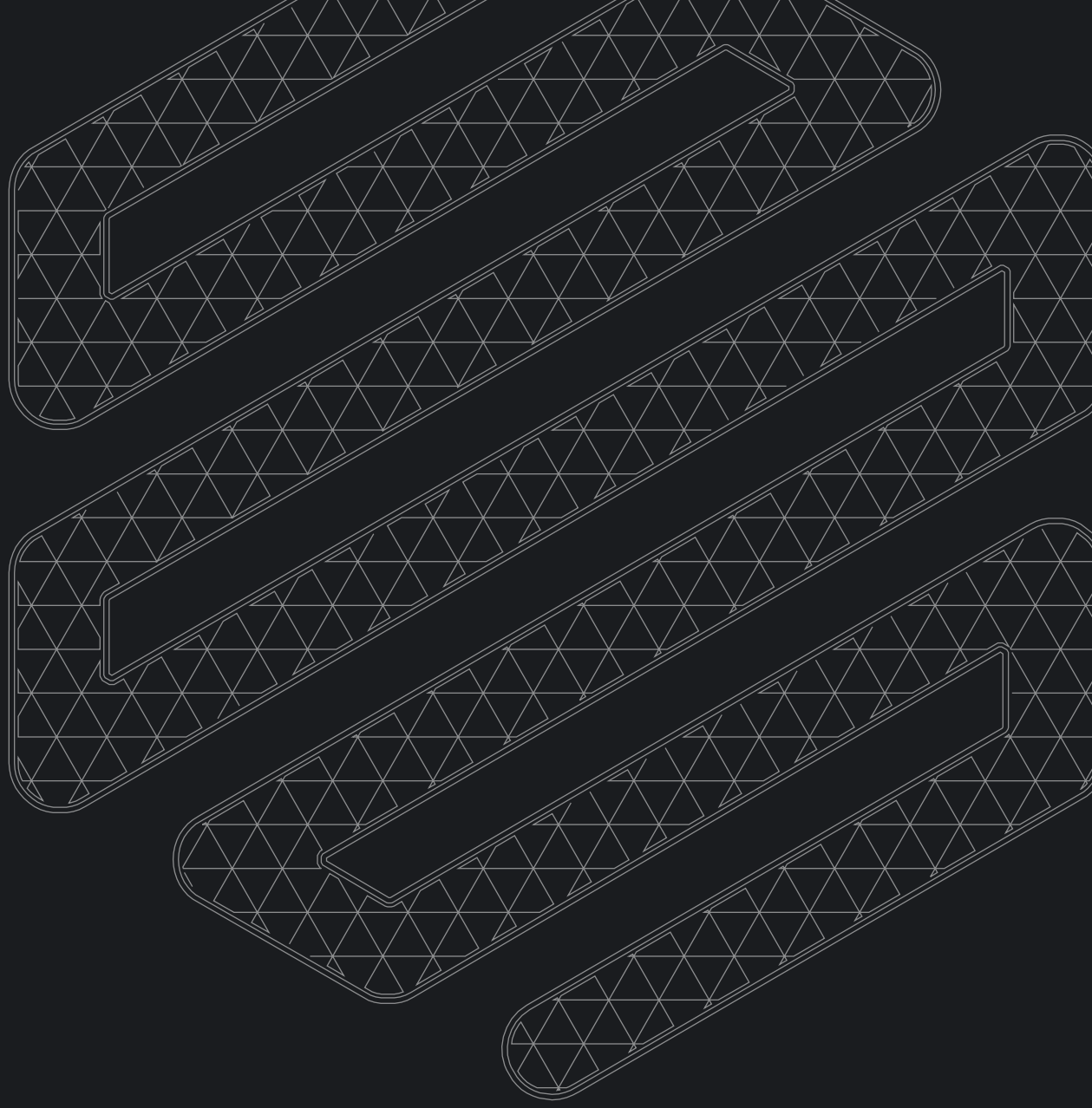


Markforged

金属 3D プリンターへのガイド

ビジネスに最適な金属 3D プリンターを見つける方法

目次

1 **前書き** **02**

2 **金属 3D プリントの利点** **03**

ビジネス上の利点 03

技術的な利点 04

3 **金属 3D プリンターの種類** **05**

パウダー ベッド方式 06

指向性エネルギー堆積 07

バインダー ジェッティング 08

結合粉末押出 09

4 **金属 3D プリントの材料** **10**

鋼 10

超合金 11

チタン 12

銅 13

アルミニウム 14

5 **用途** **15**

6 **金属 3D プリンターの ROI** **16**

財務 ROI 16

間接 ROI 17

7 **投資の最大化** **18**

8 **Markforged の利点** **19**

> **「調査対象の製造業者の 3 分の 2 は、現在何らかの方法で 3D プリンター を利用しています。**4 分の 1 が、将来的に 3Dプリンター を採用する計画があると語りました。」
>
> **PwC の調査**
>
> **3D プリントと工業生産の新しい形**

イントロダクション

金属 3D プリントを使用して、製造および製品開発業務をより効率的に実行できます。

金属 3D プリントにより、金属部品の積層造形のための独自の画期的な方法が実現します。最近まで、このテクノロジはあまり成熟しておらず、製造で広く利用することはできませんでした。しかし、過去 5 年間の進歩により、金属 3D プリントはスケーラブルで堅牢なソリューションに変わりました。このテクノロジを効果的に実装すると、ビジネスを変革できます。

その新しさとそれを取り巻く刺激により、金属 3D プリントは多くの誤解と多種多様なテクノロジが交錯する複雑な分野になっています。本ガイドでは、金属 3D プリントの真価、具体的な技術と素材、および金属 3D プリントを御社独自の設備に採用するための第一歩について詳述しています。本ガイドをお読みになり、不確実な情報への対応にお役立てください。

このガイドでは、次の内容を取り扱います。

- 金属 3D プリンターを使用するビジネス上の利点と技術的な利点。
- 現在利用可能なプリンターの種類とプリント可能な素材のグループ。
- 金属 3D プリントの 4 つの主要な用途分野。
- 金属 3D プリンターの ROI（投資収益率） を計算する方法 (財務とプロセス改善の両面)。
- 金属 3D プリンターでビジネスを成功させる 3 つの方法。

金属 3D プリントの利点

これをお読みになられたのは理由があるはずです。3D プリントは製造業の状況を変えています。その理由を見ていきましょう。3D プリントは、他の製造方法よりも俊敏なプロセスであり、設計から複雑な金属部品まで、より速く、簡単に、そしてより手頃な価格で提供できます。詳細な図面や機械プログラミングの必要性をなくす場合でも、製品開発プロセスを妨げるリード タイムを大幅に短縮する場合でも、金属 3D プリントを正しく実装することで、ビジネスを大幅に改善できます。

> 「単純作業が取り除かれ、自律性が加わりました。アイデアを部品に変えるために**エンジニアに必要なツールが実現**しました。」
>
> **最高経営責任者、Eric Mertz 氏**
> **Caldwell Manufacturing**

ビジネス上の利点

長い間、3D プリントへの投資の具体的なビジネス上の利点は、テクノロジを取り巻く過大な情報によって失われてきました。製品が成熟するにつれて明らかになった、金属 3D プリントが収益を向上させる 3 つの方法を以下に示します。

製品をより早く市場に出す

収益を上げる能力を長い製品開発サイクルによって制限するのはなぜですか?

反復は製品開発の最も重要な部分です。反復が多いほど製品は改善されますが、反復が多すぎると時機を逃して収益を失うことになります。多くの労力が反復に費やされますが、多くの時間は待つことに費やされます。待ち時間により、実行できる反復の回数と、冒せるリスクが減少します。

金属積層造形は、製品開発を加速することを目的に構築されています。金属 3D プリンターを使用すると、機能部品のプロトタイプを迅速かつ手頃な価格で作成できます。設計が決まれば、この技術は、生産部品をより速く作るための工具、治具、その他の部品の生産に役立ちます。場合によっては、少量生産の最終使用部品をプリントできるため、製造のスピンアップ時間が完全に不要になります。

製造コストを削減

なぜ柔軟性のない製造プロセスに余分なコストを費やすのですか?

製造にはコストがかかります。部品を効果的に生産するには、熟練した作業員、高度な機械、および特注の工具がすべて連携して機能する必要があります。最適化された製造ラインは効率的ですが、柔軟性に欠けることがよくあります。他にも、機械が工具やその他の収益を生み出さない部品だけを生産し、熟練した作業員が新しい部品を作れずに問題の切り分けに精一杯なこともあります。

金属 3D プリントにより、製造の柔軟性が高まり、収益を生み出す部品の生産により多くの時間を費やすことができます。工具や治具の製造、計画外のダウンタイムの軽減、単純なタスクの自動化など、これらの機械はリソースを活用して部品をより手頃な価格で製造するのに役立ちます。

非効率的な製造ワークフローを置き換える

最適化が不十分なタスクを達成するために時間と労力を費やすのはなぜですか?

複雑な購入プロセス、予期しないダウンタイム、サードパーティ メーカー、拡張された製造キューなどの非効率的な製造ワークフローは、組織全体に及ぶ問題を引き起こします。単純なロジスティックスの問題が混乱をもたらす可能性があります。

金属積層造形により、組織はよりダイナミックとなり応答性を高めることができます。金属 3D プリンターを使用すると、製品のタイムラインを圧縮し、CAD 設計と機能部品の生産との間の労力、時間、コストを削減できます。部品はデジタルで保存、更新し、シームレスで直感的なワークフローに基づいてオンデマンドでプリントできます。

技術的な利点

金属積層造形の技術的利点は、非常に複雑な部品を作成する機能に留まらず広い範囲に及びます。この利点とは、金属 3D プリントが従来の製造方法よりも製造上の課題に取り組むのに適している点です。積層造形の採用に成功した企業は、独自の利点を、直面する課題に適用しています。

幾何学的に複雑な部品を設計

従来の製造上の制約によりデザインを制限されているのはなぜですか?

従来の製造とは異なり、積層造形では部品の複雑さによってコストが左右されることはありません。減法 CNC 機械と比較して、湾曲した自然な形状と複雑な形状を得意としています。その結果、複雑な部品は、金属 3D プリンターを使用して製造する方が安価で、簡単で、高速となります。

金属 3D プリンターは、複雑な部品の製造に非常に適しています。非常に複雑な部品からプロセスが最適化された部品まで、生成的に設計された構造から特注の冷却チャネルまですべてをプリントできます。

工具なしで部品を製造

工具や治具を製造する必要がなかったとしたら?

従来製造されている部品の多くには、特注の工具と治具が必要です。これらの部品は製造プロセスに不可欠ですが、収益を生み出すことなく製造の処理能力を低下させています。特に少量生産部品の場合、工具コストにより製造コストが非常に高くなる可能性があります。

プリントする部品に関係なく、金属 3D プリンターを実行するために特注の工具や治具の準備は必要ありません。これにより、製造に伴う諸経費が削減され、少量の部品がより迅速かつ手頃な価格で生産されます。

詳細図面や CAM なしで部品を作成する

図面の生成と CAM のプログラミングに時間を費やす必要がなかったとしたら?

機械加工部品には、図面、CAM、またはその両方が必要ですが、3D プリント部品には必要ありません。金属 3D プリント ソフトウェアは、部品の構築に必要なツール パスを自動的に生成して実行します。図面を生成して CAM をプログラミングする代わりに、必要なのは、部品の向きを設定し、材料と基本的なプリント設定を選択することだけです。

ほとんどの金属 3D プリンターは、ツール パスを自動的に生成することに加えて、部品の製造時にほとんどまたはまったく監督を必要としません。設計から部品まで、短いリード タイムと少ない労力で移行できます。

金属 3D プリンターの種類

ほとんどの金属 3D プリンターが粉末金属を使用していることをご存知でしたか?プリンターの種類の主な違いは、これらの機械が粉末を固体金属部品に変換するプロセスにあります。高エネルギー レーザーの使用から、結合された金属粉末フィラメントの押し出しまで、プリンターの各種類には非常に独自のプロセスがあり、それぞれに長所と短所があります。

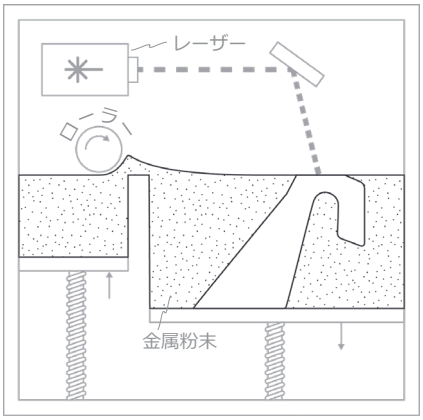
このセクションでは、最も一般的な 4 種類の金属 3D プリンターについて説明します。

1. パウダー ベッド方式
2. 指向性エネルギー堆積
3. バインダー ジェッティング
4. 結合粉末押出*

技術	成熟度	コスト ($)	施設の要件	部品サイズ	精度
パウダー ベッド方式	高 ●●●	50 万～ 100 万以上 $$$	粉体管理、換気、後処理装置 (CNC、EDM、HIP、熱処理)	2 mm ～ 350 mm	高 ●●●
指向性エネルギー堆積	高 ●●●	40 万～ 200 万以上 $$$	粉体管理、換気、後処理装置 (CNC、表面仕上、熱処理)	50 mm ～ 2000 mm	低 ●○○
バインダー ジェッティング	低 ●○○	30 万～ 200 万以上 $$$	粉体管理、バッチ焼結ソリューション、後処理装置 (表面仕上、熱処理)	1 mm ～ 150 mm	高 ●●●
結合粉末押出*	中 ●●○	150 ～ 20 万 $$$	基本的な換気 (金属粉末用ではない)、使途に応じた後処理 (CNC、熱処理、表面仕上)	10 mm ～ 250 mm	中 ●●○

** Markforged では、3D プリント パーツに結合粉末押出を使用する機械を製造しています。*

パウダー ベッド方式



パウダー ベッド方式は、最も成熟したタイプの 3D プリントであり、他のテクノロジのベンチマークとなる標準です。これらの機械は、高出力エネルギー源 (通常はレーザー) を使用して、緩い金属粉末を選択的に溶融します。正確で複雑な形状を作成できますが、多くの場合、プロセスの各パーツを適切に調整するには、時間と反復が必要です。

テクノロジ:

選択的レーザー溶融 (SLM)
指向性金属レーザー焼結 (DMLS)
電子ビーム溶解 (EBM)

テクノロジの成熟度:

高:設計基準と利用可能な材料の多様性で十分に実証済み

取得原価:

50 万～ 100 万ドル以上

施設の要件:

粉体管理、換気、後処理装置が必要 (CNC、EDM、HIP、熱処理)

推奨部品サイズ:

2 mm ～ 350 mm

長所:

- 機械と材料の多様な選択性。
- プロセスは複雑な形状を製造可能。
- 一度プロセスを開始すると、高品質のパーツを繰り返し生産可能。

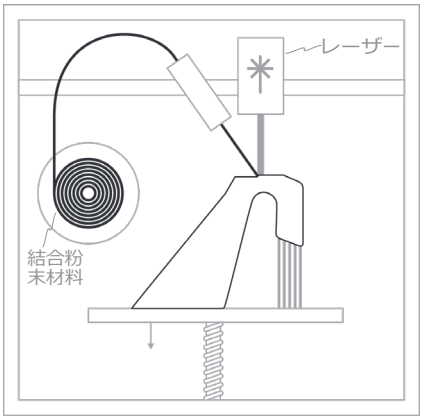
短所:

- セット アップにコストがかかり、操作に労力が必要です。
- 部品には後処理が**必要**で、反りや亀裂がよく見られます。部品を正常に生成するには、複数の反復と大規模な後処理が必要な場合があります。
- 部品はビルド プレートに溶接されており、EDM またはバンドソーで取り外す必要があります。サポート材もカットまたはミリングする必要があります。
- 金属粉が緩んでいると危険な場合があり、取り扱いにはかなりの訓練が必要です。材料の交換には数時間の労力が必要です。

評決:

プリンターは強力であり、かなり複雑なプロジェクトを処理できますが、購入と操作に高いコストがかかるため、非常に複雑な材料や非常に特殊な材料の需要がある市場の工業ユーザー以外には適さない選択肢です。

指向性エネルギー堆積



指向性エネルギー堆積 (DED) 機械は、金属原料 (粉末またはワイヤ) とレーザーを使用して部品を製造します。パウダー ベッド方式とは異なり、材料は、プリント ヘッドを介して供給されるのと同時に、レーザーで焼結されます。パウダー DED（Directed Energy Deposition） は、パウダー ベッド方式よりもわずかに高速で精度は劣りますが、さまざまな革新的な方法で使用できます。ワイヤ DED（Directed Energy Deposition） は一般的ではありませんが、非常に大きな部品の粗い形状をすばやく作成するために使用できます。両方のテクノロジは、パウダー ベッド方式と比較すると比較的ニッチです。

テクノロジ:

パウダーDED（DirectedEnergy Deposition）
ワイヤ DED（Directed Energy Deposition）

テクノロジの成熟度:

高:十分に文書化された適所による実証済みのテクノロジ

取得原価:

40 万～ 200 万ドル以上

施設の要件:

粉体管理、換気、後処理が必要 (CNC、表面仕上、熱処理)

推奨部品サイズ:

50 mm ～ 2000 mm

長所:

- 大きなノズルと高速な粉体流量により、DED は、パウダー ベッド方式プリンターよりも大幅に高速です。
- ワイヤ DED システムは、3D プリンターの中で最大かつ最速のプリント タイプです。
- DED システムは、ロボット アームと 5 軸ガントリーに取り付けることができ、異なる平面に動的に材料を追加するために使用できます。
- DED プリンターは、部品をゼロから製造するだけでなく、壊れた部品を動的に修理または「修復」することもできます。

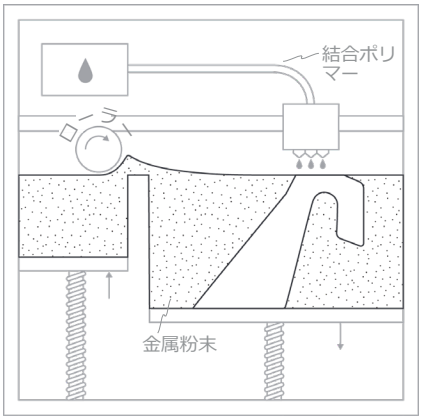
短所:

- パウダー DED 機械は、パウダー ベッド方式の機械よりも精度が低く、ワイヤ DED 機械は非常に不正確です。
- 金属粉が緩んでいると危険な場合があり、取り扱いにはかなりの訓練が必要です。
- セットアップにコストがかかり、操作に労力が必要です。

評決:

パウダー ベッド方式と同じ問題点が多くあり、精度は低くなりますが、大きな部品、複数平面のプリント、動的な部品の修理など、特殊なニーズを持つユーザーに適した、主に工業向けの選択肢です。

バインダー ジェッティング



この方法による金属 3D プリントには高スループット、高忠実性があり、部品を非常に高速に製造し、バッチ生産が可能です。特殊な液体ポリマー バインダーを使用して緩い金属粉末を接着し、バッチで焼結可能な軽く結合した部品を生成します。バインダー ジェッティングは、本番の 3D プリント ソリューションとして大きな可能性を秘めていますが、未成熟な技術です。部品の精度、品質、再現性については、重要な問題が残っています。

テクノロジ:

バインダー ジェッティング
メタル ジェッティング

テクノロジの成熟度:

低:流通しているシステムはほとんどなく、主要な技術的な疑問への回答は不明

取得原価:

30 万～ 200 万ドル以上

施設の要件:

粉体管理、バッチ焼結ソリューション、後処理を推奨 (表面仕上、熱処理など)

推奨部品サイズ:

1 mm ～ 150 mm

長所:

- このプロセスではレーザーを使用しないため、必要なエネルギーが少なく、通常、パウダー ベッド方式よりもユニット ビルドあたりの価格が手頃です。
- インクジェット式のプリント ヘッドを使用してすばやくレイヤーを接着することにより、バインダー ジェット機は他の方法よりも高いスループットを実現できます。
- プロセスは非常に複雑な形状を生成可能で、ビルド プレートからの機械的な分離を必要としません。

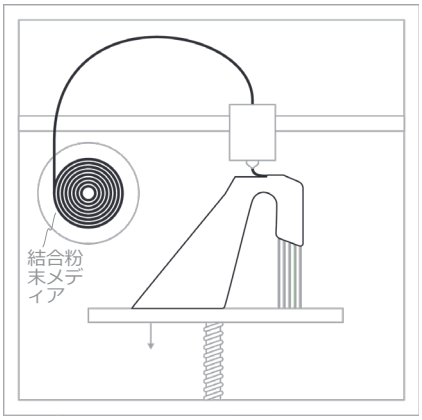
短所:

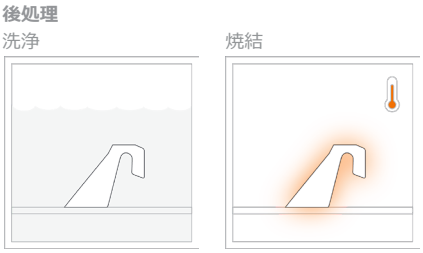
- 粉体の管理には多くのリソースが必要です。
- 精度、密度、再現性はまだ証明されていません。
- プリントされたままの部品は、焼結前は非常に壊れやすいです

評決:

バインダー ジェッティングは、中量から大量の金属部品を 3D プリントする方法として大きな可能性を秘めていますが、実証性は非常に弱いです。パウダー ベッド方式よりも安価ですが、それでも緩いパウダーを使用します。今後 3 ～ 5 年で大幅な発展が見込まれます。

結合粉末押出





原子拡散積層造形法 (ADAM)* としても知られる結合粉末押出プロセスでは、緩い金属粉末は使用せず、金属射出成形材 (ワックス状ポリマーに金属粉末を結合したもの) から作られた原料を使用します。結合粉末押出システムは、脱結合システムと焼結炉を使用して、プリントされた部品を完全に金属に変えます。低コストと使いやすさのため、結合粉体押出機は、さまざまな製造用途に最適です。

テクノロジ:

金属 FFF（熱溶解フィラメント製法）
原子拡散積層造形法 (ADAM)*

テクノロジの成熟度:

中:テクノロジは多くの用途で実証されており、今も成熟し続けています

取得原価:

15 万～ 25 万ドル

施設の要件:

洗浄と焼結のための換気、一部の部品の後処理 (熱処理、CNC、表面仕上)

推奨部品サイズ:

10 mm ～ 250 mm

長所:

- 他の金属プリンターよりも、所有および運用の価格が大幅に手頃です。
- 最小限のトレーニングで効果的に使用できます。
- 生産性が高く、通常、パーツは最初のプリントで成功します。
- 結合されたパウダー フィラメントは安全です。使用方法は標準の FFF（熱溶解フィラメント製法） 3D プリンターと同様です。
- 幅広い材料の可用性があり、さらに多くの材料が開発中です。純銅をプリントできます。これは、粉末ベースの技術では不可能です。
- オープン セル（閉殻空洞）のインフィル（格子）でパーツをプリントできるため、パーツの重量を軽減できます。

短所:

- 他のシステムに比べてスループットが比較的低くなっています。
- パーツの最小サイズとパーツの複雑さは、ノズルの直径によって制限されます。
- 大きくてブロック状のパーツでは、脱結合時間または「洗浄」時間が長くなる可能性があります。

評決:

処理能力は限られていますが、結合粉末押出機は、他の主要な金属 3D プリント システムよりもはるかに手頃な価格です。低コストで使いやすいため、さまざまな業界で最も利用しやすいオプションとなっています。

** Markforged では、3D プリント パーツに結合粉末押出を使用する機械を製造しています。原子拡散積層造形法は、Markforged のブランド フレーズです。*

金属 3D プリントの材料

金属プリントが成熟するにつれ、より多くの材料をプリントできるようになりました。プリントしやすい材料は、通常、別の方法で製造したり、価値の高い運用に特化した固有の材料特性を保持したりすることが難しく、多額のコストがかかります。このセクションでは、最も一般的な 5 つの材料のグループについて説明します。

鋼

鋼は、3D プリントで使用される最も一般的な金属です。その優れた材料特性、汎用性、精密製造での幅広い使用により、高品質の部品をプリントするための優れたオプションとなっています。ほとんどのタイプの鋼はプリント可能ですが、最も一般的に使用される 2 つのタイプは、ステンレス鋼と工具鋼です。これらは、より高価であり、従来の方法で製造するのが難しい金属です。

肯定的な属性:

- 優れた強度と剛性
- 幅広い材料特性
- 熱処理可能

自動曲げセルの操作には、3D プリントされたステンレス鋼グリッパーが使用されます。

- **ステンレス鋼**は、クロム含有量が多いため (12%以上、多くの場合最大 18%)、優れた耐食性を備えた強くて硬い鋼です。通常、2 種類のステンレス鋼がプリントされます。オーステナイトとマルテンサイトです。
  - **オーステナイト系ステンレス鋼**は、最も一般的なタイプのステンレス鋼であり、耐食性があり、機械加工と溶接の両方が可能ですが、熱処理はできません。316L は 3D プリントに使用される一般的なステンレス鋼で、優れた耐食性で知られています。
  - **マルテンサイト系ステンレス鋼**は、オーステナイト鋼よりもはるかに硬いものの、もろく、耐食性が低くなっています。17-4 PH は、さまざまな材料特性に合わせて熱処理できるマルテンサイト系ステンレス鋼で、製造全体で広く使用されています。

- **工具鋼**は、あらゆる種類の工具に主に使用されることにちなんで名付けられました。非常に硬い化合物であるカーバイドを含んでおり、切断性、研磨性、刻印性、成形性に不可欠です。一般的に、非常に硬く、耐摩耗性があり、多くは高温で使用できます。最も一般的な金属 3D プリントの 3 つのタイプは、A シリーズ、D シリーズ、および H シリーズの工具鋼です。
  - A **シリーズ**の工具鋼は、耐摩耗性と靭性のバランスをとる、汎用の機械加工が可能な優れた工具鋼です。A シリーズ工具鋼には 8 種類ありますが、最も一般的なのは A2 です。これは、パンチやダイスなどのさまざまな用途によく使用される多用途の冷間加工用工具鋼です。
  - D **シリーズ**工具鋼は、耐摩耗性と硬度向けに最適化されています。特に丈夫ではなく、冷間加工用途にのみ使用されます。D シリーズ工具鋼の最も一般的な種類は D2 であり、ブレードから工業用切削工具やナイフまで、あらゆる種類の切削工具に使用される冷間加工用工具鋼です。
  - H **シリーズ**工具鋼は、高温 (または循環温度) で材料を切断および成形します。H13 は、最も一般的な 3D プリントされた熱間工具鋼です。優れた靭性、耐摩耗性、耐熱性の組み合わせにより、高温での使用に最適化された優れた汎用工具鋼となっています。

超合金

金属 3D プリントは、比較的低コストで高価値の合金を製造できることが特長です。多くの場合、機械加工は困難でコストがかかりますが、3D プリントを使用すると、減法よりも手頃な価格で高性能部品を製造できます。

超合金は、高温、腐食性化学物質、またはその両方がある場所など、悪環境に適しています。プリント可能な超合金はたくさんありますが、最も一般的な 2 つのグループはインコネルとコバルト クロムです。

肯定的な属性:

- 優れた機械的性質
- 耐熱性
- 優れた表面安定性
- 耐食性
- 生体適合性 (コバルト クロムのみ)

▸ インコネル

最も一般的な商標取得済みのニッケル合金グループはインコネルです。この非常に強く、丈夫で、耐腐食性の材料は、タービン、エンジン シール、ロケットに使用されています。3D プリントで最も使用される 2 つの配合は、より強くより頑丈な**インコネル 718** と、より耐熱性のある**インコネル 625** です。どちらも従来の機械加工ではコストがかかるため、3D プリントはコスト対効果の高い代替手段となります。

▸ コバルト クロム

この超合金は、その生体適合性、高い強度対重量比、および耐食性で知られています。基本的には、よりグレードが高く、密度が高く、より高価なバージョンのチタンです。インコネルと同様に、タービンやその他の過酷な環境で使用されますが、整形外科や歯科用インプラントなど、インコネルが適さない医療用途でも使用できます。

3D プリントされたインコネル部品は、高温耐性が高く評価されています。

チタン

従来の製造で使用される一般的な材料ではありませんが、チタンの強度重量比と高コスト (材料コストと機械加工コストの両方) は、3D プリントに最適です。チタンは通常、2 つの異なる種類でプリントされます。チタン合金と純チタン (CP Ti として知られています)。

肯定的な属性

- 強度重量比
- 耐熱性
- 耐薬品性
- 生体適合性 (プロセスと合金による)

▸ **チタン合金**

チタンは、他の金属と合金化すると、その最高の機械的品質が実現します。最も一般的なチタン合金は、17-4 PH ステンレス鋼よりも強度が高く、密度が 40% 低い材料の、**Ti64 (Ti-6Al-4V)** です。腐食性や高温環境に優れています。これらの特性により、航空機や高性能車両など、強度重量比が高く評価される業界では、最も選ばれています。

▸ **商用純チタン (CP Ti)**

純チタンは、ほとんどのチタン合金ほど強力ではありませんが、生体適合性に優れています。整形外科用インサートなどの医療用途に使用されます。

3D プリントされたチタン部品は、航空宇宙や自動車の用途で、軽量と高強度が重視される場合によく使用されます。

銅

銅は、3D プリント可能な金属材料の中でまったく独自の価値を示します。機械的特性の代わりに、その熱伝導性と電気伝導性のために使用されます。金属 3D プリントにより、エンジニアは、ヒート シンク、溶接アーム、バス バーなどの幾何学的に最適化された銅製部品をはるかに低いコストで作成できます。

現在、銅版をプリントできるシステムはごくわずかです。銅は、純の形で、またはより一般的には合金の形でプリントできます。

肯定的な属性:

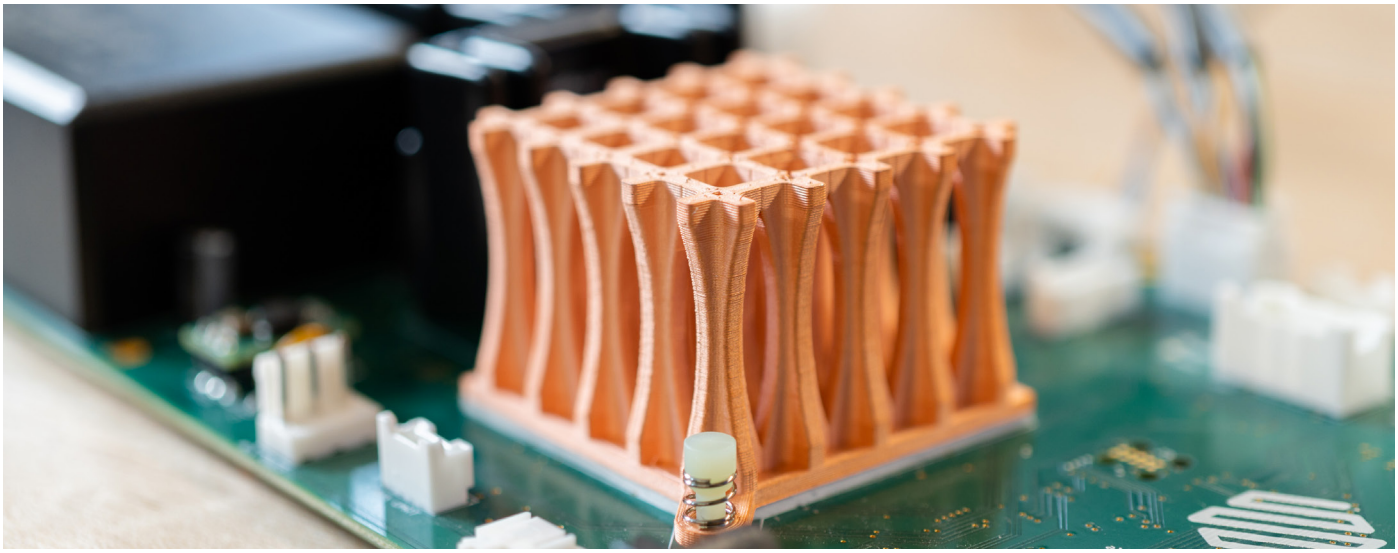
- 導電性
- 熱伝導性
- 耐食性
- 延性

▸ **純銅**

純銅は、あらゆる銅合金の中で熱伝導率と電気伝導率が最も高く、推奨される選択肢です。ただし、銅は導電率が高く、レーザー反射率が高いため、標準的なレーザー ベースのシステムと互換性がありません。純銅は、結合粉末押出機でのみ使用できます。

▸ **合金銅**

合金銅は通常、1 ～ 2% の合金元素を含んでいるため、一部のパウダー ベッド方式機でプリント可能です。これらの合金は、まだ比較的導電性がありますが、純銅よりも劣ります。プリント可能な合金銅の例として、クロムと亜鉛の合金である **C18150** があります。



3D プリントされた純銅は、その熱伝導率と電気伝導率が高く評価されており、ヒート シンクなどの複雑な部品に使用されます。

アルミニウム

アルミニウムは、一部の金属 3D プリンターで使用されていますが、3D プリントでの使用例は従来の製造プロセスよりもはるかに少なくなっています。金属 3D プリントで使用されないのは、次の 2 つの要因によるものです。低いプリント適性、従来の製造における比較的低いコスト。その結果、3D プリントされたアルミニウム部品の潜在的な ROI（投資収益率） は、多くの場合、プリントする労力に見合う価値がありません。

最も一般的なアルミニウム合金 (6061 や 7075 など) はプリントされません。代わりに、アルミニウムをプリントするパウダー ベッド方式機は、通常、より柔らかい鋳造グレードのアルミニウムをプリントします。これらの鋳造グレードの合金は、重量で最大 12% のシリコンを含み、機械的特性が劣ります。

肯定的な属性:

- 軽量
- 耐久性
- 延性

3D プリントでアルミニウムがより広く利用できるようになるのはいつですか?

プリントの価値は比較的低いため、3D プリントで一般的になる時期は明確ではありません。その時期まで、オープン セルのインフィルでプリントする場合は、チタンと鋼が同様の強度重量比を実現します。また、連続複合 3D プリンターでは、そのコストのほんの一部でアルミニウムと同程度の強度を備えた部品を製造できます。

アルミニウムは、加工性が高く、プリント性が低いため、ほとんどプリントされません。

用途

金属 3D プリントに関心のある人々が最もよく尋ねる質問は、「何をプリントすればよいですか」というものです。答えは単純ではありません。実際、金属 3D プリンターのようなシステムを活用することは、お客様が抱える問題点を特定し、システムの多様性を利用してその問題に対処することに他ならないからです。ただし、金属 3D プリント部品が使われる傾向がある 4 つの異なるグループがあります。

- 機能性金属のプロトタイプ
- 工具と治具
- 少量生産
- 旧部品および交換部品

機能性金属のプロトタイプ

プロトタイピングは、R&D プロセスの重要な部分であり、巨大なリソース シンクでもあります。プロトタイプは本質的に少量であり、多くの場合複雑です。従来の製造プロセスに高コストと長いリード タイムが追加される特性を持っています。この問題は、工具が必要な場合や、特殊な材料が必要な場合に複雑になります。その結果、エンジニアは、優れた製品をゆっくりと提供するか、平凡な製品を迅速に提供するかを決定せざるを得なくなります。

金属 3D プリントにより、工具なしで金属プロトタイプをすばやく作成できるようになります。エンジニアは、数日のうちに多種多様な金属部品を手に入れることができるため、高価な工具の開発や手直しを回避しながら、設計をより迅速に評価できます。金属の積層造形により、従来よりも多くの設計をより短い時間でテストでき、製品化までの時間を短縮できます。

工具と治具

一部の工具は大量生産されていますが、多くの工具は、その複雑で少量という特性から金属プリントの得意分野となっています。従来は製造にコストがかかり長いリード タイムが必要で、工具室の稼働率が低いと製造に遅れが生じ、最終的には大きなコストが発生します。

金属 3D プリントにより、製造業者は高額なオーバーヘッド コストを回避し、部品あたりのコストを抑えて特注の工具を作成できます。工具を数か月待つことなく、数日で手に入れることができます。さらに、金属 3D プリントをカーボン ファイバー 3D プリントと組み合わせて、両方のプロセスの利点を活用してより高性能な工具を作成する、ハイブリッドの工具を製造できます。

少量生産

一部の形状では、金属 3D プリントが、少量の最終使用部品を製造する最も手頃な (または唯一の) 方法です。3D プリントを使用してどのような最終使用部品を作成するのがスマートなのか判断するうえで、通常 3 つの要因が考慮されます。

- **材料:**一部の材料 (特に、超合金、チタン、工具鋼) には、高い製造コストがかかります。金属 3D プリント材料のコストは材料全体でより安定しているため、部品のプリントは非常に有利です。
- **複雑性:**複雑な形状は、製造が高価であるか、不可能な場合もあります。3D プリントは、これらの部品を製造するための新しい方法を切り開くものであり、最良のソリューションになる可能性があります。
- **生産量:**大規模生産の場合、3D プリントはまだ経済的に実行可能ではありません。ただし、使用しているプロセスによっては (バインダー ジェッティングは他のプロセスよりも大量に生産可能)、3D プリンターを使用すると、従来のプロセスよりも少量 / 中量の生産が安価になる場合があります。

旧部品および交換部品

旧部品は、生産が終了した部品です。交換部品は、在庫に保管される少量の部品です。どちらの場合も、少量の部品を手頃な価格で迅速に作成する必要があるため、金属 3D プリンターが最適となります。積層造形によって、ツールや機械のプログラミングのコストをかけずにこれらの旧部品をプリントでき、通常は高価となる単発部品を手頃な価格で作ることができます。

金属 3D プリンターの ROI

金属 3D プリンターは大きく宣伝されていますが、購入するかどうかを決定する上で最も重要な要素は、**お客様のビジネス**に対する潜在的な付加価値です。このセクションでは、金属 3D プリンターの ROI をよりよく理解し、財務 ROI までの時間を計算する方法を示します。

財務 ROI（投資収益率） の計算方法

財務 ROI（投資収益率） は、新しい機械が取得コストを相殺するのに十分な価値を生み出すのにかかるおおよその時間を示します。

まず、取得コストから始めます。これには以下が含まれます。

1. 機械の購入価格。
2. 施設のアップグレード。
3. 機械の出荷と設置のコスト。
4. 機械の保証と保守、および必要に応じて部品を交換するためのコスト。
5. 作業員のトレーニングにかかるコスト。固定コストとは別ですが重要です。

独自の施設のニーズと選択するプリンターの種類に応じて、金属プリンターの購入には、15 万ドルから 100 万ドルを超えるコストがかかります。

次に、単位時間あたりの平均運用コスト削減を計算します。これは、現在のプロセスに対して測定し、時間の経過とともに調整、平均化する必要があります。開始するには、次の手順を使用します。

6. 機械で通常プリントするパーツを選択します。
7. 3D プリンター OEM から部品見積もりを入手して、部品あたりのコストを決定します。
8. 通常の製造量で、従来の方法で同じ部品を製造するためのコストを見積もります。
9. 標準的な方法で製造コストからプリント コストを差し引くことにより、単位時間あたりのコスト削減を計算します。その数を製造時間で割ります。
10. 次に、機械全体のコストを計算し、それをステップ 4 の単位時間あたりのコスト削減で割ります。得られる数値は、新しい金属 3D プリント機械の支払いにかかる時間です。

▸ **例**

Shukla Medical

Shukla Medical は、Markforged Metal X をインソースのプロトタイピング運用に使用すれば、2 年足らずで元が取れると予測しています。

取得原価: Shukla の例では、全体として、Markforged Metal X システムのコストは 15 万ドルから 17 万 5 千ドルです。これには、システム全体、設置、保証、施設の若干の変更が含まれます。

コスト削減:海外のプロトタイピング作業を Markforged 機械でプリントされた部品に置き換えることで、月に約 10 個の量でプロトタイプあたり約 1,000 ドルを削減できると計算しました。これに基づいて、毎月の削減は約 1 万ドルになると確信しました。

ROI（投資収益率）: Shukla は、機械を所有してから 1 年間に発生したコストと削減に基づいて、約 18 か月で ROI を達成する予定です。同社の計算は正確であることが証明されており、プリンターで価値を生み出す新たな方法を見つけました。

「私たちはそれを社屋からサードパーティのベンダー、プロトラブズ、または単に別の機械工場に送っていましたが、非常に高価であることが問題でした。**機械のコストが高いので、**Metal X **を入手することにしました。**」

製品開発マネージャー、Zach Sweitzer 氏

Shukla Medical

間接 ROI

財務 ROI は、金属 3D プリンターを購入するための防弾ケースとなります。ただし、一部のコストに基づく ROI では、ストーリーの一部しかわかりません。金属 3D プリンターを活用すると、さまざまな具体的な方法で組織に利点をもたらすことができます。

ROI は金融投資を超える可能性があります。

従来のコストと時間の値の計算を超えるさらなる利点は次のとおりです。

- 部品のリード タイムの短縮:3D プリントは、部品コストの削減に加えて、部品をはるかに短いリード タイムで提供できます。これにより、反復が高速化され、製品の市場投入期間が短縮され、稼働時間が増加します。
- 部品製造の労力の削減:一部の 3D プリンターでは、従来の機械よりもはるかに少ない労力で済みます。部品をプリントすることにより、CAM プログラミング時間、オペレーター時間、および設計図面時間 (公差のための図面を必要としない部品の場合) を節約できます。
- インソーシング部品を使用すると、さらに細かく制御できます。アウトソーシングによって労力を節約できますが、製造プロセスに不確実性が発生する可能性があります。製造を社内で行うことで、制御が可能になります。
- 新しい製造能力:3D プリント部品により、従来では作成できなかった、より高性能な設計や新しい部品が実現します。

金属 3D プリントを使用して、金銭的な利点を簡単に割り当てることができない問題を解決する方法をブレインストーミングします。次に、前のページで実証した財務 ROI に追加します。

▸ **例**

Shukla Medical

Shukla は、新しい金属 3D プリンターの強力な財務状況を築くだけでなく、R&D 部門がより効率的に稼働できる機械を購入したことがわかりました。

リード タイムの短縮:

リード タイムの短縮により、Shukla のエンジニアは製品をより早く外科医の手元に届け、より多くの反復作業を行い、製品をより早く市場に届けることができました。

インソーシング:

製造を社内で行うことにより、Shukla は、いつ何が行われるかをより詳細に制御できるようになっただけでなく、新しい部品を考案して 1 回限りの製造を自由に行うことができるようになりました。

「より効率的にプロトタイプを作成でき、**完成品をより早く市場に出す**ことで、業界の最前線に立つことができます。」

製品開発マネージャー、Zach Sweitzer 氏

Shukla Medical

投資の最大化

金属 3D プリンターは、根本から独自の方法で部品を製造します。その価値を最大化するには、3D プリンターの使用方法を学習し、従来の製造方法を置き換える必要があります。金属 3D プリントを採用する際に学ぶことが重要な 3 つのことを特定しました。

- プリンターのパラメーターと機能
- 積層造形の設計 (DFAM)
- デジタル在庫とファイル管理

これらを学ぶと、積層造形を活用して組織を改善することができます。

> 「3D **プリントにより仕事が難しくなるのではないかと心配しました。**また、もっと多くのさまざまなことを学ぶ必要があると思っていました。**しかし、実際には、いい方向に向かっています。**今では、これまで作成できなかった多くのものを作成できるからです。」
>
> **Caldwell Manufacturing、シニア モデル メーカー、Pat Milligan**

機械のパラメーターと機能

プリンターはタイプごとに異なるテクノロジが使用されますが、大きな観点では、3D プリント プロセスも同じです。CAD ファイルを個別のレイヤーにスライスし、そのパーツをレイヤーごとに構築します。

プリンターのフォーマットの詳細 (プリンターの構造、構成、コンポーネントの品質) は、プリンターが製造できる部品の品質とスケールに影響します。最初からこれらのパラメーターに慣れると、部品の製造方法とプロセスにどのような変更を加えるかについての計画を立てるのに役立ちます。

パーツの作成にかかる時間を理解することも重要です。朝にパーツを作るのが一番か?または週末に?プリンターについての確かな知識があれば、これらの質問にも答えることができます。

積層造形の設計

製造プロセスは、部品の設計方法に対する 2 番目に大きな影響です (機能要件に次ぐ)。その結果、部品の製造プロセスを変更すると、最適な設計に大きな影響を与える可能性があります。減算方式から加算方式に移行するとどうなるでしょうか。最適化された部品設計の変更です。すべての部品に設計変更が必要なわけではありませんが、金属 3D プリント プロセスを考慮した方法で部品を設計することで、明確な利点が得られます。

部品のバランスを変えることはできるか?サブアセンブリをより少ない部品に統合できるか?アセンブリはどのように異なるか?3D プリントは部品の製造方法を変革し、そのプロセスを中心に最適化することで、新たな分野の可能性が開かれます。

デジタル在庫とファイル管理

金属 3D プリントが他の方法より優れている明確な利点は、部品をオンデマンドで経済的にプリントできることです。倉庫環境に部品を保管する在庫コストを積み上げる代わりに、デジタル在庫によって、部品の設計と仕様をクラウドに保持し、部品の製造に必要な場合にのみ利用できるようにします。

デジタル在庫を使用すれば、倉庫コストや従来の在庫管理の必要がなく、オーバーヘッド コストが下がり、製造ワークフローがより柔軟となります。プロセスに金属 3D プリントを追加することを検討しているのならば、問題の部品が故障したり製造する必要がある前であっても、コンポーネントのデジタル化がどのように行われるべきかについて考え始めることができます。

Markforged の利点

工業グレードの材料の範囲

ステンレス鋼や工具鋼からインコネルや銅などの超合金まで、Metal X プラットフォームは、変更が容易なさまざまな材料をサポートしています。当社の材料は、多くの用途と業種をサポートするように最適化されています。ステンレス鋼は、強度が高い (17-4 PH) か、延性と耐食性が高い (316L) かにかかわらず、優れた汎用材料です。工具鋼は、硬度 (D2) 、極度の耐久性 (A2) 、高温および循環温度での安定性 (H13) を提供します。インコネル 625 は強く、高温で安定し、非常に耐食性があります。チタン 64 はクラス最高の強度対重量比を備えており、純銅は 3D プリントが可能な他の材料よりも熱と電気の伝導性に優れています。

これらの材料はすべて個別に使用可能で、併用すると、革新のための工具箱となります。Markforged のすべてのお客様は、金属材料の継続的な開発の恩恵を受けています。

優れた部品品質のための設計

Markforged の Metal X 結合粉末押出積層造形ソリューションは、工業グレードの基準に合わせて設計された 3 台の機械で構成されています。

Metal X システムに対して行われたすべての設計決定には、2 つの目標が含まれています。最高品質の部品を製造することと、最高の顧客体験を可能にすることです。真に優れた結果を実現するには、システム レベルのアプローチが必要です。このため、Markforged は、クラス最高のソフトウェア、材料研究、および第 4 世代のモーション システムを組み合わせて、工業用グレードの部品を提供しています。成形品の結果に影響を与える主なパラメーターは、プリント経路と精度、入力材料の組成と粒子サイズ、焼結プロセスの温度と保持時間、および炉内の焼結雰囲気です。

手頃な価格、安全性、使いやすさ

Metal X は、他のすべてのタイプの金属 3D プリンターよりも取得および運用コストが大幅に低くなっています。全体として、Markforged Metal X システムの取得には、15 万ドルから 20 万ドルのコストがかかります。他のシステムよりも 5 ～ 10 倍手頃です。施設のアップグレードは最小限で、粉体管理システム、専用オペレーターは必要ありません。

すべての金属 3D プリンターには学習曲線がありますが、Metal X は目的を持って使いやすく設計されています。クラウドベースのソフトウェアと組み合わせることで、統合ワークフローで部品のアップロード、スライス、プリント、および後処理を行うことができます。Markforged は、ソフトウェアを通じて材料費の見積もりを提供し、プロセス全体にフェイル セーフと冗長性を組み込んでいます。

MARKFORGED METAL X システム
Wash-1、Metal X、Sinter-2

> 「Metal X システムにより、部品の高速化、リード タイムの短縮、納品可能時期の正確な把握、設計のさらなる向上が可能になります。そしてコスト面では**悩む必要はまったくありませんでした。**」
>
> **Ph.D、創設者、Louis Croisetiere 氏**
>
> Nieka Systems

金属 3D プリンターを入手するための最初のステップを今すぐ実行しましょう。

Metal X システムは、安全で手頃な価格の金属積層造形ソリューションであり、他の金属積層造形技術よりも最大 90% 安価で、機械加工や鋳造などの従来の製造技術よりも 95% 高速で安価です。Markforged は、プラスチック マトリックスに結合された金属粉末をプリントすることで、従来の金属 3D プリンターに関連する安全上のリスクを排除し、部品の重量とコストを削減するクローズドセル インフィルなどの新機能を実現しました。Metal X には強力なクラウドベースのソフトウェアが搭載されており、プリンター、アクティブなジョブ、材料、およびエラー検出を管理できるため、金属部品を製造する最もシンプルな方法となっています。

markforged.com/metal-x にアクセスして、Metal X が今日のビジネスをどのようにサポートできるかについての詳細をご覧ください。