

第1回「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
資料6

「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

評価用資料

平成28年3月29日

事業推進課：

製造産業局素形材産業室

研究開発実施機関：

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26年度 （超精密三次元造形システム は平成25年度から開始）		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	総予算額
148,484	3,749,050	(予算額 1,824,000)	(予算額 700,000)	3,897,534	6,421,534

※総予算額は平成25年度及び平成26年度執行額と平成27年度及び平成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		
需要創出効果		
<p>世界における三次元積層造形の市場規模は、平成42(2030)年時点で2兆円程度(Wohl's 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。</p>		
指標目標値		
事業開始時（平成26年度）	<p>計画：</p> <p>事業を一体的に進めるため、全体戦略の策定、ガバナリングボードの設置、研究開発内容の精査、進捗管理を行いながら進める。</p>	<p>実績：</p> <p>事業実施機関として、企画提案方式による公募・選定した、技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構(以下、「技術研究組合」という。)に委託。技術研究組合内に総合委員会(3回/年)、技術検討会(2事業×3回/年)、ユーザー会(3回/年)を設置し、一体的な推進を図る体制とした。</p>
中間評価時（平成27年度末）	<p>計画：</p> <p>3Dプリンタ(電子ビーム方式:要素技術研究機1台、1次試作機2機種)、レーザービーム方式:要素技術研究機1機種、開発機3機種)の製作及び造形を実施する。</p>	<p>実績：</p> <p>2機種(電子ビーム方式、レーザービーム方式)の要素技術研究機、5機種(電子ビーム方式2機種、レーザービーム方式3機種)の開発機を製作した。また、本装置及び各種金属粉末を使用して試作した造形物の評価試験、造形試験を実施した。</p>
事業終了時（平成30年度末）	<p>計画：</p> <p>最終目標(三次元積層造形装置)を達成し、当該装置を実用化する。</p>	<p>実績：-</p>
事業目的達成時（平成42年度予定）	<p>計画：</p> <p>世界の市場規模で1兆円の獲得を目指し、需要創出効果1兆円が見込まれる。</p>	

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

(1) 研究開発内容

世界最高水準の造形速度（500cc/h以上(平成25年度時点海外装置の約10倍))、造形精度（±20μm以下（平成25年度時点海外装置の約5倍))、最大造形サイズ（1,000mm×1,000mm×600mm以上（平成25年度時点海外装置の約3倍))を持った装置、世界初の異種金属の積層可能、装置本体の販売価格（5,000万円以下（平成25年度時点海外装置の約半以下))の開発目標の達成を目指し、推進する。適用産業分野として、航空、宇宙、エネルギー、建設機械、自動車、医療の各分野における試作、最終製品、構成部品に適用を目指す。

本技術開発における成果の検討から、ISO/TC261(AM: Additive Manufacturing: 付加製造)へ日本発の規格を提案・主導し、国際標準化とする取り組みにより、グローバル市場での競争環境を優位に進める。

国際標準化における主導権を握れる事項として、①造形物の品質評価（標準評価試験片の規格化（形状・寸法と計測法）、②評価方法の規格化（粉末材料の品質、非破壊検査）、③粉末材料の規格化に取り組んでいく。

少量多品種、複雑形状、多機能、カスタムメイドに対応する設計を実施する3D-CADに関する教育・人材育成全般を実施することや、公設試験研究機関、中堅・中小企業への導入を促進することで、国際競争力を持つ国産の装置開発・材料開発と併せ、3Dプリンタを活用したものづくり力（設計・生産・評価）の向上も図っていく。

(2) 事業アウトプット【複数設定可】

事業アウトプット指標

次世代型産業用3Dプリンタ技術開発（以下、「金属積層造形」という。）は、積層造形速度を平成25年度時点海外装置比約10倍、製品精度約5倍の世界最高水準の次世代型産業用3Dプリンタを開発するとともに、金属粉末材料やソフトウェアの開発等の周辺技術の開発も併せて実施する。

中間目標として、平成27年度末に最終目標の半分の数値目標の達成と、造形条件と造形物の分析評価や金属粉末の溶融挙動等の特性評価を実施する。

超精密三次元造形システム技術開発（以下、「砂型積層造形」という。）は、砂型の積層造形速度を平成24年度時点海外装置比約10倍の三次元複層（積層造形）の高付加価値の超複雑形状の鋳造製品の製造が可能となる砂型を用いた鋳造生産システムを開発する。

中間目標として、平成27年度末に5万cc/hの積層速度で鋳鉄、鋳鋼、アルミニウムの鋳造が可能な三次元積層造形技術及び鋳型の製造コストが1,200円/kg以下とすることを達成する。

<共通指標>

学会発表数	論文の被引用数	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	国際標準への寄与
16	0	61	4	4	国際標準の獲得に向け技術研究組合を国内審議団体として承認し、一体的に取り組む。

指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時（平成26年度）	<p>計画：</p> <p>最終目標（平成30年度末時点）</p> <p>金属積層造形</p> <p><電子ビーム方式></p> <p>○積層造形速度：500cc/h以上</p> <p>○造形物の精度：±50μm以下</p> <p>○最大造形サイズ：1,000mm×1,000mm×600mm以上</p> <p>○装置本体の販売価格：5,000万円以下</p> <p><レーザービーム方式></p> <p>○積層造形速度：500cc/h以上</p> <p>○造形物の精度：±20μm以下</p> <p>○最大造形サイズ：1,000mm×1,000mm×600mm以上</p> <p>○装置本体の販売価格：5,000万円以下</p> <p>○金属等粉末及び修飾技術開発</p> <p>○周辺技術開発</p> <p>最終目標（平成29年度末時点）</p> <p>砂型積層造形</p> <p>○積層造形速度：10万cc/h以上</p> <p>○最大造形サイズ：1,000mm×1,000mm×600mm以上</p> <p>○装置本体の販売価格：2,000万円以下</p> <p>○鋳型の製造コスト：1,000円/kg以下</p>	実績： —
中間評価時（平成28年度）	<p>計画：</p> <p>中間目標（平成27年度末時点）</p> <p>金属積層造形</p> <p><電子ビーム方式></p> <p>○積層造形速度：250cc/h以上</p> <p>○造形物の精度：±100μm以下</p> <p>○最大造形サイズ：500mm×500mm×600mm以上</p>	<p>実績：</p> <p>次世代型産業用3Dプリンタ 小型複層レーザービーム方式 2機種、粉末製造技術は全て 中間目標を達成した。</p> <p>3機種（大型電子ビーム方式及び大型レーザービーム方式）は、積層造形速度は未達</p>

	<p><レーザービーム方式></p> <p>○積層造形速度：250cc/h以上</p> <p>○造形物の精度：±50μm以下</p> <p>○最大造形サイズ：500mm×500mm×400mm以上</p> <p>○金属等粉末及び修飾技術開発</p> <p>○周辺技術開発</p> <p>砂型積層造形</p> <p>○積層造形速度：5万cc/h以上</p> <p>○鋳型の製造コスト：1,200円/kg以下</p>	<p>成である。</p> <p>超精密三次元造形システム 中間目標を達成した。</p>
事業終了時（平成30年度）	計画： 事業開始時と同じ	実績：－

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。

一方、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である。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。

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ことも必要である。

さらに、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。また、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、木型の保管に関する問題に関しても、解決策を与え得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)、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。

中間目標(平成27年末時点)をクリア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、平成32年度に最終目標をクリアした装置の実用化を図っていく。

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、国際標準化に積極的に取組み、日本として標準原案提出と成立に向けての活動を実施する。

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。

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

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(平成26年4月時点で28法人、平成28年1月時点で32法人)からなる、オールジャパン体制による「技術研究組合」に委託し、装置、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。

6. 費用対効果

事業アウトカムは次のとおり。

本プロジェクトの成果により開発され、実用化された装置、金属粉末材料は、技術研究組合が調査・検討した受注計画から、平成42年（2030）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）の販売及び粉末材料は次世代型産業用3Dプリンタ1台当たりの粉末売り上げを1,000万円とする見込みから、経済波及効果を次のとおり試算している。

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）、経済波及効果は装置と粉末の売上を平成26年の新ものづくり研究会での試算結果「装置・粉末等の市場」に対して約20倍であると試算すると、平成42年には2兆2,400億円（（940億円+180億円）×20倍）の経済波及効果があると見込まれる。

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。

【参考資料】

<事業成果（詳細版）>

※次ページより

1. 事業の目的・政策的位置付け

1-1 事業目的

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、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。

三次元積層造形技術について、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、金属粉末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、平成25年度時点海外装置の10倍、製品精度が、同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。

(1) 事業の科学的・技術的意義

本プロジェクトで開発する三次元積層造形装置には、電子ビーム及びレーザービームの高密度エネルギー源を使用する。特に電子ビーム技術に関して我が国は世界トップクラスの技術を有しており、国産の電子ビーム技術応用の分析装置や製造装置は世界トップシェアであり、世界の科学研究・半導体製造・金属材料製造等の分野で活用されている。この我が国が保有する世界的に最高水準のレベルにある電子ビーム技術を、新技術である三次元積層造形システムの開発に有効に活用し進化させることで、三次元積層造形技術の一層の高度化と国際競争力の実現を目指す。

また、本プロジェクトは、装置、粉末材料、ソフトウェアの開発事業であり、事業アウトカムである需要創出効果を実現するためには、積層造形技術の確立が必要である。そのため、基盤技術として粉末材料のマイクロ伝熱溶融・溶融凝固シミュレーション、マクロ伝熱溶融・溶融凝固シミュレーション、マクロ伝熱・熱変形（残留応力・歪）シミュレーションを実施する。

溶融凝固メカニズムの解明、熱変形の推定から、金属粉末を使用した三次元積層造形プロセスの基本現象を解明し、装置、粉末材料のパラメータ最適化に適用する。

溶融凝固シミュレーションは、欧米においても産官学連携で開発を推進する動きがあることから、国際競争力の獲得のため、独創性が高く革新的なシミュレーション技術を開発し、欧米に対し以下のアドバンテージの実現を目指すこととしている。

- ① シミュレーションモデルの精緻性を確保できること（マイクロ液滴や気体の挙動等、キー現象を表現できる計算手法）

- ② 各種パラメータの分析性を容易に検討できること（組成等、造形時に検討すべき因子を分析できるモデル）
 - ③ 他のシミュレーション手法との連携をできること（変形シミュレーション等、他の手法と連携できる入出力データ処理）
 - ④ 大規模計算への展開をできること（大規模モデルシミュレーションができるスーパーコンピュータ「京」の活用）
 - ⑤ 実験との突合せによる妥当性を確認できること（技術研究組合内の実験・データベースの活用）
- 既知の実験結果が再現できるように安易に計算パラメータの合わせ込みを行わず、本シミュレーション技術が汎用性や予測性を持つツールとなるよう、流体・粉末充填・レーザー入熱・溶融凝固・表面張力等、モデルを区分し、実験との突合せを通じて、個別に課題を抽出し、モデル精緻化を図り、ミクロシミュレーションによる現象論の積上げから、プロセス機構解明とパラメータ評価を実施する。

本シミュレーション技術を、電子ビーム及びレーザー出力や電子ビーム及びレーザー走査速度等のパラメータの組合せについて、造形物の品質を評価するプロセスマップと併用することで、現状必要とされている造形条件を決定するための膨大な試行錯誤実験を削減し、装置開発や製品適用に要する時間を短縮し、金属積層造形の市場拡大に寄与することを狙っていく。

さらに、三次元造形システムの開発と事業化を実施して、国内鋳造業への導入を進めることにより、中小企業が多い日本の鋳造業において鋳物製品の高付加価値化と多品種短納期化を促進するとともに、グローバルな展開が見込まれる「IoT（モノのインターネット）」や「デジタルとものづくりの融合」に対応できる体制を構築する。

（2）社会的・科学的意義

（CO₂ 削減効果）

3Dプリンタによる造形技術は、IoT（モノのインターネット）、AI（人工知能）技術の発展と連携し、地球温暖化問題に対応するCO₂ 削減効果を有する可能性が指摘されている。

1-2 政策的位置付け

1-2-1 「日本再興戦略 -JAPAN is BACK-」（平成25年6月14日閣議決定）

国の総力を結集して「技術で勝ち続ける国」を創り、さらに、日本人の知恵・創造力を発揮して、世界最高の「知的財産立国」を目指すため、オールジャパンの対応で「技術立国・知財立国日本」を再興することが掲げられており、平成25年6月14日閣議決定された「日本再興戦略 -JAPAN is BACK-」において、素材や機械制御技術等の日本の強みを活かし、三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。

1-2-2 「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）

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。
○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な製品・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

➤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。

1-2-3 「科学技術イノベーション総合戦略2014～未来創造に向けたイノベーションの懸け橋～」(平成26年6月24日閣議決定)

以下の通り明記されている。

○本文 第2章 第1節 IV 1. 基本的認識 33ページ19行目

三次元造形技術等の時間的・地理的制約を打破するような新しいものづくり技術や、(中略)、地域を設計・生産の場としたイノベーションの可能性を広げるものとして大いに期待されている。と明記されている。

○本文 第2章 第1節 IV項 3. 重点的取組 37ページ28行目

(3) 価値創成につながるものづくりシステムの最適化と地域ビジネスの振興

①取組の内容 地域の企業・個人の知恵や感性を活かせる三次元造形や(中略)等により、高付加価値で少量多品種の製品・部材を生産可能にする革新的な生産技術や、従来は加工が難しかった材料を高精度で加工する技術など、革新的な加工・生産技術を開発する。

1-2-4 「科学技術イノベーション総合戦略2015」(平成27年6月19日閣議決定)

○本文 第2章 第IV節 ii項 2. 重点的に取り組むべき課題 60ページ2行目

さらに生産システムにおいては、多様化したユーザーニーズ、に迅速かつ柔軟に対応して高性能、高品質な製品を提供するため、AI、ビッグデータ処理、制御技術を活用して複雑形状を高速かつ高精度で加工する3Dプリンタ等の革新的な生産技術の開発に取り組む。

○本文 第2章 第IV節 ii項 3. 重点的取組 60ページ5、7行目

(2) 革新的な生産技術開発(SIPを含む) ①取組の内容 様々な材料に対して、複雑形状を高速・高精度に加工する技術の開発(SIPを含む)

内閣府総合科学技術会議【SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)のうち、革新的設計生産技術分野との関係】

SIPについては、革新的設計生産技術の研究開発計画において、本技術開発や関連施策との役割分担の下で、研究開発を実施するものであると位置づけられている。

2. 研究開発目標及び成果、目標の達成度

2-1 全体の目標設定

我が国ものづくり産業の国際競争力の強化を図るため、世界最高水準（造形速度を、平成25年度時点海外装置の約10倍、製品精度は約5倍）の次世代産業用3Dプリンタの開発を実施するとともに、装置で用いる金属粉末等の材料や制御ソフトウェアの開発、周辺技術の開発も併せて実施する。また、技術課題の取り組みとして、異種金属を傾斜構造で積層することを可能とする技術、装置で使用する積層造形用の制御ソフトウェア等の開発、熱源の高出力化、高速化等、積層に使用する金属粉末等の材料の製造技術等の開発を行い、中小企業を含むユーザー企業の意見を聞くなどして、克服していく。これにより、多品種少量生産やこれまでにない高付加価値ないし高機能製品を生産できる次世代型の生産システムの確立を図る。

現在の産業用3Dプリンタでは、金属粉末を焼結・溶融するためのエネルギーを局所的に与えるための熱源として、電子ビームとレーザービームの2つの方式がある。両者の長所と短所は相補的であり、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。また鑄造用砂型の積層造形はバインダーージェット方式に分類される。世界最高水準の三次元積層造形装置を開発し生産システムを確立するため、各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。各方式の技術開発における中間、最終目標を表2-1に示す。

表2-1 全体の目標

目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
<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"> ・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 <p>・装置本体の販売価格:5,000万円以下</p> <p>2) レーザービーム方式の最終目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>・装置本体の販売価格:5,000万円以下</p> <p>3) 技術開発課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・異種金属を傾斜構造で積層することを可能とする等 <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"> ・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 <p>・装置本体の販売価格:2,000万円以下</p> <p>・鋳型の製造コスト:1,000円/kg 以下</p>	<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"> ・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: 500mm×500mm×600mm以上 <p>2) レーザービーム方式の中間目標</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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: 500mm×500mm×400mm以上 <p>3) 技術開発課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・異種金属を傾斜構造で積層することを可能とする等 <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"> ・積層造形速度:5万 cc/h 以上 ・鋳型の製造コスト:1,200円/kg 以下 	<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>

2-2 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。
- ③50 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5 kW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 1×10^{-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2 kW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 μm 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 μm 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2-2に示す。

表 2-2 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 (μ 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

以下の技術、開発、戦略については、2-3-h~kに、目標、成果、達成度を記載している。

h 粉末製造技術

i 3Dプリンタ用制御ソフトウェア開発

k 事業化・ブランド戦略

2-3 各個別要素技術開発の目標、成果、目標の達成度

2-3-a 電子ビーム方式要素技術研究

電子ビーム方式要素技術研究の個別要素技術の成果、目標の達成度を表 a-1 に示す。

表 a-1 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
a-①-1 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、Incoel 718 CoCrMo 等の合金材料のレシピ開発及び造形試験を実施する。	Ti-6Al-4V の造形ではプレヒーティ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明した。	達成
a-①-2 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	Incoel 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プリンタ開発への提供	投入エネルギー、ビーム走査速度を任意に調整し、造形試験を実施することに成功した。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実施することが可能になった。	達成
a-②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明した。	達成
a-③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結晶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
a-④ 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を構築する。	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

2-3-b 複層電子ビーム3Dプリンタ

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b-1に示す。

表b-1 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
b-①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
b-②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
b-③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 1×10^{-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 1×10^{-4} [Pa]を達成。	達成
b-④異種材料の複層造形技術	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。	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
b-⑤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

2-3-c 大型電子ビーム3Dプリンタ

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c-1に示す。

表c-1 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
c-①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
c-②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粉末供給装置に開発により造形サイズ500mm×500mm×600mm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(500mm×500mm)、造形ボックスサイズを確認し、500mm×500mm×600mm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
c-③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%)
c-④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

*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。

2-3-d レーザービーム方式要素技術研究

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 d-1 に示す。

表 d-1 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標（中間評価）	成果	達成度
d - ① 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
d - ② 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
d - ③ 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マイ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

2-3-e 複層レーザービームプリンタ（レーザートリミング方式）

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 e-1 に示す。

表 e-1 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
e-① 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
e-② 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
e-③ 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
e-④ 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

2-3-f 複層レーザービームプリンタ（マシンニング方式）

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 f-1 に示す。

表 f-1 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
f-① 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
f-② 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
f-③ 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Inconel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

2-3-g 大型高速レーザービーム3Dプリンタ

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g-1に示す。

表g-1 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
g-①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)
g-①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
g-②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
g-③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。

2-3-h 金属粉末開発及び粉末修飾技術開発

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 h-1 に示す。

表 h-1 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標（中間目標）	成果	達成度
h-①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
h-②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
h-③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
h-④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
h-⑤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

<p>h-⑥アルミニウム合金粉末の製造技術開発</p>	<p>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</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<p>達成</p>
-----------------------------	--	---	-----------

2-3-i 3Dプリンタ用制御ソフトウェア開発

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 i-1 に示す。

表 i-1 個別要素技術の成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標（中間評価）	成果	達成度
i-①STL/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
i-②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
i-③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

2-3-j 超精密三次元積層造形システム（鋳造用砂型積層造形システム）

j1 高速積層造形技術の開発

高速積層造形技術の開発における個別要素技術の成果、達成度を表 j-1 に示す。

表 j-1 高速積層造形技術の開発 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
j1-①高速積層造形技術の開発（高速・大型化技術）	積層造形速度： 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： 1,000mmX 1,000mmX600mm以上 (最終目標)	造形可能サイズはストレッチターゲット： 1,800mmX1,000mmX750mm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)	積層造形速度 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
j1-②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形装置の複層化につなげる。	達成
j1-③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。	達成

j 2 耐熱積層鋳型による高融点金属鋳造技術の開発

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 j-2 に示す。

表 j-2 耐熱積層鋳型による高融点金属鋳造技術の開発 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
j2-①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
j2-②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、 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、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

j 3 局所的冷却性能制御技術の開発

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 j-3 に示す。

表 j-3 局所的冷却性能制御技術の開発 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
j3-①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	・人工砂と水ガラス系無機バインダ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
j3-②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

2-3-k 事業化・ブランド戦略

事業化・ブランド戦略の成果、目標の達成度を表k-1に示す。

表k-1 個別要素技術の成果、目標の達成度

内容	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
k-①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
k-②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
k-③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
k-④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

2-3-0 研究開発成果：学会発表、特許等出願状況

学会発表は、日本機械学会 2015 年度年次大会において、10 件の発表を行い、ユーザーに関心もたれている。特許出願：TRAFAM として 62 件提案受付済みであり、61 件は出願手続きを完了している。

表0-1 学会発表、特許等出願状況

論文数*1	学会発表数*2	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	16	0	61	4	4	契約により来年度以降	国際標準の獲得に向け一体的な研究開発を実施。

*1：技術論文投稿は中間評価後実施する、*2：シンポジウム、技術フォーラム等での発表のみ

1) 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
- ・ レーザ積層造形装置開発の新たな展開
- ・ レーザマルチ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

2) 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

表 1-1 各個別要素技術開発の目標、成果、目標の達成度一覧（1/2）

方式：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					開発担当：三菱重工工作機械(株)、三菱重工業(株)	
項目	中間目標		最終目標	現状達成値	達成度	原因分析(未達の場合)
積層造形速度	250	cc/h	500	360	達成	
造形精度	50	±μm以下	20	24	達成	
造形可能範囲	300x300x100	mm以上	300x300x300	300x300x100	達成	
複層機能	可能		可能	可能	達成	
方式：大型高速レーザービーム3Dプリンタ					開発担当：(株)松浦機械製作所、古河電気工業(株)	
項目	中間目標		最終目標	現状達成値	達成度	原因分析(未達の場合)
積層造形速度	250	cc/h	500	68.5	未達成	大型スキージング装置開発、流動特性を含めた粉末特性の見極めとインコネル718の造形条件を見出すのに時間を要し、造形速度が55%と未達成。レーザー2台化、マルチ制御化により達成する見込み(なお、予算減額により平成27年度目標は125cc/hとし、中間目標250cc/h達成は平成28年度としている)
造形精度	50	±μm以下	20	50	達成	
造形可能範囲	500x500x400	mm以上	1000x1000x600	600x600x400	達成	
レーザービーム出力	2	KW以上		2	達成	
方式：レーザー発振器					開発担当：古河電気工業(株)	
項目	中間目標		最終目標	現状達成値	達成度	原因分析(未達の場合)
レーザービーム出力	2	KW以上		2	達成	
13W励起半導体レーザーチップ	試作完了			試作完了	達成	
150W励起半導体モジュール	試作完了			試作完了	達成	
方式：複層電子ビーム3Dプリンタ					開発担当：日本電子(株)	
項目	中間目標		最終目標	現状達成値	達成度	原因分析(未達の場合)
積層造形速度	250	cc/h	500	214.6	未達成	粉末スキージング技術開発とTi-6Al-4Vの造形条件を見出すのに時間を要し、造形速度が85%と未達成。造形前のパウダー予熱の時間最適化を図り、時間短縮する事で今後目標を達成する。
造形精度	40	±μm以下	20	27	達成	
造形可能範囲	300x300x600	mm以上	300x300x600	300x300x600	達成	
複層機能	可能		可能	可能	達成	
方式：大形高速電子ビーム3Dプリンタ					開発担当：多田電機(株)	
項目	中間目標		最終目標	現状達成値	達成度	原因分析(未達の場合)
積層造形速度	250	cc/h	500	100	未達成	粉末スキージング技術開発とのTi-6Al-4V造形条件を見出すのに時間を要し、また大形のために試験準備・実施に時間がかかったこともあり、造形速度が40%と未達成。プリヒート熱量アップ、ビーム形状最適化で達成する見込み。
造形精度	100	±μm以下	50	78	達成	
造形可能範囲	500x500x600	mm以上	1000x1000x600	500x500x600	達成	
方式：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					開発担当：(株)東芝・東芝機械(株)	
項目	中間目標		最終目標	現状達成値	達成度	原因分析(未達の場合)
積層造形速度	250	cc/h	500	359	達成	
造形精度	50	±μm以下	20	30	達成	
造形可能範囲	300x300x100	mm以上	300x300x300	300x300x100	達成	
複層機能	可能		可能	可能	達成	

※ 最大造形サイズの間目標値に対しては、最大造形サイズに対応した空間の大きさ（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している。

表 1 - 1 各個別要素技術開発の目標、成果、目標の達成度一覧 (2/2)

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				開発担当: 大同特殊鋼(株) 開発金属: チタン合金、チタンアルミ合金	
項目	中間目標	最終目標	現状達成値	達成度	原因分析(未達の場合)
噴霧現象の数値化	可視化技術活用による噴霧現象数値化達成		・ガス流速定量化可視化技術構築 ・計測技術を活用した定量的な噴霧解析技術構築	達成	
チタン合金粉末試作	チタン合金粉末粒径75μm以下試作	チタン合金粉末粒径45μm以下試作	・チタン合金粉末粒径75μm以下の分級歩留42.3%	達成	
気体流による遠心分離方式金属粉末分級機構の開発				開発担当: 山陽特殊製鋼(株) 開発金属: 鉄鋼材、耐熱鋼、ステンレス鋼、Ni基超合金(インコネル、ハステロイ)、Co-Cr合金	
項目	中間目標	最終目標	現状達成値	達成度	原因分析(未達の場合)
分級精度	粉末粒径45μm以下とした場合の累積95%での粒度40μm以下	粉末粒径45μm以下とした場合の累積95%での粒度40μm以下	累積95%での粒度35μm	達成	
分級精度	粉末粒径125~45μmとした場合、累積5%での粒度50μm以上、累積95%での粒度120μm以下		累計5%での粒度が61μm、累計95%での粒度が115μm	達成	
分級歩留	篩分級での歩留に対して遠心分離式粉体分級機構法にて20%以上向上	同一粒度分布篩分級に対し、本開発法で40%以上歩留向上	篩分級に対して28.5%の歩留り向上	達成	
高機能粉末製造のための粉末修飾技術の開発				開発担当: 福田金属箔粉工業(株) 開発金属: 銅、銅合金	
項目	中間目標	最終目標	現状達成値	達成度	原因分析(未達の場合)
銅系金属粉末製造技術開発(ガスアトマイズ銅粉対象)	・粉末粒径45μm以下の収率:60%以上 ・粉末粒径105/45μmの中間粒度収率:25%以上	・粉末粒径45μm以下の収率:75%以上 ・粉末粒径105/45μmの中間粒度収率:30%以上	・粉末粒径45μm以下の収率:66%以上 ・粉末粒径105/45μmの中間粒度収率:28%以上	達成	
金属粉末修飾技術開発(ガスアトマイズ銅粉:45μm以下対象)	・粉末流動度:45秒/50g以下 ・酸化増加率:10%/20日以下	・粉末流動度:30秒/50g以下 ・酸化増加率:5%/20日以下	・粉末流動度:20.3秒/50g以下 ・酸化増加率:9.90%/20日以下	達成	
アルミニウム合金粉末の製造技術開発				開発担当: 東洋アルミニウム(株) 開発金属: アルミニウム合金	
項目	中間目標	最終目標	成果	達成度	原因分析(未達の場合)
アルミニウム合金粉末の製造技術開発	レーザービーム/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	レーザービーム/電子ビーム積層造形で密度99%以上を達成できるアルミニウム合金粉末	・レーザービーム積層造形装置:粒度分布を調整する事により相対密度99.5%を達成した。 ・電子ビーム積層造形装置: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、さらなる検討を進めている。	達成	
3Dプリンタ用制御ソフトウェア開発				開発担当: シーメット(株)、(株)松浦機械製作所	
項目	中間目標	最終目標	成果	達成度	原因分析(未達の場合)
①STL・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	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	
②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	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	
③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	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	統合ソフトウェアのプラットフォームを開発した。	達成	

8. 事前〔中間〕評価の結果

「超複雑形状鑄造生産技術（ハイパー・キャスト・テクノロジー）」評価WG（平成24年6月）

<評価コメント>

1. 技術戦略について

このプロジェクトの成果が大企業や中堅企業などの上の部分を引っ張り上げるための技術に留まることなく、どの様にすれば90%を占める中小企業の生産性を上げるために導入・普及（設備負担）することができるようになるか考えるべきである。

固有の技術的な課題についての把握をもう少し深め、適切な開発体制を組むことが必要であり、提案する技術を使うまでもなく、量産しているものもあるわけで、対象の素材との関係も視野に入れつつ、他の方法で砂型をオートマチックにつくる方法等も生かしながら、産業としてはすみ分けしていく、そういった素形材産業全体のあり方という視点も置きながら、進めることが重要である。

2. 事業の実施について

プロジェクトの根幹に関わる部分では、ポイントとなる中核技術を有する者を外さないようにすることが重要である。

この種の装置開発では、装置としてまとめて試作装置をつくり上げていく者が中心になり、要素技術をもっているメーカーは要素技術で特許をとり、装置全体としてはまとめる者がそれに関わる特許をとるといった、要素技術と装置を分業しながらそれぞれが特許を取得できる体制とすることが必要である。

試作品から量産品に至るまでは一般に時間がかかるので、試作装置の作製を前倒しするなど、プロジェクトを加速化すべきである。

<対処方針>

① 本技術の適用先はほぼ全ての鑄造メーカーが対象である。当初のターゲットは、試作メーカー、少量生産の精密鑄造メーカー、自硬性鑄型鑄造メーカーであるが、金型鑄造メーカー、砂型鑄造メーカーにおいても本技術を中子製造に特化して適用することにより、鑄造品の複雑高付加価値化、省リードタイム、小ロット生産を可能にする。試作装置完成後は鑄造設備メーカーとの連携開発により、これら砂型・金型鑄造メーカーに広く普及を図る計画である。

② 本プロジェクトでは装置、バインダ材料、鑄型製造・鑄造それぞれに要素技術があり、企業で一部基本的な特許は取得している。これらの要素技術を持つメーカーが参画する集中研方式でプロジェクトを進め、新たに要素技術、装置・技術としてまとめる過程において発生する特許の取得を効率的に図る。特にプロジェクト前期には装置制御機構、バインダ開発に集中して、試作装置開発の前倒しを図る計画である。

<評価コメント>

● 我が国の技術開発が当該分野ではやや立ち遅れているとの認識のもと、プロジェクト終了時点で装置が完成することを目標とするのではなく、例えば、3年後には一部の装置は実用化しているというように順次成果を出せるよう、スピード感を持って技術開発を実施すべき。

● 製品機能のデジタル化の進展は、経験上、我が国産業の競争優位性を失うことにつながりやすく、また、既存産業との競合もありうる。我が国がターゲットとする市場の設定、マーケティング、ユーザーである中堅・中小の育成、知財戦略等、産業政策として真に戦略的な検討が必要。

<対処方針>

● 本プロジェクトでは、開発期間5年間の中間時点での中間目標を設定し、実用化開発を行うものとしており、中間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、実用化の検討をしまいる所存である。

● 本プロジェクトをより効果的なものにするため、ターゲットとする市場の設定や知財戦略等の重要性は認識しており、当該プロジェクトを進める技術研究組合に、市場を担うと思われる企業等にも広く参画を促すとともに、知財戦略については、平成25年度に行われている特許庁の技術動向調査等を参考に、標準化も含めて本組合の中で検討してまいる所存。

また、平成25年10月から「新ものづくり研究会」を設置し、三次元造形技術のものづくりへの活用可能性やそれに対する対応等について、今後の産業を担う人材育成を含めて幅広い検討を行っているところ。本研究会の検討等を踏まえ、引き続き真に必要な戦略について検討してまいる所存である。