

三次元造形技術を核としたものづくり革命
プログラム(次世代型産業用3Dプリンタ
等技術開発)研究開発プロジェクト
中間評価 補足資料

平成28年7月21日

製造産業局素形材産業室

目次

1. 事業の概要
2. 事業アウトカム
3. 事業アウトプット
4. 当省(国)が実施することの必要性
5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ
6. 研究開発の実施・マネジメント体制等
7. 費用対効果
8. 外部有識者の評価等
9. 提言及び提言に対する対処方針

1. 事業の概要

1. 事業の概要

<p style="text-align: center; font-size: 24px;">概 要</p>	<p>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に、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体材料の多様化・高機能複合化等の技術開発等を行う。また、鑄造鑄型用の砂やセラミックス等について、積層造形装置に使用できる部材としての開発や、材料複合化・高機能化、後加工技術、未使用材料の回収等の周辺技術についても開発を行う。さらに開発した3Dプリンタ装置等を我が国産業競争力強化に繋げるため、有識者やユーザー等の意見を聞いて、標準化や市場動向調査等を踏まえて実用化を図る。</p>																																																
<p style="text-align: center; font-size: 24px;">実施期間</p>	<p>平成26年度(砂型は平成25年度～平成29年度)～平成30年度(5年間) 2ないし3年間:試作機の開発と改造評価 (中間評価) 2ないし3年間:開発機の開発・実証(終了後に事後評価)</p>																																																
<p style="text-align: center; font-size: 24px;">予算総額</p>	<p>当初計画: 167億円(委託100%)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>H25</th> <th>H26</th> <th>H27</th> <th>H28</th> <th>H29</th> <th>H30</th> <th>年度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>10.0</td> <td>37.5</td> <td>47.5</td> <td>30.5</td> <td>25.5</td> <td>16.0</td> <td>億円</td> </tr> </tbody> </table> <p>実績反映: (64億円)(平成28年度以降は委託と補助(補助率50%)に見直し)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>H25</th> <th>H26</th> <th>H27</th> <th>H28</th> <th>H29</th> <th>H30</th> <th>年度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>超精密(砂型)</td> <td>1.5</td> <td>4.3</td> <td>2.2</td> <td>(0.8)</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>億円</td> </tr> <tr> <td>三次元積層(金属)</td> <td>—</td> <td>33.2</td> <td>16.0</td> <td>(6.2)</td> <td>—</td> <td>—</td> <td></td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>1.5</td> <td>37.5</td> <td>18.2</td> <td>(7.0)</td> <td>—</td> <td>—</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		H25	H26	H27	H28	H29	H30	年度		10.0	37.5	47.5	30.5	25.5	16.0	億円		H25	H26	H27	H28	H29	H30	年度	超精密(砂型)	1.5	4.3	2.2	(0.8)	—	—	億円	三次元積層(金属)	—	33.2	16.0	(6.2)	—	—		合計	1.5	37.5	18.2	(7.0)	—	—	
	H25	H26	H27	H28	H29	H30	年度																																										
	10.0	37.5	47.5	30.5	25.5	16.0	億円																																										
	H25	H26	H27	H28	H29	H30	年度																																										
超精密(砂型)	1.5	4.3	2.2	(0.8)	—	—	億円																																										
三次元積層(金属)	—	33.2	16.0	(6.2)	—	—																																											
合計	1.5	37.5	18.2	(7.0)	—	—																																											
<p style="text-align: center; font-size: 24px;">実施者</p>	<p style="text-align: center; font-size: 18px;">技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM)</p>																																																
<p style="text-align: center; font-size: 24px;">プロジェクトリーダー</p>	<p>三次元積層造形兼レーザービーム方式: 京極秀樹 近畿大学工学部教授 電子ビーム方式: 千葉晶彦 東北大学金属材料研究所教授 超精密: 岡根利光 産業技術総合研究所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</p>																																																

3D(三次元)積層造形技術とは

Additive Manufacturing: AM(付加製造技術)

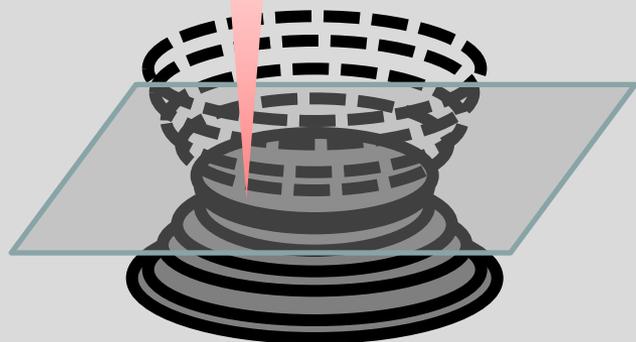
材料を付加することによって、三次元形状に作成する製造法。粉体材料等を積層しながらレーザー等で固めることによって製造し、金属等の塊から切削加工する製造法と対照的なもの。

積み上げ型の製造法



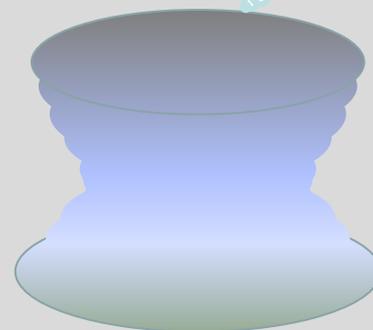
3D積層造形装置

レーザービーム or 電子ビーム



1層ずつ固めて積み上げる

複雑な内部構造も
自由自在に作れる

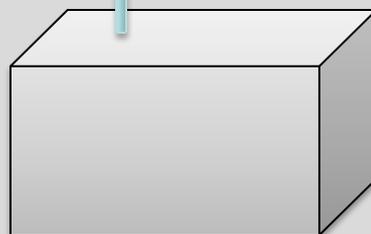


削り出し型の製造法(参考)



マシニングセンター(工作機械)

切削工具
(ドリル等)



金属等の塊から削り出す

外から確認できる範囲
のみでしか加工できない



駆動装置用部品



iPhone 4 筐体

3D(三次元)積層造形技術の強み(何がすごいのか?)

●究極の多品種少量生産ができる

金型等を用いないため、安価で一定な製造コストで、一品一品違った製品を連続的に製造できる。



348個の人工歯
(コバルトクロム合金)

●どんな形状の製品でも製造でき、あらゆる金属材料も加工できる

切削工具が届かず製造できないような部品(例:金属ブロック内に曲がった中空管構造を有した部品)も容易に製造できる。また、硬くて切削加工が難しい金属材料も自由に造形できる。最終製品に近い形状を得る成形の製造が可能(ニアネットシェイプ製造)。



冷却機構付き歯車

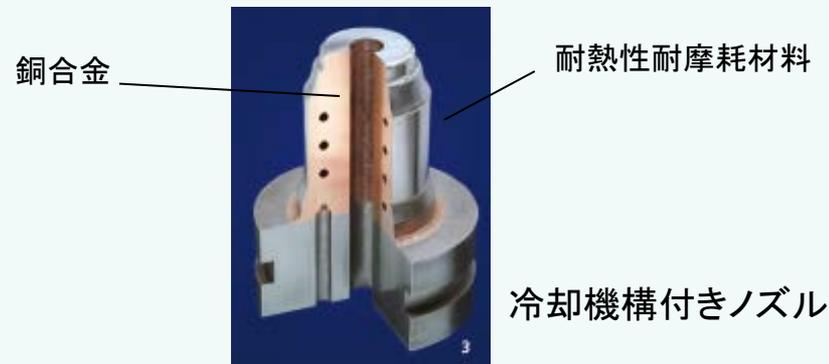


造形したメッシュ構造

出典:Fraunhofer IWU

●新しい機能が自由に付加できる

金属粉末を積層するので、一つの製品に複数の材料を組み合わせること(傾斜構造)や、焼結と溶融を使い分けることによって、多孔質金属と緻密金属の混合体の製造も可能。また、既存の製品に新たな機能を付加することができる。



銅合金

耐熱性耐摩耗材料

冷却機構付きノズル

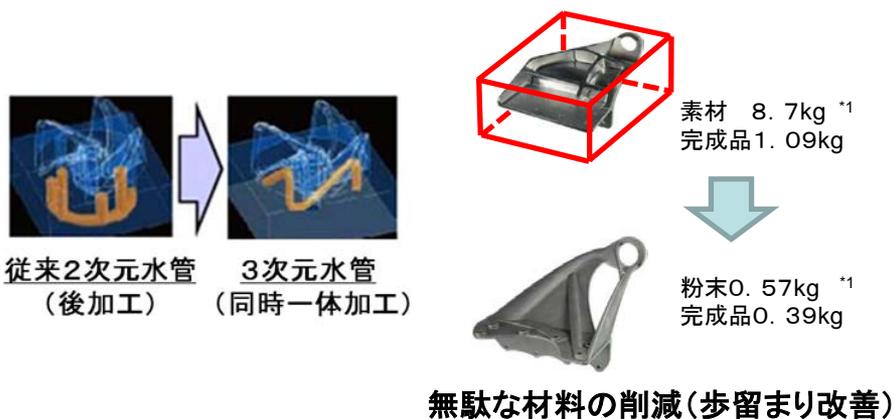
出典:Fraunhofer ILT

新しいものづくりの可能性

①ものづくりプロセスにおける革新

- 試作・設計工程の期間を短縮
- 高機能の型ができることで生産性向上
- 削り出しに比べ、材料のムダが出ない

→研究開発や製造プロセスの効率化・省エネ化



三次元積層造形による解決

- 内部冷却管等の作りこみが可能(部品数削減・工程削減)

- 必要部分だけ付加造形可能(異種接合可能、材料の削減)

②プロダクトの革新

- 形状や内部構造の複雑性、自由度
- 人体や自然物などとの親和性
- 少量生産品を比較的安く製造

→航空機、医療等を始め新たな可能性



- 異種金属の積層造形が可能
- 活性金属を使用した造形が可能
- 複雑形状部品(内部構造を含め)の製作が可能

- 患者の骨を削らず、体格に合うものが短時間で製造可能(人工骨)

出典:「新ものづくり研究会」(平成26年2月)、写真は素形材産業室において収集。

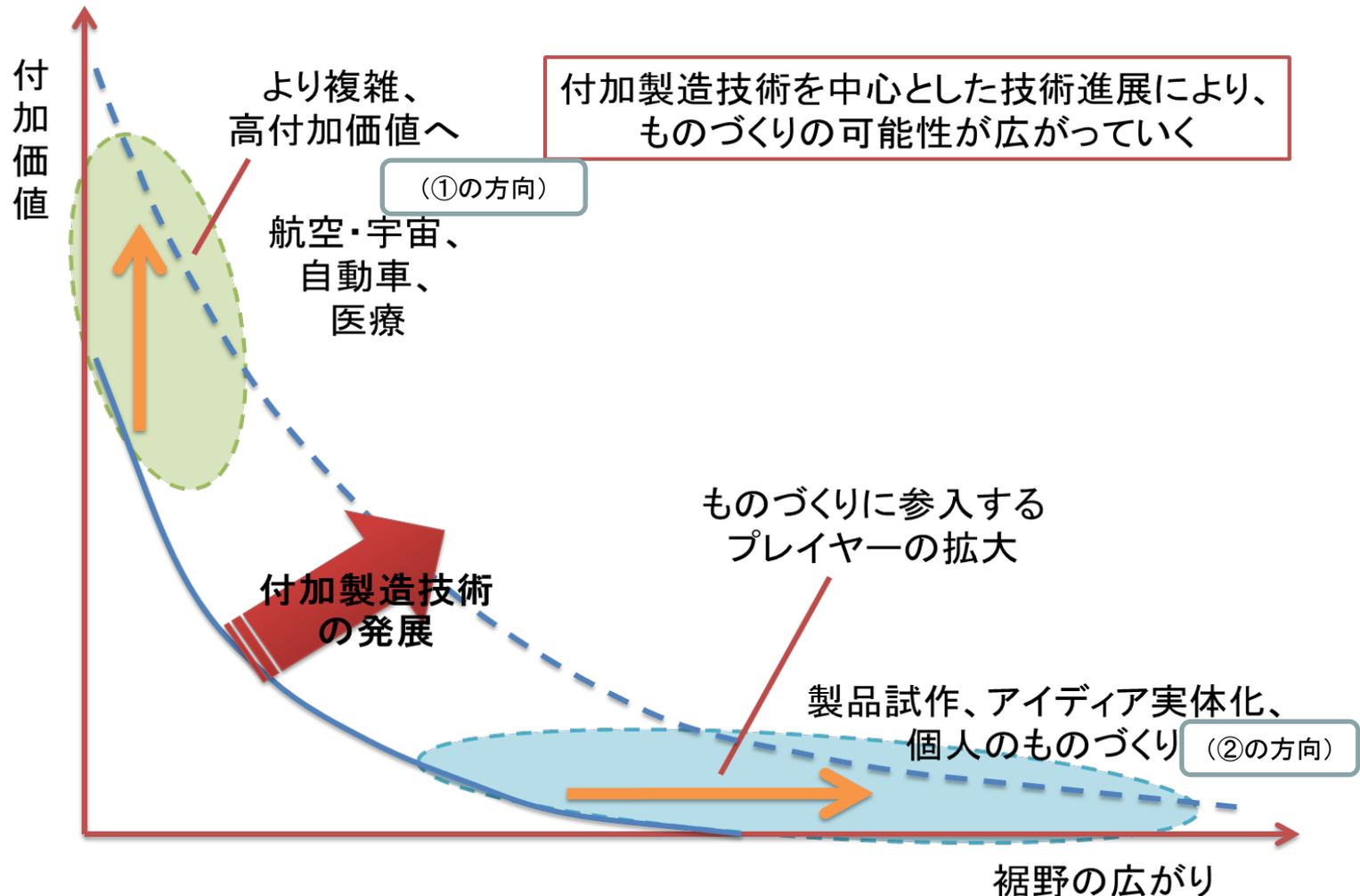
*2 日本機械学会2015年度年次大会 先端技術フォーラム「3Dプリンタによるものづくり革新」08 JAXAにおける航空宇宙分野への新たな展開

製造業の付加価値作りという観点から2つの方向性

◇3Dプリンタにより生まれる付加価値は大きく2方向。

- ①精密なものづくりによる高付加価値化
- ②ものづくりの裾野拡大

出典:平成26年2月 新ものづくり研究会報告書



樹脂系材料と金属系材料

- 樹脂系材料の3Dプリンタは実用化が進み、多くの製品が低価格で市販されている。
- 一方、金属系材料の3Dプリンタに関しては、既に内外で一部実用化されているものの、①精度が良くない(表面が粗い)、②速度が遅い、③造形物の大きさが限定的、④価格が高い(1億円以上)など開発要素は多い。
- また、3Dプリンタに関連したソフトウェア開発は欧米が先行しており、必ずしも我が国企業にとって使いやすいものではない。実際の活用にあたっては、精密な加工条件を設定しようと海外装置メーカーへ依頼しても、なかなか迅速な対応がなされなかったり、多くの場合3Dプリンタに使える材料が装置メーカー指定のものに限られ、割高な材料等を輸入せざるを得ないなど我が国企業は不利益な立場に置かれている。
- さらに、造形物の評価方法等に関する標準化も今後の課題であり、こうした議論に我が国も積極的に関与する必要がある。



国家プロジェクトにより、世界最高水準の金属系材料向け3Dプリンタの装置、材料、ソフトを、短期間で一体的に開発する必要。

金属積層の応用可能性

①ものづくりプロセスにおける革新

②製品の革新

難製造部品

新製造部品

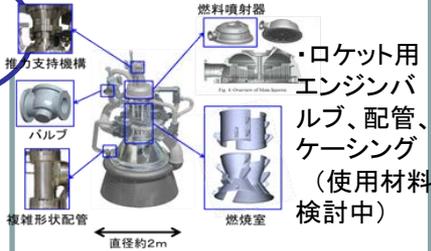
特殊機能部品

特殊材料部品

カスタム部品

最適化設計部品

ユーザー
ニーズ例



従来技術
の問題点

- 建設機械・自動車用部品 (鉄系)
- 異種材料の接合が容易でない
- 複雑形状は単純形状金属塊から削り出す。(無駄が多い)
- 内部複雑構造/異種材料組合せのため部品を分割、接合する必要がある。

3D積層による解決

- 必要部分だけ付加造形可能 (異種接合可能、素材使用量の削減)
- 内部冷却管等が製造可能 (部品数削減・工程削減)
- 損傷部品の部分的補修可能

備えるべき
3Dプリンタ
の特長

部分積層 (デポジッション)
(+後加工)

平面積層 (パウダーベッド: 立体形状を平面に分割し積層)

対応する
試作機

異種材料積層
 複層レーザービーム・
 レーザートリミング
 (デポジッション)
 複層レーザービーム・
 マシニング
 (デポジッション)

高純度組成 (真空中造形)
 大型
 大型電子ビーム
 (パウダーベッド)

高速
 高精度 (超)高精度
 大型
 大型レーザービーム
 (パウダーベッド)

異種材料積層
 高純度組成 (真空中造形)
 複層電子ビーム
 (パウダーベッド)



- 航空エンジン タービンブレード (チタン合金、ニッケル合金)
- 発電用タービンブレード・燃焼器 (ニッケル合金、高クロム鋼)
- 酸化反応しやすい材料(活性金属)は生産性が極めて低い(TiAl 鋳造)
- 製造工程が複雑で生産性が低い (精密鋳造)
- 活性金属の造形が可能 (真空中)
- 多数個同時加工ができ、生産性が高い(n個同時加工で造形速度n倍)



- 人工関節、人工背骨 (チタン合金、コバルトクロム合金)
- 自動車用エンジン部品 (アルミ合金)
- 量産品に合わせて患者の骨を削るため、患者の負担が大きい (人工骨)
- 生産終了後も保守部品の金型を保管する必要 (自動車等)
- 患者の体格に合ったカスタムメイドの製造が可能 (人工骨)
- 3Dデータがあれば、金型を必要時に製造できるため、金型そのものの保管が不要 (自動車等)



- 航空機用ヒンジ (チタン合金)
- 航空エンジン 燃焼器ノズル (ニッケル合金)
- 自由曲面等の適用が困難
- 設計変更した場合、実証試験を行う等、開発期間が長期にかかる。
- 複雑形状部品 (内部構造を含めて)の製作が可能
- 新設計品の試作検証が容易になり、開発期間が短縮可能
- 一体化 (部品数削減)、トポロジー最適化 (軽量化等)の部品製作が可能

金属AM技術の最新動向と本プロジェクトの位置付け

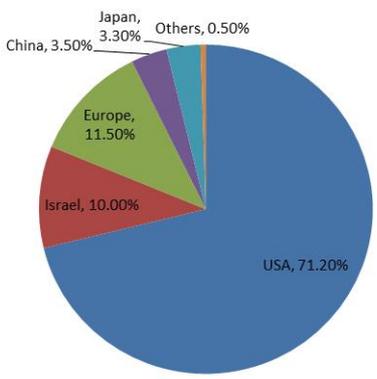
■ 金属3Dプリンタの現状(平成25(2013)年との比較)

- 販売台数の大幅な伸び及び新たな企業の参入
- 装置の高機能化(高出力化・高速化・大型化)
- 実用化製品への展開(航空宇宙分野等)

プロジェクト終了時(平成30年度末)、世界最高水準の見込み

開発目標

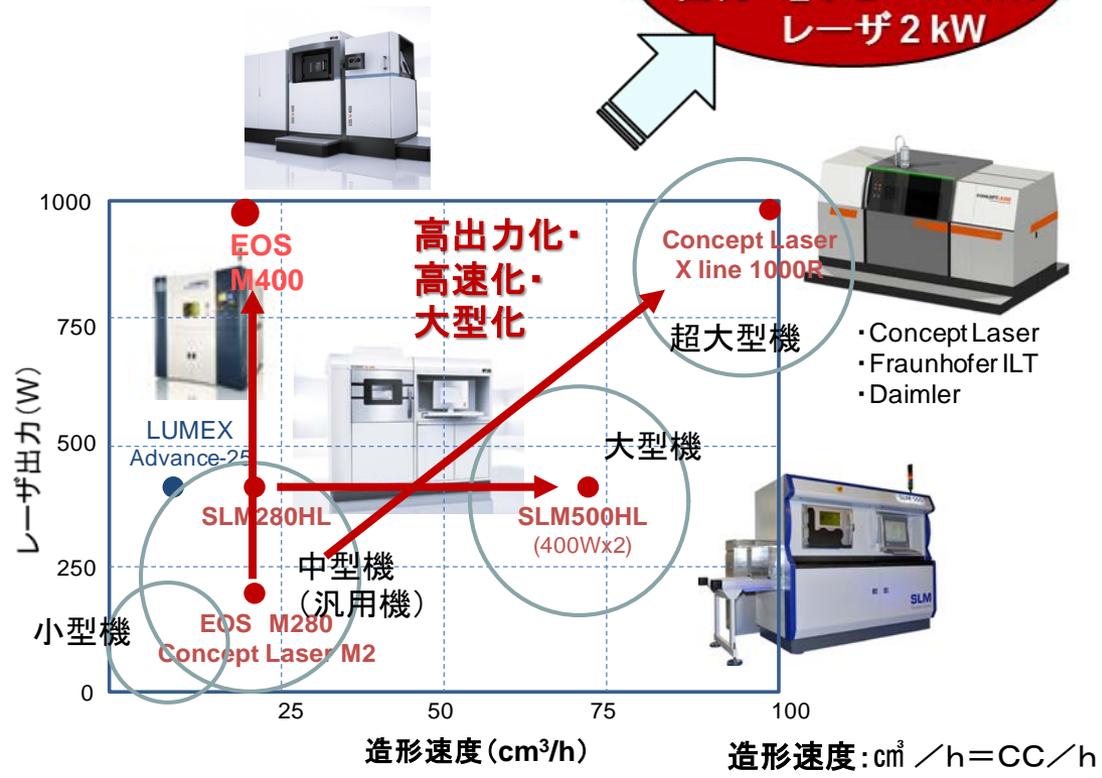
- ・造形速度: 500 cm³/h
- ・出力: 電子ビーム6 kW
レーザー 2 kW



出典: (Wohlers report 2015による)

3Dプリンタの出荷台数の割合(～平成26(2014)年度まで)

世界の金属造形装置の販売台数
 平成25(2013)年度は351台
 平成26(2014)年度は543台



金属3Dプリンタの性能の変遷
 (各メーカーの公表データを元に作成)

海外の動向①：米国（America Makes）における三次元積層造形技術を巡る開発動向

- America Makes（平成24（2012）年8月設立、平成25（2013）年10月に現名称に変更）は、118以上の企業・研究型大学・コミュニティカレッジ・非営利団体・学会が参加※1する研究開発拠点。
（※1 平成26（2014）年10月時点。Ed Morris, "America Makes - National Additive Manufacturing Innovation Institute's Mission and R&D Portfolio"より）
- 中小企業・研究者・起業家・学生等がAmerica Makesに集い、共同利用インフラを活用しながら、多様な主体と連携し、イノベティブな製品や製造技術の開発、事業化、人材育成等を行っていく仕組み※2
（※2 America Makesにおける研究開発体制は、America Makes が公募テーマを掲載し、企業、大学等がテーマに沿った具体的研究開発内容を提案して、採択されたものについて資金的手当がなされる。）
- America Makes での公募テーマ（Project Call #1～3：平成25年～）で採択された開発案件は、足許までで29件。現在までに、\$50Mの政府資金、\$60Mの民間資金が投入されている（邦貨100円/\$換算で合計約110億円）。

主なAmerica Makesの採択案件

Project Call #1	Project Call #2	Project Call #3
レーザー/電子ビームによる造形プロセス等の解明。	航空機部品のAM量産にむけた品質保証技術の開発。	金属粉末のパウダーベッド方式において、変形を抑制するための機能等を有するサポート構造の設計検討を系統的に実施。
レーザー/電子ビームによる造形プロセスのモニタリング及び制御のための熱イメージング技術の開発。	AM構造デザインを最適化するソフトウェアの開発。	パウダーベッド方式AMのオープンアーキテクチャーの制御システムの開発・実証。
低廉、高温対応の樹脂を材料とした、レーザービームによる造形プロセスの開発。航空宇宙分野や交通分野の部品、医療や商業向けを想定。（TRAFAMIは取り組んでいない）	造形に際しての物理ベースの熱歪予測と軽減するツールの評価・確認を実施。目標は、それらを利用した開発期間の大幅削減。	多種のAM製造性要求の設計支援と新トポロジー最適化能力を持った統合設計パッケージの開発。（TRAFAMIは取り組んでいない）

（出典）Ed Morris, "America Makes .National Additive Manufacturing Innovation Institute's Mission and R&D Portfolio", 2014 iNEMI Research Series

海外の動向②：欧州における三次元積層造形技術を巡る開発動向

- 欧州（EU）の研究・改革活動は1984年以降、「欧州研究開発フレームワーク計画」としてまとめられて実施されている（なお、1995年以降、20年間のAM技術への投資額合計は€2.26億（邦貨135円／€換算約305億円））。
- その7次計画となる「第7次研究開発フレームワーク計画」（FP7：平成18（2007）年～平成25（2013）年）※及び、その後継フレームワークプログラムとしての「HORIZON2020」において、AM（Additive Manufacturing）に関する研究開発プロジェクトが存在（※EUにおける科学分野の研究開発への財政的支援制度）。
- 当該プロジェクトは30件であり、7年間のプロジェクト予算の合計は€1.32億（EU負担率76%）（邦貨135円／€換算約178億円）。

主な研究開発プロジェクト

セラミック複合材について、AMの新アプローチを開発する。	高複雑形状のセラミック部品製造に向けたAM装置を開発する。	次世代3D金属パーツ製造のレーザーデポジション(2000cc/h)とアブレーションのハイブリッド装置を開発する。
AMプロセスのパラメータの関数として、機械特性を予測する、フルセットのソフトウェアを開発する。	航空機部品の補修に関する研究。	航空宇宙、自動車、原発向けに、 最大2mサイズ の無欠陥の金属AMパーツを製作。合わせて、品質保証、標準化等をカバー。工程ステップを減らし、従来より50%コストダウンを目指す。
傾斜機能コーティングのためのレーザービーム/デポジション方式によるAM技術を用いた産業向け製造システムを開発・実証する。	AM分野での標準化組織の設立と支援を通してヨーロッパ標準化を統合・調整し、AM技術を推進する。	高生産性電子ビームによるAM装置のための高出力電子銃開発やパウダーベッド関連高出力電子銃利用の実証。
高精度医療インプラント製造の電子ビーム方式のAM技術の共同研究。具体的には、高精度電子銃設計技術、高密度粉体AMの技術開発。	民間航空機エンジン部品への付加積層の適用研究(設計、パウダーリサイクル、インプロセス非破壊検査等)。空輸に係る環境への影響を低減させる。	カスタム部品や小ロットの部品効率よく製造するプロセス(粉末をレーザー溶融する)を開発。

2. 事業アウトカム

2. 事業アウトカム

世界における三次元積層造形の市場規模は、平成42年(2030年)時点で2兆円程度(Wohlers Report 2013を基に推定)と推定され、本技術開発では、三次元積層造形装置の低コスト化も視野に入れており、技術開発が終了し、装置が量産体制に入った平成42年頃には、その半分の市場を我が国の製造業が獲得することを目標とし、その場合約1兆円の需要創出効果が見込まれる。

(出典)本事業における事前評価報告書より(平成25年9月時点)

アウトカムが実現した場合の効果

- 複雑化形状の実現、材料の複層化による高付加価値、高機能製品の開発・生産
- 地域や個人発の複雑化形状等の新製品の開発・生産
- 製造プロセスの最適化
- 生産プロセスにおける低コスト化、納期の短縮化、省エネルギー化
- 補給品や少量生産品のための金型保管コストの低減



我が国製造業の競争力強化

政府全体の戦略における位置付け

- 「**日本再興戦略 -JAPAN is BACK-**」(平成25年6月14日閣議決定)において、**素材や機械制御技術等の日本の強みを活かし、3次元造形システムの研究開発を国家プロジェクトとして推進すると明記されている。**
- 「**科学イノベーション総合戦略～新次元日本創造への挑戦～**」(平成25年6月7日閣議決定)において、**三次元造形等の高度な生産技術を地域のものづくり産業に適用させると明記されている。**
 - **三次元積層造形技術や金属等の粉体材料の多様化・高機能複合化等の技術開発**
 - **金属の積層造形技術や積層造形技術だけでなく、三次元データ(3Dデータ)の次世代入力に係る先導的研究により、次世代のものづくり産業を支える三次元造形システムを核とした我が国の新たなものづくり産業の創出を目指す。**

3. 事業アウトプット

3-1 次世代型産業用3Dプリンタ技術開発

3-2 超精密三次元造形システム技術開発

3-1 次世代型産業用3Dプリンタ技術開発

金属積層用システムの開発方針

1. 装置、金属粉末材料、ソフトウェアの三位一体開発

市場投入可能な製品の造型をするためには、三次元積層造型の弱点となる造形物の大きさ・精度、造型の速さを劇的に改善する必要がある。これらの課題を解決するため、①装置本体、②金属粉末の製造、③制御ソフトウェアについて、技術を持つ企業が連携し、一体的に開発する。

具体的には、

- 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
- ②3D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

2. 電子ビーム方式とレーザービーム方式の装置開発

既存の金属粉末に対応した産業用3Dプリンタでは、金属粉末を焼結・溶融するための熱源は、電子ビームとレーザービームの2つの方式があり、両方式が得意とする金属粉末材料・加工品質、生産性によって、適応分野を分ける傾向にある。

多種の金属材料について、積層造型が可能となる三次元積層造形システムを構築するため、本プロジェクトでは両方式について技術開発を行い、それぞれの特徴を最大限に発揮できる装置開発を推進する。

さらに金属粉末材料の複層化や造形物を後加工する技術などの周辺技術開発を実施する。

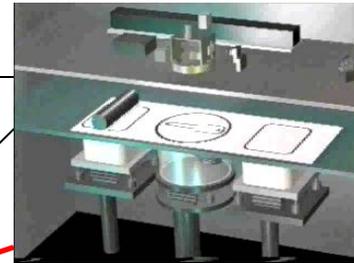
金属積層用システム(金属3Dプリンタ)の開発について 19

航空宇宙・自動車分野を中心とした次世代型産業用の高速・高精度・大型3Dプリンタの開発(既存海外装置の造形速度10倍、精度5倍、造形サイズ3倍)に向け、装置メーカー、材料メーカー、ユーザー企業、大学など関係者の英知を結集

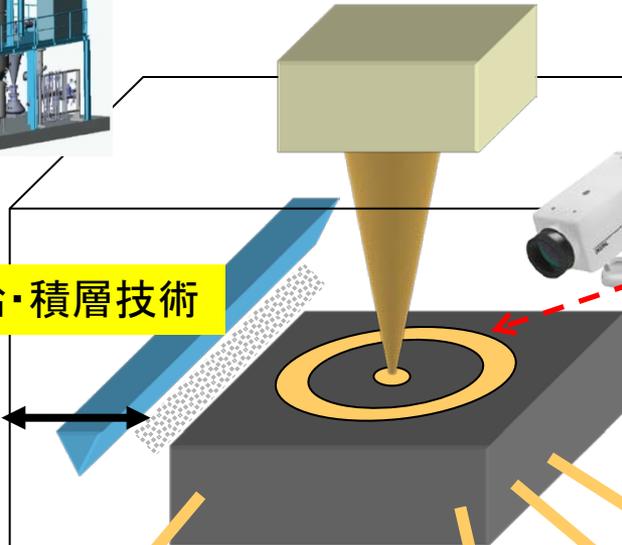
3D積層造形用金属粉末製造技術



熱源の高出力・高品質の出力機構の設計・製作



金属粉末供給・積層技術



・造形室(チャンバー)の雰囲気制御(真空、不活性ガスの使用)
・駆動制御

金属粉末材料の多様化

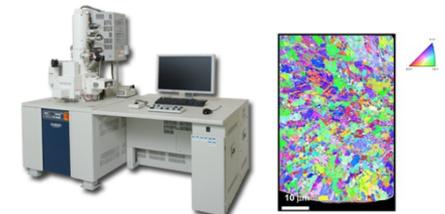
高精度化等のための制御システム

3Dデータ変換

評価・条件
フィードバック

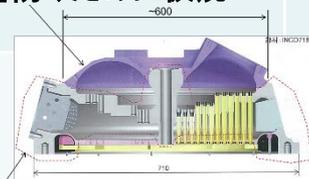


金属粉末の焼結・溶融凝固機構の解明



電子ビーム方式・レーザービーム方式の比較

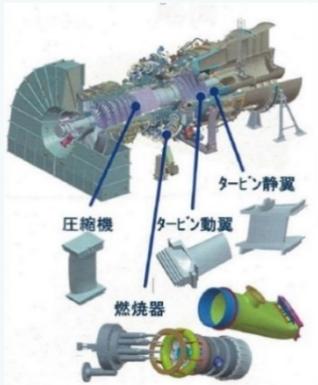
	電子ビーム方式	レーザービーム方式
<p>主な特徴</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○エネルギー密度、エネルギー吸収率が高い。 ○真空中での造形のため、高融点や活性(酸化しやすい)金属の造形が可能。 ○高温強度・疲労強度の要求が厳しい部品に向く(高純度組成が可能)。 ●真空チャンバーが必要で高コスト、造形物の大きさに制限がある。 ●内部構造、複雑形状等は制限がある。 ●スモーク現象(金属粉末の飛散)を防ぐために仮焼結・予熱が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ○レーザー強度と焦点の調整が容易、電子ビームに比較して装置構成が簡単。複雑形状、高精度な造形が可能。 ○大気中での造形が可能で、比較的lowコスト。 ○造形の大きさの制限は少ない。(デポジション方式) ●活性な金属粉末の造形には不向き。(使用するにはヘリウムガス若しくはアルゴンガス若しくは真空状態が必要) ●金属に反射するため、高エネルギーが必要でエネルギー使用効率が悪い。 ●造形時の応力歪みが大きく、サポートが多量に必要。
<p>想定する製品例</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ロケットエンジンの燃焼室部品 (複層部品:インコネル718、銅合金) ・航空機エンジン回転部品 (タービンブレード) (チタン合金(Ti6Al4V、TiAl)) ・人口歯、人工骨等 (チタン合金(Ti6Al4V)、 コバルトクロム合金(CoCr)) ・発電用タービン回転部品 (タービンブレード) (インコネル718、高クロム鋼) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ロケット・航空機エンジンの燃料供給部品 低温環境から常温環境下での 高圧力による使用 (インコネル718) ・航空機用熱交換部品 軽量化コストダウンのため複雑形状の 一体化部品 (アルミ合金(Al-10Si-0.45Mg)) ・建設機械用エンジン部品 排気ガスによる高圧吸気供給部品(ノズルリング) 従来工法よりコストダウンを期待。 (鉄系合金ステンレス(SUS304)) ・自動車(F1:モータースポーツ)のターボハウジング 効率的な吸・排気のための複雑・最適構造による馬力の向上。 (インコネル718)



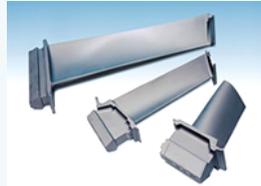
ロケットエンジン
燃焼室部品



人工股関節



発電用タービン回転部品



タービンブレード



ポンプケーシング



ガイドベーン

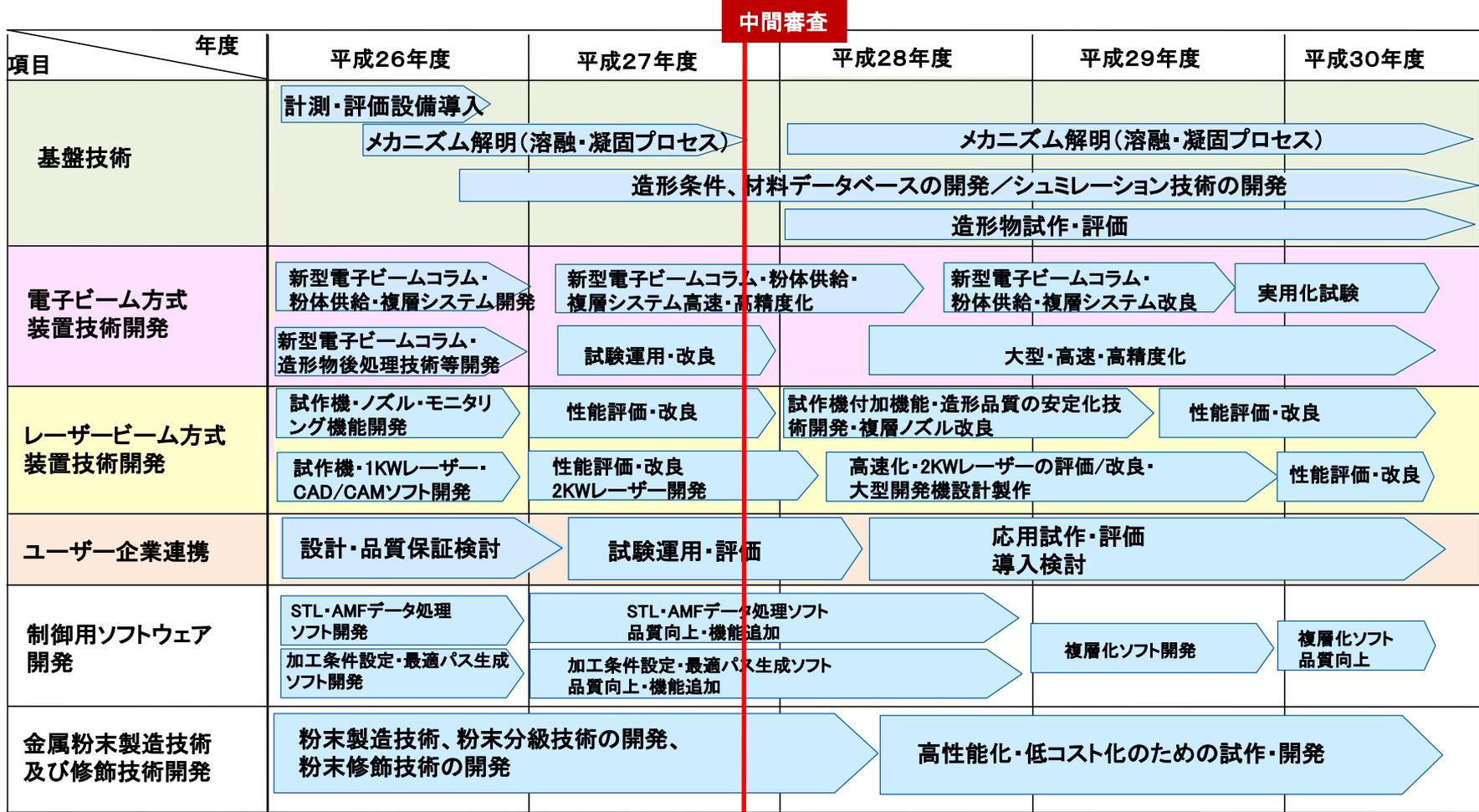


航空機用
熱交換機

事業アウトプット全体目標値

目標時期	目標	
最終時 (H30年度末)	(1) 電子ビーム方式の最終目標 ・積層造形速度:500cc/h以上 ・造形物の精度:±50μm以下 ・最大造形サイズ:1,000mm×1,000mm×600mm以上 ・装置本体の販売価格:5,000万円以下 (2) レーザービーム方式の最終目標 ・積層造形速度:500cc/h以上 ・造形物の精度:±20μm以下 ・最大造形サイズ:1,000mm×1,000mm×600mm以上 ・装置本体の販売価格:5,000万円以下	(3) 技術開発課題 ・異種金属を傾斜構造で積層することを可能とする等 (4) 制御ソフトウェア開発、金属等粉末開発及び粉末修飾技術開発 (5) 周辺技術開発
中間評価時 (H27年度末)	(1) 電子ビーム方式の中間目標 ・積層造形速度:250cc/h以上 ・造形物の精度:±100μm以下 ・最大造形サイズ:500×500×600mm以上 (2) レーザービーム方式の中間目標 ・積層造形速度:250cc/h以上 ・造形物の精度:±50μm以下 ・最大造形サイズ:500×500×400mm以上	(3) 技術開発課題 ・異種金属を傾斜構造で積層することを可能とする等 (4) 制御ソフトウェア開発、金属等粉末開発及び粉末修飾技術開発 (5) 周辺技術開発

開発スケジュール



中間審査

3-2 超精密三次元造形システム技術開発

砂型積層用システムの開発方針

鑄造用砂型積層造形技術を実用化するためには、造形物の大きさ、速度を大きく改善する必要がある。また、砂型積層造形によって鑄造業のあり方を変革するためには、鑄造市場の7割を占めるにもかかわらず、未だ世界においても実現されていない鑄鉄用砂型の積層造形を実現することが重要である。

これらを実現するため、装置開発、材料開発(人工砂及びバインダ)の開発及び性能評価を一体的に進める。

(1) 高速三次元鑄造用砂型積層造形装置の開発

- ・一定の量産を可能とする大型かつ高速の鑄造用砂型積層造形装置の開発
- ・局所的冷却性能制御技術を実現する複層化(2種類の人工砂)積層造形システム(リコーター：敷きならし機構)の開発

(2) 砂型積層造形用材料の開発

- ・高融点金属である鑄鉄の鑄造に耐えられる耐熱用の人工砂及びバインダーの開発
- ・局所的冷却性能制御技術を実現する冷却特性の高い砂型材料の開発
- ・三次元鑄造用砂型の積層造形に適合し、かつ、製造コストを抑え、リサイクル可能で、有害ガスの発生を抑制した鑄型用砂の開発 等

(3) 鑄造性評価および鑄型特性評価

- ・ユーザー企業による鑄造性評価(鑄鉄鑄造、アルミ鑄造)
- ・鑄型特性の分析評価(自硬性、高温柔軟性、崩壊性等)

鑄造用砂型積層造形システムの開発について

自動車・産業機械・発電部品などの性能を左右する複雑形状・高精度鑄造品の量産を実現可能な高速・大型の鑄造用砂型3Dプリンタの開発(造形速度10万cc/h)によって、装置メーカー、材料メーカー、ユーザー企業、大学、公設試験研究機関など関係者の英知を結集

高性能鑄型材料・硬化システムの開発

高融点金属の鑄造に対応可能な耐熱鑄型材料(=砂型:人工砂とバインダー)

環境負荷低減鑄型材料(無機)



人工砂 (高耐熱性)

バインダー:
1液式硬化システム(無機及び有機)

造形装置への適用

鑄造用砂型積層造形装置の開発(10万cc/h)



鑄造用砂型



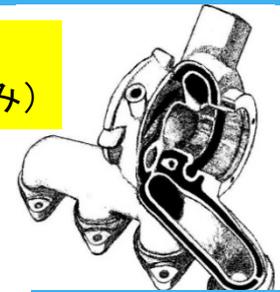
鑄造 (鑄込み)



電気自動車用EVモーターケース

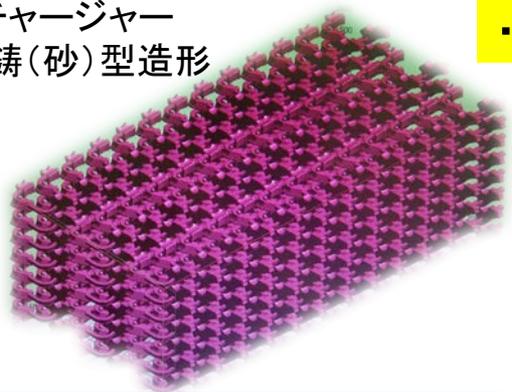
高性能・複雑形状の鑄造品

鑄造 (鑄込み)

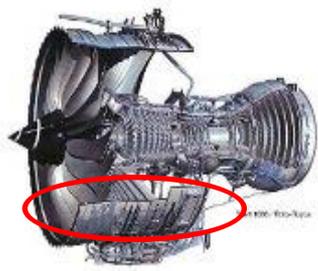


ダウンサイジングターボ部品

24時間で500個のターボチャージャー部品の鑄(砂)型造形の実現



- ・大型(1.8m×1m×0.75m)鑄造用砂型積層造形装置
- ・大型インクジェットヘッドによるバインダージェット方式



航空機エンジンギアボックス



自動車エンジンシリンダヘッド



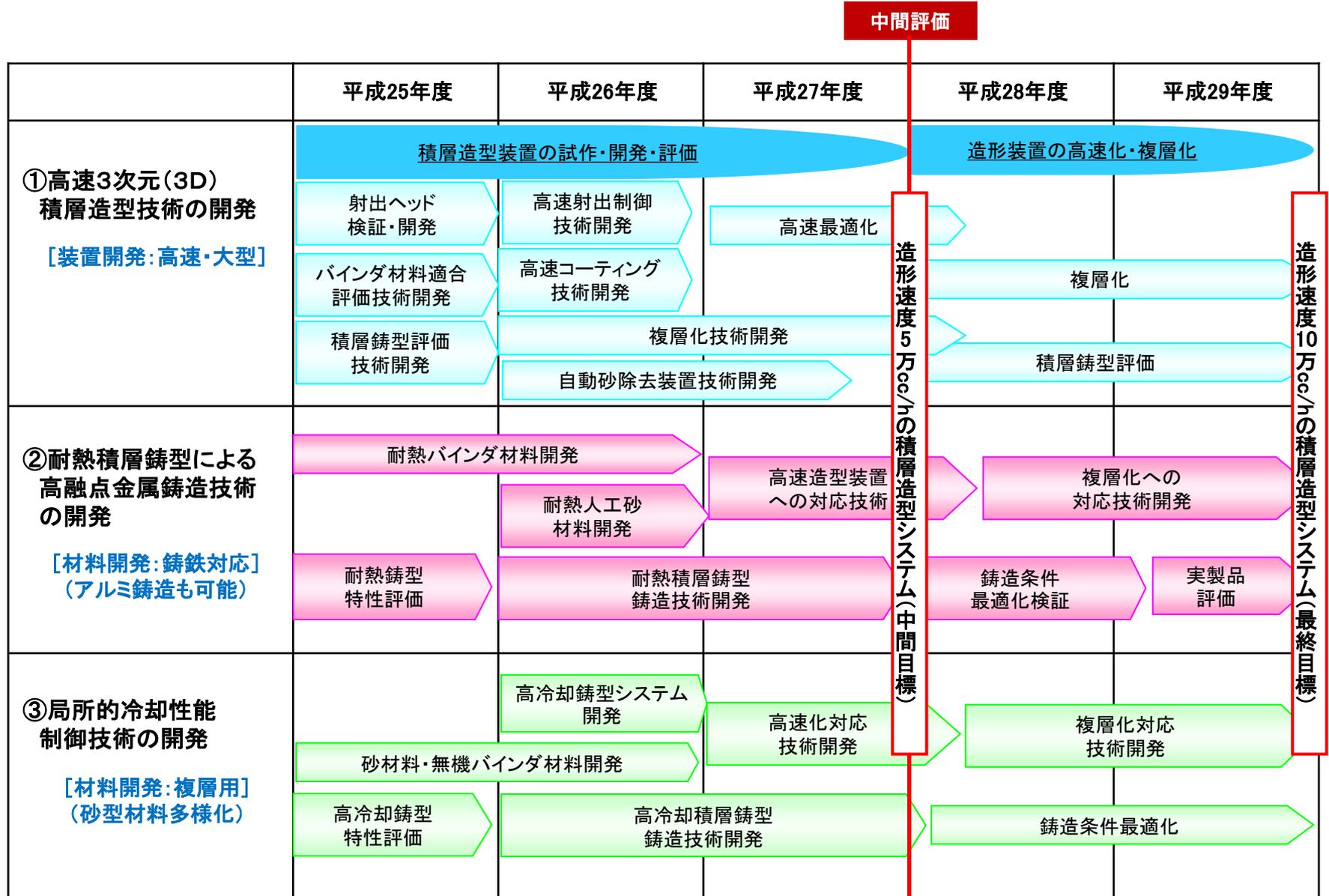
発電部材(水力発電用インペラー)

数千～数万/月の量産品へ対応

事業アウトプット全体目標値

目標時期	目標値
最終時 (H29年度末)	<ul style="list-style-type: none">・積層造形速度: 10万cc/h以上・最大造形サイズ: 1,000mm × 1,000mm × 600mm以上・装置本体の販売価格: 2,000万円以下・鑄型の製造コスト: 1,000円/kg以下
中間評価時 (H27年度末)	<ul style="list-style-type: none">・積層造形速度: 5万cc/h以上・鑄型の製造コスト: 1,200円/kg以下

開発スケジュール



4. 当省(国)が実施することの必要性

4. 当省(国)が実施することの必要性

- ◇金属及び砂型の三次元積層技術は我が国製造業において基盤技術となりうる技術。しかしながら、現状において、我が国においては当該技術が確立されていない。
- ◇実用に耐え、複数の材料で金属及び砂型の三次元積層技術を開発するためには、装置だけでなく、材料、ソフトなど一体的に開発する必要。特に金属積層については、レーザー、電子ビーム双方について開発する必要。しかしながら、これらを一社で一体的に開発できる企業はなく、それぞれの得意分野を持つ大学、公的研究機関、企業が結集させることが必要。
- ◇また、三次元積層技術を普及させるためには、造型や造形物の品質評価、安全性評価等に関して研究開発を通じて標準を確立する必要。
- ◇少子高齢化の下、働き手の確保が困難となる素形材産業、特に中小企業において、金属及び砂型積層技術はこうした問題を解決しうる技術。また、将来的には、素形材産業特有の金型、木型の保管に関する問題に関しても、解決策を与えうる技術。



- 国が実施することにより、各要素技術を持つ大学、公的研究機関、企業を結集。開発成果を踏まえた標準化も実現。
- 三次元積層技術を活用した産業課題の解決、普及に関する方向性も確立。

5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

5-1 次世代型産業用3Dプリンタ技術開発

5-2 超精密三次元造形システム技術開発

5-1 次世代型産業用3Dプリンタ技術開発

5-1. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

平成27年(2015年)

平成32年頃
(2020年頃)

平成37年頃
(2025年頃)

平成42年頃
(2030年頃)

本研究終了(平成30年)
(2018年)

フェーズ1: 技術課題への集中的対応

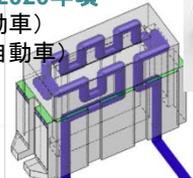
フェーズ2: 実用化に向けた開発・実証

フェーズ3: ニーズ等を踏まえた更なる技術の高度化等へ

アウトカム

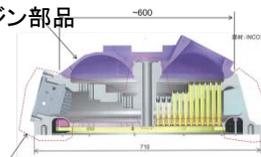
(量産試作用途)

- 高放熱構造の金型 2020年頃
- シリンダブロック(自動車)
- コンプレッサーハウジング(自動車)



(製品製造用途)

- ロケットエンジン部品 (2021年頃)



- 航空機エンジン部品
- 航空機エンジンタービン翼
- 航空機機体部品 2023年頃



- 量産が切れた部品(補給品)の製造等
- 保守・メンテナンス等 2025年頃

製品化・事業化推進(各企業)

- 1) 3Dプリンタの機種バリエーション拡大
- 2) ユーザーニーズに合わせた専用機の開発
- 3) 新材料・複合材料の開発、対応
- 4) 更なる高機能化の追求

製品化・事業化に向けた開発等
(各企業)

造形物の信頼性に向けた研究や標準的な指標づくり、データベース構築の継続に加え、
1) 新機能材料の研究
2) 既存の金属加工品の品質等を上回る造形技術(金属組織制御技術等)の研究 等

▼装置・ソフトウェア・材料の一体開発

一次試作機の
開発・検証

フィールドテスト

最終目標機の
開発・検証

▼製造プロセスへの導入に向けた開発・実証

- 1) 最適な造形条件等の導出
- 2) 品質確保や保証方法等の確立 等

▼基盤的・基礎的技術等の研究/知財標準化

基礎理論の発見・構築、データベース構築・標準化等
(造型条件、材料と造形物の関係の理論化・シミュレーション化や標準的な指標づくり等)

調査分析

(国際標準化に向けた取組含む)

特許取得

一元管理等 (知財の適正配分による競争力向上)

標準原案提出と成立の向けての活動

応用試作・評価・導入検討

(出口戦略の構築)

・研究での成果を、信頼性の確保や、標準化等に繋げる。

・ユーザーからのニーズを研究へフィードバック。(ニーズの多様性に対応)

欧州機の導入

国産開発機の導入

金属3Dプリンタの導入検討

実運用の開始と運用拡大

試作用途

製品製造用途

金属積層造形技術

ユーザーでの対応

5-2 超精密三次元造形システム技術開発

5-2. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

平成27年(2015年)

平成32年頃
(2020年頃)

平成37年頃
(2025年頃)

平成42年頃
(2030年頃)

本研究終了(平成29年)
(2017年)

フェーズ1: 技術課題への集中的対応

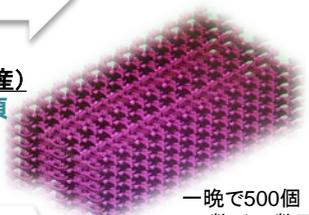
フェーズ2: 実用化に向けた開発・実証

フェーズ3: ニーズを踏まえた更なる実用性向上

アウトカム

(小型部品用鑄型の量産)
2020年頃

- ターボチャージャー(自動車)



一晚で500個
⇒ 数千~数万/月
に対応

(複雑形状鑄型の一体造形)
2025年頃

- シリンダヘッド(自動車)
- モーターケース(EV)
- ダウンサイジングターボ(自動車)



●水力発電用水車
2025年頃



- 量産が切れた部品(補給品)の製造等
- 保守・メンテナンス等
2020年頃

製品化・事業化推進(各企業)

- 1) 積層造形装置と砂型材料のハリエーション拡大
- 2) ユーザーニーズに合わせた専用機の開発
- 3) 新材料・複層化の開発、対応
- 4) 更なる高機能化の追求

製品化・事業化に向けた開発等(各企業)

- ・動作安定性向上
- ・操作性向上
- ・ランニングコストダウン
- ・イニシャルコストダウン

有効利用のためのステップ

- ・step1. 積層造形砂型と従来砂型の比較評価(手造形、シェルモールド法)
- ・step2. 積層造形砂型の特性に合わせた鑄造方案の調整(一体化、造形方向等)
- ・step3. 積層造形砂型の特長を活かした鑄物の最適設計(肉厚、曲線形状等)

一元管理等(知財の適正配分による競争力向上)

評価試験方法等の標準化 (TRAFAM標準) (JIS化、ISO化)

・研究成果を信頼性確保や標準化等に繋げる

・ユーザーニーズを研究にフィードバック(ニーズの多様性に対応)

平成27年(2015年)

平成32年頃
(2020年頃)

平成37年頃
(2025年頃)

平成42年頃
(2030年頃)

本研究終了(平成29年)
(2017年)

フェーズ1: 技術課題への集中的対応

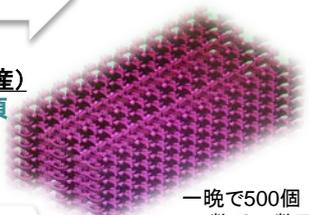
フェーズ2: 実用化に向けた開発・実証

フェーズ3: ニーズを踏まえた更なる実用性向上

アウトカム

(小型部品用鑄型の量産)
2020年頃

- ターボチャージャー(自動車)



一晚で500個
⇒ 数千~数万/月
に対応

(複雑形状鑄型の一体造形)
2025年頃

- シリンダヘッド(自動車)
- モーターケース(EV)
- ダウンサイジングターボ(自動車)



●水力発電用水車
2025年頃



- 量産が切れた部品(補給品)の製造等
- 保守・メンテナンス等
2020年頃

製品化・事業化推進(各企業)

- 1) 積層造形装置と砂型材料のハリエーション拡大
- 2) ユーザーニーズに合わせた専用機の開発
- 3) 新材料・複層化の開発、対応
- 4) 更なる高機能化の追求

製品化・事業化に向けた開発等(各企業)

- ・動作安定性向上
- ・操作性向上
- ・ランニングコストダウン
- ・イニシャルコストダウン

有効利用のためのステップ

- ・step1. 積層造形砂型と従来砂型の比較評価(手造形、シェルモールド法)
- ・step2. 積層造形砂型の特性に合わせた鑄造方案の調整(一体化、造形方向等)
- ・step3. 積層造形砂型の特長を活かした鑄物の最適設計(肉厚、曲線形状等)

一元管理等(知財の適正配分による競争力向上)

評価試験方法等の標準化 (TRAFAM標準) (JIS化、ISO化)

・研究成果を信頼性確保や標準化等に繋げる

・ユーザーニーズを研究にフィードバック(ニーズの多様性に対応)

平成27年(2015年)

平成32年頃
(2020年頃)

平成37年頃
(2025年頃)

平成42年頃
(2030年頃)

本研究終了(平成29年)
(2017年)

フェーズ1: 技術課題への集中的対応

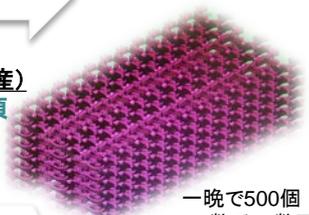
フェーズ2: 実用化に向けた開発・実証

フェーズ3: ニーズを踏まえた更なる実用性向上

アウトカム

(小型部品用鑄型の量産)
2020年頃

- ターボチャージャー(自動車)



一晚で500個
⇒ 数千~数万/月
に対応

(複雑形状鑄型の一体造形)
2025年頃

- シリンダヘッド(自動車)
- モーターケース(EV)
- ダウンサイジングターボ(自動車)



●水力発電用水車
2025年頃



- 量産が切れた部品(補給品)の製造等
- 保守・メンテナンス等
2020年頃

製品化・事業化推進(各企業)

- 1) 積層造形装置と砂型材料のハリエーション拡大
- 2) ユーザーニーズに合わせた専用機の開発
- 3) 新材料・複層化の開発、対応
- 4) 更なる高機能化の追求

製品化・事業化に向けた開発等(各企業)

- ・動作安定性向上
- ・操作性向上
- ・ランニングコストダウン
- ・イニシャルコストダウン

有効利用のためのステップ

- ・step1. 積層造形砂型と従来砂型の比較評価(手造形、シェルモールド法)
- ・step2. 積層造形砂型の特性に合わせた鑄造方案の調整(一体化、造形方向等)
- ・step3. 積層造形砂型の特長を活かした鑄物の最適設計(肉厚、曲線形状等)

一元管理等(知財の適正配分による競争力向上)

評価試験方法等の標準化 (TRAFAM標準) (JIS化、ISO化)

・研究成果を信頼性確保や標準化等に繋げる

・ユーザーニーズを研究にフィードバック(ニーズの多様性に対応)

砂型積層造形技術

ユーザーでの対応

▼装置開発

試作機(5万cc/h)の開発・検証

フィールドテスト

最終目標機(10万cc/h)の開発・検証

周辺装置(自動砂除去装置等)

▼材料開発

高耐熱性砂型積層造形システム

高冷却性砂型積層造形システム

低環境負荷砂型積層造形システム

▼特性評価

鑄鉄鑄造試験

アルミ鑄造試験

鑄型特性評価試験

知財化・標準化

調査分析

特許取得

(出口戦略の構築)

欧米機の導入

国産開発機の導入

砂型積層造形装置の導入検討

実運用の開始と運用拡大

●1万cc/h装置市場投入

●5万cc/h装置市場投入

●10万cc/h装置市場投入

●鑄鉄対応積層造形材料市場投入

●アルミ対応積層造形材料市場投入

6. 研究開発の実施・マネジメント体制等

平成28年3月29日時点

設立年月日:平成26年4月1日

理事長:前川 篤(三菱重エフオークリフト&エンジン・ターボホールディングス(株)代表取締役社長)

組合員:次ページ参照

事業の概要:金属積層用造形システムの技術開発及び砂型積層用造形システムの技術開発

○組合設立の目的

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に、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体材料の多様化・高機能複合化等の技術開発、鑄造技術の開発等を行う。

○実用化の方向性

開発した3Dプリンタ装置等を我が国産業競争力強化に繋げるため、製造企業だけでなく、有識者やユーザー企業等の意見を聞いて、標準化や市場動向調査等を踏まえて実用化を図る。

○事業化の目途の時期

①次世代型産業用3Dプリンタ技術開発(金属積層用造形システム)

平成27年度までに試作機の開発を行い、平成30年度までに世界最高水準の造形速度、造形精度を有する次世代型産業用3Dプリンタを完成させ、平成31年度末までに装置の販売を開始する。

②超精密三次元造形システム技術開発(砂型用積層用造形システム)

平成27年度にプロトタイプ機を実用化し、平成28年度後期からは積層造形速度5万cc/hの三次元砂型積層造形装置の販売を開始する。最終形となる積層造形速度10万cc/hの三次元砂型積層造形装置は平成30年度より販売を開始する。



産業用3Dプリンタ



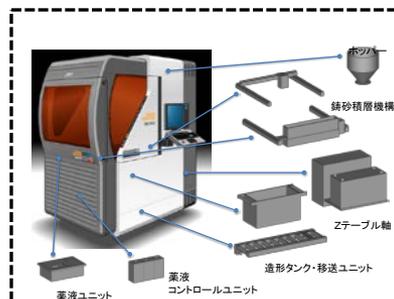
造形室内部(レーザー)



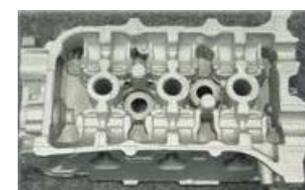
EV車用電装部品



ハニカム人工関節



鑄砂用積層造形装置



薄肉高効率シリンダヘッド

TRAFAM体制図

技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構(TRAFAM)

理事長:前川 篤(三菱重エフオークリフト&エンジン・ターボホールディングス(株)代表取締役社長)

①次世代型産業用3Dプリンタ
技術開発プロジェクト
PL 京極秀樹(近畿大学)電子ビーム方式
PL 千葉晶彦(東北大学)

装置開発

東北大学、産総研、
多田電機、日本電子、
シーメットレーザービーム方式
PL 京極秀樹(近畿大学)

装置開発

近畿大学、産総研、
松浦機械製作所、東芝、
東芝機械、三菱重工工作
機械、三菱重工業、古河
電気工業、シーメット

材料開発

大同特殊鋼、山陽特殊製鋼、
福田金属箔粉工業、東洋アルミニウム

ユーザー

JAXA、IHI、川崎重工業、金属技研、コイワイ、
小松製作所、住友精密工業、東芝、帝人ナカシマ
メディカル、本田技術研究所、三菱重工業、矢崎総業、
矢崎部品②超精密三次元造形
システム技術開発
プロジェクト
PL 岡根利光(産総研)

装置開発

産総研、シーメッ
トバインダ及び
鋳型砂開発群栄化学工業
伊藤忠セラテック

ユーザー

IHI、コイワイ、
小松製作所、コマ
ツキャストックス、
木村鋳造所、日産
自動車

連携

CAD→3D変
換ソフト・粉体
ハンドリング
技術等の共同
開発及び
実用化促進

再委託

分析評価

- ・早稲田大学
- ・兵庫県立工業技術センター
- ・北海道立総合研究機構工業試験場

7. 費用対効果

経済波及効果

本事業で産み出される装置・粉末の売上によって、平成42（2030）年でどれだけの経済波及効果があるか試算。

装置売上

- 2030年時点の販売装置台数「2,000台（金属1,800台、砂型200台）」（TRAFAM組合員へのヒアリングより）
- 装置の販売価格は最終目標である、金属5,000万円、砂型2,000万円とする。

$$(1,800\text{台} \times 5,000\text{万円}) + (200\text{台} \times 2,000\text{万円}) = \underline{\underline{940\text{億円}}}$$

粉末売上

- 装置1台あたりの金属粉末売上金額を“Wohlers Report 2015”より試算。

$$(10,620\text{万ドル} \div 1,093\text{台} = 9.7\text{万ドル} \div 1,000\text{万円} / \text{台})$$

	2012年	2013年	2014年	計
金属粉末売上	2,490万ドル	3,260万ドル	4,870万ドル	10,620万ドル
金属積層装置	199台	351台	543台	1,093台

“Wohlers Report 2015”より

- 2030年の販売装置台数より、同時期の粉末売上を算出。

$$1,000\text{万円} / \text{台} \times 1,800\text{台} = \underline{\underline{180\text{億円}}}$$

経済波及効果

- 「新ものづくり研究会 報告書」（平成26（2014）年2月 経済産業省）において、装置等の直接市場に対し、経済波及効果（関連市場、生産性の革新によるコスト削減等）は約20倍と試算している。（次ページ参照）
- 本事業で産み出される装置・粉末においても同等の市場が広がると想定し、2030年での経済波及効果を試算。

$$(940\text{億円} + 180\text{億円}) \times 20(\text{倍}) = \underline{\underline{2兆2,400\text{億円}}}$$

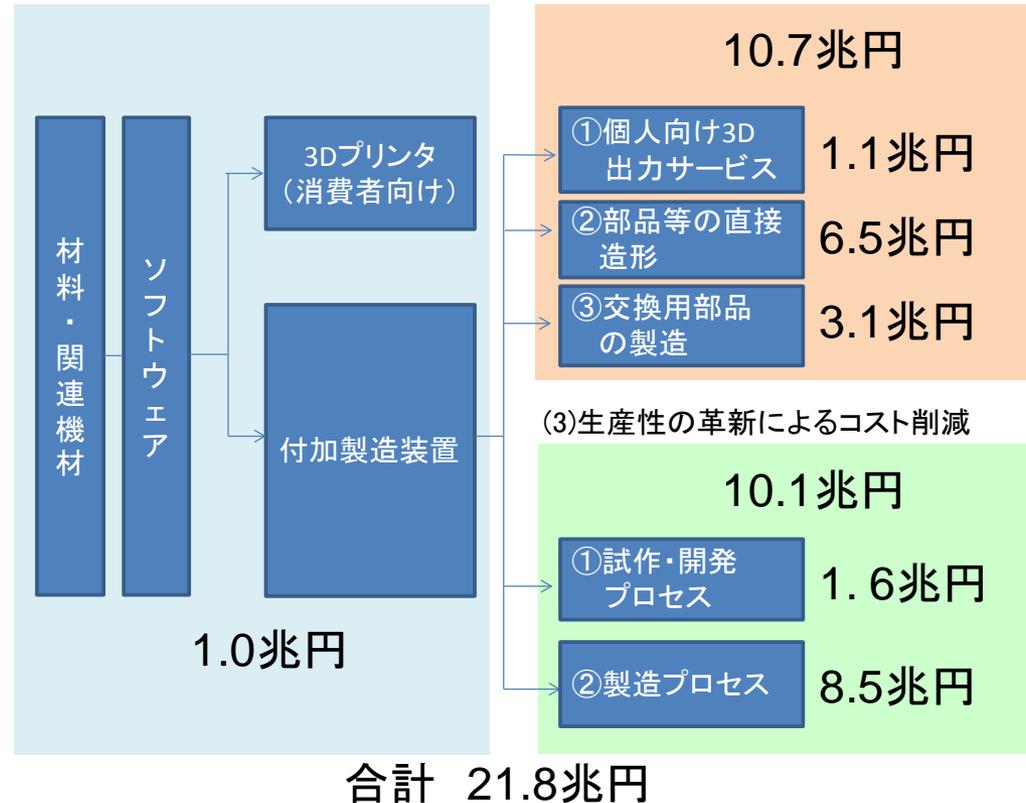
2030年において、今回のプロジェクトで開発する成果に関して、最低でも2兆円程度の経済波及効果があると見込まれる。

<参考> 波及効果

「新ものづくり研究会 報告書」（平成26年2月 経済産業省）より抜粋

(1)付加製造装置・3Dプリンタ等の直接市場
(装置、材料及びソフトウェア市場)

(2)関連市場(付加製造装置・3Dプリンタで
製造した製品市場)



平成32(2020)年には付加製造装置・3Dプリンタは広く一般消費者、産業界で用いられるようになり、その経済波及効果は世界全体で合計約21.8兆円に達するものと考えられる。内訳は、付加製造装置・3Dプリンタ等の直接市場で約1.0兆円、関連市場で約10.7兆円、生産性の革新で約10.1兆円となる見込みである。

8. 外部有識者の評価等

8-1 評価検討会

8-2 総合評価

8-3 評点結果

8-1. 評価検討会

<p>評価検討会名称</p>	<p>「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム (次世代型産業用3Dプリンタ等技術開発)」 研究開発プロジェクト 中間評価検討会</p>				
<p>評価検討会委員</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="446 429 591 522"> <p>座長</p> </td> <td data-bbox="600 429 1908 522"> <p>柳本 潤 国立大学法人東京大学 生産技術研究所 教授</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="446 536 591 1315"> <p>委員</p> </td> <td data-bbox="600 536 1908 1315"> <p>石水 敬大 京セラメディカル株式会社 研究開発統括部 研究部 生体材料研究1課</p> <p>稲垣 育宏 新日鐵住金株式会社 交通産機品事業部 製鉄所 産機品」製造部 部長</p> <p>浜岡 昭夫 株式会社日立製作所 ものづくり戦略本部 生産技術強化推進部 主管技師</p> <p>平塚 貞人 国立大学法人岩手大学 工学部 マテリアル工学科 教授</p> <p>山中 久仁昭 株式会社日刊工業新聞社 栃木支局 支局長</p> </td> </tr> </table>	<p>座長</p>	<p>柳本 潤 国立大学法人東京大学 生産技術研究所 教授</p>	<p>委員</p>	<p>石水 敬大 京セラメディカル株式会社 研究開発統括部 研究部 生体材料研究1課</p> <p>稲垣 育宏 新日鐵住金株式会社 交通産機品事業部 製鉄所 産機品」製造部 部長</p> <p>浜岡 昭夫 株式会社日立製作所 ものづくり戦略本部 生産技術強化推進部 主管技師</p> <p>平塚 貞人 国立大学法人岩手大学 工学部 マテリアル工学科 教授</p> <p>山中 久仁昭 株式会社日刊工業新聞社 栃木支局 支局長</p>
<p>座長</p>	<p>柳本 潤 国立大学法人東京大学 生産技術研究所 教授</p>				
<p>委員</p>	<p>石水 敬大 京セラメディカル株式会社 研究開発統括部 研究部 生体材料研究1課</p> <p>稲垣 育宏 新日鐵住金株式会社 交通産機品事業部 製鉄所 産機品」製造部 部長</p> <p>浜岡 昭夫 株式会社日立製作所 ものづくり戦略本部 生産技術強化推進部 主管技師</p> <p>平塚 貞人 国立大学法人岩手大学 工学部 マテリアル工学科 教授</p> <p>山中 久仁昭 株式会社日刊工業新聞社 栃木支局 支局長</p>				

8-2. 総合評価

総合評価

プロジェクトの研究開発計画にしたがって、進捗に差異はあるものの、総じて適切に事業運営されており、開発体制、標準化戦略などは概ね妥当である。

他方、今後は、限られた資源の中で一層メリハリを付けることが重要になり、これまで以上にきちんと対応してほしい。

目標値については、欧米の技術開発も日々進捗している可能性もあり、ベンチマークについては適宜確認の上、研究開発を進めて頂きたい。

既に事業化を果たしている国内企業が何らかの形でTRAFAMIに参画される事を期待したい。

そうすることで事業化における課題抽出や保有技術の共通化が加速し、より良い成果に繋がると考える。

現状のロードマップは最新技術動向と比較するとハードルが低くなっており、内外の技術の進展状況などを確認しながら、適宜見直していくべき。

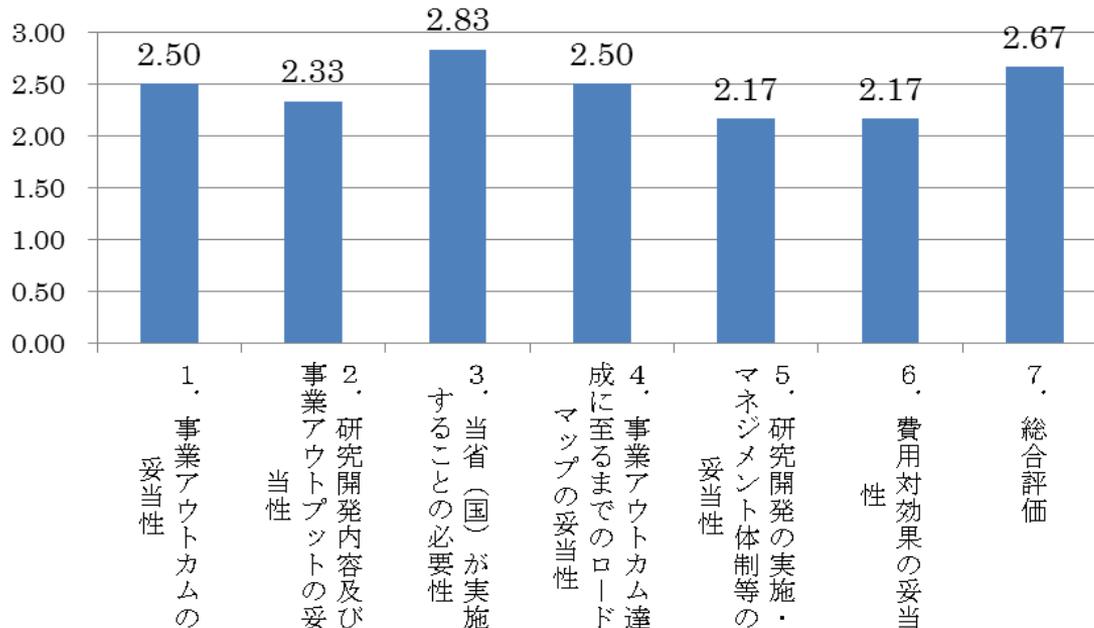
8-3. 評点結果

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト中間評価において、
評点法による評価を実施した。

○(必要に応じて、)

- ・各項目(1. ~6.)のうち、評点が2点未満のものについてその理由を記載。
- ・総合評価が1点台の場合、その理由を記載。
- ・総合評価が、各項目のいずれよりも低い場合又は各項目が低めの傾向で、総合評価のみ高い場合、どのようなことが重視されたのか等を記載。

評点



【評価項目の判定基準】

評価項目1.~6.

3点:非常に重要又は非常によい

2点:重要又はよい

1点:概ね妥当

0点:妥当でない

7. 総合評価

3点:事業は優れており、より積極的に推進すべきである。

2点:事業は良好であり、継続すべきである。

1点:事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。

0点:事業を中止することが望ましい。

9. 提言及び提言に対する対処方針

9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

(新たな開発要素)

航空機用チタン、航空機用チタン合金等において、汎用材質であるTi-6Al-4V合金等については世界的に開発が相当進んでいることもあり、実用化と並行して、三次元積層造形技術を活用した高機能材料の開発で世界的に技術優位性を確保する取り組みも検討頂きたい。

(実用化の加速:標準化・実証試験、知的財産等)

今後の具体的なアクションプランとして、実用化に当たって解決すべき課題を明確化して、取り組んで頂きたい。例えば、航空機分野での認証取得に際して、品質管理基準や評価基準の標準化及びユーザー企業での早期実証試験への注力が必要と考えられる。

特許については、技術優位性の担保のため、できるだけ広範囲な技術が網羅されるように引き続き注力して頂きたい。なお、当事業の優位性を確保するためには、できるだけ幅広い特許網を構築していくことが重要である。また、事業拡大のためには、国内各社が特許を活用し易くしていく工夫も必要と考えられることから、引き続き、技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構(TRAFAM)の強力なマネジメントが期待される。

技術要素の集約や標準化の観点で、既に市場参入している国内企業との連携が不透明である。企業間競争の観点で難しいかもしれないが、国が実施する以上、本プロジェクトにおいてこれら国内企業との繋がり(事業化におけるアドバイザーや標準化部分での連携)が必要ではないか。

(実用化の加速:ユーザー連携強化)

既存のNC切削加工や精密鑄造技術がそのまま置き換わるような具体的ニーズは少なく、異種金属の組み合わせ技術等の進展や技術の独自性を活かした新たなモノづくりという観点で、ユーザー企業との連携が今後さらに重要となるため、広い視野と長い目で見ながら、サプライヤー、ユーザー双方の産業を育てる方向性で進めることを期待する。

事業化はシステムサプライヤー側の技術開発だけでは実現できず、アプリ開拓等のユーザー側の環境構築が重要(ユーザー側も3Dプリンタで新たな価値が生まれる事に気付いてないケースが多い)で、日本は先行する欧米諸国に大きく遅れているのはこの部分と思えるため、この面からのアプローチ施策も欲しいところである。

また、本技術の普及には、設備、システムの開発だけでは不十分であり、設計/製造/使用他の環境整備が必須であり、法整備や規制緩和といった関係省庁横断の取組も重要である。

(役割分担)

三次元積層造形技術は今後のものづくり産業の骨格を形成するものであり、当事業の技術開発レベルが高度であること、並びに事業化に際しては標準化といった公的な取り組みも必要となること等を踏まえると、早期実用化に取り組むためにも、引き続き、国の支援を期待するとともに別途国費の投入について提言していくことも検討頂きたい。

また、機種・技術の優先順位付け、競合する既存機種・技術との差別化の徹底、上市化するものとそうでないもの見極め、実用化までのタイムリミットに間に合わないもの対応について、国として、どう差配と判断をしていくのか、建設的で合理的な対応に期待したい。

(実施体制)

実用化に向けた研究開発が重要であり、引き続き、TRAFAMIによるマネジメントが必要である。

加えて、ニーズの多い技術や分野の情報を幅広く収集し、技術課題を絞る上でも、TRAFAMIに参画しているユーザー企業に限定せず、展示会や講演会等で引き合いのあった企業からの造形試作も比較的安価に且つ迅速に対応出来るような体制構築も期待される。

(実用化の加速: 技術内容)

それぞれ作るものとしてアウトプットがあったとして、この方式でも出来るし、あの方式でも出来るしということであれば、この方式で出来るのであれば、逆にあの方式はいらぬのではないかという観点で、精査する場を設けるべき。

研究開発期間(5年間)の中間地点であるが、この時点で目標をクリアした技術については、プロジェクトの終了を待たずに、実用化を検討してほしい。

レーザーデポジション装置は、装置の販売が進んでいるため、早急な実用化・事業化が望まれる。

電子ビームによる金属積層には、多くの課題が残っており、研究体制を強化するなどの取り組みを通して研究を加速していただきたい。

砂型造型は普及への取り組み(サンプル品の鋳造など)をさらに積み重ねて頂きたい。

提言に対する対処方針

開発内容については、海外における開発状況や実用化の進展、造形物の品質評価や性能評価に関する標準化なども見据えながら、必要に応じて目標の変更を含め検討していく。

さらに、標準化への取組、知的財産権の取得・管理のあり方の整理等について、ノウハウ等の扱いにも留意しつつ、成果の実用化を加速する観点から進めていく。

国と民間との役割分担については、技術開発の進捗確認に併せて、国として実施すべき優先順位を明確化し、国として取り組むべき技術開発内容の絞り込みを必要に応じて行っていく。

また、引き続き、装置、材料、ソフトウェアをユーザー企業とともに一体的に開発していく体制を維持しつつ、3Dプリンタの更なる用途開発が進むような体制の構築を検討する。

本プロジェクトの進捗、内外の技術進展なども検討しつつ、必要に応じて適宜見直し、結果をプロジェクトに反映するなどしっかり進めていく。

<参考> 個別要素技術の成果、達成度

・電子ビーム方式要素技術研究

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
電子ビーム積層造形における金属粉末の熔融凝固プロセスの解明	Ti-6Al-4V、Incoel718 CoCrMo等の合金材料のレシピ開発及び造形試験を行う。	Ti-6Al-4Vの造形ではプレヒータリングでの投入エネルギーを調整することによって1層当たりの造形時間を38%短縮した。造形面積が大きいほど、造形物個数が多いほど、熔融時間が長くなる。結果として造形場の温度降下が大きくなり、造形時間を長くしてしまうことが判った。	達成
電子ビーム積層造形における金属粉末の熔融凝固プロセスの解明	Incoel718でプロセスマップを作成し高速大型機、複層電子ビーム3Dプリンタの開発へ提供する。	投入エネルギー、ビーム走査速度を任意に調整し、造形試験を行うことに成功した。ラインエネルギーでどの程度までエネルギーを投入できるか明らかになってきた。したがって今後さらなる最適条件を求める実験を行うことが可能になった。	達成
金属粉末材料毎の積層造形に適した造形条件(レシピ)の確立	造形条件(レシピ)を開発するために、粉末電気抵抗とスモーク現象との関係を明らかにする。	各粉末の電気抵抗測定結果と造形実験結果を照合しスモークが発生する抵抗率、温度についておおよその見当がついた。金属粉末の電気抵抗は温度を上げると低下するが、その後降温させてもほぼ一定となることや、温度だけでなく温度保持時間の影響を受けることが判った。	達成
熔融凝固シミュレーション技術	金属粉末の焼結/伝熱/熔融/凝固/残留応力までの一連の電子ビーム積層造形固有の挙動を丸ごと記述できるシミュレーション技術を開発する。	粉末粒子へのビーム照射において、粉末粒子径の分布が熔融挙動や仮焼結挙動に大きく影響し、健全な造形のためには粒度のコントロールが重要であることなどを明らかにした。また、伝熱のみを考慮したFEMシミュレーションと凝固マップから予測される材料組織と、実際にビーム照射による熔融凝固で得られる組織の間には大きな差があることを明らかにし、流動を考慮したシミュレーションと凝固マップの精査が不可欠なことを示した。	達成
電子ビーム方式積層造形データベース	開発フェイズに対応した拡張性のあるデータベースのプロトタイプ構築をする。	材料DB、形状モデルDB、造形条件DB、造形履歴DB、造形結果DBを統合した積層造形データベースのプロトタイプが完成した。	達成

・大型電子ビーム3Dプリンタ

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
大型3Dプリンタ用電子ビームコラムの高度化	①出力:6kW ②ビーム径:100μm以下 ③陰極加熱寿命: 1,000時間以上	①出力6kW、陰極加熱1,000時間以上を達成し、大型造形物の造形に資する電子ビームコラム技術を確立した。 ②ビーム径φ100μm以下を達成し、高精度造形に資する電子ビームコラム技術を確立した。	達成
大型化技術*1	①大面積照射技術 ②着脱式大型造形ボックス ③粉末供給装置 の開発により造形サイズ 500mmX500mmx600mm以上の大型装置の開発	電子ビーム出力(6kW)、電子ビーム照射範囲(500mmX500mm)、造形ボックスサイズを確認し、500mmX500mmx600mmの造形サイズに資する大型電子ビーム3Dプリンタ装置を開発した。	達成
高速化技術	電子ビームコラム開発により、積層造形速度 250cc/h以上の達成	高精度・高速モード切り替え方式、および、最大ビーム照射速度15,000m/sの電子ビームコラムを開発した。その結果、積層造形速度100cc/hの積層造形速度を達成した。 積層造形速度が中間目標に対し40%と未達成となったが、プリヒート熱量アップ、ビーム形状最適化で達成できると考えている。	未達成 (40%)
高精度化技術	電子ビーム制御システムの開発により造形精度±100μm以下の達成	電子ビーム制御システムを開発し、造形物の精度±100μm以下(±78μm)を達成した。	達成

・複層電子ビーム3Dプリンタ

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
複層3Dプリンタ用高速高精度電子銃の開発	<ul style="list-style-type: none"> ①加速電圧60kVで6kWのLab6を搭載する電子銃を開発する。 ②ビーム径：100μm以下を実現する。 ③電子銃の寿命：1,000時間以上を実現する。 	<ul style="list-style-type: none"> ①加速電圧60kVのLab6電子銃搭載した電子銃を製作した。 ②ビーム100μm以下をファラディカップで計測し達成した。 ③電子銃寿命540時間達成後、消耗度を計測し1,944時間まで到達可能と判断し測定継続。 	達成
電子ビーム3D積層造形高速化技術	<ul style="list-style-type: none"> ①250cc/h以上の造形速度を目指す。 (市販製品80cc/h) 	<ul style="list-style-type: none"> ①実造形時間146.9cc/hを達成し、造形可能範囲へ計算すると速度214.6cc/hとなる。(85%) 	未達成
電子ビーム積層造形高精度化技術	<ul style="list-style-type: none"> ①精度±40μm以下を達成する。 ②高品質造形を実現する真空度1×10^{-2}[Pa]以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ①粉末中心粒径75μmのTi-6Al-4Vを積層厚100μmで1cm立方体を造形し測定した。 結果：±27μmを達成。 ②造形室の真空度1×10^{-4}[Pa]を達成。 	達成
異種材料の複層造形技術	<ul style="list-style-type: none"> ①2種類の金属粉末のパウダリコート技術を確立する。 ②2種類の異種金属造形を実現する。 	<ul style="list-style-type: none"> ①異種金属のパウダーベッド制御技術を確立した。 ②Ti-6Al-4VとCuの異種金属を、パウダーベッド方式積層技術を用いて、造形を実現した。 	達成
ユーザー造形品試作と検査技術	<ul style="list-style-type: none"> ①組合員ユーザー企業の部品を積層造形技術で製作する。 ②金属粉末分析、造形品検査手法を確立する。 	<ul style="list-style-type: none"> ①ユーザー企業2社の部品の造形を完了した。 ②表面分析装置による材料分析、造形品の粒界、非破壊検査技術の実施。 	達成

・レーザビーム方式

要素技術	目標・指標（中間評価）	成果	達成度
溶融凝固プロセスの解明	伝熱・溶融凝固現象モニタリングのためのモニタリング技術の確立及び溶融凝固現象の解明	<ul style="list-style-type: none"> ・高速度カメラ・サーモビューワによる、超高速レーザー照射時の伝熱・溶融凝固現象モニタリング技術を確立し、従来の溶接における低速レーザー照射時の溶融凝固現象と大きく異なることを明らかにした。 ・SUS630及びインコル718の伝熱・溶融凝固現象を明らかにし、マイクロシミュレーションの高精度化に資する結果を得た。 	達成
積層造形データベース化	鉄系材料・超合金・アルミ合金・チタン合金のプロセスマップ（レシピ）の作成とデータベース化	<ul style="list-style-type: none"> ・装置に最適な粉末特性を明らかにした。 ・各種材料のプロセスマップを作成し、最適造形条件を明らかにした。 ・市販の欧米企業の装置のデータに匹敵する機械的性質を有する造形体の作製が可能となった。 	達成
伝熱・熱変形（残留応力・歪）シミュレーション技術	汎用ソフトによるミリオーダー伝熱・熱変形シミュレーションコードの開発及び単純形状品の造形結果との比較による高精度化	<ul style="list-style-type: none"> ・レーザースポット周りのミクロスケールの過渡的温度場の数値シミュレーションによる推定と実験的測定が可能となった。 ・マクロスケールな熱変形の推定も実測値比較数%誤差での可能となった。 	達成

・複層レーザービームプリンタ(レーザートリミング方式)

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
異種材料の複層積層技術	粉末切替えシステム及びプロセス制御による2種以上の異種材料の積層技術を確立	SUS316Lと炭素鋼、 SUS316Lとインコル718の複層積層に成功した。	達成
高速化技術・高精度化技術	①高速造形用ノズル開発及びプロセス制御による、造形速度250cc/hの高速造形技術の確立 ②プロセス制御及びレーザーポリッシュによる、精度±50μm以下の高精度造形技術の確立	・W100mm×L100mm×H10mmの速度評価サンプルを造形速度359cc/hで造形し、高速造形技術を確立した。 ・精度評価サンプルで外形寸法精度±30μmを達成した。レーザーポリッシュにより表面粗さRaが14μmから3.9μmに改善した。以上より、高精度造形技術を確立した。	達成
高精度ノズル開発	シミュレーション技術を駆使した粉末収束径0.6mm以上1.5mm以下のノズル開発	開発した高精度ノズルで粉末収束径0.7mmを得て、中間目標を達成した。	達成
微細造形技術	造形線幅0.3mm以下の微細造形技術の開発	SUS304粉末0.03mm(30μm)以下で粉末供給と造形ラインパターン形成を実証した。	達成

・複層レーザービームプリンタ(マシニング方式)

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
異種材料の複層積層技術	加熱レーザー機能、造形モニタリング機能を備えた複層積層造形装置の開発	加熱レーザー機能、造形モニタリング機能を備えた開発機を開発し、非鉄金属材料と金属材料の複層積層試作を実施、良好に異材種の複層造形ができることを確認した。	達成
高速化高精度化技術	収束性とシールド性を両立する粉末噴射ノズルの開発、材料毎プロセスマップによる造形条件の最適化検討	CFDシミュレーションを粉末噴射ノズルの設計に適用し収束性とシールド性を両立する粉末噴射ノズルを開発した。3種の材料についてプロセスマップを作成、データベース化することで積層造形速度250cc/h以上(達成値360cc/h)、造形精度±50μm以下(達成値±24μm)の中間造形目標値を達成した。	達成
ミクロ溶融凝固シミュレーション技術	粉末サイズを考慮した粉末粒子レベルのミクロシミュレーションモデルおよび材料・入熱条件の違いをパラメータ評価できる方法の構築	開発したモデルで、チタン合金とインコニルについて、レーザー出力と走査速度をパラメータとした3×3マトリックスのプロセスマップをスパコン京で計算し、実造形の溶融池幅(150μm以上2点・未満5点・ビード形成せず2点)と傾向一致した。今後、さらなる精緻化で定量性を追求する。	達成

・大型高速レーザービーム3Dプリンタ

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
高速化技術	①高速・高精度粉末積層装置開発、 ②高出力レーザー開発、 ③高速・高精度ガルバノミラー開発及び複数台制御技術開発による積層造形速度：250cc/h以上達成 (中間評価時125cc/h)	積層造形速度：68.5cc/h 100×100×10mmの速度評価用造形物を造形した。(造形時間：1時間27分40秒) <u>今後の取組</u> レーザーを2台として、マルチ制御等により、高速化目標を達成する予定。	未達成 (実施中)
高精度化技術	①高速・高精度粉末積層装置開発 ②高速・高精度ガルバノミラー開発による造形物の精度±50μm以下達成	造形精度：±50μm ・10×10×10mmの精度評価用造形物を造形し寸法精度を測定	達成
大型化技術 *1	①高速・高精度ガルバノミラー開発及び複数台制御技術開発②粉末供給・回収機構及びワーク取出し機構開発による造形サイズ：500mm×500mm×400mm達成	造形サイズ：600×600×400mm ・上記機械仕様の装置を設計・製作した(開発機) ・開発機にて600×600mmの格子を描画しストロークを確認した ・開発機で616mm×128mm×203.5mmの試作品を製作した	達成
高輝度シングルモードファイバーレーザー技術	・976nm励起および共振器YDF長の短尺化 ・270W LD用TFBの開発 ・QBHケーブル用光ファイバーのMFD拡大	・YDF短尺化(24m→18m)によるSRS低減の確認 ・1+6:1TFBの開発、1.4kWの入力耐性を実現 ・14-17のMFAの導入 ・シングルモードで2kW出力を確認した。 ・6kWファイバーレーザーを国内で初めて開発し、レーザーデポジション用に2台供給	達成

*1 最大造形サイズの中間目標値に対しては、装置内の造形室内の空間の大きさ(図面と実物の確認)とビーム照射範囲の確認をもって、中間目標達成の判断としている。詳細は次に説明をする。

・金属粉末開発及び粉末修飾技術開発

要素技術	目標・指標（中間目標）	成果	達成度
高融点・高活性金属用高性能アトマイズ装置開発	・チタン合金粉末粒径75 μm 以下の分級歩留40%以上（平均粒径100 μm 程度）	・チタン合金粉末粒径75 μm 以下の分級歩留42.3%（粉末粒径97.5 μm ）を製造可能なアトマイズプロセスを開発	達成
噴霧現象可視化技術開発	・可視化技術活用による噴霧現象数値化 ・製造粉末粒径に影響を及ぼす噴霧ガス流速の定量化 ・噴霧ガス可視化によるガス流速変化要因解析技術構築	・噴霧超音速ガスの流速絶対値を計測する技術を確立 ・シュリーレン法により噴霧ガスの密度差を観察することにより、噴霧ガスの形状や減衰挙動を可視化する技術を構築	達成
気流分級による遠心分離方式金属粉末分級機構の開発	・分級精度（粒径45 μm 以下） 累積95%粒度40 μm 以下（粒径125-45 μm ） 累積5%粒度50 μm 以上、累積95%粒度120 μm 以下 ・分級歩留 篩分級に対し20%以上向上	・分級精度（粒径45 μm 以下） 累計95%粒度35 μm （粒径125-45 μm ） 累計5%粒度61 μm 、 累計95%粒度115 μm ・分級歩留 篩分級に対し28.5%向上	達成
金属粉末修飾技術開発（粒径45 μm 以下ガスアトマイズ銅粉対象）	・粉末流動度： 45秒/50g以下 ・酸化増加率： 10%/20日以下	・金属粉末表面にセラミック系潤滑剤を微量修飾することで粉末の流動性が発現し、流動度=20.3秒/50gとなった。 ・酸化防止を目的に粉末表面に酸化防止剤を微量修飾することで酸化増加率=9.9%/20日となった。	達成
銅系製造技術開発（銅粉末収率向上）	・-45 μm （LB用）金属粉末製造収率向上 ・+45/-105 μm （EB用）金属粉末製造収率向上	・ガスアトマイズ条件並びに噴霧ノズルを開発した。 -45 μm 収率 = 66%（目標60%） +45/-105 μm 収率=28%（目標25%）	達成
アルミニウム合金粉末の製造技術開発	レーザー／電子ビーム積層造形用アルミニウム合金粉末に関する要求特性の明確化	・レーザー方式積層造形装置で、粒度分布を調整する事により、相対密度99.5%を達成出来るレベルまで到達した。 ・電子ビーム積層造形装置で、アルミニウム合金粉末の球状度、サテライト粉末の量、粒度分布幅の改善が必要であることが判明した。	達成

・3Dプリンタ用制御ソフトウェア開発

要素技術	目標・指標（中間評価）	成果	達成度
STL/AMFデータ処理技術	STL/AMFデータ変換ソフトウェアの開発	STL/AMFデータ変換ソフトウェアの開発を完了し、装置開発メーカー及びユーザーへ展開して、改良中である。	達成
加工条件／最適パス生成技術	加工条件設定・編集、配置支援、ラティス構造、サポート設定及び加工前評価ソフトウェア開発	加工条件設定・編集、配置支援、ラティス構造、サポート設定及び加工前評価ソフトウェア開発を完了し、装置開発メーカー及びユーザーへ展開して、改良中である。	達成
統合ソフトウェア開発	加工・材料・評価データベースとの連携可能な加工条件／最適パス生成ソフトウェア開発のためのプラットフォーム構築	統合ソフトウェアのプラットフォームを開発した。	達成

・高速積層造形技術の開発

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
高速積層造形技術の開発(高速・大型化技術)	積層造型速度： 5万cc/h以上 (中間目標) 10万cc/h以上 (最終目標)	5万cc/hの装置を開発し、試作積層鋳型を用いた鋳造試験(評価試験)を実施した。 10万cc/hの装置は、ハードの製作が完成した。	中間目標達成
	造形可能サイズ： 1,000mm X 1,000mm X 600mm以上 (最終目標)	造形可能サイズはストレッチターゲット： 1,800mm X 1,000mm X 750mmを設定し、5万cc/hの装置に適用した。	中間目標達成
	装置本体の販売価格：2,000万円以下 (最終目標)	コストダウン検討を行い、10万cc/h装置の試作費用を5万cc/h装置の試作費用以下にする事に成功した。	達成
	鋳型の製造コスト： 1,200円/kg以下(中間目標) 1,000円/kg以下(最終目標)	積層造型速度5万cc/hの装置について、鋳型材料費、リサイクル費、水光熱費、設備の減価償却費、メンテナンス費用を想定して製造コストを算出し、1,200円/kgを達成した。	中間目標達成
複層化コーティング技術の開発	複層化コーティングの実現	複層化評価装置を開発し、複層コーティングを実施した。今後、課題を詰めて高速造型装置の複層化につなげる。	達成
砂除去装置の開発	砂型の取出し時間： 5万cc/h造型時間の半分(中間目標)、 10万cc/h造型時間の半分(最終目標)	5万cc/hの装置にて8.5hの試験造型した砂型の取出しを4hで完了した。	中間目標達成

・耐熱積層鋳型による高融点金属鋳型技術の開発

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
耐熱有機バインダ材料及び高耐熱性・低熱膨張性溶融法人工砂の開発	耐熱有機バインダ材料開発 <ul style="list-style-type: none"> ・ 有害ガス発生を抑制し、崩壊性も考慮した耐熱有機バインダ材料の開発 ・ 10万cc/hに対応できる硬化システム 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1液式の硬化システムに対応するバインダ材料を開発した。 ・ 人工砂の使用を可能にして耐熱性を向上し、鋳鉄・鋳鋼等の高融点金属への対応を実現した。 ・ バインダ2%添加で圧縮強度10MPaの高強度を実現、バインダを1%に減らしても鋳造を可能にし、有害ガス発生を抑制した。 ・ バインダ硬化速度を向上させ、5万cc/h装置で造形確認を実施した。 	達成
	高耐熱性・低膨張性溶融法人工砂の開発 <ul style="list-style-type: none"> ・ 鋳鉄鋳造に対応可能な人工砂の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1液式の硬化システムのための固体硬化触媒を開発した。 ・ この硬化触媒を高耐熱性・低熱膨張人工砂にコーティングした積層造形用人工砂（CCS）を開発した。 ・ 開発した人工砂とバインダを用いて造形した鋳型により鋳鉄の鋳造を行い、耐熱性を実証した。 	達成
耐熱有機積層鋳型鋳造及び評価技術の開発	耐熱有機積層鋳型に対応する鋳造技術開発 <ul style="list-style-type: none"> ・ 高温特性（耐熱性・柔軟性・ガス発生）の向上 ・ 塗型の適用評価 ・ 実鋳造による検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高温での柔軟性を高める材料開発を行い、従来材料（アルカリフェノール鋳型）よりも優れた特性を確認した。 ・ 鋳鉄の鋳造を行い、塗型の検討・焼き付き性を評価し、耐熱性およびガス発生に問題ないことを確認した。 	達成
	複雑形状注湯技術・実部材への適用評価 <ul style="list-style-type: none"> ・ 鋳型物性評価 ・ CAE連携技術の開発 ・ 実鋳造による検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鋳型強度、抗折強度を評価、それぞれ10MPa, 5MPaの値が得られ、鋳型のハンドリング及び鋳造に問題ないことを確認した。 ・ 積層造形鋳型に対応した通気度、比熱、崩壊性、リサイクル性、耐熱性、ガス発生の評価手法を開発した。 	達成

・局所的冷却性能制御技術の開発

要素技術	目標・指標 (中間評価)	成果	達成度
複層化コーティング用バインダ材料及び低熱膨張性熔融法人工砂の開発	<p>高冷却バインダ・鋳型材料開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・無機バインダによる1液式積層造形鋳型硬化システムの開発 ・複層化積層造形のための高冷却性能の砂・バインダ硬化システムの開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・人工砂に水ガラス系無機バインダをコーティングした砂(BCS)、インクジェット可能な硬化触媒の組み合わせからなる硬化システムを開発し、造形を確認した。 ・高冷却性能を持つ熔融法人工砂を用いた硬化システムを開発し、造形を確認した。 	達成
	<p>高冷却鋳型積層造形技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・複層化積層造形技術と高冷却性能鋳型材料を組み合わせた局所的冷却制御により、鋳造品の高品質化と省エネルギー化を実現 	<ul style="list-style-type: none"> ・無機バインダによる積層造形鋳型硬化システムにより鋳型を造型し、崩壊性を確認した。 	達成
複層化積層鋳型鋳造及び評価技術の開発	<p>複雑形状注湯技術・実部材への適用評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・複雑形状複層化鋳型へのアルミニウム注湯技術の実証評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・薄肉形状、薄肉空隙形状を持つ鋳型の特性、鋳造性を評価するための標準試験鋳型及び試験方法を開発した。 ・開発した標準試験鋳型により鋳型特性（薄肉部強度、砂落とし性を評価した。 	達成

・事業化・ブランド戦略

内容	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
ブランド戦略	<ul style="list-style-type: none"> ①共通シール製作 ②装置色決定 ③発表共通テンプレート 	<ul style="list-style-type: none"> ①TRAFAM開発装置である事を示す共通シール ②TRAFAM開発装置の共通塗装色を決定し、標準色見本プレートを配布し共通化した。 ③活動報告・対外発表用のPowerPointの共通テンプレートを用いてTRAFAM活動を実施した。 	達成
品質保証、安全、環境対策	<ul style="list-style-type: none"> ①TRAFAM標準造形試験方法策定 ②分析機器による品質検査手法調査・共通化 ③安全規制の情報共有による実験活動の安全確保 	<ul style="list-style-type: none"> ①金属積層造形法の標準検査国際規格が未定である為、ISO国際会議の情報等からTRAFAM標準試験（JIS引張、硬さ、精度検査、スルー putt 検査）を決定した。 ②粉末材料の検査等の共通機器を導入し検査情報の統一化を図った。 ③安全衛生に関する法令を調査し、組合員へ情報を配信し安全に留意して活動を推進した。 	達成
セキュリティ対策	<ul style="list-style-type: none"> ①安全保障調査活動（輸出管理） ②装置不正移転防止の技術調査 	<ul style="list-style-type: none"> ①金属積層造形装置に関わる輸出法令を調査し、組合員へ省令情報を配信した。 ②装置の不正移転を検知する技術調査を実施し、将来の商品化時に搭載する事例を情報配信した。 	達成
事業化戦略	<ul style="list-style-type: none"> ①3D金属積層造形技術実用化調査活動（国内） ②試作機設置環境・インフラ情報の収集・情報共有化活動 ③ユーザー造形のデータ秘密保持契約のテンプレート作成と運用 ④オペレータ技術者の教本企画 	<ul style="list-style-type: none"> ①国内の3D金属積層造形装置の市場調査をして状況を把握し将来の商品化に向け活用した。 ②ユーザー企業が装置を設置する際、必要なインフラ情報の調査表を決め調査を実施した。 ③ユーザー企業と連携した造形試験を実施する為に、統一化した秘密保持契約テンプレートを作成し運用した。 ④金属積層造形に携わる技術者向け教本の作成準備を進めた。 	達成