

発表No.B3-6

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



発表者名 岡本 賢志
団体名 沖縄電力株式会社
エア・ウォーター株式会社（委託先）
株式会社りゅうせき（委託先）
発表日 2025年7月17日

連絡先：真栄田 義一
沖縄電力株式会社
[TEL:098-877-2341](tel:098-877-2341)
[URL:http://www.okiden.co.jp](http://www.okiden.co.jp)

1. 事業概要

2. 事業の位置づけ・必要性

3. 研究開発マネジメントおよび開発成果について

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(FS)

4. 今後の見通しについて

1. 事業概要

1. 期間

開始 : 2023年8月
終了（予定） : 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・進捗概要

（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にて混焼比率30vol%を達成)
2024年度は実施計画に定める各種試験を行い、問題なく水素混焼制御および運転継続できることを確認した

（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

1. 事業概要

- **吉の浦火力発電所内**に設置された**吉の浦マルチガスタービン発電所（出力35MW）**にて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す
- 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目指す
- 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する



体積比率30%
の水素混焼化
改造を実施

1. 事業概要

2. 事業の位置づけ・必要性

3. 研究開発マネジメントおよび開発成果について

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(FS)

4. 今後の見通しについて

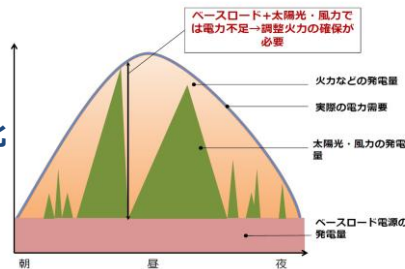
2. 事業の位置付け・必要性

- 再エネ導入拡大に伴い、電力系統の出力変動、周波数変動は増加し、調整力としてのバックアップ火力電源の必要性は更に増加する
- 調整力電源への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2つを獲得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
- カーボンニュートラルの実現に向け持続的に水素の利用を進めるために、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

<課題>

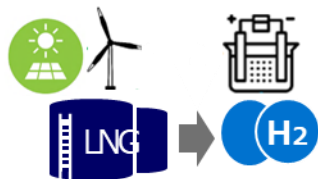
- 電力系統の出力変動、周波数変動の増大
- 余剰電力（出力制御）による再エネの採算性悪化



<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

水電解・メタン直接改質等



<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



1. 事業概要

2. 事業の位置づけ・必要性

3. 研究開発マネジメントおよび開発成果について

3-1. 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

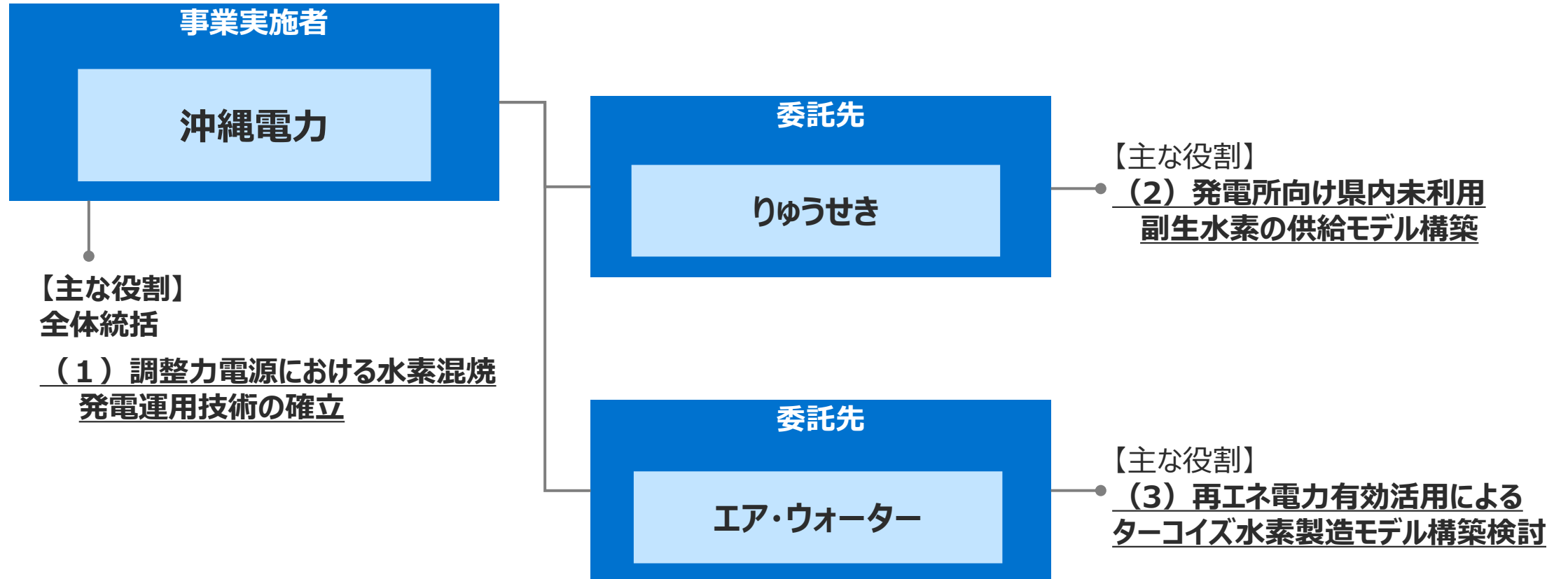
3-2. 発電所向け県内未利用副生水素の供給モデル構築と供給実証

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(FS)

4. 今後の見通しについて

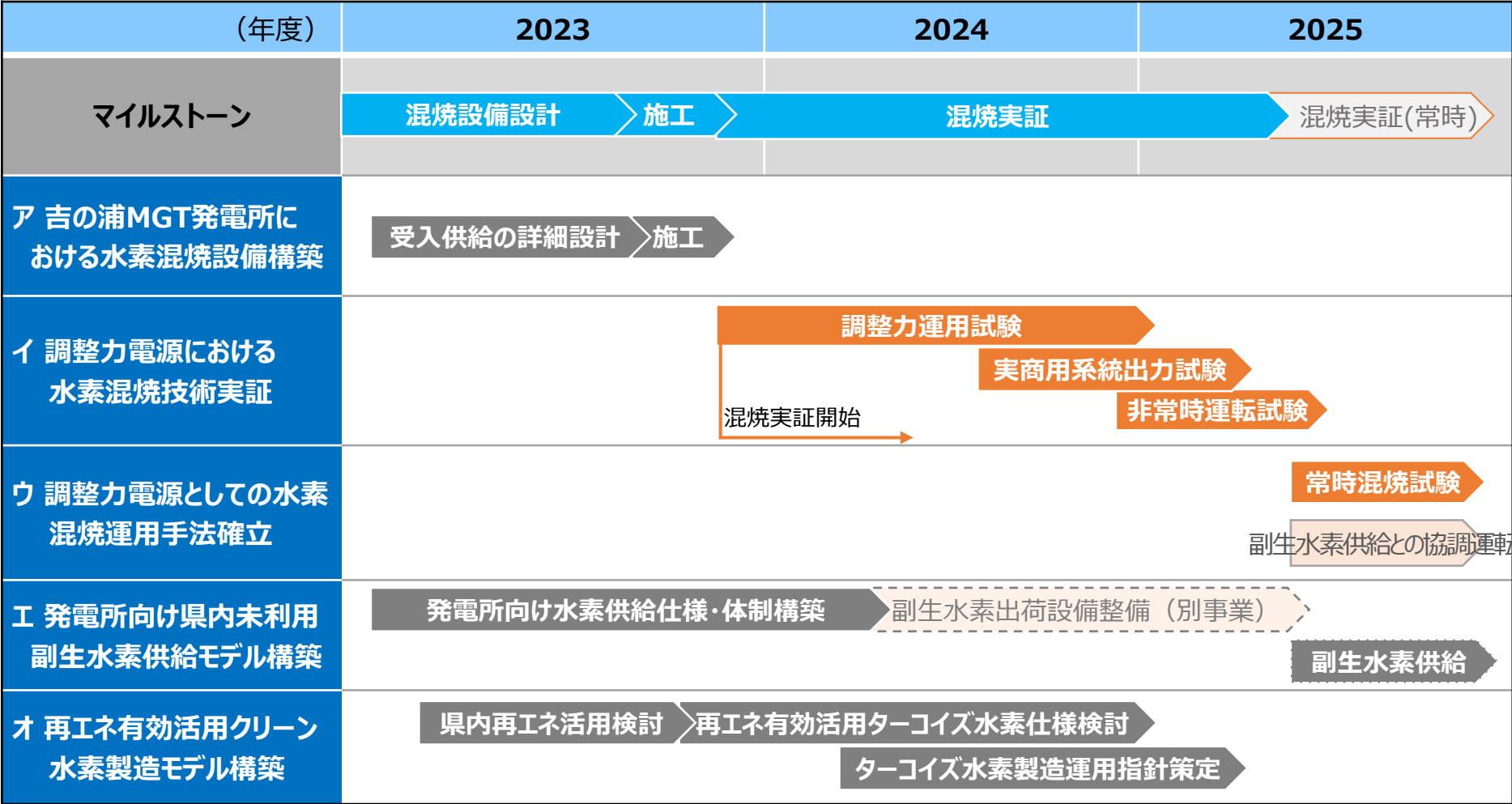
3 . 研究開発マネジメントについて

研究開発の実施体制



3 . 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



1. 事業概要

2. 事業の位置づけ・必要性

3. 研究開発マネジメントおよび開発成果について

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(FS)

4. 今後の見通しについて

3-1. 研究開発マネジメントについて

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)

ユニットトリップ（急停止）時の安全な水素 ページ



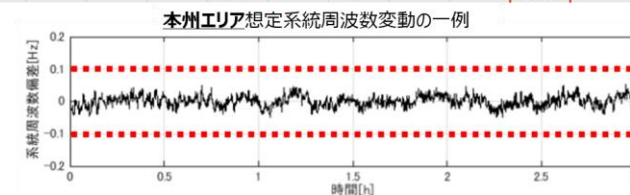
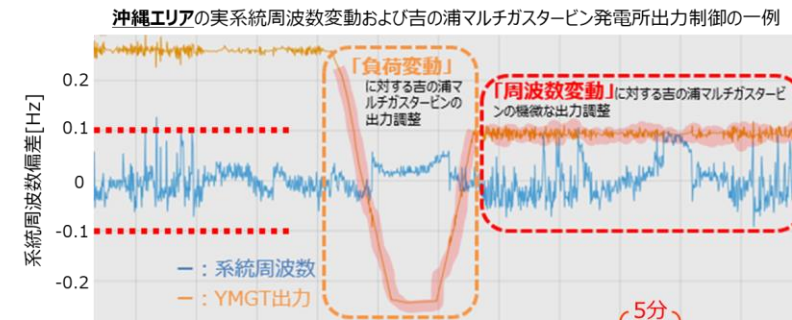
周波数変動の著しいエリアでの運用に必要な技術課題

急峻な出力・周波数の変動への対応

水素混焼によるNOx値変動

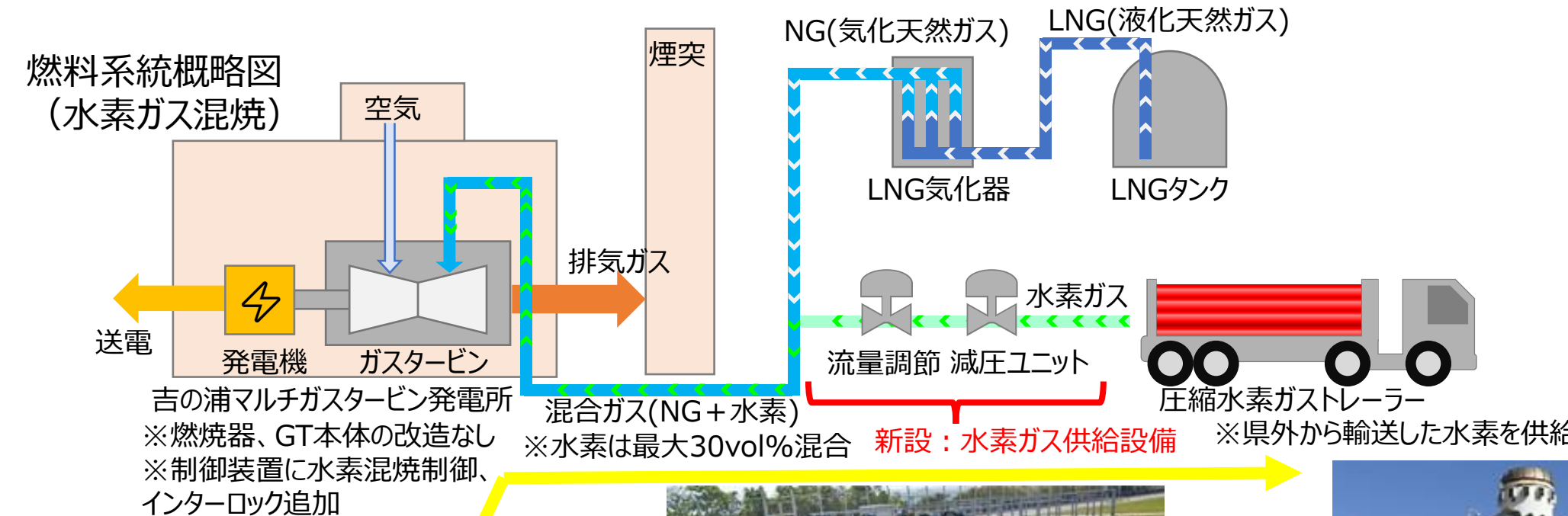
水素混焼による出力制御等への影響

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

- 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
- 2024年3月に初回の水素混焼実証試験(**定格35MW、水素混焼30vol%達成**)を開始し、以降実証試験を継続



吉の浦マルチガスタービン発電所外観



新設：減圧ユニット

└ トレーラー容器圧力を供給圧力に減圧



新設：水素ガス供給設備外観

└ 圧縮水素ガストレーラー接続中

3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

- 設定した主な検証項目に対し、実商用系統での運用を想定し発電機出力・水素混焼率の条件を変更しながら各種試験を実施し、調整力電源における水素混焼技術の確立を目指す

(イ) 調整力電源における水素混焼技術実証

①水素混焼発電所の調整力運用手法の確立

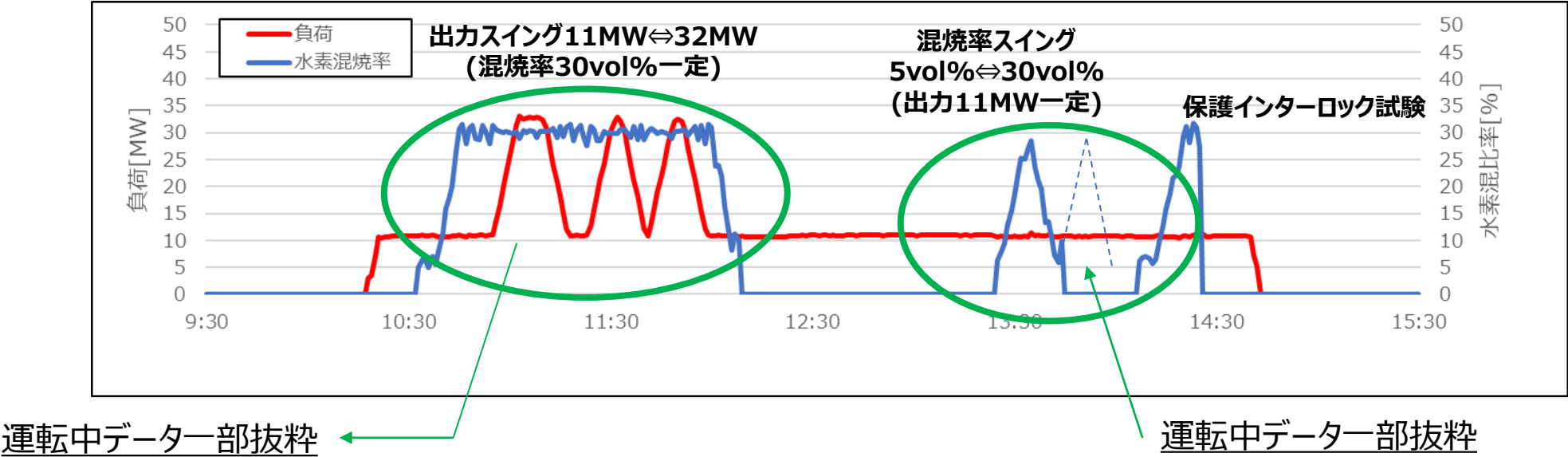
発電機出力(負荷)・水素混焼率等の条件を変更し実証試験を実施

各検証項目と実験内容の関係性は次の通り

	試験① LNG⇔水素 混焼切替試験	試験② 各負荷試験	試験③ 保護インター ロック試験	試験④ 負荷遮断 試験	試験⑤ 負荷・混焼 率スイング 試験
検証項目① 起動停止に対する運用手法	○		○	○	
検証項目② 水素混焼による NO x 値変動		○	○	○	○
検証項目③ 水素混焼による出力制御等への影響		○			○
検証項目④ 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

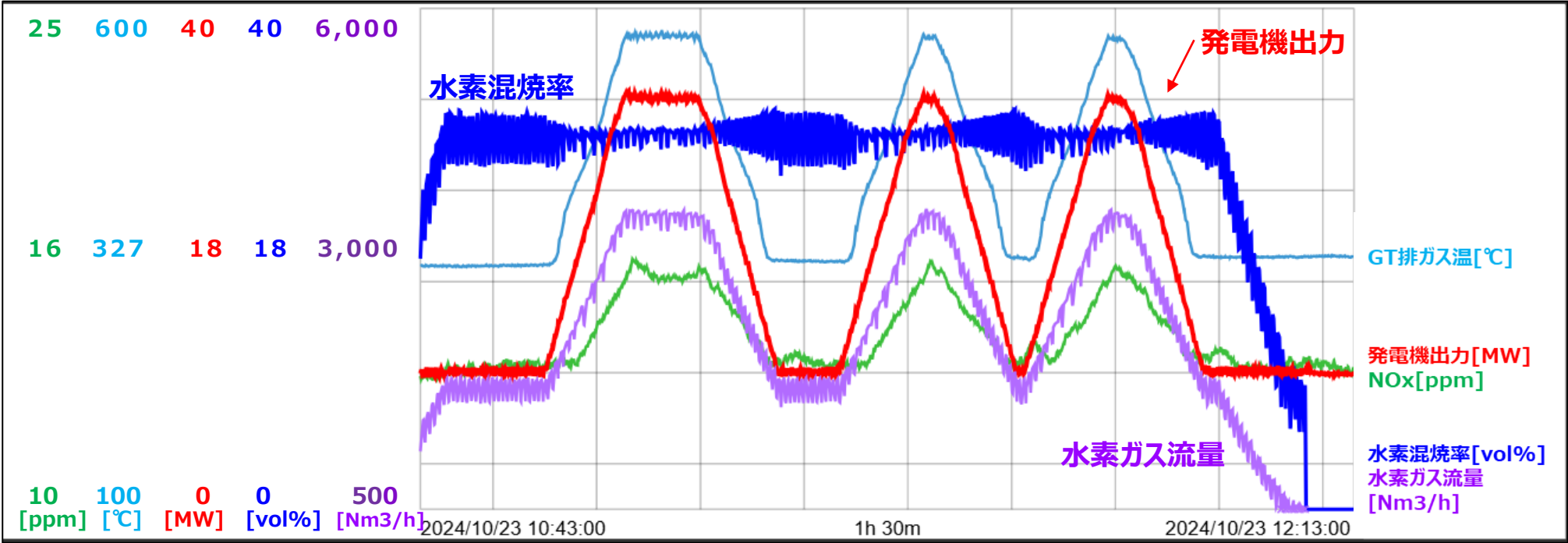
検証項目	試験内容	検証結果
①起動停止に対する運用手法	・LNG専焼から水素混焼への切替試験	LNG専焼から水素混焼へ切替え後も問題なく運転が継続できることを確認
②水素混焼によるNOx値変動	・出力スイング試験(混焼率30vol%一定)	・出力スイング試験において、水素ガス流量調節弁の開度偏差高の警報発報はあったものの、保護インターロック(水素遮断)作動まで至らず、運転継続できることを確認した
③水素混焼による出力制御等への影響	・混焼率スイング試験(出力11MW一定)	・混焼率スイング試験において、混焼比率偏差高により保護インターロックが作動し、水素遮断に至った。
	・保護インターロック試験 ↳水素供給圧力低による水素遮断	・水素混焼にてNOx値の増加を確認(協定の範囲内) ・水素供給圧力低による水素遮断後も問題なく運転継続できることを確認



3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

検証項目：水素混焼による出力制御等への影響
⇒水素混焼状態で発電機出力を変動させた場合の、水素混焼制御の応答性の検証を行った

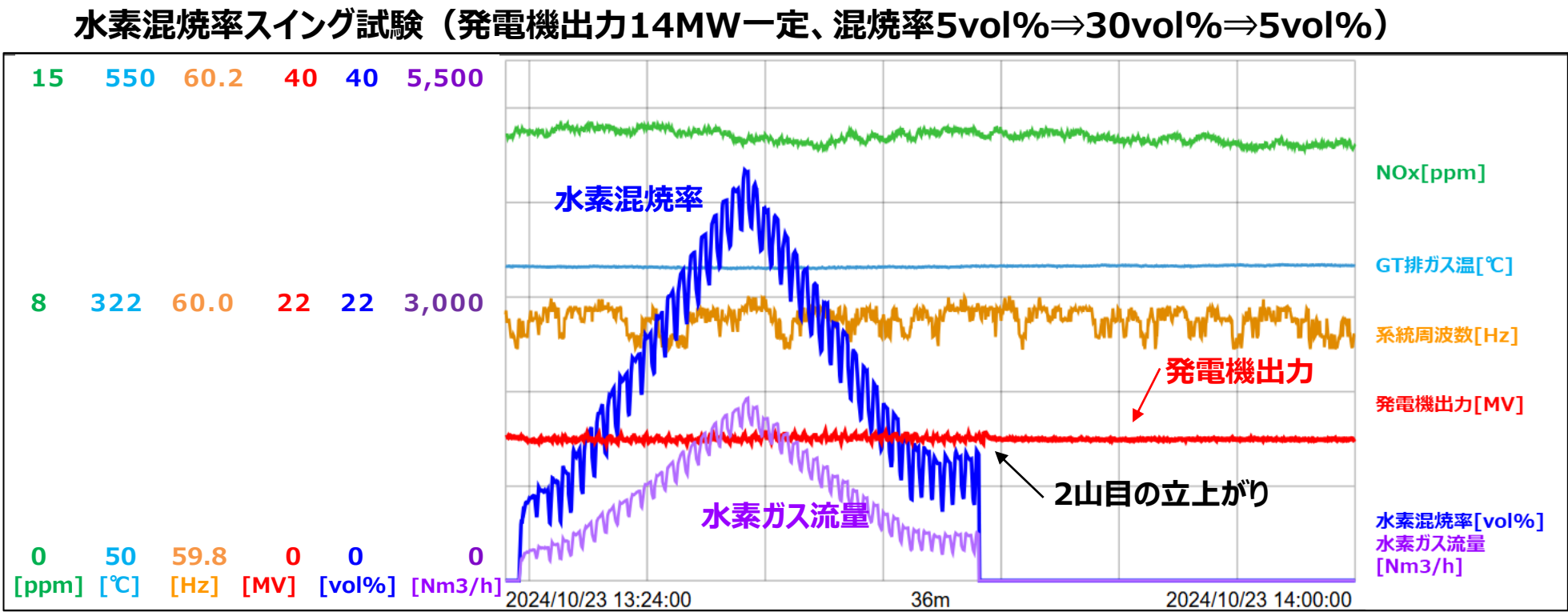
出力スイング試験（混焼率30vol%一定、発電機出力11MW⇒32MW⇒11MW）



試験結果
水素混焼制御について水素ガス流量調節弁の開度偏差高の警報発報はあったものの、保護インターロック(水素遮断)動作まで至らず、水素混焼運転を継続できた。

3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

検証項目：水素混焼による出力制御等への影響
⇒水素混焼状態で水素混焼率を変動させた場合の、水素混焼制御の応答性の検証を行った



試験結果

水素の低流領域における流量制御において、水素混焼比率偏差高の警報発報後、保護インターロックの作動により水素遮断に至った。

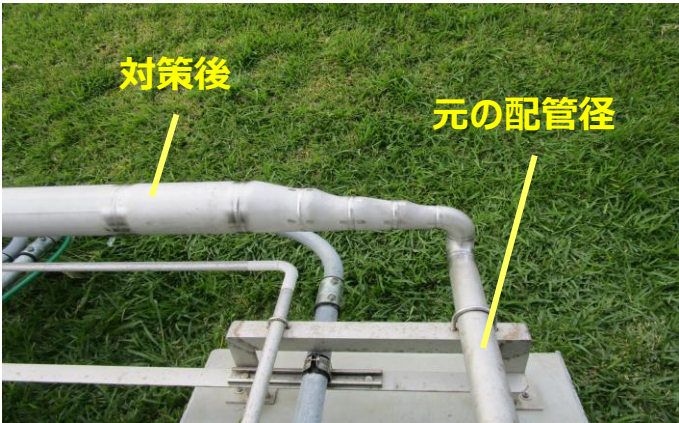
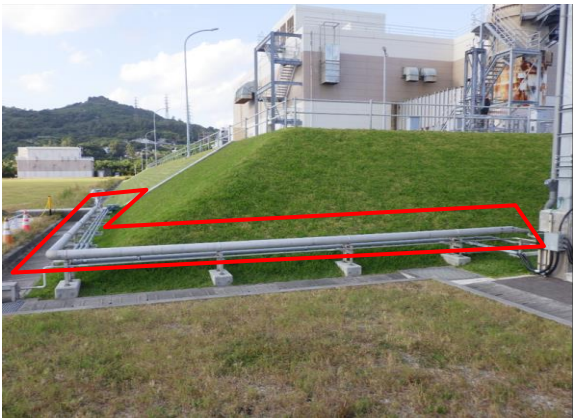
課題：水素混焼率、水素ガス流量、水素ガス圧力がハンチングする事象が見られた。

⇒流量制御、圧力制御についてそれぞれハード面(圧力バッファ設置、流量調節弁のパッキン交換)・ソフト面(制御パラメータ変更)の対策を実施

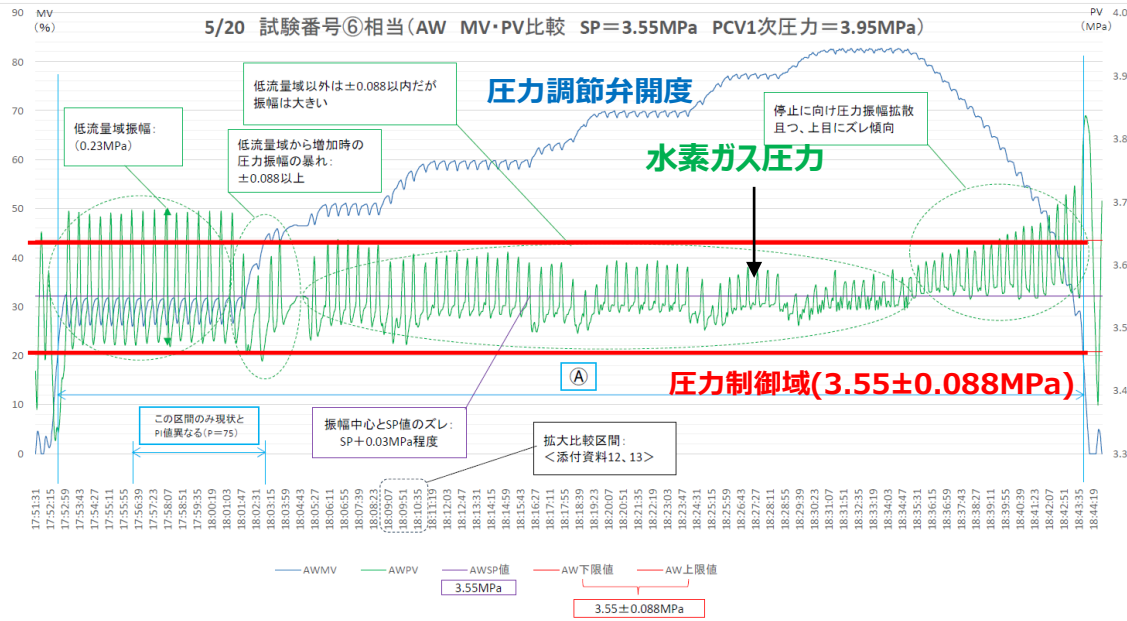
3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

圧力振幅の緩衝を目的に配管の口径を大きくする対策を実施した。(配管容積分バッファを確保)
⇒圧力バッファの確保には通常、タンクを設けることが多いが、設備改造費用の低減を図るため、配管径を大きくすることで改善を図った。

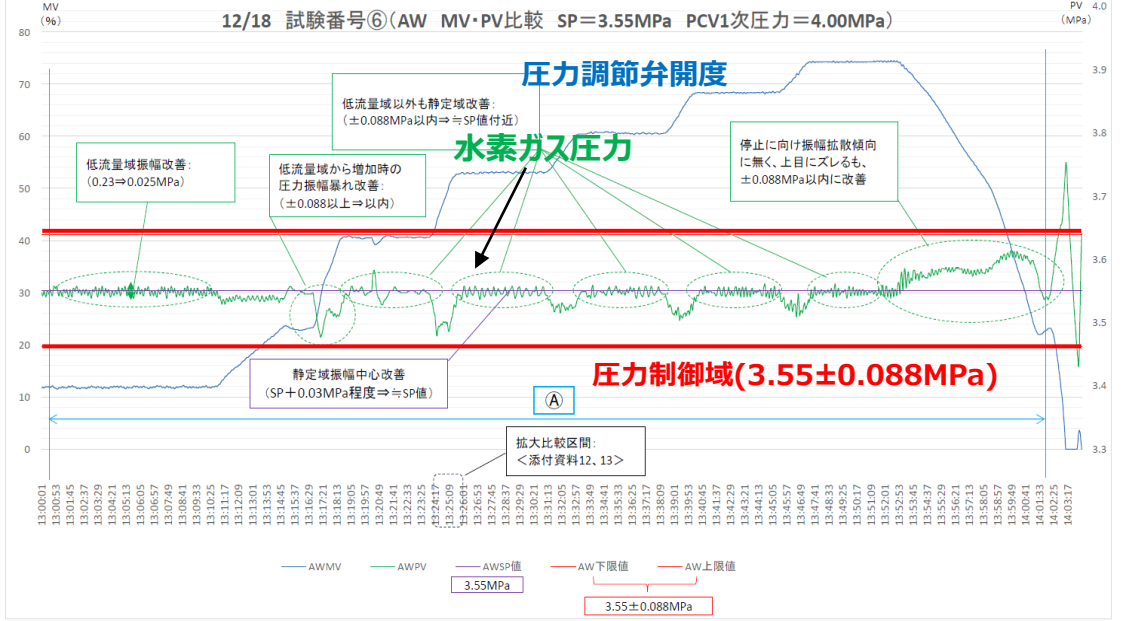
配管長：約16m
50A(外径約6cm)
↓
125A(外径約14cm)



対策前の水素ガス圧力

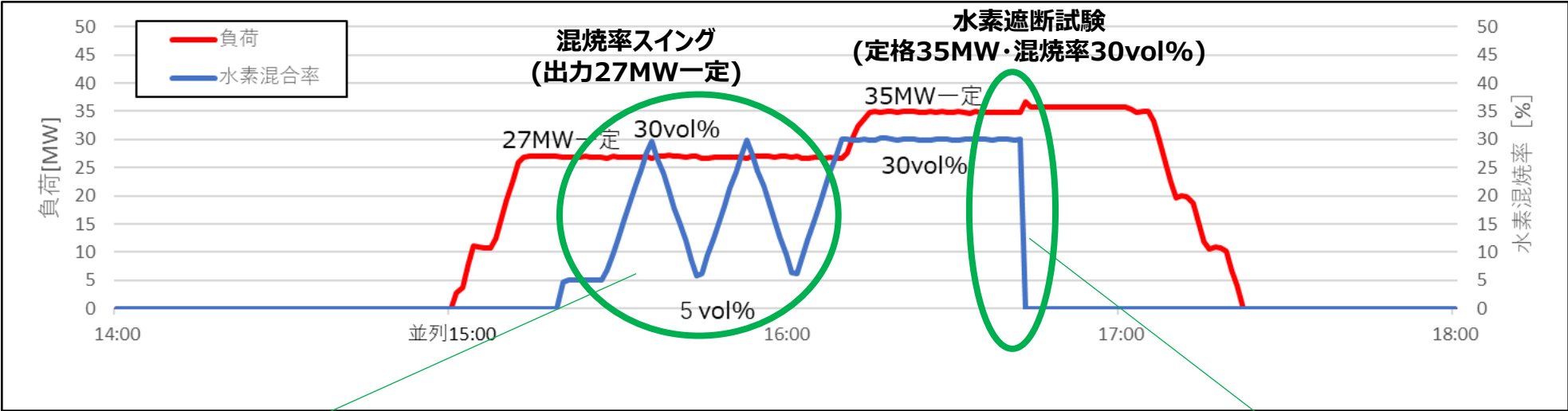


対策後の水素ガス圧力



3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

検証項目	試験	検証結果
①起動停止に対する運用手法	①LNG専焼から水素混焼への切替試験	LNG専焼から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
②水素混焼によるNOx値変動	・混焼率スイング試験 (出力27MW一定)	・混焼率スイング試験において、ハード面・ソフト面の対策により圧力制御の範囲内で問題なく水素混焼運転ができることを確認した。
③水素混焼による出力制御等への影響	・定格出力(35MW)、最大混焼率30vol%での水素遮断試験 ↳水素遮断時の排ガス温度への影響を確認 ※ランバック動作：高出力において水素遮断が発生した場合の燃料持ち替え(H2⇒LNG)による排ガス温度への影響低減を目的に、水素遮断が発生した際に自動で出力を減少させる機器保護のための制御	・水素遮断試験において、ランバック動作(正常動作)後のオーバーシュート時に排ガス温度高により警報発報に至った。 ランバック制御のパラメータ変更等の改善対策を予定。 ・水素混焼にてNOx値の増加を確認(協定値の範囲内)



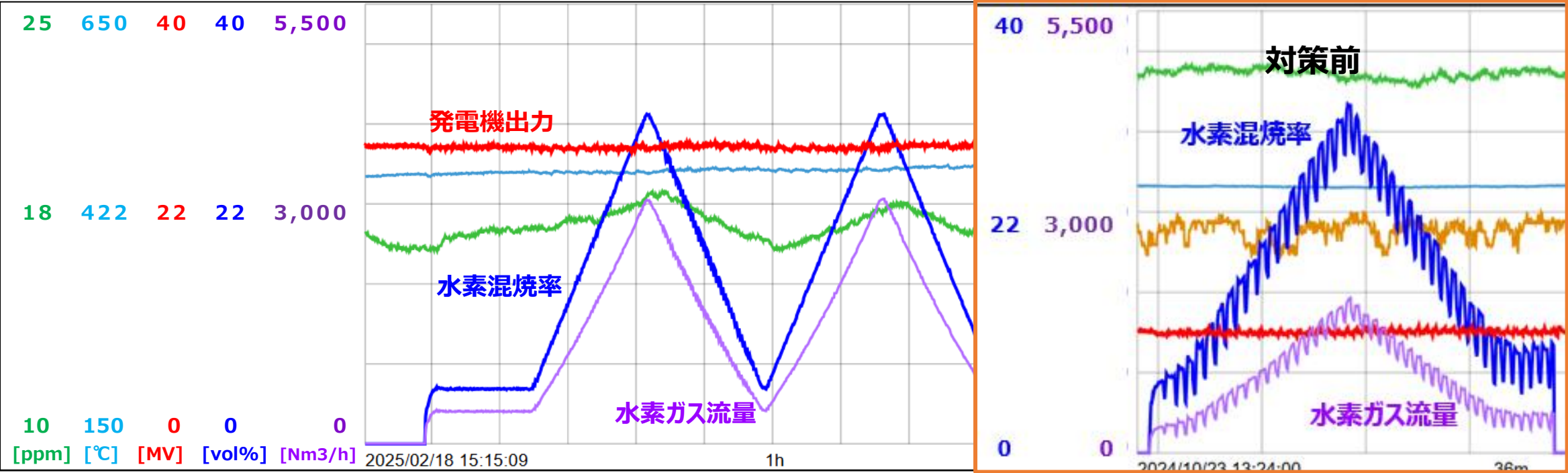
運転中データ一部抜粋

運転中データ一部抜粋

3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

検証項目：水素混焼による出力制御等への影響
⇒水素混焼状態で水素混焼率を変動させた場合の、水素混焼制御の応答性を検証を行った

混焼率スイング試験（発電機出力27MW一定、水素混焼率5vol%⇒30vol%⇒5vol%）

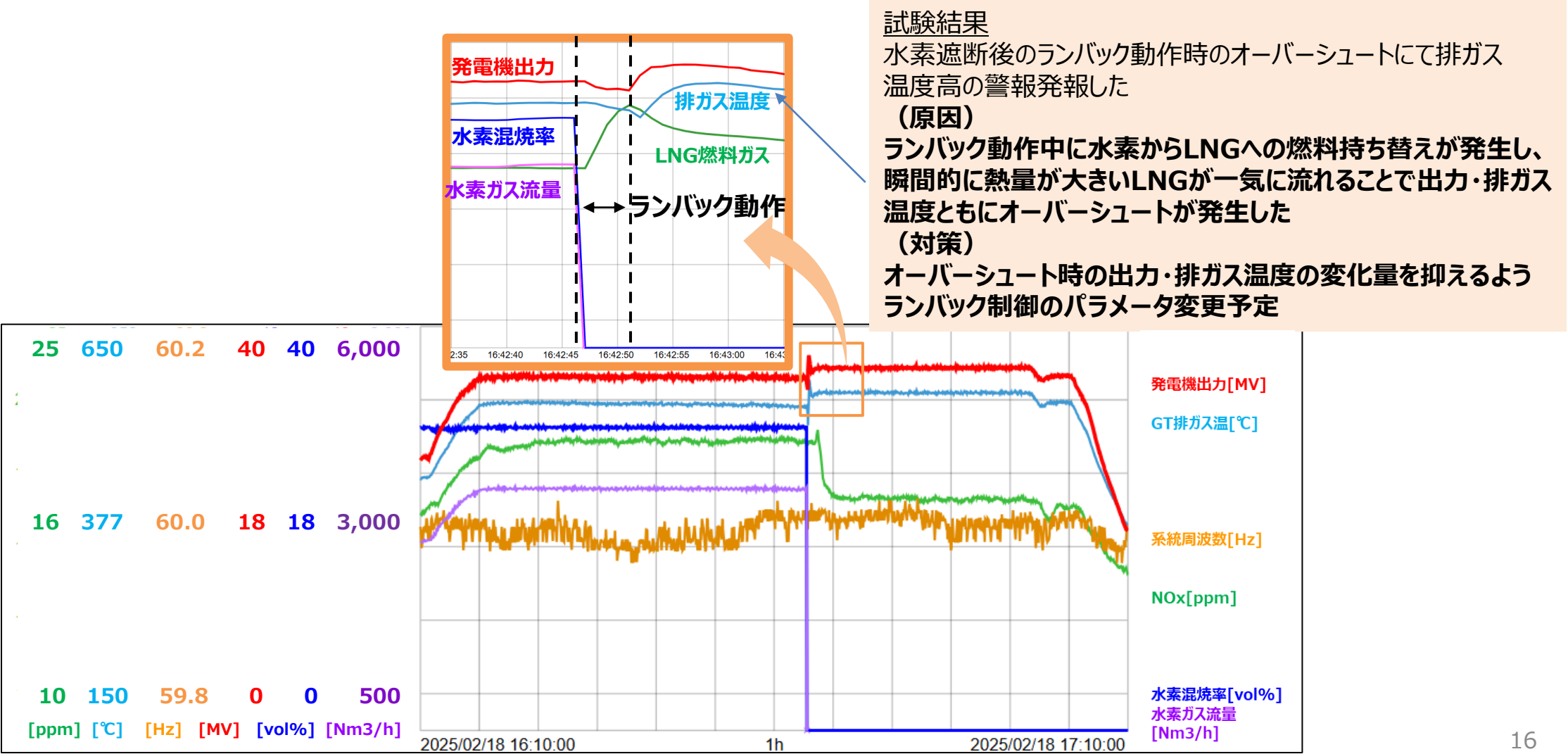


試験結果
混焼率スイング試験における水素ガスの低流量域において、水素混焼制御の改善が見られ警報発報および水素遮断に至らず問題なく運転継続できることを確認した。

また、流量制御、圧力制御のハード面・ソフト面の対策により水素ガス混焼率、流量、圧力いずれもハンチングの改善が見られた。

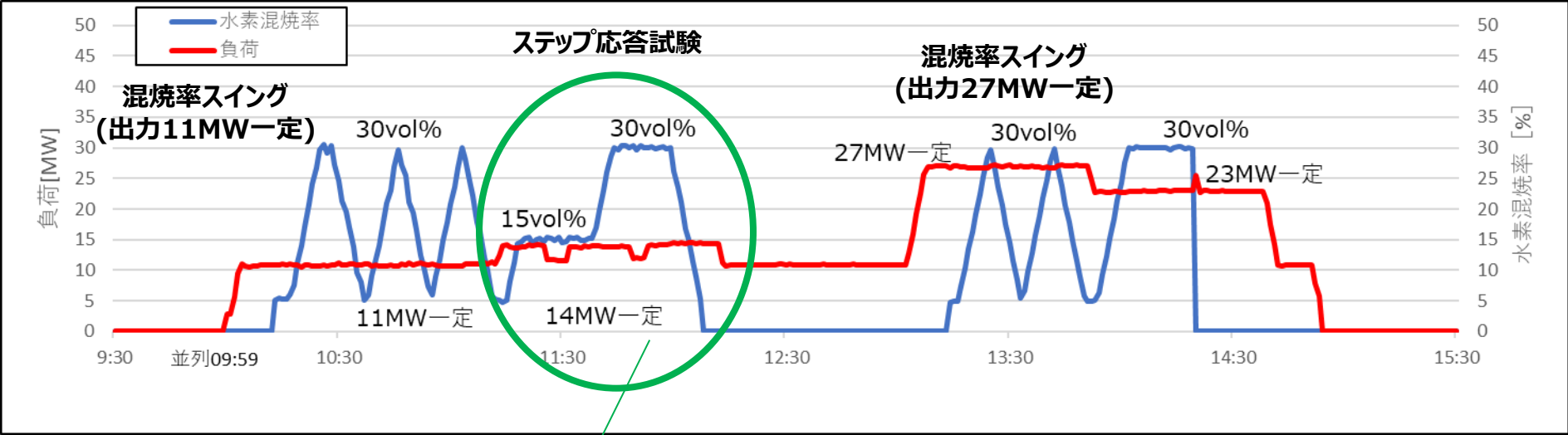
3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

検証項目：水素混焼による出力制御等への影響
⇒水素混焼運転状態で水素遮断が発生した場合を想定し、発電機が安定運用を継続できるか検証を行った



3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

検証項目	試験	検証結果
①起動停止に対する運用手法	①LNG専焼から水素混焼への切替試験	LNG専焼から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
②水素混焼によるNOx値変動	・混焼率スイング試験 ↳11MW、27MW一定にて実施	・混焼率スイング試験において、ハード面の対策により水素混焼制御の改善が見られ、問題なく運転継続できることを確認した。
④急峻な周波数変動に対する安定運用性の確保	・ガバナステップ応答試験 ↳出力一定(最低出力)、各混焼率にてガバナフリー制御※にてステップ上の模擬信号(0.15Hz)を入力し応答性確認 ※電力系統の周波数を安定させるためにガバナ(調速機)にて発電機の出力を自動的に調整する制御方式	・14MW一定によるガバナフリー制御「入」にて周波数変動を模擬したステップ応答に対し問題なく水素混焼制御による運転が継続できることを確認した ・水素混焼にてNOx値の増加を確認（協定値の範囲内）

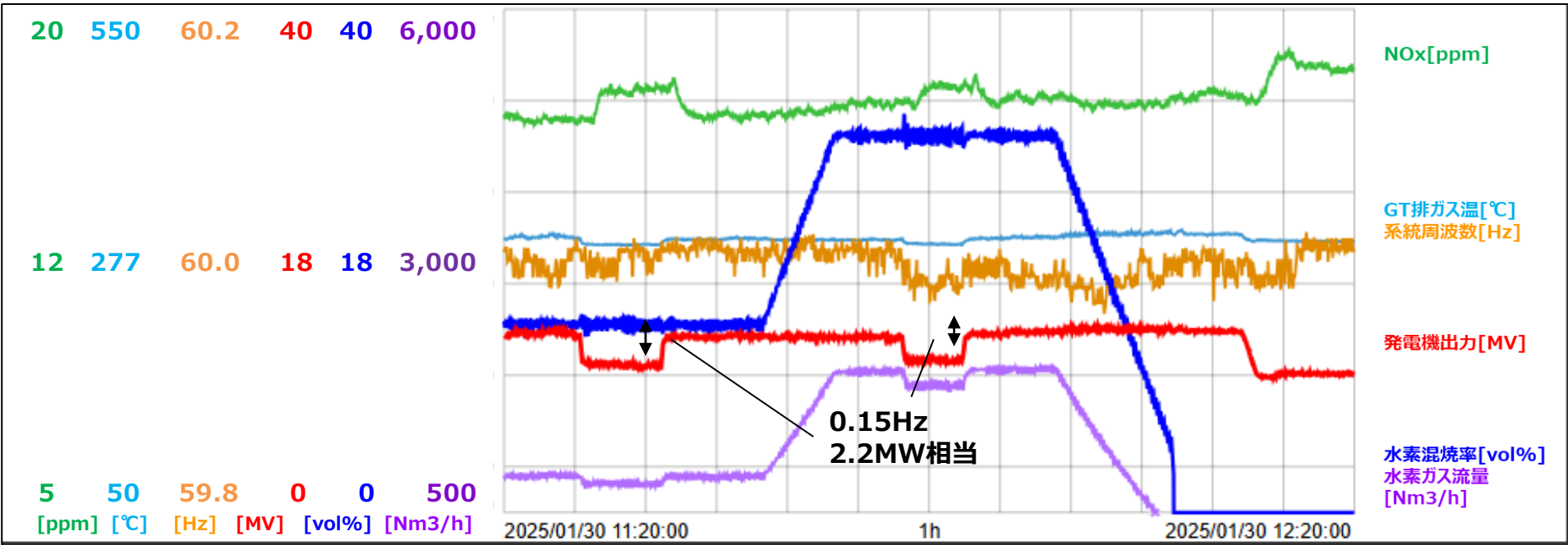


次ページにて運転中データ一部抜粋

3- 1 . 調整力電源における水素混焼発電運用技術の確立

検証項目：急峻な周波数変動に対する安定運用性の確保
⇒水素混焼運転状態で系統周波数の急峻な変動を模擬した信号を付与し、応答性の検証を行った

ステップ応答試験（発電機出力14MW一定+ガバナフリー制御、水素混焼率15vol%、30vol%）



試験結果
急峻な周波数変動を模擬したステップ応答試験において、問題なく水素混焼運転を継続できることを確認した。
※特段の警報発報等なし
次のステップでは実際に実商用系統において周波数変動が大きい県内の電気炉操業時に水素混焼における周波数変動への応答性確認を行う。

1. 事業概要

2. 事業の位置づけ・必要性

3. 研究開発マネジメントおよび開発成果について

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

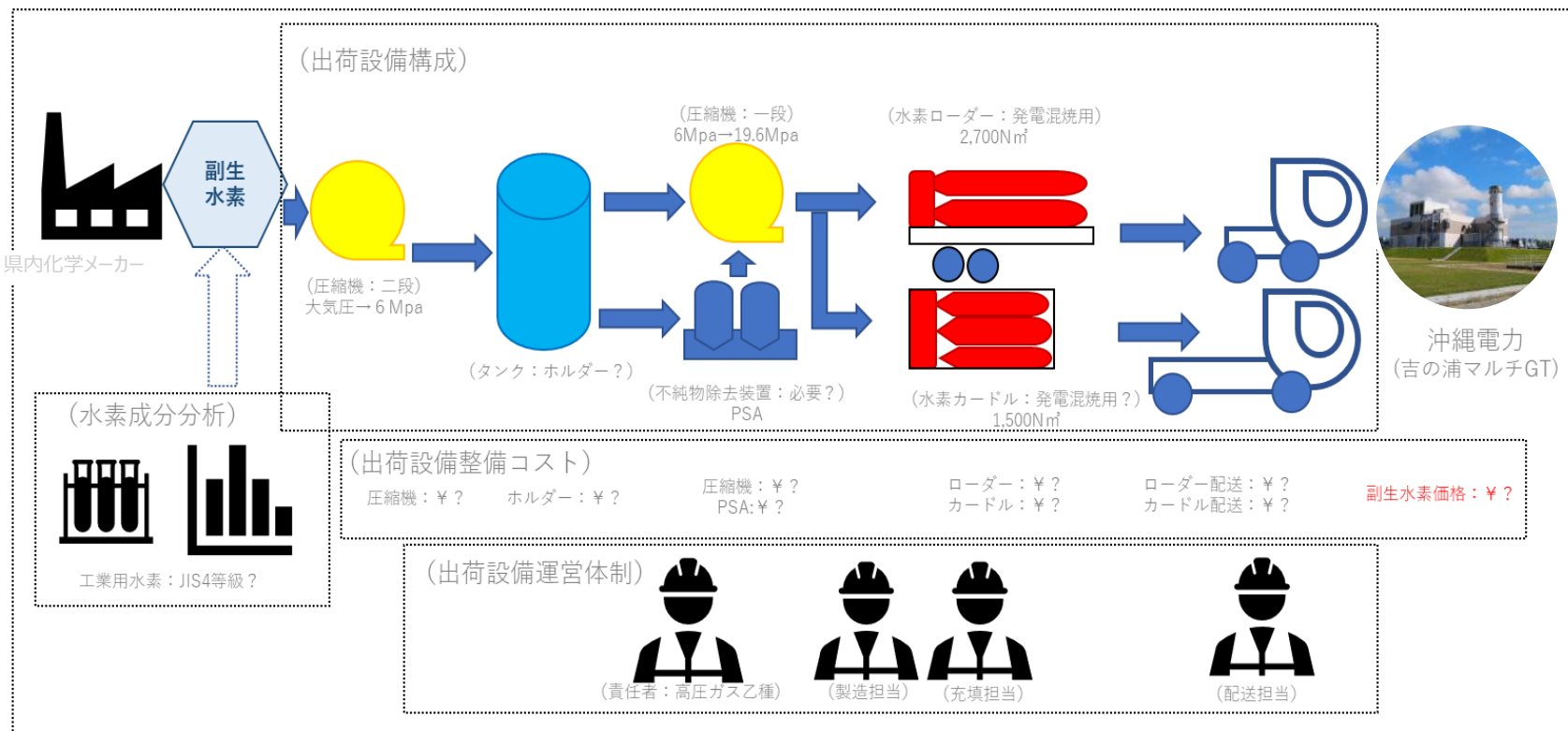
3-3. 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築(FS)

4. 今後の見通しについて

3-2 . 研究開発マネジメントについて

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

■沖縄県内においては、未利用の大気放散している副生水素が存在しており、当該副生水素を有効活用を検討を行う



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

- ◆ 沖縄県内の苛性ソーダ工場から発生している未利用副生水素を採取し成分分析を行った結果、「ガスタービン用水素ガス規格」の全項目について定量下限値未満であり、水素混焼用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。

未利用副生水素の成分分析



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

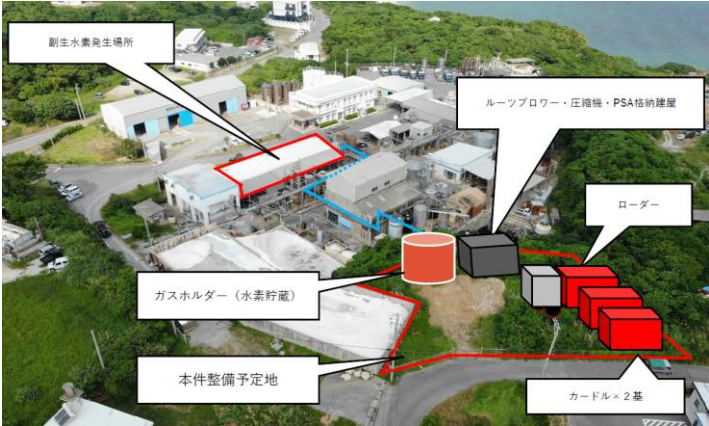
表 1 測定結果

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、NO₃と合算した値を示した。
注 3：BTX はベンゼン、トルエン、キシレンを含量した値を示した。

「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。

副生水素出荷設備の構成およびレイアウト



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

1. 事業概要

2. 事業の位置づけ・必要性

3. 研究開発マネジメントおよび開発成果について

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

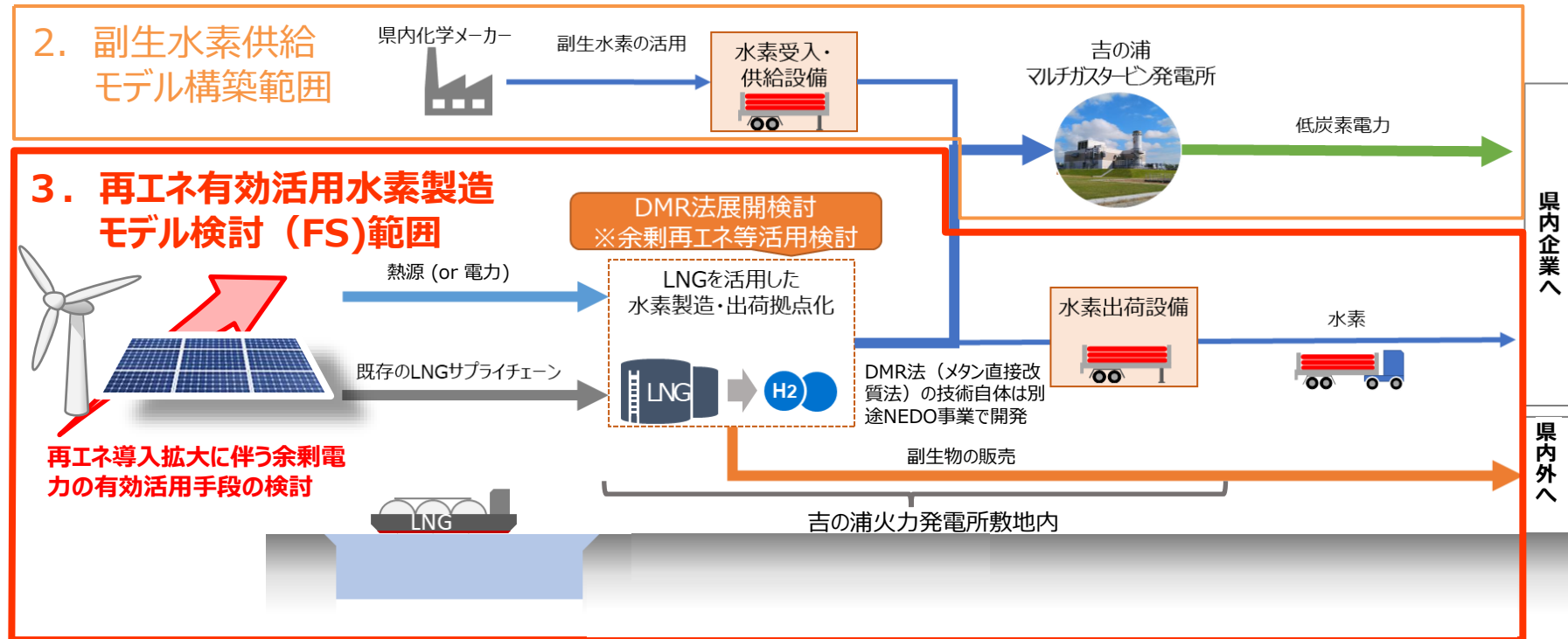
3-3. 再エネ電力有効活用によるターコイズ水素製造モデル構築(FS)

4. 今後の見通しについて

3-3. 研究開発マネジメントについて

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) を行う



主な技術課題 (Main Technical Issues)



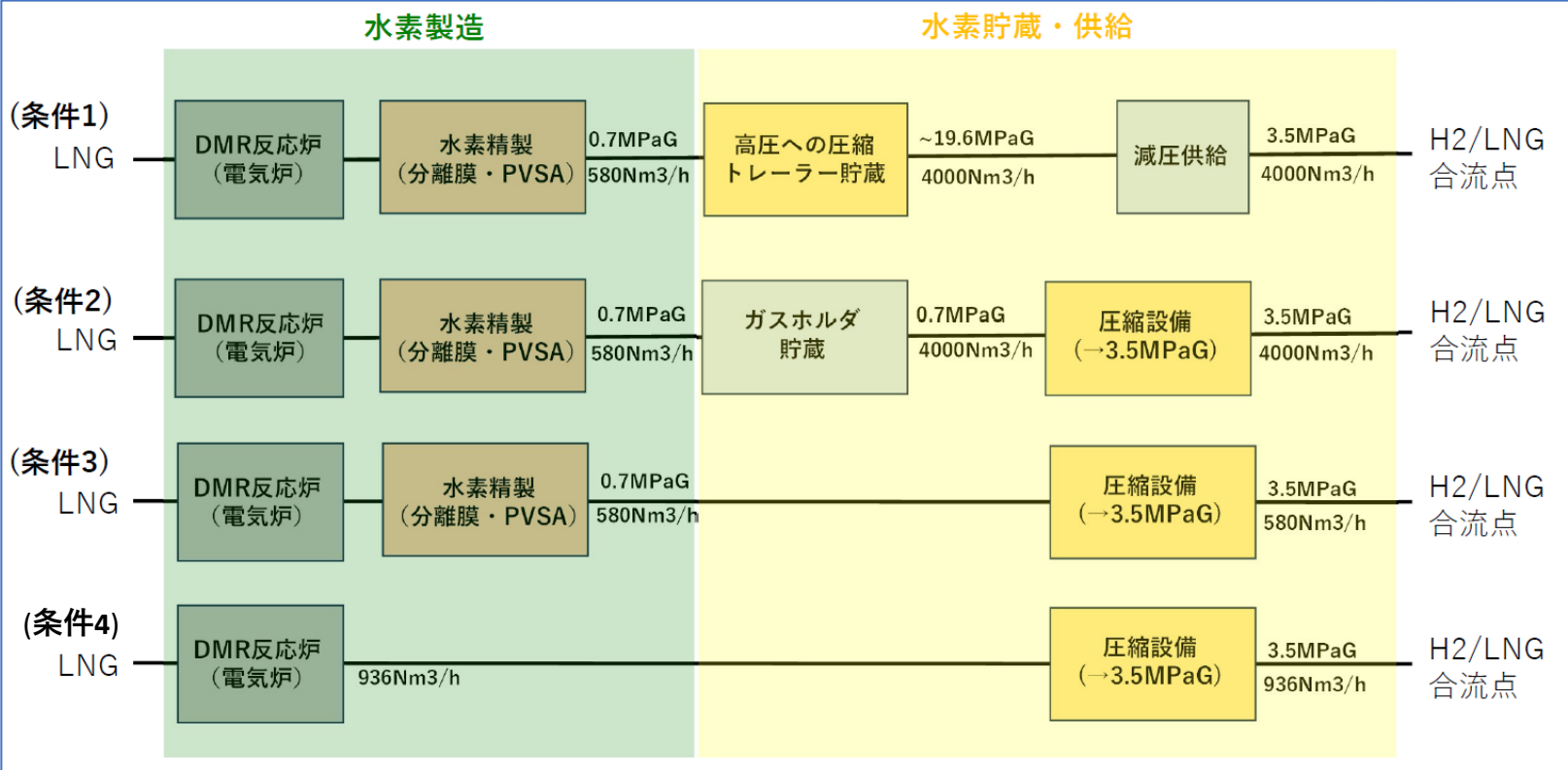
余剰再エネ等を活用したターコイズ水素製造手法の検討

水素需要に変動した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(FS)

- ◆ 沖縄県で発生している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。

DMR反応炉1炉あたりのターコイズ水素製造・供給コストの試算条件



4. 今後の見通しについて

2025年度も引き続き、調整力電源における水素混焼発電実証試験を実施

■実商用系統を用いて、調整力電源の水素混焼発電運用技術確立を目指す





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