

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)  
技術評価(中間評価)結果報告書  
(案)

平成28年6月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

## はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成24年12月6日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成26年4月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム（次世代産業用3Dプリンタ等技術開発）研究開発プロジェクト」は、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、平成25年度（平成25年度の事業名は超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト）より実施しているものである。

今般、省外の有識者からなる「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（座長：柳本 潤 国立大学法人東京大学 生産技術研究所 教授）における検討の結果とりまとめられた、「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技術評価（中間評価）結果報告書」の原案について、産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ（座長：小林 直人 早稲田大学研究戦略センター副所長・教授）において、審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成28年6月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

# 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)

### 技術評価（中間評価）結果報告書

プロジェクト名	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)
上位施策名	1. 経済産業 1-3. イノベーション
事業担当課	製造産業局素形材産業室

#### プロジェクトの目的・概要

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、地域の中小企業等の持つ技術や資源を活用し、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の開発を行い、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。

三次元積層造形技術開発について、世界最高水準の次世代型産業用三次元積層造形装置(次世代型産業用3Dプリンタ)の開発を行い、航空宇宙分野、医療機器分野、産業輸送機器分野等において、これまでできなかった製品、形状が複雑でいくつかの加工技術を組み合わせないと製造できなかった製品ないし自由で複雑形状等の高付加価値製品等の製造を実現する。金属粉末の焼結・溶融に適した高速レーザー装置等の開発から、造形雰囲気制御、金属粉の積層技術の高速化等の日本のものづくり産業の強みを有する部分での開発を行い、積層造形速度が、現在(平成25年時点海外装置)の10倍、製品精度が現在の5倍となる高速・高性能三次元積層造形装置を開発し、さらに、開発が終了する平成32年に当該装置を実用化する。

また、金属だけではなく鋳造鋳型用の砂等について、積層造形装置に使用できる部材としての開発や材料の複合化・高機能化・後加工技術、未使用材料の回収等の周辺技術開発についても実施する。さらに、三次元積層造形に係る材料等の基盤技術の研究開発も合わせて実施することにより、次世代のものづくり産業を支える三次元積層造形システムの高度化を図る。

#### 予算額等(委託)

(単位:千円)

開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体
平成25年度 (平成25年度の事業名は超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト)	平成30年度	平成28年度	平成31年度	技術研究組合 次世代3D 積層造形技術 総合開発機構
H25FY 執行額	H26FY 執行額	H27FY 執行額	H28FY 執行額	総執行額
148,484	3,749,050	1,824,000	( 予算額 700,000)	総予算額 5,721,534

※総予算額は平成25年度、平成26年度及び平成27年度執行額と平成28年度予算額の合計

## I. 研究開発課題(プロジェクト)概要

### 1. 事業アウトカム【複数設定可】

#### 事業アウトカム指標①

積層造形速度が平成 25 年度時点海外機の 10 倍となる高速・高性能三次元積層造形装置（3D プリンタ）を開発。

※平成 26 年度については、要素技術研究機・1 次試作機の開発を行った。

※中間目標を平成 27 年度末で設定しており、250 C C / 時間以上である。

#### 指標目標値

事業開始時（平成 26 年度）	計画： —	実績： —
中間評価時（平成 28 年度末）	計画： 250cc/h 以上	実績： 214cc/h（複層電子ビーム）、 100cc/h（大型電子ビーム）、 69cc/h（大型レーザービーム）
事業終了時（平成 30 年度末）	計画： 500cc/h 以上	実績： —
事業目的達成時（平成 32 年度予定）	計画： 500cc/h 以上（実用化）	

#### 事業アウトカム指標②

自由で複雑形状の高付加価値製品ないしこれまで実現できなかった高機能製品等を製造。

※平成 26 年度については要素技術研究機・1 次試作機の開発を行った。

※中間目標を平成 27 年度末で設定しており、

±100 μ m 以下（電子ビーム）、±50 μ m 以下（レーザービーム）である。

#### 指標目標値

事業開始時（平成 26 年度）	計画： —	実績： —
中間評価時（平成 28 年度末）	計画： ±100 μ m 以下（電子ビーム）、 ±50 μ m 以下（レーザービーム）	実績： ±78 μ m（電子ビーム）、 ±30 μ m（レーザービーム）
事業終了時（平成 30 年度末）	計画： ±50 μ m 以下（電子ビーム）、 ±20 μ m 以下（レーザービーム）	実績： —
事業目的達成時（平成 32 年度予定）	計画： ±50 μ m 以下（電子ビーム）、 ±20 μ m 以下（レーザービーム）両方式ともに実用化	

## 2. 研究開発内容及び事業アウトプット

### (1) 研究開発内容

#### <金属積層造形>

##### (i) 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形をするためには、三次元積層造形の弱点となる造形物の大きさ・精度、造型速度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を行う。また、同時に、性能等評価の標準化なども一体的に進める。

##### (ii) 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、積層造形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。

#### <砂型積層造形>

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、造型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も重要である。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。

##### (i) 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

##### (ii) 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

##### (iii) 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)

(2) 事業アウトプット【複数設定可】

事業アウトプット指標

着手した技術課題の件数（具体的には以下の４つの課題）

- ①高速・高性能の３Ｄ積層造形装置（制御ソフト等含む）の技術開発
- ②金属等粉末開発及び粉末修飾技術開発
- ③耐熱積層鋳型による高融点金属鋳造技術の開発
- ④周辺技術（高機能複合部材の開発、後加工、未使用粉末の回収等技術）開発

<共通指標>

論文数	論文の 被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の 実施件数	ライセンス供 与数	取得ライセン ス料	国際標準へ の寄与
0	0	61	4	4	平成28年度 以降	

指標目標値（計画及び実績）

事業開始時（平成２６年度）	計画： —	実績： —
中間評価時（平成２８年度）	計画： ４件	実績： ４件
事業終了時（平成３０年度）	計画： ４件	

3. 当省(国)が実施することの必要性

金属積層造形及び砂型積層造形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である。しかしながら、現状、我が国において当該技術は確立されていないと言わざるを得ない状況である。実用に耐え、複数の材料を用いて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がある。

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がある。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、企業が結集することが必要である。

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(規格化)を確立することも必要である。

また、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する技術となり得る。

さらに、金属及び砂型の三次元積層技術は、将来的には、素形材産業特有の金型、木型保管に関する問題に関しても、解決策を与えうる技術となると考えられる。

そこで、金属積層造形及び砂型積層造形の三次元積層技術の開発を、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、企業を結集し、開発成果を踏まえた標準化を実現していく。さらに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を確立していく。

#### 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

平成25年度は次のとおりである。

- ①基板技術開発として、複数のインクジェットヘッドを同期制御可能なラインヘッドシステムを試作した。

平成26年度は次のとおりである。

- ①基盤技術開発として、電子ビーム及びレーザービームの高密度エネルギー源による三次元積層造形装置の要素技術研究機を製作し、各装置のビーム条件(出力、ビーム径)、ビーム走査条件(照射速度、照射時間、照射角度)、粉末条件と造形物の形状、機械特性、物性の分析評価や金属粉末の溶融挙動等の特性評価を実施した。
- ②装置・粉末製造技術開発として、電子ビーム2機種、レーザービーム3機種の一次試作機を設計・製作・開発し、粉末製造設備の設計・製作・開発を実施した。

平成27年度は次のとおりである。

- ①基盤技術開発として要素技術研究機で取得した各種データを活用し造形条件の開発、検証と溶融凝固プロセスの解明、シミュレーション技術の開発を実施した。
- ②装置・粉末製造技術開発として一次試作機の改良と金属粉末材料(チタン合金、耐熱鋼、ステンレス鋼、Ni 基超合金(インコネル)、Co-Cr 合金、銅、銅合金、アルミニウム合金)の開発を行い、実用化に向けユーザー企業の要望による部品の造形を実施した。

平成28年度～平成30年度は次のとおりである。

- ①三次元積層造形の基盤技術開発と装置の高速化、高精度化、大型化と複層化を行いつつ、部品の造形に際して必要かつ安定的な品質確保のため、部品・製品の造形を通じて一体的技術開発、品質確認を通じて実証を実施する。

本技術開発により発生した知的財産に係る権利全般とその取り扱いは、技術研究組合が一元管理し、適正配分と各製品の競争力の向上に繋げる。また、研究成果も活用し、現在課題となっている3Dプリンタや造形物の性能評価、品質評価の標準化確立に日本として主導的に取組むなど国際標準化活動にも積極的に取組む。

平成32年からの実用化を目指して、装置開発、様々な業種に合わせた専用機化と粉末供給装置、スキージング(材料敷き均し)装置等のモジュール化により適用範囲を拡大し、平成40年頃より本格的な運用の実現から、平成42年の事業アウトカムを達成する。

なお、プロジェクト終了前に最終目標を達成した技術については、プロジェクト終了を待たずに実用化の検討を行い、可能なものは早期の実用化を進める。

金属積層の事業アウトカム達成に至るまでのロードマップを図 4-1 に示す。

また、砂型積層の事業アウトカム達成に至るまでのロードマップを図 4-2 に示す。

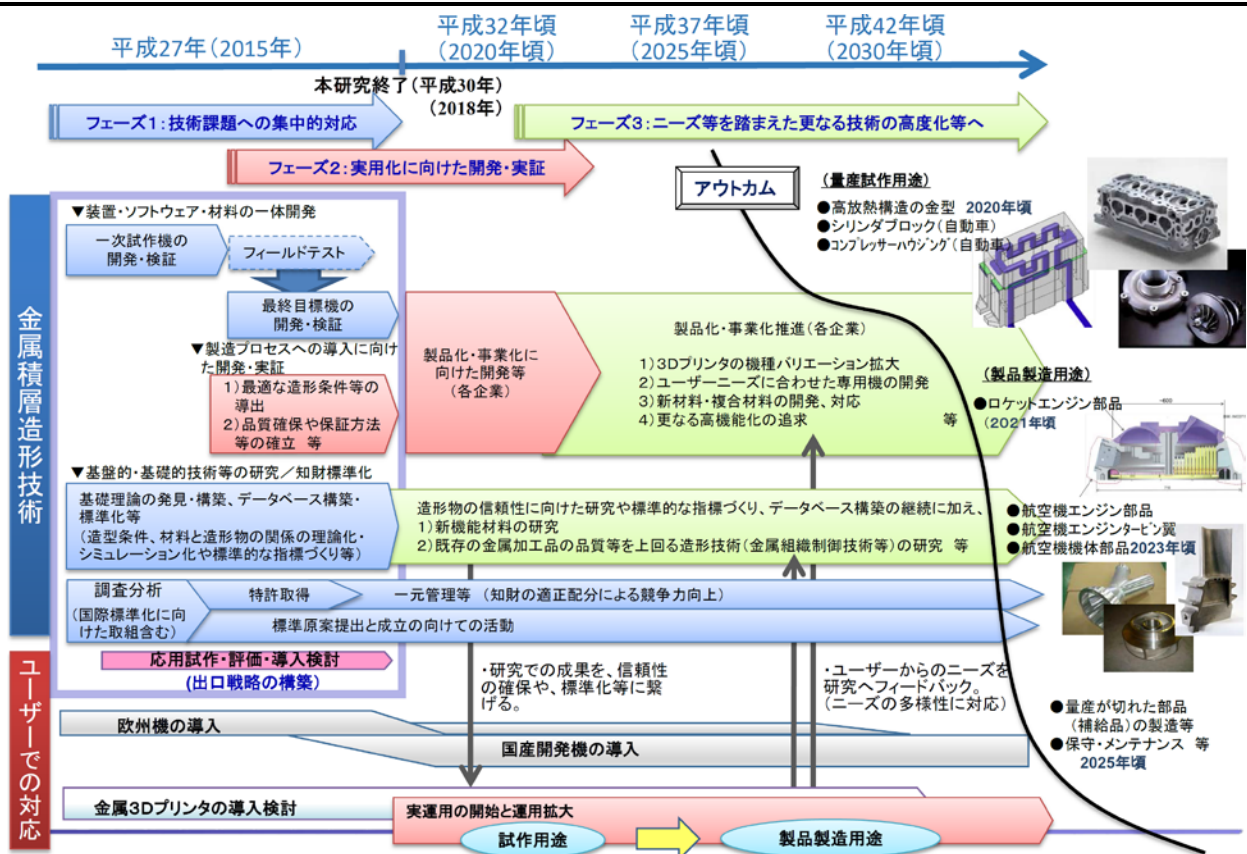


図 4-1 事業化に向けたロードマップ (金属積層)

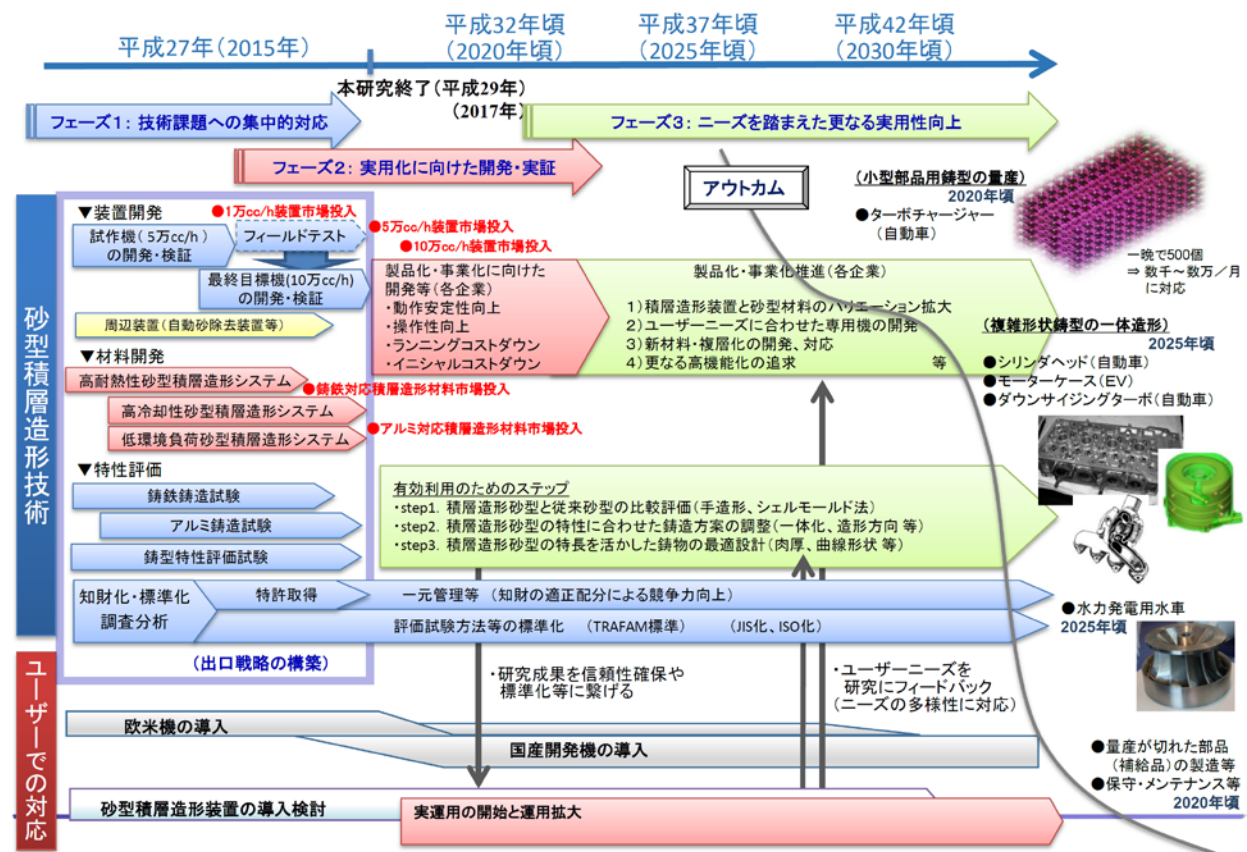


図 4-2 事業化に向けたロードマップ (砂型積層)



## 5. 研究開発の実施・マネジメント体制

技術研究組合法に基づき平成26年3月に設立された装置メーカー、材料メーカー、ユーザー企業、大学、研究機関からなる、オールジャパン体制による「技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構」(TRAFAM)(平成26年4月時点で28法人、平成28年1月時点で32法人)に委託し、装置、材料粉末並びに機構解明及びそれに基づく基盤技術の三位一体の技術開発を実施する。

開発に当たっては、プロジェクトリーダー(PL)のもと、我が国が強みを持つ工作機械製造や金属加工の経験を有する地域の中小企業や材料メーカー等が、その高い技術力とノウハウを活かして開発の中心となるほか、大学との連携により基盤的技術の高度化を実施する。また、医療機器、航空・宇宙産業機器、自動車等、様々な分野のユーザー企業が参画し、造形物の試作・評価を装置メーカー、材料メーカーと連携をとって実施する。

外部から評価・助言をうける総合委員会3回／年開催するとともに、ガバニングボードとして、技術検討会(2事業×3回／年)、ユーザー会(3回／年)を設置し、基本方針、各課題の研究開発計画、フォローアップ等についての審議・検討を行い、プロジェクトの着実な推進を図っている。

次世代型産業用3Dプリンタ技術開発の研究開発体制図を図5-1に示す。

また、各組合員分室の所在地を図5-2(金属積層)及び図5-3(砂型積層)に示す。

### (TRAFAM体制図)

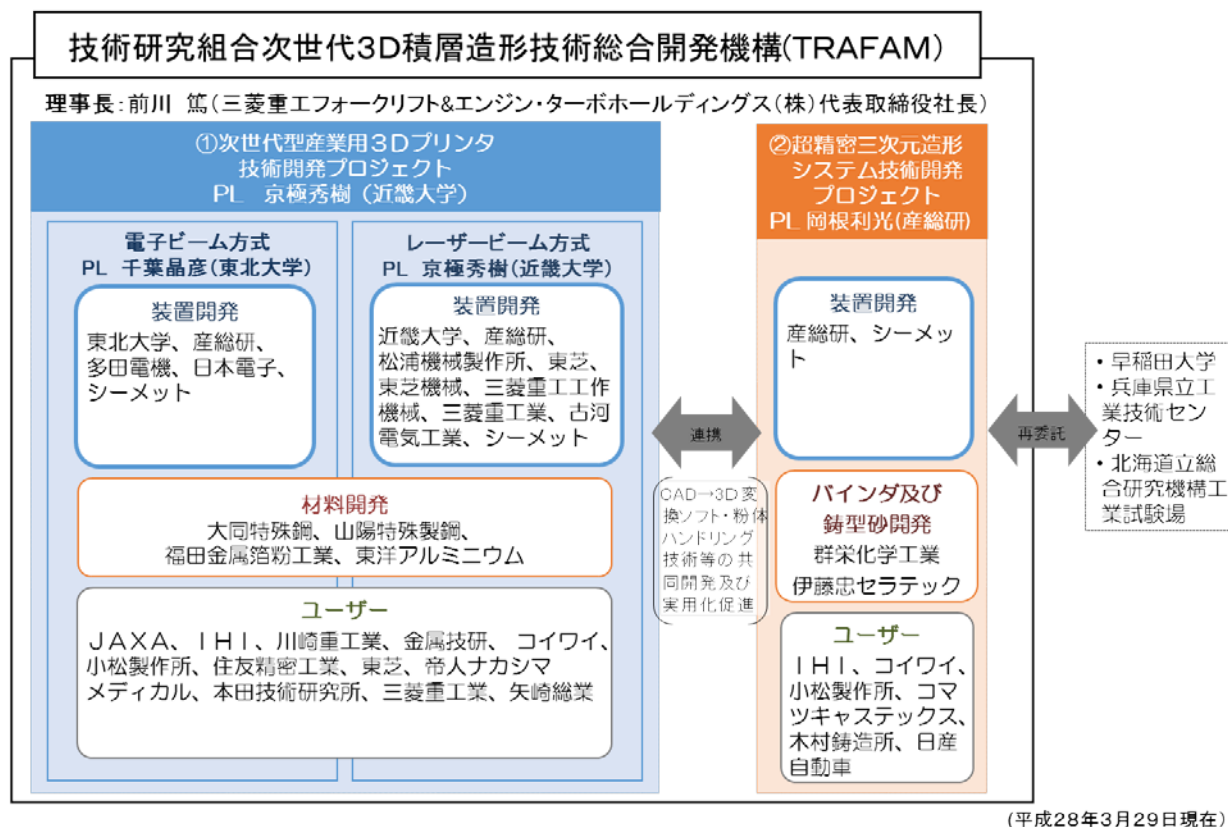


図5-1 研究開発体制図(金属積層)

### ＜各分室の所在地＞

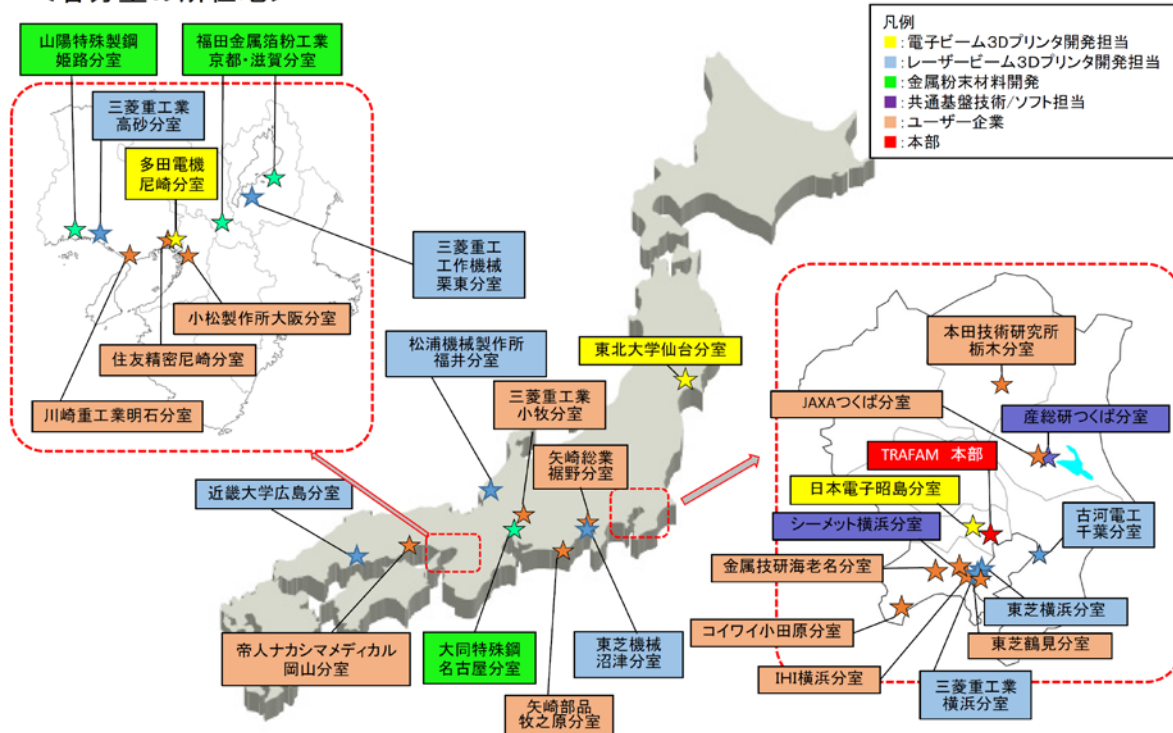


図 5-2 各組合員分室の所在地（金属積層）

### ＜各分室の所在地＞

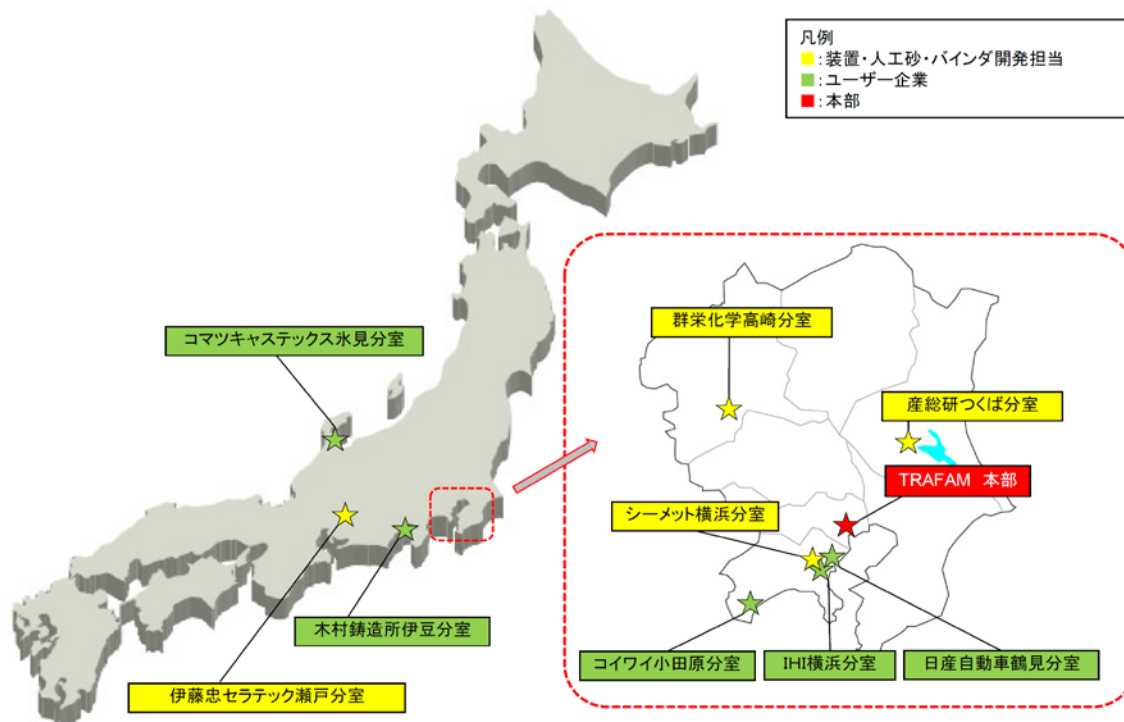


図 5-3 各組合員分室の所在地（砂型積層）

## 6. 費用対効果

本プロジェクトの費用対効果は、本プロジェクトの成果の経済波及効果の試算により示すこととした。積層造型技術に関する経済波及効果は積層造型装置そのものと材料による直接市場、積層造型装置で製造した製品市場、積層造型装置による生産性の革新によるコスト削減効果の3つの経済効果の合算となる(新ものづくり研究会報告書(平成26年2月))。

まず、直接市場であるが、これについては、本プロジェクトにより開発され、実用化された装置の販売台数見込み及びそれに伴う材料の市場を予測することによって試算した。具体的には、TRAFAMによるメンバー企業等への調査・検討の結果、平成42年(2030年)に2,000台(次世代型産業用3Dプリンタ1,800台及び超精密三次元造形システム200台)の装置販売が見込まれるとした。また、これまでの民間調査により、金属粉末材料の販売は装置1台当たり1,000万円であると見込んだ。

その結果、平成42年の装置売上は940億円(次世代型産業用3Dプリンタ1,800台×5,000万円/台+超精密三次元造形システム200台×2,000万円/台)、金属粉末材料売上は180億円(1,000万円/台×1,800台)と予測された。

上記に示した積層造型装置で製造した製品市場及び生産性の革新によるコスト削減効果は「装置・粉末等の直接市場」の約20倍であると予測されることから(新ものづくり研究会報告書)、平成42年には2兆2,400億円((940億円+180億円)×20倍)と予測され、直接市場と合わせて2兆3,000億円超の経済波及効果が現れると想定される。

この他、費用試算はしていないところであるが、本プロジェクトの成果を活用できる場面として、部品・製品の納期短縮・低コスト・省エネルギーものづくり、革新的な設計法の実現による高機能な製品の実現、革新的材料による高機能な製品の実現、航空機・自動車等の部品の低コストな補修の実現、需要地での部品生産の実現に伴う部品輸送エネルギーの低減によるコスト削減が見込めるものと考えられる。

## 7. 目標・指標及び成果・達成度

### (1) 全体目標に対する成果・達成度

表7-1 全体の目標

<p>(事業開始時)</p> <p>1) 電子ビーム方式の最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・積層造形速度:500cc/h 以上</li> <li>・造形物の精度:±50 μm 以下</li> <li>・最大造形サイズ: 1,000mm×1,000mm×600mm以上</li> <li>・装置本体の販売価格:5,000万円以下</li> </ul> <p>2) レーザービーム方式の最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・積層造形速度:500cc/h 以上</li> <li>・造形物の精度:±20 μm 以下</li> <li>・最大造形サイズ: 1,000mm×1,000mm×600mm以上</li> <li>・装置本体の販売価格:5,000万円以下</li> </ul> <p>3) 技術開発課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・異種金属を傾斜構造で積層することを可能とする等</li> </ul> <p>4) 金属等粉末開発及び粉末修飾技術開発</p> <p>5) 周辺技術開発</p> <p>6) 三次元造形システムの最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・積層造形速度:10万 cc/h 以上</li> <li>・最大造形サイズ: 1,000mm×1,000mm×600mm以上</li> <li>・装置本体の販売価格:2,000万円以下</li> <li>・鋳型の製造コスト:1,000円/kg 以下</li> </ul>	<p>(中間評価時)</p> <p>1) 電子ビーム方式の中間目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・積層造形速度:250cc/h 以上</li> <li>・造形物の精度:±100 μm 以下</li> <li>・最大造形サイズ: 500mm×500mm×600mm以上</li> </ul> <p>2) レーザービーム方式の中間目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・積層造形速度:250cc/h 以上</li> <li>・造形物の精度:±50 μm 以下</li> <li>・最大造形サイズ: 500mm×500mm×400mm以上</li> </ul> <p>3) 技術開発課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・異種金属を傾斜構造で積層することを可能とする等</li> </ul> <p>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</p> <p>5) 周辺技術開発</p> <p>6) 三次元造形システムの中間目標</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・積層造形速度:5万 cc/h 以上</li> <li>・鋳型の製造コスト:1,200円/kg 以下</li> </ul>	<p>ユーザー企業のニーズを反映の上、平成32年の事業化時点で、世界最高水準で海外メーカーに確実に先行できる仕様(平成25年度時点海外装置の造形速度を約10倍、造形物精度は約5倍、最大造形サイズは約3倍、本体販売価格を約半分、傾斜構造で積層)を目標としている。</p> <p>中間評価時点の目標は、各目標の半分の値としている。</p>
---	---	---

### (2) 個別要素の技術課題および個別開発機の目標設定

本研究開発における技術課題は以下の通りである。

#### a) 電子ビーム及びレーザービーム共通

- ① 異種金属を傾斜構造で積層することを可能とする。
- ② 装置で使用する積層造形用の制御ソフト等を開発する。
- ③ 50 μm以下の粒径の金属粉末の仕様を可能とする。

#### b) 電子ビーム方式

- ① 電子ビームの出力は5kW以上、ビーム径を100 μm以下に絞ることを可能とする。
- ② 電子ビームコラムの陰極は、1,000時間以上の連続加工に耐えうるものとする。

③加工室を真空にする場合は、真空度を $1 \times 10^{-2}$  Pa 以下とする。

c)レーザービーム方式

①レーザービーム出力が2kW以上のファイバーレーザーを使用できる環境とし、またビーム径は $100 \mu\text{m}$ 以下に絞れるものとする。

②ガルバノミラーの高速化、複数台対応についても考慮するものとする。

d)金属粉末開発及び粉末修飾技術開発

①金属粉末の製造技術について、粒径分布の狭幅化、微細化を図る。

②鉄系、銅系、ニッケル系、チタン系、コバルト系等の3Dプリンタ用金属粉末の製造技術を確立する。

③高温耐熱合金、耐蝕合金などの新合金材料を、当該産業用3Dプリンタにおいて使用できる技術として確立する。

④金属粉末の高品質および低コストとなる技術を開発する。

⑤防錆等の粉末修飾技術および傾斜材料用粉末製造技術を確立する。

⑥チタン系及び新合金材料を除く各種粉末については、粒径 $20 \mu\text{m}$ 以下のものについても使用できるよう実用化開発する。

e)周辺技術(高機能複合部材の開発、後加工、未使用粉末の回収等技術)開発

①爆発防止等、装置の安全性について十分な配慮を行う。

②造形物の自動搬出・ブラスト、粉末自動供給、金属粉末分離、不要粉末自動回収機構等周辺装置を開発する。

③造形物の精度向上に資する最適な後処理加工等を検討する。

④高機能複合部材の開発及び積層条件等を検討する。

⑤粉末の高性能分級技術を検討する。

開発に取り組んだ金属粉末の種類は次のとおり。

鉄系: SUS316L、SUS304、S30C

銅系: 純 Cu、銅合金

ニッケル系: ニッケル基超合金(インコネル 718)

チタン系: Ti6Al4V

アルミ系: Al-10Si-0.4Mg

個別開発機の目標値を表7-2に示す。

表7-2 個別開発機の目標

ビームの種類 (雰囲気)	装置名称等 開発担当	目標・指標(中間評価時)		
		造形サイズ (mm)	積層造形速度 (cc/h)	寸法精度 ( $\mu$ m)
電子 ビーム (真空)	a. 要素技術研究機 東北大学 (多田電機(株)、日本電子 (株))	W:200(250) L:200(250) H:350	80 以上	$\pm 200$
	b. 複層電子ビーム 3Dプリンタ 日本電子(株)	W:300 L:300 H:600	250	$\pm 100$
	c. 大型高速電子ビーム 3Dプリンタ 多田電機(株)	W:500 L:500 H:600	250	$\pm 100$
レーザー ビーム (不活性ガ ス)	d. 要素技術研究機 近畿大学 ((株)松浦機械製作所)	W:250 L:250 H:185	15 以上	$\pm 100$
	e. レーザートリミング方式 の複層レーザービーム 3Dプリンタ (株)東芝、東芝機械	W:300 L:300 H:100	250	$\pm 50$
	f. マシニングセンタ方式の 複層レーザービーム 3Dプリンタ 三菱重工工作機械(株)、 三菱重工業(株)	W:300 L:300 H:100	250	$\pm 50$
	g. 大型高速レーザービーム 3Dプリンタ (株)松浦機械製作所、 古河電気工業(株)	W:500 L:500 H:400	250	$\pm 50$

(3) 学会発表内容

①日本機械学会 2015 年度年次大会

会場:北海道大学

発表テーマ:「3D プリンタによるものづくり革新」～次世代型産業用3D プリンタの目指すもの～

講演テーマ(10件)

- ・経済産業省「次世代型 3D プリンタ技術開発」プロジェクトの目指すもの
- ・電子ビーム積層造形技術による新たな「ものづくり産業」への展開
- ・レーザー積層造形装置開発の新たな展開
- ・レーザーメタルデポジション方式による新たな積層造形装置の開発
- ・AM 技術に相応しい金属粉末とは
- ・次世代3DプリンタにおけるAMソフトウェアの新たな展開
- ・ユーザーから見たシミュレーション技術の役割
- ・JAXAにおける航空宇宙分野への新たな展開
- ・自動車産業における金属積層造形技術の活用
- ・AM製品の産業化における品質検査方法

②レーザー学会学術講演会第 36 回年次大会(H28.1)

「次世代産業用3D プリンタ技術開発」京極リーダー  
他5件

(4)特許出願詳細

出願件数:61件(PCT 出願+各国移行)

日本移行済 9件、米国移行済 17件、

欧州移行済 17件、PCT のみ 18件

内訳 電子ビーム(パウダーベッド):13件

LMD 関連:32件

ソフト:3件

砂型関連:6件

砂材料:6件

(5) 各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の個別要素技術の成果、達成度を7-3-1に示す。

表7-3-1 個別要素技術の成果、達成度

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溶融凝固プロセスの解明	Ti-6Al-4V、インコネル 718 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、溶融時間が長くなる。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溶融凝固プロセスの解明	インコネル 718 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
溶融凝固シミュレーション技術	金属粉末の焼結/伝熱/溶融/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溶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溶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プリンタの個別要素技術の成果、達成度を表7-3-2に示す。

表7-3-2 個別要素技術の成果、達成度

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:100 $\mu$ m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 $\phi$ 100 $\mu$ m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 $\pm$ 100 $\mu$ m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 $\pm$ 100 $\mu$ m以下( $\pm$ 78 $\mu$ m)を達成した。	達成

\*1 最大造形サイズの中間目標値については、装置の最大造形サイズ(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する。

・複層電子ビーム３Ｄプリンタの個別要素技術の成果、達成度を表７－３－３に示す。

表７－３－３ 個別要素技術の成果、達成度

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	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。	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	①２５０ｃｃ／ｈ以上の造形速度を目指す。 (市販製品８０ｃｃ／ｈ)	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	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 $1 \times 10^{-2}$ [Pa]以下とする。	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 $1 \times 10^{-4}$ [Pa]を達成。	達成
異種材料の複層造形技術	①２種類の金属粉末のパウダー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。	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	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。	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

・レーザービーム方式要素技術研究の個別要素技術の成果、達成度を表 7-3-4 に示す。

表 7-3-4 個別要素技術の成果、達成度

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"> <li>・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。</li> <li>・SUS630 及びインコネル 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。</li> </ul>	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"> <li>・装置に最適な粉末特性を明らかにした。</li> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>	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"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>	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）の個別要素技術の成果、目標の達成度を表 7-3-5 に示す。

表 7-3-5 個別要素技術の成果、達成度

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 250 cc/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±50 μm 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 359 cc/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±30 μm を達成した。レーザーポリッシュにより表面粗さ Ra が 14 μm から 3.9 μm 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 0.6 mm 以上 1.5 mm 以下のノズル開発	開発した高精度ノズルで粉末収束径 0.7 mm を得て、中間目標を達成した。	達成
微細造形技術	造形線幅 0.3 mm 以下の微細造形技術の開発	SUS304 粉末 0.03 mm (30 μm) 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（マシンニング方式）の個別要素技術の成果、目標の達成度を表 7－3－6 に示す。

表 7－3－6 個別要素技術の成果、達成度

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	C F D 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 2 5 0 c c / h 以上（達成値 3 6 0 c c / h）、造形精度 $\pm 5 0 \mu m$ 以下（達成値 $\pm 2 4 \mu m$ ）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ネルについて、レーザー出力と走査速度をパラメータとした $3 \times 3$ 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（1 5 0 $\mu m$ 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プリンタの個別要素技術の成果、目標の達成度を表7-3-7に示す。

表7-3-7 個別要素技術の成果、達成度

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)	<u>積層造形速度：68.5cc/h</u> 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	<u>造形精度：±50μm</u> ・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	<u>造形サイズ：600×600×400mm</u> ・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。

1. 最大造形物に対する取り組みは以下のとおりである（対象は大型電子ビーム方式及び大型レーザービーム方式）。

最大造形サイズが造形できることを検証するためには、以下の3ステップで検証することが必要。

ステップ1：1）チャンバー（造形室）内の空間の大きさ検証

ステップ2：2）ビーム走査（照射）範囲の検証

ステップ3：3）最大造形サイズ検証試験の実施

以下、各ステップの検証目的、検証できる内容について示します。

#### 1）チャンバー内の空間の大きさ検証

チャンバー内の空間の大きさが最大造形物サイズに対応できていることが必要です。これについては確認済みです。

#### 2）ビーム走査（照射）範囲の検証

パウダーベッド方式の3Dプリンタ（日本電子、多田電機、松浦機械）は、3機種共に造形テーブルが上下するタイプですので、レーザービーム、電子ビームを走査して積層造形を行う面は、いつも一定の高さにあります。

したがって、最大造形サイズに対して、電子ビーム、レーザービームの走査範囲が対応できることを検証することが必要です。

この検証とテーブル位置決め精度を持って、全ての領域を造形できる機械的能力を有することが検証されたことになります。

#### 3）最大造形サイズ検証試験の実施

最大造形サイズの検証試験については、現時点では、3機種ともに実施できていません。

なお、大型機（電子ビーム1機種、レーザービーム1機種の計2機種）の場合、1～2トンの金属粉末が必要で、かつ、長時間（100cc/hの場合で10日間）を要するため、まずは造形速度の検証を優先してきました。

現時点においては、ステップ2の確認でもって、達成としているものである。

・金属粉末開発及び粉末修飾技術開発の個別要素技術の成果、達成度を表7-3-8に示す。

表7-3-8 個別要素技術の成果、達成度

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 $75\mu\text{m}$ 以下の分級歩留 $40\%$ 以上（平均粒径 $100\mu\text{m}$ 程度）	・チタン合金粉末粒径 $75\mu\text{m}$ 以下の分級歩留 $42.3\%$ （粉末粒径 $97.5\mu\text{m}$ ）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 $45\mu\text{m}$ 以下） 累積 $95\%$ 粒度 $40\mu\text{m}$ 以下（粒径 $125-45\mu\text{m}$ ） 累積 $5\%$ 粒度 $50\mu\text{m}$ 以上、累積 $95\%$ 粒度 $120\mu\text{m}$ 以下 ・分級歩留 篩分級に対し $20\%$ 以上向上	・分級精度（粒径 $45\mu\text{m}$ 以下） 累計 $95\%$ 粒度 $35\mu\text{m}$ （粒径 $125-45\mu\text{m}$ ） 累計 $5\%$ 粒度 $61\mu\text{m}$ 、 累計 $95\%$ 粒度 $115\mu\text{m}$ ・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 $45\mu\text{m}$ 以下ガスアトマイズ銅粉対象）	・粉末流動度： $45\text{秒}/50\text{g}$ 以下 ・酸化増加率： $10\%/20\text{日}$ 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 $=20.3\text{秒}/50\text{g}$ 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 $=9.9\%/20\text{日}$ となった。	達成
銅系製造技術開発（銅粉末収率向上）	・ $-45\mu\text{m}$ （LB用）金属粉末製造収率向上 ・ $+45/-105\mu\text{m}$ （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。 $-45\mu\text{m}$ 収率 $=66\%$ （目標 $60\%$ ） $+45/-105\mu\text{m}$ 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の個別要素技術の成果、目標の達成度を表7-3-9に示す。

表7-3-9 個別要素技術の成果、達成度

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

・高速積層造型技術の開発における個別要素技術の成果、達成度を表 7-3-10 に示す。

表 7-3-10 個別要素技術の成果、達成度

要素技術	目標・指標 (中間評価)	成果	達成度
高速積層造型 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) 1 0 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。 1 0 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, 0 0 0 mm X 1, 0 0 0 mm X 6 0 0 mm 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, 8 0 0 mm X 1, 0 0 0 mm X 7 5 0 m mを設定し、5 万 c c / 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, 0 0 0 万円以下 (最終目標)	コストダウン検討を行い、1 0 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, 2 0 0 円/kg 以下 (中間目標) 1, 0 0 0 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, 2 0 0 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）、 1 0 万 cc/h 造型時間 の半分（最終目標）	5 万 cc/h の装置にて 8. 5 h の試験造型した 砂型の取出しを 4 h で完了した。	達成

・耐熱積層鋳型による高融点金属鋳造技術の開発における個別要素技術の成果、達成度を表 7-3-11 に示す。

表 7-3-11 個別要素技術の成果、達成度

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 ・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	・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 ・鋳鉄鋳造に対応可能な人工砂の開発	・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 ・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	・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 ・鋳型物性評価 ・CAE連携技術の開発 ・実鋳造による検証	・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における個別要素技術の成果、達成度を表 7-3-12 に示す。

表 7-3-12 個別要素技術の成果、達成度

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	高冷却バインダ・鋳型材料 開発  ・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	・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
	高冷却鋳型積層造形技術 開発  ・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	・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	複雑形状注湯技術・実部材 への適用評価  ・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	・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・ブランド戦略の成果、目標の達成度を表 7-3-13 に示す。

表 7-3-13 個別要素技術の成果、達成度

内容	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
ブランド戦略	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	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・对外発表用の 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	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	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、スループット検査)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	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	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	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	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

## Ⅱ. 外部有識者(評価検討会等)の評価

### 1. 事業アウトカムの妥当性

我が国の製造業の競争力強化を見据えた本プロジェクトの事業アウトカムは数値も明確であり、内容も妥当なものであり、三次元積層造形技術開発について、世界最高水準の次世代型産業用三次元積層造形装置の開発が行われ、事業アウトカムが実現した場合には、日本経済や国際競争力に大きな効果が期待できる。

目標値の設定や市場規模予測については、欧米の最新の研究開発の状況やユーザー企業における活用状況など様々な情報を収集しながら、必要に応じて見直すべきである。

### 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性

金属積層技術について、各々の特徴を踏まえた造形対象製品を予め想定して、技術的及び経済的に優位となるような開発が進められており、研究開発内容としても極めて重要であり、明確なものとなっている。

砂型積層技術についても、世界初の鋳鉄用砂型開発等が織り込まれ、技術的優位性が明確であり、各々の目標が設定され、妥当と考えられる。

他方、金属積層技術に関し、電子ビーム方式とレーザービーム方式において、各々の最大メリットが活かせる分野(例; 電子ビームは組織制御, レーザービームは形状制御)について、さらに差別化できるよう取り組みを進めることが望まれる。また、先行している欧米企業も研究開発の手は緩めていないので、しっかりベンチマークした上で開発目標は随時見直す必要がある。

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、引き続き注力して欲しい。

ユーザー企業にとっては、装置価格、付随する保守・メンテナンス費用、消耗品(レーザー光源や電子銃、フィラメント)の価格や寿命、原材料価格に関する情報も装置導入前の事業性を判断する上で重要である。特に市販装置は、それらが高額である為、経済的優位性を示す上でも、ランニングコストに関連した情報開示や目標値設定も検討頂きたい。

### 3. 当省(国)が実施することの必要性

金属積層技術及び砂型積層技術はユーザー企業を巻き込み、企業と大学、公的研究機関における各技術要素を集約した効率的な技術開発、標準化が必要不可欠であり、国が主体的に実施することは妥当である。とりわけ重要なのは、当該技術に関わる標準化やその技術で得られる成果物を評価する手法に関する標準化であり、さらに事業化に向けた標準化が必要不可欠であり、国が引き続き関与する必要がある。

他方、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。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)が必要と考える。また、本技術普及には、設備、システムの開発だけでは不十分で、設計／製造／使用他の環境整備が必須である。

### 4. 事業化アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性

金属積層技術及び砂型積層技術のいずれについても、実証や国際標準化、知財管理の取り扱いなどを考慮して作成されており、スケジュールが明確であり、事業アウトカム達成に至るまでのロードマップは適切である。

他方、現状は問題ないが、今後ロードマップを改定する際には、逐次世界的な技術動向も踏まえた上で、そ

の妥当性を確認するようお願いしたい。また、先行している欧米企業のシステムのロードマップとの比較を行う事も検討して欲しい。

#### 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性

技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM) によるマネジメント体制のもとで研究開発計画、適格性、実施体制は明確であり、かつ、妥当であると判断できる。

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。さらに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 TRAFAM の強力なマネジメントが期待される。

本プロジェクトで得られた成果に関しては、本プロジェクトが国家プロジェクトであることも踏まえ、現在事業を実施している TRAFAM に参画していない企業が極端に不利益にならず、我が国製造業全体の国際競争力が強化されるような仕組みを検討すべきである。また、資金配分に関する具体的な記述が無く、予算については、H27 年度、H28 年度共に大幅な減額となっているが、それで当初計画通りの十分な成果が得られるのかも不明である。さらに他の国家プロジェクト (SIP: 戦略的イノベーションプロジェクト等) との関係が見えるとよい。

#### 6. 費用対効果の妥当性

大きな経済波及効果が見込めることは理解でき、概算ではあるものの内容は妥当であると言える。

他方、事業化に際して残課題が生じた場合は、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、H27 年度及び H28 年度における大幅な予算減額は、事業アウトプット達成において問題とならないのか、得られる効果に対する本プロジェクトの寄与分の査定が困難である。さらに国費総額の定義が判り難い。

#### 7. 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 TRAFAM 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. 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み出せ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、TRAFAM 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、TRAFAM 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ない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(サンプル品の鑄造など)をさらに積み重ねて頂きたい。

9. 個別要素技術について

①次世代型産業用 3D プリント技術開発

【目標値の達成状況に関する評価】

概ね計画通り、目標値を達成できている。一部、中間目標に対して、未達となっているが、課題と今後行うべき対策が整理されており、取り組みを見守りたい。

異種材料の複層積層技術やデポジションタイプの開発等、これまでにない新たなモノづくりが期待される成果が得られている。

【事業化の見通しに関する評価】

一部にはすでに引き合いレベルのある機械があるなど、事業化は可能と考えられる。今後はユーザーの協力を得て、早期実用化に向けた取り組みを加速頂きたい。また、出来たものから普及させていかないと国際競争に勝っていけないのではないか。ユーザー側の環境構築が重要で、先行する欧米諸国に大きく遅れていると思えるので、アプローチする取り組みも欲しいところ。実用化・事業化の成功事例の蓄積を急いでもらいたい。

②超精密三次元造形システム技術開発

【目標値の達成状況に関する評価】

装置、システムは計画通り、目標値を達成出来ているのは評価できる。精密砂型鑄造への寄与は大きい。今後もロードマップに従って、計画的に取り組んでほしい。

【事業化の見通しに関する評価】

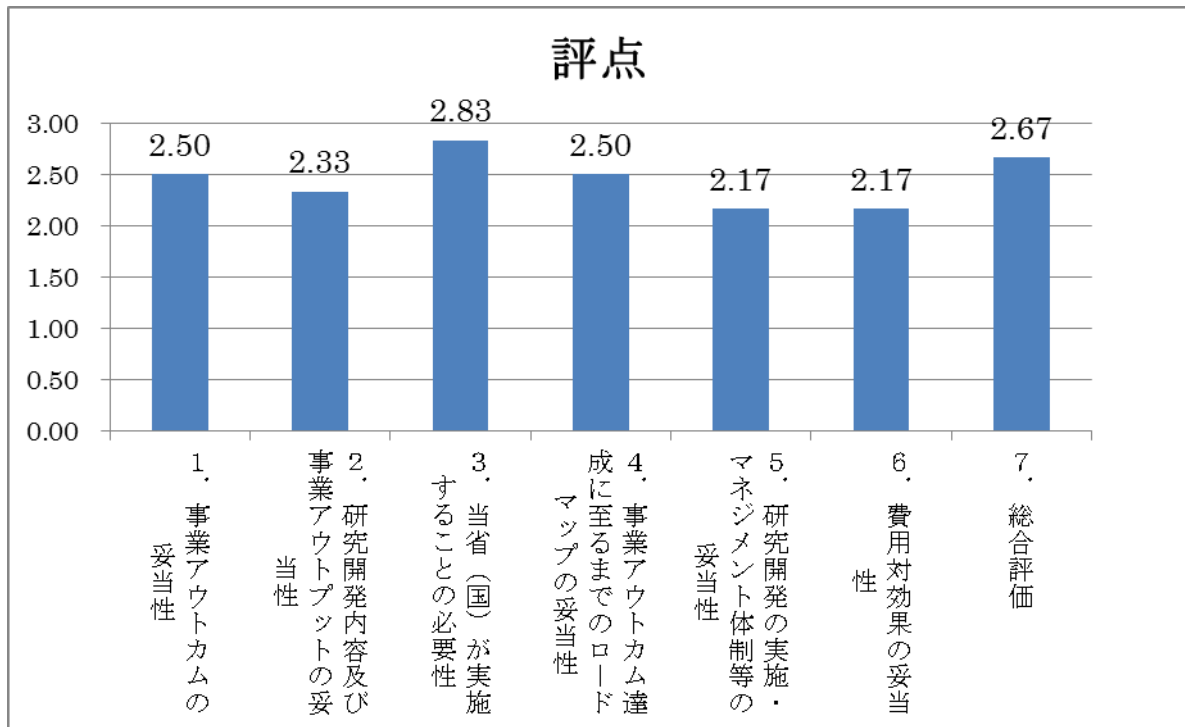
現計画を予定通り進捗させており、積層砂、バインダー(結合剤)の開発の成果が現れているので、製造技術確立することで、複雑形状の鑄物への適用と事業化に期待できる。公設試験研究機関で実際に使用してもらうことは中小企業への早期の成果普及に繋がり有益であるし、また、平成29年度から装置の市販が予定されており、良い成果が期待出来る。

ただ、アプリケーションのターゲットが限定されるために、最も実用化に近いと思われるが、その分、ユーザーが鑄造業界に限定されてしまうので、国で実施することへの理解が得がたいのではないかと。

## 評点結果

### 評点法による評点結果

	評点	A委員	B委員	C委員	D委員	E委員	F委員
1. 事業アウトカムの妥当性	2.50	3	2	2	2	3	3
2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性	2.33	3	2	2	2	3	2
3. 当省(国)が実施することの必要性	2.83	3	2	3	3	3	3
4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性	2.50	3	2	3	2	3	2
5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性	2.17	3	2	2	2	3	1
6. 費用対効果の妥当性	2.17	2	2	2	2	3	2
7. 総合評価	2.67	3	2	3	2	3	3



#### 【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。

## 産業構造審議会産業技術環境分科会

### 研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ

#### 委員名簿

平成28年3月現在

座長	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター副所長・教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	太田 健一郎	横浜国立大学工学研究院グリーン水素研究センター長・特任教授
	亀井 信一	株式会社三菱総合研究所政策・経済研究センター長
	高橋 真木子	金沢工業大学工学研究科教授
	津川 若子	東京農工大学大学院工学研究院准教授
	西尾 好司	株式会社富士通総研経済研究所主任研究員
	森 俊介	東京理科大学理工学部経営工学科教授

(敬称略、座長除き五十音順)

「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  
委員名簿

座 長

柳本 潤 国立大学法人東京大学 生産技術研究所 教授

委 員

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

稲垣 育宏 新日鐵住金株式会社 交通産機品事業部 製鋼所 産機品製造部 部長

浜岡 昭夫 株式会社日立製作所 モノづくり戦略本部生産技術強化推進部 主管技師

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

山中 久仁昭 株式会社日刊工業新聞社 栃木支局 支局長

(敬称略、座長除き五十音順)

「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 評価  
審議経過

【中間評価】

三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラムにて、下記の事前評価①及び同②をまとめて中間評価を実施。

プロジェクト名：

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

○産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ  
(平成28年6月 日予定)

- ・技術評価書（中間評価について）

第1回評価検討会（平成28年3月29日）

- ・事業の概要について
- ・評価の進め方について

第2回評価検討会書面審議（平成28年5月23日予定）

- ・技術評価書（中間評価について）

【事前評価】

①超複雑形状生産技術（ハイパー・キャスト・テクノロジー）開発事前評価

○産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会（平成24年6月1日）

- ・事前評価報告書（案）について

○新規研究開発事業の創設の妥当性に対する意見の収集（平成24年5月）

②三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム事前評価

○産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ（平成25年9月30日）

- ・事前評価報告書（案）について

○新規研究開発事業の創設の妥当性に対する意見の収集（平成25年9月）