

発表No. B2-5

水素社会構築技術開発事業/ 水素エネルギーシステム技術開発/ 再エネ利用水素システムの事業モデル構築と 大規模実証に係る技術開発

発表者名	東芝エネルギーシステムズ 山根 史之
団体名	東芝エネルギーシステムズ株式会社 東北電力株式会社 東北電力ネットワーク株式会社 岩谷産業株式会社 旭化成株式会社
発表日	2023年7月14日

連絡先：

東芝エネルギーシステムズ株式会社 エネルギーアグリゲーション事業部 水素エネルギー技術部

E-mail: fumiyuki.yamane@toshiba.co.jp

TEL: 050-3147-2701

事業概要

1. 期間

開始 : 2016年9月
 終了 (予定) : 2026年3月

2. 最終目標

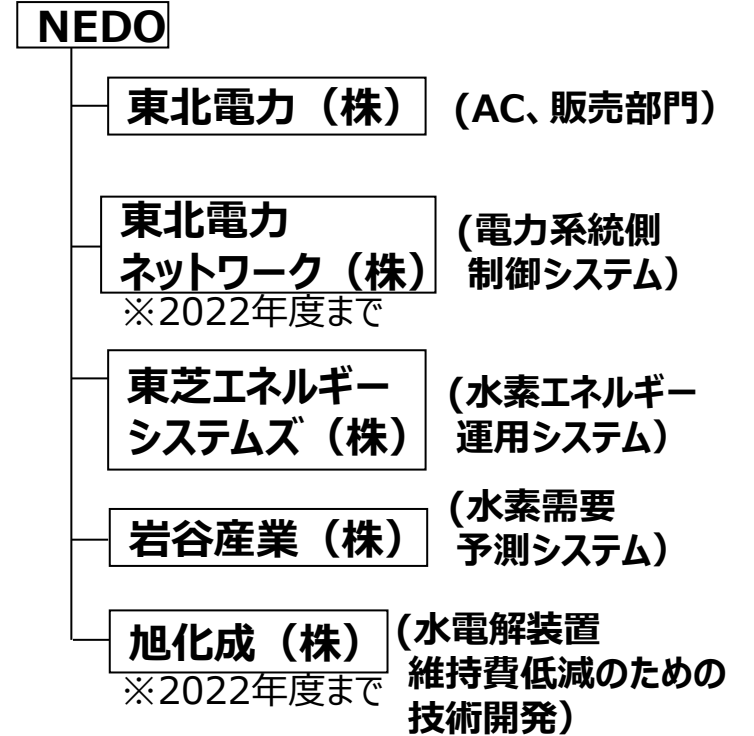
実施項目	最終目標
①	水素需給対応（製造・貯蔵・供給）及び電力系統の需給バランス調整対応（ダイヤモンドリスパンス：上げ・下げDR）の二つの用途に対応可能な制御システムの開発と、その制御システムを備えた大規模再エネ水素プラントの実現
②	再エネの利用拡大を見据えた電力系統の需給バランス調整のための水素活用／販売事業モデルの検討と構築

3. 成果・進捗概要

実施項目	成果内容	進捗状況
①	再エネ水素プラントにおいて、需給調整市場の二次調整力②・三次調整力①②の要件を満たすことや、水素需要を充足するだけの水素製造が可能であることを確認するなど、目標として定めた事項を達成していることを確認し、実証試験を完了。	○
②	実プラントの実証運用を通して、水電解装置の変動応答性や交換ダウンタイムの短縮などのデータを得て、水電解装置の低コスト化・易メンテナンス化を含めた事業モデル検討を実施。 ※事業モデルの基礎検討は基礎検討（FSフェーズ）にて実施済。	○

◎ : 大幅達成、
 ○ : 達成、
 △ : 一部達成、
 × : 未達

● 実施体制および分担等

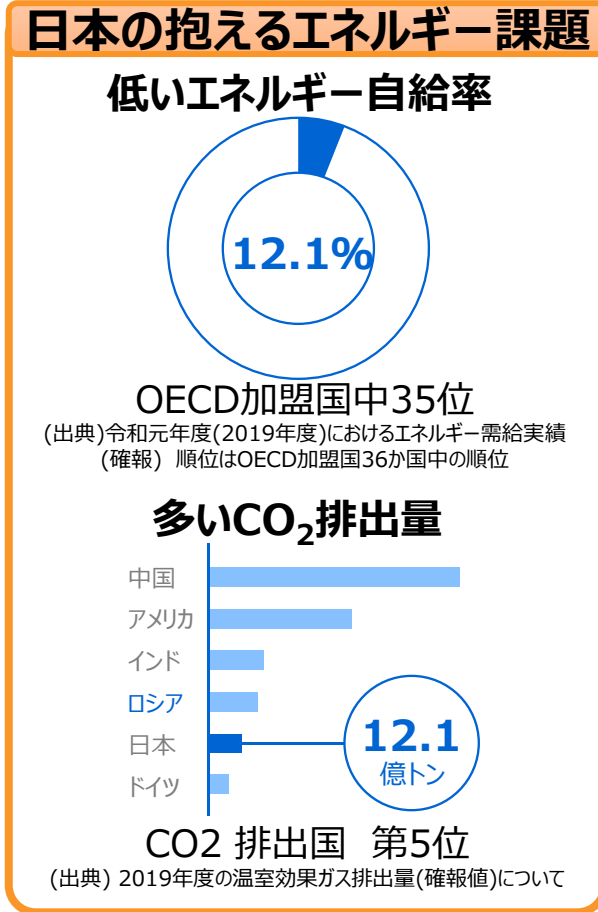


目次

1. 事業の位置付け・必要性
2. 研究開発マネジメントについて
3. 研究開発成果について
4. 今後の見通しについて

事業の位置付け・必要性

1. 事業の位置付け・必要性 / 本事業を実施する背景



国際的な温室効果ガス削減への方向性

京都議定書

先進国への温室効果ガス排出量削減義務

パリ協定

先進国・途上国への温室効果ガス削減目標に向けた努力義務

国内の温室効果ガス削減への方向性

カーボンニュートラル宣言

2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする

解決策

再エネ導入加速※1
再エネの主力電源化※2 ※3
ゼロミッション電源44%@2030 ※2
2030年度の温室効果ガス排出削減目標の大幅引き上げ※3
二次エネルギーとしての水素、水素社会実現※1※2※3

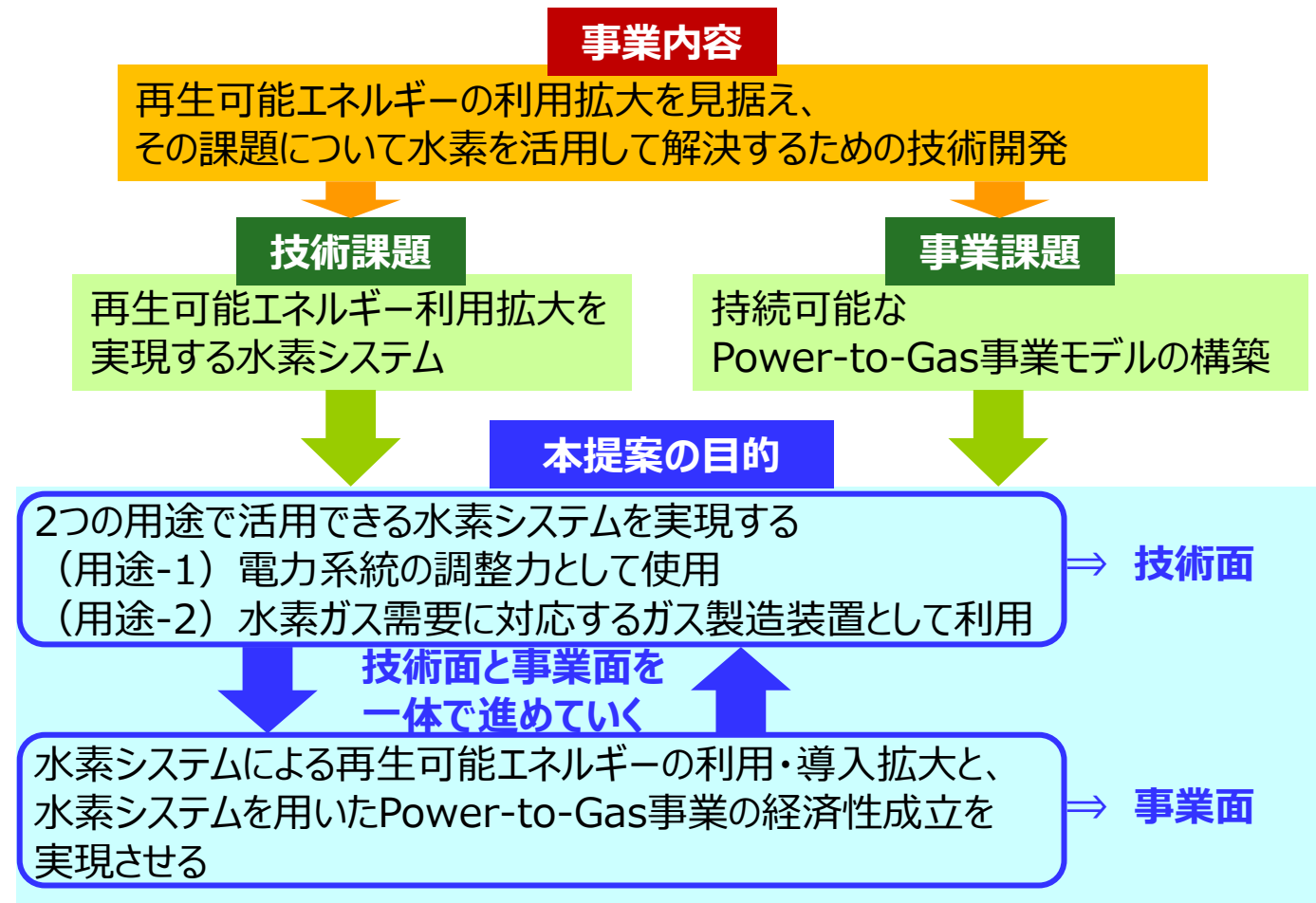
新たな課題

調整力※2
調整力の脱炭素化※2※3
再エネ余剰電力の貯蔵※2

※1)第四次エネルギー基本計画 ※2)第五次エネルギー基本計画 ※3)第六次エネルギー基本計画

日本のエネルギー課題解決に向けた再エネ導入加速 / 水素社会実現において、「調整力」としての水素利用が新たな課題

1. 事業の位置付け・必要性 / 本事業の目的



**「調整力」「水素製造」の両立、及び、
将来的な経済性成立に結び付く、水素システム実現が目的**

1. 事業の位置付け・必要性 / 本事業の位置づけ

エネルギー基本計画（第6次）

“水素社会”実現に向けた取組の抜本強化

- (1) カーボンニュートラルを達成するための水素供給コスト削減と多様な分野における需要創出
- (2) 海外で製造された安価な水素の活用と国内の資源を活用した水素の製造基盤の確立
- (3) 国際水素サプライチェーン及び、余剰再生可能エネルギー等を活用した水電解装置による水素製造の商用化の実現

FH2R実証の位置づけ

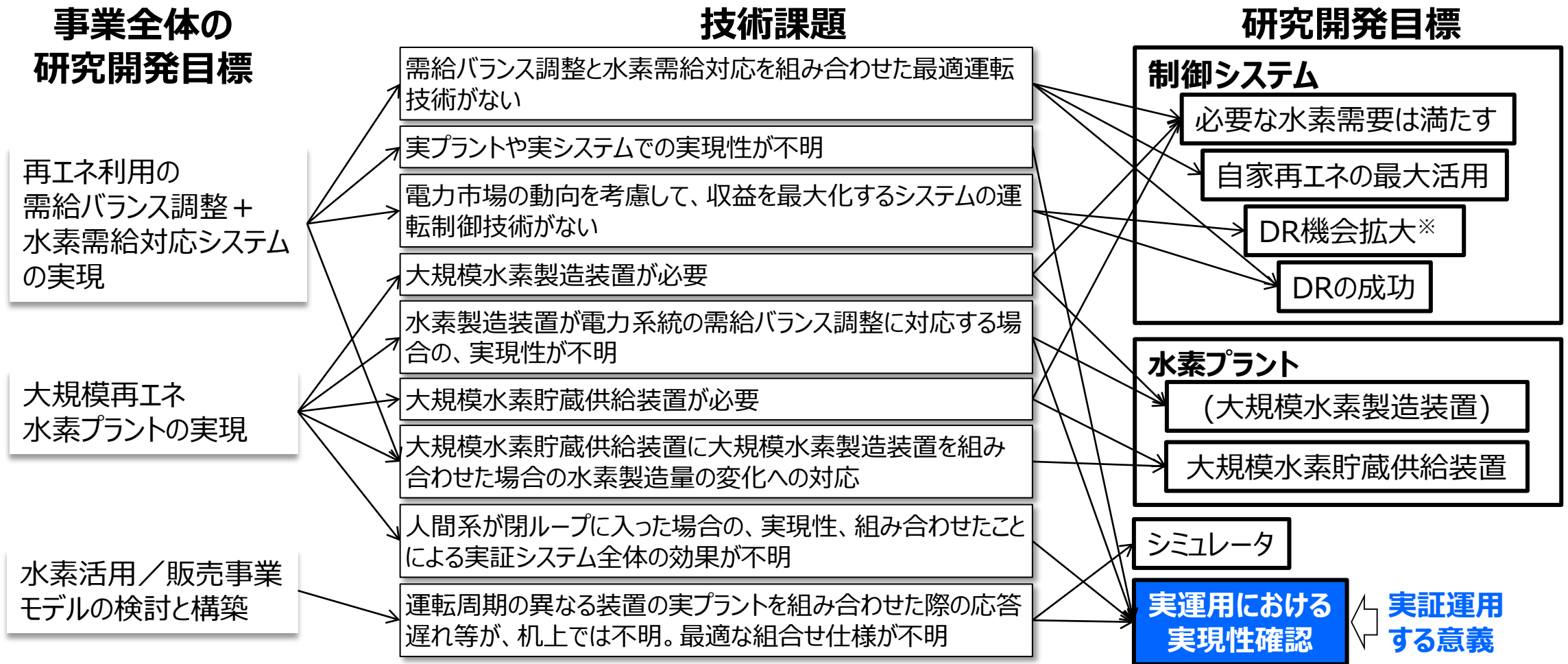
(4) 再生可能エネルギーを活用した大規模な水素製造の実証

⇒ P2Gシステムの事業化・社会実装に向けた取組を進め、2030年頃の商用化を目指す。

- (5) 水素需要量の拡大を実現するための各部門における取組を加速化、地域レベルでの先進的な水素社会モデルの構築
- (6) 国際水素サプライチェーン等による大量の水素供給と大規模な活用、既存インフラや需要と供給の隣接する地域特性を最大限活用した社会実装モデルを創出

研究開発マネジメントについて

2. 研究開発マネジメントについて / 技術課題・目標、及び、実証運用の意義



※) 市場動向の考慮については、本システムが水素需給対応と電力システムの需給バランス調整対応に活用できることを実証した後、市場や制度の動向を踏まえ検討する必要があるため、本実証では実施しない。今回は、市場やり取りを模擬した信号で実証を実施する。

事業全体の研究開発目標から、技術課題、研究開発目標を導出

2. 研究開発マネジメントについて / 研究開発目標の具体化 -制御システム-

再エネ利用の、需給バランス調整 + 水素需給対応システムの実現

DR機会拡大 DRの成功 自家再エネの最大活用 必要な水素需要は満たす

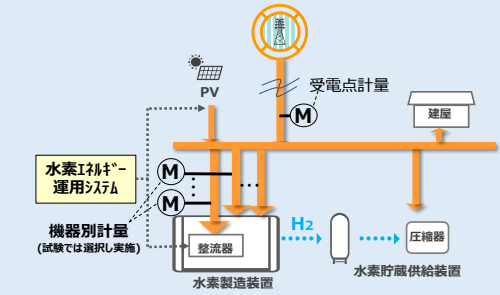
具体的目標

再エネ有効利用率86%※1

1日終了時点の水素貯蔵不足0Nm³

- DRを予測し、DR可能な量を自ら探索（水素DR、需給調整DR）
- DR時の計画と制御の系統受電電力量誤差±3%（水素DR）
- DR時の計画と制御の機器別計量※2電力誤差±3%（需給調整DR）
- DR指令と実績との系統受電電力量誤差±20%（水素DR）
- PV出力制御指令と実績の逆潮流電力誤差±5%（PV出力制御）
- DR指令と実績との逆潮流電力量誤差±20%（経済DR）
- DR指令と実績との機器別計量※2電力誤差±10%（需給調整DR）

需給調整DRの計量箇所



※1) 逆潮流不可・売電不可のP2G構成を想定。逆潮流可・売電可のP2G構成では、売電計画と実績との誤差評価を実施予定。
 ※2) 機器別計量は、現行市場ルールには無く、将来または再エネの無いP2Gを見据えた目標。

「需給バランス調整 + 水素需給対応システム」を実現するため、
 具体的な研究開発目標を設定

2. 研究開発マネジメントについて / 研究開発目標の具体化 -制御システム-

目標	設定根拠（妥当性）
水素DR時の計画と制御の系統受電電力量誤差：±3%以内	同時同量の誤差を参考にして設定。実証において、実機で評価する。
需給調整DR時の計画と制御の機器個別計量対象電力誤差：±3%以内	
水素DR指令と実施値との差異：±20%以内	蓄電池等とは異なり実機評価経験度の低い水素システムであるため、一般的な±10%よりも余裕度を設けた。
PV出力制御指令値と実施値との差異：±5%以内	太陽光・風力発電所出力制御機能技術仕様書に準じて設定。ただし、PV発電可能量不足、装置異常等の状況の場合を除く。
経済DR指令と実績値との差：±20%以内	水素DRの目標値を参考にして設定。実証において、実機で評価する。
需給調整DR指令と実績値との差：±10%以内	需給調整市場取引規程を参考にして設定。
再エネ有効利用率 実証目標値：86%以上	日射量の推定値等を用いた机上計算より設定※。 ※) 2018年時点の机上評価より設定
1日終了時点の水素貯蔵不足：0Nm ³	1日終了時点での、運転計画に対する運転結果の、水素貯蔵不足量が無いことを目指す。ただし、装置異常等、水素製造が困難な状況な場合を除く。

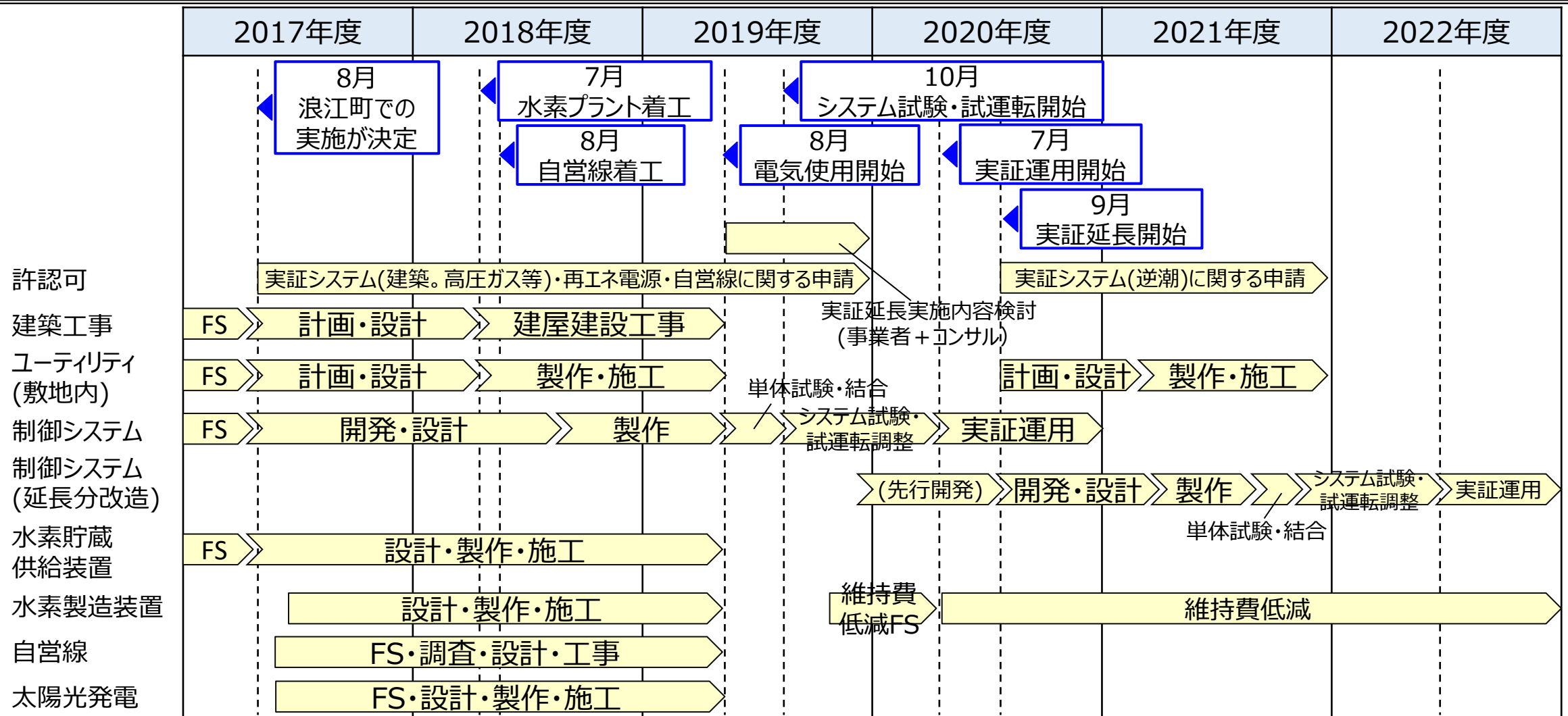
各研究開発目標の設定根拠／評価方法を示す

2. 研究開発マネジメントについて / 研究開発目標の具体化 -水電解装置-

目標	設定根拠（妥当性）
維持費用の定量評価	大型アルカリ水電解装置の維持費用の現状と経産省ロードマップ目標値(4,500/(Nm ³ /h)/年 at 2030年)との乖離の定量化
維持費用低減対策の立案	経産省ロードマップ目標値を見通すために実施すべき具体的施策の洗い出し
交換頻度の適正化	水電解装置維持費用の6割を占める部材交換費用について、実運用での劣化状況から適正な交換頻度を設定
低コスト化・易メンテナンス化	交換部材の低コスト化や水電解システムのメンテナンス容易化など、さらなる維持費用低減に資する追加対策の探索
大規模化した場合の維持費用試算	水電解システムを100MW規模へ大型化した場合のスケール効果の確認

各研究開発目標の設定根拠／評価方法を示す

2. 研究開発マネジメントについて / スケジュール



実証運用等について、予定通りに完遂

研究開発成果について

3. 研究開発成果について / 開発項目の成果と達成度

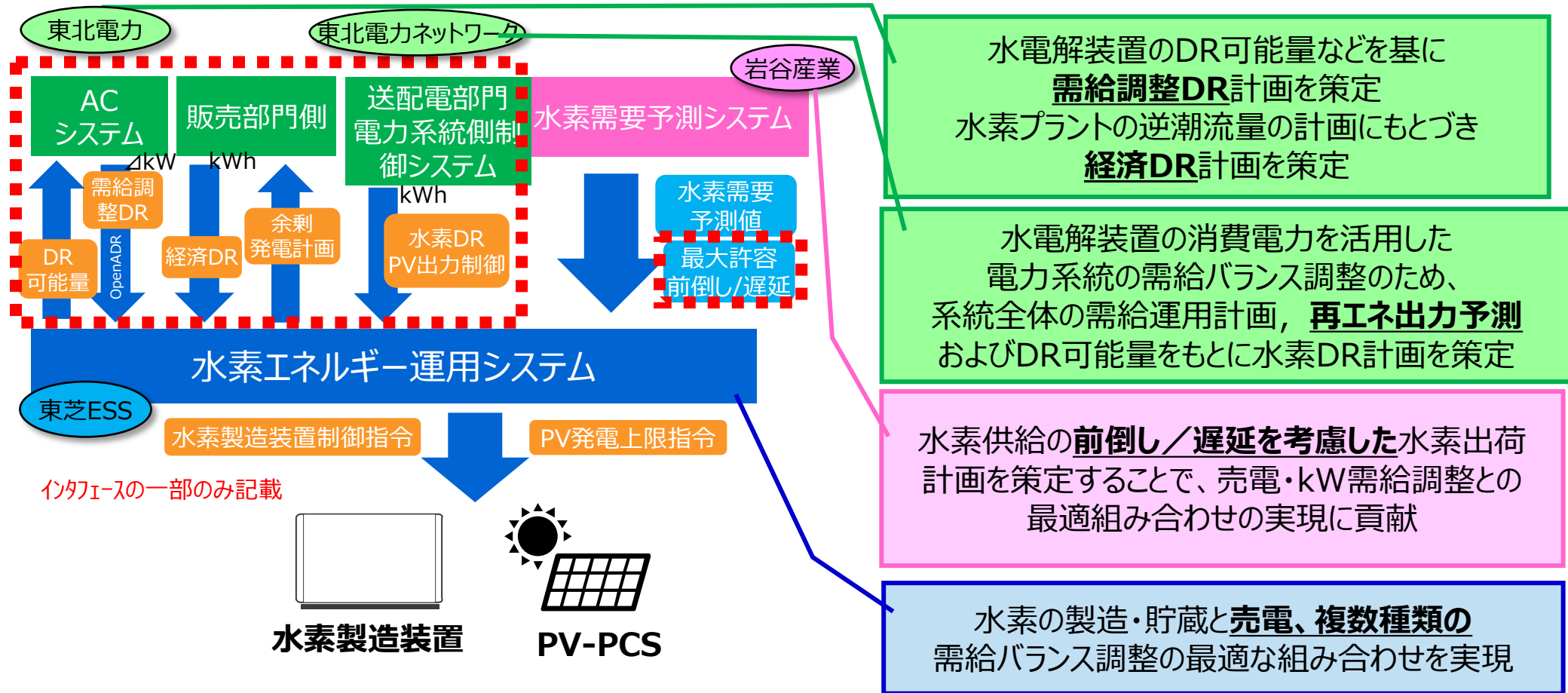
P2Gプラントシステム全体分

◎ 大幅達成（特筆すべき成果有り）、○達成（予定通り）、△一部未達、×未達

開発項目	目標	成果	達成度
水素DR時の計画と制御の系統受電電力量誤差	±3%以内	実証運用にて確認	○
需給調整DR時の計画と制御の機器個別計量対象電力誤差	±3%以内	実証運用にて確認	◎ (FH2Rで二次②、制御は二次①)
水素DR指令と実施値との差異	±20%以内	実証運用にて確認	○
PV出力制御指令値と実施値との差異	±5%以内	実証運用にて確認	○
経済DR指令と実績値との差	±20%以内	実証運用にて確認	○
需給調整DR指令と実績値との差	±10%以内	実証運用にて確認	○
再エネ有効利用率 実証目標値	86%以上	実証運用にて確認	○
1日終了時点の水素貯蔵不足	0Nm3	実証運用にて確認	○

オンスケジュールにて完遂

3. 研究開発成果について / 制御システム全体



2020年度からは、電力システム側への対応力向上を目指し、
逆潮流と需給調整に対応

3. 研究開発成果について / 需給調整市場への対応

需給調整市場 商品種類	一次調整力	二次調整力①	二次調整力②	三次調整力①	三次調整力②
英呼称	Frequency Containment Reserve (FCR)	Synchronized Frequency Restoration Reserve (S-FRR)	Frequency Restoration Reserve (FRR)	Replacement Reserve (RR)	Replacement Reserve-for FIT (RR-FIT)
指令・制御	オフライン (自端制御)	オンライン (LFC信号)	オンライン (EDC信号)	オンライン (EDC信号)	オンライン
監視	オンライン (一部オフラインも可※2)	オンライン	オンライン	オンライン	オンライン
回線	専用線※1 (監視がオフラインの場合は不要)	専用線※1	専用線 または 簡易指令システム※6	専用線 または 簡易指令システム	専用線 または 簡易指令システム
応動時間	10秒以内	5分以内	5分以内	15分以内	45分以内
継続時間	5分以上	30分以上	30分以上	商品ブロック時間(3時間)	商品ブロック時間(3時間)
並列要否	必須	必須	任意	任意	任意
指令間隔	- (自端制御)	0.5~数十秒※3	専用線：数秒~数分 簡易指令システム※6：5分	専用線：数秒~数分 簡易指令システム：5分※5	30分
監視間隔	1~数秒※2	1~5秒程度※3	専用線：1~5秒程度 簡易指令システム※6：1分	専用線：1~5秒程度 簡易指令システム：1分	1~30分※4
供出可能量 (入札量上限)	10秒以内に出力変化可能な量 (機器性能上のGF幅を上限)	5分以内に出力変化可能な量 (機器性能上のLFC幅を上限)	5分以内に出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)	15分以内に出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)	45分以内に出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限)
最低入札量	5MW (監視がオフラインの場合は1MW)	5MW※1,3	専用線：5MW 簡易指令システム※6：1MW	専用線：5MW 簡易指令システム：1MW	専用線：5MW 簡易指令システム：1MW
刻み幅 (入札単位)	1kW	1kW	1kW	1kW	1kW
			上げ/下げ	上げ/下げ	上げ/下げ

60分以内 ※2025年度以降

30分 ※2025年度以降

60分以内に出力変化可能な量 (オンラインで調整可能な幅を上限) ※2025年度以降

二次調整力①

- 制御システム : 対応
- 電解装置 : 未対応

二次調整力②・三次調整力①②

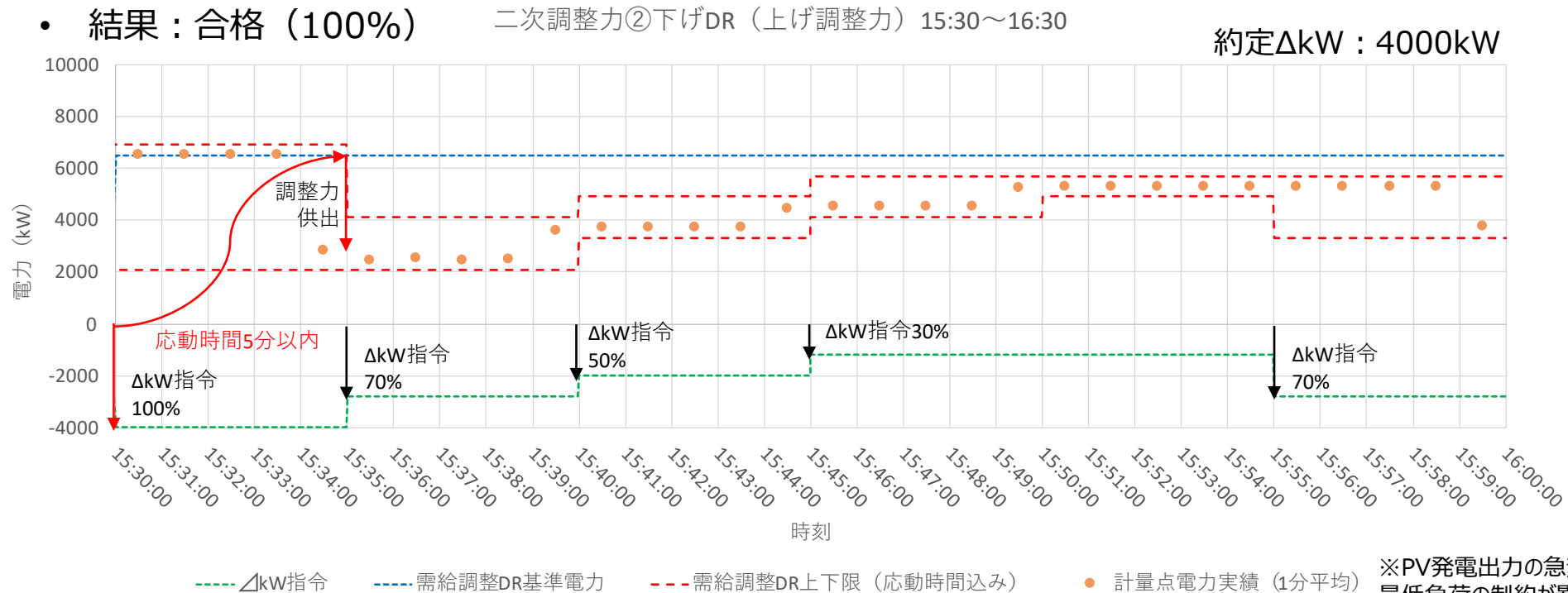
- 制御システム : 対応
- 電解装置 : 対応

**制御システム、電解装置共に
二次調整力②、三次調整力①②に対応可能**

3. 研究開発成果について / 水素I補給[®]-運用システム（試験結果1/4）

■ 試験結果例1：需給調整DR機能（二次調整力②下げDR）確認

- ブロック：15:30～16:00
- 評価対象：1分ごとの全計測点（受電点）
- 評価基準：許容範囲（ ΔkW 約定量の $\pm 10\%$ ）以内に90%（27/30点）以上の計測点が入ることを30分コマ毎に評価
- 応動時間：5分以内
- 結果：合格（100%）

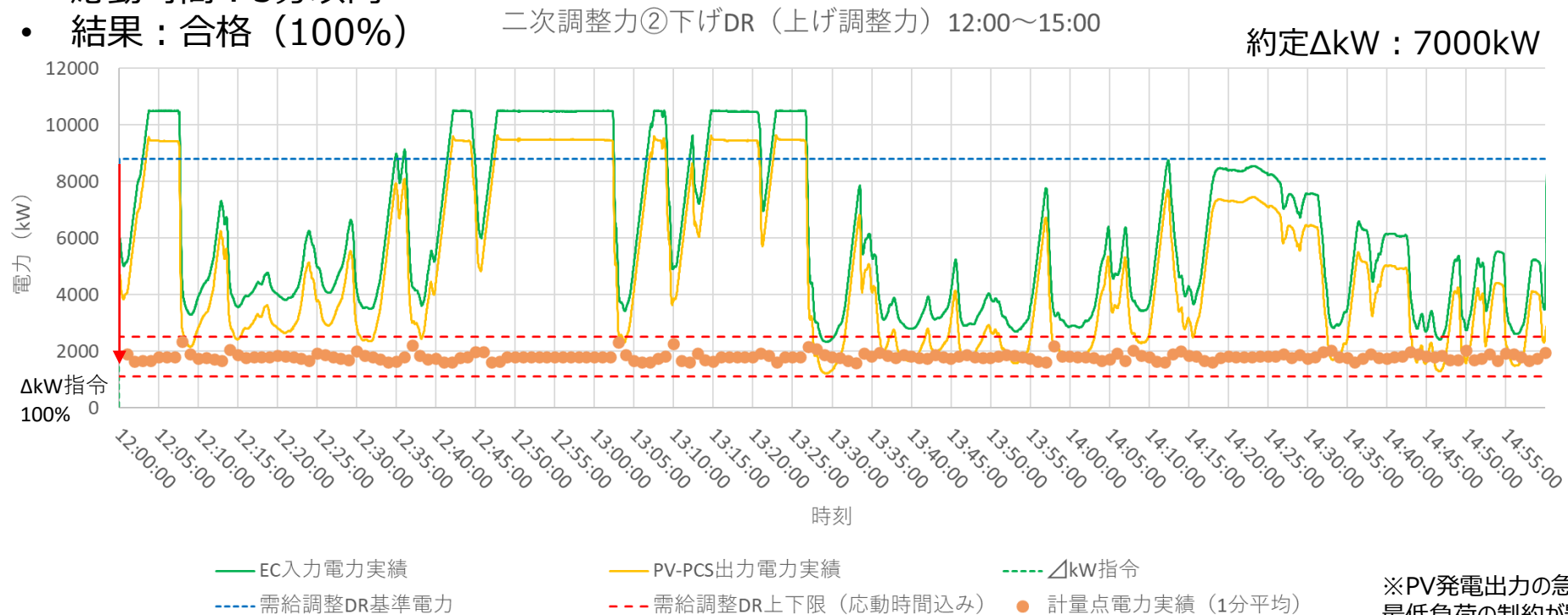


需給調整DR（二次調整力②下げDR）の基準を満たすことを確認

3. 研究開発成果について / 水素I補給[®]-運用システム（試験結果2/4）

■ 試験結果例2：需給調整DR機能（二次調整力②下げDR）確認

- ブロック：12:00～15:00
- 評価対象：1分ごとの全計測点（受電点）
- 評価基準：許容範囲（ ΔkW 約定量の $\pm 10\%$ ）以内に90%（27/30点）以上の計測点が入ることを30分コマ毎に評価
- 応動時間：5分以内
- 結果：合格（100%）



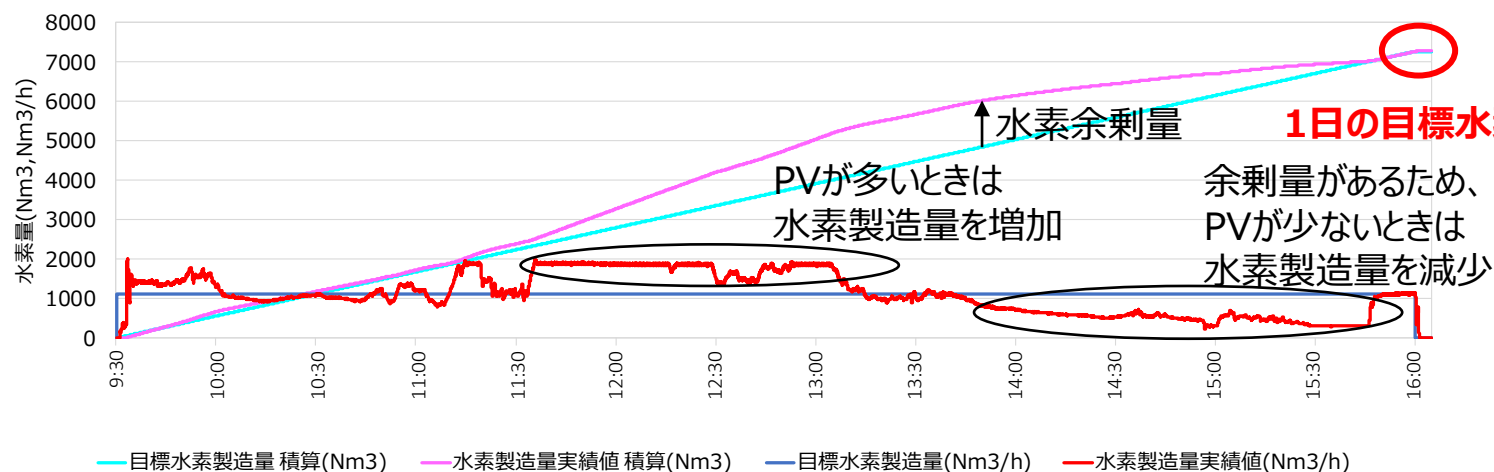
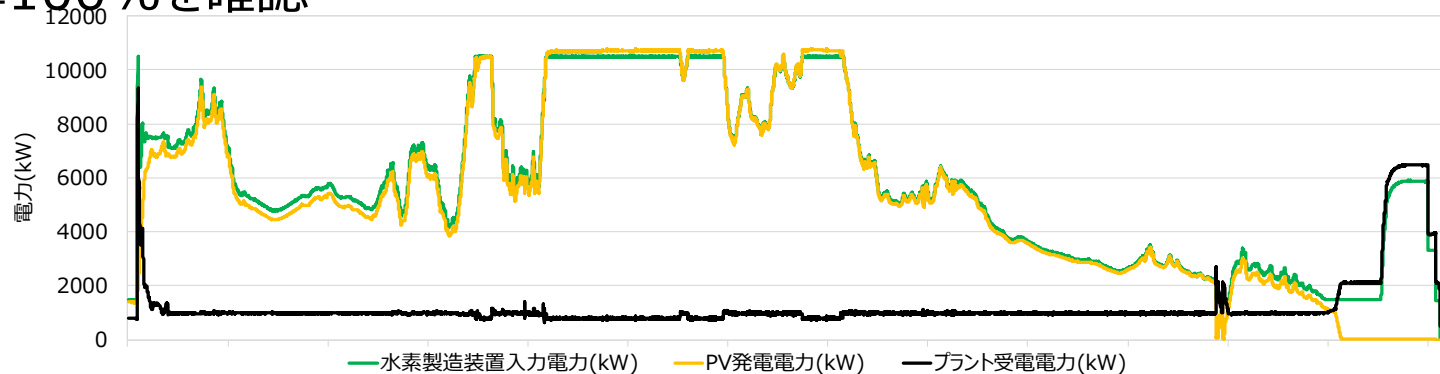
※PV発電出力の急変やFH2R構内の最低負荷の制約が影響しない条件下において

需給調整DR（二次調整力②下げDR）の基準を満たすことを確認

3. 研究開発成果について / 水素I初キ"運用システム (試験結果3/4)

■ 試験結果例3 : 水素需要への充足率の確認

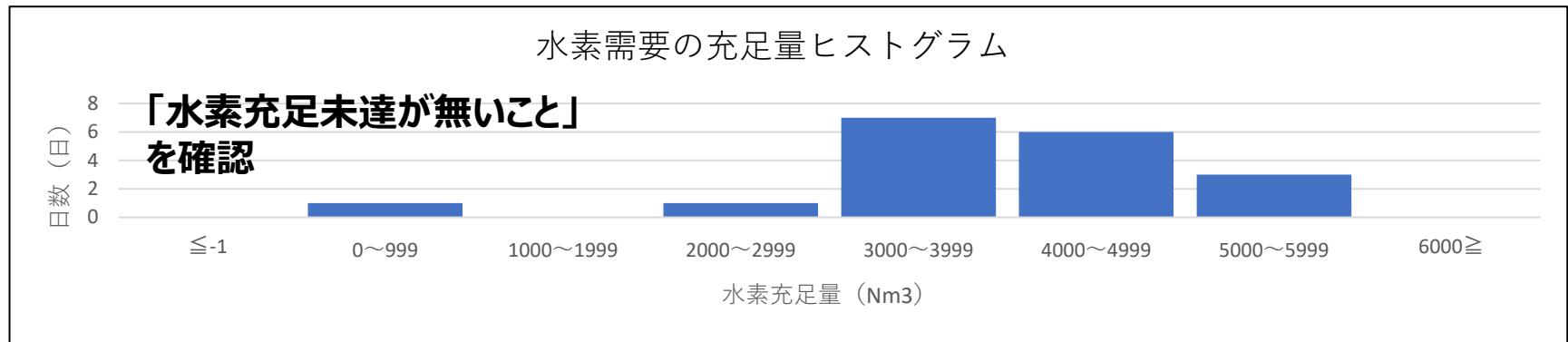
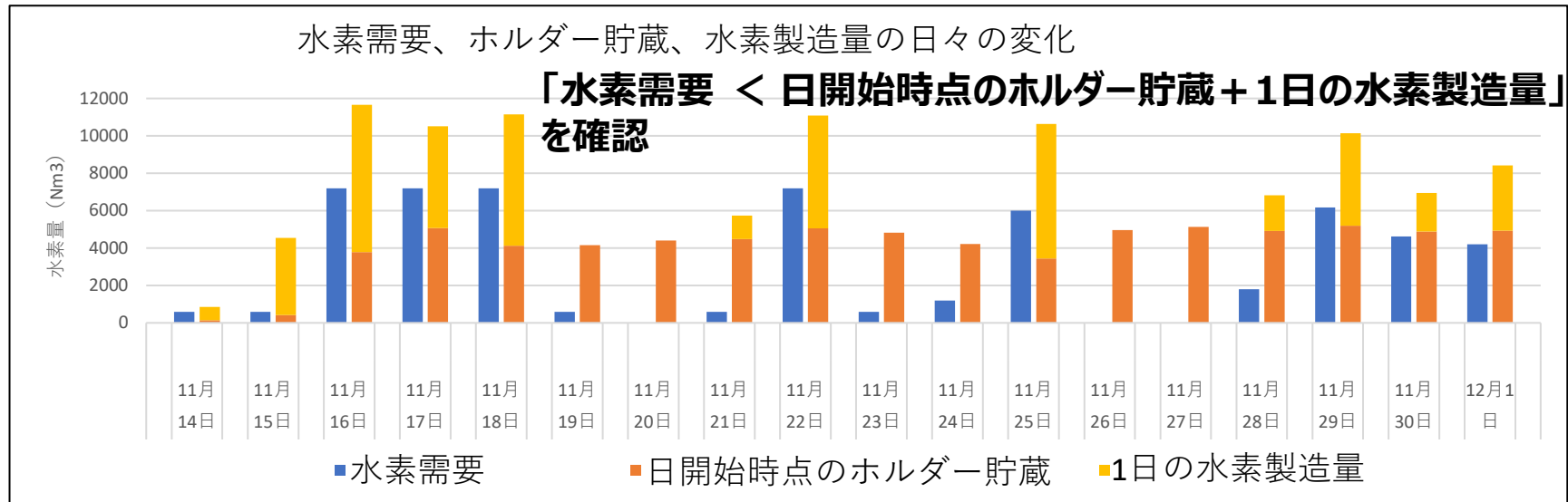
- PVの変動に応じて水素製造装置の電力を制御し、1日の水素需要に対して充足率100%を確認



実機利用し水素充足を確認

3. 研究開発成果について / 水素I初キ[®]-運用システム（試験結果4/4）

■ 試験結果例4：水素需要への充足の分析



試験中毎日水素需要を充足していることを確認

3. 研究開発成果について / 開発項目の成果と達成度

水電解装置分

◎ 大幅達成（特筆すべき成果有り）、○達成（予定通り）、△一部未達、×未達

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
水素製造量	300～2000 Nm3/h	300～2000 Nm3/h	○	
消費電力@2000Nm3/h	≦ 12 MW	≦10 MW(初期)	◎	長期運転後は効率がやや悪化
電力変動レート	± 0.5 MW/s	クリア	○	
水素圧力	≧ 0.8 MPaG	クリア	○	
水素純度	≧ 99.97%	クリア	○	
維持費用の定量評価	維持費用について実績を活用して試算	FH2R10MW実績: 30千円/(Nm3/h)/年	○	
維持費用低減対策の立案	費用削減策について具体的に提案	電解槽部材の交換費用について見直し	○	機械・配管メンテ費が増加。高圧ガス保安法対応が一因
交換頻度の適正化	電解槽運転後の部材劣化程度を評価し、交換周期を見直し	シャットダウン時の逆電による触媒劣化を防ぐ 外部負荷装置を考案し実機導入	○	GI事業で継続して取り組み
大規模化した場合の維持費用試算	スケール効果を見越した維持費用の検討	100MW予想: 19千円/(Nm3/h)/年	○	METIロードマップ目標4500円/(Nm3/h)/年(@2030年)の達成可能性の検討
低コスト化・易メンテナンス化	構造見直しによる電解槽部材交換の低コスト化・易メンテ化	改良技術採用により交換時間を大幅に短縮	○	

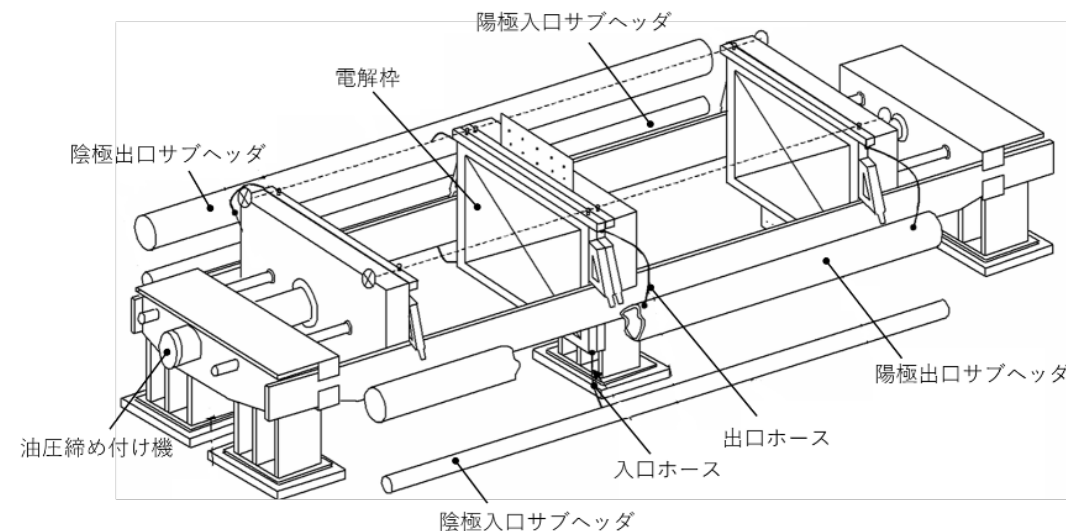
3. 研究開発成果について / 水電解装置の開発

10MW級大型アルカリ水電解装置の性能と実績



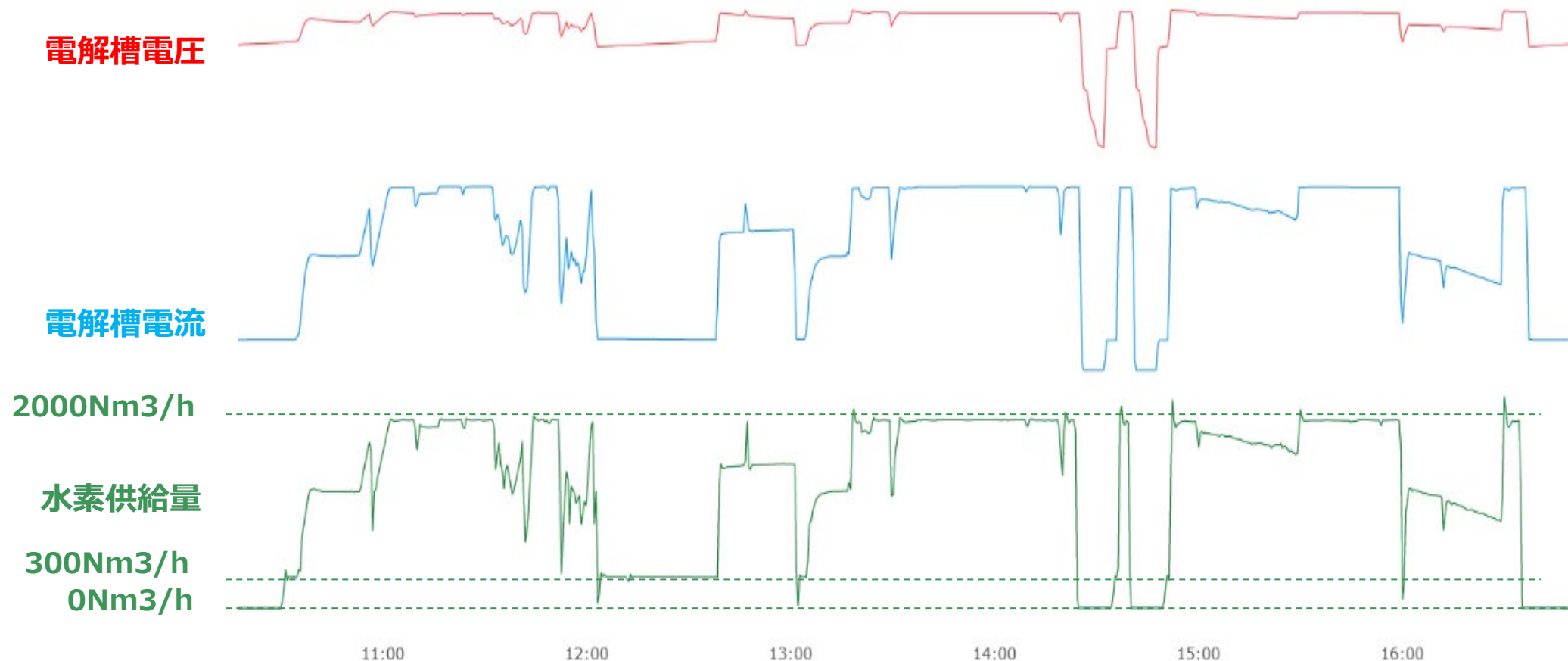
電解セル数	: 170セル
消費電力	: 最大12MW
水素製造量	: 300~2000Nm ³ /h可変
出力変動レート	: ±500kW/s (最大出力比で約5%/s)
電解槽圧力	: 0.07MPaG(0.7気圧)
システム出口水素圧力	: 0.8MPaG(8気圧)以上
システム出口水素純度	: 99.97%以上 (ISO14687 Type I, Grade D準拠)

- ✓ 変動運転、多頻度発停に対応
- ✓ 2020年3月の実証運用開始から震度6強の地震を2回経験するも、安定的に自動停止。ガス漏れ・液漏れ無し



3. 研究開発成果について / 水電解装置の開発

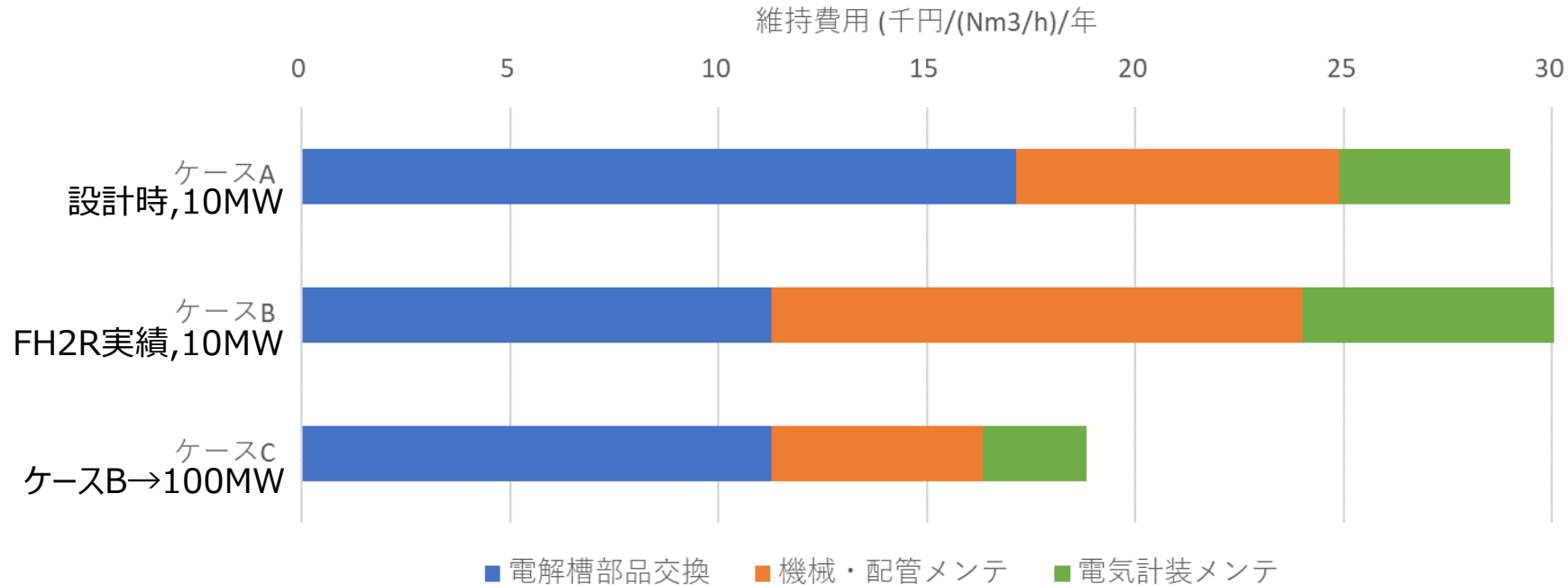
変動運転実績例



- 急峻な変動指令や短時間の電解停止・再稼働に対し、水電解システムは問題無く応答
- 変動応答性はアルカリ水電解装置の弱点とされてきたが、機器・制御の独自技術開発により解決

3. 研究開発成果について / 水電解装置の維持費評価と低減検討

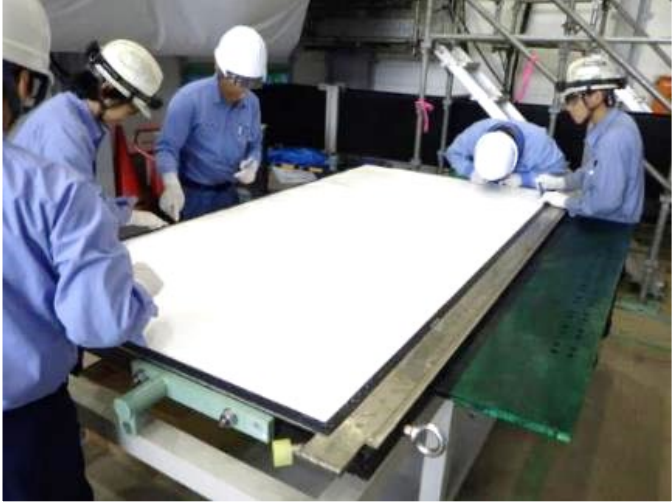
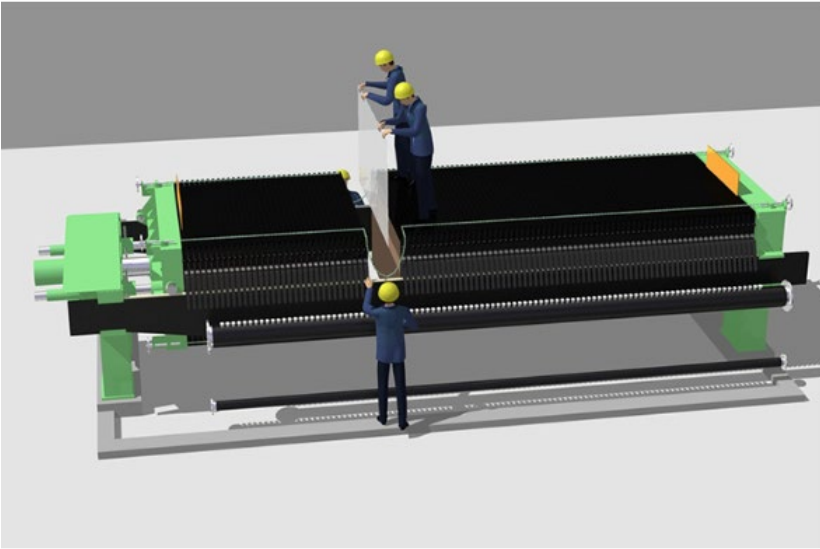
年間平均維持費用の比較



- 実績維持費用(ケースB)の総額は、設計時見積もり(ケースA)とほぼ同レベル。電解槽部材費用は低減したが、機械・配管メンテ費用が設計時以上に増額したことに起因。
→水電解装置の圧力は1MPa未満だが、高圧ガス保安法上の「ガス設備」に分類され、検査項目が増えたことが一因
- 100MW規模にすることで、機械・配管、電気計装のメンテ費用にスケール効果が見込める。一方、電解槽部材交換費用は10MWから変化なし。結果的にトータルの維持費用は減少。

3. 研究開発成果について / 低コスト化・易メンテナンス化

膜交換方法の見直しによるダウンタイム短縮

従来方法	改良技術
 <p data-bbox="529 892 1161 1058">電解枠を1枠ずつ取り出し、作業台で横倒して膜を交換後、クレーンで戻す</p>	 <p data-bbox="1403 933 2074 1043">電解枠を締付機にセットした状態で膜をインストール</p>
交換ダウンタイム：1か月前後	交換ダウンタイム：1週間以内

2023年2～3月の電解槽改造により、改良技術を実装した

3. 研究開発成果について / 特許

知的財産権の確保に向けた取り組み

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	計
特許出願（うち外国出願）	4 (0)	2 (0)	2 (0)	1 (6)	1 (2)	10 (8)

※2023年3月31日現在

(※)

2021年度の外国出願は2018年度のPCT出願を移行したものの、
今後も同様に移行する予定。

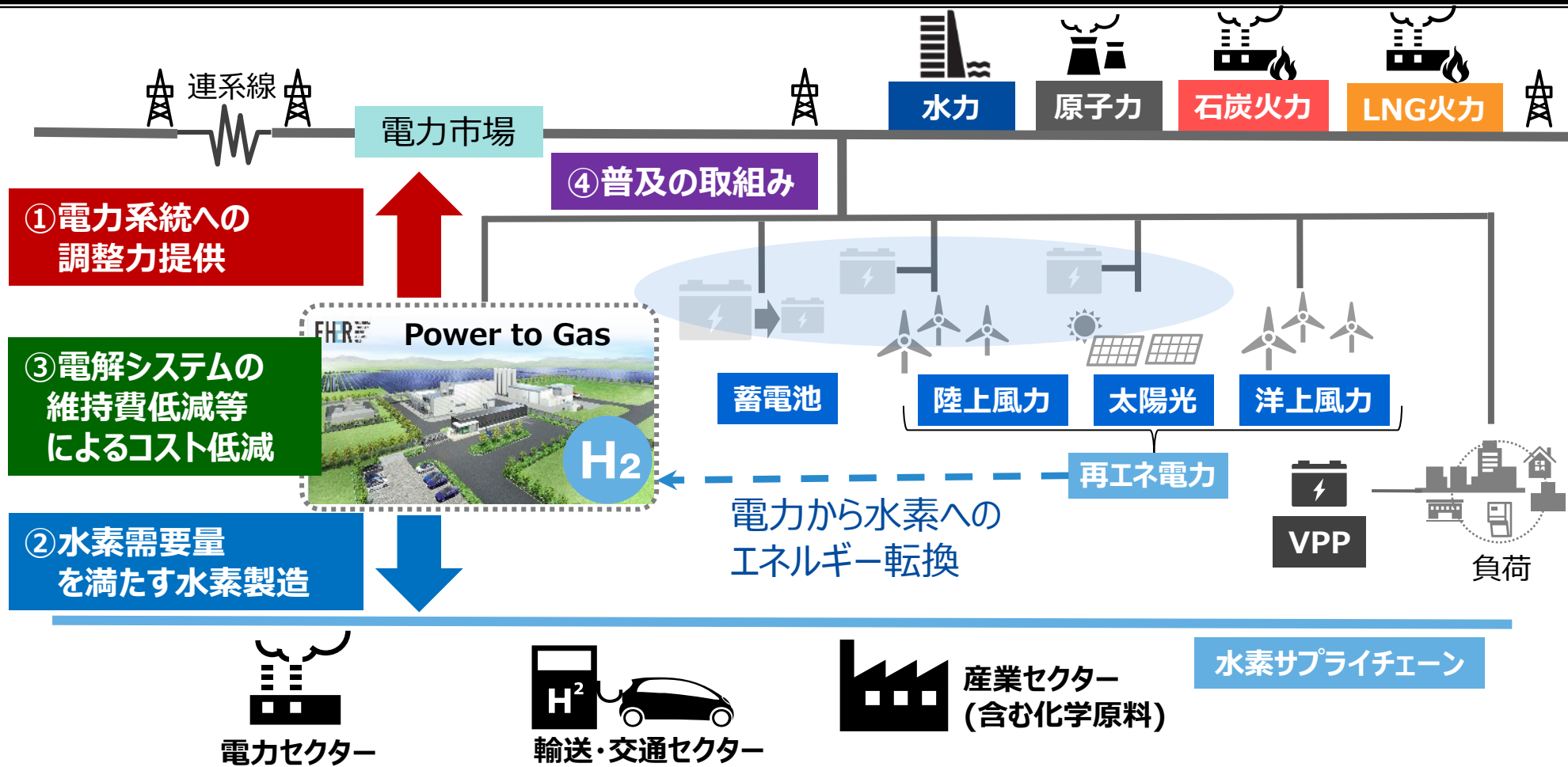
(※)

PCT出願とは

<https://www.jpo.go.jp/system/patent/pct/seido/kokusai1.html>

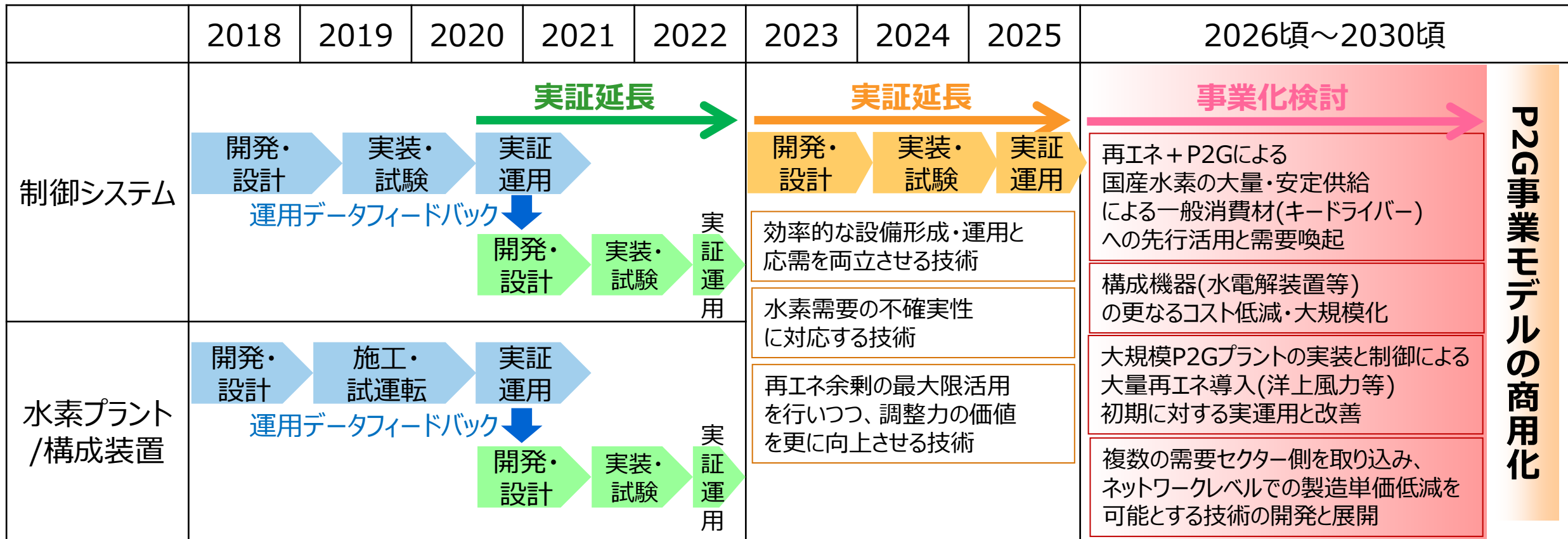
今後の見通しについて

4. 今後の見通しについて / 実用化・事業化のイメージ



「電力システムへの調整力」と「水素製造」の2つの価値(収入)を
1つのPower to Gasシステムで実現し、低コストの水素製造を実現する

4. 今後の見通しについて / 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み



P2G事業モデルの商用化

水素基本戦略
エネルギー基本計画目標

FH2Rを軸に研究開発を行い、Power to Gas実用化を達成し、
多面的・多層的にCNに大きな貢献が出来るように進めていく