

# 革新的製造プロセス技術の開発と マテリアル・プロセスイノベーション プラットフォームの構築

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

副理事長 村山 宣光

1. **製造プロセス高度化の必要性**
2. **重点技術分野（機能性化学品、セラミックス）における今後の取組方針**
3. **マテリアル・プロセスイノベーションプラットフォームの構築にむけた取組**

# 1. 製造プロセス高度化の必要性

# データ駆動型材料開発の将来像

わが国の素材産業の競争力は、高度な製造プロセス技術の賜物であり、今後とも維持拡大が重要。産業界の同技術分野におけるデータ駆動型研究開発を支援することで、サイバー（データ・AI・シミュレーション）とフィジカル（実製造プロセス）を融合した新しい製造プロセスを創造し、Society5.0の実現と日本のマテリアル産業の競争力強化を図る。

## シミュレータの開発

複雑な製造プロセスにも対応可能なプロセスシミュレータを開発し、実装置での実験回数を減らし開発期間を短縮

## 秘匿計算技術の開発

企業データを安心して提供頂くための秘匿計算技術を開発し、企業データを含めたPI用のビッグデータを創出

## マテリアル・プロセス イノベーション プラットフォーム

データ駆動型材料開発の基盤となるPFを整備

## PI基盤技術の開発

国プロ等を利用し、重点プロセス（機能性化学品、セラミック、セルロース等）における、PI基盤技術を開発

10年先を見据えた革新性の強い製造プロセス基盤技術の確立



サイバーフィジカルシステムによる仮想空間での実験



AI・ロボットによる製造プロセスの自動化



サイバーフィジカルシステムによる超高速開発

多種多様なニーズ



安価、迅速な提供による満足度向上



分散型スマート工場による自動製造<sup>1)</sup>

## Society5.0の実現

製造プロセスの自動化やサイバーフィジカルシステムの基礎となる装置開発やシミュレータの実証

1) 内閣府Society 5.0資料より抜粋して編集  
([https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/))

## マテリアル革新力強化戦略

(令和3年4月27日)

P.27 28

【目標】プロセス・インフォマティクス（PI）の基盤技術確立とプロセスイノベーションプラットフォームの構築

KPI 2021年度までに、産業技術総合研究所地域センターをコアとしたプロセス・イノベーション・プラットフォームを全国3か所以上で整備  
2024年度までにプロセスイノベーションプラットフォームの産学利用件数が40件以上

本発表資料との関連性

2. 重点技術分野（機能性化学品、セラミックス）における今後の取組方針

3. マテリアル・プロセスイノベーションプラットフォームの構築にむけた取組

### プロセスイノベーションプラットフォームの構築とPI基盤技術確立

#### プロセスイノベーションプラットフォームの構築

2021年度を目途に、重点領域（日本の国際競争力の高いマテリアル）を同定し、産業技術総合研究所地域センター（つくば、中部、中国）に高機能材料（触媒、セラミックス、セルロースナノファイバー等）の製造プロセスデータを一通貫、ハイスループットで収集できる設備環境（プロセスイノベーションプラットフォーム）を整備、運用を開始

#### PIの基盤技術の構築

2026年度を目途に、最先端計測・解析技術を活用・高度化し、一通貫の製造プロセス設備と連携させることで製造プロセスをデータ化し、AIモデル・プロセスシミュレーションを活用した、プロセスの普遍化・高度化のためのプロセス・インフォマティクス基盤技術を構築

#### 開発技術の社会実装促進

中小・ベンチャー企業を中心とした産業界に対して、プロセスイノベーションプラットフォームを活用したデータ駆動型研究開発・人材支援を実施し、開発技術の迅速な社会実装を促進

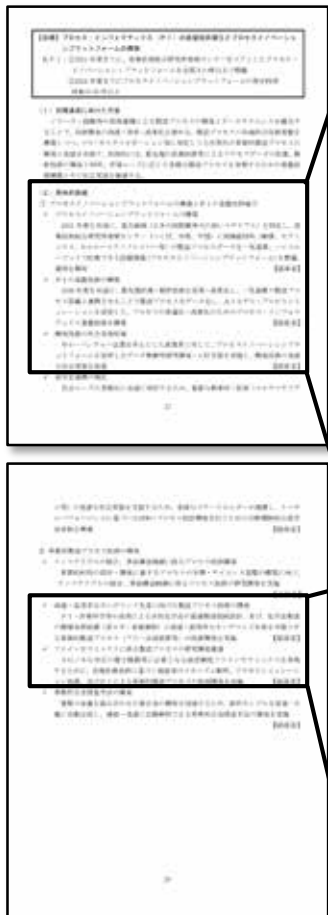
### 革新的製造プロセス技術の開発

#### 高速・高効率なオンデマンド生産に向けた製造プロセス技術の開発

PI・計算科学等の活用による目的化学品の最適製造経路設計、及び、化学品製造の環境負荷低減（省エネ・省廃棄物）と高速・高効率なオンデマンド生産を可能とする革新的製造プロセス（フロー合成技術等）の技術開発を実施

#### ファインセラミックスに係る製造プロセスの研究開発推進

5G/6G対応の電子機器等に必要となる高信頼性ファインセラミックスを実現するために、先端計測技術に基づく焼結等のメカニズム解明、プロセスシミュレーション技術、及びPIによる革新的製造プロセスの技術開発を実施



# 製造プロセス技術高度化の必要性

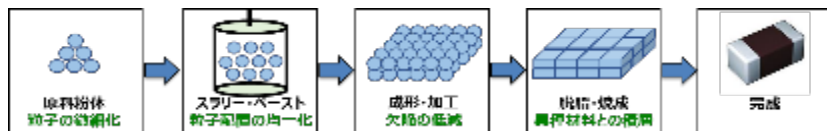
データ駆動型研究による製造プロセスの更なる高度化については、**マテリアル革新力強化戦略**にもアクションプランとして掲げられており、**革新的製造プロセスの技術開発**、**中小・ベンチャー企業等が活用できるプロセスイノベーション拠点整備**が必要である。

## 革新製造プロセスの技術開発

（ ） **機能性化学品** 海外依存度の高い**医薬農薬**中间体や電子材料の国内回帰に資する**連続フロー合成技術とAI駆動型経路探索**



（ ） **ファインセラミックス** 6層電子機器向け高信頼性ファインセラミックスを実現する**先端計測技術と仮想プロセスシミュレーターの開発**



**富岳や産総研ABC1等の世界最高水準のスーパーコンピュータを活用して原料粉体、スラリー・ペースト合成から成形・加工、脱脂・焼成まで一気通貫でシミュレーション**できるプロセスインフォマティクス技術を確立する。

## プロセスイノベーションPF整備 (2021)

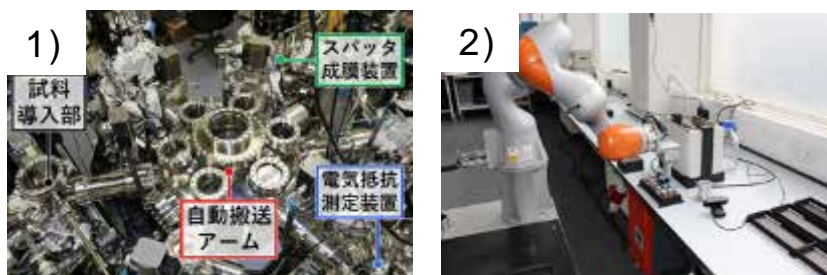
製造装置群や分析・評価装置群を産総研地域センターに導入し、データ駆動型の研究開発が出来るプラットフォームを整備する。



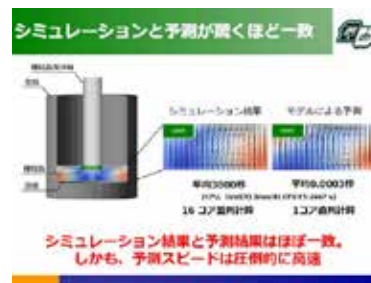
令和2年度第3次補正予算事業概要  
[https://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan\\_fy2020/hosei/pdf/hosei3\\_yosan\\_pr.pdf](https://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2020/hosei/pdf/hosei3_yosan_pr.pdf)

- n MIは米国のMaterial Genome Initiativeを筆頭に、各国で大型プロジェクトが遂行されている。
- n **PIは関連するプロジェクトは殆ど無く**、MIに比べ論文ベースでの報告例も少ない。PIに関する報告例として、AIとロボティクスを活用して材料開発を進めるClosed loop手法や、デジタルツインやソフトセンサー等の取組などがある。

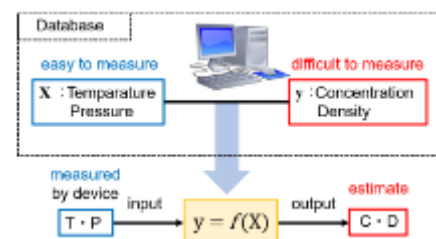
### 1-3) AIとロボットにより全自動で材料開発を進める Closed loop手法



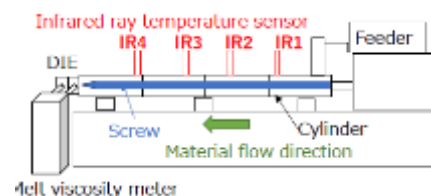
### 4) デジタルツインを利用した結晶成長プロセスの最適化



### 5) ソフトセンサーを利用したオンライン計測による製造プロセス管理



### 6) 機械学習によるポリマーブレンドプロセスのパラメータ抽出



#### 【出典】

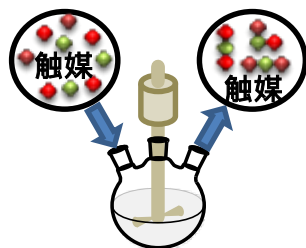
- 1) 東工大プレスリリース (<https://www.titech.ac.jp/news/2020/048276>)
- 2) Cooper Group Web page (<https://www.liverpool.ac.uk/cooper-group/news/stories/title,1215738,en.html>)
- 3) Project Ada (<http://www.projectada.ca/>)
- 4) 科学技術未来戦略ワークショップ報告書 (<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2020/WR/CRDS-FY2020-WR-12.pdf>)
- 5) 奈良先端大 データ駆動型化学研究ラボHP (<https://mswebs.naist.jp/LABs/funatsu/research.html>)
- 6) NEDO超超PJ成果報告資料 (<https://www.admat.or.jp/library/5975666db3de4b020a7803ae/5e90c92e310918b56ba0e722.pdf>)

## 2. 重点技術分野（機能性化学品、セラミックス）における今後の取組方針



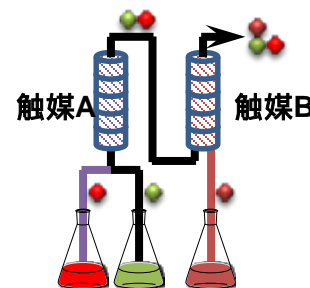
### 【現状（バッチ式）の課題】

- 現在、電子材料、染料・顔料、医薬中間体などの機能性化学品は、“バッチ式”で製造。



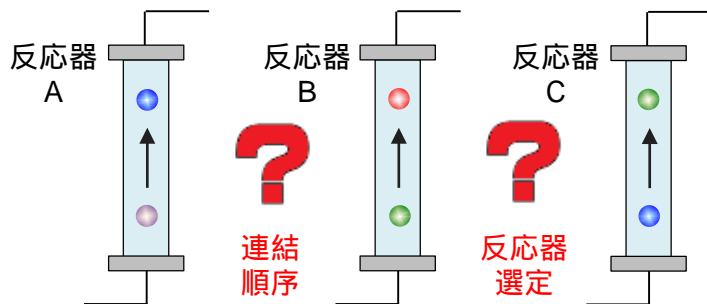
- 1反応工程毎に分離・精製を行う必要があるため、**効率が悪く、製造に多大なエネルギーを要し、大量のCO<sub>2</sub>、廃棄物を排出。**

### 【連続精密生産（フロー式）の特長】



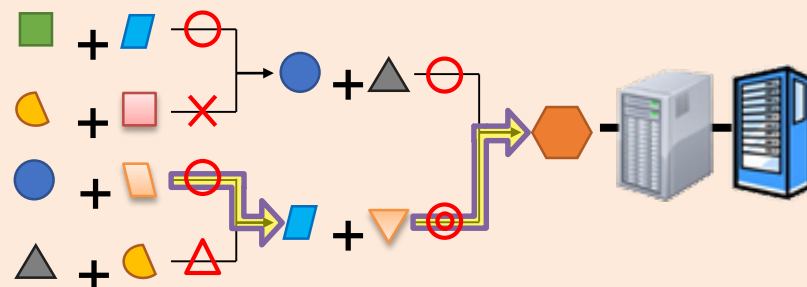
- 多品種少量生産が有効である機能性化学品にフロー式を適用できれば、1反応工程毎の分離・精製が不要になり、**CO<sub>2</sub>排出量、廃棄物の大幅削減が可能。**
- 危険なプロセスを経る必要がないため、国内での製造ハードルが下がる。**

### 【連続精密生産（フロー式）の課題】



- 化学変換の約8割が可能な基幹5反応に関する触媒・反応器を開発中だが、**合成経路が無数にあり、最適な連結方法を見つけるのが難しい。**

### 【インフォマティクスによる合成経路探索】

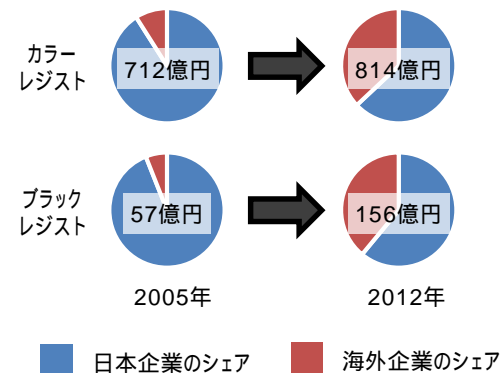


- 人工知能(AI)やコンピューターシミュレーション等を活用し、合成経路を迅速に最適化することで、連続精密生産プロセスを確立する。**

# ( ) フロー式を導入することのメリット

- 1 莫大なエネルギーコストやCO<sub>2</sub>・廃棄物排出量の課題から、医薬・農薬中間体ならびに電子材料の製造は7-8割を海外に依存。
- 1 フロー式を導入することで、コスト競争力の向上、CO<sub>2</sub>・廃棄物排出量の大幅削減及び危険なプロセス回避による安全性担保により、これら製品・材料製造の国内回帰が見込める。

	国内中間体市場規模	中間体海外依存率	フロー導入による国内回帰率
医薬中間体	約8500億円*1	70%*2 (5950億円)	<b>80%*2 (4760億円)</b>
農薬中間体	約330億円*3	80%*3 (264億円)	<b>60-80%*3 (160-210億円)</b>
電子材料	約500億円*4	75%*5 (375億円)	<b>60-80%*5 (220-300億円)</b>

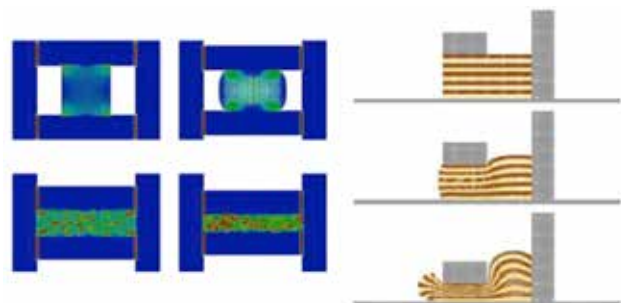


韓国・中国などの追い上げ、**価格競争（生産コスト競争）**により、**日本のシェアが減少**

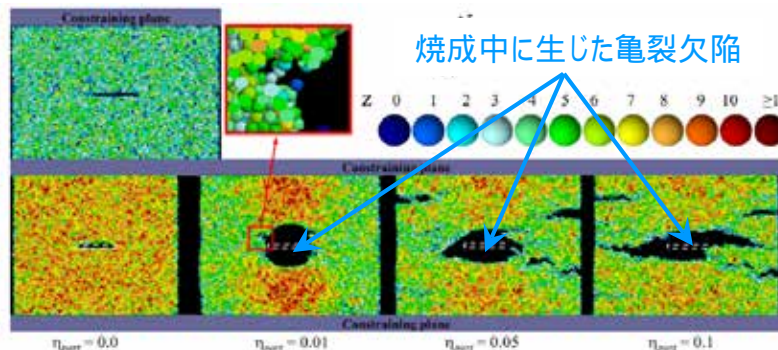
**生産性向上により更なる生産コスト競争力強化が必要**

\*1 みずほ銀行 産業調査部および政策研ニュースNo.49, 2016年11月、  
 \*2 メーカー聞き取り調査（大手製薬4社および受託製造企業2社の意向を反映）  
 \*3 メーカー聞き取り調査（国内農薬生産大手2社）  
 \*4 電子材料の世界市場規模5000億円（NEDO技術戦略による）のうち、国内市場は10%として推算  
 \*5 メーカー聞き取り調査（電子材料事業をもつ2社にヒアリング）

## (1) ハイスループト型プロセスシミュレーター構築



成形・加工シミュレーター

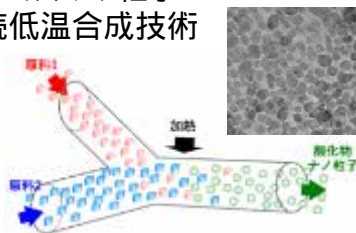


脱脂・焼成シミュレーター

富岳や産総研ABC1等の世界最高水準のスーパーコンピュータを活用して原料粉体、スラリー・ペースト合成から成形・加工、脱脂・焼成まで一気通貫でシミュレーションできるプロセスインフォマティクス技術確立する。

## (2) 次世代製造プロセス技術開発

セラミックナノ粒子  
連続低温合成技術

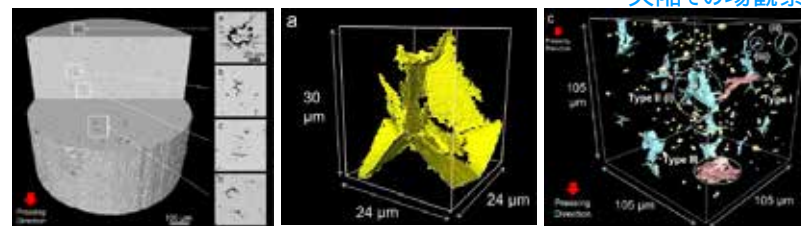


革新的低温焼成技術  
100 で焼成した  
バリウムジルコネート

PIの成果を活用し、原料粉体の低温合成や成形体の低温焼結等革新的な「焼かないセラミックス」を検討する。

## (3) 先端計測・可視化評価技術開発

焼成中に生じた  
欠陥その場観察

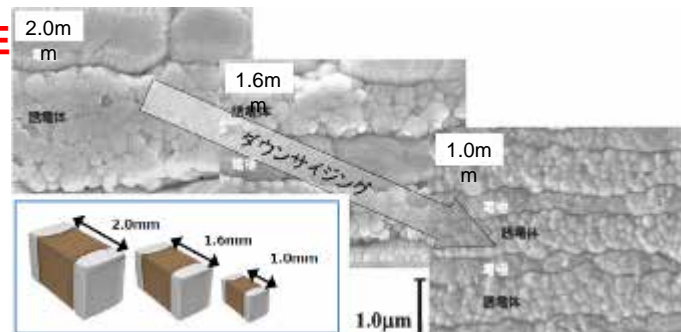
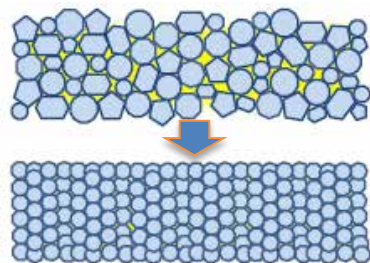


放射光(SPring-8)ナノX線CTによる焼結可視化技術

革新的製造プロセスで作製したセラミックスを先端計測にて可視化し、プロセスシミュレーターにフィードバックする。

小型化・薄型化に求められるファインセラミックスの機能・特性

セラミックス粒子の微細化  
 粒径、粒子配置の均一化  
 欠陥の低減  
 異種材料との積層



引用 太陽誘電(株)HP

電子デバイス



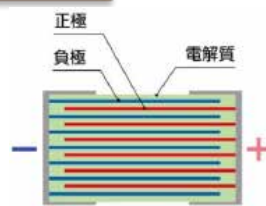
セラミックコンデンサー・チップインダクター

小型化・薄型化  
 6Gアンテナとの一体化



引用 (株)村田製作所より

エネルギー・IoT



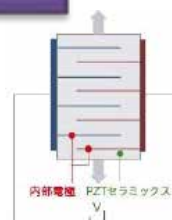
積層型全固体電池

小型化・薄型化  
 IoTデバイスとの一体化



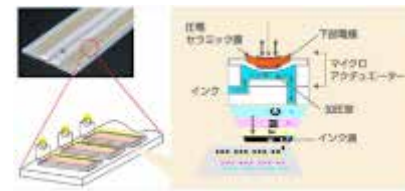
引用 (株)村田製作所より

医療・ヘルスケア



圧電アクチュエーター

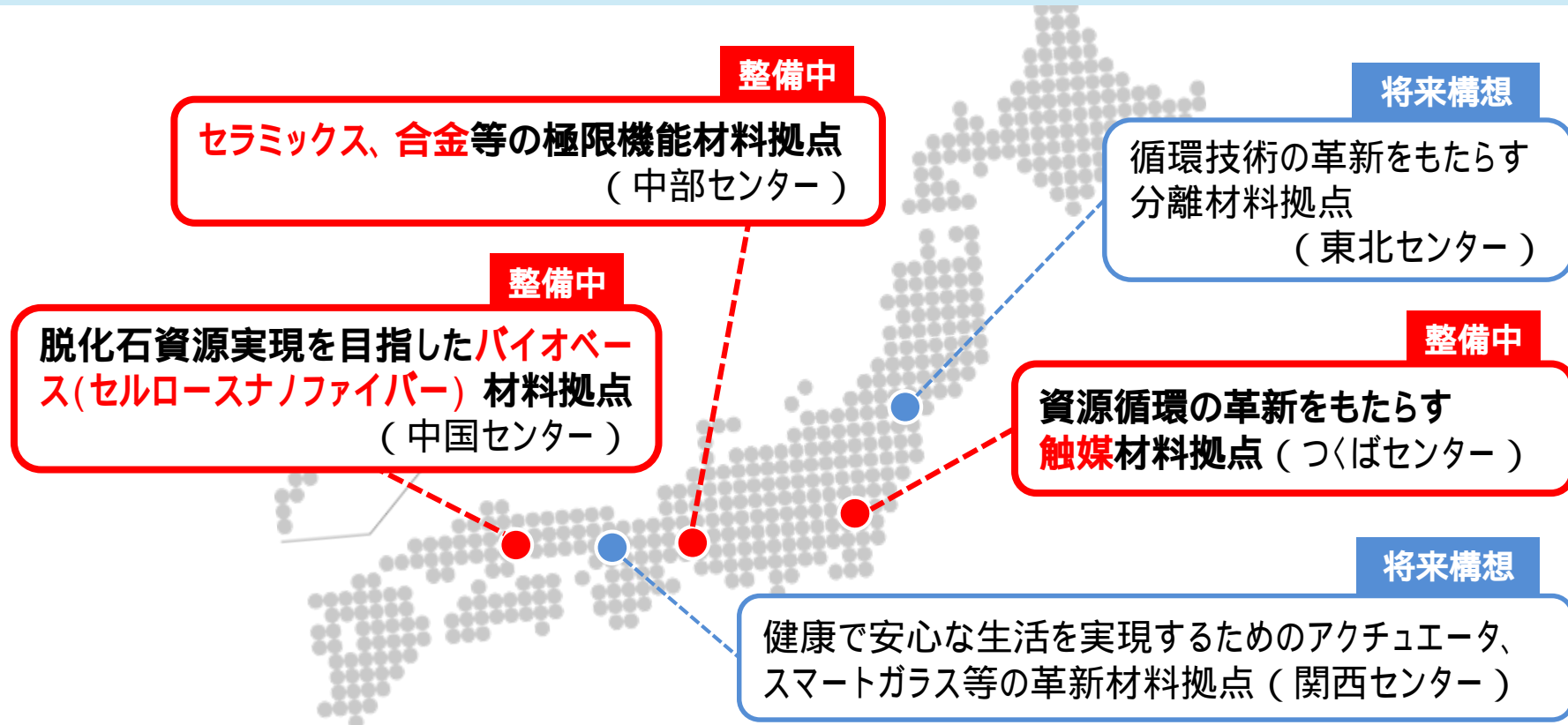
小型化・薄型化  
 インプラントブルデバイス化



引用 日本ガイシ(株)HPより

### 3. マテリアル・プロセスイノベーション プラットフォームの構築にむけた取組

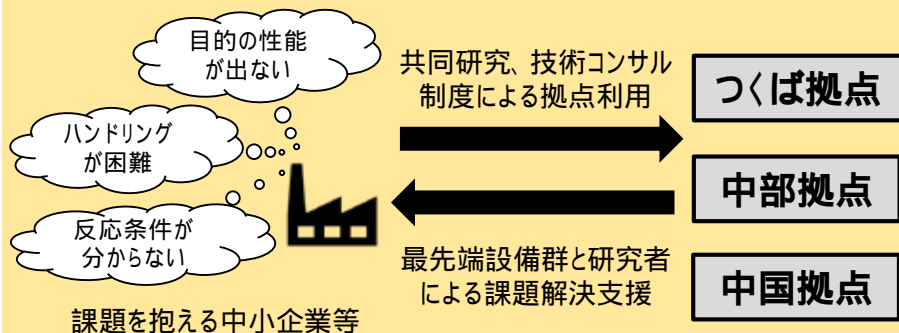
- プラットフォーム構築にむけ、R2年度第3次補正予算「重点産業技術に係るオープンイノベーション拠点整備（次世代コンピューティング、マテリアル）」（119.2億円の内数）を措置。
- 重点領域（日本の国際競争力の高いマテリアル）を同定し、材料・化学領域が拠点を持つ地域センターに、最先端のプロセス・評価装置群の導入と、拠点間のネットワーク整備によるデータの集約・利活用を目指す、**マテリアル・プロセスイノベーションプラットフォームの構築**を行う。



## 事業内容

製造・評価装置群を利用し、**中小企業等が抱える製造プロセスの課題を解決**  
 企業や国プロ等によるPF利用で生み出されたデータを活用する**データ駆動型研究開発**  
 を実施するための**基盤（設備、ネットワーク）を整備**

### 中小・ベンチャー企業等支援



- 1 製造プロセス等に課題を抱える中小企業等に対して、共同研究や技術コンサルティング等を通じたPFの先端設備群の利用による課題解決の支援

KPI: 2021年度までに産総研地域センターをコアとしたPFを3ヵ所以上整備  
 2024年度までにPFの産学利用件数が40件以上

### データ駆動型研究開発



- 1 各PFからのデータを専用回線を通じてつくばセンターに集約するシステムを構築
- 1 企業や国プロ等による拠点利用で生み出されたデータを機械学習やシミュレーション技術を用いてモデル化し、製造プロセスの高度化に利用

➡ **マテリアル関連企業の競争力強化、地域産業の活性化**

# 拠点整備に向けた企業ヒアリングの実施

- n プラットフォーム整備にあたり、各地域の中小企業や、経済産業局、公設試へ、導入装置の選定やPF運営体制等に関するヒアリングを実施し、現場の声を整備計画へ反映。

## ヒアリングでのコメント

### つくば拠点

- n 触媒の探索をハイスループットで行いたい。触媒製造プロセスの探索を行いたい。  
n PFの場で自社の装置を展示しアピールしたい。PFを利用して装置開発や装置のグレードアップをしたい。

企業面談2社、アンケート70社、公設試2件

### 中部拠点

- n 焼成体の内部構造が観察できる評価手法が欲しい。焼成過程の構造変化が可視化できる構造のイメージング設備は関心があるが自社では限界がある。  
n 非酸化物セラミックスの高機能化に取り組みたい。窒化アルミ、窒化ケイ素等を扱えるプロセス装置が欲しい。

企業面談10社、公設試5件

### 中国拠点

- n 試作レベルのプロセス装置が一式揃っているのは、さまざまな展開を模索する際に初期検討が行えるため有用。  
n 物性と構造特性が結びついていないので、それに特化するハイエンドのXPSや、SFG分光などに興味がある。

企業面談11社、アンケート43社、公設試6件

## ヒアリングに基づいた拠点整備概要

**資源循環の革新をもたらす触媒材料拠点**として、以下のような設備を重点的に導入

ハイスループットの触媒合成・解析設備  
スケールアップ、自動化、連続化可能な合成設備

**セラミックス、合金等の極限機能材料拠点**として、以下のプロセスに重点を置いた設備を導入

セラミックスマルチスケール組織造形プロセス  
極低酸素ナノ材料プロセス（非酸化物材料）

**脱化石資源実現を目指したバイオベース(セルロースナノファイバー)材料拠点**として、以下のような設備を重点的に導入

汎用性の高い小型製造プロセス装置一式  
構造特性を介した原料と製品特性の紐づけが可能な分析設備



# ワーキンググループの設置

n PF整備事業の推進のため、産学官の外部有識者を含めたワーキンググループ（WG）を立ち上げ、拠点の在り方や利用制度等について議論中

## 【WG委員】（五十音順）

青木 睦郎（株式会社バルカー 取締役）  
浦田 興優（日本材料技研株式会社 代表取締役社長）  
齊藤 隆夫（株式会社高砂ケミカル 会長）  
関根 圭人（美濃窯業株式会社 技術研究所マネージャー）  
船津 公人（奈良先端科学技術大学院大学 特任教授）  
知京 豊裕（物質材料研究機構 特命研究員）

第2回WGから参加予定

## 【第1回WG】

日付 1/24（月）  
場所 ウェブ会議  
参加者 WG委員、産総研関係者、  
経産省関係者



2回目以降のWGについても順次開催

## 【第1回WGでの委員コメント】

- n 拠点間の設備の相互利用や計測されたデータをどの拠点でも利用できるような仕組みがあるとよい。
- n PFでのデータ収集と共有提供の仕組みは、産総研に閉じることなく国の機関と連携して行くことが日本のデータ駆動型材料開発、製造の土壌を強くすることに繋がる。
- n データのモデル化とモデルからの候補創出を担える人材を各拠点で確保するとともに、PI、MIの基盤を広めるための利用企業への人材育成が必要。
- n 企業データは共有できないことが想定されるため、PIの基盤データは産総研のデータや、アカデミアあるいはグローバルのR&Dコミュニティーから集めてくるべきではないか。
- n **個別のデータが外部に出ないことを保証すると共に、モデルから個別のデータが見えない仕組み（データ秘匿技術）が必要。**



# 各拠点の整備概要

n ヒアリング結果に基づいた装置群を導入し、PI研究開発の基盤となる拠点を整備中

## つくばセンター



- n 実験棟の1、2階をPFとして整備中
- n 総床面積 約500 ㎡

### 導入装置例

- 触媒自動合成装置
- 迅速プロセス評価装置
- 触媒物性評価装置
- 触媒構造解析装置
- 触媒・機能性化学品製造後段プロセスのICMモジュール一式等...

計7点の触媒合成、評価関連の設備を導入予定

## 中部センター（名古屋）



- n 大型実験棟の一部と本棟3か所の1階部分をPFとして整備中
- n 総床面積 約1200 ㎡

### 導入装置例

- マイクロ波ナノ粒子合成装置
- 大幅シート作製装置
- 混練一体型押出成形機
- 高圧ロールプレス装置
- マルチスケール気相成長装置
- 高性能集束イオンビーム走査電子顕微鏡 等...

計22点のセラミックス、合金関連の製造、評価設備を導入予定

## 中国センター（東広島）



- n 実験別棟の1階と研究本館の3部屋をPFとして整備中
- n 総床面積 約450 ㎡

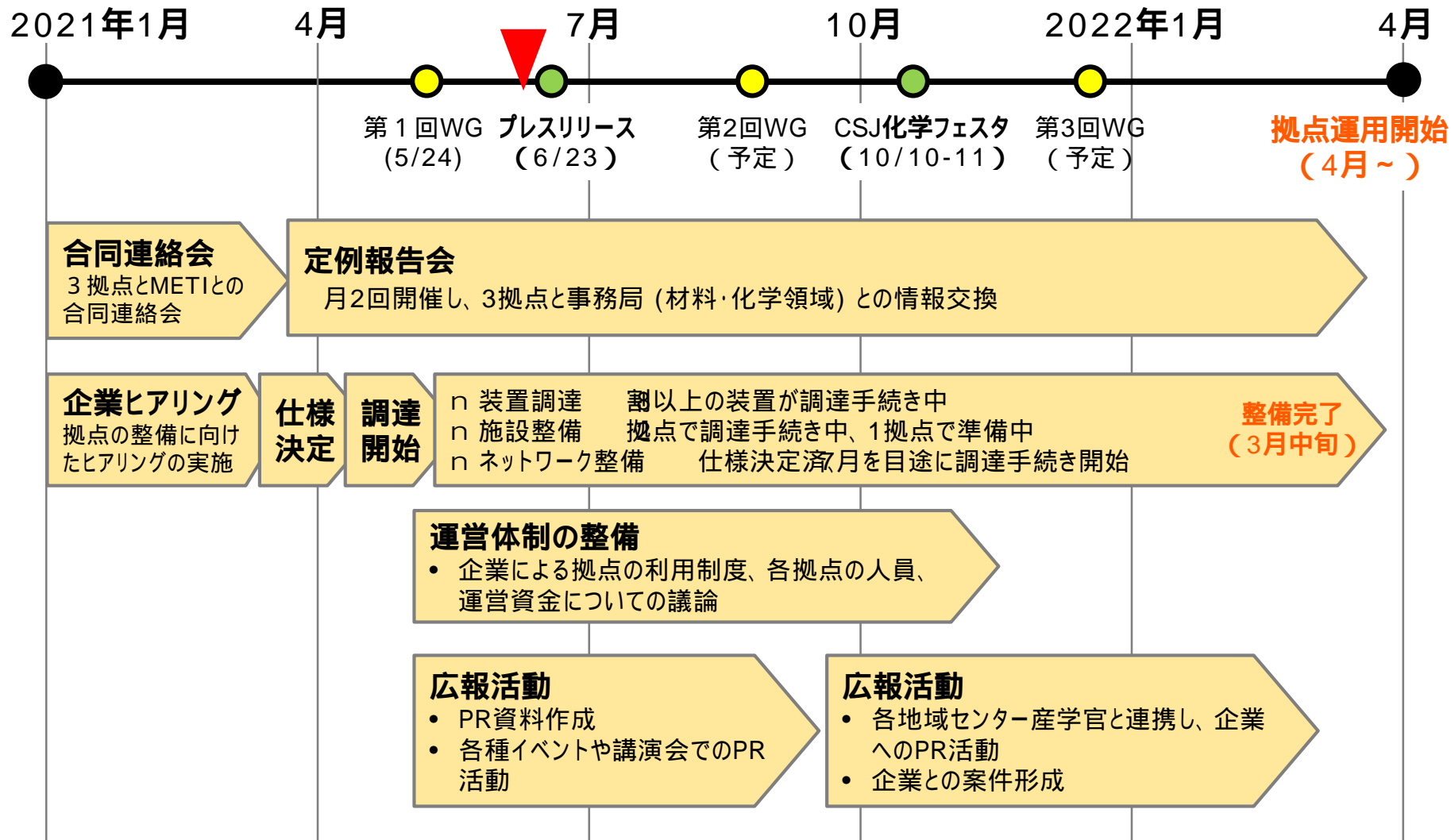
### 導入装置例

- 原料解繊装置
- 混練押出機
- ゴム用万能型混練成形装置
- 樹脂用万能型混練成形装置
- X線光電子分光分析装置 (XPS) 等...

計25点のバイオベース材料の加工、評価設備を導入予定

# 進捗状況と運用開始までのスケジュール

n 連携推進室が全体のスケジュール管理を行い、以下の計画で拠点整備を進行中



# データ駆動型材料開発の将来像（再掲）

n データ駆動型研究開発を推進することで、サイバー（データ・AI・シミュレーション）とフィジカル（実製造プロセス）を融合した新しい製造プロセスを創造し、Society5.0の実現と日本のマテリアル産業の競争力強化を図る。

## シミュレータの開発

複雑な製造プロセスにも対応可能なプロセスシミュレータを開発し、実装置での実験回数を減らし開発期間を短縮（NEDO超超PJで実施中）

## 秘匿計算技術の開発

企業データを安心して提供頂くための秘匿計算技術を開発し、企業データを含めたPI用のビッグデータを創出

## マテリアル・プロセスイノベーションプラットフォーム

（本事業で整備）

## PI基盤技術の開発

国プロ等を利用し、重点プロセス（機能性化学品、セラミック、セルロース等）における、PI基盤技術を開発

（国プロで実施予定）

データ駆動型材料開発の基盤となるPFを整備

10年先を見据えた革新性の強い製造プロセス基盤技術の確立



サイバーフィジカルシステムによる仮想空間での実験



AI・ロボットによる製造プロセスの自動化



サイバーフィジカルシステムによる超高速開発

多種多様なニーズ



安価、迅速な提供による満足度向上



分散型スマート工場による自動製造<sup>1)</sup>

Society5.0の実現

製造プロセスの自動化やサイバーフィジカルシステムの基礎となる装置開発やシミュレータの実証

1) 内閣府Society 5.0資料より抜粋して編集  
([https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/))