

経済産業省 御中

公開版

令和3年度重要技術管理体制強化事業(金属積層造形技術動向調査) 調査報告書

みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

調査結果のサマリー

(1) 金属積層造形の最新の技術開発動向

- **技術** 試作ではなく生産への活用を見込んだ技術開発(例: ソフトウェア・ハードウェアの両面における周辺装置との連携、モニタリングによる欠陥発生抑制、自動化など)がトレンド。

(2) 金属積層造形の設計領域(3D設計ソフト)に係る市場動向、最新技術動向

- **市場** 製造業で一般的に用いられる(積層造形専業ではない)欧米の大手ソフトウェアメーカーがシェアを占有。装置メーカーとの協働による垂直連携が進められている。
- **技術** 各社が元々強みとしている技術に加え、生産用途でニーズが見込まれる技術の開発(例: 造形品質の予測・検証につながるシミュレーション技術、設計・製造ワークフローの効率化・自動化など)がトレンド。

(3) 金属3Dプリンタの原料のサプライチェーン、最新技術動向

- **サプライチェーン** 製造業の強いエリアに拠点が設けられる傾向にあり、特に米・独・中がそれぞれ米国・欧州・アジアにおける中心になっている。また一部の金属種(例: フェロクロム、ニッケルなど)はAM造形で用いられることが多い反面、粉末の原料となる金属の輸出が特定国に偏っており、サプライチェーンリスクが想定される。
- **技術** アルミ合金の利用拡大、環境負荷を軽減する技術の開発などがトレンド。材料と造形プロセスを併せて提供するため、ユーザー側(装置メーカー、サービスビューロなど)によるM&Aや、これらの企業との連携も活発。

日本の強み・弱み

- ハイレベルな要素技術に強みがある反面、国内ユーザーの不在によりシェア獲得に繋がっていない点は弱み。
- 強みを維持するための技術開発は引き続き必要であるものの、足下ではユーザー側を対象とした市場創出のための施策が重要であると考えられる。

(1) 金属積層造形の最新の技術開発動向

- ① 国内外における最新技術開発動向 p. 3

(2) 金属積層造形の設計領域(3D設計ソフト)に係る市場動向、最新技術動向

- ① 国内外における市場動向の調査 p. 51
- ② 国内外における最新技術開発動向の調査 p. 83

(3) 金属3Dプリンタの原料のサプライチェーン、最新技術動向

- ① 国内外におけるサプライチェーンの調査 p. 95
- ② 国内外における最新技術開発動向の調査 p. 113

(1) 金属積層造形の最新の技術開発動向

- ① 国内外における最新技術開発動向 p. 3

(2) 金属積層造形の設計領域(3D設計ソフト)に係る市場動向、最新技術動向

- ① 国内外における市場動向の調査 p. 51
- ② 国内外における最新技術開発動向の調査 p. 83

(3) 金属3Dプリンタの原料のサプライチェーン、最新技術動向

- ① 国内外におけるサプライチェーンの調査 p. 95
- ② 国内外における最新技術開発動向の調査 p. 113

調査対象

- 造形容易化・精度向上・信頼性向上について先進的な取り組みや特徴的な取り組みを行っている企業等として、調査項目(1)では以下の12機関を調査対象とした。
- なお調査対象には積層造形装置メーカーのほか、積層造形装置の造形容易化・精度向上・信頼性向上において重要な要素技術であるモニタリング技術に関する企業も調査対象に含めている。

分類	No.	所在国	機関名
積層造形装置	1	日本	DMG Mori
	2	米国	GE Additive
	3	米国	3D Systems
	4	ドイツ	EOS
	5	ドイツ	SLM Solutions
	6	オランダ	Additive Industries
	7	フランス	AddUp
モニタリング	8	日本	NISHIHARA
	9	ドイツ	Precitec
研究機関・プロジェクト	10	日本	産業技術総合研究所
	11	米国	America Makes
	12	ドイツ	Fraunhofer

調査結果 各機関の取り組み一覧(1/3)

➤ 以下に、調査対象とした機関における近年の主な取り組みの一覧を示す。各取り組みの詳細は後段を参照のこと。

分類	機関名	取り組み	効果	造形手法*	技術成熟度**
積層造形装置	DMG MORI(日本)	工場の無人稼働を実現するパレット搬送システム「LPS 4th Generation」	造形容易化	L-PBF L-DED	実用化
		造形パラメータ最適化ソフトウェア「AMOptoMet」	造形容易化	L-PBF	実用化
		設計、準備、生産、品質保証を一貫して行う統合プラットフォーム「CELOS」	造形容易化 信頼性向上	L-PBF L-DED	実用化
		各種チャンバー内の機能(レーザー源と溶融面の距離を一定化等)	精度向上 信頼性向上	L-PBF	実用化
	GE Additive(米国)	自動粉末リカバリーステーション(PRS30)と周辺機器による高度な粉末処理の自動化	造形容易化	E-PBF	実用化
		リアルタイムモニタリングによる品質保証	信頼性向上	L-PBF E-PBF	実用化
		BJ方式の生産ソリューション(パートナーシッププログラム)	造形容易化	BJ	開発中
	3D Systems(米国) ※次頁に続く	各モジュール間の機能連携・自動化ソリューション「DMP Factory 500 Solution」	造形容易化	L-PBF	実用化
		造形パラメータのデータベース整備・テスト	造形容易化 信頼性向上	L-PBF	実用化
		設計から製造までの全工程を一貫した統合プラットフォーム「3D Xpert」	造形容易化 精度向上 信頼性向上	L-PBF	実用化
		小型パレットの採用により、後工程にスムーズに繋げる連続生産を実現(3D Xpert 機能)	造形容易化	L-PBF	実用化

調査結果 各機関の取り組み一覧(2/3)

➤ 以下に、調査対象とした機関における近年の主な取り組みの一覧を示す。各取り組みの詳細は後段を参照のこと。

分類	機関名	取り組み	効果	造形手法*	技術成熟度**
積層造形装置	3D Systems(米国) ※前頁の続き	小型パレットの採用により、後工程にスムーズに繋げる連続生産を実現(3D Xpert 機能)	造形容易化	L-PBF	実用化
		各種造形容易化に繋がるソフトウェア(3D Xpert 機能)	造形容易化	L-PBF	実用化
		各種パラメータを自動で補正するツール(3D Xpert 機能)	精度向上	L-PBF	実用化
		欠陥検知システム「DMP Inspection(DMP Vision)」(3D Xpert 機能)	信頼性向上	L-PBF	実用化
	EOS(ドイツ)	AM生産用設備開発プロジェクト「NextGenAM」	造形容易化	L-PBF	実用化
		モニタリング+品質管理ソフトウェア「EOSTATE」	信頼性向上	L-PBF	実用化
	SLM Solutions(ドイツ)	装置間をつなぐ自動搬送システム「SLM HUB」	造形容易化	L-PBF	実用化
		層状の不活性ガスフローによる品質向上	精度向上 信頼性向上	L-PBF	実用化
		メルトプールモニタリング、レーザーパワーモニタリング、レイヤーコントロールシステム	信頼性向上	L-PBF	実用化
		粉末製造～完成品までを一貫して製造する積層造形プラント「SCALE4SERIES」	造形容易化	L-PBF	実用化
	Additive Industries(オランダ)	設計～製造工程を一貫してサポートする統合プラットフォーム「Additive World Platform」	造形容易化 信頼性向上	L-PBF	実用化
		複数工程の自動化による造形容易化、品質向上	造形容易化 信頼性向上	L-PBF	実用化
		マルチビームキャリブレーションツール	造形容易化 信頼性向上	L-PBF	実用化

調査結果 各機関の取り組み一覧(3/3)

➤ 以下に、調査対象とした機関における近年の主な取り組みの一覧を示す。各取り組みの詳細は後段を参照のこと。

分類	機関名	取り組み	効果	造形手法*	技術成熟度**
積層造形装置	AddUp(フランス)	コンテナ型の生産用設備モジュール「AddUp FlexCare System」	造形容易化	L-PBF	開発中～実用化
		PBF装置用プロセス制御+最適化ソフトウェア	精度向上 信頼性向上	L-PBF	実用化
モニタリング	NISHIHARA(日本)	レーザー溶接のリアルタイムフィードバック制御	精度向上	—	実用化
	Precitec(ドイツ)	自動車アルミドアにおけるフィラー無し溶接のモニタリングと位置合わせ	精度向上	—	実用化
		レーザー肉盛ヘッドの積層造形への活用	精度向上	L-DED, WAAM	実用化
研究機関・プロジェクト	America Makes(米国)	ナレッジデータベース開発	造形容易化	L-PBF	研究中
		モニタリング、機械学習を利用した予測ツールによる品質保証	造形容易化 信頼性向上	Laser Wire	研究～開発中
		モデル、センサ、分析、制御を組み合わせた造形レシピ作成の効率化・品質保証	造形容易化 信頼性向上	PBF	研究～開発中
	Fraunhofer(ドイツ)	造形品の自律的な後加工を実現するモジュラーコンセプト	造形容易化	L-PBF	研究～開発中
		構造物搭載センサー、超音波を利用したモニタリング	信頼性向上	L-PBF	研究～開発中
産業技術総合研究所(日本)	レーザー超音波を用いた非破壊検査	信頼性向上	L-DED	研究中	

企業概要

所在国	日本	設立	2009年	従業員数	12,160名※	URL	https://www.dmgmori.co.jp/
事業領域	装置 ○(L-PBF,L-DED)	材料	—	ソフトウェア	○	その他	切削加工工作機械
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 精密工作機械に手掛けるGILDEMEISTER(ドイツ、1870年設立)と森精機製作所(日本、1948年設立)が2009年に資本提携、2016年に経営統合してDMG MORI が設立 2017年にL-PBF方式の金属積層造形市場に参入、LASERTEC 30 SLMを販売開始 2020年にL-DED方式のLASERTEC DED hybrid を販売開始 						

※連結、2020年12月31日時点

デジタルファクトリーの構築を提唱



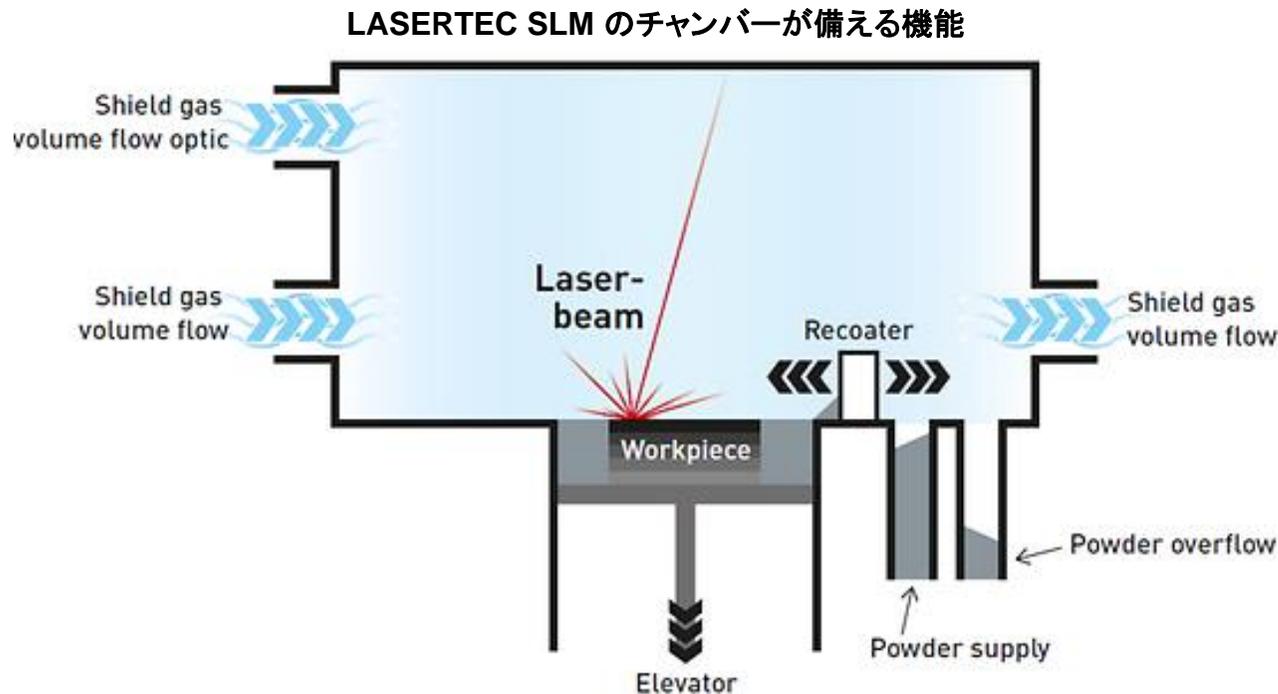
L-PBF方式(上)、L-DED方式(下)の装置を販売



1. DMG Mori

各種チャンバー内の機能(レーザー源と溶融面の距離を一定化等)

造形手法	L-PBF	技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—
概要	<ul style="list-style-type: none"> • LASERTEC SLMにおけるチャンバー内の機能は、下図の通り • ワークスペースの高さを昇降することで、レーザーと溶融面との距離を一定に保つ機構を備える。 • 不活性ガス(シールドガス)の流入機能が存在し、酸化や溶融不足を防ぎ、精度向上・信頼性向上している • レーザー径が35 μmと小さく、精度の高い造形が可能 				



(出典)DMG MORI ウェブサイト

<https://en.dmgmori.com/products/machines/additive-manufacturing/powder-bed/lasertec-12-slm>

1. DMG Mori

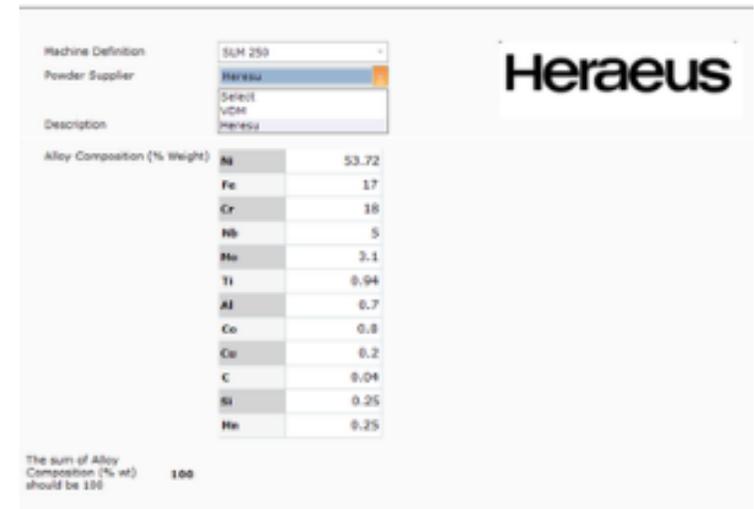
造形パラメータ最適化ソフトウェア「AMOptoMet」

造形手法	L-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	※Intech社製品の搭載		
概要	<ul style="list-style-type: none"> DMG MORI のLASERTEC SLMIには、Intech社製品のパラメータ最適化ソフトウェアAMOptoMetが搭載されている。 AMOptoMetは、あらゆるL-PBF装置で活用でき、最初から適切な造形パラメータを機械学習を用いて予測するためのソフトウェアで、造形テストを繰り返してパラメータを検討する時間を短縮できる。 パラメータは材料サプライヤーが提供する粉末特性に基づく材料データベースのデータを用いて予測される。 造形した部品の特性は材料データベースにフィードバックされ、予測性能の改善に繋げる。 						

材料成分は周期表から選択でき、あらゆる合金組成の造形パラメータを支援



材料サプライヤーが提供する粉末特性に基づきパラメータを予測

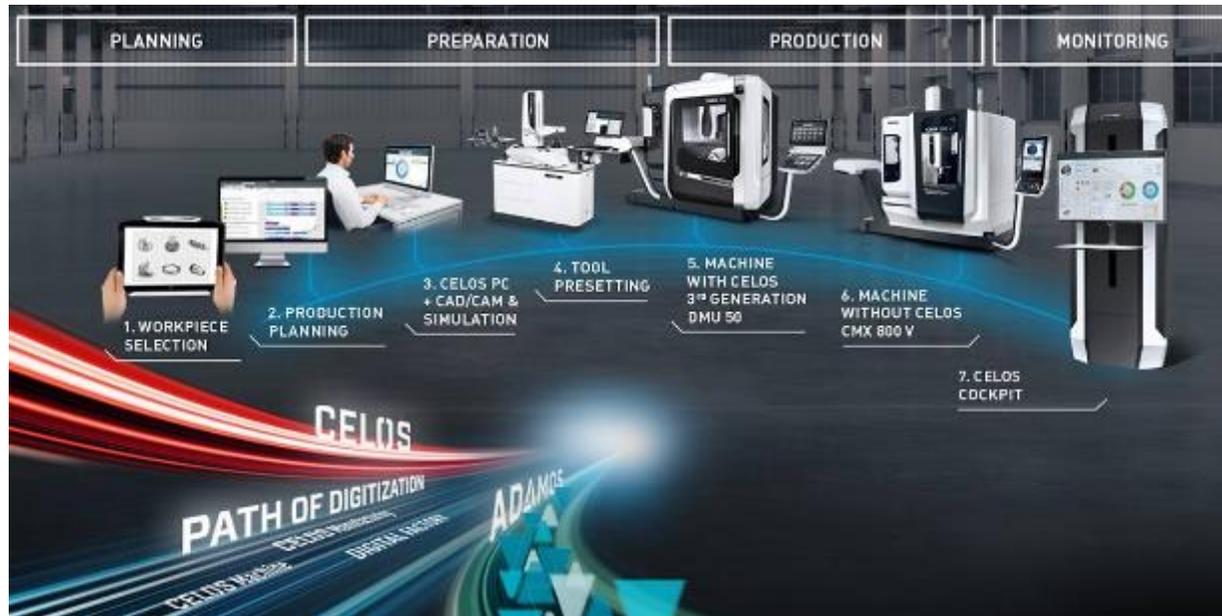


1. DMG Mori

設計、準備、生産、品質保証を一貫して行う統合プラットフォーム「CELOS」

造形手法	L-PBF, L-DED (AM以外の工作機械も対応)			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none"> CELOSは、製造現場におけるデジタルデータを効率的に処理し、関連するジョブデータをリアルタイムで把握可能 操作画面はスマートフォンのようにタッチパネル方式で直観的な操作が可能 LASERTEC SLMでは、CAMプログラミング、材料データ・パラメータ管理、マシンセットアップ、ジョブ制御・管理、カメラベースの造形プロセスモニタリングとそれによる各レイヤー品質のドキュメント作成、造形装置の状態の視覚化等が可能 L-DED方式の装置では、SiemensのNXソフトウェア(設計・シミュレーション等に対応)も併せて搭載されている 						

CELOSの全体像



生産プロセス全体のモニタリング



▲マシンデータの視覚化、アイドル時間の検出等を実施

(出典)DMG MORI ウェブサイト

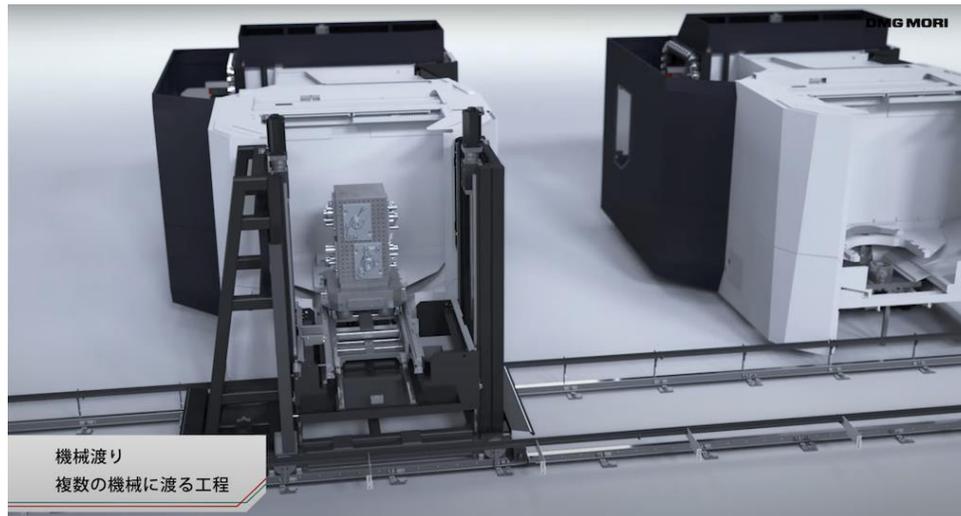
<https://en.dmgmori.com/news-and-media/magazine/technology-excellence-01-2018/digitization-new>

1. DMG Mori

工場の無人稼働を実現するパレット搬送システム「LPS 4th Generation」

造形手法	L-PBF, L-DED (AM以外の工作機械も対応)	技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—
概要	<ul style="list-style-type: none"> ロボットを活用し、複数の装置をまたがってパレットを自動で搬送することで工場の無人稼働を実現 各装置の稼働状況や問題、ワークフローを管理・運用できるほか、最適な生産スケジュールの自動生成等も可能 操作画面はスマートフォンのようにタッチパネル方式で直観的な操作が可能 DMG MORIが販売する全機種に対応 				

複数の装置にまたがる工程を一元管理



稼働状況や問題を分かりやすく可視化



企業概要

所在国	米国	設立	2016年	従業員数	4万名未満	URL	https://www.ge.com/additive/
事業領域	装置 ○ (L-PBF,E-PBF,BJ)	材料	○	ソフトウェア	○	その他	航空機、医療機器等の製造
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> General Electric グループ傘下 GE グループとしては、2011年頃から積層造形技術に対する出資が活発化。2016年に、L-PBF方式の装置を販売するConcept Laser(ドイツ)、E-PBF方式の装置を販売するArcam(スウェーデン)を10億ドル以上かけて買収し、GE Additive を設立 装置販売、材料販売を手掛けると共に、GE Aviationをはじめ、グループ内で積層造形を活用した部品製造を実施 						

L-PBF、E-PBF方式の装置を販売



▲ Concept Lser M2 Series 5

▼ Arcam EBM Spectra H



※BJ方式の装置は開発中

Ti、Ni、Al、Fe、Coをベースとした 金属粉末を販売



※画像はイメージ

航空機エンジン部品 LEAP燃料ノズル



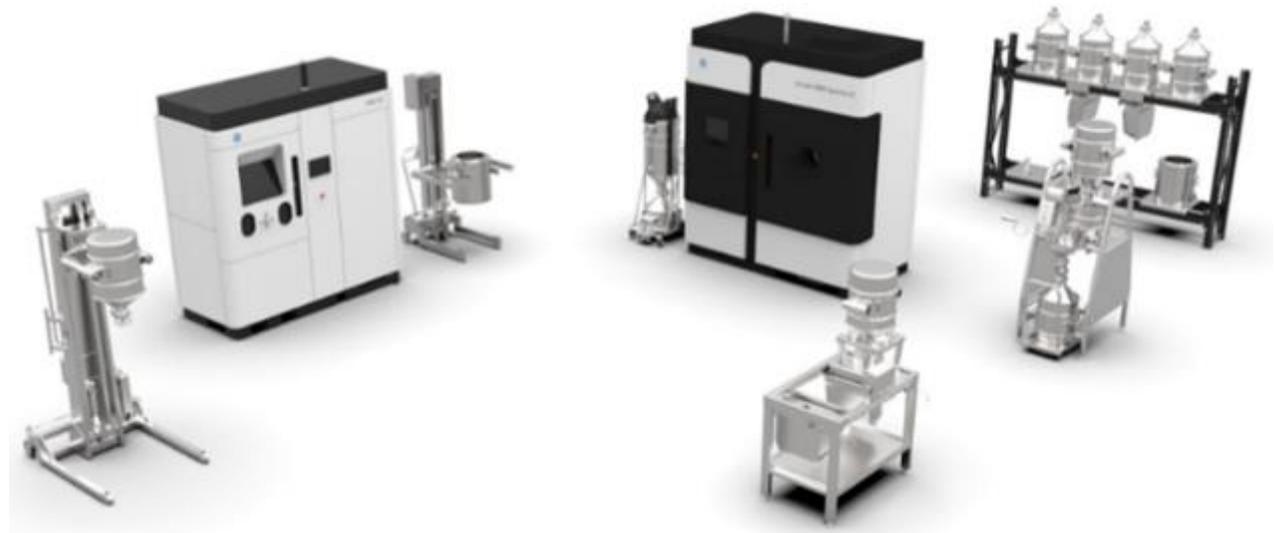
▲ Concept Lser M2 を用いて製造

2. GE Additive

自動粉末リカバリーステーション(PRS30)と周辺機器による高度な粉末処理の自動化

造形手法	E-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none">Arcam EBM装置・造形物の清掃、粉末の再利用(回収、ふるい分け、装置への供給)を自動で実施大量生産のための高レベルな自動化を実現						

PRS30及び高度な自動化を実現する補助機器

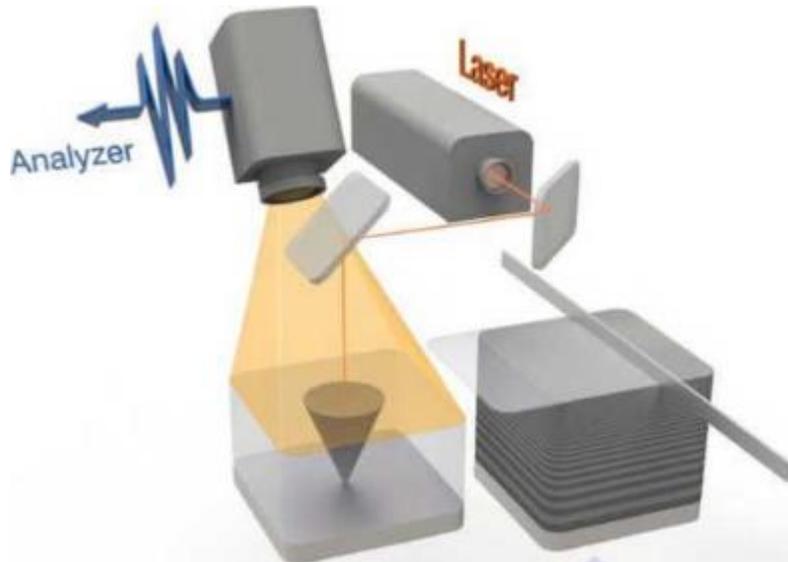


2. GE Additive

リアルタイムモニタリングによる品質保証

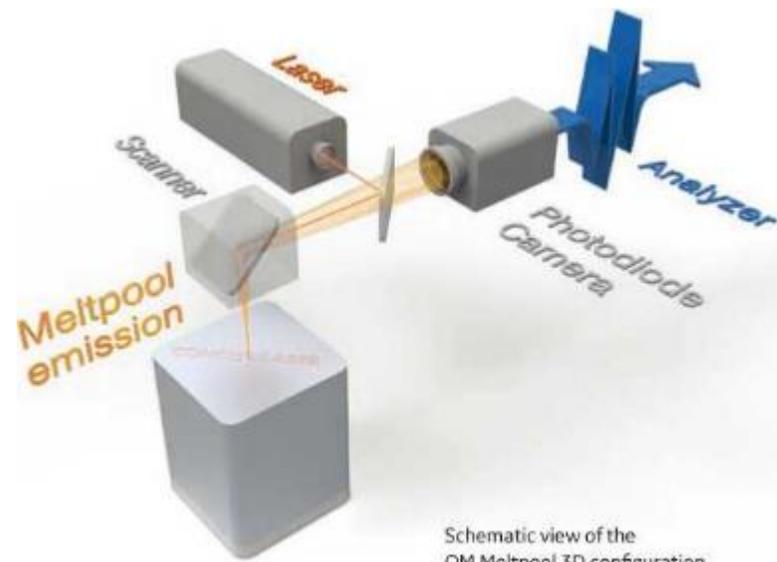
造形手法	L-PBF、E-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none"> L-PBF方式のConcept Laser装置では、QMモジュールを用いてビルドプラットフォームの遠隔映像監視できるほか、メルトプール状態、酸素濃度、圧力、粉末供給量、レーザー出力等をリアルタイムでモニタリング・記録することが可能 メルトプール状態は同軸センサーを用いた赤外線で監視され、プロセス中の欠陥を検出可能。解像度は3D表示で35 pm、サンプリングレート10 kHz以上を実現 E-PBF方式のArcam装置では、Arcam EBM LayerQamと呼ばれるカメラベースの監視システムを用い、造形物の品質検証と欠陥診断を実施 						

QMモジュールによる粉末供給量監視・制御



▲QM Coating

QMモジュールによるメルトプール監視



▲QM Meltpool 3D

(出典) GE Additive 公表資料

https://www.ge.com/additive/sites/default/files/2018-02/1708_QM-pm_EN_update_1_lowres_einzel.pdf

2. GE Additive

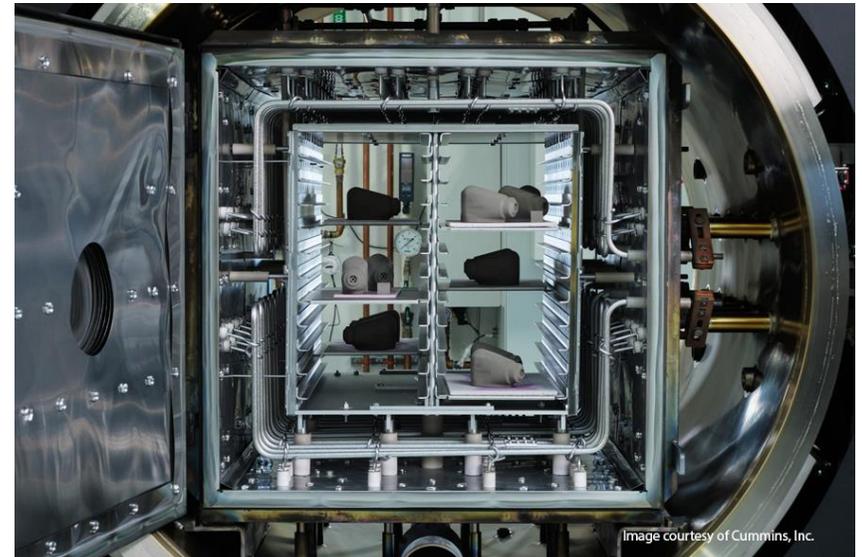
BJ方式の生産ソリューション(パートナーシッププログラム)

造形手法	BJ			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	Cummins(エンジン部品製造)、Sandvik(粉末メーカー)、Wabtec(鉄道部品製造)		
概要	<ul style="list-style-type: none"> GE Additiveは、高品質の部品を低コストで提供するBJ方式の生産ソリューションについて、パートナーシッププログラムを展開。部品開発、パイロットライン、ファクトリーソリューションの3段階のサービスで、パートナーと共にBJ方式の生産技術としての活用を目指す BJ方式はPBFと比較して造形速度が非常に速く、安価な粉末を原料にできるため、安価な大量生産の実現が見込まれる。また、人材のノウハウへの依存性が低く、安全性も高いため、積層造形を利用しやすくなると考えられる。 一方で、現状で実製品の製造に利用するためには、造形した部品の材料特性や強度に課題がある 						

BJ 装置(β版)



Cummins 社における検討の様子



(出典) GE Additive ウェブサイト
<https://www.ge.com/additive/binderjet#>

(出典) GE Additive 公表資料
https://www.ge.com/additive/sites/default/files/2021-11/GEA_Binder%20Jet%20Brochure_US_0.pdf

企業概要

所在国	米国	設立	1986年	従業員数	2,600名以上	URL	https://ja.3dsystems.com/
事業領域	装置 ○ (L-PBF)	材料	○	ソフトウェア	○	その他	—
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> AM装置を初め、関連材料、ソフトウェア、オンデマンド製造サービス、AMを用いたヘルスケアソリューションなど包括的な製品・サービスを展開。 積層造形の基本特許を保有していた古参の大手メーカー(当該特許は期限切れ) 						

L-PBF方式の装置を販売



▲DMP Flex 350

Al、Ti、Ni、Co、Feをベースとした金属粉末を販売

最適な材料を検索

材料名、プリンタ、説明で検索...

次によりフィルタ:

- プリンタ +
- テクノロジー +
- 産業 +
- 用途 +
- 材料タイプ -
- 金属 17
 - ステンレススチール 4
 - チタン 4
 - アルミニウム合金 3
 - チタン 3
 - ニッケル超合金 3
 - コバルトクロム 2
 - マレージング鋼 2

LaserForm AISi7Mg0.6 (A)
軽量で、良好な機械特性および改良された熱伝導
[詳細](#)

LaserForm 316L (B)
滅菌可能で高腐食耐性。
[詳細](#)

LaserForm Ni625 (B)
優れた腐食耐性、良好な靱性および耐熱性
[詳細](#)

LaserForm マレージング鋼 (A)
優れた硬度と強度、良好な耐摩耗性
[詳細](#)

LaserForm 17-4PH (A)
優れた腐食耐性、良好な靱性を備えた高強度
[詳細](#)

LaserForm Ni625 (A)
優れた腐食耐性、良好な靱性および耐熱性
[詳細](#)

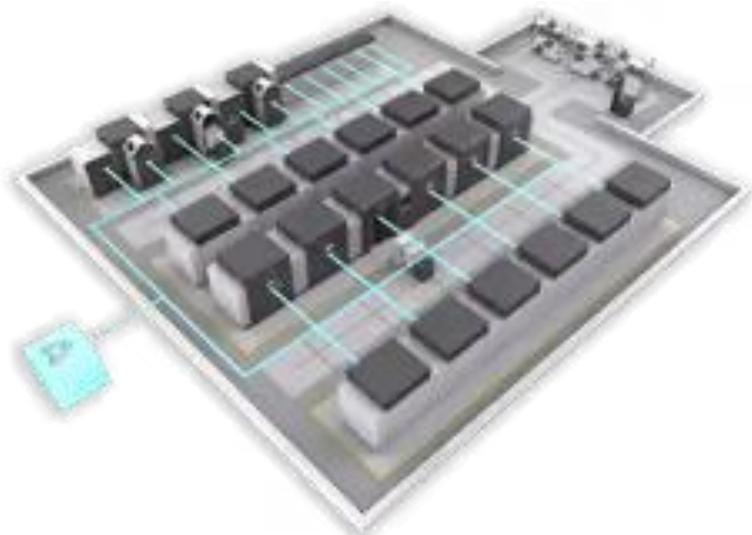
▲ウェブサイト上で求める材料を検索し、データシートを閲覧可能

3. 3D Systems

各モジュール間の機能連携・自動化ソリューション「DMP Factory 500 Solution」

造形手法	L-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none"> 各種機能（プリンター、造形物除去機能、粉末管理・粉末除去、リサイクル等）を持つモジュール間の機能連携・自動化による造形効率化、工作機械とのシームレスな連携 これにより各モジュールを並行して稼働させることができ、設備総合効率(OEE: Overall Equipment Effectiveness)を可能な限り高めることが可能。重要業績評価指標(KPI)を達成に繋がる。 加えて、用途に応じて、個々のファクトリーワークフローを検討できる柔軟性を備える 						

DMP Factory 500 Solutionのコンセプト



▲工場全体でワークフローを効率化

DMP Factory 500 Solution の機能連携イメージ



▲モジュール間の連携をロボットにより自動化

3. 3D Systems

造形パラメータのデータベース整備・テスト

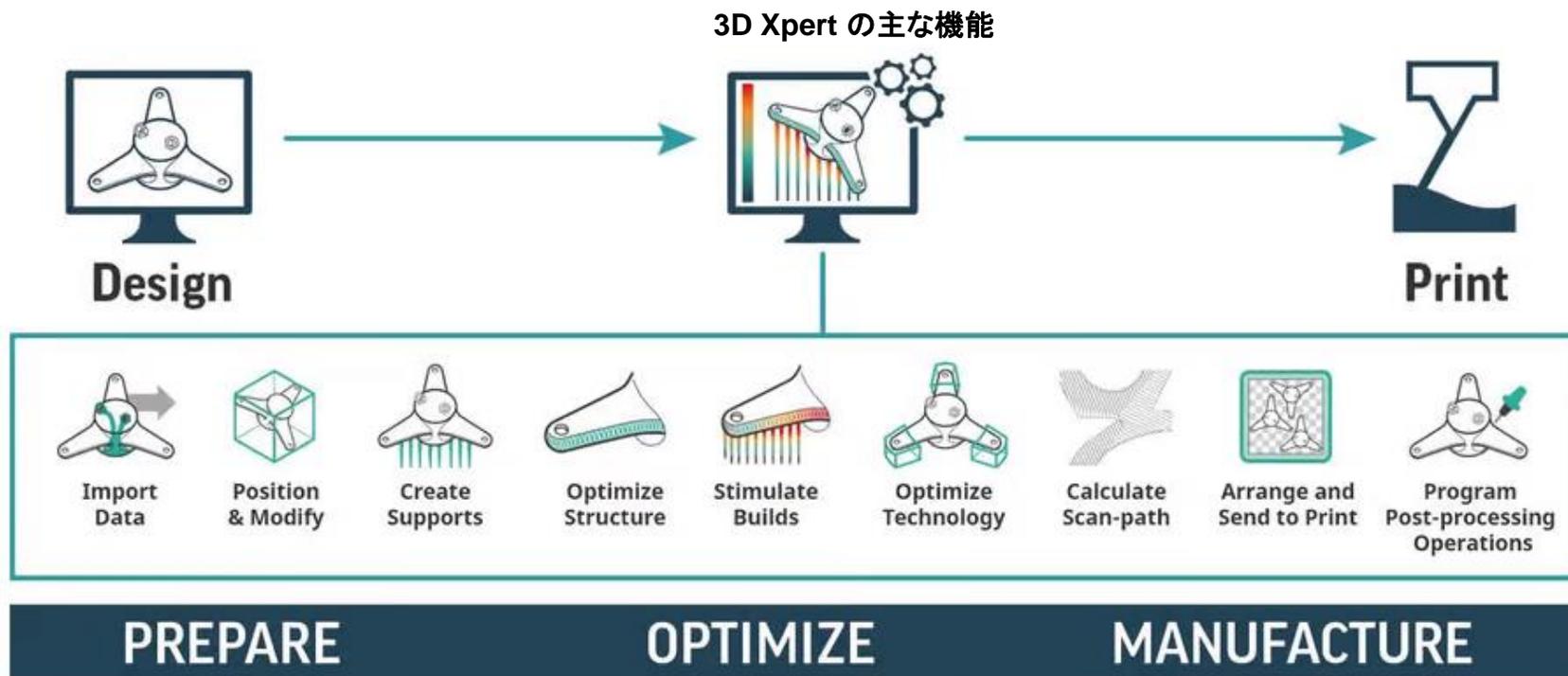
造形手法	L-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none">• 材料の専門家と積層造形アプリケーションの専門家がチームを組み、造形パラメータの広範なデータベースの整備とテストを実施。• これにより、ユーザーが材料データシートで指定された材料特性を一貫して達成可能となり、品質保証に繋がっている。• また、造形パラメータ検討にかかる時間を短縮でき、造形容易化にも寄与している。						

No Image

3. 3D Systems

設計から製造までの全工程を一貫した統合プラットフォーム「3D Xpert」

造形手法	L-PBF	技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—
概要	<ul style="list-style-type: none"> 設計から製造までの全工程を一貫した統合プラットフォーム3D Xpertを提供しており、造形容易化、精度向上、信頼性向上に繋がる各種ソリューションが搭載（次頁以降を参照） また、設計に関わるソフトウェア統合されている。詳細は調査項目（2）を参照。 				

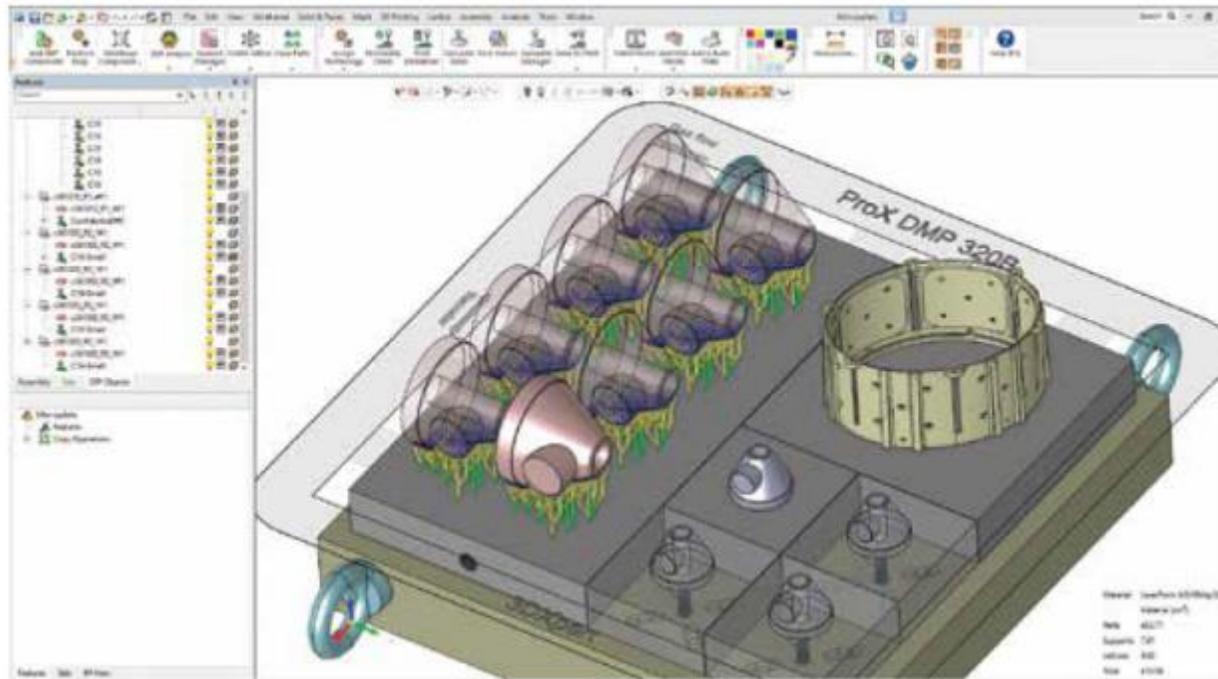


3. 3D Systems

小型パレットの採用により、後工程にスムーズに繋げる連続生産を実現(3D Xpert 機能)

造形手法	L-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none">造形後に後処理が必要な場合、造形物の配置や向きをシステムが一元管理し、ロボットを活用して部品一つ一つを次の工程に移動させる必要がある。特に、複数の小型部品を同時に造形した際にスムーズに後工程に繋げることが困難であった3D Systemsでは、様々なサイズの部品に対応可能な複数の小型パレットを用い、パレットごとに一つの部品を造形することで、各パレットを管理するだけで後工程にスムーズに繋げることを可能にした						

小型パレットをソフトウェア上で管理している様子



(出典)3D Systems 公表資料

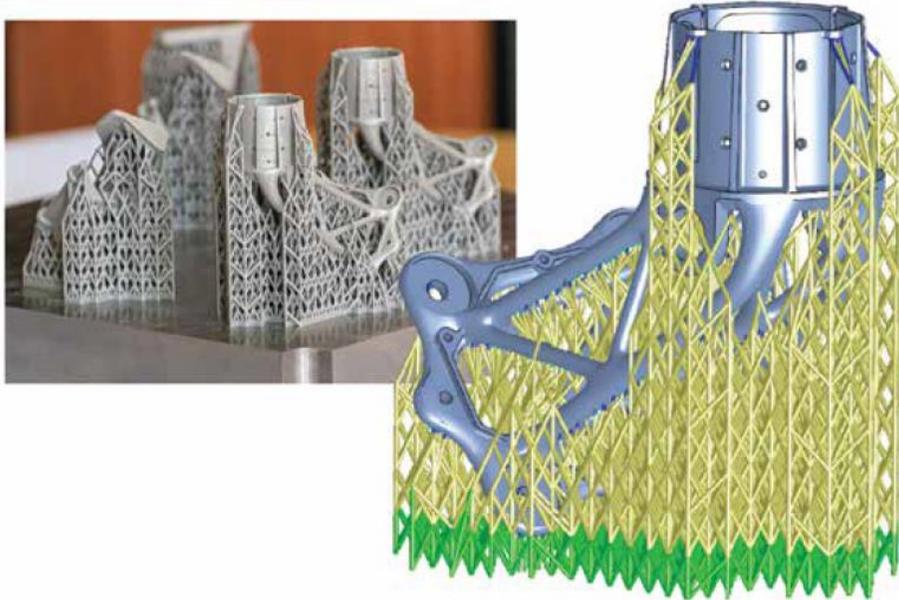
https://ja.3dsystems.com/sites/default/files/2021-05/3d-systems-3dxpert-16-2021-whatsnew-us-a4-2021-04-14-a_ja-JP_web.pdf

3. 3D Systems

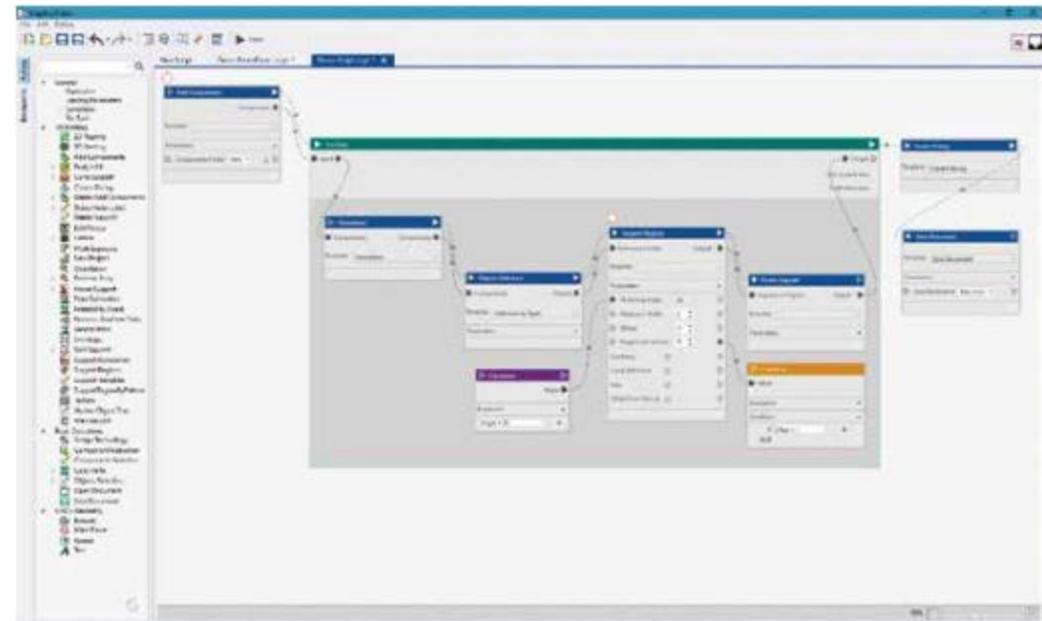
各種造形容易化に繋がるソフトウェア(3D Xpert 機能)

造形手法	L-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none"> 統合プラットフォーム3DXpertには、ユーザーのエンジニアリングコストを低減するための各種ソフトウェアが搭載 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 適切なサポート構造をボタン一つで自動で生成して正確に配置可能 ✓ 造形ワークフローの専門知識・ノウハウをスクリプトの組み合わせとして学習、保存しておくことが可能。これによりワークフローを自動化・標準化できる。スクリプトはカスタマイズして作成することも可能。 						

自動生成されたサポート構造



造形ワークフローを選択・作成できるエディター

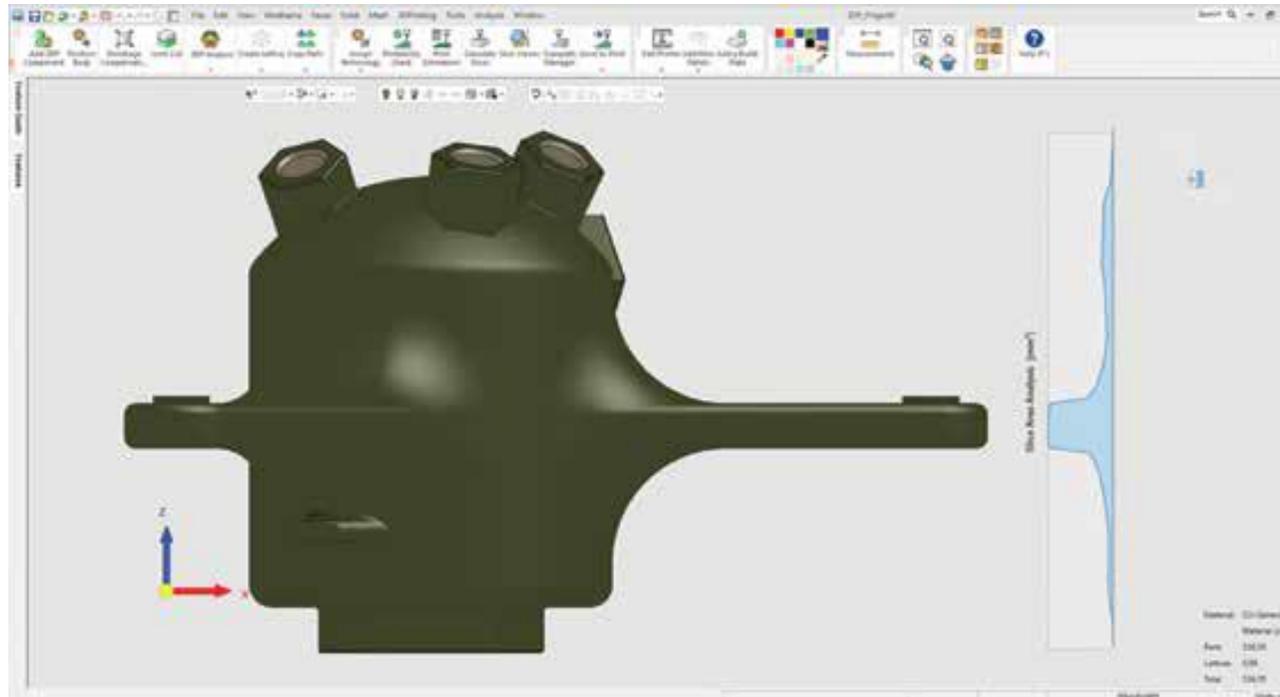


3. 3D Systems

各種パラメータを自動で補正するツール(3D Xpert 機能)

造形手法	L-PBF	技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—
概要	<ul style="list-style-type: none"> 高品質な造形を可能にするためには、Z軸の補正、3Dネスティング、効率的なスライシング等が必要不可欠であり、適切に自動処理する必要がある 本ツールには、部品形状の修復による下向き領域における低層の過熱の補正、自動Z軸補正機能等が搭載 また、スライスエリアの解析においては、Z軸沿いの造形領域をレイヤーごとにグラフで表示、過熱を防止できる 				

スライスエリア解析ツール



(出典)3D Systems 公表資料

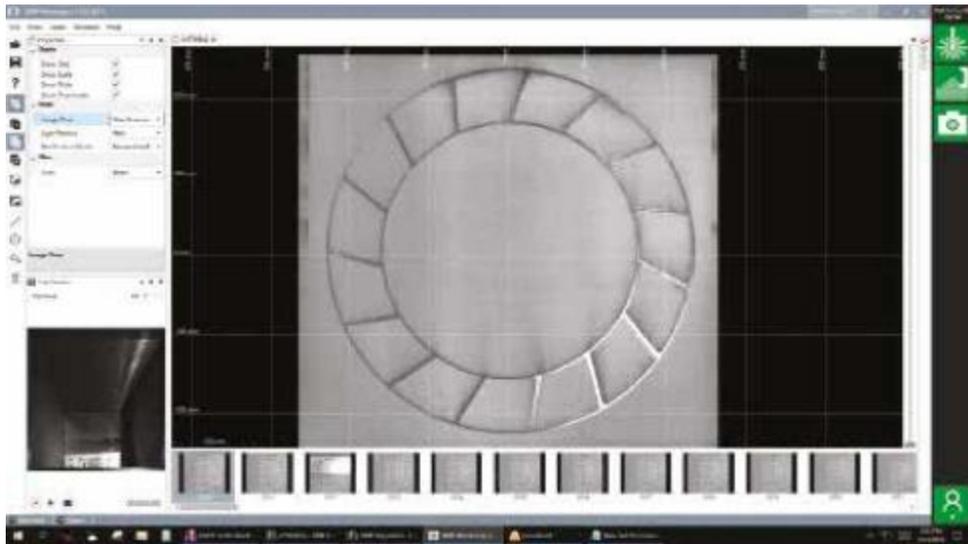
https://ja.3dsystems.com/sites/default/files/2021-05/3d-systems-3dexpert-16-2021-whatsnew-us-a4-2021-04-14-a_ja-JP_web.pdf

3. 3D Systems

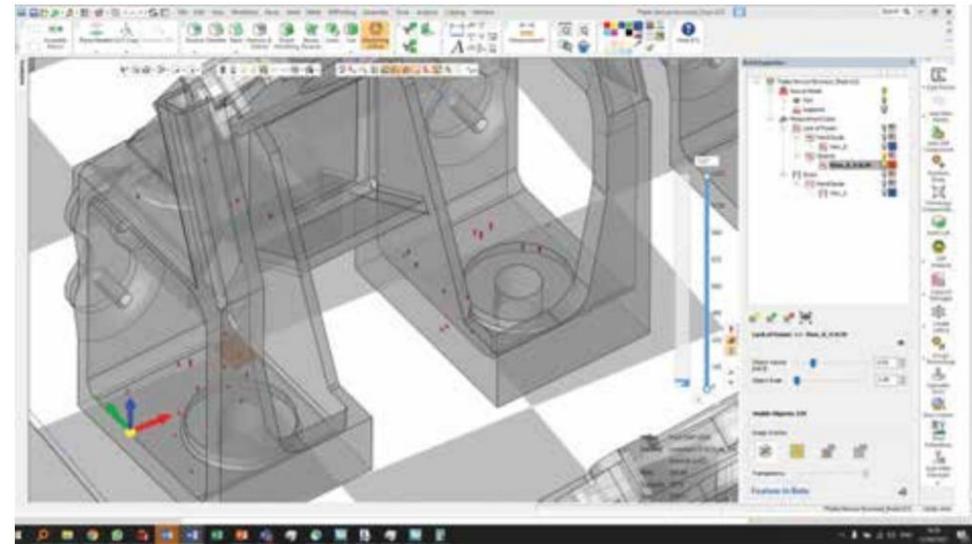
欠陥検知システム「DMP Inspection (DMP Vision)」(3D Xpert 機能)

造形手法	L-PBF		技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—	
概要	<ul style="list-style-type: none"> DMP Inspectionでは、自動で造形後分析を実施し、造形した部品の品質に関する指標を即座に提示。溶融不良、多孔性、下向き領域のドロス、反り、粉末の沈着等の欠陥を可視化される 分析には、造形中の膨大な画像データと、チャンバー内の発光センサで収集したデータを活用 					

造形プロセス中のリアルタイムキャプチャ映像



多孔性事象の融合不良を3Dで可視化した図



(出典)3D Systems 公表資料

<https://ja.3dsystems.com/sites/default/files/2021-03/3d-systems-gf-ms-dmp-factory-500-usen-letter-2020-09-29-web.pdf>

(出典)3D Systems 公表資料

https://ja.3dsystems.com/sites/default/files/2021-05/3d-systems-3dexpert-16-2021-whatsnew-us-a4-2021-04-14-a_ja-JP_web.pdf

企業概要

所在国	ドイツ	設立	1989年	従業員数	1,250名以上	URL	https://www.eos.info/en/
事業領域	装置 ○(L-PBF, 樹脂)	材料	○	ソフトウェア	○	その他	人材育成、受託製造
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> ドイツの老舗装置メーカーで、金属・樹脂の両方の装置を扱う 既に世界全体で3,750台以上の装置を販売しており、国内ではNTTデータザムテクノロジーズ社が販売代理店を務めるほか、2017年からは日本支社を設立して教育や導入コンサルティングを行っている ベンチャーへの出資等も含めたエコシステム構築など、ビジネス基盤の整備に関する取組も多数 						

製品例



▲ EOS M 400-4

EOS製品で最大の装置、造形エリアは400 x 400 x 400 mm

出資・提携先企業



▲ EOS Ecosystem

グループ企業やVCを通じた出資先のほか、各種大手企業とパートナーシップを組んでいる

4. EOS

AM生産用設備開発プロジェクト「NextGenAM」

造形手法	L-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	Premium AEROTEC、Daimler		
概要	<ul style="list-style-type: none"> EOS、Premium AEROTEC、Daimlerの3社で実施していた、AM装置を活用した次世代生産設備を構築するためのプロジェクト(2019年に終了) 材料粉末の管理、AM装置(EOS M400-4)による造形、熱処理、品質検査、サポートプレートからの切り離しの工程を全て自動化しており、各装置間を搬送ロボットやロボットアームが繋ぐ仕組み 同一生産ライン上で全く異なる部品を連続的に製造することができる上、造形ごとのパラメータがデジタルツインとして記録されているため、各部品のプロセス条件を後からトレースすることが可能 現在はパイロット施設としてPremium AEROTECで稼働している 						

設備の全体像



▲ パイロット設備の全体像。各装置の間を搬送ロボットとロボットアームが繋いでいる

ロボットアームによる造形物の取り出し



▲ ロボットアームが造形物を粉末除去装置から取り出しているところ

4. EOS

モニタリング+品質管理ソフトウェア「EOSTATE」

造形手法	L-PBF		技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	Additive Minds, A*STAR等	
概要	<ul style="list-style-type: none"> EOSではジョブ・プロセス管理ソフトEOSPRINT、システム制御ソフトEOSYSTEM、モニタリング・品質管理ソフトEOSTATE、生産システムとの連携ソフトEOSCONNECTを提供している このうちプロセスのモニタリングをしているEOSTATEは4つのモジュールから成り、装置が正しく運転していることを確認するBase、金属粉末が正しく敷けていることを確認するPowderBed、メルトプールを監視するMeltPool、光トモグラフィー(OT)による簡易的な非破壊検査を行うExposure OTの機能を有する OTによる評価機能はユーザーごとにアルゴリズムを調整することも可能であり、市販されるのは世界初とのこと 					

EOSTATE Exposure OTの概要図

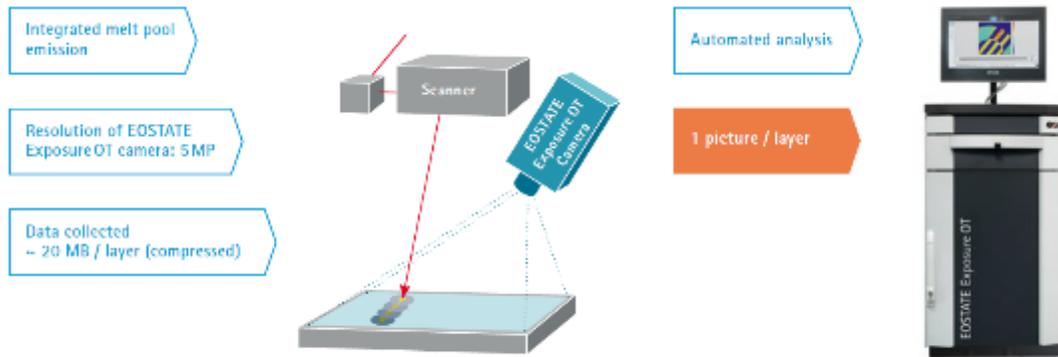


Figure 1: The operating principle of EOSTATE Exposure OT for in-process monitoring [4]

- ▲ EOSTATE Exposure OT ではsCMOSカメラによって近赤外領域の画像を10f/secで撮影し、レイヤーごとに合成して1枚の画像に変換する
これをフォトダイオードによるメルトプールモニタリングと併用して品質評価に用いる

EOSTATE 画面イメージ



- ▲ sCMOSカメラからの画像(左上)とフォトダイオードからのスペクトルデータ(左下)が自動で分析され、欠陥の可能性がある部分がリストアップされる(右)

企業概要

所在国	ドイツ		設立	2006年	従業員数	300名以上	URL	https://www.slm-solutions.com/
事業領域	装置	○(L-PBF)	材料	○	ソフトウェア	○	その他	—
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> SLM Solutions は、世界で初めてマルチレーザーシステムの積層造形装置を販売 2016年に粉末部門を設置し、L-PBF用の粉末材料の提供を開始 パートナーシップによるL-PBFに関する技術共有・サポートやトレーニングソリューションを提供 							

L-PBF方式の装置を展開



▲最新鋭の装置「NXG XII 600」。12本のレーザーを搭載

Al、Ti、Ni、Co、Fe、Cu をベースとした粉末を販売



※画像はイメージ

5. SLM Solutions

装置間をつなぐ自動搬送システム「SLM HUB」

造形手法	L-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none">SLM HUBは、不活性ガス下での冷却用区画や、粉末処理システムを持つ造形物の自動搬送装置粉末処理では、粉末供給、基盤の回転・振動によるパウダー分離、リユース用のふるいも自動で実施L-PBF方式の装置「SLM 800」を最大5台連携させることが可能で、装置稼働率を自動で最適化可能。これにより量産体制の構築とコスト低減を実現						

自動搬送システム「SLM HUB」



(出典) SLM Solutions ウェブサイト

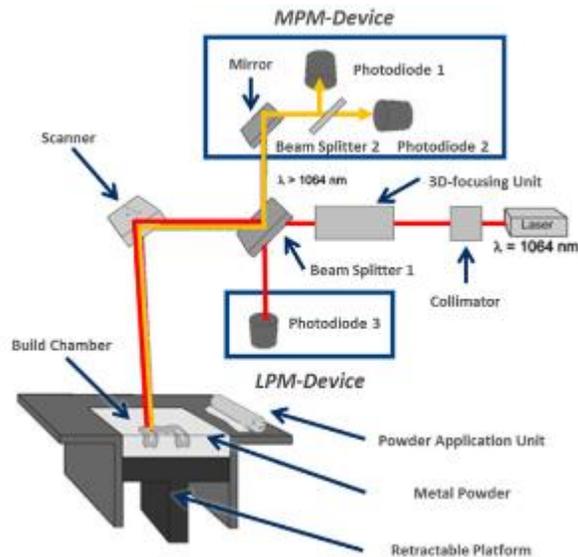
https://www.slm-solutions.com/fileadmin/Content/Machines/SLM_R_800_Web.pdf

5. SLM Solutions

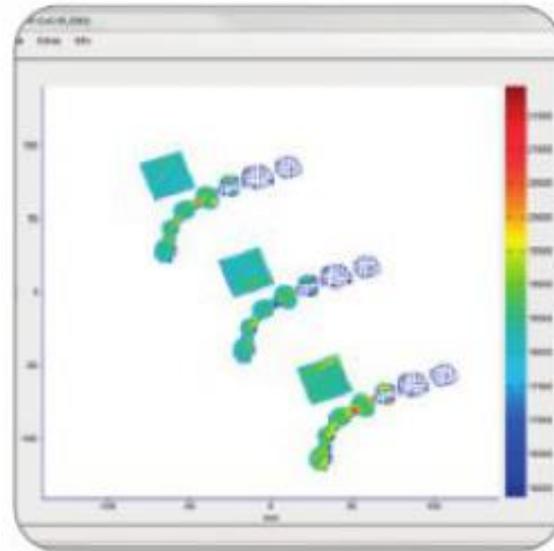
マルチプルモニタリング、レーザーパワーモニタリング、レイヤーコントロールシステム

造形手法	L-PBF		技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—	
概要	<ul style="list-style-type: none"> 生産プロセスにおける品質保証ツールとして、マルチプルモニタリング(MPM)、レーザーパワーモニタリング(LPM)、レイヤーコントロールシステム(LCS)を提供 MPMでは、パイロメータ(フォトダイオード)を用いて熱放射を10 ps(100 kHz)でリアルタイムで測定・記録。各層の熱放射プロット画像を出力でき、部品の凹凸や欠陥の検出が可能 LPMでは、レーザーの設定出力と造形プロセス中の実際の出力を記録。また、重大な出力異常が生じた場合は警告を発する LCSは、パウダーベッドの状態をカメラで監視し、レイヤーを一層毎に品質を検証・記録 					

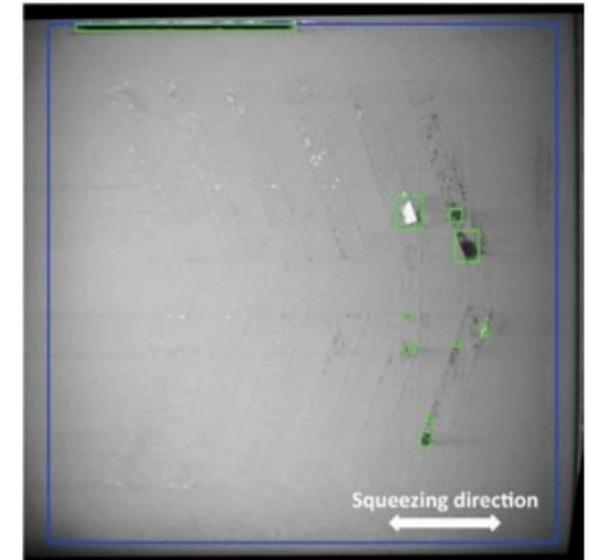
MPM(旧式)、LPMの光学デザイン



MPM(新式)による熱放射プロット画像



LCSで検出した欠陥



(出典)D. Albertsa et. al., “High speed melt pool & laser power monitoring for selective laser melting”

(出典)SLM Solutions ウェブサイト
<https://pdf.aeroexpo.online/pdf/slm-solutions-gmbh/melt-pool-monitoring-mpm/170578-4425.html>

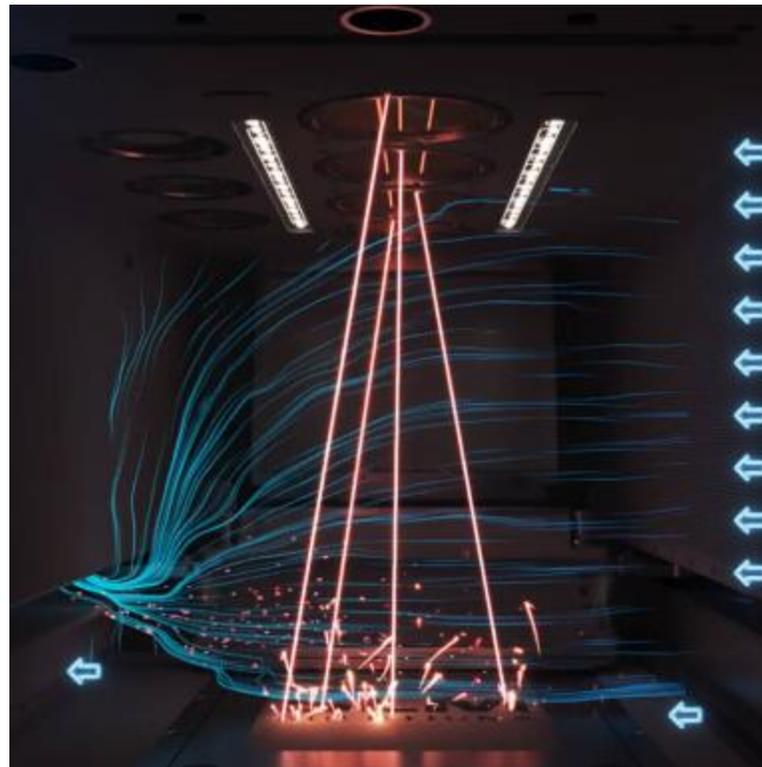
(出典)山田ら「選択的レーザー溶融法の画像処理による粉末床評価技術の開発」

5. SLM Solutions

層状の不活性ガスフローによる品質向上

造形手法	L-PBF	技術成熟度			研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none">層状の不活性ガスフローにより、クリーンな造形環境を構築し、造形品質を向上(特許取得)粉末の輸送、ふるい分け、保管も、不活性ガス環境下で実施						

層状の不活性ガスフローのイメージ



企業概要

所在国	オランダ	設立	2012年	従業員数	100名以上	URL	https://www.additiveindustries.com/
事業領域	装置 ○(L-PBF)	材料	—	ソフトウェア	○	その他	—
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 工業用金属積層造形システムの世界初の専用機器メーカー 粉末製造は実施していないが、様々な材料の造形プロセスの検証は実施しており、適切な粉末供給を保証 						

L-PBF方式の装置を展開



▲実生産用の装置「Metal FAB1」

6. Additive Industries

マルチビームキャリブレーションツール

造形手法	L-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none">2021年末のFormNextIにおいて、MetalFAB1から150以上の項目がアップデートされたMetalFABG2シリーズを発表アップデートの一つとして、自動のマルチビームキャリブレーションツール「MFCalibrate」が導入されたこれまで手動で行っていたキャリブレーションプロセスでは1日ほどかかる場合もあったが、本ツールにより1時間以内に自動でビーム設定が可能となった。また、ビーム手順の自動化により、再現性のある生産出力を保証できるようになった						

MetalFABG2シリーズ



7. AddUp

企業概要

所在国	フランス	設立	2016年	従業員数	350名	URL	https://addupsolutions.com/
事業領域	装置 ○(L-PBF, DED)	材料	—	ソフトウェア	—	その他	受託製造
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> フランスの代表的な装置メーカー 大手エンジニアリング企業であるFivesとMichelin(いずれもフランス企業)によるジョイントベンチャーとして発足し、同じくフランスのDED装置メーカーであるBeAM等を買収することで現在の体制になった 欧州を中心に受託製造用の拠点を複数保有しており、合計でPBF装置34台、DED装置4台のほか、後加工および評価用の各種設備を揃えている 特に生産への活用を重視した開発を行っており、自社拠点ではベルトコンベアやロボットアームを用いた自動化を進めている 						

製品例



▲ FormUp 350

L-PBF装置、造形エリアは350 x 350 x 350 mm
追加オプションやユーザーが操作できるパラメータが多く、自由度が高い

パートナー企業



▲ パートナーシップ締結先

粉末管理システムのAZO(独)、後加工装置のPostProcess Technologies(米)、
煤用フィルタリングシステムのHerding(独)、精密時計部品メーカーKIF Parechoc(スイス)

7. AddUp

コンテナ型の生産用設備モジュール「AddUp FlexCare System」

造形手法	L-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none">積層造形装置を導入するために必要な安全管理設備一式(エアフィルタ、酸素濃度・湿度管理、耐火設備、オペレータ用のエアロックなど)をセットにしたコンテナ型のモジュール既存の設備から電源・ガス・上水・下水を繋ぐだけで造形が可能になるため、手軽に積層造形装置を導入できる生産スケールに合わせた縮小／拡大が可能なモジュール構造であり、最大で積層造形装置5台を併設できるほか、PBF装置・DED装置を併設することも可能						

AddUp FlexCare System 外観



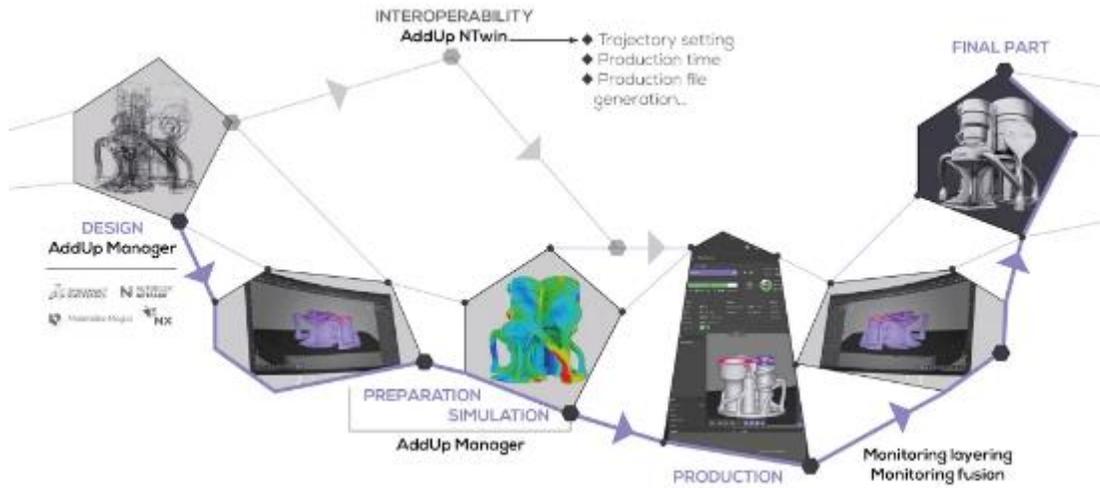
- ▲ 金属粉末は爆発やオペレータの健康被害を防ぐため、取り扱いに一定の保護設備が必要
寸法は約12.2 x 2.5 x 2.9 mであり、コンテナ型のためスペースの無駄なく並べられる
通常のコンテナと同様に運搬できるかどうかは不明

7. AddUp

PBF装置用プロセス制御＋最適化ソフトウェア

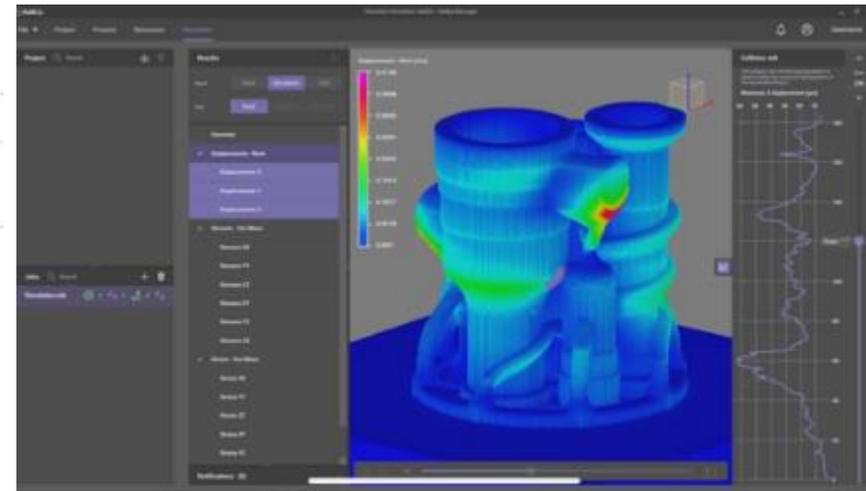
造形手法	L-PBF	技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	ESI Group
概要	<ul style="list-style-type: none"> • AddUpでは安定的な造形のためのソフトウェアシリーズとして装置の制御用ソフトAddUp Manager、造形中の状況をリモート監視＋記録するためのソフトAddUp Dashboards、プロセス中～後に発生する歪みを計算するためのシミュレーションソフトDistortion Simulation AddOnを提供している • Dashboards 及び Distortion Simulation AddOnはPBFの追加オプションとして利用できるものであり、一部の機能はユーザーに合わせたカスタマイズも可能 				

AddUpソフトウェアシリーズの繋がり



▲ 設計～最終製品までの各所で機能を発揮する
AddUp ManagerはCatia (Dassault Systems), NX (Siemens), Pro/E (PTC), Inventor (Autodesk), Solidworks (Dassault Systems) 等の主要なCADソフトと互換性がある

Distortion Simulation AddOn 画面イメージ



▲ 造形中の熱影響をシミュレーションし、造形中～造形後(プレートからのリリースまで)に発生する歪みを予測する
これによりユーザーは少ない試行回数で目的の造形物が得られるようになる

企業概要

所在国	日本	設立	2005年	従業員数	16名	URL	https://nishihara2017.co.jp/	
事業領域	装置	—	材料	—	ソフトウェア	—	その他	レーザーモニタリング装置
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 加工用レーザー用の各種モニタリング装置およびレーザーコントローラのメーカー 元はマイコンの受託製造企業だが、大阪大学とレーザー溶接の赤外線モニターを共同開発したことをきっかけに現業に転換 SUBARU・東芝・パナソニック・キヤノン・村田製作所等の大手メーカーや、古河電機工業・アマダウエルドテック・菱電商事などの加工用レーザー装置関連企業に納入実績あり 積層造形用途の製品は特に無し 							

製品ラインナップ

リングセンサ

RING SENSORS

3つの内蔵センサでレーザー出力や保護ガラスの状態をインラインでモニタリングすることが可能です。



レーザーコントローラ

LASER CONTROLLER

レーザー装置に接続し、細やかな波形設定や製造ラインに適したシステムを構築可能です。



レーザー溶接モニタ

LASER MONITORS

レーザー溶接時の溶融部から発生する熱放射光、レーザー反射光、ブルーム光などを測定し溶接不具合をインラインで検出します。



保有特許

取得済み

- 2013年 「欠陥電極検出装置」
- 2019年 「電子部品用レーザー溶接装置及びレーザー溶接方法」
- 2019年 「画像処理装置と画像処理方法及びレーザーまたはTIG溶接装置とレーザーまたはTIG溶接装置の制御方法」

申請中

- 2015年 「光測定装置」
- 2015年 「レーザー溶接監視装置とレーザー溶接監視方法」
- 2016年 「保護ガラスの汚れ検出装置とそれを備えるレーザー加工機及び保護ガラスの汚れ検出方法」
- 2016年 「ノズルチップの配置調整方法」共同申請
- 2018年 「保護ガラスの汚れ検知装置及び保護ガラスの汚れ検知方法」
- 2019年 「保護ガラスヒューム汚れ検知」

(出典)NISHIHARA会社案内パンフレット

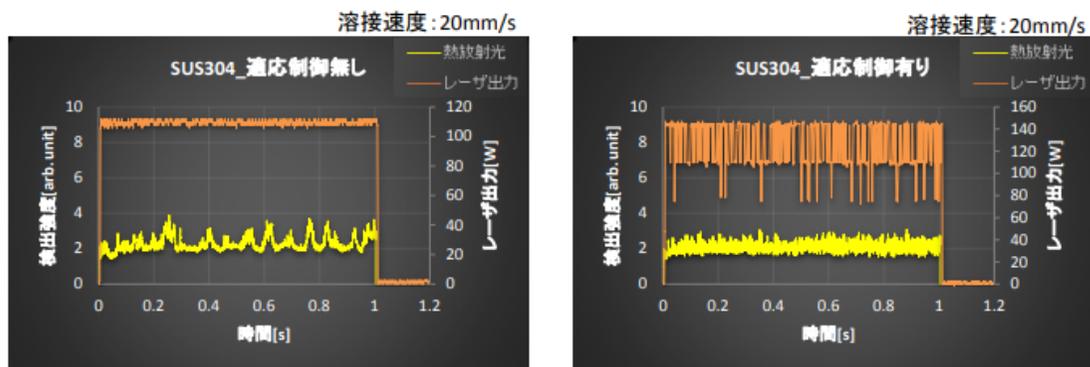
8. (株)NISHIHARA

レーザー溶接のリアルタイムフィードバック制御

造形手法	レーザー溶接(積層造形ではない)	技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—
概要	<ul style="list-style-type: none"> 溶接モニター「NAS-3000/3010」を用いて加工用レーザーを用いたSUS304(t=0.5mm)の重ね合わせ溶接をモニタリング、リアルタイムにフィードバック制御を行った事例 集光ユニットで熱放射光を測定し、レーザー出力が一定になるように制御 結果として、安定した表面溶融幅が得られたほか、照射開始～溶け込み飽和までの不安定領域が削減された 				

熱放射光・レーザー出力のスペクトル

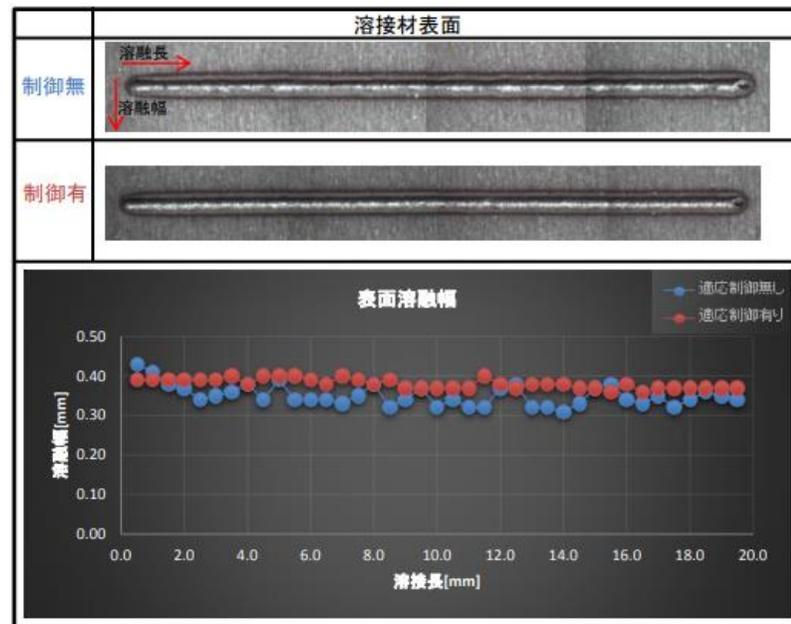
◆ SUS304 (t=0.5mm重ね合わせ溶接) リアルタイムフィードバック制御事例



熱放射光が検出強度2.0付近で一定になるようにレーザー出力をリアルタイムで制御する

▲ リアルタイムに出力を制御することで、熱放射光を一定にしている

溶接結果

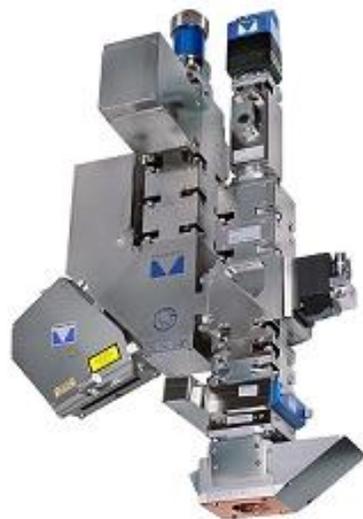


▲ 入熱が安定したことで溶融幅が安定、より高品質なワークが得られた

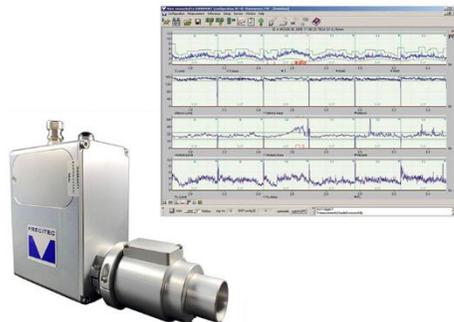
企業概要

所在国	ドイツ		設立	1971年	従業員数	750名	URL	https://www.precitec.com/
事業領域	装置	△(L-DED, WAAM)	材料	—	ソフトウェア	—	その他	3D計測機器、レーザー切断ヘッド、プロセスモニタリング装置
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> • オプティクスに強みを持つ、レーザー加工ヘッド及び周辺装置のメーカー • 家族経営の老舗企業だが、現在は日本を含む世界各地に拠点を持ち、従業員数は750名にのぼる • 技術を強みにしているため研究開発に力を入れており、年間予算の15%は研究開発投資用に確保されている • ラインナップのうち、レーザー肉盛用のヘッドが積層造形用に活用可能 							

モニタリング関連製品ラインナップ



▲ 溶接プロセスをPre(前方)／In(溶融箇所)／Post(後方)の3か所でモニタリングする「WeldMaster4.0 Scan & Track & Inspect」



▲ プラズマ・温度・反射光の3つのセンサーを使ってモニタリング、良品／不良品を判断する「Laser Welding Monitor (LWM)」



▲ レーザーの焦点位置を最適化する「Focus Finder」



▲ インプロセスで溶融深さを測定する「In-Process Depth Meter」

9. Precitec

自動車アルミドアにおけるフィラー無し溶接のモニタリングと位置合わせ

造形手法	レーザー溶接(積層造形ではない)	技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	Audi
概要	<ul style="list-style-type: none"> 溶接モニター「WeldMaster4.0 Scan & Track & Inspect」を用いてアルミドアのフィラー無し溶接をモニタリング、リアルタイムでビーム制御と欠陥検知を行った事例 溶接前・溶接位置のそれぞれで形状情報を測定し、照射位置やビーム形状を制御 また溶接後でも形状を検査することで、ポア・ギャップ等の欠陥を検知 Audi A8のドアに用いることで、ランニングコストを95%、消費電力を50%、CO2排出量を25%削減した 				

溶接中の外観



▲ 溶接の前／中／後で形状を計測、レーザーの位置合わせに活用している

検知できる欠陥

WeldMaster Inspect for quality assurance

- Seam inspection by laser line triangulation and grey scale illumination
- Combined solution (WeldMaster Scan&Track | Inspect)
- Usage of the coaxial tracking camera
- No additional inspection station needed
- Check of
 - 3D geometry
 - Mismatch
 - Seam width
 - Pores and holes
 - Notches
 - Gaps

WWW.PRECITEC.COM

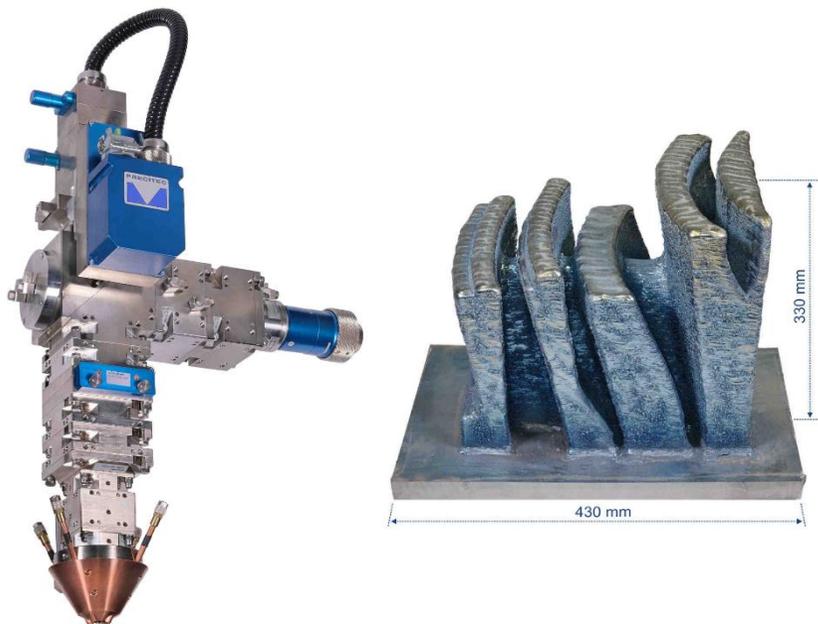
▲ 出力不足、ポア、溶接ギャップの不足／過剰などを検知できる

9. Precitec

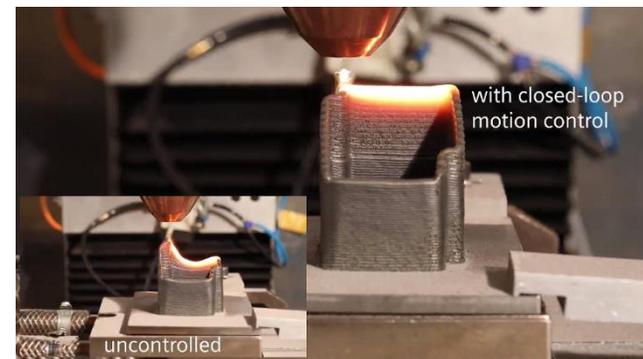
レーザー肉盛ヘッドの積層造形への活用

造形手法	L-DED, WAAM	技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	Siemens、マツモト機械
概要	<ul style="list-style-type: none"> Precitecは粉末及びワイヤーを用いた肉盛加工用のレーザーヘッドを保有しており、いずれも積層造形用途に活用可能 特に粉末用のヘッド「YC30 YC52」ではSiemensのプラットフォームを活用して自社のモニタリング装置 (Inprocess Depth Monitor) の測定結果をプロセスにフィードバック、CADデータと比較しながら精密な造形が可能 ワイヤー用の「Coax Printer」でもクローズドループでの制御が可能であり、装置化でマツモト機械と提携している模様 				

粉末材料用のレーザーヘッド「YC30 | YC52」



ワイヤー材料用のレーザーヘッド「Coax Printer」

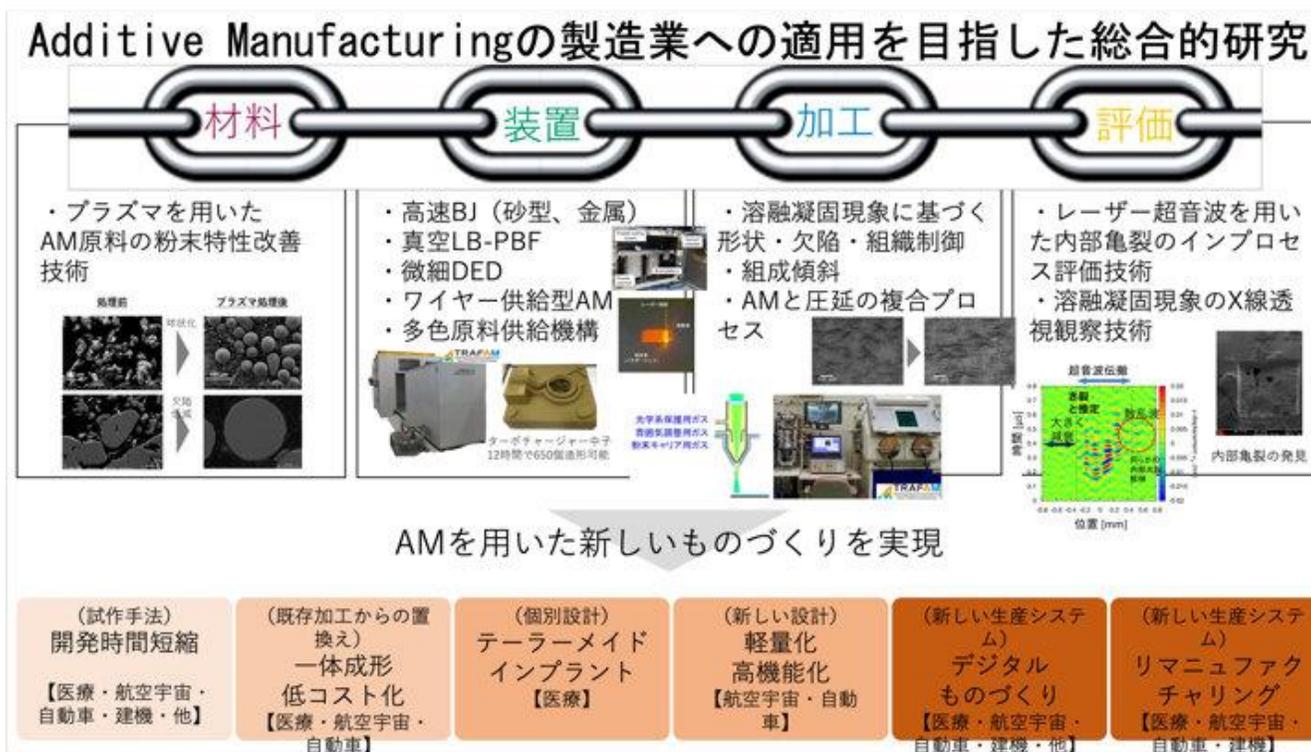


▲ Siemensとの提携により、リアルタイムな位置制御による正確な造形が可能に

▲ モニタリングに基づくクローズドループ制御が可能であり、造形物の歪みを軽減できる

研究機関概要

所在国	日本	設立	2001年	従業員数	2,300名程度	URL	https://www.aist.go.jp/
事業領域	装置 ○	材料	○	ソフトウェア	—	その他	—
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 日本最大の公的機関で、社会課題の解決に向けたイノベーションを主導する研究開発を実施 5領域2総合センターがあり、全国11か所の研究拠点で研究開発や産官学連携に向けた取り組みが行われている そのうち、エレクトロニクス・製造領域の製造技術研究部門でAMに関する研究開発が実施されている 						

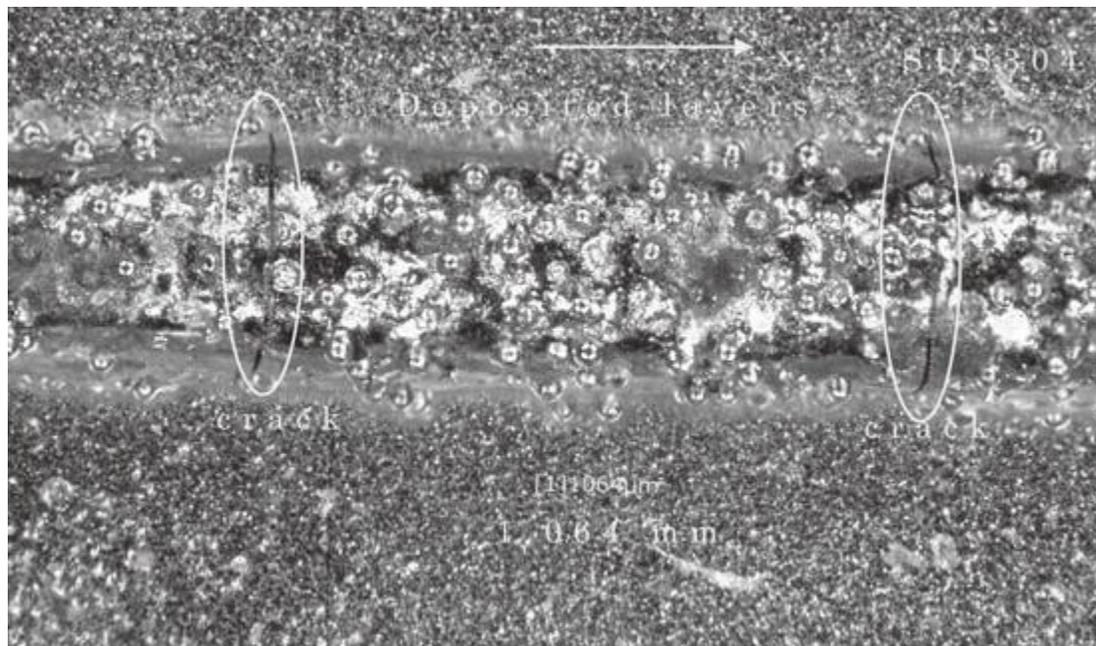


10. 産業技術総合研究所

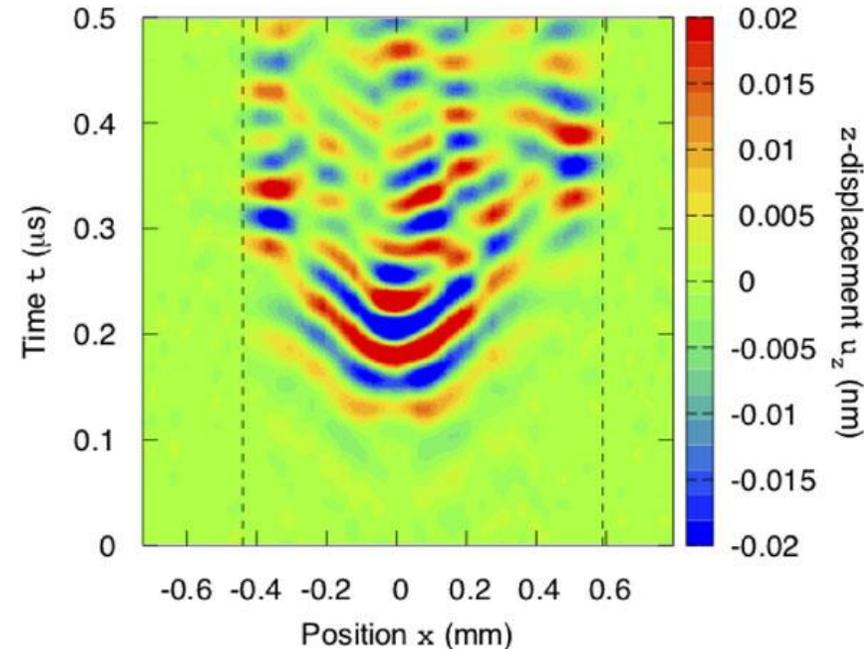
レーザー超音波を用いた非破壊検査

造形手法	L-DED			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	石川工業研究所		
概要	<ul style="list-style-type: none"> • L-DED方式の装置で造形した薄いジグをレーザー超音波により検査するシステムを開発 • レーザー超音波を用いてバルク波を生成し、断面に存在する400μm\times600μm程度の亀裂の検出できることを示した • 造形中の欠陥検知にレーザー超音波の活用が有効であることを示したとしている 						

ジグの欠陥



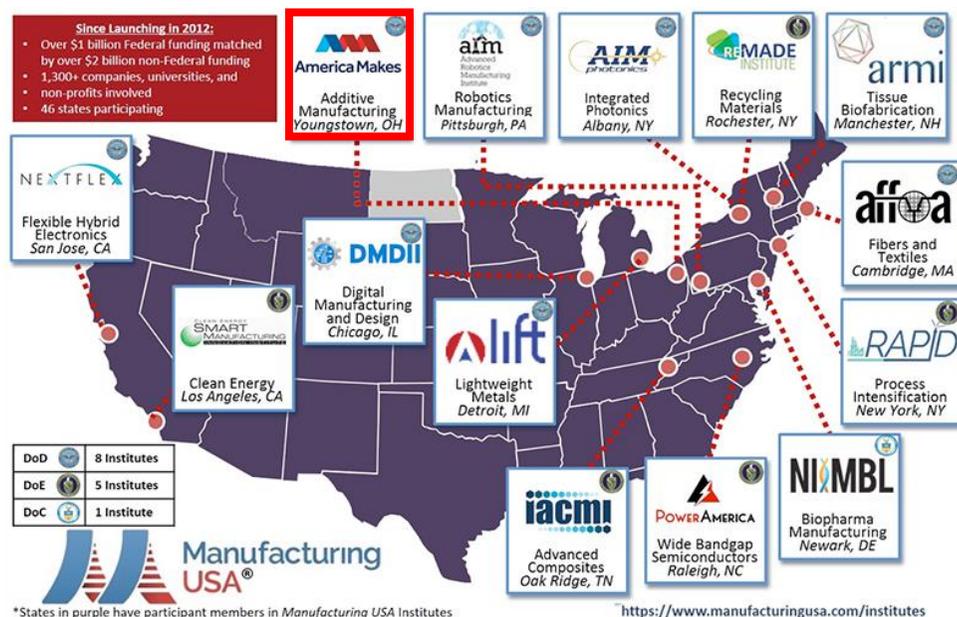
レーザー超音波で計測した様子



研究機関概要

所在国	米国	設立	2012年	従業員数	不明	URL	https://www.americamakes.us/
事業領域	装置 ○	材料	○	ソフトウェア	○	その他	—
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> 製造技術の高度化を目指した研究機関ネットワークであるManufacturing USA の16の研究組織の一つで、積層造形技術の研究開発、産学連携を推し進めるアクセラレーター。主な資金配分機関はDepartment of Defense (DoD: 国防総省) メンバーシップ機関が連携して実施する研究開発プロジェクトを多数とりまとめる。研究開発領域は、設計、材料、造形プロセス、バリューチェーン、基盤となる機械学習、モデリング等、積層造形に関する広範な技術が対象 						

Manufacturing USAの研究組織



▲ America Makes は Manufacturing USA の研究組織の一つ
図は14研究組織だった際のもの。現在は16研究組織に増加

America Makesのメンバーシップ特典

	Silver \$15K	Gold \$50K	Platinum \$200K
Access to new R&D funding through networking and resources	✓	✓	✓
Access to member-only data and resources (Digital Storefront)	✓	✓	✓
Access to America Makes intellectual property (IP)	✓	✓	✓
Access to consortium developed intellectual property for R&D	✓	✓	✓
Lead project teams in America Makes project calls	✓	✓	✓
Participate in America Makes directed project calls	✓	✓	✓
Receive PDF versions of the Wohlers Report	1	1	3
Participate in the America Makes @Program	✓	✓	✓
Access to discounted or free services (Service Vouchers)	✓	✓	✓
Attend member-only events	✓	✓	✓
Participate in America Makes Roadmap activities	✓	✓	✓
Serve on America Makes' advisory and working groups	✓	✓	✓
Gain priority placement of interns or fellows at America Makes	✓	✓	✓
Embed employees at America Makes facility	✓	✓	✓
Use of consortium developed IP for commercialization	✓	✓	✓
Hold Governance board seat	✓	✓	✓
Receive complimentary silver membership for gifting	✓	Discounted	✓
Obtain royalty-free use of consortium developed IP for commercialization	✓	✓	✓

▲ 現状の参加機関は200機関以上。年会費を支払うことで、研究開発プロジェクトへの参加や知財利用権等の特典を得られる

(出典) Defense Innovation Marketplace ウェブサイト
<https://defenseinnovationmarketplace.dtic.mil/map-manufacturing-usa/>

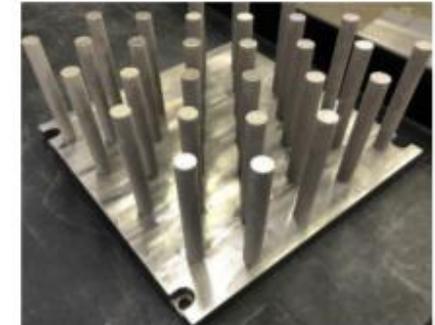
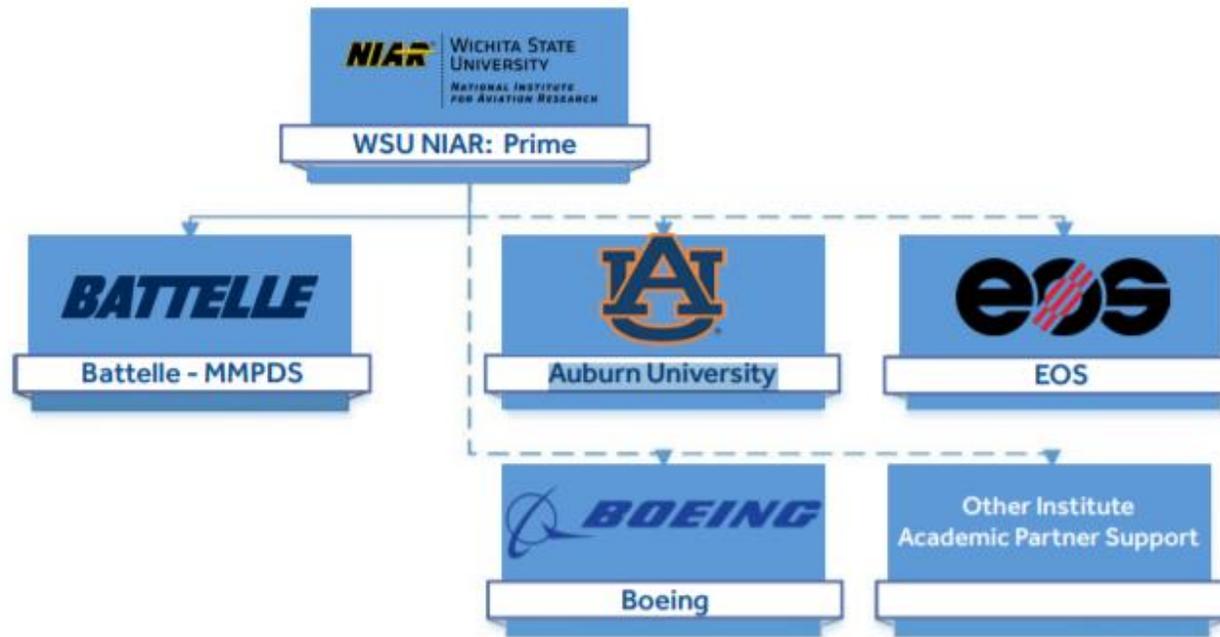
(出典) America Makes ウェブサイト
<https://www.americamakes.us/membership/>

11. America Makes

ナレッジデータベース開発

造形手法	L-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	WSU NIAR、Boeing、Battelle、Auburn University		
概要	<ul style="list-style-type: none"> 将来的な公的な設計許容データベースの作成に向け、データのフレームワーク開発と、統計的に実証済みの材料特性と金属積層造形プロセスに関するデータセットの収集を実施するプロジェクト「Joint Metal Additive Database Definition (JMADD、2020-2022)」 最初は、異なる3ヶ所 (Boeing、Auburn University、NIAR) でEOSM290装置を用いたTi6Al4V合金の造形を対象として、データセットを作成している。 						

プロジェクトのスキーム



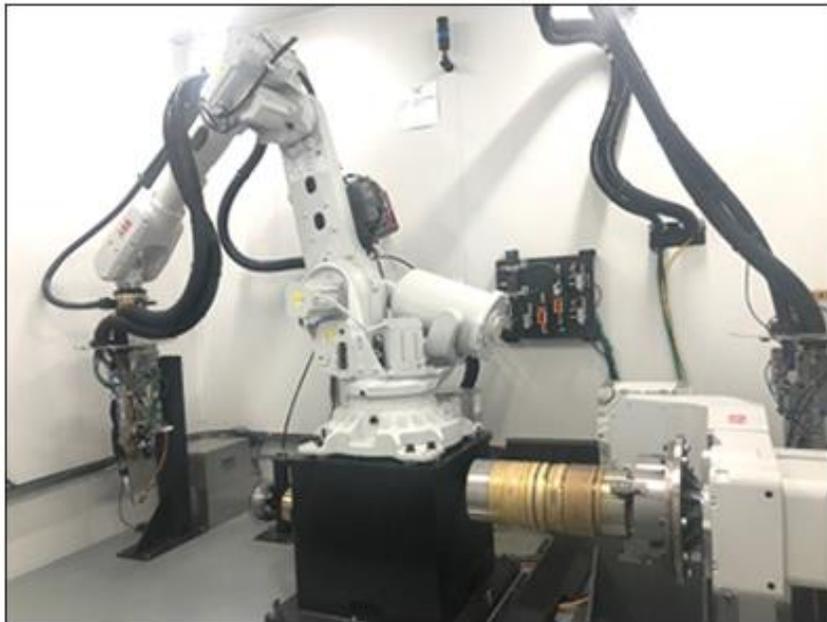
Machines (EOS M290) at three locations are utilized to create the samples used to obtain bulk material data with metallic materials properties development and standards (MMPDS).

11. America Makes

モニタリング、機械学習を利用した予測ツールによる品質保証

造形手法	Laser Wire			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	Lockheed Martin、Oak Ridge National Laboratory他		
概要	<ul style="list-style-type: none"> モデリングツール、現場プロセス測定、リアルタイムの閉ループ制御、機械学習を組み合わせ、造形プロセスにおけるパラメータと造形品の特性や性能を関連づけるフレームワークを構築するプログラム「ONR Quality Made – Robotic Laser Wire AM System with Comprehensive Quality Assurance Framework (2018-2020)」 最終目標として、造形中のリアルタイムモニタリングによる材料の変化、潜在的異常の検知と、造形履歴をキャプチャできるフレームワークの構築が目指されている 						

Wolf Robotics Laser Wire AM システム



開発中のフレームワークの要素とインタフェース

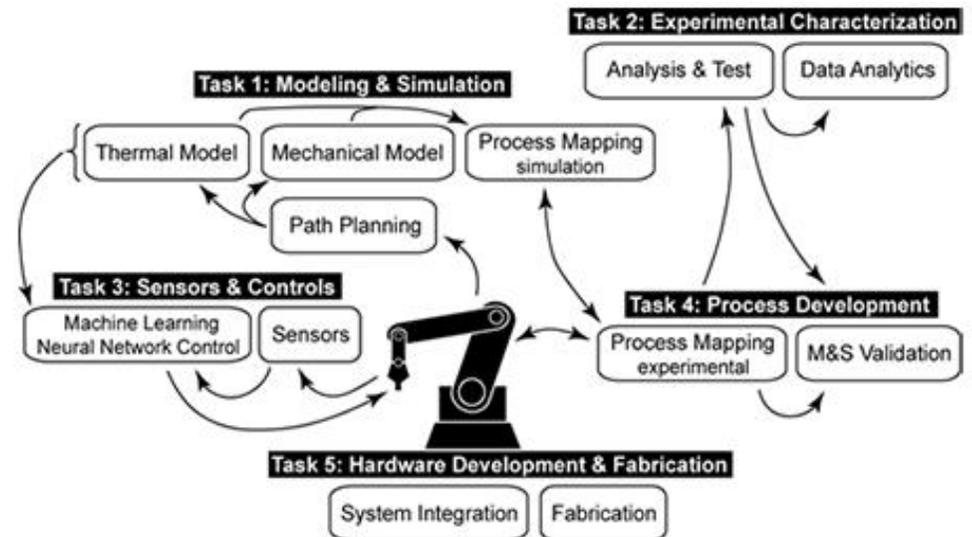


Figure 1: Overall process flow schematic showing the major tasks and interrelationships. Task 6, Verification & Validation, will exercise the entire program

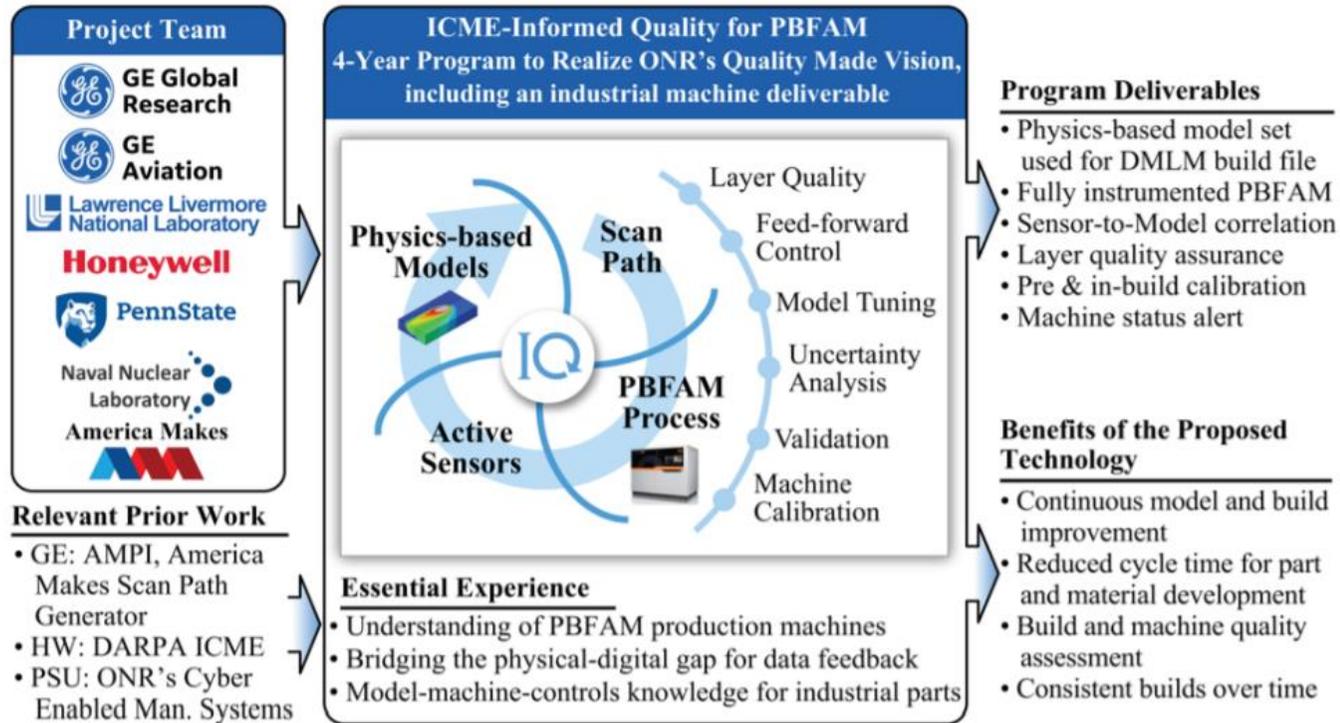
(出典) America Makesウェブサイト

<https://www.americamakes.us/portfolio/1113-onr-quality-made-robotic-laser-wire-am-system-with-comprehensive-quality-assurance-framework/>

11. America Makes

モデル、センサ、分析、制御を組み合わせた造形レシピ作成の効率化・品質保証

造形手法	PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	GE、Pennsylvania State University、Honeywell他		
概要	<ul style="list-style-type: none"> 高品質の部品を作成するために、PBF方式の積層造形方式の環境に最適化されたシステムの構築を目指したプロジェクト「ONR Quality Made – Informed Quality (2018-2020)」 モデル、センサ、分析、制御の組み合わせにより、設計と造形の反復回数を最小限に抑えて造形レシピの作成を可能とする統合計算材料工学(Integrated Computational Materials Engineering: ICME)情報品質システムの確立を目指す 						



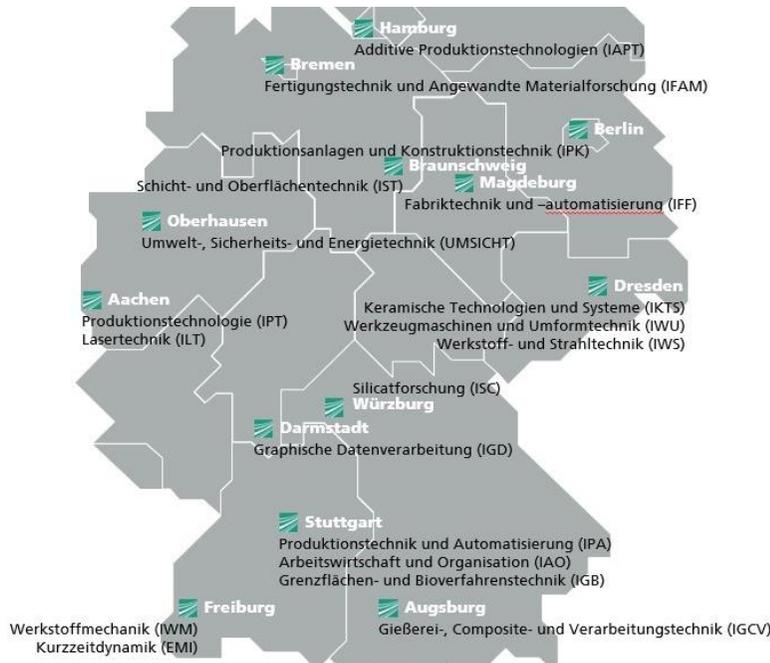
(出典) America Makesウェブサイト

<https://www.americamakes.us/portfolio/1111-onr-quality-made-informed-quality/>

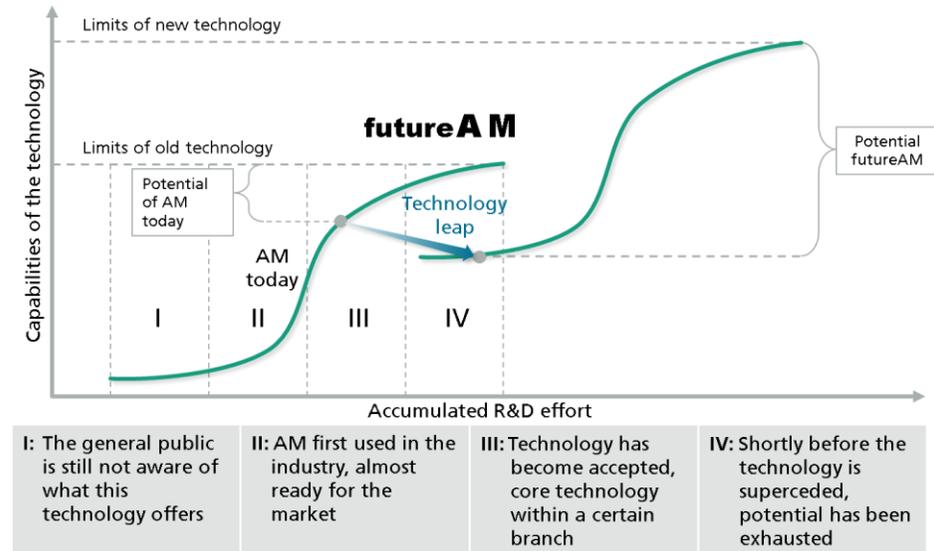
研究機関概要

所在国	ドイツ	設立	1949年	従業員数	29,000名程度	URL	https://www.fraunhofer.de/en.html
事業領域	装置 ○	材料	○	ソフトウェア	○	その他	—
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> • 欧州最大の研究機関。民間企業、公共機関と共に、社会全体の利益を目的として応用研究を行う • 資金の約70%は企業からの委託研究や公的財源による研究プロジェクト、残りの約30%は連邦政府及び州政府から拠出される • ドイツ各地に75の研究施設を持ち、そのうち19拠点がAMの研究開発や社会実装等に関わる • Fraunhofer 本部が各拠点の取り組みをとりまとめ、体系的な研究開発を推進している 						

AMに関わる19の研究開発拠点



AMプロジェクトの例 (futureAMプロジェクト)



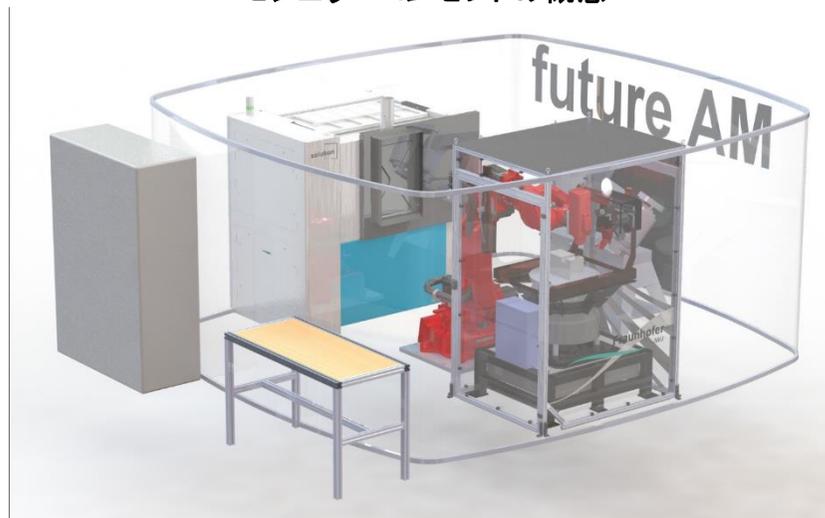
▲ 6拠点がパートナーシップを結び、プラットフォームの確立、AMプロセスのスケラビリティ、生産性、品質の向上を目指すプロジェクト

12. Fraunhofer IWU(機械工具・成形技術研究所)

造形品の自律的な後加工を実現するモジュラーコンセプト

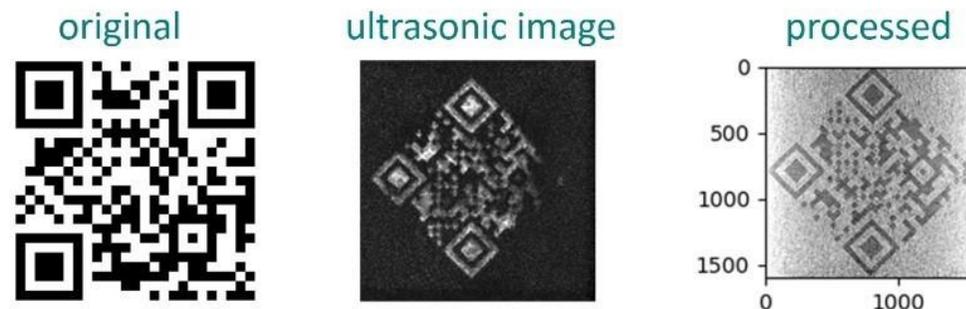
造形手法	L-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none"> futureAM プロジェクトの中で、造形品の自律的な後加工を実現するモジュラーコンセプトの研究開発を実施 産業用ロボットを用いてAMの造形物を連続して加工する場合、造形品の構造的な剛性と正確な経路計画が不可欠である。本コンセプトでは、解析モデルを使用して、剛性が機械加工に理想的作業領域の特定と、ツールの位置補正が可能 造形品の光学的なセンシング、加工経路計画、加工を繰り返し、最終的に目的の品質に達することを目指す また、上記の後加工を安定して実施するためには、各プロセスステップごとに造形物を適切に識別することが不可欠である。そこで、造形品の表面付近の空洞を利用したQRコード生成とその読み取りを利用した造形品の識別手法を開発している 						

モジュラーコンセプトの概念



▲造形物の光学的なセンシング、加工経路計画、加工を繰り返し、最終的に目的の品質に達する

表面付近の空洞を利用したQRコードによる造形品の識別



▲造形品の表面付近の空洞を介してQRコードを作成し、超音波計測で読み取った結果を画像処理で元画像と比較して、造形品を識別

12. Fraunhofer ILT(レーザー技術研究所)

構造物搭載センサー、超音波を利用したモニタリング

造形手法	L-PBF			技術成熟度	研究中	開発中	実用化
取り組み分類	造形容易化	精度向上	信頼性向上	共同研究先	—		
概要	<ul style="list-style-type: none">• futureAM プロジェクトの中で、造形中のエラーを直接検出する新しいモニタリング手法の研究開発を実施• 構造物搭載センサーによる、支持構造物破損等の重大イベントの検出、超音波センサを用いた造形品の品質評価用の空中音分析手法を開発• 将来的には、パルスレーザー超音波を用いた欠陥に起因するノイズ誘発と、レーザー振動計によるノイズの検出を目指す• なお、Fraunhofer ILTでは、パイロメータとカメラベースのシステムを用いた造形プロセスモニタリング・データ分析システムや、造形品の歪みと亀裂を防ぐための最大1200°Cに達する予熱システムについて知見を保有し、企業へのサービスや共同研究開発に役立っている						

No Image

(1) 金属積層造形の最新の技術開発動向

- ① 国内外における最新技術開発動向 p. 3

(2) 金属積層造形の設計領域(3D設計ソフト)に係る市場動向、最新技術動向

- ① 国内外における市場動向の調査 p. 51
- ② 国内外における最新技術開発動向の調査 p. 83

(3) 金属3Dプリンタの原料のサプライチェーン、最新技術動向

- ① 国内外におけるサプライチェーンの調査 p. 95
- ② 国内外における最新技術開発動向の調査 p. 113

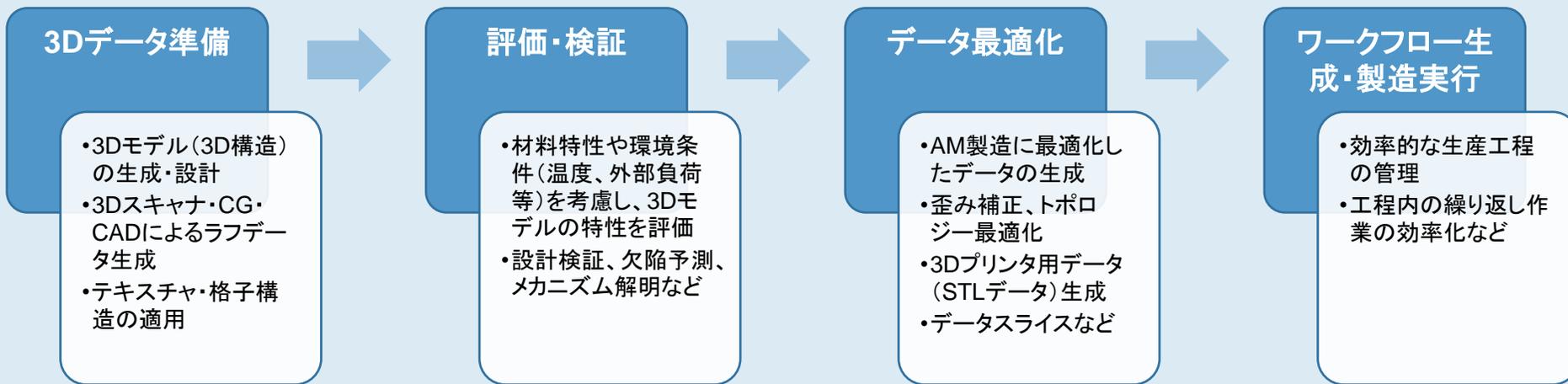
調査対象

- 3D造形物の設計ソフトウェアを取り扱っている主要な企業として、調査項目(2)では以下の10機関を調査対象とした。
- なお国外の調査対象は以下のような観点から選出している。
 - AM装置・ソフトウェアの連携・融合を行っている企業(自社内垂直統合、他社装置との連携)
 - ソフトウェアとして垂直統合色が強い企業
 - 特色のあるサービスを提供している企業

No.	所在国	企業名	CAD/スキャナ	CAE	データ編集	ワークフロー作成・自動化	セキュリティ
1	米国	Autodesk	CAD	機械応答解析など	データ編集全般		
2	日本	日本ユニシス	CAD		スライサ		
3	米国	3D Systems	CAD		データ編集全般	製造サービスまで提供	
4	米国	Siemens		構造最適化、設計検証など		事業全体としてはあるがAMでは不明	
5	ベルギー	Materialise			データ編集全般	製造サービスまで提供	
6	フランス	Dassault	CAD~CAE (SOLIDWORKS)				
7	米国	ANSYS		成形品の機械特性・欠陥・設計検証など			
8	日本	ASTOM		大規模変形解析など			
9	米国	nTopology			トポロジ最適化		
10	米国	Identify 3D					データ保全・管理／セキュリティ強化など

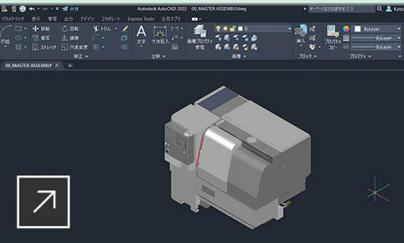
(参考) 3Dモデル設計～製造実行の流れとソフトウェアの対応

設計～製造実行の工程

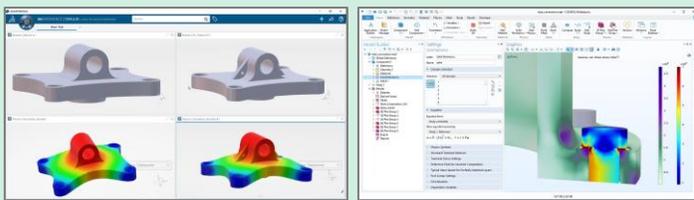


設計～製造実行の工程

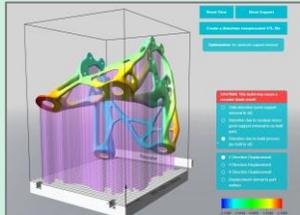
CAD/スキャナ



CAE



データ編集



ワークフロー生成・自動化



セキュリティ
(データ保全・管理/セキュリティ強化/トレーサビリティなど)

調査結果 各社のポートフォリオと連携等による強化・拡張領域

➤ 以下に、調査対象とした企業のポートフォリオと、連携等による強化・拡張領域を示す。各社の詳細は後段を参照のこと。

企業名	3Dデータ準備			評価・検証・最適化			ワークフロー生成・製造実行		
	データ インポート・ モデリング	位置決め・ 修正	サポート 生成	構造・トポロ ジー最適化	特性評価	プロセス 最適化	データスライ ス・キャンパ ス生成	プリンタへの データ送信	製造・ポスト 処理実行
Autodesk									【連携】Authentise
日本ユニシス									
3D Systems						【買収】AdditiveWorks			【買収】Opton
Siemens Digital Industries Software	【連携】Alphacam		【買収】Alas3D	【連携】nTopology			【買収】Alas3D		【連携】Materialise, Assembrix3YOURMIND
Materialise	【連携】PTC								【連携】Link3D
Dassault Systems			【連携】nTopology		【連携】Granta Design (材料データベース)				【連携】AirbusAPWorks
ANSYS			【連携】nTopology		【買収】Granta Design、3DSIM				
ASTOM									
nTopology					【連携】ANSYS				【連携】Siemens, Dassault
Identify3D									【連携】Siemens,3YOURMIND

事業領域
 連携等による強化領域
 連携等による拡張領域

調査結果 装置メーカーとの連携状況

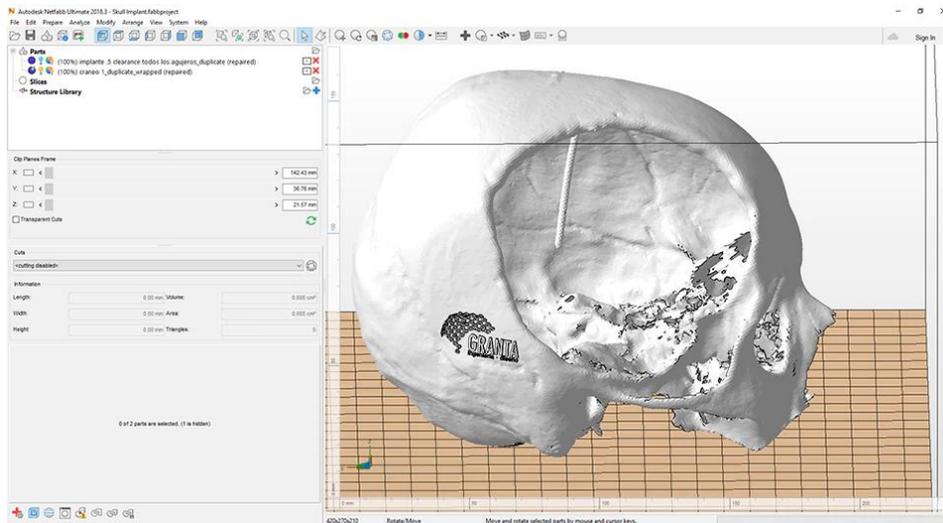
- 設計データと装置の連携やソフトウェアと装置の統合により設計と製造のシームレス化が図られている。
- 製造プロセスの自動化やプロセス管理の点でもソフトウェア企業と装置メーカーの連携が進んでいる。詳細は後段を参照。

No	企業名	連携先装置メーカー	概要
1	Autodesk	Formlabs、Farsoon	<ul style="list-style-type: none"> 樹脂AM装置(SLA、SLS)での連携 積層方向の自動制御機能の付与、設計ワークフローの自動化やAMプロセス管理等の機能をソフトウェアにより実装
2	日本ユニシス	※情報なし	—
3	3D Systems	※情報なし	—
4	Siemens	Stratasys、HP、Mcor、EOS、TRUMPF	<ul style="list-style-type: none"> Additive Manufacturing Networkにおける連携 HPの装置とは、PLM、AM製造の最適化設計、製造実行、パフォーマンス分析等の多岐に渡り連携を強化
5	Materialise	HP、ニコン、Essentium	<ul style="list-style-type: none"> ビルドプロセスに関する研究開発、シミュレータ開発で連携 データ準備ソフトウェアとEssentiumのAM装置の統合
6	Dassault Systems	Rize、SLM Solutions、Stratasys	<ul style="list-style-type: none"> 同社のHPでパートナーとして公開(詳細は不明)
7	ANSYS	ExOne、EOS	<ul style="list-style-type: none"> 設計から製造をシームレスに行うための連携 ＜例＞設計したAMプロセスのタスクをAM装置に直接送信するなど
8	ASTOM	※情報なし	—
9	nTopology	Ge Additive、EOS、Velo3D、DMG Mori、Stratasys	<ul style="list-style-type: none"> nTopologyが提案するデータ形式を用いた製造アプローチへの移行を支援
10	Identify3D	SLM Solutions、Renishaw、EOS、Stratasys、3D Systems	<ul style="list-style-type: none"> AM装置メーカーに対して、設計から製造までの契約や製造ライセンスを保護するソリューションを提供

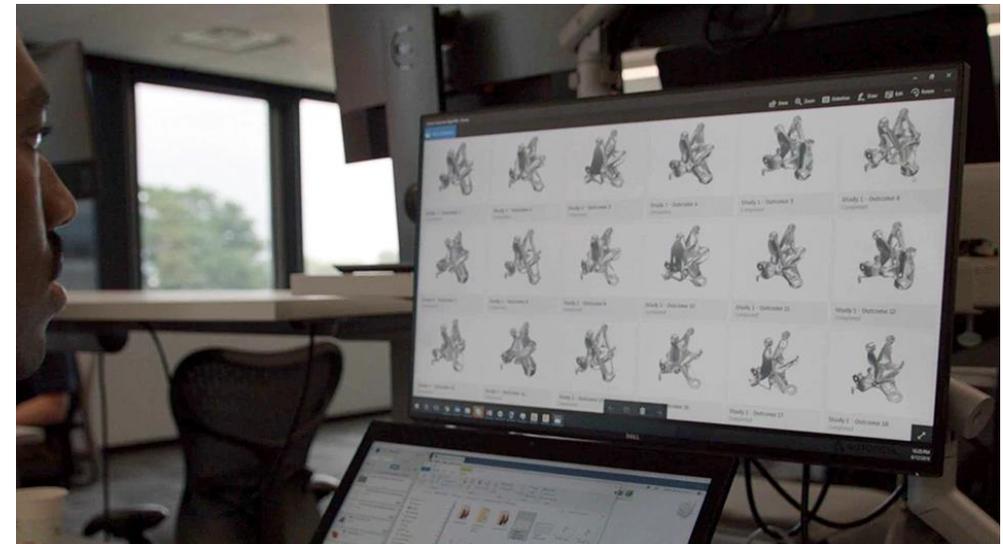
1. Autodesk

企業概要

所在国	米国	設立	1982年	従業員数	11,500名以上	URL	https://www.autodesk.com/
事業概要	<ul style="list-style-type: none">建築・土木エンジニアリング・建設、製品設計・製造、メディア & エンターテインメントに向けてAutoCADをはじめとして、3Dモデリングソフトウェア、3Dアニメーションソフトを展開。AM向けのソフトウェアでは、NETFABB(積層造形的设计とワークフローの自動化スクリプトの生成、ラティス構造最適化等)を開発・販売。						



Autodesk の設計ソフトウェアの導入事例①:
CTスキャンデータから生成された頭蓋骨の3Dモデル



Autodesk の設計ソフトウェアの導入事例②:
自動車のシートブラケットの複数の設計オプションを確認している様子

1. Autodesk

AM関連製品のポートフォリオ

- FUSION360(クラウドベースのCAD/CAM/CAEソフトウェア)、NETFABB(積層造形設計ソフトウェア)、Netfabb Simulation(DED及びPBFに対応した金属AMシミュレーション)、TINKERCAD(シンプルな3D設計及び3Dプリントアプリ)をラインナップ。
- **3Dモデリングから設計・シミュレーション、AM装置の制御データ準備までを広くカバー**する。
- ジェネレーティブ・デザインにも対応(**迅速なモデルの作成・検証や設計ワークフローの自動化にも対応**)。

製品名	3Dデータ準備			評価・検証・最適化			ワークフロー生成・製造実行		
	データ インポート・ モデリング	位置決め・ 修正	サポート 生成	構造・トポロ ジー最適化	特性評価	プロセス 最適化	データスライ ス・スキャン パス生成	プリンタへの データ送信	製造・ポスト 処理実行
FUSION360	<ul style="list-style-type: none"> • CAD、CAM等の設計ソフトウェアが統合されたクラウドベースのプラットフォーム • 「位置決め・修正」から「データスライス・スキャンパス生成」もNETFABB/NETFABB Simulationとの連携により、機能提供 								
NETFABB	<ul style="list-style-type: none"> • 3Dモデルの編集 • ラティス生成・最適化、など 						<ul style="list-style-type: none"> • スキャンパスの生成、 • 装置制御データの準備、など 		
NETFABB Simulation	指向性エネルギー堆積(DED)および粉末床溶融結合(PBF)に対応した金属積層造形プロセスシミュレーション								

1. Autodesk

装置メーカー等との連携状況

概要

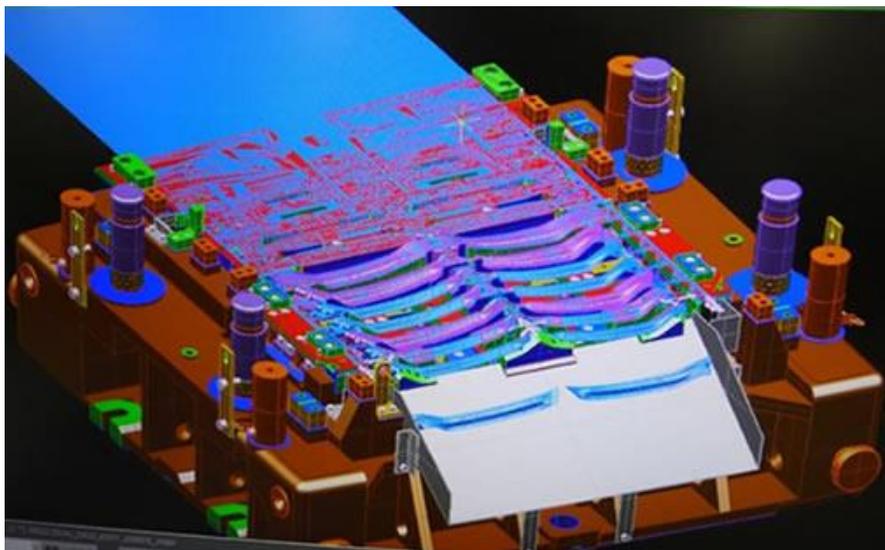
- AutodeskのWebページに規定されているパートナーとしては、「テクノロジーパートナー」(Autodeskの製品に関する技術サポートを行うプレイヤー)、「サービスパートナー」(3Dモデリング等の専門知識をもとにしたコンサルティング・シミュレーションサービス)「トレーニングパートナー」(Autodesk製品ユーザーの教育・研修を行うパートナー)となる。
- AM装置に関するプレイヤーは、パートナーシップの範疇には入っていない。
- 当社のプレスリリースでは、以下のような樹脂AM装置での連携事例は見つかっている。
- その他、Authentise (AMプロセス管理ソフトウェアのメーカー)と、設計から製造までをシームレスに統合したソフトウェアを発表

連携先	概要
【装置】Formlabs	<ul style="list-style-type: none">光造形(SLA)方式の光硬化型樹脂を用いたAM装置での連携AutodeskのFusion360の積層方向の自動制御機能を利用し、造形物に応じた積層方向付けの優先順位を方向付けの優先順位を設定可能としたまた、今後、設計ワークフローの繰り返し(元の設計データをベースとした変更)の際のファイル変換等の手間を削減やAMプロセス管理など、多くの機能実装に取り組むとしている。 <p>(出所) 2021年6月9日のAutodeskプレスリリース https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/fusion-360-formlabs-partnership/</p>
【装置】Farsoon、Arkema	<ul style="list-style-type: none">中国のAM装置メーカーFarsoonとフランスの材料メーカーであるArkemaとの連携によるAMエコシステムの構築樹脂レーザー焼結(SLS)方式でのAM製造に最適なソフトウェア、AM装置、先端材料の開発を行うもの本プレスリリース発表時点(2019年2月)では、Arkemaのポリアミド材料を用いたAM装置の制御パラメータを、Fusion360やNetfabb等のAutodeskのソフトウェアの統合し、AM装置のユーザが設計から、印刷までのワークフローをスムーズに進められるようにしている <p>(出所) 2019年2月22日のAutodeskプレスリリース https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/autodesk-arkema-farsoon-additive-ecosystem/</p>

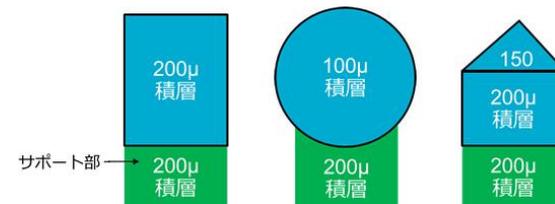
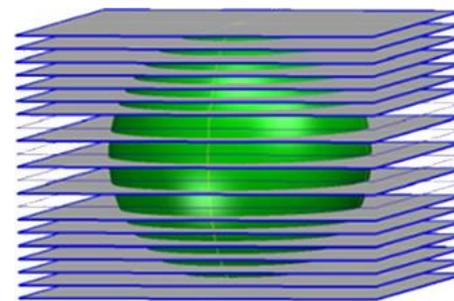
2. 日本ユニシス・エクセリユーションズ

企業概要

所在国	日本	設立	1984年	従業員数	174名	URL	https://www.excel.co.jp/
事業概要	<ul style="list-style-type: none">・ 製造業(ものづくり)におけるCAD/CAMを中心とした各種ソリューションの企画・開発・販売・サポート、金型データの設計・モデリング業務の受託、環境ソリューションの企画・開発・販売及びサポート、産学連携プロジェクトによるポリゴンエンジニアリングシステムの共同開発などの事業を手掛ける。・ 国産で唯一の三次元CAD/CAM(コンピュータ製造支援)システムを開発。・ AM用スライス作成ソフトウェアも製品ポートフォリオとして有する。						



3D CADソフトウェア(CADmeister)で作成した金型モデル



スライス作成ソフトウェア(AMmeister)の概要: 同一モデル内でスライスピッチを変更することが可能(上図)、造形条件の個別設定(異なる造形条件でのパス出力、下図)が可能といったことが特長としてあげられている

2. 日本ユニシス・エクセリユーションズ

AM関連製品のポートフォリオ

- POLYGONALmeister(スキャンデータから3Dデータの生成)、CADmeister(3D CADソフトウェア、※CAM=製造支援機能もあるが主に工作機械用)、3DAviewmeister(3Dビューア、編集)、AMmeister(スライシングソフトウェア)により、**3Dデータ準備とワークフロー生成の一部に対応**。
- CADmeisterは、日本のものづくり現場にフォーカスした機能とサービスを提供。金型を中心とした製造業現場で広く利用される。

製品名	3Dデータ準備			評価・検証・最適化			ワークフロー生成・製造実行		
	データ インポート・ モデリング	位置決め・ 修正	サポート 生成	構造・トポロ ジ最適化	特性評価	プロセス 最適化	データスライ ス・スキャン パス生成	プリンタへの データ送信	製造・ポスト 処理実行
POLYGONALmeister									
CADmeister									
Ammeister									

三次元計測器(スキャナなど)から出力された3次元データの編集

- 複雑な形状も自由に表現できるモデリング機能
- STL編集、データ変換、CADデータ自動修正、モデル比較など

- データ編集
- サポート作成、など

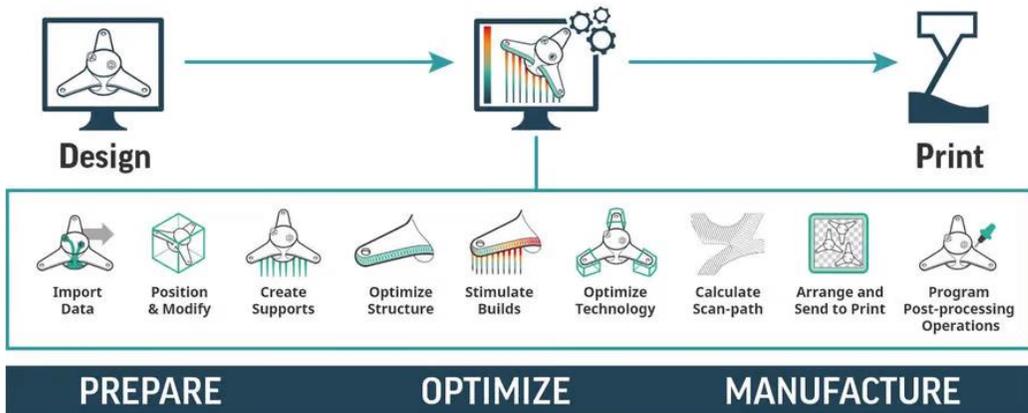
- スライス作成
- AM装置インターフェース(通信機能)

※通信機能は金属AM装置には対応していない状況

3. 3D Systems

企業概要

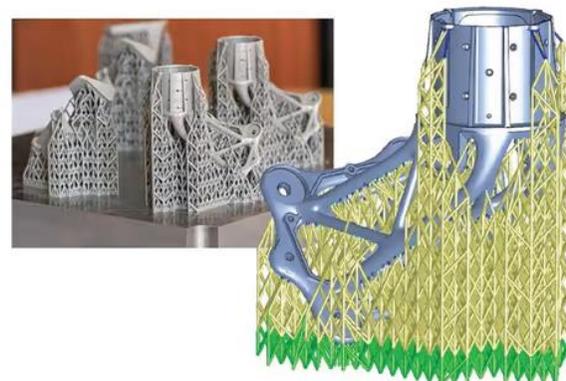
所在国	米国	設立	1986年	従業員数	約2,600名	URL	https://www.3dsystems.com/
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> AM装置を初め、関連材料、ソフトウェア、オンデマンド製造サービス、AMを用いたヘルスケアソリューションなど包括的な製品・サービスを展開。 ソフトウェアに関しては、リバース・エンジニアリング、3D設計・モデリング、ワークフローの生成、計測ソフトウェア (Geomatic Control X)、装置運用・管理ソフトウェアを製品ラインアップに有する。 						



3D systems社のAM用設計ソフトウェアの主な機能



設計ソフトウェアの活用事例①: 薄いブレードの周りの仮想オブジェクトの作成



設計ソフトウェアの利用事例②: 産業用部品におけるサポート生成

3. 3D Systems

AM関連製品のポートフォリオ

- 設計からAM装置制御データの生成までに対応した3DXpertを中心に、3DスキャンデータからCADモデルの作成や高度な3D可視化ソフトウェア、AM遠隔モニタリングまで製品ラインナップを揃え、**AMワークフローの全工程に対応**。
- 以下にまとめたソフトウェア以外にも、SOLIDWORKS (Dassult Systems社のCADソフト)へデータを取り込むためのソフトウェアや通常のCADでは設計が困難な特殊な形状(人体のフィットするような形状)の3D設計のソフトウェアも用意されている。→**3Dモデリングを重点化**。

製品名	3Dデータ準備			評価・検証・最適化			ワークフロー生成・製造実行		
	データ インポート・ モデリング	位置決め・ 修正	サポート 生成	構造・トポロ ジー最適化	特性評価	プロセス 最適化	データスライ ス・スキャン パス生成	プリンタへの データ送信	製造・ポスト 処理実行
Geomagic Wrap Geomagic Design DICOM 3D modeling									
3DXpert									
Geomagic Control X									
3D Connect									

- Geomagic Wrap : スキャンデータを3Dポリゴンモデルやサーフェスモデルに変換
- Geomagic Design : スキャンデータからCADデータを構築・編集
- DICOM 3D modeling : 医療画像が扱える3Dビューア・CAD

- ラティス構造の生成
- ビルドプラットフォームの配置
- サポート生成,など

- スキャンパスの計算
- 加工データをプリンタへ送信

3D造形品の品質管理・寸法検査ソフトウェア

AM装置の遠隔診断、管理・保守、調達管理などの機能を提供

3. 3D Systems

装置メーカー等との連携状況

概要

- AM装置メーカーとの連携はない(3D Systems自身がAM装置を製造・販売しているためのと思われる)
- 以下の事例に示すようなAMプロセスのオペレーティングシステムやCAEソフトウェアなどの企業を買収することにより、AM装置・プロセスの事業の強化をすすめている。

買収先	概要
【ソフトウェア】Oqton	<ul style="list-style-type: none">• クラウドベースの製造実行(manufacturing operating)システム・自動化ソフトウェアを提供しているOptonを180MUSDで買収• 3D systemsは、Optonの製造実行システムへ、3DXpertや3D Sprint、Geomagicをアドオンとして組み込み、製造実行システムからAMの設計、製造を統合的に取り扱えるようにすることを目指している <p>(出所)2021年9月9日の3D Systemsプレスリリース https://investor.3dsystems.com/news/news-details/2021/3D-Systems-to-Drive-Adoption-of-Additive-Manufacturing-in-Production-Environments-with-the-Acquisition-of-Oqton/default.aspx</p>
【ソフトウェア】AdditiveWorks	<ul style="list-style-type: none">• 3D Systemのシミュレーション機能の拡張目的に、ドイツのソフトウェア企業であるAdditiveWorks GmbH(AMプロセスの解析ソフトウェア企業)を買収• AdditiveWorksのシミュレーションソフトウェアと3D SystemsのCADや3Dデータ準備ソフトウェア(3DXpert)などをシームレスに連携させ、ソフトウェア・装置のユーザがAM製造のセットアップ時間の短縮できるようにしている <p>(出所)2021年5月6日の3D Systemsプレスリリース https://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-announces-two-strategic-growth-acquisitions</p>

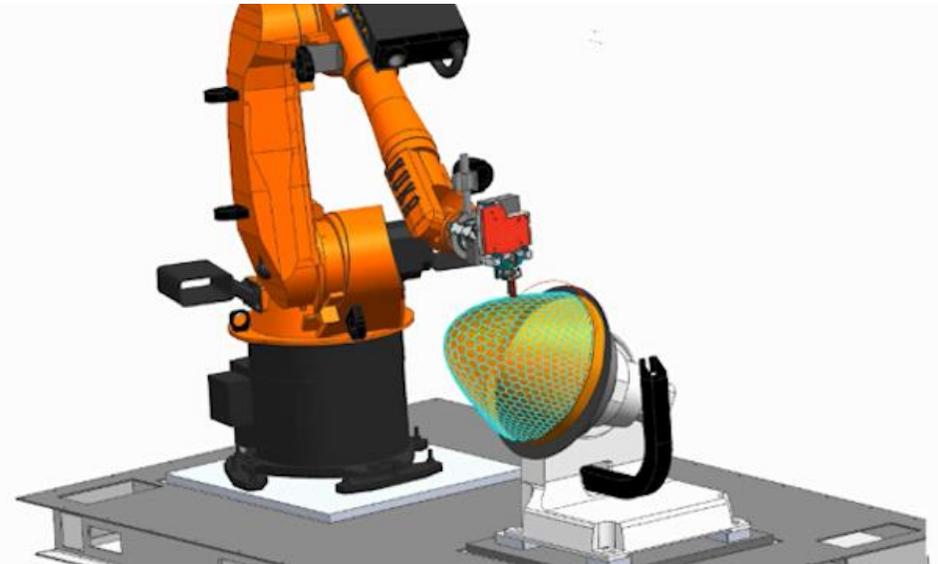
4. Siemens Digital Industries Software

企業概要

所在国	米国	設立	1997年	従業員数	約12,000名	URL	https://www.sw.siemens.com/en-US/
事業概要	<ul style="list-style-type: none">製品ライフサイクル管理ソフトウェアを専門とする企業機械設計、電子・電気回路設計、ソフトウェアエンジニアリング、シミュレーション・テスト、製造計画、FA(自動化)、製造装置の運用・管理、組み込みソフト、性能評価などのソフトウェアを展開						



設計ソフトウェア活用事例:ビルドボリューム内での部品の配置
(ビルドトレイに効率的にデータを投入するための統合ツールを提供)



ソフトウェアを用いたAM装置制御イメージ:
多軸堆積経路生成ソフトウェアを使用したAM装置の駆動

4. Siemens Digital Industries Software

AM関連製品のポートフォリオ

- 工作機械全般でのワークフローに対応するSiemens NX for manufacturingがAMに対応。
- AMに関しては、設計、ビルド準備、プロセスシミュレーション、設計検証、**製造実行・管理、ポスト処理実行、注文管理までの設計・製造ワークフローの工程をカバー**する。

製品名	3Dデータ準備			評価・検証・最適化			ワークフロー生成・製造実行		
	データ インポート・ モデリング	位置決め・ 修正	サポート 生成	構造・トポロ ジー最適化	特性評価	プロセス 最適化	データスライ ス・スキャン パス生成	プリンタへの データ送信	製造・ポスト 処理実行
Siemens NX for manufacturing		<ul style="list-style-type: none"> • ビルド準備:ビルドトレイ内のパーツの配置、方向付け、およびサポート構造の構築を支援 		<ul style="list-style-type: none"> • AM設計:最適化された表面や格子構造などの機能を備えた非常に複雑な設計を製造する機能を提供 • 設計検証:AMパーツの性能予測、造形可否の検証などを実施 • プロセスシミュレーション:ビルド方向の最適化から材料を堆積するパスの最適化まで、適切なAMプロセスを構築するための機能を有する 			<ul style="list-style-type: none"> • 製造実行・管理:AM造形の計画、実行、監視を通して最適な品質と効率を確保／粉末の除去、ビルドトレイからの部品の取り外し、および後処理機械加工までのワークフローを支援 • 注文管理:オンラインの注文から配送までを支援／製造ニーズに対応可能な人材情報、サプライヤとコンサルタントなどの情報を提供 		

4. Siemens Digital Industries Software

装置メーカー等との連携状況

概要

- 2018年5月に、AMに関するオンライン・コラボレーション・プラットフォーム(Additive Manufacturing Network)を開始
- 以下のようなAM装置メーカー、サービスビューロ、ソフトウェア、ユーザー、コンサル・リサーチに関する企業が参加
- また、プレスリリースで公開されている連携事例・ソフトウェアの拡張に関する企業買収についても整理する

Additive Manufacturing Networkの参画企業

装置	AMサービス	ソフトウェア	ユーザー	コンサル・リサーチ
<ul style="list-style-type: none"> • Stratasys • HP • Mcor • EOS • TRUMPF 	<ul style="list-style-type: none"> • ARAN • Akhani 3D • RE3DTECH • American Additive Manufacturing • ACEO • FORECAST 3D • 3Dees • Sculpteo • Vocus • ProtoCAM • ZiggZagg 	<ul style="list-style-type: none"> • Alphacam • Materialise • Assembrix • 3YOURMIND 	<ul style="list-style-type: none"> • Toolcraft • Haidlmaier • Spare Parts 3D • Addfactory • Nanofabrica • Linear AMS • Xometry • Rexel • Daimler 	<ul style="list-style-type: none"> • ADDITIVEMINDS • Get3DSmart • CIDEAS • Immensa Technology Labs • Jabil

・赤字は2021年時点でパートナーとされている企業

・黒字は2018年のFormnext時点の構成メンバーに含まれていたが現在はパートナーとして公表されていない企業

プレスリリース等による連携・企業買収事例

連携・買収先	概要
【研究機関】 欧州宇宙機関(ESA)	<ul style="list-style-type: none"> • ESAが、シーメンスデジタルインダストリーズソフトウェアを選択して金属積層造形用の航空宇宙設計アプリケーションを開発
【装置】HP	<ul style="list-style-type: none"> • 製品ライフサイクル管理(PLM)、AMファクトリー最適化、産業用3D印刷とデータインテリジェンス、製造実行、パフォーマンス分析などの機能について、HPのAM装置との連携を強化
【ソフトウェア】Atlas3D	<ul style="list-style-type: none"> • 最適な造形方法・サポート構造を自動的に計算するソフトウェアの開発者であるAtlas 3D社を買収

5. Materialise

企業概要

所在国	ベルギー	設立	1990年	従業員数	2,100名以上	URL	https://www.materialise.com/
事業概要	<ul style="list-style-type: none">AM製造サービスの提供及びAM用のソフトウェアの開発・販売を行っている。医療分野での事業展開も行っており、3D画像診断や臓器モデルのAM製造サービスも展開。						

materialise magics 3D print suite

Optimize your designs for 3D Printing

- > Materialise 3-matic

Prepare your files for 3D Printing

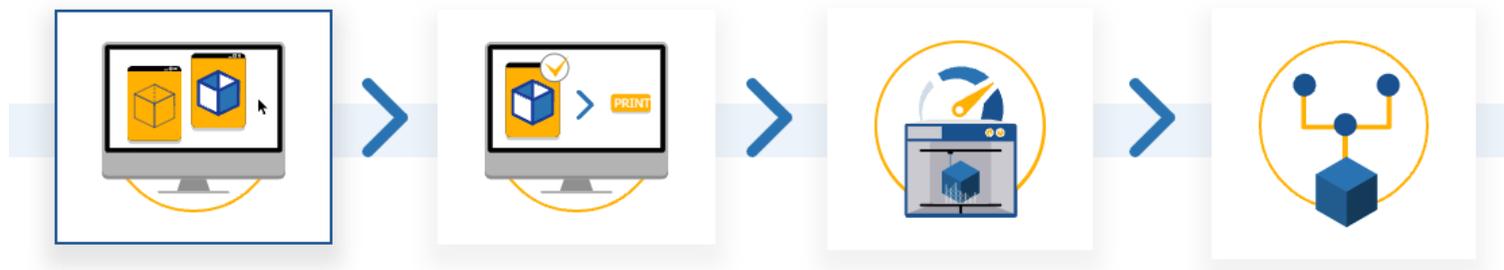
- > Materialise Magics
- > Materialise Magics Essentials
- > Materialise MiniMagics
- > Materialise e-Stage

Get the most out of your 3D printing machine

- > Materialise Build Processor
- > Materialise Control Platform
- > Materialise Inspector

Manage your AM production process

- > Materialise Streamics
- > Materialise Robot



Materialise社のAMソフトウェアの製品ポートフォリオ

5. Materialise

AM関連製品のポートフォリオ

- ”Materialise Magics 3D Print Suite”において、**AMワークフローの全工程**を対応。
- 各工程に対応するモジュールが細かく用意**されており、ユーザは必要な機能を選択して設計・検証・製造環境を構築することが可能。
- 装置とソフトウェアの通信やプロセスモニタリングの機能も独立したモジュールとして提供**。

製品名	3Dデータ準備			評価・検証・最適化			ワークフロー生成・製造実行		
	データ インポート・ モデリング	位置決め・ 修正	サポート 生成	構造・トポロ ジー最適化	特性評価	プロセス 最適化	データスライ ス・スキャン パス生成	プリンタへの データ送信	製造・ポスト 処理実行
Materialise Magics (データ準備)				STL修正・編集、パーツ位置・方向の調整、サポート作成など			データスライス、造形の潜在的な問題の事前検出など		
Materialise 3-matic (設計調整と最適化)				ラティス構造の作成、トポロジー最適化・軽量化設計、質感の適用など					
Materialise Build Processor(通信)	ソフトウェアとAM装置の通信を簡易化した業界標準のソフトウェア(主要なAM装置メーカーの製品に対応)								
Materialise Control Platform(装置制御)	光造形AM装置、レーザー焼結AM装置の制御システム。AMの製造工程全体を管理するStreamicとも連携。								
Materialise Inspector (検査・品質管理)	生産プロセスの管理用ソフトウェア。造形エラーを予測、検出し、造形エラーの原因を分析。								
Materialise Streamics (生産管理)	3Dプリントの全工程を徹底的に管理できる情報管理ツール及びDB。								
Materialise Robot(自 動化)				設計工程で繰り返し発生するデータ処理を自動化するソフトウェア(CADからSTLへの自動変換、造形可否のチェック、STOデータの自動修正、独自設計ワークフローの作成、パーツの自動配置)					

5. Materialise

装置メーカー等との連携状況

概要

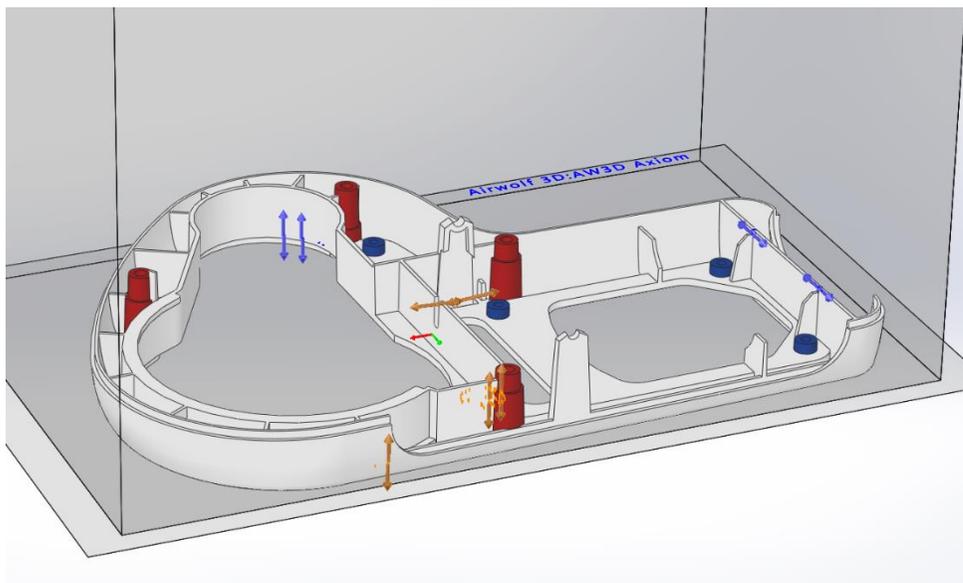
- 2019年5月にデトロイトで開催された“RAPID + TCT2019”において、装置メーカーとのパートナーシップの成果を発表(下表、HP、Nikon、Essentium)
(出所)Materialise 2019年5月20日 プレスリリース <https://www.materialise.com/en/press-releases/materialise-announces-collaboration-hp-nikon-and-essentium-to-support-adoption-of-3d>
- カーボンフットプリントやLCAの観点での材料メーカーや大学等の連携の他、CADなどのソフトウェア企業の買収によりソフトウェア事業の強化・拡張も行われている状況である

連携・買収先	概要
【装置】HP	<ul style="list-style-type: none">MaterialiseのソフトウェアをHPのAM装置の統合を進めたMaterialiseがHPのMulti JetFusion(樹脂AM)ポートフォリオの全ての装置をサポートするビルドプロセスシミュレータを開発
【装置】ニコン	<ul style="list-style-type: none">AMのビルドプロセスの分析に関する研究活動を共同で実施研究において、Materialiseのソフトウェア・制御プラットフォームを活用
【装置】Essentium	<ul style="list-style-type: none">産業用のAMプロセスを共同で開発Materialise Magic(データ準備ソフトウェア)とEssentiumのAM装置を統合することで、造形精度や造形速度を犠牲にすることなく産業用途でのパーツを製造できるAM装置を提供することを目指す本連携については、材料メーカーのBASFも参画している
【材料】BASF	<ul style="list-style-type: none">2019年、ライフサイクルアセスメント(LCA)について、戦略的パートナーであるBASFとのコラボレーションを開始 <p>(出所)Materialise Webページ https://www.materialise.com/en/impact/partnerships</p>
【研究機関】KULレーベン	<ul style="list-style-type: none">カーボンフットプリント評価などの多数のプロジェクトでの協力を含め、長年の連携関係にある
【ソフトウェア】Link3D	<ul style="list-style-type: none">積層造形ワークフローおよび製造実行システム企業であるLink3Dを買収この買収によりMaterialiseは、企業が大量生産に向けてAMをスケールアップする際の製造現場の管理支援を可能となる <p>(出所)Materialise プレスリリース 2021年4月13日 https://www.materialise.com/en/press-releases/materialise-acquires-option-to-buy-link3d</p>
【ソフトウェア】PTC	<ul style="list-style-type: none">CADソフトウェア企業であるPTCとの連携Materialise Build Processorが、PTCのCADソフトウェアとAM装置との間のシームレスな接続を提供 <p>(出所)Materialise プレスリリース 2018年2月12日 https://www.materialise.com/en/press-releases/materialise-and-ptc-extend-integrated-3d-printing-capabilities-to-manufacturers</p>

6. Dassault Systems

企業概要

所在国	フランス	設立	1981年	従業員数	約20,000名	URL	https://www.3ds.com/
事業概要	<ul style="list-style-type: none"> フランスの複合企業Dassault Group傘下のソフトウェア企業。 “3DEXPERIENCE”のブランド・ポートフォリオのもと、3D モデリング、製品や製造工程のバーチャル・ツインを実現するシミュレーション、ソーシャル・アンド・コラボレーション、インフォメーション・インテリジェンスなど、豊富な種類のアプリケーションを展開。 製造業に関連するソフトウェアとしては、CATIA(3D CAD&エンジニアリング)、SOLIDWORKS(3D CAD)、SIMULIA(電磁気解析、流体解析、構造解析などのシミュレーションソフトウェア)を開発・販売。 						



SOLIDWORKSを用いたAM部品の3Dモデリング例
 (数千のAMプリンタのビルドチャンバーの寸法に対応したライブラリを提供し、部品がチャンバ内に収まるように設計することを容易としている)

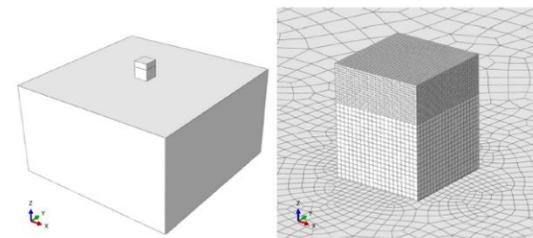


Fig. 23. Geometry (left) and mesh (right) of the finite element model for melt pool prediction.

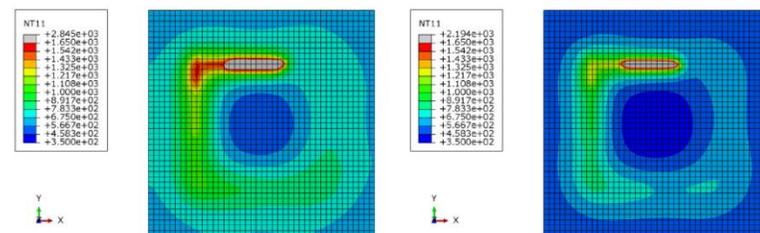


Fig. 24. Temperature field at a selected instant during the printing of layer 33: Case 1 (left) and Case 2 (right).

SIMULIAを用いた解析例：SLM金属造形における構造モデル(上)と積層プロセスにおける各層の温度プロファイル

6. Dassault Systems

AM関連製品のポートフォリオ

- 製造業における設計ソフトウェアであるSOLIDWORKS、CATIA、SIMULIAがAMにおけるソリューションを提供。
- CADは、使いやすく汎用的なツールであるSOLIDWORKSの他、意匠性のあるデザインのためのCATIAも用意しており、**3Dモデリングに力を入れている**ことが伺える。
- モデリングとシミュレーションのシームレスに行えるように、CADソフトウェア上からSIMULIA(シミュレーションソフトウェア)が利用可能**としている。

製品名	3Dデータ準備			評価・検証・最適化			ワークフロー生成・製造実行		
	データ インポート・ モデリング	位置決め・ 修正	サポート 生成	構造・トポロ ジー最適化	特性評価	プロセス 最適化	データスライ ス・スキャン パス生成	プリンタへの データ送信	製造・ポスト 処理実行
SOLIDWORKS									
CATIA									
SIMULIA									

- 機械設計用の3D CADソフトウェア(産業機械や医療機器、建築、プラント等の設計に用いられる)
- アニメなどの3Dコンテンツの作成も可能
- 製品データ管理/モデリングデータの社内・顧客シェアリングのための機能も実装
- SIMULIAと連携したシミュレーション(CAE)機能の提供

- 複雑な曲面形状や複雑部品のアセンブリ等に対応したハイエンドのCADソフトウェア
- SIMULIAと連携したシミュレーション(CAE)機能の提供

- 電磁気解析、流体解析、構造解析などを持田最適な設計ポイントの探索
- 3DEXPERIENCEプラットフォームによる設計データ共有(他の技術者との連携)

- 電磁気解析、流体解析、構造解析などを用いた特性評価

6. Dassault Systems

装置メーカー等との連携状況

- 概要**
- Dassault SystemsのHP上 (<https://www.3ds.com/ja/partners/find-a-partner/>)において、装置、AMサービス、ソフトウェアに関する企業がパートナーとして公開されている
 - その他、同社のプレスリリースで、ソフトウェア事業の強化・拡張を目的とした連携事例がみられる

HP上で公開されているAM関連の連携先

装置	AMサービス	ソフトウェア
<ul style="list-style-type: none">• Rize (熱溶解積層法とインクジェットの融合)• SLM Solutions (金属粉末AM装置)• Stratasys	<ul style="list-style-type: none">• Sculpteo (クラウドベースのAMソリューションを提供)	<ul style="list-style-type: none">• nTopology

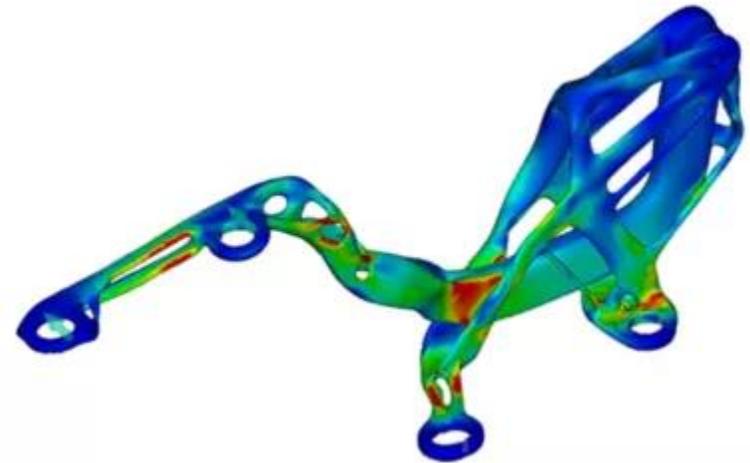
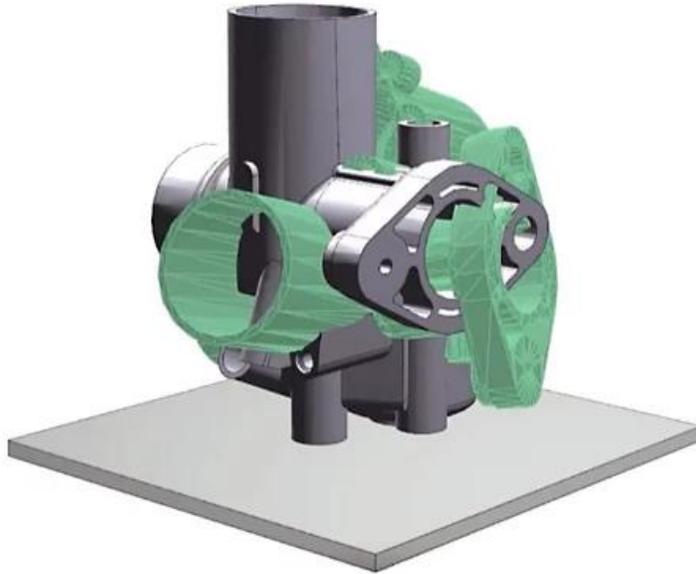
プレスリリース等による連携事例

連携先	概要
【ソフトウェア】 Granta Design	<ul style="list-style-type: none">• 信頼性の高い材料データベース及びデータベース構築ツールを提供するGranta (2019年にAnsysに買収)と連携• Grantaのマテリアル・インフォマティクス(MI)システムとDassaultの3D EXPERIENCEプラットフォームの統合を行い、パーツ設計において豊富な材料情報を利用できるようにした <p>(出所) Dassault Systemsプレスリリース 2018年5月4日 https://www.3ds.com/press-releases/single/dassault-systemes-and-granta-design-partner-to-deliver-materials-knowledge/</p>
【ユーザー】 AirbusAPWorks	<ul style="list-style-type: none">• 部品の積層造形に必要なバリューチェーン全体での設計ソリューションを提供する統合ソフトウェアを共同で開発することを発表• エンジニアリングとシミュレーションの統合により、AMIに最適化された部品の設計と標準化された設計パラメータの設定に繋げる

7. ANSYS

企業概要

所在国	米国	設立	1970年	従業員数	約4,000名	URL	https://www.ansys.com/
事業概要	<ul style="list-style-type: none">有限要素法を主体としたCAEソフトウェアであるANSYSシリーズを中心に事業を展開上記以外にも、3Dモデリング、流体解析、材料特性解析、光学特性解析等に関するソフトウェアを幅広く手掛ける当社のソフトウェアは、航空宇宙・防衛、自動車、産業機器、エネルギー機器、化学、エレクトロニクス、バイオ等の幅広い産業分野でのエンジニアリング、アカデミアの研究現場でも標準的に利用されるものとなっている。						



ANSYS社のAMデータ準備ソフトウェア(Additive Prep)を用いたモデリング事例
(直観的な操作でパーツを取り付けたり、サポート構造を生成したりすることが可能)

CAEソフトウェアを用いたビルド特性評価例
(ビルドの歪みや応力分布などを評価でき、歪みの補正やサポートの生成に繋げる)

7. ANSYS

AM関連製品のポートフォリオ

- Additive Prep、Additive Print、Additive Science、Workbench Additiveを製品として有する。
- **DfAMの設計から検証まで包括的な分析も提供**するため、上記のソフトウェアをパッケージ化したAnsys Additive Simulationも販売

製品名	3Dデータ準備			評価・検証・最適化			ワークフロー生成・製造実行		
	データ インポート・ モデリング	位置決め・ 修正	サポート 生成	構造・トポロ ジー最適化	特性評価	プロセス 最適化	データスライ ス・スキャン パス生成	プリンタへの データ送信	製造・ポスト 処理実行
Additive Prep	ビルドボリュームの生成、サポート構造生成など						スライシング、AM装置用データエクスポートなど		
Additive Print Additive Science Workbench Additive	Print(エントリーモデル) ジオメトリ&STLファイル編集 歪み予測・自動補正 造形後の残留応力予測 サポート取り外し後の変形予測 応力解析、ブレード破損検出、サポート材料最適化など				Science メルトプールの形状予測 空隙率の予測、熱履歴解析など		Workbench Additive 伝熱構造連成解析による歪み予測・歪み自動補正(項目は、Printと同様)		
Additive Simulation	Additive Prep/Print/Science/Workbench Additiveをパッケージ化								

7. ANSYS

装置メーカー等との連携状況

概要

- ANSYSのHP上 (<https://www.ansys.com/partner-ecosystem>)において、装置、ソフトウェアなどに関する企業がパートナーとして公開されている
- その他、同社のプレスリリースで、ユーザー企業(EOS)との連携事例やソフトウェア事業の強化・拡張や目的とした連携・企業買収の事例がみられる

HP上で公開されているAM関連の連携先

装置	ソフトウェア	ユーザー
• ExOne	<ul style="list-style-type: none">• nTopology• Autodesk, Inc.• Materialise	• KAMUG(韓国のAMユーザグループ)

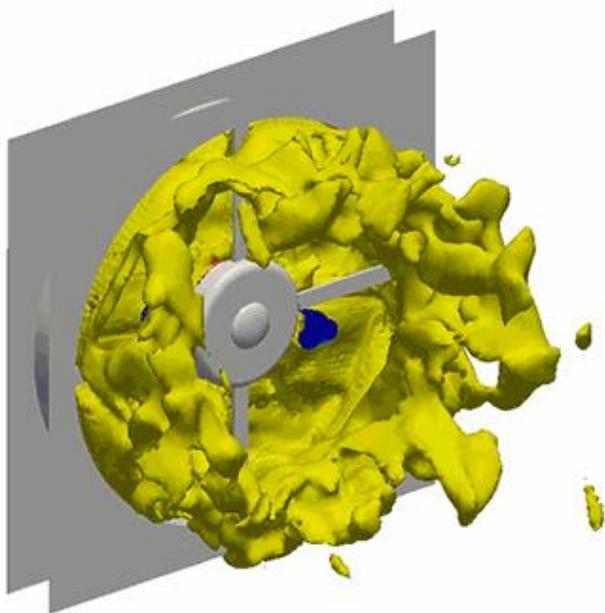
プレスリリース等による連携・企業買収事例

連携・買収先	概要
【装置】EOS	<ul style="list-style-type: none">• ANSYSがEOS Developer Networkのメンバーとして、AMプロセスを強化するためのシミュレーション技術を提供• ANSYSのソフトウェアで設計したタスクをEOSのAM装置に直接送信することで製造プロセスを効率化• EOS社のオープンソースアプリケーションプログラムインターフェースを活用してEOS固有のデータをANSYSのソフトウェアに統合 <p>(出所) ANSYSプレスリリース 2020年10月21日 https://www.ansys.com/news-center/press-releases/10-21-20-eos-ansys-pioneer-cutting-edge-additive-manufacturing-workflow</p>
【ソフトウェア】Granta Design	<ul style="list-style-type: none">• 信頼性の高い材料データベース及びデータベース構築ツールを提供するGrantaを買収• 同社の買収により、ANSYSのユーザが材料に関する詳細情報へアクセスできるようになるなど、製品ポートフォリオの重要な分野を強化した <p>(出所) Grantaプレスリリース 2019年1月22日 https://www.grantadesign.com/news_articles/ansys-and-material-intelligence-leader-granta-design-sign-definitive-acquisition-agreement/</p>
【ソフトウェア】3DSIM	<ul style="list-style-type: none">• 金属AMシミュレーション技術の開発者である3DSIMの買収により、AMシミュレーションのワークフローを確立 <p>(出所) ANSYSプレスリリース 2017年11月15日 https://www.ansys.com/news-center/press-releases/10-03-18-ansys-granta-design-collaborate-empower-additive</p>

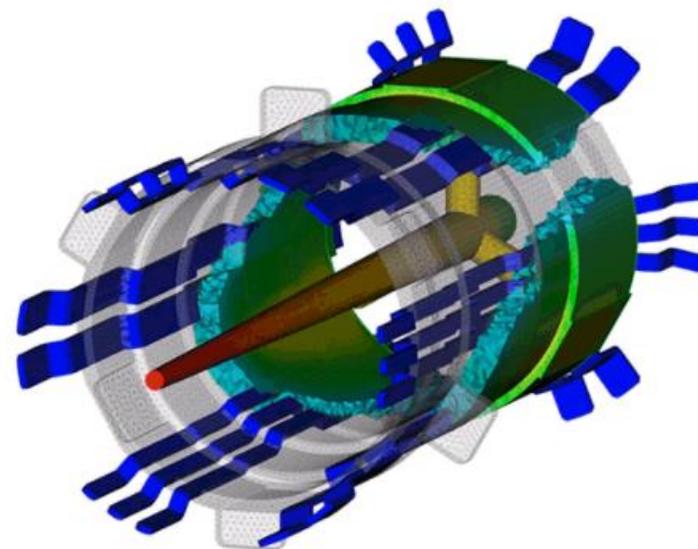
8. ASTOM(株式会社先端力学シミュレーション研究所)

企業概要

所在国	日本	設立	1999年	従業員数	65名	URL	https://www.astom.co.jp/
事業概要	<ul style="list-style-type: none">• 理化学研究所発ベンチャー企業• CAEソフトウェアの販売、解析・開発サービス(プレス成形・溶接・樹脂成形工程における熱流体解析、構造解析など)を展開。• AIソリューションサービス(AIを用いたCAE代替ソリューションの提供、ものづくりにおける自動化や故障予知への利用など)も事業として行っている。						



シミュレーション事例①:回転ファンによるエア一流速分布解析



シミュレーション事例②:樹脂射出成形プロセスシミュレーション

8. ASTOM(株式会社先端力学シミュレーション研究所)

AM関連製品のポートフォリオ

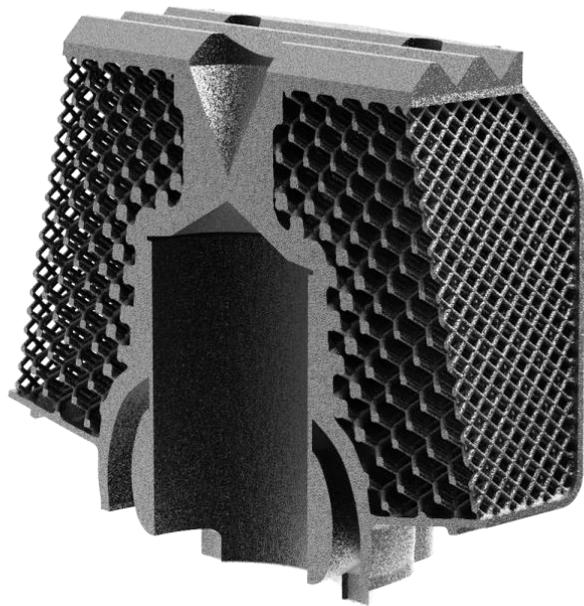
- 同社のHP上では、製品としてAMに関連したソフトウェアは紹介されていないが、熱流体シミュレーション(ASU/Pre-FOAM)、構造解析ソフトウェア(ASU/V-Struct、ASU/FrontISTR)がビルドの性能評価・検証に用いることが可能。
- TRAFAMIに参画し、金属積層造形(3Dプリンター)熱変形シミュレーションの技術開発を実施。

製品名	3Dデータ準備			評価・検証・最適化			ワークフロー生成・製造実行		
	データ インポート・ モデリング	位置決め・ 修正	サポート 生成	構造・トポロ ジー最適化	特性評価	プロセス 最適化	データスライ ス・スキャン パス生成	プリンタへの データ送信	製造・ポスト 処理実行
ASU/Pre-FOAM (熱流体解析)									
ASU/V-Struct (構造解析)									
ASU/FrontISTR (大規模並列計算構造 解析)									

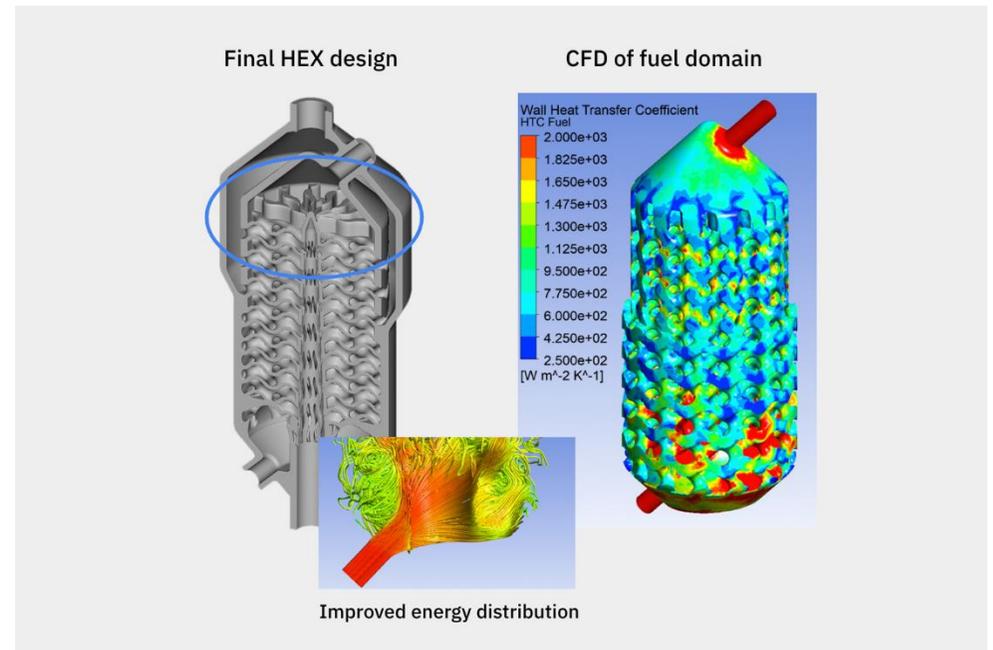
9. nTopology

企業概要

所在国	米国	設立	2015年	従業員数	不明	URL	https://ntopology.com/
事業概要	<ul style="list-style-type: none">• 先進的な設計製造のためのソフトウェアであるnTopologyを開発。• nTopologyは既存のCAD/CAEと連携し、ラティス設計やトポロジー最適化を含む設計フローをカバーし、積層造形のメリットを活かした軽量且つ堅牢なコンポーネントの効率的な設計、製造とする。						



nTopologyで設計されたドローンエンジンシリンダーの断面図
(ラティス構造の生成、トポロジー最適化)



有限要素解析と計算流体力学の結果にもとづく熱交換器の冷却チャネルの設計

9. nTopology

AM関連製品のポートフォリオ

- AM装置にインプットする構造データの生成・最適化を中心とした機能を実装したソフトウェアを提供。
- 少量のデータでの**三次元オブジェクトを表現する独自のモデリングエンジンがコア技術**であり、超高速の設計反復が可能なが特長。
- 可能性のある解決法をいくつも生成・検証して部品設計を行う**ジェネレーティブ・デザインにも有利**。

製品名	3Dデータ準備			評価・検証・最適化			ワークフロー生成・製造実行		
	データ インポート・ モデリング	位置決め・ 修正	サポート 生成	構造・トポロ ジー最適化	特性評価	プロセス 最適化	データスライ ス・スキャン パス生成	プリンタへの データ送信	製造・ポスト 処理実行
nTopology									
	<ul style="list-style-type: none"> ラティス構造の作成、トポロジー最適化(軽量化設計) 			<ul style="list-style-type: none"> 有限要素法を用いた機械特性、熱特性などのシミュレーション 複数の物理モデル・物理現象を考慮して設計の検証を行うことが可能(マルチフィジクスシミュレーション) 					
	<p>その他の特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 設計自動化: 設計プロセスにおける反復タスクを自動化 ワークフローの共有: 組織内でワークフローを共有することが可能 フィールド駆動型設計: <ul style="list-style-type: none"> →3D形状、設計パラメータの値、材料特性等、全てのデータを単一のフィールドとして記述 →様々なタイプのフィールドをソフトウェア内でオーバーレイし、設計条件のトレードオフを考慮を容易化 								

9. nTopology

装置メーカー等との連携状況

概要

- 2019年に、設計者やエンジニアが高度な製造プロセスから最大の価値を引き出すためのパートナーシッププログラムを発表
- パートナーシップの一環として、CADおよびCAEシステムで通常使用されるSTL形式などデータを用いたAMプロセスからnTopologyが提案する直接的な製造アプローチへの移行支援を実施
- 同社のHP (<https://ntopology.com/partners/>)も以下のような企業がパートナーとして掲げられている

HP上で公開されているAM関連の連携先

装置	ソフトウェア	コンサル・リサーチ／研究機関
<ul style="list-style-type: none">• Ge Additive• EOS• Velo3D• DMG Mori• Stratatsys	<ul style="list-style-type: none">• ANSYS• Siemens Digital Industries Software• Dassault systems	<ul style="list-style-type: none">• Betatype• Additive Minds• オークリッジ国立研究所• Manufacturing technology Center

プレスリリース等による連携事例

連携・買収先	概要
【研究機関】 デンマーク技術研究所 (DTI)	<ul style="list-style-type: none">• nTopologyが提供するソフトウェアとデンマーク技術研究所がもつAM設計の経験・知見とを組み合わせ、独創的な設計を実現• DTIのユーザの最適化設計を支援することで、nTopologyの認知度を高める狙いもある

10. Identify 3D

企業概要

所在国	米国	設立	不明	従業員数	不明	URL	https://identify3d.com/
事業概要	<ul style="list-style-type: none">• セキュリティ、IP、品質、信頼性、およびトレーサビリティのニーズに対応するソフトウェアソリューションを提供。• Identification3Dの製品は、部品のデジタルフローを暗号化、配布、追跡し、データの偽造や認定されていない部品が物理的なサプライチェーンに混入することを防止するもの。						

Identify3D Protect (設計データの暗号化)	<ul style="list-style-type: none">• 設計および製造ファイル用の安全な暗号化コンテナまたはデジタルサプライアイテム (DSI) の作成• 設計ファイルと製造ファイルへのデジタル署名の付与• 設計データへの数量、タイミング、認定メーカーなどビジネスルールの割当• マシントップ、ビルドパラメータ、材料の選択、および生産ワークフローの製造ルールの割当• CAD / CAM、PLMシステムなどのデジタルプラットフォームとの連携
Identify3D Manage (DSI: Digital Secure Informationの配布と追跡)	<ul style="list-style-type: none">• メーカーとサプライヤーへのDSIダウンストリームのライセンス供与• 工場フロアへの安全なDSIのライセンス供与• 製造ポリシーにもとづく既存のライセンスの更新• ERP、PLMシステムおよびデジタルプラットフォームとの統合
Identify3D Enforce (生産プロセスの制御)	<ul style="list-style-type: none">• 製造方針の実行• DSIの複合化• AM装置及び除去加工装置との連動(製造装置へのジョブ情報の転送及び装置からのフィードバックの受信)• ユーザ及び装置の認証
Identify3D Trace (トランザクションの記録)	<ul style="list-style-type: none">• 部品の信頼性と適格性に関するデータレポートの出力• デジタルマニュファクチャリングワークフロー上でのイベントのデータ照合サービスの提供• 物理部品検証のためのモバイル対応スキャン• 許可された関係者へのデータの証跡レポートの送信• 既存のブロックチェーン技術との連携運用

10. Identify 3D

装置メーカー等との連携状況

概要

- Identify3DのHP上 (<https://identify3d.com/partners/>)において、装置、AMサービス、ソフトウェアに関する企業がパートナーとして公開されている
- その他、同社のプレスリリースで、連携先の事例が公開されている

HP上で公開されているAM関連の連携先

装置	ソフトウェア	その他
<ul style="list-style-type: none">• SLM Solutions• Renishaw• EOS• Stratasys• 3D Systems	<ul style="list-style-type: none">• Materialise• Dassault Systems• Siemens Digital Industries Software	<ul style="list-style-type: none">• America Makes

プレスリリース等による連携事例

連携・買収先	概要
【装置】SLM Solutions	<ul style="list-style-type: none">• Identify3Dがレーザー溶融機での設計から製造までの契約や製造ライセンスを保護するソリューションを提供 (出所)Identify 3D https://identify3d.com/blog/identify3d-and-slm-solutions-collaborate-to-deliver-end-to-end-secure-digital-manufacturing/
【装置】Renishaw	<ul style="list-style-type: none">• 同上 (出所)Identify 3D https://identify3d.com/blog/renishaw-and-identify3d-collaborate-to-enable-secure-digital-manufacturing/
【ソフトウェア】 Siemens Digital Industries Software	<ul style="list-style-type: none">• 3D設計データ、埋め込みソフトウェア、ドキュメント、部品表などの製品データとプロセスの管理を行う製品ライフサイクル管理 (PLM) システム (Teamcenter) を共同で開発するためのパートナーシップを締結 (出所)Identify 3D https://identify3d.com/blog/identify3d-and-siemens-digital-industries-software-sign-oem-partnership-agreement-for-secure-digital-manufacturing-communication/
【ソフトウェア】 3YOURMIND	<ul style="list-style-type: none">• AMワークフローのデジタル化のすべての利点を維持しながら最大レベルのデータと知的財産セキュリティを維持するデータ標準を共同で開発 (出所)Identify 3D https://identify3d.com/blog/top-level-security-at-all-stages-of-the-am-workflow/

(1) 金属積層造形の最新の技術開発動向

- ① 国内外における最新技術開発動向 p. 3

(2) 金属積層造形の設計領域(3D設計ソフト)に係る市場動向、最新技術動向

- ① 国内外における市場動向の調査 p. 51
- ② 国内外における最新技術開発動向の調査 p. 83

(3) 金属3Dプリンタの原料のサプライチェーン、最新技術動向

- ① 国内外におけるサプライチェーンの調査 p. 95
- ② 国内外における最新技術開発動向の調査 p. 113

調査結果 各社の主な技術研究事例と市場ポジショニング・技術戦略 (1/2)

- 以下に、調査対象とした企業における近年の技術開発動向と、技術及び市場の動向から推測される市場のポジショニング・技術戦略を示す。詳細は後段を参照。

No	企業名	主な技術開発の事例	市場ポジショニング・技術戦略
1	Autodesk	<ul style="list-style-type: none"> 溶融フィラメント製造等のプロセス検討・設計検証機能の強化 ジェネレーティブ・デザインの深化による設計効率化 光造形装置(SLA/DPL)への対応 	<ul style="list-style-type: none"> CADを中心とした3Dモデリングに強み プロセス設計・検証や製造プロセス効率化での付加価値に注力 製造プロセスの効率化・管理ではAM装置メーカーとも連携
2	日本ユニシス・エクスレューションズ	<ul style="list-style-type: none"> CADを中心とした機能強化・操作性の向上 AM関連ではスライス処理ソフトウェアをリリース 	<ul style="list-style-type: none"> CADを中心とした3Dモデリングに強み 3Dモデリングの機能の更なる強化(強みの深化) 3DモデリングとAM装置の橋渡し部分への対応
3	3D Systems	<ul style="list-style-type: none"> 3D設計機能の強化 3Dバイオプリンティングのアプリケーション開発 	<ul style="list-style-type: none"> AM装置・製造サービスのノウハウを保有することに強み 自社の強みを活かしたソフトウェア開発とアプリケーション開発に注力 ソフトウェア企業の買収によるプロセス最適化・製造実行の補完・強化
4	Siemens Digital Industries Software	<ul style="list-style-type: none"> AMスキャン戦略の検討と製造プロセスの改善のための、物理モデルにもとづくシミュレーションに関する技術開発 	<ul style="list-style-type: none"> ワークフロー生成・製造実行(管理・自動化)とCAE・シミュレーションに強み 強みであるシミュレーションを更に強化 AM装置メーカーを含むサプライチェーン全体での企業アライアンスを形成
5	Materialise	<ul style="list-style-type: none"> ビルド準備最適化のためのシミュレーターの開発 ビルドプロセス作成ソフトウェアの開発 	<ul style="list-style-type: none"> ワークフロー生成・製造実行(管理・自動化)とCAE・シミュレーションに強み 強みであるシミュレーションを更に強化 自社の製品ポートフォリオになり3Dモデリング(CAD)は他者連携により対応

調査結果 各社の主な技術研究事例と市場ポジショニング・技術戦略 (2/2)

- 以下に、調査対象とした企業における近年の技術開発動向と、技術及び市場の動向から推測される市場のポジショニング・技術戦略を示す。詳細は後段を参照。

No	企業名	主な技術開発の事例	市場ポジショニング・技術戦略
6	Dassault Systems	※情報なし	<ul style="list-style-type: none"> • CAE・シミュレーションに強み • 強みであるシミュレーションを更に強化 • 3Dモデリングとシミュレーションのシームレスな連携を強化
7	ANSYS	<ul style="list-style-type: none"> • 新たなモデルの組み込みによるシミュレータの適用範囲の拡張 • 効率的なプロセス設計のためのエンジニア支援 	<ul style="list-style-type: none"> • CAE・シミュレーションに強み • 強みであるシミュレーションを更に強化 • DfAMの設計から検証まで包括的な分析へも対応
8	ASTOM	<ul style="list-style-type: none"> • AMプロセスの熱ひずみ・変形予想のためのシミュレーション技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> • CAE・シミュレーションに強み • 強みであるシミュレーションを更に強化
9	nTopology	<ul style="list-style-type: none"> • 設計高速化のための高性能ハードウェアの活用機能の実装 • 設計ワークフローの効率化につながるソフトウェア機能の開発 	<ul style="list-style-type: none"> • トポロジー最適化やビルト検証の工程を中心とする設計ワークフローの効率化の点で強みを有する • 装置メーカーとの連携によって自社製品・技術の優位性を更に深化 • CAEソフトウェア企業との連携によるCAE・シミュレーションの補完・強化
10	Identify3D	<ul style="list-style-type: none"> • 検査および欠陥検出工程でのセンサーデータの収集や欠陥予測プロセスの保護するワークフローを最適化するアーキテクチャーを開発 • AM装置メーカーと連携し、同社の安全な通信ソリューションなどをAM装置に統合する取り組みを実施 	<ul style="list-style-type: none"> • セキュリティ、IP、品質、信頼性、およびトレーサビリティで他社にない独自性を有する • 装置メーカーとの連携による自社製品・技術の市場影響力の拡大

1. Autodesk

技術開発、ソフトウェアへの機能追加等

概要

- クラウドベースのCAD/CAM/CAEソフトウェア(AM製造も含む、統合ソフトウェア)であるFusion360のロードマップを作成。
- 機能拡張に関する最新のプレスリリース(2021年1月19日)では、設計の検証を行える機能を追加。
- 本機能の追加により、加熱時の金属の欠陥予測などを行うことを可能とした。また、金属粉末を造形ステージへ均一に敷き詰めるプロセス(リコーター)にも着目し、プロセス障害回避のための設計確認機能も実装。

ロードマップで取り上げられている主要な技術

項目	概要
溶融フィラメント製造	AMの設計・製造プロセスの検討のための機能
ジェネレーティブデザイン	トレードオフ設計のために、複数の設計の機能・性能・コストを同時に比較する機能、
先端製造ツール	ツールパストリミング、4軸回転、5軸急勾配など
先端シミュレーションツール	イベントシミュレーションや電子部品の冷却プレビュー機能等の高度なシミュレーション機能の実装
電子回路の設計機能	2D電子回路図、2D/3D プリント基板回路をFusion360内で統合的に設計可能とするもの
インプレス編集ビュー	参照されているジオメトリを同じドキュメント内で確認することを可能とする機能

AMIに関する主な(社内)開発プロジェクト

<溶融フィラメント製造の改善>

- 溶融フィラメント製造のAM装置のスライサーに関する改良を実施
- 複数のフィラメントを用いる新たな充填タイプへの対応、AMプロセス(二重射出プロセス)の改善とツールパス生成の性能向上などを実施

<SLA/DLPへの対応>

- Fusion360があらゆるAMプロセスをサポートすることを目指して、溶融フィラメントや金属粉末床溶融結合以外への対応も進めている
- 具体的には、以下のようなSLAおよびDLPの印刷準備を可能にするような取り組みを行っている

- ✓ プリンターワークスペースの統合
- ✓ SLA/DLP固有のサポート生成方法
- ✓ プラットフォーム内でのパーツのパッキング
- ✓ AMモデルのスライス

2. 日本ユニシス・エクセリューションズ

技術開発、ソフトウェアへの機能追加等

概要

- 2017年6月にAM装置用スライス処理「Ammeister」をリリースし、AM市場へ本格参入。
- その他、CADソフトウェアを中心に新製品やバージョンアップをリリースするなど、機能強化を積極的に推進。

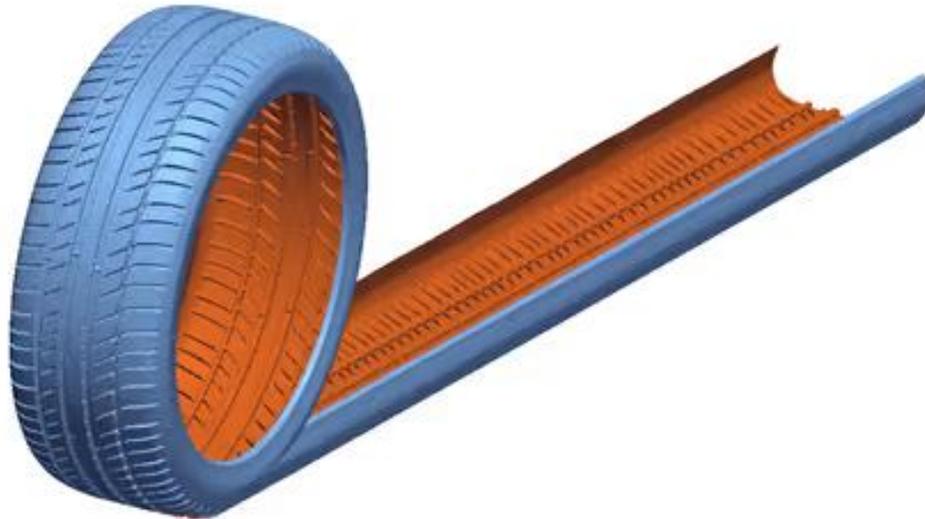
事例	概要
AM装置用スライス処理「Ammeister」のリリース及びバージョンアップ	<ul style="list-style-type: none">• 2017年6月に、「造形精度向上」と「造形時間短縮」の両立を実現するAM用スライス処理ソフトウェア「AMmeister」をリリース。• 1. 造形対象形状を考慮した部分詳細のスライスパスの作成が可能、2. 異なる形状のモデルそれぞれにスライスピッチの可変指示が可能、3. スライスパスを編集できるAPIを用意することにより、製造現場で造形条件の最適化を可能とした点が特長とされている• 2020年1月にリリースしたVer.2では、光造形 AM装置向けのサポート自動設計機能を実装することによりサポート作成からスライス処理までの一連の工程をAMmeister 単体で完結させ、利便性を向上• 2021年3月にリリースしたVer.3では、汎用フォーマットへの対応を行い、AM装置メーカーによるインターフェースの作り込みを不要とした。 <p>(出所)日本ユニシス・エクセリューションズ https://www.unisys.co.jp/news/nr_170613_uel.html https://www.unisys.co.jp/news/nr_200120_uel_ammeister.pdf https://www.unisys.co.jp/news/nr_210331_uel_ammeister.pdf</p>
3DAベースのエンジニアリングツール「3DAviewmeister」を販売開始(2021年1月27日発表)	<ul style="list-style-type: none">• 3D CADを用いて作成した形状モデルに構造特性(寸法・注記・数量など)を加えた3DAモデル(3D Annotated Model)を可視化するツール「3DAviewmeister」をリリース。• 様々な工程で定義される付加情報を合わせて可視化し、3Dデータを「正」としたプロセス改善を支援。 <p>(出所)日本ユニシス・エクセリューションズ https://www.unisys.co.jp/news/nr_210127_uel_3daviewmeister.pdf</p>
3次元統合CAD/CAMシステム「CADmeister®」の新バージョン 2020を提供開始(2020年9月9日発表)	<ul style="list-style-type: none">• 従来の製品から、「3Dデータや情報の視認性向上」、「直感的操作によるマウス移動量の削減」などを図った最新バージョンをリリース。• スケルトン表示機能やメニュー表示の変更などによる「使いやすさの向上」、「製造現場でのIoT計測結果を3D空間上で可視化する機能の実装」、「金型設計機能やNC加工データ自動作成機能の強化」などが行われている <p>(出所)日本ユニシス・エクセリューションズ https://www.unisys.co.jp/news/nr_210909_uel_cadmeister.pdf</p>

3. 3D Systems

技術開発、ソフトウェアへの機能追加等

概要

- 2020年8月に公表した「戦略的事業再編計画」(New Strategic Focus, Reorganization and Restructuring Plans)において、ヘルスケアや産業分野(航空宇宙、防衛等)に特化し、経営リソースを集中させることを発表
 - 2020年3月には、業界初のリバースエンジニアリングソフトウェアの拡張機能を発表
 - 2021年6月には、CollPlant Biotechnologies社との乳房再建治療向けバイオプリントソリューションに関する共同開発契約を締結
- Geomagic® Design X™において、リバースエンジニアリング機能を拡張
 - 回転パーツの設計のための、アンロール/リロール機能やトポロジー最適化された構造や複雑な形状の部品のモデリングを簡素化する機能(セレクトティブ・サーフェス機能)などを追加
 - CollPlant社と共同で、コラーゲンを使用した3Dバイオプリンティング軟組織マトリックスを開発
 - 研究プロジェクトを通して、乳がんの再建治療を提供できる新しいアプリケーションを探索



Geomagic DesignXでのタイヤの3Dスキャンの展開



三次元バイオプリントによる軟組織スキャフォールド

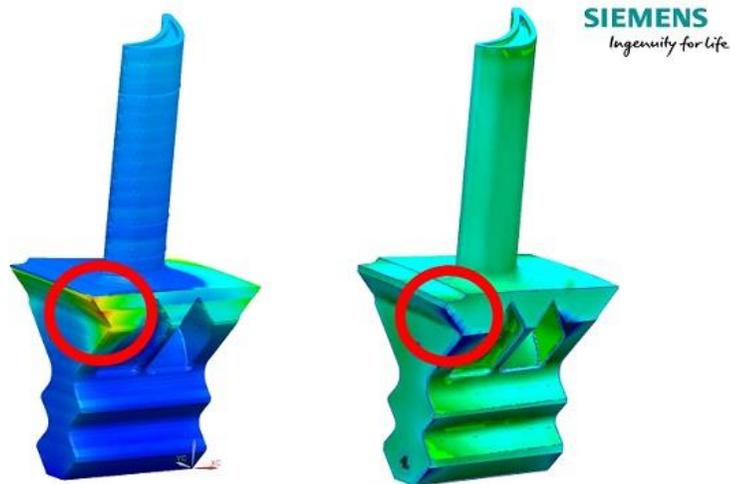
4. Siemens Digital Industries Software

技術開発、ソフトウェアへの機能追加等

概要

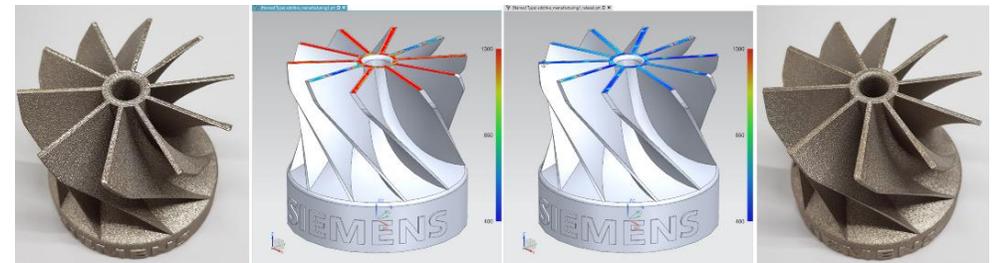
- 2018年11月に、Siemensのデジタルツインに対する戦略の下、AM製造における歪みを予測するためのプロセスシミュレーションであるSimcenter Additive Manufacturing Process Simulation solutionを発表するなど、次世代のAMスキャン戦略の検討とプロセスパラメータに起因するエラーへの対処に対する技術開発を行っている
- 2019年11月には、プロセスシミュレーションにもとづいて、金属粉末床融合での部品の歩留まりと品質を向上及び貢献するスキャンパス最適化ソフトウェア「AM Path Optimizer」をリリース

- シミュレーションにより、歪みの評価、リコーターの衝突予測、加熱領域の予測など、プロセス設計に関するフィードバックを得る
- シミュレータは、SiemensのAMソリューションに統合



拡張有限要素法を用いたAMプロセスシミュレーションの概要
～予測された歪み(左図)と元のCADデータ(右図)との比較から

- AMプロセスによって引き起こされる過熱・品質低下を防止するスキャンパスの最適化を行うソフトウェアを開発
- 物理モデルにもとづくシミュレーションと機械学習を組み合わせたアプローチにより、実行前の数分でジョブファイルを分析
- TRUMPFをパートナーとして、技術のデモンストレーションを行い、有効性を確認



最適化されていないスキャンパス(右側)と最適化スキャンパス(左側)の過熱の状況
(最適化スキャンパスでは局所的な過熱の抑制と表面品質の改善がみられる)

5. Materialise

技術開発、ソフトウェアへの機能追加等

概要

- ビルドの準備を最適化するためのシミュレーターやビルドプロセスを作成する「Build Processor」の開発を行っている
- シミュレーターでは、2018年9月に、製造中の部品の挙動を予測・分析する金属AM用シミュレーションソフトウェアを発表
- Build Processorは従来から様々なAM装置メーカーで広く利用されていたが、2020年11月に、Desktop MetalのAM装置向けのビルドファイルに変換できるようにも対応

事例	概要
金属AM用のシミュレーションソフトウェアの開発	<ul style="list-style-type: none">• 2018年9月25日、英国バーミンガムで開催されたTCTショーで、マテリアライズは金属3D印刷用のシミュレーションソフトウェアを発表• Materialize Magics 3D Print Suiteと組み合わせて、管理しやすいシミュレーション機能を低価格で提供• シミュレーターにより仮想プロトタイプを作成することで、製造プロセスでのパーツの挙動を予測・分析• 最適な部品の向きやサポート構造の設計、ビルド準備の最適化などに関するフィードバックを提供
ビルドプロセス作成ソフトウェア（「Build Processor」）の開発	<ul style="list-style-type: none">• Desktop Metal社のバインダージェットAM装置を支援する機能を実装• Metal社のバインダージェットAM装置用に、マテリアライズのソフトウェアスイートと互換性のあるこの統合ソリューションを作成し、金属バインダージェット造形の生産性を向上

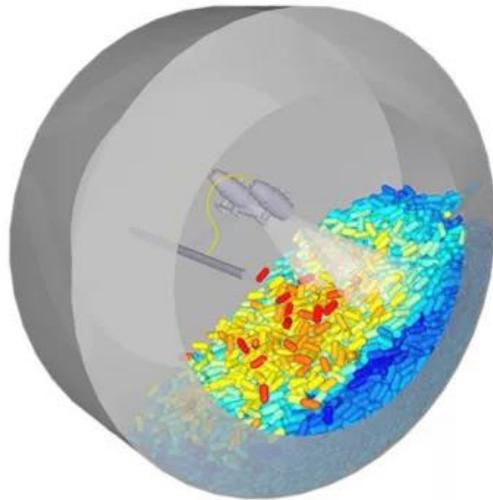
7. ANSYS

技術開発、ソフトウェアへの機能追加等

概要

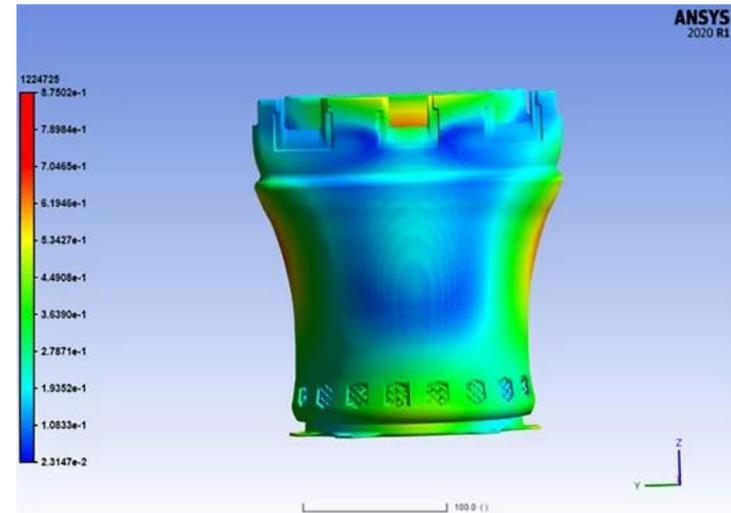
- シミュレーションの新たなモデルの導入やAMエンジニアへの自社製品を用いた設計プロセスのトレーニングの提供を行うことで、自社製品の高度化やソフトウェアを用いた高度な設計事例の創成につなげている
- シミュレーションモデルでは、2021年4月に、ESSS社と共同で、粒子運動の設計問題を解決する離散要素法(DEM)を用いたワークフローを開発
- 設計プロセスとのトレーニングでは、2021年2月に、Siemens Energy社のPBF AMプロセスとANSYSのシミュレーション技術とを相互運用し、設計者に造形品の作製のための設計プロセスの改善を提供することを発表

- 離散要素法は、従来の手法とは異なり、任意の粒子形状を正確にモデル化
- 大量の粒子や粉体の実際の形状をモデル化する機能により、**AMIにもシミュレーションの適用範囲を拡張**



離散要素法を用いた医薬品錠剤のコATINGプロセスの品質確認

- AnsysとSiemens Energy AM技術間の相互運用性を強化**
- トレーニングを受けた設計者は、Ansysシミュレーションソリューションを利用して、製品の効率的な設計を実施



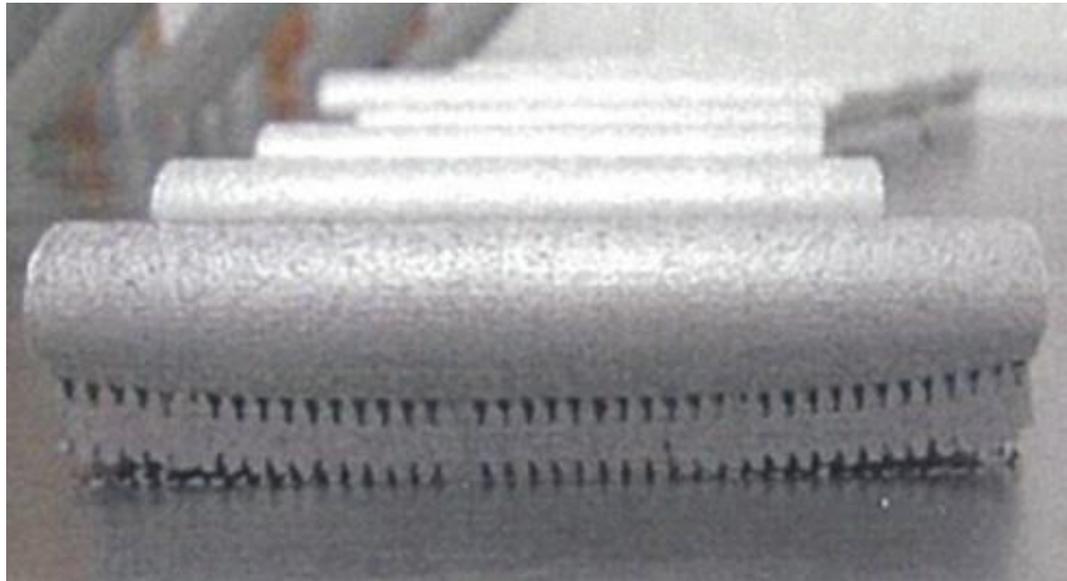
ANSYS AdditiveによるAM製造後の歪みの検証例

8. ASTOM

熱変形シミュレーション技術開発

概要

- 造形プロセス中の予期しない変形の発生により、AMの品質確保が難しいと課題へ対応するため、シミュレーション技術を用いて、プロセス中に発生する歪みを予測
- アーク溶接の分野で用いられる「固有ひずみ法」と大規模解析に適した「階層型領域分割法」を組み合わせ、一般的な熱弾塑性解析よりも、計算時間の飛躍的な短縮に成功



熱変形により反りが発生した金属積層造形物

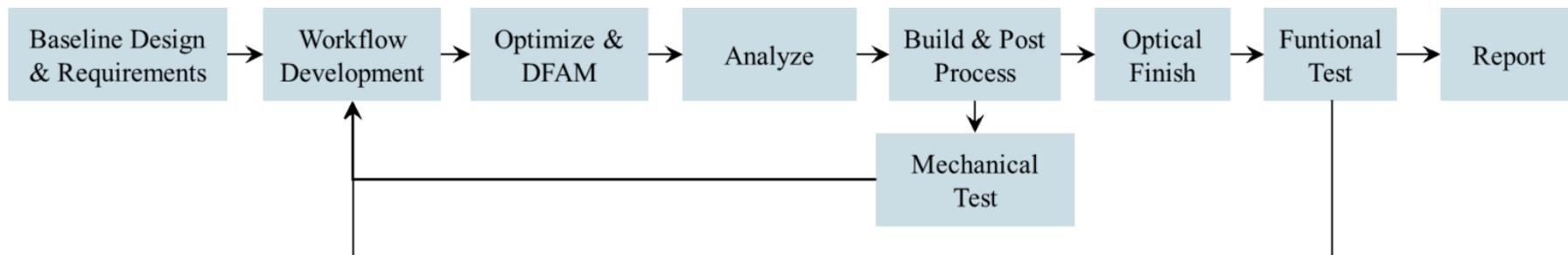
9. nTopology

技術開発、ソフトウェアへの機能追加等

概要

- 少量のデータで三次元オブジェクトを表現し、**超高速に設計反復が可能という強みを活かす**ため、2021年4月に最新版のリリースでは**GPUアクセラレーションの有効化機能の導入**を行い、**高性能なハードウェアを有効に活用**できるようにした(※1)。
- また、複雑な部品の表面を保護プラグなどのアクセサリ(フィクスチャ)をマスクに変更する設計ツールの追加やバリ取りおよび研磨プロセスに対応するマスキング処理を自動化するなど、**設計の効率化につながるソフトウェア機能も開発**(※2)。
- Raytheon TechnologiesがPrincipalとなっているAmerica Makesのプロジェクト「Topology Optimized Reflective Optics (TORO) Additive for eXtreme Improvements in Optical Mounts (AXIOM)」にも参画。プロジェクトのベースライン設計を最適化するワークフローを提供。

- 最先端のトポロジー最適化とエンド・ツー・エンドのAMプロセスを利用することにより、ビルドサイクルタイムを50%短縮するプロジェクトに、自社の製品であるnTop Platformソフトウェアが利用されている
- nTop Platformソフトウェアは、最適化結果からスライスファイルへのデータの直接移行など、ジオメトリ操作と設計サイクルタイムの短縮に貢献する機能を提供する
- プロジェクトの中で、**光学部品の設計・製造ワークフローに適用可能な機能を有するソフトウェアの技術開発を実施**



TOROプロジェクトのフローチャート

(出所) Topology Optimized Reflective Optics (TORO) Additive for eXtreme Improvements in Optical Mounts (AXIOM)

<https://www.americamakes.us/portfolio/5505-001-topology-optimized-reflective-optics-toro-additive-for-extreme-improvements-in-optical-mounts-axiom>

※1 nTopology <https://ntopology.com/blog/2021/04/20/ntopology-3-0-release-announcement/>

※2 nTopology <https://ntopology.com/blog/2021/03/26/fdm-fixture-generator-masking/>

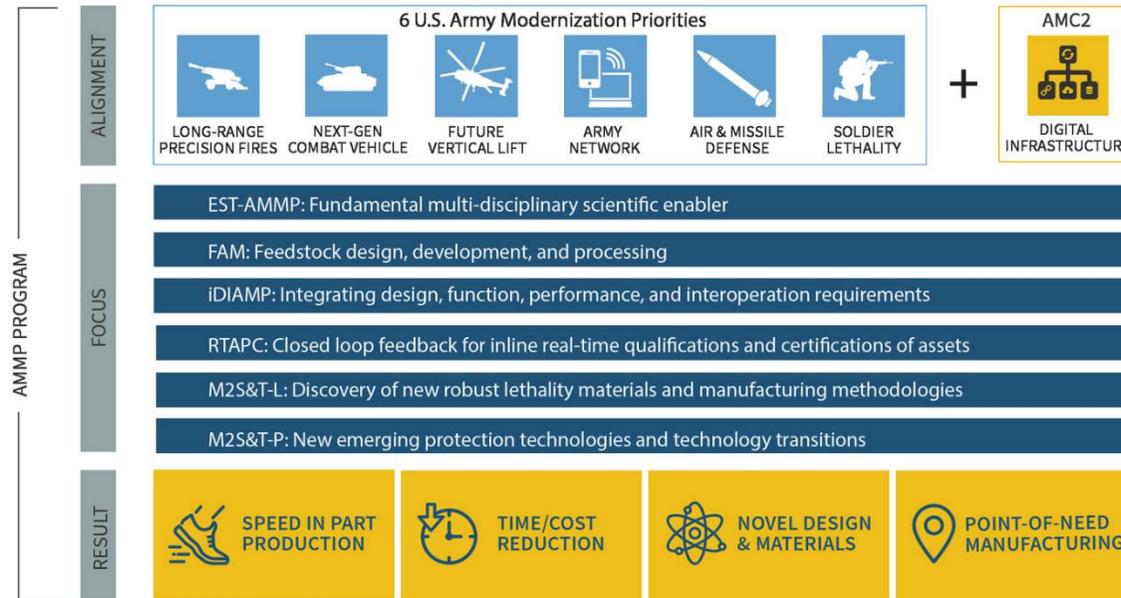
10. Identify3D

技術開発、ソフトウェアへの機能追加等

概要

- The National Center for Manufacturing Sciences (NCMS) のもとで実施されているAdvanced Manufacturing, Materials, and Processes (AMMP) programに参画し、**検査および欠陥検出工程でのセンサーデータの収集や欠陥予測プロセスの保護するワークフローを最適化するアーキテクチャを開発**
- その他、AM装置メーカーと連携し、同社の安全な通信ソリューションなどをAM装置に統合する取り組みを実施(※1)

- ペンシルベニア州立応用研究所、ジョンズホプキンス大学、3DSYSTEMSと協力して、軍の装備品の冷却効率を最大化し、システム全体のパフォーマンスを向上させるコンポーネント最適化の取り組みに参画
- Identify3Dは、検査および欠陥検出ワークフローでセンサーデータを安全に収集し、設計および欠陥予測プロセスを保護して、最終的に完全なデジタルワークフローを最適化するアーキテクチャを開発



AMMPプログラムの概要 上記のうち、Identify 3Dは”M2S&T: New emerging protection technologies and technology transition”に参画していると考えられる

(1) 金属積層造形の最新の技術開発動向

- ① 国内外における最新技術開発動向 p. 3

(2) 金属積層造形の設計領域(3D設計ソフト)に係る市場動向、最新技術動向

- ① 国内外における市場動向の調査 p. 51
- ② 国内外における最新技術開発動向の調査 p. 83

(3) 金属3Dプリンタの原料のサプライチェーン、最新技術動向

- ① 国内外におけるサプライチェーンの調査 p. 95
- ② 国内外における最新技術開発動向の調査 p. 113

調査対象

➤ 金属3Dプリンタ用の材料を扱う主要な企業として、調査項目(3)では以下の13機関を調査対象とした。

地域	本社所在国 *	No.	機関名
アジア	日本	1	日本積層造形
	日本	2	JX金属
	中国	3	Avimetal Powder Metallurgy 中航迈特粉冶科技(北京)有限公司
北米	米国	4	GE Additive (AP&C)
	米国	5	Carpenter Technology (LPW Technologies)
	カナダ	6	Tekna
欧州	ドイツ	7	Heraeus
	ドイツ	8	EOS
	英国	9	GKN Powder Metallurgy
	スウェーデン	10	Höganäs
	スウェーデン	11	Sandvik
	スイス	12	Oerlikon
	ロシア	13	Polema

主要企業の提携先 (1/2)

- 金属材料メーカーのサプライチェーンに対する取り組みを把握するため、各社のサプライチェーンに影響し得る関連企業・提携先について調査した。以下に概要を示す。

#	金属粉末メーカー		金属粉末関連の関連企業・提携先					
	社名	所在地	社名	粉末メーカーとの関係	本社所在地	販売拠点／販売先	製造拠点	備考
1	日本積層造形	日本	双日	出資者	日本	?	?	世界各地に拠点があるが、現時点ではまだAM材料の販売網としては機能していないと思われる。
2	JX金属	日本	TANIOBIS	グループ傘下	ドイツ	日本、ドイツ、米国	日本、ドイツ、タイ	Ta, Nb系の販売を担当。
			トーヨーテック	グループ傘下	日本	日本	日本	64Tiの販売を担当。
3	Avimetal Powder Metallurgy	中国	—	—	—	—	—	提携先等の情報はなく、自社拠点も国内のみ。国際展示会に出展しているの、海外市場にも関心はある？
4	GE Additive	米国	AP&C	子会社	カナダ	—	カナダ	材料事業の中心。装置メーカーによる買収を経て、現在はGE Additive傘下。
			森村商事	販売窓口	日本	日本、韓国	—	—
5	Carpenter Additive (LPW)	米国	LPW Technologies	子会社	英国	—	英国、米国	材料事業の中心。2018年に買収された。
			LPW South Europe	販売窓口	イタリア	イタリア	—	—
			Carpenter Additive Japan	販売窓口	日本	日本	—	—
			Aerniv Agencies	販売窓口	イスラエル	イスラエル	—	—
			MG Sales	代理店	インド	インド	—	—
			Maschine Technology	代理店	シンガポール	中国、マレーシア、タイ、台湾	—	—
			AM Solutions	代理店	韓国	韓国	—	—

主要企業の提携先 (2/2)

- 金属材料メーカーのサプライチェーンに対する取り組みを把握するため、各社のサプライチェーンに影響し得る関連企業・提携先について調査した。以下に概要を示す。

#	金属粉末メーカー		金属粉末関連の関連企業・提携先					
	社名	所在地	社名	粉末メーカーとの関係	本社所在地	販売拠点／販売先	製造拠点	備考
6	Tekna	カナダ	Arendals Fossekompani	親会社	ノルウェー	?	?	資産運用会社であり、ファイナンス機能のみと思われる。水力発電事業も保有。
			Scientek Corporation	提携先	台湾	台湾	—	化学系機器の販売代理店。
7	Heraeus	ドイツ	—	—	—	—	—	※1
8	EOS	ドイツ	Phillips Corporation 他	代理店	米国 他	米国 他	米国 他	※1
9	GKN Powder Metallurgy	英国	—	—	—	—	—	※1
10	Höganäs	スウェーデン	AMEXCI	出資先	スウェーデン	?	スウェーデン	サービスビューロ兼技術開発拠点として設立されたJV。各種産業から12社が出資しており、うち1社がHoganas。
11	Sandvik	スウェーデン	BEAMIT	出資先	イタリア	?	英国、イタリア	Sandvik本体の傘下にあるAMサービスビューロ。その更に一部に粉末部門のSandvik Additiveがある模様。
			Immensa Additive Manufacturing	提携先	ドバイ	サウジアラビア、UAE、クウェート	?	Sandvik Additiveの提携先。受託製造機能が主だが、Sandvikとは粉末の販売で提携した。
12	Oerlikon	スイス	—	—	—	—	—	世界各地に自グループの拠点がある。AMを扱うのは主にOerlikon AMとOerlikon Metco。
13	Polema	ロシア	Lafonte Commerce	代理店	スイス	?	—	金属専門の代理店のようだが詳細不明。

主要企業の拠点から見るサプライチェーン (1/2)

本: 本社所在地 製: 本社以外の製造拠点所在地
 ●: その他拠点(現地オフィス等) ○: グループ会社を通じた販売先
 △: 提携代理店を通じた販売先 □: 提携装置メーカーを通じた販売先

➤ 金属3Dプリンタ用材料のサプライチェーンの傾向を把握するため、各社がサプライチェーンに組み込んでいる可能性のある各種拠点や提携先等の所在地を調査した。以下に概要を示す。

#	金属粉末メーカー		北米		中南米					アジア・オセアニア								中東			アフリカ		
	社名	本社所在地	米国	カナダ	メキシコ	ブラジル	アルゼンチン	チリ	コロンビア	日本	中国	台湾	香港	韓国	シンガポール	インド	マレーシア	タイ	オーストラリア	イスラエル	アラビア	サウジ	南アフリカ
1	日本積層造形	日本								本													
2	JX金属	日本	○							本							○						
3	Avimetal Powder Metallurgy	中国									本												
4	GE Additive	米国	本	製						△	●			△	●								
5	Carpenter Additive (LPW)	米国	本							○		△		△		△	△		○				
6	Tekna	カナダ		本							●	△		●									
7	Heraeus *1	ドイツ	●							●	●	●	●	●	●	●	●						●
8	EOS *2	ドイツ	●△	△	△	△	△	△	△	●	●			●	●	●		△	△	△	△	△	△
9	GKN Powder Metallurgy *3	英国	●	●	●	●△				●	●			△	●							△	
10	Höganäs *4	スウェーデン	製●			製				●	製	●		●			製						
11	Sandvik *5	スウェーデン																					
12	Oerlikon	スイス	製●								●												
13	Polema	ロシア									●	●		●									

*1 Heraeus Electro-Niteの拠点など、金属粉末を扱っていないと思われる拠点は含めていない。*2 AM装置の専門企業であるため、全ての拠点および代理店が材料も扱うものとしてリストに加えている。*3 金属粉末を扱うグループであるため、全ての拠点がAM材料も扱うものとしてリストに加えている。各地に製造拠点もある模様だが、場所在不明なため記載していない。*4 粉末の製造を担っている拠点のほか、混合のみを行う拠点がある。前者は「製」、後者は「●」に分類している。*5 オフィス所在地が不明のため記載なし。

主要企業の拠点から見るサプライチェーン (2/2)

本: 本社所在地 製: 本社以外の製造拠点所在地
 ●: その他拠点(現地オフィス等) ○: グループ会社を通じた販売先
 △: 提携代理店を通じた販売先 □: 提携装置メーカーを通じた販売先

➤ 金属3Dプリンタ用材料のサプライチェーンの傾向を把握するため、各社がサプライチェーンに組み込んでいる可能性のある各種拠点や提携先等の所在地を調査した。以下に概要を示す。

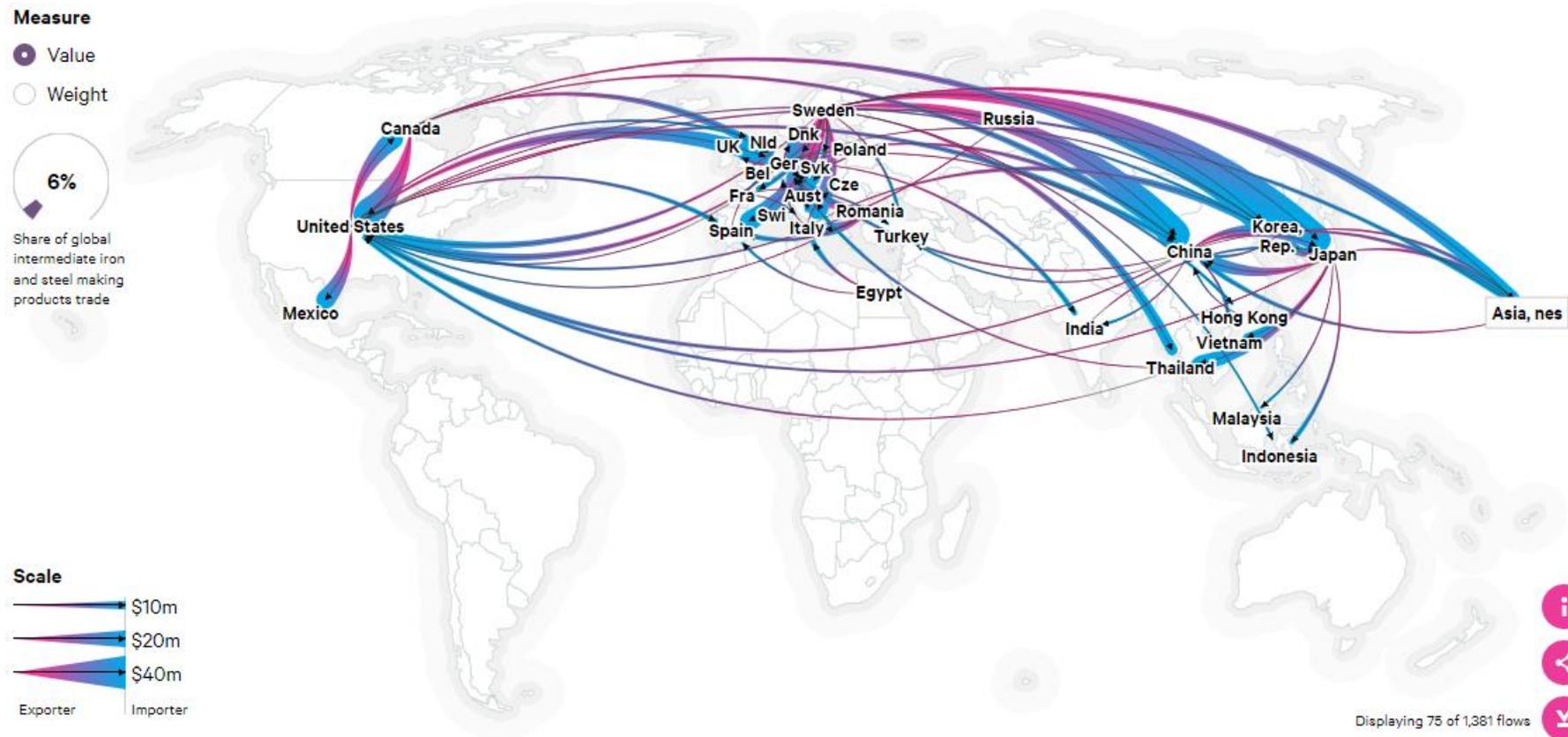
#	金属粉末メーカー		ヨーロッパ																			
	社名	本社所在地	ドイツ	英国	フランス	スイス	オランダ	スペイン	イタリア	マルタ	スウェーデン	フィンランド	ポーランド	チェコ	クロアチア	スロベニア	ハンガリー	ルーマニア	ブルガリア	トルコ	ロシア	
1	日本積層造形	日本																				
2	JX金属	日本	○																			
3	Avimetal Powder Metallurgy	中国																				
4	GE Additive	米国	●						●		●											
5	Carpenter Additive (LPW)	米国		製					○		●											
6	Tekna	カナダ			●																	
7	Heraeus *1	ドイツ	本		●			●	●					●				●		●		
8	EOS *2	ドイツ	本△	●	●△	△	△	△	●△	△	●	●△	△	△	△	△	△		△	△	△	△
9	GKN Powder Metallurgy *3	英国	●	本	△				●			△						●		●△		
10	Höganäs *4	スウェーデン	製●	製●	●			●	●		本製●											●
11	Sandvik *5	スウェーデン									本											
12	Oerlikon	スイス	●			本																
13	Polema	ロシア				△																本

*1 Heraeus Electro-Niteの拠点など、金属粉末を扱っていないと思われる拠点は含めていない。 *2 AM装置の専門企業であるため、全ての拠点および代理店が材料も扱うものとしてリストに加えている。 *3 金属粉末を扱うグループであるため、全ての拠点がAM材料も扱うものとしてリストに加えている。各地に製造拠点もある模様だが、場所が不明なため記載していない。 *4 粉末の製造を担っている拠点のほか、混合のみを行う拠点がある。前者は「製」、後者は「●」に分類している。 *5 オフィス所在地が不明のため記載なし。

(参考) 貿易統計から見るサプライチェーン

鉄鋼 - 非合金 - 粉末

- スウェーデンが圧倒的なシェア(世界全体の輸出額の約30%)を持っており、欧州圏内のほか日本・中国・韓国を中心とするアジアにも大量に輸出している。一方で北米は比較的SCが独立しており、カナダ→米国に一定量が流入した後、米国からカナダ・メキシコ・ドイツに輸出されている。
- 日本はスウェーデンからの輸入が多く、輸出先は主に中国・タイ・ベトナム。



(注) 単位は全て百万ドル。データは積層造形用途以外のもの(例:MIM用粉末、粉末状の加工くず等)も含まれ得る点に留意が必要。また2021年分はまだ統計データが揃っておらず、2020年は新型コロナ影響により世界的に輸出入量が落ち込んでいたため、データは全て2019年のものを示している。
(出典) resourcetrade.earth (Chatham House) <https://resourcetrade.earth/>

(参考) 貿易統計から見るサプライチェーン

鉄鋼 - 合金 - 粉末

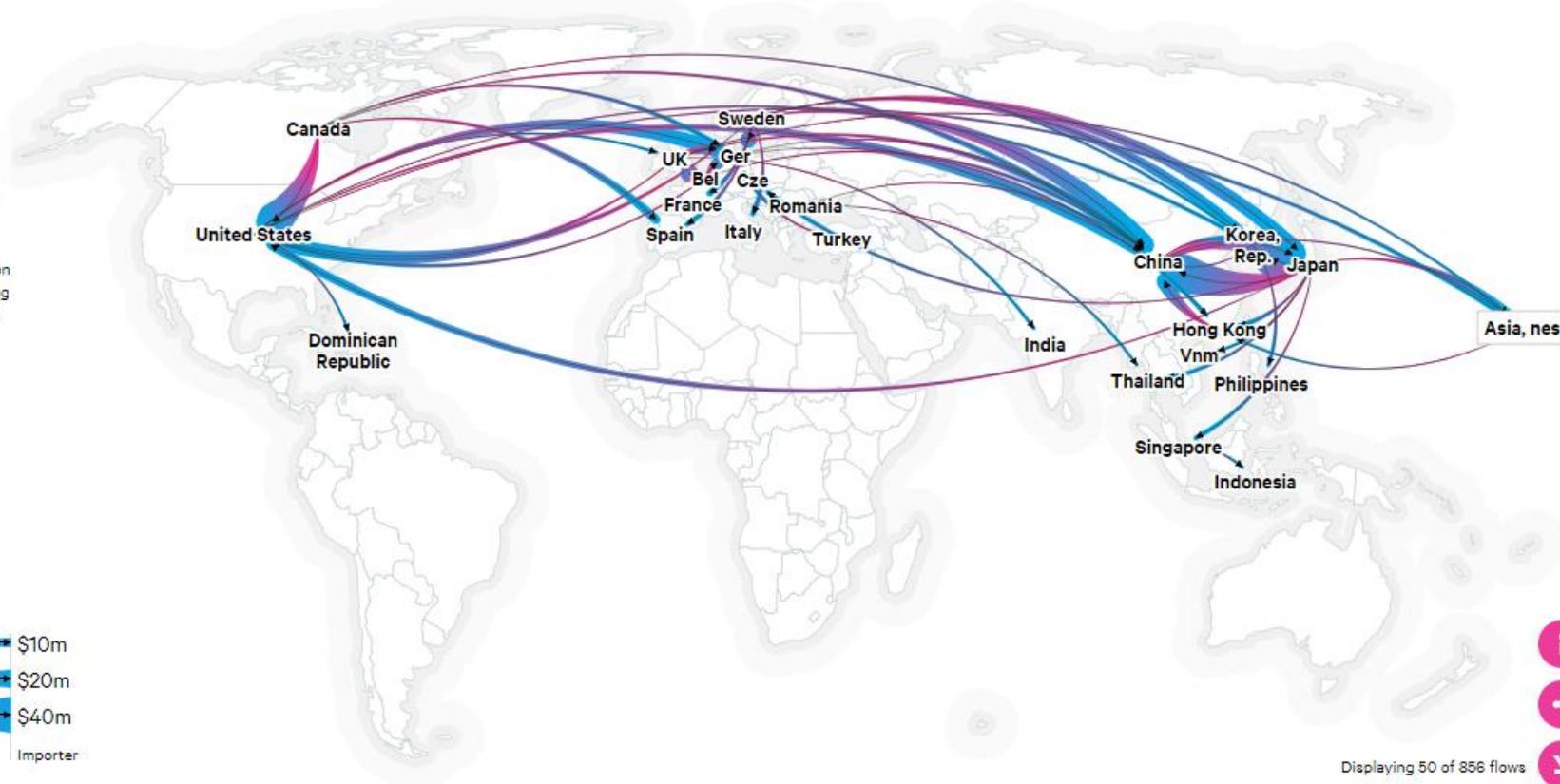
- アジアは日本、欧州はスウェーデン、北米はカナダが主な供給国になっている。特に日本は世界最大の輸出国であり、中国・韓国を中心にアジア全般に輸出をしている。日本による輸入は主に中国及びスウェーデンからのもの。
- なおドイツ⇔中国の輸出入は減少傾向な一方、ドイツ→香港、香港→中国の輸出が増加している。ドイツに限らず、中国企業との直接取引の代わりに香港企業を経由しようとする企業が増えている可能性がある。

Measure

- Value
- Weight



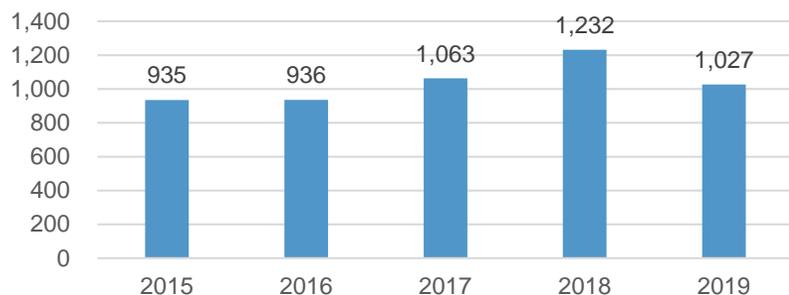
Scale



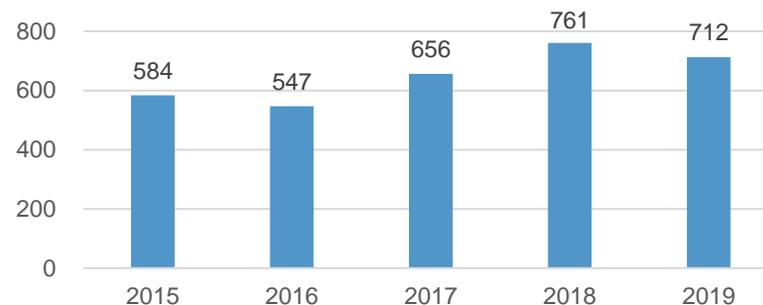
(参考) 貿易統計から見るサプライチェーン

鉄鋼 - 非合金 - 粉末

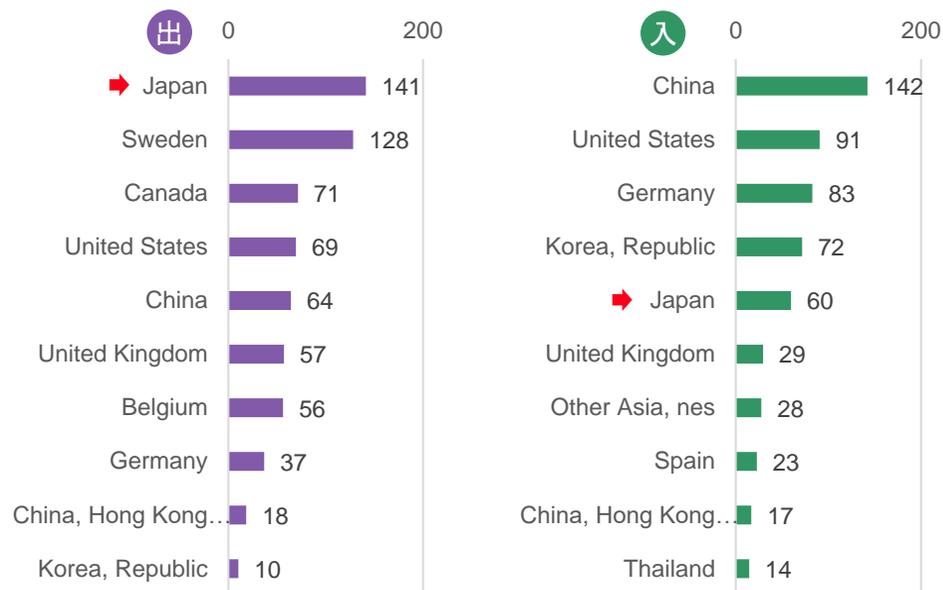
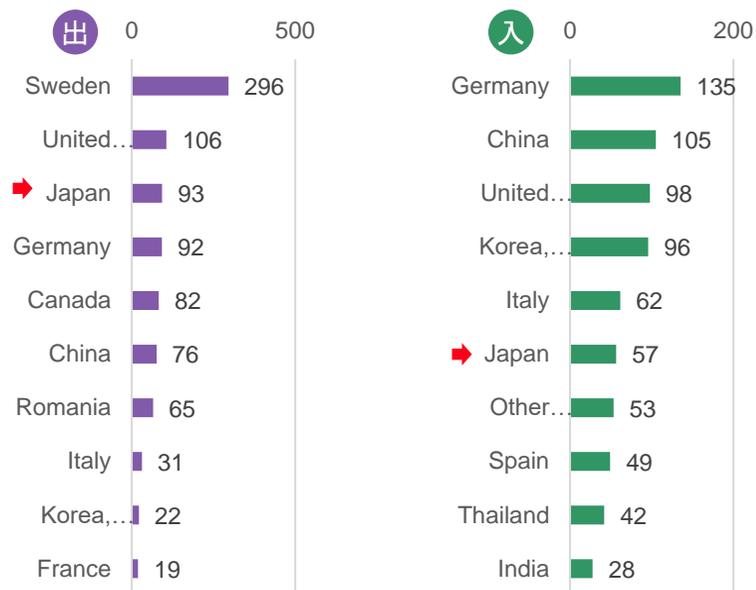
総輸出入額



鉄鋼 - 合金 - 粉末



輸出／輸入額
トップ10

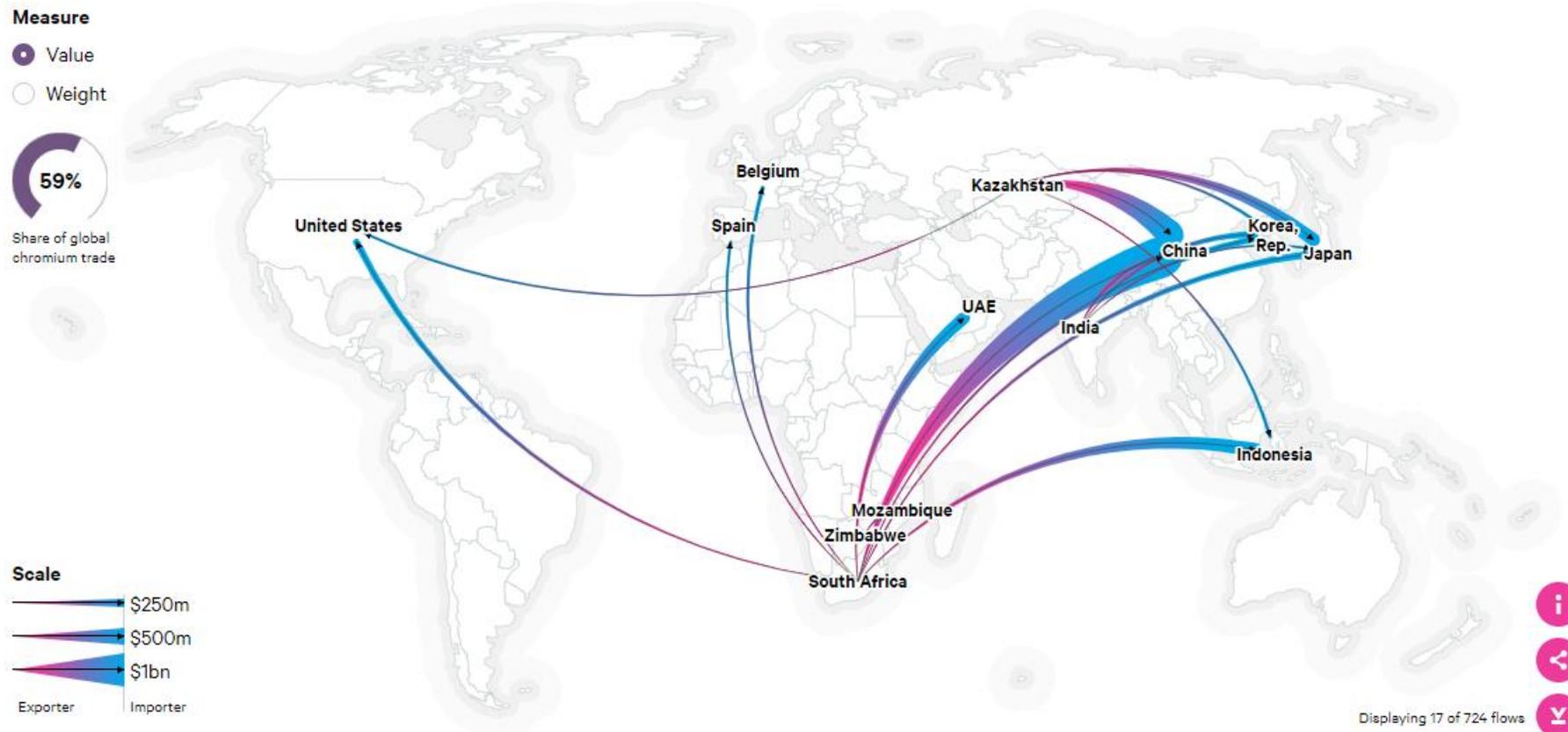


(注) 単位は全て百万ドル。データは積層造形用途以外のもの(例:MIM用粉末、粉末状の加工くず等)も含まれ得る点に留意が必要。また2021年分はまだ統計データが揃っておらず、2020年は新型コロナ影響により世界的に輸出入量が落ち込んでいたため、データは全て2019年のものを示している。
 (出典) resourcetrade.earth (Chatham House) <https://resourcetrade.earth/> をもとにMHRT作成

(参考) 貿易統計から見るサプライチェーン

フェロクロム – 炭素含有率 >4% (粉末以外も含む)

➤ 南アフリカとカザフスタンが主な輸出国。特に中国が大量(世界全体の約35%)に輸入している。



(参考) 貿易統計から見るサプライチェーン

フェロクロム – 炭素含有率 <4% (粉末以外も含む)

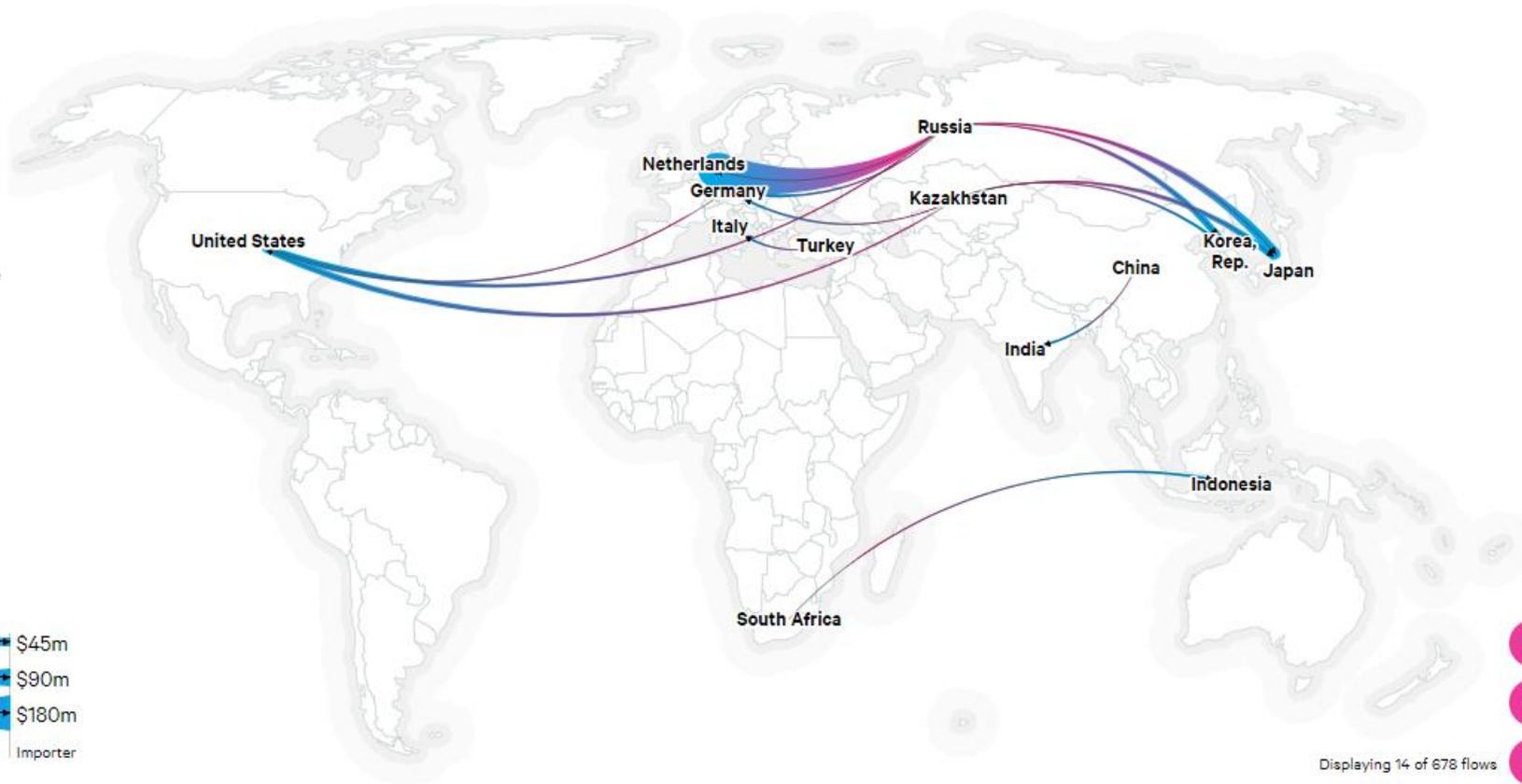
- ロシアが圧倒的なシェア(世界全体の約40%)を持っており、主にオランダ、日本、韓国、ドイツ等に輸出している。
- 輸出入額は年によって変動があり、2020年はロシア→日本が世界最大の流通量になっていた。カザフスタンも日本にとってはロシアに並ぶ主要な供給元である。

Measure

- Value
- Weight

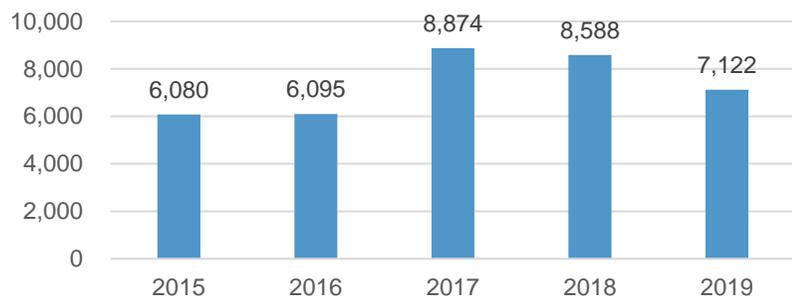


Scale

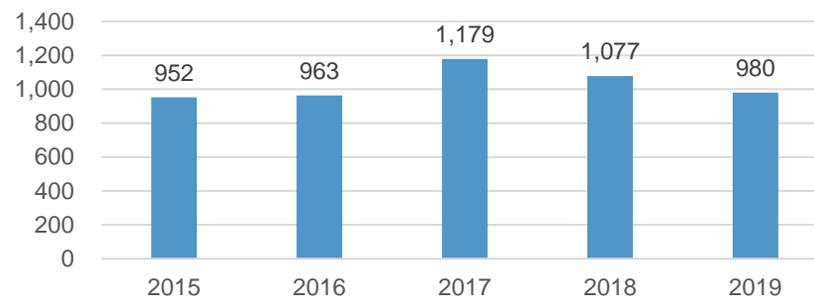


(参考) 貿易統計から見るサプライチェーン

フェロクロム – 炭素含有率 >4% (粉末以外も含む)

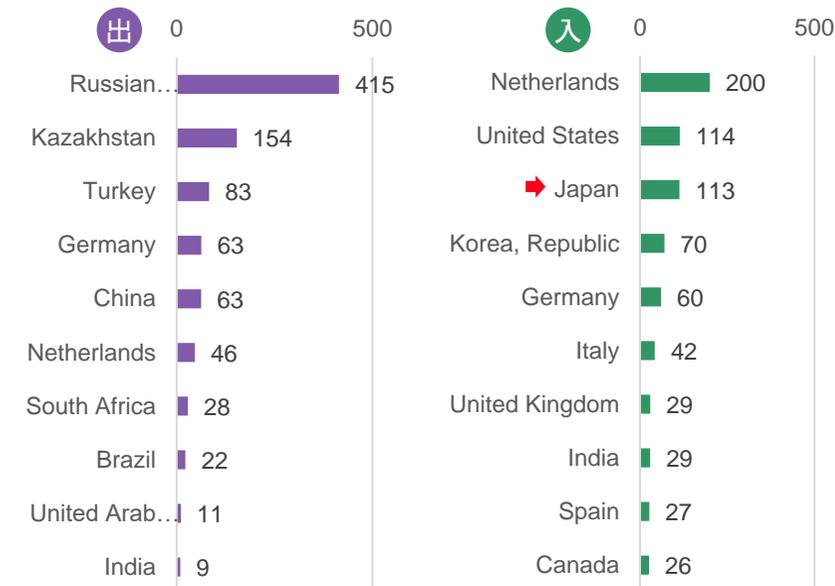
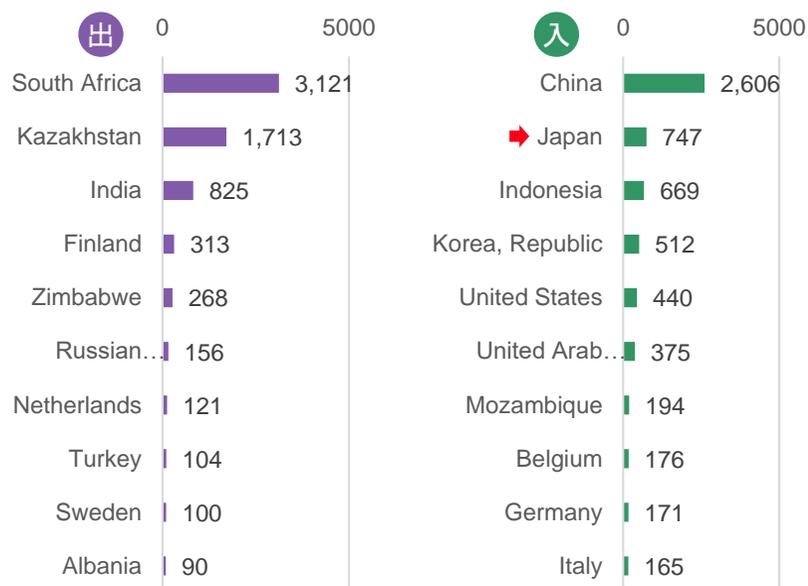


フェロクロム – 炭素含有率 <4% (粉末以外も含む)



総輸出入額

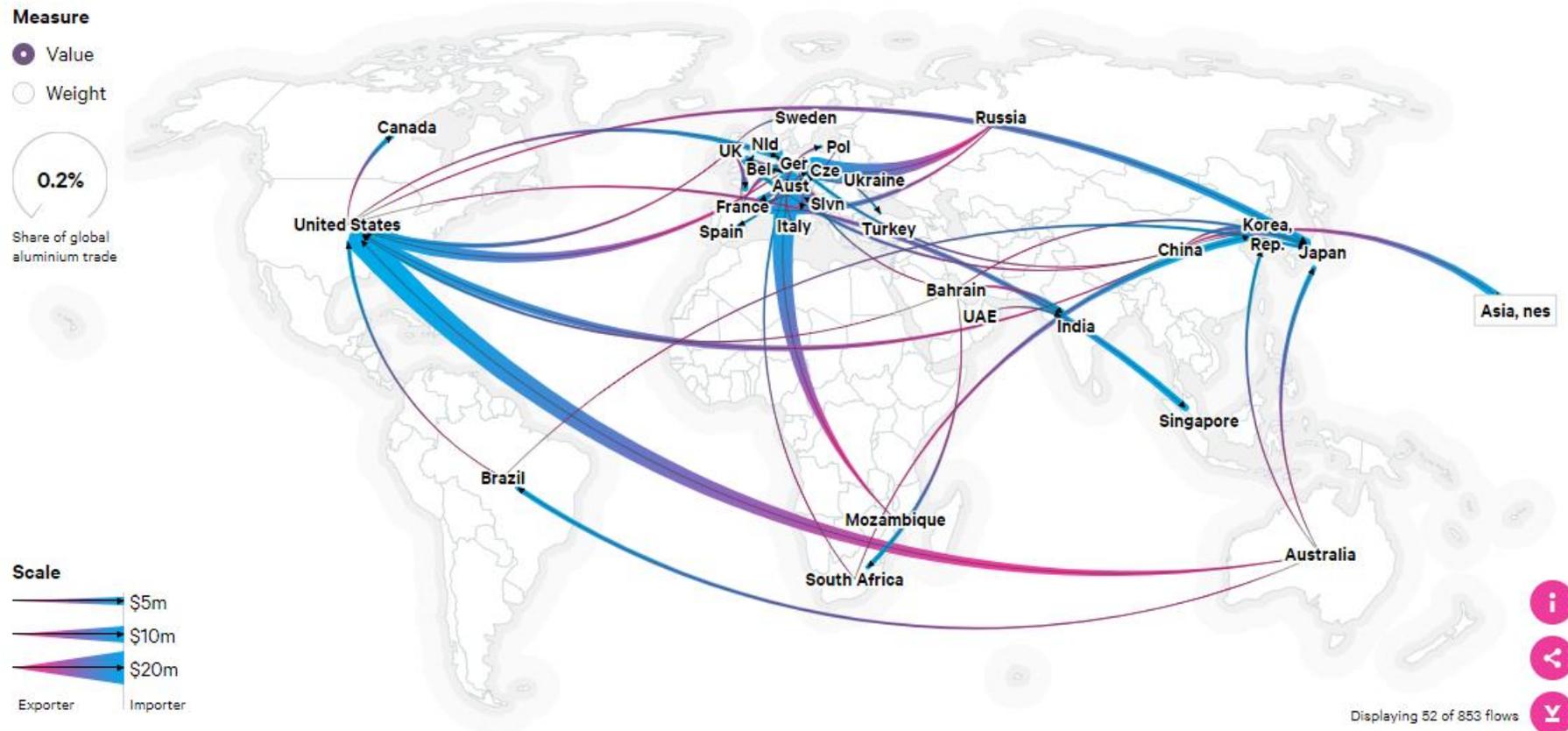
輸出／輸入額
トップ10



(参考) 貿易統計から見るサプライチェーン

アルミニウム – 粉末(非ラメラ)

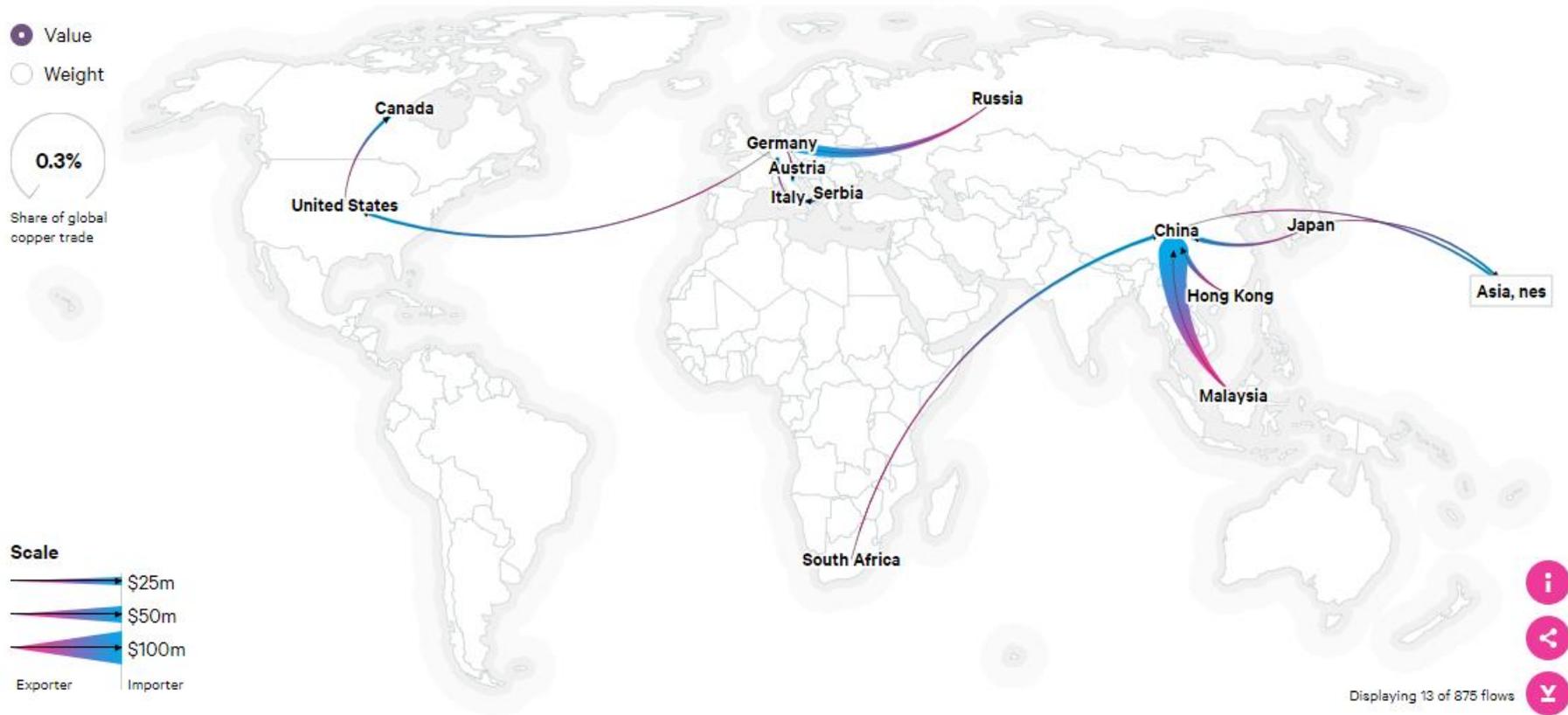
- 米国はオーストラリア、ドイツはオーストリア・モザンビーク・ロシアから輸入しており、それぞれが北米・アジアや、欧州内の各国に輸出している。オーストリア以外はボーキサイトに近い比較的的低品質なもの、オーストリア→ドイツはアルミ製造大手のAMAG社等による比較的高品質なものとの推測される。
- 日本は米国からの輸入が主だが、他にも中国・オーストラリア・バーレーン・ブラジル等の様々な国から供給を受けている。



(参考) 貿易統計から見るサプライチェーン

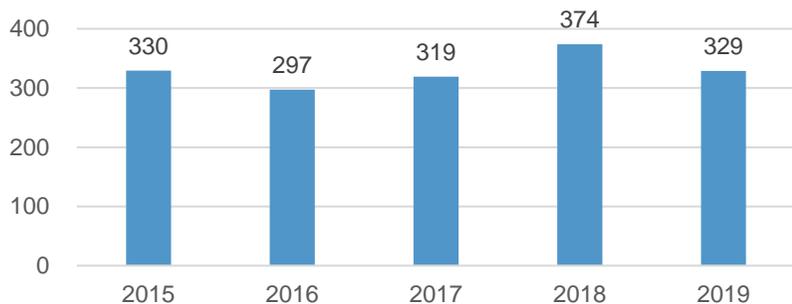
銅 - 粉末(非ラメラ)

- マレーシア→中国、ロシア→ドイツが2大トレード。特にマレーシア→中国は2018年以降に急増しているが、これは中国政府が金属スクラップへの輸入規制を強める意向を示したことを受け、駆け込み需要が発生した可能性が推測される(=データとして示されているのは、冶金等向けに加工されたものではなくスクラップ材の可能性もある)。
- 日本は中国及びアジア圏内の様々な国への輸出が主。一部は米国に輸出している。

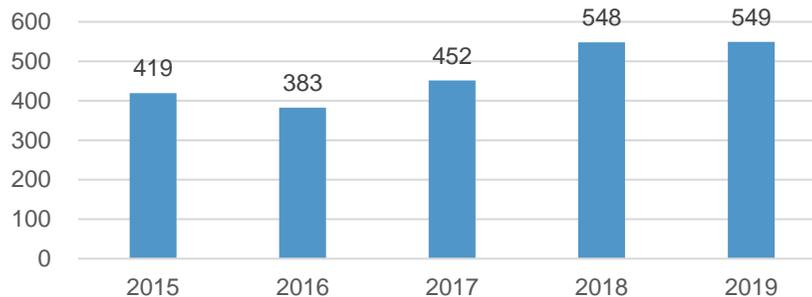


(参考) 貿易統計から見るサプライチェーン

アルミニウム – 粉末(非ラメラ)

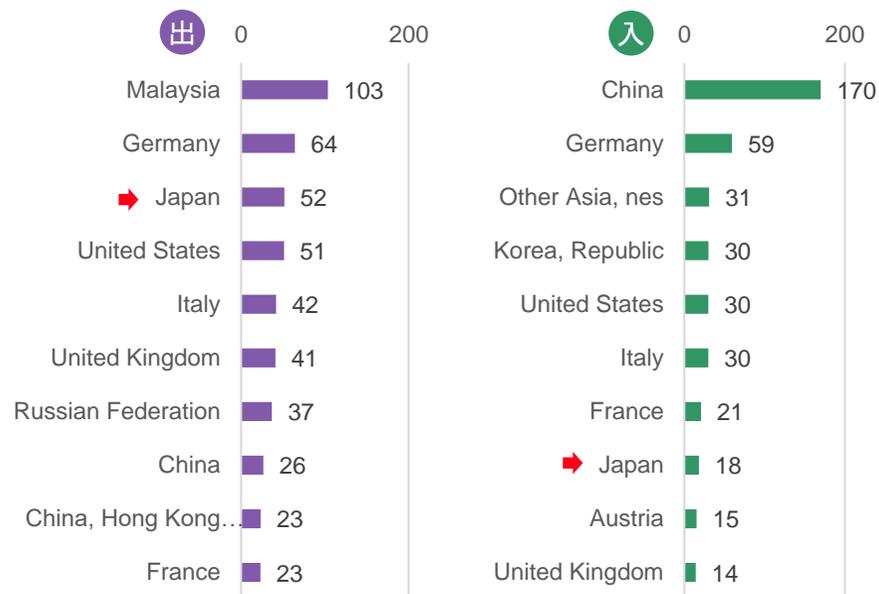
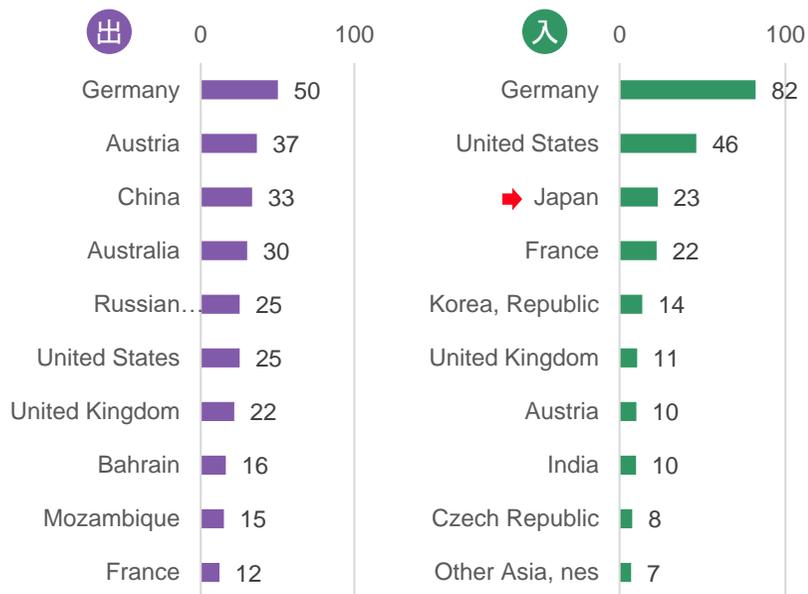


銅 – 粉末(非ラメラ)



総輸出入額

輸出／輸入額
トップ10

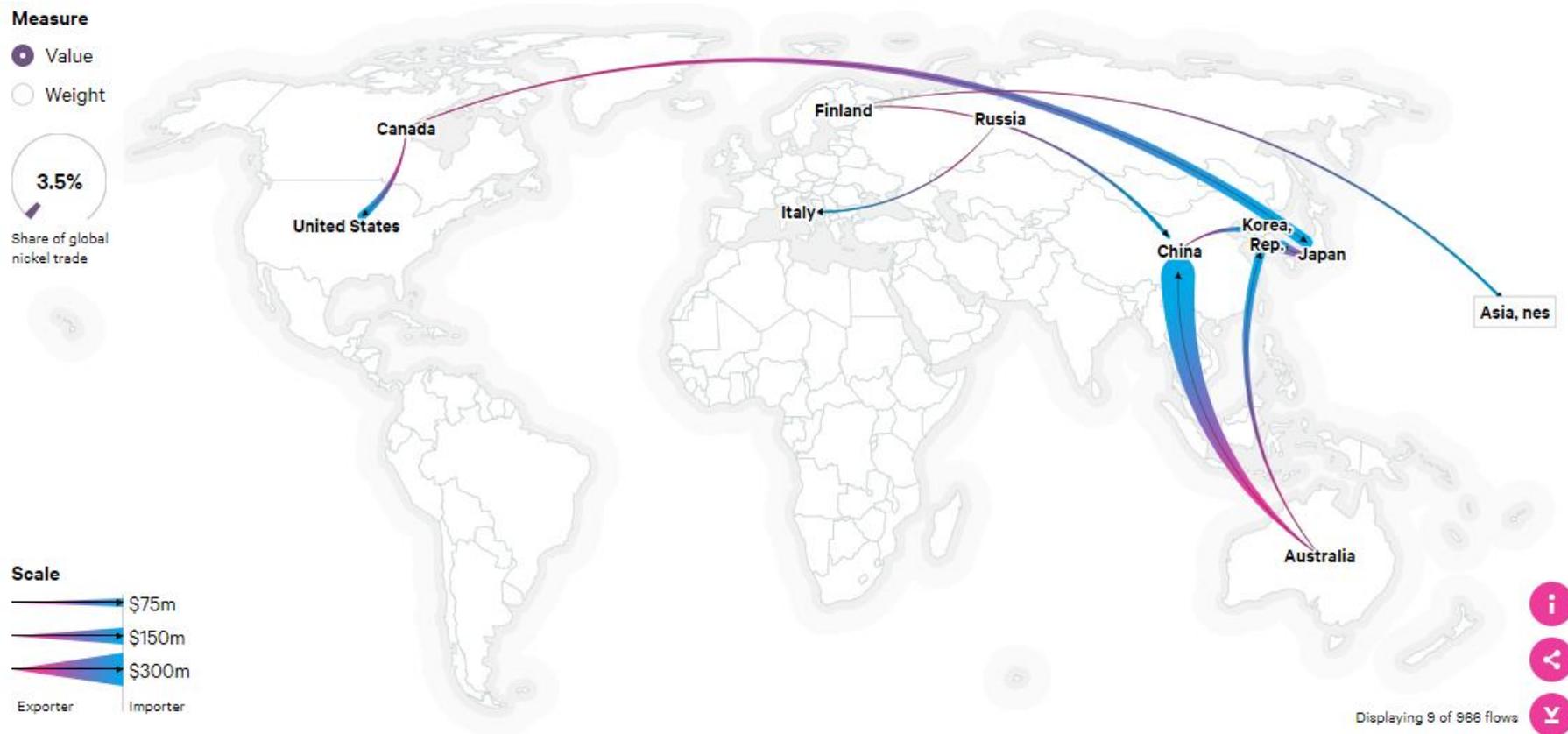


(注) 単位は全て百万ドル。データは積層造形用途以外のもの(例:MIM用粉末、粉末状の加工くず等)も含まれ得る点に留意が必要。また2021年分はまだ統計データが揃っておらず、2020年は新型コロナ影響により世界的に輸出入量が落ち込んでいたため、データは全て2019年のものを示している。
(出典) resourcetrade.earth (Chatham House) <https://resourcetrade.earth/> をもとにMHRT作成

(参考) 貿易統計から見るサプライチェーン

ニッケル – 粉末・フレーク

- カナダとオーストラリアが主要な輸出国になっている。輸入側は中・韓・日が首位。
- カナダ・オーストラリアはいずれもロシアに次いで生産量の多いニッケル鉱山を有している国であり、その産物のうち粉末・フレーク状のものが主にアジアに輸出されているものと思われる。



(参考) 貿易統計から見るサプライチェーン

タングステン - 粉末

- 中国が一大供給地であり、特に米・日・韓が中国からの輸入に頼っている。これは粉末以外も含めたタングステン全体の動向と一致しており、既に日本では安全保障策として国内消費量の最低60日分を備蓄することが定められている。
- 一方、欧州ではオーストリア(+チェコも?)がタングステンを生産しており、ドイツを中心に欧州圏への供給元になっている。

Measure

● Value

○ Weight



Share of global tungsten trade

Scale

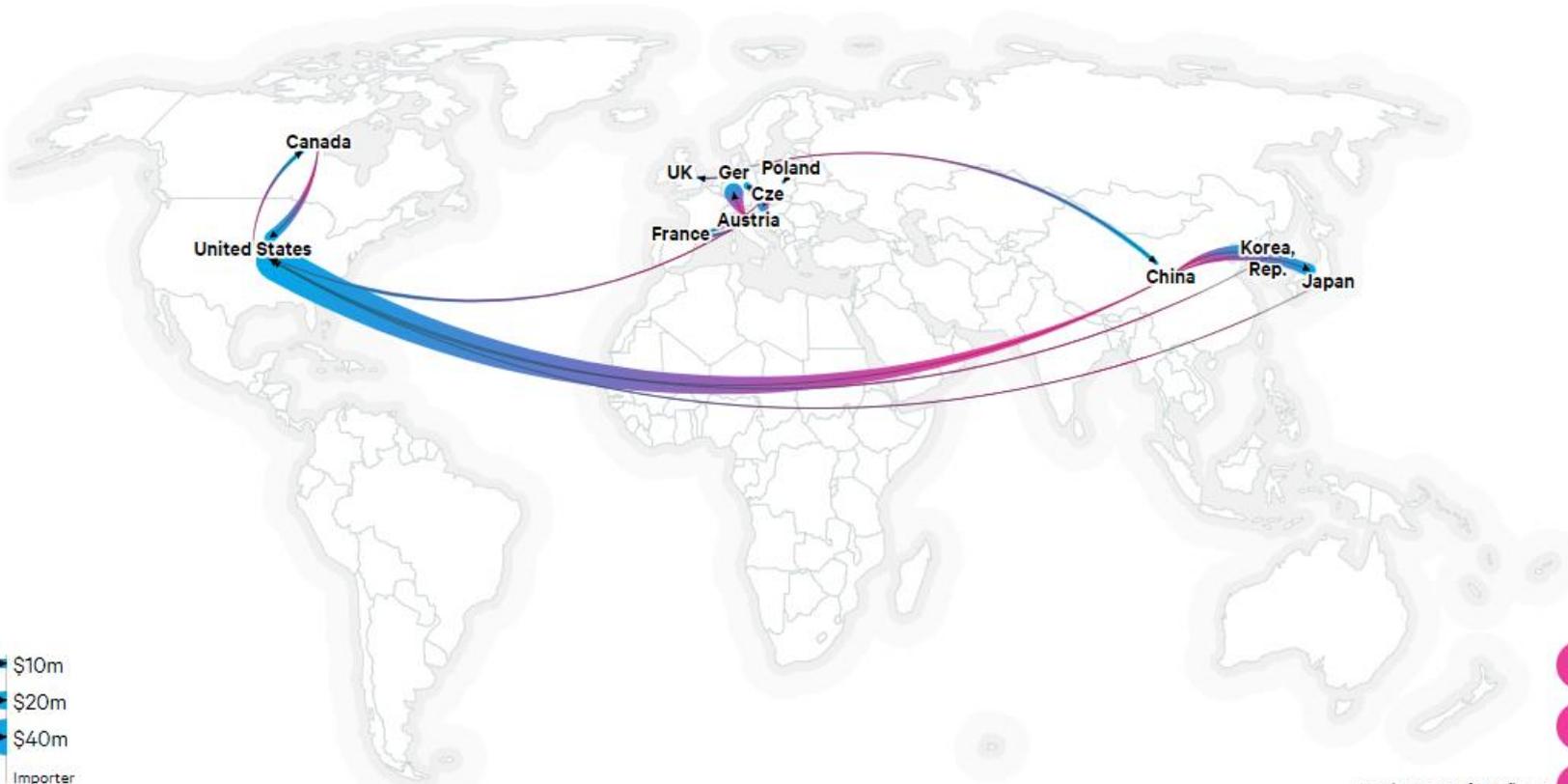
\$10m

\$20m

\$40m

Exporter

Importer

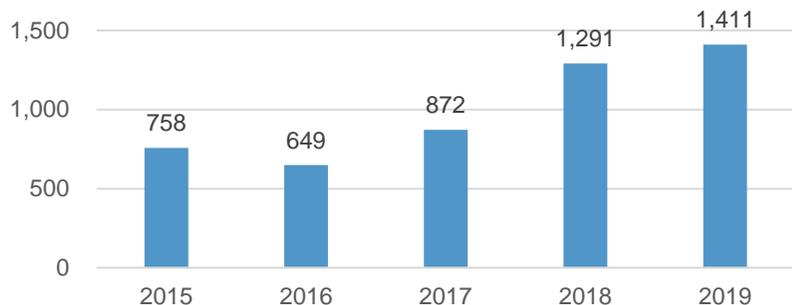


Displaying 16 of 542 flows

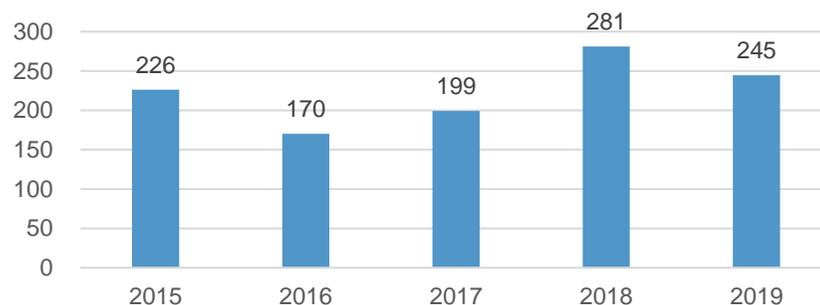


(参考) 貿易統計から見るサプライチェーン

ニッケル - 粉末・フレーク

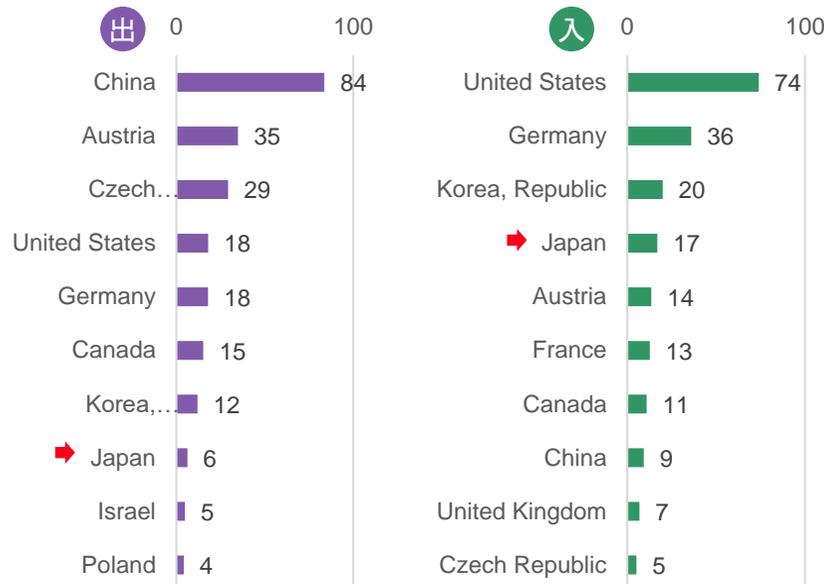
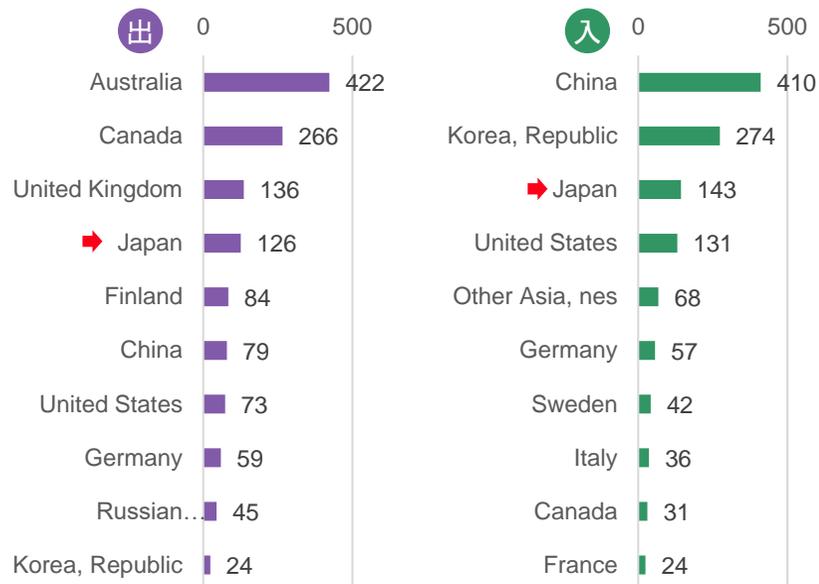


タングステン - 粉末



総輸出入額

輸出／輸入額
トップ10



(注) 単位は全て百万ドル。データは積層造形用途以外のもの(例:MIM用粉末、粉末状の加工くず等)も含まれ得る点に留意が必要。また2021年分はまだ統計データが揃っておらず、2020年は新型コロナ影響により世界的に輸出入量が落ち込んでいたため、データは全て2019年のものを示している。
(出典) resourcetrade.earth (Chatham House) <https://resourcetrade.earth/> をもとにMHRT作成

(1) 金属積層造形の最新の技術開発動向

- ① 国内外における最新技術開発動向 p. 3

(2) 金属積層造形の設計領域(3D設計ソフト)に係る市場動向、最新技術動向

- ① 国内外における市場動向の調査 p. 51
- ② 国内外における最新技術開発動向の調査 p. 83

(3) 金属3Dプリンタの原料のサプライチェーン、最新技術動向

- ① 国内外におけるサプライチェーンの調査 p. 95
- ② 国内外における最新技術開発動向の調査 p. 113

調査結果 各社の扱う材料と製造方法

- 金属3Dプリンタ用の材料を扱う主要な企業による近年の技術開発について調査した。
- 以下に、各企業が扱っている材料・製造手法の概要を示す。詳細は後段を参照。

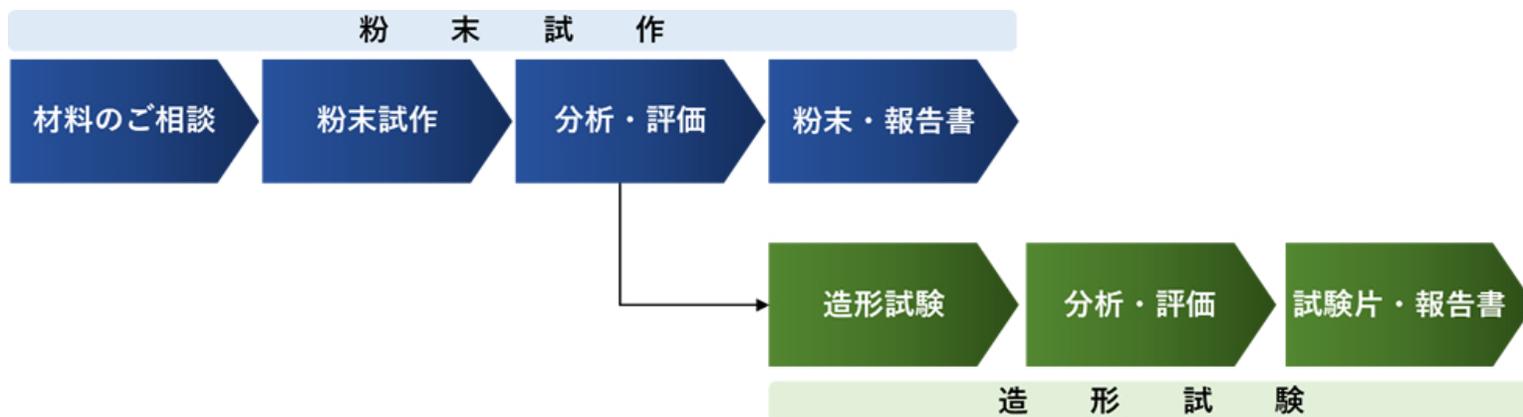
地域	国	企業名	取扱材料							製造手法*						
			Fe系	Al系	Ti系	Ni系	Co系	Cu系	その他	WA	GA	EIGA	VIGA	PA	PREP	
アジア	日本	日本積層造形														
		JX金属							Ta, Nb							
	中国	Avimetal Powder Metallurgy 中航迈特粉冶科技(北京)有限公司							TiAl, Ta, W							
北米	米国	GE Additive (AP&C)							TiAl							
		Carpenter Technology (LPW Technologies)							Ta, W, WC							
	カナダ	Tekna							Ta, W, Mo							
欧州	ドイツ	Heraeus														?
		EOS							W, 貴金属							?
	英国	GKN Powder Metallurgy														
	スウェーデン	Höganäs														
		Sandvik														
	スイス	Oerlikon														
	ロシア	Polema							W, Mo, Cr							?

1. 日本積層造形 (JAMPT)

企業概要

所在国	日本		URL	http://www.jampt.jp/				
取扱材料	Fe系	SUS316L, マルエージング鋼	Al系	AISi10Mg, ANP-H4, AlMgSc	Ti系	Ti Grade-2, Ti64	Ni系	In625, In718
	Co系	CoCrMo	Cu系	純Cu, Cu合金	その他	-		
製造法	WA 水アトマイズ	GA ガスアトマイズ	EIGA	VIGA	PA プラズマアトマイズ	PREP		
概要	<ul style="list-style-type: none"> 受託造形、材料開発支援、設計支援を行う企業。双日(商社)、コイワイ(金属加工)、東北大学ベンチャーパートナーズ(大学VC)からの出資を受けて設立された。 材料は開発用の小ロット製造、粉末の分析・評価、PREP粉末の生産・販売を行っている。ガスアトマイズも対応している模様。 PREP法での製造については、東北大学の千葉研究室と共同で開発をしている。2021年9月までは共同研究部門を設けていた。 SIPマテリアル革命の参加企業。IHI等と共同でTi合金の積層造形について開発を行っている。 							

材料開発支援サービスの流れ



1. 日本積層造形 (JAMPT)

技術開発動向

- 事業内容は受託製造、DfAM支援、材料開発支援。各事業ごとに他企業と提携しており、材料開発支援は2021年10月に始めた比較的新しい事業であり、真壁技研(アトマイザー等の装置メーカー)との提携で実施している。
- 技術開発に関する具体的なリリースが無く詳細は不明だが、2020年にPREP法で製造した64チタン粉末をEBM装置で造形する技術で特許を出願している(東北大との共同)。As buildの状態、GA法で製造した粉末を造形+HIP処理したものと同等の疲労強度が出るとしている。

特許請求の範囲

【請求項1】

5. 50~6.75重量%のAl、3.50~4.50重量%のV、0.20重量%以下のO、0.40重量%以下のFe、0.015重量%以下のH、0.08重量%以下のC、0.05重量%以下のN、及び不可避不純物を含み、残部がチタンからなるチタン合金積層成形体であって、ポア含有量が0.05個/mm²以下で、引張り強さが855MPa以上であることを特徴とするチタン合金積層成形体。

【請求項2】

10⁷回の疲労強度が500MPa以上であることを特徴とする請求項1に記載のチタン合金積層成形体。

【請求項3】

5. 50~6.75重量%のAl、3.50~4.50重量%のV、0.20重量%以下のO、0.40重量%以下のFe、0.015重量%以下のH、0.08重量%以下のC、0.05重量%以下のN、及び不可避不純物を含み、残部がチタンからなるチタン合金粉末であって、ポアを含む粉末の個数の割合が0.1%以下のチタン合金粉末を金属積層法により積層成形することを特徴とするチタン合金積層成形体の製造方法。

【請求項4】

前記チタン合金粉末の粒径が30~250 μmであることを特徴とする請求項3に記載のチタン合金積層成形体の製造方法。

【請求項5】

前記チタン合金粉末が回転電極法を用いて製造されたことを特徴とする請求項3又は4に記載のチタン合金積層成形体の製造方法。

成形体

製造方法

2. JX金属

企業概要

所在国	日本		URL	https://www.nmm.jx-group.co.jp/				
取扱材料	Fe系	—	Al系	—	Ti系	Ti64 ※トーホーテック	Ni系	新Ni合金 ※Alloyed
	Co系	—	Cu系	—	その他	Ta系、Nb系 ※タニオビス		
製造法	WA 水アトマイズ	GA ガスアトマイズ	EIGA		VIGA	PA プラズマアトマイズ	PREP	
概要	<ul style="list-style-type: none"> 非鉄金属メーカー。銅の採掘～加工までの事業を一気通貫で保有している点が特徴。 多種多様な金属粉末を保有しているわけではない一方、銅粉末については表面処理技術を用いた独自の製品を開発している。東北大学の千葉研究室との共同開発。 また設計・プロセスの最適化に関する技術も保有しているほか、グループ会社であるタニオビス(ドイツ)ではTaやNb等の比較的珍しい材料を扱っている。 							

JX金属グループのAM関連事業



純銅粉末の開発

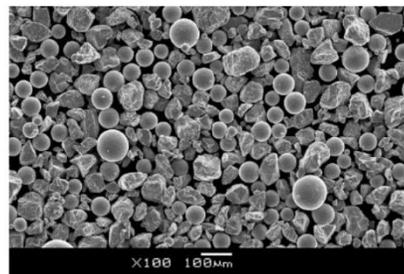


AMtrinsic® (アムトリンジック)
3Dプリンター用金属粉末

Ta系、Nb系粉末



1) 電子ビームタイプ用原料粉 ACM150



*粒度 45μm~150μm

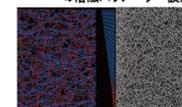
Ti系粉末



Architect®により設計したTi-6Al-4Vを用いたメタマテリアル部品

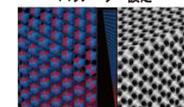


Engine®:角度に応じたレーザービームの溶融パラメーター設定



柔軟なレーザー条件:サブ100μmビーム径

Engine®:角度に応じたレーザー露光パラメーター設定



サブ150μmの固体壁

合金設計プラットフォーム
部品設計およびプロセス最適化技術

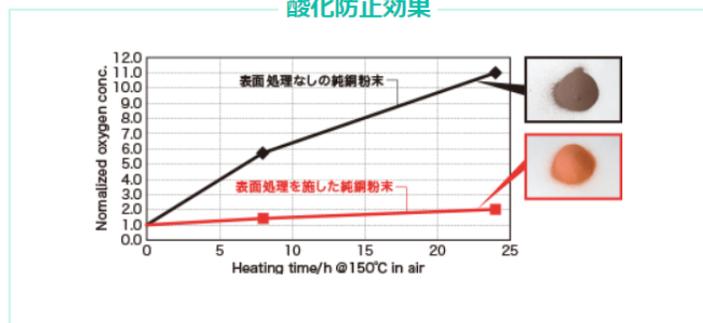
2. JX金属

技術開発動向

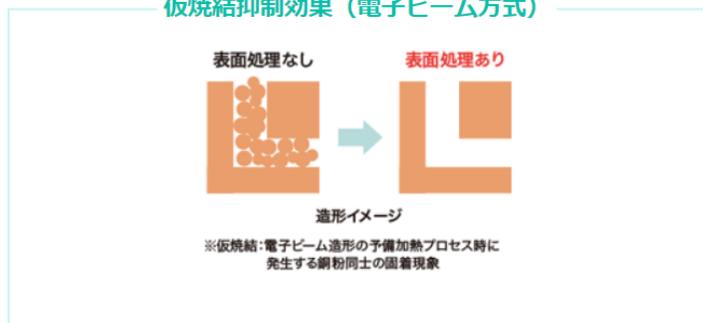
- JX金属本体は純銅の粉末を開発中(2019年に公開)。表面処理を加えることで酸化を抑え、造形性を保てるようにしている。また電子ビーム方式で造形する際に仮焼結が進みすぎて中空構造が作れなくなる現象を防ぐ効果、レーザービームでの吸収率を高める効果もあるとしている。
- 表面処理の詳細は不明だが、JX金属が申請済みの特許から、Si被膜を形成しているものと推測される。同社は2018年頃から積層造形用の材料(主にCu、Cu合金、Cu合金と他の合金の混合粉末)に関する特許を多数出願している。

表面処理の効果

酸化防止効果



仮焼結抑制効果 (電子ビーム方式)



出願中のAM関連特許

No	文献番号	出願日	発明の名称
1	特開2021-098887	2020/12/2	積層造形用金属粉末及び該金属粉末を用いて作製した積層造形物
2	特開2021-098886	2020/12/2	積層造形用金属粉末及び該金属粉末を用いて作製した積層造形物
3	特開2021-059789	2020/12/28	積層造形用銅合金粉末、積層造形物の製造方法及び積層造形物
4	再表2020/138274	2019/12/26	Siの被膜を有する純銅粉を用いた積層造形物の製造方法
5	再表2020/138273	2019/12/26	Siの被膜を有する純銅粉及びその製造方法並びに該純銅粉を用いた積層造形物
6	特開2020-050947	2019/3/26	易解砕性銅粉及びその製造方法
7	特開2019-173058	2018/3/27	被膜が形成された金属粉及びその製造方法並びに該金属粉を用いた積層造形物
8	再表2019/064745	2018/6/21	金属積層造形用金属粉及び該金属粉を用いて作製した造形物
9	特開2019-035134	2017/8/21	積層造形用銅合金粉末、積層造形物の製造方法及び積層造形物
10	再表2019/039058	2018/6/15	積層造形用銅合金粉末、積層造形物の製造方法及び積層造形物

2. JX金属

技術開発動向

- グループ会社のTaniobis(ドイツ)はTa・Nb材料を専門に扱っており、ラインナップの一つとしてAM用粉末を作っている。粉末の製造方法は不明。
- トーホーテック(日本)はTi系粉末を扱っており、粉碎粉が主。球状粉も扱っているが、粉碎粉を機械処理したものの模様。
- Alloyed(英国)は金属の製造に関するデジタル技術を有するオックスフォード大学発のベンチャーで、JX金属が21.2%を出資している。設計・プロセスの最適化プラットフォーム(Engine[®]、Architect[®])のほか、第一原理計算と機械学習を組み合わせた合金設計技術(ABD[®])を持っており、これを使って開発した新たなNi合金を販売している。

TaniobisのAM用材料ラインナップ

AMtrinsic [®] 球状粉末*	主な用途
Ta	<ul style="list-style-type: none"> 医療用インプラント デザイン自由度が要求される高耐食性用途 化学処理工程における高耐食と耐熱用途
Nb	<ul style="list-style-type: none"> 高耐食と耐熱用途 超伝導用途
Ti/Nb/Ta	<ul style="list-style-type: none"> 次世代のカスタムメイド医療用インプラント
Ti-42Nb	<ul style="list-style-type: none"> 高弾性率と高強度を必要とする材料用途
Ta/W	<ul style="list-style-type: none"> 耐熱・耐食部品(例:航空宇宙用途)
Nb/Ta/W/Zr (FS85)	<ul style="list-style-type: none"> 耐熱、高強度、高クリープ特性材料(例:航空宇宙用途)
Ti/Ta ※開発品	<ul style="list-style-type: none"> 形状記憶合金 医療用途
Nb/Hf/Ti (C103) ※開発品	<ul style="list-style-type: none"> 耐熱、高強度合金(例:航空宇宙用途)
ハイレントロピー合金粉末 ※開発品	<ul style="list-style-type: none"> 高耐食と耐熱用途

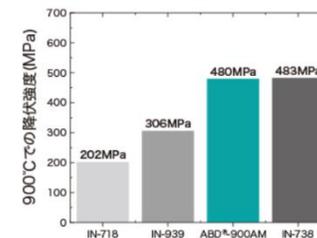
Alloyedによる新Ni合金「ABD[®]-900AM」の特徴

クラックフリーな3D造形が可能

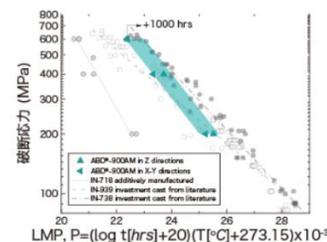


*全ての合金でIN-718用の製造条件を用いております。

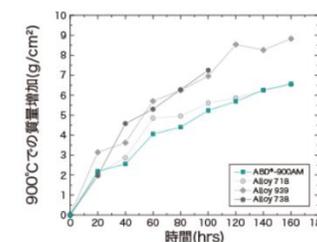
IN-718より優れた降伏強度



γ相による優れたクリープ寿命



Cr₂O₃層による耐酸化性



3. Avimetal Powder Metallurgy / 中航迈特粉冶科技(北京)

企業概要

所在国	中国		URL	http://en.avimetalam.com/				
取扱材料	Fe系	SUS316L, 17-4PH (SUS630), 15-5PH, 18Ni300, H13, Corrax (CX)	Al系	AlSi10Mg, AlSi12, AlSi7, 純Al	Ti系	Ti 64, 純Ti, TC11/BT9, TA15/BT20	Ni系	In625, In713C, In718, In738, NiTi, HX, Waspalloy
	Co系	CoCrMo, CoCrW, CoCrMoW, Haynes 188, Haynes 230	Cu系	—	その他	TiAl, 純Ta, 純W		
製造法	WA 水アトマイズ	GA ガスアトマイズ	EIGA ※Fe系		VIGA ※Fe系以外		PA プラズマアトマイズ ※カスタム品	PREP ※カスタム品
概要	<ul style="list-style-type: none"> 2015年に航空機向け材料をメインターゲットとして設立された材料メーカー。粉末冶金・積層造形向けの金属粉末材料を生産している。 本社(兼生産拠点)は北京の経済技術開発区にあり、敷地面積は約30,000m²。VIGA、EIGA、PREP、PA法の生産設備が設けられている。 							

協力企業



3. Avimetal Powder Metallurgy / 中航迈特粉冶科技(北京)

技術開発動向

- 様々な製造設備を保有しており、主に航空業界向けに材料を供給している。AMのほかにMIM、HIP、レーザー肉盛にも活用可能とされている。
- 公的研究プログラムに採択された実績もあり、国研との連携も強いと見られる。前ページに示した提携先に航空・宇宙、エネルギー、軍用品等を扱う国有企業・中央企業が多いことから、公的機関との繋がりが強い可能性がある。(ただし用途産業の性質上、公的機関に偏りやすいことも想定される)
- ニュースリリース等は中国語版ウェブサイトの方が充実しており、英語版は更新が半ば止まっている模様。国内向けビジネスが主と推測される。閲覧できない(リンク切れ、タイムアウト等)ものも多く、技術開発の詳細は不明。

Avimetalの保有設備



ガス管理設備

粉末スクリーニング

Arガス循環システム

PREP設備のスペック

電極棒の直径	50~80mm
電極棒の長さ	400~700mm
一回あたりの充填量(?)	≥40 pcs
回転率	0~30000 r/min
総電力量	200 kW
真空度	6.67×10^{-3} Pa
加圧率	≤2Pa/h
装置サイズ (L*W*H)	8 × 7 × 7.5m

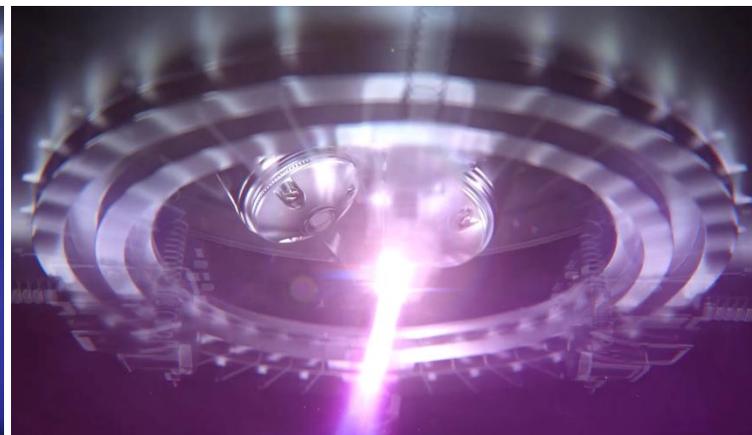
参考(JAMPTの保有設備)
電極棒: φ70mm、回転率: 約20,000rpm

4. GE Additive (AP&C)

企業概要

所在国	米国		URL	https://www.advancedpowders.com/				
取扱材料	Fe系	—	Al系	AlSi7Mg, AlSi10Mg	Ti系	Ti Grade-1/2, Ti 64, Ti 6242, Ti 5553	Ni系	In625, In718
	Co系	—	Cu系	—	その他	TiAl (Ti-48Al-2Cr-2Nb)		
製造法	WA 水アトマイズ	GA ガスアトマイズ	EIGA	VIGA	PA プラズマアトマイズ	PREP		
概要	<ul style="list-style-type: none"> • 材料事業は旧: AP&C(カナダ)。EBM装置メーカーArcam(スウェーデン)による買収を経て、2016年からはGE Additiveの傘下に入っている。 • GE Additiveではグループ内に材料・装置・ユーザーが揃っているため、粉末のリサイクルや分析・評価などに関しても開発を行っている。 • 材料の生産拠点はカナダにあり、約12,000m²規模の設備で年間約800トンの金属粉末を生産している。 							

粉末生産設備とプラズマアトマイズによる粉末製造の様子

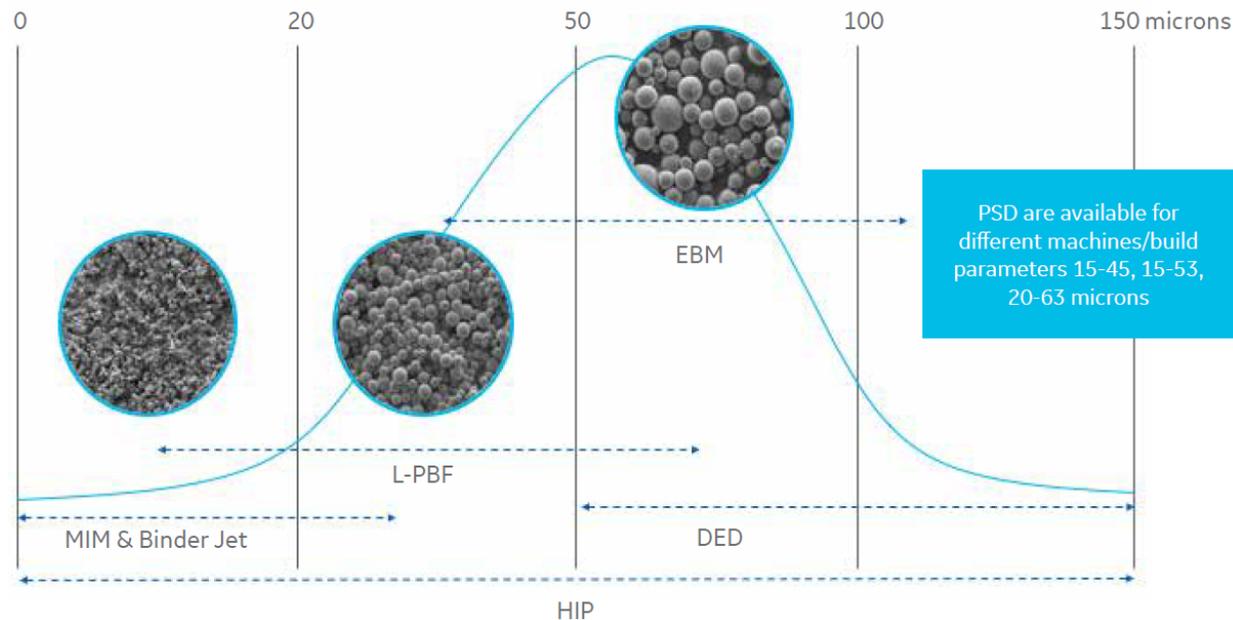


4. GE Additive (AP&C)

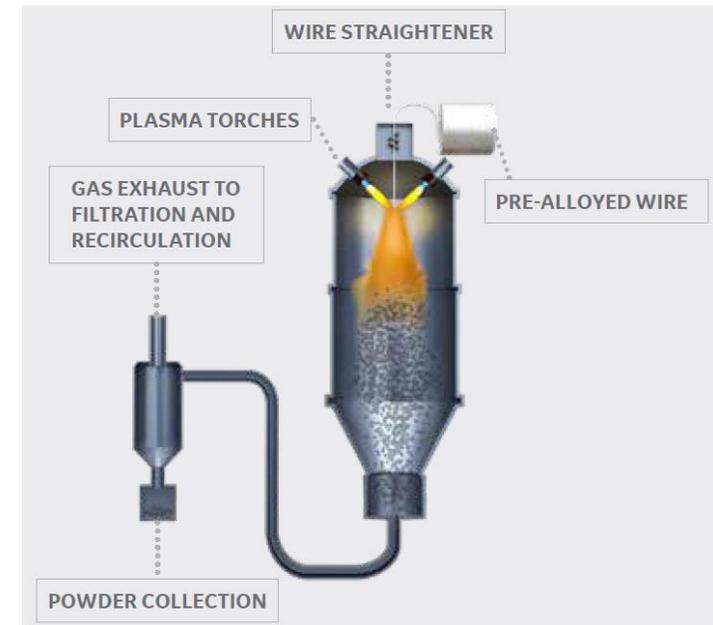
技術開発動向

- GE Additiveでは、独自のAdvanced Plasma Atomization (APATM) プロセスにより、100%バージン溶融材料から調達した金属ワイヤ原料を溶融・原子化することで、他製造手法と比較して高品質な粉末を製造している。
- 特にアルミニウム合金の造形プロセスでは、他の合金より許容範囲が狭いため、信頼性高く造形するためには、適切な粉末の選択が重要となる。
- こうした背景を踏まえ、GE Additiveではアルミニウム合金に関するホワイトペーパーを公開する等、高品質なアルミニウム粉末製造技術をPRしている。

各製造手法における適切な粉末粒径



APARMの製造イメージ

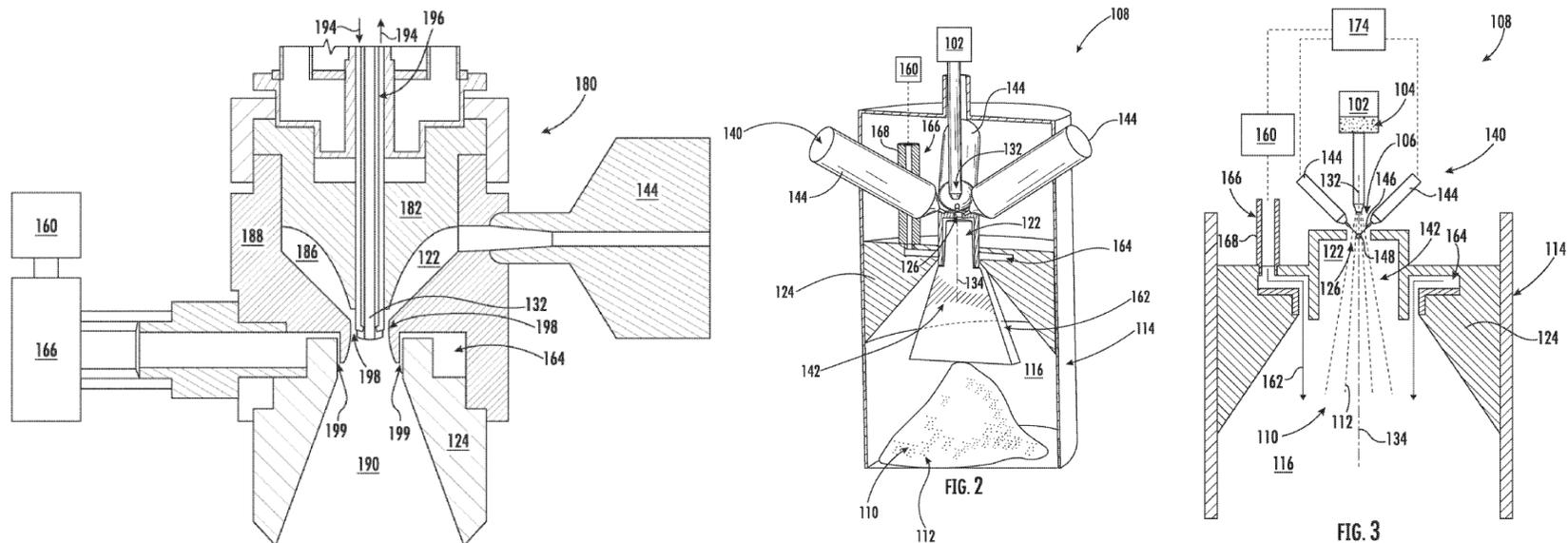


4. GE Additive (AP&C)

技術開発動向

- AP&Cでは、金属3Dプリンタ用の粉末製造に関する技術開発が行われており、複数の特許が出願されている。
- 例えば、2021年には「積層造形プロセス用の高品質粉末を形成する方法(US20210308753)」や「プラズマアトマイズ金属粉末製造方法およびそのシステム(JP2021169665)」と題して、プラズマアトマイズによる高品質の粉末製造を実現するための特許を出願している。
- これらの特許では、加熱した金属とプラズマの接触方法や、プラズマと金属源の位置関係、プラズマチャンバー下流への高温ガスシース流の供給等により、高品質の粉末製造を実現している。

積層造形プロセス用の高品質粉末を形成する方法



原料を処理するための粉末処理アセンブリおよび方法。原料粉末を反応器内のプラズマチャンバーに誘導し、プラズマ源によって生成されたプラズマ場に原料粉末を暴露することで粉末を形成する。

5. Carpenter Technology (LPW Technologies)

企業概要

所在国	米国		URL	https://www.carpenteradditive.com/				
取扱材料	Fe系	SUS316L, 17-4PH (SUS630), 15-5 PH, H13 (SKD61), M300	Al系	Scalmalloy, AISi7Mg, AISi10Mg	Ti系	Ti 64, 純Ti	Ni系	In625, In718, HX
	Co系	CoCr F75	Cu系	Cu系(詳細不明)	その他	W系、WC系、Ta系(詳細不明)		
製造法	WA 水アトマイズ	GA ガスアトマイズ	EIGA	VIGA	PA プラズマアトマイズ	PREP		
概要	<ul style="list-style-type: none"> 材料事業は旧:LPW Technologies(英国)。2018年に特殊金属メーカーCarpenter Technologiesに買収され、同社の積層造形部門であるCarpenter Additiveに統合された。 Carpenter Additiveでは材料粉末の製造販売のほか、材料管理プラットフォームの提供、受託製造を事業としている。 メインの拠点は米国アラバマ州にあり、材料の製造から受託製造の後加工までを一貫して行っている。設備規模は約46,500m²。 							

粉末ラインナップ



カスタム粉末の開発の様子



5. Carpenter Technology (LPW Technologies)

技術開発動向

- Carpenter Technologyでは、粉末のカスタム開発やアトマイゼーション、積層造形プロセス開発、品質テストを提供しており、顧客のニーズに沿った粉末製造が可能である。
- 品質テストにおいては、ASTM標準に準拠して様々な金属粉末試験を実施しており、積層造形プロセスの品質保証に役立てている。

Carpenter Technology における分析のイメージ



分析項目の例

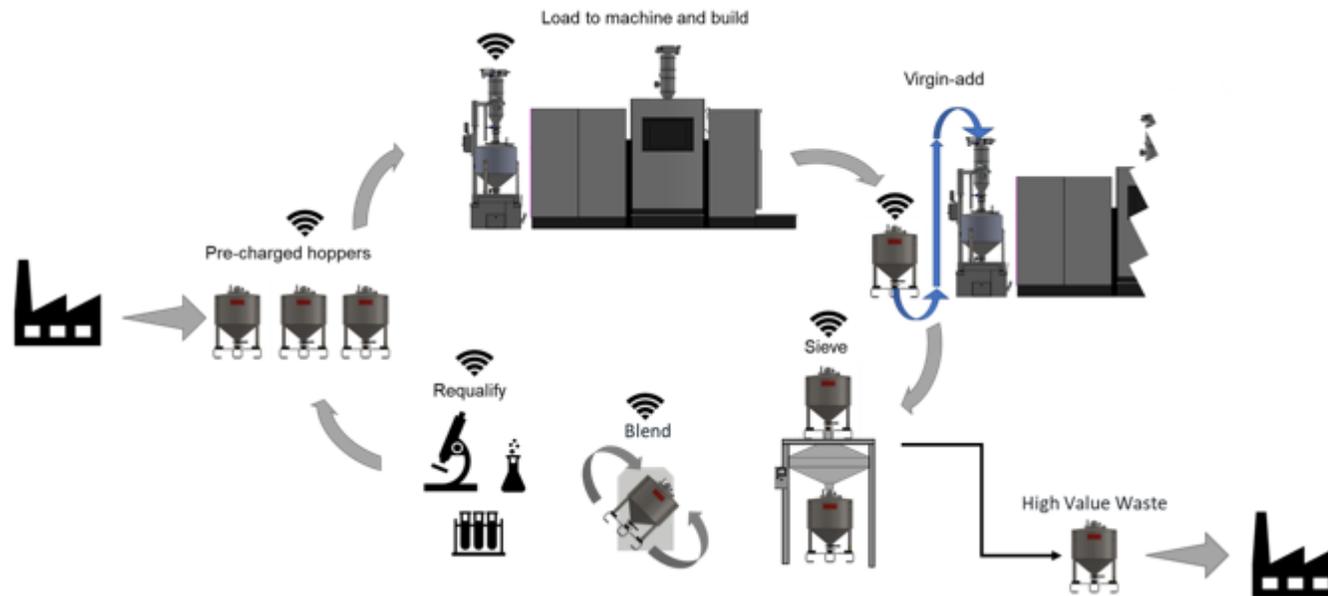
- 不活性ガス融解法による酸素、窒素水素の分析
- 元素分析、コンタミネーションスクリーニング (EDX)
- ICP化学分析
- カールフィッシャー滴定による水分分析
- 見掛け/かさ密度 (ASTM B212)
- タップ密度 (ASTM B527)
- ホールフロー (ASTM B213) カーニーフロー (ASTM B964)
- ふるい分析 (ASTM B214)
- レーザーサイズ回折による粒子サイズ分布 (ASTM B822)
- パウダーイメージング (SEM)
- 粉末断面/多孔性イメージング (SEM)

5. Carpenter Technology (LPW Technologies)

技術開発動向

- Carpenter Technologyでは、パウダーハンドリングを自動化する自動ホッパードッキングソリューション「PowderLife」を提供。3Dプリンタに直接、安全、正確、効率的に粉末をロードすることが可能である。
- 自動ドッキングステーションにより、サイクルタイムを500分から90分に短縮(80%改善)し、3Dプリンタの生産性向上とコスト削減を実現している。
- EOSM400をはじめ、様々な中型L-PBF方式の3Dプリンタにロードするためのインターフェースを備える。
- また、ホッパーは工場に返送して清掃・再利用されるため、プラスチック廃棄物の削減にも繋がる。

PowderLifeのエコシステム



PowderLife利用時の様子

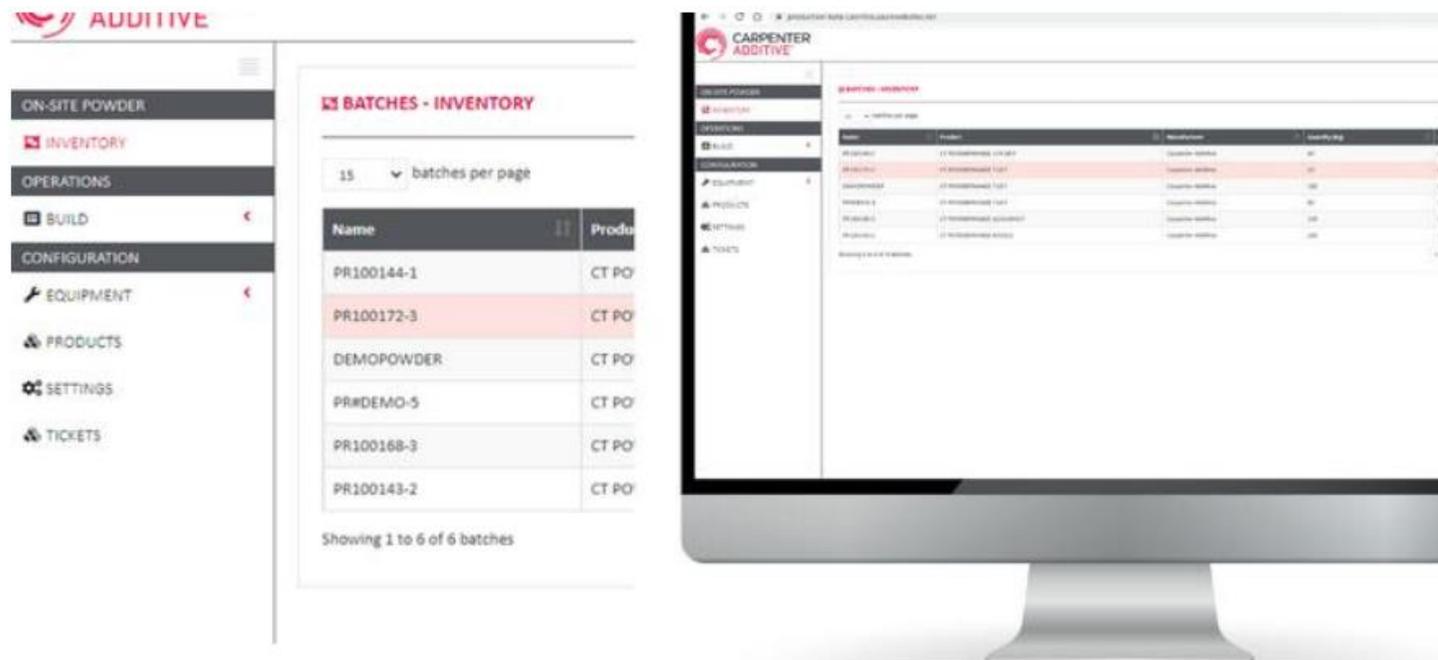


5. Carpenter Technology (LPW Technologies)

技術開発動向

- 積層造形で利用する粉末全てを管理するためのクラウドベースのデジタルプラットフォーム「PowderLifeONLINE」を提供している。
- 全てのベンダーの材料と装置上での工程の対応を管理し、粉末の品質、再利用性、ハンドリング、在庫管理等を行うことができる。
- また、IoTセンサ、RFID、自動化モジュール等を統合することで、データドリブンな意思決定の支援をするとしている。

PowderLifeONLINEのイメージ



6. Tekna

企業概要

所在国	カナダ			URL	http://www.tekna.com/				
取扱材料	Fe系	—	Al系	AlSi7Mg, AlSi10Mg, F357		Ti系	Ti 64	Ni系	In625, In718, HX
	Co系	—	Cu系	—		その他	W, Ta, Mo		
製造法	WA 水アトマイズ	GA ガスアトマイズ	EIGA	VIGA	PA プラズマアトマイズ	PREP			
概要	<ul style="list-style-type: none"> プラズマ技術を強みとする企業であり、プラズマアトマイズ法による粉末の製造・販売のほか、粉末製造用のアトマイザーを含む各種プラズマ関係の装置を販売している。とはいえ売上の95%は材料販売によるもので、直近の売上は約12億円。 また積層造形用ではないものの、Ni・Si・Cu・BNナノチューブについてはナノサイズの粉末も製造しており、主にエレクトロニクス業界向けに販売している。 Tekna自体はカナダを本拠地とする企業だが、親会社はノルウェーの電力会社Arendals Fossekompagni。フランス、中国、韓国、インドに支社がある。日本にも代理店があり、2024年にはプラントを建てる予定。 								

主要顧客

Large base of blue-chip customers¹



AM関連企業

- Trumpf
- AddUp
- Heraeus
- Beamit
- Sintavia

日本企業

- 日産自動車
- 村田製作所
- 京セラ

6. Tekna

技術開発動向

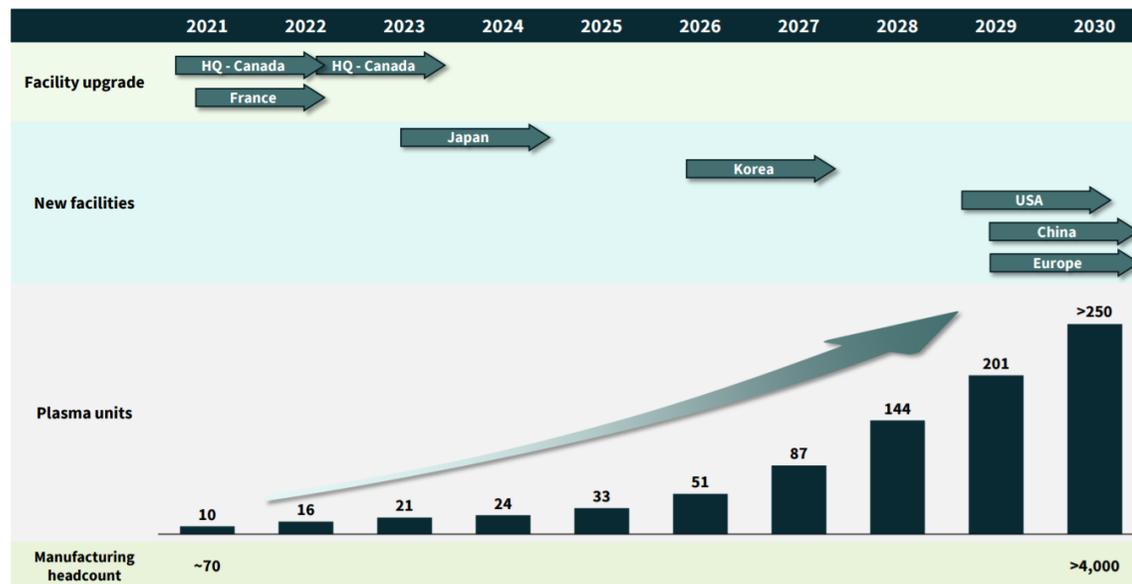
- AM用に使える球状の粉末製造装置TEKSPHEROシリーズのほか、ナノサイズの粉末製造装置、高エンタルピー風洞装置、粉末フィーダー等の各種装置を扱っている。自社製品の生産も同様の装置を使っている。
- TEKSPHEROはラボ用サイズから大量生産用までの4タイプ。大量生産用のモデルTEKSPHERO-200は、粒径<500umの粉末を最大50kg/hで生産できる(要求品質による)。
- なお、Teknaは当面(~2030年)の目標を増産・増収と定めている模様。2018年に製造拠点をフランスに増築した時点でのAM材料の生産量は全世界で1000トンだった。現在は更に増大しているものと推測される。

TEKSPHERO-200



2030年までの設備拡大予定

Tekna has defined a detailed yet flexible roll-out plan towards 2030



7. Heraeus

企業概要

所在国	ドイツ				URL	https://www.heraeus.com/			
取扱材料	Fe系	?	Al系	?	Ti系	?	Ni系	In625, In718	
	Co系	?	Cu系	?	その他	?			
製造法	?								
概要	<ul style="list-style-type: none"> Heraeusは世界各地に拠点を持つ技術企業であり、受託製造のほか材料の販売も行っている。 一般的な材料も扱っているものの、特に貴金属(Pt, Rh, Ir, Pd, Ag, Au)や耐火性金属(W, Mo, Ta, Nb)を用いた部品の製造に特色がある。 また2021年1月にAmorphous Metal Solutions(ドイツ)を統合してHeraeus AMLOYを設立、アモルファス金属の積層造形活用について装置メーカーTrumpf(ドイツ)と共同で技術開発を行っている。 								

グループ企業（青:グローバルビジネスユニット、緑:スタートアップ）

Heraeus Comvance	フューズドシリカ	Heraeus Noblelight	特殊光源モジュール
Heraeus Conamic	フューズドシリカ、セラミック	Norwood Medical	医療機器製造
Heraeus Electronics	電子材料	Heraeus Photovoltaics	結晶・薄膜、太陽電池技術
Heraeus Electro-Nite	熔融金属の測定システム	Heraeus Precious Metals	貴金属 AM関係のユニット
Heraeus Epurio	PEDOT:PSS(導電性高分子)	Heraeus AMLOY	アモルファス合金
Heraeus Medical	骨用セメント	Heraeus Battery Technology	鉛蓄電池用機能性カーボン添加剤
Heraeus Medical Components	医療機器	Heraeus High Performance Coatings	金属・セラミックコーティング
Heraeus Nexensos	白金薄膜	Heraeus Printed Electronics	プリントドエレクトロニクス

7. Heraeus

技術開発動向

- Heraeusのユニットのうち、特に材料の技術開発をしているのはHeraeus AMLOY。それ以外のユニットは受託製造サービスや粉末の提供が主と思われるが、粉末の製造法等の詳細は不明。
- AMLOYはアモルファス金属の受託製造サービスを提供しており、射出成型とAMの両方を扱うサービスビューロは世界でも当社だけとしている。AM用はTrumpfと提携しており、材料粉末も併せて開発している(販売の有無は不明)。なお現在用いられているのはZrベースの合金であり、Tiベースの合金も開発中。

アモルファス金属の想定用途産業 (左: 航空宇宙、右: 測定機器)



AM用アモルファス金属の物理特性

Physical Properties

Properties	Value
Density (g/cm ³)	6.68
Liquidus temperature (°C)	920
Solidus temperature (°C)	870
Glass transition temperature T _g (°C)	400
Crystallization temperature T _x (°C)	475
Crystallization enthalpy ΔH (J/g)	-47
Young's modulus (GPa)	87
Poisson's ratio	0.35
Bending yield strength (GPa)	2.3
Tensile yield strength (GPa)	1.6
Compressive yield strength (GPa)	1.7
Vickers hardness (HV5)	480
Electrical conductivity (IACS)	~ 1%
Thermal conductivity (W/mK)	~ 2.5
Thermal expansion coefficient (1/K)	10 - 12 x 10 ⁻⁶
Specific heat capacity (J/kgK)	250 - 350

8. EOS

企業概要

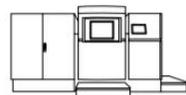
所在国	ドイツ		URL	https://www.eos.info/				
取扱材料	Fe系	SUS316L, SUS316L VPro, SUS312L, 17-4PH (SUS630), 15-5 PH, H13 (SKD61), 20MnCr5, M300, CX(工具鋼)	Al系	AlSi7Mg, AlSi10Mg	Ti系	Ti 64, Ti 64 ELI, Ti Grade-2	Ni系	In625, In718, In939, HX
	Co系	CoCr	Cu系	純Cu, CuCrZr	その他	W, 貴金属(Au, Ag, Pt, Pd) ※提携先		
製造法	?							
概要	<ul style="list-style-type: none"> 装置メーカーEOSでは材料粉末も販売している。材料ごとに、自社装置で造形する場合の基本的なパラメータを併せて提供している点が特徴。 貴金属のみ、提携先であるCookson Precious Metals(英国)を通じて販売や受託製造をしている。 EOS全体では世界35か国に拠点または代理店等があるが、そのうちどこが粉末を扱っているかは不明。国内では神奈川県に日本オフィスがある。 							

EOS M 100(最小の装置)で使える材料

	 EOS CobaltChrome MP1 30 μm	 EOS Titanium Ti64 20 μm	Product name Layer thickness
	 EOS StainlessSteel 316L 20 μm	 EOS Tungsten W1 20 μm	

* 灰色の文字は積層厚さ。

EOS M 400-4(最大の装置)で使える材料

	 EOS CaseHardeningSteel 20MnCrZr 40 μm	 EOS NickelAlloy HX 40 μm	 EOS Titanium Ti64 60 μm
	 EOS Aluminium AlSi10Mg 40 80 μm	 EOS NickelAlloy IN718 40 80 μm	 EOS Titanium Ti64 Grade 23 80 μm
	 EOS MaragingSteel MS1 40 μm	 EOS NickelAlloy IN939 40 μm	 EOS Titanium Ti64 Grade 5 80 μm
		 EOS StainlessSteel 316L 40 80 μm	 EOS Titanium TiCP Grade 2 30 μm

8. EOS

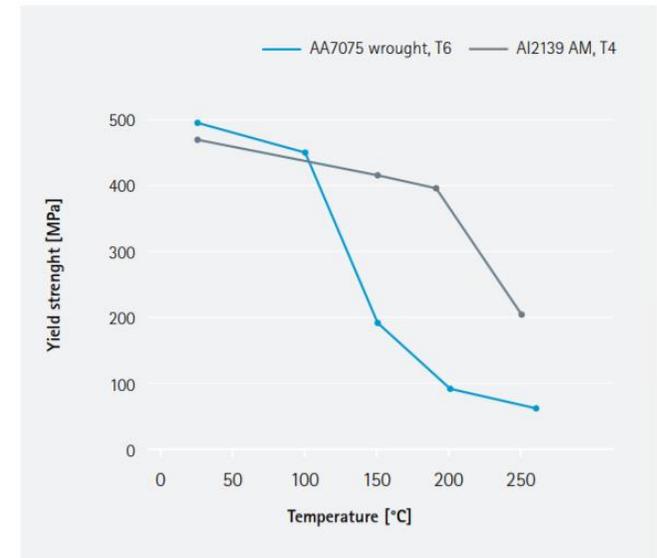
技術開発動向

- EOSは造形可能な材料を年に1-2回ペースで増やしており、最も新しいものは2021年11月に公表されたアルミ合金 Al2139。軽量かつ高強度であることが特徴で、AM用アルミ合金の中では最も高い約500MPaの引張強度を備えている（熱処理後の値）。
- 最大200℃の高温下でも強度を保てる点や、高い耐食性、電解研磨及び陽極酸化処理（アルマイト処理）が可能な点等も特徴。また熱処理が1工程で終わるため、処理に必要な時間を最大88%削減できる。これらの特徴から、航空宇宙、レーシングカー、運送・モビリティ等の生産部品に最適とされている。
- なお、EOSはAM材料にTRL（技術成熟度）評価をつけており、Al2139はTRL 3。今後開発が進むものと思われる。

造形物の例（ホイールキャリア）



高温下での強度比較



8. EOS

技術開発動向(参考)

- EOSは環境問題に対して積極的に取り組んでおり、Arkema社、Alm社との共同で2021年末に業界初となるカーボンニュートラルなポリアミド材料を発表した。インドで栽培されたトウゴマ(ひまし油の原料)を原料として製造されており、欧・米のどちらで使ってもカーボンニュートラルが達成できる。
- またグループ内のコンサルティング企業であるEOS Additive Mindsでは、原料の製造から造形後のリサイクルまでを含めたLCAの計算サービスを始めた。

栽培されるトウゴマ



製造されたポリアミド粉末

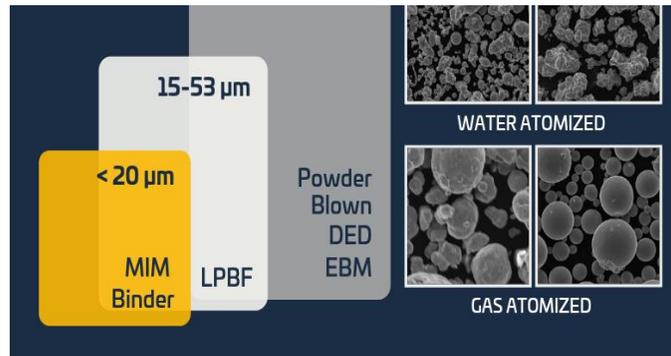


9. GKN Powder Metallurgy

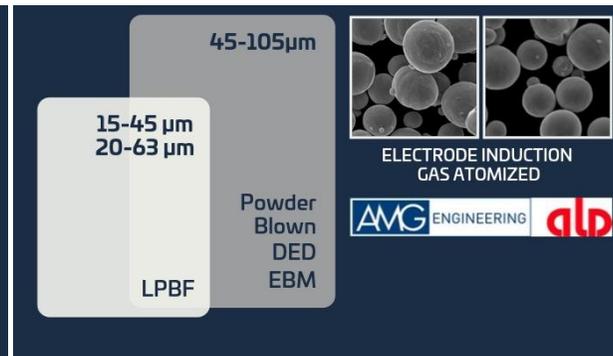
企業概要

所在国	英国		URL	https://www.gknpm.com/				
取扱材料	Fe系	SUS304L, SUS316L, SUS420, 17-4PH (SUS630), 4340, 4630, 8620, 20MnCr5, 42CrMo4, 5120, M300, H13 (SKD61), Fe-Si, Fe-Ni	Al系	AlSi7Mg, AlSi10Mg, Al4047	Ti系	Ti Grade-1/2, Ti 64, Ti 6242, Ti 5553, Beta 21S (Timetal 21S)	Ni系	In625, In718, Ni-Ti
	Co系	—	Cu系	純Cu, CuCrZr, CuNi3Si	その他	カスタム製造		
製造法	WA 水アトマイズ	GA ガスアトマイズ	EIGA	VIGA	PA プラズマアトマイズ	PREP		
概要	<ul style="list-style-type: none"> エンジニアリング企業GKNの粉末冶金部門。部門内にGKN Additive, GKN Sinter Metals, GKN Hoeganaesがあり、そのうちGKN Additiveが積層造形に特化したチームとして材料の製造販売と受託製造を行っている。 GKN Powder Metallurgy全体としては世界10か国に29カ所の製造拠点を保有しており、大規模な流通網ができています。国内では大阪千里に営業所がある。 							

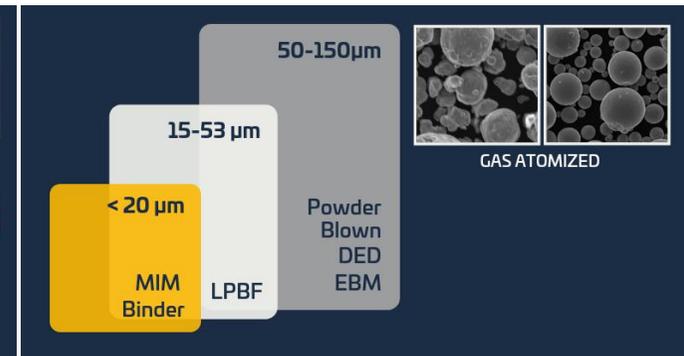
ステンレス鋼の粒径



チタン合金の粒径



ニッケル合金の粒径

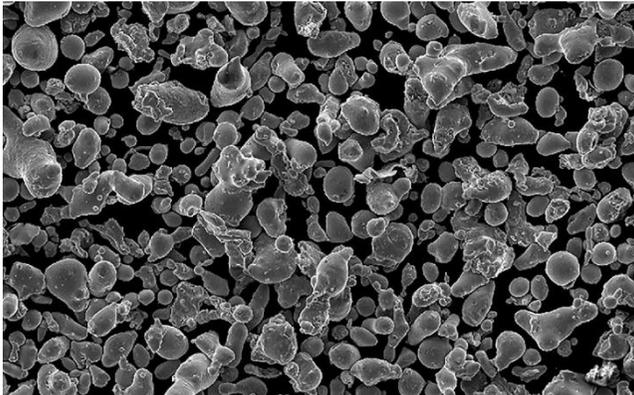


9. GKN Powder Metallurgy

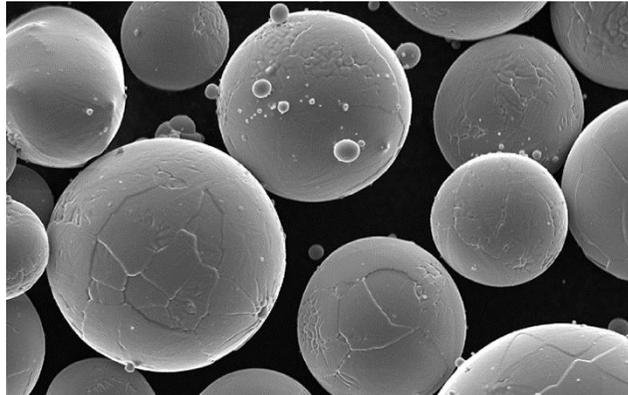
技術開発動向

- GKN Powder Metallurgy では、水アトマイズ、ガスアトマイズ、電極誘導溶解ガスアトマイズ(EIGA)法を用いて3Dプリンタ用の球状粉末を製造している。
- 水アトマイズ法は、反応性の低い鋼、ステンレス、銅に最適であり、高いスケラビリティ(年間数十万トン)と低コストを実現。通常は、プレスや焼結で利用される。
- ガスアトマイズ法は、より反応性の高い金属・合金に最適であり、球状粉末が得られるが、スケラビリティが低く(年間最大数千トン)高価格である。主に、鋼、ステンレス、アルミニウム、ニッケル合金に適用される。
- EIGA法では、反応性金属に最適で、非常に高純度の球状粉末が得られるが、スケラビリティが低く(年間最大数千トン)、高価格である。主にチタン、アルミニウム合金に適用される。

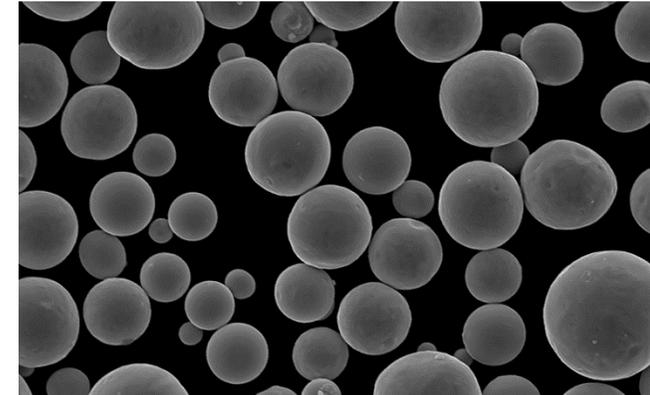
水アトマイズ法



ガスアトマイズ法



電極誘導溶解ガスアトマイズ法

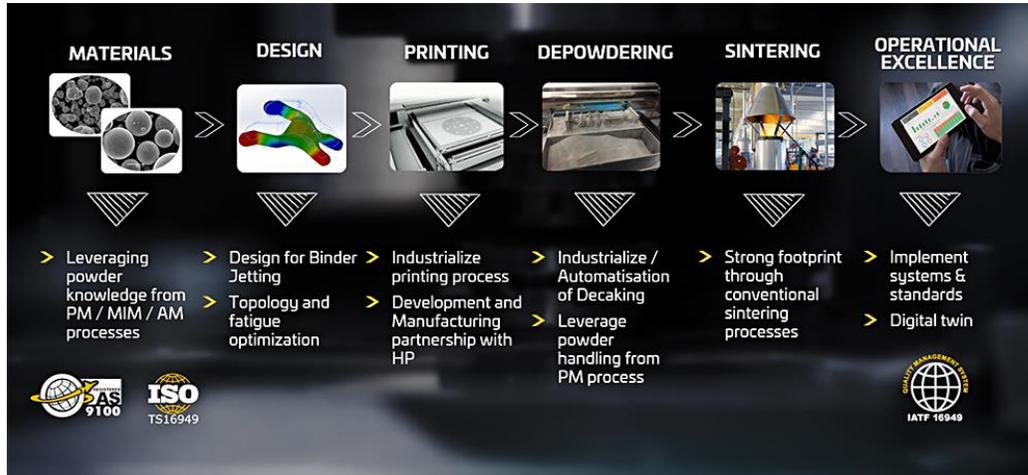


9. GKN Powder Metallurgy

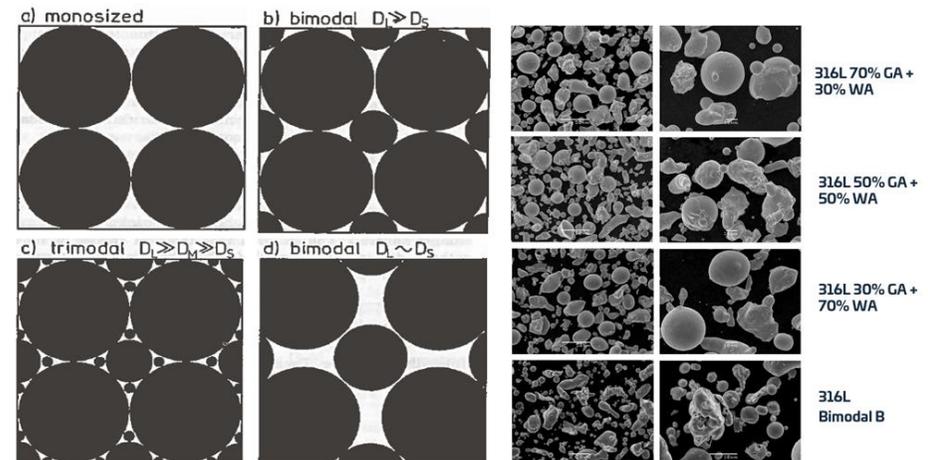
技術開発動向

- GKN Powder Metallurgy は2018年よりHPとパートナーシップを形成してBJ方式の大量生産システムの構築を推進しており、BJ方式を中心とした粉末冶金用の粉末製造に注力している。
- BJ方式用の粉末として、水アトマイズ法とガスアトマイズ法で製造した粉末の混合粉末と、2サイズの粉末を組み合わせたバイモーダル粉末の2種類を考案している。
- 混合粉末では、コストを削減しながら粉末の流動性と生産性を向上することができ、バイモーダル粉末では、金属粒子間の隙間を埋めるため、充填密度、焼結密度を高めることが可能となる。

BJ方式の3Dプリンタ用バリューチェーン



混合粉末、バイモーダル粉末



[1] Ref: R. M. German, "Particle Packing Characteristics," 1989, pp 89-217

A. Zwirer, D. Kolodziej; Analysis of Powder characteristics influencing density via binder jetting additive manufacturing; PowderMet2017

10. Höganäs

企業概要

所在国	スウェーデン		URL	https://www.hoganas.com/ja/				
取扱材料	Fe系	SUS316L, SUS410L, 4130, 4140, 420S 17-4PH (SUS630), 15-5 PH, H11 (SKD6), H13 (SKD61), 18Ni300, 16MnCr5	Al系	—	Ti系	—	Ni系	In625, In718, In738LC, In939, HX, Haynes 282
	Co系	CoCrMo	Cu系	—	その他	カスタム製造		
製造法	WA 水アトマイズ	GA ガスアトマイズ	EIGA	VIGA	PA プラズマアトマイズ	PREP		
概要	<ul style="list-style-type: none"> 1797年に設立された粉末冶金用の金属粉末メーカー（設立当時は炭鉱会社）。世界中に18カ所の製造拠点を保有しており、年間の金属粉末（AM以外も含む）製造量は50万トン。 国内では東京赤坂に営業所、埼玉深谷に混合粉の工場兼物流拠点がある。 なおGKN Powder Metallurgy（前ページ）内の組織にGKN Hoeganaesがあるが、これは傘下企業の株保有率の都合でブランド名が残っているものであり、特にJV等では無い模様。 							

Höganäs製の粉末が使えるAM装置

L-PBF	ドイツ	EOS, SLM Solutions, Concept Laser (GE Additive), Trumpf, DMG Mori	BJ	スウェーデン	Digital Metal
	米国	Velo3D, 3D Systems		米国	Desktop Metal, HP, ExOne, GE Additive
	英国	Renishaw	EBM	スウェーデン	Arcam (GE Additive), Freemelt
	フランス	AddUp		日本	Jeol
	オランダ	Additive Industries	Cold Spray	オーストラリア	Titomic
	オーストラリア	Aurora Labs		ドイツ	Impact Innovations
DED	ドイツ	Trumpf, DMG Mori, Coherent			
	フランス	BeAM (AddUp)			
	米国	Optomec			

（出典）”A flexible AM portfolio that fits most 3D printers” (Höganäs)
<https://www.hoganas.com/en/powder-technologies/additive-manufacturing-metal-powders/3d-printer-powders/> 139

10. Höganäs

技術開発動向

- Höganäsはプラズマアトマイズ(PA)、ガスアトマイズ(GA)、真空誘導溶解不活性ガスアトマイズ法(VIGA)、水アトマイズ(WA)の4方式を使っている。うちAM向けの材料で主に使われているのはプラズマアトマイズであり、GAは大量生産向け、VIGAはカスタム粉末の生産と一部の金属(Co系, Ni系, Fe系)向け、WAはAM以外の工法向けと推測される。
- VIGAは2020年11月にドイツのラウフェンブルク拠点に導入され、エネルギー、医療機器、航空宇宙等向けの材料を生産している。同拠点は2019年時点で数百トン規模のAM材料を生産しており、需要は大きく増大を続けている。

ラウフェンブルク拠点に導入されたVIGA装置



10. Höganäs

技術開発動向

- Höganäsは各種ホッパーに粉末をセットするためのパウダーハンドリング設備を開発、主にAM向けに提供している。サイズは200kgと500kgの2種類だが、最大1tまで拡張可能。
- 粉末はバッグに入れて運ばれ、専用の装置にセットしてホッパーに直接中身を移す仕組み。出荷～移し替えの過程での粉末のロス無くし、オペレーターが粉末に曝露するリスクを減らすことができる。容器をバッグにすることで、輸送時のデッドスペースを減らす効果もあると推測される。
- なお、各バッグには個別のラベルが貼られており、材料に関する各種データが読み込める。ユーザーはこのデータをERPシステムに簡単に連携することができるほか、専用のポータルサイトから材料の詳細なデータが閲覧できる。

粉末の移し替え



製品情報の読み取り



11. Sandvik

企業概要

所在国	スウェーデン		URL	https://www.metalpowder.sandvik/en/				
取扱材料 ※非AM用が含まれる可能性あり	Fe系	SUS304L, SUS310S, SUS316L, SUS316Ti, SUS420, SCM415, 4140, 4340, 4365, 4605, 8620, SAE 52100, S20C, 18Ni300, M300, 17-4PH (SUS630), A6, D2, M2, H13, S2, T15	Al系	AlSi7Mg, AlSi10Mg	Ti系	Ti 64	Ni系	In625, In713C, In718, HX, Nimonic 90, HXFe29Ni17Co (Kovar), NAS 36 (Invar 36)
	Co系	—	Cu系	純Cu, Cu10Al, Cu10Sn, Cu15Sn	その他			
製造法	WA 水アトマイズ	GA ガスアトマイズ	EIGA ※一部材料	VIGA	PA プラズマアトマイズ	PREP		
概要	<ul style="list-style-type: none"> エンジニアリングツールメーカーSandvikの金属粉末Ospreyシリーズが粉末冶金・積層造形等の加工向けに販売されている。 特に積層造形用粉末のプラントではEIGA法が導入されており、Ti 64 (Grade 5/23) 及び In625, In718が製造されている。なお当該プラントは100%再生可能エネルギーで運転している。 							

造形手法ごとに対応可能な粒径

Particle size distributions for additive manufacturing

Process technology	Size (μm)
Binder jetting	≤ 16, ≤ 22, ≤ 38, ≤ 45
Laser – Powder Bed Fusion (L–PBF)	15 to 53 and 20 to 45
Electron beam – Powder Bed Fusion (E–PBF)	45 to 106
Direct Energy Deposition (DED)	53 to 150

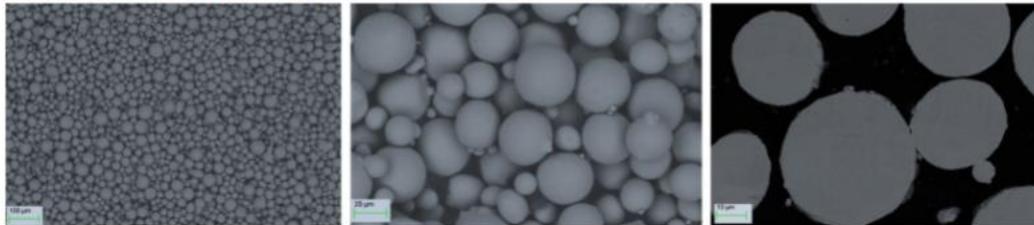
11. Sandvik

技術開発動向

- Sandvikでは一部の材料粉末(Ti64 Grade 5/23, In625, In718)の製造をEIGA法で行っており、スウェーデンにある同社のAMセンターの近くで2020年4月頃から工場が稼働している。なお他の金属についても要望に応じてEIGAでの製造が可能。
- 同拠点は100%再生可能エネルギーで稼働しており、加熱工程や自動搬送ロボットは全て電気で動いている。また熱循環システムの導入により消費エネルギーを40-50%削減していること、廃棄材料をリサイクルすること等により、PREP法を使う場合よりも安価での販売が可能としている(具体的な価格は不明)。

EIGA法で製造したTi64粉末のSEM画像

Powder morphology



SEM micrographs of $-63 +20 \mu\text{m}$ powder with a spherical morphology (HS Circularity 0.95), smooth surface and low level of powder satellites (magnifications x100 & x250) and a section through the powder (magnification x1000), with no visible internal porosity.

EIGA設備と自動搬送ロボット

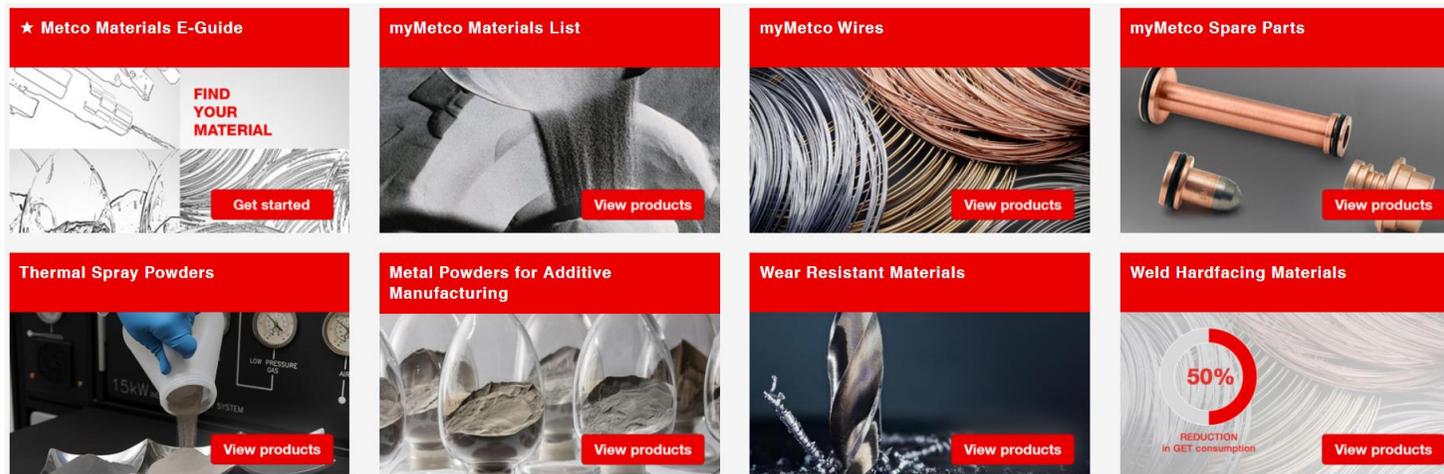


12. Oerlikon

企業概要

所在国	スイス		URL	https://www.oerlikon.com/en/brands/am/				
取扱材料	Fe系	SUS316L, 17-4PH (SUS630), 15-5PH, 18Ni300, H11, H13	Al系	—	Ti系	Ti 64	Ni系	In625, In718, In738, HX
	Co系	CoCrMo, Haynes 188, Haynes 509	Cu系	—			その他	カスタム製造
製造法	WA 水アトマイズ	GA ガスアトマイズ	EIGA	VIGA		PA プラズマアトマイズ	PREP	
概要	<ul style="list-style-type: none"> 表面加工と金属・樹脂材料を扱う企業。積層造形に関する事業はOerlikon AMが担っており、材料の生産、製造（試作～量産）、後加工、アセンブリ、品質管理までを一括で受託している。 材料はOerlikon Metcoによって生産されており、生産拠点は米国ミンガン州に2カ所ある。 R&D拠点は米国ノースカロライナ州とドイツの2カ所、販売拠点は米国（NY州）、ドイツ、シンガポール、オーストラリア、中国（上海）、日本（名古屋）の6カ所。 							

Oerlikon Metco のe-コマースサイト



12. Oerlikon

技術開発動向

- Oerlikonでは既存の流通ネットワークやe-コマースのシステムを利用した販売に注力している様子であり、米国・ニューヨーク、ドイツ・ケルスターバッハ(フランクフルト近辺)、中国・上海の3か所に在庫を保管している。この近辺であれば、注文から48時間以内に納品が可能。
- 米国ミシガン州内にAM向けの生産を専門で担う拠点が2カ所あり、それぞれで異なる製造手法を使っている。うち一カ所(Troy, MI)は80年代前半から金属粉末の生産をしていた拠点で、Ni系、Co系、Fe系の金属をGAで製造している。もう一方(Plymouth, MI)は2018年に稼働を開始した拠点で、VIGA、EIGA用の設備を置いている。前者はNadcap認定済み、後者は申請中。

AM粉末の製造拠点(Plymouth, MI)



- VIGA製造: Ni系、Co系、Fe系
- EIGA製造: Ti系(Grade 5/23)
- GA製造: R&D用途
- 品質管理、包装、ラベリング等も可能
- ISO 9001、AS 9100、Nadcap認定を申請中
- 開設時点では65人の職員が在籍
- 総投資額 約50億円

13. Polema

企業概要

所在国	ロシア		URL	http://www.polema-rus.com/				
取扱材料	Fe系	SUS304, SUS316L/S, SUS321, 15-5PH, EP410, EI962	Al系	—	Ti系	—	Ni系	In625, In718, In738, HX, EP648, EP718, EP741NP, EK171, EI435, VV750P
	Co系	CoCrMo	Cu系	CuCr, CuCr,Zr		その他	W, Mo, Cr	
製造法	? (アトマイズ)							
概要	<ul style="list-style-type: none"> モスクワ州立研究機関 IP Bardin Central Research Institute of Ferrous Metallurgy からのスピニアウトとして1961年頃に設立された材料メーカー。設立当初から粉末冶金に特化しており、チタン粉末等の製造を行っていた。 2014年頃から積層造形用の粉末の生産に取り組みはじめ、現在はロシア国内に加えて主にアジア圏への販売も行っている。支社が中国・韓国、駐在員事務所がスイス・台湾にある。 近年は生産量が増加傾向にあり、2021年は前年比21%増にあたる計768トンの材料を製造している(粉末以外も含む)。うち26%はロシア国外への販売だった。多くはCr系、Mo系の材料であり、うちAM向け+MIM向けの粉末材料は前年の2倍にあたる27トン。 AM用材料は受注生産の模様。発注は最低50kgからで、50kgの場合は製造に5営業日かかるとしている。 							

13. Polema

技術開発動向

- 2021年3月に「船舶及び航空機のエンジン用AM材料として認証を取得したロシア初の企業になった」とのリリースを出している。何の認証を取得したか等の詳細は不明。
- 棒材・板材等も扱っているが、近年はAM用材料に注力している模様。ロシア国内の展示会や、AM関連のシンポジウムに多数出席している。

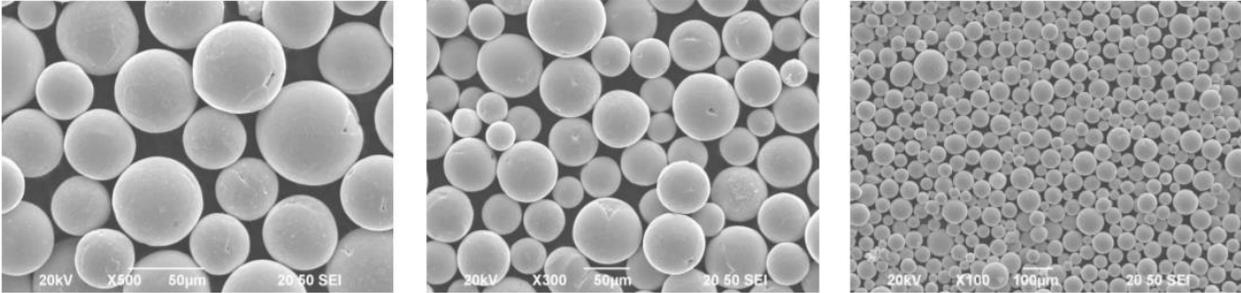
材料粉末の例(W)

SPHERICAL TUNGSTEN POWDER

Application

- 3D
- MIM
- Manufacturing products via Powder Metallurgy methods
- Spraying and weld deposition

Photos of W powder spherical particles



The image displays three scanning electron microscope (SEM) photographs of spherical tungsten powder particles. The first image on the left shows particles at 500x magnification with a 50µm scale bar. The middle image shows particles at 300x magnification with a 50µm scale bar. The third image on the right shows particles at 100x magnification with a 100µm scale bar. All images were captured at 20kV and 20.50 SEI.

二次利用未承諾リスト

報告書の題名 調査報告書

委託事業名 令和3年度重要技術管理体制強化事業（金属積層造形技術動向調査）

受注事業者名 みずほリサーチ&テクノロジーズ（株）

頁	図表番号	タイトル
8		デジタルファクトリーの構築を提唱
8		L-PBF方式（上）、L-DED方式（下）の装置を販売
9		LASERTEC SLM のチャンバーが備える機能
10		造形パラメータ最適化ソフトウェア「AMOptoMet」
11		統合プラットフォーム「CELOS」
12		パレット搬送システム「LPS 4th Generation」
13		L-PBF、E-PBF方式の装置を販売
13		Ti、Ni、Al、Fe、Coをベースとした金属粉末を販売
13		航空機エンジン部品 LEAP燃料ノズル
14		PRS30及び高度な自動化を実現する補助機器
15		QMモジュールによる粉末供給量監視・制御、メルトプール監視
16		BJ 装置（β版）
16		Cummins 社における検討の様子
17		L-PBF方式の装置を販売
17		Al、Ti、Ni、Co、Feをベースとした金属粉末を販売
18		DMP Factory 500 Solutionのコンセプト
18		DMP Factory 500 Solution の機能連携イメージ
20		3D Xpert の主な機能
21		小型パレットをソフトウェア上で管理している様子
22		自動生成されたサポート構造、造形ワークフローを選択・作成できるエディター
23		スライスエリア解析ツール
24		造形プロセス中のリアルタイムキャプチャ映像
24		多孔性事象の融合不良を3Dで可視化した図
25		製品例、出資・提携先企業
26		設備の全体像、ロボットアームによる造形物の取り出し
27		EOSTATE Exposure OTの概要図、EOSTATE 画面イメージ
28		L-PBF方式の装置を展開
28		Al、Ti、Ni、Co、Fe、Cu をベースとした粉末を販売
29		自動搬送システム「SLM HUB」
30		MPM（旧式）、LPMの光学デザイン
30		MPM（新式）による熱放射プロット画像
30		LCSで検出した欠陥
31		層状の不活性ガスフローのイメージ
32		L-PBF方式の装置を展開
33		MetalFABG2シリーズ
34		製品例、パートナー企業
35		AddUp FlexCare System 外観
36		AddUpソフトウェアシリーズの繋がり、Distortion Simulation AddOn 画面イメージ
37		製品ラインナップ
38		熱反射光・レーザ出力のスペクトル、溶接結果
39		モニタリング関連製品ラインナップ
40		溶接中の外観、検知できる欠陥
41		粉末材料用のレーザーヘッド「YC30 YC52」

(様式2)

頁	図表番号	タイトル
41		ワイヤー材料用のレーザーヘッド「Coax Printer」
42		Additive Manufacturingの製造業への適用を目指した総合的研究
43		ジグの欠陥、レーザー超音波で計測した様子
44		Manufacturing USAの研究組織
44		America Makesのメンバーシップ特典
45		プロジェクトのスキーム
46		Wolf Robotics Laser Wire AM システム、開発中のフレームワークの要素とインタフェース
47		ONR Quality Made - Informed Quality (2018-2020)
48		AMに関わる19の研究開発拠点
48		AMプロジェクトの例 (futureAMプロジェクト)
49		モジュラーコンセプトの概念、表面付近の空洞を利用したQRコードによる造形品の識別
53		CAD/スキャナ、CAE、データ編集、ワークフロー生成・自動化
56		Autodesk の設計ソフトウェアの導入事例①・②
59		3D CADソフトウェア (CADmeister) で作成した金型モデル
59		スライス作成ソフトウェア (AMmeister) の概要
61		3D systems社のAM用設計ソフトウェアの主な機能、設計ソフトウェアの活用事例①・②
64		設計ソフトウェア活用事例、ソフトウェアを用いたAM装置制御イメージ
67		Materialise社のAMソフトウェアの製品ポートフォリオ
70		SOLIDWORKSを用いたAM部品の3Dモデリング例
70		SIMULIAを用いた解析例
73		ANSYS社のAMデータ準備ソフトウェア (Additive Prep) を用いたモデリング事例
73		CAEソフトウェアを用いたビルド特性評価例
76		シミュレーション事例①・②
78		nTopologyで設計されたドローンエンジンシリンダーの断面図
78		有限要素解析と計算流体力学の結果にもとづく熱交換器の冷却チャンネルの設計
88		Geomagic DesignXでのタイヤの3Dスキャンの展開
88		三次元バイオプリント軟組織スキャフオールド
89		拡張有限要素法を用いたAMプロセスシミュレーションの概要
89		最適化されていないスキャンパス (右側) と最適化スキャンパス (左側) の過熱の状況
91		離散要素法を用いた医薬品錠剤のコーティングプロセスの品質確認
91		ANSYS AdditiveによるAM製造後の歪みの検証例
92		熱変形により反りが発生した金属積層造形物
93		TOROプロジェクトのフローチャート
94		AMMPプログラムの概要
101-111		resourcetrade.earth
115		材料開発支援サービスの流れ
117		JX金属グループのAM関連事業
118		表面処理の効果
119		Alloyedによる新Ni合金「ABD®-900AM」の特徴
120		協力企業
121		Avimetalの保有設備
122		粉末生産設備とプラズマアトマイズによる粉末製造の様子
123		各製造手法における適切な粉末粒径、APARMの製造イメージ
124		積層造形プロセス用の高品質粉末を形成する方法
125		粉末ラインナップ、カスタム粉末の開発の様子
126		Carpenter Technology における分析のイメージ
127		PowderLifeのエコシステム、PowderLife利用時の様子
128		PowderLifeONLINEのイメージ
129		主要顧客
130		TEKSPHERO-200
130		2030年までの設備拡大予定
132		アモルファス金属の想定用途産業 (左: 航空宇宙、右: 測定機器)
132		AM用アモルファス金属の物理特性
133		EOS M 100 (最小の装置) で使える材料、EOS M 400-4 (最大の装置) で使える材料

(様式2)

頁	図表番号	タイトル
134		造形物の例 (ホイールキャリア)
134		高温下での強度比較
135		栽培されるトウゴマ、製造された粉末
136		ステンレス鋼の粒径、チタン合金の粒径、ニッケル合金の粒径
137		水アトマイズ法、ガスアトマイズ法、電極誘導溶解ガスアトマイズ法
138		BJ方式の3Dプリンタ用バリューチェーン、混合粉末、バイモーダル粉末
140		ラウフェンブルク拠点に導入されたVIGA装置
141		粉末の移し替え、製品情報の読み取り
142		造形手法ごとに対応可能な粒径
143		EIGA法で製造したTi64粉末のSEM画像
143		EIGA設備と自動搬送ロボット
144		Oerlikon Metco のe-コマースサイト
145		AM粉末の製造拠点 (Plymouth, MI)
147		材料粉末の例 (W)