造形サイズ：1,000mm×1,000mm×600mm以上	1,800mm×1,000mm×750mmの造形エリアを搭載した積層造形装置を開発した。	◎	
	鑄型の製造コスト：1,000円/kg以下	材料のランニングコスト、装置の稼働コスト等を含めて1,000円/kg以下を達成した。	○	
項目⑤ 「金属積層造形技術の実用化に向けた実証」	製品の特性と品質の安定性を評価することで量産技術として確立する	<ul style="list-style-type: none"> <li>5機種の開発装置により開発した粉末を用いて試験片を作製し、引張試験、疲労試験、破壊靱性試験を行った結果、引張特性は溶製材に匹敵する特性が得られたが、疲労特性、破壊靱性特性については、HIPにより溶製材に匹敵する特性が得られた。これらをデータベース化した。</li> <li>ユーザ造形により実用可能な製品を造形。</li> </ul>	○	

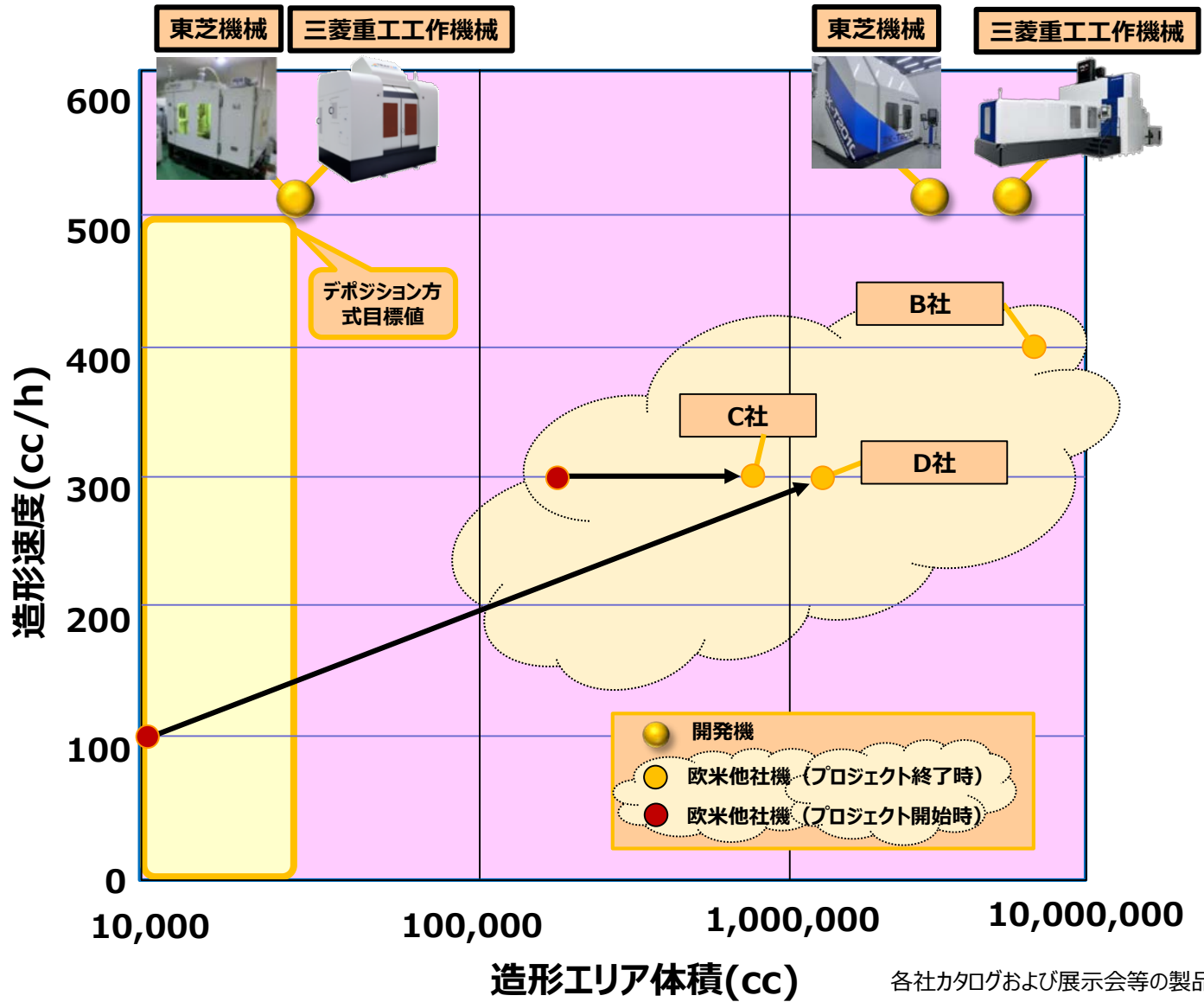
# ◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

プロジェクト開始および終了時における海外機との比較（造形サイズと造形速度）



# ◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

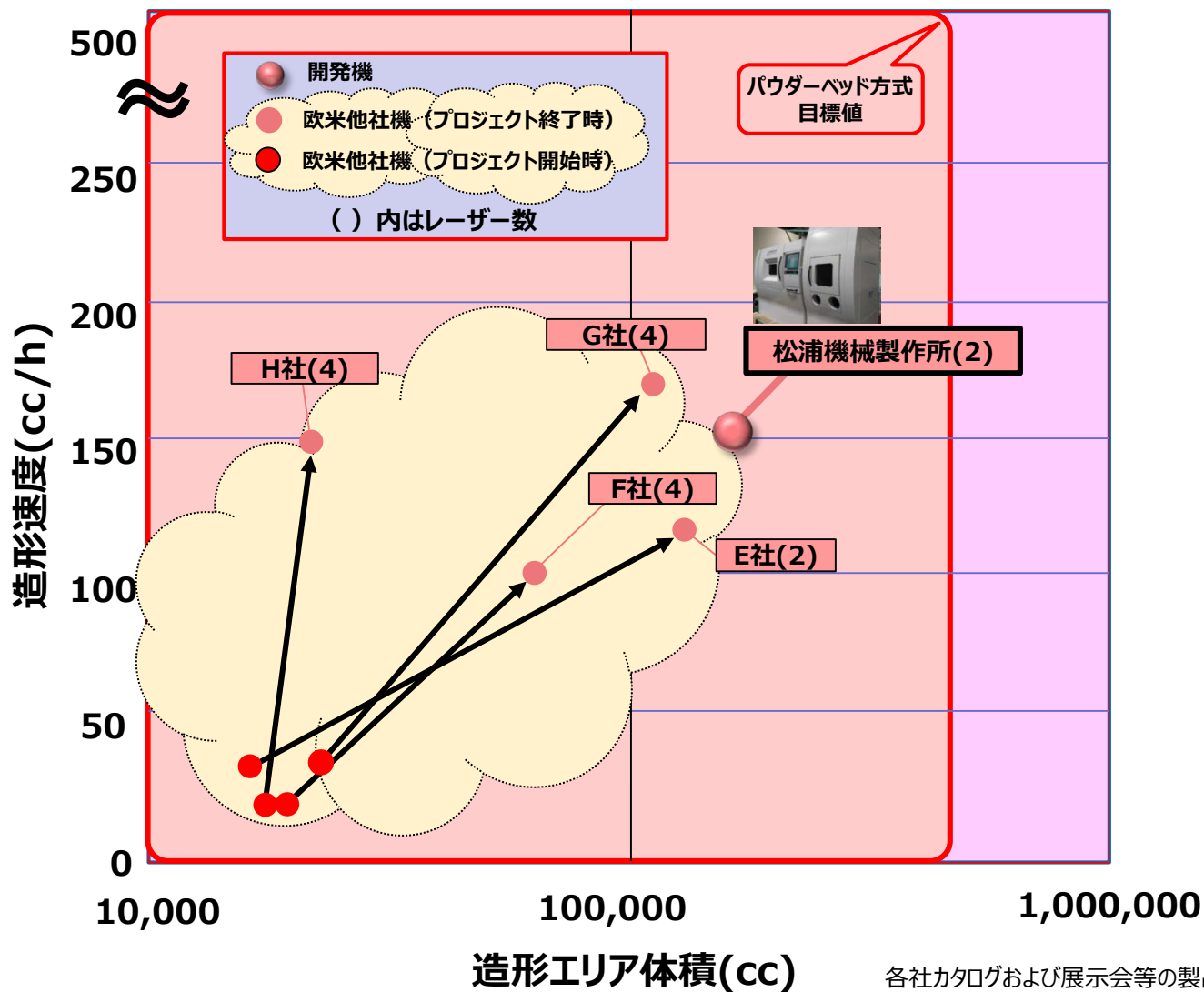
プロジェクト開始および終了時における海外機との比較（造形サイズと造形速度）  
レーザービームデポジション方式



# ◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

プロジェクト開始および終了時における海外機との比較（造形サイズと造形速度）

## レーザービームパウダーベッド方式



# ◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

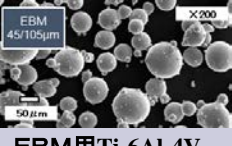
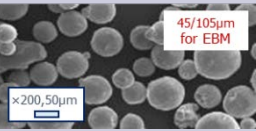
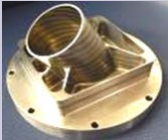
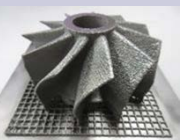
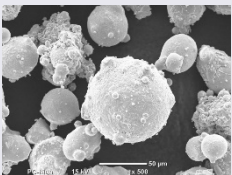
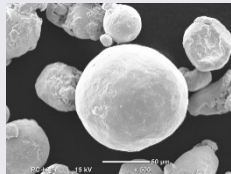
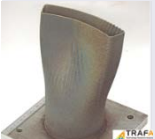

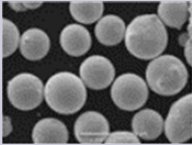

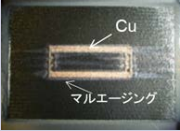
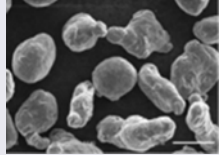
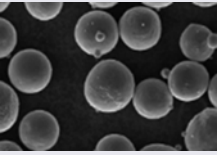

## ■ 装置開発 (要素技術を開発し、装置を実用化した。)



## ◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

## ■ 粉末開発

◆新たな粉末製造技術開発によりAMに相応しい実用に供する金属粉末を提供可能とした。

粉末メーカー	開発当初	技術開発	開発後	開発材料	適用事例
大同特殊鋼	 EBM用Ti-6Al-4V 粉末	特殊溶解法及び 新ノズル開発に よるガスアトマイ ズ法の開発	 EBM用Ti-6Al-4V 開発粉末	Ti-6Al-4V CP-Ti Ti-6Al-7Nb TiAl NiTi	 ダクト部品 (Ti-6Al-4V)  タービンロータ (TiAl)
山陽特殊製鋼	 従来法による 分級結果	遠心分離方式金 属粉末分級機構 の開発	 開発装置による 分級結果	IN718 SUS304 SUS316L SUS630 17-4PH クロム鋼 マルエージング鋼 780MPa熱間圧延鋼板	 高温静止部品 (IN718)  タービン翼モデル (クロム鋼)
福田金属	—	粉末修飾技術の 開発	 耐酸化処理 純銅粉末	純銅 Niコーティング銅 銅合金	 放熱部品(純銅)  複層部品 (純銅+M2)
東洋アルミ	 ガスアトマイズ法	遠心アトマイズ 粉末製造技術の 開発	 遠心アトマイズ法	Al-10Si-Mg A2024 A3003 A6061 A7075	 大型シリンダヘッドモデル (Al-10Si-Mg)

開発目的	主な成果
1. 大型化・高速化 2. 高精度化 3. 耐熱化	・高速・高精度ラインインクジェットヘッドの開発 ・高速造形用材料の開発 ・高速リコート技術の開発 ・粉末及びバインダの開発 ・人工砂による骨材の開発 (CCS:Catalyst Coated Sand)

◆ 世界最大・最速で造形可能な砂型造形装置の開発を行い、砂型の造形を可能とした。

【主な成果】

【装置】

【造形品例】

【技術開発】

・高速・高精度ラインインクジェットヘッドの開発



【ラインインクジェットヘッド】

・材料開発



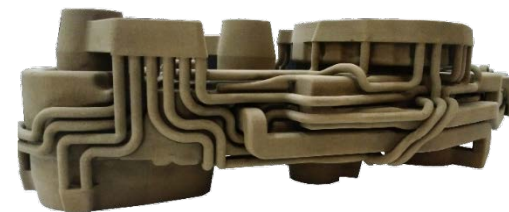
【バインダ原料】



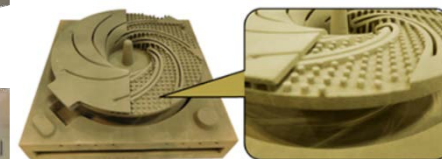
【CCS】



【SCM-1800】



【ギアボックス(中子)】



【インペラ(中子)】



【プロペラ(主型)】



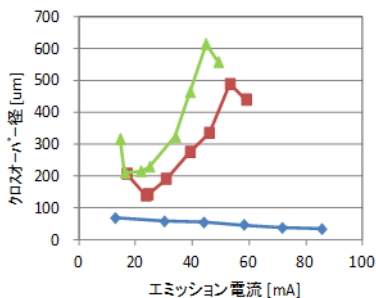
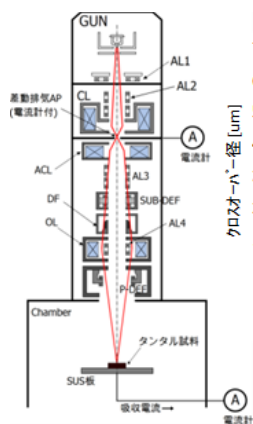
開発目的	主な成果	日本電子
1. 高速化 2. 高精度化 3. 複層化	<ul style="list-style-type: none"> <li>高性能電子銃の開発(出力:6kW、長寿命LaB<sub>6</sub>カソード(1000時間以上))及び余熱時間の短縮により209cc/hの高速化を達成。</li> <li>高性能電子銃の開発により造形精度±11μmを達成。</li> <li>複層粉末散布技術の開発により複層製品の造形を実現。</li> </ul>	

◆ 高速・高精度造形可能なEB/PBF装置の開発を行い、複層造形品の造形を可能とした。

【主な成果】

【技術開発】

・高性能電子銃の開発による高速化・高精度化達成



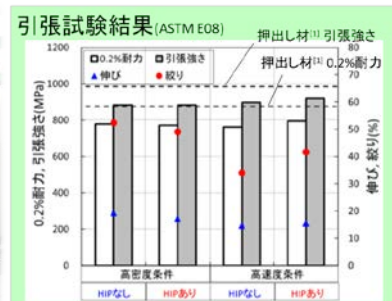
- 4電極-LaB6カソード  
1.0mmφ, T=1840K
- 3電極-LaB6カソード  
1.0mmφ, T=1840K
- 3電極-Wカソード  
1.0mmφ, T=2850K

【装置】



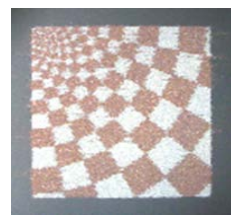
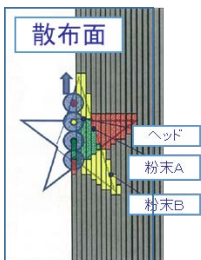
一次試作機

【造形体の機械的性質】



- 引張強度は溶製材に匹敵
- 疲労強度はHIPにより溶製材並み達成

・複層粉末散布技術の開発による複層製品の造形



複層粉末散布の例

【造形品例】



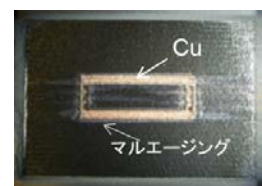
クローズドインペラ



オープンインペラ



放熱部品



複層造形品



二次試作機

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び  
研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義 項目②-1「大型電子ビーム方式の3Dプリンタ技術開発」

開発目的	主な成果	多田電機
1. 高速化・大型化 2. 高精度化	・高性能電子ビームカラムの開発(出力:6kW、長寿命LaB <sub>6</sub> 陰極(1000時間以上)、最大走査速度15,000m/s)及び大面積電子ビーム制御システムの開発による367cc/hの高速化及□500mmの大面積造形達成、造形物取出・粉末処理技術開発 ・大面積電子ビーム制御技術により照射位置精度±44µmを達成(□500mm域)	

◆ 世界最大・最速で造形可能なEB/PBF装置の開発を行い、大型造形品の造形を可能とした。  
【主な成果】

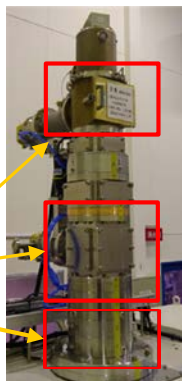
【技術開発】

・高性能電子ビームカラムの開発による高速化・大型化達成

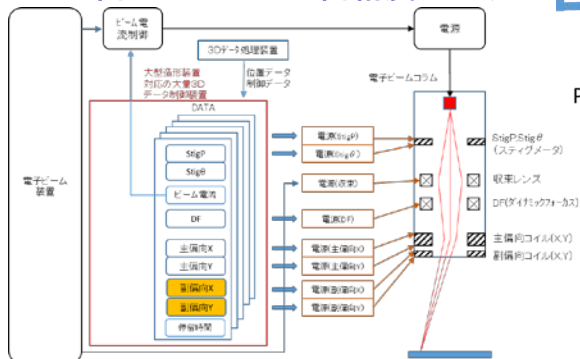
電子ビーム生成部

ビームプロファイル制御部

大面積高速制御部

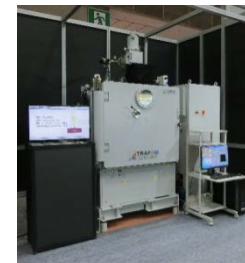
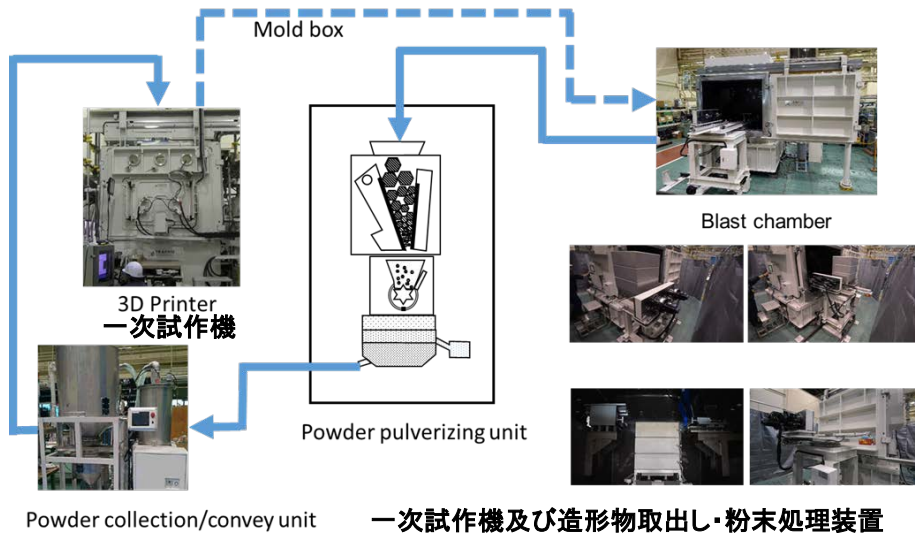


・大面積電子ビーム制御システムの開発による高速化・大型化・高精度化達成



・造形物取出し・粉末処理技術の開発

【装置】



要素技術研究機

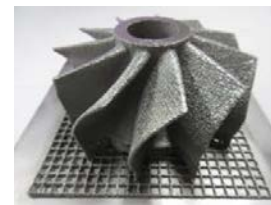


商用機

【造形品例】



タービン翼モデル(高クロム鋼)



タービンロータ(TiAl)

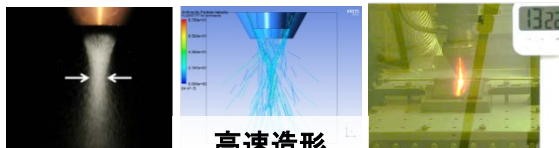
開発目的	主な成果	東芝機械
1. 高速化	<ul style="list-style-type: none"> <li>高性能ノズル及びヘッドの開発(高出力化:6 kW)により510cc/hの高速造形を達成</li> <li>高性能ノズルの開発(高精度ノズルの開発)の開発により ±19μmの高精度造形を達成</li> <li>複層用ノズル及び複層用5軸CAMソフトの開発により複層造形達成</li> </ul>	
2. 高精度化		
3. 複層化		

◆ 高速・高精度かつ複層で造形可能なDED装置を開発し、造形品の製作を可能とした。

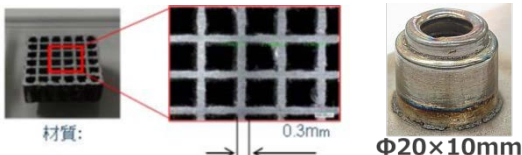
【主な成果】

【技術】

・高性能ノズルの開発により  
高速化・高精度化達成

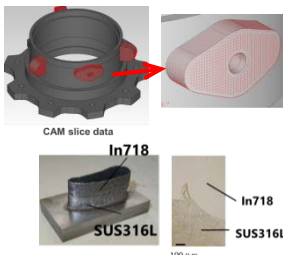


高速造形



高精度造形

・複層用5軸CAMソフトの開発により  
複層化達成(C&Gシステムズと連携)



5軸CAM  
+  
複層造形  
最終目標

【装置】

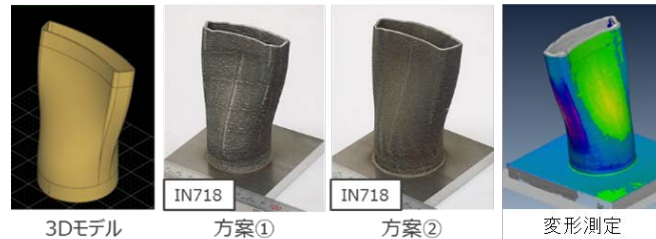


一次試作機



商用機

【造形品例】



3Dモデル

方案①

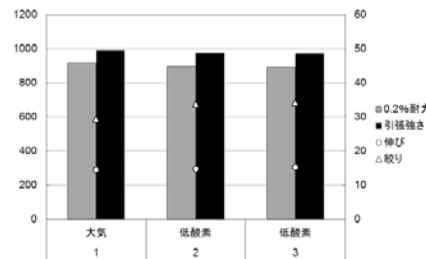
方案②

変形測定

複雑形状パイプ



ロケットエンジン部品



【機械的性質】

・引張強度、疲労強度  
とも鍛造材並み達成

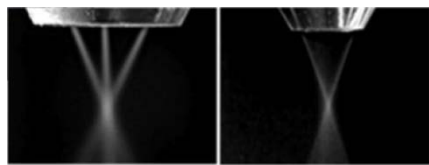
開発目的	主な成果	三菱重工工作機械
1. 高速化 2. 高精度化 3. 複層化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高性能ノズル及び機構の開発(高出力化:6 kW)により501cc/hの高速造形達成。</li> <li>・高性能ノズルの開発(高精度ノズル)及び造形プロセスの開発により±12μm達成。</li> <li>・モニタリング・フィードバック機能の開発により高品質化を達成。</li> <li>・複層用ノズル及び機構及び複層用5軸CAMソフトの開発により複層造形実現。</li> </ul>	

◆ モニタリング・フィードバック機能を搭載したDED装置を開発し、安定した造形を可能とした。

【主な成果】

【技術開発】

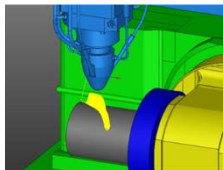
・高性能ノズルの開発により  
高速化・高精度化達成



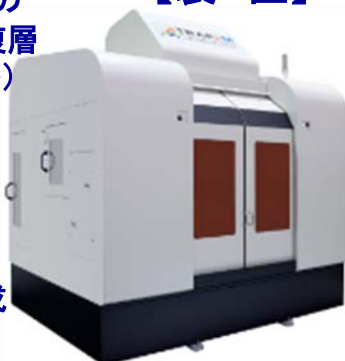
3 beam type

Co-axial type

・複層用5軸CAMソフトの  
開発による高精度化・複層  
化(C&Gシステムズと連携)



【装置】



一次試作機

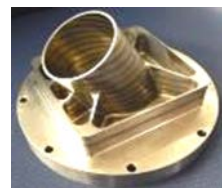
【造形品例】



複層造形体の例(シャフト)  
(合金鋼+SUS316L+ステライト)



複層造形体の例  
(回転部品)  
(SUS304+インコネル  
718+マルエージング鋼)



造形+切削部品の例  
(ダクト部品)  
(Ti-6Al-4V)

・モニタリング・フィードバック技術の開発による高品質化達成

制御パラメータ\*  
記録した画像をオフラインで観察し  
フィードバックパラメータの調整ができます。

記録  
品質トレートレサビリティの為に  
メルトプール画像等を記録できます。

フィードバック制御\*  
メルトプールの状態を安定させる  
ようフィードバック制御します。  
\* 開発中

メルトプール観察  
造形の起点である  
メルトプールの  
観察ができます。

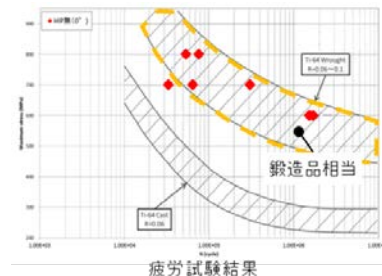
メルトプール観察

フィードバック無効

フィードバック有効



商用機



【機械的性質】

・引張強度、疲労強度  
とも鍛造材並み達成

松浦機械製作所

開発目的

主な成果

- 1. 大型化・高速化
- 2. 高精度化

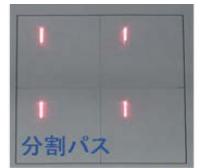
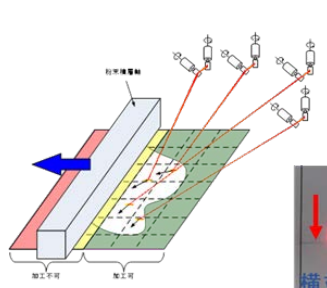
・レーザーの高出力化(1 kW及び2 kWシングルモードファイバーレーザーの開発)及びマルチレーザー(4台)制御システムの開発により151cc/hの高速化及び600mm×600mmの大型化達成。  
 ・粉末自動供給・回収装置の開発により大型化に対応。  
 ・高精度化のためのCAMソフトウェアの開発により±20μmを達成。

◆ 大型・高速機能を有するLPBF装置を開発し、大型造形品の造形を可能とした。

【主な成果】

【技術開発】

・高出力レーザー及びマルチレーザー(4台)制御システムの開発により大型化・高速化達成

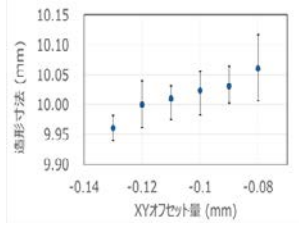


・高速リコート装置開発による高速化達成



Recoater

・CAMソフト開発による高精度化達成



レーザーパスXYオフセット量と寸法の関係

【装置】



一次試作機



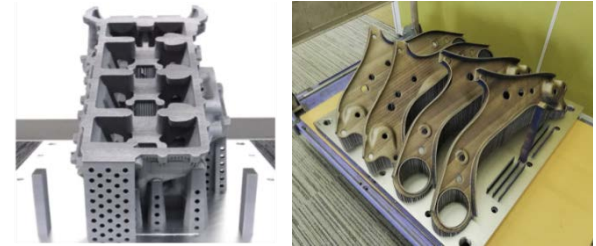
二次試作機

【造形品例】

航空宇宙・自動車分野の大型製品の造形達成



大型パイプモデル (INCONEL718)  
(400mm×350mm×350mm)



大型シリンダヘッドモデル  
(Al-10Si-Mg)



サスペンション部品  
(780Mpa熱間圧延鋼板)

【機械的性質】

- ・引張強度は溶製材に匹敵
- ・疲労強度はHIPにより溶製材並み達成

① 新アトマイズ法による高融点・高活性金属粉末製造技術の開発（大同特殊鋼）

- ・ 53μm以下粉末の収率40%のチタン合金粉末製造技術を確立（達成）
- ・ 航空宇宙用TiAl合金粉末製造技術を確立（達成）

② 気体流による遠心分離方式金属粉末分級機構の開発（山陽特殊製鋼）

- ・ 篩分級時の歩留の1.4倍以上の分級歩留率を達成（達成）

【大同特殊鋼】

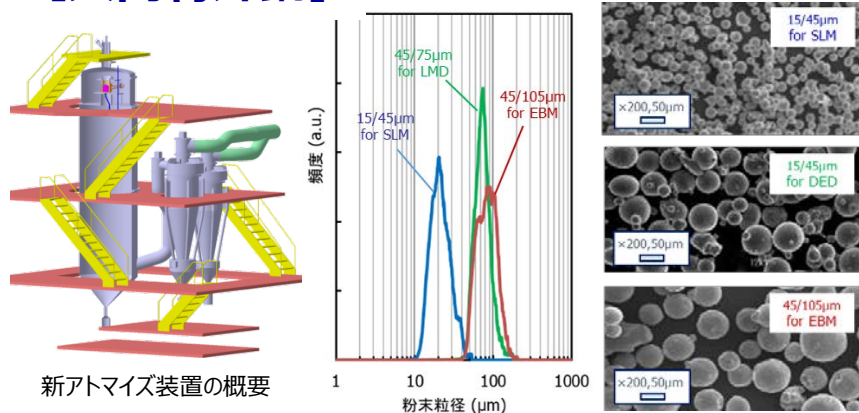
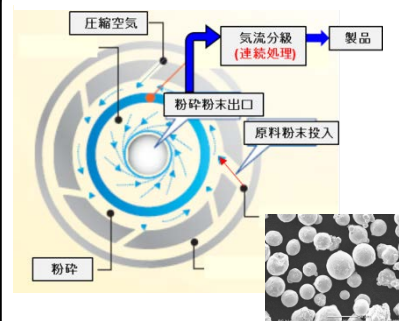


図1 新アトマイズ法によるチタン粉末の球状化及び粒度分布制御技術の開発

表1 開発商品のラインナップ<sup>o</sup>（2019年度より販売開始）

材質	用途	LPBF	DED	EPBF
Ti-6Al-4V	航空宇宙・産業機器	○	○	○
CP-Ti	医療	○	○	○
Ti-6Al-7Nb	医療	○	○	○
TiAl	航空宇宙	—	—	○
NiTi	航空宇宙	○	○	○

【山陽特殊製鋼】



遠心分離方式分級装置の概要

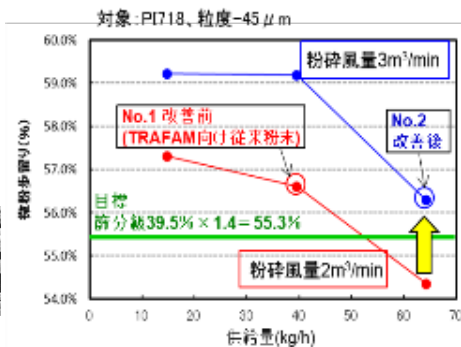


図2 気流分級によるIN718粉末の粒度分布制御及び歩留向上技術の開発

表2 開発粉末

材質	用途	LPBF	DED	EPBF
IN 718	航空宇宙	○	○	○
SUS304	産業機器	○	○	—
SUS316L	産業機器・自動車	○	○	—
SUS630	航空宇宙	○	—	—
高クロム鋼	産業機器	—	—	○
マルエージング鋼	金型	—	○	—
SPH780	自動車	○	—	—

3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び  
研究開発成果の意義

◆ 各個別テーマの成果と意義 項目③「金属等粉末製造技術及び粉末修飾技術の開発」

③ 高機能粉末製造のための粉末修飾技術の開発 (福田金属)

・微細銅系粉末の量産修飾粉末製造技術の開発 (達成)

④ アルミニウム合金粉末の開発 (東洋アルミ)

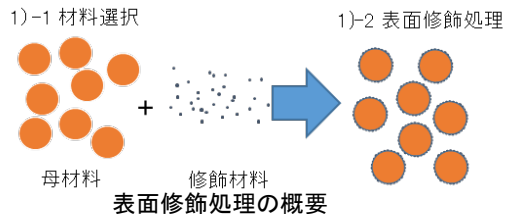
・遠心アトマイズ粉末製造装置による球状粉末製造技術を確立 (達成)

【福田金属】



表面修飾装置

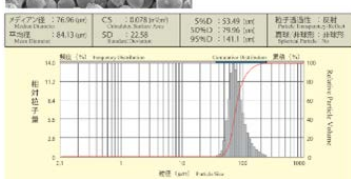
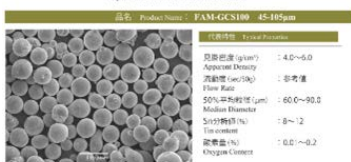
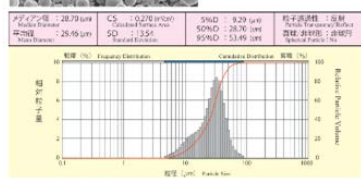
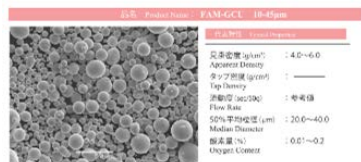
図3 表面修飾技術による銅及び銅合金粉末の高機能化技術の開発



修飾純粉末による造形体

積層造形用(電子ビーム) 青銅粉末

積層造形用(レーザー) 銅粉末



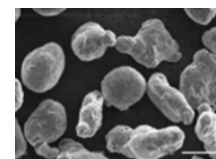
【東洋アルミ】

Al合金粉末の球状化及び歩留向上技術開発

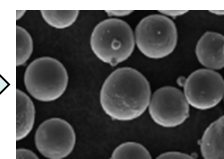


遠心アトマイズ粉末製造装置

	粒径 (µm)			歩留 (%)
	D <sub>10</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>90</sub>	
-350µm粉末	14.8	28.6	54.5	71
-45µm粉末	14.7	27.2	43.5	60



ガスアトマイズ粉末



遠心アトマイズ粉末

図4 遠心アトマイズ法によるアルミ合金粉末の球状化技術の開発

表4 開発粉末

材質	用途	LPBF	DED	EPBF
Al-10Si-Mg	自動車・航空宇宙・産業機器	○	○	○
A2024	航空宇宙・自動車・産業機器	○	—	—
A3003	自動車・産業機器	○	—	—
A6061	船舶・車両	○	—	—
A7075	航空宇宙・自動車・産業機器	—	—	○

# ■ シミュレーション開発と達成状況

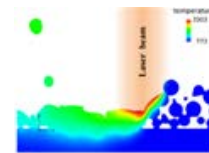
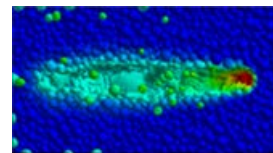
【目的】高品質造形を担保するためにシミュレーション技術を開発

## シミュレーション開発

## シミュレーション例

### 【マイクロ溶融凝固シミュレーション】（三菱重工）

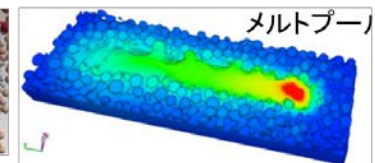
◆新たに提案した二流体モデルにより、一流体モデルでは不可能なスパッタ及びプルームの予測を可能にした。



最適造形条件の予測

### 【マクロ溶融凝固・組織予測シミュレーション】（東北大学）

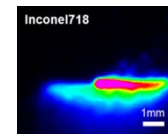
◆粉体を考慮したモデルにより、粉末のリコート及び溶融凝固状況の予測を可能にした。



溶融凝固及び組織の予測

### 【マクロ溶融凝固シミュレーション】（近畿大学）

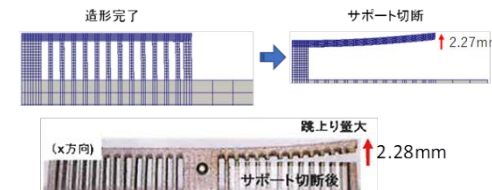
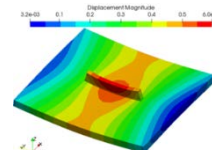
◆新たに提案した溶融凝固モデルにより、高精度のメルトプール形状の予測を可能にした。



最適造形条件の予測

### 【熱変形シミュレーション】（ASTOM）

◆熱弾塑性解析では不可能な高速計算が可能な、固有ひずみ法により、応力分布及び熱変形計算可能とし、DED方式で実用化

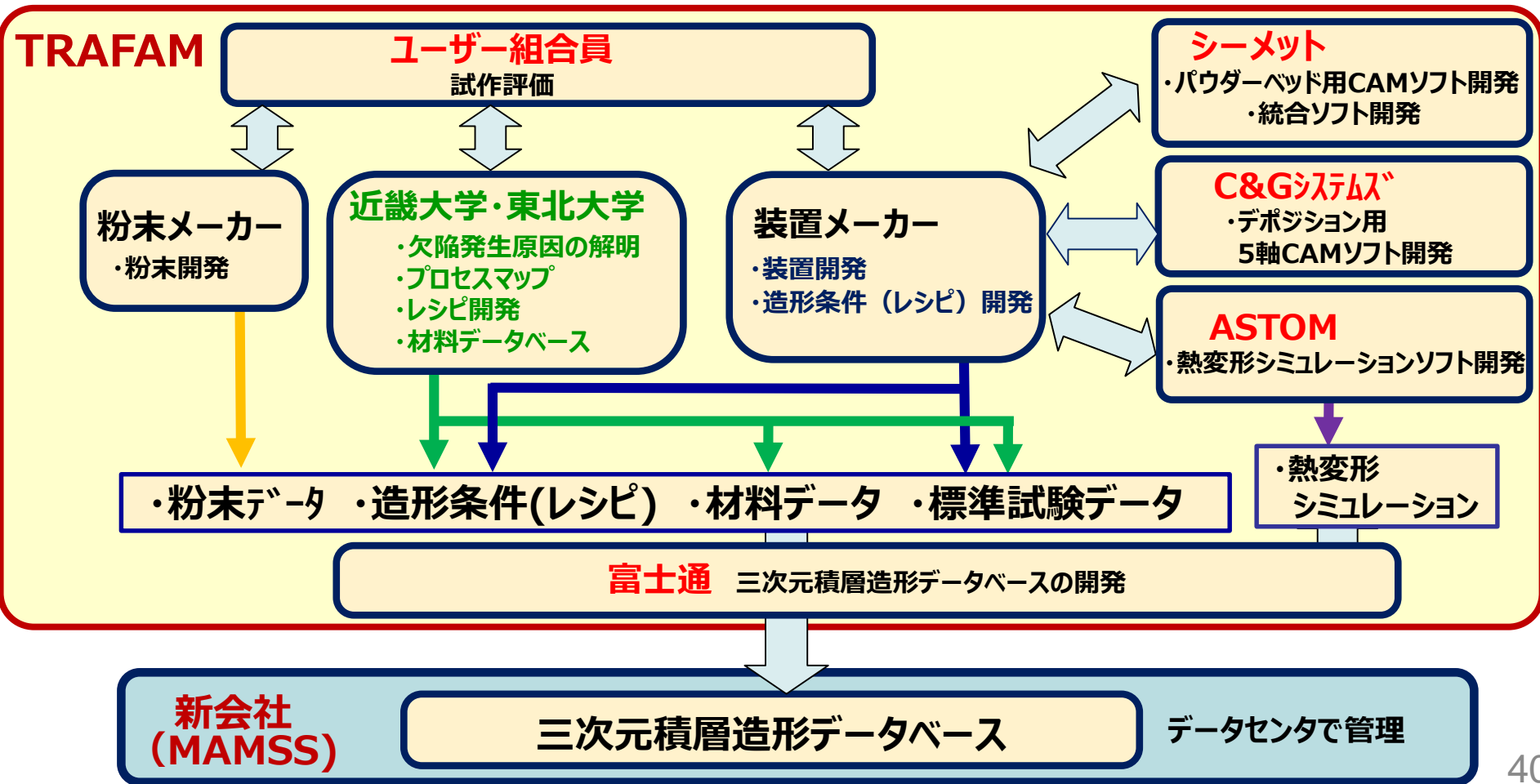


マイクロ  
サイズ  
実物大



## ■ ソフトウェアおよびシミュレーション開発と達成状況

- ・**目標** : 開発した各装置をユーザが高効率で有効に活用可能とするために、パウダベッド用CAMソフト及びデポジション用複層対応5軸CAMソフト、熱変形シミュレータ、材料・造形条件・品質データベースを統合化するソフトウェアを構築する。
- ・**実施内容と成果** : 各ソフトウェアを開発するとともに、開発装置及びソフトウェア間のインターフェースを開発し、新会社（株式会社金属積層造形サポートシステム（MAMSS））を核としたユーザーと開発メーカー・大学間でデータを共有するシステムを開発した。



3. 研究開発成果

(1) 研究開発目標の達成度及び  
研究開発成果の意義

◆ 各個別テーマの成果と意義 項目⑤「金属積層造形技術の実用化に向けた実証」

開発目標	主な成果
1. 実証装置 2. 実証件数 3. 評価項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発装置 5 機種全ての実証試験を実施</li> <li>・目標 10 件に対して 19 件の検証を実施</li> <li>・機械特性、部品精度、機能（冷却性能、回転試験）等の評価を実施した。</li> </ul>

①次世代型産業用3Dプリンタ 技術開発プロジェクト

<b>電子ビーム方式</b> 装置・ソフト開発 ・大学1機関、国研1機関 ・メーカー等企業5社	<b>レーザービーム方式</b> 装置・ソフト開発 ・大学1機関、国研1機関 ・メーカー等企業13社
材料開発 粉末メーカー4社	
ユーザー(組合員) 国研1機関、企業13社	

	機種	業界	造形部品名	目的
ユーザー組合員による実証評価	複層電子ビーム方式の3Dプリンタ技術開発 (日本電子)	産業機械 自動車 産業機械	エンジン部品 (図1) 熱交換フィン 高放熱部品	実機適用性の評価 熱交換性能の評価 複層部品造形の品質評価
	大型電子ビーム方式の3Dプリンタ技術開発 (多田電機)	エネルギー 航空機 産業機械	タービン翼部品(図2) エンジン部品 タービン部品 (図3)	造形安定性の評価 製造性に関する総合評価 実部品適用性評価
	複層レーザービーム方式の3Dプリンタ技術開発 (東芝機械)	航空機 エネルギー	エンジン部品 高温静止部品 (図4)	適用性評価 製造性に関する総合評価
	複層レーザービーム (マシニング) 方式の3Dプリンタ技術開発 (三菱重工工作機械)	産業機械 航空機 自動車 医療	動力伝達模擬部品(図5) ダクト模擬部品 (図6) トランスミッション部品 人工関節	複合加工性の評価 複雑形状部品の一体造形/チタン合金の大気中造形 複層部品造形 粗面化
	大型高速レーザービーム方式の3Dプリンタ技術開発 (松浦機械製作所)	宇宙 航空機 自動車 自動車 航空機	エンジン部品 (図7) エンジン部品 シリンダヘッド (図8) 足回り部品 (図9) エンジン部品	大型部品造形の品質評価 回転部品の実施適用性評価 大型部品の造形性評価 足回り部品の試作性評価 熱交換機部品の品質評価
	海外製3Dプリンタ	AM試作 AM試作	テストピース テストピース	AM用金属粉末の再使用調査と再生の実証 造形物の品質保証の実証

造形部品 (代表例)



図1 図2 図3 図4 図5 図6 図7 図8 図9

## ◆成果の普及（1）（論文、研究発表）

	2014 年度	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	総計
論文	0	0	0	2	4	3	9
研究発表・講演	0	17	11	30	41	54	153
受賞実績	0	0	0	0	0	3	3
新聞・雑誌等への掲載	0	9	4	7	16	29	65
展示会への出展	3	4	3	2	2	1	15

※2019年9月30日現在

### <基調講演・招待講演(全12件)の例>

1. H. Kyogoku, "The current status and outlook of Additive Manufacturing in Japan", World PM2016 Congress& Exhibition, (2016.10), Hamburg, Germany.
2. H. Kyogoku, "The latest actions of the Technology Research Association for Future Additive Manufacturing (TRAFAM)", Additive Manufacturing European Forum (AMEF2018), (2018.10), Brussels, Belgium.

### <代表的な論文>

1. Ikeshoji, T.-T., Nakamura, K., Yonehara, M., Imai, K. and Kyogoku, H., Selective laser melting of pure copper, JOM, Vol.70, No.3 (2018), pp.396-400.
2. Y. Zhao, Y. Koizumi, K. Aoyagi, D. Wei, K. Yamanaka, A. Chiba, "Molten Pool Behavior and Effect of Fluid Flow on Solidification Conditions in Selective Electron Beam Melting (SEBM) of a Biomedical Co-Cr-Mo Alloy", Additive Manufacturing, 26 (2019), 202-214.
3. Noriko WATARI, Yuzuru OGURA, Noriko YAMAZAKI, Yukihiko INOUE, Keisuke KAMITANI, Yasuyuki FUJIYA, Masahiko TOYODA, Saneyuki GOYA, Toshiya WATANABE, Two-fluid model to simulate metal powder bed fusion additive manufacturing, Journal of Fluid Science and Technology, 2018, Vol.13 No.2, p. JFST0010, Online ISSN 1880-5558, <https://doi.org/10.1299/jfst.2018jfst0010>

## ◆成果の普及（2）（展示会、新聞報道等）

TRAFAM主催 シンポジウム	参加者	モノづくりマッチングJapan 併催 シンポジウム	参加者	展示会出展 (内:小規模展示会)	参加者 ※1
5回	1,168名	4回	1,280名	15回 (内:3回)	14,800名

※1：TRAFAMブースにて資料配布した延べ数（小規模展示会を除くと平均900名以上/回の参加） 見学のみは未カウント

### <TRAFAM主催シンポジウム> テーマ「ひらめきを形に！設計が変わる新しいモノづくり」

- ・2015年6月30日 第1回シンポジウム@TKPガーデンシティ竹橋大ホール
- ・2016年9月21日 第2回シンポジウム@TKPガーデンシティ竹橋大ホール
- ・2017年8月23日 第3回シンポジウム@TKP市ヶ谷カンファレンスセンター大ホール 共催：NEDO
- ・2018年8月23日 第4回シンポジウム@TKPガーデンシティPREMIUM京橋ホール22A 共催：NEDO
- ・2019年9月5日 第5回シンポジウム@パシフィコ横浜アネックスホール 共催：NEDO、モノづくり日本会議 実行委員会（日刊工業新聞社）

### <展示会>

1. **モノづくりマッチングJapan @東京ビッグサイト** 2014/10/15-17、2015/12/2-4、2016/10/19-21、2017/11/29-12/1、2018/10/17-19  
5回出展（太字下線はシンポジウム併催）
2. **3D Printing 2014-2016 @東京ビッグサイト** 2015/1/28-30、2016/1/27-29、2017/2/15-17 3回出展
3. **3Dプリンター活用Expo @名古屋・ウィングあいち** 2015/2/13、2016/2/16 2回出展
4. **JIMTOF @東京ビッグサイト** 2016/11/17-22、2018/11/1-6 2回出展
5. **TCT Japan 2019 @東京ビッグサイト** 2019/1/30-2/1 1回出展
6. **高精度・難加工技術展 2019 @パシフィコ横浜** 2019/9/4-9/6 1回出展

### <新聞報道等>

- 2014年3月7日 「深層断面」次世代3Dプリンター 経済産業省主導で開発プロ 日刊工業新聞（24面）
- 2014年4月2日 高性能3Dプリンター 産学官で研究組合発足 日本経済新聞
- 2014年5月30日 TRAFAM、3Dプリンターの国家プロが始動（5月29日発足式の内容） 日刊工業新聞（3面）
- 2015年6月30日 TRAFAM、国産機完成-金属3Dプリンター 日刊工業新聞（1面）
- 2015年8月6日～10月22日 出陣！“日の丸”3Dプリンター（1）～（11）日刊工業新聞連載（9面等）
- 2019年4月3日 日本産業技術大賞 審査委員会特別賞 超高速砂型積層造形装置 日刊工業新聞（14面）
- 2019年4月17日 高速造形 レーザー式 金属3Dプリンター開発 三菱重工工作機械 日刊工業新聞（9面）
- 2019年8月26日 三菱電機（多田電機）が業界最速造形 金属3Dプリンター-競合の2.5倍、毎時250CC 日刊工業新聞連載（7面）

# ◆成果の普及 (3) (受賞)

## ・受賞 : 鋳造用砂型3Dプリンタの技術開発

2019年4月 3日 日本産業技術大賞 審査員特別賞(日刊工業新聞社)

2019年5月18日 豊田賞(日本鋳造工学会)

2019年5月18日 論文賞(日本鋳造工学会)



受賞件数
3

## <受賞内容詳細>

・日本産業技術大賞 審査員特別賞(日刊工業新聞社)

産業技術総合研究所、シーメット(株)

群栄化学工業(株)、伊藤忠セラテック(株)

「超高速砂型積層造形装置」

・豊田賞(日本鋳造工学会)

TRAFAM(技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構) 13団体・グループ

「高速砂型積層造形装置の開発」

・論文賞(日本鋳造工学会)

永井康弘、高下幸佑(群栄化学工業(株))、岡根利光(産業技術総合研究所)

「焼結法により作製された人工砂の固体融媒コーテッドサンドによるフラン砂型積層造形技術」



# ◆知的財産権の確保に向けた取組（特許、標準化）

	研究開発項目	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	計	総計
日本特許登録件数 (米国特許, 欧州特許)	電子ビーム (パウダーヘッド)	0	0	7	7	1 (3, 1)	0 (1, 1)	15 (4, 2)	64 (19, 6)
	レーザ (パウダーヘッド)	0	0	0	3	3	0	6	
	レーザ (デポジション)	0	0	3	17	5 (6, 0)	0 (2, 2)	25 (8, 2)	
	レーザ単体、 粉末, ソフト	0	0	2	2	3 (3, 0)	0 (0, 1)	7 (3, 1)	
	砂型, 砂材料	0	0	8	3	0 (3, 0)	0 (1, 1)	11 (4, 1)	

※2019年9月30日現在

## <標準化活動>

### 1. 体制

- ・ISO/TC261(積層造形専門委員会)の国内審議団体をTRAFAMが担当(2014/6/3～)
- ・「国内審議委員会」およびTC261本体に準じた6つの「WG」を設置

### 2. 国内委員会/国際会議

- ・国内委員会: 年4回、投票審議: 年8-10回、他に 国際web会議、国内WG会議等を実施
- ・国際会議 年2回(欧州中心のISO/TC261と米国中心のASTM F42が協調)、日本代表は2013/7(第3回)から参加

### 3. 第8回ISO/TC261国際会議を日本で開催(アジア初) 2016/7/11-14 東京、15ヶ国参加

### 4. 2019/5に日本単独の新規提案2件提出、新JG設立を提案

- ・Test method of sand mold for metalcasting(JG77)
- ・ISO/TC261投票で新規提案及び新JG設立が承認された
- ・2019/9 第14回ISO/TC261国際会議(フランス)でファーストミーティングが開催された。

### 5. JIS原案作成

- ・JIS B 9640「付加製造(AM)-用語及び基本的概念」2020 発行される予定

# 発表内容

## 1. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業の目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

## 2. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産等に関する戦略の妥当性

## 3. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の普及
- (3)知的財産権の確保に向けた取組

## 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取組
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用（顧客への提供等）が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動（売り上げ等）に貢献することを言う。



## ■ 実用化・事業化に向けて

### ◆ 新会社：株式会社金属積層造形サポートシステム（MAMSS）設立

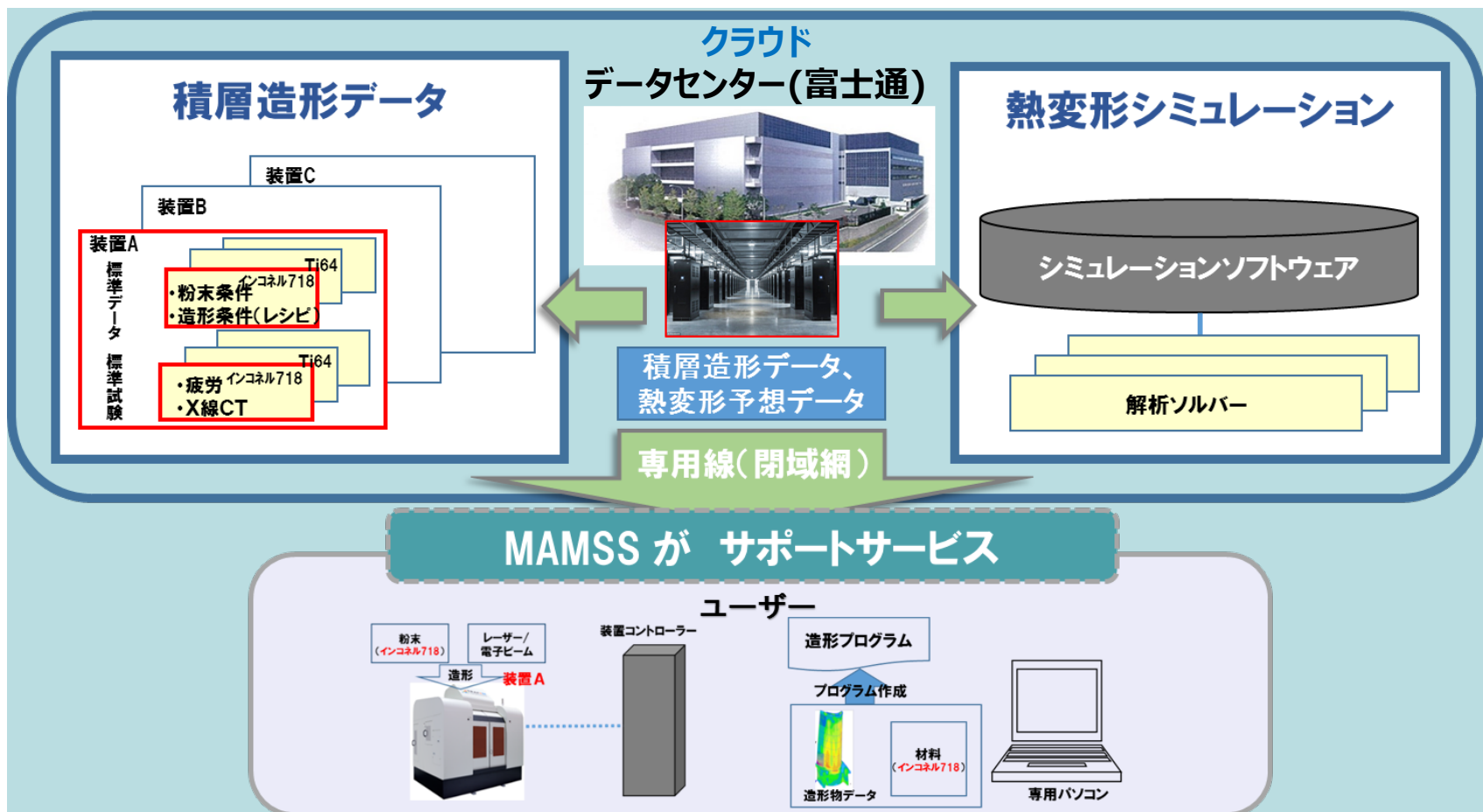
クラウドの積層造形データとシミュレーションサービス  
(新会社がシステムサポート)

【設立日】 2018年4月2日

【会社名】 株式会社金属積層造形サポートシステム

【社長名】 松村 孝宏

注：MAMSS：Metal Additive Manufacturing Support System Co.,Ltd.

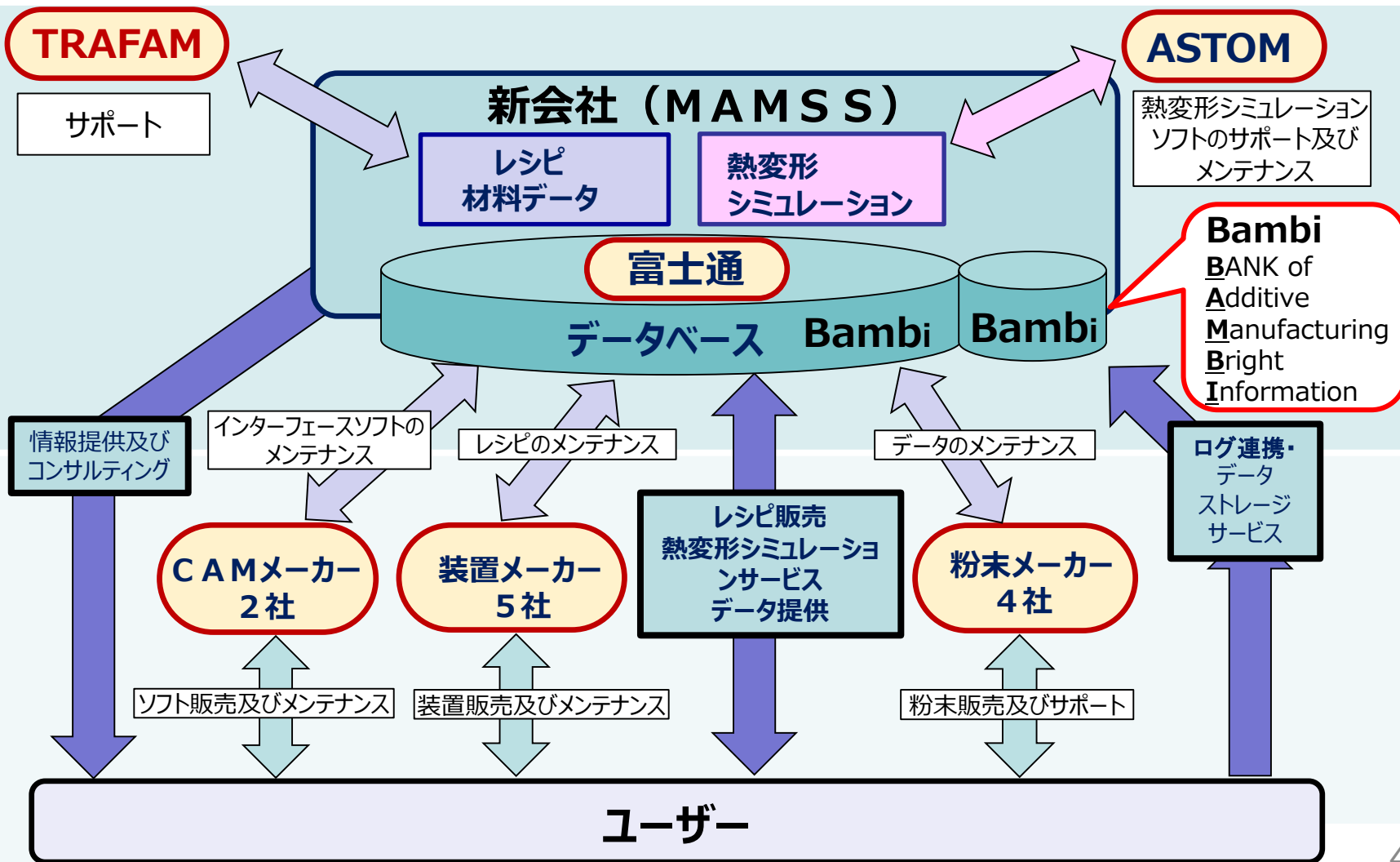


## ■ 実用化・事業化戦略 ～中小企業等への拡大に向けて 新会社のビジネスモデル～

装置・粉末・CAMソフト : 各社の対応  
ソフト (レシピ、データ、シミュレーション) : 新会社MAMSSの対応 (TRAFAMがサポート)

データ管理・シミュレーション

装置・粉末・CAM



## 砂型積層造形装置

### ・実用化の内容

TRAFAMプロジェクトの途中ではあるが、2015年度に小型の砂型積層造形装置及び材料（骨材・バインダ）を早期に実用化した。そこで発生した課題（粉塵対策、安全対策、砂引きずり対策、ヘッドクリーニング対策等）を解決し、解決した内容を大型高速砂型積層造形装置及び材料にも反映したことにより、早期立ち上げに貢献。計画通り、2018年度より装置販売を開始し、国産1号機（鶴見製作所様）を納入した。



図1.販売装置(SCM-1800)

項目	TRAFAM 開発機仕様
装置外観寸法/装置本体重量	W4,550xL2,515xH3,210mm/約4,000kg
造形スペース/造形物最大重量	1,800×1,000×750mm/約2,000kg
インクジェットヘッド数	16ヘッド(ユニット交換、単品交換可)
プリンタXY分解能	0.127mm
積層ピッチ/入力データフォーマット	0.28mm / STL
電源仕様/電源容量	AC200V 三相 / 10KVA
エア一圧	ドライエアー 0.7MPa
動作環境	温度23℃±2℃ 湿度40%以下(材料仕様)

表1. 販売装置仕様

### 【成果】

- ①2018年5月にNEDOより大型砂型積層造形装置（SCM-1800）のニュースリリース。
- ②同年10月に国産1号機を納品。
- ③日刊工業新聞社 日本産業技術大賞 審査員特別賞 受賞(2019年4月3日)
- ④日本鋳造工学会 豊田賞、論文賞 受賞 (2019年5月18日)
- ⑤納入実績 小型機10台、大型機2台

## 電子ビーム方式金属3Dプリンタ

### ・実用化の内容

電子ビームを熱源とするパウダーベッド方式金属3Dプリンタの装置販売を2019年9月開始した。

- ① 6kWの電子銃用電源の搭載で、業界最高の積層造形速度250cc/hを実現。
- ② 電子ビーム発生源の加熱寿命を業界最高の1000時間を達成。
- ③ 各種造形条件設定の自由度が向上



図1.販売装置(EZ300)

製品形式	造形サイズ(mm)	電子ビーム出力(kW)
EZ300	250x250x350	6

表1. 販売装置仕様



フィン(φ100: Ti-6Al-4V)



三次元擬似形状モデル  
(Ti-6Al-4V)



溶接機部品：スエージング  
ロール(φ100: Ti-6Al-4V)

図2.造形事例

### 【成果】

- ① 2019年3月多田電機より兵庫県立工業技術センターに納入(兵庫県立大学の金属新素材研究センターに設置)
- ② 2019年8月三菱電機より電子ビーム金属3Dプリンタ(EZ300)をニュースリリース。(同9月発売開始)

デポジション方式 3Dプリンタ(マシニング方式)

・実用化の内容

造形状態を自動で監視・安定化させるモニタリングフィードバック機能、航空・宇宙分野などで使用されるチタン合金等造形に必要なシールド機能の二つの開発技術の実用化に目途を付け、これらを搭載したエントリーモデルを2019年4月に市場投入した。



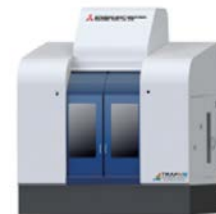
図1.販売装置  
 (LAMDA200 DED AM SYSTEM)

製品形式	造形サイズ(mm)	機械寸法(mm)	機械質量(kg)
LAMDA200	200X200X200	1,800X1,400X2,300(本体のみ)	約2,000(本体のみ)

表1. 販売装置仕様



LAMDA2000 Hybrid DED SYSTEM  
 造形サイズ：2500×1400×1500 (計画)  
 図2. シリーズ機



LAMDA500 Hybrid DED SYSTEM  
 造形サイズ：500×500×500 (計画)  
 Hybrid:5軸マシニング機能

【成果】

- ①2019年4月三菱重工業よりニュースリリース
- ②2019年3月にLAMADA200の初号機を滋賀県工業技術総合センターに納入。2019年4月滋賀県工業技術総合センター内に開設された「高度モノづくり試作開発センター」に設置され、三菱重工工作機械は同センターと連携して、ものづくり企業の新製品・新技術の創出を支援する。

デポジション方式 3 Dプリンタ

・実用化の内容

ノズル技術開発、プロセス適正化技術開発レシピ開発、アプリ開発を通じて、装置の製品化の目途をつけ、これら技術を搭載した 3 D プリントを2017年10月に上市した

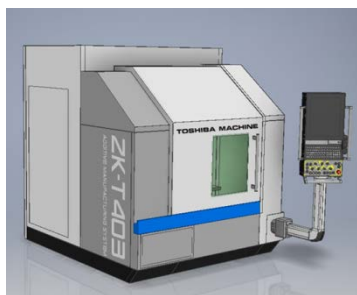


図1.ZKシリーズ概要

図2.試作機ZK-T2010とサンプル

表1. 販売装置仕様

型式と主な機械仕様		ZK-P202	ZK-T303
最大造形範囲	mm	200x200x200(H)	300x300x300(H)
可動軸数	軸	3	5
レーザ出力	KW	0.5~6.0 (オプション含む)	
粉体ホッパー数	個	1~4	
制御装置		TOSNUC PX-200	

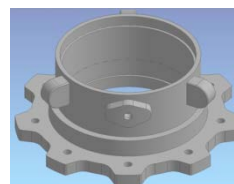


図3.モノづくり事例 (左からCADモデル、造形まま、加工後)

【成果】

①2017年5月

試作機ZK-T2010 発表

②2017年10月

上市、引合い対応開始

③2019年10月以降

商用機ZKシリーズ化 ←

④2019年11月

ZKシリーズの受注開始をニュースリリース

IMTS2018、JIMTOF2018、EMO2019など  
 世界の3大工作機械ショーで公開,ニーズ反映

# ◆波及効果（人材教育）

## ・金属積層造形技術セミナーの開催

TRAFAM主催、講師：京極PL,千葉SPL,各装置メーカー,粉末メーカー,ユーザー組合員の専門家

2016年度 入門編5回：東京9月21日、広島11月14日、名古屋12月14日、仙台1月17日、大阪2月22日

2017年度 入門編4回：札幌6月21日、東京8月22日、福岡10月20日、名古屋1月30日

2018年度 入門編2回：東京8月22日、名古屋2月7日～8日

実用編3回：小田原9月12日、御殿場12月10日、栗東3月8日

2019年度 入門編3回：仙台7月11日、広島10月18日、名古屋1月29日～30日

実用編2回：海老名11月27日、尼崎2月28日

入門編	参加者	実用編	参加者
13回	351名	4回	74名

定員20名/回



## ・セミナー用テキストを出版

### <入門編>

金属3Dプリンタへの理解や普及を目的に、入門編を開催。

教材として、

「～設計者・技術者のための～金属積層造形技術入門」を出版しセミナーに活用。

- 2018年度 名古屋 2日コースを新設
- 2019年度 東北大学、近畿大学の共催要素技術開発に関連した装置を見学 名古屋 2日コース



入門編テキスト表紙

### <実用編>

実務者向けとして、実用編を開催。

教材として、

「金属積層造形の実際～実用編～」を出版しセミナーに活用。

- 2018年度 (株)コイワイ、東芝機械(株)、三菱重工工作機械(株)
- 2019年度 金属技研(株)、多田電機(株)



実用編テキスト表紙

## ・公設試への装置導入 公設試へ装置を設置して地域企業との連携を強化

- ・シーメット(株) SCM-800：秋田県産業技術センター、兵庫県立工業技術センター、三重県工業研究所
- ・(株)松浦機械製作所 レーザービーム要素技術研究機：岩手県工業技術センター
- ・多田電機(株) 電子ビーム要素技術研究機：兵庫県立大学（金属新素材研究センター）
- ・三菱重工工作機械(株) LAMDA200：滋賀県工業技術総合センター