

高付加価値セラミックス 造形技術の開発

発表者：国立研究開発法人産業技術総合研究所 近藤 直樹・明渡 純
研究テーマ責任者：TOTO株式会社 林 良祐

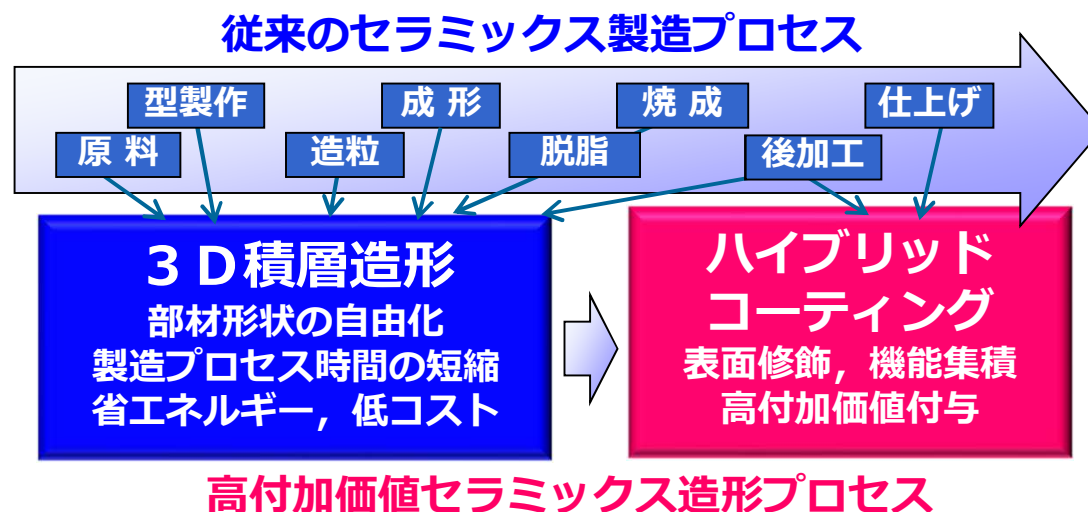
研究目標

高付加価値セラミックス造形技術の開発（2014～）

従来のセラミックス製造プロセスの制約を壊す。

- 成形“型”を無くす3D積層造形：従来では不可能な理想的な造形
- 立体形状の樹脂や金属へのハイブリッドコーティング：樹脂や金属に新たな価値・機能を付与

- 革新的なセラミックス製品群創出の基盤構築
- セラミックス産業のイノベーション



半導体製造用部材



セラミックコア



移動式トイレ



骨補填材



耐プラズマ部材



セラミックフィルター



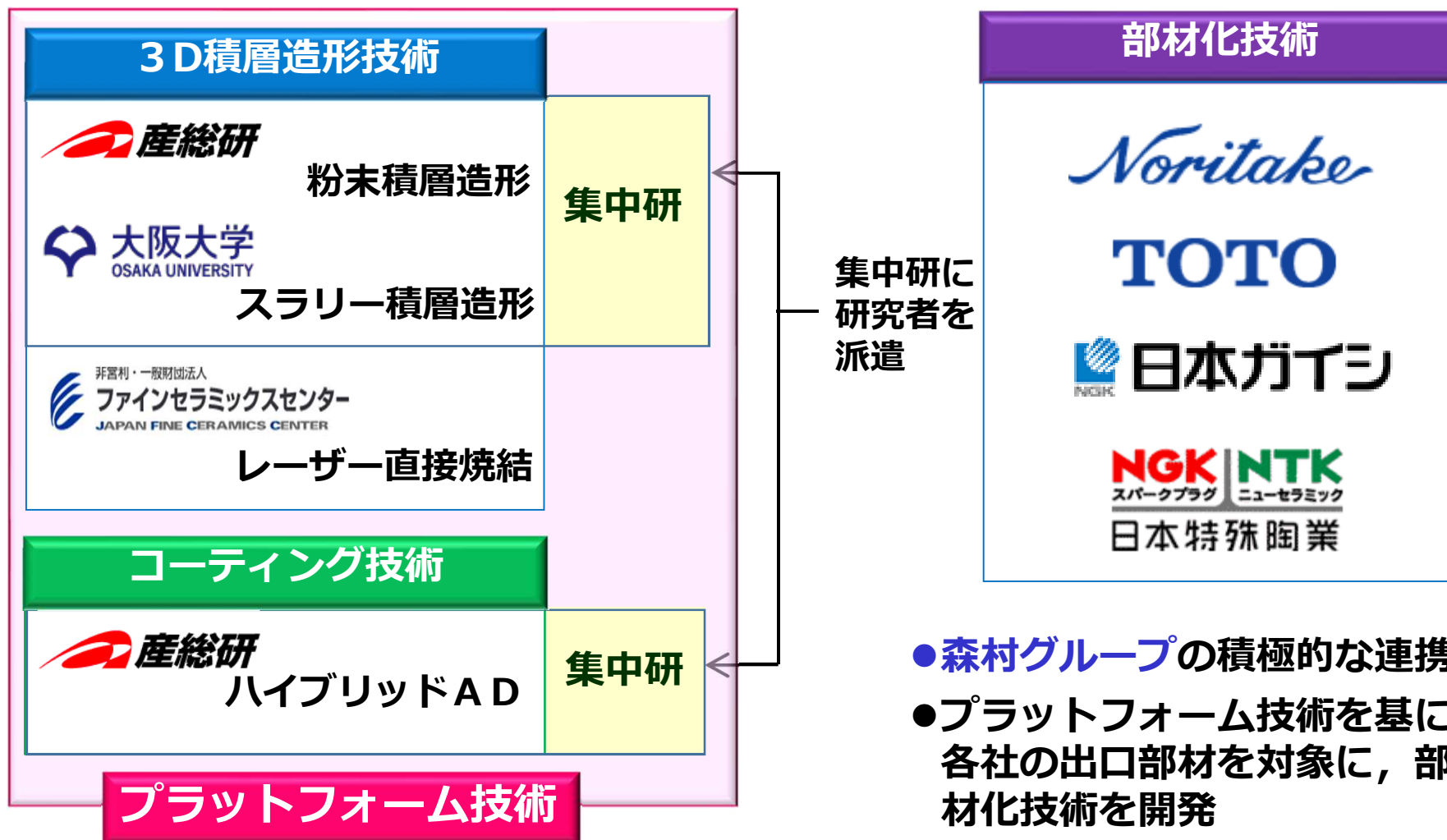
人工股関節



革新的なセラミックス製品群の創出

研究体制

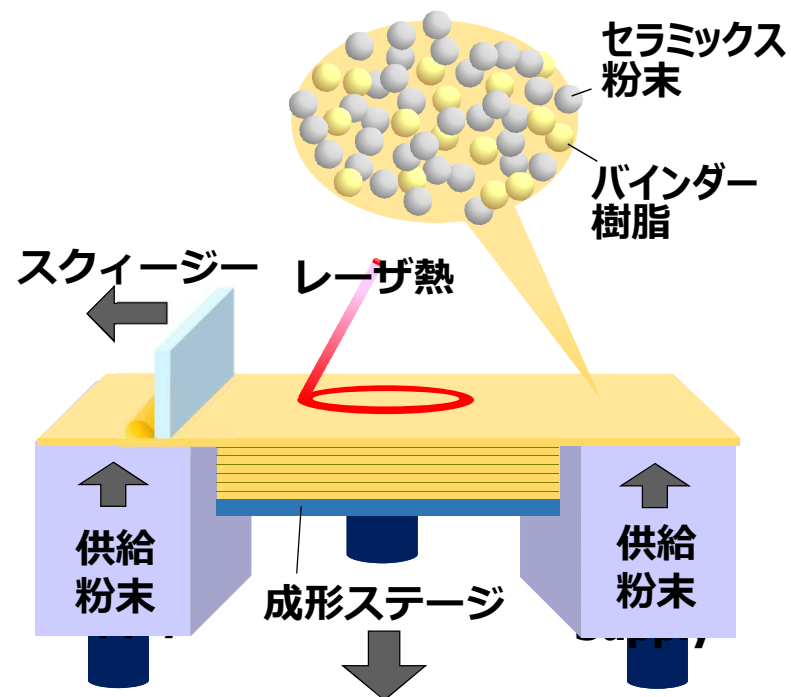
研究開発責任者：TOTO（株） 取締役 常務執行役員 林 良祐



3 D積層造形技術

粉末積層造形の例

- セラミックス原料粉末とバインダー樹脂を混合
- スクリー or ローラにより成形部に薄肉層 (~0.1 mm) を形成
- レーザーによりに所望の形状にバインダーを溶融し成形層
- 工程の繰り返し → 任意形状の立体成形体 → **脱脂・後焼結が必要**
- 高い積層密度がKEY**
高い成形体密度 → 後焼結での収縮や歪みが少なく高い寸法精度



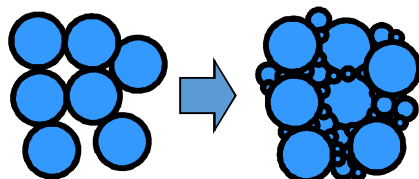
- 長所**：乾式成形であるため乾燥時のゆがみがなく大型部材の作製に適す。
- 短所**：かさ密度が低いため成形体・焼結体の密度が低い

3 D積層造形技術

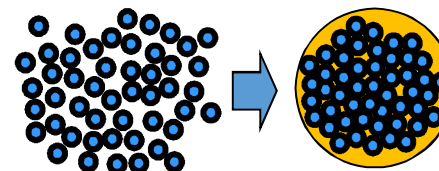
粉末積層造形: プラットフォーム技術

原料前処理技術

- 粒度配合
- バインダー樹脂添加



粒度配合



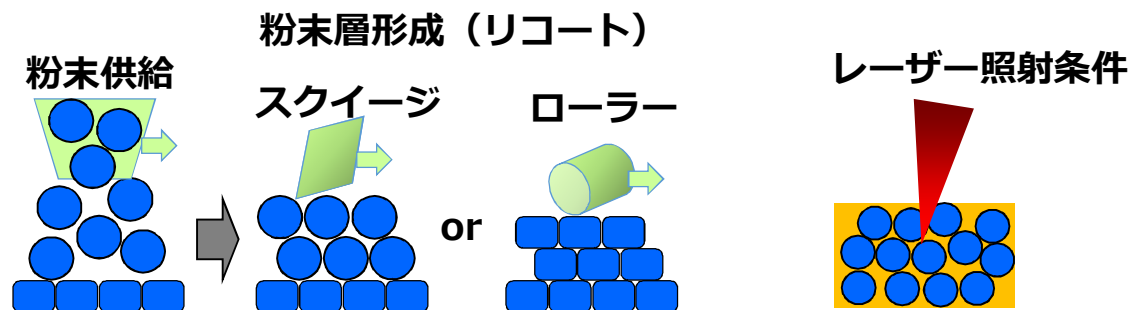
バインダー樹脂添加

(原料評価技術)

- 粉末流動性 (安息角, 圧縮度, Hausner比など)
- 粉末形状 (真球度など)

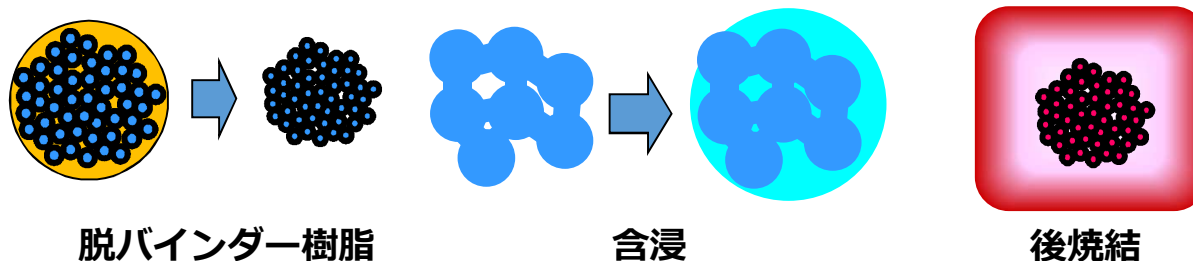
積層化技術

- 粉末供給
- 粉末層形成
- レーザー照射



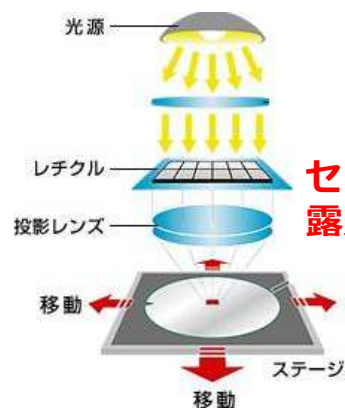
後処理技術

- 脱バインダー樹脂
- 含浸技術
- 焼結技術



3D積層造形技術

半導体製造用セラミックス露光ステージモデル



セラミックス
露光ステージ

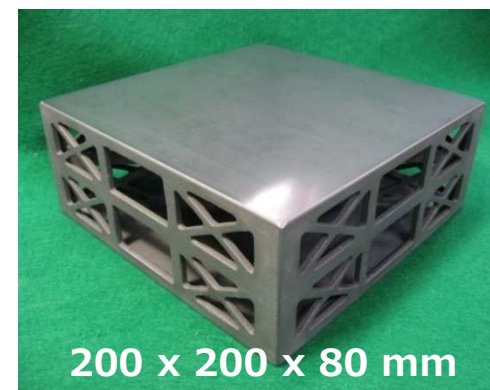
半導体露光装置
(Nikon HPより)

窓あり・リブ構造



200 x 200 x 30 mm

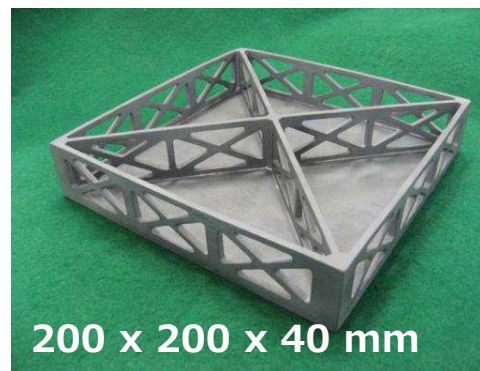
トラス構造



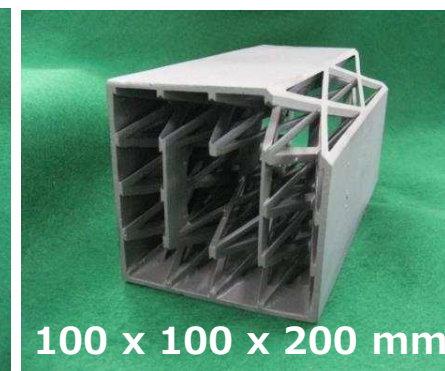
200 x 200 x 80 mm

- 次世代の微細高性能チップの高速生産には軽量で大型・高剛性のセラミックス露光ステージが不可欠

- 3D積層造形で、これまでの成形手法ではできなかった壁のない軽量・高剛性の構造を実現



200 x 200 x 40 mm



100 x 100 x 200 mm

反応焼結炭化ケイ素 露光ステージモデル
粉末積層造形

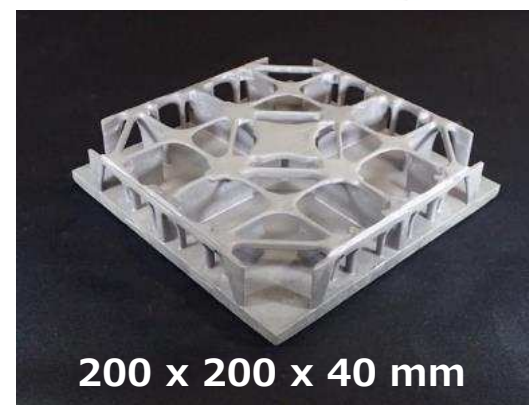
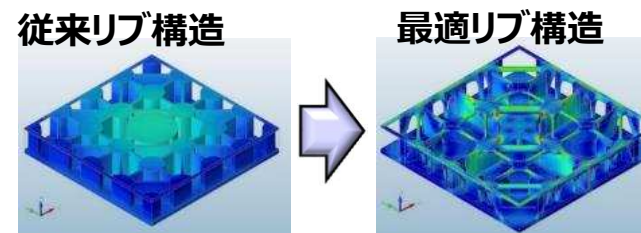
3 D積層造形技術

半導体製造用セラミックス露光ステージモデル

従来の造形法の製品と同等の特性

	粉末積層	鋳込み成形
かさ密度	3.0	3.0
ヤング率 (GPa)	340	340
比剛性 (ヤング率/ かさ密度)	113	113
曲げ強度 (MPa)	300	320

トポロジー最適化シミュレーションによる
最適リブ構造



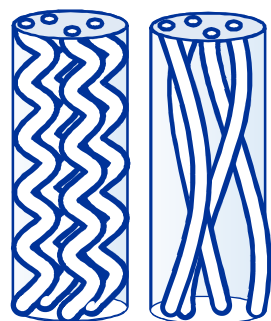
- 最適リブ構造によるステージモデル
(粉末積層造形)
- 従来構造と比較し重量1/2以下
(鉛直方向の剛性を保持)

3D積層造形技術

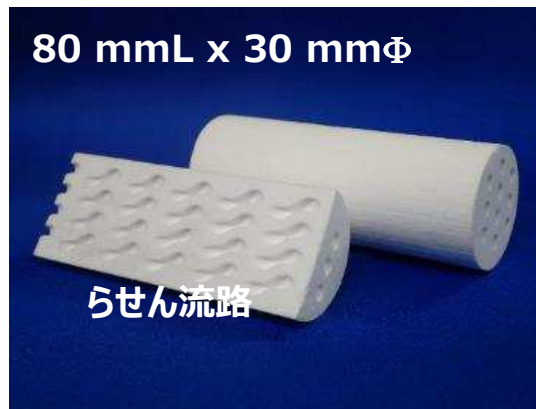
セラミックフィルターモデル



これまでの構造
—ストレート流路



めざす構造—
らせん流路
流路表面積アップ
流れ制御



アルミナフィルターモデル
粉末積層造形



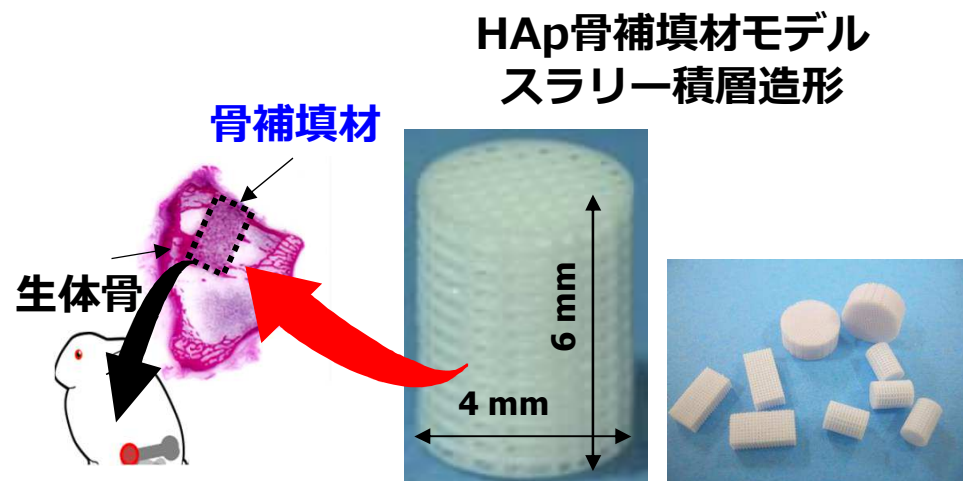
浄水フィルター

- これまでの押し出し成形では流路がストレート形状
- 3D積層造形で従来できなかったらせん構造流路.
- 流路表面積アップや流れ制御で性能向上・部品小型化.

3 D積層造形技術

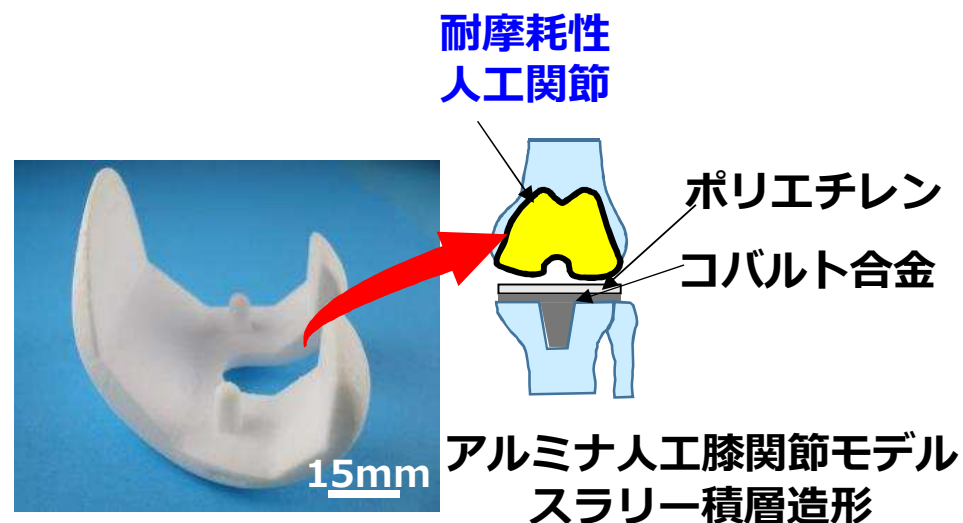
セラミックス骨補填材モデル

- 気孔径均質制御（十分な気孔間パス）・閉気孔なし → **骨細胞が十分に侵入・緻密な骨**
- 骨欠損部に適した**ニアネットシェイプ**の作製
- 大気孔径の多孔体の先行動物試験において従来品と同等以上の骨形成能



セラミックス人工膝関節モデル

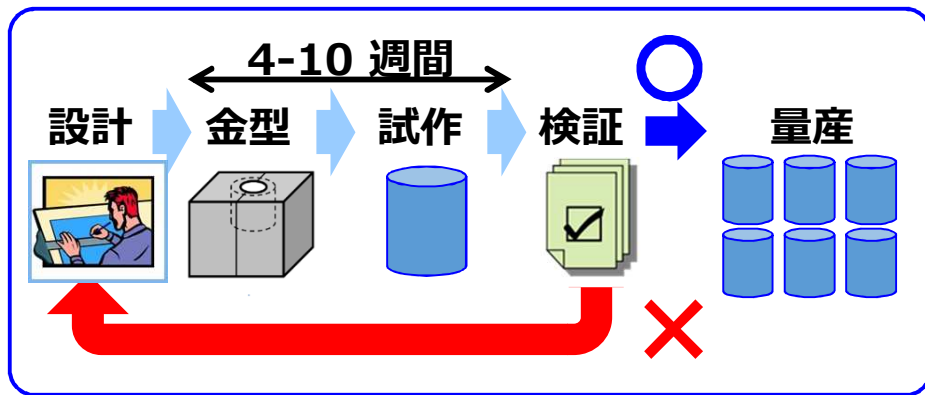
- **カスタムメイド形状のセラミックス人工膝関節**
- ボール・オン・ディスク摩耗試験（JIS R1613）でプレス成形品と同等の耐摩耗性



3D積層造形技術

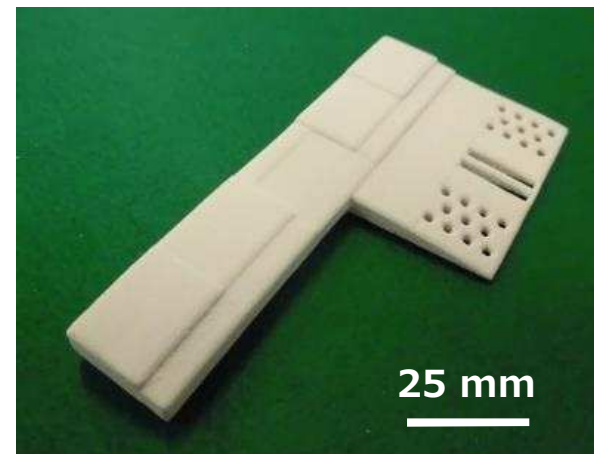
セラミックコアモデル

従来プロセス

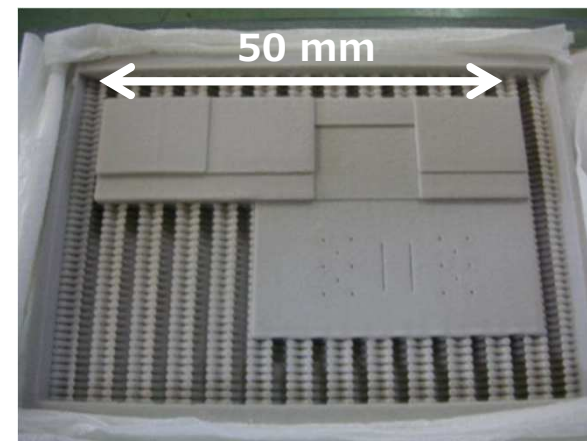


3D積層造形で簡単試作

- 従来の鋳造部品用セラミックコアは金型が必要で新規コア開発に時間とコスト。また、コア形状に制限。
- **3D積層造形では金型不要で低コスト&短納期**
- 従来技術ではできない理想的な形状



粉末積層造形



スラリー積層造形

- 粉末積層に比べ要時間
- 優れた表面粗さ

3 D積層造形技術

セラミックスレーザー直接焼結 電気炉不要の“夢の製造技術”



従来手法:電気炉



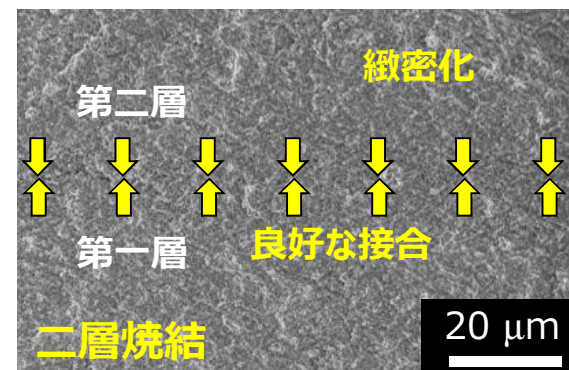
クラックなし

平滑表面

グリーン密度:
83-85%

2 μm

- アルミナスラリーの短時間脱脂
- 熱処理: 500°C, 5分, 大気
- 高密度アルミナ粉末充填層



第二層

緻密化



第一層

良好な接合

二層焼結

20 μm

- レーザー焼結で緻密化
(レーザー吸収アシスト層利用)
- YAG レーザー, 250 W/cm², 10秒
- 二層焼結では焼結と同時に接合

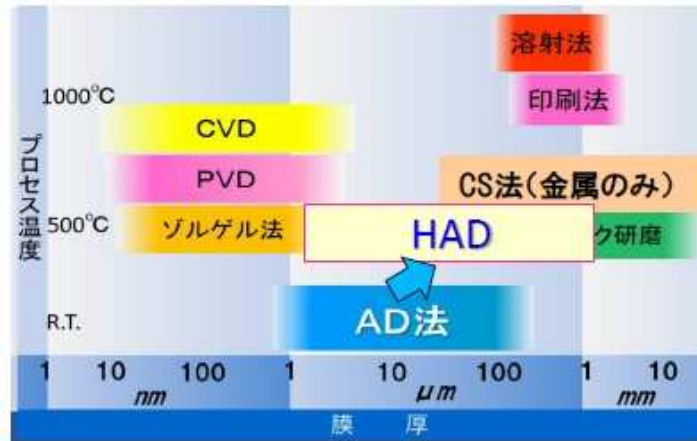
高密度アルミナ粉末充填層のレーザー焼結に成功

- 厳密な温度制御によるアルミナスラリーの短時間脱脂
- レーザー吸収アシスト層によるレーザー吸収特性の制御

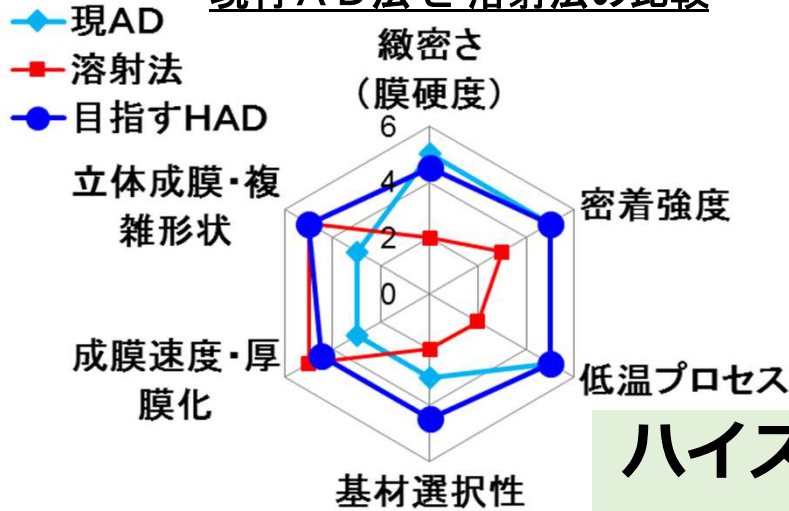
ハイブリッドコーティング技術

ハイブリッドコーティング技術の狙い

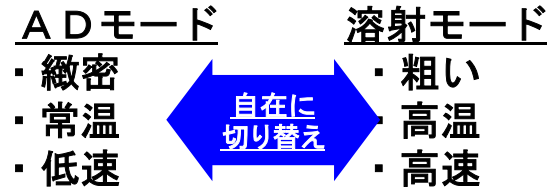
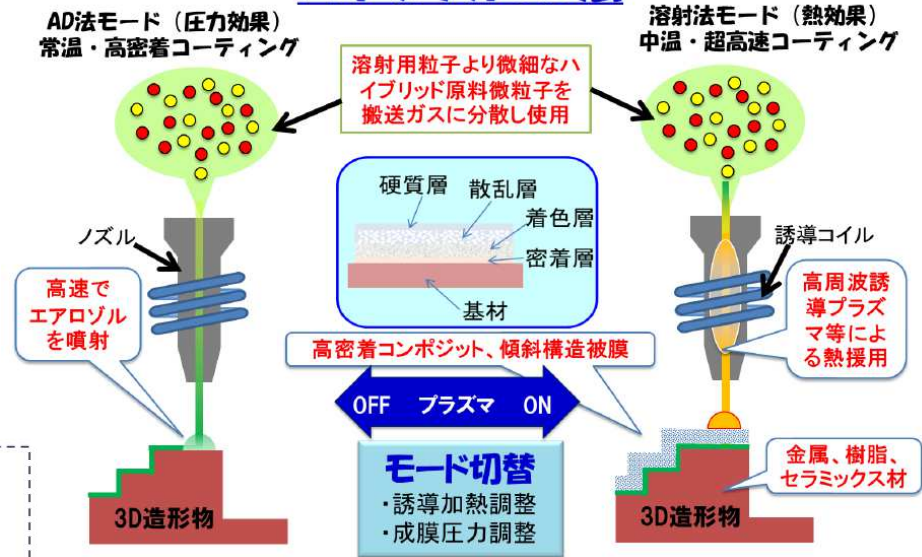
各種成膜法の対象範囲



現行AD法と溶射法の比較



ハイブリッドAD法



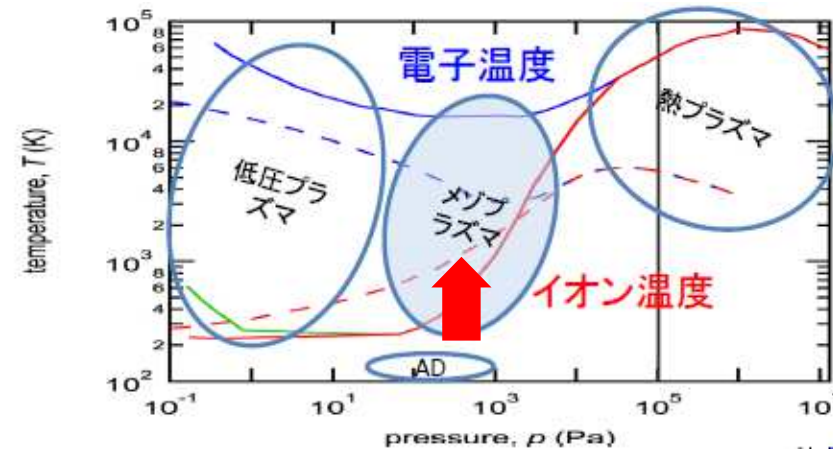
ハイスペックなAD法と生産性の高い溶射法の融合を狙う

ハイブリッドコーティング技術

ハイブリッドAD法の特徴I

【技術のポイント】

粒子サイズの微細化による新規な圧縮破壊特性の利用と新しいプラズマ領域を利用



溶射モード



熱ダメージ有

HADモード



セロファンテープに熱ダメージ無し

従来溶射法とは異なる成膜メカニズムによって、新しい製膜技術が生まれる

ハイブリッドコーティング技術

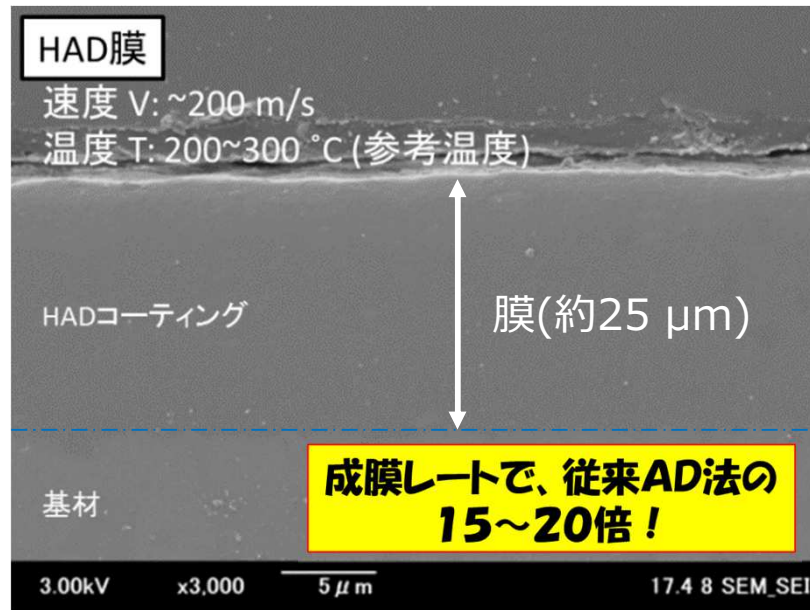
ハイブリッドAD法の特徴II



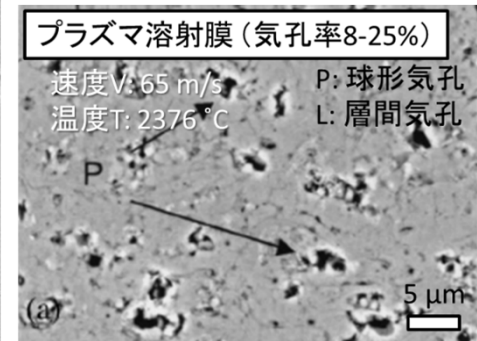
非常に緻密→
均一な皮膜

ビッカース硬度
1300 HV

α アルミナ皮膜



従来溶射法



↑不均一で、ポアやクラックのある微構造

比較膜出典: A. Kulkarni et al.,
Scripta mater. 43 (2000) 471

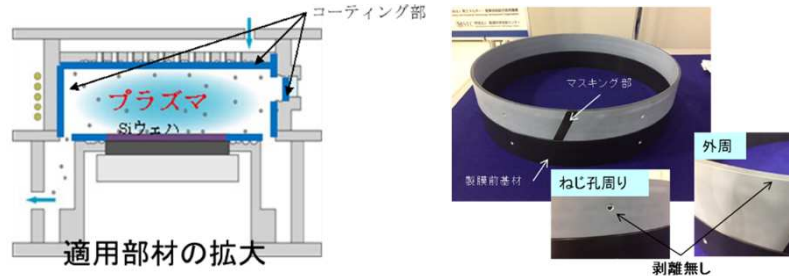
特徴

- 成膜速度で、現状AD法の15-20倍を実現
- 樹脂基材上でビッカース硬度 500HV以上
- 原料粉末利用効率で、現状AD法の3倍を実現

ハイブリッドコーティング技術

ハイブリッドAD法のテストユース

半導体製造部材チャンバー内部の低発塵・耐プラズマコーティング (TOTO)



- ✓ ビッカース硬度754 HV達成
- ✓ 耐プラズマ性88%達成
- ⇒ 事業化検討

義歯へのコーティング (拠点利用企業1)



- ✓ HAD法により審美性に優れた白色を再現

調湿部材応用 (拠点利用企業2)

国内最大の材料供給メーカー
吸湿率、密着力は製品レベルを確認

① 高性能角質取紙
② 脂取り紙
汗や油等を吸着

⑤ 機能性障子 インテリア

⑥ 薬剤のパッケージ
錠剤や顆粒品の品質を確保

アロフェンの高効率成膜

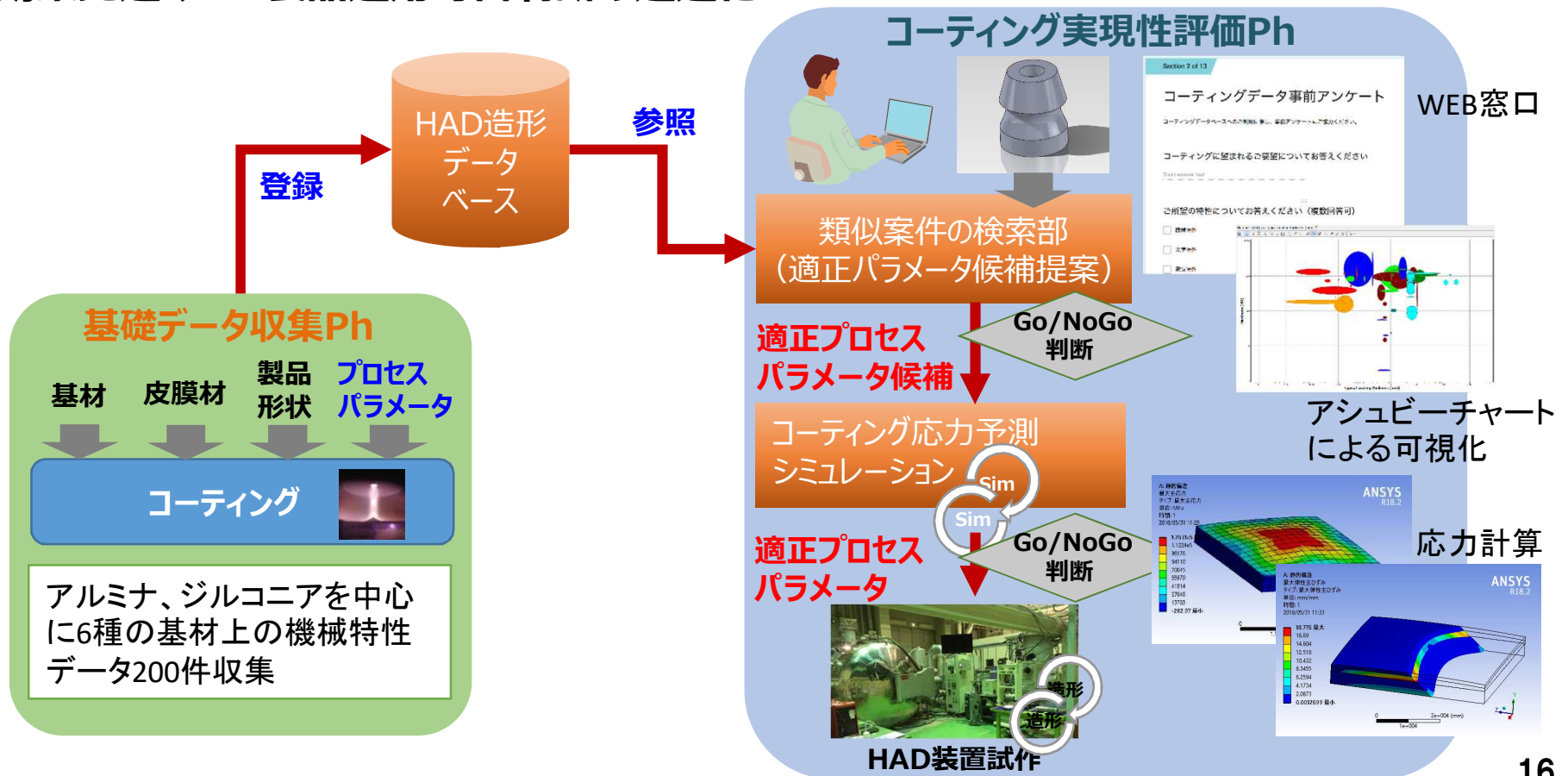
ハイブリッドコーティング拠点利用

データの活用

取り組み内容：HAD法によるコーティング事前評価機能の開発
企業からの製品適用提案に対して、あらかじめ蓄積したコーティング実績データに基づき、コーティングの実現性をコストを含めて、迅速に評価することができる機能の開発

製品形状、
基材、皮膜材、
機能、コストetc

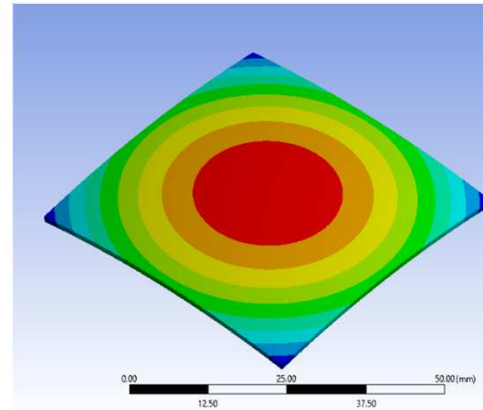
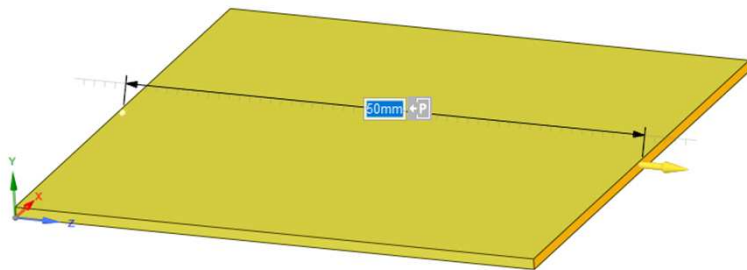
アウトプット：HAD造形データベース、コーティング応力解析（ノウハウ）
効果見込み：製品適用可否判断の迅速化



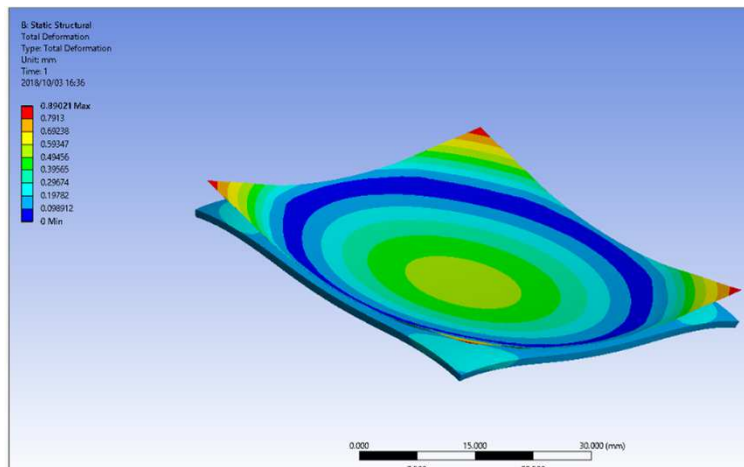
ハイブリッドコーティング拠点利用

事前シミュレーションでできること

製膜時の剥離の起こらない最大膜厚の推定、基材の湾曲の有無。
⇒最大膜厚が定めれば、断熱性能など一部の機能については予測も可能

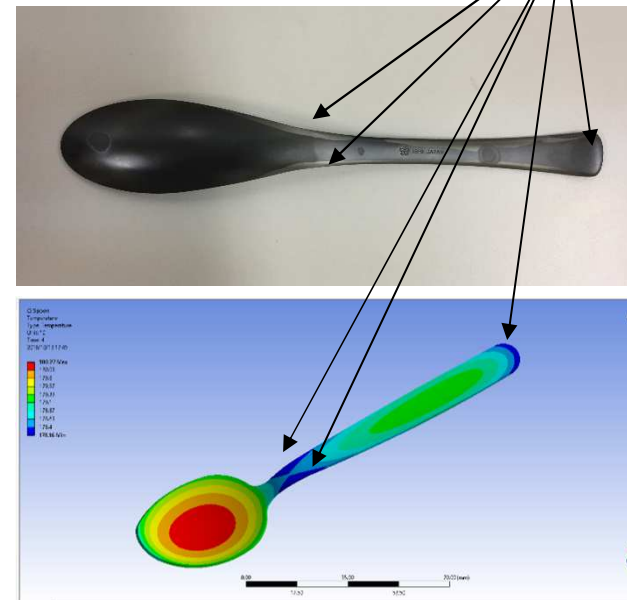


湾曲の有無



剥離の有無

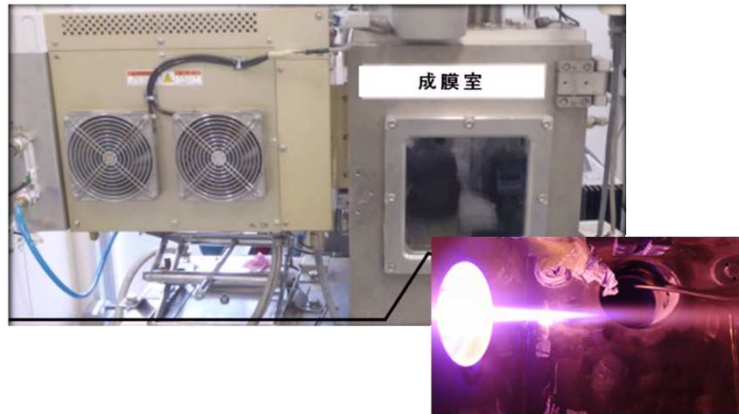
剥離箇所の推定



ハイブリッドコーティング拠点利用

試作に利用できるハイブリッドAD装置

試作テスト(平板)用(5 cm角)の小型装置



シート部材対応ロール・ツー・ロール装置



3次元部材対応(30 cm角)の中型装置



3次元部材対応(1 m級)の大型装置

