

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026

プログラムNo. 603-2-10

契約件名 水素利用拡大に向けた共通基盤強化のための
研究開発事業/次世代燃料電池・水電解の
要素技術開発/自動実験を用いた燃料電池用
次世代触媒・触媒層の研究開発

発表: 2026年7月22日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 柿沼 克良

*団体名 (国) 山梨大学

問い合わせ先 水素・燃料電池ナノ材料研究センター E-mail: fcnano-as@yamanashi.ac.jp

1. 期間

開始 : (西暦)2025年8月
終了(予定): (西暦)2029年8月

2. 最終目標

次世代PEFC用触媒・触媒層の研究開発の加速に資する自動実験装置を構築し、1st~3rd stage (図1)を実施する環境を整える。PEFC評価解析プラットフォーム等との連携や装置の利活用により、セラミック担体系触媒への触媒担持等を含めて従来の方法に比べて15倍の研究加速を達成する。

3. 成果・進捗概要

次世代PEFC用触媒・触媒層の研究開発の加速に資する自動実験装置の構築をすすめ、1st stage (図1)を実施する環境を整えつつある。PEFC評価解析プラットフォーム等との連携や装置の利活用により、セラミック担体系触媒への触媒担持等を含めて従来の方法に比べて5倍の研究加速を達成した。

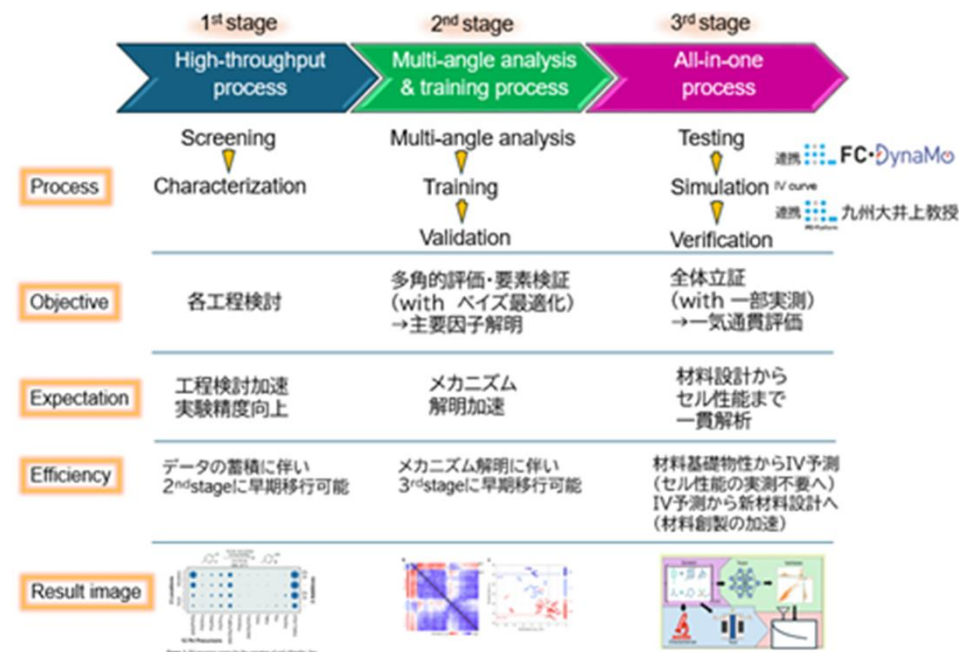


図1 自動実験システム構築の流れ

事業テーマ：水素利用拡大に向けた共通基盤強化のための研究開発事業／自動実験を用いた燃料電池用次世代触媒・触媒層の研究開発

実施予定先：国立大学法人山梨大学

公開可

事業の目的

2035年以降の触媒・触媒層設計の研究拠点として、水電解も視野に入れつつ主に燃料電池のガス拡散電極触媒の研究加速化&深化を進め、革新的な電極触媒を開発する。各種ガス拡散電極・触媒のオープンデータの蓄積を通じ、プロジェクト成果の早期実用化をめざす。

事業期間

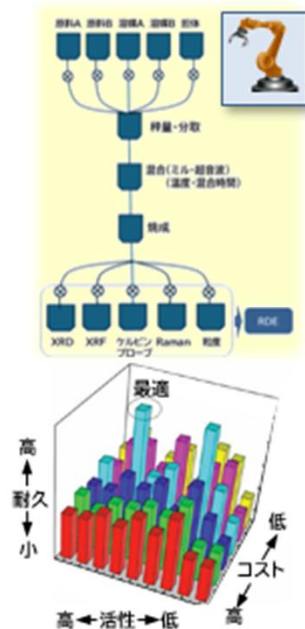
2025年度～2029年度（予定）

事業内容概略

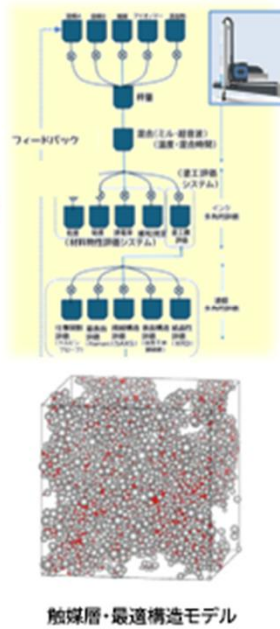
触媒創製～電池性能評価までの自動・自律実験装置を構築し、一気通貫&ハイスループット研究環境を構築する。評価解析プラットフォーム等とも連携し、NEDOプロジェクト内にてオープンデータ蓄積&活用する環境整備に貢献する。各データとシミュレーションの連携を進め、システムニーズに直結する材料シーズも明確化し、材料の探索のみならず実用化の加速に貢献する。

事業イメージ

工程1：触媒創製 (ハイスループット材料探索)



工程2：積層構造設計 (多孔体構造最適化)



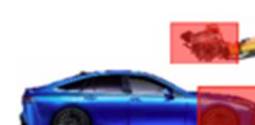
工程3：電池性能評価 (シミュレーション活用)



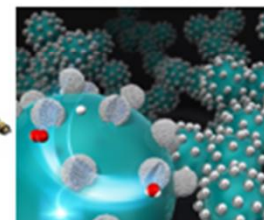
PF連携
PJ内オープン化

実験自動推進
研究加速&深化

システムニーズを
材料設計に早期反映



革新的触媒開発



研究要素多様化
体系的&効率的検討



- 本事業を実施する背景や目的

PEFCの更なる高効率・高出力・高温対応は広範囲なアプリケーションの適用に必須である。例えばカソードにおいて、従来比9倍以上の活性向上と高温作動対応を、触媒層ではそれらに対応した新たな触媒層設計が求められる。その一方、従来手法・アイテムでは性能向上スピードが対応せず、人的リソースも限られることから、DX技術を有効活用した研究の加速も重要視されている。自動・自律実験は現時点で黎明期の段階であるが、各研究・開発工程の自動化、精度向上、効率化はもとより、最先端 DX技術を用いた多角的視点に基づく知見を新たに見出し、研究の大幅な加速が見込まれる。

- 本事業の位置づけや意義、必要性

本申請ではそれらの技術を活用し、PEFC評価解析プラットフォームとも強く連携して、2035年以降のPEFCの性能向上に資する自動実験装置を構築する。さらに、NEDO事業者に対して当該装置のオープン利用とデータのオープン活用を活性化させ、データ解析プラットフォームとも密接に連携し、新たな触媒・触媒層のアイテムの創出を加速させることに意義がある。また、NEDOやPEFC評価解析プラットフォーム等の要請に応じ、当該自動実験システムのノウハウ等を、電気化学的に作動する触媒や触媒層の研究を行う他のNEDO事業者へ広く提供し、分野を超えた連携をも図る。



Date: June 10th-11th, 2024
Time: 8.00 AM – 5.00 PM
Venue: National Science Foundation (NSF)
Room 2020/2030
2415 Eisenhower Ave
Alexandria, VA 22314

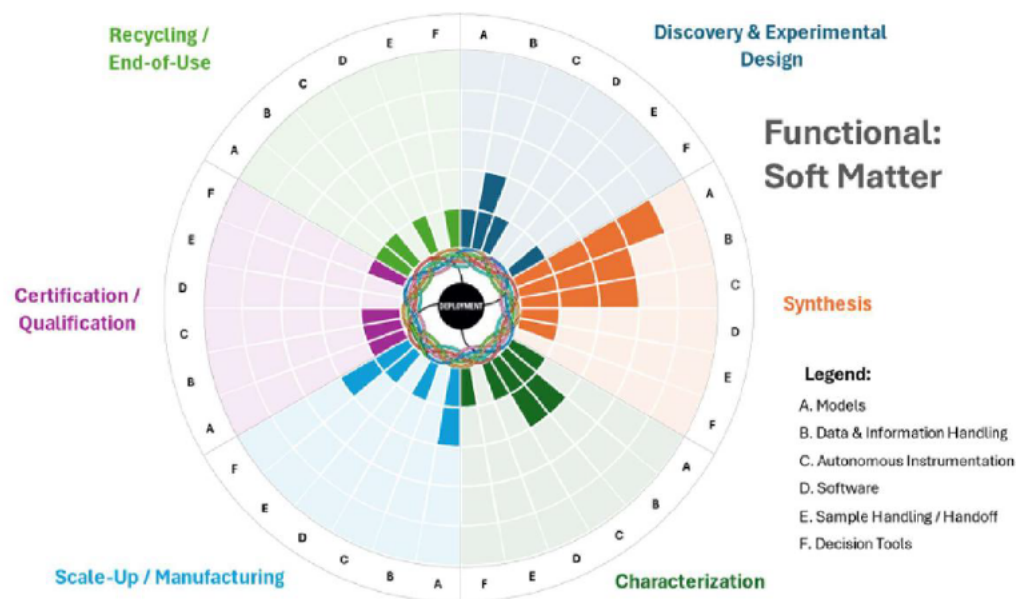
1





Accelerated Materials Experimentation
Enabled by the Autonomous Materials
Innovation Infrastructure (AMII)
A Workshop Report

Date: June 10th-11th, 2024
Time: 8:00 AM – 5:00 PM
Venue: National Science Foundation (NSF)
Room 2020/2030
2415 Eisenhower Ave
Alexandria, VA 22314



材料探索にて自動実験の利用進展
ただ、各工程ともまだ黎明期

https://www.mgi.gov/sites/mgi/files/MGI_Autonomous_Materials_Innovation_Infrastructure_Workshop_Report.pdf



1. 事業の位置付け・必要性

7/22

電気化学系:実験机上サイズでの自動実験の報告例有

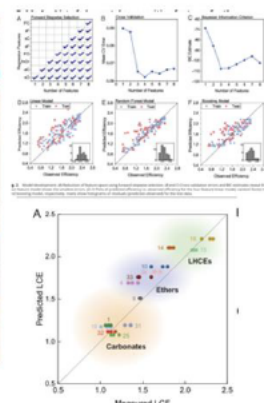
I. 現状把握 3/3 自動実験 ECS(May.2025), ISE(Sept. 2025)

A03-0400 - Integrated Workflow for High-Throughput Formulation and Characterization of Battery Electrolytes

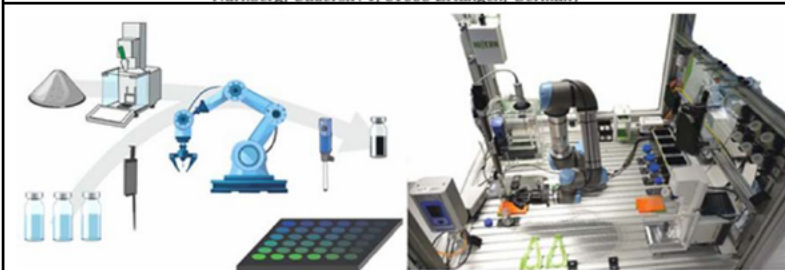
- リチウムイオン電池アノード用電解質に関するデータ駆動型材料設計
- 高性能電解質の設計を支援および加速する機械学習 (ML) モデルを開発
- 電解質の元素組成をモデルの特徴として使用し、線形回帰、ランダムフォレスト モデルを適用
- ...溶媒の酸素含有量のセンシング重要



装置の一例



Accelerated evaluation of electrocatalysts with ALEC – The Automated Laboratory for Electrochemical Characterisation

Dominik Dworschak¹, Thomas Ackstaller^{1,2}, George Pätzold^{1,2}, Nico C. Röttcher^{1,2}, Gun Deniz Akkoc^{1,2}¹ Helmholtz Institute Erlangen-Nürnberg for Renewable Energy (IET-2), Forschungszentrum Jülich, Cauerstr. 1, 91058 Erlangen, Germany² Department of Chemical and Biological Engineering, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Cauerstr. 1, 91058 Erlangen, Germany

ALEC (Autonomous Laboratory for Electrochemical Characterization),

I03-3530 - Machine Learning-Assisted High-Throughput Experiments for Selective Seawater Electrolysis

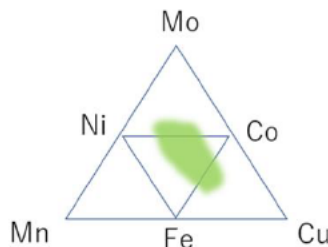
海水水電解用触媒探索の自動実験

(方法)

ピペッティングアームでの溶液混合
 金属イオンを含む最大10種類の溶液を分注・混合
 ロボットでの基板上に滴下
 混合溶液を5 mm x 30 mmのフドー酸化スズ(FTO)に滴下
 トランスファーアームで移送
 ホットプレート上で溶液を乾燥
 電気炉に搬送 & 焼成(サンプルフォルダも含め)
 ピックアップアームで移送
 各電極をH型セルに電気化学測定

ピペッティングアームで混合
 混合溶液を色試薬と混合
 吸光度を測定して組成分析

Co-Mn-Fe-Ni の4元素系で電気化学分析
 価格4000万円程度



	Hardware	Manual	Task or experiment	Automated workflow	Automated lab
Software		Conventional All manual experiments	Single task or experiment e.g. liquid dispensing	Multiple tasks or experiments chained together	Fully automated experiments Restocking, reset permissible
Human ideation	0	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3
Single iteration	1	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Multiple iterations	2	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Generative	3	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5

Present status

Figure 1. Schematic for the autonomy levels of SDLs based on the category of hardware and software autonomy achieved.

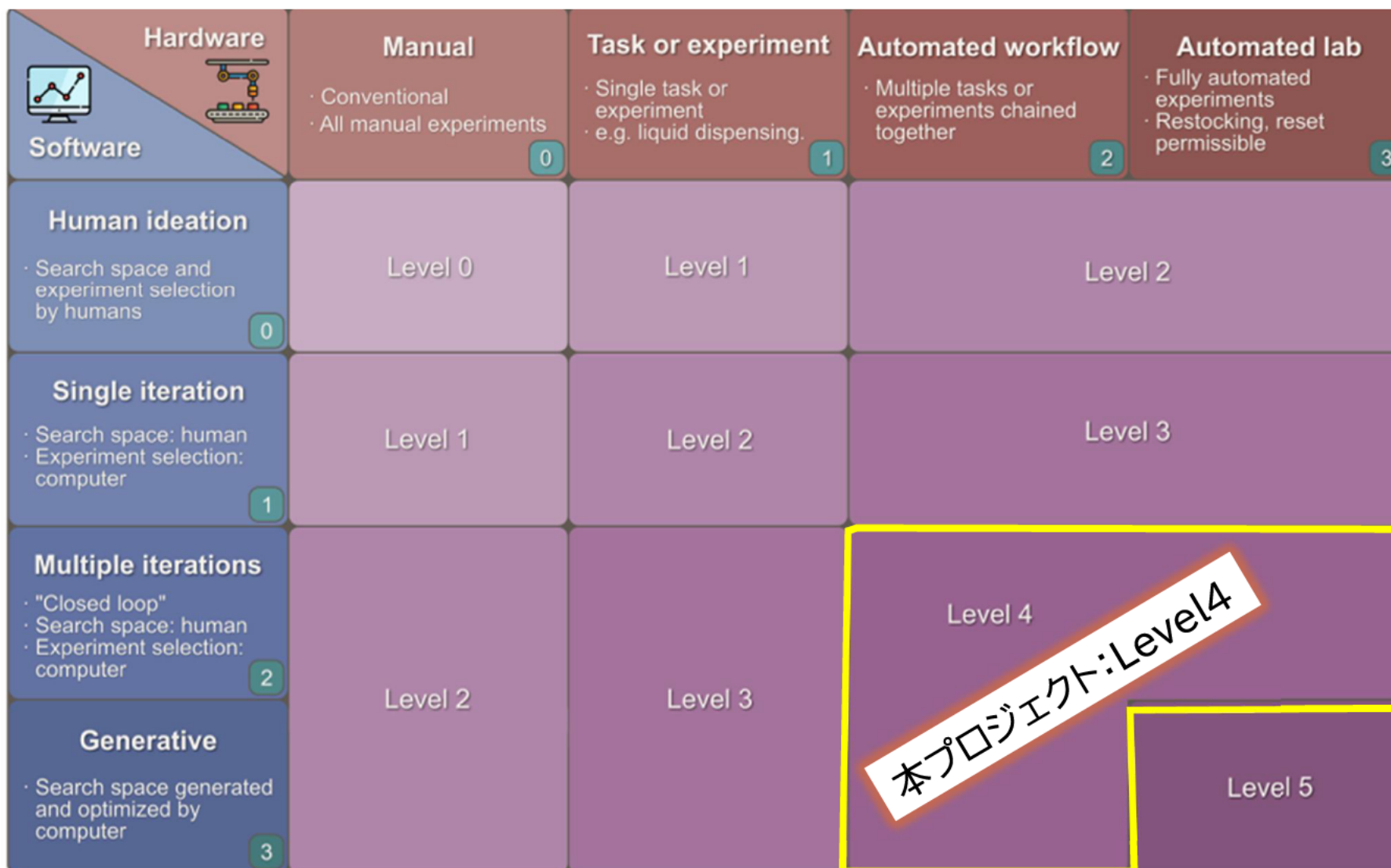


Figure 1. Schematic for the autonomy levels of SDLs based on the category of hardware and software autonomy achieved.

- 研究開発の目標と目標設定の考え方(根拠)

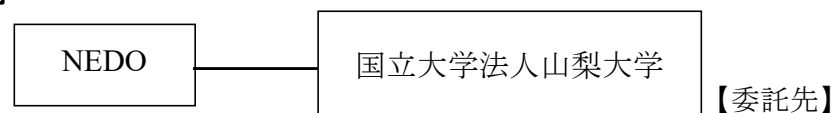
NEDOロードマップの触媒と触媒層等に関連する2035年目標の検討会において、2035年目標の出力特性や耐久性を有しFCを搭載したHDV(トラックなど)への応用に資するためには、従来の研究開発速度の14倍以上の加速が必要であることが報告されている。その研究はその研究加速の割合に準じて目標設定を実施した。

- 研究開発のスケジュール

表1 自動実験装置の導入スケジュール

	2025				2026				2027				2028
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q
触媒合成・評価工程		●			●								
触媒塗工膜評価工程				●				●					
オーケストレーション						●				●			

- 研究開発の実施体制



- その他、研究開発の進捗管理(マネジメント)や知的財産戦略に関する独自の取り組み等。

- ①研究成果の効率的な特許出願、権利化の推進

出願目標: 特許出願1件/年 × 5年 = 5件/5年以上

- ②社会実装のステージに対応した適切な契約締結

- ・材料サンプルの供試時: 供試先とNDAを締結する。

- ・知的財産の事業化時: 適切な事業化企業を選定し、効果的な知的財産権の実施権の設定契約を締結する。

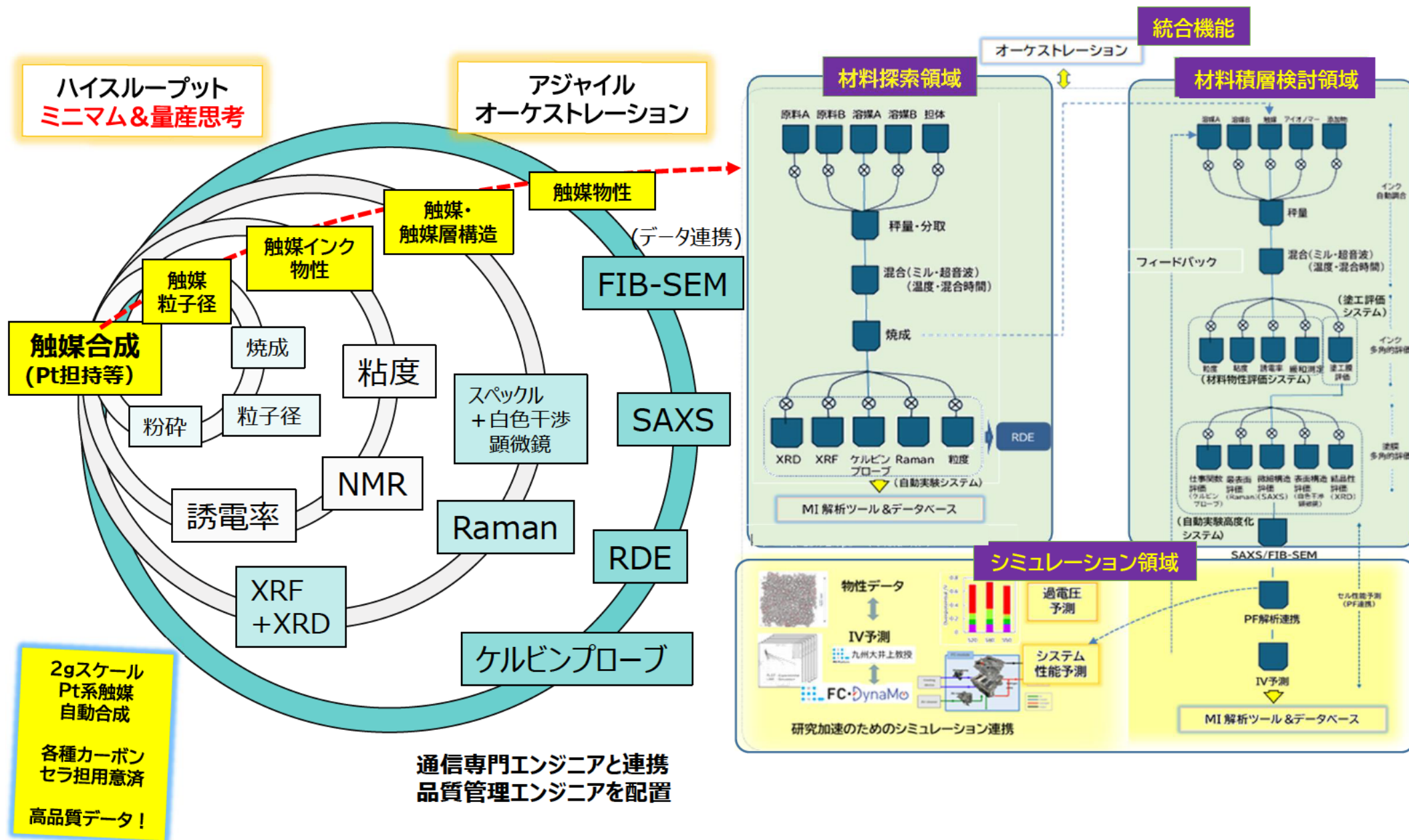


UNIVERSITY
OF
YAMAGUCHI

研究開発の目標達成に向けたアプローチ 1

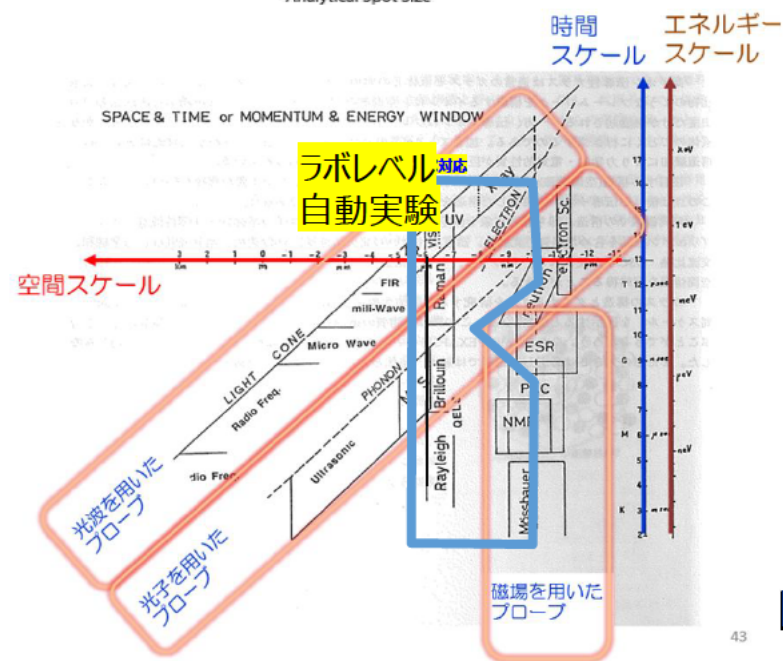
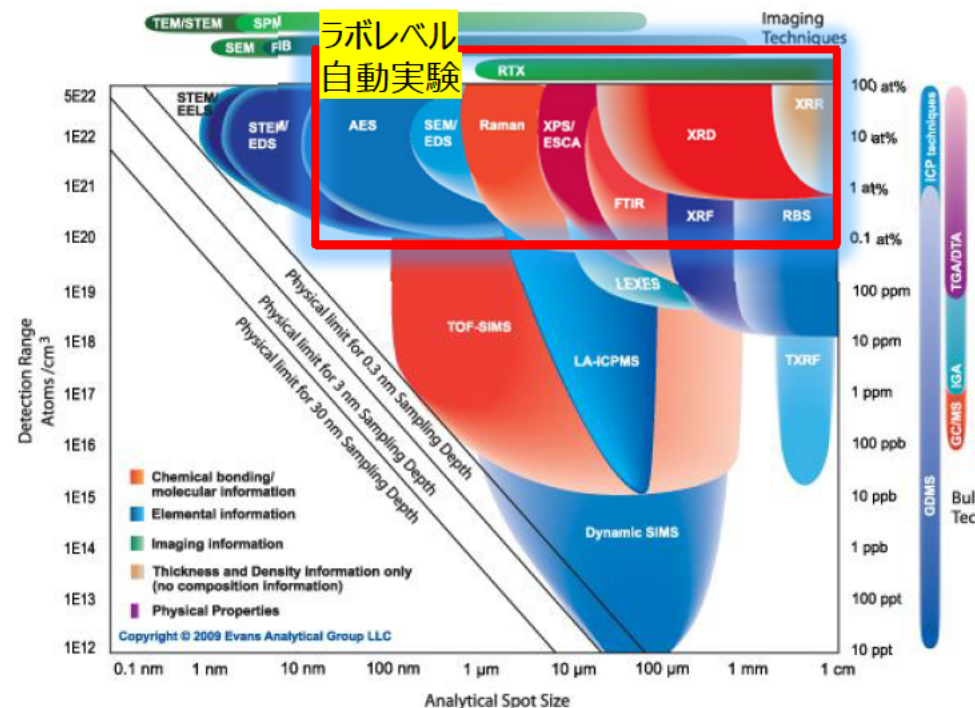
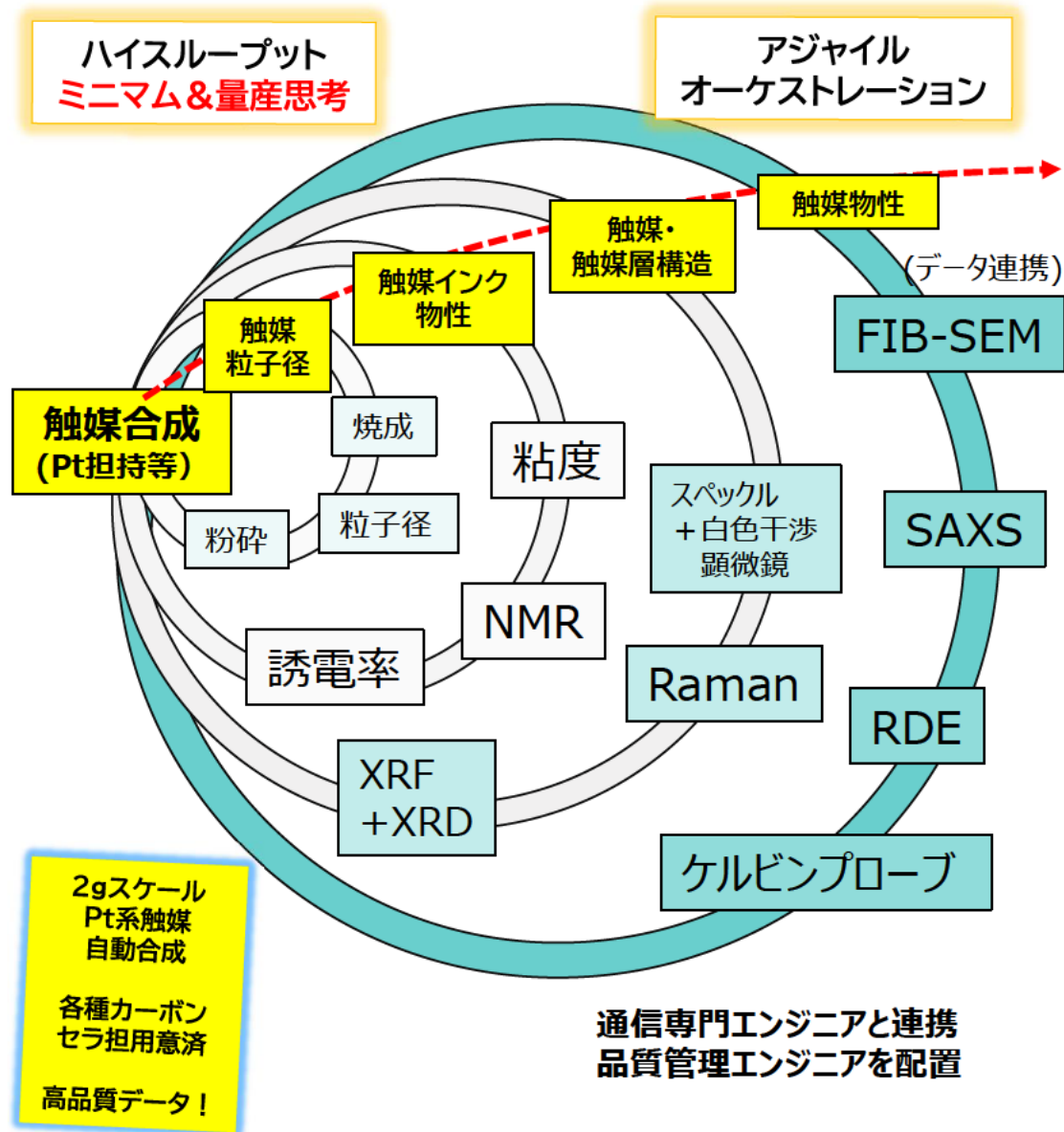
10/22

自動実験フロー

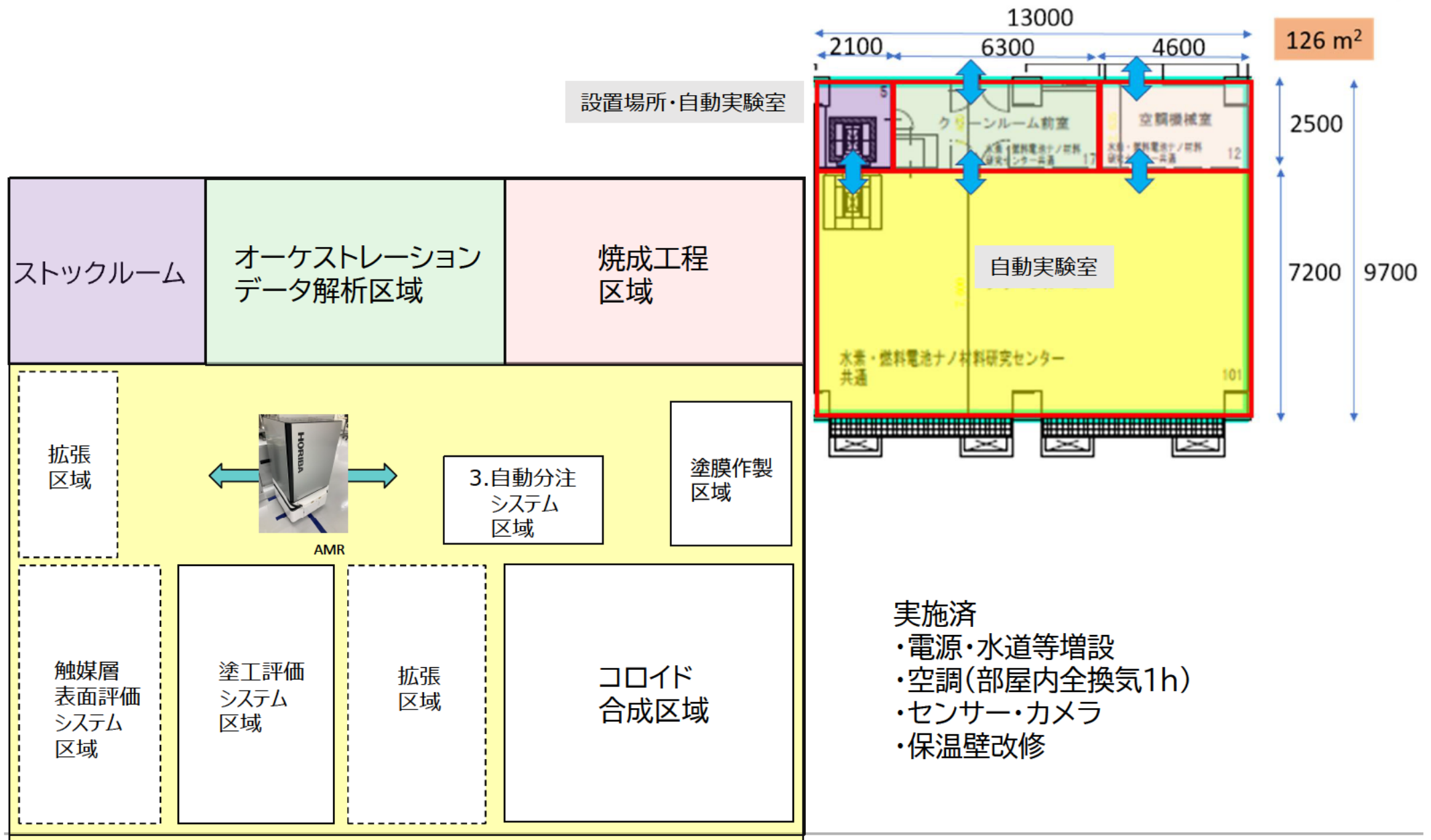


自動実験フロー

Analytical Resolution versus Detection Limit



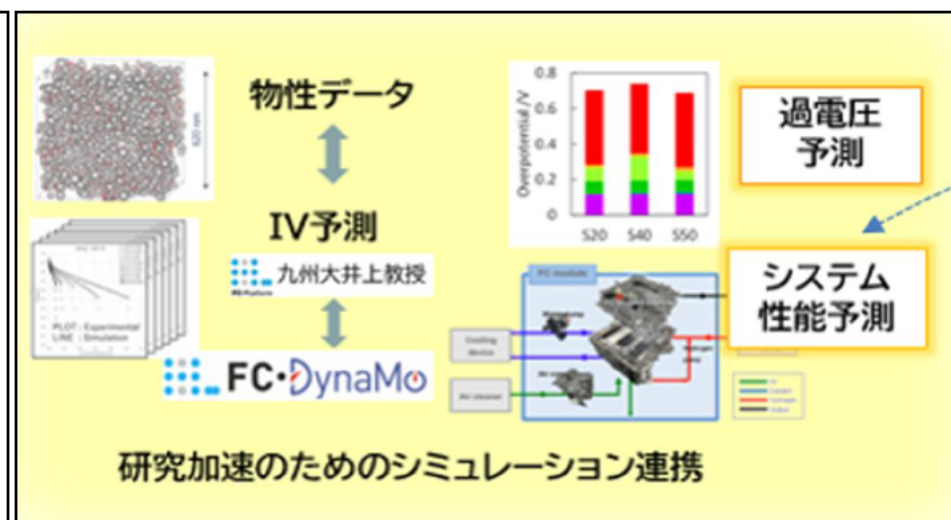
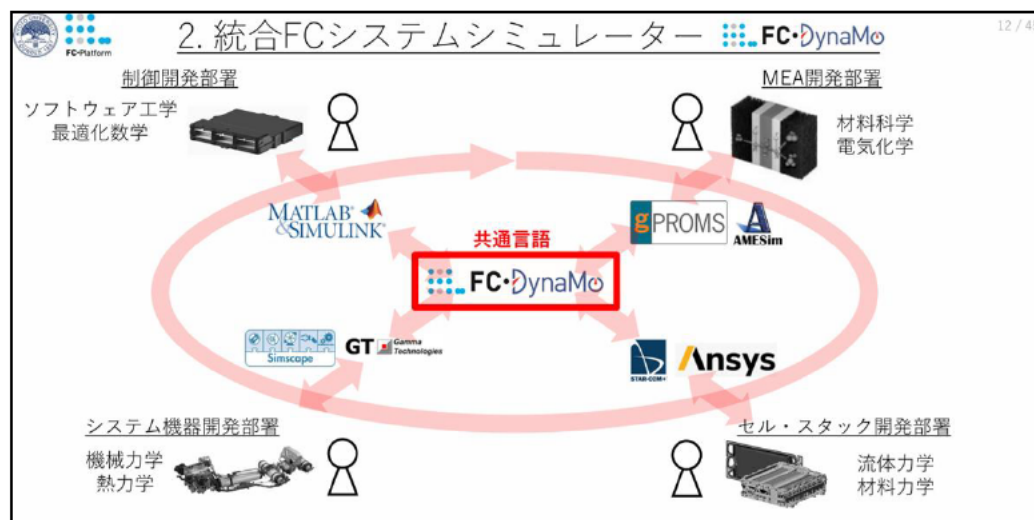
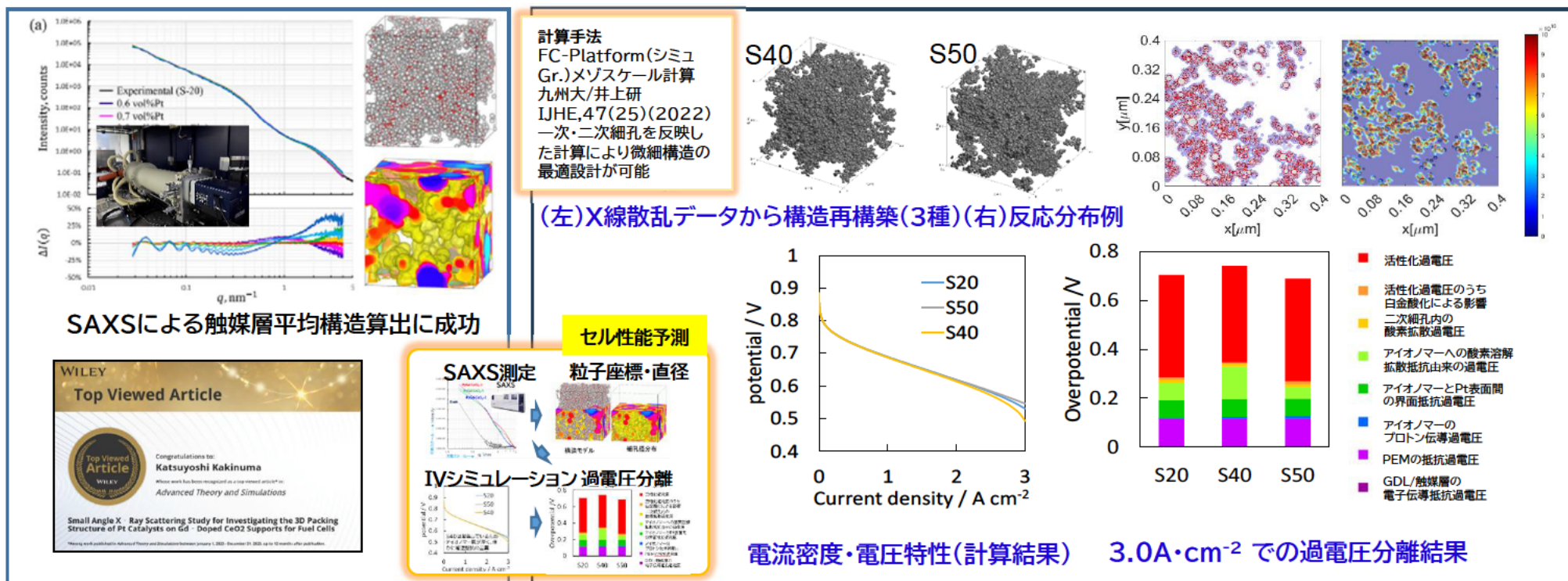
実験室整備





UNIVERSITY
OF
YAMAGUCHI

シミュレーションとの連携



材料探索領域システム（オーケストレーション連携対応中）

材料探索領域

1：コロイド自動合成システム

原料A 原料B 溶媒A 溶媒B 担体

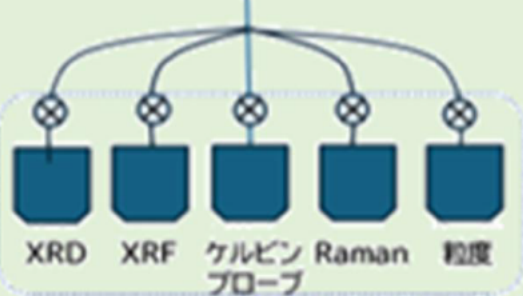


秤量・分取

混合

2.自動焼成システム

焼成



RDE

(自動実験システム)

MI 解析ツール & データベース

1：コロイド自動合成システム



コロイド自動合成（液相法） （特徴）

- ・精密混合（均一性）
- ・反応過程モニター（反応追跡）
- ・コンタミ防止

（本年検討）

- ・ろ過/洗浄工程自動化
- ・装置（バージョンアップ）2台追加）

26年度2台追加導入
（バージョンアップ版）
→タクトタイム縮小へ

2：自動焼成システム



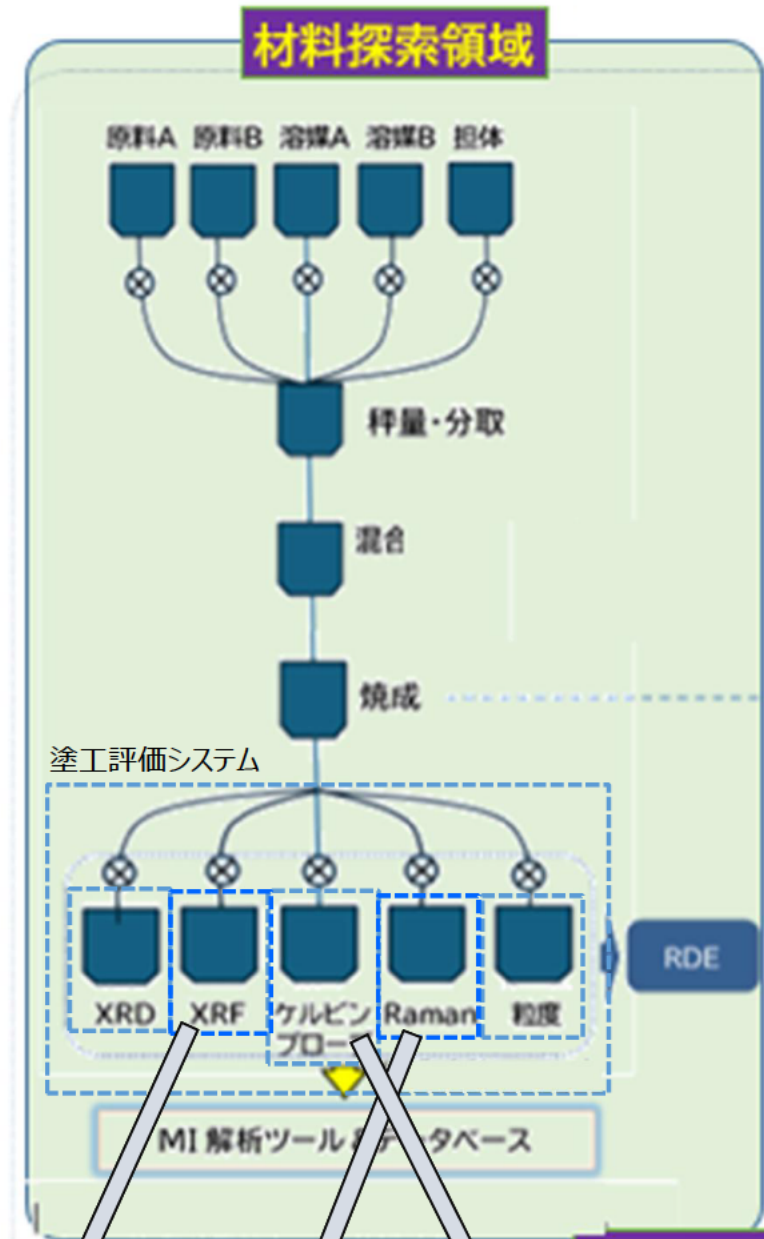
自動焼成（加熱炉）

（特徴）

- ・温度制御・モニター（電気炉昇降式）
- ・ガス制御・モニター
- ・・・量合成での課題抽出

25年度2台導入
オートサンプラー付
26年度に増設
→タクトタイム縮小へ

材料探索領域システム内容（オーケストレーション連携対応中）



コロイド
自動合成システム



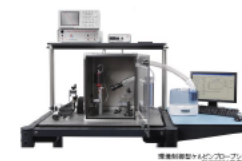
自動XRD
測定システム



自動粒度分布
測定システム



XRF



ケルビンプローブ



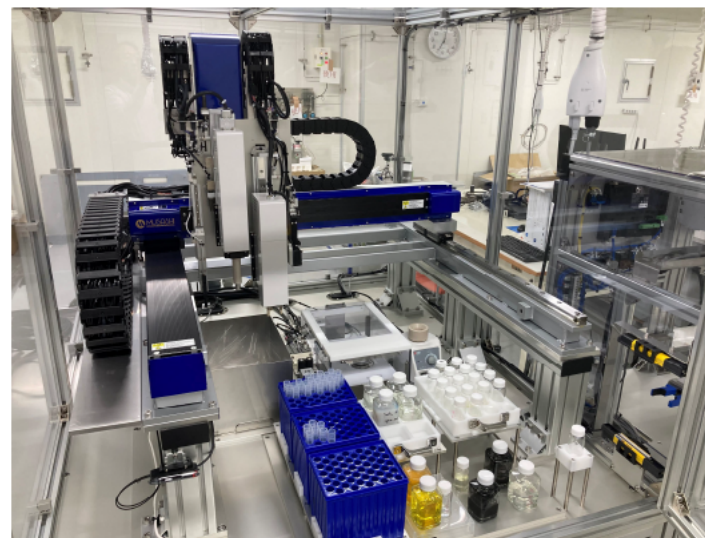
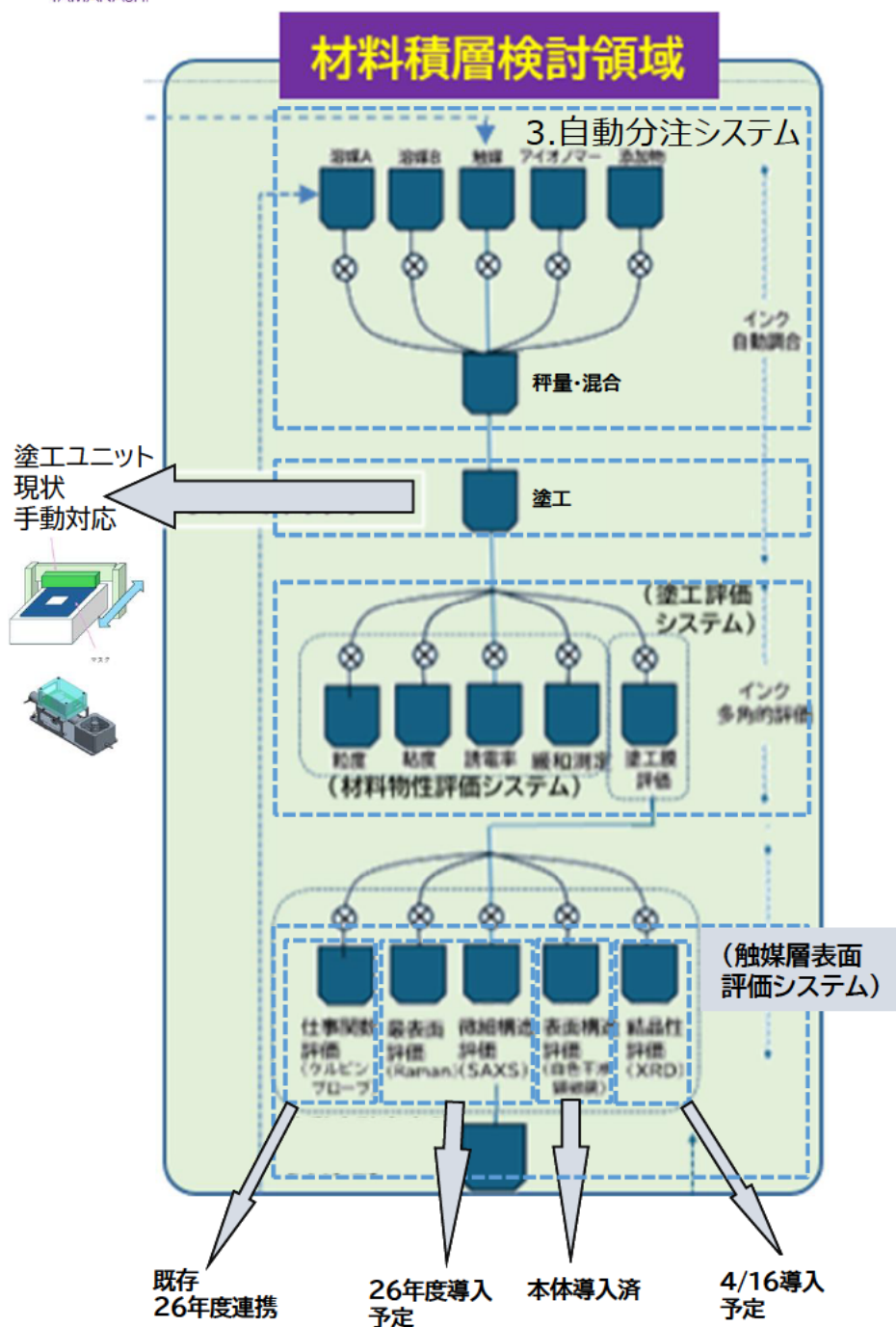
Raman 分光

26年度導入予定

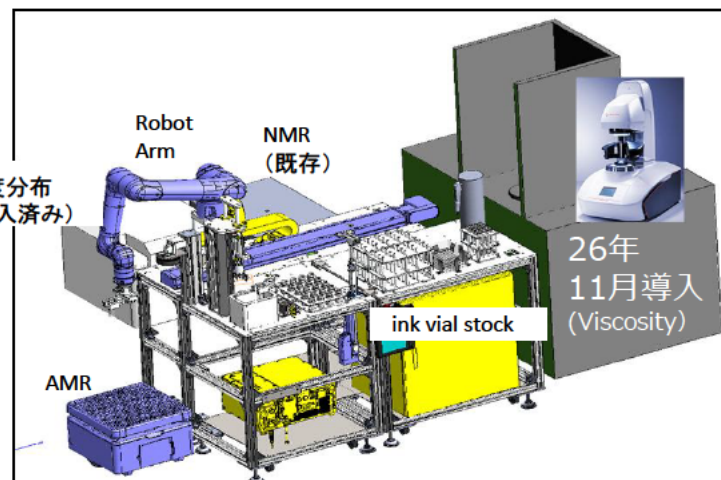
既存システムを連携予定



材料積層検討領域システム（オーケストレーション連携対応中）



自動分注システム



塗工評価システム



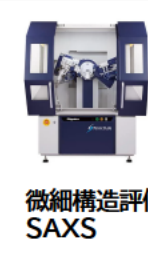
AMR(導入済)



搬送ロボット1(導入済)



塗工膜評価
(スペクル干渉)



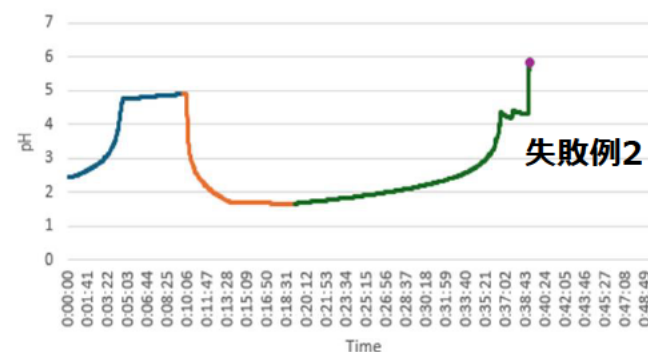
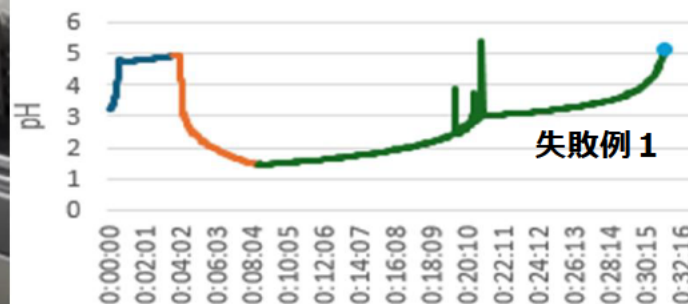
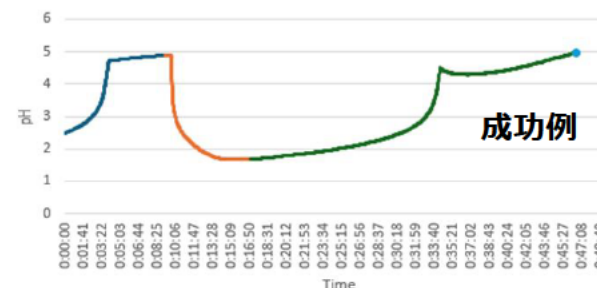
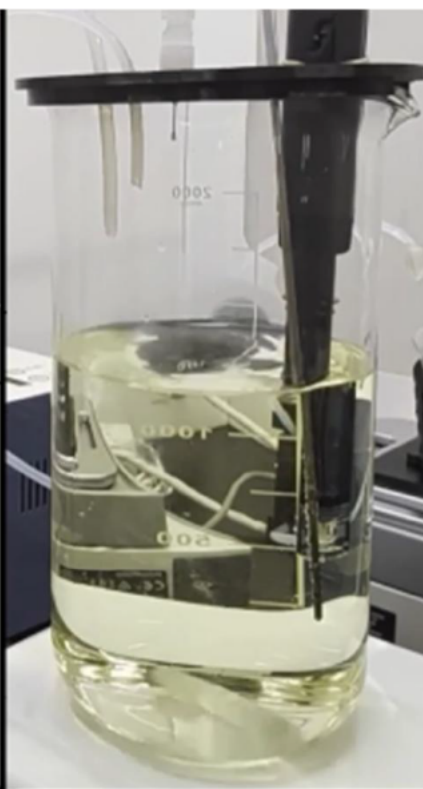
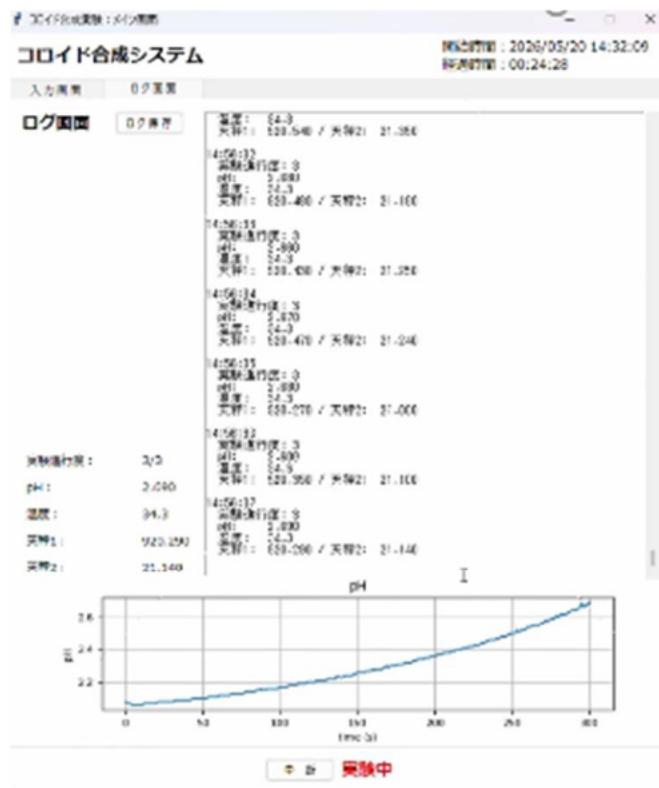
微細構造評価
SAXS

26年度連携予定



表面構造評価
(白色干渉顕微鏡)

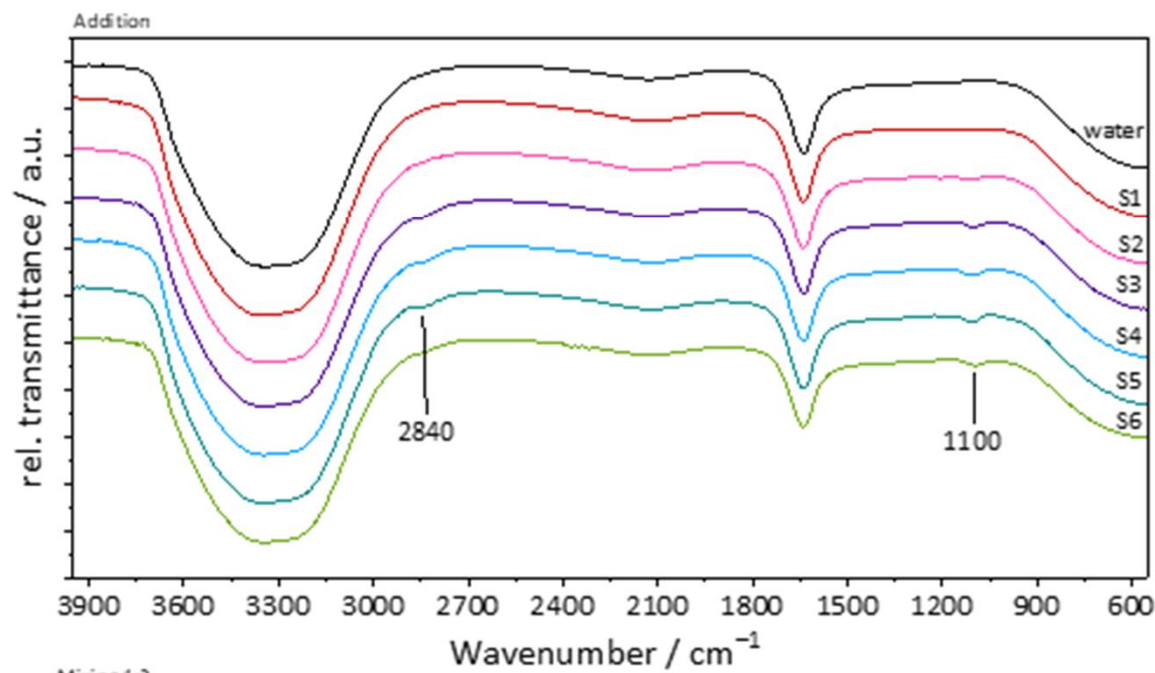
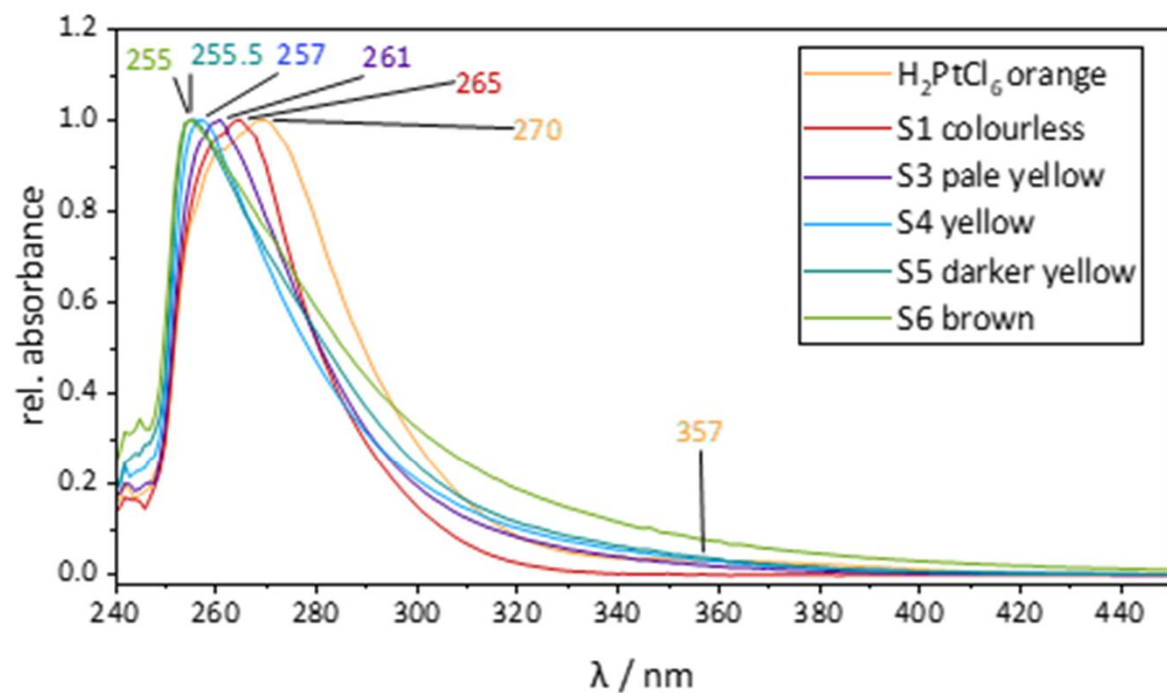
自動搬送システム1



触媒自動合成
コロイド法(2g スケール)
並列2台(将来4台)

合成途中をモニター
pH、温度、攪拌速度
導電率を追加中

合成過程の変化点チェック
msec.でのモニター
合成精度の向上
合成メカニズムの解明



- 特許や論文、学会発表、広報等の取り組み

見学(数件/月)受け入れ
オープンシンポジウム等の実施



- 実用化・事業化に対する今後の課題と対応方針

自動実験装置自体の販売は、自動実験装置のハードや制御ソフト及び得られるデータのデータベース構築、さらには、シミュレーションの活用による性能予測など、幅広い分野にまたがり、複数の企業がそれぞれの分野において、事業化を行うことが想定される。自動実験装置の市場としては、本事業で構築する触媒および触媒層の合成から物性評価およびシミュレーションによる性能予測まで、あるいはその一部を用いて、独自の触媒および触媒層を研究開発する企業や大学、研究機関が対象となる。したがって、導入先の研究対象分野も、燃料電池にとどまることなく、類似の技術を用いる幅広い技術や製品分野になるものと期待される。

- 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み(計画や戦略等)

自動実験装置の構築より、触媒の合成と触媒層の形成過程の研究開発が従来の15倍程度の速度で実施できるようになり、燃料電池などの触媒および触媒担体の新規材料の研究開発において、より多くの候補材料の探索やそのデータベースの整備とそのデータの処理により新規な材料のアイデア創出が促進され、2035年目標の実現が可能となる。同時に、PEFC評価解析プラットフォームなどとの連携や他のNEDO事業者などにも広く活用をしてもらう拠点としての運用を効果的に行うことで、触媒および触媒層といった共通的な研究開発対象の技術の進展が広く促進することに貢献できる。さらに、触媒及び触媒層を対象とした自動実験が広く産業界に普及するために必要な連携や教育などにも貢献していく。

This work was partially supported by funds for the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) of Japan.



A vibrant field of yellow sunflowers stretches across the foreground, their dark brown centers contrasting with the bright petals. In the background, the iconic, snow-capped peak of Mount Fuji rises majestically against a clear blue sky with wispy clouds. The scene is framed by a line of dark green trees just behind the flower field.

Thank you for your kind
attentions !