

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」  
WG

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
副理事長（研究開発責任者） 村山 宣光  
プロジェクトリーダー 古谷 博秀

2022年6月23日

# 産業技術総合研究所のコミットメント

- ・産総研の第5期中期目標においては、「社会課題解決と産業競争力強化」をミッションとし、産総研が将来にわたって実現すべき目標と認識。
- ・産総研はこのミッションをはたすため、産総研の持つイノベーション創出機能を大幅に強化し、日本全体のイノベーション・エコシステムの中核としての役割を果たすことを決意。
- ・水電解技術は、グリーンイノベーション戦略においても重要な技術と位置付けられ、イノベーション・エコシステム実現に必要と認識。また、産総研が長年にわたり研究開発を実施し、今後必要とされる再エネシステム環境下での評価について実績を持つことから、産総研の強いコア技術として認識しており、今後も、産総研としてエネルギーシステム全体を視野に入れた評価技術と合わせて強化する方向。
- ・強化の一例として、令和4年度において、人数に限りがある新規採用者のうち、2名の新規採用者を本プロジェクトに参画させ、1名は水電解のエキスパートとして、1名は国際標準のエキスパートとして育成する計画。
- ・産総研として、本プロジェクトで構築する水電解の評価拠点を展開し、再エネシステム下での水電解システムの評価と開発によるイノベーション・エコシステムの実現、それによる社会課題解決と国内産業の産業競争力強化に貢献することをコミット。

# 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**（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。

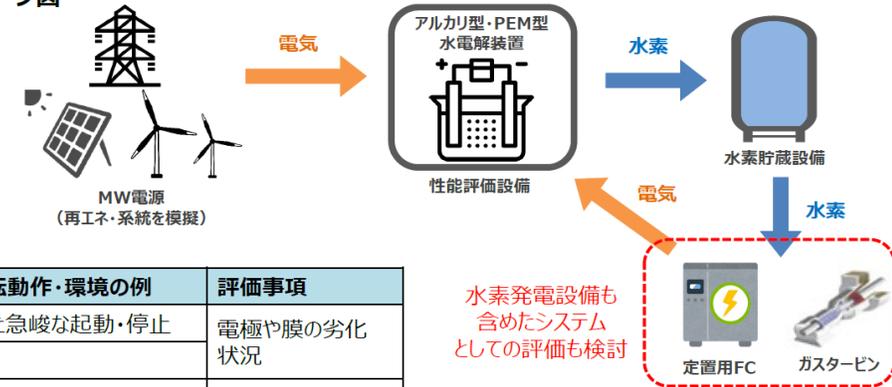
・**公の立場**でこれらの試験の実施を可能とする**プラットフォームを構築**することにより、これらの課題を解決するとともに**統一的な性能評価**を実現することで、**開発の方向性を明確化**し、日本企業の開発力強化に繋がることが期待される。

・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



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

水素発電設備も含めたシステムとしての評価も検討

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](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/001_04_00.pdf)

# 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



再エネアンモニア製造



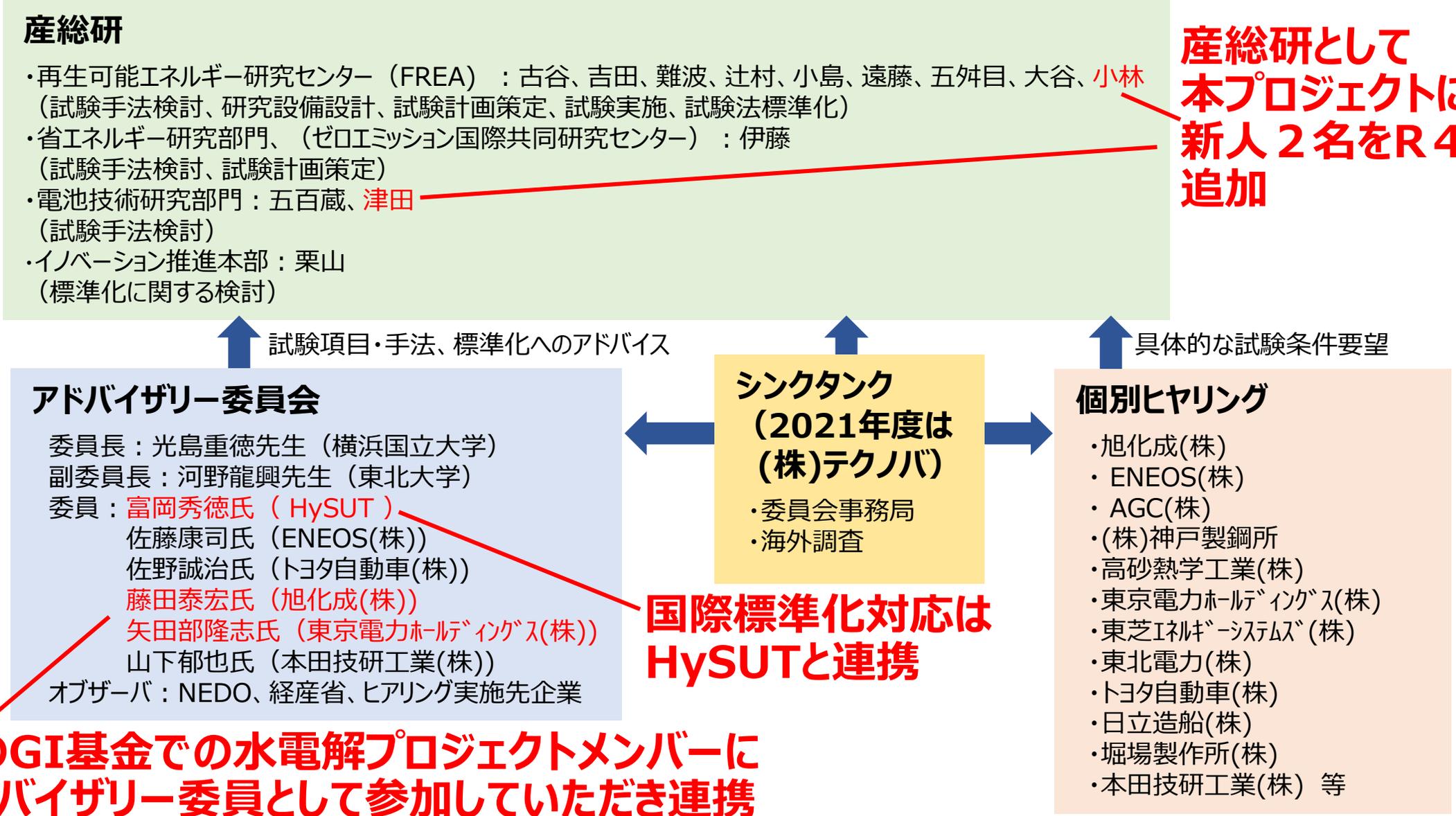
再エネBEMSシステム



水素エンジン

# 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

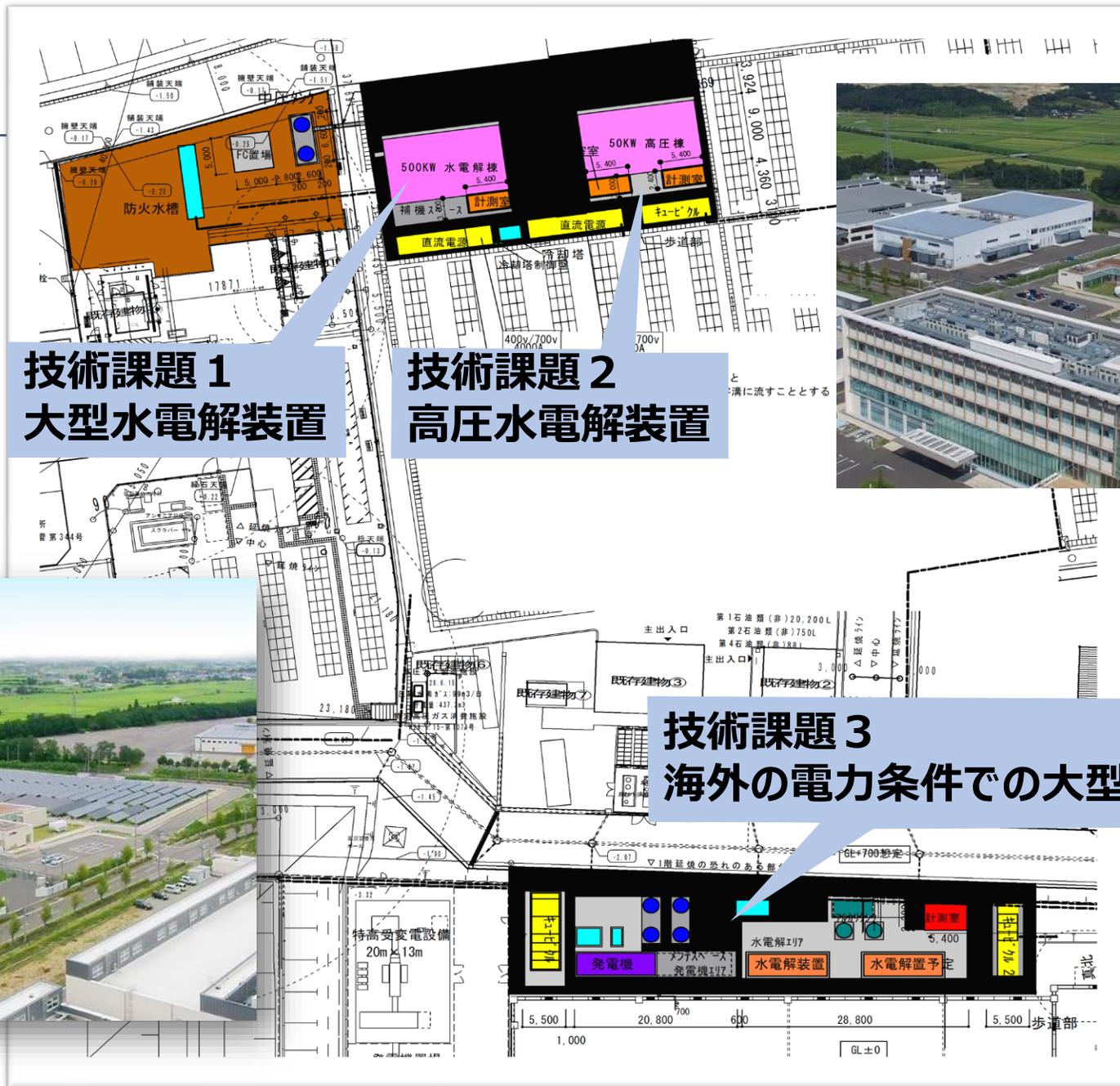


# 2021年度 研究開発実施状況

	2021年 10月	11月	12月	2022年 1月	2月	3月
ステージゲート	●実施計画書受理(10/7)					●ステージゲート 審査会
アドバイザー 委員会	委員委嘱手続 追加委員委嘱手続		開催案内(委員・オブザーバー)			●ステージゲート 結果報告
	委員会資料作成 ●第1回(11/10)		委員会資料作成 ●第2回(2/7)			
産総研 実施内容 <調査>	国内外電解装置仕様調査					
	●テクバ外注業務開始					
	国外における水電解装置に係る調査					
<ヒアリング>	◆県庁	◆HyTReC ◆ENEOS ◆トヨタ自動車 ◆AGC ◆神戸製鋼所 ◆東京電力	◆県庁 ◆日立造船 ◆旭化成 ◆本田技研工業 ◆堀場製作所	(◆九州電力) ◆東芝ESS ◆高砂熱学工業 ◆東北電力	◆県庁	
	ヒアリング結果各社確認			ヒアリング結果まとめ各社再確認		
基礎構築準備	拠点建設 設計・仕様案作成			概算見積取得	概算費用積算作業	
				土壌調査		
				地盤調査		
				建築仕様等 具体化作業		

# FREA内 配置案

## 技術課題 1・2・3



# 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



# 參考資料

# 海外での水電解の圧力条件

海外の水電解装置の圧力条件：

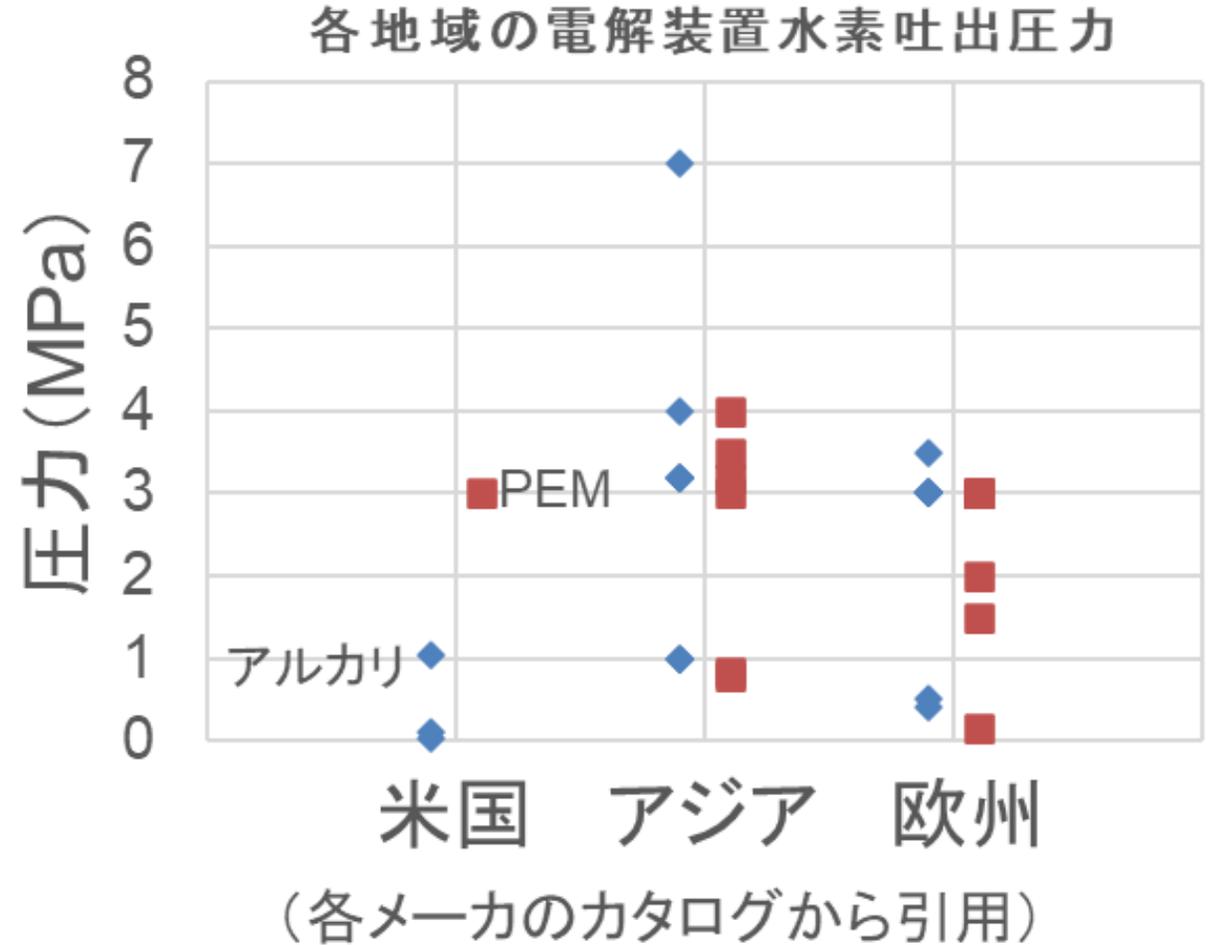
(ITM Power製 2MPa、NEL製 3MPa、  
Hydrogenics製 3MPa 等)

米国では、アルカリは1MPa以下が多いがPEMは3MPaがある。アジアでは中国が3 MPa程度が多く、欧州でも1MPa以上3MPaが多い。

(AEMでEnapterの3.5Mpaもある。)

高圧のメリット

- 1) 電解中の泡の体積が減り電解を容易に
- 2) 配管等のサイズが小さくなり、コストメリット
- 3) 脱水や、圧縮などの後段のプロセスが有利



# 設備仕様として決定する項目

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

# ヒヤリング等調査対象企業・協力企業

企業名（五十音順）	ヒヤリング内容
旭化成株式会社	水電解装置評価のニーズ確認（アルカリ形の視点から）
AGC 株式会社	水電解装置用部材の評価ニーズ確認
ENEOS株式会社	水素サプライチェーンにおける水電解装置 Hydrogen Council等の国際組織での議論の確認の位置づけに関する助言
株式会社 神戸製鋼所	水電解装置、補器についての評価のニーズ確認
高砂熱学工業株式会社	水電解装置の装置メーカーとして評価を望む項目確認
東京電力ホールディングス株式会社	水電解装置のグリッドバランシング利用の可能性に関する助言
東芝エネルギーシステムズ株式会社	システムの中で求められる水電解装置の性能確認
東北電力株式会社	水電解装置の系統の調整力として求められる要件確認
トヨタ自動車株式会社	日本の水電解装置の海外市場での展開の可能性についての助言 Hydrogen Council等の国際組織での議論の確認
日立造船株式会社	水電解装置評価のニーズ確認（PEM形の視点から）
株式会社 堀場製作所	評価手法についての助言
本田技研工業株式会社	日本の水電解装置の海外市場での展開の可能性についての助言 Hydrogen Council等の国際組織での議論の確認
※意見交換などの協力企業等	経済産業省、福島県庁、高圧ガス保安協会(KHK)、(公社)HyTReC、 (株)エノア、岩谷産業(株)、九州電力(株)

# 提案の背景

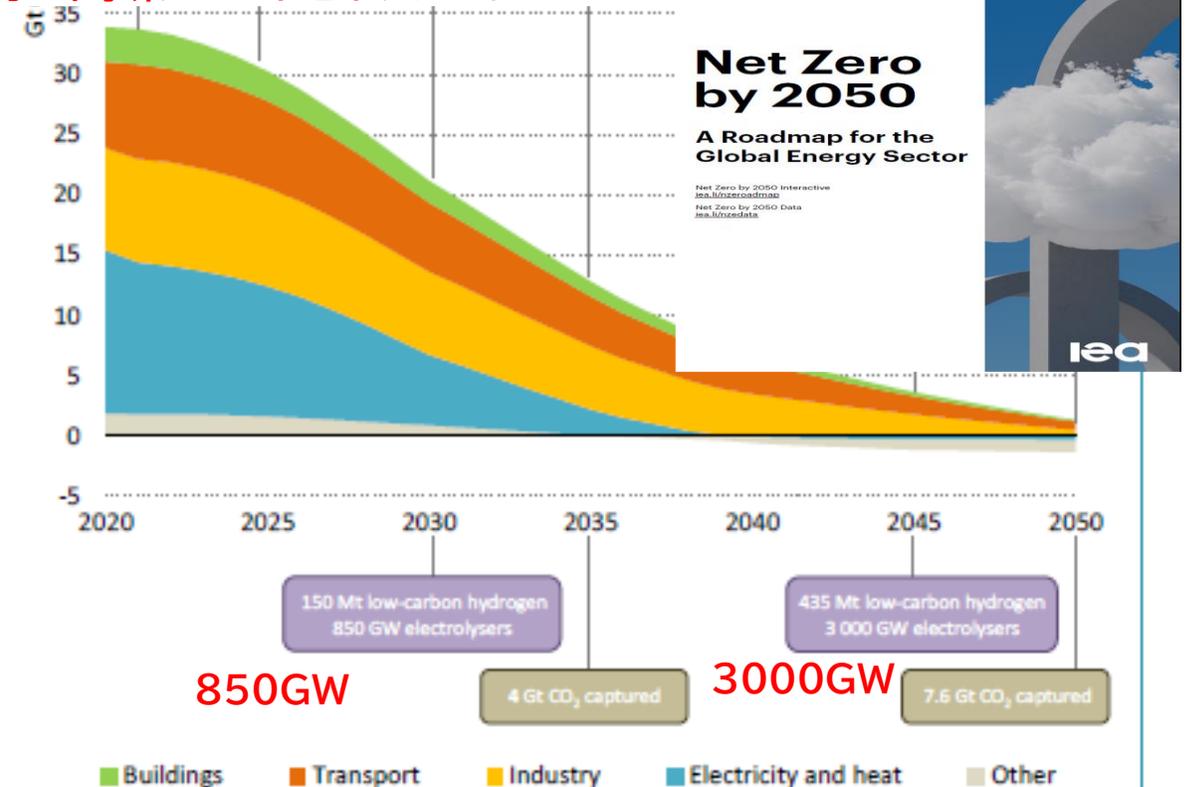
世界的なカーボンニュートラルの動きの中で、**水素**は大きな役割を果たすと考えられ、欧州を中心に水素の戦略が多く発表されている。この中で、水素を水の電気分解から作る水電解装置が重要となる。世界的な再エネや水電解装置のコスト低下に伴い、**2050年には再エネから安価に水素を製造**することが可能となる**地域**が出てくる見込みがあり、再エネ導入に積極的な地域で、大型の水電解装置の導入が計画されている。IEAが5月に発表した、**2050年ゼロエミッション化へのロードマップ**においても、水電解装置が世界で**2030年に850GW**、**2045年に3000GW**導入される可能性が示さ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



欧州では2030年までに40GW

- EU**
- 2020年7月に水素戦略を発表。
  - 2030年までに電解水素の製造能力を40GWを目指す。
  - 暫定的に、低炭素水素（化石+CCUS）も活用。水素の製造、輸送・貯蔵、利用に向けて取り組む。
  - 官民連携によるクリーン水素アライアンスを立ち上げ。
  - 輸送分野では、**商用車での水素利用**を重視。

地域により異なる再エネ水素のコストとポテンシャル

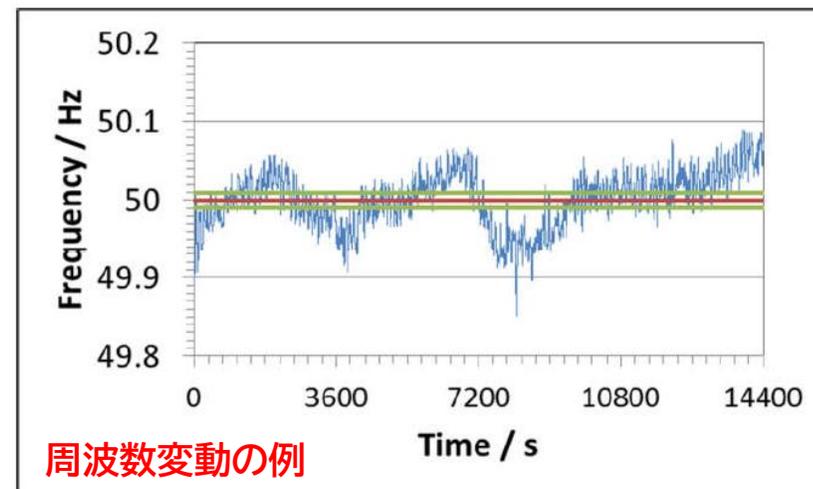


# 海外の電力条件

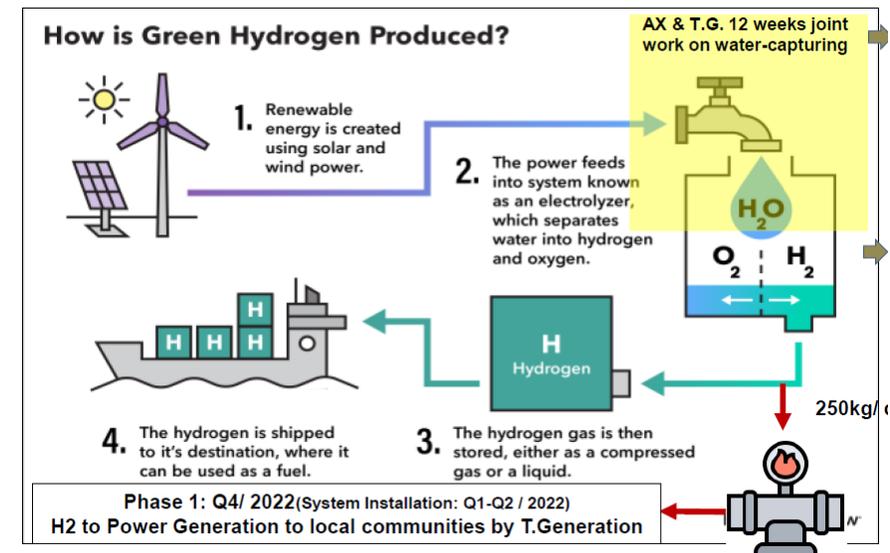
海外の電力条件：基本は電圧と周波数

今後、水電解システムに求められる要件：

- 1) **システムの調整力**としての機能 > 統一的な評価  
既にISOでTRが提案中 > 今後変動対応の耐久性  
(欧州等で多くの計画がある：2030年40GW等)
- 2) **オフグリッド条件**での性能  
> 統一的な評価を基にケースによりアレンジ  
(豪州等、再エネは豊富だが、グリッド弱い地域での水素製造)



再エネ比率の増大により変動の増加が懸念



豪州ではオフグリッドによる大規模水素製造の計画もある

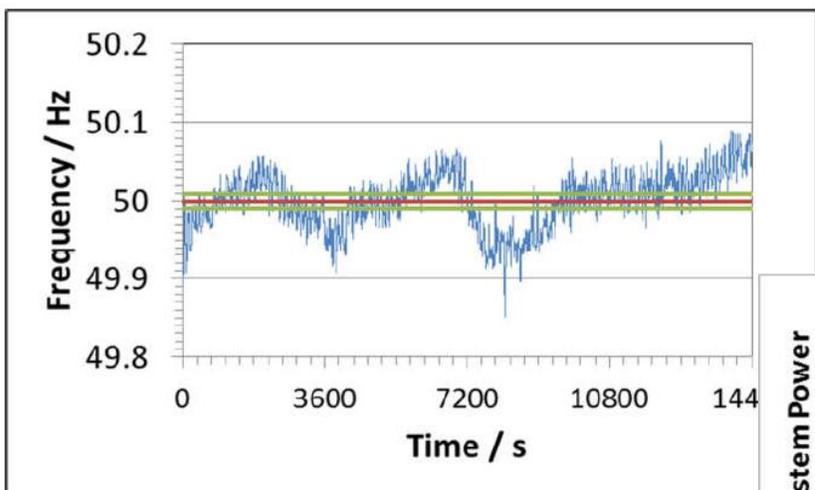
# ISO/TC197/WG32提案

# ISO/AWI TR 22734-2 の概要

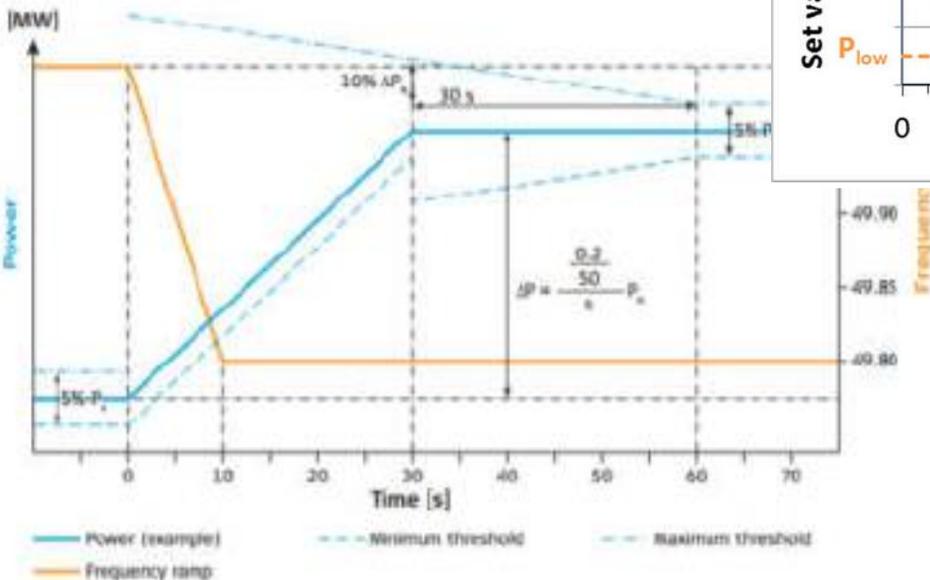
提案 : DE、FR、CA メンバ : FR、USA、UK、DE、AR、CAN、Spain

オブザーバ : DE、AR、JP、NL

First draft 2020-12-17; first update ~2021-04-15

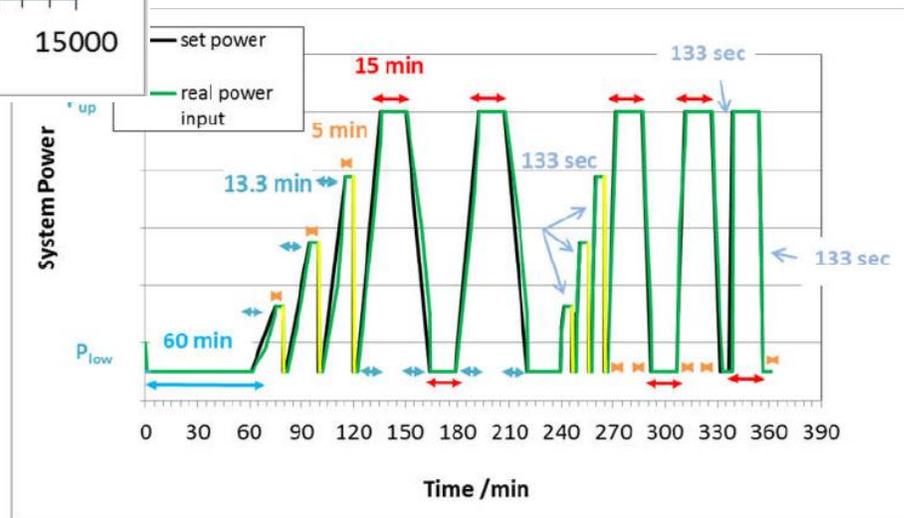
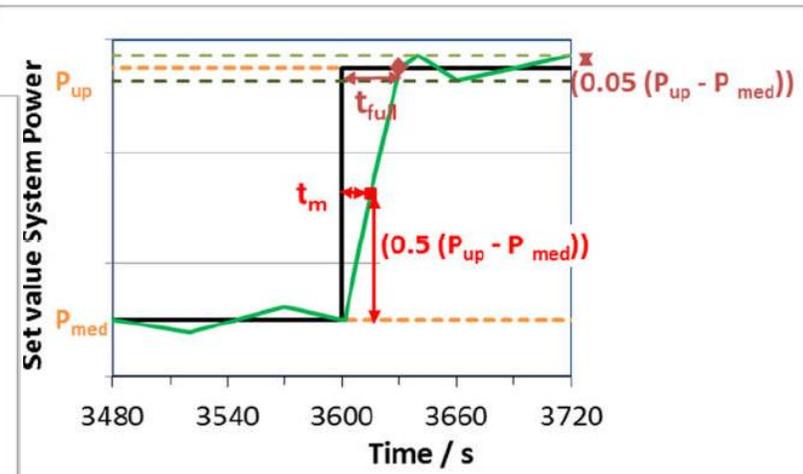
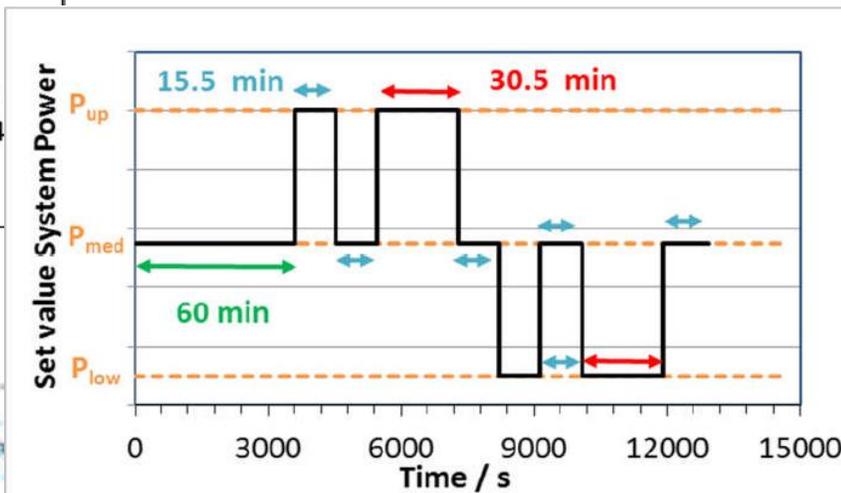


再エネ比率の増大による周波数変動



水電解システムを調整力として  
制御で周波数を制御

電解装置の応答性を評価



電解装置の応答性を評価するためのモード

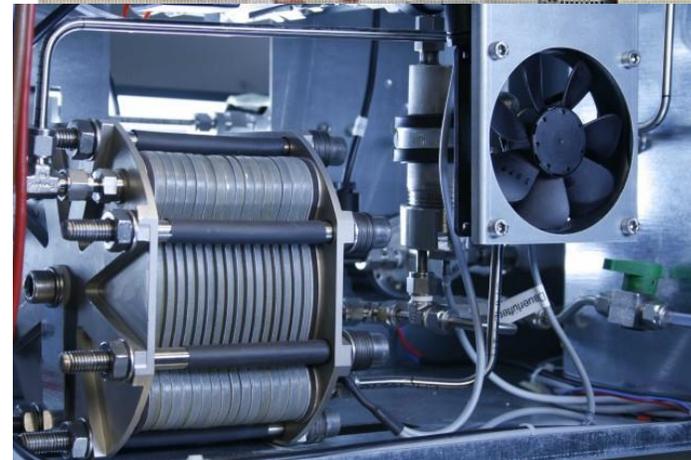
# 海外の水電解評価状況

- ・最も進んでいるのは欧州、ドイツ Fraunhofer では、MW級の電解装置のテストができるLabを立ち上げ、欧州のGW級の水電解装置開発に貢献

- ・ISO/AWI TR 22734-2の提案者となっているDLRにおいても、水電解装置の開発拠点化が進んでいると思われる。

- ・米国では、これまでNREL等が小規模の研究開発を実施していたが、DOEが EarthShotで、水素価格1\$/kgH<sub>2</sub>を表明しており、大型の水電解装置の評価についても、今後、急激に立ち上がると考えられる。

- ・装置開発ではライバルだが、評価技術の標準化では連携が考えられる。



Fraunhoferの  
水電解テストラボ

1 MW級水電解装置

# 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

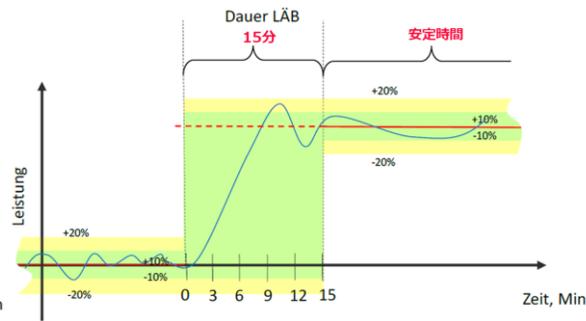
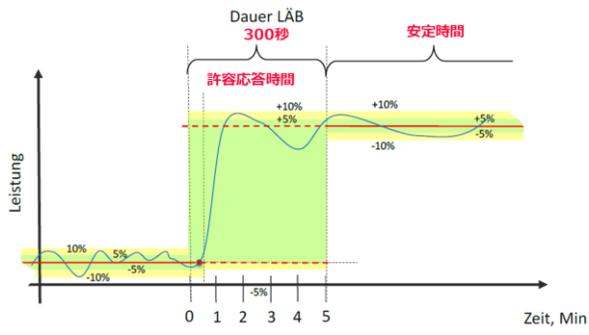
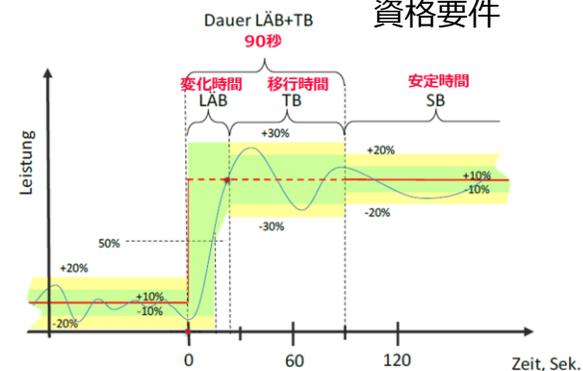
### ドイツのグリッドバランシング市場

	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)

資格要件

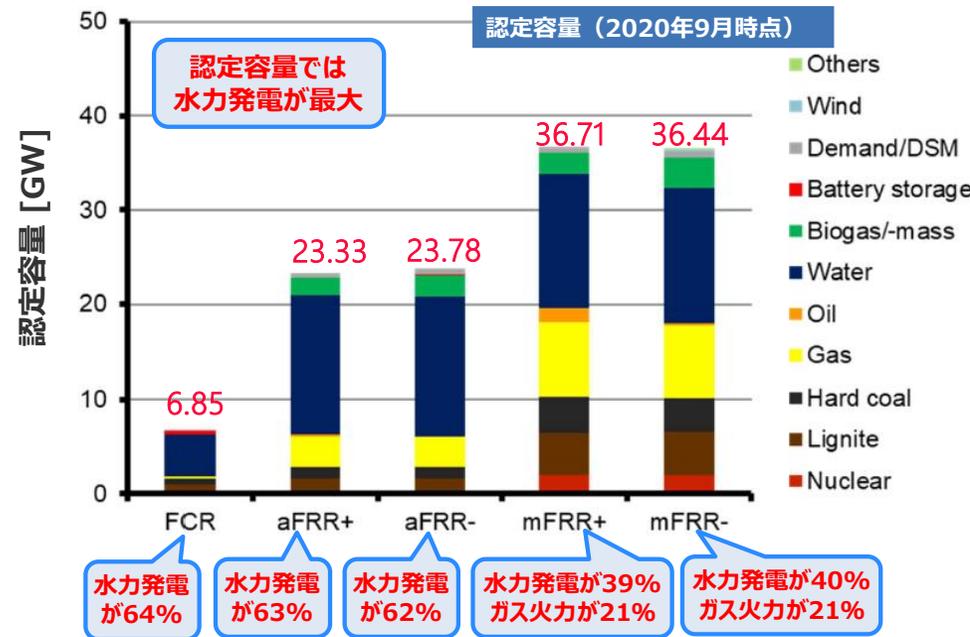
資格要件

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



# 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



- 評価システム**
- MW級電源 (既設)
  - ACシミュレータ (既設)
  - 大型水電解装置 (MW級)
  - 水素貯蔵設備 (中圧タンク等)
  - 計測・分析機器
  - 水素発電機器

- 評価項目**
- 評価手法の大型水電解装置への試行
  - 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算定
  - 水素発電設備も含めたシステムとしての評価 (短長期の電力平準化等)

# 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



耐爆カバー

純水純度

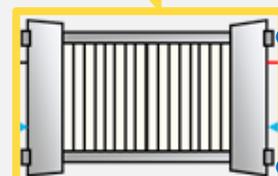
スタック電流  
各セル電圧

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

水素

~5MPaG

酸素

0~5MPaG

圧力

流量

露点

水素中  
酸素濃度

大気開放

10Nm<sup>3</sup>/h

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

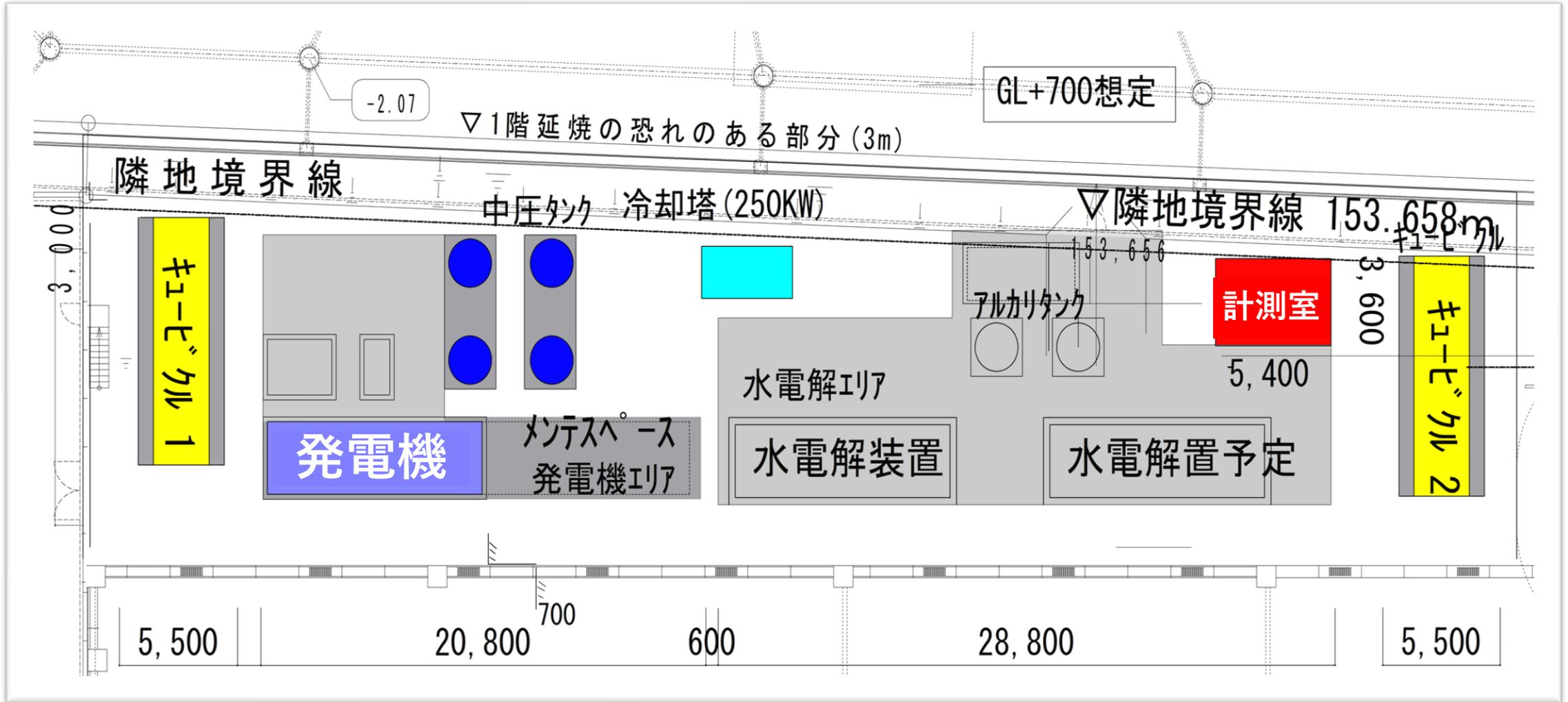
### 評価項目

- 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



# 平面図

## 技術課題 3



技術課題 3 : 海外の電力条件での水電解装置 平面図