

# 製造技術研究部門

## 研究のポイント

- 先進加工技術：AM造形、先進コーティング、曲面表面加工、レーザー微細加工
- 先進評価技術：レーザー超音波非破壊検査、高温摺動特性、微小力学特性、電気・光特性
- デジタルモノづくり：デジタルフォーミングによる高速加工・設計の実現
- リマニュファクチャリング：資源、環境に考慮した捨てないモノづくりプロセスの開発

## 研究のねらい

ものづくり技術は産業革命を経て、手作業から機械化、さらに自動化により生産性を高め、必要な「もの」を大量に供給することによって近代社会の発展を支えてきました。今、21世紀の情報化社会における「ものづくり」においては、サイバーフィジカルシステム（Cyber Physical System：CPS）を活用し、社会のニーズを的確に捉え、オンデマンドに人々の要求機能に応える「もの」を創り出すことが求められています。

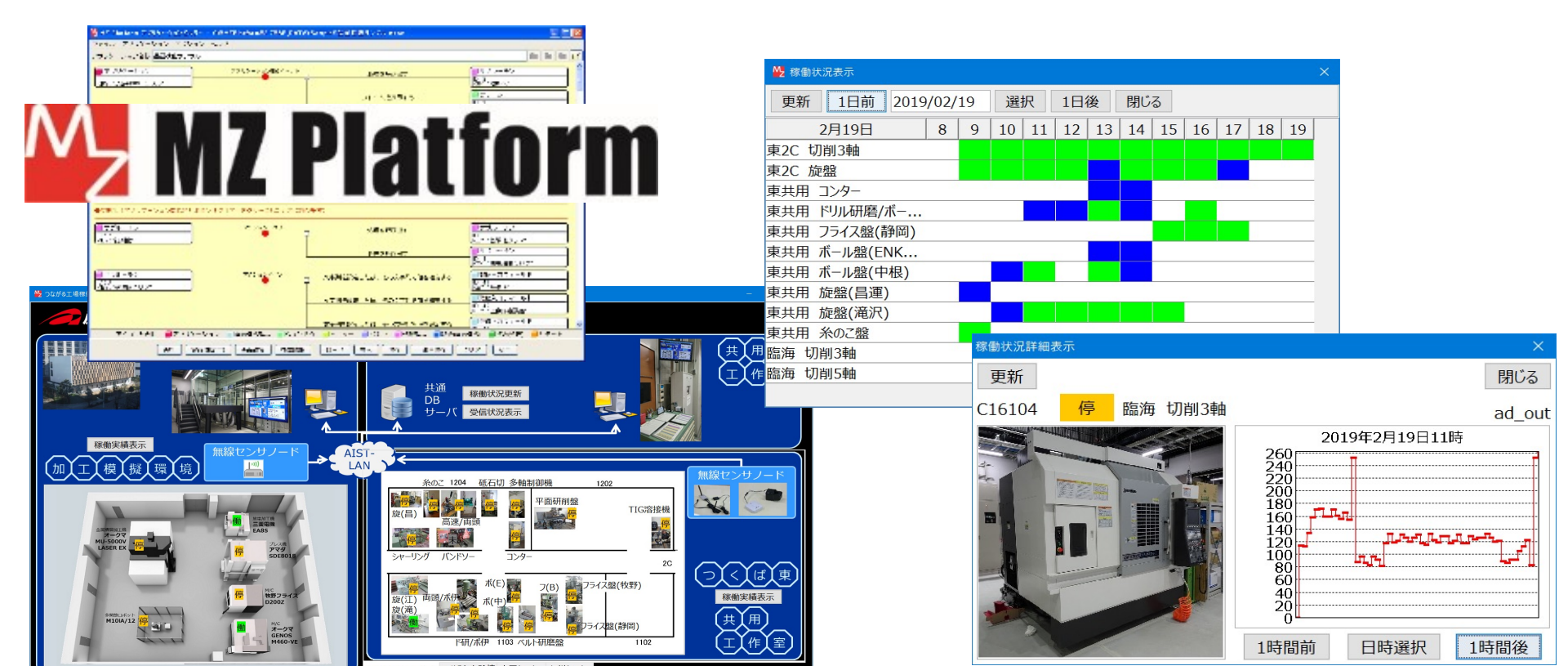
製造技術研究部門では、社会・人々が求める機能をオンデマンドで実現するための先進加工プロセスを中心に、設計から加工、評価までのプロセスチェーンの構成要素を研究しています。加工プロセスを科学的に理解し、デジタル技術を活用したデータ駆動型のスマートな課題解決手法を提示することで、創意工夫に富む「差別化されたものづくり技術」をに橋渡すことを目指しています。また、未来社会の資源、環境負荷低減に向け、捨てないリマニュファクチャリング社会の構築に資する、製品の機能と製造エネルギー評価と設計による最適化、高機能付与を実現するリペアプロセスを開発しています。

## 研究内容

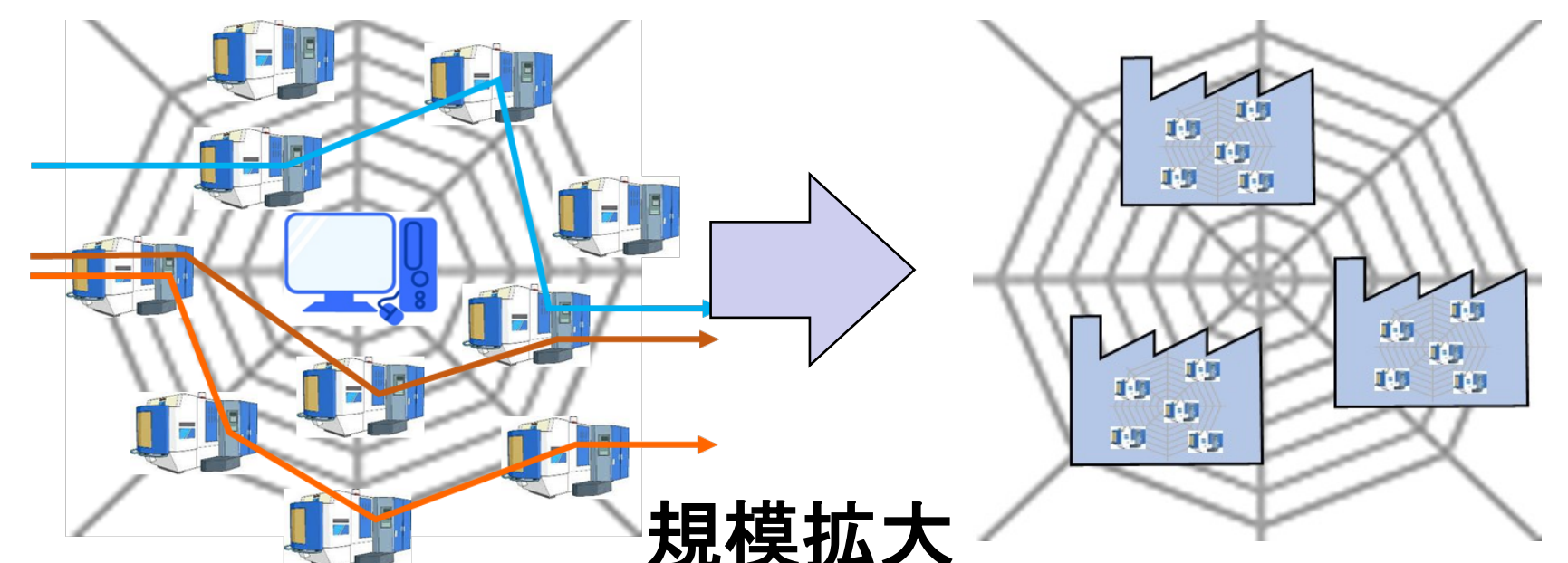
ものづくりの科学と先進製造プロセスの開発  
プロセスチェーン（設計・加工・評価）のデータサイエンス



データ活用によるスマート製造  
IoTによる生産情報データの可視化  
AIを活用した生産システムの最適化



製造網（Manufacturing Web）による  
生産リソースの動的最適化とレジリエンス強化





# 先進光反応コーティングによる高機能部材の開発

## 研究のポイント

- 光 MOD・ナノ粒子・ハイブリッド溶液の光反応法を用いた機能材料の低温・大気コーティング
- フレキシブル膜、エピタキシャル膜の作製が可能
- 積層・傾斜組織化及びマルチドーピングによる高性能部材・デバイスの開発
- 光気相プロセスによる高性能透明導電膜とOLEDデバイスの開発

## 研究のねらい

持続的発展社会の構築には、省資源、省エネルギーで多品種変量生産が可能な新しい薄膜・部材の製造プロセスが必要、不可欠です。当グループでは、化学溶液の高度化(ハイブリッド溶液)と光反応を用いたコーティング技術を用いて、従来、高温加熱が必要な機能材料(電気・光・磁気など)をガラス・金属・樹脂上に成膜する手法の開発を行っています。本手法では、多結晶のみならず単結晶・配向膜及び傾斜組織膜の作製により、従来にない先進電子/光部材・デバイスの開発を目指しています。また、多様な気相プロセスに展開した先進光反応コーティングプロセス開発によるグローバルイノベーションを実現します。また、未来社会の循環型ものづくりに必須な、環境、資源循環に有効な新しいサーキュラーマニュファクチャリング技術を開発しています。

## 研究内容

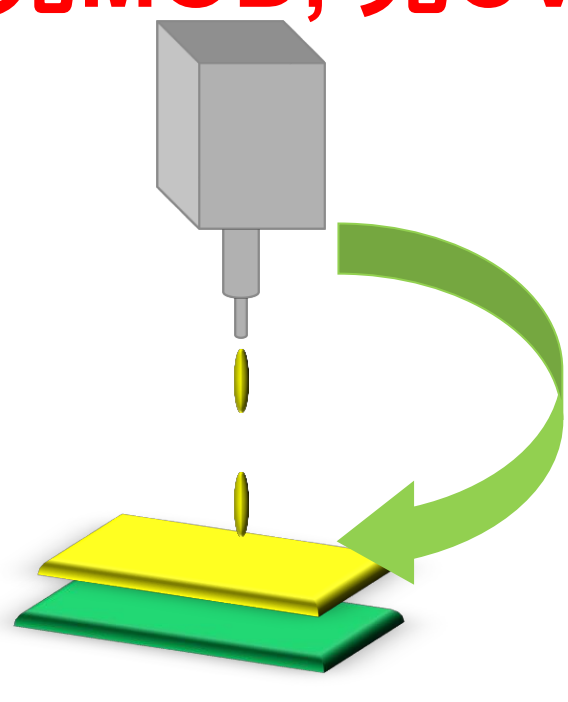
先進光反応コーティングプロセス

⇒ 光MOD, 光CVD, 光気相法(スパッタ、蒸着)などの低温プロセスの開発

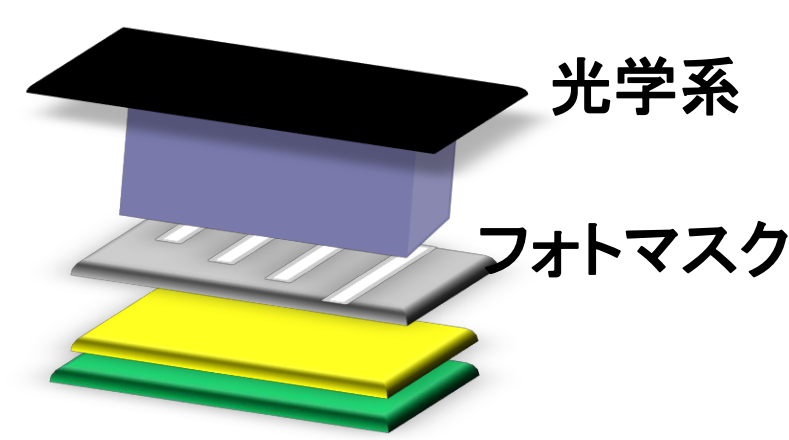
例: 光MOD



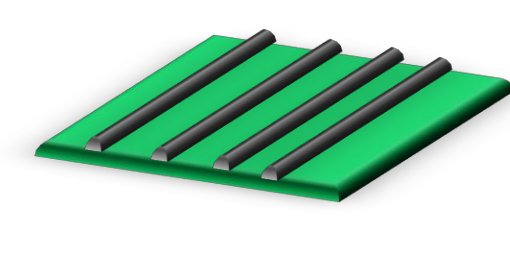
- ・ 金属有機化合物
- ・ ナノインク



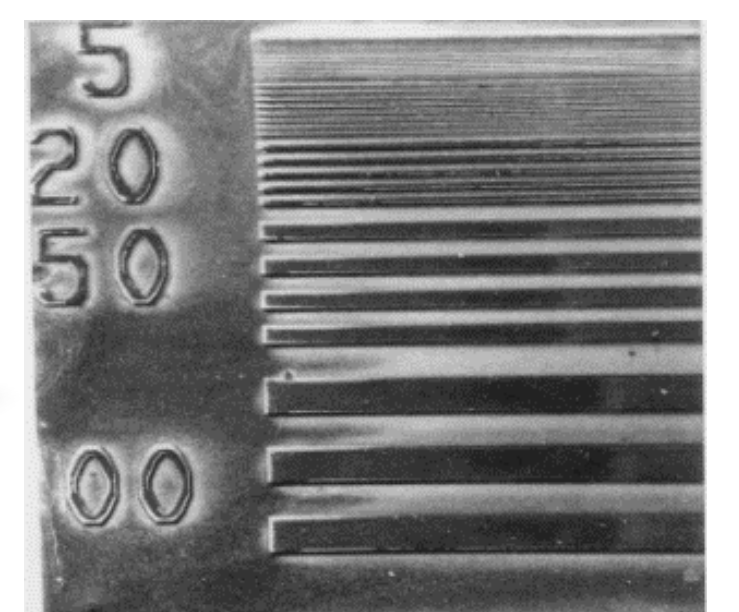
溶液塗布



光反応: 紫外光



パターニング



フレキシブルセラミックスの応用展開

## 連携可能な技術

- ・ 新規材料開発
- ・ 金属、樹脂基材への低温成膜
- ・ 特性評価、信頼性評価等
- ・ フレキシブルコーティング
- ・ エピタキシャル膜
- ・ 無配向基板への一軸配向膜
- ・ 高導電体膜、透明、高温対応
- ・ 蛍光体膜: 蓄光、照明
- ・ センサ膜: サーミスタ、蛍光センサ
- ・ 透明電極: 仕事関数制御: OLED





# 超精密成形技術を駆使した表面機能の制御

## 研究のポイント

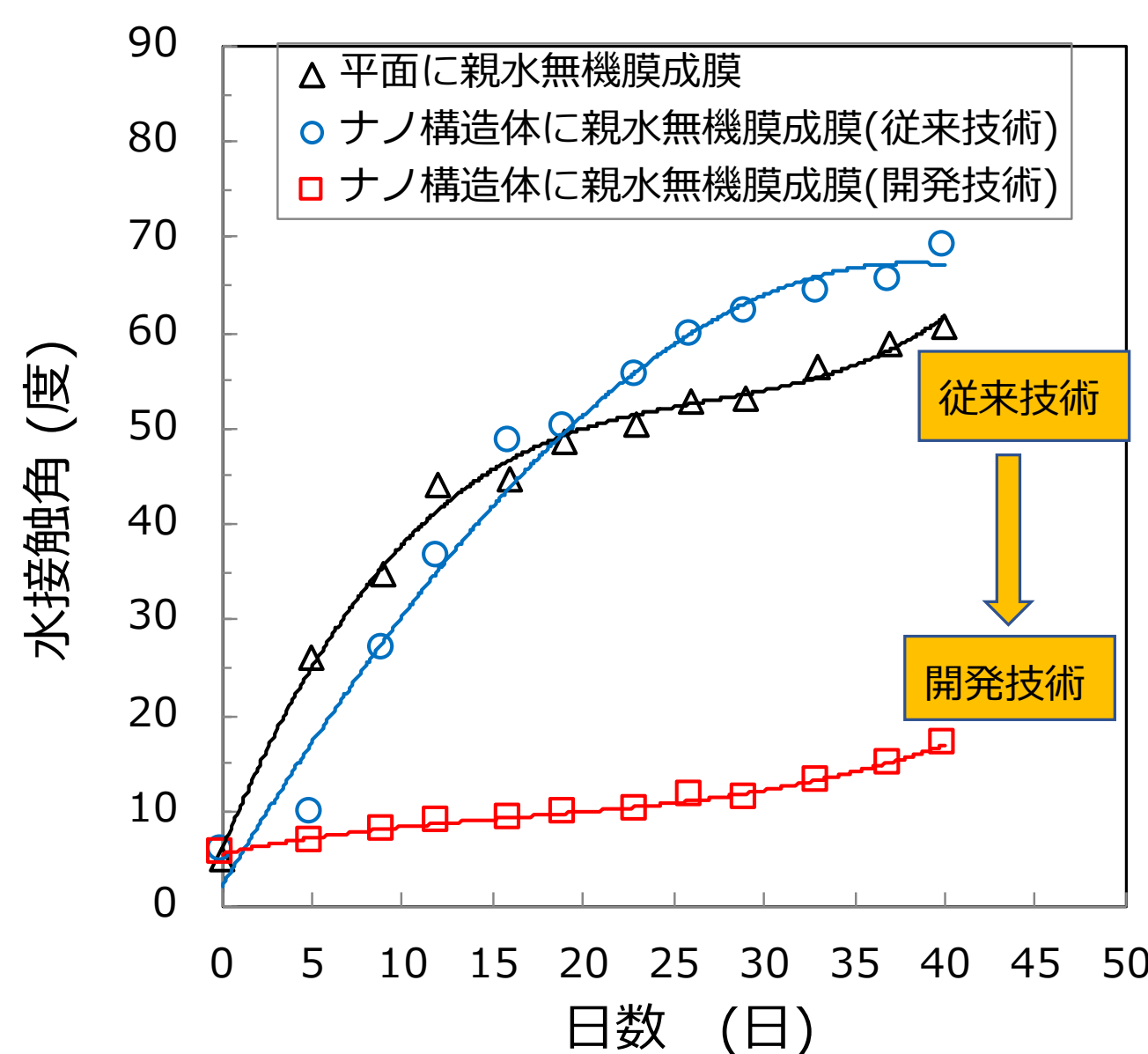
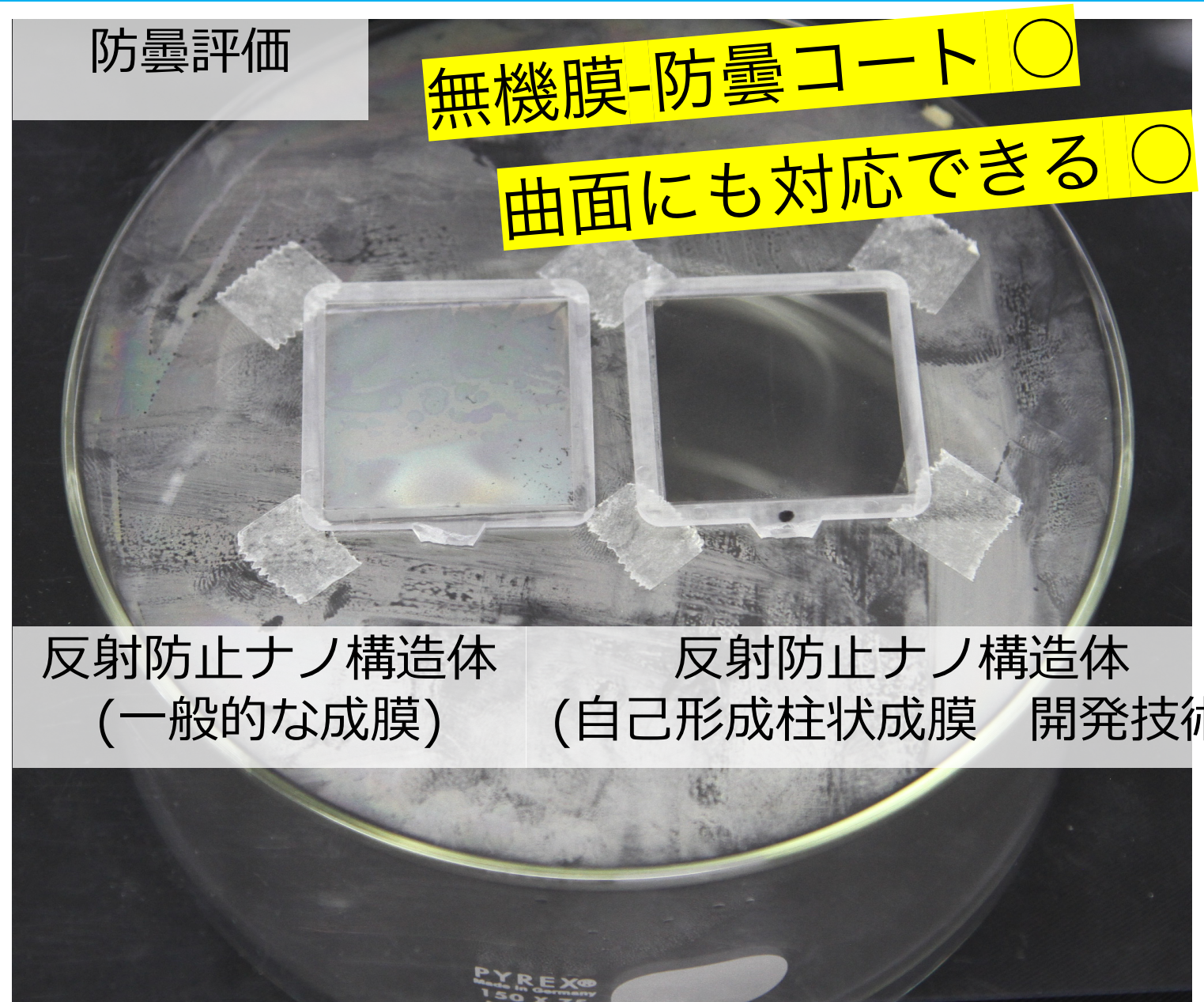
- 光、ぬれ、すべりなどの表面機能を特殊な微細構造で制御
- 世界最高レベルの広角の低反射性と防曇性を兼ね備えた光学部材
- プラスチック表面のナノ構造体を用いて低変形で透明な接合技術

## 研究のねらい

表面機能の制御とは、ニーズに応じて素子や製品の表面に様々な機能を付与することである。ナノ/マイクロ構造を利用した表面機能の制御は長期安定性（耐久性）、曲面加工性に優れ、その構造と材料の組み合わせによりこれまでにない新しい機能を発現するポテンシャルを秘めている。本研究では「光・ぬれ・すべり」などの表面機能の自在制御に向けて製造しやすさを踏まえた技術開発を推進している。

## 研究内容

### 世界最高レベルの広角の低反射性と防曇性を兼ね備えた光学部材

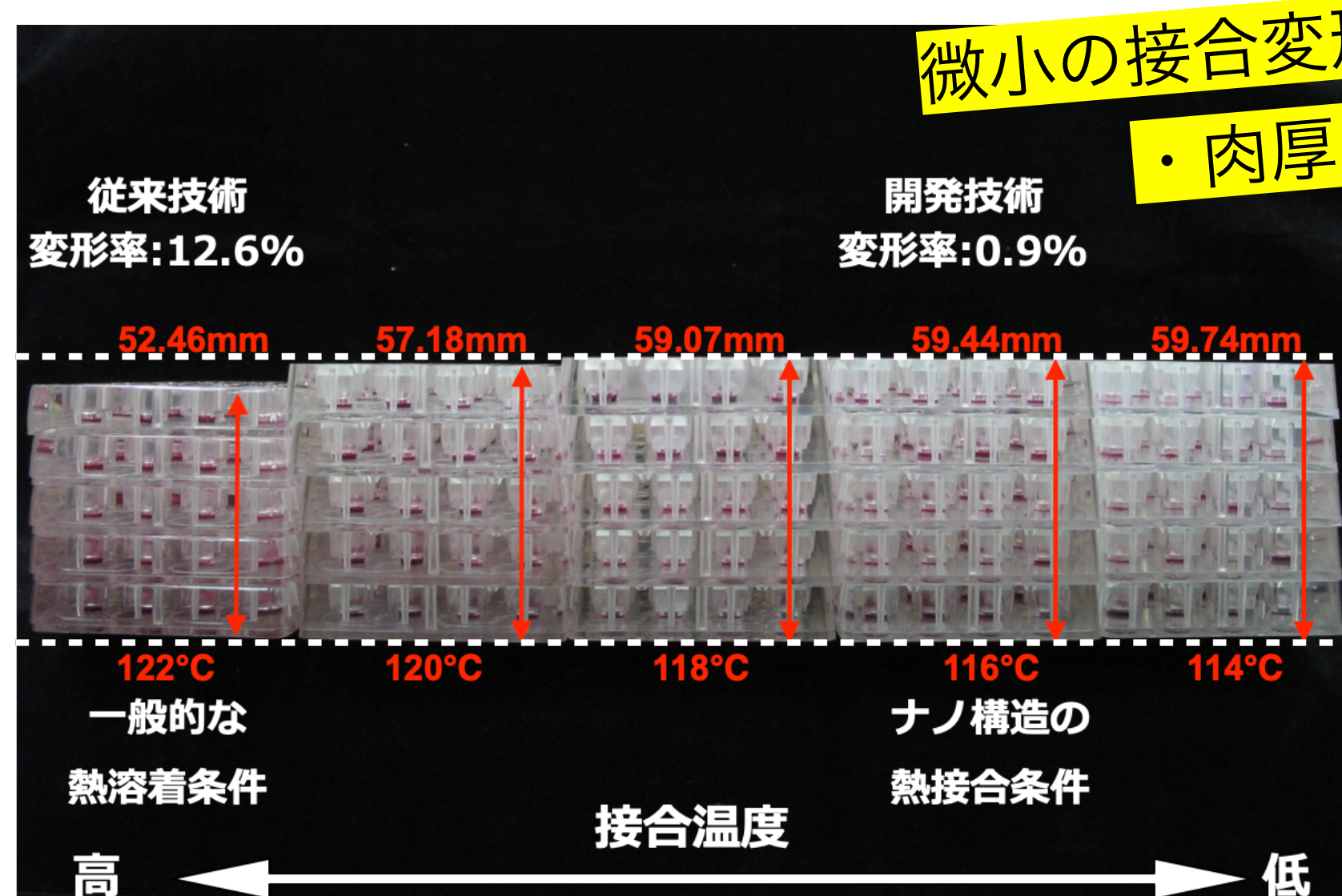
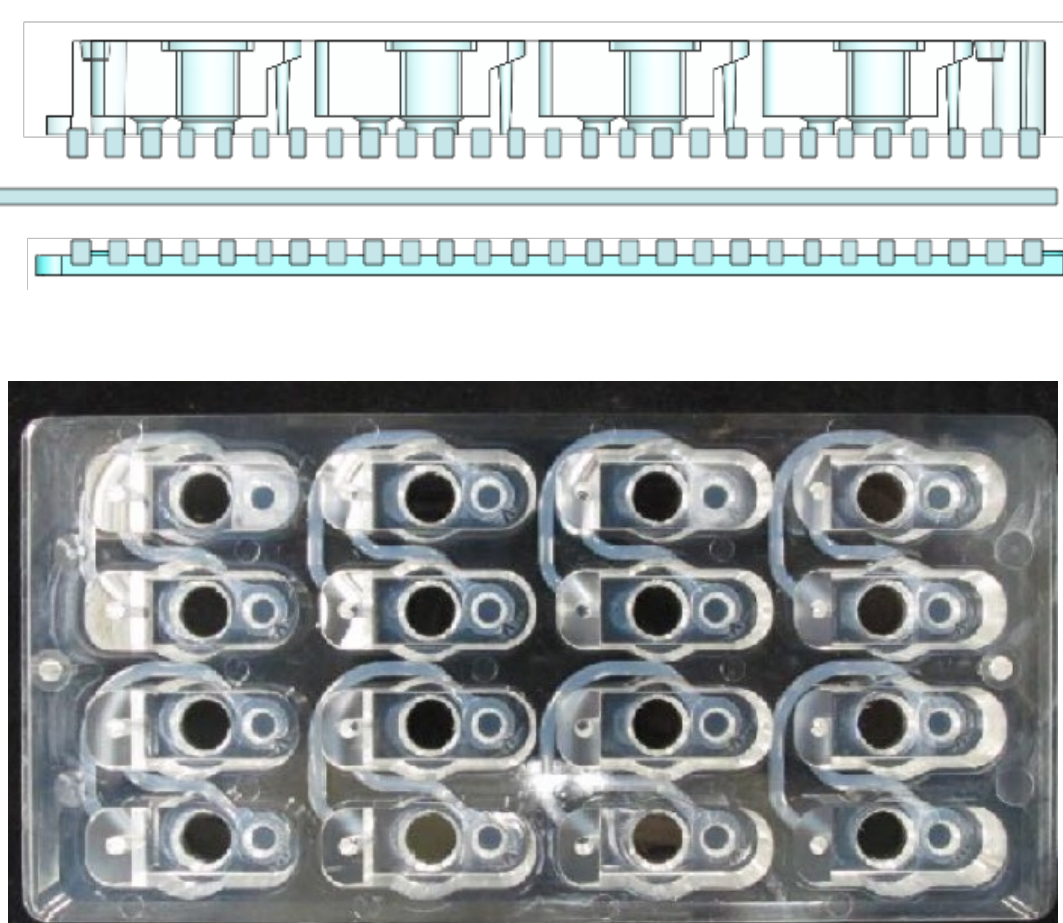


ナノ凹凸で世界最高レベルの広角反射防止特性

\*1%以下の視感度反射率の時の入射角度の使用可能範囲

	薄膜多層膜 (市販品)	モスアイフィルム (市販品)	産総研-モスアイ (開発技術)
入射角度:10度	0.64%	0.12%	0.66%
入射角度:20度	0.72%	0.17%	0.68%
入射角度:30度	0.86%	0.29%	0.69%
入射角度:40度	1.16%	0.60%	0.62%
入射角度:50度	1.89%	1.45%	0.46%
入射角度:60度	3.81%	3.91%	0.50%
入射角度:70度	9.03%	11.70%	2.94%
使用可能入射角度	<30度	<40度	<60度

### プラスチック表面のナノ構造体を用いて低変形で透明な接合技術



微小の接合変形で熱用着接合ができる。(1%以下)

・肉厚成形品と肉薄成形品の接合ができる。

光学的に透明性が確保できる。

	本開発技術	熱溶着	超音波溶着	レーザー溶着	表面活性化接合
金型精度(価格)	○	○	○	○	×(鏡面が必要)
接合時間	△	△	○	○	△
精密接合均一性	○	△	×	○	○
構造体と成形品の変形	○	×	○	○	○
透明部材や肉厚部材接合	○	△(変形)	○	△(透明不可)	○
接合装置価格	○	○	△	△	△



# 可視～近赤外をカバーした高耐熱性偏光シート

## 研究のポイント

- ホットエンボス（ナノインプリント）と金属埋込技術で高耐熱性偏光シートを開発
- 反射率制御技術によりワイヤーグリッド偏光素子の反射率を1/10以下に低減
- 光学特性と高耐久性で他の偏光素子と差別化可能に

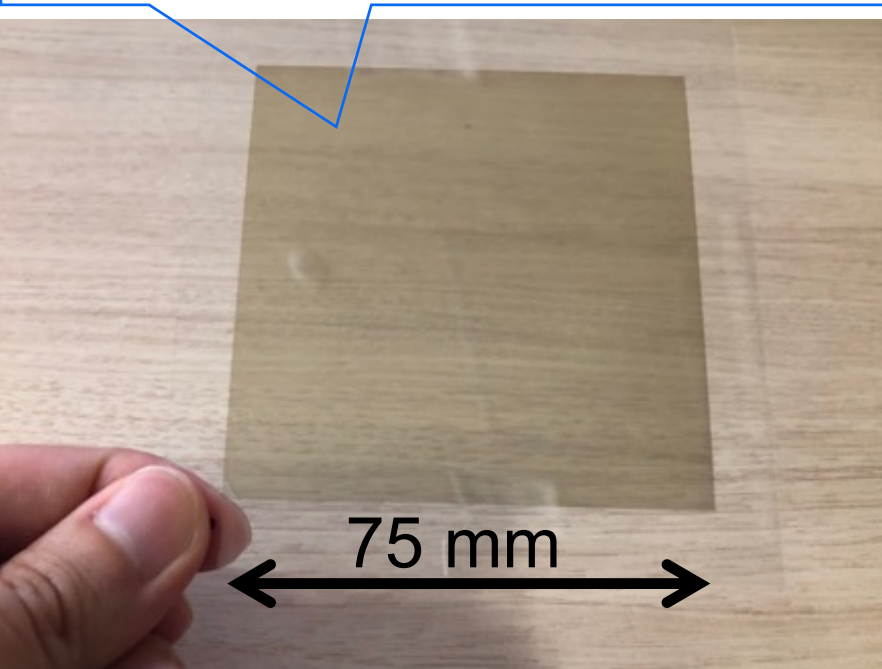
## 研究のねらい

車載機器や液晶プロジェクタなどでは、高温高湿の環境や常に高輝度の光が照射される環境での使用が想定されるため、製品を構成する偏光素子にも高い耐久性（耐熱性、耐湿性、耐光性）が求められる。一方、可視光から近赤外光による生体認証や工業用検査などの光学系においては迷光やギラつきの抑制が依然として課題であり、反射率の低い偏光素子が求められている。これらの機能を兼ね備えた偏光素子の実現できれば、これまで応用が難しかった分野への展開も可能になり、偏光素子の新たな局面を迎えることができる。

## 研究内容

### 可視光 (VIS) - 近赤外光 (NIR) で機能する低反射率で高耐久性の偏光シートを実現

高耐久性(耐熱・耐湿・耐光)  
低反射率(4%)



開発した偏光シート

液晶ディスプレイからの偏光像にかざして観察  
開発した偏光シート 液晶ディスプレイ



光を通さない向きに  
偏光シートを配置



光を通す向きに  
偏光シートを配置



偏光サングラスの試作例

産総研 三菱ガス化学トレーディング

曲面加工に対応可能

同一サンプルで  
可視～近赤外をカバー

簡便な製造方法

### 比較表

	特殊WG 開発品	市販WG	染料系	ヨウ素系
波長帯	○ VIS-NIR	○ VIS-NIR	△両立困難	△両立困難
耐久性 (熱/湿/光)	○	○	△	×
コスト	○ (見込み)	×	○	○
反射率	4%	50%	5%	5%
透過率	15%	45%	20%	43%
偏光度	99%	99.9%	99.9%	99.9%
備考	吸収-反射 制御可能	反射型	吸収型	吸収型

### 開発品の現状性能

波長	偏光度	単体透過率
550 nm	99.6%	8%
850 nm	99.9%	15%
1550 nm	99.2%	23%

### 連携可能な技術・知財

- 特許第6899552号 (2021/06/17)
- W02020/261791 A1
- ホットエンボス/ナノインプリント技術
- 微細加工技術
- 光学設計、素子開発



# 表面機能部材開発のためのスマートラボシステム

## 研究のポイント

- 研究開発を推進するスマートラボDXシステム
- 表面機能開発の基盤データ/管理データをDX化し効率的な機能部材開発を推進
- 工場のDX化(スマート工場)/プロセスDX/マテリアルDXのツール開発

## 研究のねらい

スマートラボ(研究室内IoT管理システム)の開発を行っています。研究開発は、究極の少人数・変種変量生産でありDXシステムが求められています。我々は、表面機能部材開発の活動を通して、データやプロセス情報をDX化し、効率的でかつ新たな発見に繋がる研究開発用のDXツールを開発し研究活動に活用しています。また、これらDXツール開発を通して、工場のDX化(スマート工場)・プロセスDXやマテリアルDXへ貢献できるツールの模索を推進しています。

## 研究内容

### スマートラボシステム(研究開発用DXシステム)

#### Physical System

##### 活動情報手動入力



##### 装置情報自動入力

データ収集状況によって、自動的にSNS通知



表面機能部材開発にDXを活用  
研究開発に特化したDXシステム  
低メンテナンス・低設備投資

#### Cyber System

##### Cloud



##### 制御/表示/分析端末



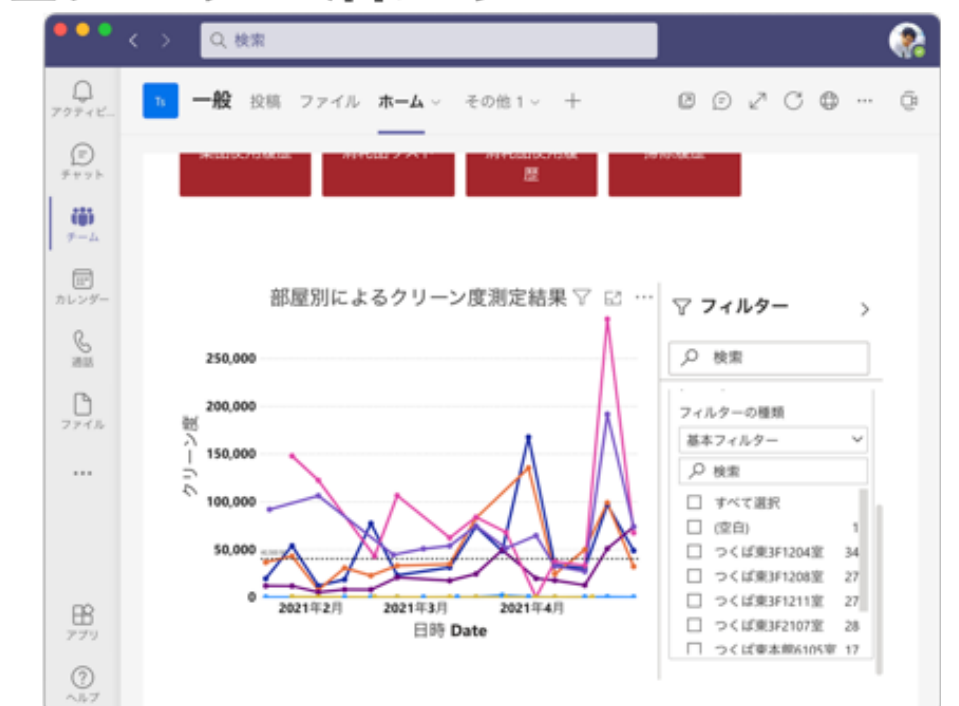
##### スマートラボ端末



##### SNS通知,メール通知



プロセスデータ/活動記録をデータ分析、AI機能を使って、研究管理データに活かす





# 「おかもち」サイズで従来にない高品位微細加工

## 研究のポイント

- 従来不可能であった金属に対する小径穴、狭溝など高アスペクト比形状を、デブリがほとんど発生しない状態で加工
- 加工原理を効率良く複合する事で低エネルギー消費、小型化を実現
- 小径多孔インジェクションノズル、超小径ステントなど世界に類を見ないデバイス製造

## 研究のねらい

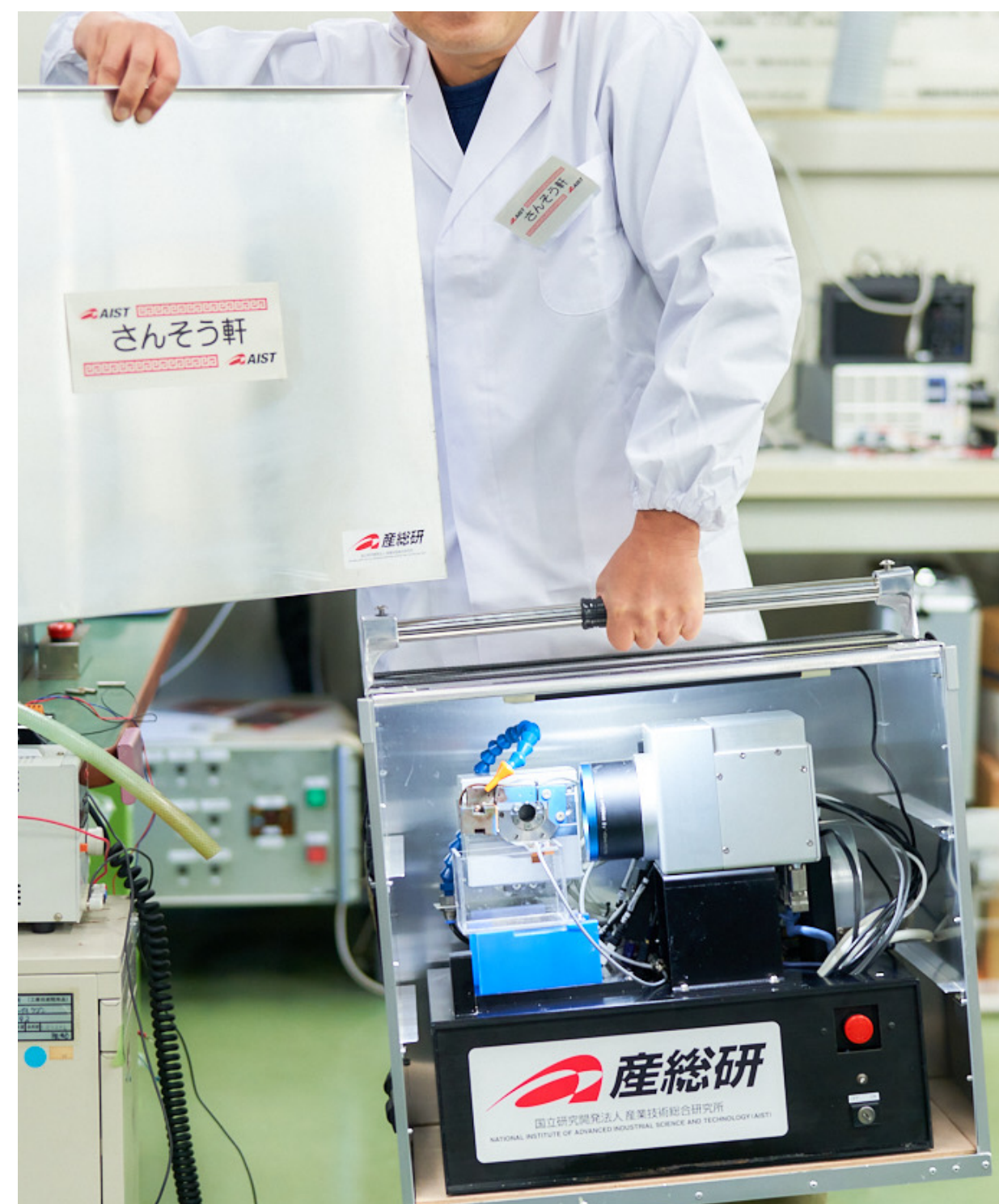
レーザ加工は高速、高精度、非接触加工などの特徴を持ち、自動車や重工業分野、電子・電機分野など広範囲に応用されているが、材料除去する場合のほとんどでレーザエネルギー吸収による材料の温度上昇を利用するため、デブリの原因となる熱影響層 (HAZ) が問題となる。一方、ドライエッチング、ウェットエッチングなどの加工は、主に化学反応を用いて材料を除去するためにHAZの発生はほとんどないが、除去部位を制御するためのマスクが不可欠なことや、等方的に除去されるために高アスペクト比加工が難しいなどの問題がある。ここでは、前述の問題の解決を図るとともに、加工現象を複数効率的に適用し、従来に比べ飛躍的な機能、効果を持つ加工技術の創成、これまでにない機能を持つオンリーワン、ナンバーワンデバイスの創成を狙っている。

## 研究内容

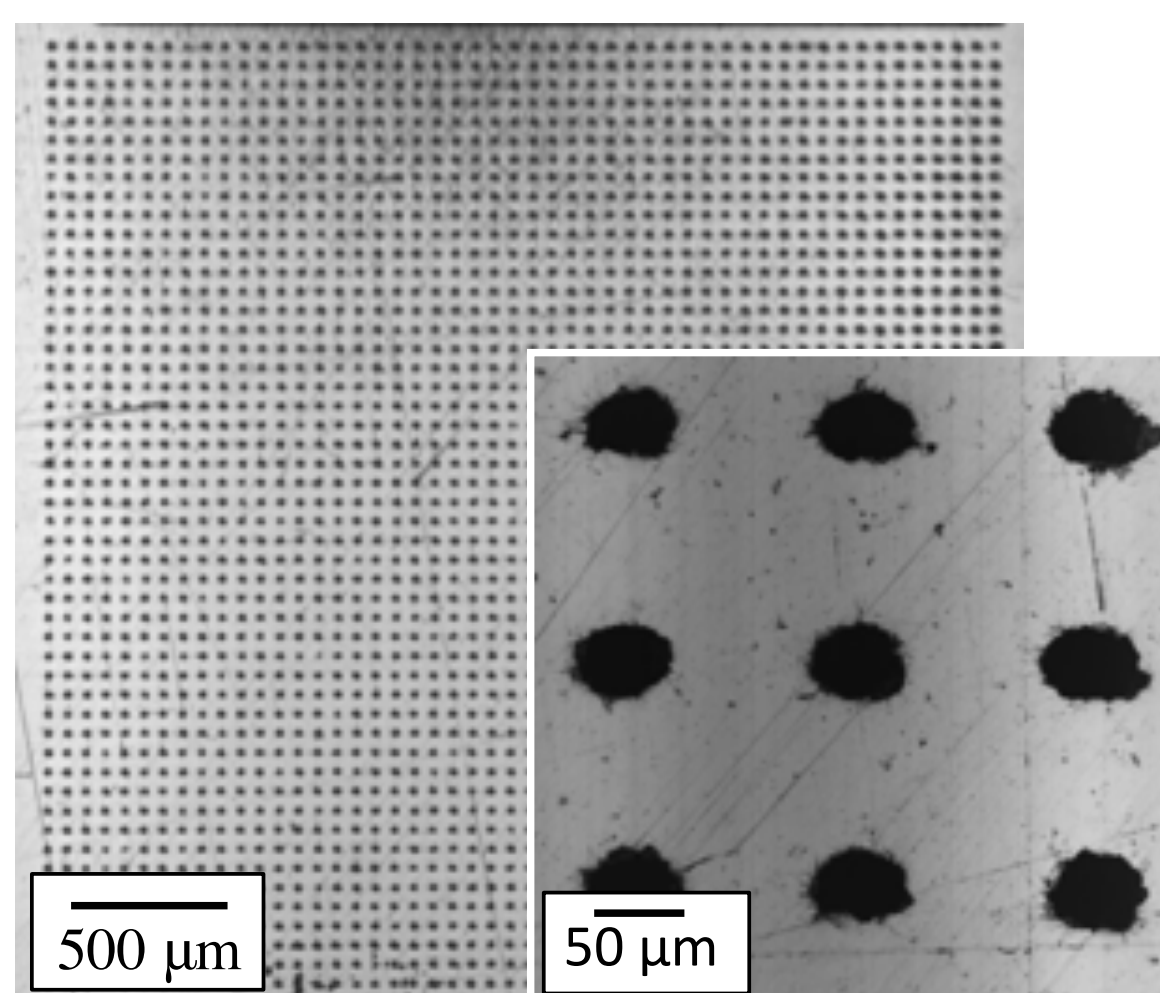
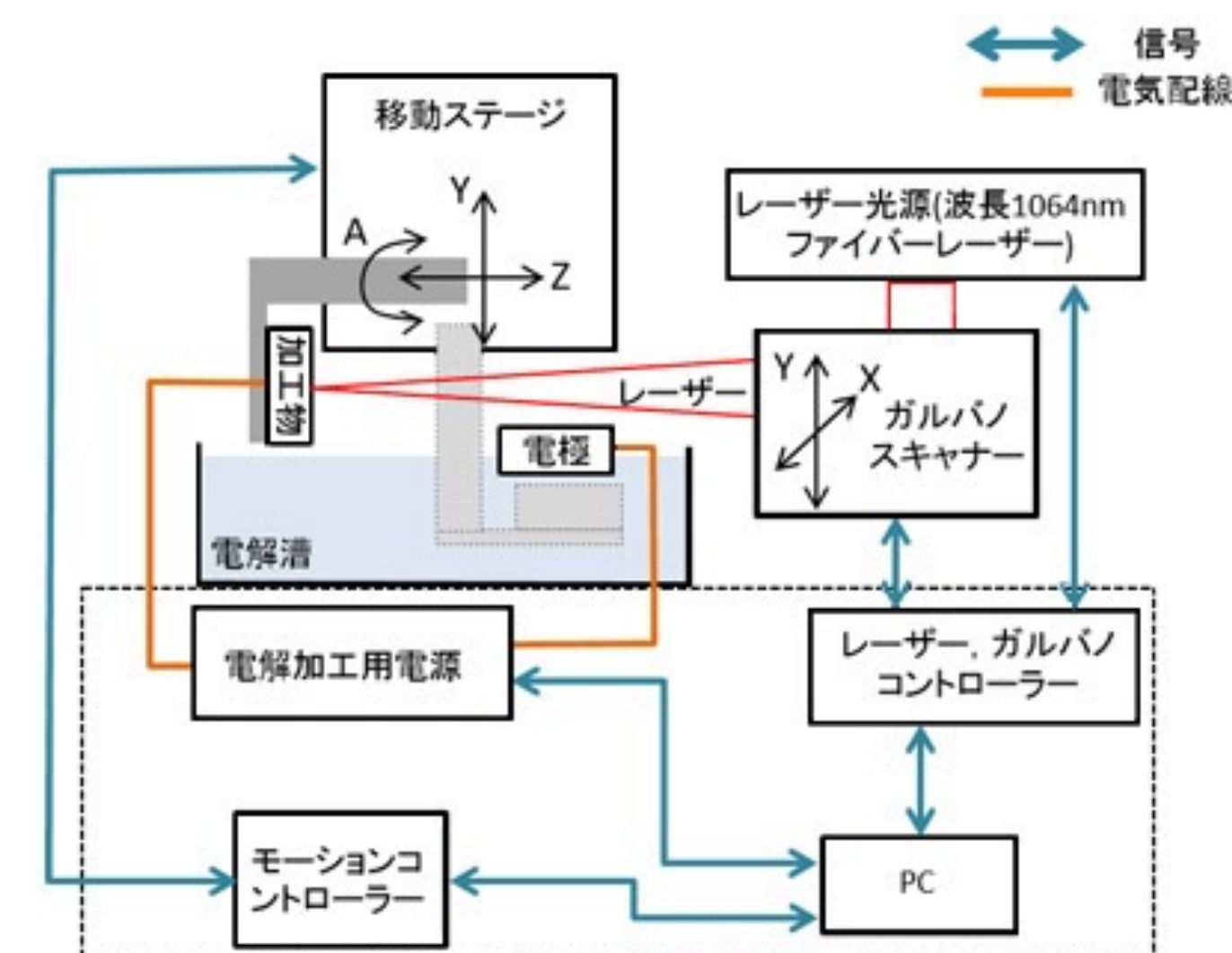
レーザ加工と電気化学的エッチング加工である電解加工を複合し、**低熱影響層、高アスペクト比、微細形状、金属対応**など、加工技術の長所を併せ持つ加工が可能なDEEL (Deep Electrochemical Etching with Laser assistance) 複合加工を提案し、幅430、高さ400、奥行き300mmで装置化。加工例として金属材料であるステンレスに対し、最小部径約30 $\mu\text{m}$ 、アスペクト比約15の微細穴を2500穴を具現化した。加工時間は1穴当たり約7秒。今後、自動車部品、医療用部品、電子部品を対象とした形状の加工へと展開していく。

## 連携可能な技術・知財

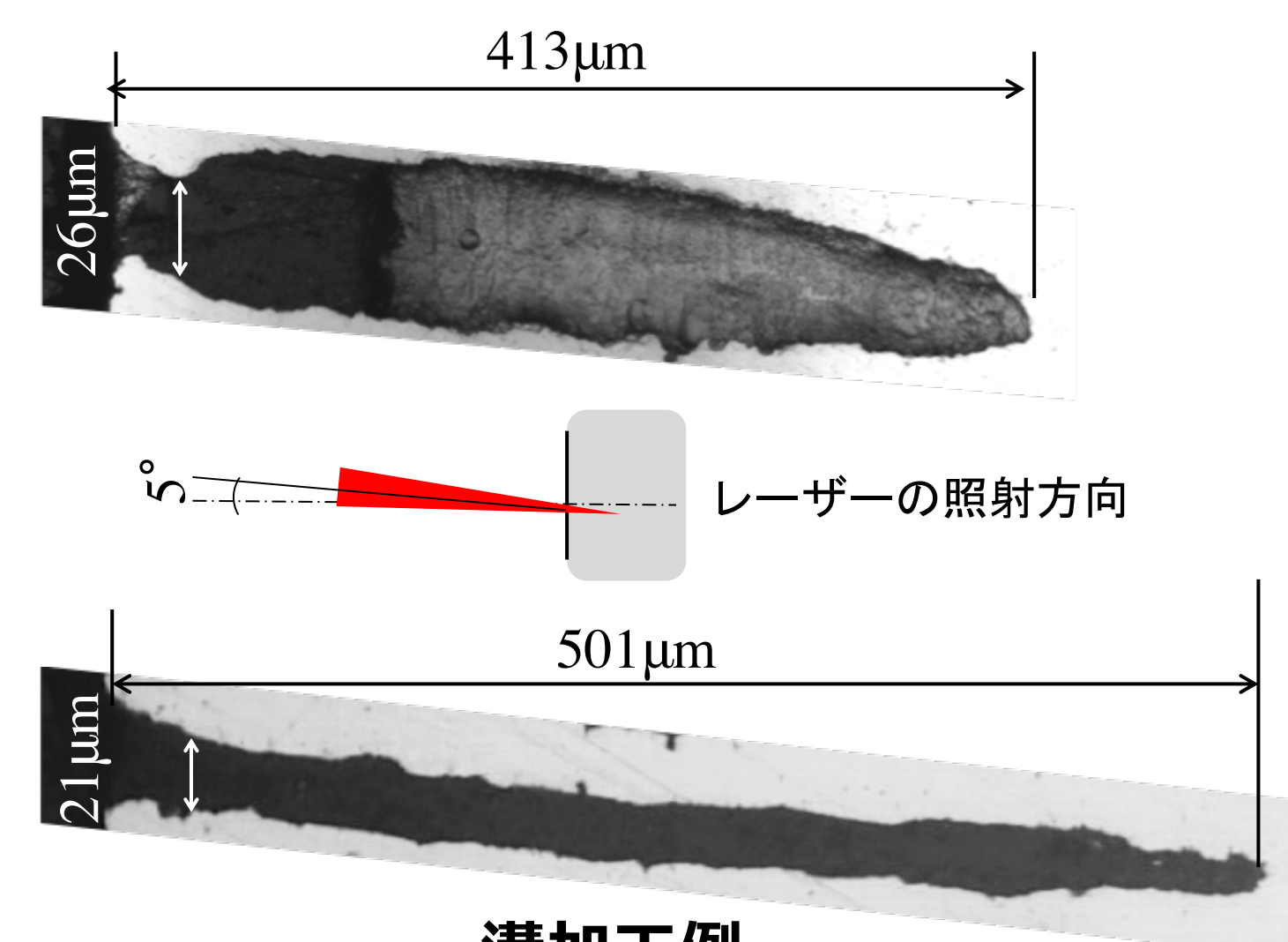
- 電解、レーザ複合加工方法及び装置 特許第5283124号 (2013/06/07)



DEEL複合加工機とそのブロック図



多穴加工例



溝加工例



# 難削材用切削工具や高温金型に適した超高硬度サーメット

## 研究のポイント

- 室温～1000℃での高温硬度を最大で超合金K10の約1.8倍まで向上
- 従来の超合金K10より優れた高温耐酸化性
- スーパーステンレス鋼、インコネルの高速切削加工を行うと際、開発材製切削工具の方が超合金K10製工具より摩耗が小さい。
- 超合金のCoバインダーが溶解する1300℃でも金型として利用可能。

## 研究のねらい

現在インコネル、スーパーステンレス鋼のように切削加工時刃先温度が1000℃以上になる難削材の使用量が増加傾向にある。しかし従来の工具材料は600℃以上で硬度が大きく低下するためこれら難削材の高速切削加工が行いにくい。最近我々は従来の超合金より高硬度かつ耐酸化性が良好でさらに環境負荷の大きいCoを含まないTi(C, N)-W系サーメットを開発している。

## 研究内容

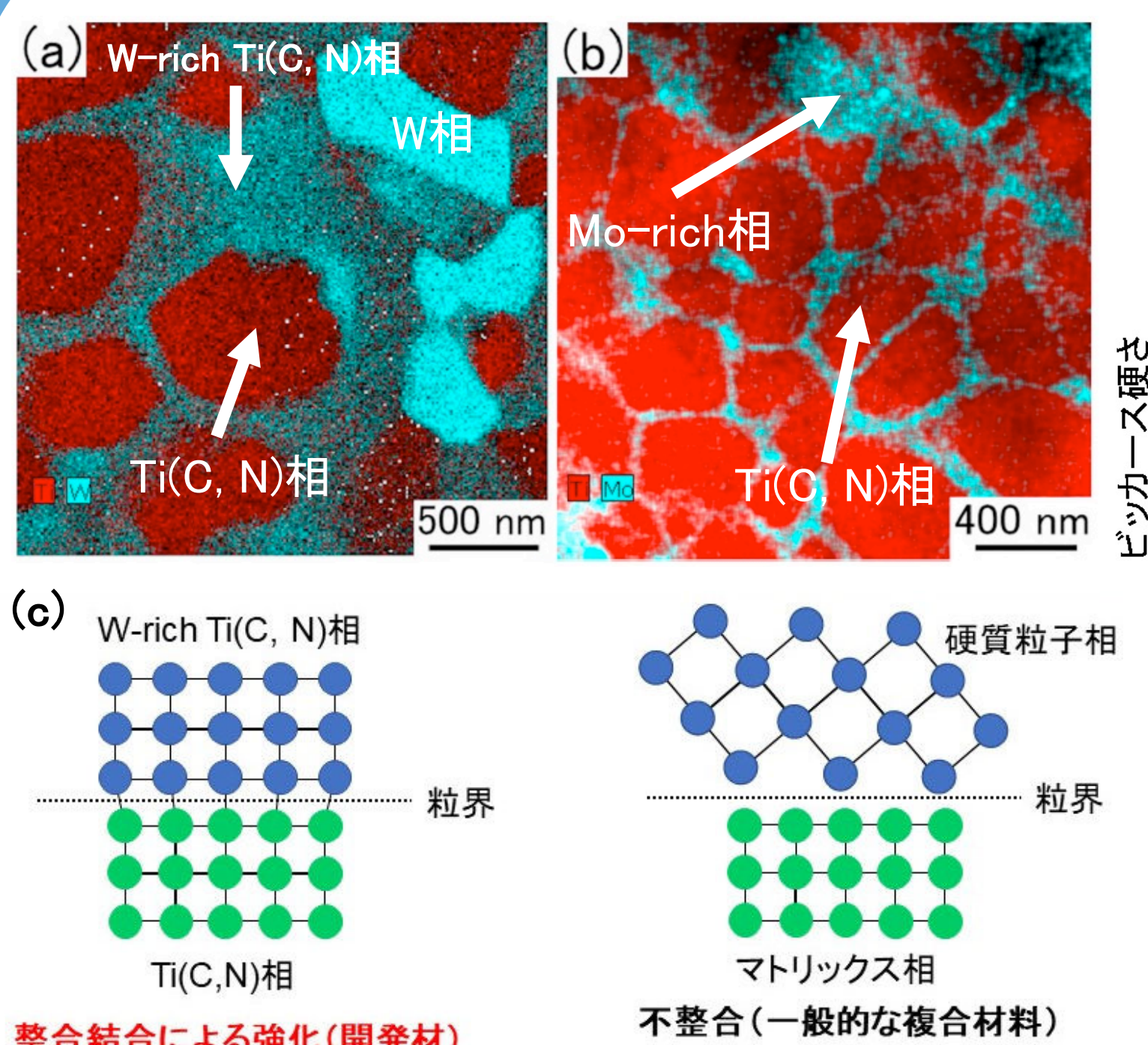


図1 開発材(a) Ti(C, N)-50mass% W、(b) Ti(C, N)-20mass% Moサーメットの網目状組織及び(c)整合結合の概念図

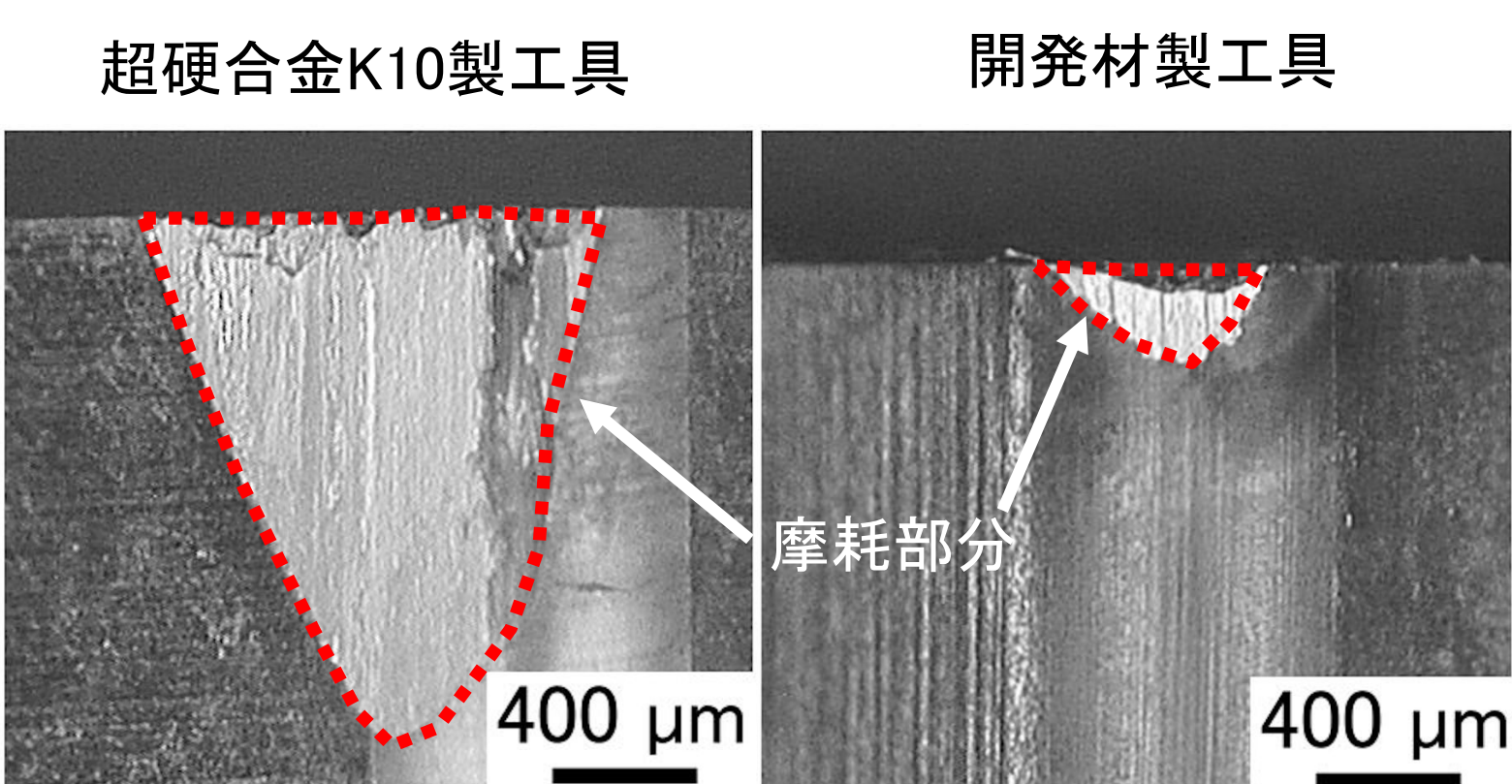


図4 スーパーステンレス鋼S32750を切削速度800m/minで100m切削後の工具刃先の外観

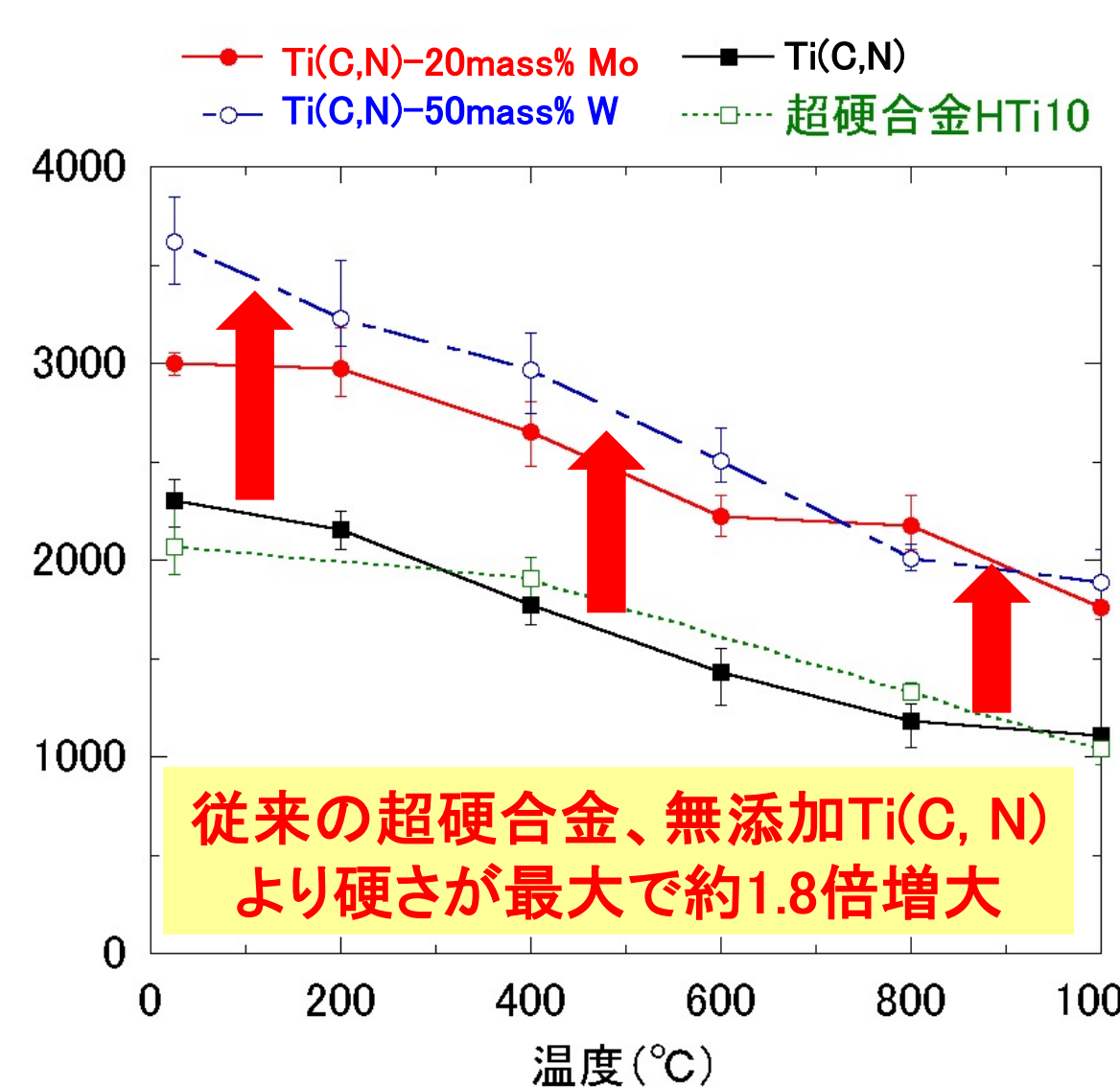


図2 開発材の高温ビッカース硬さ

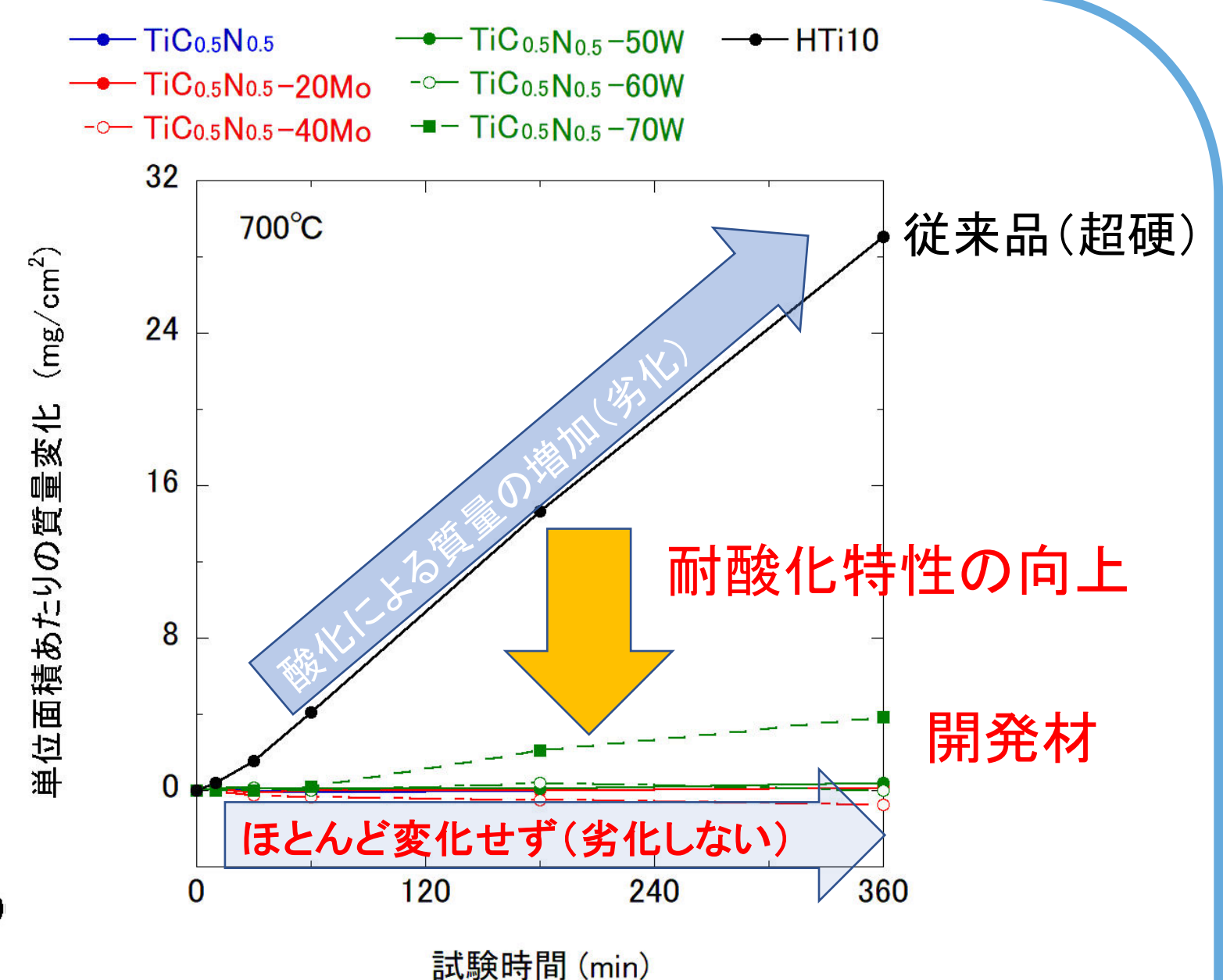


図3 開発材の大気中700℃での質量変化



図5 開発材製焼結型、及びこの型を用いて1300℃で焼結したアルミナ焼結体(相対密度ほぼ100%)の外観

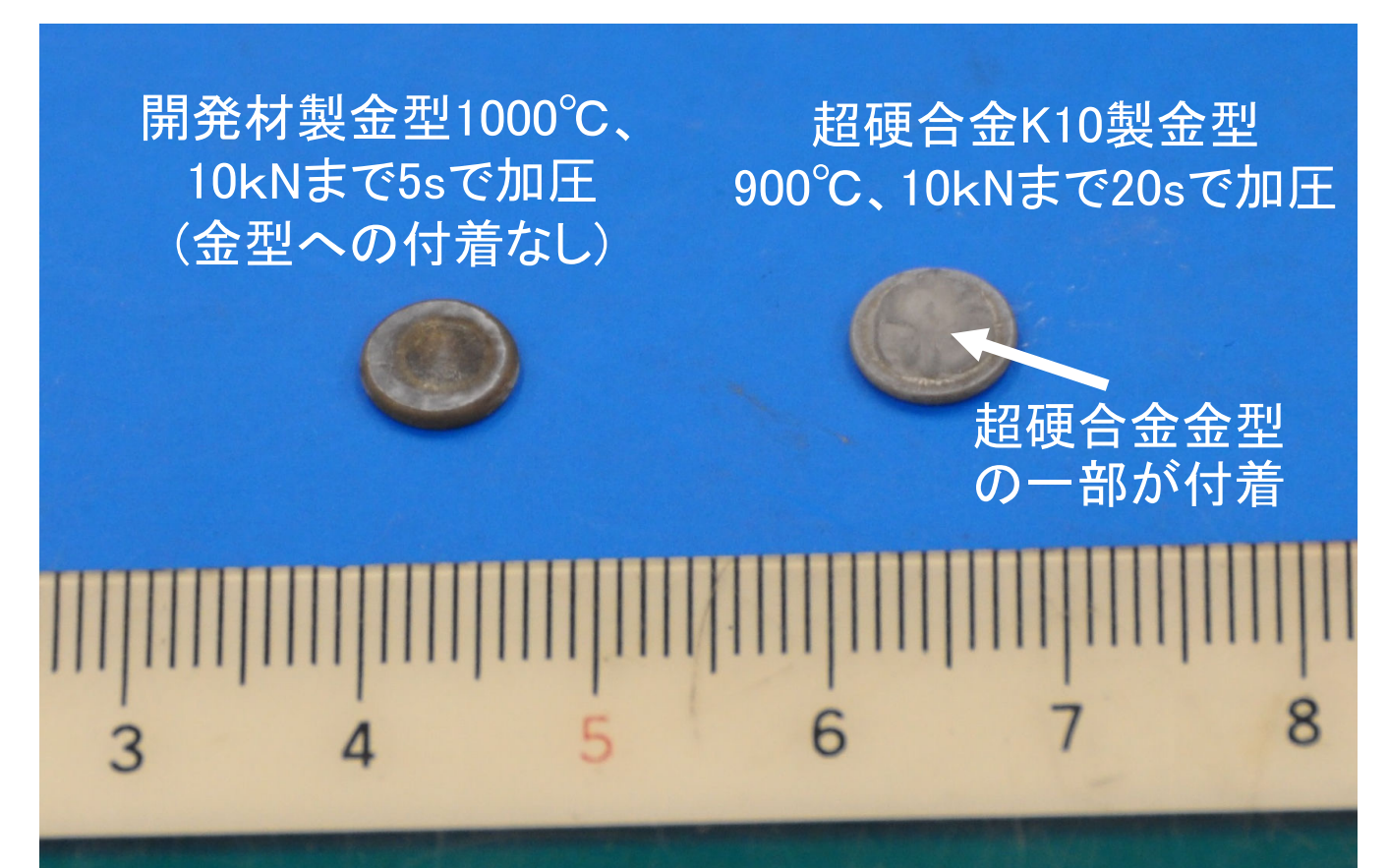


図6 開発材製金型及び超合金K10製金型で恒温鍛造後のインコネル718合金の外観(加藤ら)

## 連携可能な技術・知財

加圧焼結体及びその製造方法  
特願2020-051224号 (2020/03/23)



# 光反応プロセスを用いた循環型ものづくりの構築

## 研究のポイント

- 光プロセスを用いた機能性膜の開発:「機能×耐久性」によるリデュース
- オンデマンドリペア技術の開発による生産性向上とリユース部材開発
- サキュラーコンポジットマテリアル(単一マルチマテリアル)による易リサイクルの実現
- 光反応プロセスを用いた易接着・易分離技術の開発
- リマニュファクチャリングプロセスの最適設計に向けたLCA評価とデジタル製造

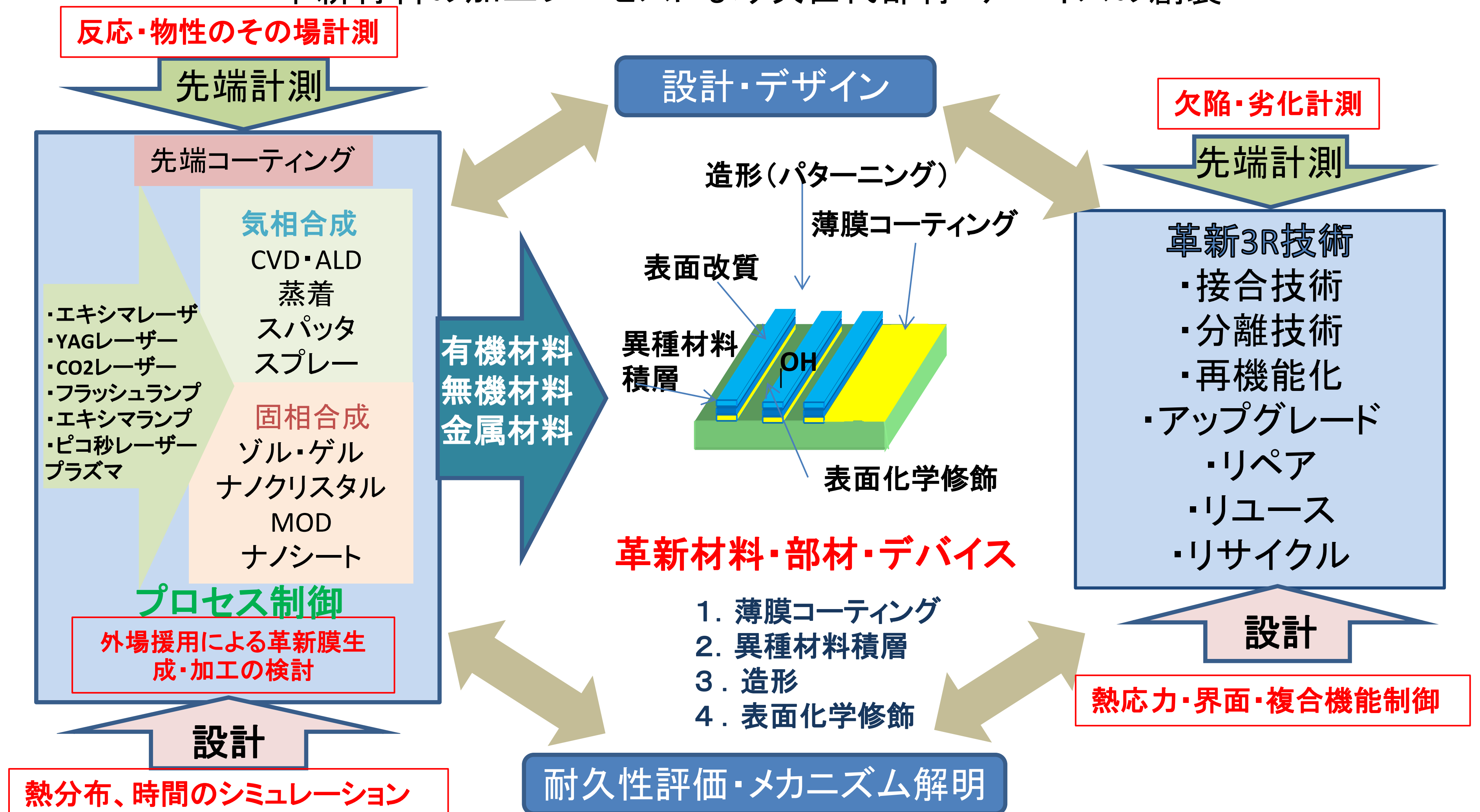
## 研究のねらい

従来の各種部材は、希少金属や高エネルギー消費プロセスで大量生産、廃棄されてきましたが、低炭素化社会の構築には、多品種少量生産と低環境負荷型の革新的な循環型のものづくりの構築が必要不可欠となってきました。本グループでは、部材・デバイスの再利用を実現すべく、多様な光反応により、各種部材・デバイスの耐久性と機能を付与した成膜技術の開発、再利用を可能とするオンデマンドリペア技術の開発、部材・デバイスのライフサイクルにおいて環境効率を最大化するプロセスの開発を行っています。

## 研究内容

### 循環型ものづくりの構築

革新材料の加工プロセスにより次世代部材・デバイスの創製



SDGs社会の構築へ

- ・ゼロエミッション、次世代通信・インフラ、安全、安心社会、農林水産業
- ・太陽電池、ディスプレイ、電子部品、発光部材、光学薄膜、半導体製造装置



# 金属積層造形 (AM) の粉末処理技術の開発

## 研究のポイント

- DCプラズマ粉体処理で非球状粉末を高品位化、AM材料多様性を向上。
- 表面汚染粉末 (AM利用済粉末) の表面性状を改善, AMへの再利用を可能に。

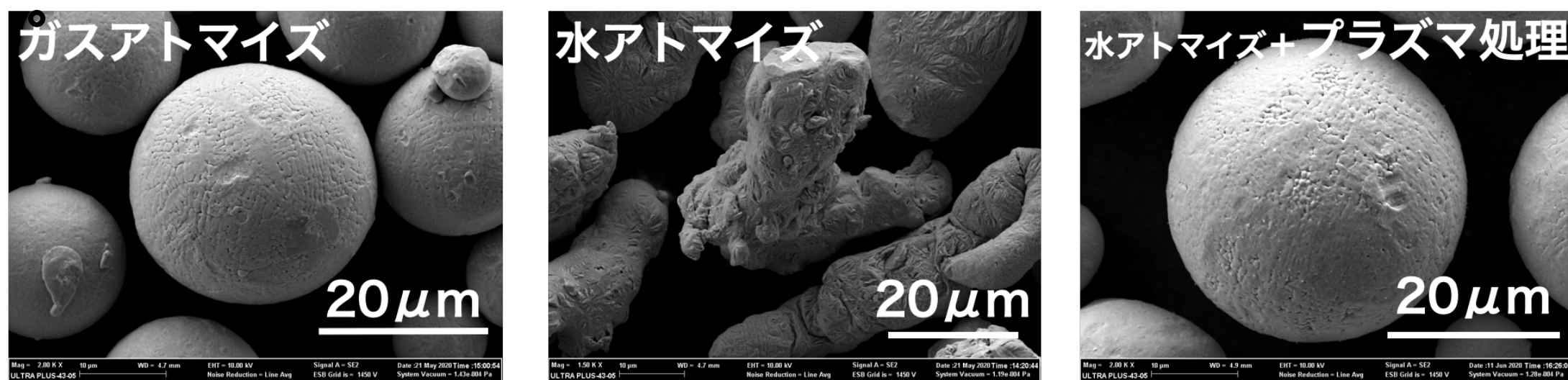
## 研究のねらい

AMの産業応用の広範化のために、AMに利用可能な材料種の拡充 (**材料多様性の担保**) が重要である。本研究では、水アトマイズ粉末や破碎粉末、造粒粉など、一般にAMには不適とされる**非球状粉末の球状化プロセス開発/機構解明**を行なうと共に**AMで既に利用された粉末のリサイクル技術開発**を行なっている。

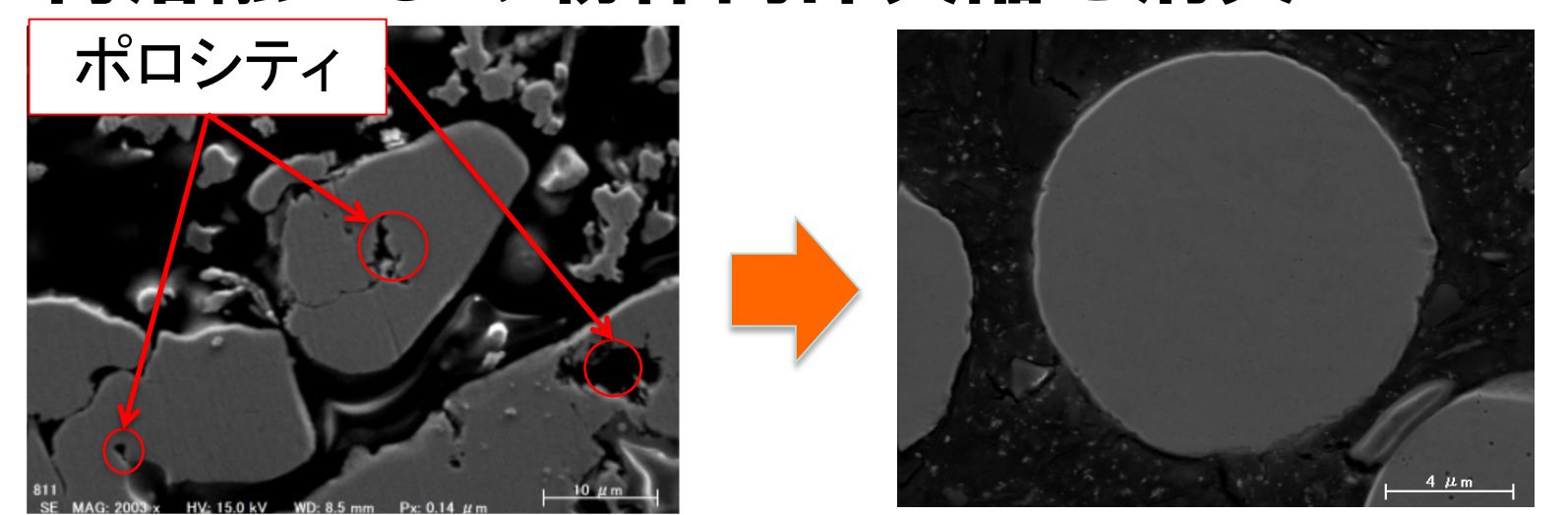
## 研究内容

### ☆ 非球状粉末の高品位化 (水アトマイズSUS316Lへの適用例)

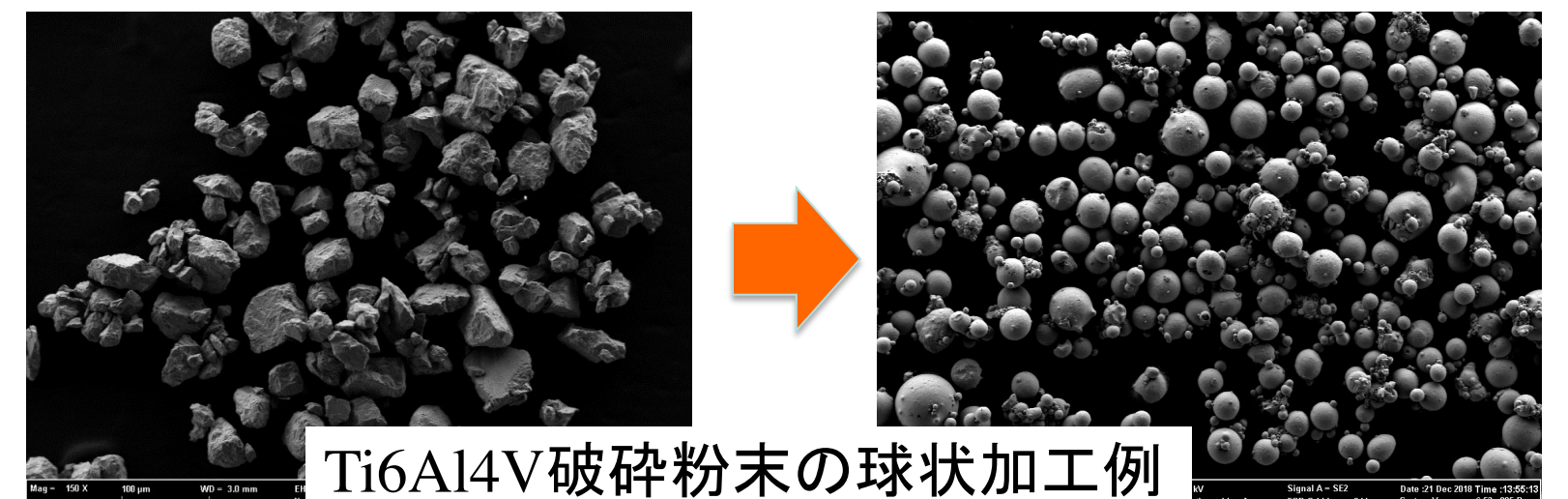
- 真球性向上で、AM用粉末に必須の**流動性・充填性 (嵩密度)**を大きく改善、**流動性: 1.0→4.0 J<sup>-1</sup>, 嵩密度: 3.0→4.5 g/cm<sup>3</sup>**
- 再溶融により粉体内部欠陥を消失



	市販AM用粉末	水アトマイズ	水アトマイズ+プラズマ処理 (開発法)
粉末形態 (真球性)	○ (平均95%)	×	◎ (95%以上)
流動性	○	×	◎
焼結性	○	×	○
表面酸素濃度	○	× (水分・吸着酸素)	○

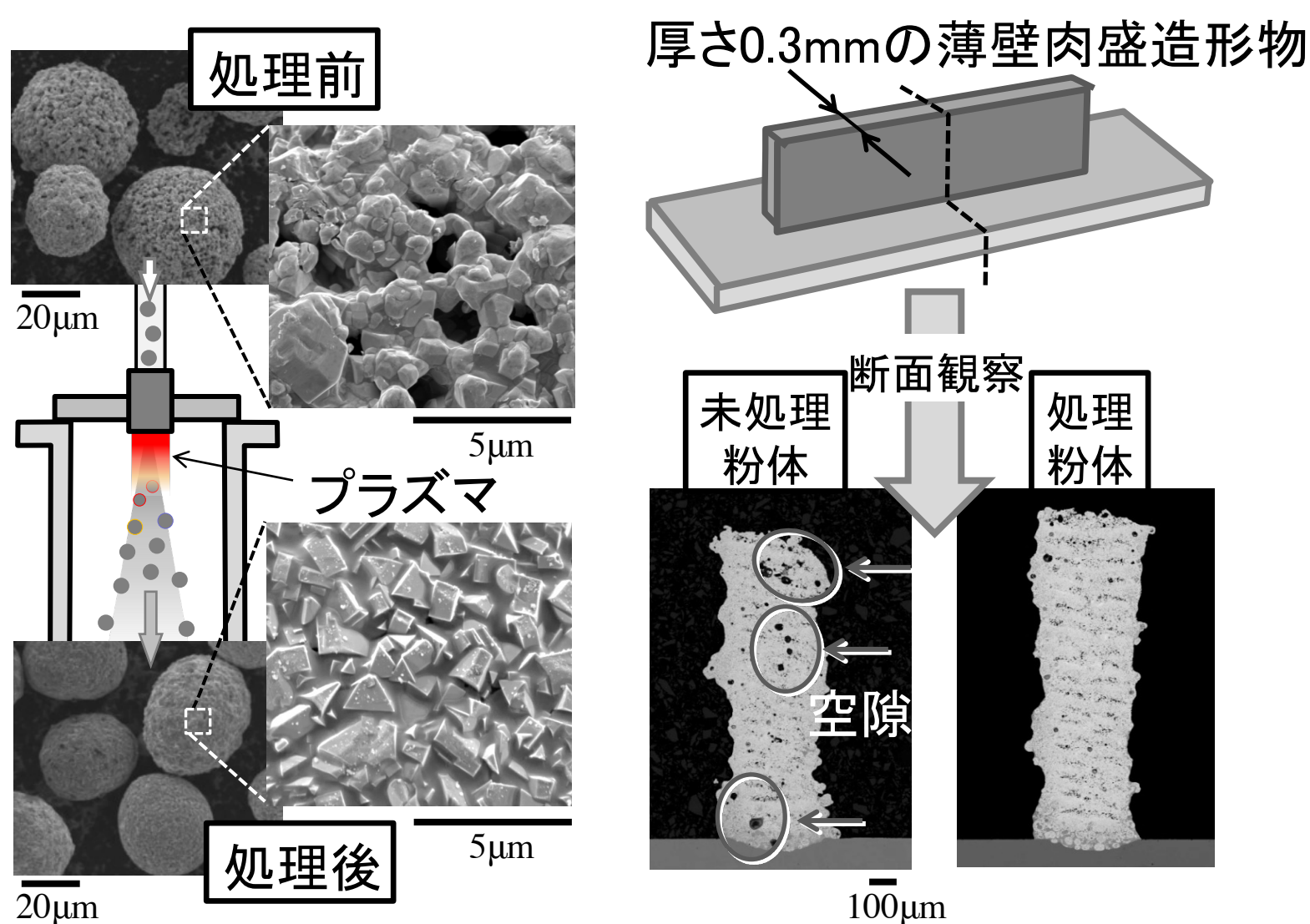


- Ti合金, Ni合金, 工具鋼等, 他金属への適用可能



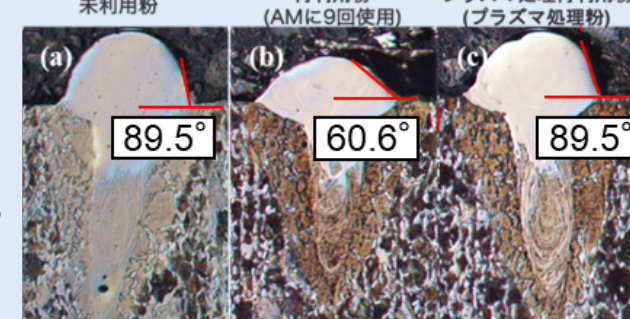
### ☆ 造粒粉体の低間隙化 (超合金 WC)

**1次粒子間の間隙低減。原料粒子高密度化で間隙由来の造形欠陥 (ポロシティ) 発生を抑制。**



### ☆ AMリユース粉末への応用

- プラズマで表面**酸素濃度低減**, **プロセス環境中の水分圧低減**
- バージン粉末同等以上のプロセス環境構築,
- **ビード形状回復**→プロセス安定性に寄与

	【粉末特性】 (Ni基超合金 (IN718))			【造形特性 (ビード形状)】
	バージン粉末	AM利用粉末	プラズマ処理粉末	
粉体水分量 [%]	0.03	0.12 ↑	0.02 ↓	 PBF積層造形でビード形状の回復に成功
表面酸素濃度 [wt%]	0.52	1.52 ↑	0.24 ↓	
到達真空度 [mPa]	0.45	1.90 ↑	0.56 ↓	
水分圧 [ $\times 10^{-7}$ Pa]	0.10	2.20 ↑	0.087 ↓	

## 連携可能な技術・知財

粉体材料開発、プラズマ粉体処理技術、各種粉体の特性評価



# レーザー超音波法によるAM部材の欠陥評価

## 研究のポイント

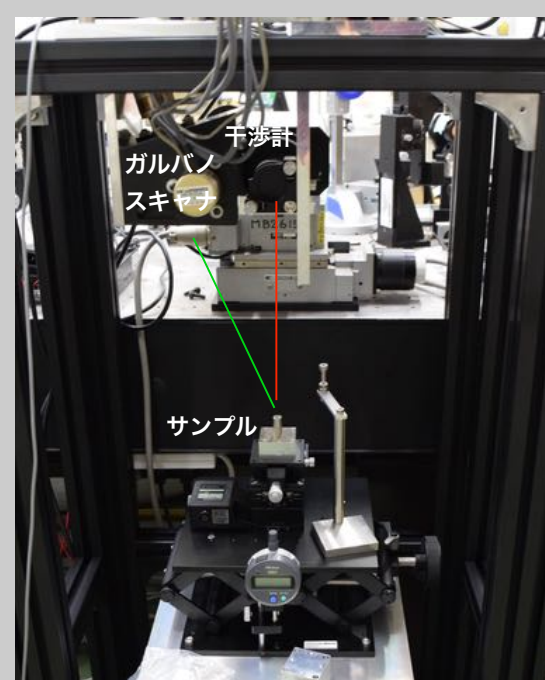
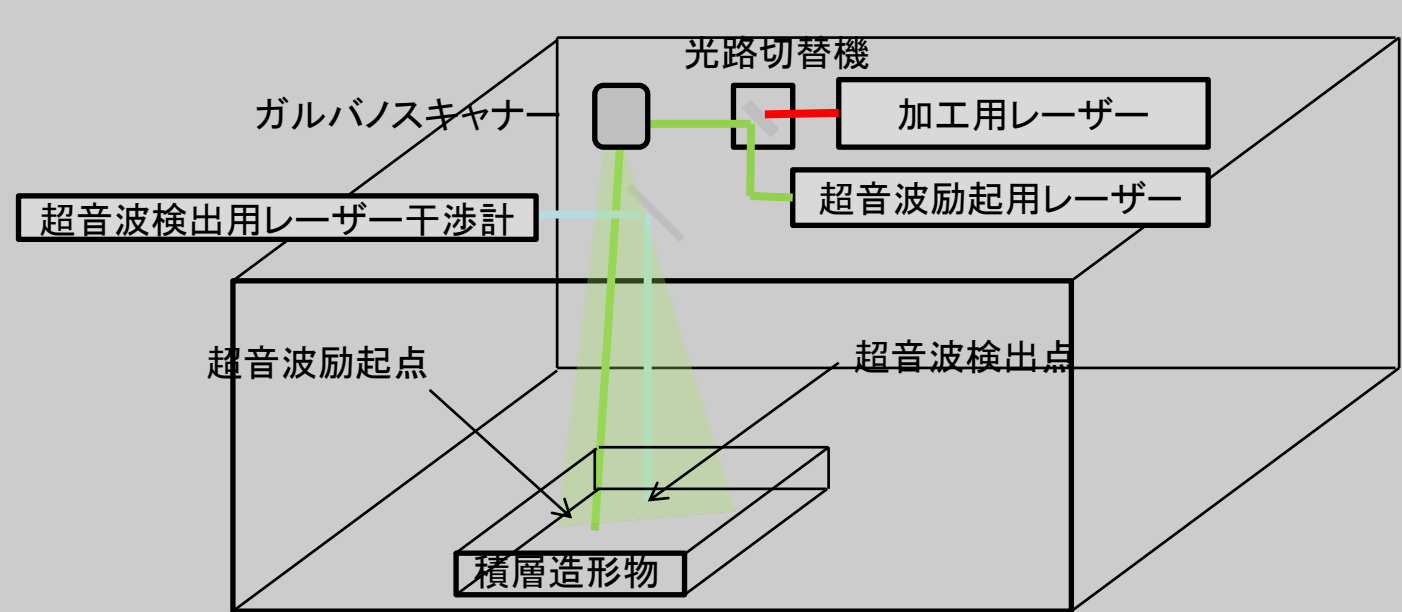
- AM造形物内部欠陥を非接触・非破壊で検出
- 表面波の利用で、造形中の欠陥形成直後に検出が可能

## 研究のねらい

レーザー超音波法を用い、金属積層造形物内部に形成された欠陥を非接触・非破壊で内部欠陥を検出する方法を開発する。将来的に、この計測手法をインプロセスで実施することによって、Additive Manufacturing (AM) の信頼性を向上させ、AMを核とした製造技術の確立に貢献する。

## 研究内容

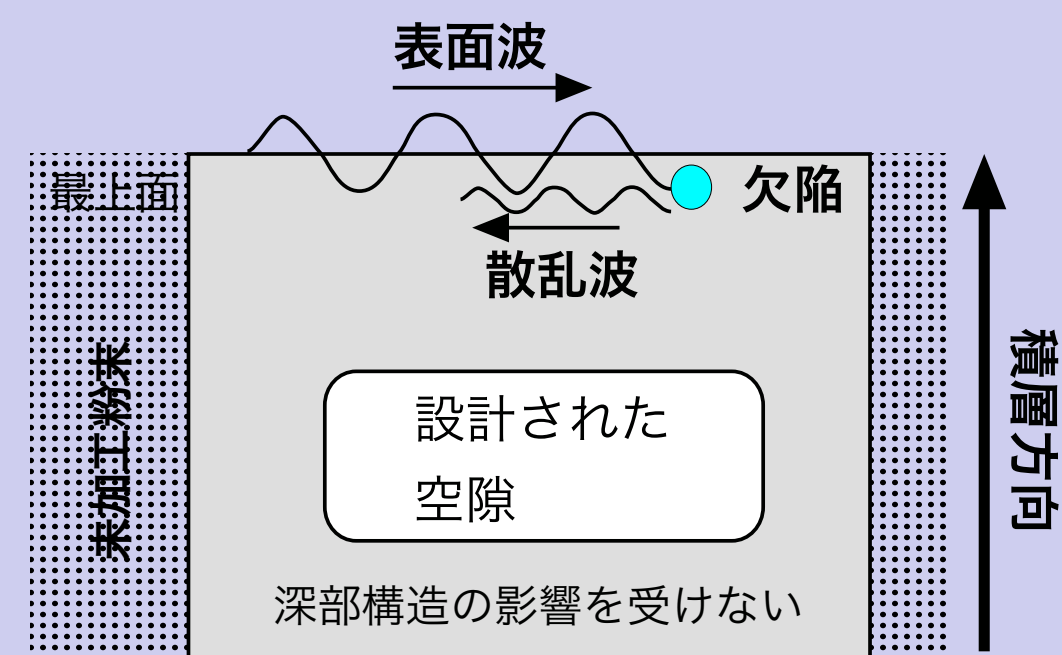
### レーザー超音波のAMインプロセス欠陥計測システム



ガルバノスキャナを用いたAM評価装置

利点: レーザー超音波で非接触に計測するため、凝固直後の高温状態でも計測可能

### 弾性表面波(SAW)の利用によるインプロセスモニタリング

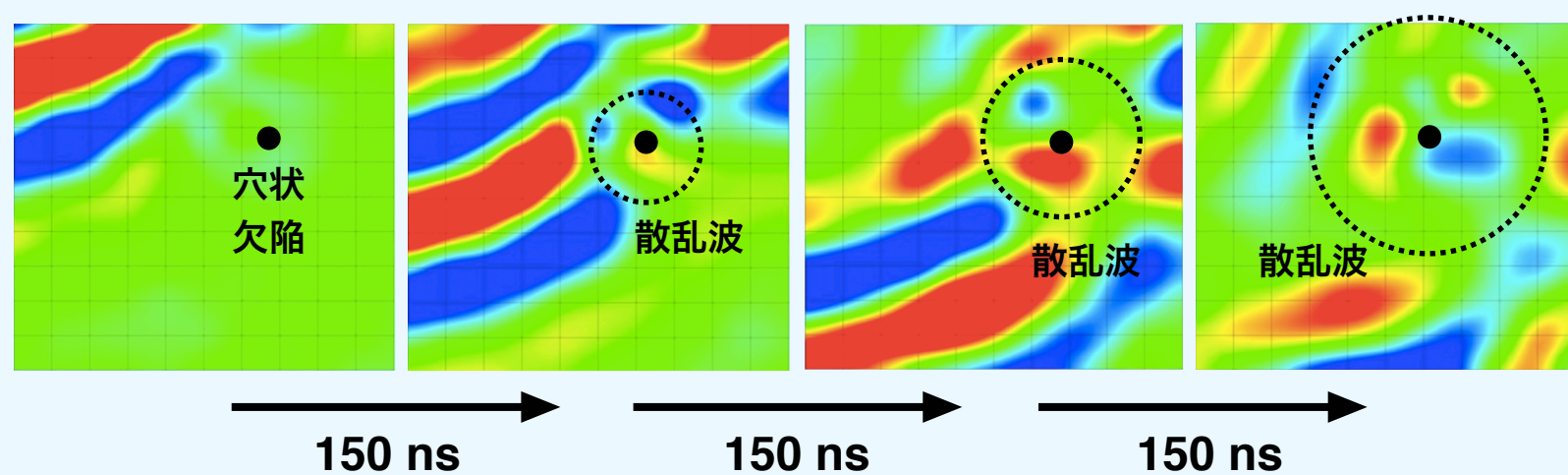


利点: 設計された深部の空孔などの影響を受けず、欠陥が形成された直後に検出が可能のため、その欠陥を機械加工で取り除いた後で造形を再開することが可能

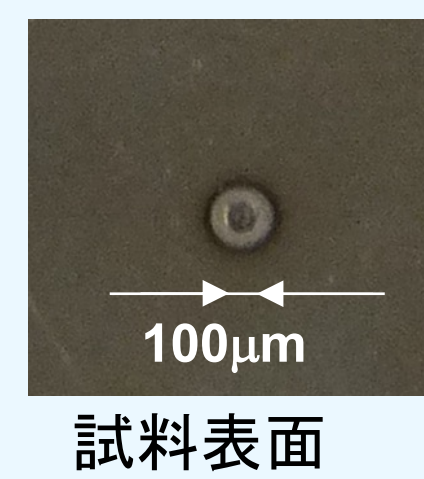
### 表面波音場の2次元可視化による欠陥解析

点状欠陥の検出

4MHz



欠陥から円弧状に散乱波が発生していることが確認される。

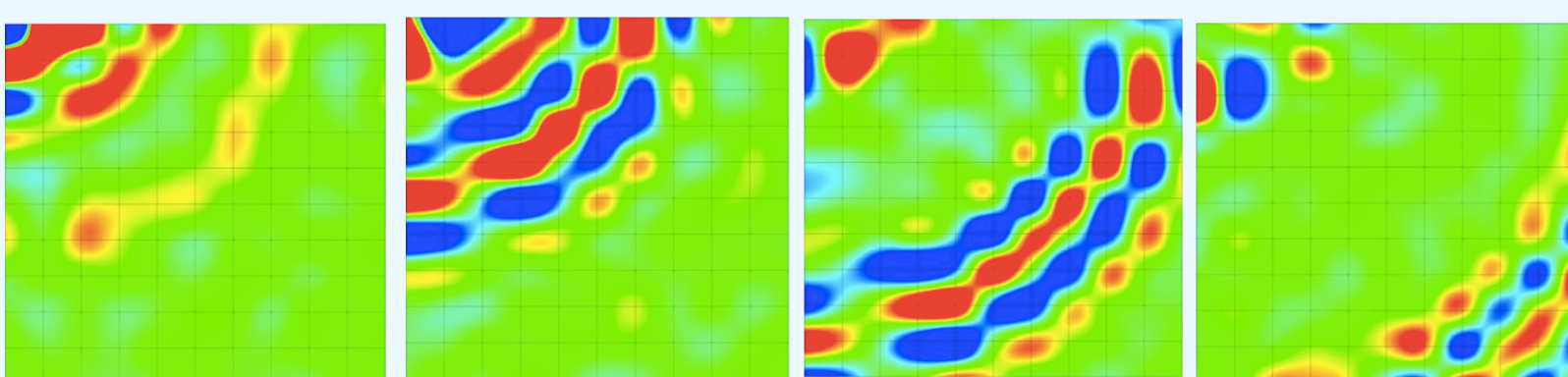


模擬欠陥

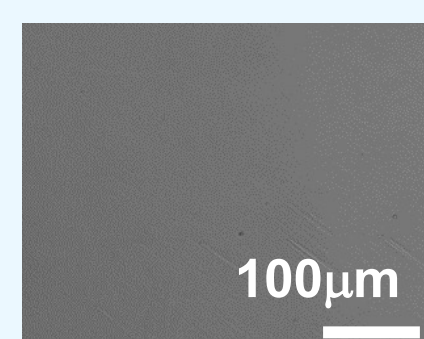
100µm  
試料表面

層状欠陥の検出

サンプル A



円弧が保たれる。

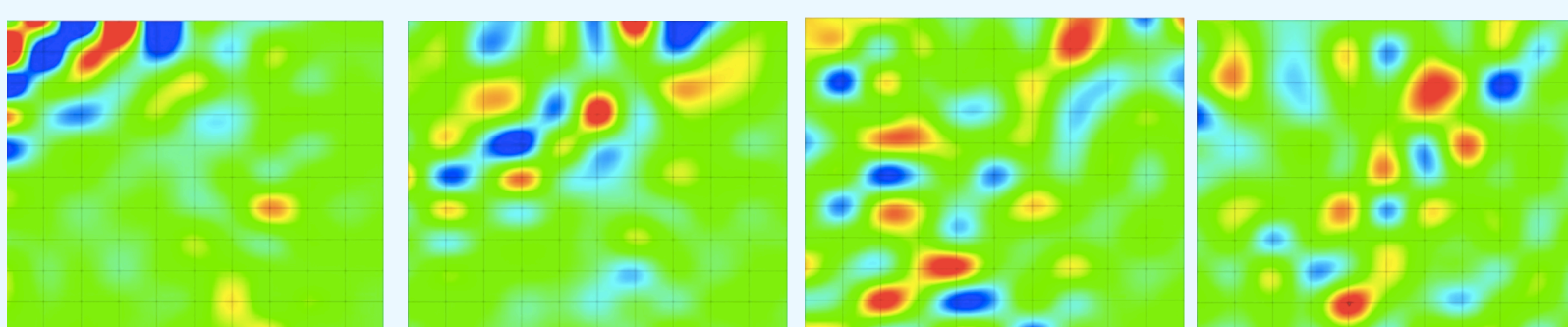


断面も緻密

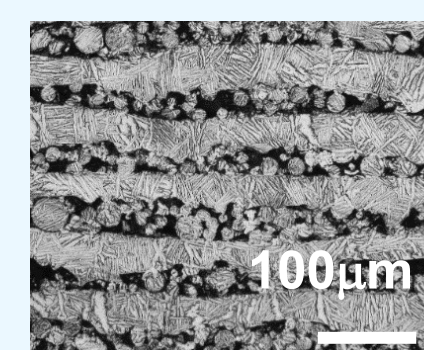
100µm

8MHz

サンプル B



円弧がバラバラ



表面下に層状の剥離が存在した!

100µm  
断面光学顕微鏡像

連携可能な技術・知財

● 超音波計測, 解析, 可視化



# 強誘電性材料の残留分極疲労特性を利用した構造体の余寿命判断用センサ

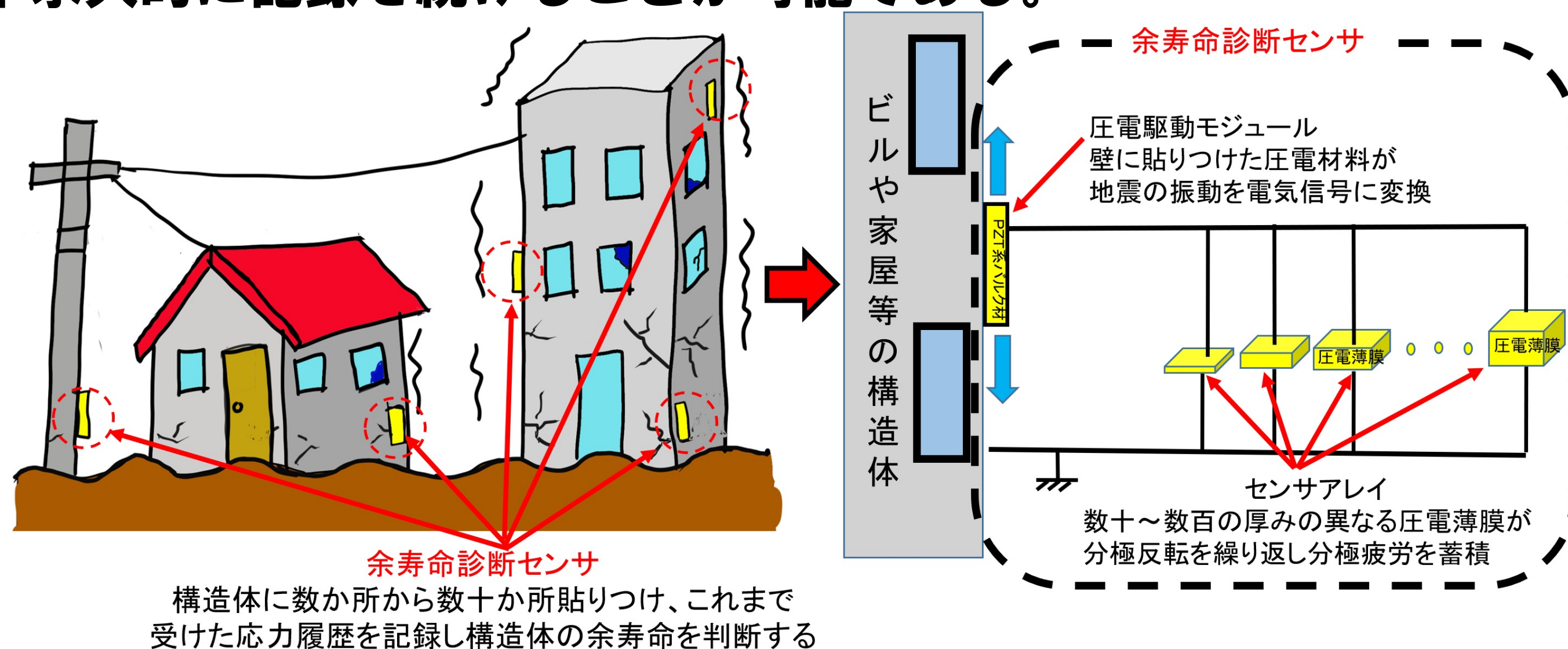
## 研究のポイント

- 強誘電性材料の分極反転の繰り返しによる残留分極疲労に関する研究
- 圧電材料の正圧電効果を利用した振動エネルギーによる発電技術の研究
- 構造体の振動疲労による余寿命判断技術に関する研究

## 研究のねらい

構造体に張り付けた圧電材料を利用し地震等の振動を電気エネルギーに変換。そのエネルギーをそのまま利用して、センサとして利用している強誘電性薄膜の分極反転を繰り返し、構造体に加わった振動の大きさや回数を残留分極の疲労情報として記録するシステム。外部からのエネルギー供給なしに、半永久的に記録を続けることが可能である。

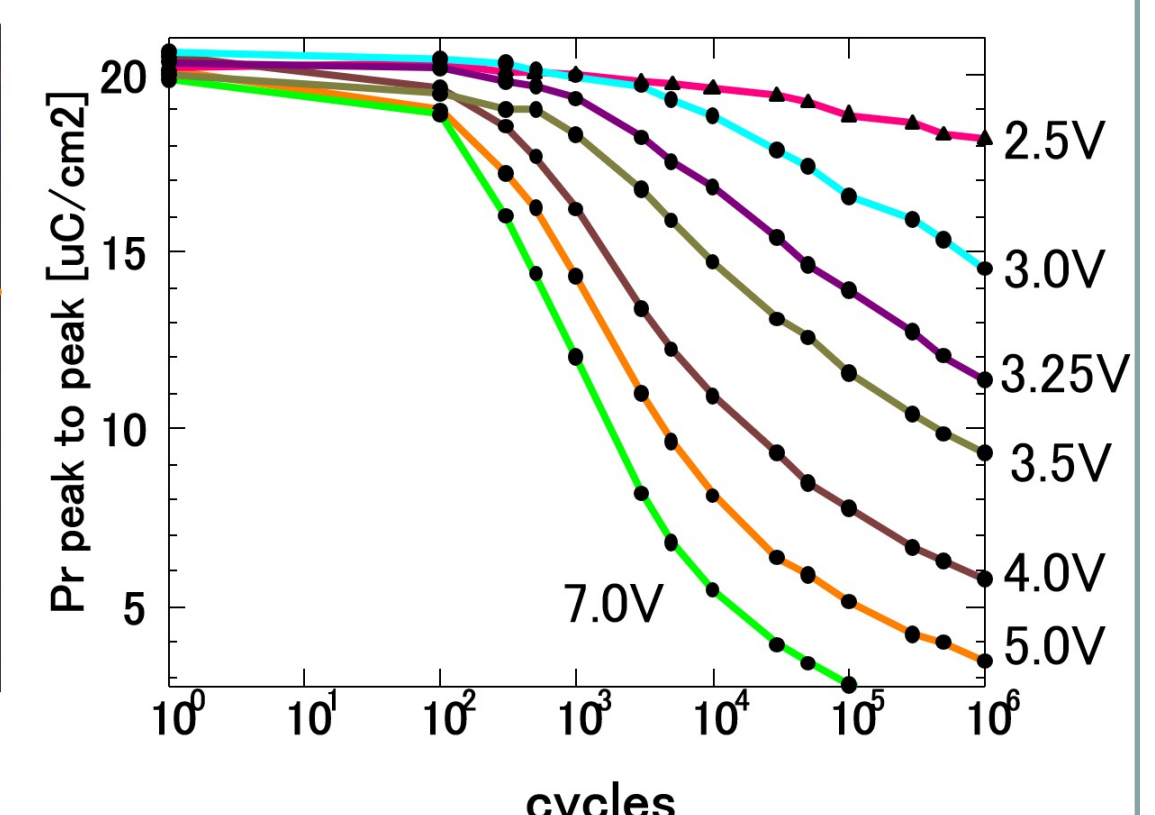
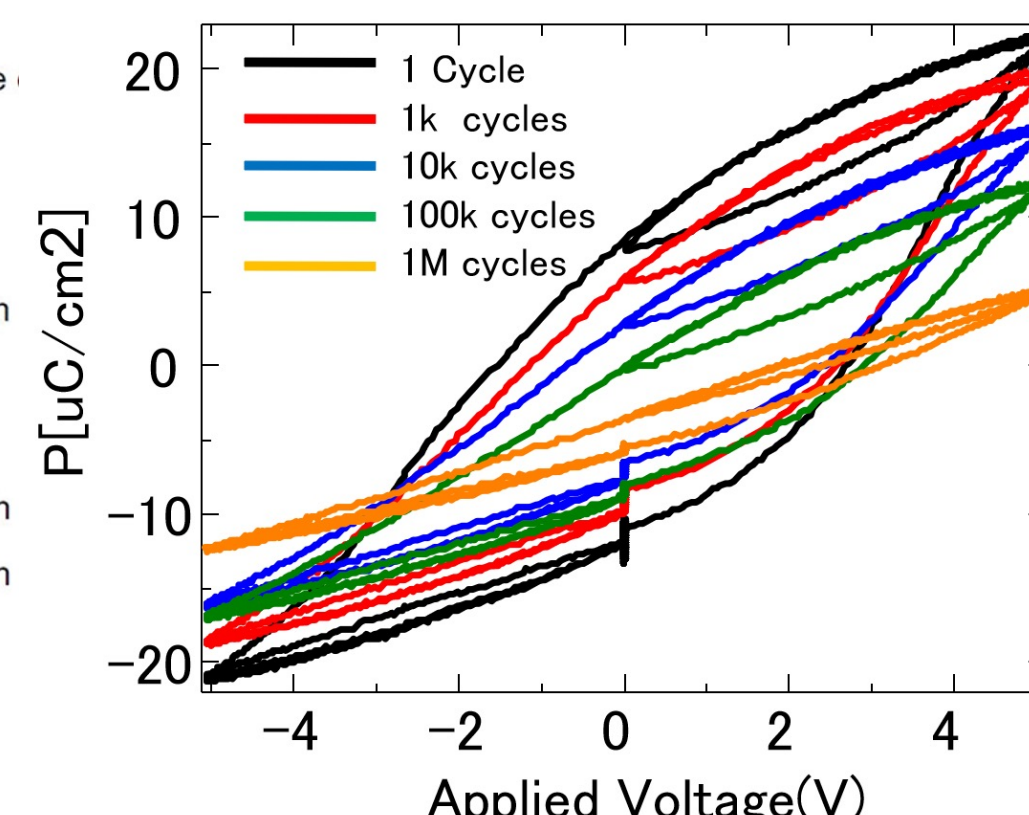
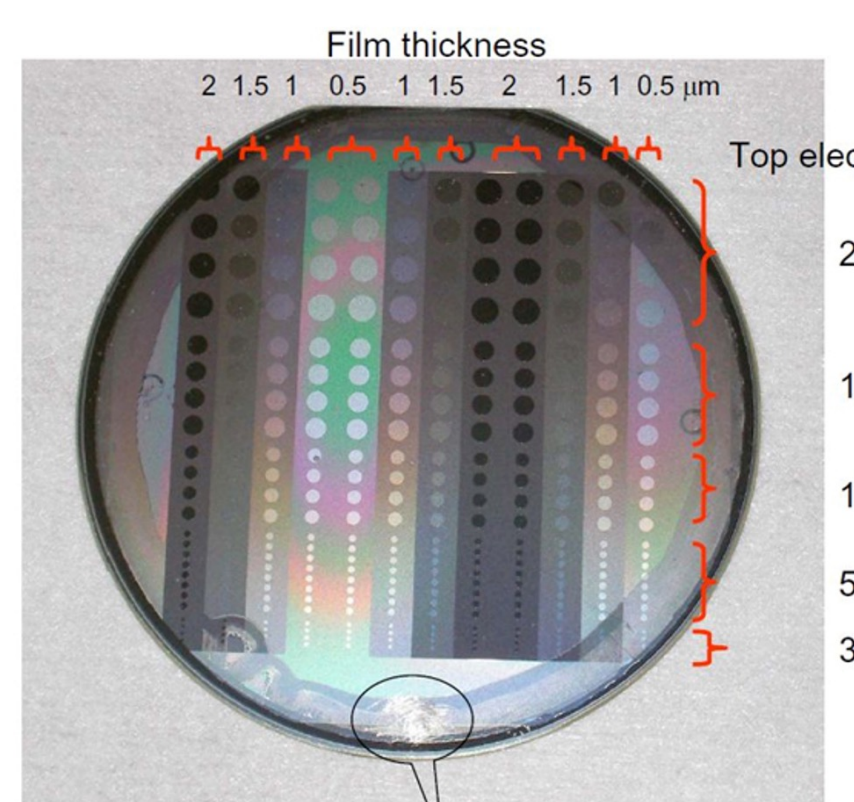
ビルや橋、一般家屋等が地震等により、これまで受けてきた振動履歴を記録し、余寿命判断の指針とすることにより、急速に老朽化が進む社会インフラのメンテナンスコストを下げ、安全な維持管理を行うことが可能となる。



## 研究内容

歪みエネルギーを電気エネルギーに変換する圧電デバイスと、変換された電気エネルギーを用いて分極反転を繰り返し、残留分極の疲労情報として振動の回数を記録する振動記録デバイス（強誘電性薄膜）から成り立っており、外部から電気エネルギー供給無しに動作する。分極反転疲労情報を用いることにより10の5～10乗回といった膨大な振動回数を記録可能であり、構造物がこれまで受けてきた疲労の蓄積を定量的に示し、余寿命を評価するときの指標に利用可能である。

構造体に加わる歪や振動を圧電材により電気エネルギーに変換し、直接インピーダンスの高い強誘電性薄膜センサアレイに加え分極反転に利用することが可能である。



## 連携可能な技術・知財

- ・ 特許第3731049号「圧電振動エネルギーセンサ」,佐藤 宏司,飯島 高志2005/10/21)



# 「形状」「組織」「特性・機能」をつくる 素形材加工技術

## 研究のポイント

- インタラクティブなシミュレーション・設計支援
- 新素材・難加工材の形状付与
- 組織学的アプローチと機能／特性の発現
- AI/VR活用による製造現場の効率化・高度化

## 研究のねらい

新素材・難加工材の加工や多様な製品ニーズ・生産形態に対応すべく、鋳造、塑性加工、設計・シミュレーション等、基盤的加工技術の高度化に加え、加工技術により「形状」「組織」「特性・機能」を一体で実現する研究に取り組んでいます。付加価値の高い製品・技術を創出する研究を通して、素形材産業の持続的発展に貢献することを目指しています。

## 研究内容

