

令和5年度エネルギー需給構造高度化対策調査等事業
(デマンドリスポンスの更なる活用に向けた実態等調査)
報告書

2024年2月

東京電力エナジーパートナー株式会社

— 目次 —

< 序論 >

1. 需給調整市場の現在位置
2. 経済産業省調査事業の前提と概要

< 本論 >

3. 自動化制御検討の進め方
4. 自動化制御検討結果（その1 米倉山サイト）
5. 自動化制御検討結果（その2 トクヤマサイト）
6. D R 活用可能設備の見通しに関する調査

< 結論 >

7. 結論

1. 需給調整市場の現在位置

(1) 応札量不足解消に向けた取り組み

需給調整市場において、現在は、三次調整力①・②の取引を実施しており、2024 年度からは一次調整力、二次調整力①・②の取引が開始され、需給調整市場が全面運開となる。一方で、既に取り引している三次調整力①・②については、取引開始当初から応札不足が続いており、現在においても解消には至っていない状況。

2024 年度以降、多くの制度変更が予定されており、これまでの三次調整力①・②の取引状況とは異なるものの、複合入札と単一入札の比較状況を踏まえると、2024 年度以降も応札不足となる可能性も十分考えられる。

需給調整市場検討小委員会では、2024 年度からの制度変更を改めて精査したうえで、2024 年度の需給調整市場全面運開に向けた対応の方向性について、鋭意検討中のところではある。

(2) 安定供給

1. (1) のように応札量解消に向けて、リクワイアメント・ペナルティの緩和、応札インセンティブの増加および市場参加の規制的措施（リクワイアメント）などの取り組みの妥当性を今後の委員会で検討することとしているが、方向性としては様々なリソースの参加を促す施策検討が期待されるところ。

その一方で、応札量不足による安定供給維持のための余力活用（現行の電源Ⅱ）など、「安定供給」を果たしていくためには、安定供給マインドのある事業者による調整力の更なる供出が求められる。留意すべきは、第 93 回制度設計専門会合（電力・ガス取引等監視委員会：2024 年 1 月 30 日）で指摘された「計画値同時同量を遵守する観点」である。例えば、デマンドレスポンス（以下 DR と記す）リソースとして期待される蓄電池は、需給調整市場でも相応の応札行動が想定される。その場合、落札した容量を踏まえて充放電の準備をするというマインドは、安定供給上必須の事業者行動であるべきだが、現実ではインバランス補給電力で充放電するという事案も紹介されている。

今後も応札不足が想定されるとはいえ、そのような状況は軽視すべきではないし、市場規律の遵守は「エネルギー政策基本法」の基本理念であることを再確認したい。

(3) オフライン枠

このような中、第 45 回需給調整市場検討小委員会（電力広域的運営推進機関：2024 年 2 月 7 日）において、一次調整力のオフライン枠（いわゆるスカウティング枠）の調達上限値について「一次平常時必要量の全量まで引き上げることとしてはどうか（全エリア共通）」（資料 3 ページ 42）と提言があった。

GF 要因、LFC 要因での周波数影響を検証する中で、影響は限定的として提言されたものであるが、今後さらに再エネの系統接続が増加する中、GF 機能を有する電源が減少する蓋然性の元、需要側リソース（以下 DSR と記す）が、高度な制御技術を活用してより市場へ参入

することが求められていくと思われる。

【図 1 オフライン枠の調達上限値】

オフライン枠の調達上限値について（まとめ）

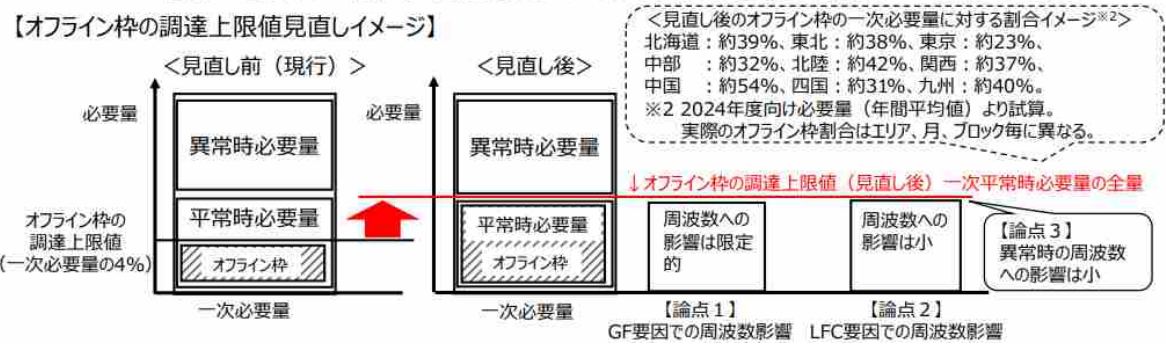
42

■ ここまでの各論点における検討結果をまとめると以下のとおり。

No.	論点	検討結果（オフライン枠の調達上限値を平常時必要量の全量まで引き上げた場合）
1	GF要因での周波数影響	GF要因での周波数品質への影響（平常時のGF応動への影響）は限定的と考えられる
2	LFC要因での周波数影響	LFC要因での周波数品質への影響（AR算定への影響）は小さいと考えられる
3	異常時の周波数影響	電源脱落時の周波数品質への影響は小さい（負荷遮断は発生しない）と考えられる

■ 上記の検討結果を踏まえると、オフライン枠の調達上限値を平常時必要量の全量（オフライン枠の位置付け上の調達上限最大値）まで引き上げた場合でも、平常時・異常時ともに周波数品質への影響は小さいと考えられる※1ことから、**オフライン枠（2024年度から開始予定）の調達上限値を一次平常時必要量の全量まで引き上げる**こととしてはどうか（全エリア共通）。

※1 オフライン枠（特に2025年度の応動要件緩和）開始後の周波数の変動実績等から、周波数品質の悪化が顕著に認められた場合は、広域LFC運用（2026年度）等の状況変化も踏まえつつ、オフライン枠の調達上限値の見直し等について検討することとする。



出典：第 45 回需給調整市場検討小委員会資料 3

2. 経済産業省調査事業の前提と概要

今回の経済産業省の調査事業『令和5年度エネルギー需給構造高度化対策調査等事業（デマンドリスポンスの更なる活用に向けた実態等調査）』（以下ポテンシャル調査と記す）は、昨年度の手動テスト結果にもとづき、更なる高度化の可能性を検証するものである。特に、DRに適合しうる需要家のリソースを高度に制御した際の活用ポテンシャルの変化や制御に至るまでの課題を調査しつつ、調査した事例とそれに類似した特性を持つ国内のリソース総数見込みを明らかにすることを目的としている。昨年度以降、国の議論がさらに進展し、DSRの活用に向けて様々な議論がなされている。今後、需給調整市場においても、オフライン枠の応動要件の緩和、機器点計量、低圧リソース活用などの施策導入が予定されており、様々な事業者・リソースの参入が期待されていることから、参入の前提となる高度化・自動化の実態や課題を洗い出していくことは極めて重要であると考える。

（1）自動化検討

DSRの参入が見込まれる一次調整力、三次調整力などでは、制御指令システムの構築が重要となるが、大規模リソースの中で需給調整市場への参入が特に期待される蓄電池・電解設備においてどのような自動化の課題があるか検証するとともに、市場参入ポテンシャルを算定していく。

特に生産設備である電解設備を自動化するにはどのような課題があるのか注目して検討を進めていく。

（2）検討体制

自動化検討では、業務提携中のエナジープールジャパン株式会社（以下EPJと記す）と協調し、R1 供出におけるDSR 応動評価に向けた各種テスト（Factory テスト／Automation テスト（実機テスト））を実施していく。

昨年度の報告書において、一次調整力において応動時間の30秒枠検討を提言し、オフライン枠の応動要件の緩和導入につながっており、引き続き30秒応動でどの程度の自動化が可能となるか検証していく。

（3）参加いただいた2サイト

自動化制御検討に協力いただいた特別高圧供給のDSRは以下の2社である。改めて、今回のポテンシャル調査参加に快く賛意を示していただいたことに感謝申し上げる。

- ・株式会社やまなしハイドロジェンカンパニー

山梨県甲府市下向山町 3216(米倉山電力貯蔵技術研究サイト内)

(以下米倉山サイトと記す)

- ・株式会社トクヤマ徳山製造所

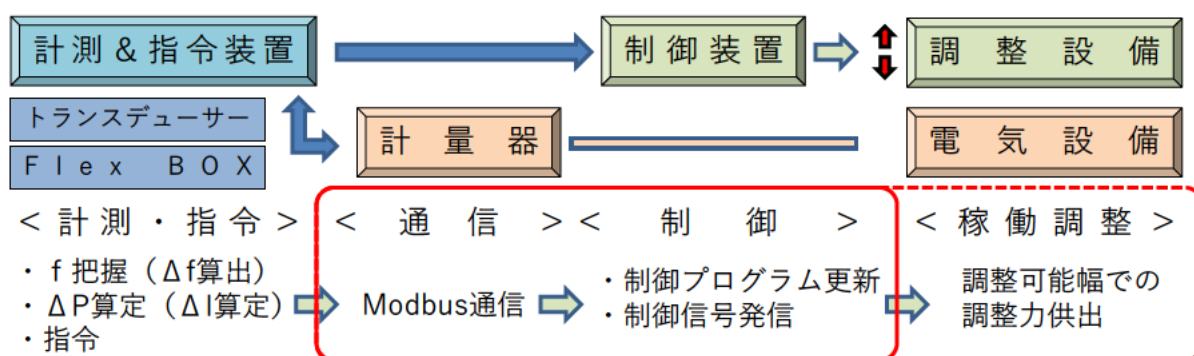
山口県周南市御影町 1-1 (以下トクヤマサイトと記す)

3. 自動化制御検討の進め方

3.1. 通信機器の構成

今回のテストの機器構成において、指令側を担う EPJ の FLEX ボックスは需要家側の電解槽の制御を担う PLC とのみ接続し、電解槽、整流器等の制御は PLC が制御することとした。FLEX ボックスと PLC との通信接続は、エナジープールのフランスでの実績をふまえ、Modbus TCP にて実施した。

【図 2：通信機器の構成】



3.2. 通信データ

一次調整力（以下 3 章～6 章において R1 と記す。また同様に二次調整力、三次調整力をそれぞれ R2、R3 と記す。）実施にあたり、R1 の指令送信にて必須となるデータを整理のうえ、伝送データを決定した。

なお、通信単位、粒度、周期を含め、伝送するデータについては、フランス事例を参考のうえ、対象需要家の設備・システム状況などを鑑み、協議のうえ決定した。

検討にあたり、大量の保有データ項目があるところ、生産設備干渉等の影響に配慮する必要があるため、設備に熟知したエンジニアと R1 供出のノウハウを持つエンジニアにて最適なデータ項目の選定に相応の労力を費やして実施することとなった。

【表 1：用途に応じた通信データ項目】

用途	データ項目
R1 供出に必要なデータ（一部抜粋）	通信状態、設備稼働データ R1 実施モード、制御指令値 受電データ、周波数データ*
モニタリングデータ（一部抜粋）	設備稼働データ 受電データ

* 今回の実機テストにおいては、実周波数ではなく模擬周波数を使用して実施。

3.3. R1 実施にあたっての通信運用方法

FLEX ボックスから R1 指令を実行するにあたっては、PLC から電解槽の稼働状態のデータの送信を受け、電解槽の稼働状態が OK であることを確認するとともに、FLEX ボックスと PLC の通信に問題がないことを確認している。

上記の条件が整っていることを前提に、FLEX ボックスは、R1 実施モードとして ON 情報を送信し、PLC が受信したことを確認するとともに、周波数に応じた制御指令値を送信する。

なお、通信不良が発生した場合などに、電解槽出力の誤作動等を生じさせないように、別途検討・対策が必要であり、今回のテストにおいても双方の通信を確認して通信不良を検知する仕組みを講じている。

3.4. 事前調整・検討

通信仕様の整理にあたっては、需要家の電解槽の特徴に応じた仕様検討や PLC 仕様に合わせた調整など、詳細な確認が必要であった。具体的には、R1 の仕組みの相互理解を図るとともに、EPJ から指令に応じて求められる制御方法を説明する一方、制御側から電解槽の制約条件や制御システムの構成を説明し、誤作動を起こさないために必要な指令・制御条件の協議を行った。

これらの通信運用方法確立、事前調整および検討は、制御・監視・管理ロジックに必要な知識を有し、コーディング・プログラミング技術を有するなど、ハイスペックなスキルを持つエンジニアが担当した。

3.5. テスト実施方法とスケジュール

3.5.1. 接続テスト（Factory テスト）

自動化検討においては、実機を接続したうえでのテストに先立ち、実機の接続がない状況下で不具合がないか接続テストを実施することが必要となる。

今回、米倉山サイトについては、事前に PLC 開発を担った東光高岳の本社にて FLEX ボックス－PLC 間の接続テストを実施している。トクヤマサイトについては、実機テスト直前に接続テストを実施した。

【表 2：目的に応じたテスト内容】

目的	テスト内容
Modbus 通信確認	FLEX ボックス－PLC 間の基本通信の確認 (通信データの送受信状態、データ保持・更新状態の確認)
模擬指令による動作確認	模擬（設定）条件下において指令値送信などの動作が正常に機能しているかの確認

3.5.2. R1 実機テスト

FLEX ボックスと PLC、PLC と電解槽および整流器等をそれぞれ接続した状態で、事前に設定したケースに応じて FLEX ボックスから指令値を送信し、指令値に応じて電解槽の応動速度等、R1 を実施するうえでの能力を確認した。

テスト実施にあたっては、両サイトで様々な事象が発生し、通信不良や設備停止などに対してその場での検討・チューニングを実施するなど、関係者が調整しながらテストを実施した。

（テスト実施には設備の不具合や通信障害など、予定外の事象も発生したが、各社の高度な技術や知見をもとにテストを完結することができた。今回のような仕様調整やトラブル対応などにおいてはハイスpekを有するエンジニアの存在が不可欠であることを課題として認識した。）

今回は、成功裡に完結することができたが、今回実現できた制御ロジックを別の手法を用いて実現するには今回と同様の検討を別途実施する必要が生じるため、今回の事例に限らず一度確立した制御ロジックを水平展開して適用していくことが望ましい。

【表 3：テストケース】

no.	想定周波数変動幅	応動時間	持続時間	電力調整幅
1	- 200 mHz	30 秒	35 分	- kW
2	+ 200 mHz			+ kW
3	- 50 mHz		15 分	- kW
4	+ 50 mHz			+ kW
5	± 15 mHz		10 秒	± kW

<確認事項>

周波数偏差に応じた電力応動幅、安定性

各テストケースで設定した時間における遅れ時間、応動時間、持続時間、不感帯

確認にあたり評価判断は、事前審査に即した基準として実施しており、電力応動幅は平常時での許容範囲とされる供出可能量の±10%を、ケース 1 および 2 は電源脱落時などの異常時での許容範囲とされる 90%以上を考慮して評価した。

また、不感帯については、15mHz での変動が可能であれば 10mHz 基準を満たすと判定。

3.5.3. 通信不良テスト

FLEX ボックスと PLC 間で接続されている通信ケーブルを意図的に取り外し、設定した時間を経過した後に正常に動作する（R1 指令対象外となるか）か、また、再接続した後に指令復帰するか確認する。

3.5.4. 対応費用

自動化検討においては、事前検討、テスト当日対応および結果分析におけるエンジニアの労力など、ほとんどが人件費となるが、テスト環境構築に向けた機器手配なども発生しており、概ね 1 件あたり数千万円程度の費用がかかるものとなっている。但し、あくまでも今回の実証サイトを前提にした費用積算であり、設備構成や通信環境等によっては大きく変動することを留意され

たい。

また、調整力の供出にあたっては、必ず機器費用として相応の費用が発生するため、コスト抑制を図る必要がある。

人件費（３～４社／件）：千数百万円～二千万円強

機器費（通信費含む）：数百万円程度

4. 自動化制御検討結果（その1 米倉山サイト）

4.1. 対象設備

今回のテストの対象設備は、PEM 型水電解設備 1 号系列ならびに 3 号系列であり、テスト当日の出力可能な合計値が 560kW（280kW ×2 系列）となっている。

ただし、本来であれば 2 号系列も含めた 3 系列の運用であり、最大合計出力も 1.5MW であるが、今回は 2 号系列が停止中であり、自動化時の応動性を評価することが目的のテストであるので、2 系列での部分的なテストを実施することとした。

4.2. 接続テストおよび通信不良テスト

いずれの項目も正常に接続を確認し、通信不良時も正常な動作を確認した。

4.3. 米倉山サイトの実機テスト前提条件

米倉山サイトで実施した実機テストについて、以下前提条件を示す。

4.3.1. 最大調整電力およびテストケース一覧

今回のテストにおいては、想定周波数変動幅に応じた電力値変動を行う前提で、以下の各ケースでの電力変動幅を設定した。

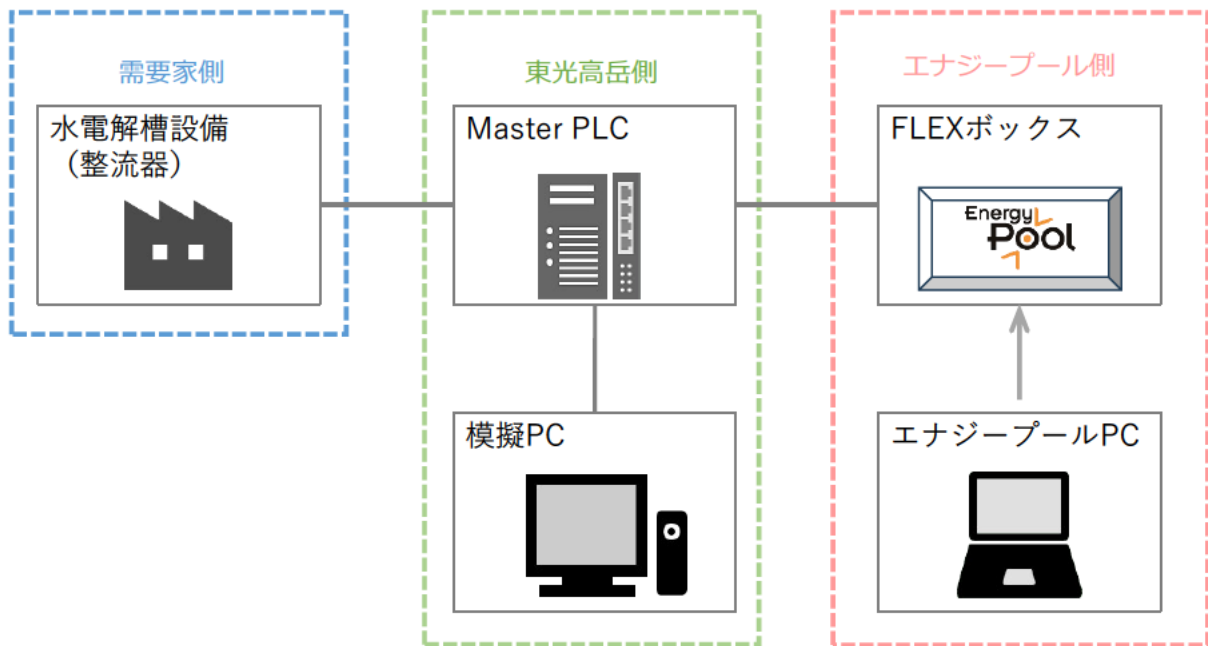
【表 4：実機テストの各ケースおよびケース毎の電力変動関連情報】

no.	想定周波数変動幅	電解槽（整流器）kW	電力調整幅
ベース		280kW	
1	− 200 mHz	20kW	− 260kW
2	+ 200 mHz	540kW	+ 260kW
3	− 50 mHz	215kW	− 65kW
4	+ 50 mHz	345kW	+ 65kW
5	± 15 mHz	260kW〜300kW	± 20kW

4.3.2. 実機テスト実施時の構成設定

FLEX ボックスと MasterPLC を接続のうえ、模擬 PC ならびにエナジープール PC より適宜信号送信を実施し、MasterPLC を通して、PEM 型水電解設備が適切に応動するか確認を実施した。

【図3：米倉山サイトでの機器構成概要図】



4.3.3. 実施スケジュール

PEM 型水電解設備の稼働スケジュール等を考慮して、以下の予定で実施した。

なお、自動化検証においては現地での通信環境や実機の状態などによりテストが順調に進むとは限らないことから、予備日を設定して実施したものの、予備日に至ることなくテストが完了した。

参考ではあるが、テスト直前まで諸条件により電解設備が稼働しておらず、冬季の夜間という寒い気象条件下で実施されたものであり、電解設備の稼働が不安定という厳しい条件下で実施したものである。

実施日：2024 年 1 月 22 日（月）18:00～23:00 予備日 2024 年 1 月 23 日（火）18:00～23:00

4.4. 実施結果

4.4.1. ケース 1（-200mHz）

模擬周波数信号（-200mHz：49.8Hz）を FLEX ボックス側より入力の上、整流器の有効電力および受電電力を 100msec 間隔で記録した。

確認基準にもとづく実施結果は表 5 のとおり。

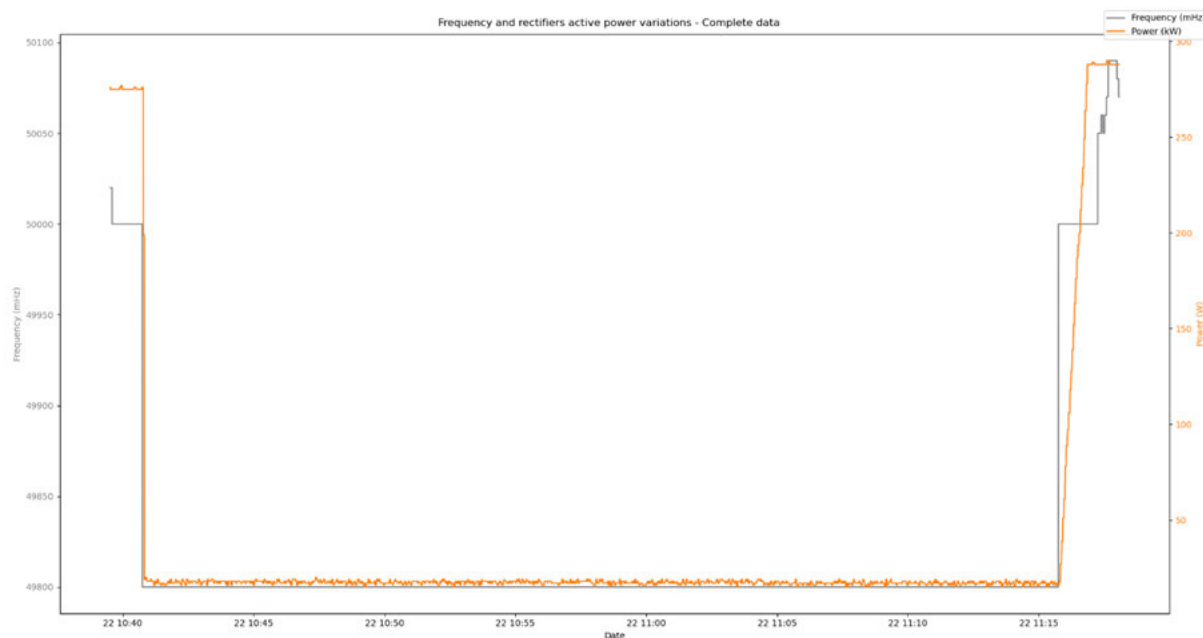
【表 5：ケース 1 実施結果】

確認基準	結果	評価
整流器有効電力の変動幅（－234kW 以上）	－259kW	○
受電電力の変動幅（－234kW 以上）	－299kW	○
遅れ時間（2 秒以内）	2.3 秒	▲ テスト環境によるもの 本番環境であれば○
応動時間（30 秒以内）	4.8 秒	○
継続時間（5 分以上）	35 分	○
安定性	○	○

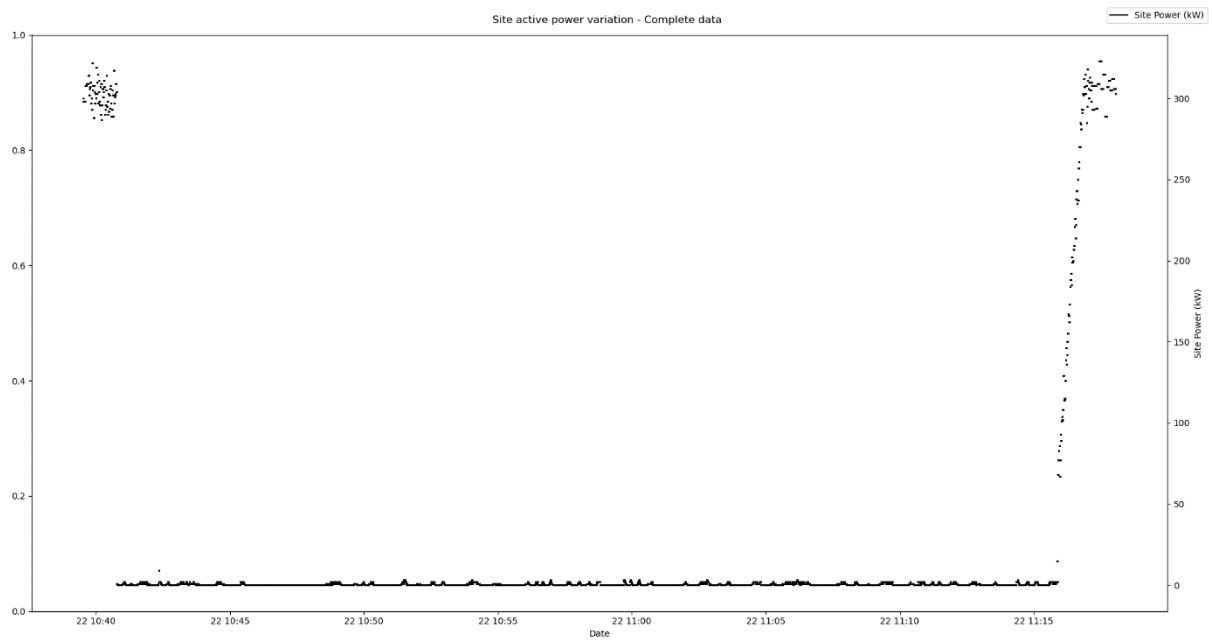
整流器有効電力の変動幅は制御指令値とほぼ等しく、テスト時間中で安定して維持できていることを確認した。一方、受電電力の変動幅は 40kW 程度の差異が発生し、整流器以外の補機等の負荷も減少した可能性がある。

遅れ時間は 2 秒以上となっているが、今回は試験環境の中で通信を 500msec 周期で実施していることを考慮すると、本番環境で整調（当該周期の見直し含む）することにより対応可能。一方、応動時間は厳しい条件下でも十分基準を満たしており、PEM 型水電解の優れた応動を示している。

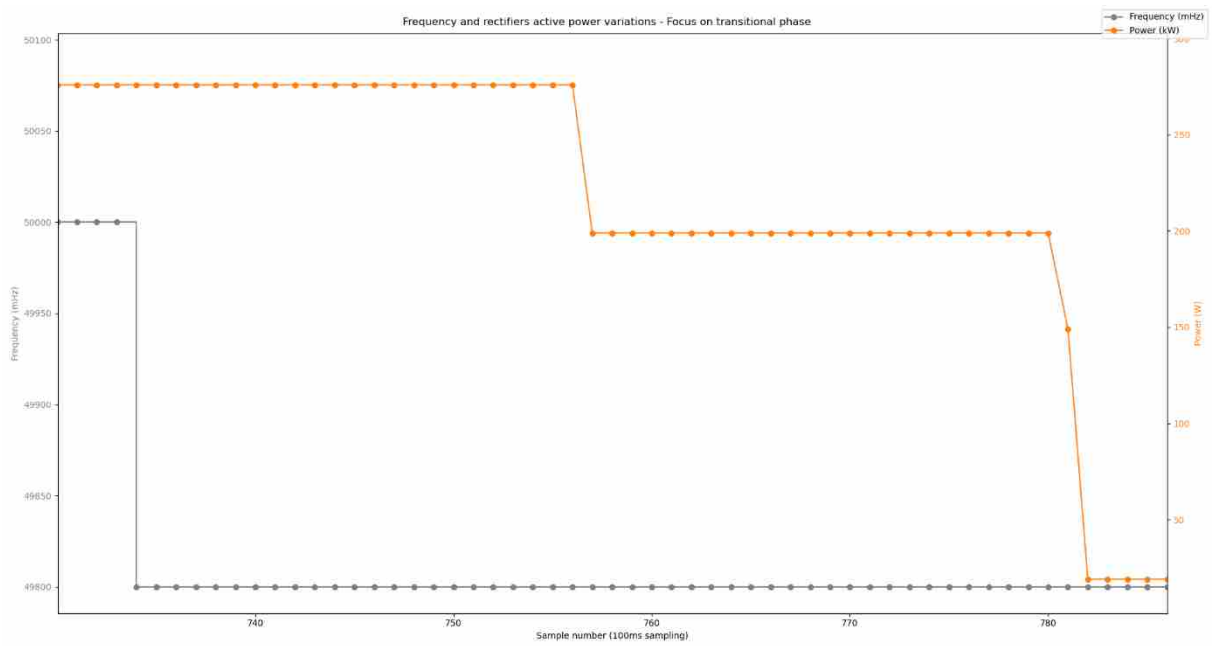
【図 4：整流器有効データ（テスト時間全体）】



【図 5：受電電力データ（テスト時間全体）】



【図 6：整流器有効電力データ（応動初期段階）】



4.4.2. ケース 2（+200mHz）

模擬周波数信号（+200mHz：50.2Hz）を FLEX ボックス側より入力の上、整流器の有効電力および受電電力を 100msec 間隔で記録した。

確認基準にもとづく実施結果は表 6 のとおり。

【表 6：ケース 2 実施結果】

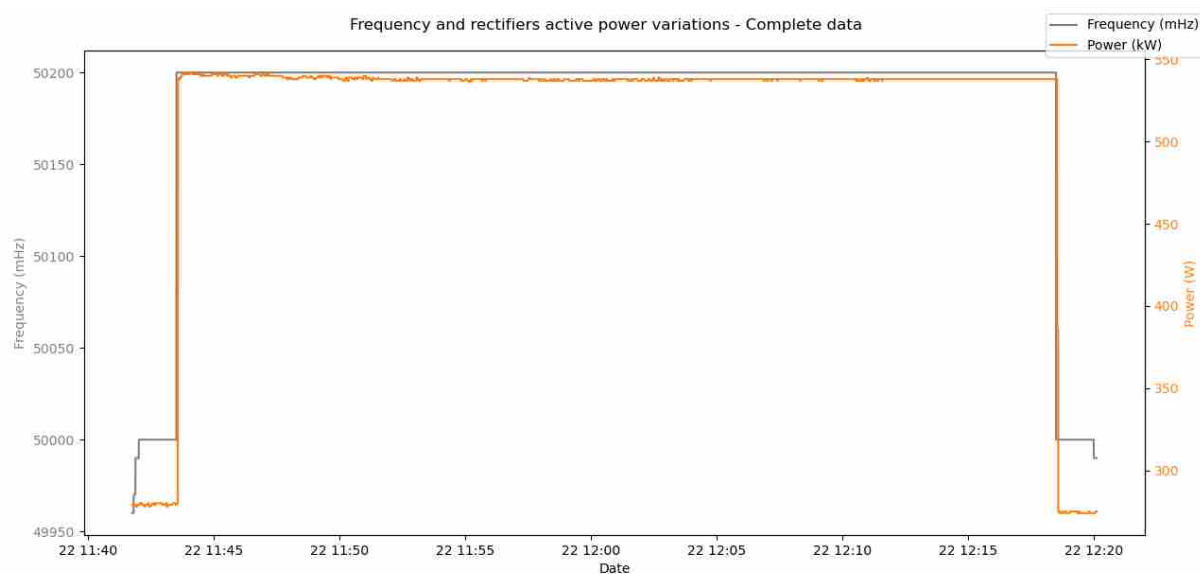
確認基準	結果	評価
整流器有効電力の変動幅（+234kW 以上）	+259kW	○
受電電力の変動幅（+234kW 以上）	+265kW	○
遅れ時間（2 秒以内）	3.1 秒	▲ テスト環境によるもの 本番環境であれば○
応動時間（30 秒以内）	3.8 秒	○
継続時間（5 分以上）	35 分	○
安定性	○	○

整流器有効電力の変動幅は制御指令値とほぼ等しく、テスト時間中で安定して維持できていることを確認した。また、受電電力の変動幅も補機の影響を受けることなく、想定変動幅を供出したことを確認した。

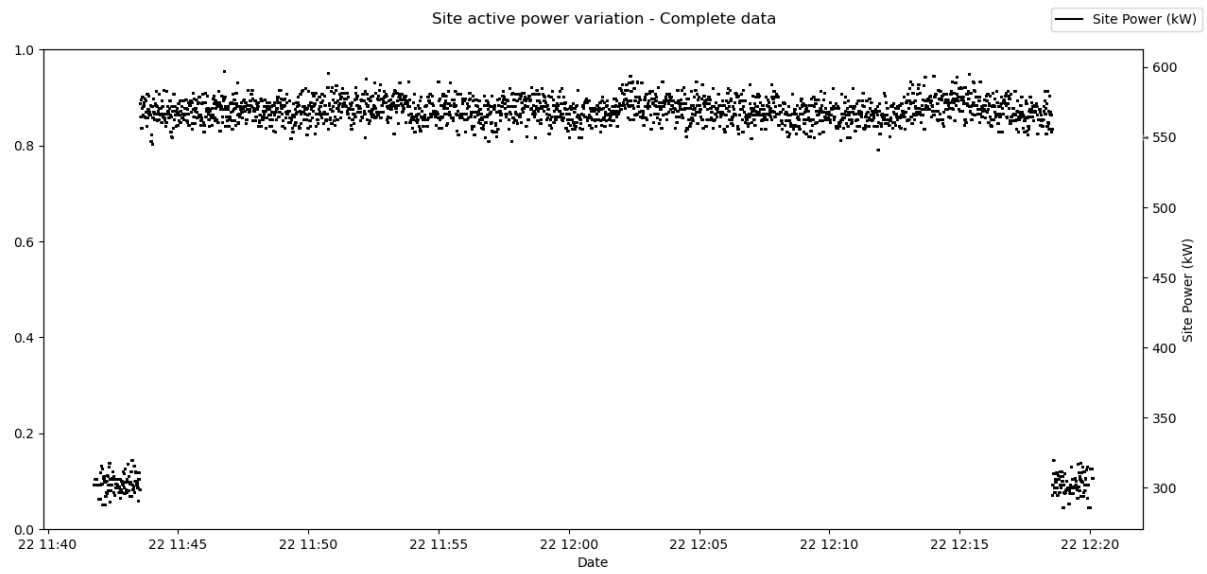
遅れ時間は 2 秒以上となっているが、今回は試験環境の中で通信を 500msec 周期で実施していることを考慮すると、本番環境で整調（当該周期の見直し含む）することにより対応可能。

一方、応動時間は厳しい条件下でも十分基準を満たしており、PEM 型水電解の優れた応動を示している。

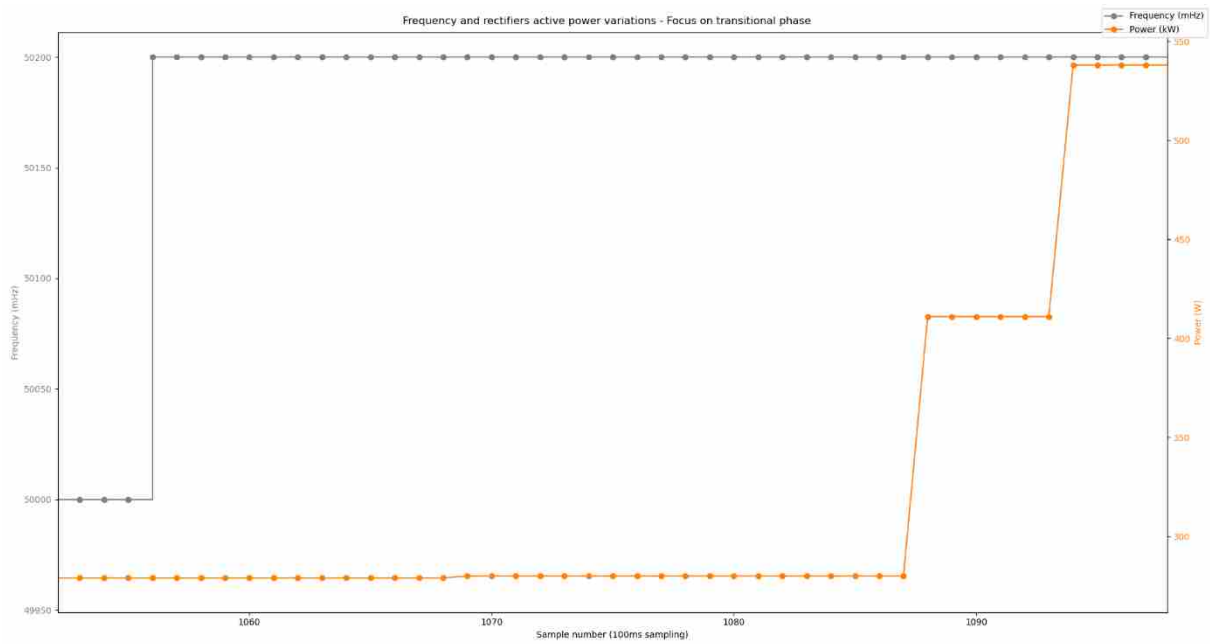
【図 7：整流器有効データ（テスト時間全体）】



【図 8：受電電力データ（テスト時間全体）】



【図 9：整流器有効電力データ（応動初期段階）】



4.4.3. ケース 3（－50mHz）

模擬周波数信号（－50mHz：49.95Hz）を FLEX ボックス側より入力の上、整流器の有効電力および受電電力を 100msec 間隔で記録した。

確認基準にもとづく実施結果は表 7 のとおり。

【表 7：ケース 3 実施結果】

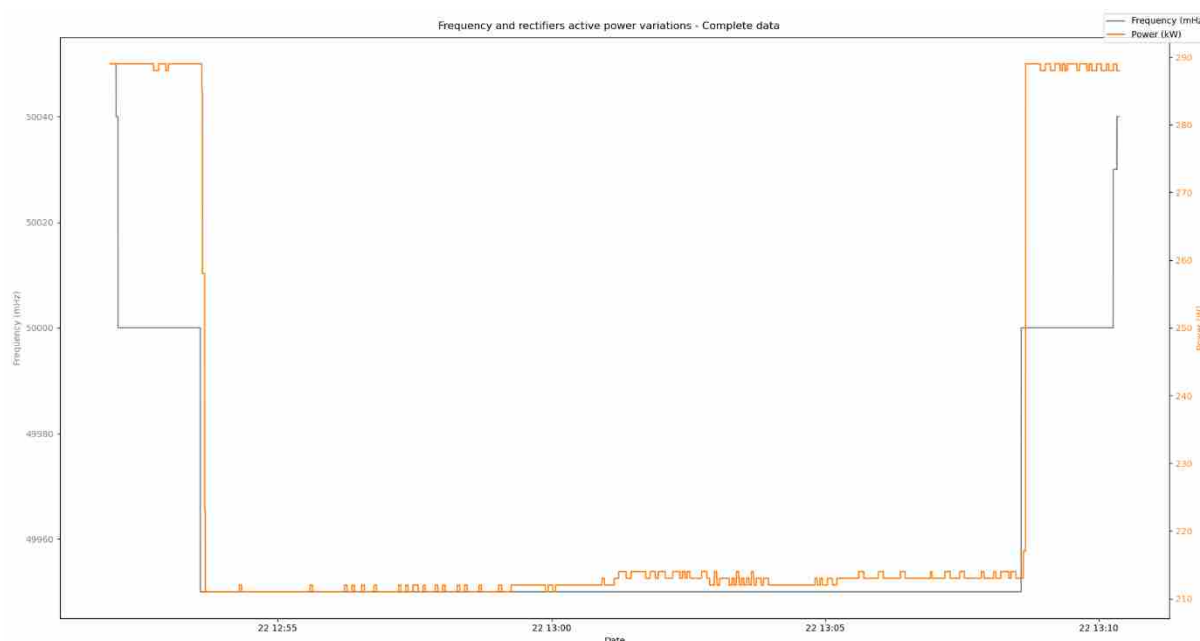
確認基準	結果	評価
整流器有効電力の変動幅（－39kW～－91kW）	－74kW	○
受電電力の変動幅（－39kW～－91kW）	－75kW	○
遅れ時間（2 秒以内）	2.4 秒	▲ テスト環境によるもの 本番環境であれば○
応動時間（30 秒以内）	5.5 秒	○
継続時間（5 分以上）	15 分	○
安定性	○	○

整流器有効電力の変動幅は制御指令値に近い値を記録し、テスト時間中で安定して維持できていることを確認した。また、受電電力の変動幅も補機の影響を受けることなく、想定変動幅を供出したことを確認した。

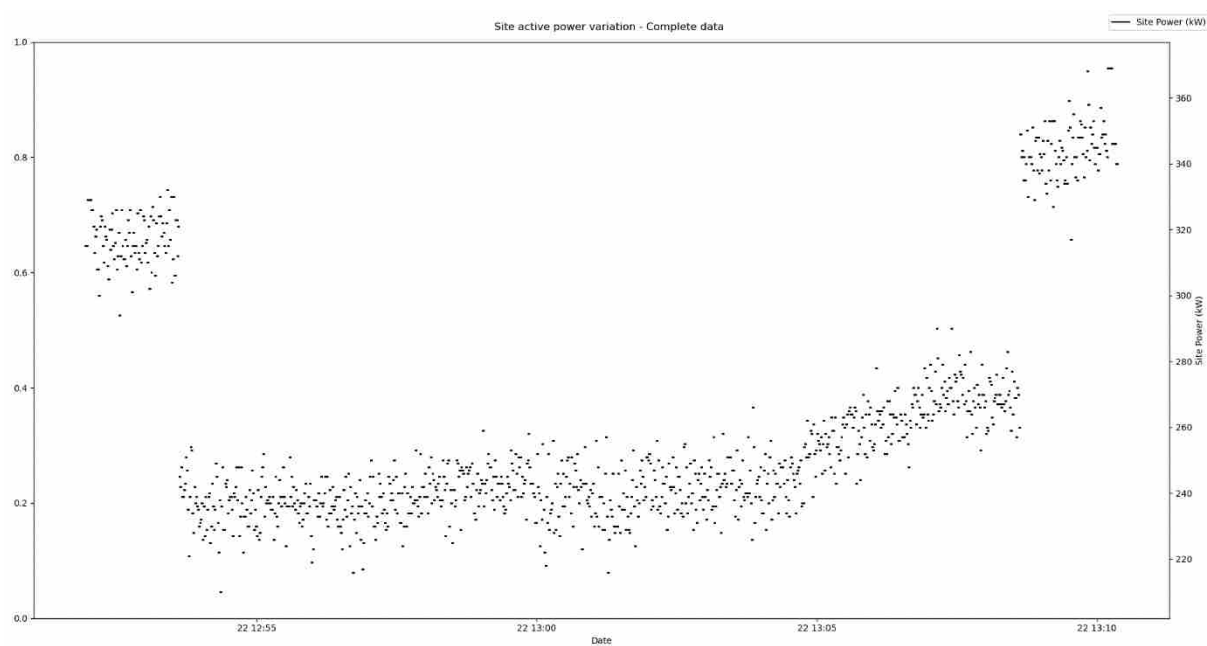
遅れ時間は 2 秒以上となっているが、今回は試験環境の中で通信を 500msec 周期で実施していることを考慮すると、本番環境で整調（当該周期の見直し含む）することにより対応可能。

一方、応動時間は厳しい条件下でも十分基準を満たしており、PEM 型水電解の優れた応動を示している。

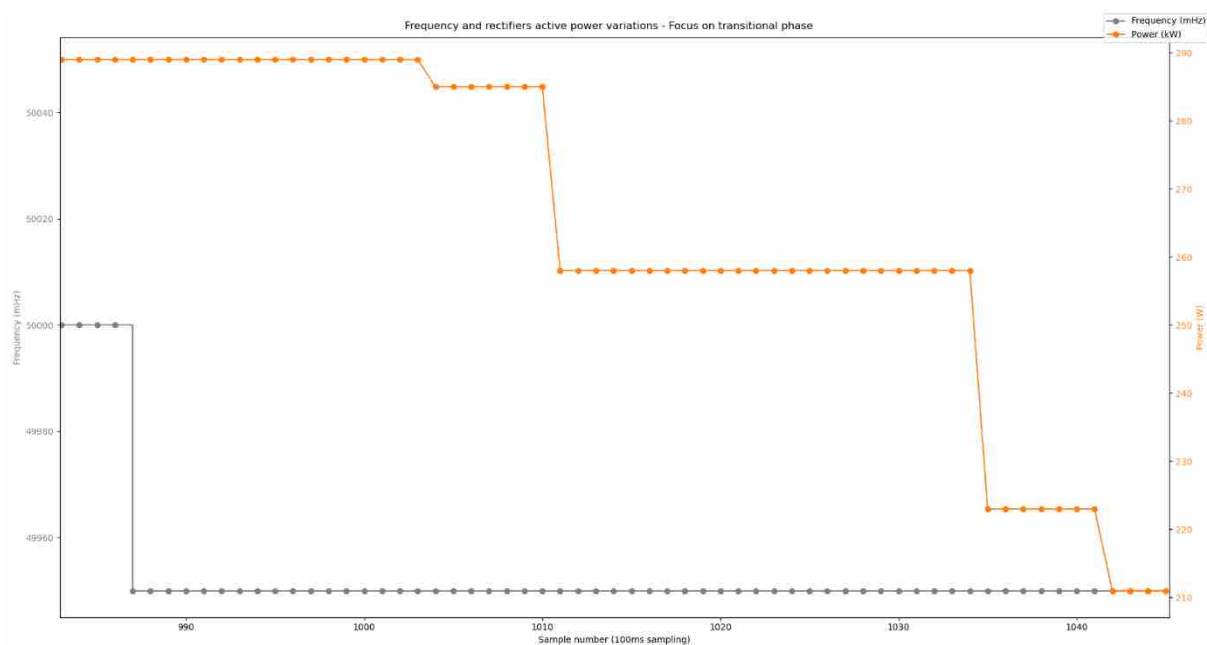
【図 10：整流器有効データ（テスト時間全体）】



【図 11：受電電力データ（テスト時間全体）】



【図 12：整流器有効電力データ（応動初期段階）】



4.4.4. ケース 4（+50mHz）

模擬周波数信号（+50mHz：50.05Hz）を FLEX ボックス側より入力の上、整流器の有効電力および受電電力を 100msec 間隔で記録した。

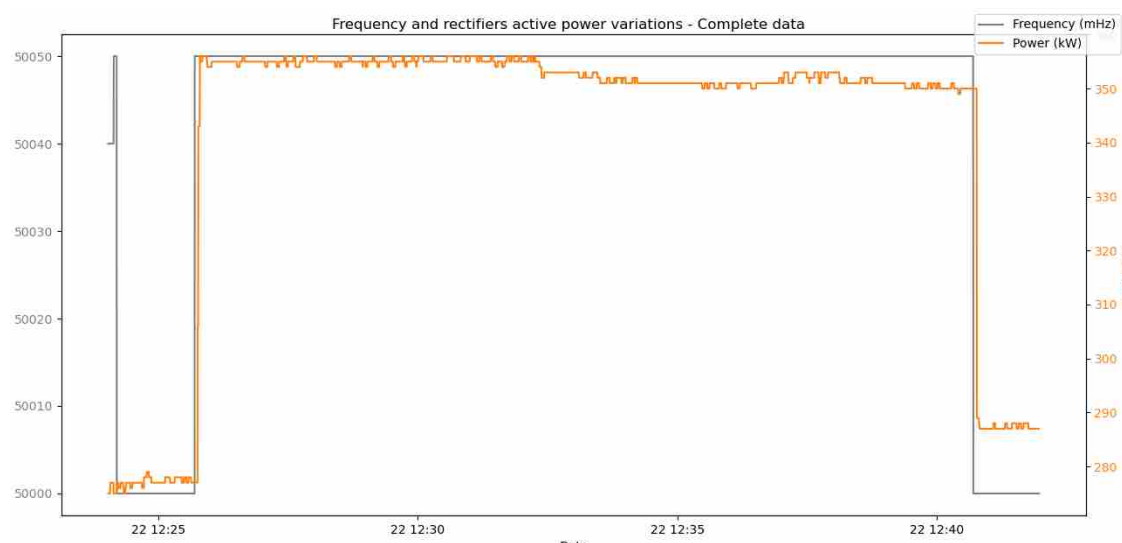
確認基準にもとづく実施結果は表 8 のとおり。

【表 8：ケース 4 実施結果】

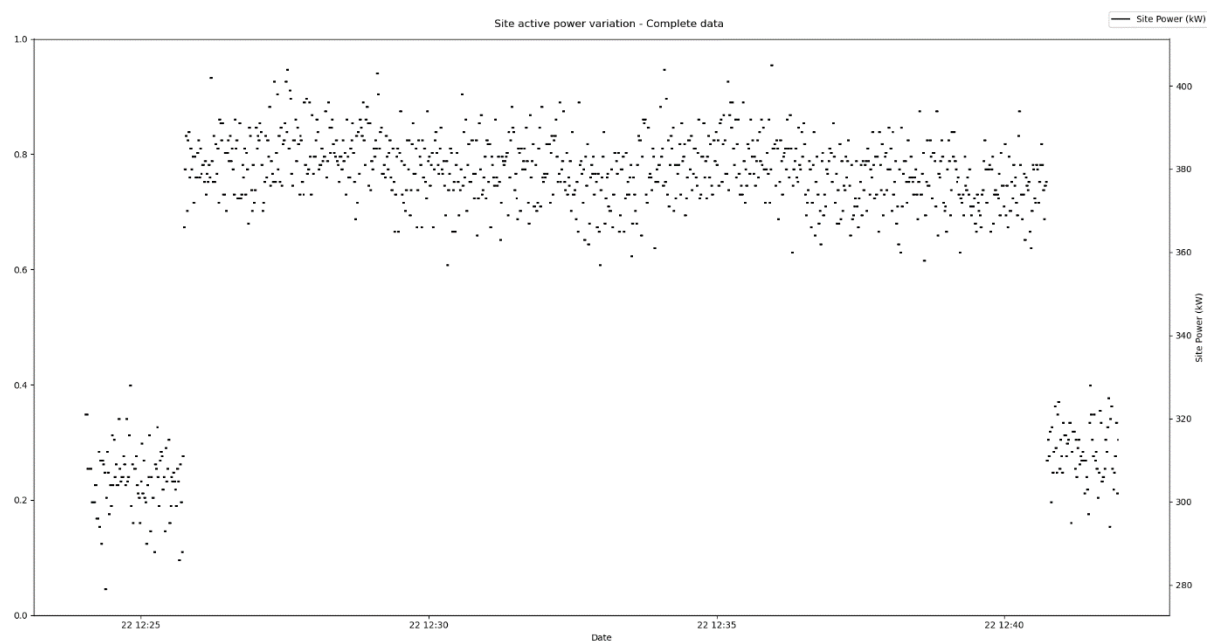
確認基準	結果	評価
整流器有効電力の変動幅（+39kW～+91kW）	+73kW	○
受電電力の変動幅（+39kW～+91kW）	+65kW	○
遅れ時間（2 秒以内）	3.4 秒	▲ テスト環境によるもの 本番環境であれば○
応動時間（30 秒以内）	5.9 秒	○
継続時間（5 分以上）	15 分	○
安定性	△	△

整流器有効電力の変動幅は制御指令値にほぼ等しいが、テスト時間中は水電解プロセスで若干安定していない部分も見受けられたが、一旦停止した設備を再起動させ水電解の状態が安定化する前に実施されたことに起因するものと推定され、稼働を安定化させたうえであれば問題ないものと思われる。また、受電電力の変動幅も補機の影響を受けることなく、想定変動幅を供出したことを確認した。遅れ時間は 2 秒以上となっているが、今回は試験環境の中で通信を 500msec 周期で実施していることを考慮すると、本番環境で整調（当該周期の見直し含む）することにより対応可能。一方、応動時間厳しい条件下でも十分基準を満たしており、PEM 型水電解の優れた応動を示している。

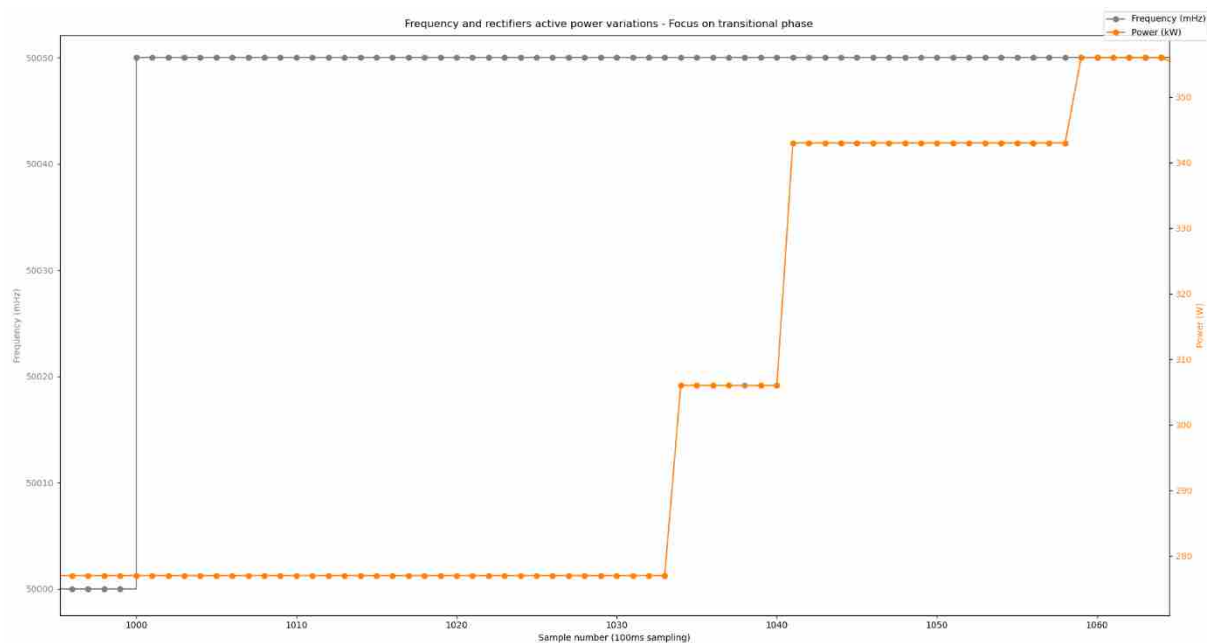
【図 13：整流器有効データ（テスト時間全体）】



【図 14：受電電力データ（テスト時間全体）】



【図 15：整流器有効電力データ（応動初期段階）】



4.4.5. ケース 5 (±15mHz)

模擬周波数信号 (±15mHz : 49.985Hz／50.015Hz) を FLEX ボックス側より入力の上、整流器の有効電力および受電電力を 100msec 間隔で記録した。

確認基準にもとづく実施結果は表 9 のとおり。

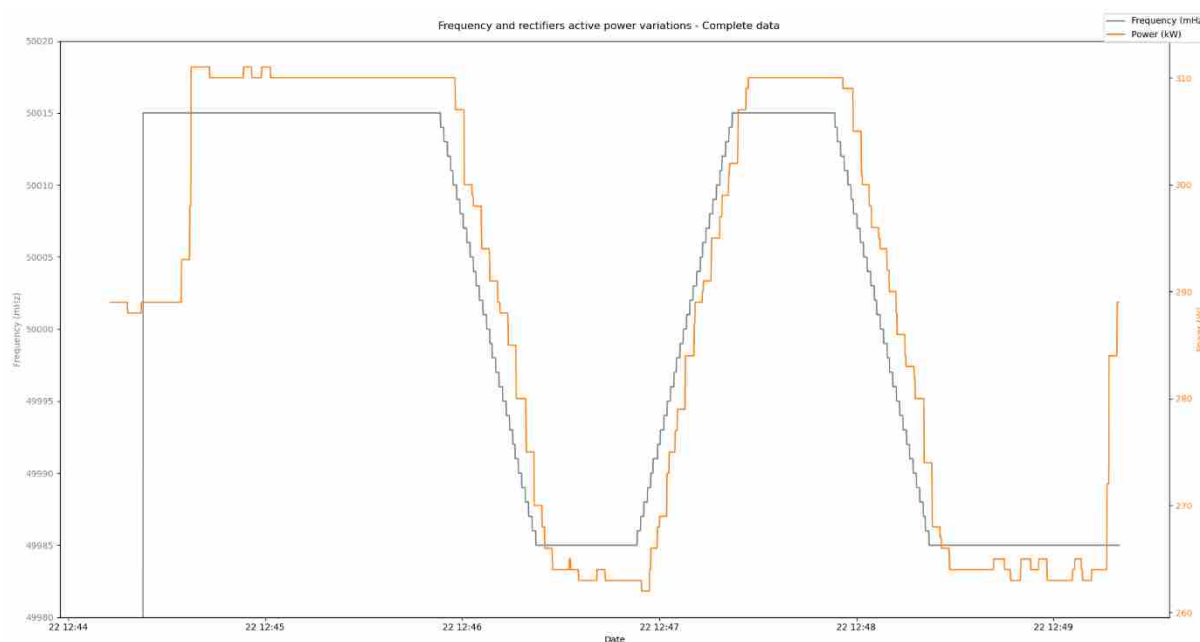
【表 9 : ケース 5 実施結果】

確認基準	結果	評価
整流器有効電力の変動幅 (±46kW)	±22kW	○
受電電力の変動幅 (±46kW)	±23kW	○
遅れ時間 (2 秒以内)	2.4 秒	▲ テスト環境によるもの 本番環境であれば○
応動時間 (30 秒以内) *	-	-
不感帯確認	<10mHz	○

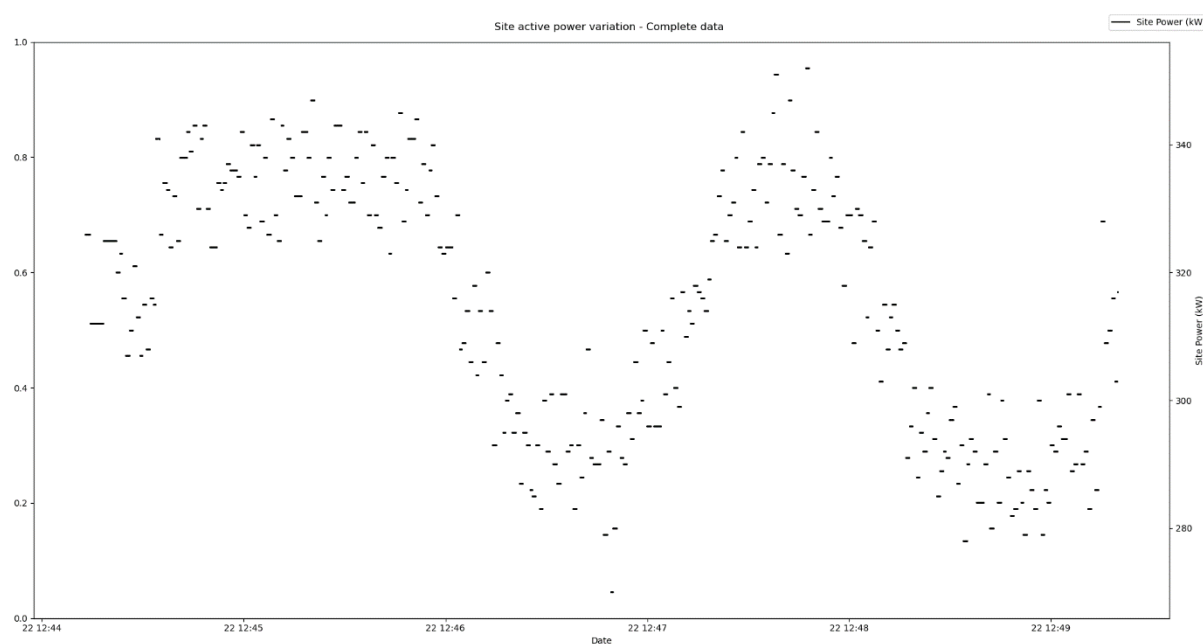
*応動時間については、入力信号がステップ信号でなくランプ信号のため評価外

10mHz 以上において不感帯がなく、微小な変動でも応動可能なことを確認した。

【図 16 : 整流器有効データ (テスト時間全体)】



【図 17：受電電力データ（テスト時間全体）】



4.5. 対象サイトの自動化検討まとめ

米倉山サイトの自動化検討結果のサマリは以下の通りである。

FLEX ボックス／MasterPLC 間の R1 実施にあたって必要となる伝送データの通信を再確認したうえで、PEM 型水電解設備を含めた機器構成のもと、FLEX ボックスの R1 信号送信に応じて、水電解が応動する自動制御フローおよび応動結果の確認を実施し、正常に実施できたことを確認した。

テスト時間中の水電解の安定化が図られていなかった時間が多少あったものの、概ね制御指令値に近い制御が実現できており、かつ安定性も確認できた。

一方、遅れ時間が基準を満たしていないが、本番環境で整調して対応していくこととなる。

なお、機器そのものの応動性は厳しい条件下においても非常に高いパフォーマンスを示したといえる。

5. 自動化制御検討結果（その2 トクヤマサイト）

5.1. 対象設備

昨年度は食塩電解での手動テストを実施したが、カーボンニュートラルに向けて大規模導入が予想される 5MW能力のアルカリ水電解設備の 2.5MW稼働時に自動化制御の検証を実施した。

5.2. 接続テストおよび通信不良テスト

いずれの項目も正常に接続を確認し、通信不良時も正常な動作を確認した。

5.3. トクヤマサイトの実機テスト前提条件

トクヤマサイトで実施した実機テストについて、以下前提条件を示す。

5.3.1. 最大調整電力およびテストケース一覧

今回のテストにおいては、想定周波数変動幅に応じた電力値変動を行う前提で、以下の各ケースでの電力変動幅を設定した。

なお、アルカリ水電解は設備の特性上、調整幅に一定の制約があり、生産影響を及ぼさないよう、電力調整幅を設定したものである。

【表 10：実機テストの各ケースおよびケース毎の電力変動関連情報】

no.	想定周波数変動幅	電解槽（整流器）kW	電力調整幅
ベース		1,930kW*	
1	－ 200 mHz	1,780kW	－ 150kW
2	＋ 200 mHz	2,080kW	＋ 150kW
3	－ 50 mHz	1,892.5kW	－ 37.5kW
4	＋ 50 mHz	1,967.5kW	＋ 37.5kW
5	± 15 mHz	1,918.7kW～1,941.3kW	± 11.3kW

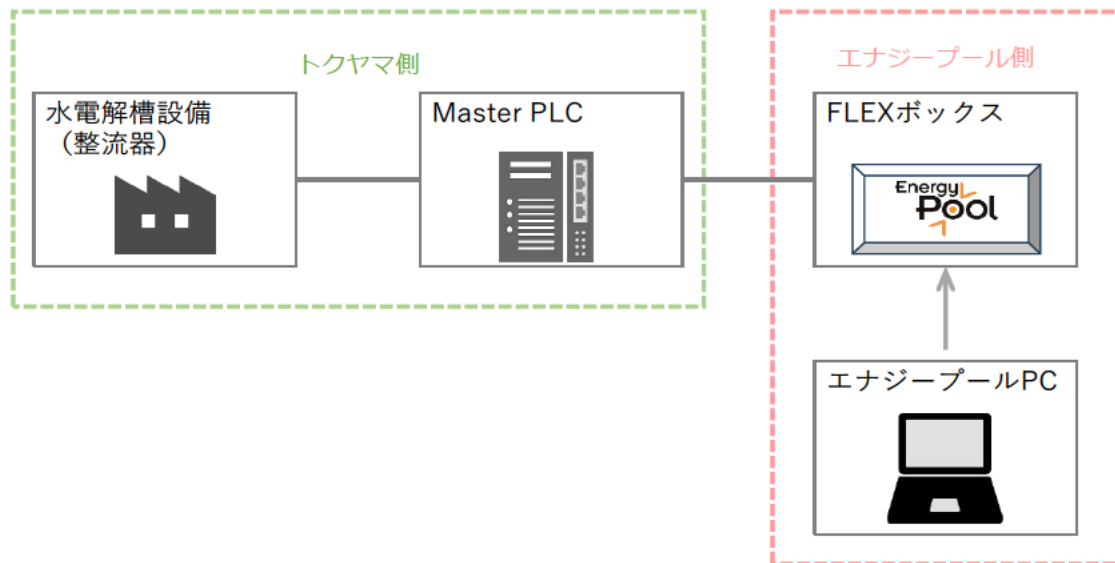
*今回の条件にて算定した概算値である点留意

5.3.2. 実機テスト実施時の構成設定

FLEX ボックスと PLC を接続のうえ、エナジープール PC より、適宜信号送信を実施し、PLC を通して、アルカリ水電解設備が適切に応動するか確認を実施した。

なお、R1 指令方法については、アルカリ水電解設備の制御方式にそって検討しており、一般的な ΔP ではなく、特殊な制御指令方法を採用している。

【図 18：トクヤマサイトでの機器構成概要図】



5.3.3. 実施スケジュール

水電解設備の稼働スケジュール等を考慮して、以下の予定で実施した。

なお、自動化検証においては現地での通信環境や実機の状態などによりテストが順調に進むとは限らないことから、予備日を設定して実施したものの、予備日に至ることなくテストが完了した。

実施日：2024 年 1 月 16 日（火）～2024 年 1 月 18 日（木） 予備日 2024 年 1 月 19 日（金）

5.4. 実施結果

5.4.1. ケース 1（-200mHz）

模擬周波数信号（-200mHz：49.8Hz）を FLEX ボックス側より入力の上、整流器の有効電力および受電電力を 100msec 間隔で記録した。

確認基準にもとづく実施結果は表 11 のとおり。

【表 11：ケース 1 実施結果】

確認基準	結果	評価
整流器有効電力の変動幅（-135kW 以上）	-169kW	○
遅れ時間（2 秒以内）	2.5 秒	▲ テスト環境によるもの 本番環境であれば○
応動時間（30 秒以内）	29.1 秒	○
継続時間（5 分以上）	35 分	○
安定性	○	○

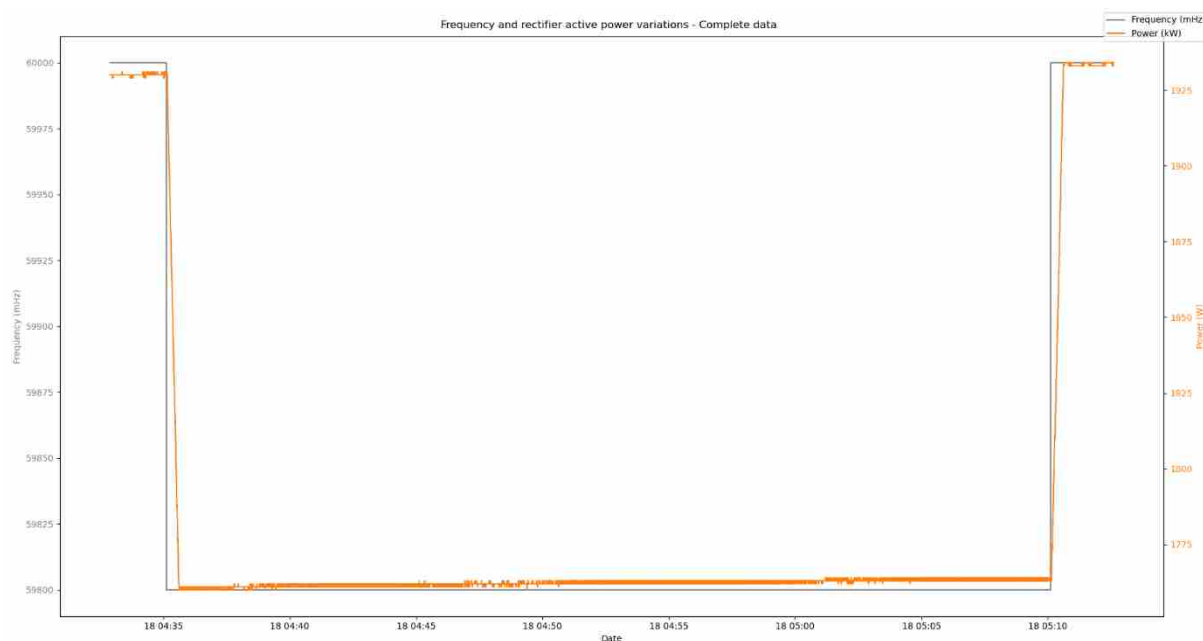
整流器有効電力の変動幅は制御指令値に対して大きくなっているが、概ね安定して維持できていることを確認した。

なお、変動幅については指令方法が ΔP ではなく、特殊な指令方法を採用したことから、本アルカリ水電解の特性を十分把握しきれていないことが要因として考えられる。

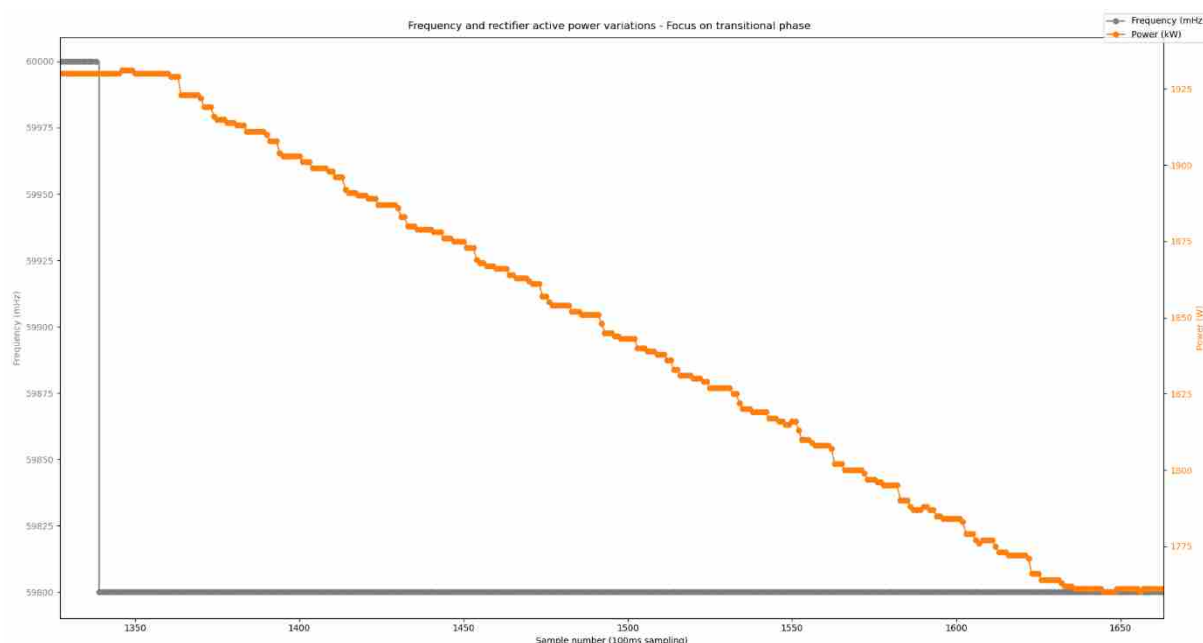
遅れ時間は2秒以上となっているが、今回は試験環境の中で通信を500msec周期で実施していることを考慮すると、本番環境で整調（当該周期の見直し含む）することにより対応可能。

一方、応動時間はオフライン枠の応動要件の緩和後の30秒であれば基準を満たしており、アルカリ型水電解の優れた応動を示している。

【図 19：整流器有効データ（テスト時間全体）】



【図 20：整流器有効電力データ（応動初期段階）】



5.4.2. ケース 2（+200mHz）

模擬周波数信号（+200mHz：50.2Hz）を FLEX ボックス側より入力の上、整流器の有効電力および受電電力を 100msec 間隔で記録した。

確認基準にもとづく実施結果は表 12 のとおり。

【表 12：ケース 2 実施結果】

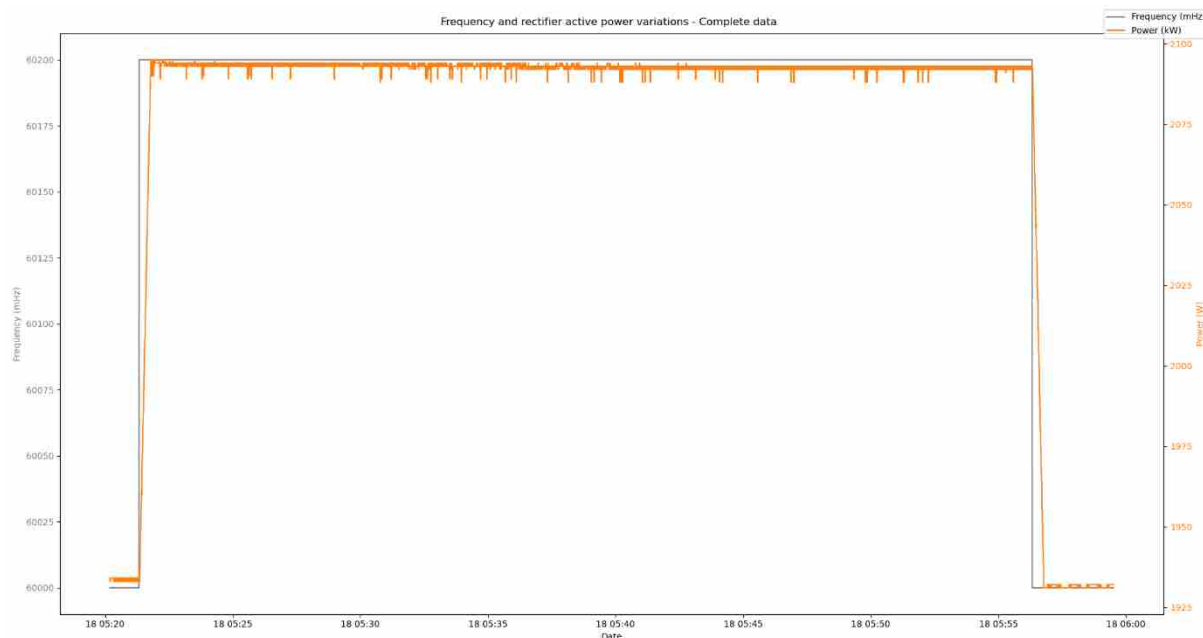
確認基準	結果	評価
整流器有効電力の変動幅（+135kW 以上）	+160kW	○
遅れ時間（2 秒以内）	1.6 秒	○
応動時間（30 秒以内）	28.1 秒	○
継続時間（5 分以上）	35 分	○
安定性	○	○

整流器有効電力の変動幅は制御指令値とほぼ等しく、テスト時間中で安定して維持できていることを確認した。

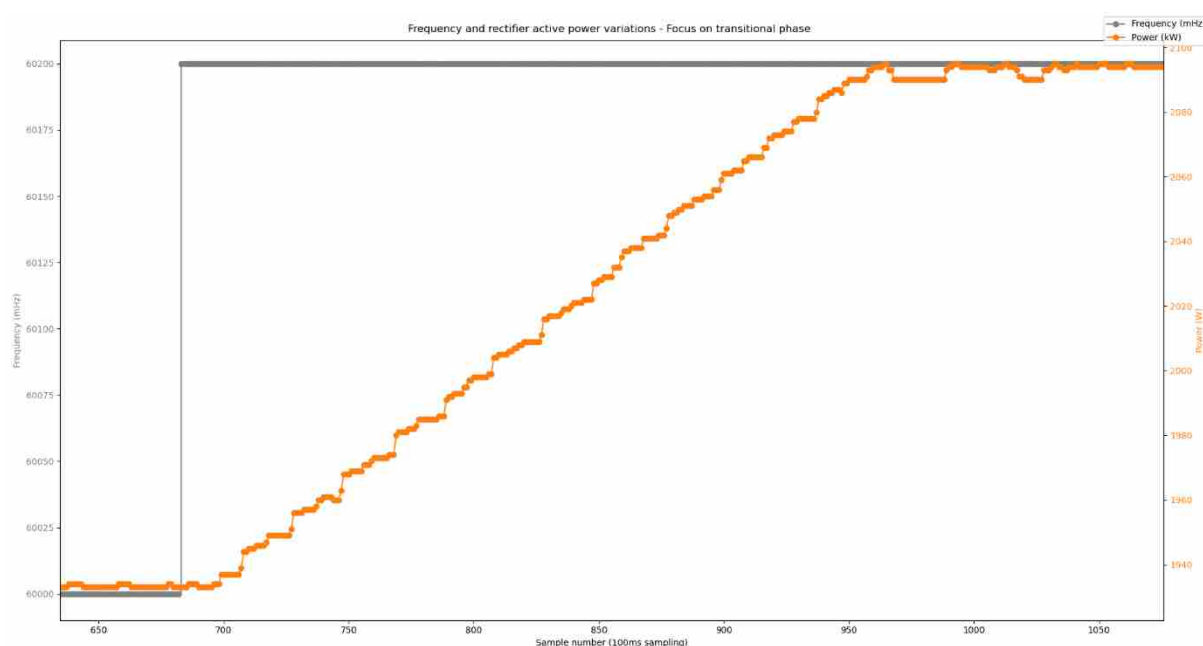
遅れ時間は 2 秒未満となっており、応答が適切に実施できたことを確認した。

一方、応動時間はオフライン枠の応動要件の緩和後の 30 秒であれば基準を満たしており、アルカリ型水電解の優れた応動を示している。

【図 21：整流器有効データ（テスト時間全体）】



【図 22：整流器有効電力データ（応動初期段階）】



5.4.3. ケース 3（－50mHz）

模擬周波数信号（－50mHz：49.95Hz）を FLEX ボックス側より入力の上、整流器の有効電力および受電電力を 100msec 間隔で記録した。

確認基準にもとづく実施結果は表 13 のとおり。

【表 13：ケース 3 実施結果】

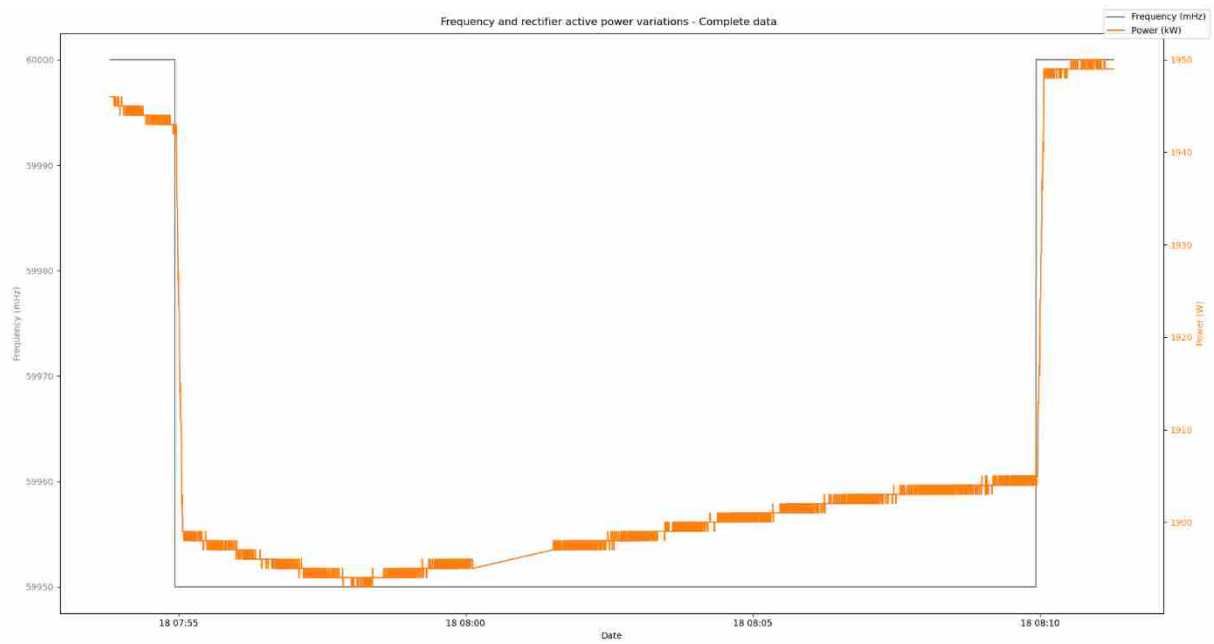
確認基準	結果	評価
整流器有効電力の変動幅（－23kW～－53kW）	－43kW (応動初期段階)	○
遅れ時間（2 秒以内）	1.7 秒	○
応動時間（30 秒以内）	8.1 秒	○
継続時間（5 分以上）	15 分	○
安定性	△	△

整流器有効電力の変動幅は応動初期段階では制御指令値とほぼ等しいが、当該テスト実施前に不具合が生じて設備復旧後にテストを実施し、水電解が安定化していなかったことから、安定性については評価が困難である。

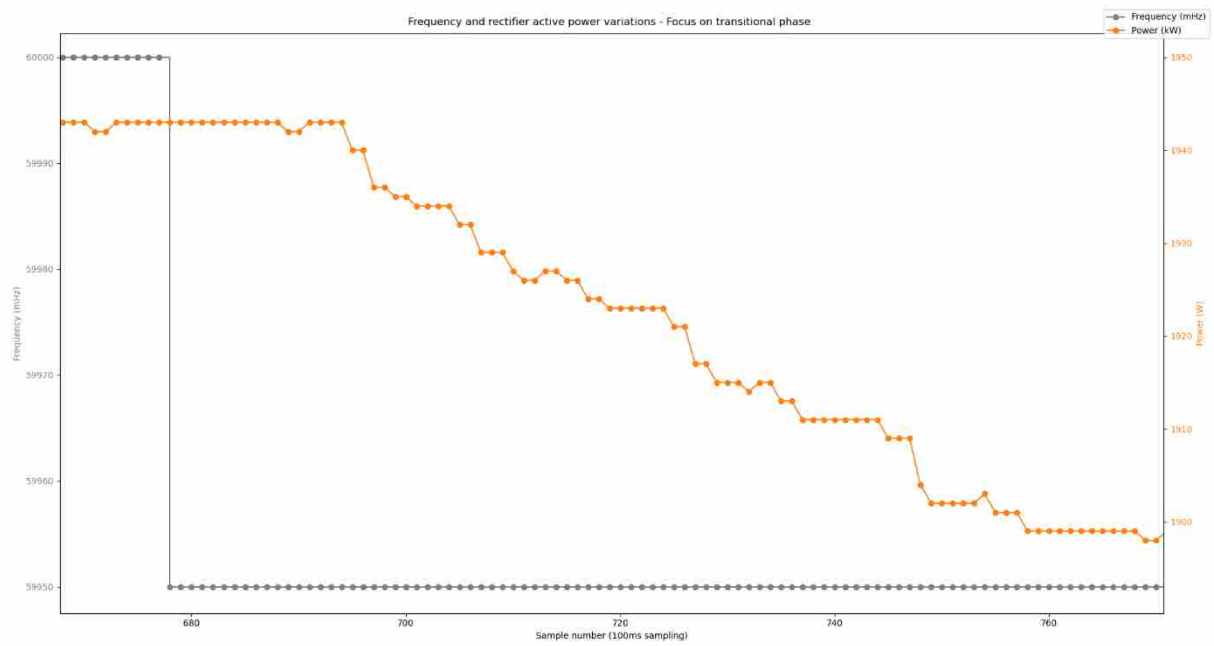
遅れ時間は 2 秒未満となっており、応答が適切に実施できたことを確認した。

一方、応動時間は十分基準を満たしており、アルカリ型水電解の優れた応動を示している。

【図 23：整流器有効データ（テスト時間全体）】



【図 24：整流器有効電力データ（応動初期段階）】



5.4.4. ケース 4（+50mHz）

模擬周波数信号（+50mHz：50.05Hz）を FLEX ボックス側より入力の上、整流器の有効電力および受電電力を 100msec 間隔で記録した。

確認基準にもとづく実施結果は表 14 のとおり。

【表 14：ケース 4 実施結果】

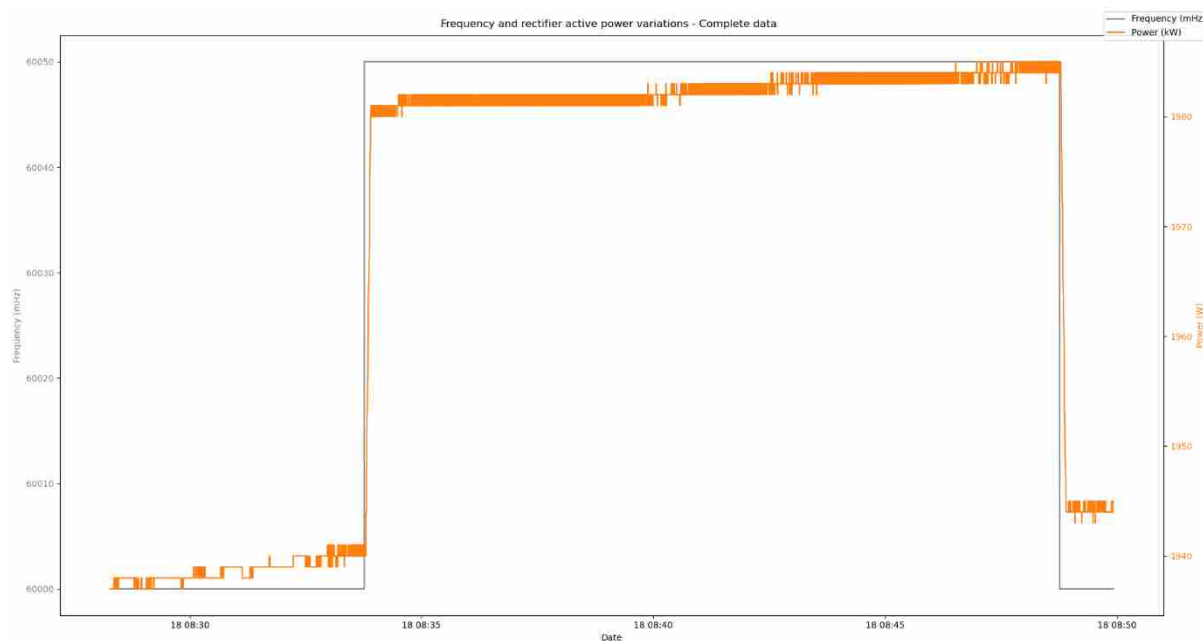
確認基準	結果	評価
整流器有効電力の変動幅（+23kW～+53kW）	+40kW (応動初期段階)	○
遅れ時間（2 秒以内）	2.0 秒	○
応動時間（30 秒以内）	8.1 秒	○
継続時間（5 分以上）	15 分	○
安定性	△	△

整流器有効電力の変動幅は応動初期段階では制御指令値とほぼ等しいが、当該テスト実施前に不具合が生じ設備復旧後にテストを実施し、水電解が安定化していなかったことから、安定性については評価が困難である。

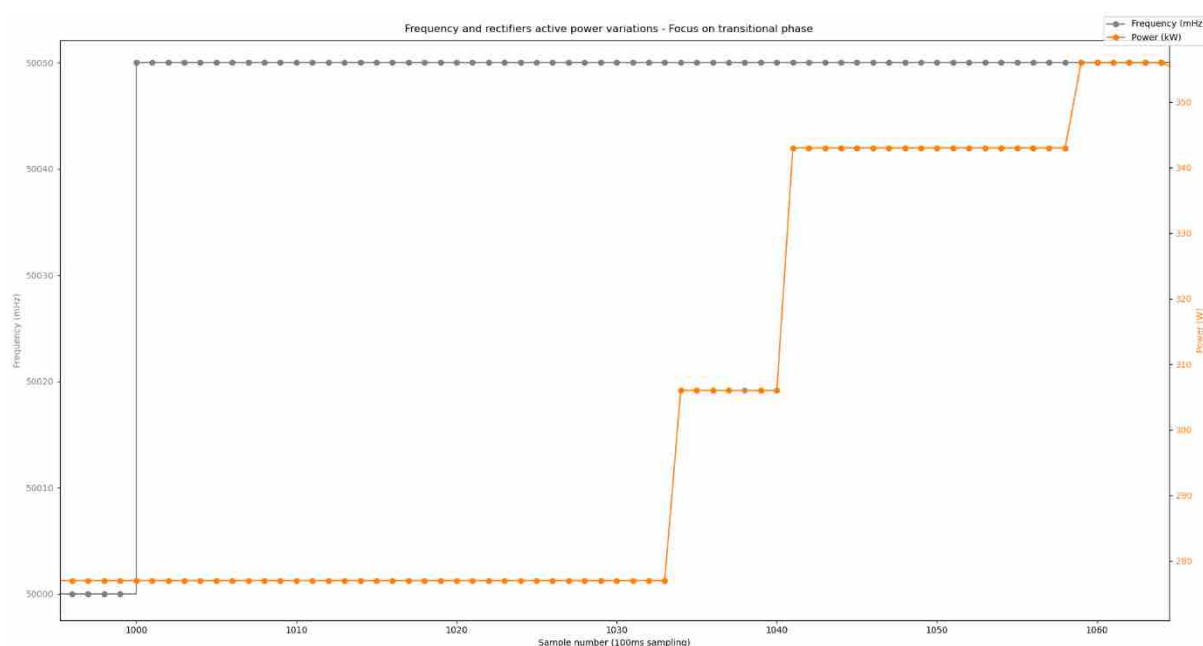
遅れ時間は 2 秒未満となっており、応答が適切に実施できたことを確認した。

一方、応動時間は十分基準を満たしており、アルカリ型水電解の優れた応動を示している。

【図 25：整流器有効データ（テスト時間全体）】



【図 26：整流器有効電力データ（応動初期段階）】



5.4.5. ケース 5（ $\pm 15\text{mHz}$ ）

模擬周波数信号（ $\pm 15\text{mHz}$ ： $49.985\text{Hz}/50.015\text{Hz}$ ）を FLEX ボックス側より入力の上、整流器の有効電力および受電電力を 100msec 間隔で記録した。

確認基準にもとづく実施結果は表 15 のとおり。

【表 15：ケース 5 実施結果】

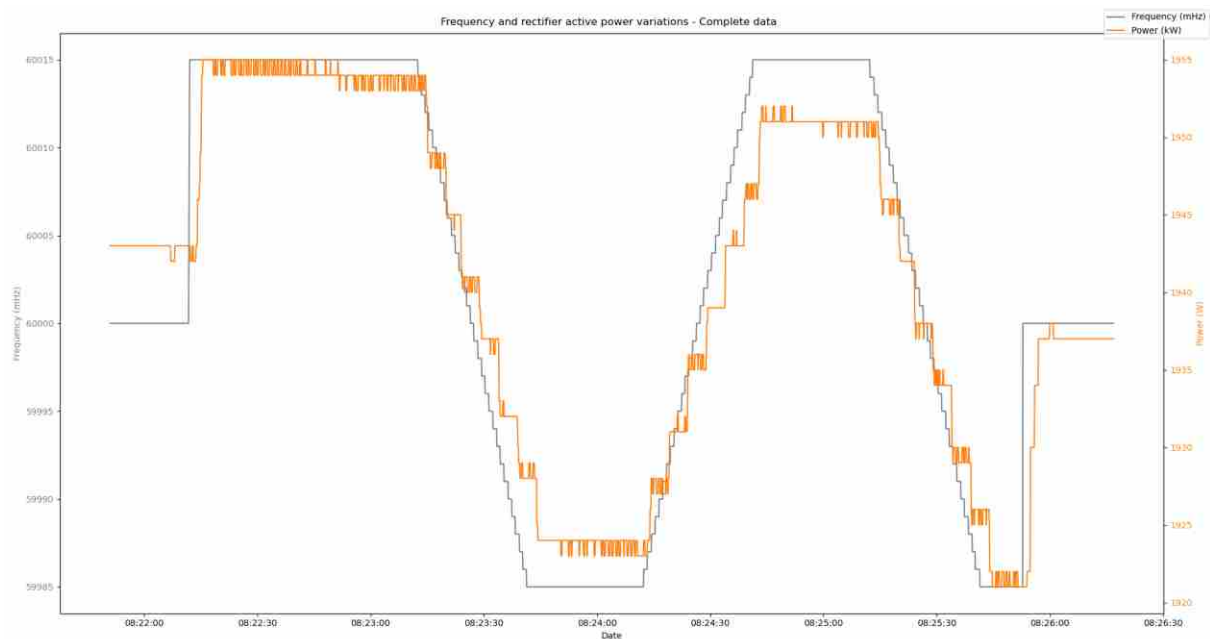
確認基準	結果	評価
整流器有効電力の変動幅（ $\pm 26\text{kW}$ ）	$\pm 14\text{kW}$	○
遅れ時間（+2 秒）	0.7 秒	○
応動時間（+30 秒）	-	-
不感帯確認	$< 10\text{mHz}$	○

*応動時間については、入力信号がステップ信号でなくランプ信号のため評価外

整流器有効電力の変動幅は応動初期段階では制御指令値とほぼ等しいが、当該テスト実施前に、不具合が生じて設備復旧後にテストを実施し、水電解が安定化していなかったことから、電力幅が安定的に出力していたか評価が困難である。

10mHz 以上において不感帯がなく、微小な変動でも応動可能なことを確認した。

【図 27：整流器有効データ（テスト時間全体）】



5.5. 対象サイトの自動化検討まとめ

トクヤマサイトの自動化検討結果のサマリは以下の通りである。

FLEX ボックス／PLC 間の R1 実施にあたって必要となる伝送データの通信を再確認したうえで、水電解設備を含めた機器構成のもと、FLEX ボックスの R1 信号送信に応じて、水電解が応動する自動制御フローおよび応動結果の確認を実施し、正常に実施できたことを確認した。

テスト時間中の水電解の安定化が図られていなかった時間が多少あったものの、概ね制御指令値に近い制御が実現できており、かつ安定性も確認できた。

オフライン枠の応動要件の緩和後の活用であれば基準を満たすことから、機器そのものの応動性は非常に高いパフォーマンスを示したといえる。

なお、アルカリ水電解は設備容量が大きく、応動時間が長くなればより調整力を安定して供出することが可能なリソースであるといえる。

6. DR活用可能設備の見通しに関する調査

今回の自動化検証により、水電解が重要な DR 活用可能な設備であることを把握した。本章の調査では、水電解のほか、DR 活用可能な設備の導入見通しの類似事例として蓄電池についても調査した。

(1) 水電解（水素）

「水素基本戦略（2023 年 6 月）」においては、「2030 年に最大 300 万トン／年、2050 年に 2,000 万トン／程度」というこれまでの水素等導入目標に、「2040 年に 1,200 万トン／年程度（アンモニア含む）」という目標が加えられた。その中で供給面としては、世界の水電解装置の導入量は 2030 年には 134GW に到達すると見込まれ、国内外において日本関連企業の水電解装置の導入目標を 15GW 程度と設定された。

また、「水素を取り巻く国内外情勢と水素政策の現状について（2022 年 6 月 23 日）第 9 回産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 エネルギー構造転換分野ワーキンググループ 資料 4」では、電力広域的運営推進機関が現在検討中の広域系統長期方針のシナリオ分析にもとづく再エネ電源が 5～6 割となる極端なシナリオにおいては、今後の系統増強を考慮した場合も、再エネ出力抑制率は約 39%、2,000 億 kWh もの抑制電力量となる見込みと掲載されている。このような出力抑制される余剰再エネを安価に調達し、最大限活用していくことが重要となる。

一方、水素製造には「改質型」「電解型」が存在し、2021 年度における日本国内の供給能力実績は、改質型：60 万トン・電解型：0.07 万トンとほぼ改質型となっている。

前述のように水素製造に必要な再エネ電源は確保できる可能性もあるところ、富士経済によると日本国内における改質型および電解型それぞれの水素供給能力／水素製造設備の将来見通しは表 16 のように推定され、今後は電解型が増加する見通しとなっている。

【表 16：日本国内における水素供給能力／水素製造設備（ストック）】

（上段：供給能力）

（下段：製造設備容量）

いずれも予測

	2025 年度	2030 年度	2035 年度	2040 年度
改質型	60 万トン 110t/h	62 万トン 120t/h	65 万トン 120t/h	70 万トン 130t/h
電解型	0.2 万トン 50MW	1.4 万トン 300MW	17 万トン 3,100MW	89 万トン 14,100MW

富士経済 2023 年版 水素利用市場の将来展望 ～水素需要・関連機器の長期市場予測と世界動向を徹底調査～

電解型では電解手法として、アルカリ型（AEM）、固体高分子型（PEM）、高温水蒸気電解型（SOEC）ほかに分類され、富士経済は、各電解手法の設備容量について、世界全体での 2021 年度実績および 2022 年度見込みを表 17 のとおりと推定している。

【表 17：世界全体での電解手法別の設備容量／構成比】

	2021 年度（実績）		2022 年度（見込）	
アルカリ型	294MW	52.0%	333MW	40.7%
P E M型	173MW	30.6%	267MW	32.6%
S O E C型	2MW	0.4%	5MW	0.6%
その他	96MW	17.0%	213MW	26.0%

富士経済 2023 年版 水素利用市場の将来展望 ～水素需要・関連機器の長期市場予測と世界動向を徹底調査～

水素発生装置の価格は、設備容量あたりではアルカリ型が安価になりやすいものの、前述のとおり調整力としての評価は P E M型が優位であり、同レベルの水素発生能力であれば、P E M型はアルカリ型よりも設備自体の大きさがコンパクトとなる傾向がある。

それぞれに特徴があることから、ポテンシャルの算定にあたっては、表 18 のとおり、アルカリ型・P E M型とも水素製造設備の 30%程度が導入されると仮定して試算していくこととする。

【表 18：日本国内の水素供給能力／水素製造設備（ストック）】（予測）

	2025 年度	2030 年度	2035 年度	2040 年度
電解型	0.2 万トン 50MW	1.4 万トン 300MW	17 万トン 3,100MW	89 万トン 14,100MW
30%	15MW	90MW	930MW	4,230MW

※電解型：富士経済 2023 年版 水素利用市場の将来展望 ～水素需要・関連機器の長期市場予測と世界動向を徹底調査～

（２）蓄電池（業務・産業向け）

イ 用途による考察

現時点では蓄電池導入にあたって、B C P対策またはピークカット対策を目的とすることが大宗であるが、今後再エネ吸収やD R／V P P活用を目的とすることも増えていくと思われる。富士経済の推定によると、業務・産業向けで 300kWh 未満となる蓄電池の日本国内における導入施設別シェア（2022 年）は表 19 のとおり。

【表 19：業務・産業向け蓄電池（300kWh 未満）国内導入施設別シェア（2022 年）】

施設区分	数量（台）	構成比
自治体施設	350	29.2%
工場施設	315	26.3%
文教施設	300	25.0%
商業施設	80	6.7%

オフィスビル	70	5.8%
医療・福祉施設	20	1.7%
その他	65	5.4%
合計	1,200	100%

富士経済 エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2023 - E S S ・定置用蓄電池分野編 -

自治体施設、工場施設および医療・福祉施設はB C P対策が主用途であると思われるが、文教施設、商業施設およびオフィスビルは主にピークカットが主用途と想定される。

また、定置用蓄電システム普及拡大検討会の結果とりまとめ（2021年2月2日定置用蓄電システム普及拡大検討会資料4）では、業務・産業用蓄電システムの導入ポテンシャルについて表20のとおり推計している。

【表20：施設別導入ポテンシャル】

分類	対象	係数	蓄電容量	ポテンシャル
自治体向け	230,000 か所	30%	15kWh/箇所	1,035MWh
店舗等向け	130,000 か所	10%	25kWh/箇所	325MWh
工場向け	46,000 か所	1 %	1,000kWh/箇所	460MWh
医療・病院向け	184,000 か所	10%	30kWh/箇所	552MWh

2030年までのポテンシャル 約2,372MWh

ロ 蓄電池種類による考察

今後普及拡大が見込まれるL i BおよびN A S電池について、富士経済の推定した容量を表21にて示す。

【表21：種類別業務・産業用蓄電システムの国内導入予測】

		2025 年	2030 年	2035 年	2040 年
リチウムイオン	小容量	54.3MWh	87.3MWh	136.1MWh	159.2MWh
	大容量	117MWh	282.9MWh	535.2MWh	770MWh
N A S		25MWh	60MWh	75MWh	100MWh

富士経済 エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2023 - E S S ・定置用蓄電池分野編 -

小容量 300kWh 未満／大容量 300kWh 以上

7. 結論

(1) 自動化検討結果と活用に向けた提言

今回、フランスの実績をもとに PEM 型・アルカリ型の両水電解の自動化を図ることができた。関係者の皆さまに改めて感謝申し上げたい。

昨年 7 月の本事業着手時から早めの検討・調整を進めてきたものの、対象設備の検討・特定や必要な設備構成の確認など、仕様調整の前段階で様々な検討・確認が必要であり、同じ「水電解」でもそれぞれ異なる仕様の設備を自動化していくには、それぞれの設備制御内容を細かく確認するなど、相応の労力とコストがかかることを痛感した。

また、通信仕様の調整や Factory テストや実機テストなど制御システムのノウハウを有するエンジニアが双方協調・協議しながら検討を進めていくことが必須であったと感じている。

加えて、テスト実施には設備の不具合や通信障害など、予定外の事象も発生する中、各社の高度な技術や知見をもとにテストを成功裡に完結することができた。

そのうえで、以下の課題を再確認した。

- ・ 4.4.4.や 5.4.3.に記述のように適切な水電解の応動を可能とするため、一次調整力実施前の電解槽稼働状態を現場にて適切に調整しておくことが肝要であること
- ・ 3.5.2.に記述のように実運用面でも、現場でのエンジニア含めた対応・調整が極めて重要であること

今回の自動化検討を通じて実感したのは、設備毎に微妙に異なるリソースの仕様に精通したエンジニアの存在が不可欠である、という現実である。いわゆる「ハイスペック人財」育成が極めて重要な課題であると共に、そこに DR 事業者の専門性とノウハウ・知財が存在することを改めて確認する。

ここでいう「ハイスペック人財」とは、(1) DR 設備を保有する需要家であれば、自動化実現に向け、DR 対象設備の稼働特性を把握し、その制御ロジックを構築し、適正な運転維持のための一連の工程管理が可能な人材であり、(2) DR 指令を担う事業者であれば、授受すべきデータ項目を選定し、必要となる通信環境を構築（制御・監視・管理ロジック、いわゆる SCADA 業務ノウハウの保持、コーディング・プログラミング）など、多様なスキルを持つエンジニアをいう。

今後、DER・DSR を普及拡大させ、系統安定化につなげていくためには、エンジニアの育成・要員拡大に資する支援が必要と提言したい。加えて、今回、実証により概ね確立された自動制御技術など、需給調整市場に適合できる仕組（例えばリクワイアメント等の事前審査）の普及拡大に資する検討が進むことを期待したい。また、DSR 由来の R1 ポテンシャルは開発途上であることから、ハイスペック人財育成を兼ねた当該実証の継承を期待したい。

同時に重要なのは、3.5.2.や 3.5.4.に記述のように、例えば、当該水電解の制御仕様・電解槽整流器の構成等の新規導入、或いは設備改造に対しての政府の助成措置である。今回の自動化検証の知見を基に、今回の事例に限らず一度確立した制御ロジックを普及拡大につなげ

ていくことが一層合理的と思われる。

特に、冒頭に記載したように、オフライン枠の調達量上限が拡大され、安定供給マインドのある事業者による調整力の更なる供出が求められるところ、国が主導となった仕組み作りに期待したい。

(2) DR ポテンシャルと活用に向けた提言

今回の自動化検討およびポテンシャル調査を通じて、今後の調整力確保・拡大に向けては下工程などへの生産影響が比較的小さい水電解および蓄電池を最大限活用していくことが望ましく、特に水電解については、急激な変動に対する応答に優れたPEM型を一次調整力向けとして、設備の大容量化が可能かつ安定的な稼働を維持できるアルカリ型を三次調整力向けとして活用していくことが望ましい。

また、蓄電池については、即応性が高く、充放電の切替も円滑なリチウムイオン電池は一次調整力向けとして、大容量化が可能かつ長時間対応が可能なNAS電池は一次調整力に加えて、三次調整力向けとして活用していくことが望ましい。その際、冒頭記述したような安定供給マインドを理解した事業者育成は言うまでもない。

特に、太陽光発電設備が大量導入され、島国で大陸と電力網がつながっていない日本において、カーボンニュートラルを推進していくためには大量の熱需要のカーボンニュートラル化が不可欠であり、熱需要の電化を推進する必要がある。一方で、高温化での蒸留などの蒸気利用や、バーナーによる直接燃焼が必要な工程等の電化困難な領域においては、グリーン水素・ブルー水素による脱炭素化が重要な手段となる。

そのため、電化困難な領域への水電解導入を拡大させていくことが望ましいが、今回の調査事業での経験から、自動化検討・自動制御実現には、コストの積み上げだけでも数千万円の導入費用がかかるのが現実である。水電解導入コストの抑制だけでなく、調整力供出に必要なコスト低減も大きな課題と言える。

再エネ主力電源化での安定供給とカーボンニュートラル実現を両立させるため、いずれにも寄与する水電解の導入・拡大は今後の重要なテーマになるが、そのためにも調整力活用につながる仕組み作りとして、様々な支援策に期待したい。

以上