

「国際エネルギー・消費効率化等システム実証事業」
(事後評価)独立電力系統地域における寒冷地気候
に対応した風力発電システム実証事業

資料5

「独立電力系統地域における寒冷地気候に対応した 風力発電システム実証事業」(事後評価)

(2014年度～2016年度 3年間)

実証テーマ概要 (公開)

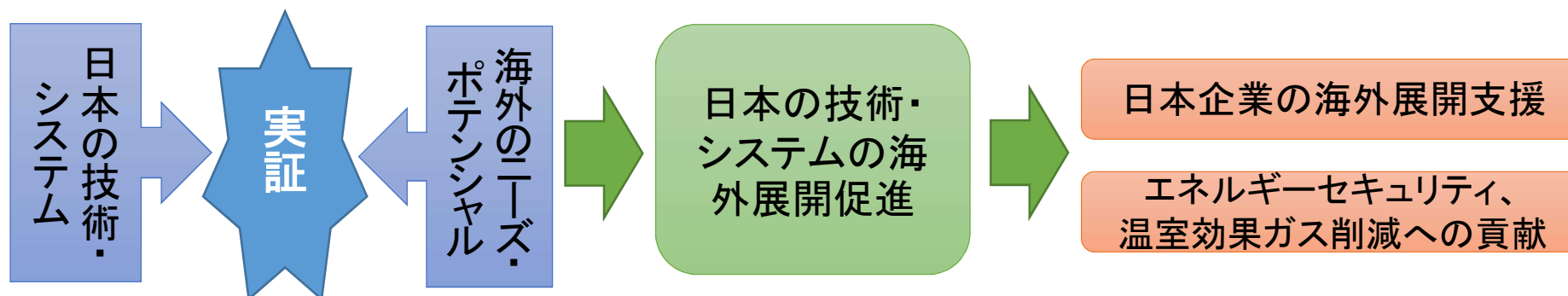
NEDOロシア風力プロジェクトチーム(新エネルギー部・国際部)
事業者名/株式会社駒井ハルテック、富士電機株式会社、三井物産株式会社

2017年2月6日

✓ 「国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業」の事業目的について

- ① 我が国が強みを有するエネルギー技術・システムを対象に、相手国政府・公的機関等との協力の下、海外の環境下にて技術・システムの有効性を実証し、民間企業による技術・システムの普及につなげる。
- ② これにより、海外でのエネルギー消費の抑制を通じた我が国のエネルギー安全保障の確保に資するとともに、温室効果ガスの排出削減を通じた地球温暖化問題の解決に寄与する。

国際エネルギー実証のイメージ



1. 事業の位置付け・必要性(意義)

◆ 実証の目的・意義

日本の技術

- 中型風車(300kW級)に関する技術
- 小規模独立系統におけるマイクログリッドシステム

再エネ由来の不安定電力に対する、蓄電池等による系統の高品質・効率的運用手法

- ◆ 寒冷地の環境に対応した風車の開発
- ◆ ロシア極東の既設電カインフラを踏まえた経済的なマイクログリッドの開発

ロシア極東地域のニーズ

- 寒冷地に散在する約5,300の独立系統では電力をディーゼル発電に依存。
- 燃料輸送により発電コストが極めて高く、電力価格を他地域と同等に維持するため、地方政府の財政を圧迫。
- 悪天候が継続すると燃料輸送に支障。

ロシア極東のカムチャツカ地方において、独立電力系統に寒冷地気候に対応した風力発電機(300kW、3基)と系統安定化システム(既存ディーゼル発電設備と風車との連系及び熱供給設備)を導入し、風力発電機の寒冷地対策技術と効率的なシステム運用を実証する

実証の意義

- ◆ 好風況地が多いロシア極東地域において、「①当地の環境に適した風車」と、「②離島での実績を踏まえた系統安定化技術」に基づく寒冷地仕様の風力発電システム技術を確立し、当地における風力発電システム市場の開拓・顕在化と、我が国の高競争力製品の海外展開。地域の環境問題や温室効果ガスの排出削減にも貢献。

1. 事業の位置付け・必要性(政策的必要性)

◆ 社会的背景・位置づけ

ロシア国の現状

再生可能エネルギーの現状

- ◆ 総使用電力量に占める再エネ発電の割合は1.0%以下で非常に少ない
- ◆ バイオマスや地熱発電が主流であり、太陽光・風力等の開発はほとんど進んでいない
- ◆ 極東地域や沿海州は風力発電にとって良好な風況が得られ風力発電のポテンシャルが大きい

エネルギーの課題

- ◆ 旧式のディーゼル発電設備が多く存在。エネルギー効率が悪く、CO2排出量も大きい
- ◆ 広大な国土を有するために遠隔地では小規模独立システムが多い
- ◆ 陸路で長距離輸送するために燃料輸送コストが膨大

再エネ導入に係る政策状況

- ◆ 2020年に向けた再エネ開発基本方針※1によれば再エネ発電比率の目標を4.5%に設定
- ◆ 2030年エネルギー政策※2などを通じて再エネの普及促進を目指す(補助や優遇措置の検討)

※1 2009年の政令「2020年までの再エネ利用に基づく電気事業のエネルギー効率向上分野の国家政策の基本方針」

※2 2009年11月に制定された「2030年までのロシアのエネルギー政策」

我が国のメリット

- ◆ 民間企業におけるロシアに対する投資意欲は高く、資源分野に限らない、新たな商材を模索している。
- ◆ 政府間でも議論されているとおり、極東地域の開発は、エネルギーを含む経済協力の観点で重要。
- ◆ 再生可能エネルギー関連技術の普及は、地球レベルの課題である温室効果ガス削減等に貢献ができる

ロシア極東地域における風力発電システム市場の開拓と
関連技術の海外展開は、両国の官民全てにメリットがある

1. 事業の位置付け・必要性(政策的必要性)

◆ 社会的背景・位置づけ(地理)

カムチャツカ地方



出典: ウィキメディア・コモンズ

1. 事業の位置付け・必要性(政策的必要性)

◆ 社会的背景・位置づけ(サイトの状況)

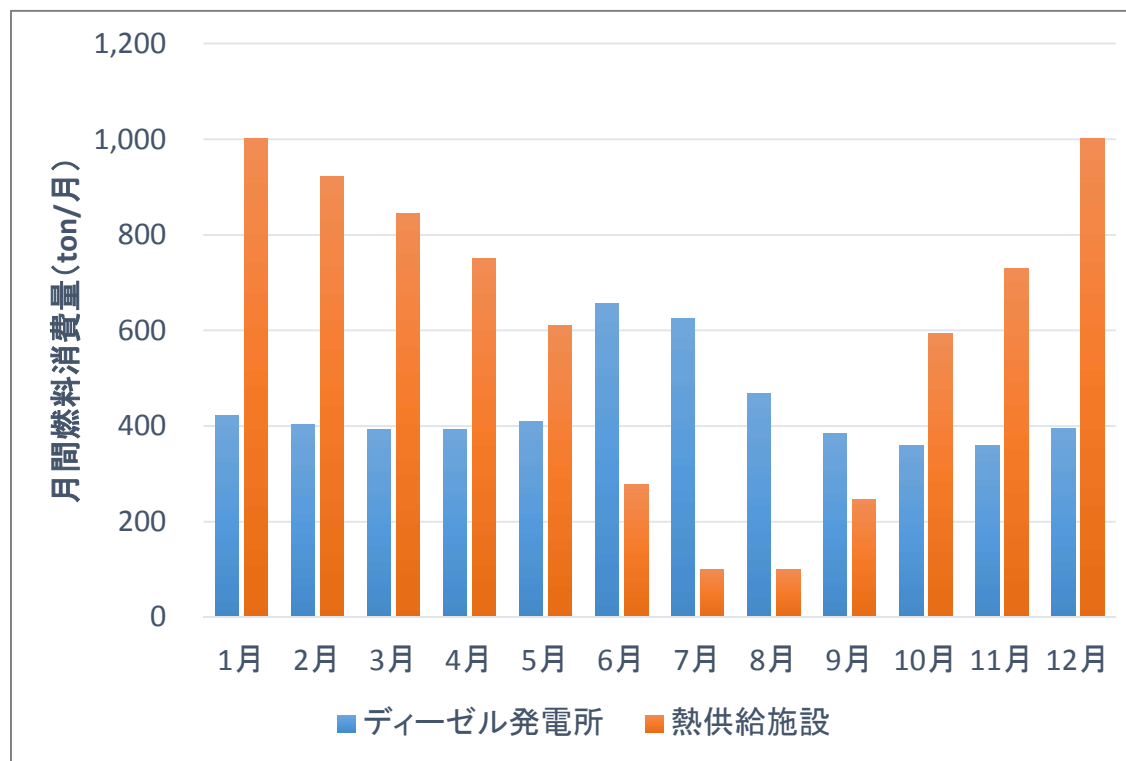
ウスチ・カムチャツク村

人口:
4659人(2013年)

産業:
魚加工工場

電力需要:年間 約20GWh
ディーゼル発電燃料消費
年間 約5,300ton
最大需要(夏期) 6MW
最小需要(冬期) 1.6MW
※ 魚加工工場が稼動する夏期
の電力消費量が大きくなる

熱供給設備(市役所管轄):
ボイラー熱供給燃料消費
年間 約7,180ton



ウスチ・カムチャツク村 月別燃料消費量

出典:平成25年度事前調査報告書

1. 事業の位置付け・必要性(NEDO関与の必要性)

◆ NEDO関与の必要性

日本側の基本的考え方

- ◆ GDP当りのエネルギー消費を比較すると、ロシアは日本に比べ、7倍程度エネルギーを消費しており、エネルギー改善の余地が大きい。
- ◆ ロシアは、輸入代替政策を掲げる中、日本企業の海外展開先としてポテンシャルを有する。
- ➡ 日本のエネルギー技術のロシア展開は、エネルギー分野での協力促進や我が国企業の海外展開の観点で有益。

ロシアでの事業の課題

- ◆ 再エネ導入に関する支援策等は地方政府の決定に依存するところが多い
- ◆ 極東地域や沿海州等遠隔地は地方政府の支援なしに持続的な経済活動は困難(立地・輸送等)

官

- ◆ 2013年9月5日に、経済産業省とロシアエネルギー省との間で行われた第3回日露省エネ再エネ共同委員会において、風力発電システムについて議論。更に2014年3月19日に、経済産業省、ロシア経済発展省主催で行われた第6回日露投資フォーラムにおいて、NEDOとカムチャツカ地方政府、RAOV社※との間で意向表明書を取り交わし、風力発電システムの普及に向けた実証を進めていくこととされた。
- ◆ 2016年12月15、16日に行われた日露首脳会談では、経済分野に関する8項目の協力プランについて議論され、本実証は、8項目のうち、「エネルギー開発協力」に沿うものである。
- ◆ すなわち、本事業は、日露間のエネルギー開発協力を促進するものであることから、我が国のエネルギー安全保障の確保に資することも含む、日露関係の総合的な発展にも貢献するものである。

民

- ◆ エネルギー開発を実質的に進めるのは民間企業であり、日露政府間の協力の枠組みの下で、日露企業間による新たなビジネスの進展に寄与するものである。

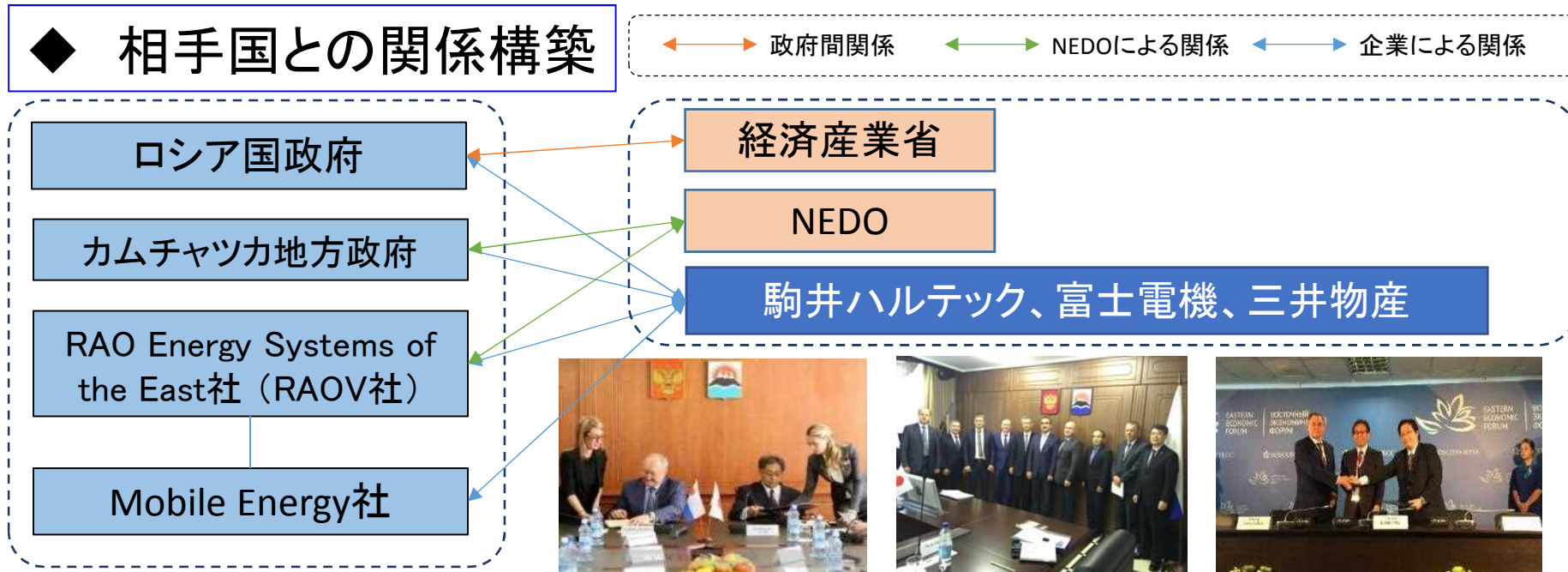
NEDOによる関与の必要性

※RAO Energy Systems of the East社 (RAOV社)

- ◆ 本件は、現地の寒冷地気候、独立電力システムに適した風力発電システムという点で、技術的チャレンジに加え、ロシアにおける事業環境が必ずしも十分でないことを考慮すると民間企業独自での取り組みは困難である。
- ◆ したがって、本事業は、日露政府間の協力の下、NEDOのプロジェクトとして進めることが有効である。

2. 実証事業マネジメント(相手国との関係構築の妥当性)

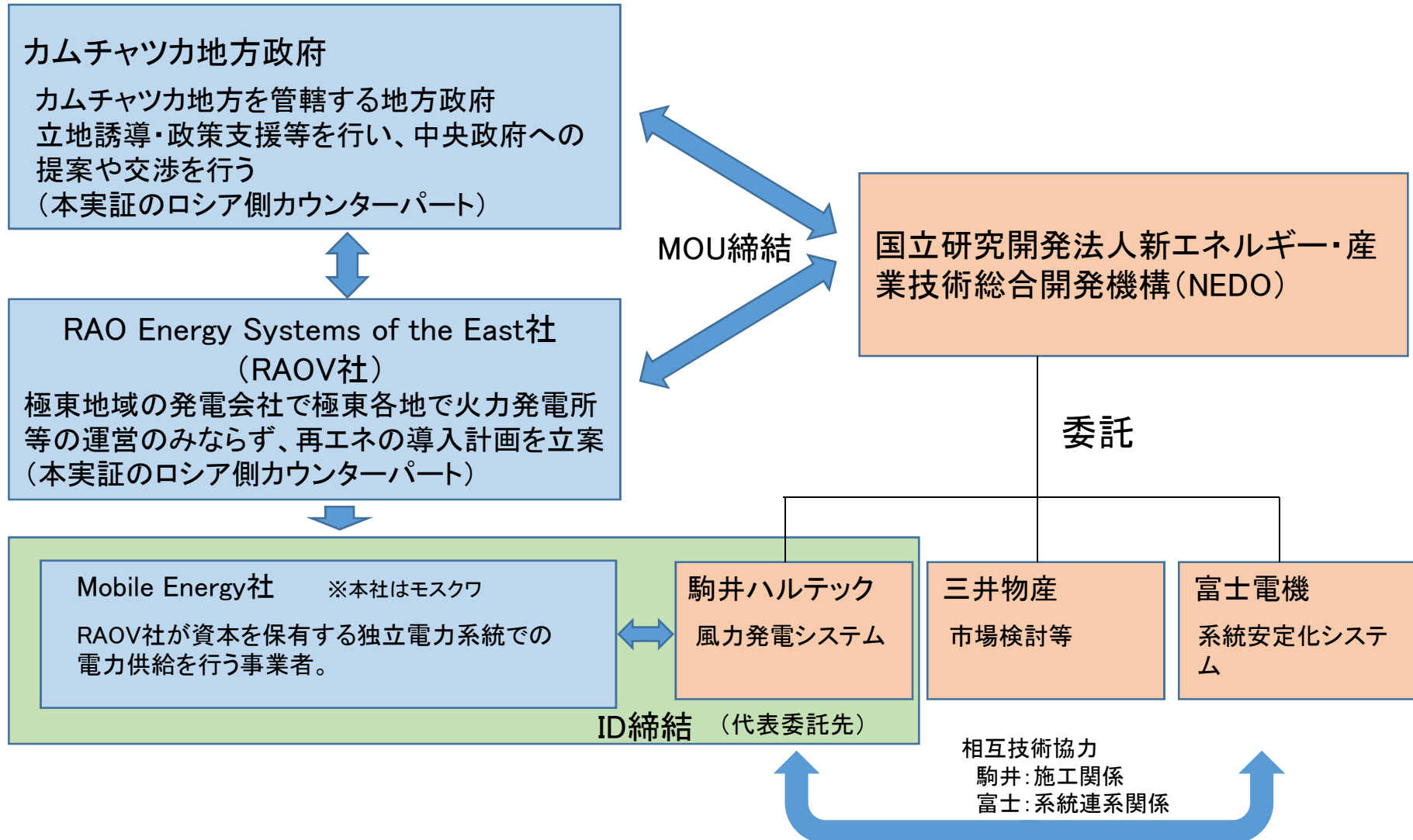
◆ 相手国との関係構築



- 経済産業省は、ロシアエネルギー省との間で、日露エネルギーイニシアティブ(大臣級)により協力を推進。
- NEDOは、MOU相手方であるカムチャツカ地方政府及びRAOV社と協力し、プロジェクトマネジメント。(実証内容の特定、スケジュール決定に加え、企業間で調整がつかない事項の方針提示)
- 企業間については、駒井ハルテックとMobile Energy社との間でIDを締結し、事業を主導。
- その上で、三井物産は、ロシア側との従前からの関係を活用し、日本側とのつなぎ役として機能。
 - ✓ 同社は1967年にモスクワ支店設立以来、ロシアでの投資実績は本邦企業一であり、政府や国営企業へのパイプが太い。
 - ✓ ロシアにおける電力セクター改革(2008年完了)時より、同国電力セクター参入を検討し政府関係機関、電力会社との関係を構築。
 - ✓ RAOV社より極東独立電源地域への電力供給システムの導入につき相談を受け、検討を開始。
 - ✓ NEDO実証事業の結果を受け、極東・シベリア地域等で独立電源地域の電力供給システム効率化を課題に抱える地方政府等からの問い合わせに対応中。

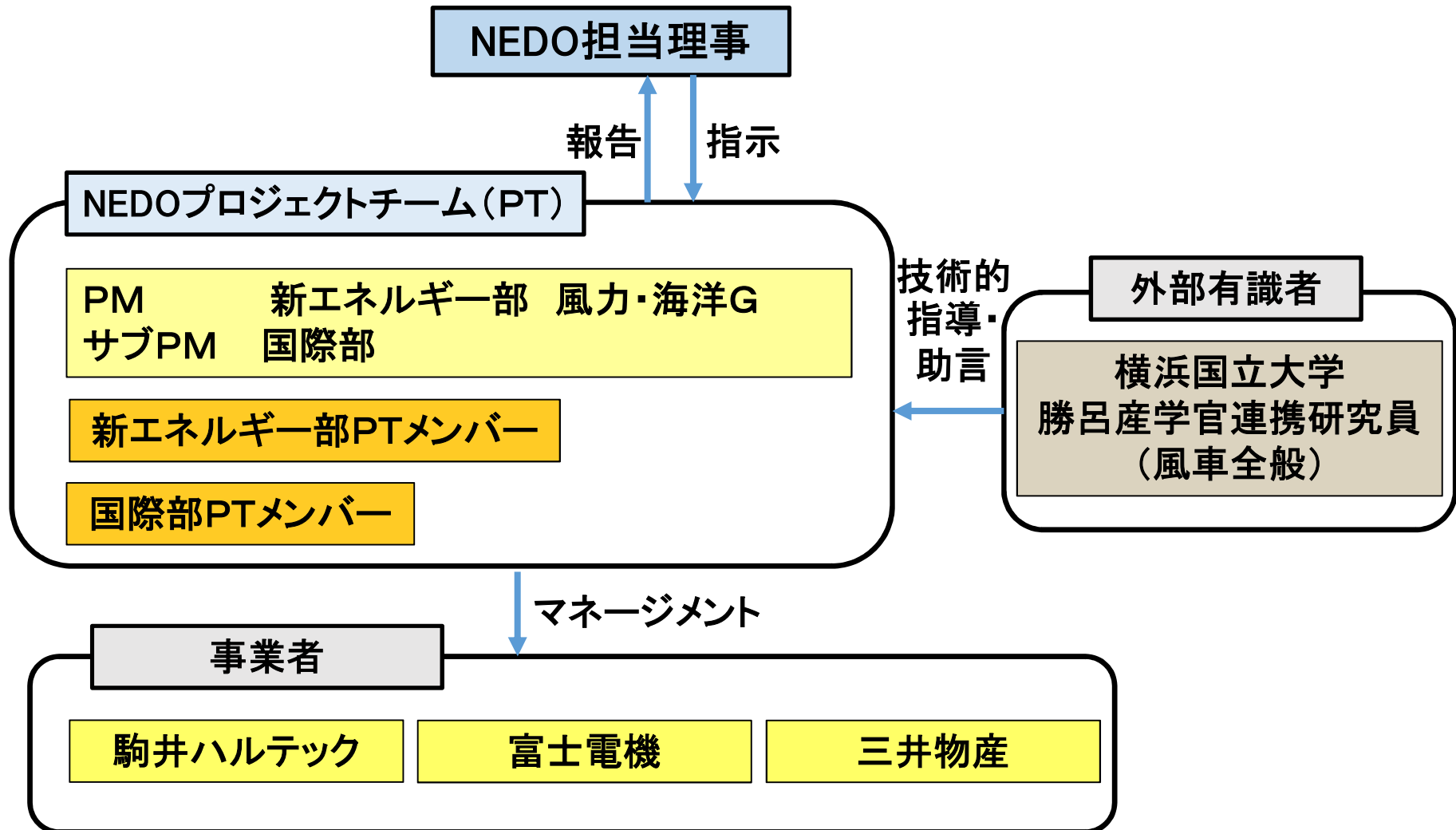
2. 実証事業マネジメント(実施体制の妥当性)

◆ 実証体制 1/3



2. 実証事業マネジメント(実施体制の妥当性)

◆ 実証体制 2/3



2. 実証事業マネジメント(実施体制の妥当性)

◆ 実証体制 3/3

駒井ハルテック

※代表委託先

【主な担当業務】

風力発電システム

(風力発電機開発及び製造、海外輸送、土木・据付工事、系統連系工事、試運転調整、メンテナンス、トレーニング)

【担当する実証項目】

項目1: 風車性能確認

項目2: 風車温度管理

項目3: 低温時運転制御

項目4: 着氷・着雪検出

項目5: タイプ別風車適合性

項目7: CMS(遠隔機器状態監視)

富士電機

系統安定化システム

(系統安定化システム制御関係設計製作、試運転調整、メンテナンス、トレーニング)

【担当する実証項目】

項目6: 系統安定化システム

項目8(燃料削減率)は共同で実施

三井物産

市場検討等

(ロシア側窓口、契約関係まとめ、ファイナンス検討、ローライゼーション検討、広報企画検討)

ロシア(Mobile Energy社)

建設用地の確保・環境調査、ロシア内輸送、通関手続き、日常運転管理・記録など

2. 実証事業マネジメント(事業内容・計画の妥当性)

◆ 事業内容・計画: 工程

概ね当初予定通り実施され、工程に関する問題は生じなかった。

実施項目	平成26年度						平成27年度						平成28年度																	
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月			
1. プロジェクト管理	[Red Line]																													
2. 協定書関連業務	[Red Line]																													
3. 現地調査	[Red Line]																													
4. 基本計画の策定	[Red Line]																													
5. 基本設計, 詳細設計	[Red Line]																													
5-1. 基本設計	[Red Line]																													
5-2. 詳細設計	[Red Line]																													
6. 機器調達, 製作, 輸送, 保険付保	[Red Line]																													
6-1. ナセル機器調達, 製作	[Red Line]																													
6-2. ブレード機器調達, 製作	[Red Line]																													
6-3. タワー機器調達, 製作	[Red Line]																													
6-4. 輸送, 保険付保	[Red Line]																													
7. 現地組立工事, 土木基礎工事	[Red Line]																													
7-1. 土木基礎工事	[Red Line]																													
7-2. 建設工事	[Red Line]																													
7-3. 電気工事	[Red Line]																													
8. 系統安定化システム製作・設置	[Red Line]																													
9. 教育・訓練	[Red Line]																													
10. 試運転, 実証運転	[Red Line]																													
11. 実証, 評価	[Red Line]																													
12. 普及活動	[Red Line]																													

黒ライン: 予定工程

赤ライン: 実施工程

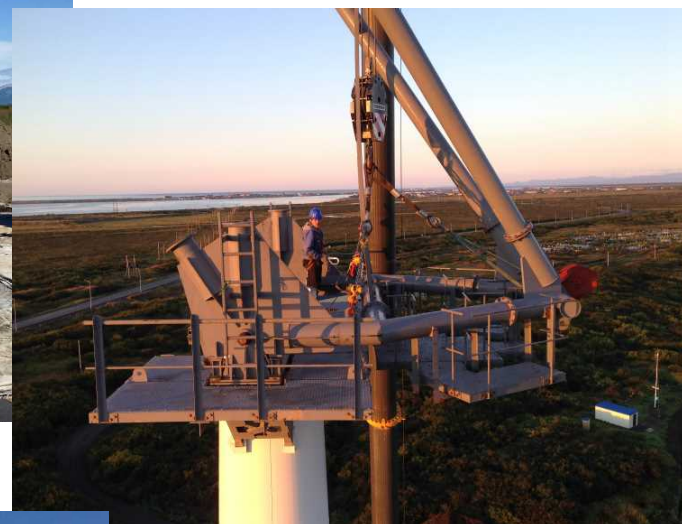
2. 実証事業マネジメント(事業内容・計画の妥当性)

◆ 風力発電機の現地設置概略工程写真

輸送



架設工事



基礎施工



系統工事



完成



通信工事



2. 実証事業マネジメント(事業内容・計画の妥当性)

◆ 事業内容・計画：費用

当初想定していた予算の範囲内で、計画に沿って必要な実証を行うことができた。

(単位：百万円、消費税及び地方消費税込)

委託先名	事業期間全体	
	予算	実績
株式会社駒井ハルテック	1,014	1,014
三井物産株式会社	28	28
富士電機株式会社	149	136
合計	1,191	1,178

2. 実証事業マネジメント(事業内容・計画の妥当性)

◆ 課題の認識と分析

想定された課題	背景・原因(要因)	実施した内容	成否
輸送	陸路:未舗装路 海路:港の水深が浅い	複数回に渡る現地調査の実施 物流会社(海路:日本業者/陸路:ロシア業者)も含めた詳細検討実施	○
建設	現地施工業者のスキル 建設機械の調達 寒冷地の労働時間制限	施工業者との密なコミュニケーションと現地調査 日本からの必要スキルの提示とエビデンスの取得 適切な工程管理の徹底	○
寒冷地対策技術	-30℃以下を未経験 設計妥当性が未確認	大型冷凍試験設備(日本)を利用した設計妥当性の検証	○
メンテナンス移管	カウンターパートのスキル	試運転調整の共同実施 訓練の実施(繰返し実施による習熟度の向上)	○
系統安定化システムの構築	現地熱供給施設との接続 高速ネットワークの実現 複数設備管理会社の存在(電力会社・熱供給会社)	熱供給施設の改造工事の現地委託(許認可・施工方法を現地委託) 現地インフラも含めたネットワークの活用と冗長化 設備管理を風車管理会社(Mobile Energy社)に統一	○

2. 実証事業マネジメント(事業内容・計画の妥当性)

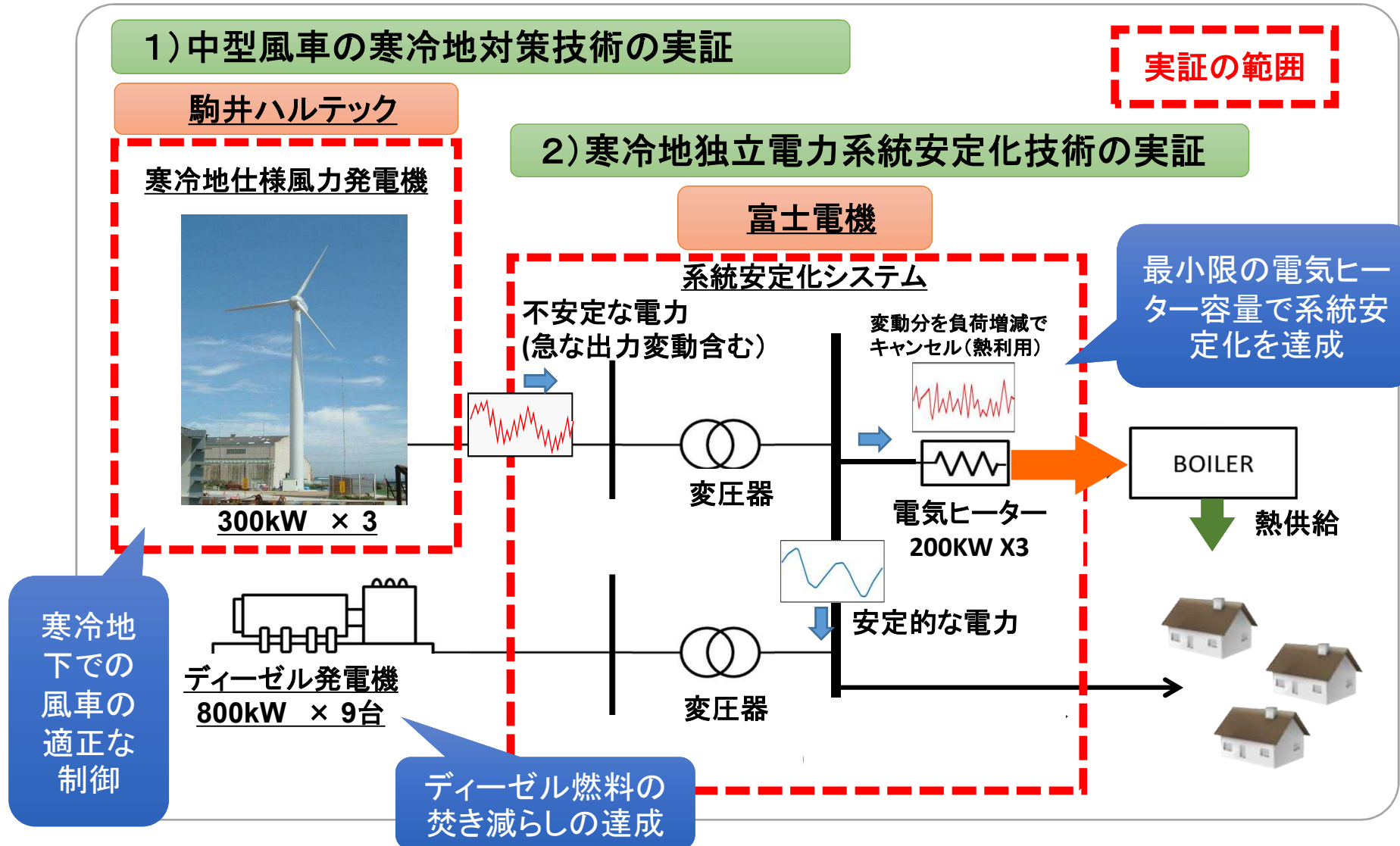
◆ 情勢変化等への対応

- ・ルール下落： ルーブルの価値が、調査実施時の1ルール=3.5円から、1ルール1.8円程度まで急落。実証事業に対する影響は無かったが、今後の普及を考慮する際に、日本からの輸出品のルール換算の価格が大幅に上がることになる。

この問題については、現地生産化を進めることで一定程度回避が可能である。

2. 実証事業マネジメント(事業内容・計画の妥当性)

◆ 風力発電システム構成



2. 実証事業マネジメント(事業内容・計画の妥当性)

◆ 風力発電機の仕様・特徴 (1/2)



- 定格出力: 300kW×3機
⇒現地電力需要に適合し、電力品質の安定化を保証
架設に大型重機不要
- ブレード長: 16m
- ナセル重量: 18t
- タワー高さ: 41.5m (4ブロック, 1ブロック10t以下)
⇒ロシア極東地域の道路・輸送状況に適合したサイズ
- 耐風速: 70m/s
- 乱れ強度 $I_{ref} = 0.18$
⇒寒冷地のため空気密度が高くなり、作用外力が
厳しくなる現地条件を想定し、
仕様値をIEC基準より高い値に設定
- 基礎・タワー設計: 土木学会指針※1に準拠
⇒阪神・淡路大震災レベルの地震動に抵抗
地震多発地帯の現地に適合

※1 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説[2010年版], 土木学会

2. 実証事業マネジメント(事業内容・計画の妥当性)

◆ 風力発電機の仕様・特徴 (2/2)

風車名称	寒冷地種別	寒冷地の特徴	特徴
タイプA	準寒冷地仕様	外気温 -30°C 以下になることが少ない地域(年間100時間程度を想定)	外気温 -40°C まで対応可能 導入コスト削減タイプ
タイプB	寒冷地仕様	外気温 -30°C 以下になることが多い地域(年間600時間以上を想定)	外気温 -40°C まで対応可能 ランニング・コスト削減タイプ
タイプC	極寒冷地仕様	外気温 -40°C 以下になることがある地域	基本仕様はタイプBと同じだが、外気温 -50°C まで対応可能

3. 実証事業成果(事業内容・計画の達成状況と成果の意義)

◆ 事業の成果・達成状況

目標と成果(1/4)

◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達

	目標	成果	達成度	大幅達成した場合、または残った課題/変更した場合はその内容を記載
項目1. 風車適正出力確認	発電出力に必要な風車運転データの取得と、適正な発電出力を確認すること	風車の運転データを監視することで稼働率95%以上を確保し、発電出力は過去の実績値に基づく発電出力(パワーカーブ)と比較して適正であることを確認できた。	◎	風車の稼働率は96%(平成28年度のうちデータ収集が完了している12月末まで)を確保できた。
項目2. 風車温度管理	低温域において風車の温度管理が正しく行われること	寒冷地仕様としてナセル内に追加したファンヒーター、ナセルカバーの断熱材の効果により運転可能温度(-15℃)を下まわらないことを確認した。	◎	実証期間中の最低外気温は-26℃であったが、温度管理によりナセル内の最低温度を-5℃にとどめることができた。

3. 実証事業成果(事業内容・計画の達成状況と成果の意義)

◆ 事業の成果・達成状況

目標と成果(2/4)

◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達

	目標	成果	達成度	大幅達成した場合、または残った課題/変更した場合はその内容を記載
項目3. 低温運転制御	低温域において風車の安全運転が確保できること	低温時の空気密度の増大を考慮した外気温が-15℃以下となった場合での風車への負荷低減のための最大出力抑制制御の適正な動作を確認できた。 同様に、外気温-30℃以下での運転停止制御については、実証期間中に-30℃以下の外気温が出現しなかったことから、設定値を-20℃に変更した上で、外気温が-20℃以下となった場合の運転制御の適正な動作を確認した。	○	国内で実施した大型冷凍試験設備で-20℃と-30℃からの起動試験結果が相似であることから、実証サイトでの-30℃以下からの起動についても適正に動作するものとする。
項目4. 着氷・着雪検出	着氷・着雪時に風車の安全が確保できること	着氷・着雪の可能性が高い気象条件下での風車停止制御の適正な動作を確認できた。 ブレードの塗装性能により、実証期間中にはブレードの着氷・着雪の発生は無かった。ブレードの着氷・着雪による振動での風車停止制御の適正な動作は未確認であるが、ブレードにかかった荷重に起因する振動による風車停止制御の適正な動作を確認できた。	○	着氷・着雪に係わる気象観測値及び、着氷センサーの着氷度数を基に、着氷・着雪予測条件を数値化することができた。 今後、他地域でのデータを積み重ねて予測条件数値化の一般化を行い、他地域で検証する。

3. 実証事業成果(事業内容・計画の達成状況と成果の意義)

◆ 事業の成果・達成状況

目標と成果(3/4)

◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達

	目標	成果	達成度	大幅達成した場合、または残った課題/変更した場合はその内容を記載
項目5. タイプ別風車適合性	タイプ別風車の寒冷地適合性を確認すること	各寒冷地仕様3タイプについて、いずれも仕様に沿った適正な動作を確認した。 3タイプの補機の電力消費量を踏まえると、タイプAは最低気温が-30℃前後の地域、タイプBは-40℃に達することのある地域、タイプCは-50℃までの地域に適していることを明らかにした。	◎	これにより、ロシアの他の候補地について、気象条件に基いてタイプ別風車の提案を行うことができるようになった。
項目6. 系統安定化システム	【冬期】電気ヒーターによる系統安定化制御の確認 【夏期】風車発電出力抑制による系統安定化制御の確認	季節ごとの電力系統の特性を把握した。 【冬期】電気ヒーターによる系統安定化制御の実現とその効果、及び必要な電気ヒーター容量の定量化を達成した。 【夏期】電気ヒーター停止期間における風車導入後の電力品質を評価した。評価結果より、風車の出力抑制制御のみで電力品質を維持できることを確認した。	◎	電気ヒーターによる系統安定化制御は、風力発電による周波数変動を抑制するためのもので、その容量が小さいほどディーゼル発電所の燃料削減に貢献できる。実証結果から、電気ヒーターの容量を、風車の設置容量に対して60%から30%に削減できることを確認した。

3. 実証事業成果(事業内容・計画の達成状況と成果の意義)

◆ 事業の成果・達成状況

目標と成果(4/4)

◎:大幅達成、○:達成、△:達成見込み、×:未達

	目標	成果	達成度	大幅達成した場合、または残った課題/変更した場合はその内容を記載
項目7. CMS(コンディション・モニタリング・システム)	遠隔地風車の保全管理をリモートで行うこと	設置した風車の保全管理を遠隔監視で行うことができた。実証期間中に異常の発生はなかった。	○	風車の保全管理は実証後も引き続き監視することが重要であり、今後も継続して監視をおこなってゆく。
項目8. 燃料削減率	実証における燃料削減率を計算し成果を確認すること	2012年の事前調査時の想定値7.2%であるのに対して、実証事業の結果を踏まえた通年の燃料削減率は7.0%。実証特有の事由によるシステム停止を除くと燃料削減率は7.6%となり、事前調査の想定値を上回った。	◎	風速に対する燃料削減率の確保は、系統安定化システムの効率的運用により事前調査以上の効果を得ることができた。

CMS: ギア・ベアリングの振動を継続監視することで、機器の疲労度を判断するシステム

4. 事業成果の普及可能性(事業成果の競争力)

◆ 成果の競争力:市場規模

- ロシア極東には、地理的条件や風況条件等を考慮すると、合計1000機程度(300MW)の導入ポテンシャルがある。
- このうち、RAOV社は、風力発電の設置に関する35プロジェクト(合計容量44.1MW、300kW風車で147基相当)を公表済み。

	導入可能 風力発電潜在量	導入可能 風力発電機	風力発電機・シス テム売上規模(1.5 億円/基と仮定)
極東地域全体 ※2	300MW	約1000基	1500億円
うちカムチャツカ地方 ※1	14.85MW	約50基	75億円
うち沿海州 ※2	20MW	約66基	99億円

※1 Mobile Energy社投資計画資料

※2 国立極東大学附属Local Energy System 研究所レポート(2012年)

4. 事業成果の普及可能性(ビジネスモデル、政策形成・支援措置)

◆ ビジネスモデル

事業の項目	日本側分担内容	ロシア側分担内容
(1) サイトの特定	ロシア側が特定した候補サイトの条件を確認	全般的に担う
(2) 風況調査 システム検討 事業計画の策定	風況調査結果確認及び必要があればデータの解析等を実施 調査内容に基づきシステム構成を設計 システム導入費用、メンテナンスコスト、発電電力量などを算出	風況調査を実施 サイトの電力条件を調査 現地の工事業者などと協議し、総事業費確定、事業計画策定
(3) システム導入	システム機器を現地サイト条件に合わせて選定、製作、納品(タワーの現産地化でコスト削減) システム施工時に監督・指導を実施する(段階的に監督もロシア側に移管していく)	システム機器のサイトへの搬入、建設・設置工事実施、電力会社との連系協議、政府からの許認可取得等々全般
(4) メンテナンス	現地でのメンテナンス要員を指導。必要な場合は日本での遠隔監視も実施。トラブルの場合は技術者を現地に派遣	日常監視、遠隔監視、定期点検を実施

4. 事業成果の普及可能性(市場規模、省エネ・CO₂削減効果)

◆ 社会・経済への波及効果

本事業による原油削減及び温室効果ガス排出削減効果

	実証事業段階	普及段階 (2020年)	普及段階 (2030年)
原油削減効果	429kL/年 (397ton/年)	1,935kL/年 (1,790ton/年)	14,032kL/年 (12,977ton/年)
温室効果ガス排出削減効果	1,367t-CO ₂ /年	14,465t-CO ₂ /年	104,868t-CO ₂ /年