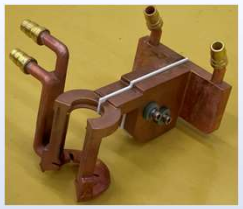
# 積層造形技術の深化による モノづくり分野での価値創造 とイノベーション創出



プロジェクト名：　**プロジェクト Core Industry**

研究開発分野　：　**高効率加工・3Dプリンティング**

研究リーダー　：　**名古屋大学　教授　小橋 眞**

事業化リーダー：　**ティーケーエンジニアリング(株)**
**代表取締役社長　下村 豊**

参画機関　：

**旭ゴム化工株式会社**　**旭精機工業株式会社**

**トヨタ自動車株式会社**　**株式会社名古屋多田精機**

**日比野工業株式会社**　**株式会社前田技研**

**株式会社フジミインコーポレーテッド**

**あいち産業科学技術総合センター**　**早稲田大学**

# 1.研究テーマの概要① 目的：高性能マザーツール,新材料開発による産業競争力強化

## ３つのチャレンジ　①新しい価値創造、②Ⅱ,Ⅲ期Pr.の上市、③新材料開発

### ①新たな価値創造

ティーケーエンジニアリング(株)
銅合金積層造形技術

スタートアップ
企業連携

(株)名古屋多田精機
旭ゴム化工(株)

銅合金製誘導加熱コイル
非Be系銅合金金型

### ②Ⅱ期Ⅲ期の成果高度化・上市

日比野工業（株）、旭精機工業(株)
(株)フジミインコーポレーテッド
(株)前田技研

金型の長寿命化
超硬合金の品質改善

### ③新材料での造形チャレンジ

トヨタ自動車(株)
旭精機工業(株)

金属-無機複合材料
磁性材料

**素材とプロセス** 銅合金積層造形の材料科学追求

**形状探索** 最適形状設計学理

**高周波加熱コイルのCAE設計,試作,評価(TKE, 旭ゴム化工)**

**新合金の熱処理**

非Be系銅合金を用いた高熱伝導金型開発

**ハイサイクル金型試作(TKE),実証試験(名古屋多田精機**

**信頼性改善**

材質の改良
防錆技術

**アルミダイカスト金型の実用化課題解決(日比野工業,前田技研)**

**材質改善・実証試験**

一層の高硬度化、実証継続

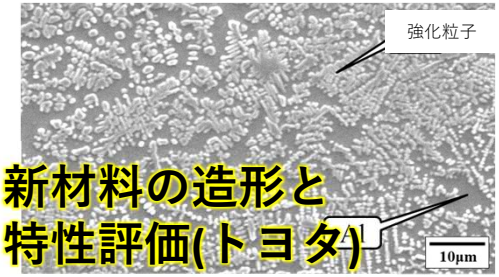
3Dプリンターで高性能金型

超硬合金製＋センサー内蔵

**超硬プレス金型の改善(FUJIMI)と実証試験(旭精機工業)**

**金属基複合材料**

機械学習による造形条件探索

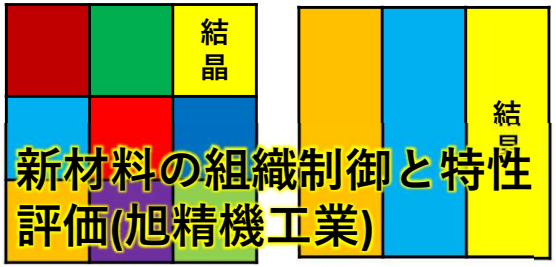



**新材料の造形と特性評価(トヨタ)**

セラミックス粒子強化Al複合材料
（名古屋大学）

**純鉄の組織制御**

造形条件による組織制御




**新材料の組織制御と特性評価(旭精機工業)**

**造形技術（ACIST）**
**基礎学理（名大、早大）**

# 1.研究テーマの概要②

**新しい価値創造**　**高周波焼入用誘導加熱コイル**

ティーケーエンジニアリング(株)　スタートアップ企業

様々な条件で銅合金の造形

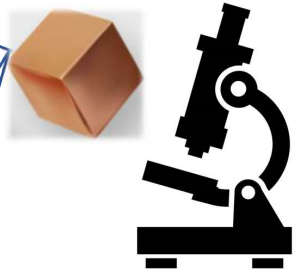
様々な条件で熱処理

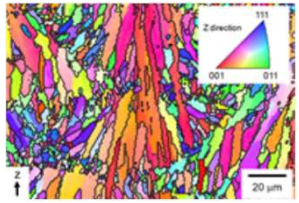
密度測定
結晶組織観察

材料特性評価
電気伝導度
etc.

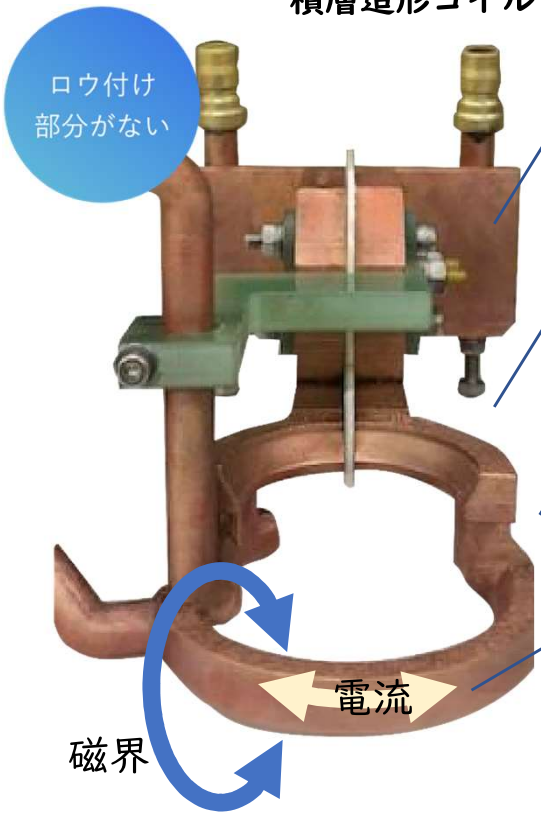
積層造形機

積層造形銅合金





積層造形コイル




耐久性評価

均一加熱性能
評価

コイル形状
最適化計算

造形品の
寸法精度評価

## R5年度実施概要

- 積層造形コイルによる**連続焼入試験（寿命検証）**
- 物性と微視組織の関連付け
- シミュレーションによる**形状最適化**

## R5年度目標

- **連続焼入10万回以上、**そのコイルの品質調査
- CAEによる**変形予測**精度向上
- **最適化計算**によるコイル形状の同定

**高周波焼入用誘導加熱コイル**

１つで何万個ものワークの焼入を行う
マザーツール

# 1.研究テーマの概要③

## 新しい価値創造

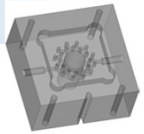
### 高周波焼付用誘導加熱コイルの開発

**旭ゴム化工（株）**

R5年度
実施概要
- 温度分布の計測
- シミュレーションによる設計検討
- 積層コイルの造形、焼付品質の検討

R5年度目標：コイルの改良（**温度精度の向上**）、
**連続焼付試験**の実施

### プラスチック射出成形用銅合金金型の開発（非Be系銅合金金型）



**（株）名古屋多田精機**

R5年度
実施概要
- 銅合金製金型の試作と成形検証
- 銅合金製金型の材料特性検証

R5年度目標：**銅合金実証金型の作製**（製品形状の決定）、
銅合金材料特性把握（熱伝導率、硬さ）

## 積層造形金型（Ⅱ期、Ⅲ期の成果の高度化）

### 内部冷却アルミダイカスト金型の実用化

**日比野工業（株）、前田技研（株）**

R5年度
実施概要
- 水管内壁の研磨条件の検討
- 水管内壁のめっき検討、熱伝導特性の把握

R5年度目標：**水管内壁の研磨による表面粗さ低減**、
**必要めっき厚さ**の明確化、熱伝達評価完了

### 超硬合金造形技術の深化と深絞りプレス金型の実用化

**（株）フジミインコーポレーテッド、旭精機工業（株）**

R5年度
実施概要
- 超硬合金材料組成、造形条件の最適化
- 成形試験による金型信頼性、成形品品質の評価

R5年度目標：硬度向上、 造形誤差低減、
深絞りプレス**100万ショット**、インライン計測

## 高付加価値部材（新材料へのチャレンジ）

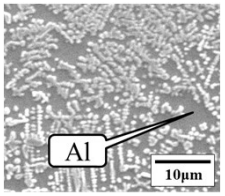
### 純鉄の積層造形および組織制御

**旭精機工業（株）**

R5年度
実施概要
- 純鉄粉末による積層造形パラメータの探索
- 造形物の物性把握

R5年度目標：**機械学習**による造形条件の最適化、
最適条件での造形・検証

### 金属-無機複合材料の積層造形および物性把握




**トヨタ自動車（株）**

R5年度
実施概要
- 積層造形による金属-無機複合体の作製（アルミ母材、鉄母材）

R5年度目標：一定の複合比率での造形条件探索、
**ヤング率向上**

# 1.研究テーマの概要④　知の拠点あいち、大学の取組

様々な条件で銅合金の造形

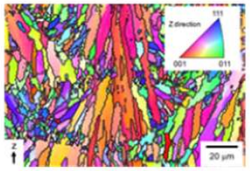
様々な条件で熱処理

密度測定
結晶組織観察

材料特性評価
電気伝導度
etc.

積層造形機

積層造形銅合金

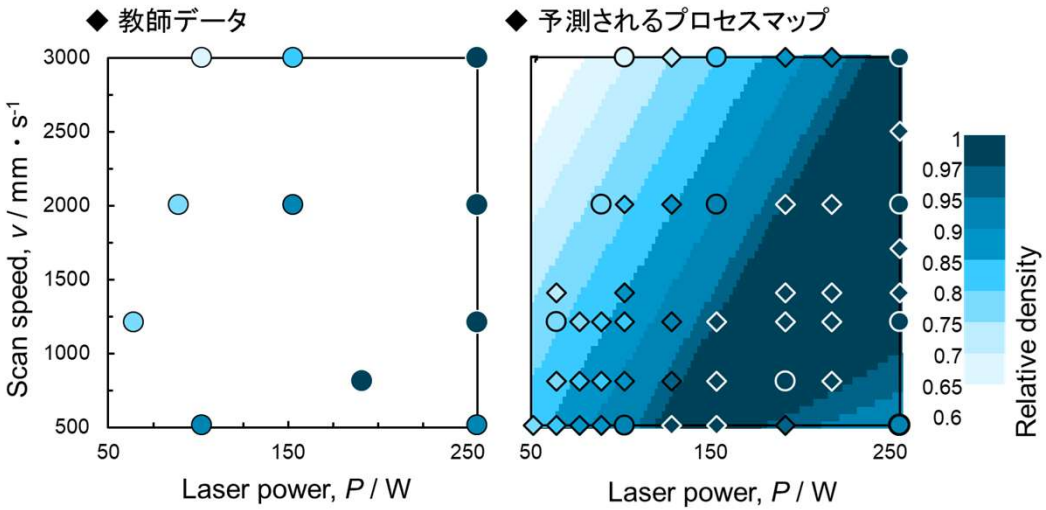


この関係の支配因子を
明らかにする

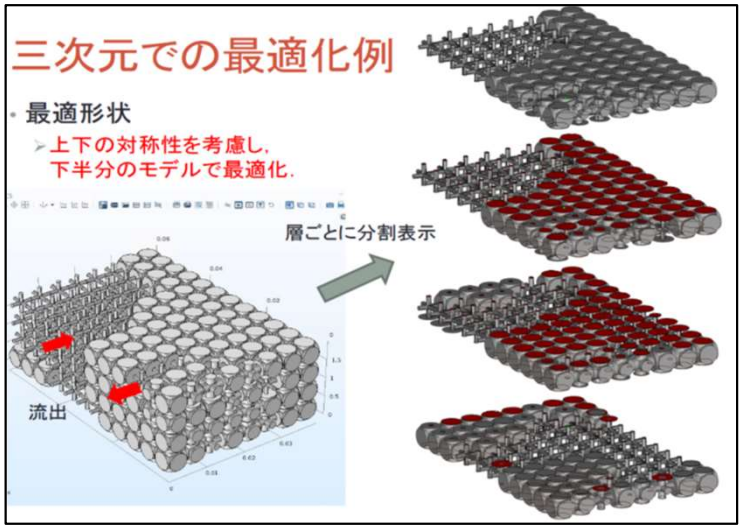
優れた製品性能を発揮するための製造条件・構造を提案する

| プロセス | 構　造 | 材料特性 | 製品性能 |
|---|---|---|---|
| • ﾚｰｻﾞ条件 | • 結晶構造 | • 強度･硬さ | • 強度 |
| • 粉末組成 | • 固溶元素 | • 疲労強度 | • 耐久性能 |
| • 粉末形状 | • 析出形態 | • 熱伝導率 | • 冷却性能 |
| • 熱処理 | • 空隙率 | • 導電率 | • 加熱性能 |

## 積層造形の信頼性向上に資する科学と工学、造形技術とノウハウの構築




## 機械学習による積層造形高度化




## ﾄﾎﾟﾛｼﾞｰ設計による最適形状

# 2. ロードマップ

| | 研究項目 | 2022年度 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 2023年度 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 進捗状況 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 新たな価値創造 | **高周波焼入コイル**<br>ティーケーエンジニアリング | | | 焼入試験 | | | | | | 連続焼入試験 | | | | | | | | | | | | ◎ 連続焼入目標10万→100万回達成 |
| | | | | 熱処理による物性変化の把握 | | | | | | 微視組織と物性関連付け、CAEによる変形予測 | | | | | | | | | | | | ○ |
| | | | | シミュレーションによる形状最適化 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ◎ 特殊形状製品の焼入が可能に |
| | **高周波焼付コイル**<br>旭ゴム化工 | | | 積層コイル設計 | | | | | | 積層コイルの造形・焼付品質の検討 | | | | | | | | | | | | ◎ 良好な樹脂焼付品質 |
| | | | | 3D CAD設計 | | | | | | 温度分布の計測 | | | | | | | | | | | | ○ |
| | | | | | | | | | | シミュレーションによる設計検討 | | | | | | | | | | | | ◎ 加熱温度ムラ抑制 |
| | **プラスチック射出成形金型**<br>名古屋多田精機 | | | 銅合金金型の設計 | | | | | | 銅合金金型の試作 | | | | | | 試作金型の検証 | | | | | | ◎ 成形試験結果良好 |
| | | | | 銅合金金型特性の把握 | | | | | | | 銅合金金型の材料特性検証 | | | | | | | | | | | ○ |
| | | | | 3D CAD設計 | | | | | | | | | | | 実証金型の設計・作製 | | | | | | | ○ |
| Ⅱ期Ⅲ期成果の高度化 | **アルミダイカスト成形金型**<br>日比野工業<br>前田技研 | | | 積層造形金型の信頼性向上 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ◎ めっき効果の鋳造実証試験 |
| | | | | 水管内壁の研磨方法の検討 | | | | | | 水管内壁の研磨条件の検討 | | | | | | | | | | | | ○ |
| | | | | 水管内壁のめっき検討 | | | | | | 水管内壁のめっき条件検討・熱伝導特性の把握 | | | | | | | | | | | | ○ |
| | **深絞りプレス成形金型**<br>旭精機工業<br>フジミインコーポレーテッド | | | 深絞りプレス金型の耐久性の評価と改良 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ○ 100万ショット以上の耐久性確認 |
| | | | | 超硬合金材料組成、造形条件の最適化 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| | | | | 成形試験による金型信頼性・成形品品質の評価 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| 新材料での造形 | **磁気応用製品**<br>旭精機工業 | | | 材料粉末の選定 | | | | | | 純鉄粉末による積層造形と造形物の物性把握 | | | | | | | | | | | | ○ 造形・磁気特性評価 |
| | | | | | | | 造形パラメータの探索 | | | | | | | | | | | | | | | ○ |
| | **高強度軽量部材**<br>トヨタ自動車 | | | （アルミ母材）造形パラメータの探索（TP）、部品への適用検討 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ○ 複合体造形・ヤング率向上 |
| | | | | | | | | | | （鉄系母材）造形パラメータの探索（TP） | | | | | | | | | | | | ○ |
| 人材 | **PBLによるAI人材育成** | | | 参画企業からの課題抽出 | | | | | | 各課題への最適AI手法の提案 | | | | | | 各課題でのAI適用検討 ★セミナー開催 | | | | | | ◎ セミナーによる成果普及 |

# 3. 研究開発の実施状況（１）

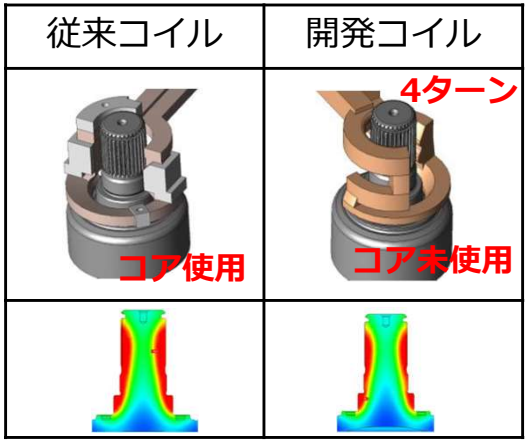
TKE：ティーケーエンジニアリング
ACIST：あいち産業科学技術総合センター

## １．新たな価値創造（スタートアップ活用テーマ：銅合金積層造形）

a. 高周波焼入用コイル：❶ 連続焼入試験、❷物性と微視組織の関連付け 、CAE変形予測❸シミュレーションによる形状最適化
b. 高周波焼付用コイル：❶ 積層コイルの造形、❷ 温度分布の計測、❸シミュレーションによる設計検討
c. プラスチック成形金型：❶銅合金製金型の試作・検証、実証金型の作製、❷銅合金製金型の材料特性検証

| | |
|---|---|
| **a.高周波焼入用コイル** | **❶ 連続焼入100万回達成, 達成コイルの調査実施中, ❷ 積層銅合金の物性取得、微視組織との関連付けを実施中, CAEによる造形時の変形予測実施, ❸ 特殊形状部品で熱処理仕様を満足できるコイルを開発（図１）**<br>役割：❶TKE, ❷TKE, 名大, ACIST, ❸TKE, 早稲田大 |
| **b.高周波焼付用コイル** | **❶ 改良設計による積層コイル造形完了, ❷被加熱製品内の温度分布を把握完了, コイル間の温度ばらつき低減, ❸シミュレーションによる温度ムラが小さいコイル設計(±33℃)（図２）** 役割：❶TKE, ❷旭ゴム化工❸TKE, 旭ゴム化工 |
| **c. プラスチック射出成形金型** | **❶銅合金製金型の試作、成形検証を実施（図３）, 実証金型の作製完了, ❷熱伝導率目標値を達成、硬度向上を実施中**<br>役割：❶TKE, 名古屋多田精機, ❷TKE, 名古屋多田精機, 名大, ACIST |

**銅合金の積層造形（コイル、金型）および電熱シミュレーションはTKE（株）（スタートアップ）で実施**




劣化要因となるコアを使用しないコイルの開発に成功

図１　開発した特殊形状部品用コイル（高周波焼入コイル）

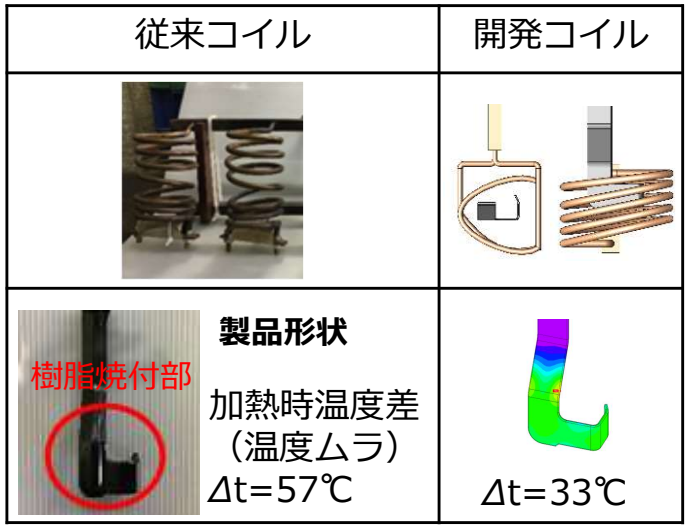



図２　コイル形状の検討（高周波焼付コイル）

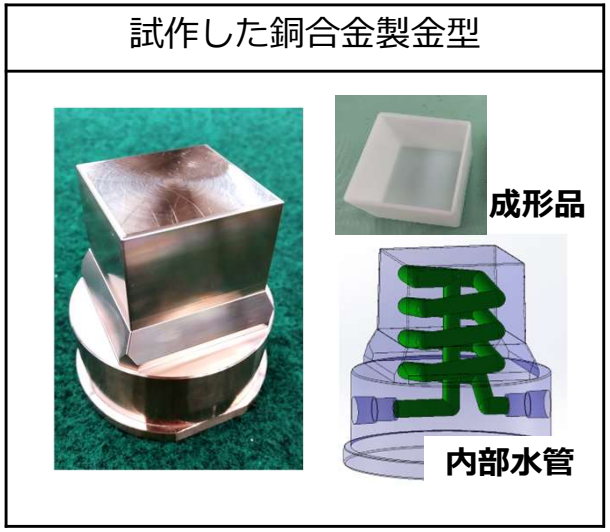



図３　銅合金製金型の試作

# 3. 研究開発の実施状況（２）

## ２．積層造形金型（Ⅱ期、Ⅲ期の成果の高度化）

a. アルミダイカスト金型: ❶水管内壁の研磨条件の検討、❷水管内壁のめっき条件検討・熱伝導特性の把握
b. 深絞りプレス成形金型：❶成形試験による金型信頼性、成形品品質の評価, ❷超硬合金材料組成、造形条件の最適化

| | |
|---|---|
| **a. アルミダイカスト金型** | **❶ 研磨による水管内壁の表面粗さRz 20μm以下を達成（図４）, ❷金型水管内壁にめっき処理を実施し、効果を確認（必要厚さの明確化）（図５）, 熱伝達特性の評価を実施**<br>役割：❶日比野工業, ACIST ❷日比野工業, 前田技研, ACIST |
| **b. 深絞りプレス金型** | **❶ 実プロセスでの成形実験で100万ショット以上の成形を達成（図６）。成形品も良品判定, インライン計測の実証試験用パンチ金型を作製中**<br>**❷ 超硬合金材料組成、造形条件の再検討による性能向上（硬度 HRA88以上、造形誤差0.2mm以下達成）**<br>役割：❶旭精機工業, ❷フジミインコーポレーテッド, 旭精機工業, 名大 |

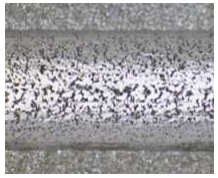
| 研磨なし | 研磨10min | 研磨30min | 研磨120min |
|---|---|---|---|
| | |  | |
| Rz 190μm | Rz 138μm | Rz 19μm | Rz 13μm |

図４　研磨時間による金型水管内壁の粗さ変化

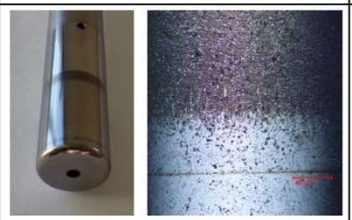
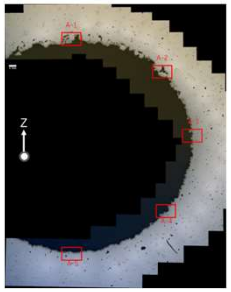
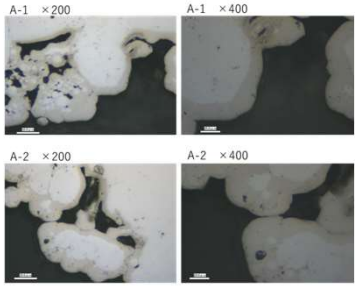
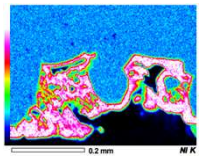
| 1万ショット | 13万ショット | 109万ショット |
|---|---|---|
| |  | |

図６　積層超硬合金パンチによる耐久性の評価経過

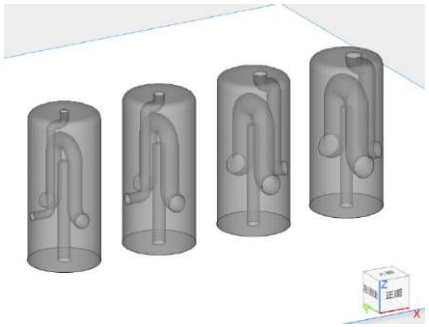




凹凸表面にも隙間なくめっき付着

図５　金型水管内壁（未研磨）へのめっき処理



造形誤差の低減により、複雑かつ複数の穴形状を有する積層造形品の作製にトライ中

図７　積層超硬合金パンチの造形誤差の低減

# 3. 研究開発の実施状況（３）

## ３．用途の拡大に向けた新規積層造形材料の開発

a. 磁気応用製品：❶純鉄粉末による積層造形パラメータの探索, ❷造形物の物性把握
b. 高強度軽量部材：積層造形による金属-無機複合体のパラメータ探索　❶アルミ母材, ❷鉄母材

| | |
|---|---|
| a.　磁気応用製品 | **❶ 機械学習による造形条件の最適化（図８）、最適条件での造形実施（図９）**<br>**❷ 純鉄造形物の造形条件ごとの相対密度、保磁力の把握**<br>役割：❶旭精機工業, 名大, ACIST, ❷旭精機工業, ACIST |
| b. 高強度軽量部材 | **❶アルミ＋無機複合材の高充填率条件での機械特性評価実施、ヤング率向上を確認。（図10）**<br>**❷鉄＋無機複合材で造形実験開始。機械学習を用いて最適条件探索中。（図11）**<br>役割：❶トヨタ自動車, 名大, ACIST, ❷トヨタ自動車, 名大, ACIST |

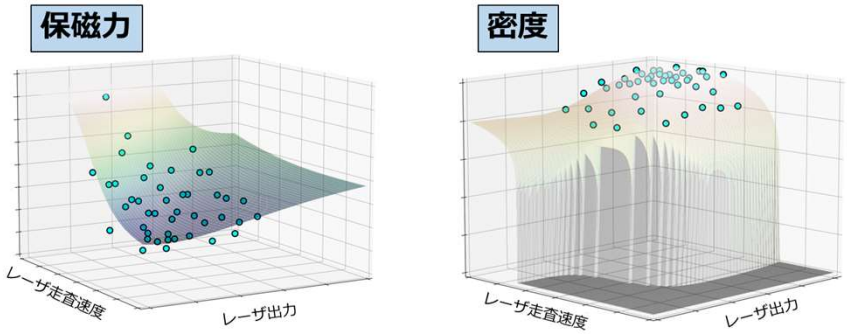



図８　機械学習による造形パラメータの探索

図９　純鉄粉末によるリング形状造形物の作製と磁気特性評価

強度に悪影響を及ぼす粗大欠陥なし

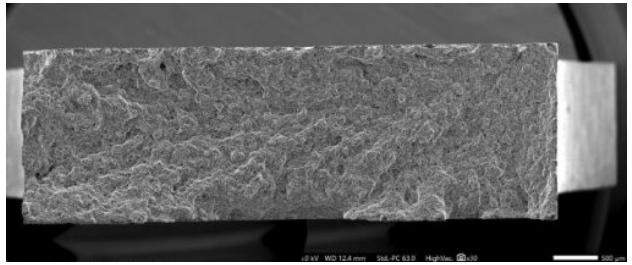
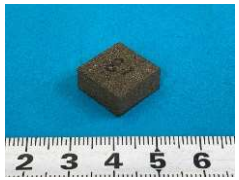


図10　アルミ＋無機複合材造形物の作製



微細粒を維持した複合体造形に成功

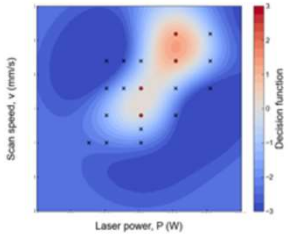



図11　鉄＋無機複合材造形物の作製、機械学習による最適条件の探索

# 4. 研究実績

**特許**　０件

**発表**　投稿論文：英文（5件）、和文（１件）　　解説記事：和文（１件）
　　学会発表：国内（5件）、国際（10件）　　招待講演：国内（０件）

**情報発信**
　セミナー等での講演　11回
　展示会　3回

**セミナー等の開催**　２回
　「3Dプリンタの特徴を活かしたCAE技術」（2023/1/13）
　「金属3D積層造形とデータサイエンス」　（2023/12/22）

**研究会の開催**　5回
　「積層造形による素形材イノベーション研究会」
　　（公財）科学技術交流財団（R3～R4）
　「積層造形と融合技術による価値創造研究会」
　　（公財）科学技術交流財団（R5～R6）

**会議の開催件数**

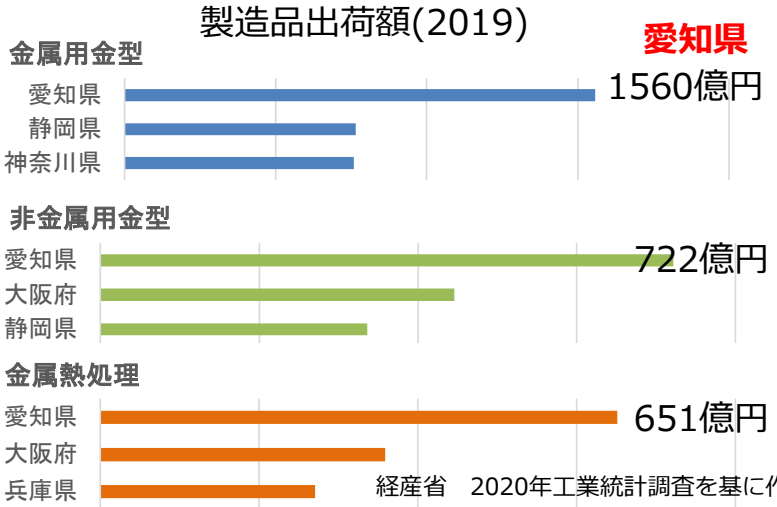
| | |
|---|---|
| 研究開発推進会議 | 5回 |
| 幹事会、ワーキンググループ等 | 58回 |
| PBL活動 | 7回 |

# 愛知県の産業構造に適合する積層造形技術活用

・金型生産、金属熱処理出荷額は愛知県が全国トップクラスである。これまでより**高機能なマザーツール（金型、誘導加熱コイル）の開発・普及および新材料開発を行うことにより、生産性向上や製品の多機能化、環境対応等、県産業の競争力向上に直結**する。

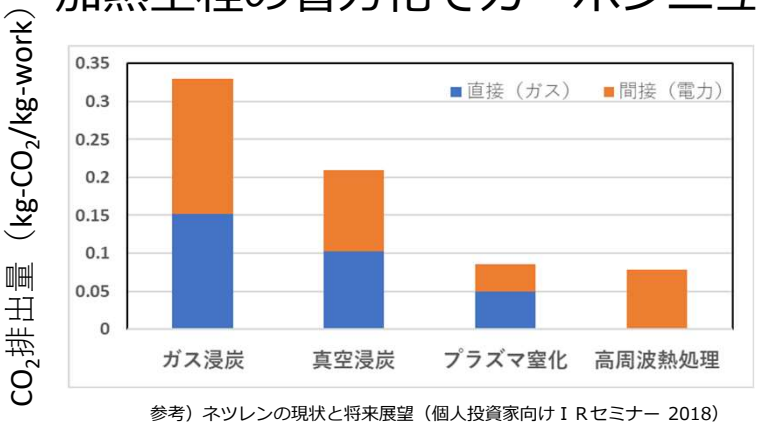
## 金型・熱処理コイル（＝マザーツール）

金型、金属熱処理製造品出荷額は愛知県が全国トップ



## 加熱工程

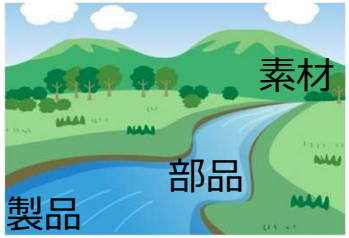
加熱工程の省力化でカーボンニュートラル

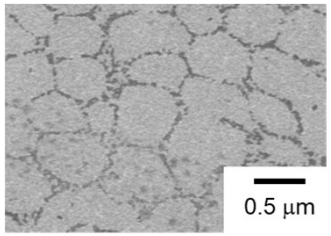



参考）ネツレンの現状と将来展望（個人投資家向けＩＲセミナー 2018）

## 新材料開発

モノづくりの上流工程




**価値：良い製品を速くつくる、耐久性能が高い、新しい機能、カーボンニュートラル**

# 5. 事業化の見通し（２）

**積層造形部材の事業化により、製品開発、製造工程への効果に加え、営業機会の拡大等にも大きく寄与**

・高周波加熱コイルの製造期間短縮・高信頼性化による製造工程の低コスト化
・金型の高信頼性化・ハイサイクル化等による製造工程の低コスト化
・コイル、金型の最適設計による熱処理、成形の品質向上および製品（熱処理品、成形品）の数量・品目拡大
・迅速な試作による営業機会の拡大、機械学習による新たな積層造形部材の開発
・スタートアップ企業を含む積層造形関連コミュニティの形成による、迅速な課題解決と新事業への発展

売上高及び経済効果（見込み）

| | 令和８年３月時点 | 令和１０年３月時点 | 令和１２年３月時点 |
|---|---|---|---|
| 高周波焼入用コイル・焼入品 | 加熱コイルの長寿命化・最適設計・納期短縮で売上げ拡大<br>年間売上高　　1億円 | 加熱コイル及びコイル以外の銅製品の受託造形で売上げ拡大<br>年間売上高　　1億3千万円 | 加熱コイル及びコイル以外の銅製品の受託造形で売上げ拡大<br>年間売上高　　1億6千万円 |
| 高周波焼付用コイル・焼付品 | 積層造形によるコイルの試作利用による納期短縮と原価低減<br>年間売上　50万円 | 積層造形によるコイルの量産利用による納期短縮と原価低減<br>年間売上　200万円 | 積層造形によるコイルの量産利用による納期短縮と原価低減<br>年間売上　400万円 |
| プラスチック射出成形金型・成形品 | 高熱交換金型によるハイサイクル化に伴う使用エネルギーの低減(省エネルギー化成形)<br>年間売上 200万円 | 高熱交換金型によるハイサイクル化に伴う使用エネルギーの低減(省エネルギー化成形）年間売上 600万円 | 高熱交換金型によるハイサイクル化に伴う使用エネルギーの低減(省エネルギー化成形）年間売上 1000万円 |
| アルミダイカスト金型・成型品 | 金型の長寿命化(1.5倍、10万→15万ショット)によるコスト削減 1型 経済効果 160万/年<br>年間売上高+3% 総額55.6億円 | 金型の長寿命化(1.5倍、15万ショット)によるコスト削減　3型 経済効果 500万/年<br>年間売上高+5% 総額56.7億円 | 金型の長寿命化(2倍、20万ショット)によるコスト削減　5型 経済効果 850万/年<br>年間売上高+10% 総額59.4億円 |
| 深絞り成形金型・成形品 | 積層造形による金型の量産利用による納期・コスト削減　経済効果 100万/年<br>インライン計測システムの販売による機器販売の年間売上高 1.5億円 | 積層造形による金型の量産利用による納期・コスト削減　経済効果 200万/年<br>インライン計測システムの販売による機器販売の年間売上高 3億円 | 積層造形による金型の量産利用による納期・コスト削減　経済効果 400万/年<br>インライン計測システムの販売による機器販売の年間売上高 5億円 |
| 磁気応用製品 | 実製品造形 | 展示会出展、適用製品の拡大検討 | サンプル出荷　100個程度／年 |
| 高強度軽量部材 | アルミ高剛性材の部品試作への織り込み | アルミ高剛性部品の市場投入，治具適用<br>鉄系高剛性材の金型への適用検討 | アルミ高剛性材製治具の量産利用<br>鉄系高剛性材の金型<br>（ポンチ類）量産利用 |

# 6. 県産業への貢献度、人材育成等（１）

## 新産業創出、産業競争力強化、AI人材育成、ゼロカーボン技術で貢献します

### 本プロジェクト終了時に想定する貢献

**Ⅱ期、Ⅲ期の成果の高度化に加え、スタートアップ企業との連携による地域産業の共通課題の解決**

① 積層造形技術・材料開発・解析技術の高度化による誘導加熱の実現（ゼロカーボン加熱技術）
↑Ⅱ･Ⅲ期成果活用新テーマ

② 積層造形プロセスの特徴を利用した新材料創製（複合材料、磁性材料）←Ⅱ･Ⅲ期基礎研究継続

③ 実証実験による量産化技術確立（ダイカスト材、射出成形材）←Ⅲ期実証試験成果活用

④ 次世代高度ものづくり人材の輩出（CAE, AIの問題解決型学習）とアウトリーチ活動による成果普及
←Ⅲ期取り組みの拡張とリニューアル

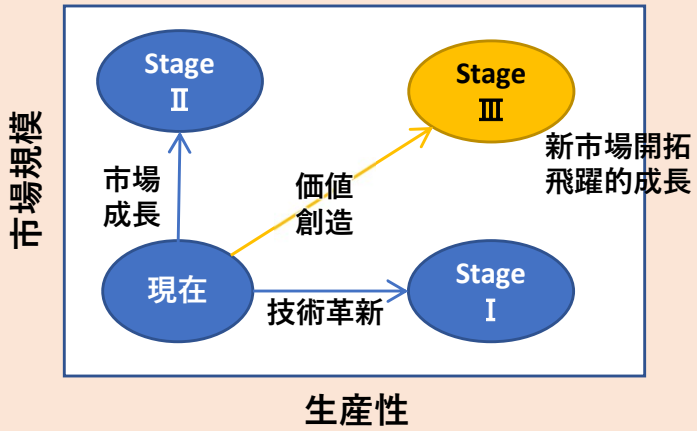
**-- 目 標 ----------**

- ✓ **銅合金積層造形を応用したゼロカーボン加熱技術**
- ✓ **プレス金型･ダイカスト金型の量産化**
- ✓ **複合材料・磁性材料の積層造形技術開発**
- ✓ **実践的取組(PBL)によるAI人材の輩出**

**----------**

### 5～10年後に想定する貢献

**素形材産業を始めとする県内産業にSDGs, ゼロカーボンなど新しい価値と新しい市場をもたらす**




① 成熟している構造へのデジタル導入によるイノベーション創出
② 価値創造による新市場開拓と産業の活性化
③ 人材育成アウトリーチ活動による実践型AI人材の増加と活躍

**-- 豊 富 ----------**

- ✓ **(技術×人材)で新しい社会ニーズに対応するイノベーションを創出する基盤の創出**
- ✓ **AI人材の社内育成システムを構築**

**----------**

**〇新産業の創出（イノベーション）**
**〇AI人材育成**

**〇既存製品の価値･生産性向上（飛躍的成長）**
**…を目指します！**

# 6．県産業への貢献度、人材育成等（２）

**地域産業におけるイノベーション創出に向けた即効的な取組を実施**
**・Pr.で得た新たな知識を元に、企業変革にチャレンジする人材の育成**
**・積層造形技術、AI等の活用を可能とするリカレント教育プログラムの実施**

**積層造形プロセスを基盤としてIoT、AI、MIを横断的に駆使できる新たな人材の育成**

・OJTによる企業人材の育成

**参画企業での電磁気シミュレーション、AI活用等の実践**

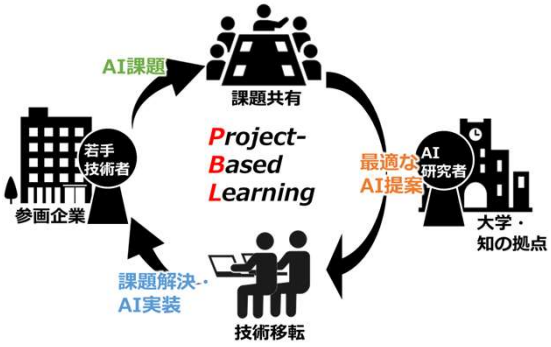
OJT: On-the-Job Training
IoT: Internet of Things
AI：Artificial Intelligence
MI：Materials Informatics

**地域産学行政の連携を通じた産業人材の育成**

・「積層造形による素形材イノベーション研究会」（公財）科学技術交流財団（R3~R4年度）
「積層造形と融合技術による価値創造研究会」（公財）科学技術交流財団（R5~R6年度）
共通課題に関する情報交換、国内外の最新動向の紹介等

・「 企業のAI実装を拓くPBL」

Pr.参画企業若手メンバー・大学院生による**問題解決型AI人材養成**を実施中




PBL:Project-Based Learning
（問題解決型学習）

・ 公開型のAI普及セミナーを開催

「 金属3D積層造形とデータサイエンス」(2023.12.22)

・ Pr.参画大学・企業間でのインターンシップ