

NEDO水素・燃料電池成果報告会2024

発表No.B2-15

グリーンイノベーション基金事業/
再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造プロジェクト/
水電解装置の評価技術の確立/
再生可能エネルギーシステム環境下での水電解評価技術基盤構築

古谷 博秀

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

2024年7月19日

連絡先：
国立研究開発法人
産業技術総合研究所
(<https://www.aist.go.jp/>)

事業概要

1. 期間

開始 : (西暦) 2021年 8月

終了 (予定) : (西暦) 2026年3月

2. 最終目標

成長が見込まれる海外市場への国内水電解装置メーカーの進出に資するため、システム環境下で統一的な性能評価を実現し、開発の方向性を明確化、日本企業の開発力強化を図る。また、国内に評価基盤を整備することで、日本企業の新規参入を促す。さらに、国際標準化に資するデータの提供、様々な電力と後段の水素貯蔵や利用の条件を模擬して水電解装置のニーズを考慮した性能評価手法の確立を行う。

3. 成果・進捗概要

日本の水電解の技術を海外に展開するためのカタパルト的な役割を目指し、海外の水電解に関する情報収集と共に、国内の水電解メーカーや将来の利用者、材料メーカー等にヒアリングを行い、大型電解槽の評価、高圧電解、海外の電力状況を模擬したシステム試験に求められるスペックを調査、これを基に、設備構築に必要な仕様を確定し、福島再生可能エネルギー研究所にて設備構築を行った。これと並行して、国際標準化への国内対応強化を目指し、現在、ISOで議論が進んでいる水電解関連の案件について、HySUT殿と協力して国内委員会を構築、今後増加すると予測される水電解関連の国際標準化について対応を進めている。

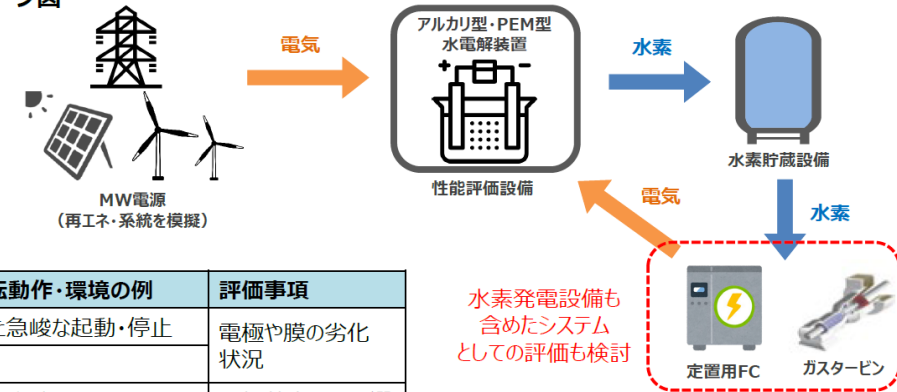
1. 事業の位置付け・必要性

- 水電解については、**再エネ価格が日本と比べて安い海外で**先行して市場が立ち上がることが想定される。
- これまで、日本の水電解装置メーカーでは国内市場向けの製品が多く、海外の市場に国内技術を展開するためには、国内で**海外の水電解装置に要求される条件**を再現し、セル、スタック、BOPを含むシステムでの海外市場向けの開発が必要になる。
(BOP : balance of plant : 電解スタックのオペレーションをサポートするコンポーネント)
- 海外の電力条件や**電解時の圧力条件**、大型での加速劣化試験の試験法の検討など、水電解装置メーカー毎に試験設備を整備することが困難かつ、非効率な課題がある。
- 公の立場**でこれらの試験の実施を可能とする**プラットフォームを構築**することにより、これらの課題を解決するとともに**統一的な性能評価**を実現することで、**開発の方向性を明確化**し、日本企業の開発力強化に繋がることが期待される。
- 成長が見込まれる海外市場へ進出するため、国内での**評価基盤を整備**することで、本分野への**日本企業の新規参入を促す**ことが期待される。

海外市場も見据えた水電解装置の評価手法の確立

- 欧州では日本と異なる運転条件で水電解装置を運用しており、海外の機関等とも必要に応じて連携しつつ、こうした環境の違いにも対応した、**統一的な性能評価を実現することで、開発の方向性を明確化し、日本企業の開発力強化に繋がることが期待される。**
- また、成長が見込まれる海外市場への進出も見越し、国内での評価基盤を整備することで、本分野への**日本企業の新規参入を促す**ことが期待される。

評価設備のイメージ図



水電解装置の運転動作・環境の例	評価事項
再エネ出力を模した急峻な起動・停止	電極や膜の劣化状況
スタック内の高圧化	
異なる周波数帯での運転	電解効率への影響
低負荷運転	ガスの純度

出典) 「水素関連プロジェクトの研究開発・社会実装の方向性」(2021.4 資源エネルギー庁)
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/001_04_00.pdf

2. 研究開発マネジメントについて

研究開発項目

水電解装置性能評価技術の確立

研究開発内容

1 再エネ条件への適応性評価技術

2 高圧環境下での性能評価技術

3 海外電力条件での水電解評価技術

4 評価技術調査および評価法構築

アウトプット目標

国内の水電解装置メーカーの海外展開に資するため、システム環境下での性能を統一的に評価することを可能にし、様々な電力と水電解装置の後段の貯蔵や利用の条件を模擬し、性能評価するための拠点を整備するとともに、評価手法を確立する。

KPI

500kW級水電解装置の再エネ環境下での劣化評価手法の確立（常用圧力、スタック加速劣化試験）

高圧環境下での電極、膜の安定性評価手法の確立（5MPa以下、50kW級、セル・中型スタック評価）

大型水電解装置のパッケージでの性能を、海外の電力を模擬して評価する手法の確立（1MW、常用圧力、電解システムの評価）

海外の水電解装置のニーズ調査を行い、評価拠点整備、評価手法に反映し、統一的な評価手法を確立する

KPI設定の考え方

再エネ環境下では、変動性に伴う電極及び膜の劣化が課題。これまでの小型セルでの評価技術を大型500kW級へ適応し、これを検証

海外では、高圧ガスの法的縛りがなく、数MPaでの水電解が多く、CAPEX,OPEX的に有利。今後の海外展開を視野にこれに対応できる技術評価手法の確立が必要

海外の電力条件は国内と周波数や電圧、安定性など条件が異なる。このような状況を模擬し、水電解装置を評価できる手法が必要

海外では接続する再エネや系統などの環境が国内とは異なることから、これらを考慮し国内外で統一的に評価可能な手法の確立が必要

3. 研究開発成果について（経過報告及びスケジュール）

	2023年 4月	2023年 12月	2024年 3月	2025年 3月
NEDO・METI	●NEDO成果 報告会(7/14) ●NEDO委員会モニタリング (8/1) ●METI国際標準化ヒアリング(7/21) ●METI-WGモニタリング (8/23)		●ステージゲート審査会 (3/7)	
アドバイザー委員会		●第5回 (12/21)	●第6回 (3/7)	
GI基金連携協議会	●個別 (4月) ●第1回 (6/7)	●個別 (10月)	●第2回 (1/12)	
〈調査〉	海外の再エネ水電解の使用環境・導入状況調査 ● 海外視察調査(欧州：11/5～12)			
〈ISO確認〉	ISO委員会（★国際委員会・☆国内委員会）へ参加・情報収集 ★ ★ ☆ ★ ★ ★ ★ ★			
〈設備構築〉	詳細費用積算作業・装置間配線配管 検討・計測器等 検討			
拠点整備	インフラ整備工事（建築・機械設備・電気設備工事）			
大型水電解評価	水電解装置 発注先にて、設計・製作・組立		搬入・据付・試運転	評価手法構築
		●実験棟完成 ●中圧タンク設置	●FC搬入 ●水電解装置搬入	●直流電源搬入
高圧水電解評価	水電解装置 発注先にて、設計・製作・組立		搬入・据付・試運転	評価手法構築
		●実験棟完成 ●飛散防止カバー搬入	●水電解装置搬入	●直流電源搬入
海外条件水電解評価	仕様作成・入札公告		発注先にて、設計・製作・組立	搬入・据付・試運転
		●10月開札 ●基礎工事終了	●中圧タンク設置 ●水素エンジン発電機搬入	

3. 研究開発成果について（2023年度 実施計画・目標および達成度）

研究開発内容	実施計画・目標	実施事項	達成度
大型水電解、高圧水電解、海外電力条件の評価	<ul style="list-style-type: none"> 2022年度までに設計した評価設備の構築を100%完了し、水電解による水素製造が可能であり、電流－電圧特性の計測が可能であることを確認（大型水電解、高圧水電解） 1MPa未満で運転を行うことによって、耐爆カバー内で水電解試験を行う方法を確立する。（高圧水電解） 電流－電圧特性、温度依存性を得られること、水素と酸素のガス圧力を制御可能であることを確認する。（高圧水電解） 	<ul style="list-style-type: none"> 電源の納品が若干遅れているが、2023年度中に評価設備の構築完了 試運転実施中（2024年2月～） 圧力制御を確認済。2024年3月に3点程度の条件でデータ取得 	○
海外での再エネ水電解の使用環境および導入状況の調査	<ul style="list-style-type: none"> 評価手法および国際標準化については海外の5機関以上を訪問および関係会議に出席して得られた結果を反映する。 ISOへの関わり方について方針を策定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 欧州の7機関（KHK同行）、米国NRELを訪問、欧州、米国の現状を調査 ISOの国内委員会、国際会議ともにHySUTと連携して対応、IEAの関連会議にも参加 	◎
統一的な大型水電解装置の評価手法の構築	<ul style="list-style-type: none"> 構築した評価設備により計測された結果を、従来の評価手法による結果と比較し、定常試験において同等の結果を得られることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 大型水電解、高圧水電解について、試運転により確認 	○
アドバイザリー委員会設置・開催	<ul style="list-style-type: none"> 2023年度 2回以上開催 海外調査結果を展開し、意見を得る 	<ul style="list-style-type: none"> 2回開催（2023/12/21, 2024/3/7） 海外調査の結果について委員会で議論した。 	○

3. 研究開発成果について（設備仕様として決定した項目）

（技術課題 1） 大型水電解装置のスタック評価、 加速劣化評価	（技術課題 2） 高圧条件下での評価	（技術課題 3） 海外の電力条件での大型水電解装置 の評価
<p>500kW級の水電解スタック評価設備の仕様を決定するための項目</p> <ul style="list-style-type: none"> • 直流電源仕様（約500kWの範囲内で調整可能な電圧範囲、電流範囲、応答速度、停止を模擬する低電圧制御範囲） • スタック最大サイズ（縦、横、高さ）と重量 • スタック設置向き（セルの積層方向） • 陽極と陰極の気液分離器のサイズと圧力範囲 • 陽極／陰極間の差圧調整範囲 • 純水温度調整範囲 • 冷却用水量（冷却kW数） • 純水供給流量 • 水循環流量 	<p>高圧スタック評価設備の仕様を決定するための項目</p> <ul style="list-style-type: none"> • 直流電源仕様（約50kWの範囲内で調整可能な電圧範囲、電流範囲、応答速度） • スタック最大サイズ（縦、横、高さ）と重量 • スタック設置向き（セルの積層方向） • 陽極と陰極の気液分離器のサイズと高圧の圧力範囲 • 陽極／陰極間の差圧調整範囲 • 純水温度調整範囲 • 冷却用水量（冷却kW数） • 純水供給流量 • 水循環流量 ・リーク水素検知濃度 	<p>パッケージ評価設備の仕様を決定するための項目</p> <ul style="list-style-type: none"> • 水電解用交流電源仕様（電圧、周波数、変化速度） • 補機電源の電圧と容量 • パッケージの最大サイズ（縦、横、高さや40フィートコンテナ等の規格）、重量 • 水素ガス圧力範囲 • 供給水流量 • 排水流量 • 冷却用水量（冷却kW数） • 回生設備の水素消費
<p>スタック評価にはどのような計測項目が必要か</p>	<p>高圧スタック評価にはどのような計測項目が必要か</p>	<p>パッケージ評価にはどのような計測項目が必要か</p>
<ul style="list-style-type: none"> • 各セル電圧 ・スタック電流 • ガス成分（水素中の酸素濃度、酸素中の水素濃度、露点等） • 純水の導電率 ・発生ガス流量 <p>※ヒヤリング結果をもとに追加</p> <ul style="list-style-type: none"> • セル抵抗 ・インピーダンス測定 	<ul style="list-style-type: none"> • 各セル電圧 ・スタック電流 • ガス成分（水素中の酸素濃度、酸素中の水素濃度、露点等） • 純水の導電率 ・発生ガス流量 <p>※ヒヤリング結果をもとに追加</p> <ul style="list-style-type: none"> • セル抵抗 ・インピーダンス測定 	<ul style="list-style-type: none"> • 電解用交流電圧、電流、電力 • 補機電力 • ガス成分（水素中の酸素濃度、酸素中の水素濃度、露点等） • 発生ガス流量

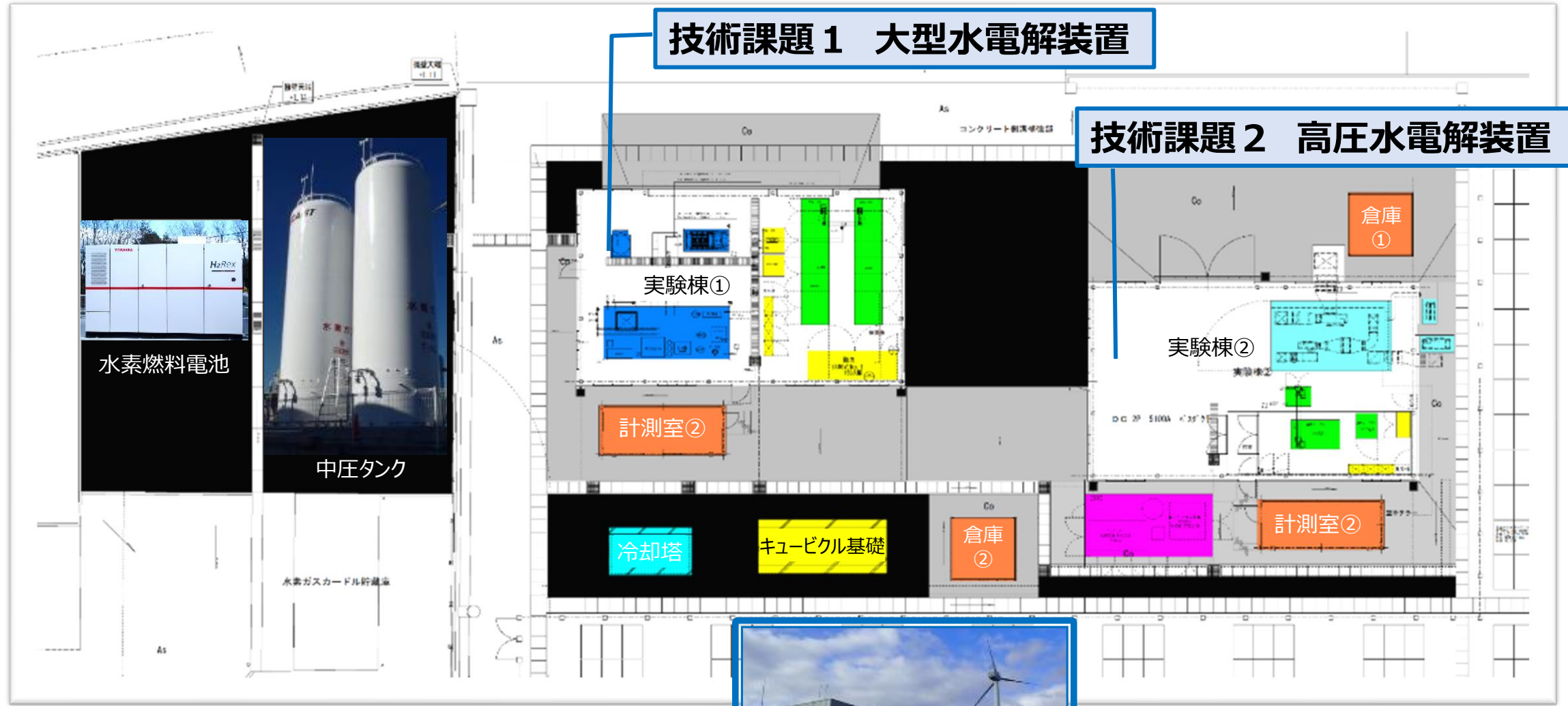
3. 研究開発成果について（設備①、②）



設備① 500kW PEM水電解評価実験棟
設備② 高圧PEM水電解（50kW）評価実験棟

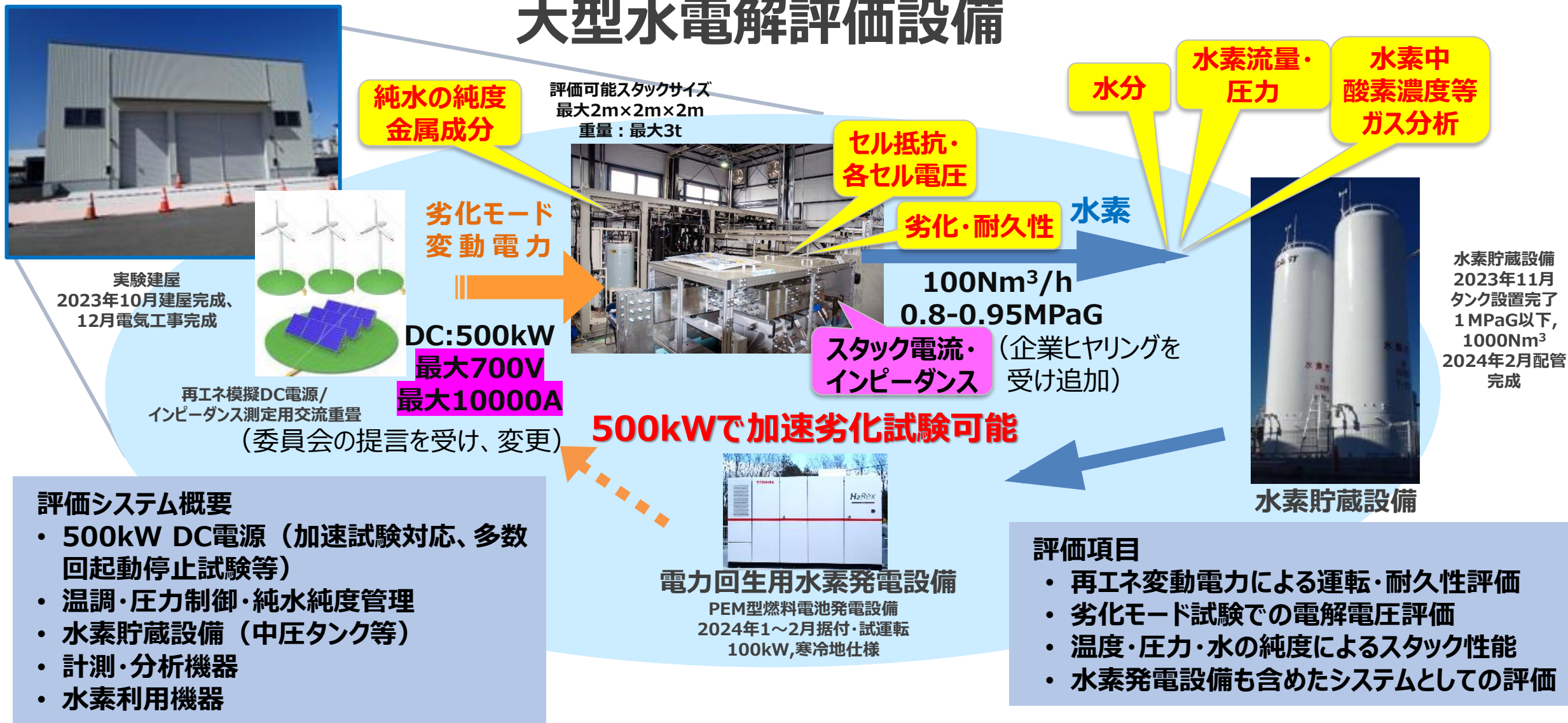


3. 研究開発成果について（設備①、②配置）



3. 研究開発成果について（技術課題1：大型水電解装置のスタック評価、加速劣化評価）

大型水電解評価設備



3. 研究開発成果について（技術課題2：高圧条件下での評価）

高圧水電解評価設備

（企業ヒヤリングを受け追加）

高圧ガス保安法を
遵守した設備

純水純度

スタック電流
各セル電圧

セル抵抗・
インピーダンス

リーク
水素

圧力

流量

露点

水素中
酸素濃度

大気開放

大気開放

酸素中
水素濃度

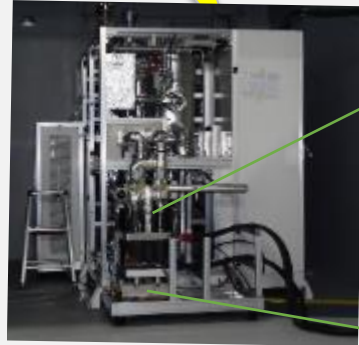
防爆建屋



飛散防止カバー

W×D×H = 3×5.5×2.8 m

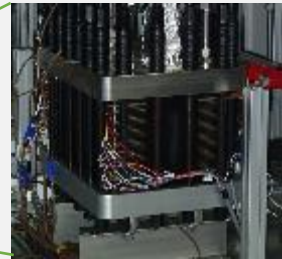
飛散防止カバー
2023年11月設置



高圧水電解装置

50kW

最大75V、最大5000A



高圧セルスタック

最大300kg

縦・横置き

水素

~5MPaG

酸素

0~5MPaG

10Nm³/h

評価システム

- 高圧ガス対応試験環境設備
- 計測・分析機器

**海外の水電解装置と同じ
高圧条件下で評価を実施**

評価項目

- 高圧下水電解現象の把握
- クロスオーバー量の評価
- セルスタックの水素のシール性・リーク評価

3. 研究開発成果について（設備③）

FREA内 配置



技術課題3

- ・評価設備基礎完成
- ・エンジン発電機搬入



技術課題3
海外の電力条件での水電解評価設備

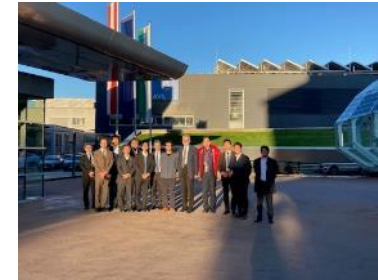
3. 研究開発成果について（技術課題3：海外の電力条件での大型水電解装置の評価）

再エネ・水素システム



3. 研究開発成果について（欧州視察）

- 欧州の7つの水電解関連メーカーや公的研究機関を訪問し、水電解装置の評価について調査を行った。
- 公的な研究機関、民間企業いずれも1000時間超の連続試験の実施体制が整っていた。
- 実証レベルの試験は、どの機関でもコンテナを利用。
- 訪問した機関における水電解評価は大きくてもMW程度のサイズ。FREAの設備は欧州で行われている試験と同等規模。また、50kW程度のサイズで行っている試験も多く見られた。大型の試験を行うには消費電力の問題等があり、扱いやすい規模感であるためだと考えられる。
- 欧州においても系統容量の問題（GW水電解を行うための送電網等）は未解決であり今後の課題であった。
- 水電解に関する認証、規制については、欧州で統一的に適用されているルールは明確にはなく、主に地域のルールやオーソリティに従って実施。



AVL List GmbH



Schaeffler



LBST, TÜV SÜD



TNO



ISPT

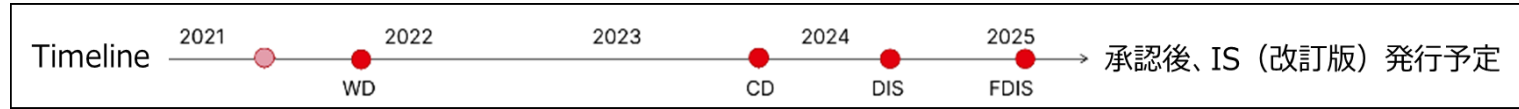


Fraunhofer ISE

3. 研究開発成果について（国際標準化に関する活動内容）

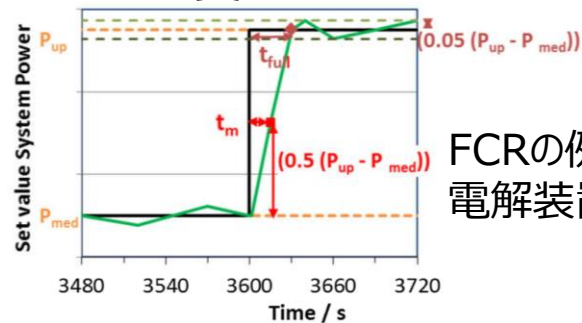
- 審議中規格の国際委員会への参加

1. 対象規格： **ISO 22734-1** 「Hydrogen generators using water electrolysis
— Part 1: General requirements, test protocols and safety requirements」
（「水電解装置の試験方法や安全要求」に関する規格）
 - ・TC197/WG34において審議中（18か国から90名以上が登録参加）
 - ・2021年5月に旧規格の改訂審議が開始、WDとCDが完了し、現在DISの段階、2025年にIS発行予定

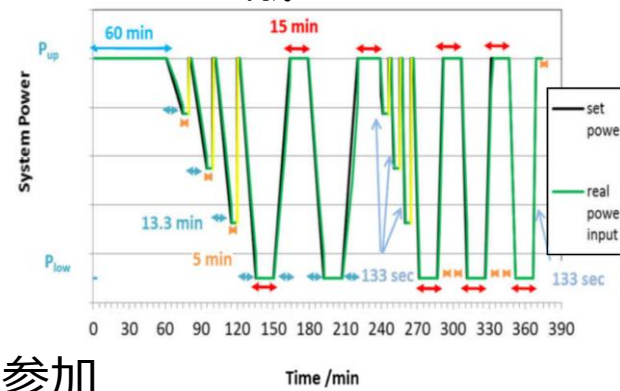


2. 対象規格： **ISO/TS 22734-2** 「Hydrogen generators using water electrolysis
— Part 2: Testing guidance for performing electricity grid service」
（「水電解装置の電力網に対する性能試験方法」に関する規格）

- ・当初、2020年10月からTC197/WG32においてTRとして審議開始
- ・後に、ISOの規則変更に伴い、TRでの発行不可になり、TSとして再審議を開始する予定



FCRの例
電解装置の応答性を評価

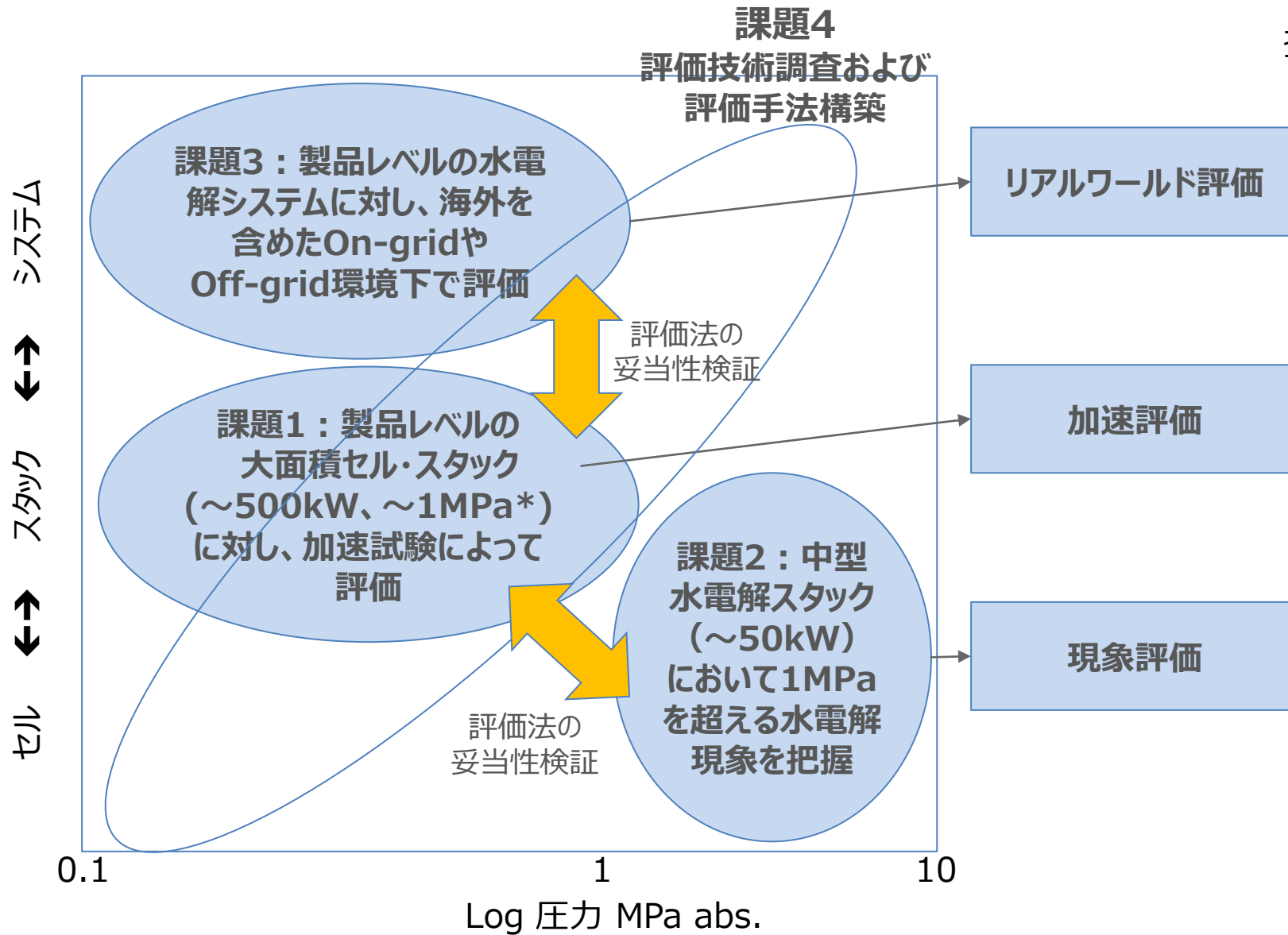


aFRRの例
電解装置の応答性を評価するためのプロトコルの提案

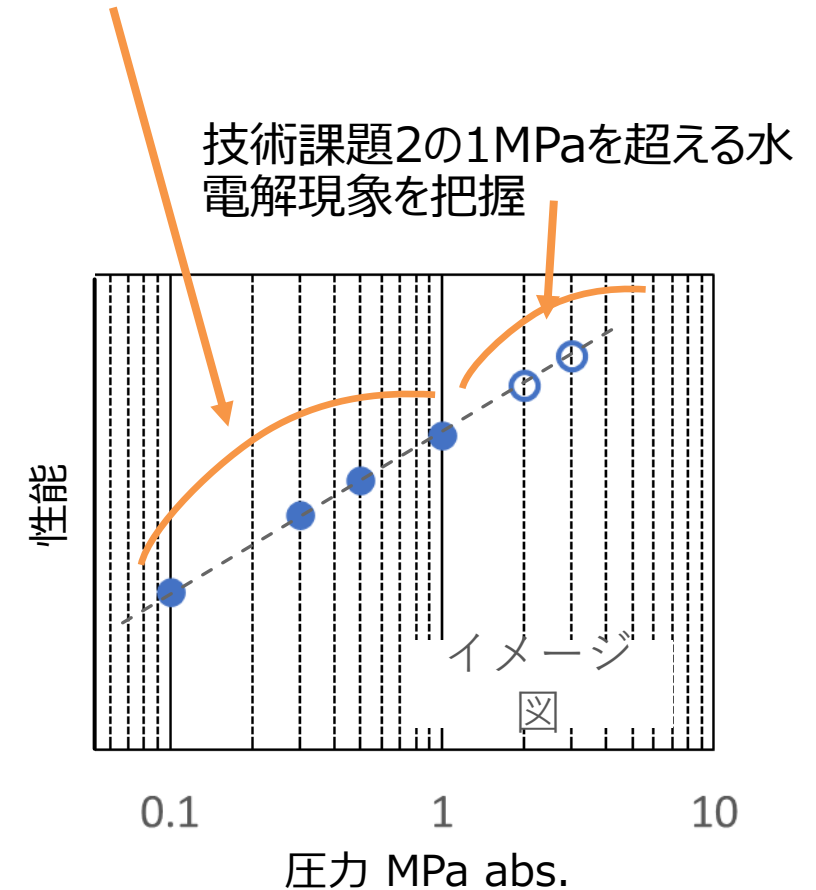
- ISO22734-1を審議するTC197/WG34の国内委員会への参加

- ・大学、公的機関、民間企業から16名が登録参加
- ・CDとDIS段階において日本から提出するコメントに関して議論を実施

4. 今後の見通しについて（評価手法を集約し、総合的な評価手法を構築）



技術課題1の水電解スタックを評価



*メーカーや専門家へのヒヤリングにより、大気圧から1MPaまでの特性を把握すれば3MPa程度までの性能は中型スタックの性能評価より予測可能と見込まれる

4. 今後の見通しについて（大型水電解スタック・高圧水電解スタックの評価手法）

製品レベルスタックと新規開発スタックの性能評価および加速劣化評価

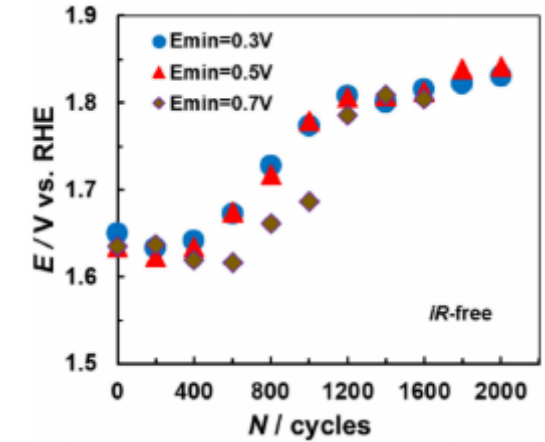
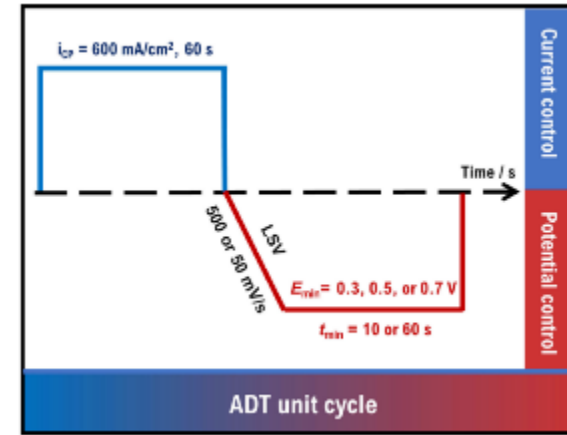
① 大面積、多セルスタックにおける応答性や効率を評価する。

② 高圧水電解スタックにおけるガスのクロスオーバー量やスタックのシール性を評価する。

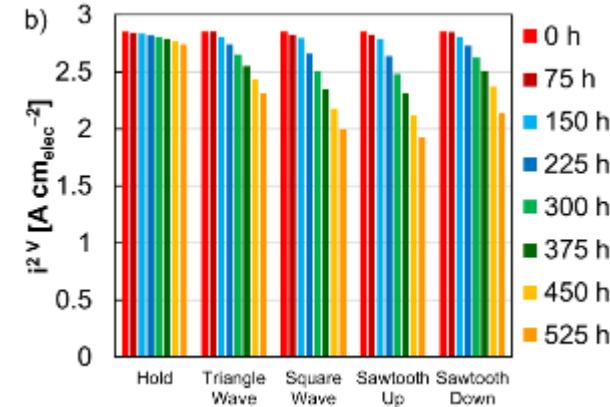
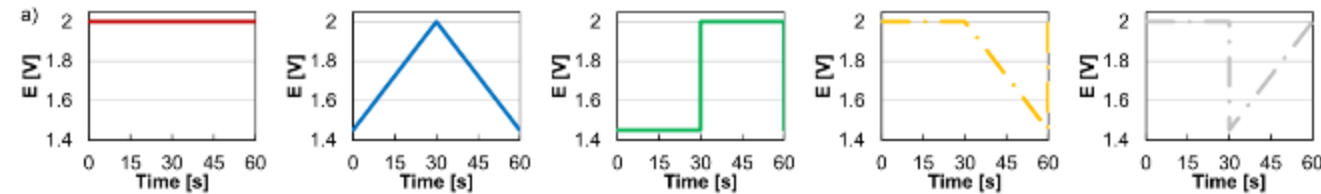
③ 劣化モード試験での加速劣化評価

- > 高負荷試験
- > 負荷変動試験
- > 起動・停止試験

NEDO水素先導PJにおける起動・停止模擬サイクル試験



出典) A. A. Haleem, et al., Electrochemistry 89(2021) 186



NRELにおけるサイクル試験による加速劣化評価

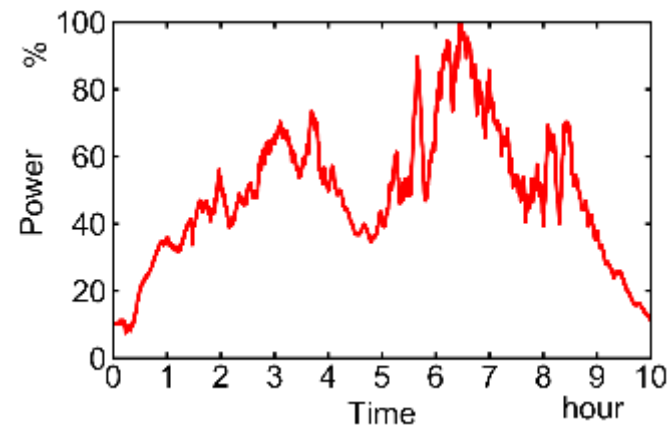
出典) : Shaun M. Alia et al 2019 J. Electrochem. Soc. 166 F1164

4. 今後の見通しについて（様々な電力条件における評価手法）

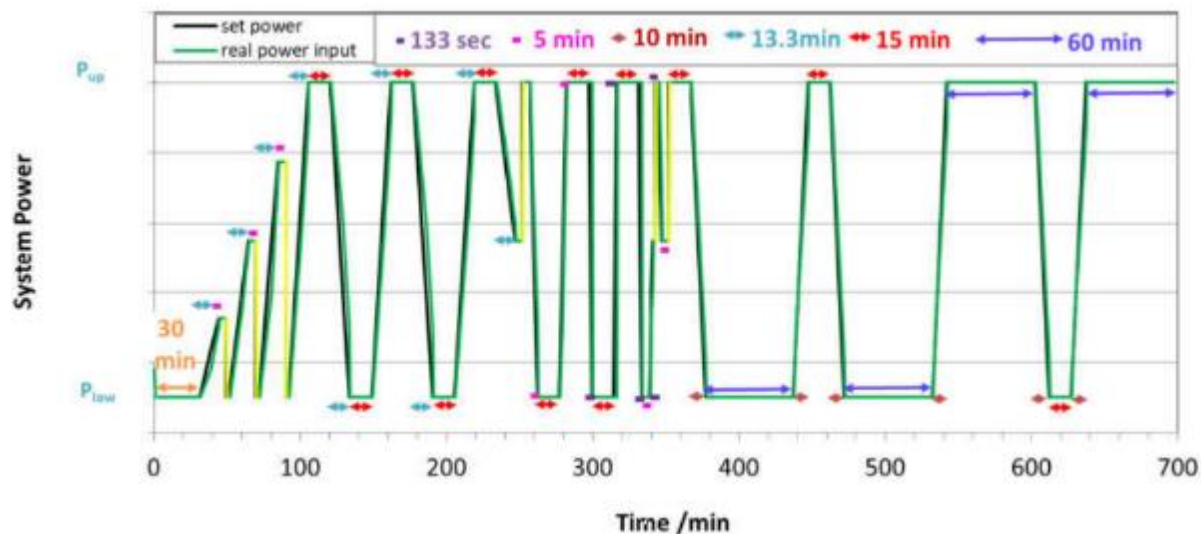
国内外の様々なシステムを模擬する交流電圧、周波数帯における水電解装置パッケージの評価。
調整力として要求される応答速度等を評価。

- ①製品スタックとBOPを含む大型水電解装置パッケージの性能を評価する。
- ②水電解装置パッケージとしての水素製造効率を評価する。
- ③再エネの変動吸収や電力システムの調整力としての利用など、用途に応じた試験パターンを用いて適用可能性を評価する。
- ④低負荷試験におけるガスの純度を計測し安全性を評価する。

再エネ変動電力パターン例（太陽光）



システム調整力の評価パターン例



出典) R. Reissner, et al., Testing protocols for electrolyser qualification (2020)
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3937273>

4. 今後の見通しについて（試験スケジュール）

