

平成 28 年度  
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「金属 3D プリントによる自動車樹脂部品用金型の実用化を目指す造形  
技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 29 年 3 月

担当局 中部経済産業局  
補助事業者 公益財団法人科学技術交流財団

この報告書には、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。

## 目 次

### 第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

### 第2章 本論

#### 1 「最適化メッシュ構造検討」

- 【1-1】単純メッシュ形状下でCAE解析
- 【1-2】単体メッシュ形状の試作と評価
- 【1-3】実製品寸法での最適形状の検討

#### 2 「材料粉末敷設技術の確立」

- 【2-1】ブラシリコータの最適な毛材料の選定
- 【2-2】ブラシの密度の最適化

### 最終章 全体総括

# 第1章 研究開発の概要

## 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

### (1) 研究開発の背景

金属3Dプリンタによる金型製造の取組は過去10年もの間、様々な企業で行われてきた。そのメリットは従来の切削加工で行われてきた二次元的な冷却構造を、三次元化させることで成形品質を向上させ、不良率を低減させるに留まり、急速に冷却させて短時間に成形することで部品をコストダウンさせる成形の効率化までには至っていない。

一方、金属3Dプリンタ全体の市場としては金型造形を含め大きく期待されており、大手調査会社であるローランドベルガーが2013年12月に発表した3Dプリンタ市場調査では、現在課題の多い金属3Dプリンタに進出している企業が今後大きく成長すると予想しており、特に金属3Dプリンタの市場規模は2013年の2000億円から10年後には4倍になると指摘されている。特に金型のコストダウンや金型の軽量化に積極的な自動車部品、その中でも樹脂部品が多い内装部品は適用範囲が大きく、金属3Dプリンタによる金型製造は今後ますます増加すると推測される。

### ・ 中小ものづくり高度化法及び中小ものづくり高度化指針

#### (五) 立体造形に係る技術に関する事項

##### 1 立体造形に係る技術において達成すべき高度化目標

#### (4) 川下分野特有の事項

##### 4) その他の川下分野に関する事項

##### a.自動車分野に関する事項

自動車産業では環境問題、安全問題に対応するために、車体の軽量化が求められており、部品の素材や形状等について見直しが進められている。また、燃焼効率向上に伴う排気ガスの高温化に対応した部材、騒音及び振動の低減につながる部材の開発が求められている。さらに、自動車生産のグローバル化の進展に伴い、グローバル調達可能な部材と原材料、地域環境への配慮のニーズが高まっている。

##### ①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

##### イ. 高付加価値化

川下企業であるスズキ株式会社は、国内外の厳しい競争に打ち勝つため、従来工法にとられない高い付加価値のある開発をサプライヤーにも積極的に促している。本研究開発が実現すれば成形効率が10倍となる高い付加価値のある金型が製造可能となる。

## カ. 短納期化

川下企業であるスズキ株式会社は時代に合った車を短期間でタイムリーに開発する「垂直立ち上げ」する方針を全てのサプライヤーに向けて打ち出している。その中でも金型分野において、現状の主要工法である切削加工では技術が成熟され、納期の短縮には限界があり、川下企業のニーズに應えるまでに至っていない。そこで金属3Dプリンタでは金型の冷却機構を含めた複数構造を一体造形させることで、2週間もの納期短縮が実現させる。

### ②上記を踏まえた高度化目標

#### ウ. 精密成形加工、金型内組立加工の向上

従来技術では、金型の製造工程において複雑な形状になると切削や切断等を経て工法毎に、その都度段取り替えを行って製造されてきた。3Dプリンタによる立体造形では複雑な形状でも一度に造形可能であることから段取り替えが不要で、短時間に金型内組立加工が可能となる。

### ③研究開発の背景

金属3Dプリンタによる金型製造の取り組みは過去10年もの間、様々な企業で行われてきた。そのメリットは従来の切削加工で行われてきた二次元的な冷却構造を、三次元化させることで成形品質を向上させ不良率を低減させるに留まり、急速に冷却させて短時間に成形することで部品をコストダウンさせる成形の効率化までには至っていない。一方、金属3Dプリンタ全体の市場としては金型造形を含め大きく期待されており、大手調査会社であるローランドベルガーが2013年12月に発表した3Dプリンタ市場調査では、現在課題の多い金属3Dプリンタに進出している企業が今後大きく成長すると予想しており、特に金属3Dプリンタの市場規模は2013年の2000億円から10年後には4倍になると指摘されている。特に金型のコストダウンや金型の軽量化に積極的な自動車部品、その中でも樹脂部品が多い内装部品は適用範囲が大きく、金属3Dプリンタによる金型製造は、今後ますます増加すると推測される。

#### <研究開発動向>

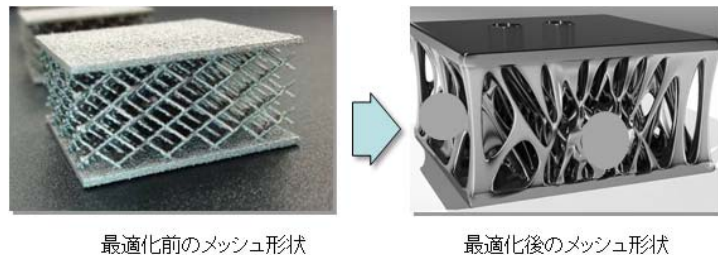
金属の3Dプリンタは従来の切削加工と比較して、メッシュ形状のように三次元的で複雑に入り組んだ形状を短時間に造形可能なことから、試作品での利用は進んできた。しかし、金型への利用は造形時のひずみによる精度不良の問題を抱えており、短時間に高精度で造形するための材料粉末敷設技術の開発が待たれている。また当社では、昨年

度からこれらの課題を解決するための取り組みを名古屋大学 工学研究科マテリアル理工学専攻材料工学分野 工学博士 小橋眞氏と共同で実施しており、本開発においても株式会社ホワイトインパクトと共に研究実施機関として、3Dプリンタの造形技術指導と強度試験を担当する。

#### ＜本研究開発と従来技術との相違点＞

本研究開発では、金型の製造に関して金属粉末を材料にして金属専用の3Dプリンタ装置によって行う。従来の金型製造は鉄の塊（バルク材）を材料にしてフライス盤や旋盤による切削加工、ワイヤーカットや電極による放電加工など多くの工程を経て行われてきた。また従来工法では複雑に入り組んだ三次元的な金型冷却構造の加工には限界があった。3Dプリンタでは複雑な形状でも一度の造形で可能となり、金型業界では三次元的な冷却構造の技術が開発されてきた。しかし、この技術では金型の成形表面の全ては冷却できず、成形時間を大幅に削減するまでには至っていない。ユーロモールドなどの主要な国際展示会や学会でも実績が確認されなかった。本研究開発では金型内部の全

面を成形表面ぎりぎりにまでメッシュ構造化させ、さらに冷却機能が最大化されるようなメッシュ形状を作成することで成形の効率化を実現する。



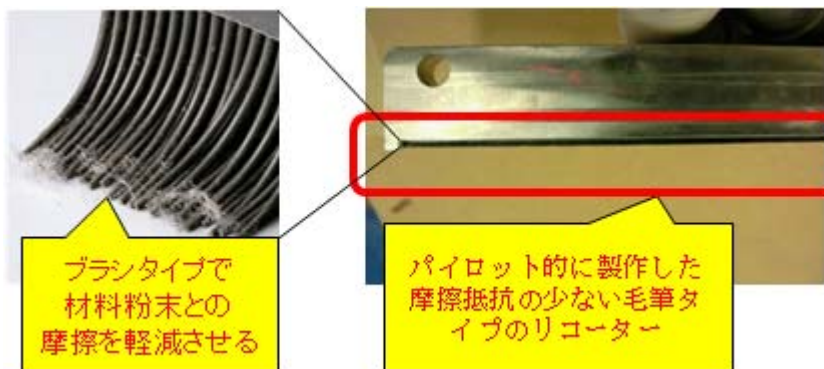
最適化前のメッシュ形状

最適化後のメッシュ形状

#### ＜本研究開発と類似技術との相違点＞

金属3Dプリンタの材料粉末を敷設するリコータ装置において、従来はリコータの敷設面が三角形のブレードタイムか円筒形状のブレードタイプしか存在しなかった。これらのタイプは造形精度が比較的良好であるものの、メッシュ構造の様な複雑な造形時には、材料粉末敷設時のリコータと粉末材料の摩擦が発生し、リコータが引っ掛かることで造形停止に陥ってしまう問題があった。当社は、摩擦抵抗を低減させる毛筆タイプの粉末敷設装置を2013年から一部パイロット的に開発し、リコータが停止することなく造形することに成功している。本研究開発では、メッシュの細かさを表す空隙率（くうげきりつ）の一部で精度不良が発生する課題を解決し、どんな複雑なメッシュ形状も造形する。また金属3Dプリンタの国内第一人者である近畿大学 機能材料創製研究室 京極秀樹教授からは2014年6月の粉末冶金学会において本開発の取り組みは

世界的にみても優位性が高いとのコメントを得た。



<本研究開発に使用する特許と類似特許との相違点について>

本研究開発に使用する特許：特許登録番号：特許第 4448938 号 名称：樹脂シートの成形品

(株式会社ホワイトインパクト 代表取締役 田内英樹 発明者兼が特許出願人)

本研究開発では、サブテーマ【1-3】「実製品寸法での最適形状の検討」の中で強度が最大化される形状に使用する。3Dプリンタ関連特許に詳しいクレオ国際法律特許事務所 横山正治 弁理士の調査では国内と海外調査の結果、高い相関性を持つ類似特許は現時点で存在しない。

## (2) 研究目標

従来技術では、金型の製造工程において複雑な形状になると、切削や切断等を経て、工法毎にその都度段取り替えを行って製造されてきた。3Dプリンタによる立体造形では複雑な形状でも一度に造形可能であることから、段取り替えが不要で、短時間に金型内組立加工が可能となる。

<サブテーマごとの目標値>

以下目標値を達成した。

【1】 最適化メッシュ構造検討

【1-1】 単純メッシュ形状下でCAE解析

・CAE 用材料物性の取得：平面 (xy) 方向、軸 (z) 方向の2条件 (ISO 6892-1 引張試験)

【1-2】 単体メッシュ形状の試作と評価

・強度特性 (変位-荷重曲線) の予測精度：±30%以内

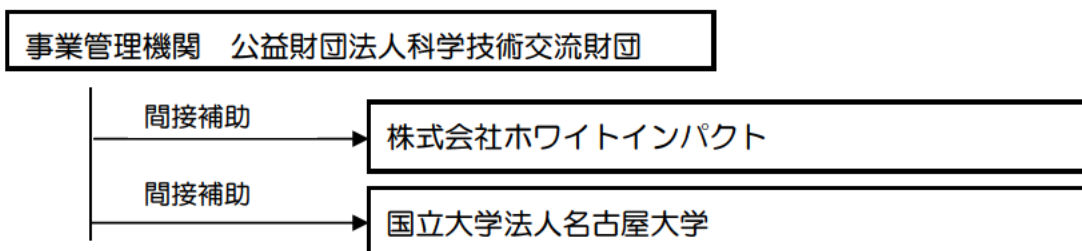


- 熱伝導率の予測精度：±5℃以内
- 【1-3】 実製品寸法での最適形状の検討
- 単位重量(M)あたりの最大荷重 (A/M)：±10%以内 (代表的な金型強度と比較)
- 【2】 材料粉末敷設技術の確立
- 【2-1】 ブラシリコータの最適な毛材料の選定
- 100×100mm敷設面積で造形精度±0.05mm以内
- 【2-2】 ブラシの密度の最適化
- 材料粉末敷設高さ誤差±100μm以内

## 1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

### (1) 履行体制図



### (2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人科学技術交流財団

管理員

氏名	所属・役職
岩田 勇二	専務理事
大塚 美則	事業参与
出口 和光	業務部・部長
田尻 耕治	業務部研究交流グループ・グループ長兼科学技術コーディネータ
山下 典男	業務部中小企業等研究開発支援グループ・グループ長兼科学技術コーディネータ
藤井 智也	業務部中小企業課・課長

【間接補助事業者】

研究員

株式会社ホワイトインパクト

氏名	所属・役職
田内 英樹 山下 剛志	代表取締役

国立大学法人名古屋大学

氏名	所属・役職
小橋 眞	大学院工学研究科・教授

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人科学技術交流財団

(経理担当者) 総務部 総務課 係長 齋藤 光生

(業務管理者) 業務部 中小企業課 課長 藤井 智也

(間接補助事業者)

株式会社ホワイトインパクト

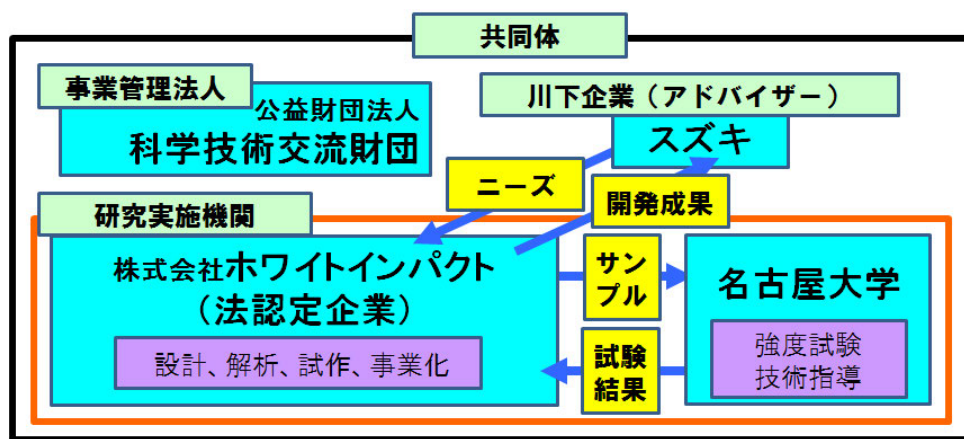
(経理担当者) 伊藤 未央

(業務管理者) 代表取締役 田内 英樹

国立大学法人名古屋大学

(経理担当者) 工学部工学研究科 総務課 富田 裕代

(業務管理者) 大学院工学研究科 教授 小橋 眞



## 1-3 成果概要

### 【1】最適化メッシュ構造検討

#### 【1-1】単純メッシュ形状下でのCAE解析

初年度取得した物性データを元に、実際の強度試験を名古屋大学小橋教授の評価設備を使用し、データを取得した結果、「強度特性（変位-荷重曲線）の予測精度±30%以内」を達成した。

#### 【1-2】単体メッシュ形状の試作と評価

静圧縮実験においては、熱伝導解析と同様に、形状パラメータを5水準振った試作メッシュ形状を本研究開発で導入した金属造形用レーザー出力設備を用いて造形した。圧縮強度を測定し、予測精度を変位-荷重曲線の±30%以内を達成した。熱伝導試験では、熱伝導率特性を取得し、熱伝導率のCAE予測精度を±5℃以内という目標値を達成した。

#### 【1-3】実製品寸法での最適形状の検討

実際に想定される主要な金型を当社で実績のある製品の真空成形金型とし、平面サイズを100mm×100mmと設定し、3Dプリンタ装置で造形した。造形した金型と従来の切削による金型と比較して、単位重量(M)あたりの最大荷重(A/M)：±10%以内を達成した。

### 【2】材料粉末敷設技術の確立

#### 【2-1】ブラシリコータの最適な毛材料の選定

ブラシリコータのブラシの最適な材料、形状を選定し、「100mm×100mm敷設面積で造形精度±0.05以内の造形精度」を達成した。

#### 【2-2】ブラシ密度の最適化

今年度の計画は予定通り達成した。当社で開発したブラシリコータの直径を0.1mm

～1.0mm の間で、0.1mmピッチで変化させ、実際の粉末の均一さから直径を選定した。ブラシの長さは、25mmを中心に 5mmピッチで選定し、耐久性の高さも確認することができたことで、材料粉末敷設高さ誤差±100μm以内を達成した。

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

- 事業管理期間

財団法人 科学技術交流財団

- 間接補助先

株式会社ホワイトインパクト 鶴舞事業所（開発実施場所）

〒464-0858

愛知県名古屋市千種区千種2-22-8 名古屋医工連携インキュベータ 302号室

技術課 田内 英樹

E-mail : info@whiteimpact.co.jp

電話番号 : 052-602-8474

株式会社ホワイトインパクト 本社

〒464-0804

愛知県名古屋市千種区東山元町五丁目59番地の1

国立学校法人 名古屋大学

マテリアル理工学部

教授 小橋眞

## 第2章 本論

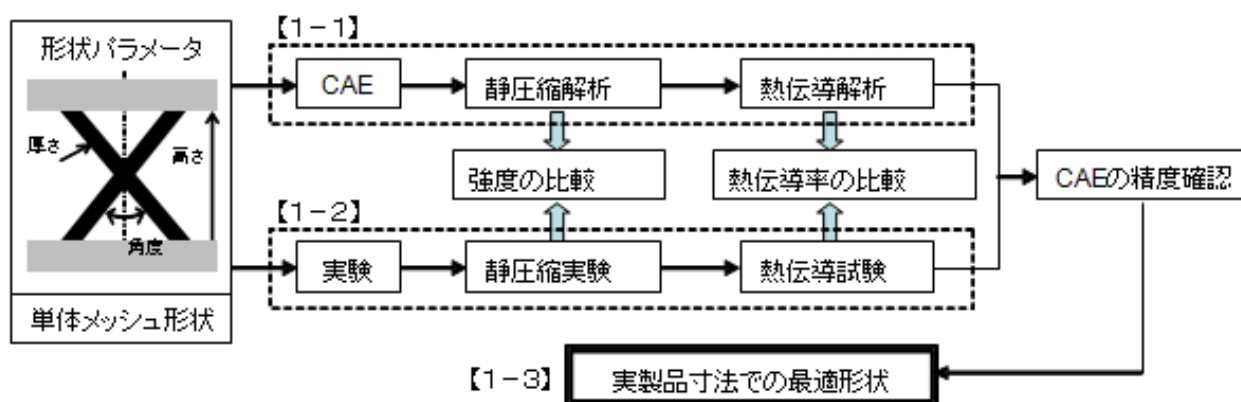
## 補助事業の具体的内容

### 1 「最適化メッシュ構造検討」

#### 【1-1】単純メッシュ形状下でCAE解析

造形するメッシュ形状によって強度は異なるが、金型に要求される強度は形状によって大きく異なるため、事前に強度をある程度予測できるCAEの活用は短期開発と費用の面からも非常に重要である。

本項目では単体メッシュ形状3Dデータを作成し、CAE用材料物性（平面（xy）方向、軸（z）方向の2条件：ISO 6892-1）を元に、静圧縮CAE解析を実施した。この結果を元に各形状パラメータと強度との関係を明確にして解析予測精度を向上させ、CAE精度を変位-荷重曲線の±30%以内になるまで繰り返し解析を実施した。さらに大きいサイズとなる実製品サイズのメッシュ構造データを作成した。熱伝導解析では物性データを元に、熱伝導率のCAE解析も実施し、静圧縮解析で作成した各パラメータ形状と熱伝導率との関係を明確にした。



最適化メッシュ形状の検討プロセス

#### 【1-2】単体メッシュ形状の試作と評価

静圧縮実験においては、熱伝導解析と同様に、形状パラメータを5水準振った試作メッシュ形状を本研究開発で導入した金属造形用レーザー出力設備を用いて造形した。圧縮強度を測定し、CAE解析結果と合わせ予測精度を向上させた。

熱伝導試験では、静圧縮実験同様に、3Dプリンタで造形した試作メッシュ形状で熱伝導率特性を取得し、単純メッシュ形状下で圧縮試験を実施し解析結果と比較検証

したことで解析の予測を向上させた。

静圧縮実験にあたっては、実験自体の誤差を最小限にするためのサンプル工程方法について、アドバイザーであるJAXA推進システム研究グループ滝口氏に指導を受けたことでサンプルを効率的に活用し、予定していた圧縮試験データ取得することができた。

### 【1-3】実製品寸法での最適形状の検討

実際に想定される主要な金型を当社で実績のある製品の真空成形金型とし、平面サイズを100mm×100mmと設定し、CADデータを作成した。このCADデータを本研究開発で導入した最適化専用ソフトに投入して、最適化解析を繰り返し実施した。求まった最適解析を形状データへ変換し、3Dプリンタ装置で造形を実施した。

## 2 「材料粉末敷設技術の確立」

### 【2-1】ブラシリコータの最適な毛材料の選定

ブラシの材質や密度を最適化することで摩擦を改善すると同時にブレードタイプ並の造形精度を保持することであらゆる複雑な造形物に対応する。ブラシの材質の検討を実施し、摩擦が低減可能でかつ耐久性があり、脆性も低いタイプをポリプロピレンとポリエチレンの混合樹脂

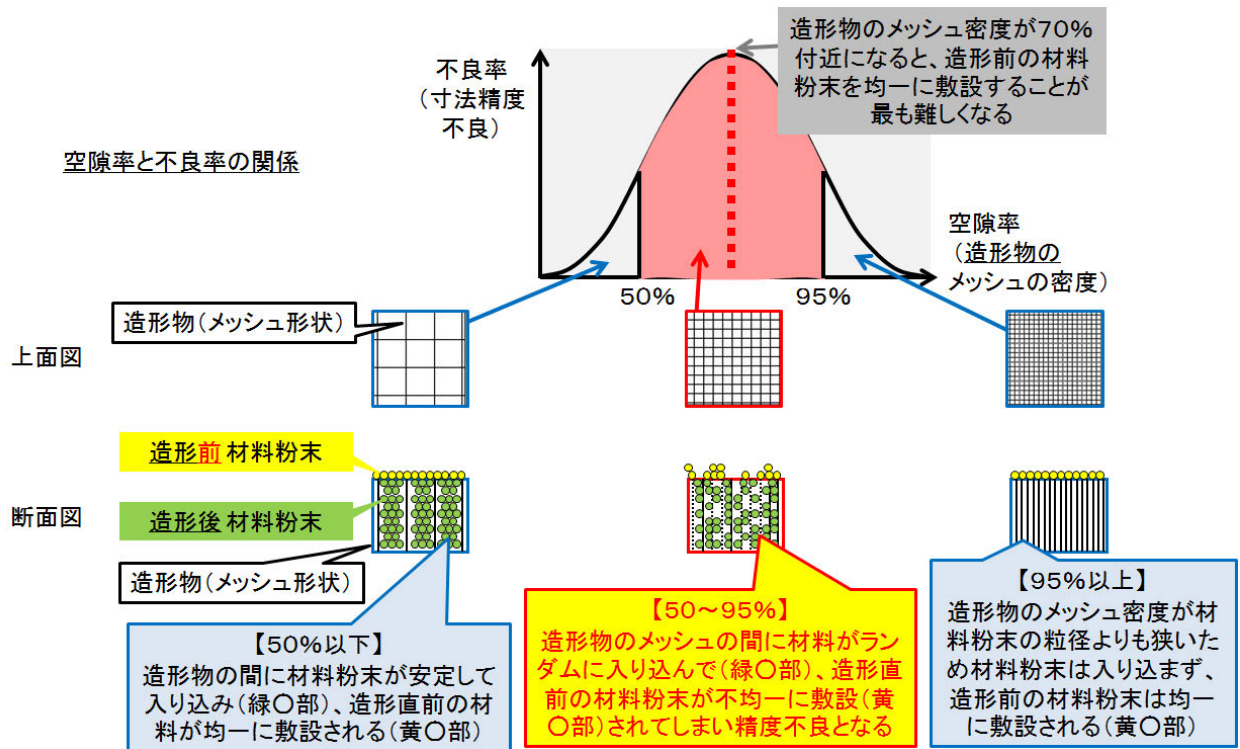


に10%カーボンを含浸させたものを選定し粉末敷設テストまで実施した。実際にブラシを使用しての造形サンプルを製作し、10mm×10mmの敷設面積で造形精度を向上させた。

### 【2-2】ブラシの密度の最適化

造形精度向上のためには、ブラシ材質の他にもブラシ密度を最適化させることが重要である。ブラシ密度の最適化の前提となるブラシ1本の直径は0.5mmを中心に0.1mm～1mmの間において0.1mmピッチで選定した。ブラシ長さは25mmを中心に10mm～50mmの間において5mmピッチで選定した。本ブラシを3Dプリンタに搭載して粉末材料との摩擦抵抗を確認した結果、目視で材料の敷設ムラが無く造形テストが行えるレベルで敷設可能となった。平行して同時にリコータを5

回ブラシ往復させ、耐久性（ブラシの抜けや削れ）の確認を行った結果、毛の脱落が無いことを確認できた。粉末敷設状態での空隙率も測定を行った結果、必要な造形精度を達成するためには $200\mu\text{m}$ を超えると毛を掴んでいるリコータ部と干渉して装置が停止してしまったため、 $200\mu\text{m}$ のまでが造形完了可能な許容値であることが確認できた。





## 補助事業の成果及びその効果

### 1 「最適化メッシュ構造検討」

研究実施機関：株式会社ホワイトインパクト、国立大学法人名古屋大学

#### 【1-1】単純メッシュ形状下でCAE解析

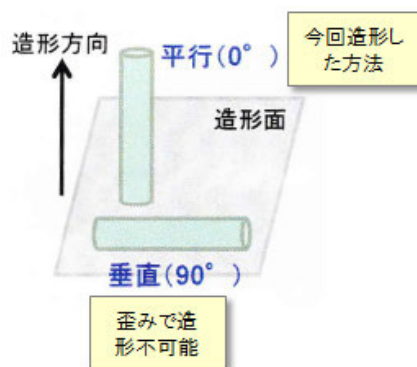
##### <静圧縮解析>

解析を実施するために使用する材料の物性データを取得した。特に正確に物性データが取得できるように引張試験の方法について実施した。

物性データを取得するための引張試験方法は、ISO 6892-1 において規定されている方法で実施した。使用する試験サンプルについても規定サイズに造形を実施した。造形方向はダンベルの軸方向に積層した。横方向では熱歪みが大きく造形後にダンベルが端部間で5mm程反り、変形が発生してしまうことが想定されたためである。

引張試験の方法について、ISO6892-1 はアルミニウム合金を含む金属材料の物性データを取得する際に一般的に用いられる方法である。また ISO 15630-1 のような鉄筋バーに関する製品試験規格は、引張試験の要求事項において多くの場合も ISO 6892-1 を引用している。今回取得する物性データ取得のために造形したダンベル形状を含め、鉄筋バー、線材、板あるいはパイプのような鋼製品の引張試験を行う場合、完全に真っ直ぐな試験片、全く平坦な試験片、あるいは全く平滑な試験片を作製（造形を含む）することは多くの場合困難である。特に造形では積層による段差もあり、小径の鉄筋バーと線材は、巻き戻して矯正した製品から試験片が切り出さる。これら試験片は、多くの場合完成したブロック材等から切り出されるため、平坦にする必要がある。これらの不完全な形状の試験片は、試験機器でのグリップが難しい場合があり、今回の試験でもグリップで滑ってしまい、試験データの取得が不十分な可能性があった。

これら試験片の試験を行う場合、試験機のグリップ装置は、クランプする際にサンプルを真っ直ぐにして自動的にセンタリングするため、大きい初期クランプ力を与える必要がある。このような要求事項に関して、今回の

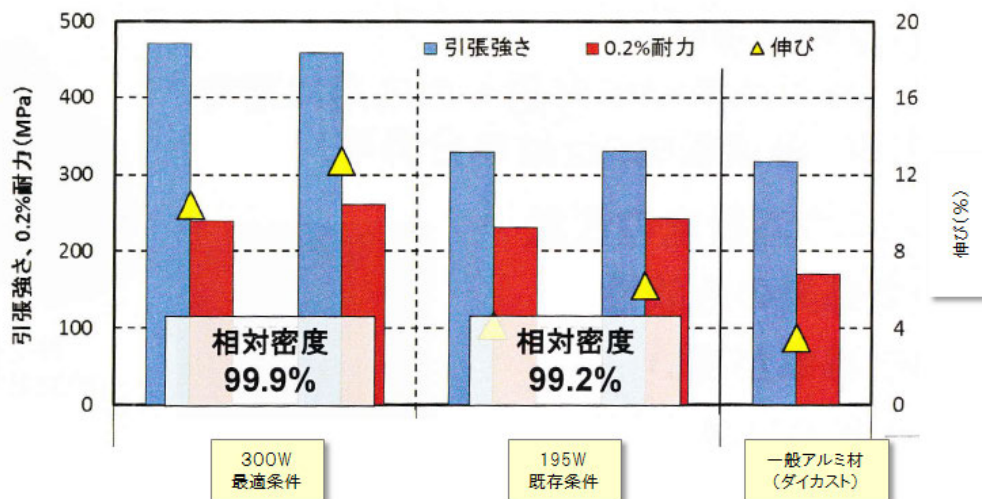


引張試験機  
島津製作所 製 AG-10TB

これら試験片の試験を行う場合、試験機のグリップ装置は、クランプする際にサンプルを真っ直ぐにして自動的にセンタリングするため、大きい初期クランプ力を与える必要がある。このような要求事項に関して、今回の

試験は、試験片に大きい圧縮力を引き起こすことなく、非常に大きい初期クランプ力を生じさせるため、油圧式グリップを用いた。

名古屋大学では物性データ取得から試験片のクランプ、そしてデータ取得までの技術指導並びに指針の検討を行い、株式会社ホワイトインパクトが試験を実施した。



【1-2】単体メッシュ形状の試作と評価

静圧縮実験においては、熱伝導解析と同様に、形状パラメータを5水準振った試作メッシュ形状を本研究開発で導入した金属造形用レーザー出力設備を用いて造形した。圧縮強度を測定し、CAE解析結果と合わせて、CAE予測精度を変位-荷重曲線の±30%以内を達成した。熱伝導試験では、静圧縮実験同様に、3Dプリンタで造形した試作メッシュ形状で熱伝導率特性を取得し、熱伝導率のCAE予測精度を±5℃以内という目標値を達成した。



ダンベル (破断面)

同時に委員会等で指摘のあった既存手法や既存材料との比較検証も実施した。

既存手法としては従来から一般的に用いられているレーザー出力の195Wでのデータと比較して今回用いた最適化条件である300Wの方が強度物性（引張強さ、耐力、伸びすべて）が優れていた。また既存材料であるダイカスト材に比べても強度物性が優れていた。これは

種類	
引張強さ MPa	470
耐力 0.2%変形) MPa	250
伸び 50mmでの) %	11
衝撃強さ kJ/m <sup>2</sup>	144
せん断強さ MPa	180
疲れ強さ MPa	120
硬度 HRB	39

引張試験 結果

レーザーによる粉末凝固の過程において、微細組織で安定した組成が成されるからであると思われる。

### 【1-3】実製品寸法での最適形状の検討

実際に想定される主要な金型を当社で実績のある製品の真空成形金型とし、平面サイズを100mm×100mmと設定し、CADデータを作成した。このCADデータを本研究開発で導入した最適化専用ソフトに投入して、目標とする強度特性を達成するまで最適化解析を繰り返し実施した。求めた最適解析を形状データへ変換し、3Dプリンタ装置で造形を実施した。従来工法である切削によって製作された金型強度と比較して、単位重量(M)あたりの最大荷重(A/M)：±10%以内を達成した。

また名古屋大学で実施した実試験（圧縮試験、熱伝導試験）については以下技術を導入した。

ラティス構造体の力学特性を適正に判断するための熱処理条件

引張試験片およびラティス試料は、造形のまま(F材)、300℃で2時間焼鈍した後に徐冷(O材)、530℃で6時間溶体化処理後に水焼入れ(T4材)の3種類を用意した。圧縮試験には直径30mm、高さ30mmの円柱状ラティス試料を用い、初期ひずみ速度は0.13min<sup>-1</sup>とした。ラティス試料の単位セル形状は正八面体型とし、相対密度は0.27と0.16の2種類を用意した。

引張試験結果をFig.1に示す。引張応力-ひずみ曲線から、F材の破断ひずみは積層方向に対して垂直方向で大きくなっていることがわかる。この違いは合金の微視組織形態に由来している。O材およびT4材では破断ひずみがF材から大きく向上し、局部伸びが生じている。しかし、F材、O材、T4材の順に試験片の降伏強度および引張強度は低下している。

Fig.2にラティス試料の静的圧縮試験結果を示す。圧縮試験において、F材は荷重方向に対して45°をなす層でせん断破壊を生じた。対して、O材およびT4材のラティス試料は脆性的なせん断破壊を生じることなく変形した。また、圧縮応力-ひずみ曲線から、特にT4材においてプラトー領域が波打つ様子を確認できた。この波の1つ1つは、ラティスの各層が潰れる圧縮挙動に対応していると考えられる。

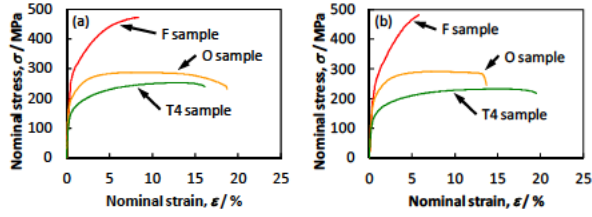


Fig. 1 各方向の引張応力-ひずみ曲線

(a) 積層方向に垂直 (b) 積層方向に平行

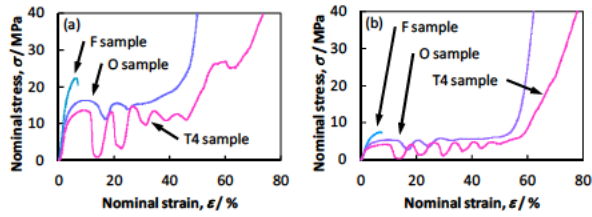


Fig. 2 ラティス構造体の圧縮応力-ひずみ曲線

(a) 相対密度 0.27 (b) 相対密度 0.16

粉末積層法で造形された AlSi10Mg 合金の力学的特性と組織には、積層方向に関して異方向性が存在する。また、ラティス構造体の力学的特性は熱処理条件に敏感であり、適切な熱処理による展性および延性の改善が必要となる。

## 2 「材料粉末敷設技術の確立」

研究実施機関：株式会社ホワイトインパクト、国立大学法人名古屋大学

### 【2-1】ブラシリコータの最適な毛材料の選定

選定したカーボン入りナイロン材料の毛を上記規定した密度でサンプルブラシの製作を行った。このブラシで材料敷設を行ったところ、一層目において、ベースプレート上の必要なエリアに必要な量の粉末を敷設することができなかった。

これは想定以上にアルミ粉末が軽く、かつベースプレート表面荒さが低いためブラシがベースプレートをかすめてしまったためと推測される。そこでベースプレートにある程度の表面荒さを確保するため、あえて傷をつけてブラシとベースプレートの摩擦を上げることで材料を敷設できると仮定した。ベースプレート



をフライスで粗く加工する方法が一般的だが、フライスでは粗すぎて造形一層辺りの厚さ0.03mmを超えてしまう上に、加工時間として数日必要であった。造形機を有効活用させ、粗く加工する時間も短くする方法として造形機のレーザーをあえて材料敷設前の何も無い状況で一層分照射させて傷をつけた。レーザーの出力を繰り返し変更して、目視では判別不可能な傷をつけて表面を粗くさせることで、一層分の0.03mmの材料を敷設させることが可能となった。これにより造形精度測定用のサンプル製作が可能となり、本年度の100mm×100mm敷設面積で造形精度±0.05以内を達成した。

### 【2-2】ブラシの密度の最適化

粉末敷設状態での空隙率の測定を行った結果、必要な造形精度を達成するためには200μmを超えると毛を掴んでいるリコータ部と干渉して装置が停止してしたため、200μmまでが造形完了可能な許容値であることが確認でき、密度の最適化を行った結果、材料粉末敷設高さ誤差±100μm以内を達成した。



導入した機器設備について

i) 金属造形用レーザー出力設備

製造面の課題解決のため、高出力（400W）かつ安定して出力装置から照射部分を接続可能なファイバータイプのレーザー出力装置を設置した。



レーザー出力装置上部（備品シール拡大）

発生したレーザーを造形室の直上へ配線し、操作側のパルスデータから取り込まれた変位値を元に

形状データどおりにレーザー駆動する。



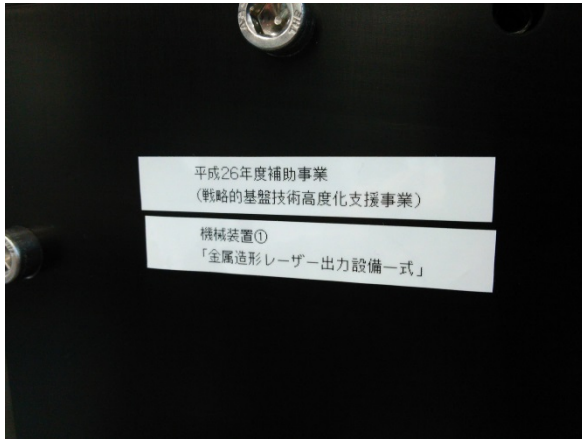
レーザー出力装置上部（全景）

レーザー出力部と駆動部の全景



レーザー出力装置上部（組み込まれた状態）

粉塵防護のため写真のカバーでふさがれる



レーザー出力設備下部 (備品シール拡大)



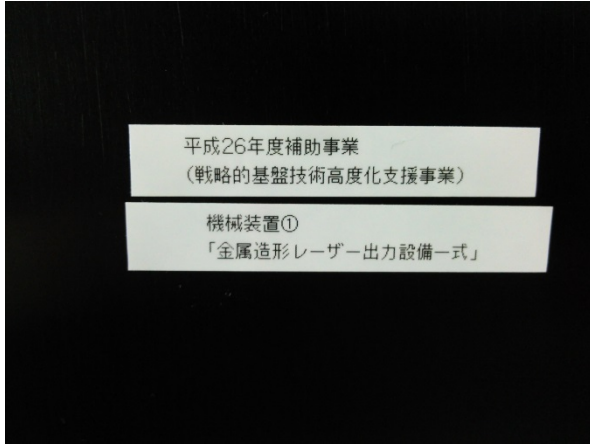
レーザー出力設備下部 (組み込まれた状態)



レーザー出力装置上部及び下部 (組み込まれた状態の全景)

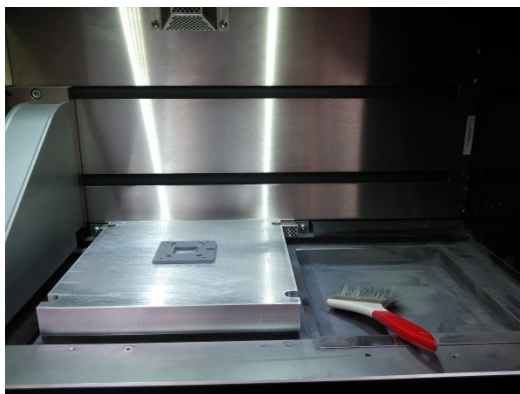


リレー式 操作側から発信されるパルスデータをレーザーの駆動装置へ変換するリレー



Liquid-filled vacuum cleaner (備品シール拡大)      Liquid-filled vacuum cleaner (全  
景)

材料粉末の比重 (2.6cm<sup>3</sup>/g) が軽いため、小麦粉と同様の粉塵爆発の可能性があ  
る。Cleaner (掃除機) は、造形後の清掃に必須だが、通常 Cleaner で吸い込んだ粉末  
が摩擦で爆発しないように粉塵を液体に浸す改造をしたもの。

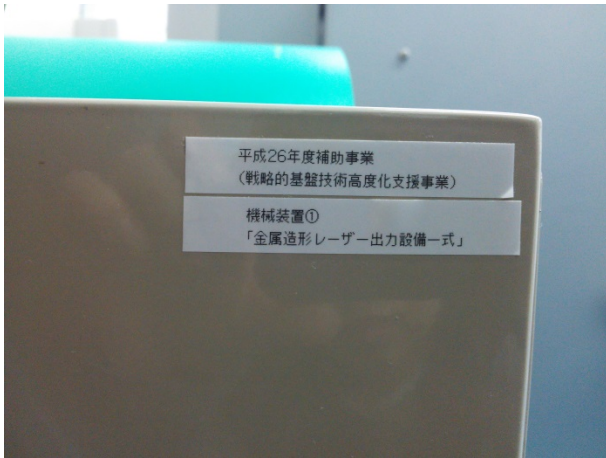


Sieve for M270 with earthing  
大1)

Oven for material powder (備品シール拡

材料粉末の異物除去のための篩い (網目)





Oven for material powder (備品シール拡大2)    Oven for material powder (全景  
1)



Oven for material powder (全景2)

材料粉末を造形前に加熱(200℃:40分)して造形すると、粉末をレーザーに照射した際の造形

精度が安定する。このためタイマーと温度調整が可能なOvenの導入が不可欠である。



Fire extinguisher for metal powder

軽金属粉末専用特殊防じんマスク

粉末タイプの消火器（通常の消火器は

アルミ等の軽金属に対応した安全用マスク（通常作

業で使用）



耐火性上下一体作業つなぎ

帯電防止作業安全靴

難燃性材料を使用した作業つなぎ

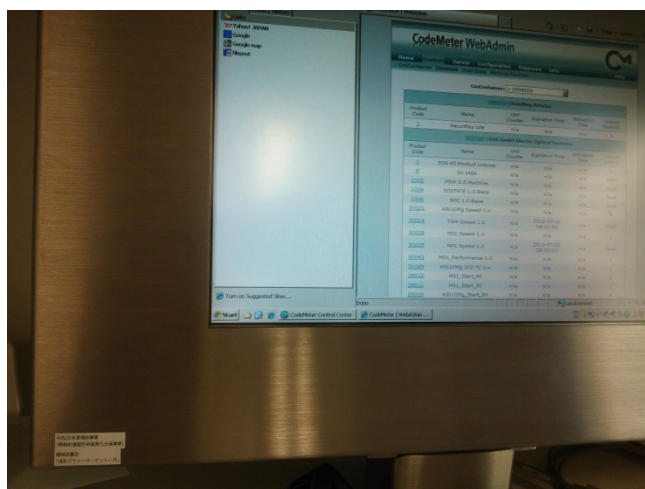
静電気等が起因の粉塵爆発を防止

## 造形パラメーターセット

製造面の課題である高精度造形実現のため、アルミ粉末材料での造形の際に内部に気泡等が発生しにくいレーザー出力、レーザースポット径、走査速度、データセンターに対するビームオフセット値など、アルミ合金粉末に特別データ設定されたパラメーターを設置した。

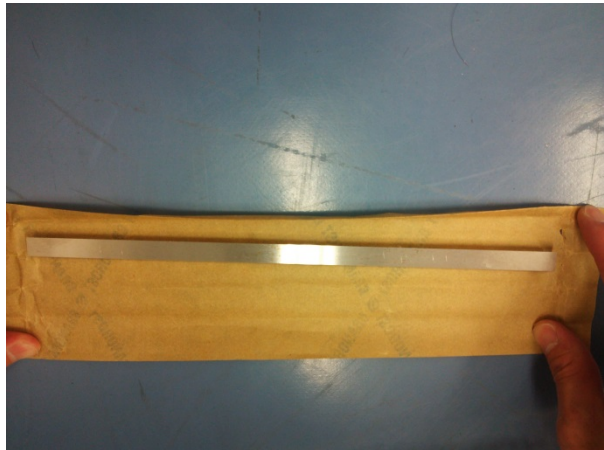
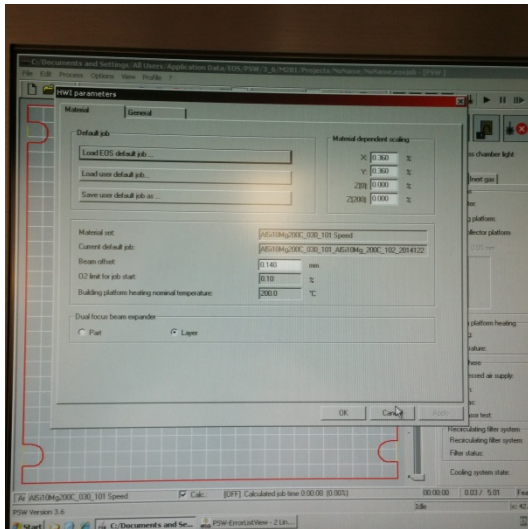


造形パラメーターセット（備品シール拡大）



造形パラメーターセット（インストール済みパソコン）

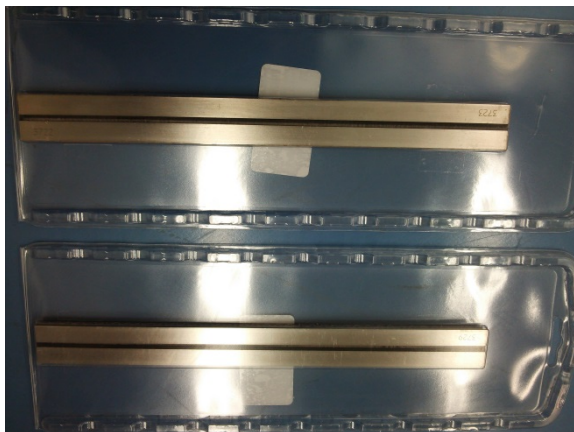




Hss recoater blade

先端がブレードタイプの粉末敷設装置先

端部分



Carbon fiber brush recoater

customers

ブラシが先端に植毛できるように

事前に溝があるリコーター



Startkit Alu@200°C for existing

駆動部分とリコーター先端部分の接続部品



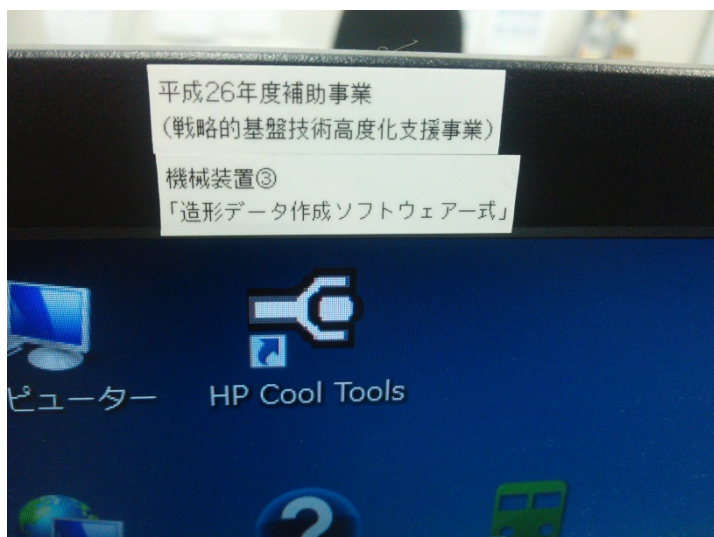
Suspended particle filter box H13 及び  
Fine particle filter box F9  
造形室内環境を常にクリーンにするフィルター



Bilding platform DirectBase AL30  
造形物を積み上げる土台

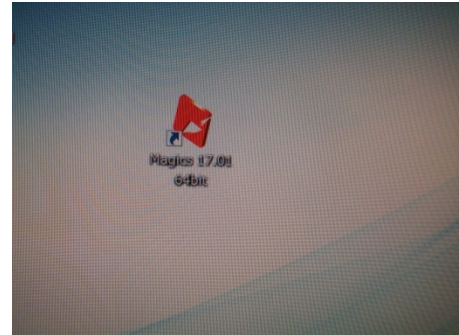
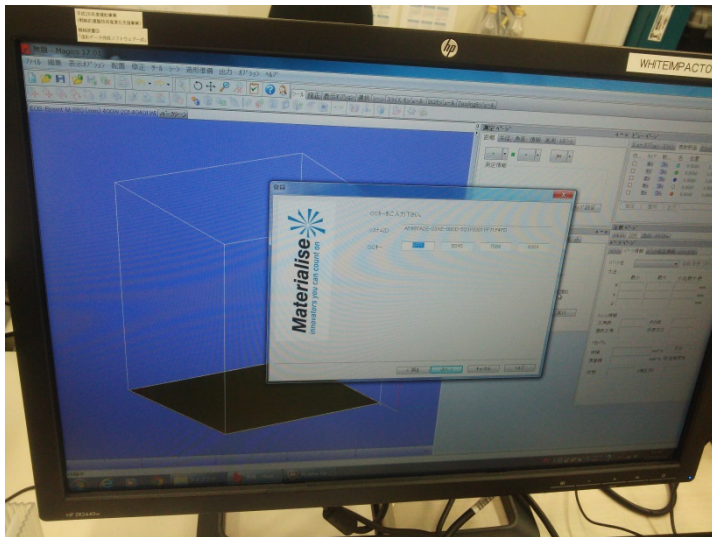
### 造形データ作成ソフトウェア

金属粉末造形では必ず造形物と造形プレートの間にサポート材と呼ばれる土台を設置しなければならない。サポート材によって造形物の精度も変化するが、本開発の製造面の課題である高精度造形実現のためには、サポート材を自由に変化させてデータ作成することが求められる。本ソフトウェアは、5種類以上の基本のサポート材形状からさらに詳細な形状変更が数値を入力によって可能となる。



造形データ作成ソフトウェア（備品シール拡大）





造形データ作成ソフトウェア（インストール済みパソコン）

造形用集塵 IPCM 装置

Transfer module



造形で使用しなかった材料を改修し  
スターを  
再利用させる。



左側面（搬送用のレバーやキャ  
備えている

装置前側の写真で上から材料を投入し  
中央部で篩にかけ下部の缶に落とす。



背面図：篩の動力源は手前の  
サーボモーター



外観図



右側面下部にシール添付



右側面（下からの写真）

## Material supply module



再利用する材料を吸引する装置  
本装置で吸引し下部の缶へ投入する



背面図：動力源はコンプレッサー





背面外観図：

吸引力を手元で調整（吸引しすぎ）しないと  
 粉塵爆発の可能性が起こるので細心の注意が必要



正面外観図

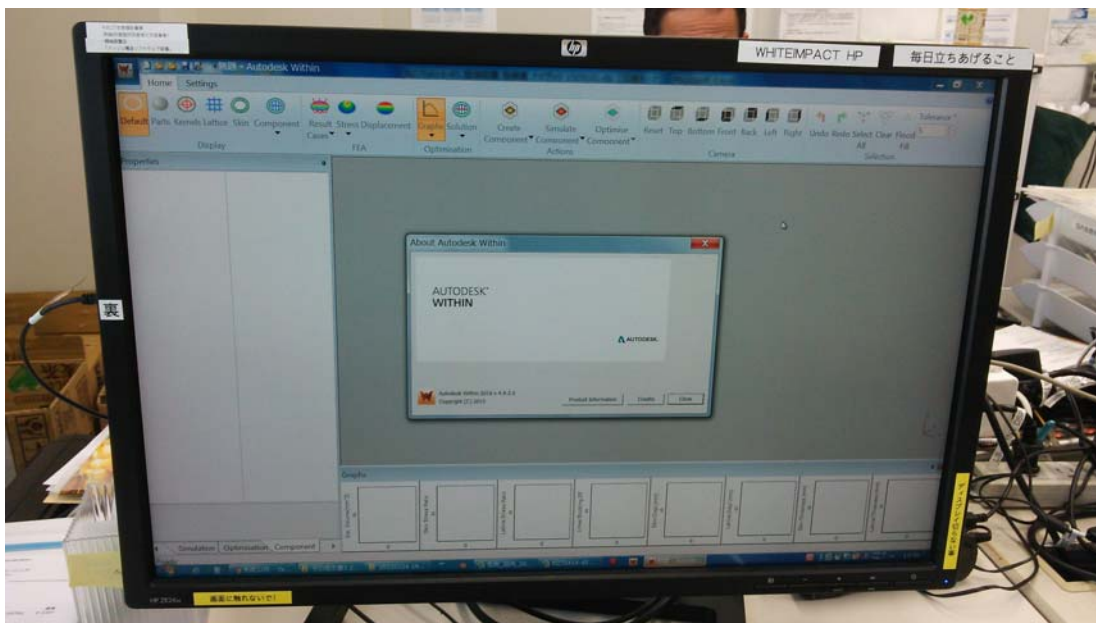


右側面下部にシール添付

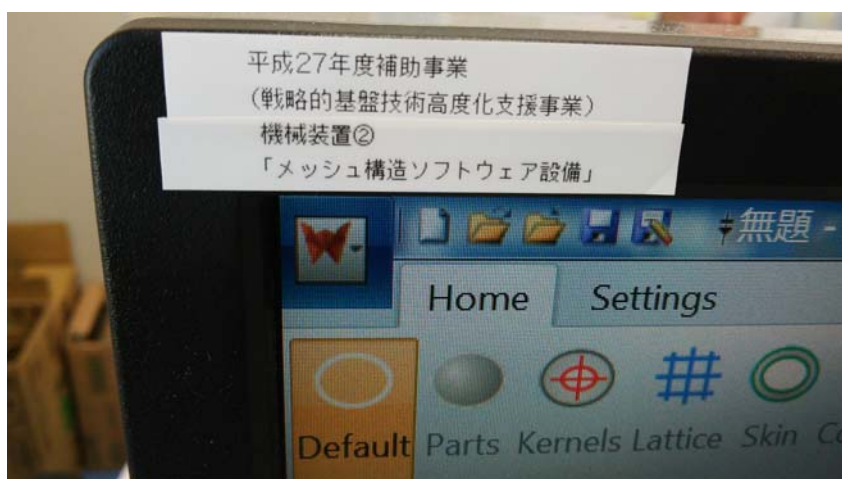


右側面（下からの写真）

## メッシュ構造ソフトウェア設備



単体メッシュデータを短時間で製作するソフト（インストール直後状態）



CADデータでコピー&ペーストを繰り返さなくても、ブロック状態から柱のサイズと柱のピッチだけで短時間でデータ作成可能

## コンプレッサー設備

現状、造形時の粉末敷設装置の作動や不活性化させるために使用するアルゴンガスの供給で使用するコンプレッサー設備は、振動や騒音が大きいため高精度の造形を実施する上での阻害要因になっている。さらには、空気を圧縮する際にオイルを使用しているため1週間に1時間程度オイルフィルターの清掃を実施しなければならず作業性が悪い。オイルレスタイプのコンプレッサー設備は、振動や騒音も半減される上にオイルフィルターの交換も不要であり本開発には必要不可欠である



左側面（圧縮過程の水を排出するドレン）



装置前面

オイルレスタイプでメンテナンスフリーのため狭い場所へのレイアウトも可能となった。





背面図：電源パネル



右側面



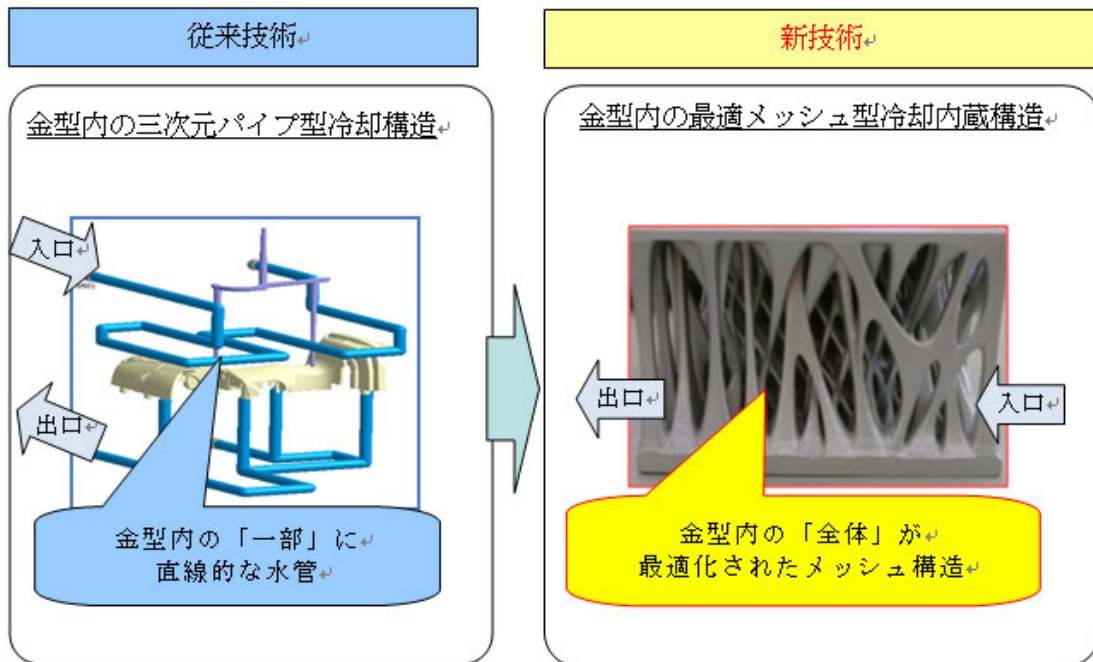
左側面下部にシール添付



内部（上からの写真）放熱フィン内蔵

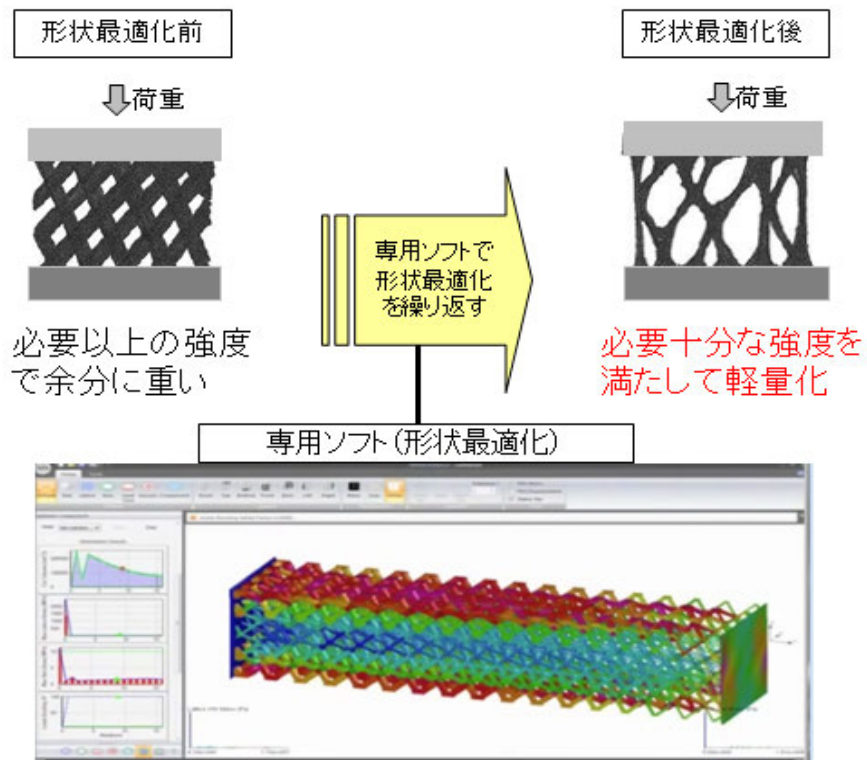
# 最終章 全体総括

• 成果概要

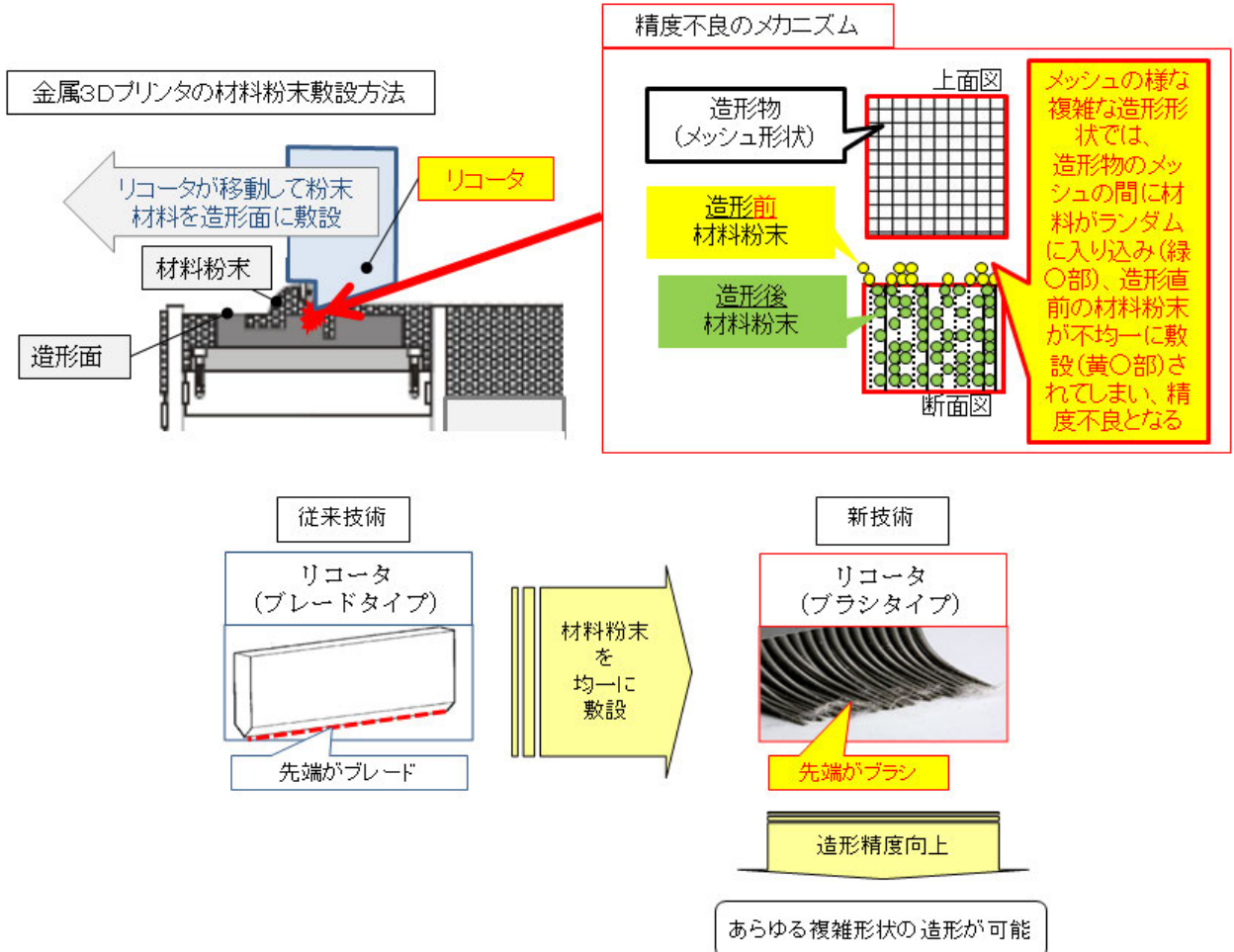


項目	従来技術	新技術	効果
成形時間	一部にしか冷却構造がないため成形時間短縮は限定的	型表面の全てを冷却させることで成形品の急速凝固化が可能	100秒→10秒
成形効率	型表面から水管までの距離が離れているため冷却性が悪い	型表面ぎりぎりまで冷却が可能	10倍
軽量化	強度が必要無い部位も中身がつまっている	内部がメッシュ状で中空部分があり軽量	1/20
金型コスト	水管をドリルで1カ所ずつ手作業で空けるため高コスト	メッシュ構造の中空部分は材料が必要ないため低コスト	2/3
金型納期	切削、放電加工、ワイヤーカット加工と複数工程が必要	3Dプリンタだけで完結	2週間削減
市場性	従来技術では中国等新興国の台頭により困難	既存の工法とは全く異なる革新的な技術のため世界進出可能	◎

【1】最適化メッシュ構造検討（金型の冷却性能と強度 向上）



【2】材料粉末敷設技術の確立（3Dプリンタの造形技術 向上）



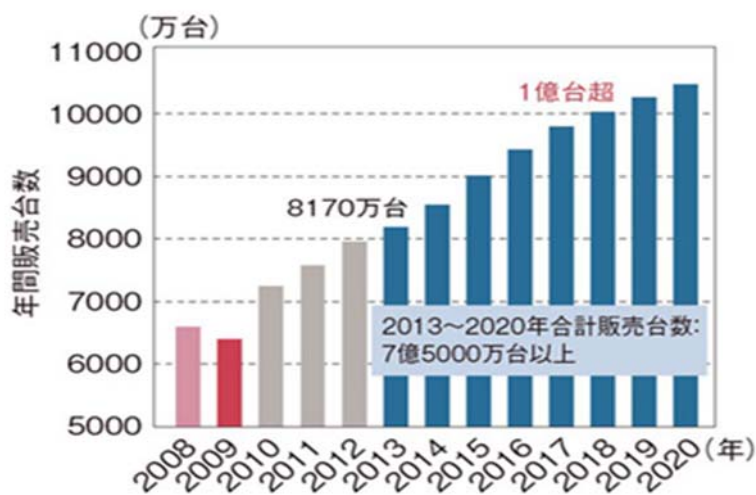
・補助事業の成果に係る事業化展開について

【川下企業（顧客）ニーズの状況と対応方針】

生産する部品単価を1/2にできる金型の成形効率化や、1週間単位での短納期化を実現する「開発の垂直立ち上げ」といったニーズは、川下企業であるスズキ株式会社を中心に自動車メーカーでは強く存在している。しかし既存の工法である切削加工においては技術が成熟してしまっているため大きな改善は望めない。さらに金型業界の競争環境としても、中国をはじめとする新興国メーカーによる安価な金型や現地技術の向上により国内の売上は減少傾向にある。本研究開発の課題がクリアされた際実現する3Dプリンタによる金型製作をもってすれば、川下企業のニーズを満足させる金型の効率化や短納期化に対応でき、今まで冷却構造が一体化された金型は世界には存在しなかったこともあり、新興国との間の優位性を保つことができる。また本研究開発で得られた技術は、金型のみならず全ての金属3Dプリンタによって造形された物に応用することができ、今後世界規模で大きく成長することが確実な航空機や医療分野も含めた金属3Dプリンタ全体の市場へも進出することが期待できる。

【想定する市場（現状、今後の動向）】

想定する市場は、金型の高効率化による成形部品のコストダウンを求め、自動車関連部品を中心に成形する金型業界である。日本政策投資銀行産業調査部が発行する今月のトピックスNo. 179-1号によると、金型業界は国内では2013年で300億円の市場



世界自動車販売台数の予測  
(出典：IHS Automotive)

規模が存在するといわれており、世界的に年23%成長している市場であると発表している。さらに金型生産に大きく関係する自動車生産台数においても2020年まで成長を続けると予測されている。

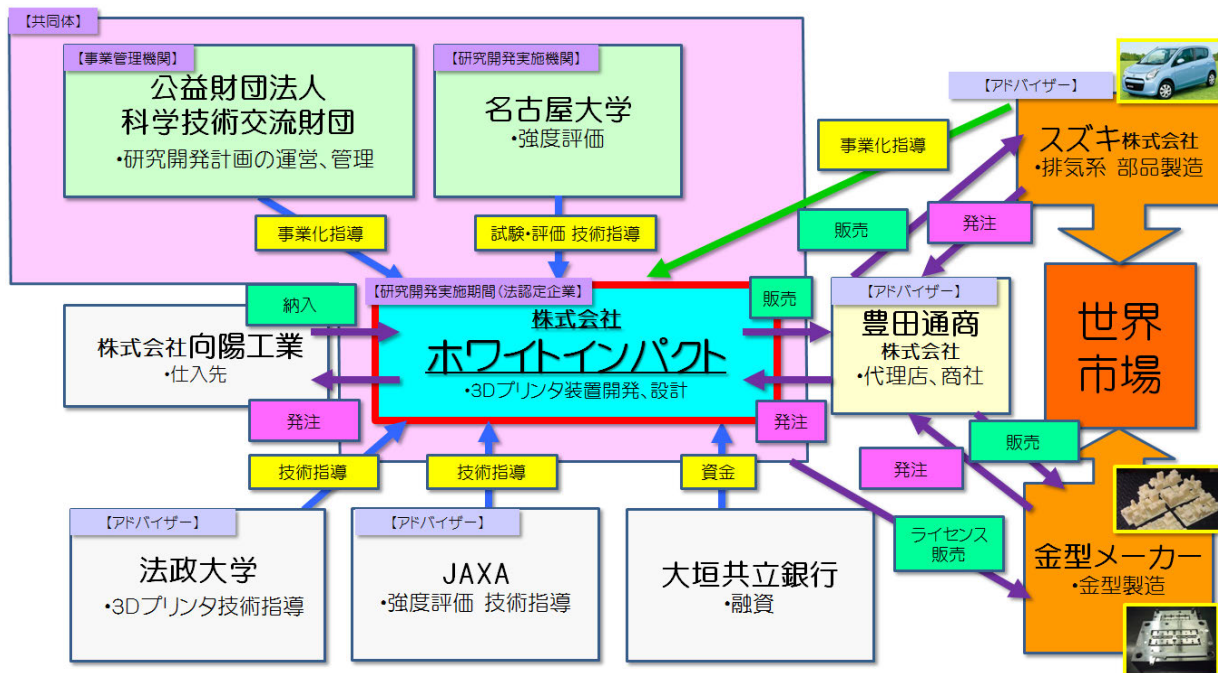


日刊工業新聞が発行する金型業界誌「型技術 2014年2月号」において、金属3Dプリンタによる金型造形技術の向上は不可避であり、市場性も大きく期待できると紹介されており、本研究開発において技術開発を先行させることは非常に重要である。また同誌において、従来主流であった樹脂部品の成形工法である射出成形が、部品の量産性の高い真空成形に置き換えることが可能であり、真空穴を含め複雑な加工が必要な真空成形金型は3Dプリンタによる造形メリットが大きいと指摘されており、大きな波及効果が期待されている。

#### 【販売促進戦略】

本研究開発の成果は、高い成形効率と短納期化の強みを活かし、既に多くの中小製造業とネットワークを構築している国内大手商社である豊田通商の国内18拠点を通じて、金型メーカーへ販売する。当社は保有する3Dプリンタ装置によって金型を造形し、型枠や金型表面処理、焼き入れ、組み立ては既存の金型メーカーが行うことによって、既存の金型メーカーの取引先との関係も維持する。事業化開始後5年目までは当社が造形した金型を利用して自ら成形し成形品を販売して実績を積み上げ、自社の売上にも貢献する。実績が出た段階で、金型メーカーの中でも、3Dプリンタによる造形メリットが最大限活かすことが可能な真空成形金型メーカーへ展開する。真空成形業界は、金型のライフサイクルが短いことから、川下企業のニーズである成形効率化と短納期化が特に求められている業界である。その後、短納期化をはじめとする同様の問題を抱える射出成形金型へと移行させる。

〈事業化体制図〉



【具体的なユーザー、マーケットに対する効果】

想定する市場は、金型の高効率化による成形部品のコストダウンを求める、自動車関連部品を中心に成形する金型業界である。日本政策投資銀行産業調査部が発行する「日本のモノづくりを支える金型産業の課題」No.179-1号（2012年6月25日発行）によると、金型業界は国内では2013年で300億円の市場規模が存在するといわれており、世界的に年23%成長している市場であると発表している。さらに金型生産に大きく関係する自動車生産台数においても2020年まで成長を続けると予測されている。

日刊工業新聞が発行する金型業界誌（型技術 2014年2月号）において、金属3Dプリンタによる金型造形技術の向上は不可避であり、市場性も大きく期待できると紹介されており、本研究開発において技術開発を先行させることは非常に重要である。また同誌において、従来主流であった樹脂部品の成形工法である射出成形が、部品の量産性の高い真空成形に置き換えることが可能であり、真空穴を含め複雑な加工が必要な真空成形金型は3Dプリンタによる造形メリットが大きいと指摘されており、大きな波及効果が期待されている。

また金属3Dプリンタ業界全体においても、富士経済がまとめた工作機械／成形機関

	2014年	2020年予測	2014年比
国内市場	55億円	270億円	4.9倍
日系メーカー海外販売	0億円	46億円	—
合計	55億円	316億円	5.7倍

連市場調査「メタルプロセッシング・インダストリー関連市場の全貌 2015」によると、金属3Dプリンタの国内市場は2014年に55億円で、2020年には4.9倍の270億円に伸びるといふ。日系の金属3Dプリンタメーカーの海外販売は、2014年には0億円だが、2020年に46億円まで拡大すると予測している。この調査は、工作機械、成形機、およびその周辺機器24品目の国内市場／日系メーカーの海外販売額を調査分析して将来を予測したものであり、今後本開発分野における市場は総じて拡大傾向にある。

## (2) 事業化見込み（目標となる時期・売上規模）

本研究開発の成果は、高い成形効率と短納期化の強みを活かし、既に多くの中小製造業とネットワークを構築している国内大手商社である豊田通商(株)の国内18拠点を通じて、金型メーカーへ販売する。当社は保有する3Dプリンタ装置によって金型を造形し、型枠や金型表面処理、焼き入れ、組み立ては既存の金型メーカーが行うことによつて、既存の金型メーカーの取引先との関係も維持する。

事業化開始後5年目までは当社が造形した金型を利用して自ら成形し、成形品を販売して実績を積み上げ、自社の売上にも貢献する。実績が出た段階で、金型メーカーの中でも、3Dプリンタによる造形メリットが最大限活かすことが可能な真空成形金型メーカーへ展開する。真空成形業界は、金型のライフサイクルが短いことから、川下企業のニーズである成形効率化と短納期化が特に求められている業界である。その後、短納期化をはじめとする同様の問題を抱える射出成形金型へと移行させる。

## (3) 事業化に至るまでの遂行方法や今後のスケジュール

製品等の名称	(1) 3Dプリンタによる金型の製造販売					
開発事業者	株式会社ホワイトインパクト					
想定するサンプル出荷先	豊田通商株式会社、スズキ株式会社、富士重工業株式会社					
シ ユ   事業終了後の経過年数	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	

	サンプルの出荷					
	追加研究					
	設備投資					
	製品等の生産					
	製品等の販売					
売上見込	売上高（千円）	12,000	31,983	108,415	147,714	295,428
	販売数量（単位を記載）	80 型	319 型	1,084 型	1,477 型	2,954 型
	売上高の根拠	自動車樹脂部品の金型を販売する。自動車販売台数において2013年以降の9年間の年平均成長率は1.5倍（出所：FORIN 作成 2013/11/1）に達する。現在、生産効率が格段に向上し、かつ短納期にも対応した商品力のある自動車樹脂製の金型を開発し市場シェアを確保することで、今後の市場拡大に対してより確実に販売に繋げることが可能となる。この売上には開発した設備と2年目に増設予定である3Dプリンタ設備内のレーザーパワー出力を20%引き上げることで対応可能である。専任技術者を2年目に1名増員。販売数量は豊田通商の取引先において年間1万型を生産していることから5年後にシェア30%を獲得することを想定。初年度のみ1型15万円で販売し2年目以降は作業効率化して10万円。				

製品等の名称		(2) スライド機構を持つ金型販売				
開発事業者		株式会社ホワイトインパクト				
想定するサンプル出荷先		サイデック株式会社、名古屋樹脂株式会社				
スケジュール	事業終了後の経過年数	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
	特許出願					
	出願公開					
	特許権設定					
	ライセンス付与					
売上見込	売上高（千円）	5,012	8,955	30,356	41,360	82,720
	売上高の根拠	自動車樹脂部品の中でもより複雑な製品形状をもつスライド機構を持つ金型造形技術のライセンス販売をする。当社の主要取引先である豊田通商が関連する自動車部品を含めた全ての金型は年間80億であり、5年後にその1%を獲得する。ライセンス販売を担当する専任技術者を2年目に1名、5年目に1名増員。1年目、2年目は豊田通商が50%以上株式を保有する系列金型メーカー3社に既に打診しており早期に契約が見込まれる。1年目1件500万、2年目2件450万。3年目以降は豊田通商系列以外の全ての金型メーカー（国内8344社：日本金型工業界発表）へ販売開始し、1件約100万円、4年目4件、5年目8件を同単価でライセンス販売。				

製品等の名称	(3) 3Dプリンタ金型製造技術に係る特許権					
開発事業者	株式会社ホワイトインパクト					
想定するサンプル出荷先	株式会社東光製作所、株式会社平岩製作所					
スケジュール	事業終了後の経過年数	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
	特許出願	→				
	出願公開	→				
	特許権設定		→			
	ライセンス付与			→		
売上見込	売上高(千円)	12,654	37,612	47,496	73,712	97,424
	売上高の根拠	3Dプリンタによる造形技術をライセンス販売する。ブラシリコータ技術を含めた3Dプリンタ金型製造技術のライセンスは、東北地方を中心に無償で付与することで認知度を向上させる同時に復興支援にも寄与する。また当社がスマートホンのイヤホン接続パッキンで成功したライセンス専門会社へ委託することで少ない人材でも早期にキャッシュ化と海外での販売を行う。このライセンス販売には開発したライセンス専門会社との初期契約料の他に、展示会でブース費用など僅かな投資のみであることから、追加設備は必要としない。専任営業担当者を1年目に1名増員。1年目と2年目は豊田通商が50%以上株式を保有する系列金型メーカー2社に契約にてライセンス販売。3年目以降は豊田通商以外の全ての金型メーカーへも1件約120万円で40件販売。4年目60件、5年目80件を同単価で販売。				

#### (4) 成果(試作品)の無償譲渡や無償貸与

研究開発終了直後の2018年6月に東京ビックサイトで行われる予定の国内最大の3Dプリンタ展示会である「設計・製造ソリューション展」において、認知度向上と新規ライセンス契約獲得のためにパンフレットと試作品の無償譲渡を行う。

#### 補助事業の成果に係る知的財産権等について

##### (1) 知的財産権の出願及び取得並びに論文掲載の有無

本開発成果を横展開し、学会発表(粉末冶金学会春期大会:金属3Dプリンタ関連の最高峰の技術発表の場)、特許出願(2018年6月 粉末敷設技術について国内出願を予定)を通じて幅広いユーザーにPRすることを検討する。

また川下ユーザーの要望などの意見交換が重要であるため、開発品の機能と品質に関し

ては、担当者間での意見交換と議論を密に実施する。

## (2) ライセンス契約等による事業展開

事業化に関して、研究者がそのまま製品の受託開発業者になる選択肢について今後検討する。

また、中間評価ヒアリングでの助言も踏まえ、企業体制や資金、設備面から考えてライセンス供与の方向性も検討する。事業化にあたっては豊田通商の販売網により拡販を推進する。ただし、当社は企業規模からみて、自動車部品の金型を製造する資金体力について懸念もあるため、粉体材料費を購入して、家電、教育玩具等も検討する。