

事業戦略ビジョン

提案プロジェクト名：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

提案者名：国立研究開発法人 産業技術総合研究所（幹事機関）、代表名：プロジェクトマネージャー 古谷 博秀

目次

2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性

4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

2. 研究開発計画

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

性能評価基盤の整備というアウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目		アウトプット目標	
水電解装置性能評価技術の確立		国内の水電解装置メーカ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。	
研究開発内容		KPI	KPI設定の考え方
1 再エネ条件への適応性評価技術		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）	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
2 高圧環境下での性能評価技術		高圧環境環境下での電極、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）	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
3 海外電力条件での水電解評価技術		大型水電解装置のパッケージでの評価を、海外の電力を模擬した評価手法の確立（1MW、常用圧力、電解システムの評価）	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
4 評価技術調査および評価法構築		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	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

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 再エネ条件への適応性評価技術	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	評価技術を小型で開発中 (TRL 4)	大型 (500kW) (TRL 6)	- 再エネの模擬と、加速試験の可能な設備を構築、電極、膜劣化評価など、電気化学的な評価を可能にする。 500kW級まで	高い (90%)
2 高圧環境下での性能評価技術	高圧 (最大 5MPa) 環境下での評価手法の確立	1MPa以下 (TRL 4)	5MPa (TRL 6)	防爆建屋と試験用チャンバーまたは交換気設備を備え、高圧化に向けて中型スタックでの部材等の要素技術評価ができる設備を構築する。(50kW級、5MPa以下)	高いが、規制対応に難しさがある (80%)
3 海外電力条件での水電解評価技術	海外電力の模擬システムで 1 MW 級の大型水電解装置のパッケージを評価手法の確立	海外で実施 (国内での不安定性評価不可) (TRL 5)	模擬システムにより実施 (TRL 7)	産総研FREAに構築されている大型インバータ (PCS) 試験設備を利用し、海外の電力条件や不安定条件を模擬、海外での電力事情と同じ条件下での試験を可能にする。(1 MW級)	高い (90%)
4 評価技術調査および評価手法構築	海外状況を反映した評価拠点整備、評価手法に反映	統一的な評価手法はない (TRL 4)	統一的な評価手法の構築 (TRL 7)	日本の環境で技術開発に資する評価手法を確立するため、上記試験の組み合わせにより国内外で利用できる統一的な評価手法を構築	高い (80%)

IEAのTRLにおいては、アルカリ水電解はTRL9、PEM水電解はTRL8、変動再エネ使用時の大型水電解の評価という観点でTRLを独自に設定

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（これまでの取組）

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 再エネ条件への適応性評価技術	・ユーザーニーズ調査 ・500kW級の水電解スタック開発に必要な設備の基本仕様決定	・メーカー8社、ユーザー7社にヒヤリングを実施し、再エネ環境下での水電解装置の評価のニーズを把握 ・水電解評価設備の基本仕様決定 ・研究設備の概念設計を完了	○ (想定以上のメーカー、ユーザーへヒヤリングを実施し、ニーズ抽出と仕様への反映ができた)
2 高圧環境下での性能評価技術	・ユーザーニーズ調査 ・50kW級の水電解スタック開発に必要な設備の基本仕様決定	・メーカー8社、ユーザー7社にヒヤリングを実施し、高圧環境下での水電解装置の評価のニーズを把握 ・福島県庁との意見交換により実施に必要な要件を確認 ・水電解評価設備の基本仕様決定 ・研究設備の概念設計を完了	○ (想定以上のメーカー、ユーザーへヒヤリングを実施し、ニーズ抽出と仕様への反映ができた)
3 海外電力条件での水電解評価技術	・ユーザーニーズ調査 ・水電解装置のパッケージ評価に必要な設備の基本仕様決定	・メーカー8社、ユーザー7社にヒヤリングを実施し、海外電力条件での水電解設備の評価のニーズを把握 ・水電解評価設備の基本仕様決定 ・研究設備の概念設計を完了	○ (想定以上のメーカー、ユーザーへヒヤリングを実施し、ニーズ抽出と仕様への反映ができた)
4 評価技術調査および評価手法構築	・海外の再エネ水電解の使用環境・導入状況調査 ・評価として求められる負荷、応答速度を明らかにする	・欧州・豪州の需給調整市場、再生可能エネルギーの発生状況等の調査を実施、再エネ大量導入時の系統安定化および目的生産のために水電解装置に求められる要件について把握 ・アドバイザー委員会にて評価設備に必要となるスペックについて確認	○ (コロナ禍により海外訪問が難しい中、シンクタンクへの外注も行って情報を得て仕様に反映できた)

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容（今後の取組）

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題	解決の見通し
1 再エネ条件への適応性評価技術	500kW級水電解装置の再エネ環境下での劣化評価を可能とする設備の構築	2021年度にヒアリングして明確にした概念設計を基に、設備の詳細設計を行い、設備を構築する。	設備の詳細スペックはこれまでの成果を基に決定、これを具現化する設備構成、システム設計を終了しつつあり、設備の詳細設計については順調に進んでいる。一方、昨今の円安と半導体不足などによる装置の高騰と納期の長期化が新しい課題になりつつある。
2 高圧環境下での性能評価技術	高圧（最大5MPa）環境下での評価を可能とする設備の構築	2021年度にヒアリングして明確にした概念設計を基に、設備の詳細設計を行い、設備を構築する。	設備の詳細スペックはこれまでの成果を基に決定、これを具現化する設備構成、システム設計を終了しつつある。高圧試験に関する法規対応についても所轄県庁と相談して方針を得られている。
3 海外電力条件での水電解評価技術	海外電力の模擬システムで1 MW級の大型水電解装置のパッケージを評価する設備の構築	2021年度にヒアリングして明確にした概念設計を基に、設備の詳細設計を行い、設備を構築する。	設備の詳細スペックはこれまでの成果を基に決定、これを具現化する設備構成、システム設計を終了しつつあり、設備の詳細設計については順調に進んでいる。一方、昨今の円安と半導体不足などによる装置の高騰と納期の長期化が新しい課題になりつつある。
4 評価技術調査および評価手法構築	評価項目に関するヒアリング調査、現地ヒアリングによる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	2021年度の調査結果に対し、具体的な導入状況調査を行い、使用している系統の変動や水電解装置と補機類との組み合わせについて明らかにし、各試験項目のパラメータを決定する。	海外の調査が困難だったため、海外での水電解プロジェクトの状況が詳細にはつかめず、概要の把握だけであった。今後は、現地に足を運びヒアリングを実施し、詳細な情報の入手によりより詳細な状況把握を行うことにより解決を図る。

提案の背景と解決する課題

世界的なカーボンニュートラルの動きの中で、水素は大きな役割を果たすと考えられ、欧州を中心に水素の戦略が多く発表されている。この中で、水素を水の電気分解から作る水電解装置が重要となる。世界的な再エネや水電解装置のコスト低下に伴い、2050年には再エネから安価に水素を製造することが可能となる地域が出てくる見込みがあり、再エネ導入に積極的な地域で、大型の水電解装置の導入が計画されている。IEAが5月に発表した、2050年ゼロエミッション化へのロードマップ*¹⁾においても、水電解装置が世界で2030年に850GW、2045年に3000GW導入される可能性が示されており、グローバルに見て今後、大きな市場となる可能性が高い。

日本ではすでに世界最大級の水電解装置を建設するとともに、要素技術でも世界最高水準の技術を有している。しかし、更なる大型化を目指すための技術開発では欧州をはじめ他国企業が一部先行する状況となっている。

本提案では、「海外市場も見据えた水電気分解装置の評価手法」の確立を目指し、再エネを模擬した加速劣化、高圧化、海外の電力条件での評価の3点を実施できる拠点構築を提案する。高圧化については、これまでは規制もあり、国内であまり開発されていなかったが、コストやトータルでのエネルギー削減の観点から海外勢は数MPa程度の高圧スタックの開発・製造を実施しており、こうしたニーズが顕在化することが考えられる。大型化自体の検証は他の評価設備でも行えることも考慮し、高圧化に向けては中規模スタックでの部材等の要素技術開発を行える拠点形成を目指す。

* 1) “A Roadmap for the Global Energy Sector” IEA HP より

海外市場も見据えた水電解装置の評価手法の必要性

・水電解については、再エネの安価な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（表 1）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。

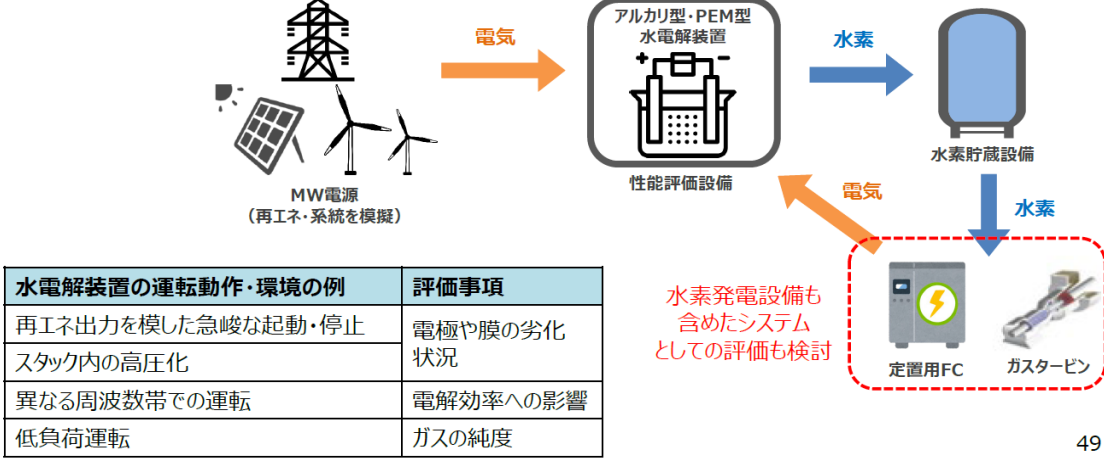
・公の立場でこれらの試験の実施を可能とするプラットフォームを構築することにより、これらの課題を解決するとともに統一的な性能評価を実現することで、開発の方向性を明確化し、日本企業の開発力強化に繋がることが期待される。

・成長が見込まれる海外市場への進出するため、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



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

当該技術の独自性・新規性

評価の機能を3つに分割することにより、効率的な評価が行える。様々な電力条件をシミュレーション可能な模擬システムを活用した水電解装置の評価により、世界中の電力条件を模擬しつつ、将来の再エネ割合が増加した電力システムを再現した条件での評価や、過酷試験の両方を実現可能。また、発生した水素の活用により水素発電機を含むシステムとしての性能試験を同時に行うことが可能となり、これまでに例がない。

他技術に対する優位性

産総研FREAではこれまで、様々な海外の電力状況をMW級でシミュレーションし、大型インバータなど、電力変換装置を評価する技術を構築しており、各国の電力を将来予測も含めて再現した条件で、本拠点化により大型電解システム評価を実施できる。このシステム評価は、大規模システムシミュレータを有するFREAでのみ実施が可能となる。

実現可能性

過酷試験での電気化学反応も含む評価、高圧での評価、海外の電力条件での評価について、国内の規制の関係もあり、すべてを同時に実現することは難しい。本提案では、現時点で国内で実施が可能な、加速劣化試験を実現する評価、中型ながら高圧環境下（5 MPa）での電気化学的評価、産総研の大型インバータ試験設備を活用した海外の電力条件での大型水電解装置の性能評価を連携させることで実現する。

産総研の有する関連技術と組み合わせ、ユニークな水電解評価技術を構築

産総研FREAにある再エネに関する研究評価設備と、産総研で実施してきた再エネによる水電解技術、および各種キャリア製造をはじめとする水素の利用技術を活用することにより、世界的にもユニークな水素の製造、貯蔵、利用を含めた“システムでの評価”を可能にする拠点を目指す。

1) 世界の電力条件を再現する電力シミュレーション技術と組み合わせ、再エネ用パワーコンディショナの大量連系時における水電解装置の調整力としてのポテンシャルを評価する。

2) FREAで実施している、水素利用技術（キャリア製造、水素エンジン、FCシステム評価）との組み合わせにより、水電解装置および補器類に要求されるスペックを含めてシステム内での評価を可能にする。



スマートシステム研究棟
MW級で世界の電力条件を再現可能
(各種分散型調整力の評価が可能)



FREA：MW級の再エネを実装
再エネ関連各種実証設備を有する拠点



再エネMCH製造・利用



再エネBEMSシステム



再エネアンモニア製造



水素エンジン

変動再エネ(VRE)電力、水電解技術の要素から中規模レベルまでの評価実績

	評価対象	スケール	評価実績	本提案との関係
①	VRE向けパワーコンディショナ(PCS)	3MW	国内最大（世界最大級）の大型パワーコンディショナの研究・試験施設において、出力3MW超、直流電圧1,500Vの太陽光発電用パワーコンディショナの海外認証等を実施。世界7ヶ国（日、米、独、中、印、タイ、フィリピン）向けに過去5年間で120件の試験実績を有する。	MW級ACシミュレータを活用する電解評価が可能
②	アルカリ電解	単セル～30Nm ³ /h	- 単セルのサイクル試験による劣化挙動の定量評価 - 中型実証機(30Nm³/h)のVRE電解評価及びキャリア製造実証 - グリーン水素製造システムの最適化シミュレータ開発 等	アルカリ電解の性能および劣化評価，標準的VREプロトコルによる電解評価，グリーン水素製造コスト計算等が可能
③	PEM電解	単セル～5Nm ³ /h	- 単セルのサイクル試験による劣化挙動の定量評価 - 太陽光発電直結水電解の基盤技術開発および水素製造実証 - 共通的な触媒活性及び加速劣化試験法の検討	PEM電解の性能および劣化評価、直流直結による高効率水素製造技術等の開発実績を持ち、評価技術を展開可能
④	AEM水電解	単セル	- 単セルにおける電流－電圧特性評価 8.5bar（0.85MPa）までの加圧運転実証	装置コスト低減を見通す次世代装置開発の実績から、対抗技術として性能を把握
⑤	SOEC電解	単セル～1kW	1 kW級水電解の水素製造の基盤研究を実施 70 W級単セル、海外製1 kW級スタックの試験	高効率といわれるSOによる水素製造技術の実績から、対抗技術として性能を把握
⑥	PEFC	単セル～100kW	- 小型単セル試験による特性評価、劣化要因解析 - ACシミュレータを活用した系統接続試験 - FC複数台運転の適性化、環境試験室を活用した寒冷地試験 - 製造企業、ゼネコン会社等との共同研究実績 多数あり	電気化学的特性の解析 100kW級ACシミュレータを活用する電解評価が可能 電解水素による発電回生の実績
⑦	SOFC	単セル～10kW	- 実用サイズ単セルから10 kWシステムの試験・効率評価 - SOFC性能評価手法の標準化（JIS規格、IEC規格）	評価法標準化に貢献した経験を活かす
⑧	水素エンジン	～500kW	- 専焼，混焼に関する基盤研究および実機性能の研究開発を実施 - 水素・ディーゼル混焼実機の長期稼働実証に参画，1000hr達成 - 製造企業，エネルギー会社等との共同研究実績 多数あり	電解水素による発電回生，水素発電も含めたシステムの評価に展開可能

課題へのアプローチ(海外の条件を加味した水電解技術の課題)

○MW級の大型電解槽そのもので、加速劣化試験を実施することはコスト的に困難
(加速劣化試験の評価対象は触媒、膜など、パラメータが多く、現象の解明のできる最小サイズでの実施が必要)

○水電解装置の高圧化のニーズにこたえられる部材等の要素技術開発を可能にする

高圧化により、コンプレッサや除湿器の負荷低減による総合効率向上、配管等の部材の節約など、多くのメリットがある。
(事前のメーカーヒアリングから高圧化は中型による現象解明の段階、大型での実施は非効率)
(海外製品の例：ITM Power製 2MPa, NEL製 3MPa, Hydrogenics製 3MPa)

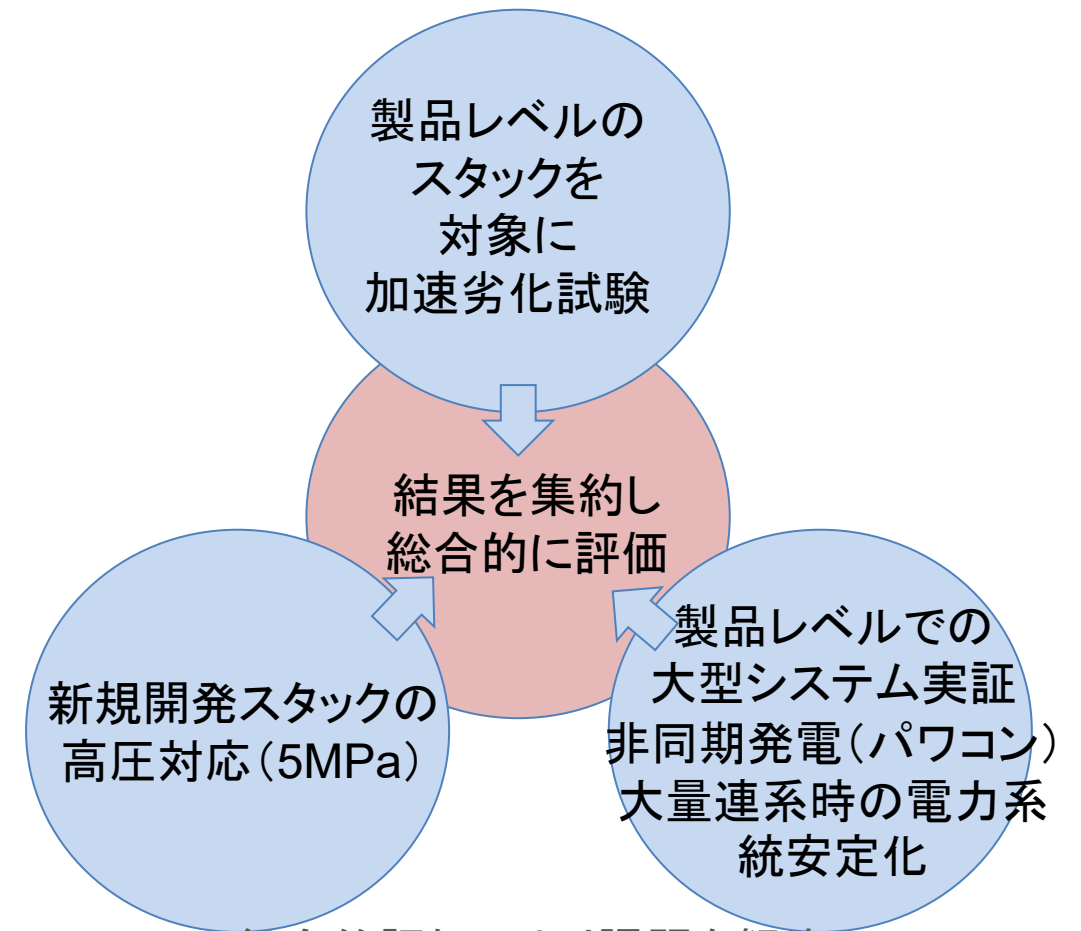
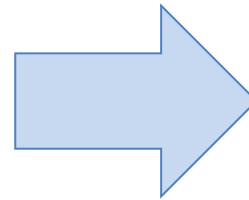
○海外展開のために海外の電力環境でのシステム評価試験の実施が必要

(国内で海外の電力条件を再現できれば効率的に開発や評価が可能)
(国内外の電力系統は、再エネ大量導入によってパワーコンディショナ等の非同期発電機が増えた結果、電力系統の安定供給に支障が生じている。水素利用の同期発電機とパワーコンディショナの協調運転による付加価値を検証可能)

上記の課題を解決するため、下記3項目を実施する。

- 1) 大型を再現できる最小単位のサイズ(500kW級)で再エネ現象を考慮した加速劣化試験
(水電解装置の前後のシステムとの組み合わせ試験も実施)
- 2) 海外の水電解装置と同程度の圧力条件での水電解現象を把握(50kW級で評価)
- 3) 海外の電力条件に合わせたMW級水電解装置のパッケージでの試験
(FREAの大型電力シミュレータを活用して、電圧、周波数、再エネ率が増加したオングリッド条件やオフグリッド条件での電圧変動、周波数変動、調整力としての水電解装置の系統サポート効果など、海外の電力条件を再現)

3つの評価手法により、低コストで効率よく性能評価を実施する



総合的評価により課題を解決

課題:

- ・加速劣化試験には特殊な電源が必要で、長時間の試験が必要(海外電力試験との両立が困難)
- ・国内での高圧試験用大型高圧スタックはコスト的に高く高圧かつ大型の試験は現時点では非効率
- ・海外電力の再現のためには、大型の系統模擬装置が必要であり新設は高コスト

新規開発スタック: PEMでは電極面積500cm²程度
製品レベルスタック: PEMでは電極面積2500cm²程度
水電解パッケージ: 製品化されたスタックとBOP を想定
(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電解システムのコンポーネント)

残された技術課題の解決の見通し

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

大型水電解装置の性能評価が可能な最小単位の500kWのPEMスタックの加速劣化試験、システム試験を可能な設備を構築し対応する。

技術課題 2：高圧条件下での評価

高圧下での水電解装置の評価は高圧ガスの規制を受けるため、MW級の水電解装置そのものの高圧環境での試験が難しい。このため、防爆建屋を具備し、中型（50kW級）の水電解装置を耐圧チャンバ内、または高換気条件下で試験することにより、海外製水電解装置と同等の圧力で電解を可能とし、高圧下での水電解現象の把握、中型スタックでの性能を評価し、1MPa以下と高圧（5 MPa）での水電解装置の電極と膜の性能の比較を行う。

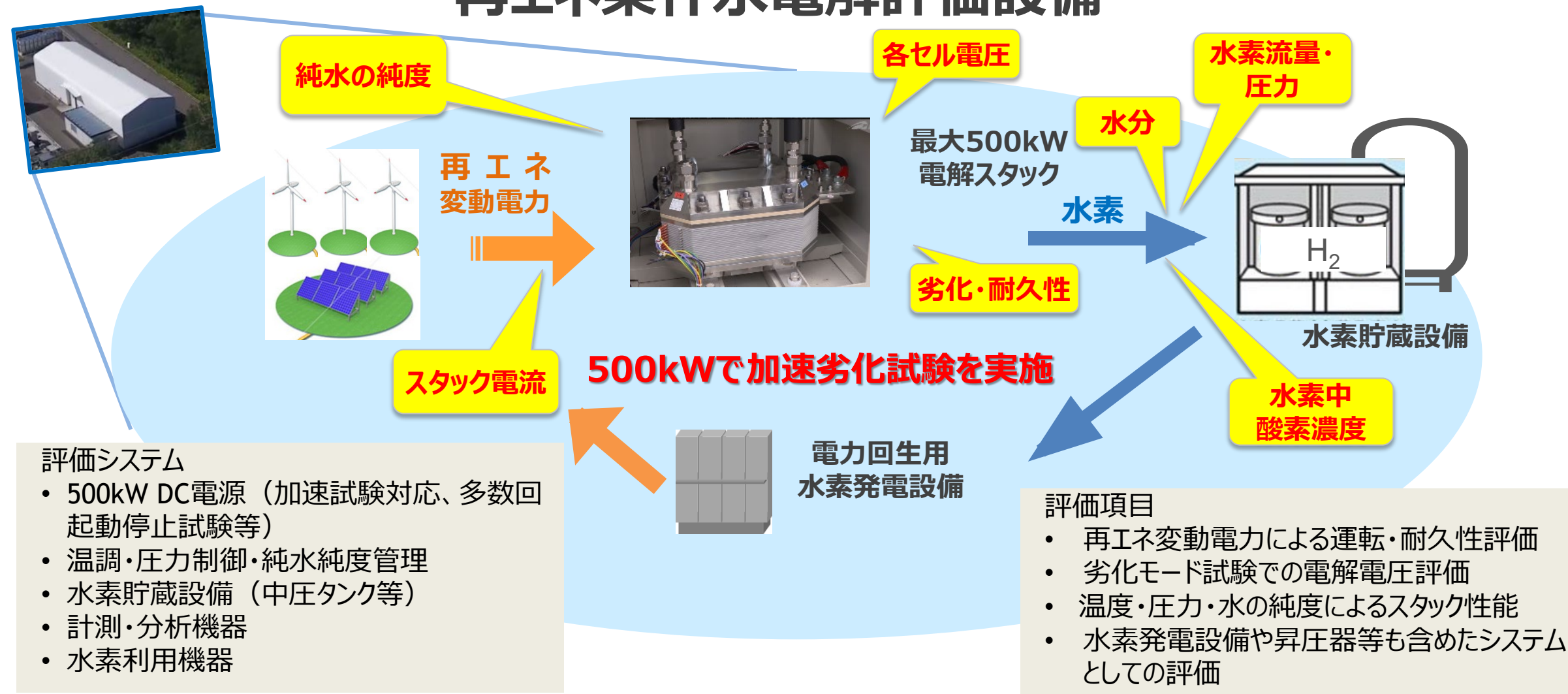
技術課題 3：海外電力条件での大型水電解装置のパッケージの評価

海外の電力状況を模擬できる系統シミュレータを使い、MW級の水電解装置のパッケージ（アルカリ、PEM：最大40フィートコンテナサイズ）の評価を実施。再エネ用パワーコンディショナが大量連系された電力系統における、水素利用発電機器の調整力供給による電力系統安定化の評価。

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

評価システムと項目のイメージ

再エネ条件水電解評価設備



技術課題2: 高圧条件下での評価

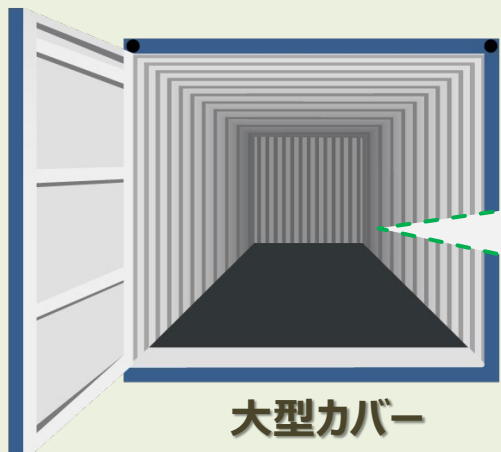
評価システムと項目のイメージ

高圧水電解評価設備

高圧ガス保安法遵守した設備



防爆建屋



大型カバー

緊急時の
安全確保

圧力制御



高圧水電解装置
(50kW級)

電解電圧・
電流

純水の純度

~5MPa

シール性

高圧セルスタック

水分

水素

水素中酸素濃度

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

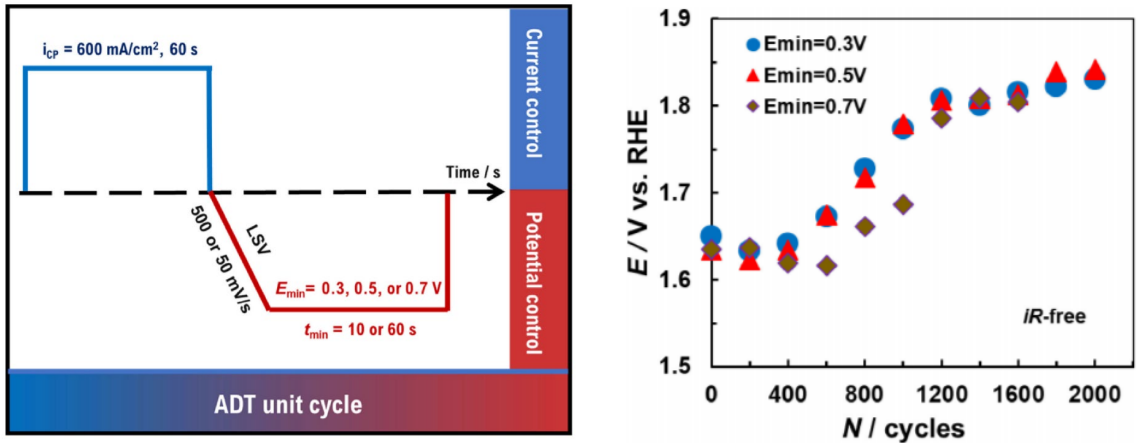
- ・ 高圧下水電解現象の把握
- ・ クロスオーバー量の評価
- ・ セルスタックの水素のシール性・リーク評価

大型水電解スタック・高圧水電解スタックの評価手法

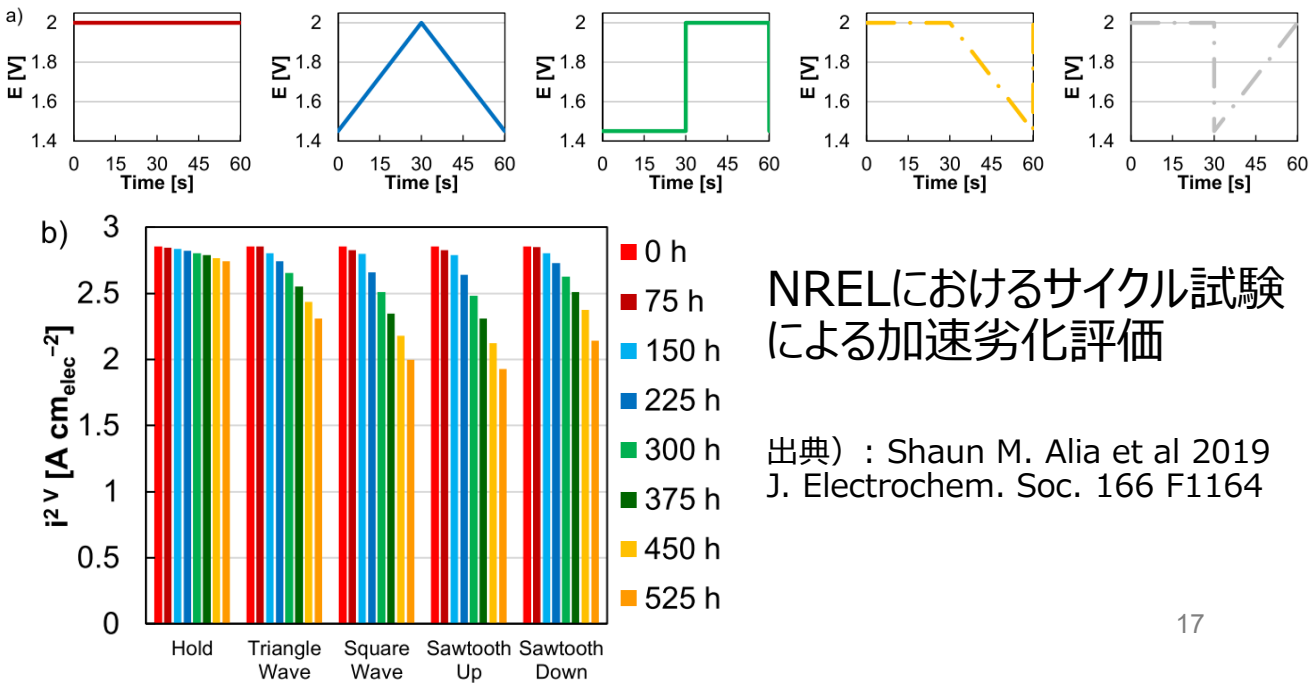
製品レベルスタックと新規開発スタックの性能評価および加速劣化評価

- 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

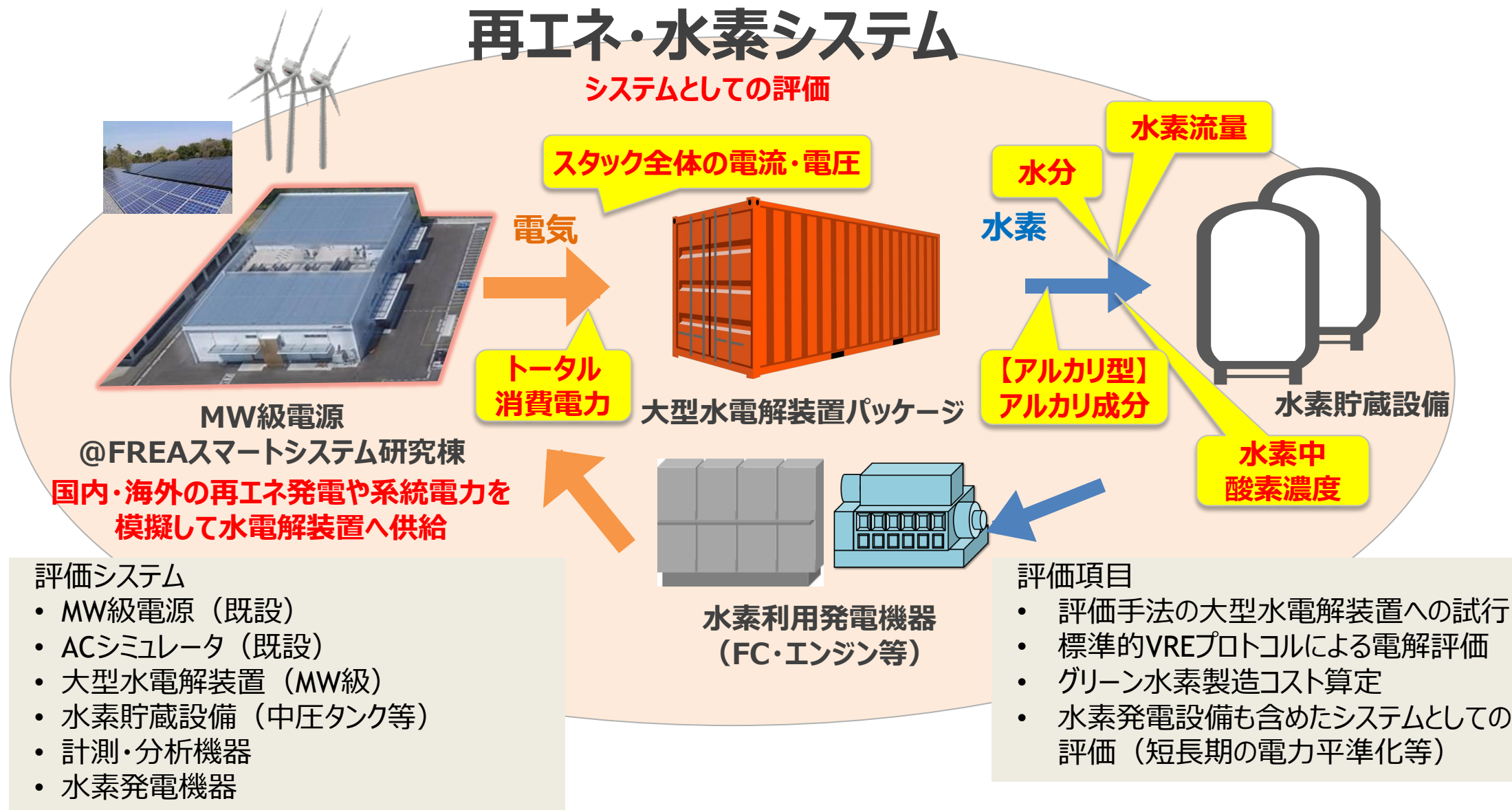


NRELにおけるサイクル試験による加速劣化評価

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

技術課題3: 海外の電力条件での大型水電解装置の評価

評価システムと項目のイメージ

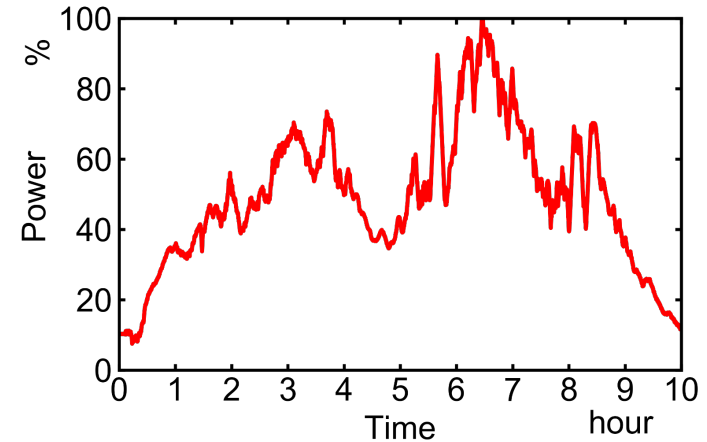


様々な電力条件における評価手法

国内外の様々な系統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の評価。

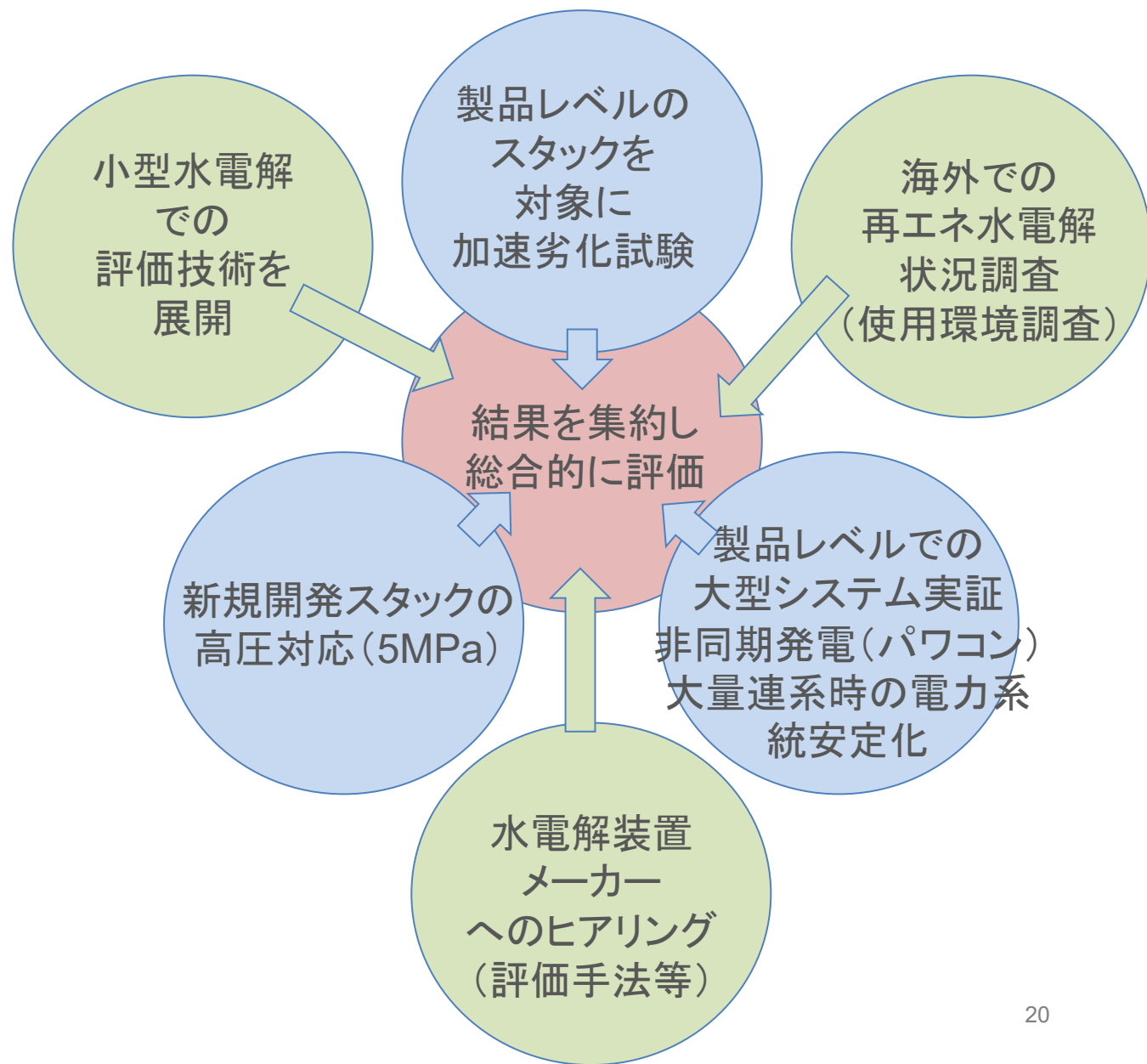
- ①製品スタックとBOPを含む大型水電解装置パッケージの性能を評価する。
- ②水電解装置パッケージとしての水素製造効率を評価する。
- ③再エネの変動吸収や電力系統の調整力としての利用など、用途に応じた試験パターンを用いて適用可能性を評価する。
- ④低負荷試験におけるガスの純度を計測し安全性を評価する。

再エネ変動電力パターン例

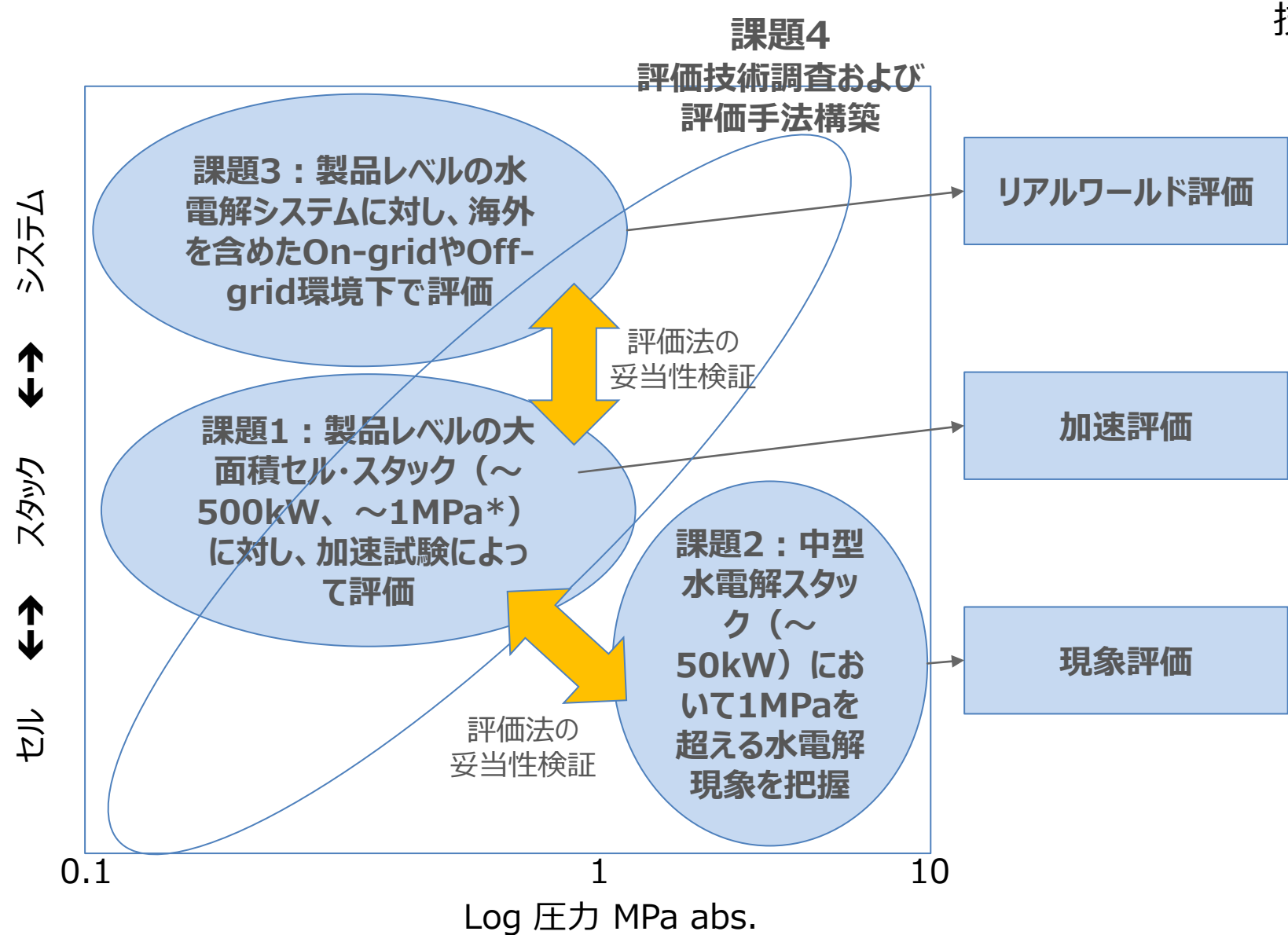


技術課題4：評価技術調査および評価手法構築

- ・ 3つの評価手法により、国内で評価可能な統一的な手法を確立
- ・ これまで小型のセル、スタックで実施されてきた加速劣化試験等をベースに、大型の水電解装置へ展開する
- ・ 水電解装置メーカーへのヒアリングにより、希望する評価項目を調査
- ・ 海外での再エネ水電解の使用環境および導入状況を調査
- ・ 国際標準化については、HySUTと連携し、ISO TC-192 の国内委員会に情報提供（将来的には世界をリード）

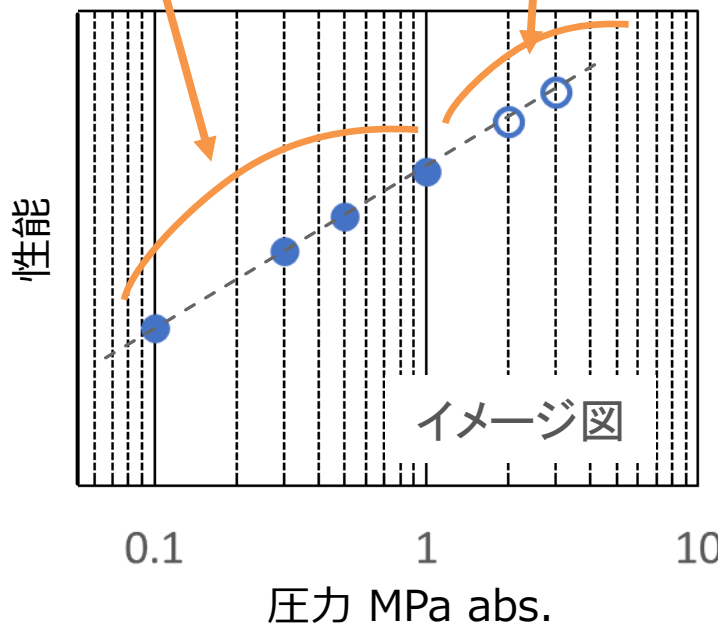


評価手法を集約し、総合的な評価手法を構築



技術課題1の水電解スタックを評価

技術課題2の1MPaを超える水電解現象を把握



*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

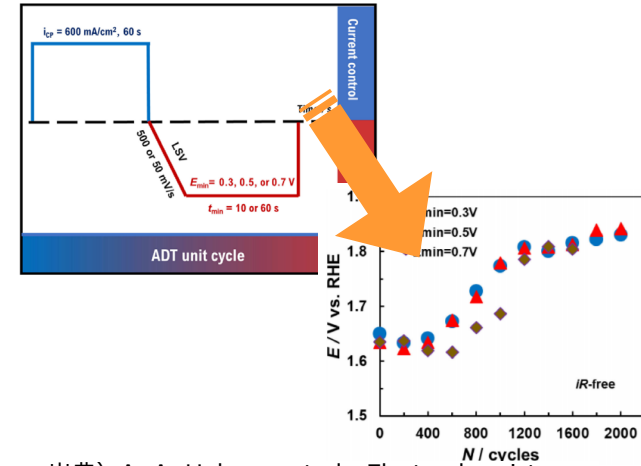
国際標準化へのアプローチ

・ISO/TC197/WG32で、すでに本提案に関連のある ISO/AWI TR 22734-2*が提案されており、大型水電解装置の再エネの調整力としての性能評価について国際標準化の動きがある。技術課題3の海外の電力条件での大型水電解装置の評価においては、本テクニカルレポートでの評価項目への対応も視野に設備設計・構築を進める。

・委員会メンバーとして水素の国際標準ISO/TC197の国内取りまとめであるHySUTに参加いただき国際標準化の状況を把握。標準化を通じて世界情勢を分析した上で必要な開発要素を抽出し、その開発を民間企業に促しつつ、適切なものさしでの評価により世界標準との距離を伝える役割を果たす。

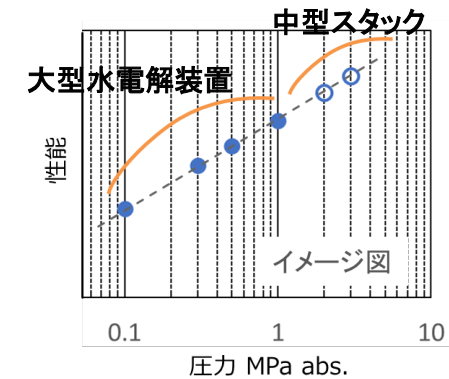
・長期的には実績を積み、技術課題1での提案プロトコルによる大型水電解装置の耐久性試験手法や、技術課題2での中規模スタックを利用した高圧環境下での電解効率や耐久性の評価手法など、プロジェクトの成果を適宜標準化に反映していく。

*) ISO/AWI TR 22734- 2 Hydrogen generators using waterelectrolysis – Part 2: Testing guidance for performing electricity service“ (AWI=Approved new Work Item, TR=Technical Report)



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

NEDO水素先導PJにおける
起動・停止模擬サイクル試験の
大型水電解装置への応用



大型水電解装置の中型スタック
による高圧下挙動の予測手法

産総研での関連技術の国際標準化の実績と応用

- 太陽光発電用の大型パワーコンディショナ（パワコン）に係る国際標準化と海外認証基盤の構築を推進。年間30～40件程度の共同研究・海外認証試験を実施。
- 太陽光パワコンの新しい効率測定法（IEC 63156）を2021年にIEC TC82より発行。
- 将来の新しい電源インフラとなる分散型電源に係わる電力品質要件、保護要件、新機能に関する試験方式の国際標準化（IEC 62786シリーズ）を実施中。IEC 62786-2（太陽光発電）を2020年に新規提案し、IEC TC8において審議中。
- 国際エネルギー機関（IEA）国際スマートグリッド行動ネットワーク（ISGAN）の米欧3機関と共に、蓄電池システムの試験用プロトコルの標準仕様を公開。

表. 大型パワーコンディショナの海外認証試験の国別実績

試験室	試験項目	IEC/欧州	ドイツ	米国/カナダ	中国	タイ	インド	日本
系統連系試験室	単独運転防止	IEC62116	FGW Part3	UL1741		PEA 4.9	IEC62116	系統連系規程 JEAC9701(2016)
	系統連系	IEC61727 61400-21	VDE 0126-1-1 VDE4061	UL1741→IEEE1547.1	GB/T19964 NB/T32004	PEA 4.4、4.5 4.7、4.8、4.10	CEA	系統連系規程 JEAC9701(2016)
	FRT (LVRT)	IEC62910	FGW	UL1741SA		PEA 4.6	CEA	系統連系規程 JEAC9701(2016)
	高調波 直流成分	IEC61000-4-13	VDE AR-N4105	UL1741→IEEE1547.1	GB/T14549 GB/T15543	PEA 4.1、4.2、 4.3	IEEE-519	系統連系規程 JEAC9701(2016)
	効率	IEC61683	DIN EN 61683	カリフォルニア州規格(CEC)			IEC61683	JISC8961
	MPPT	EN50530	EN50530	カリフォルニア州規格(CEC)	EN50530 & China efficiency			
電波暗室	EMI : Emission (放射、伝導)	IEC 61000-3 IEC62920	VDE 0838	IEEE C62.90.2 IEEEEC37.90.2	GB/T 17625		IEC61000-6-2	CISPR11
	EMS : Immunity	IEC 61000-4 EN61000-4	VDE 0847-4	UL1741→IEEE1547→IEEEC62.41.2 IEEEEC37.90.1 (surge voltage)	GB/T 17626		IEC61000-6-4	JIS C 61000-4
環境試験室	低温、高温 温度変化	IEC60068-2	VDE 0468-2	IEC60068	GB/T2423.1		IEC60068-2	JIS C 60068-2
	温湿度組合せ試験	IEC60068-2-38					IEC60068-2-38	JIS C 60068-2-38

試験実績あり

写真. 太陽光・蓄電池用パワーコンディショナの海外認証試験等の実施場所(スマートシステム研究棟 系統連系試験L室)



事業開始からの進捗状況

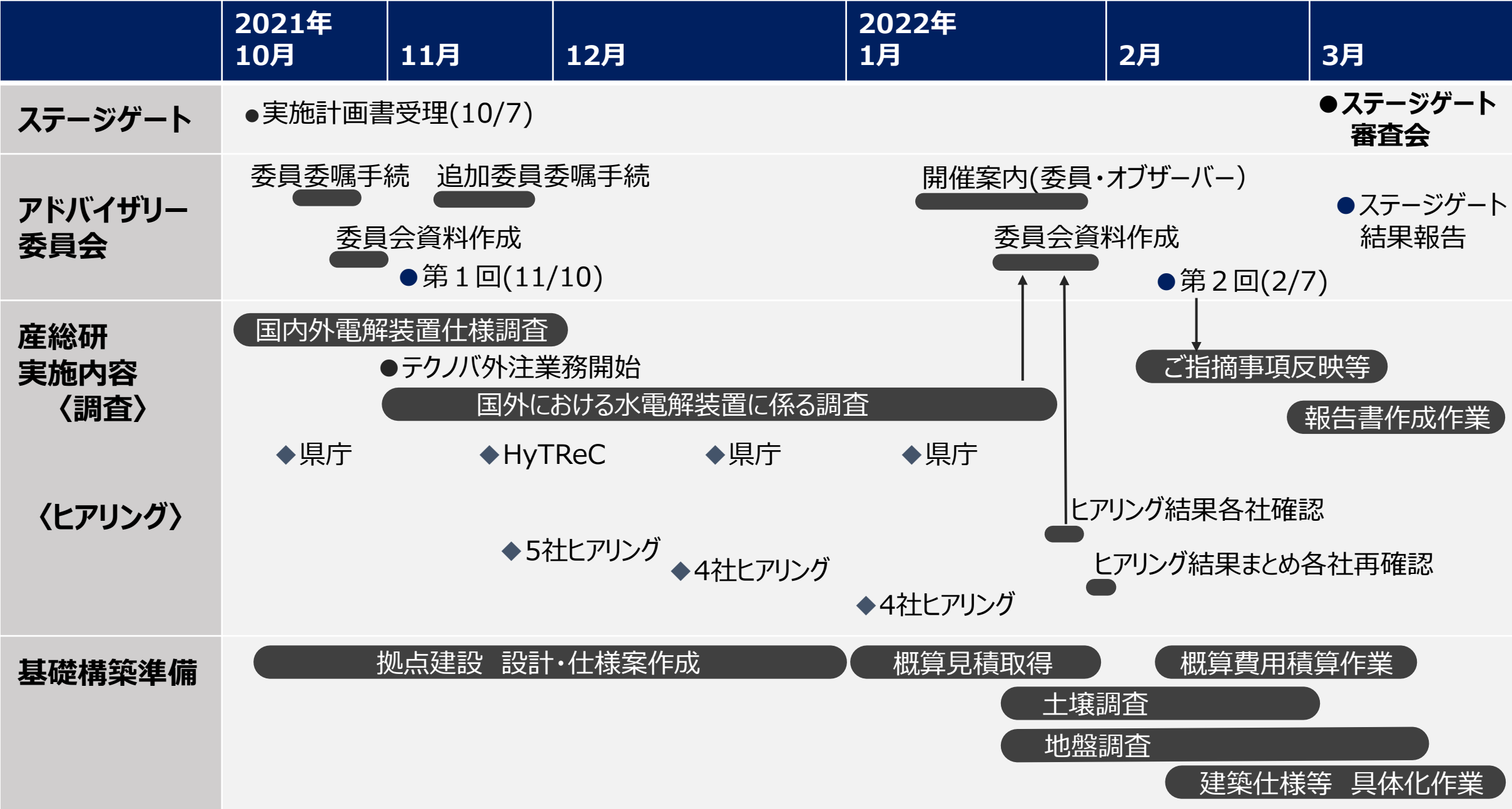
2021年度 実施計画・目標および達成度

研究開発内容	実施計画・目標	実施事項	達成度
(技術課題 1) 大型水電解スタック評価 設備の構築	・設備構築に向けメーカー調査：2社以上 ・ユーザーニーズ調査 ・500kW級の水電解スタック開発に必要な設備の基本仕様決定	・ヒヤリング実施： メーカー8社、ユーザー7社 ・水電解評価設備の基本仕様決定 ・研究設備の概念設計	○
(技術課題 2) 高圧水電解スタック評価 設備の構築	・設備構築に向けメーカー調査：2社以上 ・ユーザーニーズ調査 ・50kW級の水電解スタック開発に必要な設備の基本仕様決定 ・設備の基本仕様について、所轄官庁に確認し、方向性決定	・ヒヤリング実施： メーカー8社、ユーザー7社 ・福島県庁 ・水電解評価設備の基本仕様決定 ・研究設備の概念設計	○
(技術課題 3) 国内外の電力条件での 大型水電解装置のパッ ケージのための評価拠点 構築	・設備構築に向けメーカー調査：3社以上 ・ユーザーニーズ調査 ・水電解装置のパッケージ評価に必要な設備の基本仕様決定	・ヒヤリング実施： メーカー8社、ユーザー7社 ・水電解評価設備の基本仕様決定 ・研究設備の概念設計	○
(技術課題 4) 大型水電解装置の二 次評価	・基本設計のため評価項目の調査：4社以上 ・海外の再エネ水電解の使用環境・導入状況調査：5例以上 ・評価として求められる負荷、応答速度を明らかにする	・ヒヤリング実施： メーカー8社、ユーザー7社 ・欧州・豪州の需給調整市場等調査	○
アドバイザー委員会	・委員会設置・開催：2回以上 ・評価項目・手法に関する専門家の意見を得る	・2回以上開催 (2021/11/10, 2022/2/7)	○

設備仕様として決定する項目

（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
<u>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</u> • 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	<u>高圧スタック評価設備の仕様を決定する ための項目</u> • 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	<u>パッケージ評価設備の仕様を決定する ための項目</u> • 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 • 排出水流量 • 冷却用水量（冷却kW数） • 回生設備の水素消費
<u>スタック評価にはどのような計測項目が 必要か</u> • 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 ※ヒヤリング結果をもとに追加 • セル抵抗 • インピーダンス測定	<u>高圧スタック評価にはどのような計測項目が 必要か</u> • 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 ※ヒヤリング結果をもとに追加 • セル抵抗 • インピーダンス測定	<u>パッケージ評価にはどのような計測項目が 必要か</u> • 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

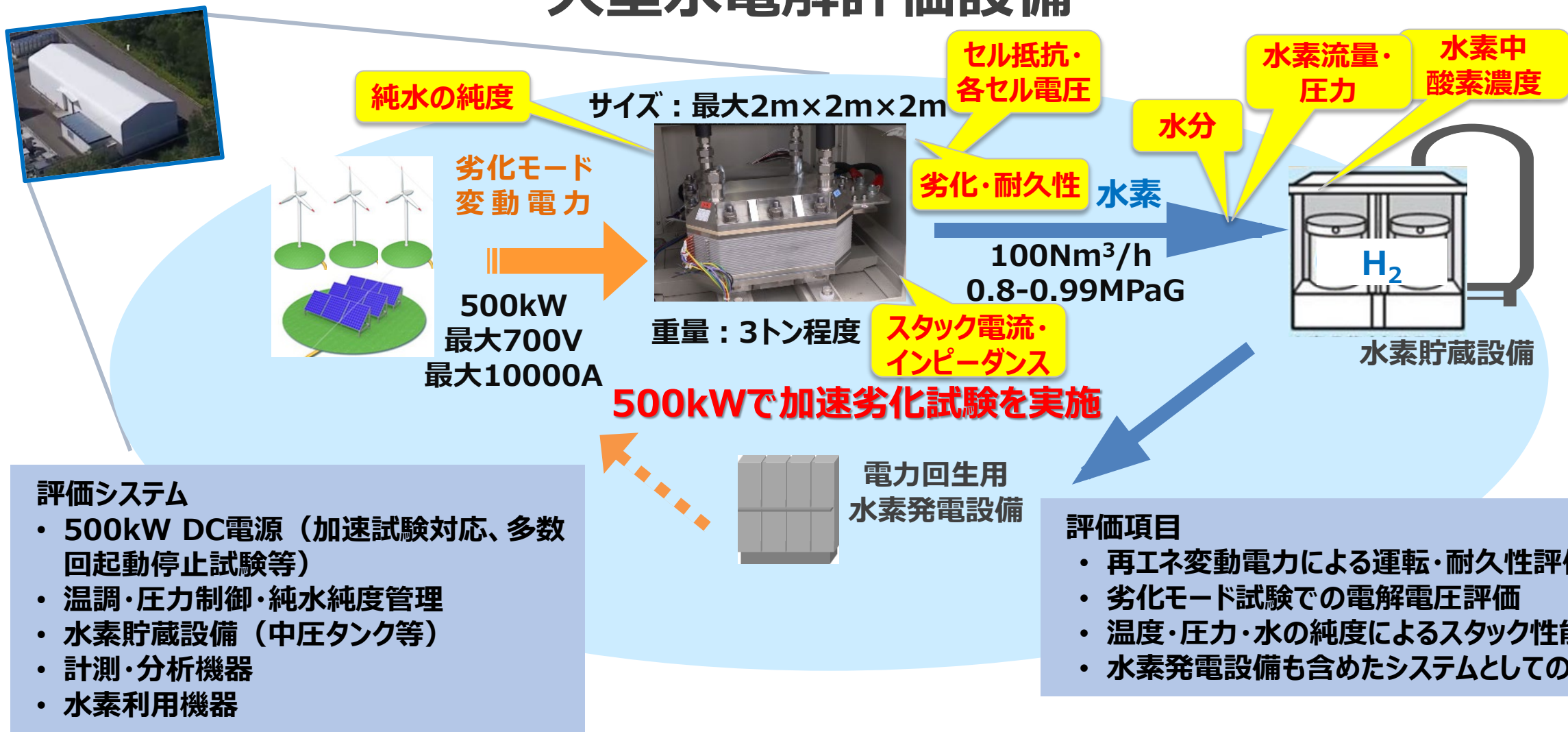
2021年度 実施スケジュール



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

調査結果より決定した評価システムのスペック概要

大型水電解評価設備



技術課題 2 : 高圧条件下での評価

調査結果より決定した評価システムのスペック概要

高圧水電解評価設備



防爆建屋

高圧ガス保安法を
遵守した設備

W×D×H=2.3×5.5×2 m



飛散防止カバー

純水純度

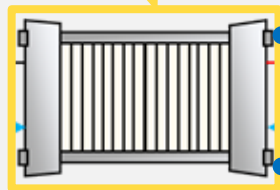
スタック電流
各セル電圧

セル抵抗・
インピーダンス

リーク
水素



高圧水電解装置
50kW
最大75V、最大5000A



高圧セルスタック
300kg
縦・横置き

圧力

流量

露点

水素中
酸素濃度

水素

~5MPaG

酸素

0~5MPaG

10Nm³/h

大気開放

大気開放

酸素中
水素濃度

評価システム

- ・ 高圧ガス対応試験環境設備
- ・ 計測・分析機器

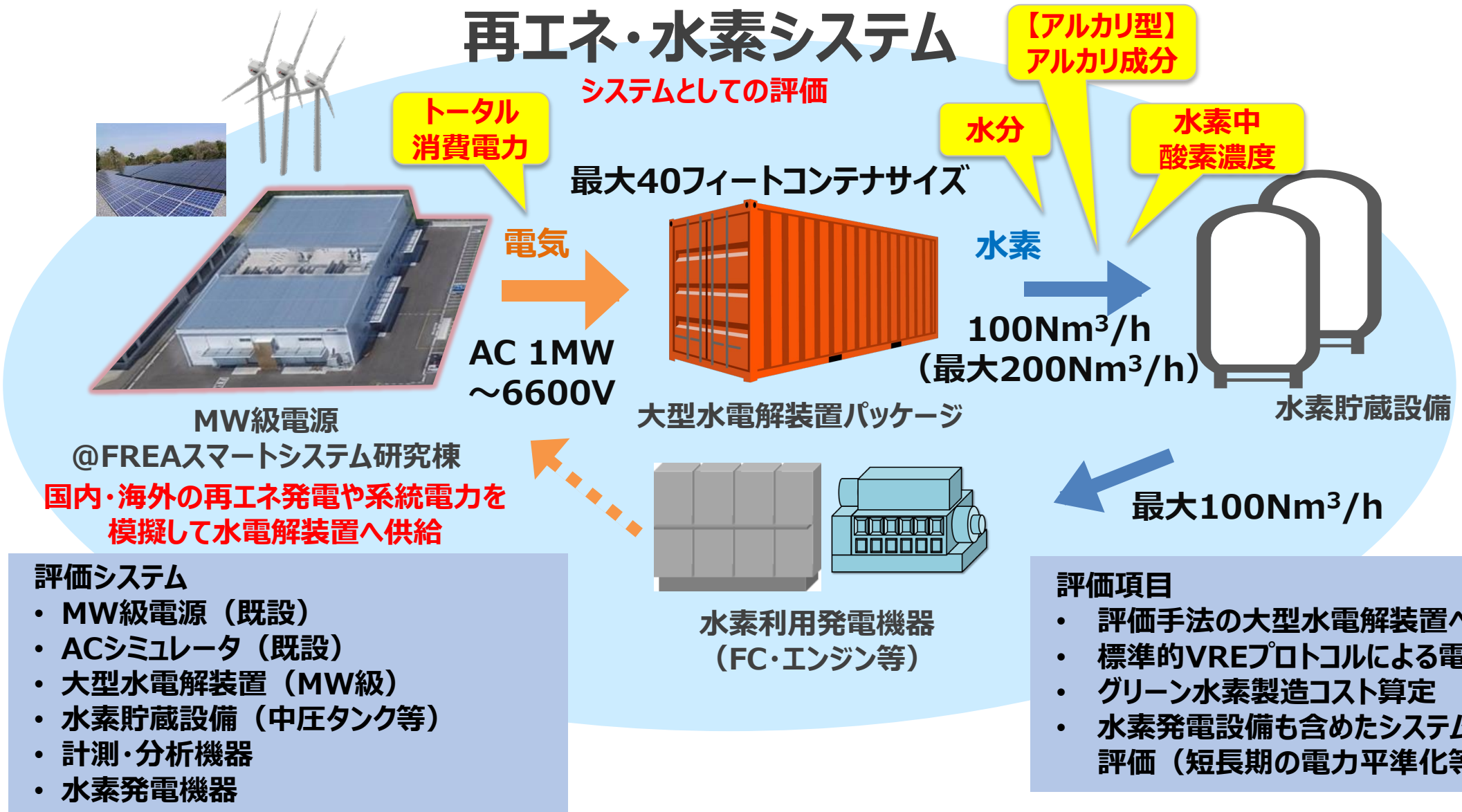
海外の水電解装置と同じ
高圧条件で評価を実施

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

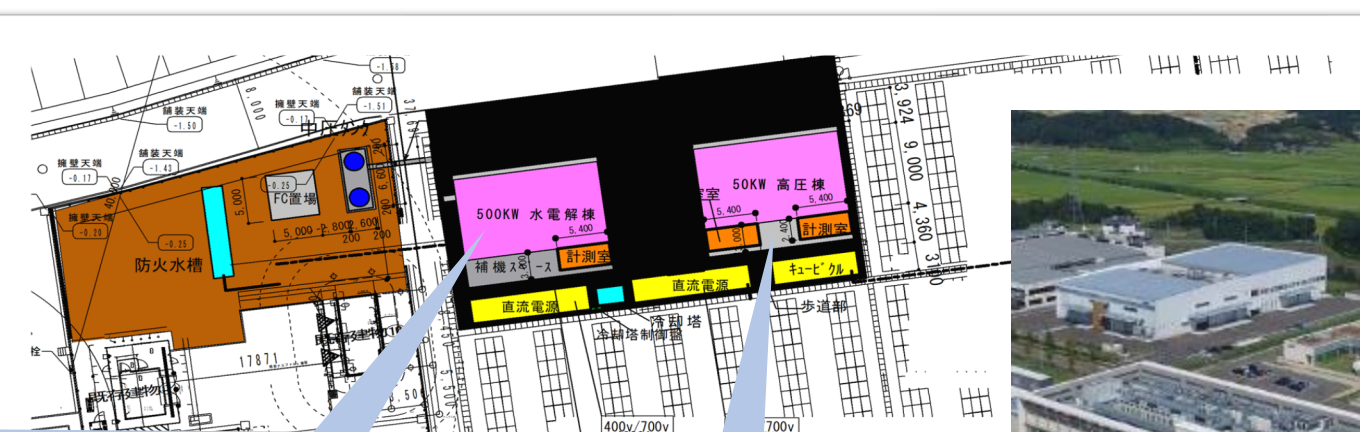
技術課題 3 : 海外の電力条件での大型水電解装置の評価

調査結果より決定した評価システムのスペック概要



FREA内 配置案

技術課題 1・2・3



技術課題 1
大型水電解装置

技術課題 2
高圧水電解装置



技術課題 3
海外の電力条件での大型水電解装置



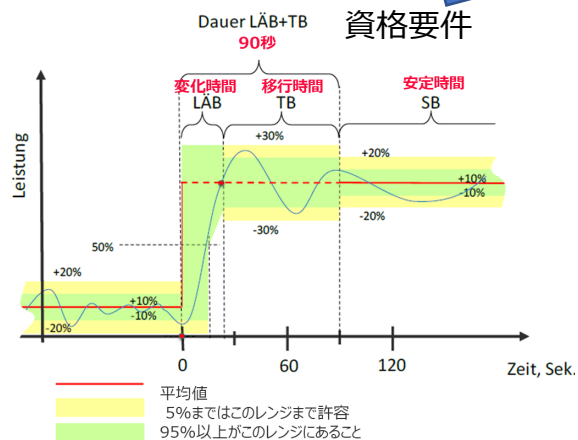
技術課題 4 : 評価技術調査および評価手法構築

海外調査例 : ドイツにおけるグリッドバランシング市場参加要件

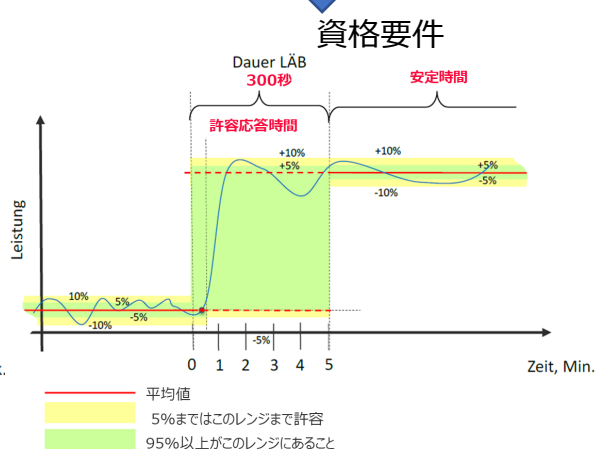
ドイツのグリッドバランシング市場

	FCR市場	aFRR市場	mFRR市場
応動時間	30秒以内	5分以内	15分以内
発動	自動的に発動	自動的に発動	手動で発動
入札	1日4時間×6ブロック、前日		
価格決定	ペイ・アズ・クリアリング方式 (pay-as-cleared) →全落札者は同じ€/MW 価格で支払いを受ける	ペイ・アズ・ビッド方式 (pay-as-bid) →落札者は入札提示価格 に基づいて€/MW価格 の支払いを受ける	ペイ・アズ・ビッド方式 (pay-as-bid) →落札者は入札提示価格 に基づいて€/MW価格 の支払いを受ける
最小入札 サイズ	1MW (上げと下げの両方 をに対応必要)	1MW (上げ、下げの片 方でもよい)	1MW (上げ、下げの片 方でもよい)

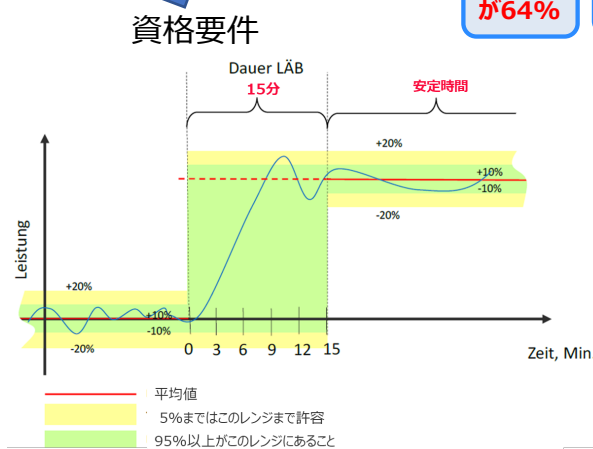
FCR市場 資格要件



aFRR市場 資格要件

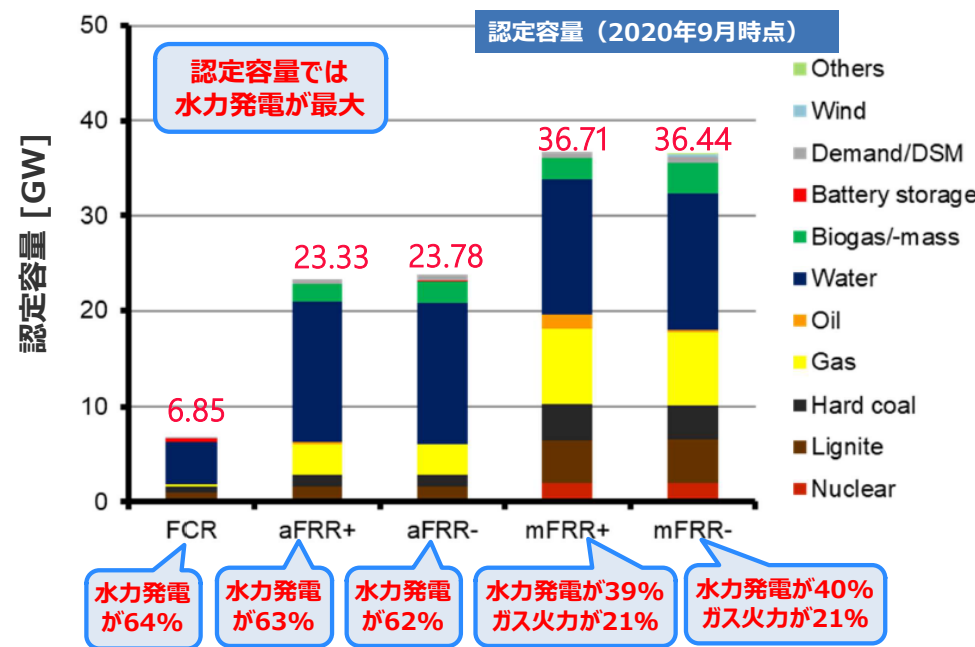


mFRR市場 資格要件



ドイツのグリッドバランシング認定容量 (種類別)

水力発電とガス火力が主流



出典) REGELLEISTUNG.NETウェブサイトより作成
<https://www.regelleistung.net/>

出典) 「Präqualifikationsverfahren für Regelreserveanbieter (FCR, aFRR, mFRR) in Deutschland ("PQ-Bedingungen")」
コントロールリザーブプロバイダーの事前資格審査手順
(2020年5月29日) P32,p33,p34
https://www.regelleistung.net/ext/download/PQ_Bedingungen_FCR_aFRR_mFRR

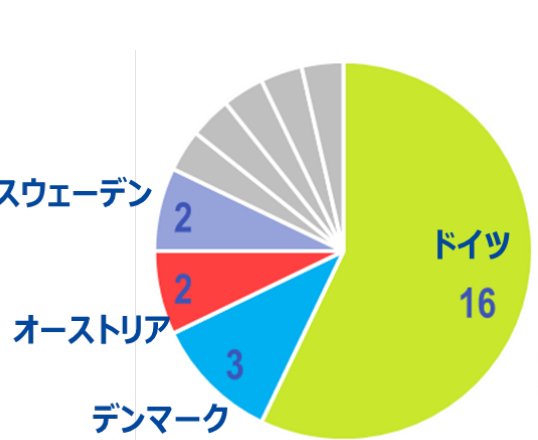
技術課題 4 : 評価技術調査および評価手法構築

海外調査例 : 水電解でバランシングを実施している欧州PtG実証 (28プロジェクト)

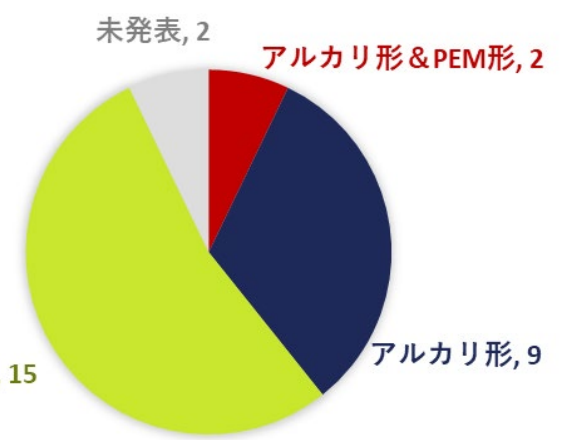
- 水電解を用いた系統連系プロジェクトの総容量は85MWで、大部分はドイツ (16プロジェクト)
- ほぼすべてが技術確認とビジネスモデル構築で、FCH JUなどの公的資金が投入されている
- グリッドバランシングを目的に掲げる実証も、可能性を示すのみ

欧州の水電解によるグリッドバランシングプロジェクト

< 実施国別 >



< 水電解技術別 >



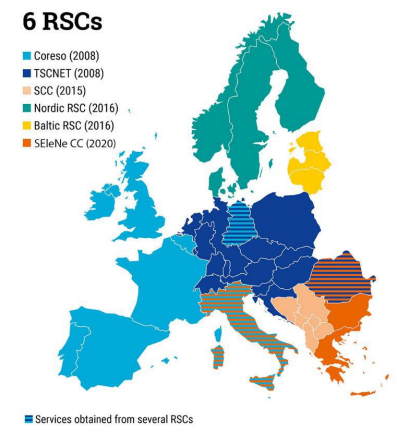
グリッドバランシングのモデルプロジェクトの例

プロジェクト	国	種類	水電解メーカー	容量 [MW]
Ovako	SE	AEL	NEL、他	17
REFHYNE	DE	PEM	ITM	10
Green Hydrogen Mallorca IPCEI	ES	—	Hydrogenics	10
Audi e-gas	DE	AEL	ETOGAS	6
H2Future	AT	PEM	Siemens	6
WUN H2	DE	PEM	Siemens Energy	6
H&R oelwerke	DE	PEM	Siemens	5
Demo4Grid	AT	AEL	IHT (sunfire)	4
Energiepark Mainz	DE	PEM	Siemens	3.75
Wind2Gas / NEW 4.0	DE	PEM	Hydrogenics	2.4
Carbon2Chem	DE	AEL	ThyssenKrupp	2
H2RES	DK	AEL	Green Hydrogen	2
Grüner Wasserstoff für Bremerhaven	DE	AEL + PEM	-	2
H2 Einspeisung Hassfurt	DE	PEM	Siemens	1.25
INGRID	IT	AEL	Hydrogenics	1.2
HyBalance	DK	PEM	Hydrogenics	1.2
BioCat	DK	AEL	Hydrogenics	1
Windgas Haurup (NEW 4.0)	DE	PEM	H-TEC Systems	1
MethFuel (MethQuest)	DE	PEM	elogen	1
Hybridkraftwerk Prenzlau	DE	AEL	McPhy	0.5
EMEC- Hydrogen for Tidal Energy Storage	UK	PEM	ITM	0.5
Hybridwerk Solothurn Aarmatt	CH	PEM	ProtonOnsite	0.35
BioPower2Gas	DE	PEM	ProtonOnsite	0.3
DonQuichote	BE	AEL + PEM	Hydrogenics	0.3
H2E	SE	AEL	GreenHydrogen	0.277
RWE Ibbenbueren	DE	PEM	ITM	0.15
SMART GRID SOLAR	DE	PEM	Areva H2Gen	0.075
Hypos LocalHY	DE	AEL	Kumatec	0.075

技術課題 4 : 評価技術調査および評価手法構築

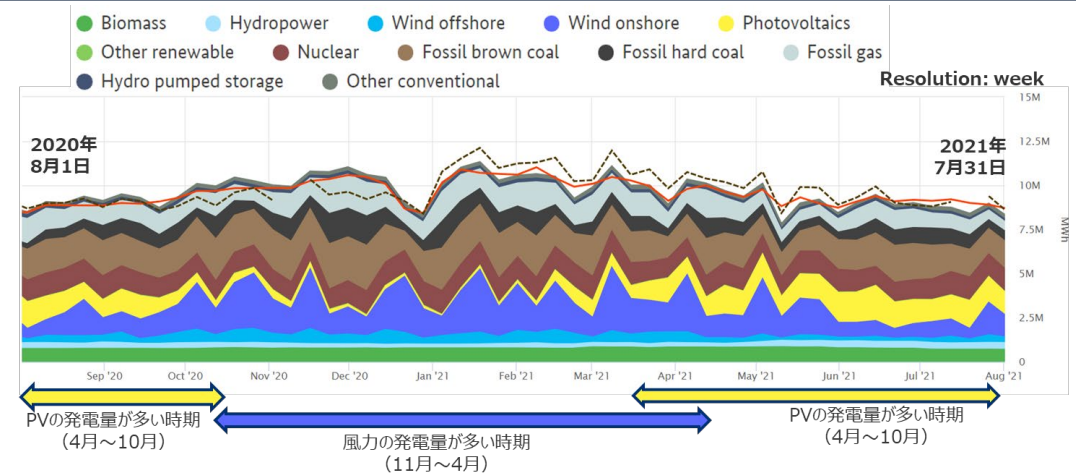
海外調査例 : 欧州・豪州の再エネの状況

ドイツの系統



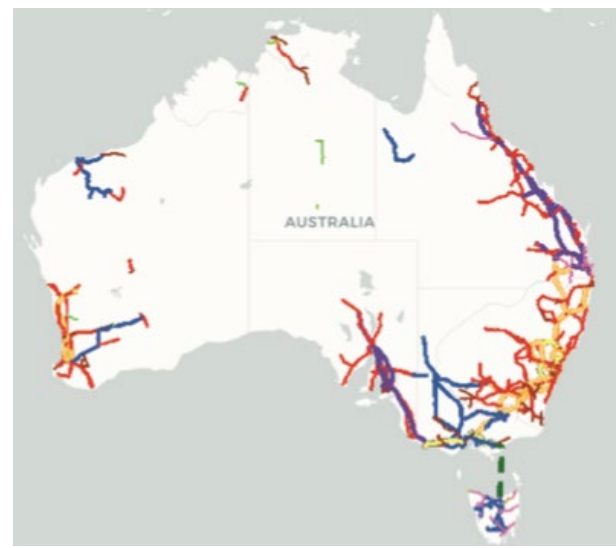
出典) ENTSO-E webサイト
<https://www.entsoe.eu/regions/>

ドイツの発電 (年間)



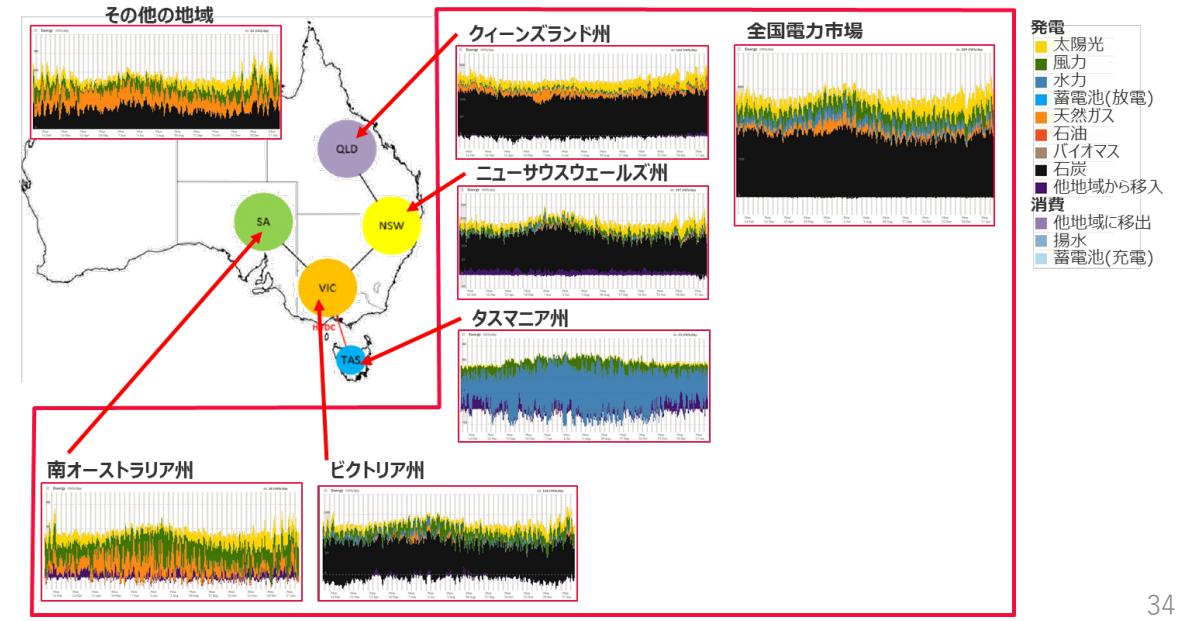
出典) Bundesnetzagentur「SMARD」webサイト (2020年8月1日~2021年7月31日) より作成
<https://www.smard.de/home>

豪州の系統



出典) Australian Renewable Energy Agency (ARENA)
[NationalMap](https://www.arena.gov.au/national-map/)にて作成

豪州の発電 (年間)



出典) OpenNEM (2021年2月5日~2022年2月4日) より作成 <https://opennem.org.au/energy/au/>

国際標準化へのアプローチ

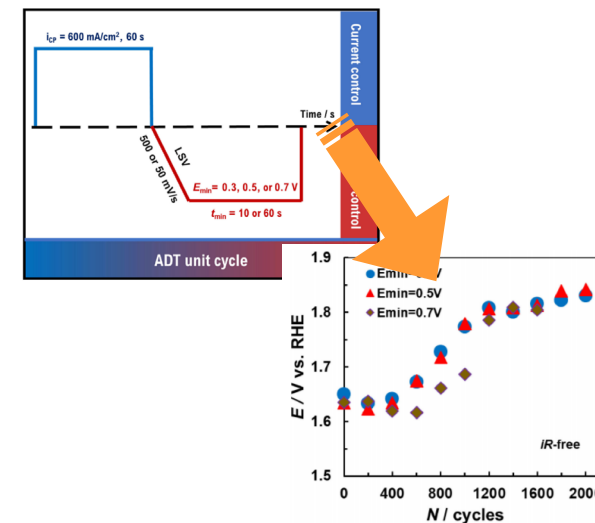
・本提案に関連してISO/TC197/WG32でISO/AWI TR 22734-2*¹が提案、ISO/TC197/WG34でISO/AWI 22734-1*²の改訂が議論されており、大型水電解装置の再エネの調整力としての性能評価について国際標準化の動きがある。技術課題3の海外の電力条件での大型水電解装置の評価においては、本規格やテクニカルレポートでの評価項目への対応も視野に設備設計・構築を進める。

・委員会メンバーとして水素の国際標準ISO/TC197の国内取りまとめであるHySUTに参加いただき国際標準化の状況を把握。標準化を通じて世界情勢を分析した上で必要な開発要素を抽出し、その開発を民間企業に促しつつ、適切なものさしでの評価により世界標準との距離を伝える役割を果たす。

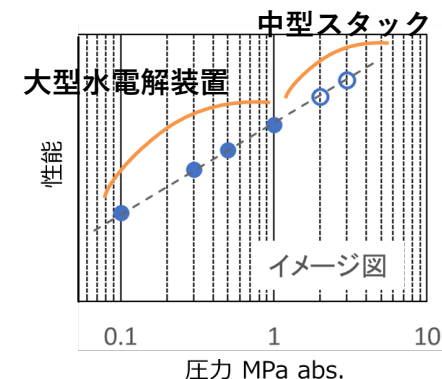
・長期的には実績を積み、技術課題1での提案プロトコルによる大型水電解装置の耐久性試験手法や、技術課題2での中規模スタックを利用した高圧環境下での電解効率や耐久性の評価手法など、プロジェクトの成果を適宜標準化に反映していく。

*1) ISO/AWI TR 22734- 2 Hydrogen generators using waterelectrolysis – Part 2: Testing guidance for performing electricity service” (AWI=Approved new Work Item, TR=Technical Report)

*2) ISO/AWI 22734-1 Hydrogen generators using water electrolysis — Industrial, commercial, and residential applications — Part 1: General requirements, test protocols and safety requirements



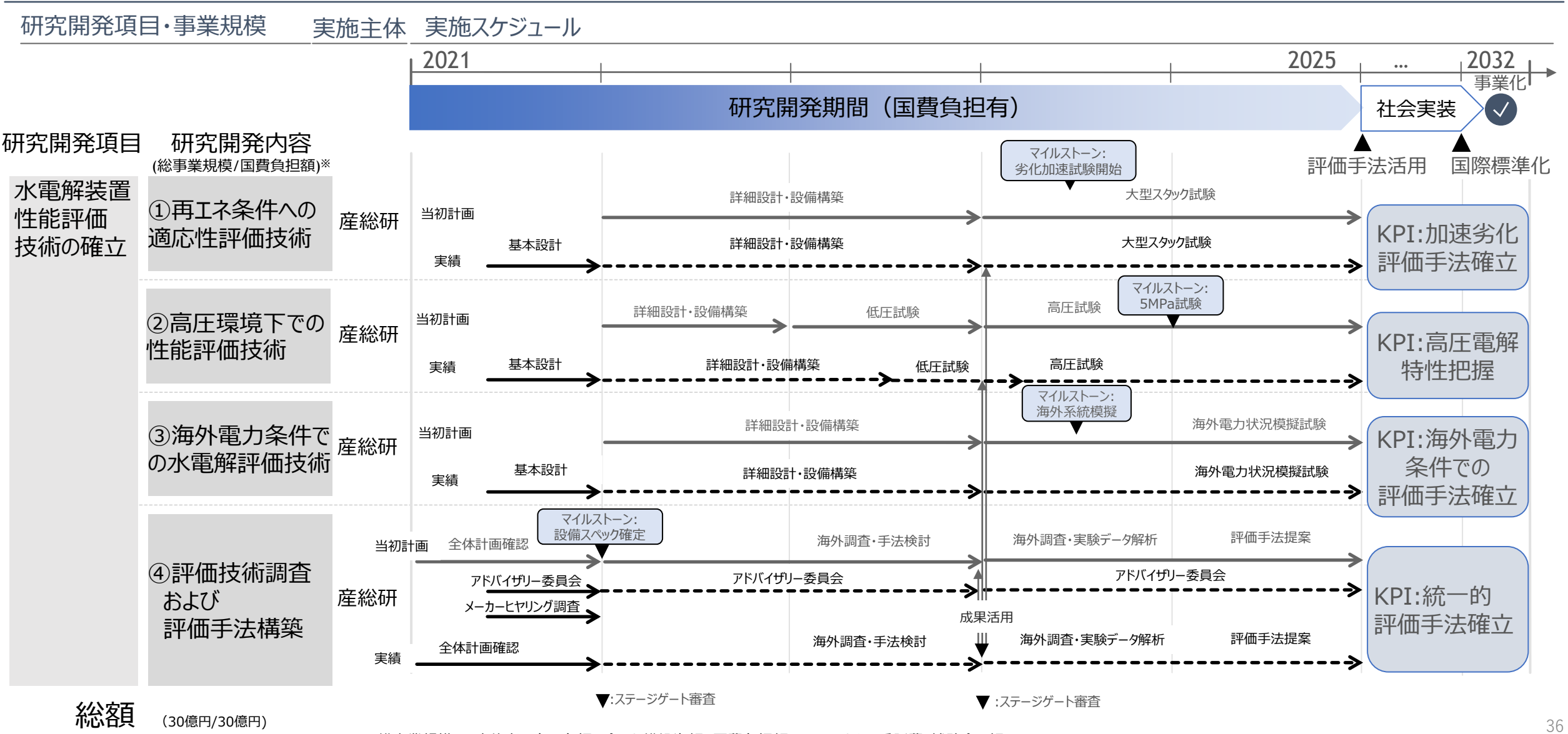
NEDO水素先導PJにおける
起動・停止模擬サイクル試験の
大型水電解装置への応用



大型水電解装置の中型スタック
による高圧下挙動の予測手法

2. 研究開発計画／（3）実施スケジュール

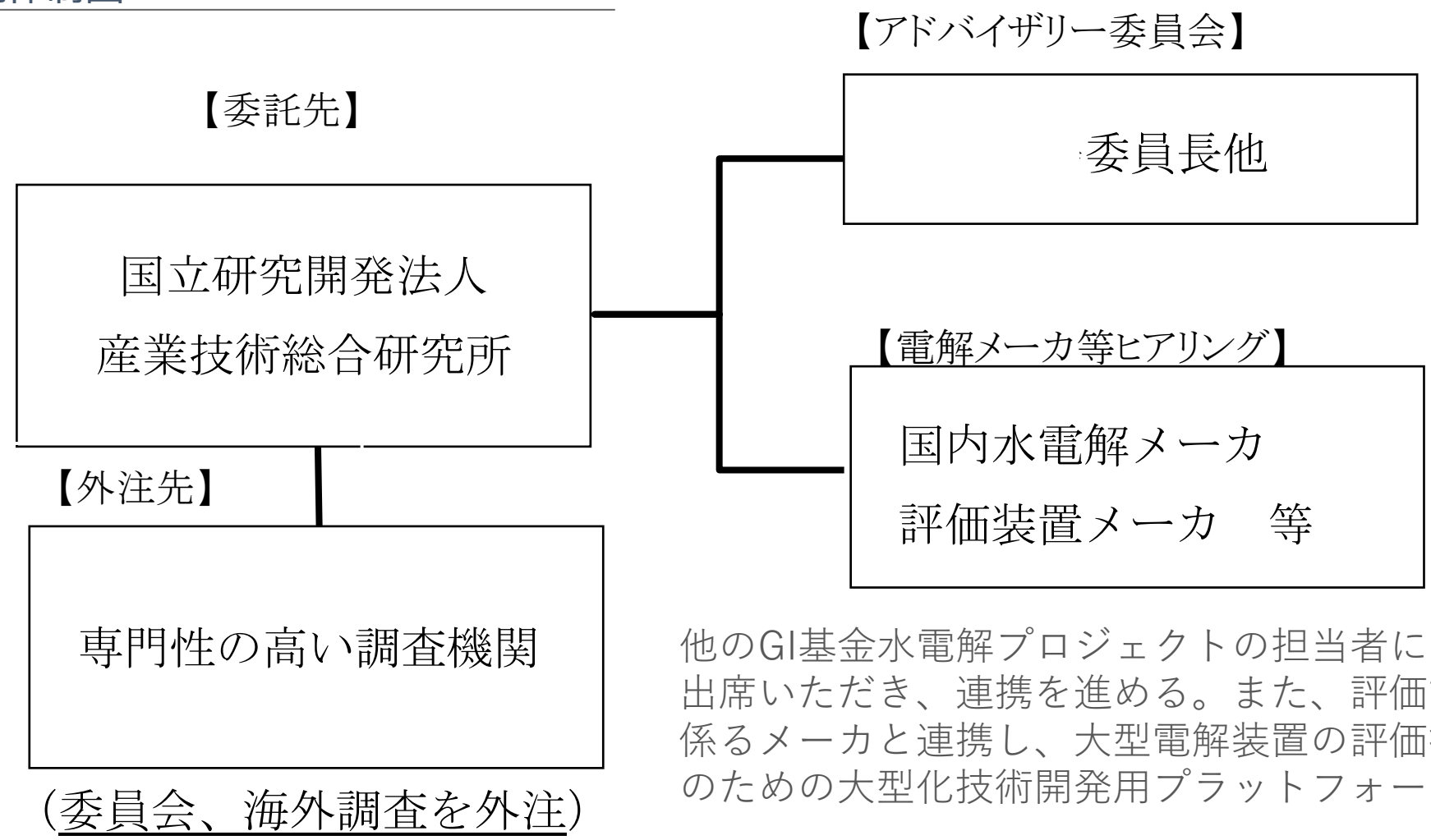
複数の研究開発を効率的に連携させるためのスケジュールを計画



2. 研究開発計画／（4）研究開発体制

各主体の特長を生かせる研究開発実施体制と役割分担を構築

実施体制図



他のGI基金水電解プロジェクトの担当者にはアドバイザーボードに出席いただき、連携を進める。また、評価設備構築後には水電解に係るメーカーと連携し、大型電解装置の評価技術を構築、国内メーカーのための大型化技術開発用プラットフォームとして活用

総事業費：30億円/国費負担額：30億円

2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
水電解装置性能評価技術の確立	1 再エネ条件への適応性評価技術	- 変動の大きな再エネと水電解装置の組み合わせ技術実績 - PEM、アルカリ両方の水電解装置の評価実績	- 再エネと水電解装置のオフグリッド電解など、変動再エネ環境下での数十から100kW級の評価経験あり - 電気化学的評価は、関西センター、つくばと連携し対応 - 中型での評価の大型への適用性にリスクがある。
	2 高圧環境下での性能評価技術	- 熱化学的高圧水素製造に関する研究開発実績 - 再エネによる水電解装置評価実績	- 実規模の高圧水素ハンドリング技術と実機での水電解評価の両方の実績 - リスク：規制適応に時間が必要
	3 海外電力条件での水電解評価技術	- MW級インバーターの海外電力環境下での評価実績 - 大型電力変換機器の系統への影響評価技術 - 再エネから水素製造、利用までの一連でのシステム評価技術とシステムシミュレーション技術	- MW級で海外の電力条件を再現できる設備は国内に他にはない - リスク：水電解装置のサイズに限界
	4 評価技術調査および評価手法構築	- 小型水電解装置の評価技術 - 再生可能エネルギーの実規模模擬設備 - インバータの国際標準の実績	1 MWを超えるPVおよび風力を実装するとともに、模擬系統を備え、実機に近い規模での試験が可能 - 大型電力変換機器についての国際標準化の実績を展開

4. その他

4. その他／（１）想定されるリスク要因と対処方針

リスクに対して十分な対策を講じるが、他の事業も含め国内での水電解の開発がすべて困難になった等の事態に陥った場合には事業中止も検討

研究開発（技術）におけるリスクと対応	社会実装（経済社会）におけるリスクと対応	その他（自然災害等）のリスクと対応
- 現在検討中の入力波形等により加速劣化の現象をつかめない場合のリスク → 各種波形を適用しても試験用電解槽に劣化が見られず、手法の妥当性を評価できない場合がリスクとして想定されるが、水電解装置の劣化機構解明を電気化学的な見地から実施しているNEDOプロジェクトと連携をし、劣化プロセスをより強調できる手法の適用や異なる劣化メカニズムを生じさせる試験の実施により、多面的に水電解装置の耐久性を試験する手法を検討する。 - 対象が大型であるために水電解槽の精密な特性計測ができないリスク → ヒヤリングにより要望の多かった計測項目については、ノイズ源の低減を行うための装置構成の検討や精度の高い計測器の選定等を行う。	- 国内での水電解装置の開発がすべて困難になるリスク → 水電解装置ユーザーとして、再エネと組み合わせたエネルギーマネジメントシステムに利用する水電解装置の性能評価ニーズは確実にあると認識しており、ユーザーによる設備の活用等を検討する。また、水電解用部材メーカーからは部材評価のニーズもあり、部材評価設備として活用することも検討する。ただし、これいずれも難しい場合は、中止も検討する。	- 為替リスクや半導体等の不足等による部材高騰と納期長期化 → 不測の事態によるコスト上昇に対しては、調達物品内容を精査しコスト削減の努力をする。ただし、努力の範囲内では目的達成が困難となった場合は増額の要望も検討する。増額が難しい場合は、実施項目の選択と集中を図る。納期の長期化に対してはステージゲートの実施時期の変更を検討したい。 - 地震等により設備の主要部分が破損し、回復が困難になることによるリスク → 最近の地震の発生状況を踏まえ耐震についても十分な設計を行う等を実施、台風についても十分な強度を持つよう配慮し設計する。



- 産総研の水電解に係るチームリーダークラスのメンバーが複数参画しており、研究開発責任者やチームリーダー等中心的人物が何らかの理由でプロジェクトに参画できなくなった場合に備える。また、新人の育成により事業中止のリスクを低減する。
- 事業中止の判断基準：グリーンイノベーション基金での他の水電解装置開発事業がすべて中止となった場合、これらのプロジェクトの推進が本プロジェクトの役割であることから、これに伴い本事業は中止とする。