

『Meet up Chubu』 vol.10 デジタルトランスフォーメーション
3D積層造形 (Additive Manufacturing)

積層造形技術の深化によるものづくり 分野での新しい価値創造

名古屋大学 大学院工学研究科 物質プロセス工学専攻 小橋 眞

素材に自由形状を付与するプロセスとして金属積層造形が注目され、様々な素形材の製造方法として期待が高まっています。特に、マザーツールと呼ばれ、一つのツールが何十万という製品を生み出す金型や加熱コイルなどへの適用は費用対効果が高いと考えられます。今回は、愛知県の「知の拠点あいち重点研究プロジェクト」の2期、3期において取り組んだ金属積層造形の研究開発成果や、令和4年度からスタートした4期事業における研究取組についてご紹介し、積層造形を活用した付加価値の高いモノづくりについて皆様と一緒に考えたいと思います。

自己紹介

略 歴

名古屋大学工学部金属・鉄鋼工学科卒業

同大学院工学研究科マテリアル理工学専攻修了

(現在)

同物質プロセス工学専攻

専門分野

材料プロセス開発

所属学会

軽金属学会、粉体粉末冶金協会、

金属学会、鋳造工学会、塑性加工学会

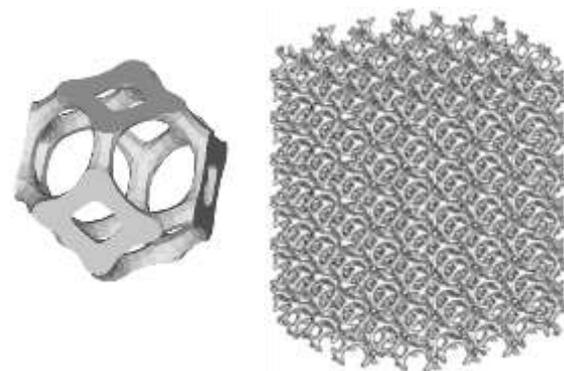
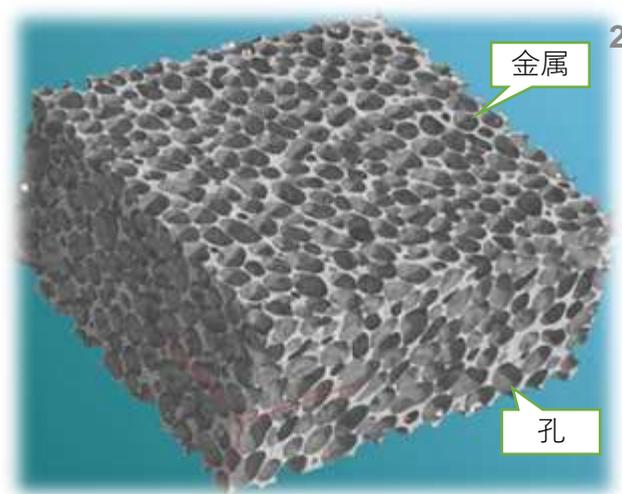
現在の研究課題

複合材料、ポラス材料、異材接合 (樹脂/金属)

Additive Manufacturing (積層造形、3DP)

• 知の拠点あいち重点研究プロジェクト第IV期→積層造形産業応用

• 科学研究費補助金 →アルミBJT (基盤A) ,
→浸透方式AM (挑戦的研究)

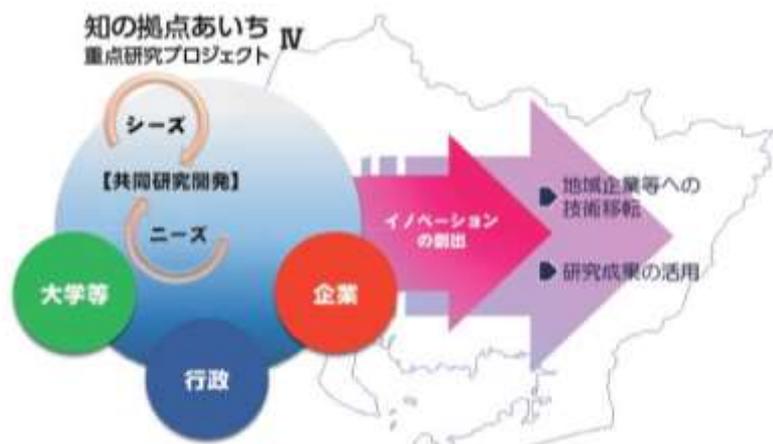


本日の内容

1. 金属Additive Manufacturingの紹介
2. **知の拠点あいち重点研究プロジェクト第3期の取り組み
(開発)**
3. 知の拠点あいち重点研究プロジェクト第3期の取り組み
(研究)
4. まとめ

知の拠点あいち 重点研究プロジェクト 第Ⅳ期

プロジェクト Core Industryの9テーマ



■ 研究テーマ概要 (※◎印は研究リーダー所属機関、○印は事業化リーダー所属機関)

スマートファクトリーの完全ワイヤレス化に向けた非接触電力伝送

豊橋技術科学大学◎、(株)近藤製作所○
(株)コンメックス、(株)ソーホーエード
(株)村田製作所、(株)パワーウェーブ

【概要】

スマートファクトリー実現に向けた産業用ロボット及び工場内センサへの基礎送電技術の開発



超高効率エレクトロニクスを実現するMBDと融合した革新的素材開発

(株)U-MAP◎、AZAPA(株)○
名古屋大学、豊橋技術科学大学

【概要】

電子部品の放熱性向上のための材料開発及び基板構造の最適設計技術の開発

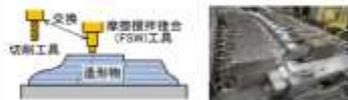


金属3D造形技術CF-HMの進化による航空機部品製造用大型ジグの革新

名古屋大学◎、三菱重工業(株)○
菱輝金型工業(株)、オークマ(株)
あいち産業科学技術総合センター

【概要】

切削とFSW(重ねせと突合せ)の組合せで寸法限界を突破する3Dプリンティング技術の開発



積層造形技術の深化によるモノづくり分野での複雑製造とイノベーション創出

名古屋大学◎、ティーケーエンジニアリング(株)○
旭ゴム化工(株)、旭精機工業(株)
トヨタ自動車(株)、(株)名古屋多田精機
日比野工業(株)、(株)フジミンコーポレートッド
早稲田大学、あいち産業科学技術総合センター

【概要】

積層造形による誘導加熱コイル(銅合金)や、深絞り成形金型など新規積層造形技術の開発



塗膜/外用剤の次世代分子デザインに向けた3次元可視化法の確立

名古屋大学◎、中京油研ホールディングス(株)○
日本メナード化粧品(株)○
あいち産業科学技術総合センター

【概要】

紙・フィルム等へのコーティング塗膜の構造解析及び化粧品成分の皮膚への浸透にかかる可視化技術の確立



カーボンニュートラル社会実現に向けた先端可視化計測基盤の構築

(公財)科学技術交流財団◎、(株)デンソー○
愛知県立大学、名古屋大学、東北大学
センソコム(同)、(株)マックスシステムズ

【概要】

CFRP等を計測対象とした、低い密度差にも敏感な内部構造可視化

人工シテロフォア技術を用いた大腸菌群検出技術・装置の開発

名古屋工業大学◎、(株)稲屋○
ケイアイ化成(株)、北村マテリアルリサーチ

【概要】

培養操作が不要な迅速・高感度かつ低コストでの大腸菌群検出技術・装置の開発

高機能複合材料CFRPの繊維リサイクル技術開発と有効利用法

豊橋技術科学大学◎、ソブエクレイ(株)○
堀井ファイバテック(株)○、(株)fff fortississimo○
(株)クレハ、矢作建設工業(株)
岐阜大学、あいち産業科学技術総合センター
(国研)産業技術総合研究所

【概要】

一軸混練技術によるリサイクル

ナノ中空粒子を用いた環境対応建材の研究開発

名古屋工業大学◎、玄々化学工業(株)○
(株)サンゲツ、(同)F-Plan

【概要】

超断熱性能を有するナノ中空粒子を活用した建材(壁装材及びガラス)向け塗料を開発

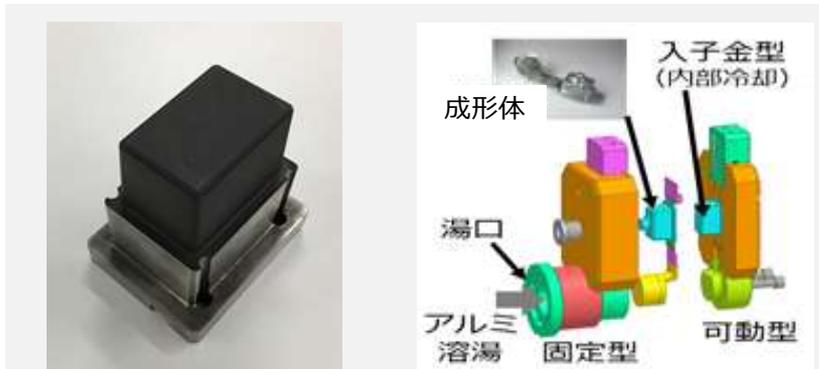
3つの分野の産学行政連携で県内産業の成長につながるイノベーション創出を目指す

3つの分野 Core Industry, DX, SDGs

第三期プロジェクトで検討した各種金型

アルミダイカスト金型及び成形品の開発

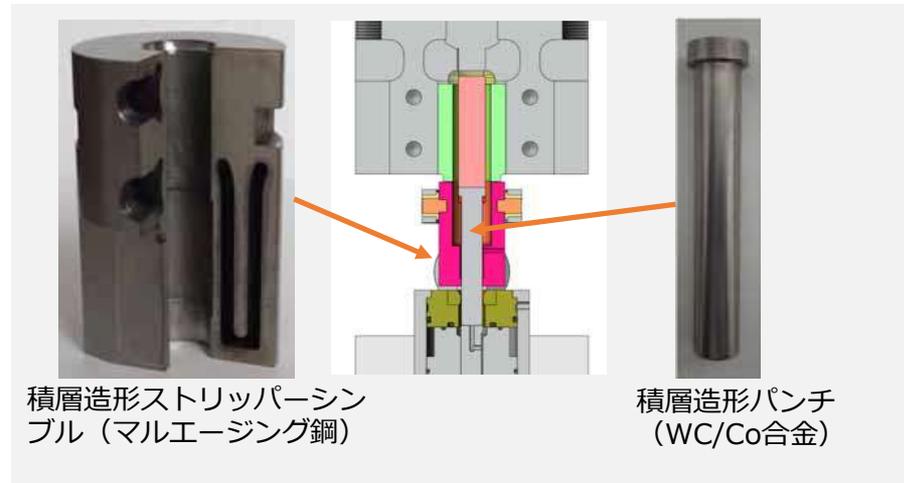
課題：金型の高耐久・長寿命化
成形体の機械的特性の検証



CC処理・内部冷却積層造形金型（入子）

深絞りプレス金型及び成形品の開発

課題：積層造形金型（超硬パンチ、ストリッパーシンプル）の品質改善、成形精度向上、低コスト化



積層造形ストリッパーシンプル（マルエージング鋼）

積層造形パンチ（WC/Co合金）

熱可塑性エラストマ発泡体、ゴム成形用高生産性金型及び成形品の開発

課題：金型への温度調整機能の付与

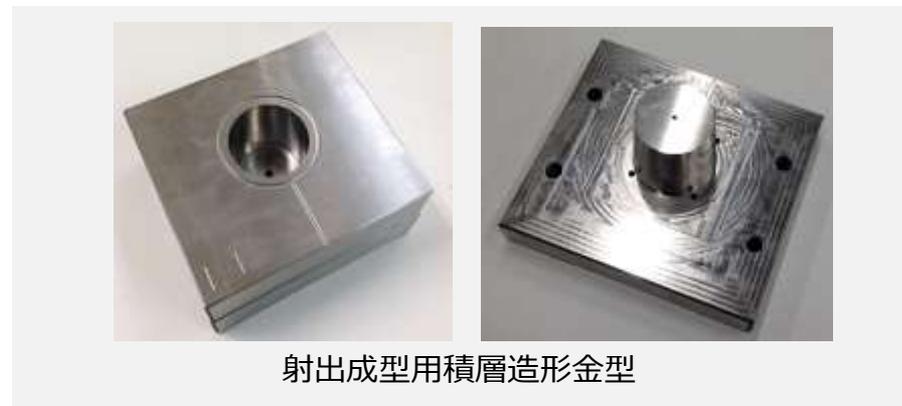


ゴム成形用積層造形金型
（アンダーカット形状）

熱可塑性エラストマ
による発泡成形体

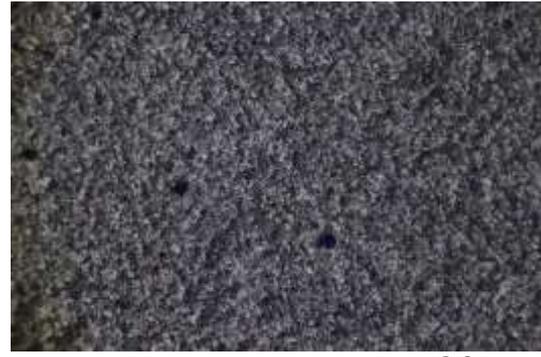
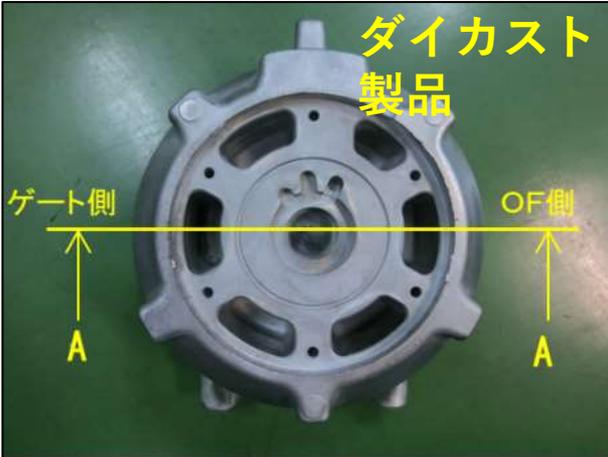
プラスチック射出成形用金型及び成形品

課題：成形体の精度向上、ハイサイクル化、低コスト化



射出成型用積層造形金型

①アルミダイキャスト 3次元冷却金型とC/Cの組合せ



金型
マルエーシング鋼
メックインターナショナル、日比野工業

3D冷却構造積層造形金型とカーボンコーティングの組み合わせ

で製品品質を評価した (出展) 知の拠点あいち重点研究プロジェクト第3期報告書

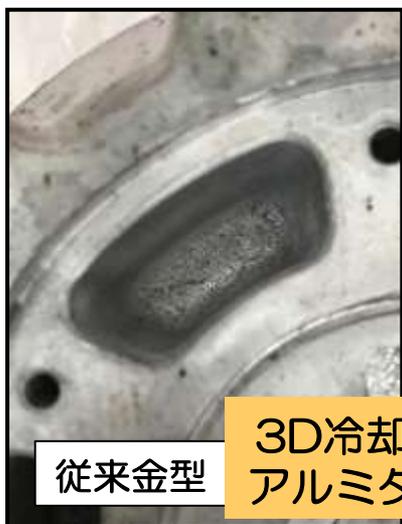
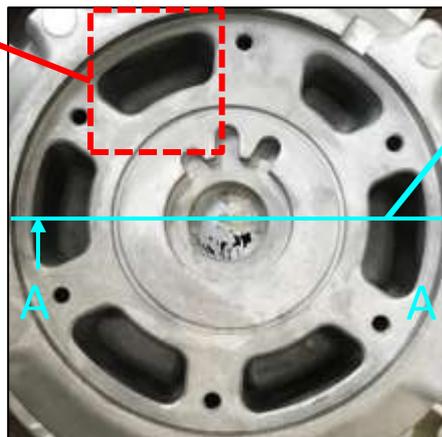
C/C積層造形金型によるダイキャスト製品

①成形体の表面品質

CC処理面の表面品質は良好



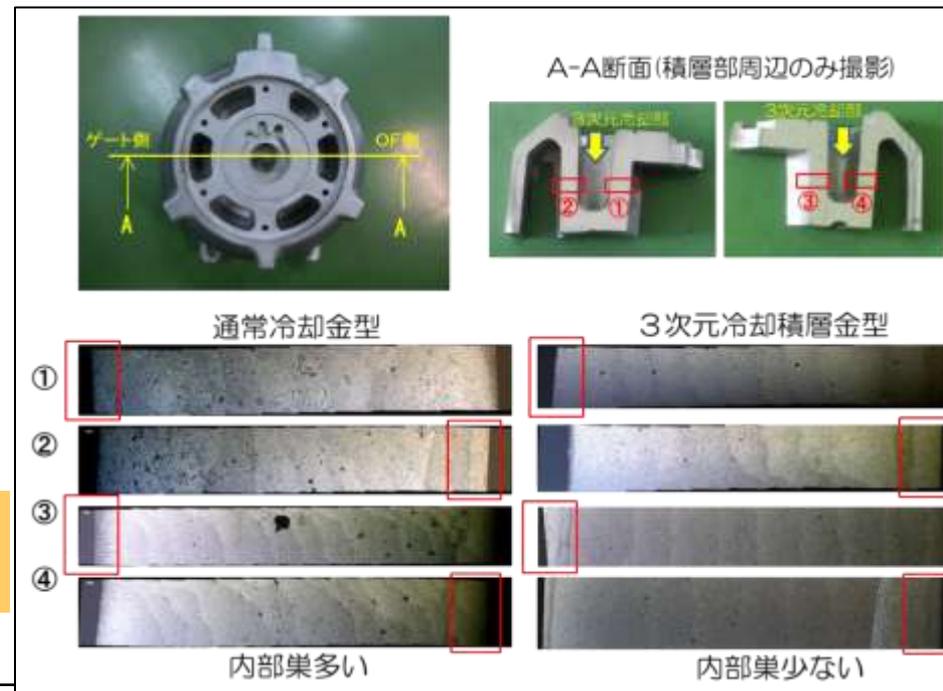
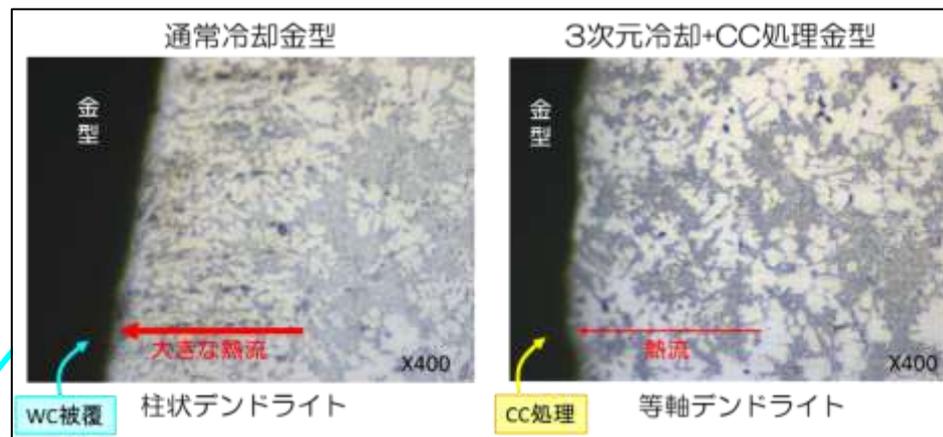
開発金型



従来金型

3D冷却+CC処理金型で試作したアルミダイキャストの内部巣は減少

②成形体の内部品質



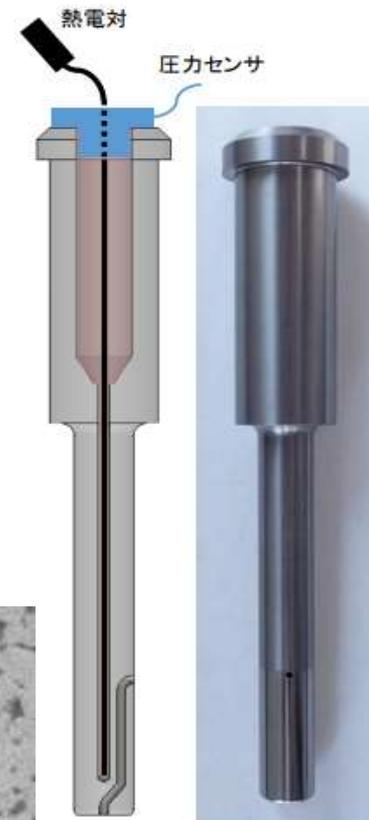
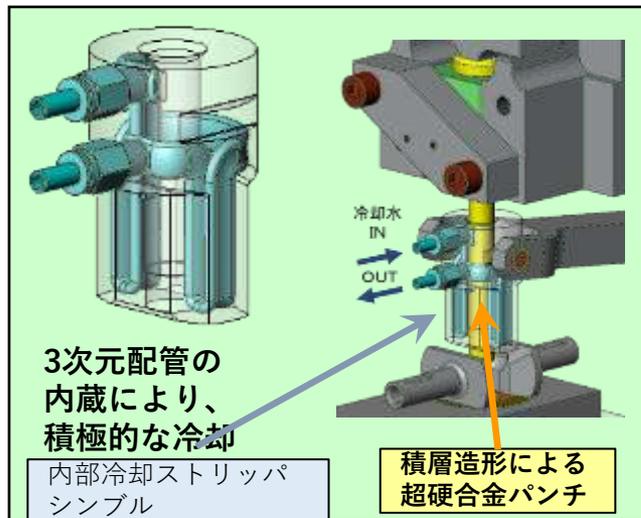
CCと3D冷却の組み合わせにより、成形体の品質が向上する

② 深絞りプレス金型（超硬合金WC/Coの積層造形）

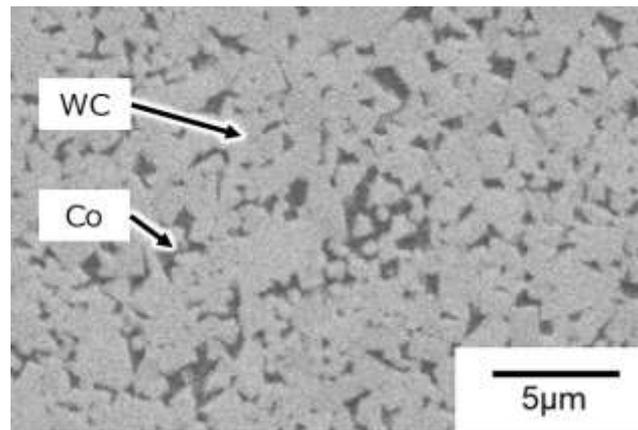
- ・ 超硬合金（WC/Co）パンチの積層造形パラメータの最適化（微視組織の均質化、欠陥低減）
- ・ 生産設備に試作パンチ金型（#4）を設置し、プレス成形（実証試験）



多工程 トランスファー金型



内部構造モデルと積層造形パンチ



一般的なWC/Coの組織写真

フジミインコーポレーテッド, 旭精機工業

出展) 知の拠点あいち重点研究プロジェクト第3期報告書

成形が難しい超硬合金でセンサーを内蔵する金型を造形した

③ ゴム金型、プラスチック射出成型

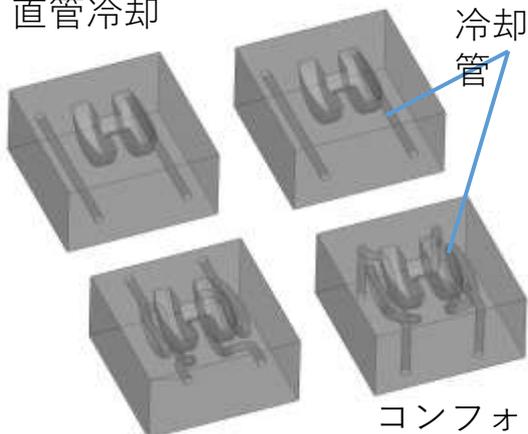
- 内部冷却構造の異なる金型（熱可塑性エラストマ成形）の設計・試作を実施（成形サイクルタイム短縮）

- ① ベース材料のみの場合
冷却時間200秒→160秒（40秒(20%)短縮）
- ② ベース材料に発泡剤を添加した場合
冷却時間160秒→80秒（80秒(50%)短縮）



コンフォーマル冷却を有する金型は従来の直管冷却のものとは比べ、冷却時間が20～50%短縮

直管冷却



コンフォーマル冷却

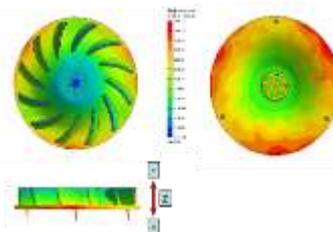
熱可塑性エラストマ成形用試作金型
（マルエージング鋼）

- 内部冷却金型の設計を実施（成形サイクル短縮、寸法精度向上）

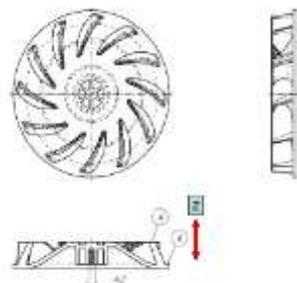
- 薄肉かつ高精度な形状が要求されるシロッコファン部品の射出成形試験を通じて、内部冷却が寸法精度に及ぼす影響を検証



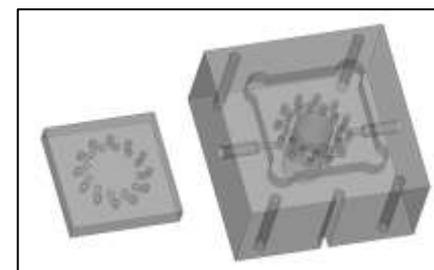
- 成形時間が約1/5に短縮した。寸法精度は従来型とほぼ同等



流動解析によるZ方向の変位量予測



寸法精度の検証



プラスチック射出成形用の試作金型
（シロッコファン用コンフォーマル入子）

旭ゴム化工

名古屋多田精機

出展) 知の拠点あいち重点研究プロジェクト第3期報告書

三次元水冷金型により成形サイクルが短縮される

本日の内容

1. 金属Additive Manufacturingの紹介
2. 知の拠点あいち重点研究プロジェクト第3期の取り組み
(開発)
3. **知の拠点あいち重点研究プロジェクト第3期の取り組み
(研究)**
4. まとめ

積層造形金型の課題

1. 造形品質の安定性確保、新材料開発速度の向上

- ・ 積層造形金属の微視組織解析
- ・ 造形パラメータ（レーザ出力、走査速度、ピッチ幅、 etc. から一義的に決定）と造形品質の紐づけ
- ・ 造形パラメータ設計と機械学習

2. 最適流路構造の決定

- ・ CAE援用
- ・ トポロジー最適化

3. 水管内部の腐食・割れ防止

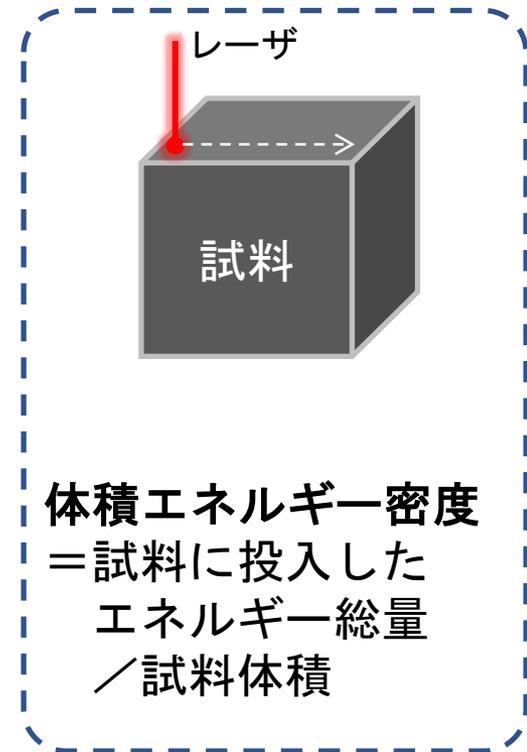
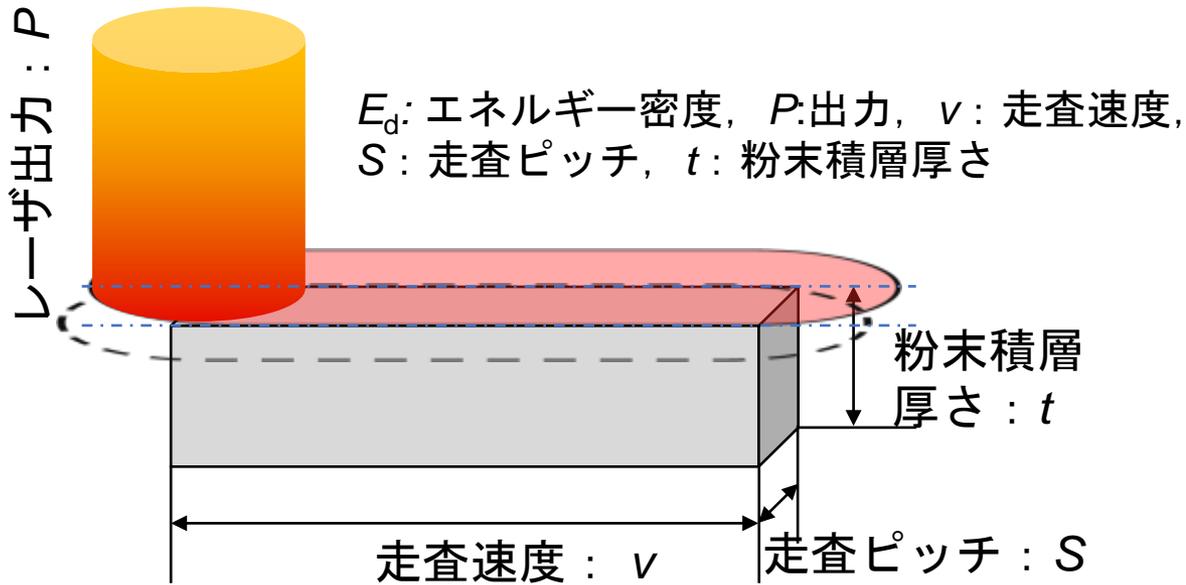
- ・ 流体研磨、メッキ

4. 長期信頼性確保

- ・ 疲労破壊、衝撃破壊

課題に対する取り組み：造形パラメータ検討

従来パラメータ：(VED: Volumetric Energy Density)
試料の単位体積あたりに投入されたエネルギー



VED

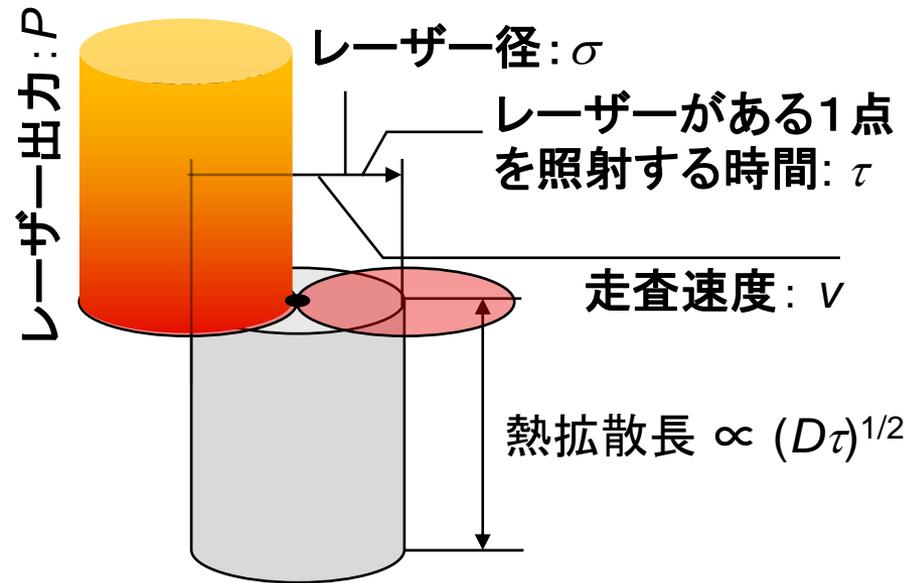
$$E_d = \frac{P}{v \cdot S \cdot t} \propto P/v$$

従来パラメータの課題抽出

課題に対する取り組み：造形パラメータ検討

開発パラメータ：(DED: Deposited Energy Density)

レーザーが一点を照射する時間、ビーム径、熱拡散長を考慮



レーザーの滞在時間： τ $\tau \sim \frac{\sigma}{v}$

入熱モデルの体積 $\pi\sigma^2\sqrt{D\tau}$

吸収されるエネルギー $AP\tau$

A ：レーザー吸収率

Deposited
Energy
Density

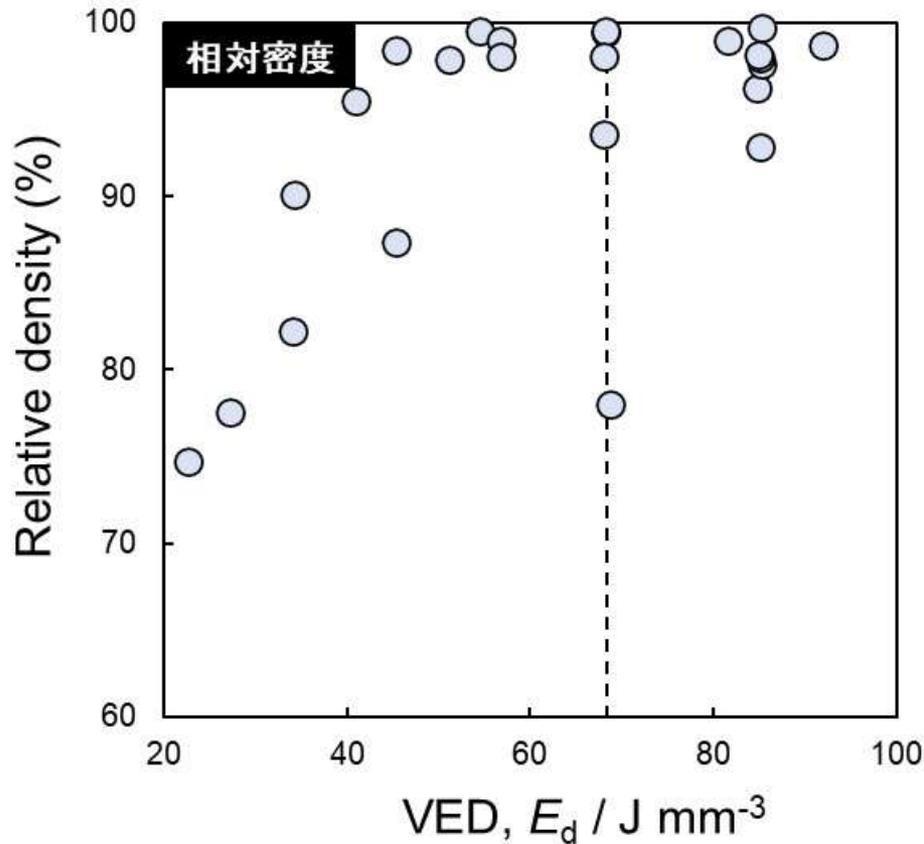
$$\Delta H = \frac{AP\tau}{\pi\sigma^2\sqrt{D\tau}} = \frac{AP}{\pi\sqrt{Dv}\sigma^3} \propto P/\sqrt{v}$$

Ref.) U.S. Bertoli et al. MATER. DES. 113 (2017) 331–340.

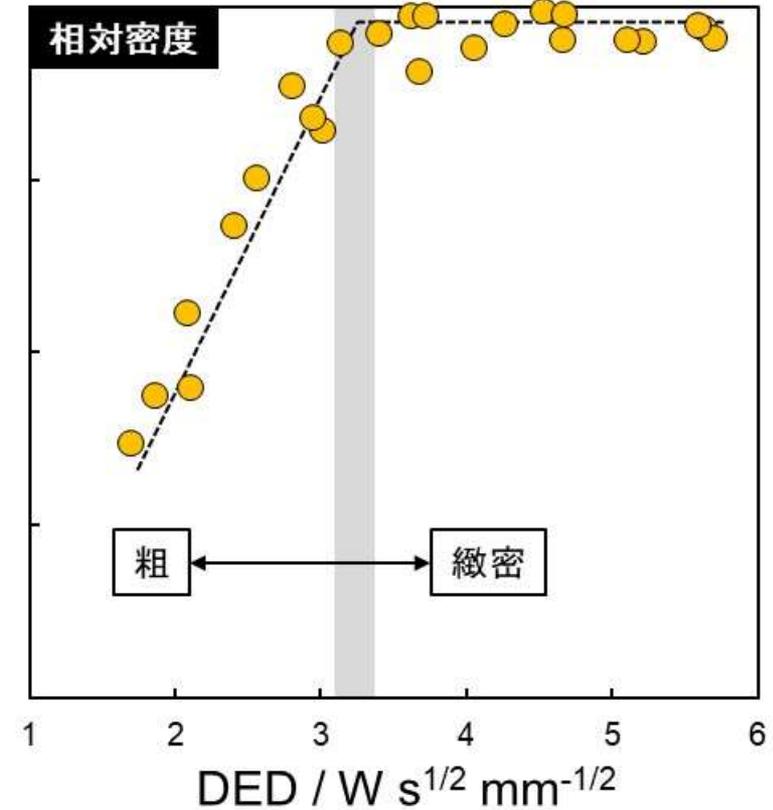
熱拡散を考慮にいれたパラメータの適用検討

新パラメータによる試料相対密度の整理

従来パラメータ (VED)



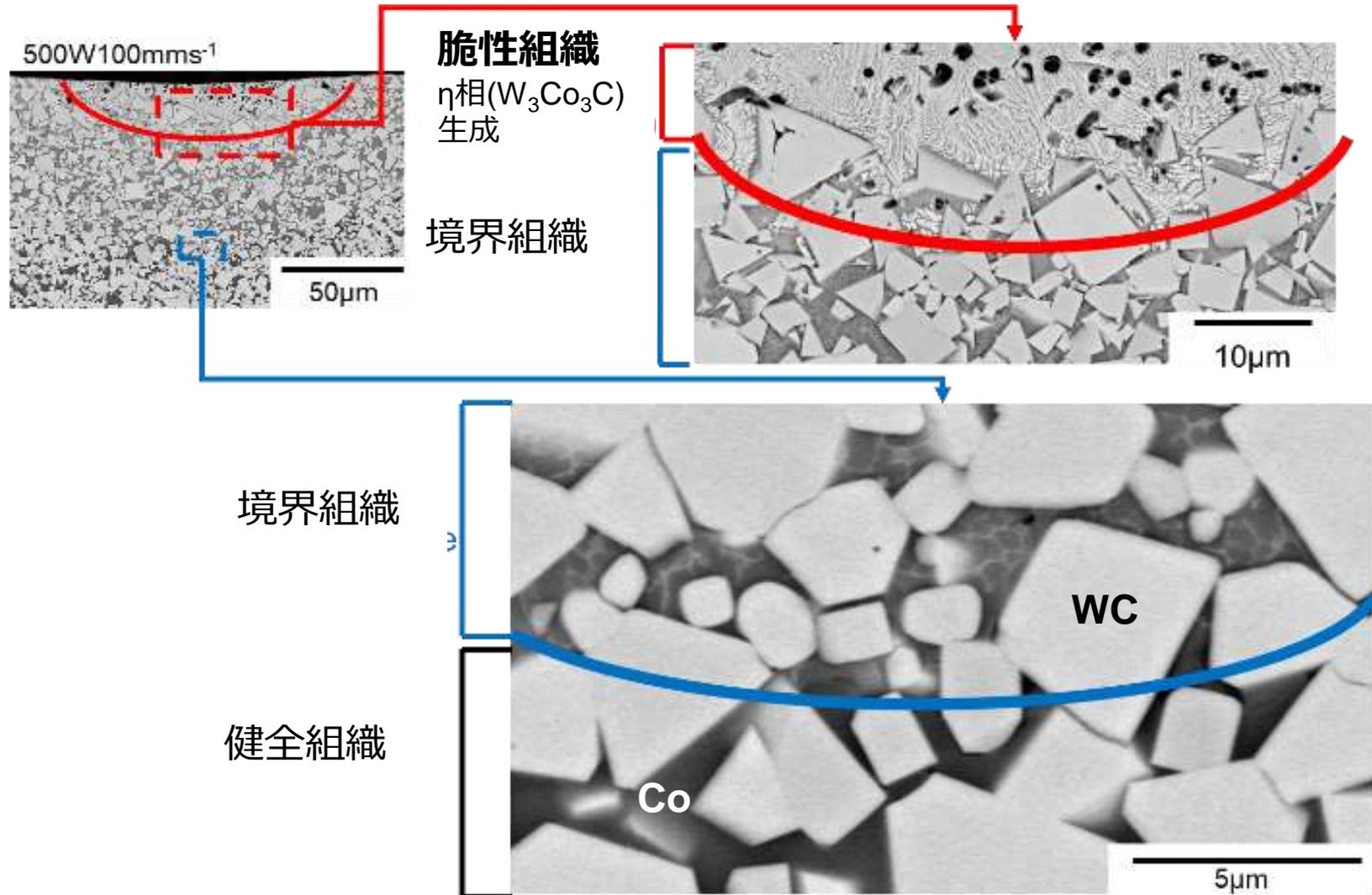
新パラメータ (DED)



Deposited Energy Densityを用いることで、相対密度の変化を概ね整理できる。

課題に対する取組み：AI画像認識による組織の識別

WC/Co超硬合金



出展) 知の拠点あいち重点研究プロジェクト第3期報告書

レーザによる熱でWCとCoが反応し、超硬合金特有の微視組織が変化する → 特性劣化

課題に対する取組み：脆性相形成領域の画像認識

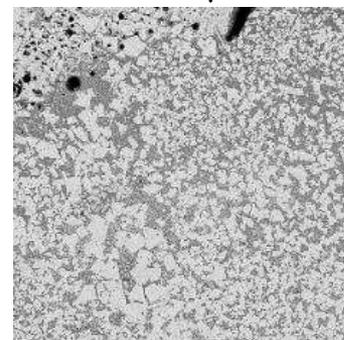
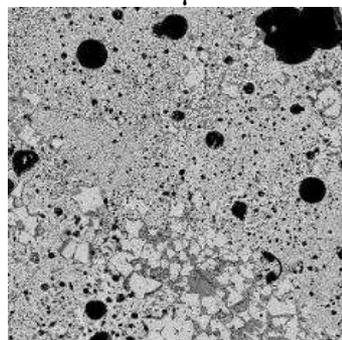
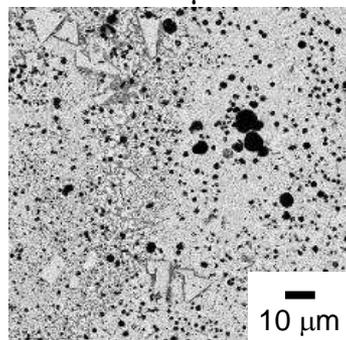
WC/Co超硬合金

$P = 285 \text{ W}$
 $v = 300 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$
 $\sigma = 150 \text{ } \mu\text{m}$

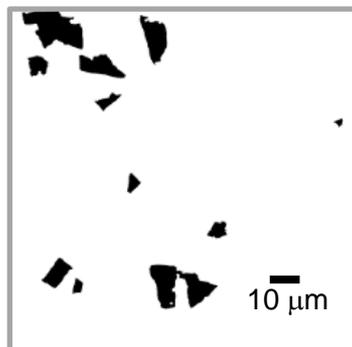
$P = 135 \text{ W}$
 $v = 400 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$
 $\sigma = 75 \text{ } \mu\text{m}$

$P = 90 \text{ W}$
 $v = 200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$
 $\sigma = 150 \text{ } \mu\text{m}$

元画像



正解画像

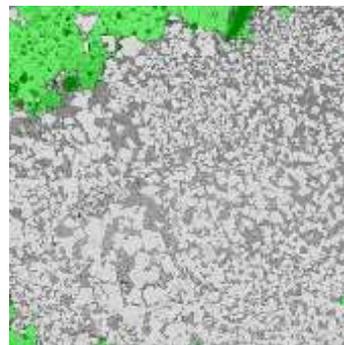
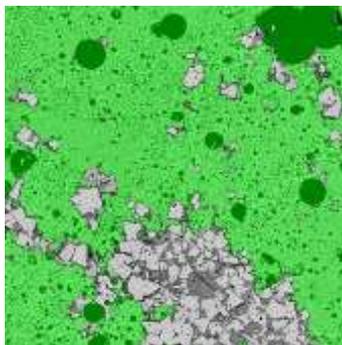
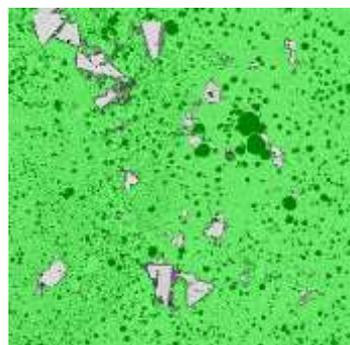


□ 脆性相形成領域

η 相生成
 $(\text{W}_3\text{Co}_3\text{C})$

■ 健全組織領域
 WC/Co

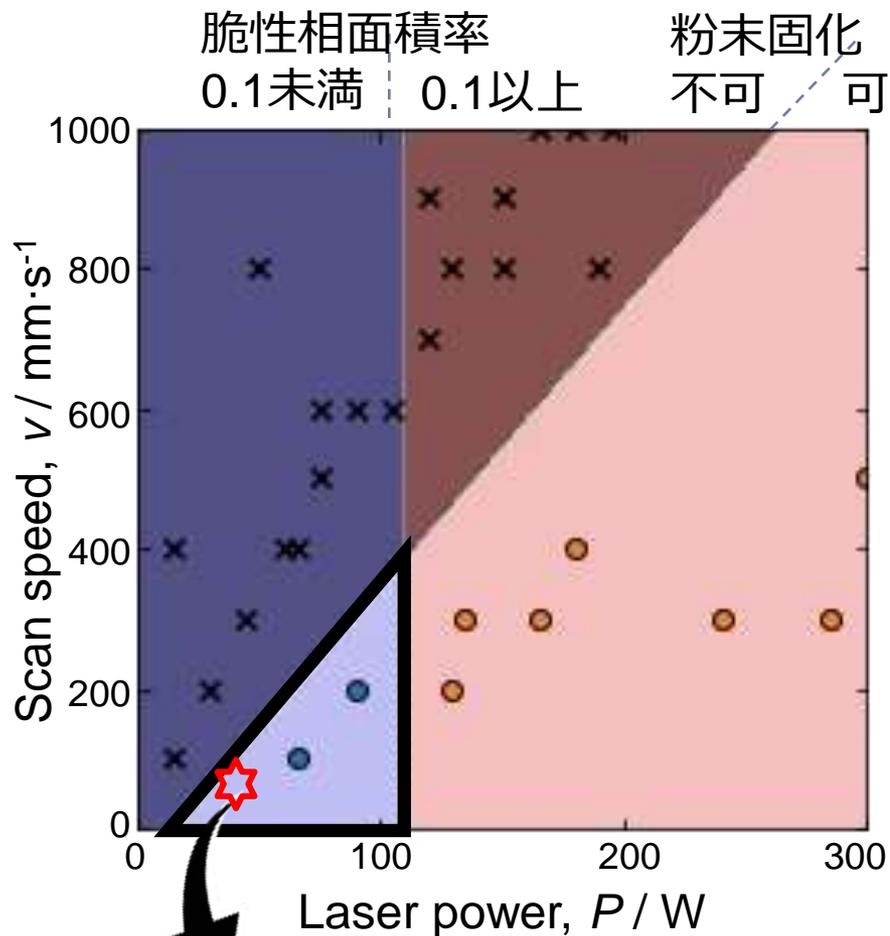
予測画像



■ 脆性相形成
 領域と予測
 された領域

画像認識AIにより熱により組織が変化した領域(脆性相形成領域)を自動識別した

造形パラメータの探索



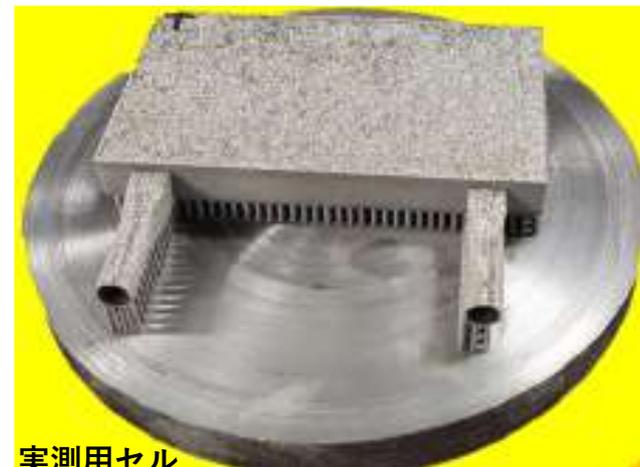
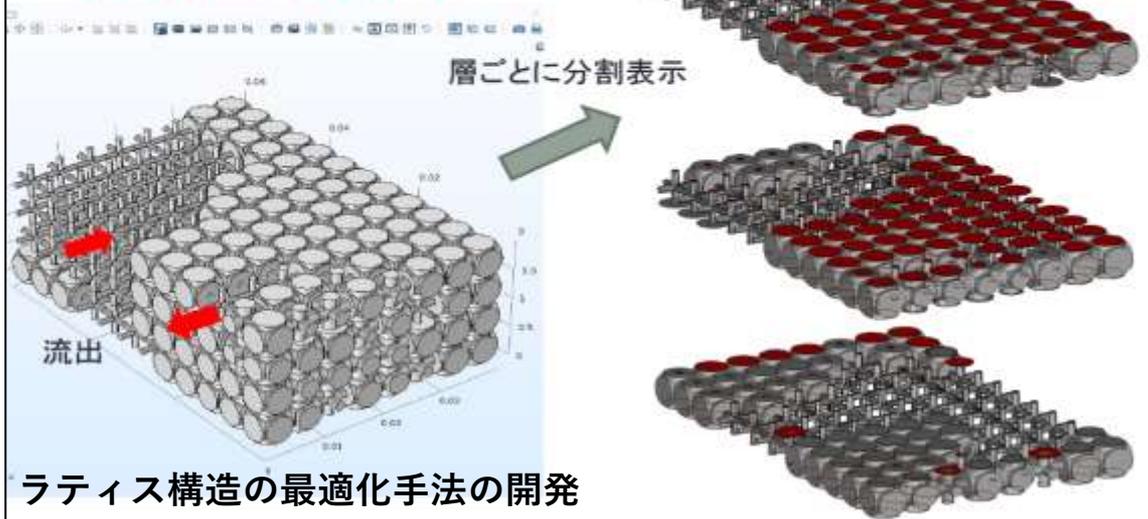
造形可能かつ脆性相形成領域
面積率<0.1の条件
= **ここを中心に再探索**

課題に対する取組み：構造最適化

三次元での最適化例

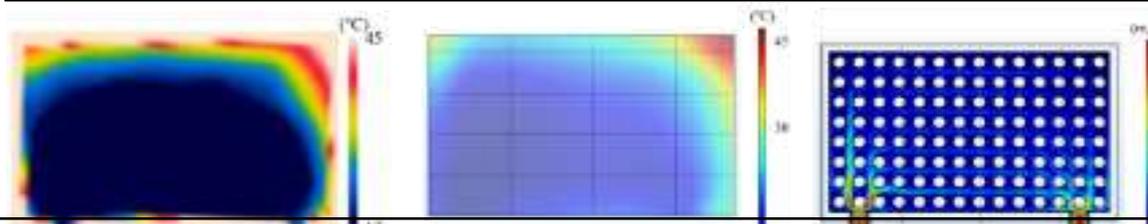
最適形状

- 上下の対称性を考慮し、下半分のモデルで最適化。



実測用セルを積層造形により造形して温度分布を計測

実測結果がシミュレーションによる温度分布と同様であることを確認



- 冷却と圧損の両立を目的として、 $Re=300$ 程度の流速まで対応可能なラティス構造の最適化手法を開発

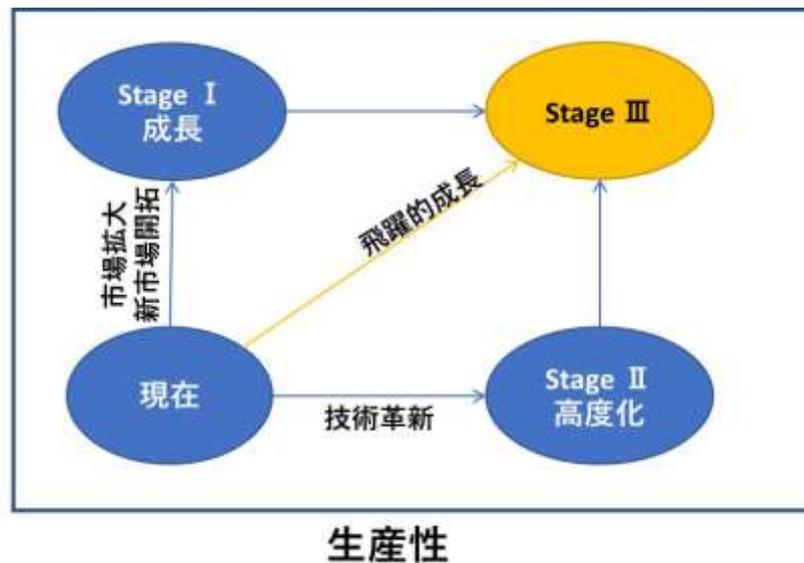
- 多点温度測定用セルの試作及び実測の結果、計算結果と実測値が比較的よく合致

本日の内容

1. 金属Additive Manufacturingの紹介
2. 知の拠点あいち重点研究プロジェクト第3期の取り組み
(開発)
3. 知の拠点あいち重点研究プロジェクト第3期の取り組み
(研究)
4. **まとめ**

積層造形によるモノづくり

- ① 従来工法では不可能な**複雑形状**実現→新機能
- ② 複数部品の組合せを**一体造形**→組立レス
- ③ 必要な場所での**分散型生産**→輸送レス
- ④ **少量多品種生産**→個別ニーズ対応
- ⑤ **Digital Data**モノづくり→AI親和性、
脱・勘コツ経験（労働力人口減の時代に不可避）



- ・ AMは単なる創形プロセスにとどまらない、ものづくりの姿を変える可能性もある
- ・ どこで使うと価値創造と生産性向上の相乗効果を狙うことができるでしょうか？

最後に

知の拠点あいち重点研究プロジェクト第Ⅱ期、第Ⅲ期の支援を受け、県内企業・あいち産業技術総合センターと社会実装を目指した開発と研究を実施しています。付加価値と生産性に注目し、新しい機能を持つマザーツールの開発、品質向上、性能向上、適用範囲向上などに取り組んでいます。

成果はプレスリリースや公開セミナー等を通じて公表していきます。

本日の話題提供をきっかけにして、積層造形について皆様と情報交換ができると嬉しく思います。