

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026 プログラムNo.602-2-05

水素社会構築技術開発事業/地域水素利活用技術開発/
実商用系統を用いた調整力電源の水素混焼運用技術開発と
沖縄地域水素利活用モデル構築

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 岡本 賢志

団体名 沖縄電力(株)、エア・ウォーター(株)（委託先）、(株)りゅうせき（委託先）

問い合わせ先 沖縄電力(株) TEL:098-877-2341 URL:<http://www.okiden.co.jp>

事業概要

1. 事業の位置づけ・必要性
2. 研究開発マネジメント
3. 開発成果について
 - 3-1. 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立
 - 3-2. 発電所向け県内未利用副生水素の供給モデル構築と供給実証
 - 3-3. 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築
4. 今後の見通しについて

事業概要

1. 期間

開始：2023年8月

終了：2026年3月

2. 最終目標

(開発項目 1) 再エネ導入拡大に資する調整力電源の水素混焼発電運用技術の確立

(開発項目 2) 発電所向け沖縄県内未利用副生水素の供給モデルの構築

(開発項目 3) 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築

3. 成果概要

(開発項目 1)

2024年3月より吉の浦マルチガスタービン発電所にて、水素混焼実証試験を開始(定格35MW、混焼比率30vol%を達成)

2024年度以降、実施計画に定める各種試験を実施し、調整力電源における**水素混焼発電運用技術**を確立した。

(開発項目 2)

沖縄県内の未利用副生水素供給モデル構築に向け、副生水素の成分分析や供給設備・体制等の検討を実施した。

(開発項目 3)

余剰再エネ電力を活用したターコイズ水素及びカーボンナノチューブ (CNT) の製造コストについて、

DMR設備(メタン直接改質設備)の運転条件別に試算を実施した。

事業概要

- 沖縄県中頭郡中城村に位置する吉の浦マルチガスタービン発電所（LNG火力、定格出力35MW）にて**最大体積比率30vol%の水素混焼実証試験**を行い、調整力電源における水素混焼発電技術の確立を目指した。
- 沖縄県内で発生する未利用副生水素の発電利用による供給モデル構築を検討した。
- 再エネ電力を有効活用したターコイズ水素の製造モデル構築に向け検討した。



事業概要

1. 事業の位置づけ・必要性

2. 研究開発マネジメント

3. 開発成果について

3-1. 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

3-2. 発電所向け県内未利用副生水素の供給モデル構築と供給実証

3-3. 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築

4. 今後の見通しについて

1. 事業の位置付け・必要性

- 再エネ導入拡大に伴い、電力系統の負荷変動、周波数変動は増加し、調整力としての火力電源の重要性は更に増加する。
- 調整力電源における水素混焼運用技術確立は、再エネ導入拡大と調整力電源のCO2排出削減の両方に寄与できるカーボンニュートラルの実現に向けた重要な取り組みとなる。
- 水素利用を推進するため、水素の供給モデル構築および再エネを活用した水素製造モデル構築も重要な取り組みとなる。

調整力電源としての水素混焼発電運用技術開発によるカーボンニュートラルへの寄与



<開発項目 1>

調整力を担う火力電源への水素混焼運用技術確立がカーボンニュートラルの実現に向け重要となる

<開発項目 2>

FS調査事業において、沖縄県内の副生水素が実証用水素供給源となる可能性を確認

<開発項目3>

FS調査事業において、沖縄県内において再エネ電力を熱源としたターコイズ水素製造の可能性を確認

事業概要

1. 事業の位置づけ・必要性

2. 研究開発マネジメント

3. 開発成果について

3-1. 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

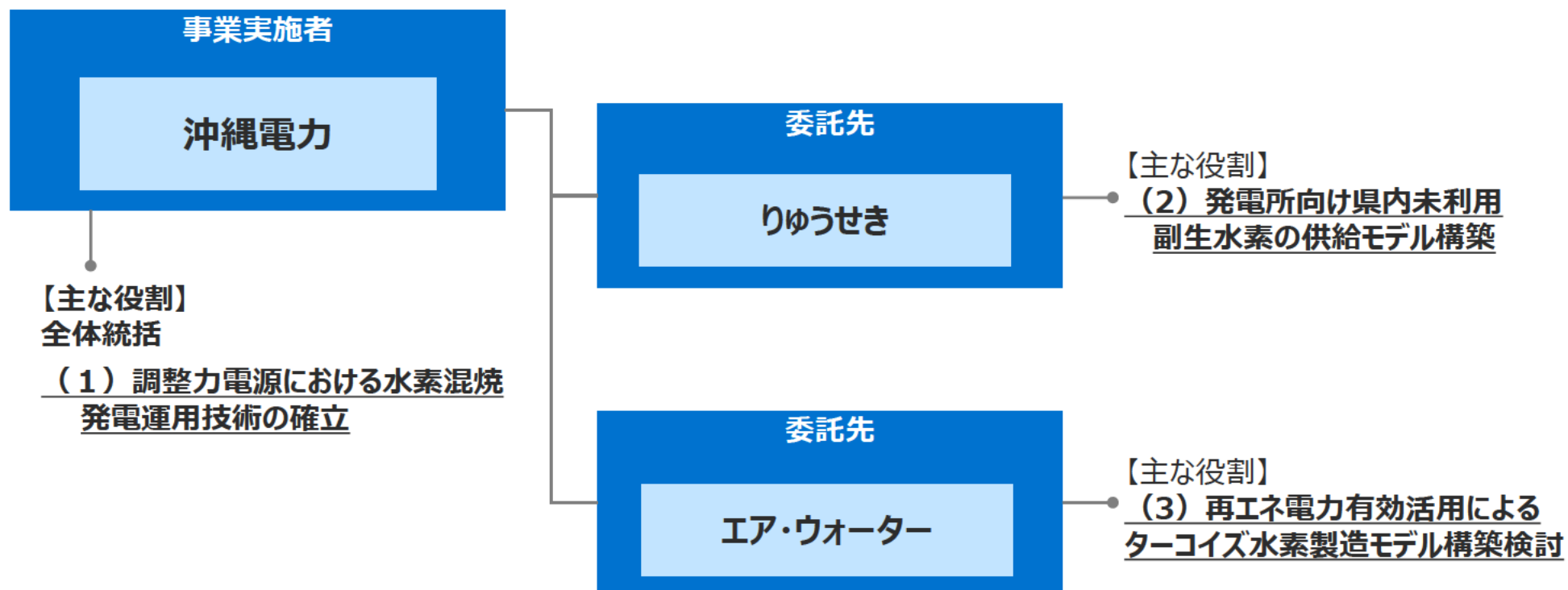
3-2. 発電所向け県内未利用副生水素の供給モデル構築と供給実証

3-3. 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築

4. 今後の見通しについて

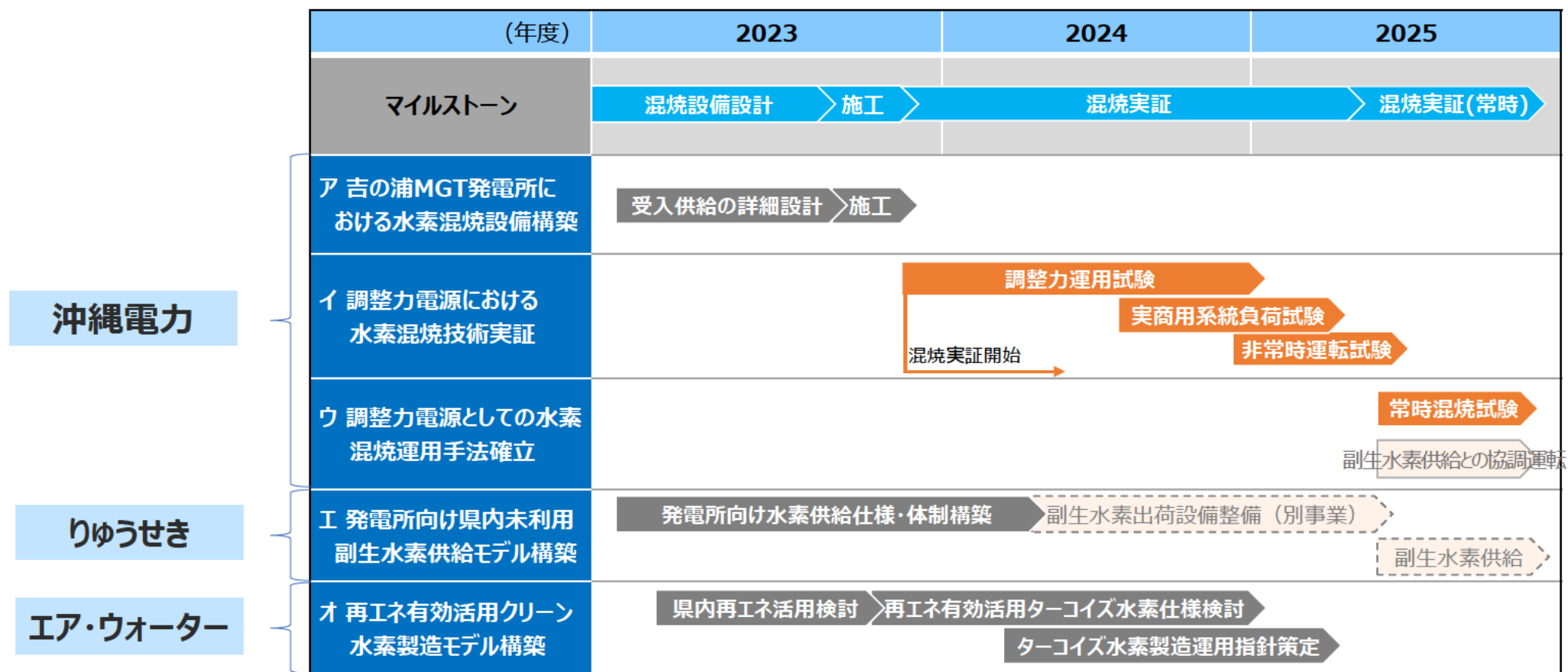
2. 研究開発マネジメントについて

研究開発の実施体制



2. 研究開発マネジメントについて

研究開発のスケジュール



事業概要

1. 事業の位置づけ・必要性
2. 研究開発マネジメント
3. 開発成果について
 - 3-1. 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立
 - 3-2. 発電所向け県内未利用副生水素の供給モデル構築と供給実証
 - 3-3. 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築
4. 今後の見通しについて

3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

①. 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

■島嶼部あるいは小規模系統（将来的には再エネ導入拡大する各地）で顕著に見られる**周波数変動対応としての水素混焼技術／運用技術**について、小規模独立系統であり**周波数変動の著しい沖縄エリア**において先行して実証試験を行う。

商用ピーク電源での運用に必要な技術課題

商用電源・ピーク電源に求められる運用時の安全、
安定的な水素混焼発電の起動停止手法や混焼の制御精度等

水素燃料供給開始時の出力調整
(適切な水素混焼起動停止手法の確立)

安定的な無負荷運転への移行



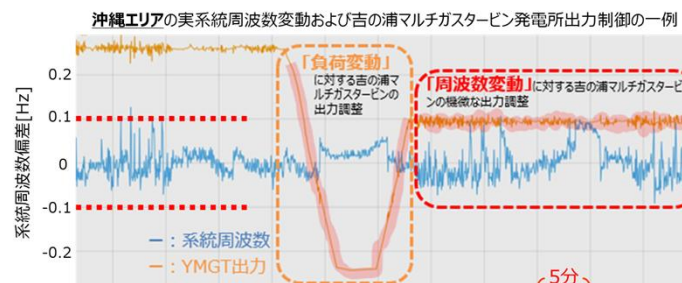
周波数変動の著しいエリアでの運用に必要な技術課題

急峻な負荷・周波数の変動への対応

水素混焼によるNOx値変動

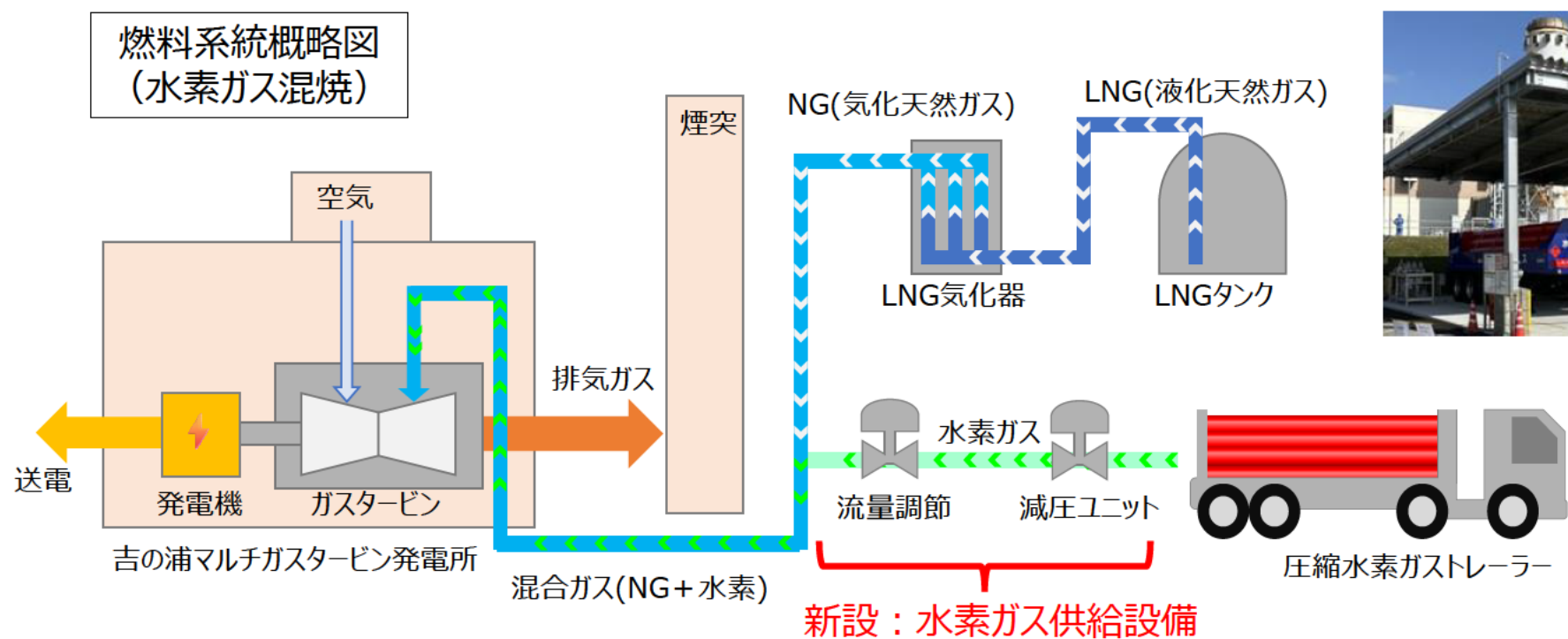
水素混焼による出力制御等への影響

急峻な周波数変動に対する安定運用性の確保



3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

- 既存の天然ガス燃料系統に割り込ませる形で**水素ガス燃料系統を新設**した。
- 水素を混焼するための制御、燃料配管改造および水素受入供給設備の設置工事を実施。



3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

- 試験①～⑤にて水素混焼技術の性能を確かめた後、**系統運用模擬試験・実商用系統負荷試験**を実施した。
- 様々な条件下で水素混焼試験を実施し、調整力電源における水素混焼運用に必要な知見を獲得した。

試験項目	試験結果の評価
試験① 天然ガス⇄水素混焼切替試験	・ 天然ガス専焼⇄水素混焼へ切替え後も問題なく運転が継続できることを確認
試験② 各負荷・混焼率試験	・ 各負荷（11～35MW）および各混焼率（5～30vol%）において問題なく運転が継続できることを確認
試験③ 保護インターロック試験	・ 保護インターロック機能が正常に動作して水素遮断されることを確認 ・ 水素遮断時の排気ガス温度制御改善のため、制御ロジック変更を実施
試験④ 負荷遮断試験	・ 問題なく無負荷運転へ移行されることを確認
試験⑤ 混焼率スイング試験	・ 負荷および混焼率を変動させても安定的な運転が継続できることを確認
系統運用模擬試験	・ 出力スイング試験やステップ応答試験により系統の出力変動を模擬 ・ 出力変動指令に対して安定的に出力が追従することを確認
実商用系統負荷試験	・ 系統の負荷変動が大きい時期に試験を実施 ・ 実商用系統下において調整力電源として問題なく運用可能であることを確認

3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

試験① 天然ガス⇒水素混焼切替試験

・ 天然ガス専焼から水素混焼へ切り替えた際の運転状態を確認。※初期混焼率5vol%から目標混焼率まで上昇

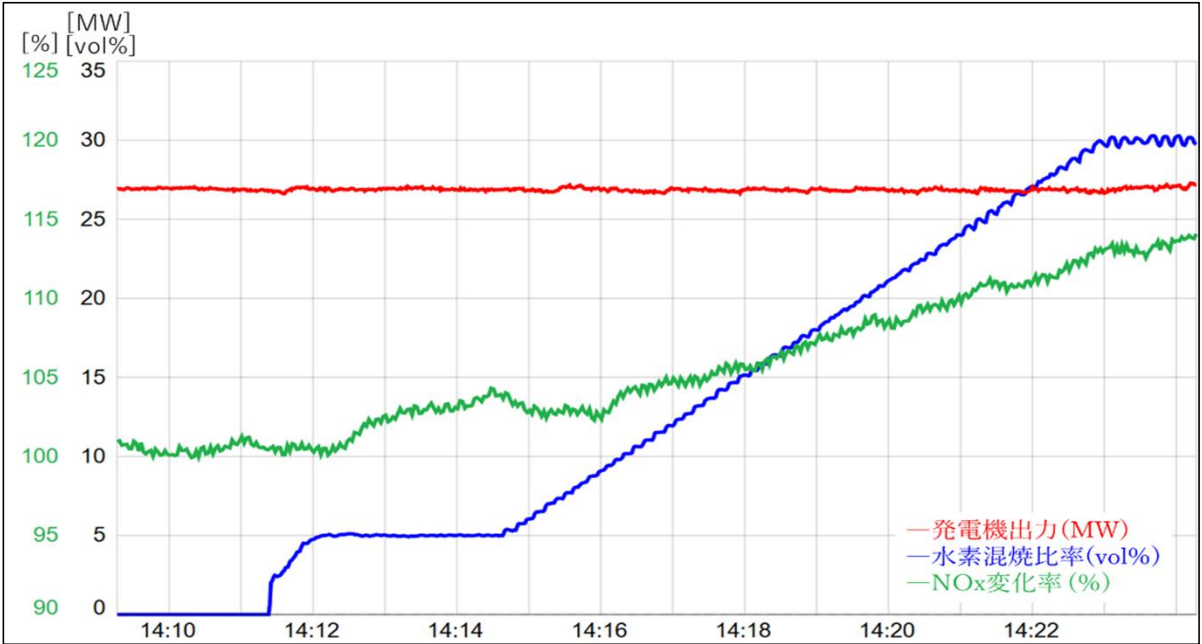
試験結果

- ・ 出力が落ち込んだり乱れたりすることなく、水素混焼状態への移行が可能であった。
- ・ LNGから水素混焼への切替では排気ガスNOxが15%程度上昇するものの、環境協定値はクリア。

試験①

天然ガス⇒水素混焼切替試験 (例)

水素混焼率：0vol%→30vol%
出力：27MW



3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

試験② 各負荷試験

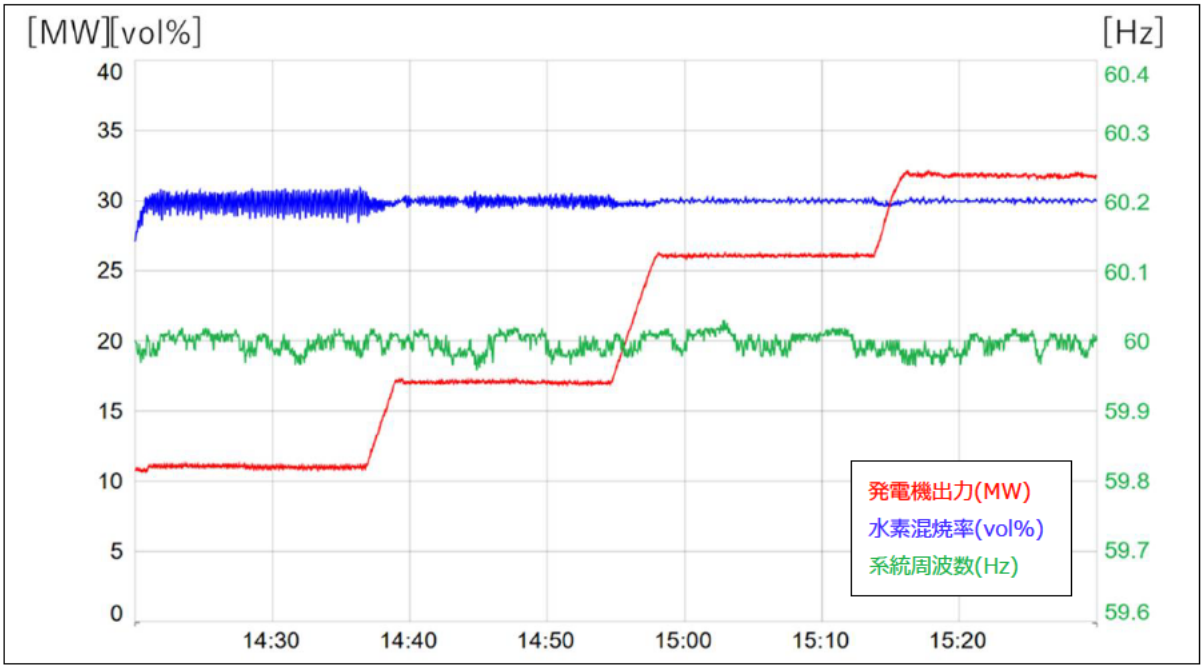
・水素混焼率一定の条件下で各負荷（出力）試験を実施し、運転状態について確認した。

試験結果

・各負荷帯において出力が落ち込んだり乱れたりすることなく運転を継続できた。

試験② 各負荷試験 （例）

水素混焼率：30vol%
出力：11MW, 17MW,
27MW, 32MW



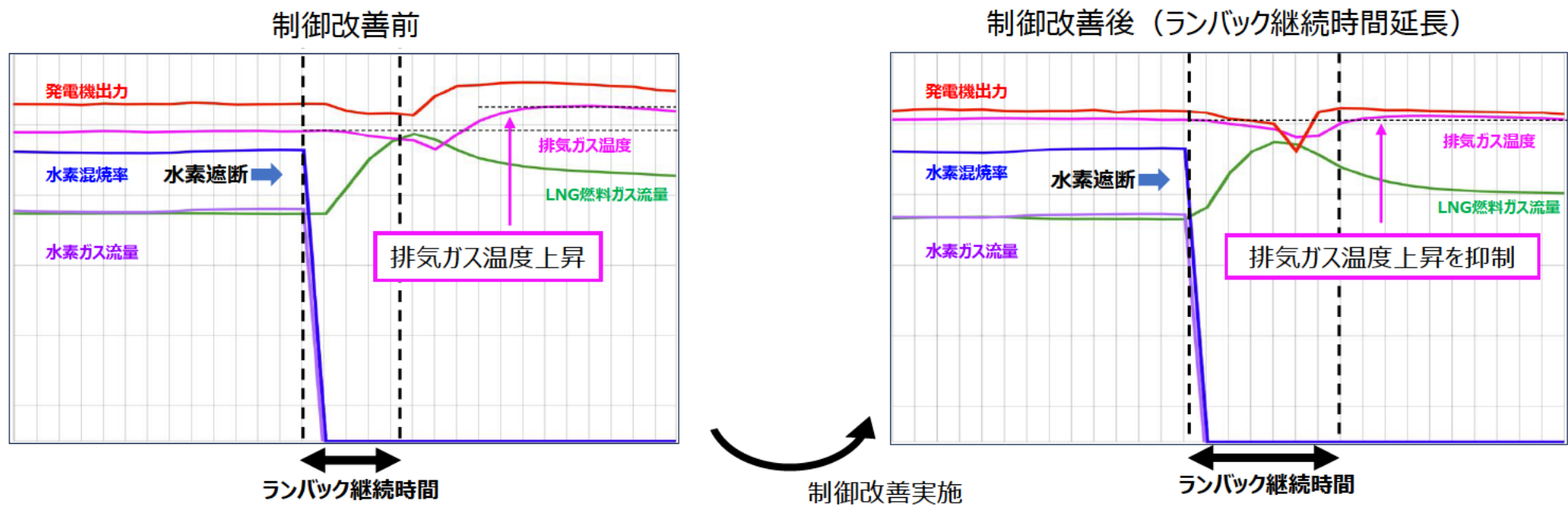
3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

試験③ 水素遮断試験

- ・定格出力35MWかつ最大混焼率30vol%での運転中に瞬間的に水素を遮断。
- ・混焼中に水素供給が絶たれて**天然ガス専焼状態に移行**した場合でも安定的な運転が継続可能か検証した。

試験結果

- ・制御ロジック通り、**ランバック動作**（燃料ガス流量調節弁の先行絞り込みによる減負荷）し安定的な運転継続を確認。
- ・過渡応答時、天然ガスへの置換により燃料が一時的に過投入状態となり『**排気ガス温度高**』警報が発報した。
- ・『排気ガス温度高』状態はタービン寿命に影響を与えかねないため、対策として**ランバック継続時間を調整することで排気ガス温度の上昇を抑制**することができた。



3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

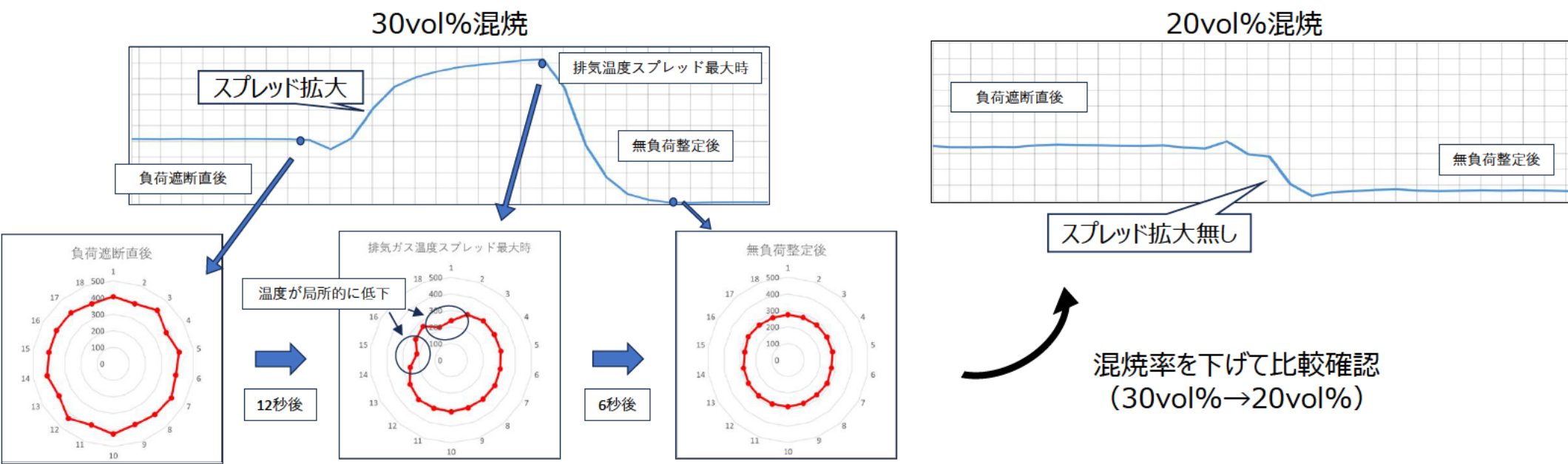
試験④ 負荷遮断試験

・50%負荷での水素混焼運転時に発電機遮断器を動作させ、安定的な**無負荷状態への移行**が可能か確認した。

試験結果

・問題なく安定的に無負荷状態に移行することが可能であったが、過渡応答において排気ガス温度が局所的に下がる部分が生じ、**排気温度スプレッド（排気温度分布の偏り）が拡大**する現象が見られた。

⇒天然ガス専焼時や20vol%混焼時の負荷遮断試験ではこのような現象は生じなかったことから、過渡応答時に供給される燃料のカロリーが低い場合、燃烧器毎の燃烧特性の差が顕著に現れることが要因と考えられる。



3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

試験⑤ 混焼率スイング試験

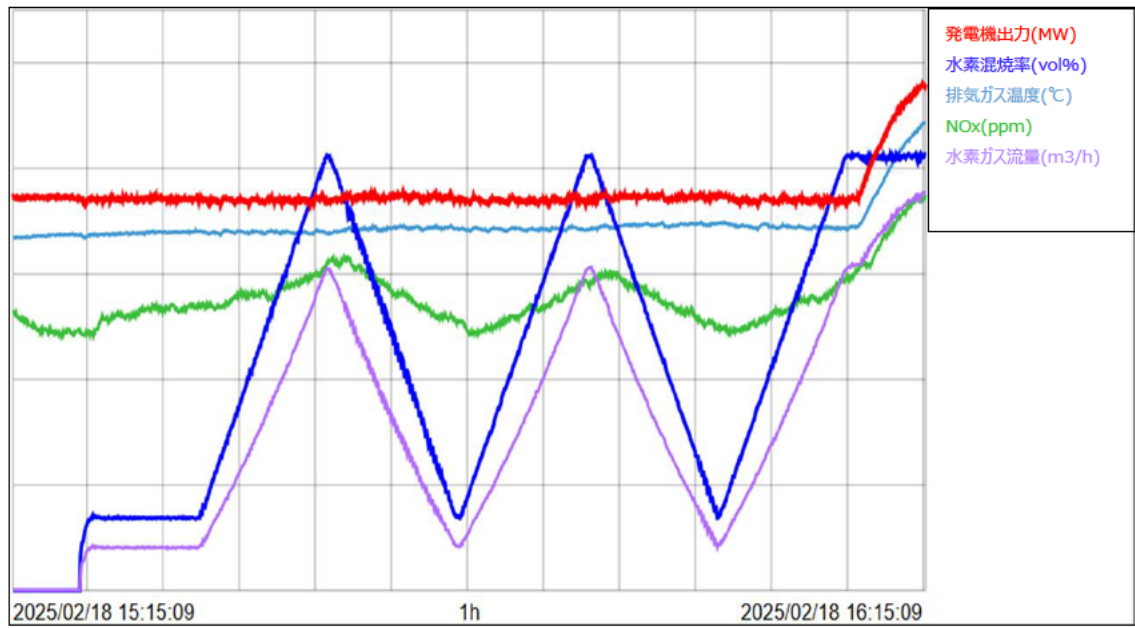
・出力一定の条件下で、連続的に混焼率を変動させた場合の水素ガス流量制御の追従性について確認。

試験結果

・水素ガス流量調節弁の特性上、水素ガスの流量制御が難しくなる低流量域（低開度領域）においても、制御不調による警報発報および水素遮断に至ることなく安定した運転継続が可能であった。

試験⑤ 混焼率スイング試験 （例）

水素混焼率：0vol%⇔30vol%
出力：27MW



3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

出力スイング試験

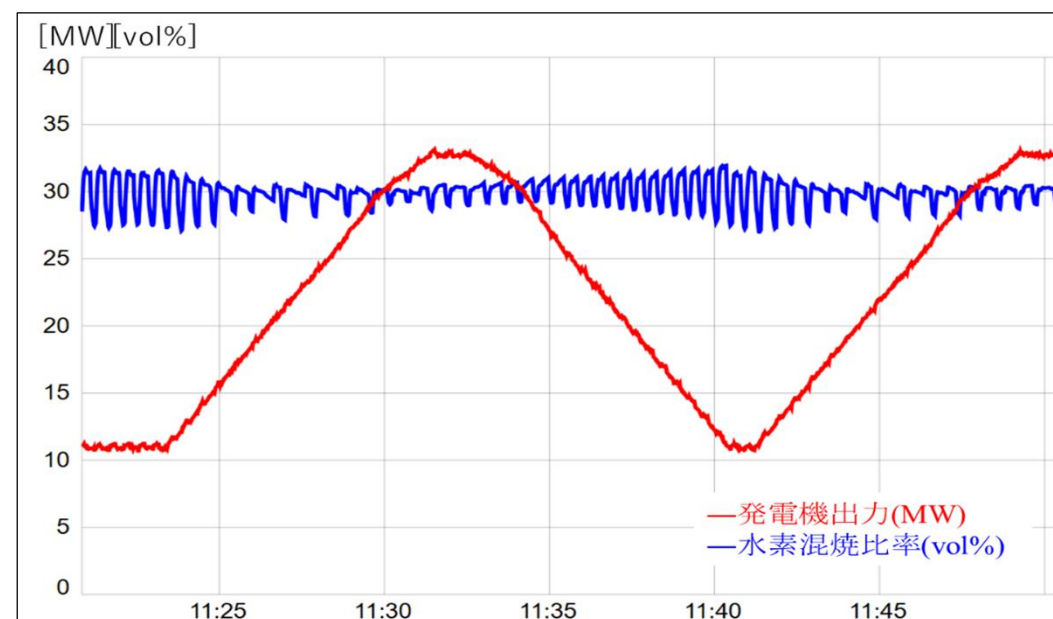
・系統運用で用いられるEDC（Economic load Dispatching Control、経済負荷配分制御）やAFC（Automatic Frequency Control、自動周波数制御）を想定して、数分間以上の周期の負荷変動を与え、安定的に出力を追従できるか確認を行った。

試験結果

・混焼率設定一定の下、中長期周期の出力スイングに対して水素ガス流量制御、および出力制御が十分に追従可能であることが確認できた。

出力スイング試験（例）

水素混焼率：30vol%
出力：11MW⇔32MW



3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

ステップ応答試験

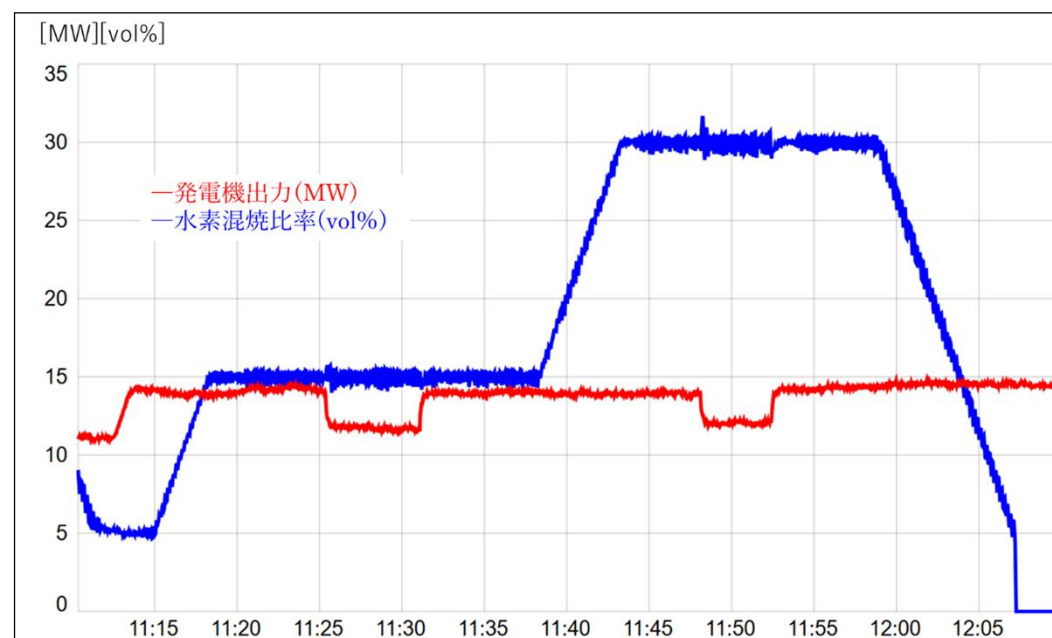
- ・短い数秒から数分程度の周期の負荷変動である**GF（Governor-Free、ガバナフリー）** 信号を模擬したステップ応答試験を実施した。

試験結果

- ・出力一定の状態から、周波数変動に換算したとき $\pm 0.15\text{Hz}$ 相当の**ステップ状の出力変動指令**を与えても水素流量制御や出力制御の追従性に問題がないことが確認できた。

ステップ応答試験（例）

水素混焼率：15vol%, 30vol%
出力：14MW



3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

周波数変動時における実商用系統試験

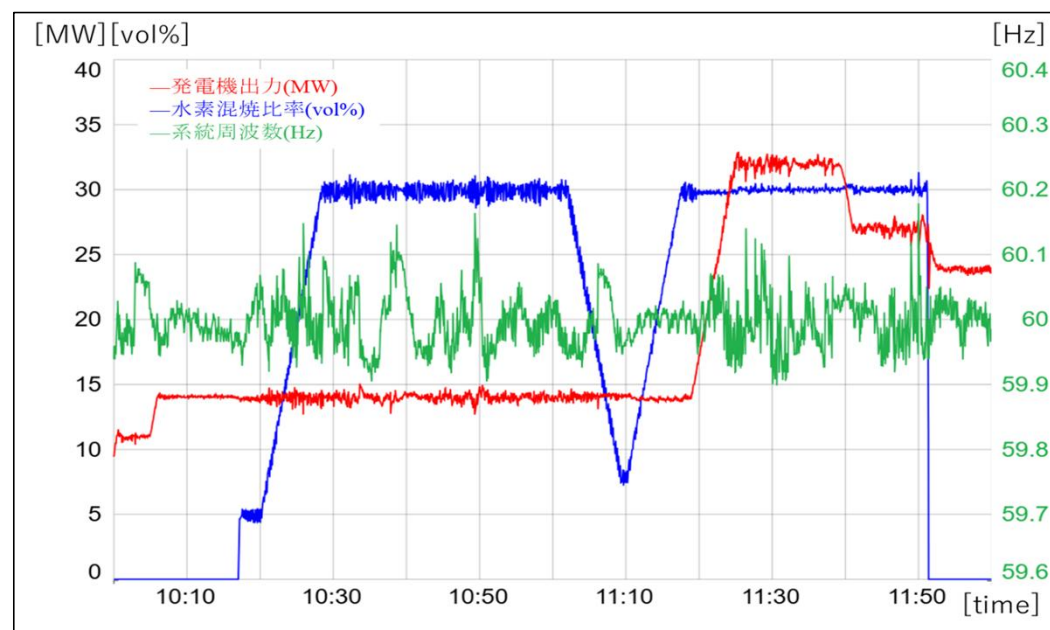
- 各種試験において水素混焼の安定性を確認した後、系統の負荷変動が大きい時期の実商用系統において調整力機能について最終的な確認試験を実施した。

試験結果

- 顕著な周波数変動（大口需要家の操業ON/OFF）が発生しても安定的な水素混焼が可能であり、**実商用系統における調整力電源として十分に機能することが実証された。**

周波数変動時における実商用系統試験（例）

水素混焼率：30vol%
出力：14MW, 32MW



事業概要

1. 事業の位置づけ・必要性

2. 研究開発マネジメント

3. 開発成果について

3-1. 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

3-2. 発電所向け県内未利用副生水素の供給モデル構築と供給実証

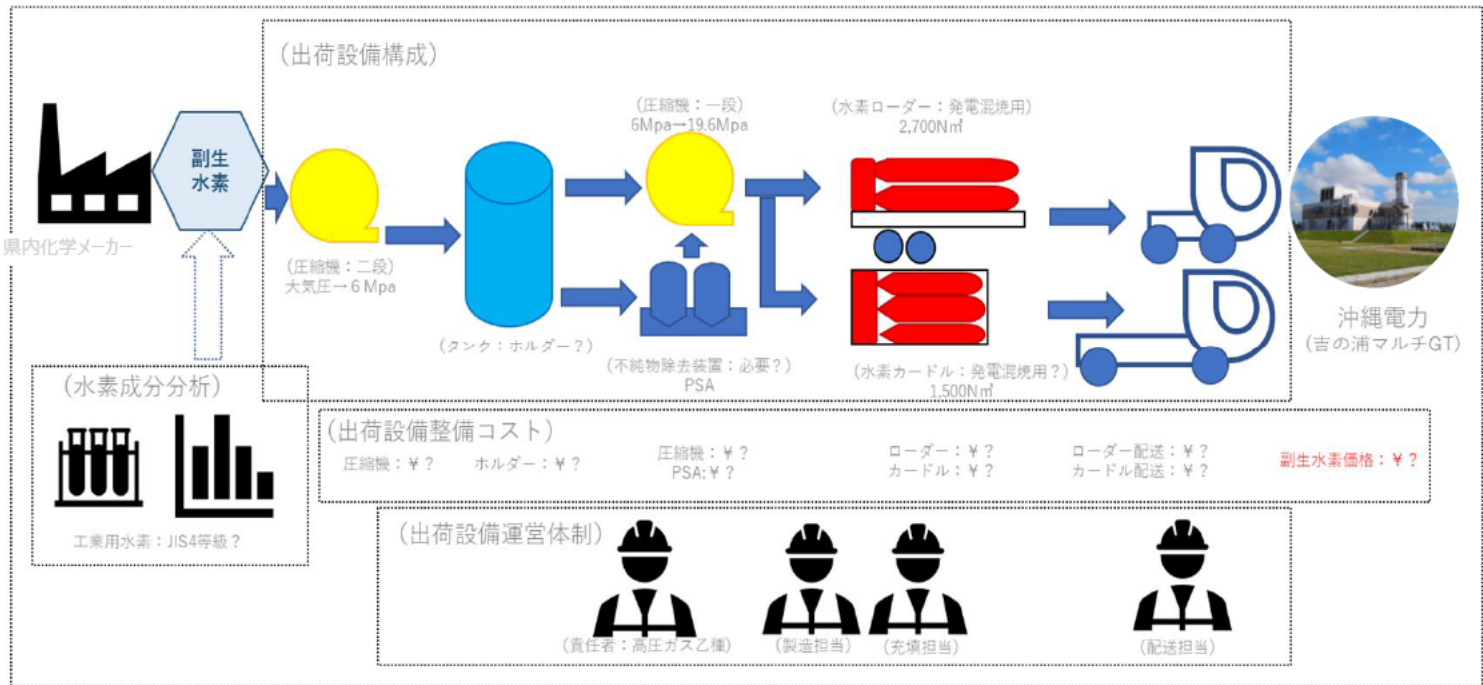
3-3. 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築

4. 今後の見通しについて

3- 2. 発電所向け県内未利用副生水素の供給モデル構築と供給実証

②. 発電所向け県内未利用副生水素の供給モデル構築と供給実証

■沖縄県内の苛性ソーダ工場から大気放散されている未利用副生水素について有効活用の検討を行った。



主な技術課題



- 副生水素の成分分析
- 副生水素出荷設備の構成、運営体制の検討
- 副生水素生成量と発電所水素消費量のバランス調整および発電所への水素供給モデル構築

3- 2 . 発電所向け県内未利用副生水素の供給モデル構築と供給実証

- 未利用副生水素の成分分析を行った結果、「ガスタービン用水素ガス規格」に適合し、水素混焼に活用できることを確認した。
- 発電所への未利用副生水素出荷に向けた機器構成や設備レイアウト、供給体制について検討を実施した。需給タイミングの不一致という課題への対応策を検討し、地産水素を活用した供給モデルを構築することができた。
- 今後、苛性ソーダ工場側の設備構築や供給体制等の条件が整った場合には、副生水素を用いた水素混焼が実現可能になると考えられる。



副生水素サンプリング風景



現地での簡易測定風景

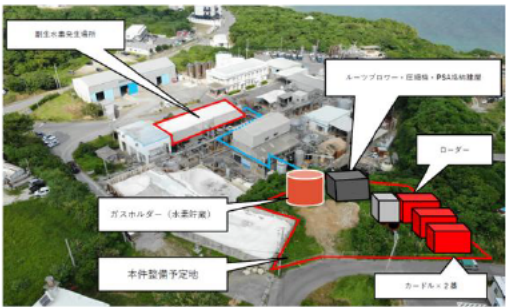
成分分析の結果				
試料名	成分	定量値	定量下限	
副生水素 (塩水電解槽より発生するガス) [8/21、8/22 採取]	硫黄化合物	< 0.004 vol ppm	0.004	vol ppm
	Na+K	< 0.1 wt ppm	0.1	wt ppm
	V	< 0.1 wt ppm	0.1	wt ppm
	Pb	< 0.1 wt ppm	0.1	wt ppm
	Ca+Mg	< 0.1 wt ppm	0.1	wt ppm
	1,2-ブタジエン	< 1 vol ppm	1	vol ppm
	1,3-ブタジエン	< 1 vol ppm	1	vol ppm
	シクロペンタン	< 1 vol ppm	1	vol ppm
	ベンゼン	< 1 vol ppm	1	vol ppm
	スチレン	< 1 vol ppm	1	vol ppm
	インデン	< 1 vol ppm	1	vol ppm
	ナフタレン	< 50 mg/m ³	50	mg/m ³
	BTX	< 1 mg/m ³	1	mg/m ³
	タール	< 1 mg/m ³	1	mg/m ³
	窒素酸化物(NOx)	< 0.5 vol ppm	0.5	vol ppm

注 1：硫黄化合物は受注番号・8894704 の報告書に記載した値を転記した。

注 2：窒素酸化物(NOx)は、NO₂を NO₃に換算し、NO₂と合算した値を示した。

注 3：BTX はベンゼン、トルエン、キシレンを合量した値を示した。

「ガスタービン用水素ガス規格」に記載の要求項目の数値の
全項目について基準値内であるとの結果となった。



副生水素出荷設備整備イメージ



副生水素出荷設備レイアウト図面

事業概要

1. 事業の位置づけ・必要性

2. 研究開発マネジメント

3. 開発成果について

3-1. 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

3-2. 発電所向け県内未利用副生水素の供給モデル構築と供給実証

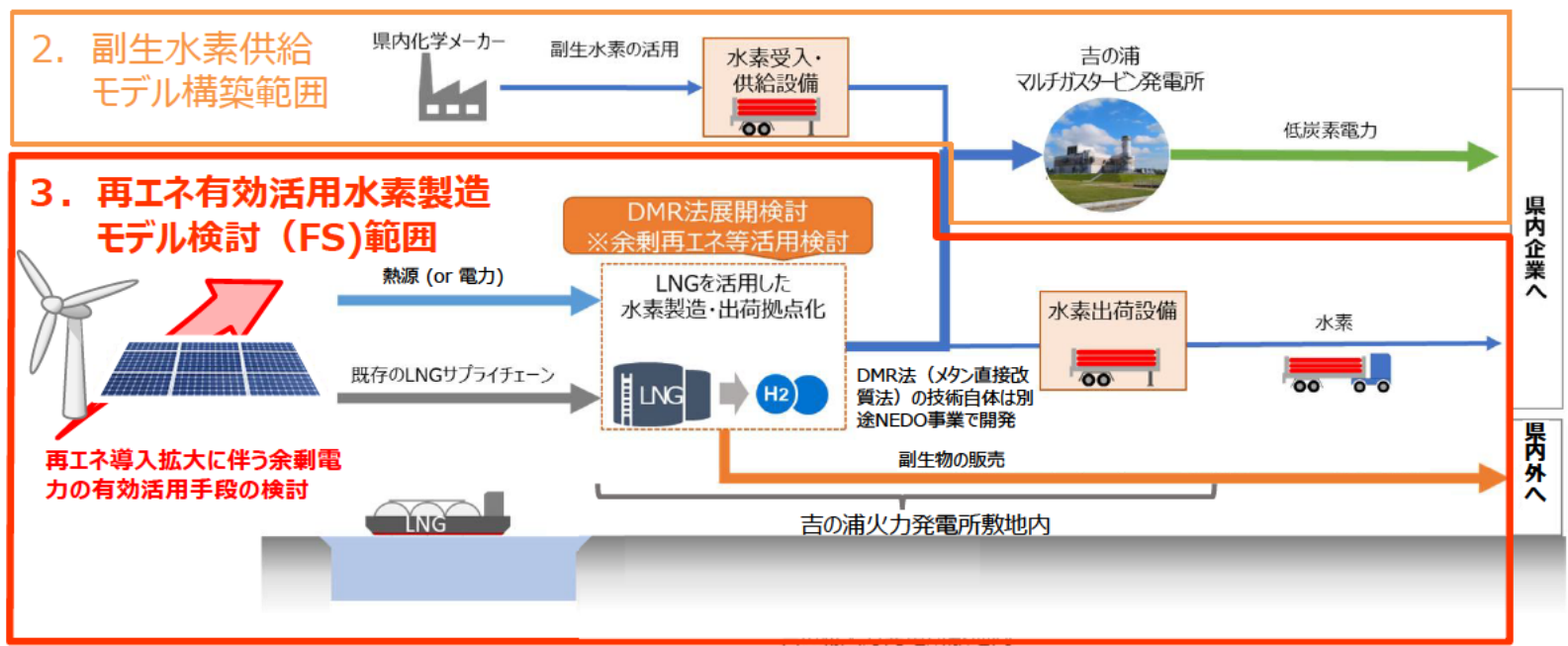
3-3. 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築

4. 今後の見通しについて

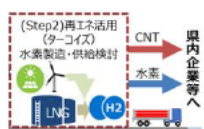
3-3. 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築

③. 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築(FS)

■沖縄県内の余剰再エネ等を有効活用した水素製造手段のひとつとして、ターコイズ水素製造モデル構築に向けた検討（FS）を行った。



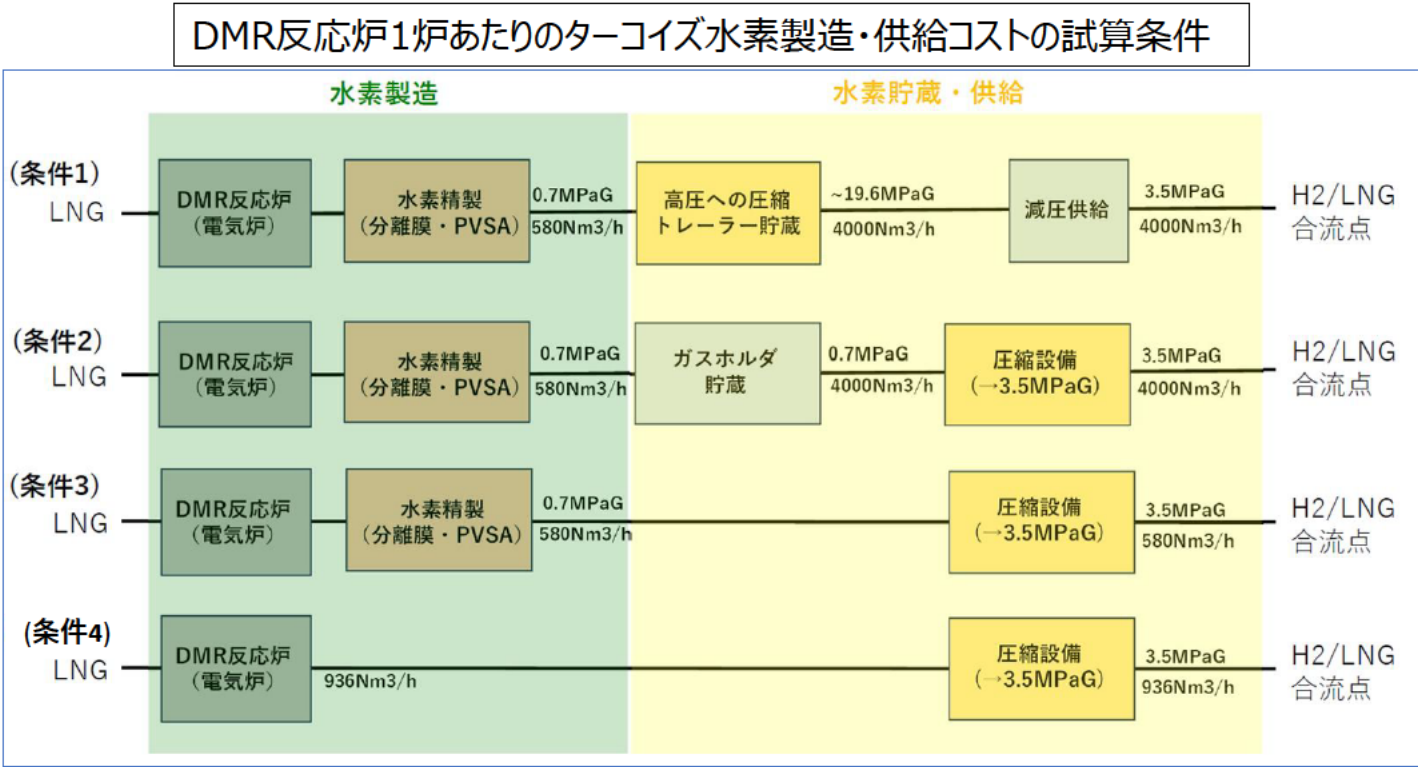
主な技術課題



- 余剰再エネ等を活用したターコイズ水素製造手法の検討
- 水素需要に応じたDMR（メタン直接改質法）装置の運用手法確立

3- 3 . 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築

- 再エネ出力制御由来の余剰電力の実績や将来予測量の各条件データを基に、余剰電力を活用したターコイズ水素及びカーボンナノチューブ（CNT）の製造コストについて、メタン直接改質設備（DMR設備）の運転条件別に試算を実施した。
- 貯蔵方式や電力条件の違いによるコスト試算を実施し、ターコイズ水素製造モデルを構築した。
- CNTを高付加価値製品として販売することでターコイズ水素の価格の低減に寄与することができ、CNTの市場ニーズの高まりに合わせて、調整力電源におけるターコイズ水素の活用について引き続き検討していく。



事業概要

1. 事業の位置づけ・必要性

2. 研究開発マネジメント

3. 開発成果について

3-1. 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

3-2. 発電所向け県内未利用副生水素の供給モデル構築と供給実証

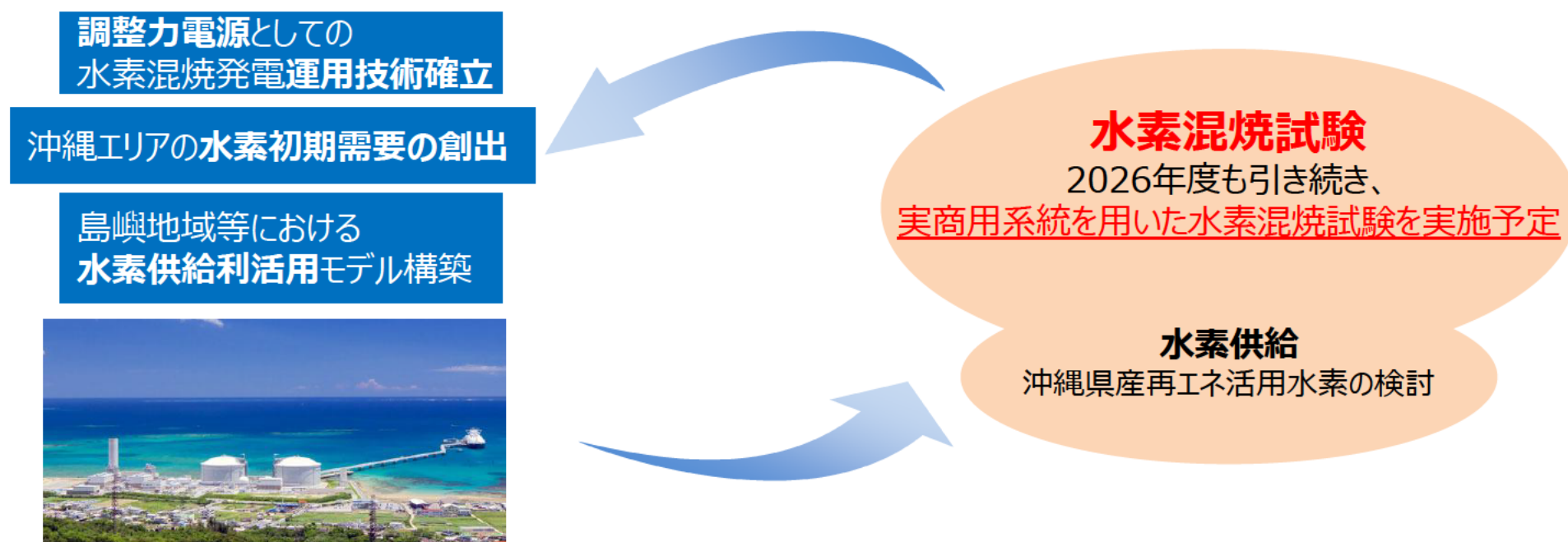
3-3. 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築

4. 今後の見通しについて

4. 今後の見通しについて

NEDO事業終了後の2026年度も調整力電源における水素混焼試験を継続予定

- 調整力電源の水素混焼発電運用技術を確立できた。
- 今後は沖縄県産グリーン水素を活用しながら、実用化に向けたデータ蓄積と本技術の継承を目的として定期的に水素混焼試験を継続実施し、県内における水素初期需要創出と水素サプライチェーン構築に貢献していく。





沖縄電力



2050 おきでん
ZERO
CHALLENGE



おきでん
H2
CHALLENGE

ご清聴ありがとうございました