

「ICTを活用した送電系統の電圧・無効電力オンライン最適制御(OPENVQ)による送電系統運用の 低炭素化・高度化事業（タイ）」（終了時評価） （2020年度～2023年度 4年間）

実証テーマ概要（公開）

株式会社日立製作所
NEDOプロジェクトチーム(海外展開部)

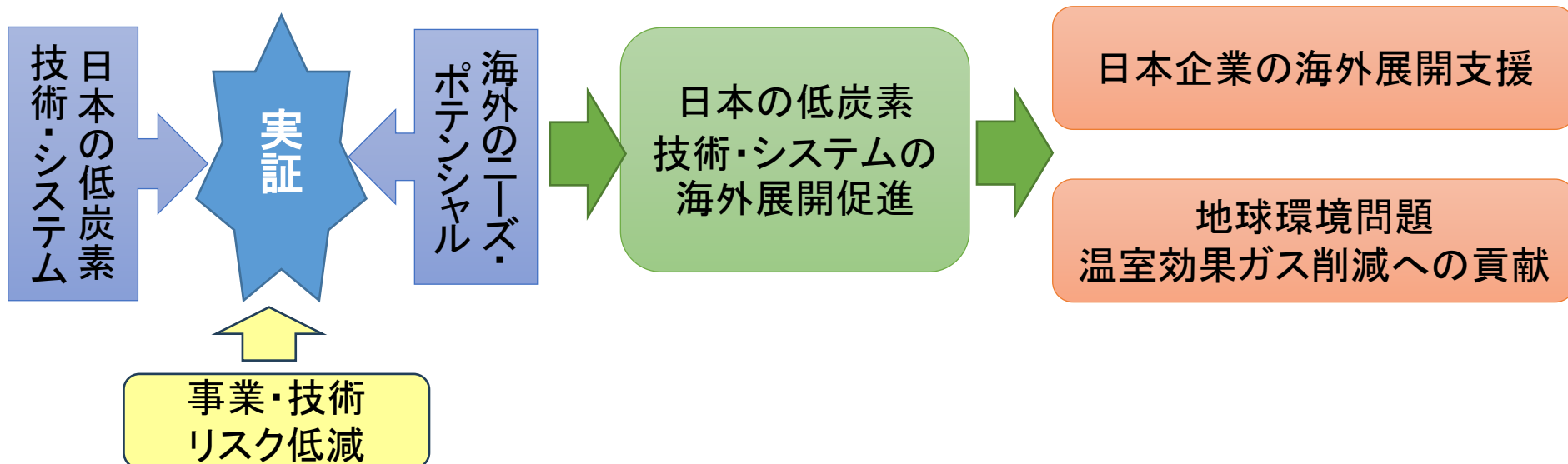
2024年11月

1. 事業の位置付け・必要性（NEDO）
 - （1）政策的必要性
 - （2）NEDO関与の必要性
2. 事業マネジメント（NEDO）
 - （1）相手国との関係構築の妥当性
 - （2）実施体制の妥当性
 - （3）事業内容・計画の妥当性
3. 事業成果（株式会社日立製作所）
 - （1）目標の達成状況と成果の意義
4. 事業成果の普及可能性（株式会社日立製作所）
 - （1）事業成果の競争力【一部非公開】
 - （2）普及体制【非公開】
 - （3）ビジネスモデル【非公開】
 - （4）他の国・地域等への波及効果の可能性【一部非公開】

民間主導による低炭素技術普及促進事業

（「二国間クレジット制度（JCM）等を活用した低炭素技術普及促進事業」の前身事業）

先駆性があり高付加価値化・最適化を図ることのできる **I C T等の先端技術等**を利用して、**費用対効果が高く、大規模な温室効果ガスの排出削減と定量化を図る事業を実施**し、並行して相手国における当該技術・システムの普及促進に資する政策との連携や制度整備支援を国と連携して取り組むことで、**我が国の低炭素技術・システムの普及拡大を図る**こととする（出所：2020年度実施方針）



1. 事業の位置付け・必要性

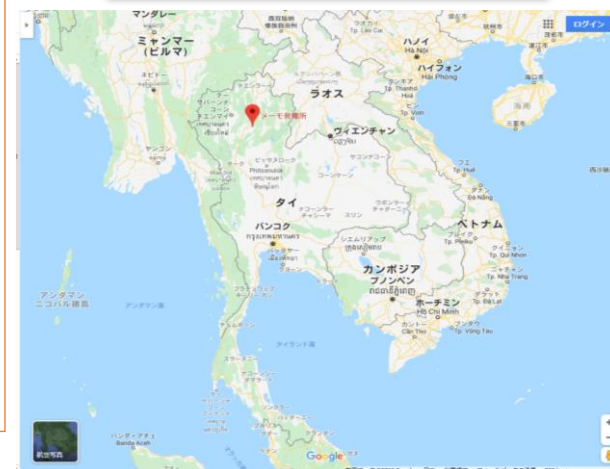
<地球温暖化政策の係る両国の背景>

- タイでは2005年を基準年として、2030年までにBAUレベルと比較し30～40%のGHG排出量の削減、また2050年までにカーボンニュートラルの達成、2065年までにGHG排出のネットゼロを実現するため、様々な努力を継続する。(国連気候変動枠組条約第26回締約国会議(COP26))
- 我が国では、NDC（国が決定する貢献）において、二国間クレジット制度（JCM）により官民連携で2030年度までの累積で1億 t-CO₂の国際的な排出削減を目指す。
(令和3年地球温暖化対策計画)

<タイのエネルギー部門の課題>

- 経済発展に伴う電力需要の伸長により、隣国からの電力購入や、水力および太陽光発電所などの新たな電源の新設が検討されている。
- 現状の系統運用では、さまざまな電源が接続した送電系統の電圧を最適化する仕組みがないため、送電ロスの抑制と安定的な電力供給の両立が難しいという課題がある。

タイおよび周辺国



<事業の意義>

- 送電系統の最適電圧制御技術の送電ロス低減によるGHG排出削減
- 系統安定化により再生可能エネルギーの導入量拡大へ寄与
- 実証運転効果の検証を元に、日本企業有する低炭素技術・システムの海外展開を後押し

●「日本の約束草案」(2015年7月)

- 「途上国への温室効果ガス削減技術、製品、システム、サービス、インフラ等の普及や対策実施を通じ、実現した温室効果ガス排出削減・吸収への我が国の貢献を定量的に評価するとともに、我が国の削減目標の達成に活用するため、JCMを構築・実施していく。」

●「地球温暖化対策計画」(2016年5月)

- 「地球温暖化対策と経済成長を両立させる鍵は、革新的技術の開発である。「エネルギー・環境イノベーション戦略」に基づき、有望分野に関する革新的技術の研究開発を強化していく。加えて、JCM等を通じて、優れた低炭素技術等の普及や地球温暖化緩和活動の実施を推進する。」

●「未来投資戦略2018」(2018年6月)

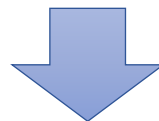
- 「各国のニーズに応じ、低炭素技術の幅広い選択肢を提案し、世界のエネルギー転換・脱炭素化と気候変動対策を牽引する。…(中略)…民間活力を最大限活用した二国間クレジット制度(JCM)等を通じ、日本の脱炭素技術等の国際展開を進める。」

● 「エネルギー基本計画」(2018年7月)

- 「省エネルギーや環境負荷のより低いエネルギー源の利用・用途の拡大等に資する技術やノウハウの蓄積が進んでおり、こうした優れた技術等を有する我が国は、技術力で地球温暖化問題の解決に大きく貢献できる立場にある。このため… (中略) …日本国内で地球温暖化対策を進めることはもとより、世界全体の温室効果ガス排出削減への貢献を進めていくことが重要である。例えば、我が国の優れたエネルギー技術を活かして、二国間オフセット・クレジット制度 (JCM) の活用や低炭素型インフラ輸出なども含めた海外貢献の拡大が有効であり、こうした取組を積極的に展開すべきである。」

● 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(2019年6月)

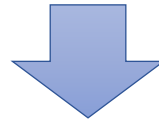
- 「… (中略) … 二国間クレジット制度 (JCM) 等を通じ、我が国の脱炭素技術の導入と合わせて、普及に向けた政策・制度構築等を進めることで相手国の温室効果ガス排出を大幅に削減する脱炭素技術の普及をもたらす。さらに、他国への横展開を促進することで、更なるビジネス主導の国際展開と同時に、世界全体の温室効果ガス削減を進めていく。」



- 日本の脱炭素化技術の国際展開を推進しつつ、地球規模での温室効果ガス排出削減に貢献するためにJCM等のツールを活用していくことが明記されている。
- 実証事業にて導入する設備・システムのGHG排出量削減効果を定量化し、我が国の削減目標の達成に貢献する。

＜課題＞

- ① 先端的な低炭素技術の海外での実証事業は、技術リスクを有し、事業者単独では実施に踏み込みづらい。
- ② 実証技術・システムの実施や普及に際して、相手国の政策・制度との連携が有効であり、相手国側の関与を引き出す必要がある。
- ③ JCM等のクレジット取得に際して、相手国・日本国政府関係機関等との交渉・調整業務が求められる。
- ④ 実証設備導入工事、実証運転等の実証事業項目をスケジュール遅延なく実行するため、進捗管理と不測の事態への対応が必要とされる。



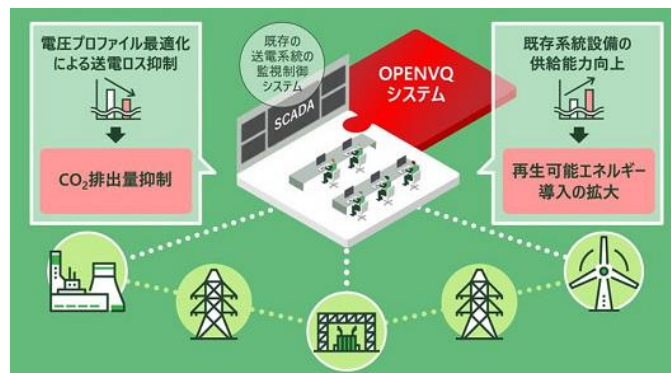
＜NEDOの関与＞

- ① 予算的措置により実証事業の技術リスクを低減させる。
- ② 相手国政府機関等との合意文書締結等を通じて、相手国の関与の確保する。
- ③ 京都メカニズムクレジット取得事業の経験をもとに、JCM手続きをサポートする。
- ④ 事業進捗確認、JCM制度の啓蒙のため、タイ側関係省庁およびカウンターパート、日本側事業者（日立製作所）を含めたステアリングコミッティーを定期的開催する等、コミュニケーションを形成する。

相手国との関係構築と事業推進



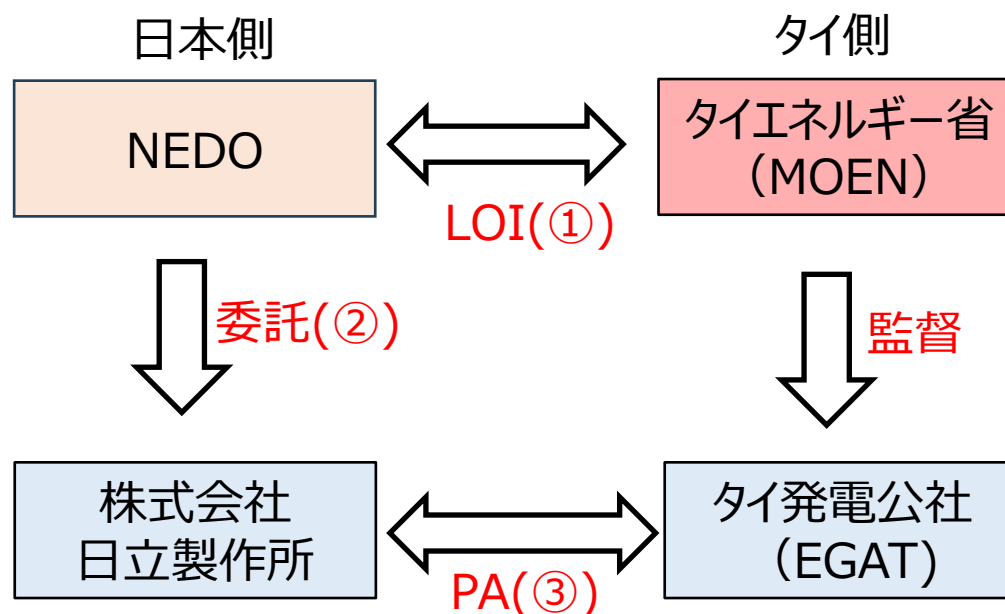
運転開始式の様子



完成したOPENVQのイメージ

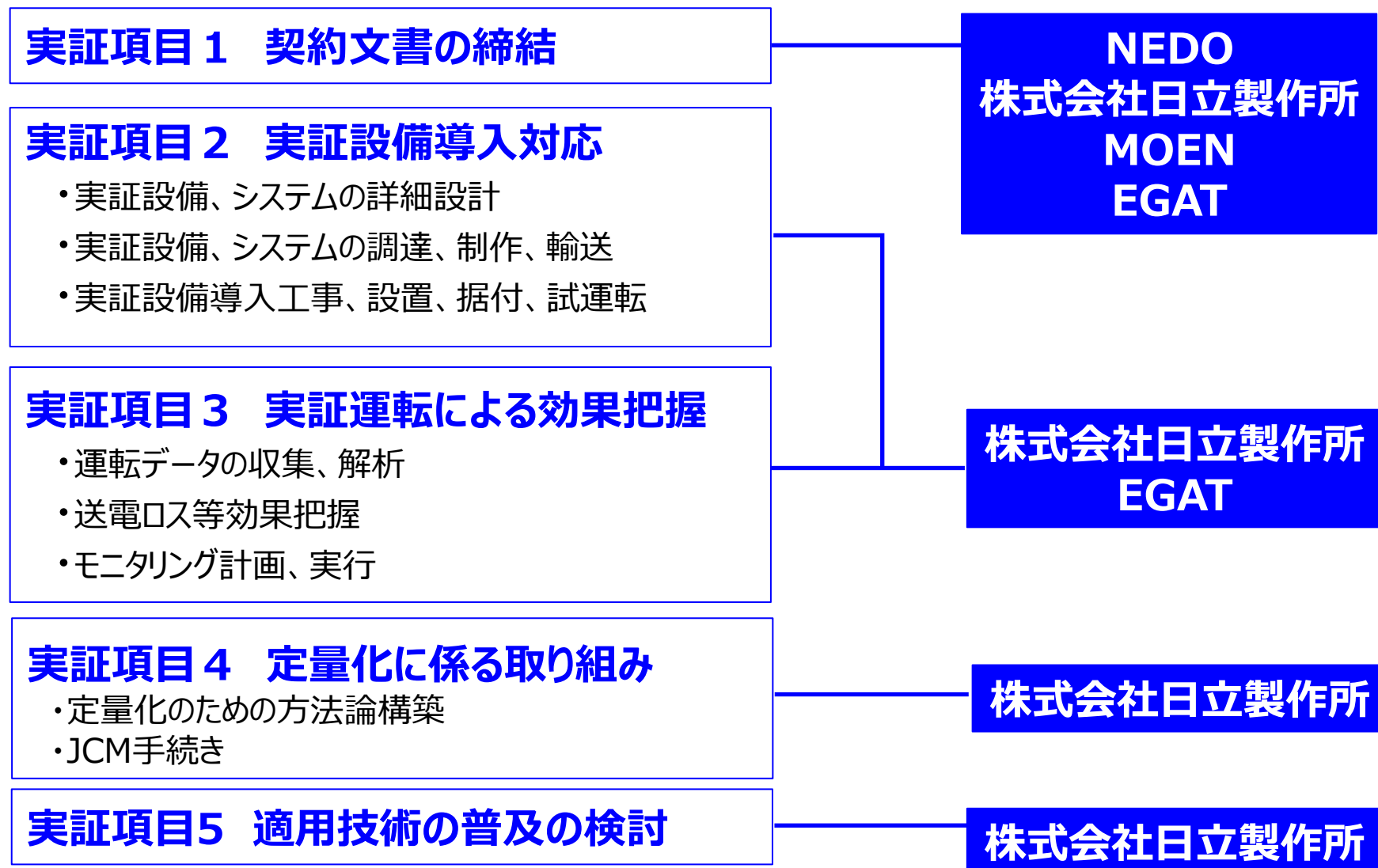
<実証体制>

- ① NEDO/タイ・エネルギー省間でLOI（Letter of Intent）を締結し、主に実証事業の実施に必要な国政府機関の協力事項を規定した。
- ② NEDO/株式会社日立製作所間で実証事業委託契約を締結した。
- ③ 株式会社日立製作所/タイ発電公社間でPA（Project Agreement）を締結し、実証事業に係る詳細や権利義務関係を規定した。



図：実証事業の実施体制

(2) 実施体制の妥当性



図：実証事業の役割分担

会議体等	開催日 または回数	目的	具体例
Steering committee (NEDO、MOEN、日立製作所、EGAT)	2021年6月 2022年2月 2022年10月	- プロジェクト・スケジュール管理 - 情報共有・課題解決に向けたコンセンサス形成、および事業の円滑な推進のための便宜供与の依頼 - 必要な実務処理のための働きかけ - 成果の情報発信・広報の共同推進	- プロジェクトの進捗、課題共有および情報交換 - タイエネルギー政策の共有 - 運転開始式の調整
定例会議 (NEDO、日立製作所)	月 1 回	- NEDO⇔委託者間で交わす「実施計画書」に基づく、進捗実行管理。 - NEDO規定・責任範囲内の意思決定、承認のため協議等	定例プロジェクト進捗管理 - 情報・課題・問題の共有 - 予算の適切な管理 - 情報発信・広報の推進 - 対処方針・審議（適宜）
現地パートナー定例会議 (日立製作所、EGAT)	月 1 回	- PA締結者間でPAに基づく、進捗実行管理。 - 設置システム（OPENVQ）の状況共有、データ取得状況の管理 - 取得データ分析と技術的課題整理 - 普及活動	定例プロジェクト進捗管理 - 情報・課題・問題の共有 - 予算の適切な管理 - 情報発信・広報の推進 - 対処方針・審議（適宜）
実証関係者成果報告会 (NEDO、MOEN、日立製作所、EGAT)	2024年10月	- 実証成果の共有 - 成果の情報発信・広報の共同推進 - フォローアップ事業の内容・スケジュール共有	- 実証成果の報告・意見交換 - 成果報告会の調整 - フォローアップ事業に関する協議

事業背景・内容

- タイでは経済発展に伴う電力需要の伸長により、隣国からの電力購入や、水力および太陽光発電所などの新たな電源の新設が検討されている。
- 現状の系統運用では、さまざまな電源が接続した送電系統の電圧を最適化する仕組みがないため、送電ロスの抑制と安定的な電力供給の両立が難しいという課題がある。
- そこで、電力系統の設備・計測データや発電計画、気象予測などの外部情報から将来の系統潮流・需給バランスを予測し、オンラインで電圧・無効電力を最適制御するOPENVQシステム※次ページ参照を導入し、送電ロス低減および再エネ導入量拡大を目指す。
- また、JCMのMRV (Measurement, Reporting and Verification) 方法論を開発し、実証事業におけるCO2排出削減量をクレジット化することで、日本とタイ両国のCO2削減に貢献することを目指す。

実証概要・目標

<実証概要>

EGATの送電系統にOPENVQシステムを導入し、以下の効果を評価する。

- ①直接的効果：送電ロス低減。JCM方法論によるCO2排出削減量のクレジット化。
- ②間接的効果：再エネ導入に寄与する送電可能容量の増大。

<実証エリア>

実証地域：タイ北東部の送電系統

システム導入サイト：北東給電所NEC (NorthEastern Area Control Center)

<目標>

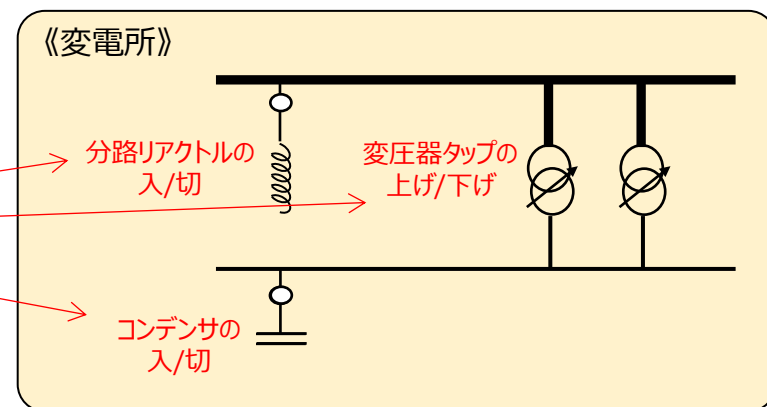
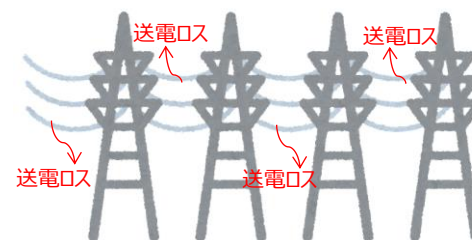
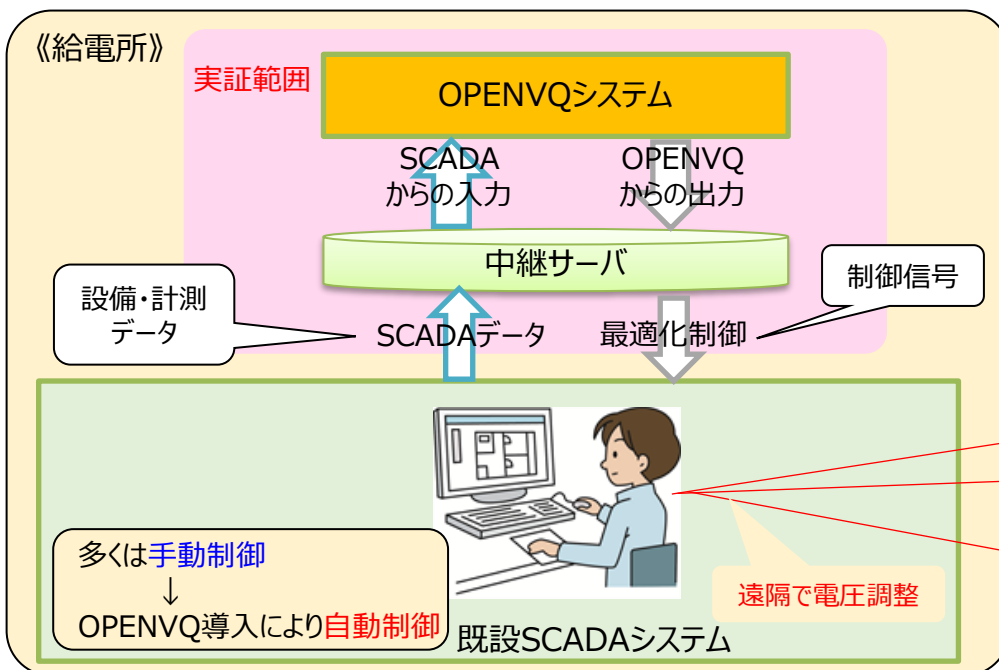
CO2排出削減のクレジット量：年間10,000(tCO2)

送電ロス低減率：6.0%

導入システム

<OPENVQシステム>

OPENVQ(Optimized Performance Enabling Network for Volt/var (Q)) は、電力系統の監視・制御を行うSCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) システムと連携し、**将来の電力の流れおよび電圧の変動を予測。電圧品質を維持しつつ、送電ロスを低減する制御信号をSCADAシステムに出力し、送電系統運用の低炭素化・高度化を実現。**



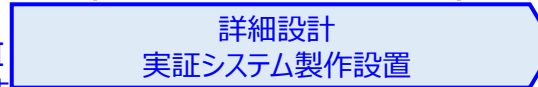
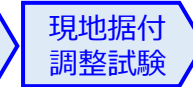
- ・最新ICTの活用により、送電ロスの低減や再生可能エネルギーの導入拡大を支援
- ・既存の送電系統システム(SCADA等)の活用により、多大な設備投資が不要

2. 事業マネジメント (3) 事業内容・計画の妥当性

- COVID-19により、タイ国内に緊急事態宣言が発令（2020年3月26日）され、現地への渡航が制限される中、リモート会議等を活用し、要件定義や機能設計等の打合せ、およびシステム開発作業を実施。
- しかし、世界的な半導体不足が影響し、ハードウェアレンタルが困難となり**当初計画より1年契約延長**し、2023年2月より実証運転開始。
- 実証運転開始後も、現地渡航やオンライン会議等でコミュニケーションを密にして情報共有を図り、諸問題の早期解決と是正に努めた。

表：実証事業のスケジュール（計画/実績）

費用：百万

年度	FY2019	FY2020	FY2021	FY2022	FY2023
計画			 	 	
実行			 	 	
費用	実証前調査 21.7	実証前調査 30.1 実証事業 184.6	実証事業 460.6	実証事業 210.9	実証事業 88.5
	総額：実証前調査51.8 実証事業944.6				

3. 事業成果（１）目標の達成状況と成果の意義

①直接的効果

CO2排出削減量、送電ロス低減率共に目標を達成。

表：OPENVQ導入時の目標と実証の成果

項目	目標	成果	達成度	残課題
項目1 CO2排出削減量	・年間 10,000 tCO2※1	2024年1-3月実績は 目標のCO2排出削減を達成 【実績】 2023年2-12月※2 4,498 tCO2 (実効稼働率※3 29.0%) 2024年1-3月 2,640 tCO2 ⇒年換算※4 10,560 tCO2 (実効稼働率 55.3%)	○	無し
項目2 送電ロス低減率	導入前に比べて 6% の 送電ロス低減	2024年1-3月実績は 目標の送電ロス低減率を達成 【実績】 2023年2-12月 6.3% 2024年1-3月 7.6%	○	無し

○：達成、△：達成見込み、×：未達

(※1)実証開始時のEmission factorは0.5664tCO2/MWh。2023年11月にタイ温暖化ガス管理機構(TGO)から0.4401tCO2/MWhに変更になった旨、連絡受領。これにより、変更後の削減目標は年間7,700 tCO2となるが、目標値は当初の10,000tCO2とした。なお、実績値は変更後のEmission factorで換算。

(※2)2023年2-12月は2023年のJCMクレジットverification期間。

(※3)実効稼働率は「(OPENVQ運転、かつ、制御出力時間)/(運転期間)」で算出。

(※4)年換算は「(実績値) * 12/(運転した月数)」で算出。2024年は実績値の12/3倍換算。

3. 事業成果（１）目標の達成状況と成果の意義

表：各月のCO2排出削減量・送電ロス低減率・実効稼働率

月	送電ロス低減量 (MWh)	CO2 排出削減 量(tCO2)	送電ロス低減 率(%)	実効稼働率 (%)
2023年2月	0.93	0.41	7.1	0.1
3月	341	150	7.3	14.2
4月	38	17	7.6	1.1
5月	673	296	7.5	17.5
6月	1,898	835	7.6	55.2
7月	3,265	1,437	6.6	94.7
8月	1,513	666	4.8	46.1
9月	0.00	0.00	0.00	0.0
10月	0.56	0.25	0.22	0.3
11月	468	206	5.9	19.7
12月	2,022	890	5.8	69.8
2023年2- 12月計	10,220	4,498	6.3	29.0
2024年1月	2,012	885	8.0	57.3
2月	2,244	987	7.9	62.0
3月	1,744	768	7.0	46.8
2024年1-3 月計	6,000	2,640	7.6	55.3

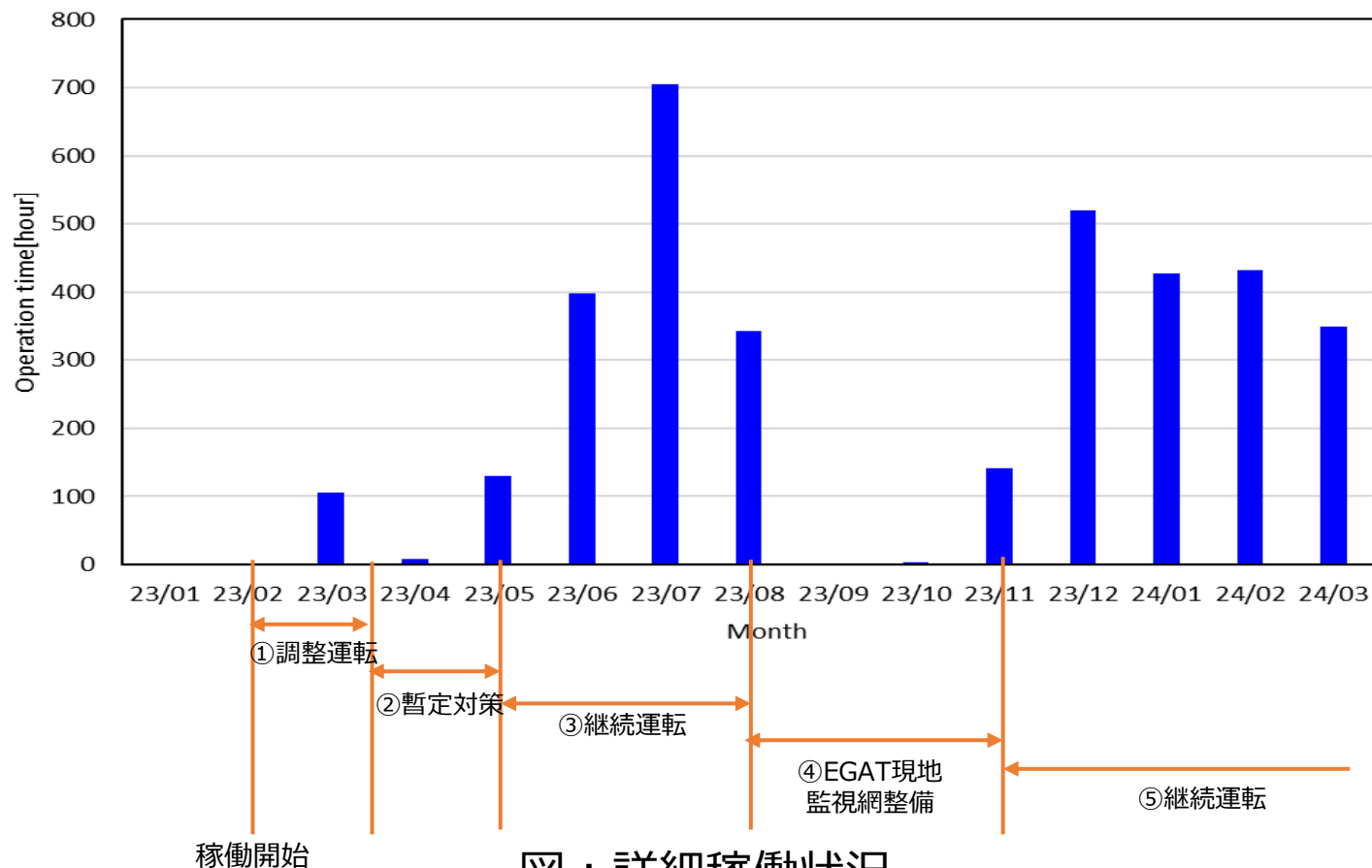
CO2排出削減量
 目標 10,000t/年
 実績（実績/年換算）
 4,498t/4,907t(2023年)
 2,640t/**10,560t**(2024年)

送電ロス低減率
 目標 6.0%
 実績 6.3%(2023年2月-12月)
7.6%(2024年1月-3月)

3. 事業成果（１）目標の達成状況と成果の意義

2023年2月21日にJCMプロジェクト定義要件を満足する状態で運用を開始

- ①：EGAT/日立で結果の妥当性確認を行いながら調整運転と課題抽出
- ②：予測断面作成に必要なデータ（発電計画データ）の精度不足に対して、暫定対策(※)を日立にて実施
(※)恒久対策にはEGATによる中給からの発電計画データ連係が必要。全系展開時にEGATにて対応予定。
- ③：暫定対策後、自動運転を継続（但し、運用者の理解不足による停止操作あり）
- ④：自動運転時に発生した24項目の課題解決に向けて対応を鋭意協議（EGAT側の観測監視デバイス不良）
- ⑤：EGAT側の対策が完了し、11月15日から自動運転再開（24年3月末まで継続運転）



[補足]
運転時間(Operation Time)はOPENVQが運転し、かつ、制御出力を出した時間である。OPENVQ運転中に制御できる機器が足りない場合や、運用者がSCADA側の出力を手動で止めた時間等は運転時間に含まない。

図：詳細稼働状況

3. 事業成果（１）目標の達成状況と成果の意義

【送電ロスに対する分析】

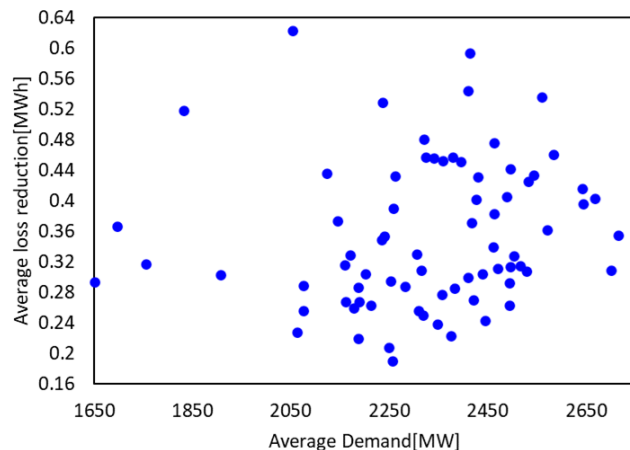
送電ロス低減率の定義

$$RR_p = \frac{PL_{RE,X,lines,p} - PL_{PJ,X,lines,p}}{PL_{RE,X,lines,p}}$$

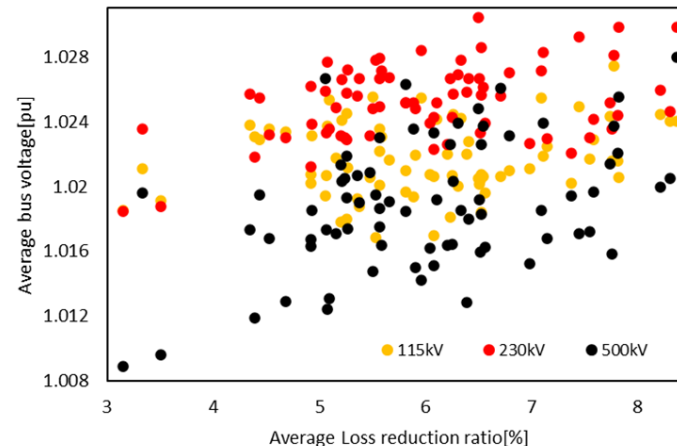
RR_p : p 月の送電ロス低減率(%)

$PL_{RE,X,lines,p}$: p 月の地域X内送電系統のリファレンス送電線ロス(MWh)

$PL_{PJ,X,lines,p}$: p 月の地域X内送電系統のプロジェクト送電線ロス(MWh)



図：総需要と送電ロス低減量



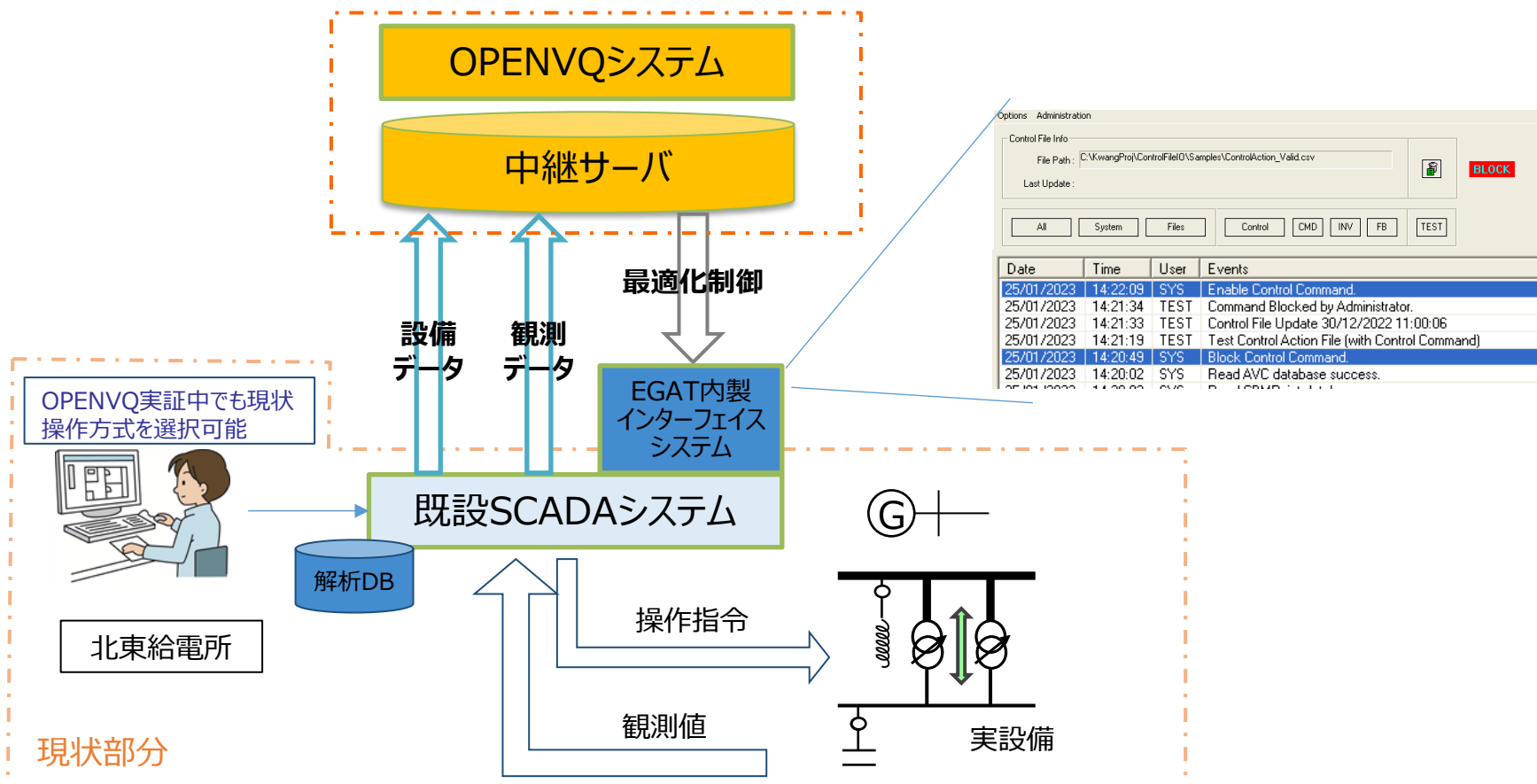
図：系統電圧と送電ロス低減率

(左図) 総需要増大に伴いOPENVQによる送電ロス低減量が増大する傾向がみられた。
(右図) 母線の基準電圧(115kV/230kV/500kV)と比べて、高い電圧で運転した方が、送電ロス低減率が高い傾向がみられた。

3. 事業成果（１）目標の達成状況と成果の意義

②実証方式の検討

OPENVQは既設SCADAの更新を伴わずに実装して自動運用を実施し、送電ロス低減効果をモニタリングした。EGATはSCADAを更新しなかったが、最適化制御信号を利用する場合の制限などを独自に設計し、自社内でコントロールするインターフェイス環境を構築した。これにより、アドオン方式の有効性を確認した。将来的に他国へ展開する際は、相手国電力会社のSCADAシステムに応じたシステム間インターフェイスを構築する必要がある。



3. 事業成果（１）目標の達成状況と成果の意義

③間接的効果

OPENVQ導入が再エネ導入拡大に有効であることを確認するため、OPENVQ導入時の電圧安定性（負荷余裕値と相関するため負荷余裕を指標とする）を評価した。

【評価方法】

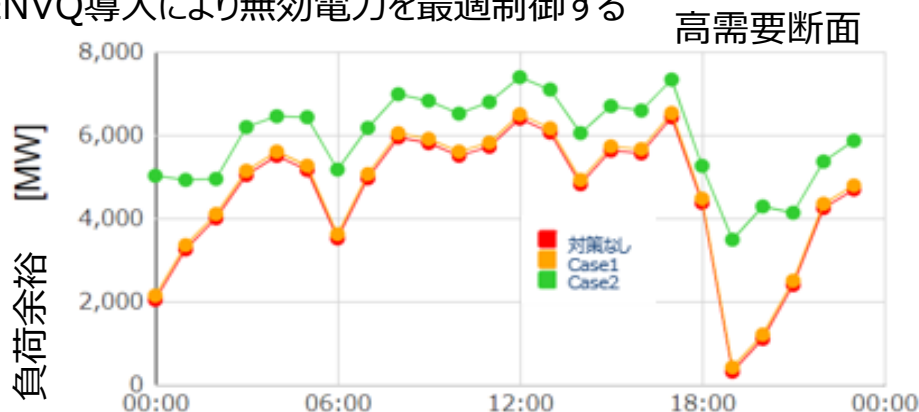
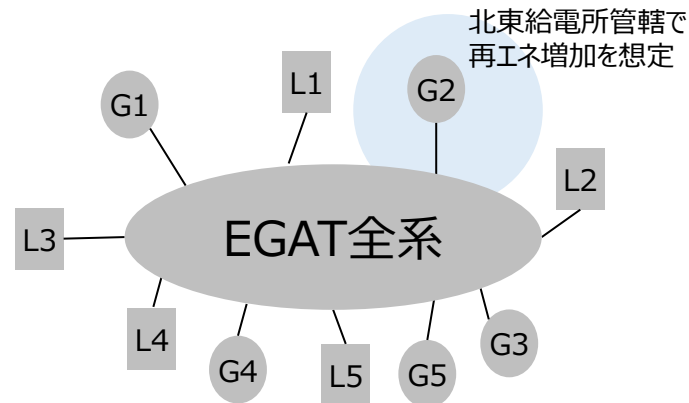
EGAT全系モデル(右図)で、電圧安定性を評価。

【シミュレーション条件】

- ・需要は、全系負荷(L1～L5)に対して一律に増加させた。
- ・供給力は、北東給電所管轄の発電機(G2)を増加させた。

【分析手法】

- ① 系統断面は1日分の需要カーブを1時間単位で模擬（高需要断面での分析）
- ② 3つのシナリオで、負荷余裕の変化を分析
 - ・ 対策なし
 - ・ Case1：重負荷送電線を送電線を増強する
 - ・ Case2：OPENVQ導入により無効電力を最適制御する



特に、需要が大きい時間帯(17～18時)は負荷余裕が増大し、OPENVQ導入による間接的効果を確認した。

3. 事業成果（１）目標の達成状況と成果の意義

④実証期間における課題と対策

表：実証期間における課題と対策

	項目	課題	対策
1	観測データ精度	・EGAT側の観測デバイス不良やDB(データベース) 定義不良による演算精度悪化	・実証では、 <u>観測デバイス不良やDB定義不良は概ね対策済み</u> 。 ・全系展開時には、観測機器の高精度化が必要であることをEGATに提示し活動を支援予定。
2	予測断面精度不足	・発電計画のデータ精度が悪く、予測断面の精度が不足する	・実証では、 <u>暫定的に予測断面無しで運転できる対策（リアルタイムの制御のみで運転）</u> を実施。 ・全系展開時には、中給からのデータ取り込み等の対策をEGATに提案済。
3	運用ルールの整備	・北東給電所では発電機端子電圧を制御する権限が無く最適制御が困難。 ・制御対象機器が限定されていて時間帯により電圧対策制御できないことがある。	・実証では、 <u>調相機器のみ制御することでチューニング</u> を実施して対応。 ・全系展開時には、制御対象機器を見直して最適制御ができるルール作りをEGATに提案済。
4	外部系統模擬	・北東給電所と接続するEGAT他地域やラオス系統のオンラインデータが無く、外部系統モデルで模擬しているが、精度悪化の原因となっている。	・実証では、EGATと共に <u>外部系統モデルのチューニング</u> を実施済。 ・全系展開時には、外部系統模擬を行わず、全系のオンラインデータを適用することが必要であることをシミュレーションし、EGATに提案済。（⑤普及時の最適な形態参照）

3. 事業成果（１）目標の達成状況と成果の意義

⑤普及時の最適な形態

OPENVQをEGAT全系に導入した場合の送電ロス低減の効果をシミュレーション。

1. 全系導入時は、各給電所に個別にOPENVQを導入するのではなく、全系一括で導入する方が合理的。

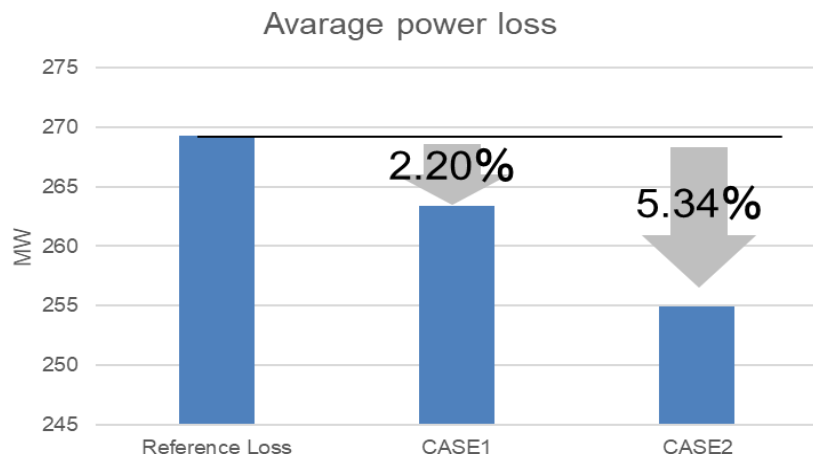
1) EGAT全系のように対象領域が大きくなると、解決策の選択肢が増えるなど、最適化の効果が得やすくなる。

【例】軽負荷時(夜間など)に電圧が上昇しても操作方策が限られることが多いが、隣接系統の制御が出来れば、操作の選択肢が増える。

2) 対象領域を分割して導入すると、分割した相互のシステムの影響を適切に反映できない。

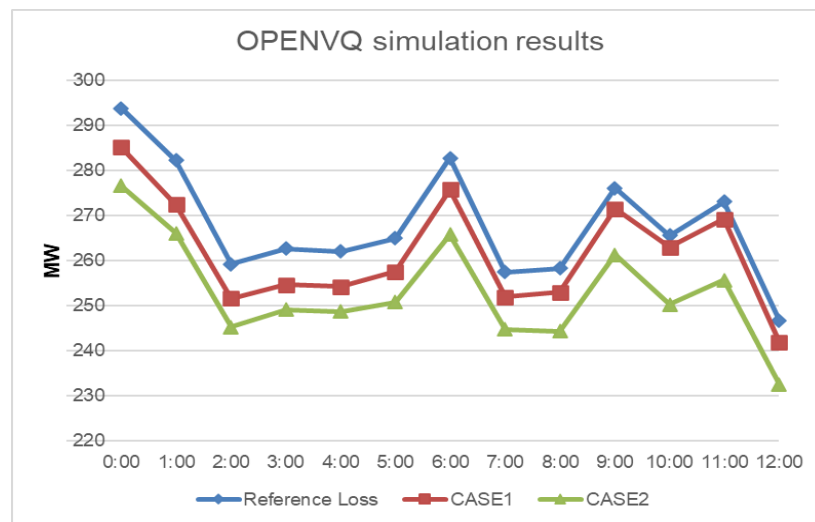
【例】外部系モデルをチューニングしても、断面によっては適切に模擬できないケースがある。

2. EGAT全系にOPENVQを一括導入することで、より高い送電ロス低減効果を得られることを確認した。



CASE1：北東給電所のみでOPENVQを導入した場合
(北東部以外は送電ロス低減無し)

CASE2：全系一括でOPENVQを導入した場合



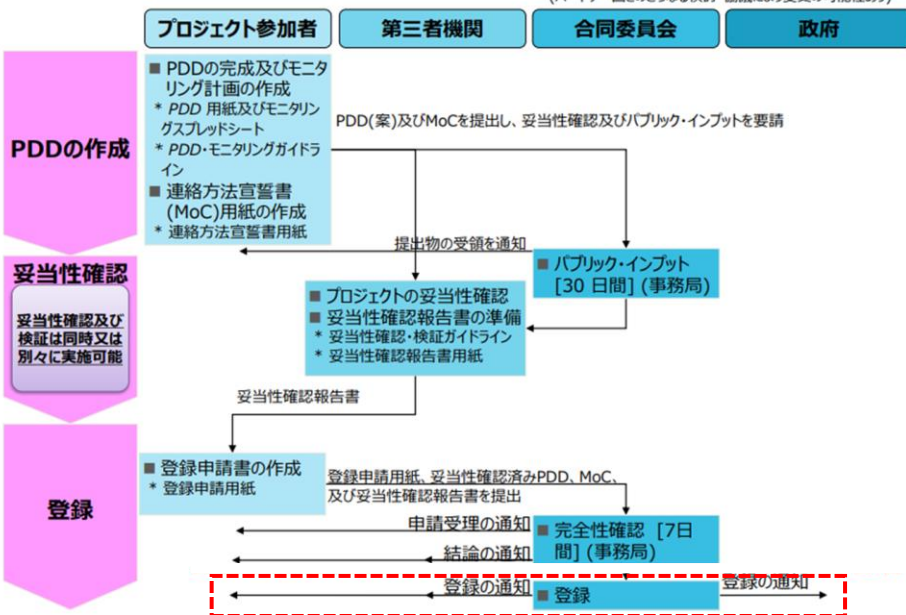
3. 事業成果（１）目標の達成状況と成果の意義

⑥JCM方法論の手続き

プロジェクト登録は登録申請書類の完全性確認を完了し、合同委員会の登録手続き中。
クレジット発行手続きは、23年分の検証報告書を受領済。（2023年分のJCMクレジットは4,498tCO₂の見
通し）
プロジェクト登録後にクレジット発行申請予定。

JCMプロジェクト登録・クレジット発行手続 (1/2)

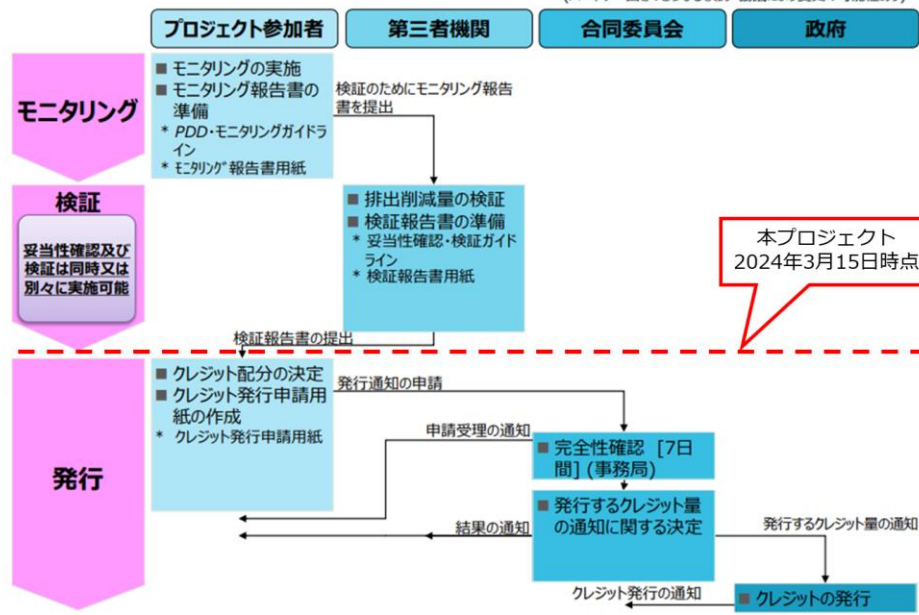
(パートナー国とのさらなる検討・協議により変更の可能性あり)



登録未実施。
(但し、実証期間中にモニタリング・検証まで実施)

JCMプロジェクト登録・クレジット発行手続 (2/2)

(パートナー国とのさらなる検討・協議により変更の可能性あり)



4. 事業成果の普及可能性（1）事業成果の競争力

- ①競合分析：競合他社は欧米市場を中心に参入しており、ハードウェアからソフトウェアまでパッケージ化したトータルソリューションを展開。また、OPENVQとの類似技術も保有。
- ②競争力：実証を通じた定量化手法について、第3者機関の認証取得まで実施しているのは大きな強みと考える。また、ビジネス面においてJCMスキームを活用可能な点も強みとなる。

⇒引き続き、アジア市場での実績作りを継続し、アジア市場での横展開を図っていきたい。

欧米市場

大規模ベンダーが支配的地位を形成：

送電事業だけでなく、発電事業や配電事業にも参入。

従来の強みであるハードウェア領域に加えソフトウェア領域も強化、OPENVQと類似技術も保有。

アジア市場

ASEANの中心国であるタイにおいてもOPENVQのようなハイエンド技術は未導入であり、他ASEAN諸国も似た状況との認識。

欧米ベンダーが本格参入する前に、アジア市場での実績作りと提供価値(技術・サービス)の差別化を図る。

4. 事業成果の普及可能性（4）他の国・地域等への波及効果の可能性

- ①タイ国内展開：EGATの全系にOPENVQを導入し、系統全体の送電ロスとCO2排出を削減していく。
- ②事業の横展開：ASEAN Power Grid実現に対する日本の貢献に向けて、広域系統運用実現のコア技術としてOPENVQの認知活動を実施。

①タイ国内への展開

実証で明確になった課題：

- ・観測デバイス不良や発電計画のデータ精度が悪いなど、監視制御環境が未成熟
- ・分割導入の場合に、相互のシステム影響を適切に反映できない
- ・中給のみに発電計画データが存在

課題解決

解決策：

- ・監視制御環境の成熟化（運用者の重要性認識を醸成させ先進国の知見を提供する等、ソフト面での支援も重要）
- ・EGAT全系における一括制御
- ・全系情報の共有の確立

②タイ以外への展開

タイ以外への展開として、電化率、送電ロス率、再エネ導入状況、ASEAN Power Grid構想とマッチする国という観点に加えて、顧客ファイナンス・制度面での連携による提案としてJCMとの紐付け可否を考慮して、候補国を選定。引き続き、FSを充実させて普及展開を図っていく。