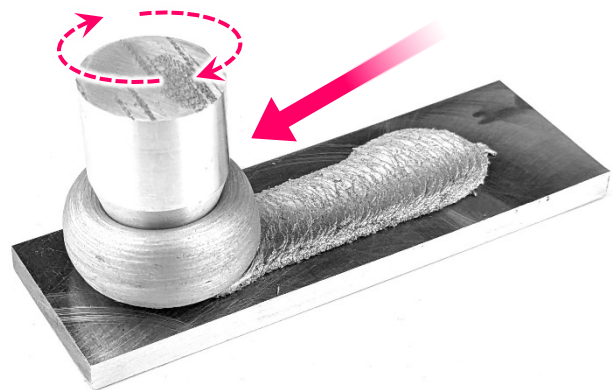




高速・高強度化を実現する 溶かさない金属3Dプリンタ

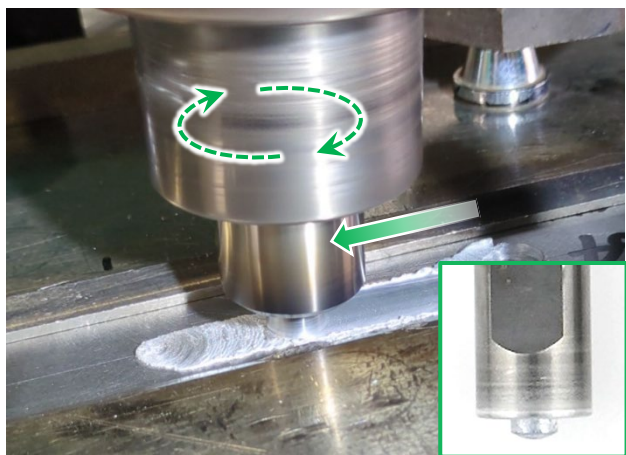
電気通信大学
機械知能システム学専攻
助教 **永松秀朗**

2026/05/12



溶かさない金属3Dプリンタ 摩擦肉盛

- 原理・特徴
- 実験結果の紹介

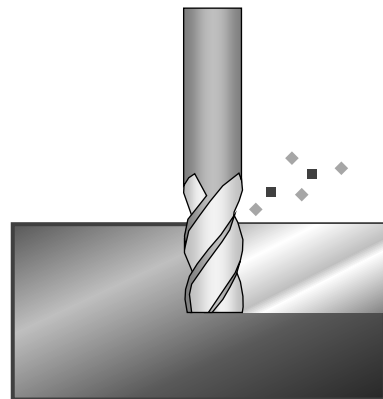


摩擦肉盛＋摩擦攪拌接合による マルチマテリアル造形 (特許出願)

- 工程・特徴
- 実験結果の紹介

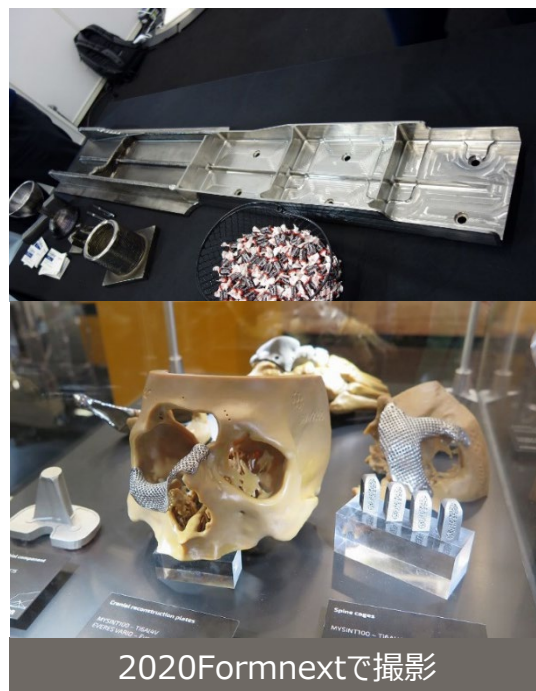
■ 従来の加工技術の課題

- 切削加工
 - ▶▶ 材料除去量多・工具摩耗
- 成形加工
 - ▶▶ 型の製造時間・コスト

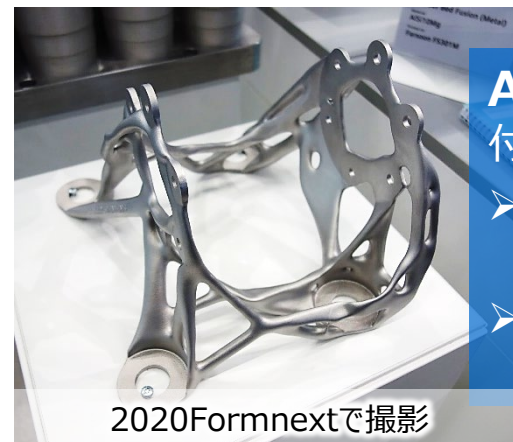


■ 工業製品のニーズ

- 航空・宇宙
- 自動車
- 医療製品
 - ▶▶ 製品の軽量化
 - ▶▶ 開発の短期化
 - ▶▶ 多品種少量生産
 - ▶▶ 高機能・難削材の使用

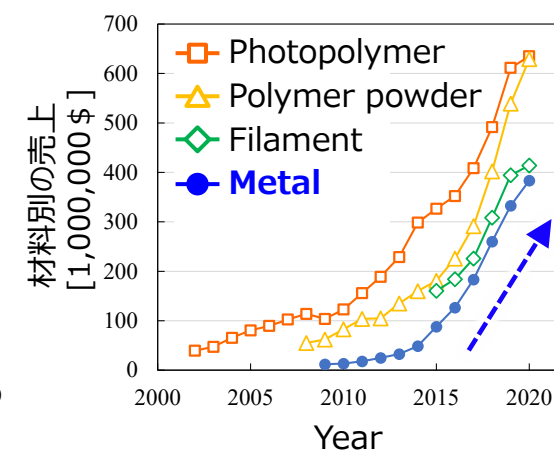
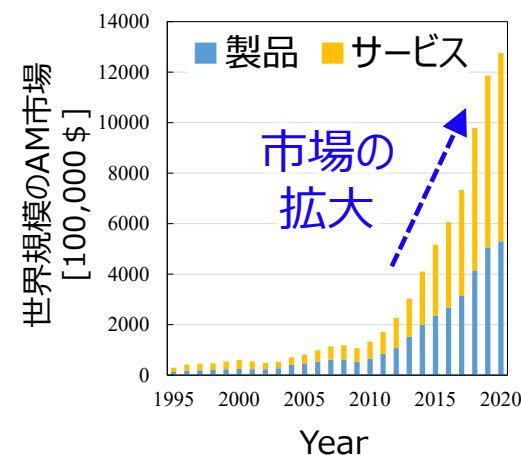


■ 3Dプリンティング技術の登場

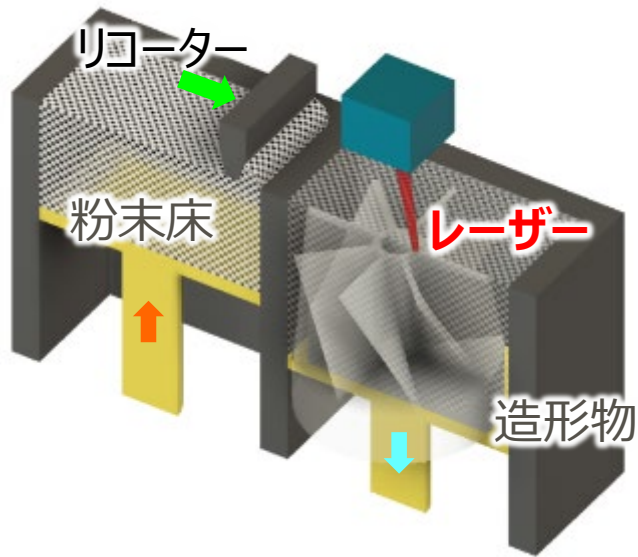


Additive manufacturing 付加加工

- 層を積み重ねて三次元的な造形を行う
- 従来の生産技術では作製不可な製品形状を創成



AMの発展：2015→2020年 (Wohlers report 2021)
AM全体の市場は約2.5倍・金属AM市場は4.3倍に拡大



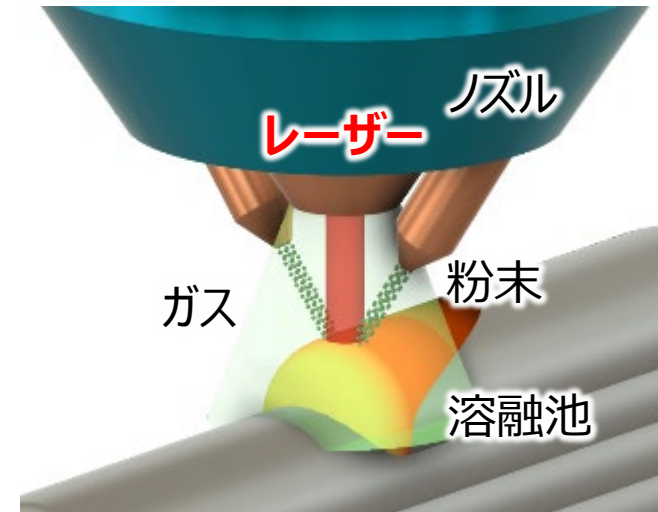
2020Formnextで撮影

Power Bed Fusion: PBF

熱源：レーザー・電子ビーム

材料：金属粉末

特徴：高精度な形状創製が可能



2020Formnextで撮影

Directed Energy Deposition: DED

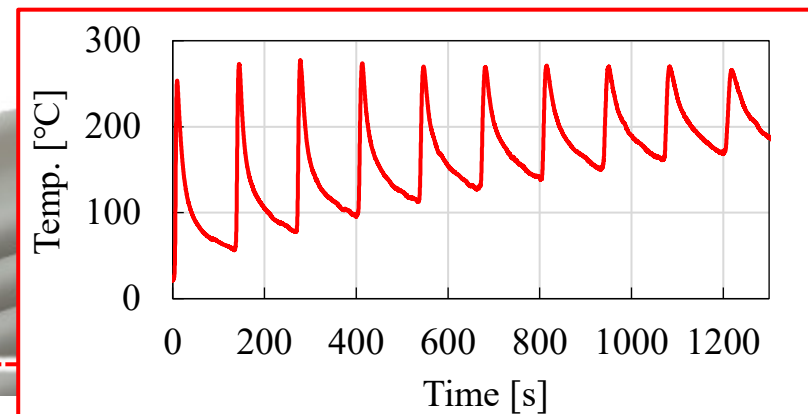
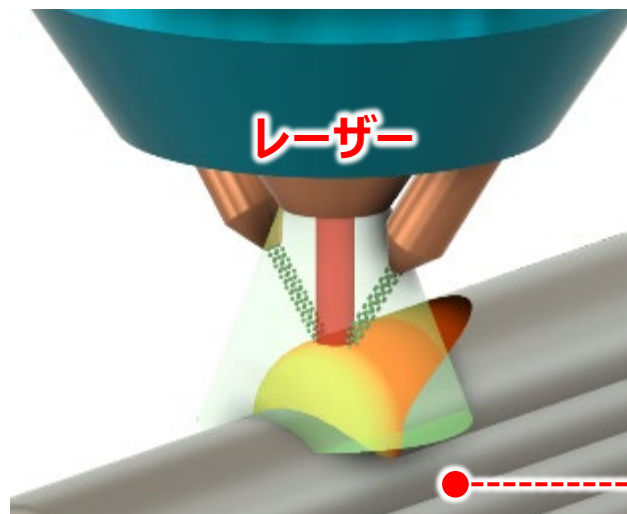
熱源：レーザー・電子ビーム・アーク放電

材料：金属粉末・ワイヤ

特徴：選択的な材料供給・入熱が可能

共通事項：金属の溶融・凝固を繰り返すことで金属積層を行う

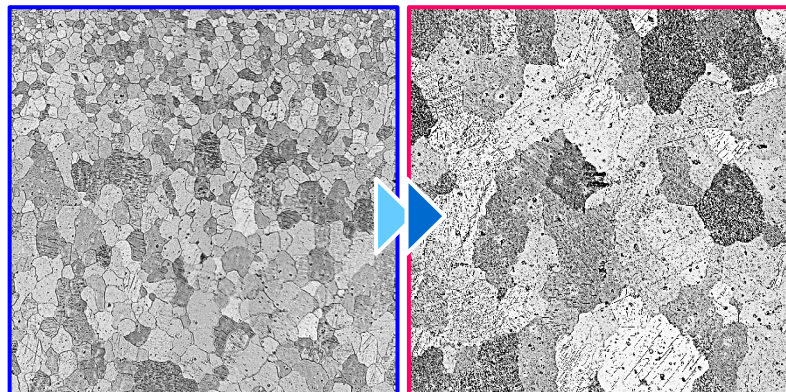
- 要求する**機械的性質**（強さ・硬さ・延性）を得るには**温度・冷却速度・圧力の制御**が重要
- Ex. 日本刀：加熱・大槌で打つ・急冷・etc..
 - ▶▶ 高機能（しなやか・硬い・高剛性）な鉄鋼材
- 金属3Dプリンタは **急加熱・急冷**
 - ▶▶ **温度・冷却速度の制御は困難**



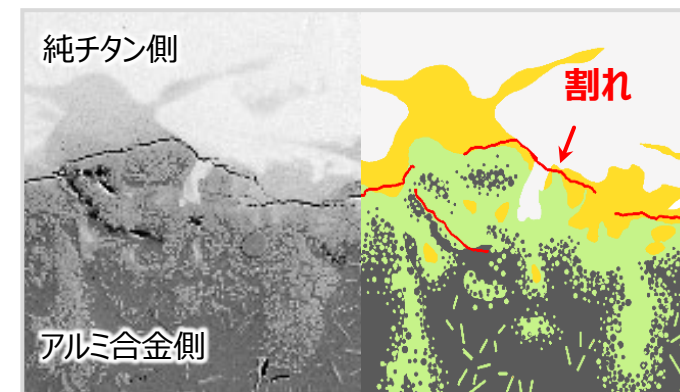
形状精度の低下（溶接垂れ・熱変形）



結晶粒の粗大化



脆弱な反応層の生成

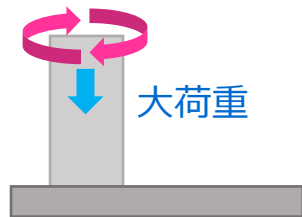
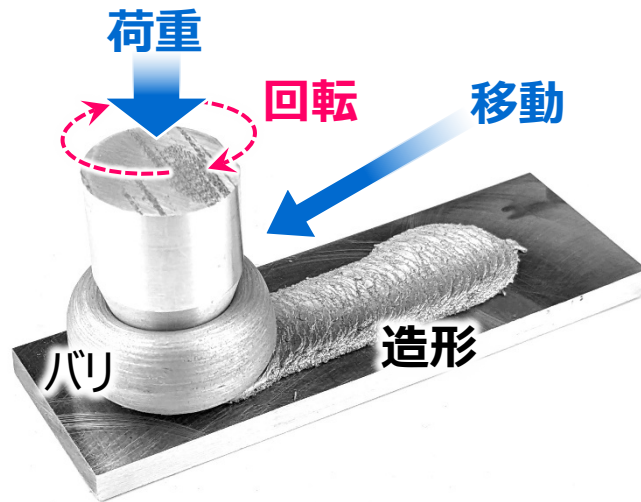


金属AM特有の熱サイクルに起因した製品の変形・機械的特性の低下が課題

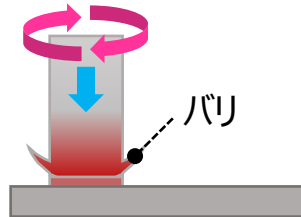
摩擦肉盛

熱源：摩擦発熱

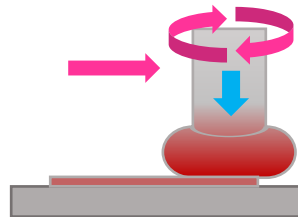
材料：金属棒



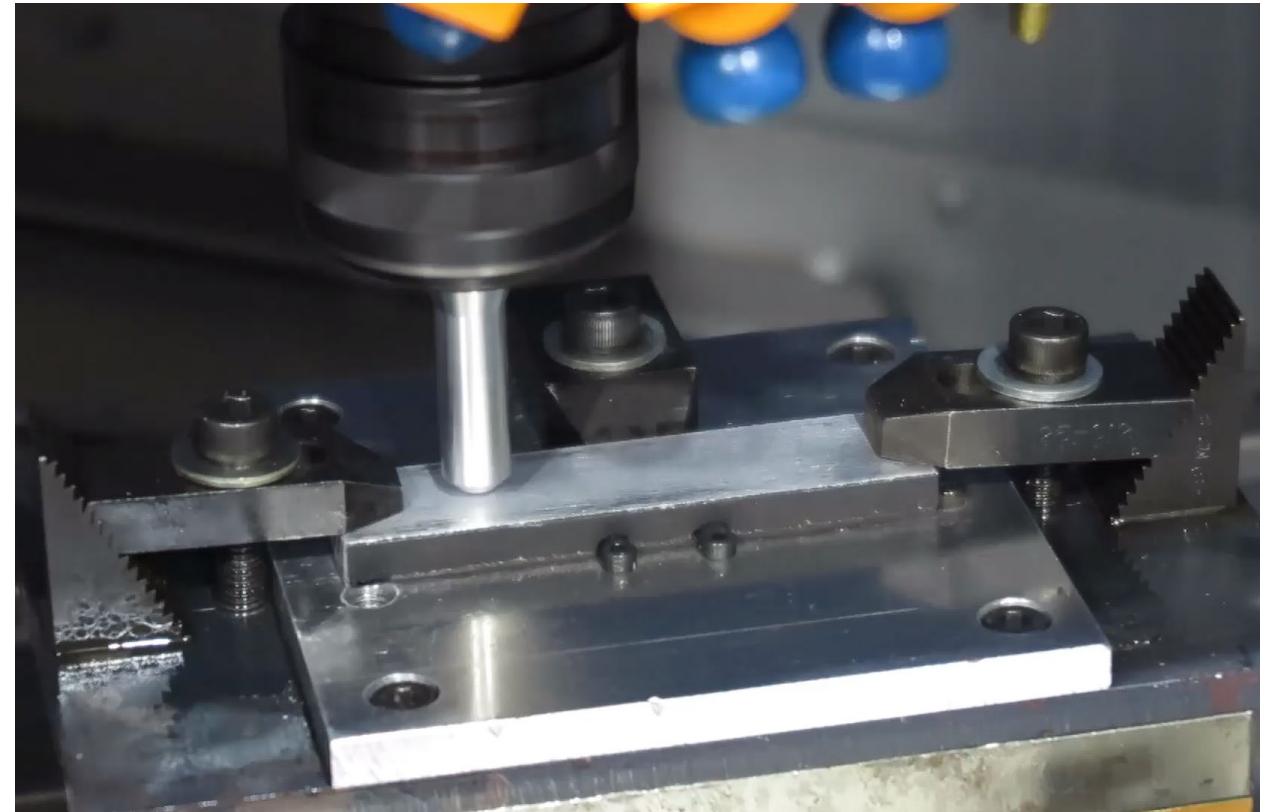
1. 接触



2. 予熱



3. 造形

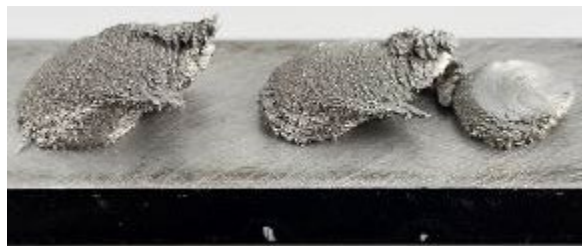


高速回転する金属棒材を基材へ接触・加圧・移動 ▶▶ 材料流動層が形成

特徴：融点の80%程度で造形を行う ▶▶ 残留応力の低減・結晶粒微細化 を実現可

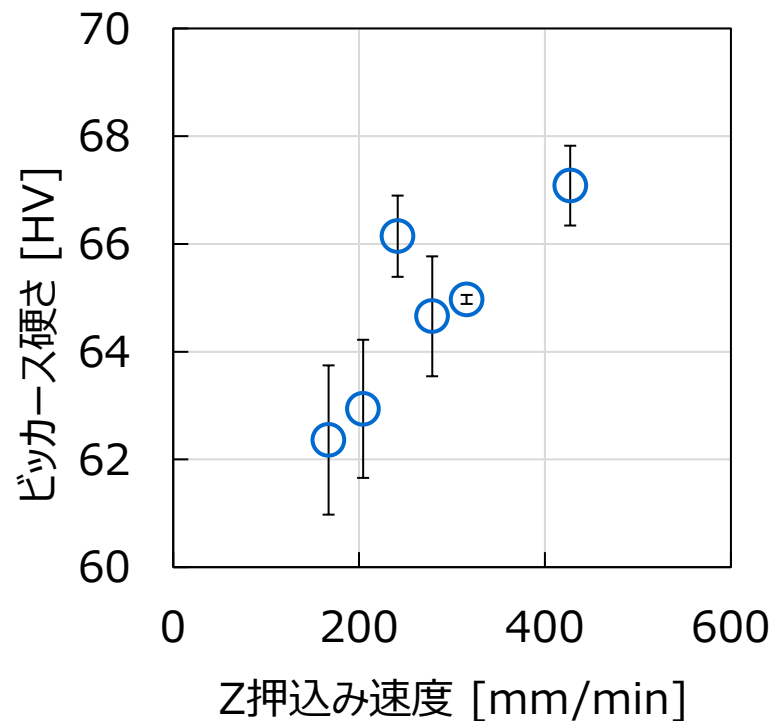
材料：Al合金（A5052） 装置：立形マシニングセンタ（位置制御式）

低速

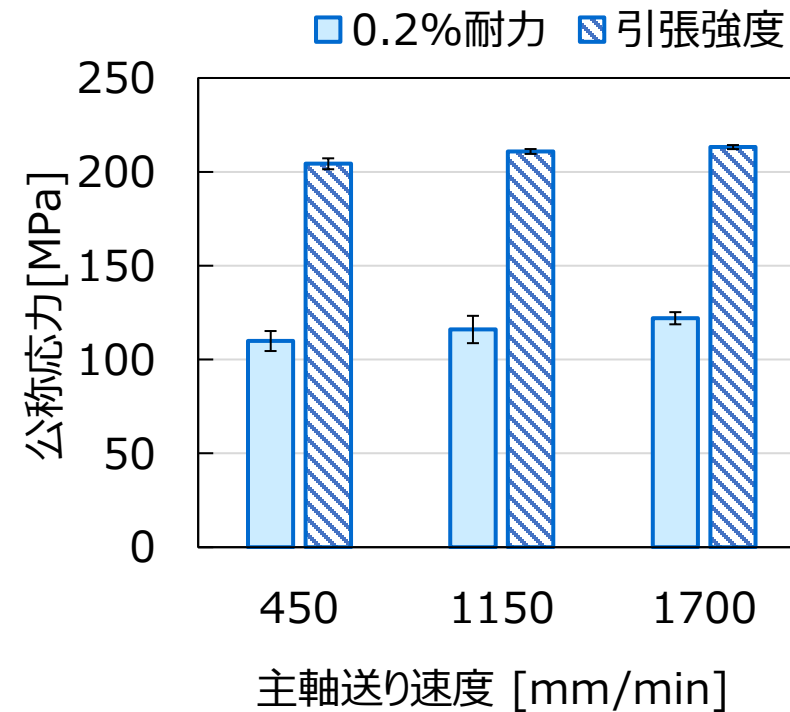


高速

形状の均一化◎



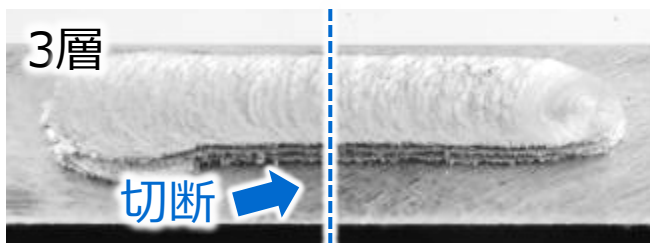
ビッカース硬さ +5HV



0.2%耐力 +12MPa
引張強度 +9MPa

主軸送り 450 mm/min

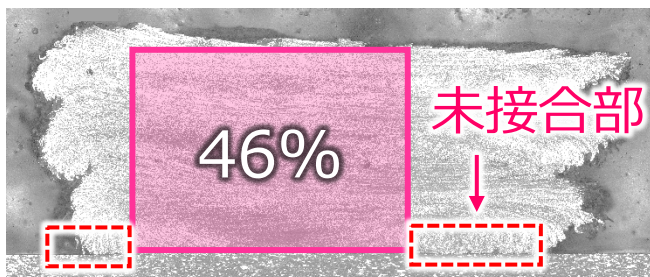
外観



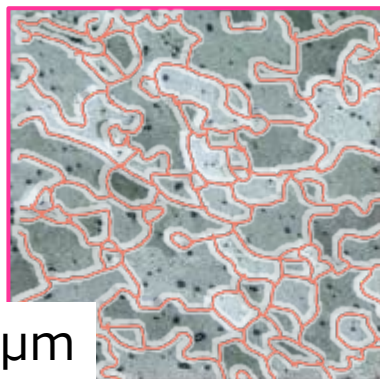
造形
能率

5.01cm³, 25.8s
▶▶ 699cm³/h

断面

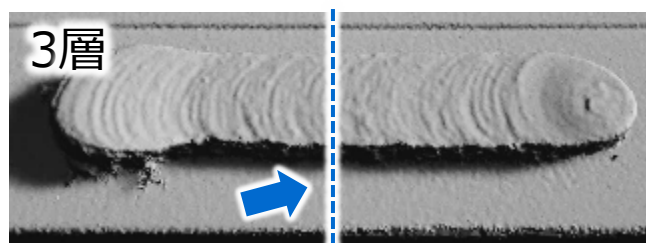


粒径

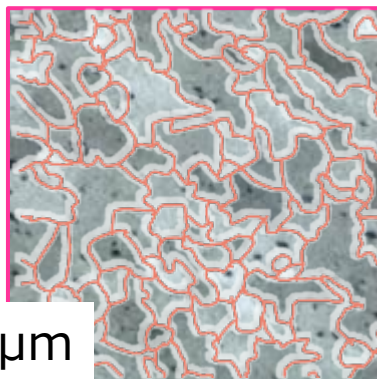
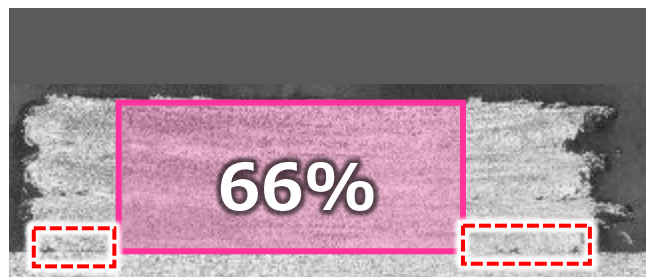


13.1μm

主軸送り 1700 mm/min

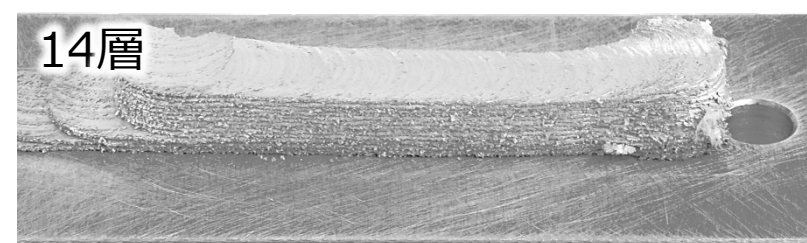


3.66cm³, 6.8s
▶▶ 1938cm³/h



11.4μm

主軸送り 6800 mm/min



14.06cm³, 9.8s
▶▶ 5168cm³/h を達成

従来手法

造形能率

- PBF : 100cm³/h未満,
- DED : 100~500cm³/h



不連続的な金属層（ハンピング）

造形速度向上の課題点

- 高能率化 ≡ 入熱増加 ▶▶ 冷却期間の導入 = リードタイムの延長, 金属組織の制御が難化
- 凝固プロセスが不安定化 ▶▶ 不連続的な金属層が形成（ハンピング, 上図参照）

摩擦肉盛

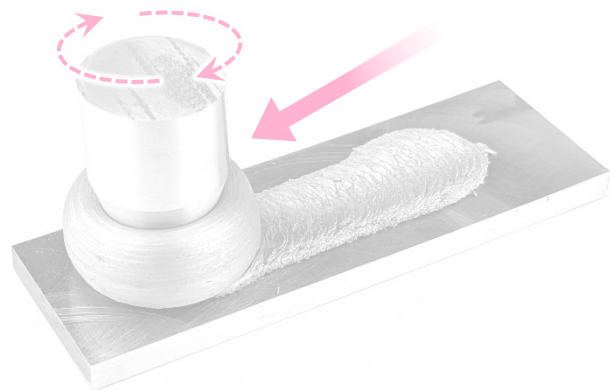
造形能率

1000~5000cm³/h
▶▶ 従来手法の10倍！



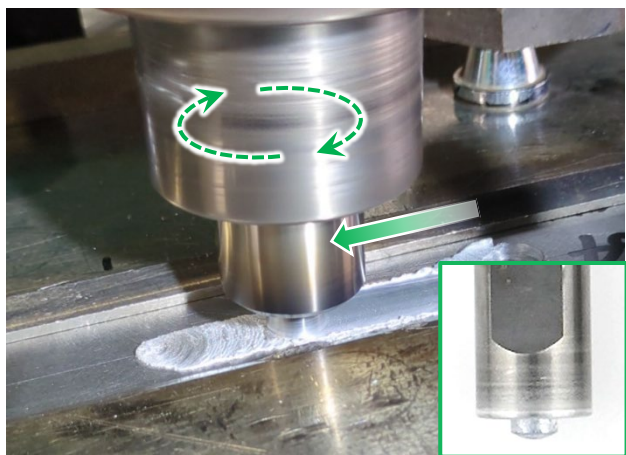
造形速度向上によって..

- 結晶粒径の微細化, 機械的特性（硬度・耐力・引張強度・延性）の向上
- 金属層の両端に形成される未接合部が減少
- 入熱が低い工程 ▶▶ 荷重・温度が定常状態 = 均一性の高い金属層を形成 + 冷却期間不要！



溶かさない金属3Dプリンタ 摩擦肉盛

- 原理・特徴
- 実験結果の紹介



摩擦肉盛＋摩擦攪拌接合による マルチマテリアル造形 (特許出願)

- 工程・特徴
- 実験結果の紹介

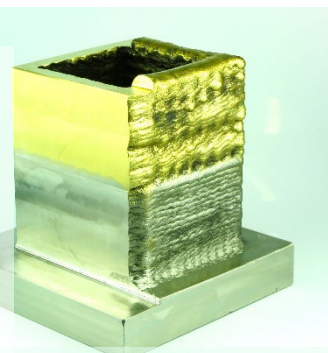
開発当初：形状創製



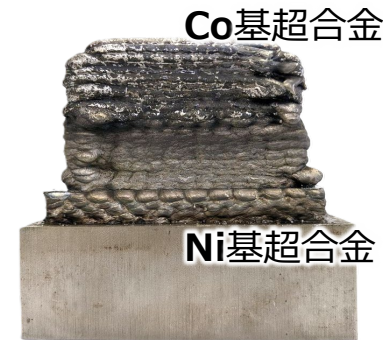
複雑形状・トポロジー最適化（2020Formnextで撮影）

近年の動向：形状＋材料設計

- 材料開発
- A on B
- 成分傾斜
- コーティング



銅合金-ステンレス鋼



傾斜機能材



Ti合金-Al合金



2020Formnextで撮影

■ 事例1：DMG MORI

- 方式：レーザ・パウダ式DED
- 製品：バイメタル・バルブ
>> 耐腐食性・熱伝導率を最適化
- 材料1：ステンレス鋼
- 材料2：アルミブロンズ

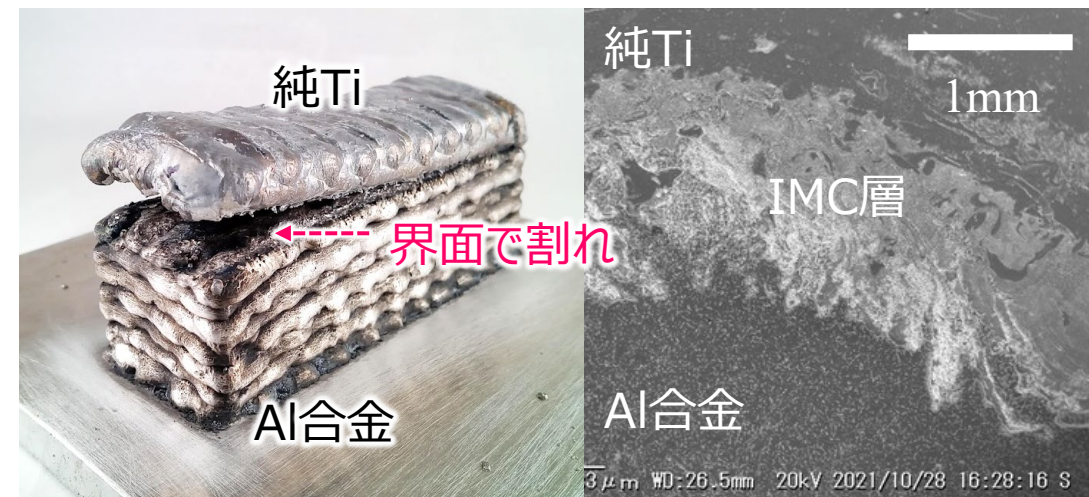
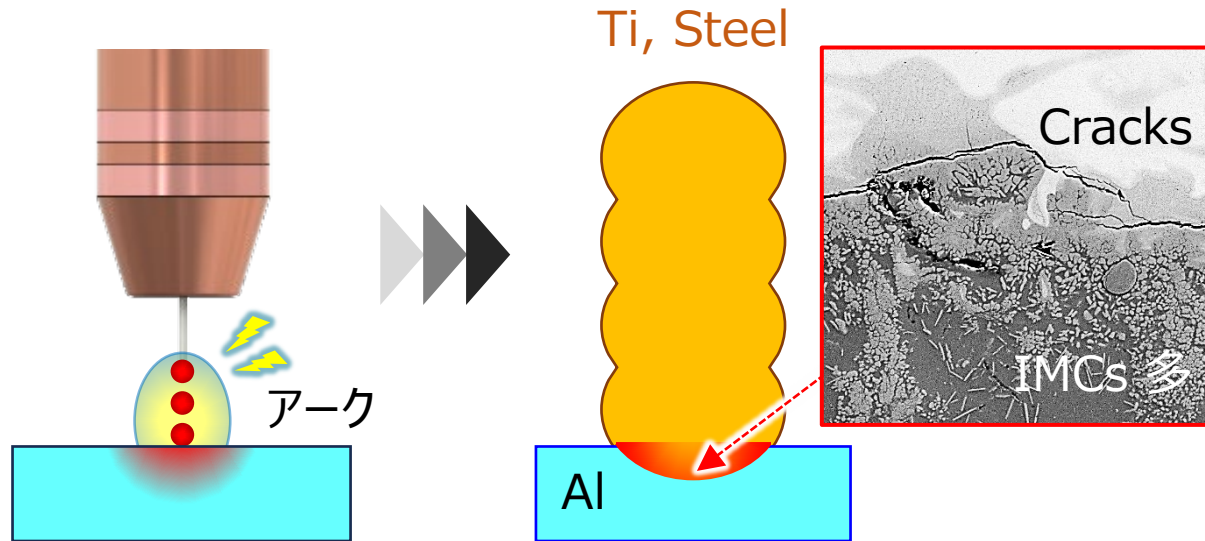


2024国際ウェルディングショーで撮影

■ 事例2：三菱電機

- 方式：レーザ・ワイヤ式DED
- 目的：異種材コーティングによる表面改質
- 母材：ステンレス鋼
- 表面層：銅合金・Co or Ni基合金

企業の開発動向：溶融接合が容易な（脆弱な反応層が形成されない）金属材料組合せがほとんど



Ex. Ti-on-Al合金 by ワイヤ+アーク式DED

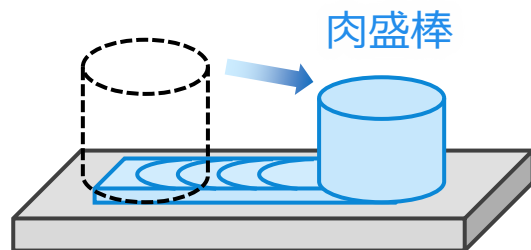
- **Ti合金**：高強度・耐食性 + **Al合金**：軽量 ▶▶ 航空宇宙分野などにニーズ◎
- 物理・化学的性質に大きな差異△
- **レーザやアークで異種金属を溶融・凝固** ▶▶ 2材料の溶融・混合が不可避
 - ▶▶ 接合界面に硬脆性な反応層（IMCs）が形成
 - ▶▶ 脆い反応層に熱応力が集中，クラックが発生 or 接合強度が著しく低下

▶▶ 低入熱造形が可能な固相接合法であれば異種金属の高強度積層が可能では？

①FSWによる摩擦肉盛層の強化

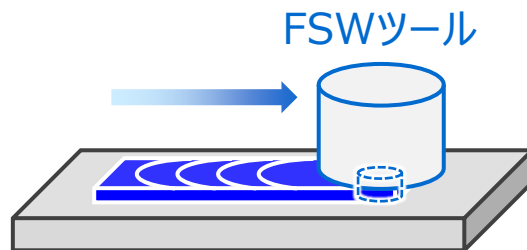
1. 造形：摩擦肉盛

- ▶ Al層を鉄鋼基材へ堆積



2. 強化：FSW

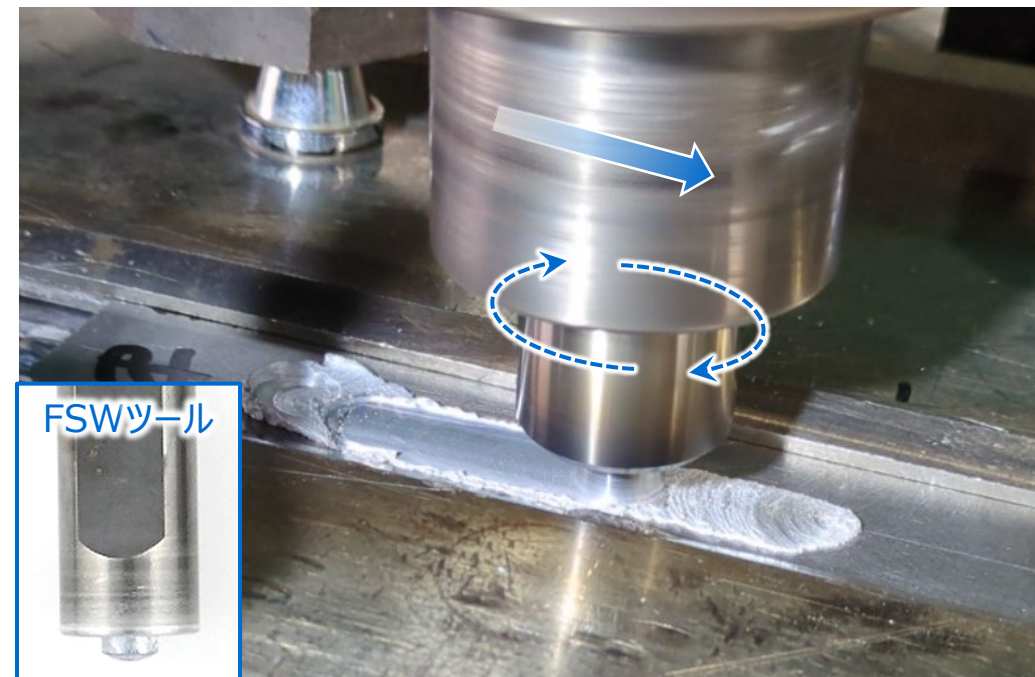
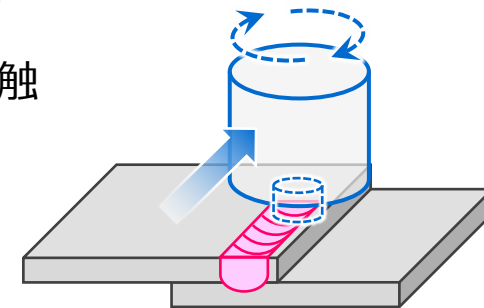
- ▶ Al層の接合強度を向上

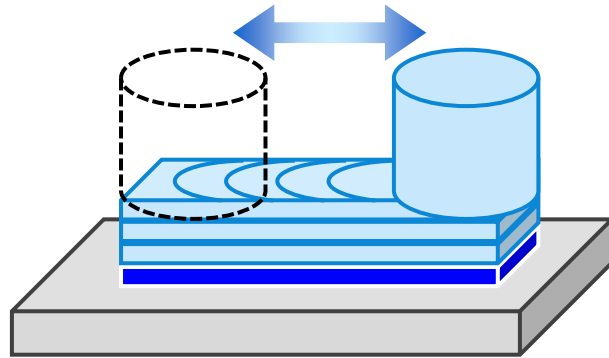


FSW痕

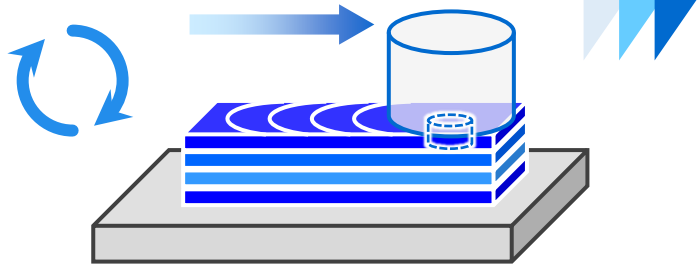
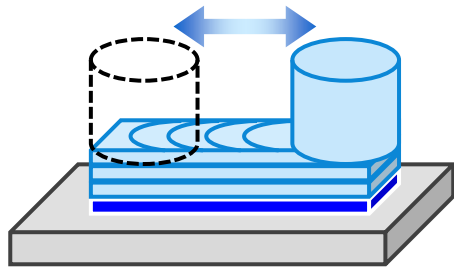
摩擦攪拌接合（FSW）

- 回転するツールを材料に接触
- 摩擦発熱で材料を攪拌
- 固相状態で接合

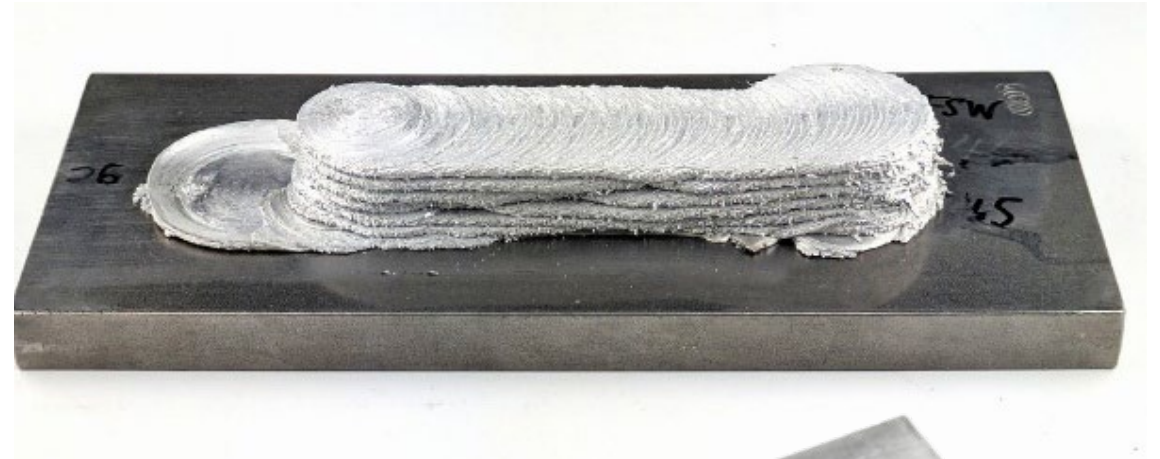




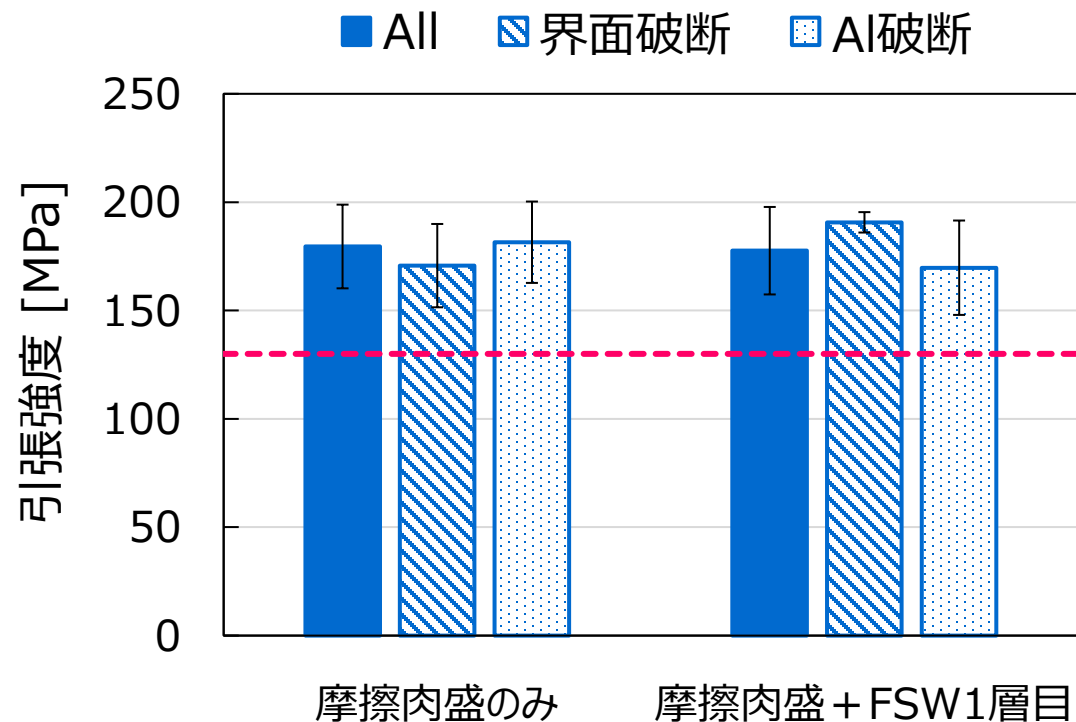
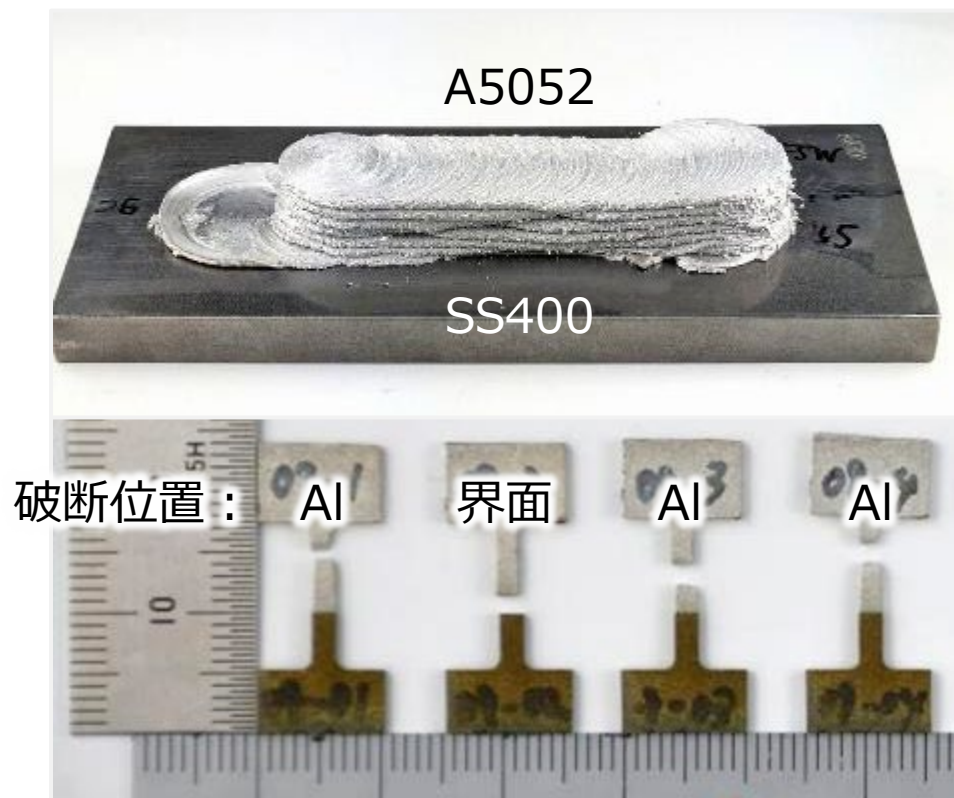
摩擦肉盛を繰り返す



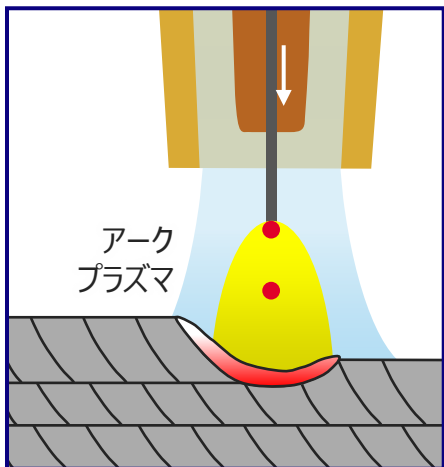
摩擦肉盛・FSWを繰り返す



A5052-on-SS400 の造形結果

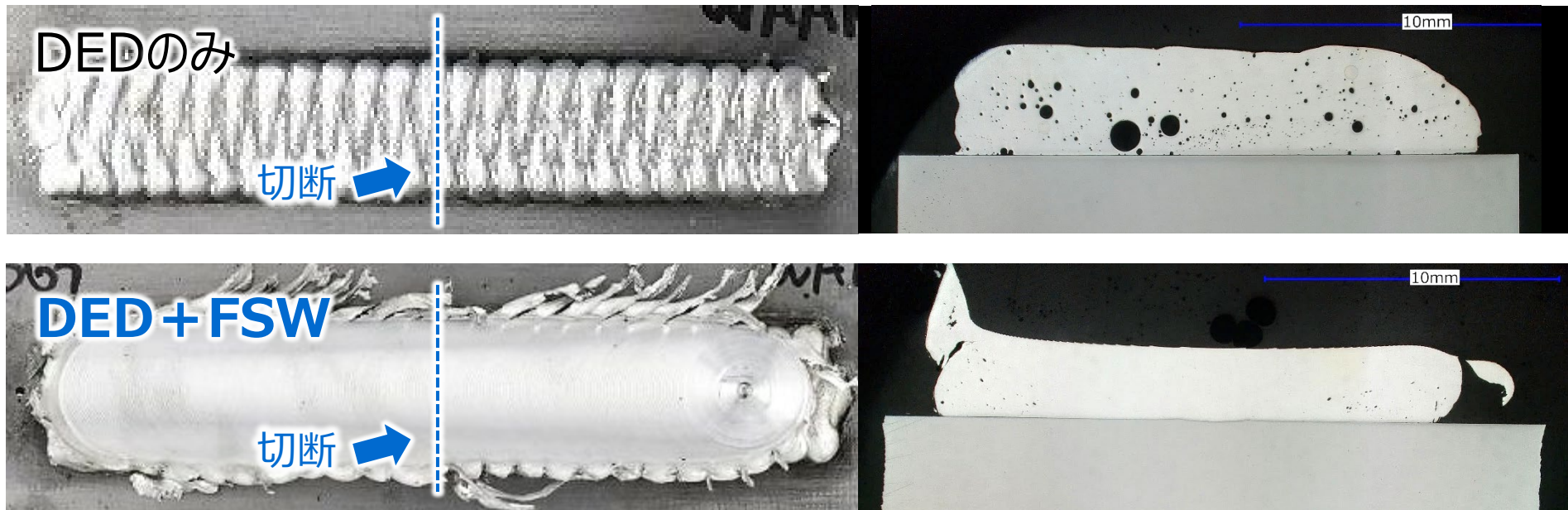


- **全試験結果：** 摩擦肉盛のみ 180MPa = 提案手法（摩擦肉盛 + FSW1層目） 178MPa
▶▶ 先行研究（ワイヤ+アーク式DED）の結果130MPaより高い◎
- **界面破断：** 提案手法 190MPa > 摩擦肉盛のみ 170MPa
▶▶ FSWによって界面の接合強度が向上した可能性有◎



ワイヤ+アーク式DEDとFSWのハイブリット造形の提案

Ex. A5356-on-SS400



- Al合金のDED造形：気孔欠陥が形成されやすい
▶▶ **FSW**によって**気孔欠陥**を著しく低減可
- ハイブリット造形の引張強度：
界面破断 208MPa, Al部破断 153MPa ▶▶ Ave.181MPa

PRポイント

- **AI合金の高速造形**
- **異種金属の高強度積層**
- **他材料組合せへの応用**
- **DED造形部の高品化**

主流な造形技術（PBF・DED）の**10倍以上**

DED：130MPa ▶▶ 提案手法は **180-200MPa**

AI合金-鉄鋼だけでなく、AI合金-銅 や AI合金-ステンレス鋼
などへの応用可

FSWの適用による**金属組織の均質化＋欠陥の低減**

企業への期待・貢献

- **機体開発**
- 実用性のあるマルチマテリアル
製品が要求する**性能**

実用的な造形機へのアップグレードが必須
（連続的な材料供給機構の開発）

材料組合せ，熱伝導性，密閉性，動的な強度，etc・・・

▶▶ 対象とする製品に併せて科学的な実証に取り組みます

想定される用途

- 中-大型形状の創製
ex: 船舶向けの構造用異材継手
- 隙間腐食, 水密性, 強度を改善
▶▶ 構造を簡単・軽量化できる可能性有

実用化に向けた課題

- ① 強度に影響を及ぼす因子の追求
- ② 電解腐食に及ぼす影響の調査
- ③ 造形条件が熱応力-剥離に及ぼす影響の実験・解析的調査
- ④ 連続的な材料供給機構の確立

社会実装への道筋

年度	26	27	28	29
UEC・企業	①・②の調査		③の調査	連続的な造形
UEC	他材料組合せへの応用 ハイブリット造形			
企業		④の開発		

本技術に関する知的財産権

発明の名称

摩擦肉盛方法および摩擦肉盛装置

出願番号

特願2025-113581

出願人

国立大学法人 電気通信大学¹⁾

国立大学法人 大阪大学²⁾

発明者

永松秀朗¹⁾,

藤井英俊²⁾, 森貞好昭²⁾, 山下享介²⁾

産学連携の経歴

2026年- 1件

お問い合わせ先

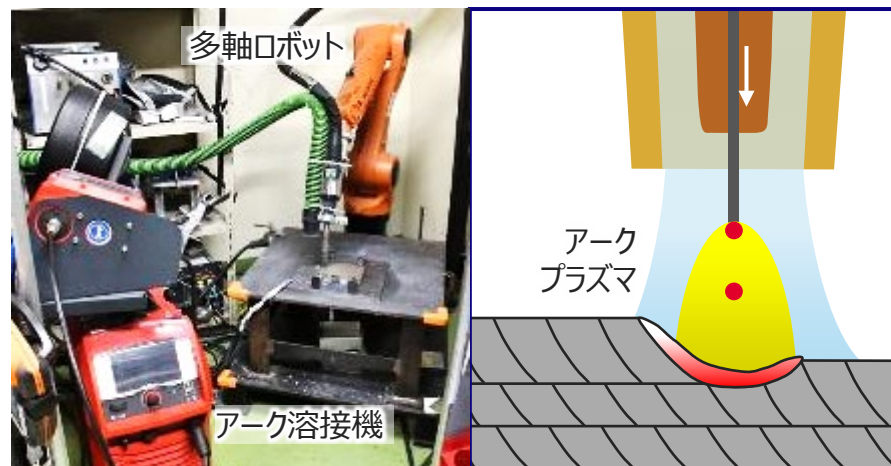
国立大学法人 電気通信大学 産学官連携センター

産学官連携ワンストップサービス

TEL 042-443-5725

FAX 042-443-5937

Mail onestop@sangaku.uec.ac.jp



アーク溶接ベースの
金属3Dプリンタ開発も
精力的に行っています