

「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)」

次世代型産業用3Dプリンタ技術開発

達成状況

各方式の要素技術

	技術類型	要素技術	開発内容
電子ビーム	高速	ビーム径一定で高速走査する技術	電子銃開発、高速偏向アンプ開発、収束レンズ開発、電子ビームコラム高度化 (b-①、②、c-③)
		粉末を高速で敷く技術	高速リコーター開発 (b-②)
	高精度	造形精度を向上する技術	高精度電子銃開発、8極偏向レンズ開発、高精度制御システム開発 (b-①、②、c-④)
		品質・検査を確立する技術	ユーザー仕様の試作造形と品質検査技術開発 (b-⑤)
		造形条件・データベースの構築	熔融凝固プロセス解明・造形条件確立、シミュレーション技術高度化 (a-①、②、③、④)
	大型	大面積を照射する技術	電子ビームコラムの高度化、着脱式大型造形ボックス・チャンバー開発 (c-①、②)
複層積層	異種金属を敷く技術	異種金属リコーター開発、制御システム開発 (b-④)	
レーザービーム	高速	レーザー光を高速走査する技術	高精度ガルバノ・制御系開発 (g-①)、高輝度シングルモードファイバレーザー開発 (g-③)
	高精度	ノズルを高性能化する技術	高精度・高収束ノズル開発 (e-②、③、f-②)
		微細に造形する技術	微細造形ノズル開発、微粉末供給機開発 (e-④)
		造形条件・データベースの構築	熔融凝固プロセス解明、熱変形シミュレーション開発、マイクロ熔融凝固シミュレーション精緻化 (d-①、②、③、f-③)
	大型	大面積を照射する技術	ガルバノミラー複数台制御技術開発、大型用粉末供給・回収・ワーク取出し機構開発 (g-②)
複層積層	異種金属のプロセス技術	本体造形装置・粉末供給法の開発、ユーザー仕様の試作造形、モニタリング機能開発 (e-①、②、f-①、②)	
(粉末、ソフトウェア) その他	粉末製造	適正粉末を製造する技術	新型アトマイズ装置開発、アルミ粉末製造技術開発 (h-①、②、⑤、⑥)
	粉末分級	分級の精度を上げる技術	遠心分離方式分級機開発 (h-③)
	粉末修飾	流動性向上と酸化低減化	最適材料・プロセスで改善 (h-④)
	ソフトウェア開発	ソフトウェア操作性の向上	統合ソフトウェア開発、STLデータ処理技術開発、加工条件・最適パス生成技術開発 (i-①、②、③)

3. 事業アウトプット(中間目標)

- 中間評価での重点目標は、それぞれの研究開発テーマを設定し、そのテーマごとに個別要素技術課題を設定している。

事業アウトプット指標		
	中間評価での重点目標	研究開発テーマ
1	電子ビーム方式の3D積層造形装置技術開発	電子ビーム方式の要素技術研究
		複層化電子ビーム3Dプリンタの開発
		大型高速電子ビーム3Dプリンタ開発
2	レーザービーム方式の3D積層造形装置技術開発	レーザービーム方式の要素技術研究
		複層化レーザービーム3Dプリンタの開発(レーザートリミング方式)
		複層化レーザービーム3Dプリンタの開発(マシニングセンタ方式)
		大型高速レーザービーム3Dプリンタ開発
3	金属等粉末開発及び粉末修飾技術開発	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
		気体流による遠心分離方式による金属粉末分級機構の開発
		高機能粉末製造のための粉末修飾技術の開発
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	爆発防止等、装置の安全性
		造形物の自動搬出、粉末自動供給、ブラストなど装置周辺装置の開発
		高機能複合部材の開発および積層条件の開発

3. 事業アウトプット(開発機中間目標)

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 (μm)
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	± 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	± 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	± 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	± 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	± 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	± 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	± 50

次世代型産業用3Dプリンタ技術開発

航空宇宙・自動車分野を中心とした世界一の性能を誇る次世代型産業用高速・高精度・大型3Dプリンタの開発に向け、装置メーカー、材料メーカー、ユーザー企業、大学などの英知を結集

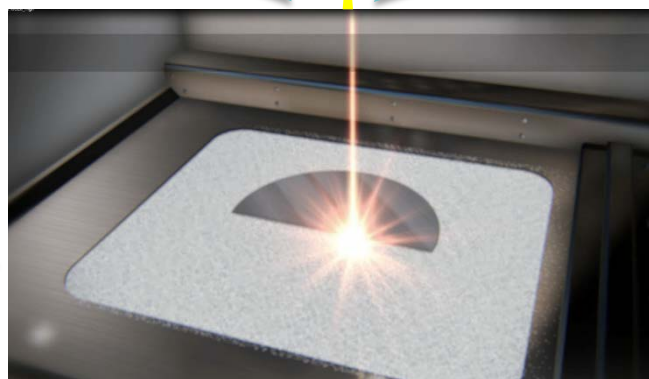
電子ビーム方式の3D積層造形装置開発

- a 電子ビーム方式要素技術研究
- b 複層電子ビーム3Dプリンタ
- c 大型高速電子ビーム3Dプリンタ

レーザービーム方式の3D積層造形装置開発

- d レーザービーム方式要素技術研究
- e 複層レーザービーム3Dプリンタ
(レーザートリミング方式)
- f 複層レーザービーム3Dプリンタ
(マシニング方式)
- g 大型レーザービーム3Dプリンタ

熱源



h 粉末製造技術

次世代型産業用3Dプリンタに適した粉末特性を有する世界最高品質で低コストの金属粉末を製造する技術開発。

i 3Dプリンタ
制御ソフトウェア開発

次世代型産業用3Dプリンタにおける、大型化、高速化、高精度化を実現するための制御ソフトウェアの開発。

3Dプリンタ装置

k 事業化・ブランド戦略
及び知財戦略・標準化戦略

次世代型産業用3Dプリンタ技術開発

電子ビーム方式

電子ビーム方式
要素技術研究機



複層電子ビーム3Dプリンタ



大型高速電子ビーム3Dプリンタ



レーザービーム方式

レーザービーム方式
要素技術研究



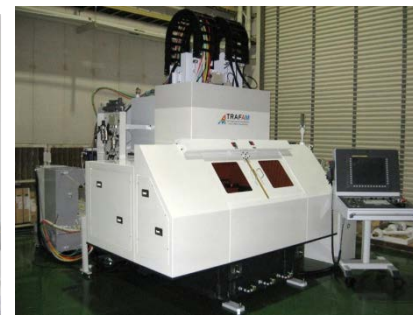
大型レーザービーム3Dプリンタ



複層レーザービーム3Dプリンタ
(レーザートリミング方式)



複層レーザービーム3Dプリンタ
(マシニング方式)



3. 事業アウトプット(技術課題)

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体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、1000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 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体については、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、粉体自動供給、金属粉体分離、不要粉体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。

3. 対象とする金属

開発対象とする金属は以下の通り。

1. 鉄系：SUS316L、SUS304、S30C
2. 銅系：純Cu、銅合金
3. ニッケル系：ニッケル基超合金（インコネル718）
4. チタン系：Ti6Al4V
5. アルミ系：Al-10Si-0.4Mg

3. 個別要素技術アウトプット指標・目標値及び達成状況

<達成状況詳細／原因分析(未達成の場合)>

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	± μ m以下	20	27	達成	
造形可能範囲 *1	300x300x600	mm以上	300x300x600	300x300x600	達成	
複層機能	可能		可能	可能	達成	

方式： 大型高速電子ビーム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、また大型のために試験準備・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。フリート熱量アップ、ビーム形状最適化で達成する見込み。
造形精度	100	± μ m以下	50	78	達成	
造形可能範囲 *1	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	50	cc/h	500	359	達成	
造形精度	50	± μ m以下	20	30	達成	
造形可能範囲 *1	300x300x100	mm以上	300x300x300	300x300x100	達成	
複層機能	可能		可能	可能	達成	

*1 造形可能範囲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。

3. 個別要素技術アウトプット指標・目標値及び達成状況

<達成状況詳細／原因分析(未達成の場合)>

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	50	cc/h	500	360	達成	
造形精度	50	±μm以下	20	24	達成	
造形可能範囲 *1	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 *1	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	

*1 造形可能範囲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。

3. 個別要素技術アウトプット指標・目標値及び達成状況

<達成状況詳細／原因分析(未達成の場合)>

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75 μ m以下試作	チタン合金粉末粒径45 μ m以下試作	・チタン合金粉末粒径75 μ m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45 μ m以下とした場合の累積95%での粒度40 μ m以下	粉末粒径45 μ m以下とした場合の累積95%での粒度40 μ m以下	累積95%での粒度35 μ m	達成		
分級精度	粉末粒径125~45 μ mとした場合、累積5%での粒度50 μ m以上、累積95%での粒度120 μ m以下		累計5%での粒度が61 μ m、累計95%での粒度が115 μ m	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45 μ m以下の収率:60%以上 ・粉末粒径105/45 μ mの中間粒度収率:25%以上	・粉末粒径45 μ m以下の収率:75%以上 ・粉末粒径105/45 μ mの中間粒度収率:30%以上	・粉末粒径45 μ m以下の収率:66%以上 ・粉末粒径105/45 μ m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:45 μ m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		

3. 個別要素技術アウトプット指標・目標値及び達成状況

<達成状況詳細／原因分析(未達成の場合)>

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	<ul style="list-style-type: none"> ・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		

目次

- a 電子ビーム方式要素技術研究
- b 複層電子ビーム3Dプリンタ
- c 大型電子ビーム3Dプリンタ
- d レーザービーム方式要素技術研究
- e 複層レーザービーム3Dプリンタ(レーザートリミング方式)
- f 複層レーザービーム3Dプリンタ(マシニング方式)
- g 大型レーザービーム3Dプリンタ
- 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

電子ビーム方式の3D積層造形装置技術開発

■ 世界最高水準の次世代型産業用三次元積層造形装置(電子ビーム方式)の開発

- a 要素技術研究 (東北大学)
- b 複層電子ビーム3Dプリンタの開発 (日本電子)
- c 大型高速電子ビーム3Dプリンタの開発 (多田電機)

開発する技術

電子銃コラム

b-①,c-① 電子源長寿命化技術
b-②③,c-③④ 電子ビーム高速・高精度偏向技術

b-④ 複層造形技術

c-② 大型化、粉末供給・ワーク取り出し技術

着脱式造形ボックス

造形物表面

Scan Velocity/mm·s ⁻¹	Scan Velocity/mm·s ⁻¹			
	250	500	750	1000
1.0				
1.5				
2.0				

0.0 ms

等サイズ粉末粒(d = 100 μm)

2.0 ms

0.0 ms

異サイズ粉末粒(d = 50 or 100 μm)

2.0 ms

a-①② 溶融・凝固プロセスの解明
a-① プロセスマップ
a-③ 伝熱溶融・溶融凝固シミュレーション技術
a-④ データベース構築

成果、目標の達成度(1/2)

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
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、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った。	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	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

成果、目標の達成度(2/2)

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
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
a-③ 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
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構築	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

成果、目標の達成度(1/2)

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
(1)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、2015年1月に試作機に搭載し完成し、2015年12月に改良を含め完了した。 ②ビーム径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
(2)電子ビーム3D積層造形高速化技術	<ul style="list-style-type: none"> ①250cc/h以上の積層造形速度を目指す。(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30cm範囲で試算すると速度214.6cc/hとなった。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。 	85%
(3)電子ビーム積層造形高精度化技術	<ul style="list-style-type: none"> ①精度$\pm 40\mu$m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立方体造形し精度測定をした。結果:$\pm 27\mu$mを達成した。 ②造形室の真空度1×10^{-4} [Pa]を達成。 	達成
(4)異種材料の複層積層技術	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<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
(5)ユーザ造形品試作と検査技術	<ul style="list-style-type: none"> ①ユーザ産業部品を積層造形技術で製作をする。 ②粉末解析、造形品検査手法の検討・実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> ①ユーザ企業2社の産業物造形完了した。 ②表面分析装置による粉末材料の分析、造形品の非破壊検査等を実施。 	達成

成果、目標の達成度(2/2)

複層電子ビーム3Dプリンタ

未達成項目

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
(2)電子ビーム 3D積層造形 高速化技術	①250cc/h以上の積層造形 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 30cm範囲で試算すると速度214.6cc/hとなった。 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。	85%

原因分析と対策

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、積層造形速度が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。

成果、目標の達成度(1/2)

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
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:100 μ 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 ϕ 100 μ 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
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粉体供給装置 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を達成した。	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 \pm 100 μ 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 μ m以下(\pm 78 μ m)を達成した。	達成

*1 造形可能範囲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。

成果、目標の達成度(2/2)

大型電子ビーム3Dプリンタ

未達成項目

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
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を達成した。	未達成 (40%)

原因分析と対策

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、積層造形速度が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。

レーザービーム方式の3D積層造形技術開発

■ 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(大型造形、高速造形、高精度、複層化)

- d レーザービーム方式要素技術研究
- e 複層レーザービーム3Dプリンタ開発(レーザトリミング方式)
- f 複層レーザービーム3Dプリンタ開発(マシニング方式)
- g 大型高速レーザービーム3Dプリンタ開発

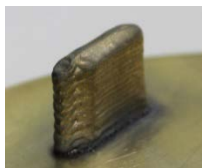
開発する要素技術

g-①② 高速化・高精度化技術

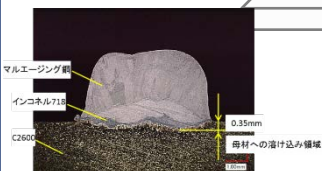
g-③高出力シングルモードファイバレーザー

e,f-② 高速高精度化
e-③ 高精度ノズル

e,f-① 複層造形技術
e-④ 微細造形技術



f-③ 新工法開発



g-② 大型化技術(粉末供給・回収・ワーク取り出し)



ガルバノメータ/レンズ

リコーター

ローラー

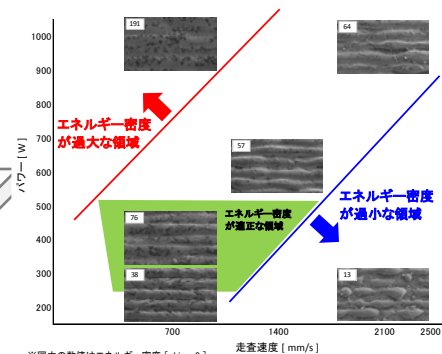
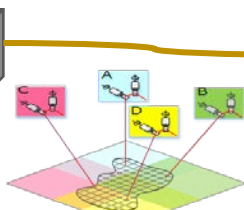
粉末床

粉末回収口

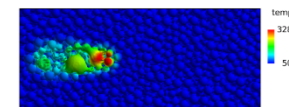
造形物

造形テーブル

ガルバノメータ複数台制御



- d-① 熔融凝固プロセス
- d-② プロセスデータベース
- d-③ シミュレーション技術/歪
- f-④⑤シミュレーション技術/マクロ、ミクロ



成果、目標の達成度(1/1)

レーザー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
d-①溶融凝固プロセスの解明	溶融凝固現象解析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溶融凝固現象解析技術を確立し、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及びインコネル718の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・熱変形解析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溫度場の数値解析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

成果、目標の達成度(1/1)

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
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一次試作機を開発し、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解析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 $\pm 50 \mu m$ 以下(達成値 $\pm 24 \mu m$)の中間造形目標値を達成した。	達成
f-③マイクロ熔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マイクロ解析モデルおよび材料・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3×3マトリックスのプロセスマップをスパコン京で計算し、実造形の熔融池幅(150 μm 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

成果、目標の達成度(1/3)

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
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 (中間評価時は125cc/h)	積層造形速度:68.5cc/h 100×100×10mmのワークを造形した ワーク完成までの時間:1時間27分40秒 今後の取組み レーザー2台、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	精度:±50μm ・10×10×10mmのワークを造形し ・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:500×500×400mm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(一次試作機) ・一次試作機にて600×600mmの格子を描画しストロークを確認した ・一次試作機に616mm×128mm×203.5mmの試作品を製作した	達成

*1 造形可能範囲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。

成果、目標の達成度(2/3)

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
g-③高輝度シングルモードファイバーレーザー技術	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・YDF短尺化(24m→18m)によるSRS低減の確認 ・1+6:1 TFB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2kW出力を確認した。 ・6kWファイバレーザーを国内初めて開発し、レーザーデポジション用に2台供給 	達成

成果、目標の達成度(3/3)

大型高速レーザービーム3Dプリンタ

未達成項目

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果(H28/1評価時点)	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 (中間評価時は125cc/h)	積層造形速度:68.5cc/h 100×100×10mmのワークを造形したワーク完成までの時間:1時間27分40秒 今後の取組み レーザー2台、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)

原因分析と対策

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、積層造形速度が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

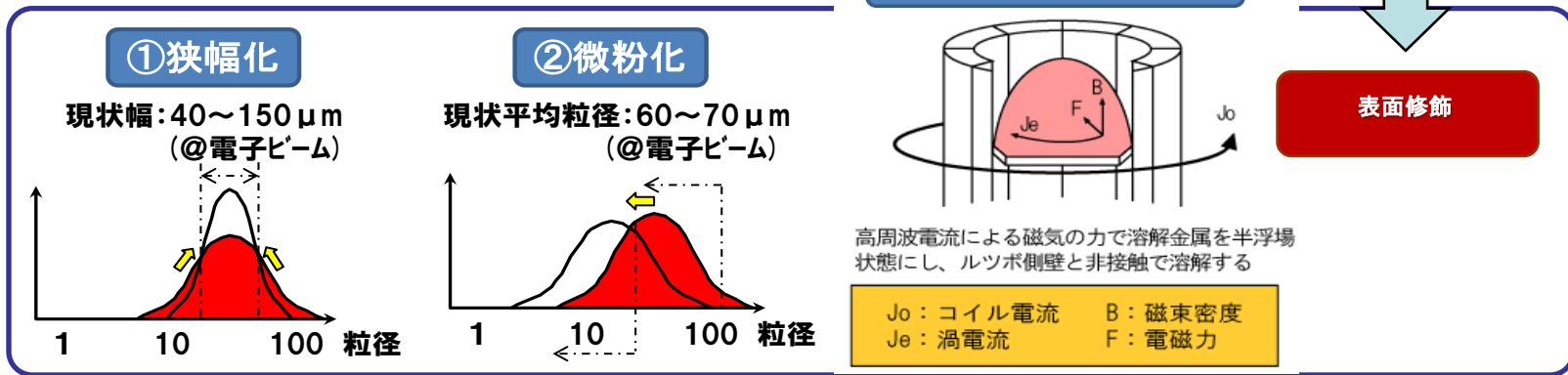
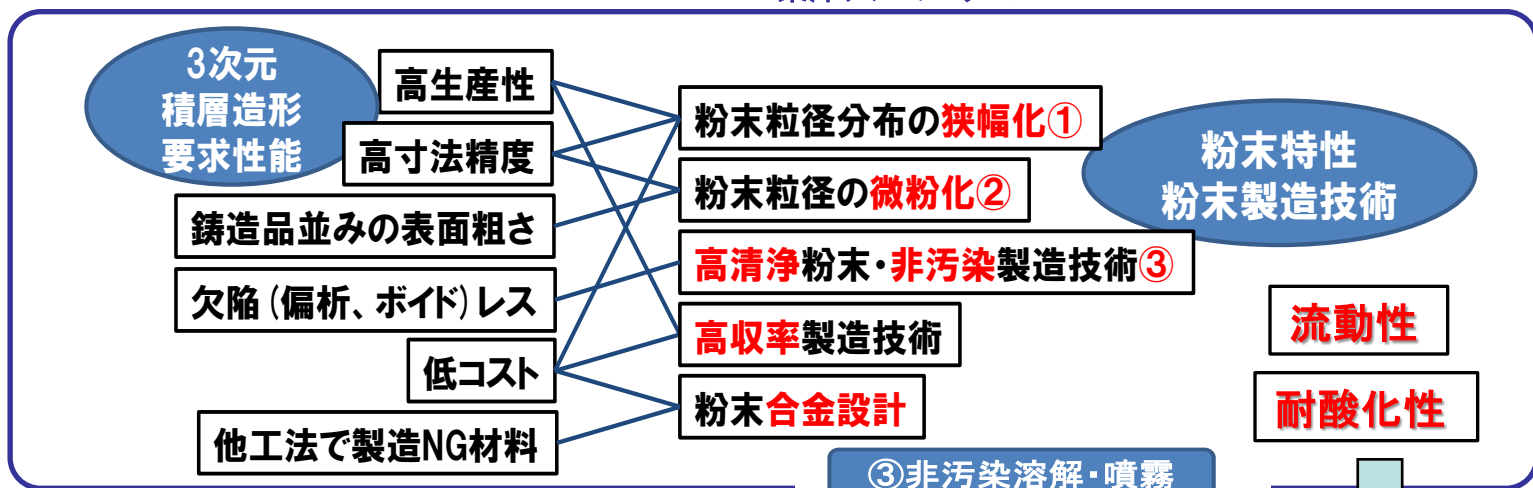
(なお、平成27年度予算減額により平成27年度目標は125cc/hとし、中間目標250cc/h達成は平成28年度としている)

金属粉末開発及び粉末修飾技術開発

粉末製造技術

■ 3Dプリンタに適した粉末特性を有する世界最高品質で低コストの金属粉末を製造する技術開発

- 新アトマイズ法による高融点・高活性金属粉末製造技術の開発 : 大同特殊鋼 (チタン合金、チタンアルミ合金)
- 気体流による遠心分離方式金属粉末分級機構の開発 : 山陽特殊製鋼 (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)
- 高機能粉末製造のための粉末修飾技術の開発 : 福田金属箔粉工業 (銅、銅合金)
東洋アルミニウム (アルミニウム合金)



3Dプリンタ用金属粉末への要求性能

成果、目標の達成度(1/2)

粉末製造技術

要素技術	目標・指標(中間評価)	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	<ul style="list-style-type: none"> チタン合金粉末粒径75μm以下の分級歩留40%以上(平均粒径100μm程度) 	<ul style="list-style-type: none"> チタン合金粉末粒径75μm以下の分級歩留42.3%(粉末粒径97.5μm)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	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 分級精度(粒径45μm以下) <ul style="list-style-type: none"> 累積95%粒度40μm以下(粒径125-45μm) 累積5%粒度50μm以上、累積95%粒度120μm以下 分級歩留 <ul style="list-style-type: none"> 粒径45μm以下にて篩分級に対し20%以上向上 	<ul style="list-style-type: none"> 分級精度(粒径45μm以下) <ul style="list-style-type: none"> 累計95%粒度35μm(粒径125-45μm) 累計5%粒度61μm, 累計95%粒度115μm 分級歩留 <ul style="list-style-type: none"> 篩分級に対し28.5%向上 	達成

成果、目標の達成度(2/2)

粉末製造技術

要素技術	目標・指標(中間評価)	成果	達成度
h-④金属粉末修飾技術開発(粒径45 μ m以下ガスアトマイズ銅粉対象)	<ul style="list-style-type: none"> 粉末流動度: 45秒/50g以下 酸化増加率: 10%/20日以下 	<ul style="list-style-type: none"> 流動性向上を目的に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
h-⑤銅系製造技術開発(ガスアトマイズ銅粉対象)	<ul style="list-style-type: none"> -45μm(LB用)金属粉末製造収率向上 +45/-105μm(EB用)金属粉末製造収率向上 	<ul style="list-style-type: none"> ガスアトマイズ条件並びに噴霧ノズルを開発した。 → -45μm収率 = 66%(目標60%) +45/-105μm収率 = 28%(目標25%) 	達成
h-⑥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	<ul style="list-style-type: none"> レーザー積層造形装置で、アルミニウム合金粉末の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、さらなる検討を進めている。 	達成

3Dプリンタ制御ソフトウェア開発

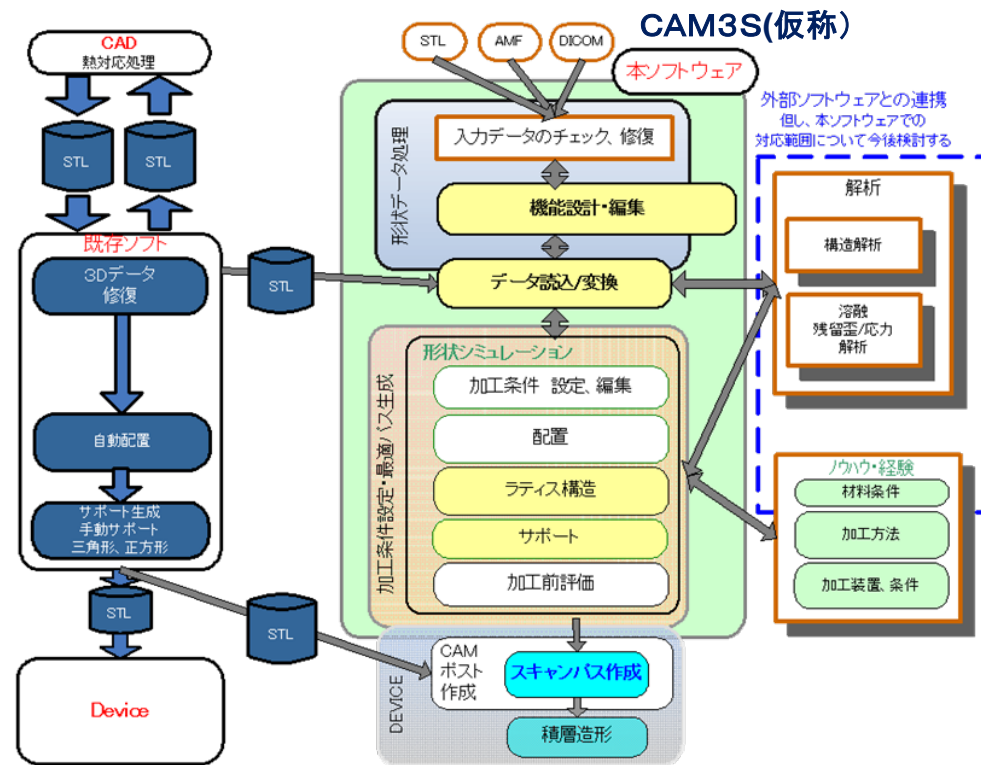
■ 次世代型産業用3Dプリンタの制御ソフトウェアを開発する。

シーメット、松浦機械製作所

電子ビーム方式及びレーザービーム方式3Dプリンタの各装置に搭載し、STL*1・AMF*2ファイルいずれのデータフォーマットも処理でき、加工条件設定・最適パス生成技術を有するソフトウェアを開発する。

開発内容

- i-① STL・AMFデータ処理
 - STL・AMFデータ変換・読み込み
 - 3次元、2次元データ修正
 - 条件設定、自動配置、サポート編集・設定、スライス・オフセット
- i-② 加工条件設定・最適パス生成
 - 加工条件設定・編集
 - 配置支援、ラティス構造、サポート設定支援、加工前評価



ソフトウェア全体構成図

*1 : STL (スタンダードトライアキュレイティッドランゲージ) 形式 : 業界(デファクト)標準

*2 : AMF (アディティブマニファクチャリングフォーマット) 形式 : 国際(デジュール)標準(ISO/TC261)

成果、目標の達成度(1/1)

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
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

成果、目標の達成度(1/1)

事業化・ブランド戦略

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 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
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