

令和 3 年度質の高いエネルギーインフラの海外展開に向けた事業実施可能性調査事業委託費(我が国企業によるインフラ海外展開促進調査)

ロシア連邦・北極海航路沿岸における LNG・風力活用計画等策定及び事業実施可能性調査事業

報告書

令和 4 年 3 月

株式会社駒井ハルテック

三井物産株式会社

株式会社野村総合研究所

This page is intentionally left blank

目次

1. 本事業全体の背景と目的	1
1.1. はじめに	1
1.2. 本調査の目的	1
2. 北極圏における LNG・風力活用計画(ロードマップ)の策定	2
2.1. 本章の調査内容	2
2.2. 本章の対象とする北極圏の範囲	2
2.3. 北極圏の特色と直面している社会課題	6
2.4. ロシア政府の北極圏開発戦略	7
2.5. 北極圏における LNG・風力活用に関わるロシア国内の主要プレイヤー	10
2.6. 北極圏における LNG・風力活用計画(ロードマップ)対象自治体	11
2.6.1. 対象自治体	11
2.6.2. 各自治体の基礎情報	13
2.6.3. 各自治体の電力事情	17
2.6.4. 対象自治体における LNG・風力活用計画(ロードマップ)	26
2.6.5. LNG・風力活用ロードマップ案	30
3. FS 対象都市・事業モデルの詳細	32
3.1. 本章の調査内容	32
3.2. FS 対象都市(プロヴィデニヤ)に関する周辺情報	32
3.2.1. 基礎情報	33
3.2.2. エネルギー・インフラ情報	36
3.2.3. 野菜情報	38
3.3. 想定事業モデルについて	39
3.4 風力発電事業	40
3.4.1 導入条件の洗い出し	40
3.4.2 導入設備の仕様策定	48
3.4.3 設備・プラント費用	52
3.5. 天然ガス火力発電事業	57
3.5.1. 気化装置に係る事業実施可能性	57
3.5.2. 発電機に係る事業実施可能性	65
3.6. 排熱等活用型農業用温室事業	76
3.6.1. 導入可能性のある技術選択肢	76
3.6.2. 導入条件の洗い出し	77
3.6.3. 導入設備の仕様策	78
3.6.4. 設備・プラント費用の詳細	79

3.7. グリーン水素(水素・温水)事業	82
3.7.1. 導入可能性のある技術選択肢	82
3.7.2. 導入条件の洗い出し	86
3.7.3. 導入設備の仕様策定	86
3.7.4. 設備費用	88
4. 事業モデルの実施可能性	89
4.1. 本章の調査内容	89
4.2. 経済性・事業実施可能性試算	89
4.2.1. 経済性の検討(FS)・感度分析	89
4.2.2. 資金調達条件	91
4.2.3. CO ₂ 排出削減量の試算	91
5. 今後の方針	93

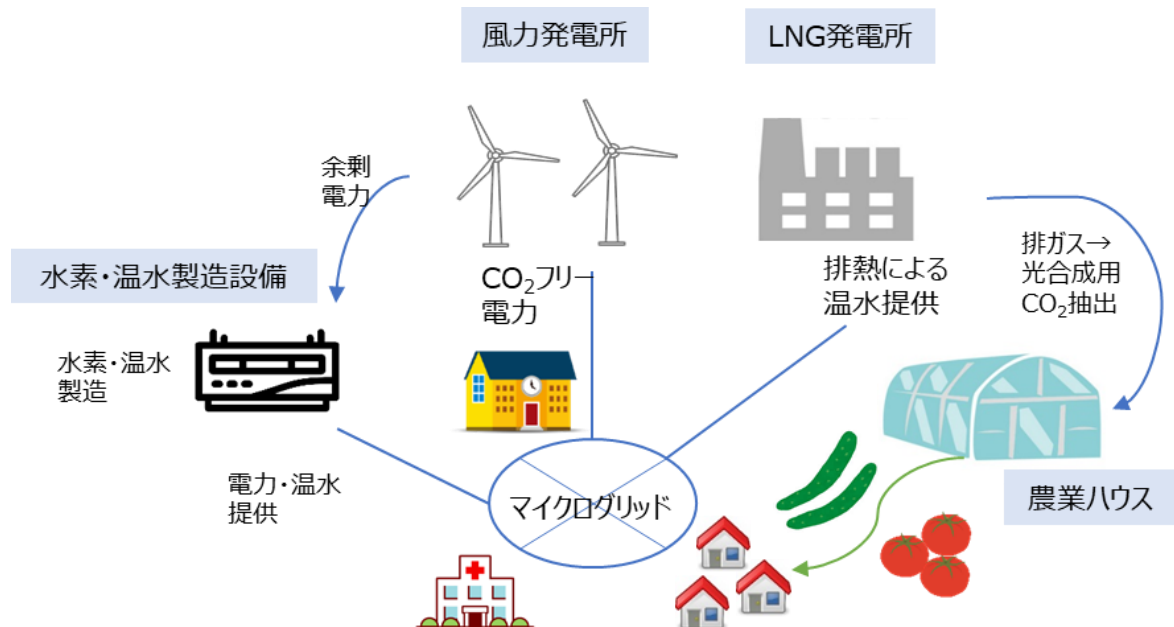
1. 本事業全体の背景と目的

1.1. はじめに

日本政府は、インフラ輸出を通じた経済成長の実現を目的とし、2013年に「インフラシステム輸出戦略」を策定した。当該戦略は、その後、改訂を重ねつつ継続されたが、その効果として、日本企業による海外インフラ案件の受注機会は、2010年の約10兆円から2018年には約25兆円へと大きく増加してきた。だが、昨今の世界的な新型コロナウイルスの流行拡大や、気候変動対策の厳格化等という、インフラ海外展開を取り巻く外部環境の変化を考慮し、2020年には、2021年以降の5年間を見据えた新戦略である「インフラシステム輸出展開戦略2025」が掲げられることとなった。

本事業は、このような政策文書を見据え、LNG・風力・水素を活用したクリーンなエネルギー源、温室等を活用するビジネスモデルを提案するものである。

図表 1.1.1 本事業が実現を目指す事業イメージ



1.2. 本調査の目的

北極圏のエネルギー開発と北極海航路の実現を目指すロシア政府の「北極圏開発戦略」などの背景を踏まえ、北極海沿岸地域におけるディーゼル発電のクリーンエネルギーへの転換と温室栽培事業の実施可能性に関する調査を実施する。具体的には、下記の内容を実施する。

1. 北極圏における LNG・風力活用計画（ロードマップ）の策定
2. LNG・風力発電事業の事業実施可能性調査
3. 排熱等活用型農業用温室の事業実施可能性調査
4. 余剰電力活用型グリーン水素・温水製造の事業実施可能性調査
5. 経済性検討・CO₂排出量調査の検討

2. 北極圏における LNG・風力活用計画(ロードマップ)の策定

2.1. 本章の調査内容

本章では、エネルギー・食料供給部門におけるロシア政府のロシア連邦の北極圏の戦略と計画、およびロシア連邦の北極圏におけるこれらの部門の現状について、風力発電、LNG 発電、および可能性のある現地ディーゼル発電機の置換プロジェクトに焦点を当てて確認する。その上で、北極圏における LNG・風力活用計画案を策定する。

本セクションは、主に以下の各資料に基づき作成している。

1. 「2035 年までのロシア連邦のエネルギー戦略」
2. 「2035 年までのロシア北極圏の発展と国家安全保障の確保のための戦略」
3. 「2036 年までのロシア連邦の社会経済発展の見通し」
4. 「2022 年、および 2023 年～2024 年の計画期間におけるロシア連邦の社会経済発展の見通し」
5. 調査中の市町村の経済発展、領土計画スキームの個々の戦略

また、以下についても補足的に参照している。

1. ロシア連邦国家統計局の統計データ
 - 1.1. 自治体別人口（2021 年 1 月 1 日現在）
 - 1.2. 2021 年 1 月 1 日の性別・年齢別人口
 - 1.3. 2035 年までのロシア連邦の人口予測
2. サンクトペテルブルグ北極問題委員会が創設した 2020 年の改訂版「サンクトペテルブルグとロシア連邦の北極圏との間の包括的な北極研究協力分野」

2.2. 本章の対象とする北極圏の範囲

本章における現状確認と計画策定の範囲となるロシア連邦の北極圏の面積は、本土 490 万 km²、島嶼 20 万 km²、内海等 400 万 km²である。

図表 2.2.1 ロシア連邦の北極圏に関する境界



出所) Neftegaz.ru

2014 年 5 月 2 日のロシア連邦大統領令№296「ロシア連邦の北極圏の陸上国境について」によると、ロシア連邦の北極圏の範囲は以下の通り定義されている。

1. ムルマンスク州
2. ネネツ自治管区
3. チュクチ自治管区
4. ヤマル・ネネツ自治管区
 - (ア) ペロモルスキー市区、ロウフスキー市区、ケムスキー市区の自治体（カレリア共和国）。
- (2017.06.27 のロシア連邦大統領令№287 により追加)
5. 都市地区「ヴォークタ」（コミ共和国）
6. サハ共和国内の以下の地域：
 - アビー地区、アライホフ地区、アナバル（ドルガノ・エヴェンキ）地区、ブルン地区、ヴェルホヤンスク地区、ジガンスク地区、モマ地区、ニジュネコルィムスク地区、オレニョーク地区、スレドネコルィムスク地区、ウスチ・ヤンスク地区、エヴェノ・ビタンタイ地区。（2019.05.13 No. 220 からのロシア連邦大統領令により改正されたもの）。
7. ノリルスク市都市地区、タイミルスキー・ドルガノ・ネネツキー市地区、トゥルハンスキー地区（クラスノヤルスク準州）
8. アルハンゲリスク市、メゼンスキー市区、ノバヤゼムリヤ、ノボドビンスク市、オネガ市区、沿海州市区、セベロドビンスク自治体（アルハンゲリスク州）。
9. 1926 年 4 月 15 日のソビエト連邦中央執行委員会議長会決議「北極海に位置する土地及び島嶼のソ連領土の宣言について」およびその他のソビエト連邦の法令に規定された北極海に位置する土地と島

上記大統領令は、2019 年 5 月 13 日ロシア連邦大統領令 220 号によって改正が行われた。

a) 第6条にアビー地区、ヴェルホヤンスク地区、ジガンスク地区、モマ地区、オレニョーク地区、スレドネコリィムスク地区、エヴェノ・ビタンタイ地区が追加

b) 日付変更（2014年4月から2019年3月15日）

※注：上記4.（ア）から8に掲げる市町村の区域は、2019年3月15日時点の境界に基づいている。

ロシア連邦の北極圏内の人口は合計 2,605,769 人であり、ロシア総人口の 2%未満である。ロシア連邦の北極圏の人口の大部分はムルマスク州、アルハンゲリリスク州、ヤマル・ネネツ自治区に居住している。

図表 2.2.2 ロシア連邦の北極圏に関する人口情報

	2021 年 1 月 1 日時点			2020 年平均		
	総計	内訳		総計	内訳	
	人口	市街地	農村部	人口	市街地	農村部
Arctic Zone of the Russian Federation	2605769	2257148	348621	2612242	2263076	349166
Republic of Karelia	111254	93245	18009	111913	93674	18239
Kostomuksha city district	30273	29778	495	30202	29706	496
Belomorsky mun. district.	15151	9036	6115	15292	9118	6174
Kalevalsky mun. district.	6489	3784	2705	6526	3806	2720
Kemsky mun. district	13961	10463	3498	14112	10555	3557
Louhsky mun. district	10619	7463	3156	10726	7520	3206
Segezhsksk mun. district	34761	32721	2040	35055	32969	2086
Komi Republic	152573	135064	17509	153156	135610	17546
Vorkuta city district	72423	71984	439	72773	72333	440
Inta city district	26339	24752	1587	26559	24966	1593
Usinsk city district	42825	38328	4497	42803	38311	4492
Ust-Tsilemsky mun. district	10986	-	10986	11021	-	11021
Republic of Sakha (Yakutia)	67798	26107	41691	67725	26202	41523
Abyisky mun. district	3916	1973	1943	3933	1991	1942
Allaikhovskiy mun. district	2726	2111	615	2712	2094	618
Anabar national (Dolgan-Evenki) mun. district	3672	-	3672	3663	-	3663
Bulunsk mun. district	8501	4745	3756	8507	4769	3738
Verkhnekolymsk Municipal District	3984	2680	1304	3994	2690	1304
Verkhoyanskiy mun. district	10989	4752	6237	11024	4779	6245
Zhiganskiy National Municipality	4179	-	4179	4145	-	4145

Momi mun. district	4051	-	4051	4012	-	4012
Nizhnekolymsk Municipal District	4228	2514	1714	4244	2533	1711
Olenek Evenki National Municipal District	4326	-	4326	4286	-	4286
Srednekolymsk Municipal District	7312	3470	3842	7322	3474	3848
Ust'-Ya mun. district	7035	3862	3173	7021	3872	3149
Eveno-Byantai National Municipality.	2879	-	2879	2862	-	2862
Krasnoyarsk Territory	237686	208994	28692	237324	208571	28753
Norilsk city municipal district	183299	183299	-	182897	182897	-
Taimyrsky Dolgano-Nenets Municipal District	31466	21421	10045	31440	21377	10063
Turukhanskiy mun. district	15364	4274	11090	15432	4297	11135
Evenki Municipal District				-	-	-
Surinda rural settlement	421	-	421	423	-	423
Tura rural settlement	5362	-	5362	5352	-	5352
Nidym rural settlement	147	-	147	159	-	159
Uchami Rural Settlement	95	-	95	96	-	96
Tutonchan rural settlement	208	-	208	208	-	208
Yessey rural settlement	663	-	663	651	-	651
Chirinda rural settlement	206	-	206	202	-	202
Rural settlement Ekonda settlement	281	-	281	284	-	284
Kislokan rural settlement	93	-	93	97	-	97
Yukta Rural Settlement	81	-	81	83	-	83
Arkhangelsk region, including the Nenets Autonomous Area	707057	624228	82829	709355	626035	83320
Arkhangelsk Oblast without Nenets Autonomous Area	662668	591280	71388	665105	593292	71813
Urban district "Arkhangelsk	352032	344927	7105	353068	345953	7115
Urban district "Novaya Zemlya" (New Land)	3576	2861	715	3472	2785	687
City district "Novodvinsk	37256	37256	-	37477	37477	-
City district "Severodvinsk".	181768	180806	962	182369	181398	971
Leshukonsky mun. district	5840	-	5840	5944	-	5944

Mezen mun. district	8127	5008	3119	8211	5062	3149
Onezhskiy mun. district	28402	20422	7980	28716	20617	8099
Pinezhsky mun. district	20496	-	20496	20716	-	20716
Primorsky municipality. district	25171	-	25171	25132	-	25132
Nenets Aut. district	44389	32948	11441	44250	32743	11507
Murmansk region	732864	675190	57674	737134	679298	57836
Chukotka Autonomous District	49527	35242	14285	49908	35608	14300
Yamal-Nenets Autonomous Okrug	547010	459078	87932	545727	458078	87649

出所) ロシア連邦国家統計局

2.3. 北極圏の特色と直面している社会課題

ロシア連邦の北極圏地域は、他地域とは異なる以下の特色を有する特殊な地域である。

1. 極めて厳しい自然・気候条件極めて低い人口密度
2. インフラ整備のレベルが極めて低い
3. CO₂排出などわずかな外的影響に対しても環境破壊が進んでしまう生態系
4. 北極海航路への安定したアクセス
5. 不均等な経済発展
6. 北極圏における高いインフラ・人的コスト

上記の特色を背景とし、ロシア連邦の北極圏地域には解決すべき社会課題が多数ある。

1. 人口減少
2. ロシアの他地域と比較して、QOL 指数が低い
3. 社会サービスと適切な住居へのアクセスの低さ
4. 厳しい生活環境の影響による人々の経済面、健康面等のリスク
5. 燃料、食料その他の生活に不可欠な物資の遠隔地への供給が難しく、国による支援も不十分
6. 物資の輸送インフラが、航空輸送を含め未整備
7. 項目 2~6 に起因し、サービス及び物資の価格が高い
8. 項目 7 に起因する、企業の高コスト構造に伴う低い競争力
9. 教育システムがロシア連邦の北極圏のニーズに合致しない
10. 北極圏でのプロジェクトのタイミングより北極海航路のインフラ整備のタイミングが遅れている
11. 北極海航路の水域における船員の緊急避難及び医療体制の欠如
12. 情報通信インフラの低開発、通信分野での競争不足
13. ディーゼル発電の高いシェア

2.4. ロシア政府の北極圏開発戦略

ロシア政府は、ロシア連邦の北極圏の領土を整備し、現状の課題を解決するため、「2035年までのロシア北極圏の開発戦略」を公表した。これは、多くの既存の課題を解決することを目的とした「2020年までのロシア北極圏の開発戦略」を引き継ぐ内容である。この戦略には、ロシア連邦の北極圏開発のためのロシア政府の一連の措置が含まれている。一連の措置には以下が含まれる。

- 科学技術の重点分野の設定、科学研究の強化
- 数多くの科学的・実践的研究の実施、研究センターの設置、科学技術開発のモニタリング・評価
- 特別保護自然地の創出、環境への排出削減コースなど、環境分野での様々な課題を果たしている。
(北極地域における国際協力の発展 (海外投資家の誘致と情報提供を含む))
- ロシア連邦の北極圏における救助サービスの開発と部分的再編
- ロシア連邦の北極圏における防衛力と内部セキュリティの確保

「2035年までのロシア北極圏の開発戦略」は3つの段階に分けられる。各フェーズでは、それぞれの目標と施策を掲げている。以下にその内容を示す。

第1段階 2020-2024年

1. ロシア連邦の北極圏の規制・法的枠組みの創設を含む、ロシア連邦の北極圏の経済・社会開発を加速させるためのメカニズムの形成
2. プライマリ・ヘルスケアの近代化
3. ロシア連邦の北極圏に居住し、勤労するロシア国民の社会保障制度の改善
4. 小規模自治体の伝統的経済に対する国家支援の承認
5. ロシア連邦の北極圏のニーズを満たすための教育の再編
6. 国家安全保障機関及び/又は鉱物資源センターの開発拠点を擁する地域の包括的整備のためのパイロットプロジェクトの実施、ロシア連邦の北極圏における経済・インフラプロジェクトの実施、北部における供給の改善プロジェクト
7. ロシア連邦の北極圏の現地交通網に対する助成金メカニズムの導入
8. 大陸棚における経済プロジェクト実施のための新モデル適用を確かなものとする
9. 原子力砕氷船、救難艇、引き揚げタグボートの建設など、北極海航路西部の開発を加速
10. ディーゼル発電を LNG、自然エネルギー、現地燃料による発電に置き換える施策の開始
11. 人口100~500人の居住地へのインターネットアクセスの提供
12. ロシア連邦の北極圏において途切れない衛星通信を提供するために、長楕円軌道上に衛星コンステレーションを設置すること
13. 北極地方の開発を目的とした研究開発のための、世界トップクラスの科学センターの創設
14. ロシア連邦の北極圏住民の健康を守り、平均余命を伸ばす技術の開発
15. 北極海の高緯度における複雑な科学研究のための研究船の設計及び委託
16. 永久凍土の劣化のネガティブな影響を監視し、防止するシステムの創設
17. ロシア連邦の北極圏の開発に関する国際協力の強化
18. 北極における領海及び排他的経済水域の幅を測定する基線システムの更新

第2段階 2025-2030年

1. 特別な経済体制、投資家のニーズ及び北極における経済活動の状況を考慮した、ロシア連邦の北極圏の経済部門の競争力向上
2. ロシア連邦の北極圏の人々が教育・文化・スポーツサービスを利用できることを確かなものとする
3. 北極圏における専門学校、専門教育及び再教育センターや高等教育機関の競争システムの構築を完了させる
4. 経済及び（又は）インフラ事業を実施するため、国家安全保障機関及び（又は）鉱物資源センターの開発拠点が置かれている農村・集落の総合的な開発プログラムの完全な実施
5. 北極海航路全域を通年航行するとともに、全般的に使用される原子力砕氷船1隻、「リーダープロジェクト」の砕氷船2隻の増設、国際コンテナ貨物輸送用ハブ港の建設開始
6. ロシア連邦の北極圏河川流域における航行開発プログラムを開始
7. ロシア連邦の北極圏における観光インフラ開発プログラムの実現
8. 北極海を横断する海底光ファイバーケーブル網の構築
9. 地球上の極地域において高精細な水文気象データを受信するための、衛星の長楕円軌道システムの創出
10. イノベーションを活かした新しい試験設備の操業開始
11. 北極海高緯度研究のためのロシア研究隊の編成開始
12. 使用済核燃料及び放射性廃棄物が埋没し、かつ、沈没した施設がある地域の復旧の完了

第3段階 2031-2036年

1. LNG・ガス化学製品の生産、石油採取、その他の鉱物・天然資源の採掘に従事する企業能力の漸増
2. 経済及びインフラプロジェクトの実施のために国家安全保障機関及び鉱物資源センターの開発拠点が設置されている居住地において、都市環境及び社会インフラが近代化されること
3. 小規模な人口に対しても質の高い社会サービス利用を確約し、伝統的な経済活動を集中的に発展させる
4. 北極海航路を基盤としたグローバル競争力のある交通回廊の形成、国際コンテナ貨物輸送ハブの建設、「リーダープロジェクト」の砕氷船1隻の増設
5. 非効率なディーゼル発電を LNG、再生可能エネルギー、現地燃料による発電へ完全に置き換えること
6. ロシア連邦の北極圏河川流域における航行開発プログラムの完了
7. ロシア研究隊編成完了
8. 事業活動における環境負荷の低減と防止

本開発戦略の終了時までの目標を以下に示す。

図表 2.4.1 ロシア連邦政府の達成目標

№	指標	基準値	目標値		
			2024	2030	2035
1.	ロシア連邦の北極圏における出生時余命（年）	72.39 (2018)	78	80	82
2.	ロシア連邦の北極圏への人口移動増加率	-5.1 (2018)	-2.5	0	2
3.	ロシア連邦の北極圏における失業率（%）（ILO 基準）	4.6 (2019)	4.6%	4.5%	4.4%
4.	ロシア連邦の北極圏における新規企業の雇用数（千人）	-	30	110	200
5.	ロシア連邦の北極圏における労働者の平均給与（千ルーブル）	83.5 (2019)	111.7	158.5	212.1
6.	ロシア連邦の北極圏の総世帯数に占めるブロードバンドインターネット接続世帯の割合（%）	81.3 (2019)	90	100	100
7.	ロシアの GDP に占めるロシア連邦の北極圏の GRP の割合（%）	6.2 (2018)	7.2	8.4	9.6
8.	ロシア連邦の北極圏の GRP に占めるハイテク産業・科学集約産業の付加価値の割合（%）	6.1 (2018)	7.9	9.7	11.2
9.	ロシアの固定資本投資総額に占める北西連邦地区の固定資本投資の割合（%）	9.3 (2019)	11	12	14
10.	ロシア連邦研究開発費に対する、北極・極東地域の国内研究開発費の割合（%）	1 (2018)	2.5	3.5	4.5
11.	ロシア連邦の北極圏の固定資本投資総額に対する、自然投資の保護及び合理化のための固定資本投資の割合（%）	2.6 (2019)	4.5	6	10
12.	原油（コンデンスガスを含む）および可燃性天然ガスのロシア連邦の北極圏における産出比率（%）				
	-原油（コンデンスガスを含む）	17.3 (2018)	20	23	26
	-可燃性天然ガス	82.7 (2018)	82	81	79
13.	西シベリアの LNG 生産量（百万トン）	8.6 (2018)	43	64	91
14.	北極海航路の海域における貨物輸送量（百万トン）	31.5 (2019)		90	130
	-輸送貨物を含む	0.7 (2019)	1	2	10

出所)「2035 年までのロシア北極圏の開発戦略」

したがって、ロシア連邦政府はロシア連邦の北極圏の開発を目的として、LNG の利用や代替エネルギーからの発電を含む、現代のエネルギー発電技術を利用した戦略を実施する予定であると結論づける

ことができる。同時に、老朽化したディーゼル発電能力については、再生エネルギーや LNG 等による発電に置き換えることが提案されている。

また、ロシア連邦の北極圏の観光開発目標の一覧には、より環境にやさしいエネルギーの導入や社会インフラの整備、国民の健康管理なども含まれており、上記の事柄から、LNG と風力発電は需要があると結論づけることができる。

2.5. 北極圏における LNG・風力活用に関わるロシア国内の主要プレイヤー

政府戦略では、ディーゼル発電設備を風力発電や LNG 発電に置き換えることが求められているにもかかわらず、チクシ以外の新規プロジェクトは計画されていない。したがって、本案件のようなディーゼル発電設備を風力発電や LNG 発電へ置換する事業には、今後の拡張機会が見込める。

なお、以下には風力発電や LNG 発電事業に関心のあるロシア国内主要企業を記す。

● 風力発電市場：

- 公共株式会社ロスハイドロ

- ◇ 公共株式会社ロスハイドロは、水力発電の分野でロシアを代表する企業である。2004 年に設立された。同社の 2020 年 3 月期の売上高は 1,770 億ルーブルである。
- ◇ ロスハイドロ社は、ロシアにおける再生可能エネルギーのリーディングカンパニーであり、グループには 100 の再生可能エネルギー施設がある。水力発電所と揚水発電所 68 基、地熱発電所 3 基、太陽光発電所 23 基、風力発電所 6 基である。ロスハイドロ社は、再生可能エネルギー発電の設備容量を着実に増やしており、過去 5 年間で、110 万 kW の水力発電所（HPP）、小規模電力発電所（SPP）、風力発電所（WPP）のパイロットプラントが稼働した。昨年の水力発電所の稼働によって、化石燃料の燃焼時に排出される 6,300 万トン相当の CO₂ を削減した。
- ◇ 風力発電においては、チクシ（サハ共和国）の風力発電所は、北極圏においても風力発電容量が最大規模である。また、同社の太陽光発電所のほとんどはサハ共和国にある。

- 公共株式会社ロスアトム

- ◇ ロスアトムは、主に原子力エネルギーなどの分野で活躍する国営企業であり、同社は、100%子会社である NovaWind JSC が運営するネットワークを通じ、ロシアの自然エネルギー市場において積極的な事業展開を行っている。
- ◇ ロスアトムは、2021 年に政府の再生可能エネルギー戦略の一環として、2024 年度の風力発電所建設枠を獲得した。新しい発電設備によって生産されたエネルギーは他のエネルギー源よりも優遇されるとともに、発電されたエネルギーはすべて固定価格で買い取られることが保証されている。
- ◇ NovaWind JSC は 2017 年 9 月に設立され、授権資本金は 11 億 100 万ルーブル（約 1,000 億円）である。NovaWind は、ロスアトムの風力発電戦略を担うため、ロスアトムの風力発電の資産をすべて統合し、風力発電所の管理、風力タービンの連続生産、製品開発、マーケティングと販売、アフターサービス等の新しい事業遂行能力を取得し、現在全

体で約 170 万 kW の発電容量のポートフォリオを所有している。また、NovaWind 社は、オランダの技術ベンダーである Lagerwey 社との合併会社である Red Wind B.V.を 2017 年に設立し、現在 Volgodonsk の工場で風力タービン部品とコンポーネントを製造している。

● LNG 発電市場：

- 公共株式会社ガスプロム

- ◇ ガスプロムは、サンクトペテルブルクに本社を置くロシアの多数派国営多国籍エネルギー企業である。2019 年現在、1200 億米ドルを超える売上高を誇り、世界最大の上場天然ガス企業、ロシア最大の売上高を誇り、2020 年のフォーブス・グローバル 2000 では、ガスプロムは世界第 32 位の上場企業としてランクインしている。
- ◇ ガスプロムは、100%子会社である公共株式会社「ガスプロム SPG テクノロジー」を通じ、LNG 市場に積極的に参入しようとしている。

- 公共株式会社ノヴァテック

- ◇ ロシア第 2 位の天然ガス生産企業であり、天然ガス生産量では世界第 7 位の上場企業。西シベリアのヤマロ・ネネツ自治区に本社を置き、モスクワに営業所を構えている。2020 年のフォーブス・グローバル 2000 では、ノヴァテックは世界第 316 位の上場企業としてランク付けされた。
- ◇ ノヴァテックは、LNG プロジェクトと輸出に多額の投資を行っている。現在、ノヴァテックが取り組んでいるプロジェクトには、ロシア政府との共同プロジェクトであるサベッタ港の開発がある。この港ができれば、ヤマル半島から海上で LNG を輸出できるようになる。

2.6. 北極圏における LNG・風力活用計画(ロードマップ)対象自治体

2.6.1. 対象自治体

本節で LNG・風力活用計画（ロードマップ）の対象自治体を下表に示す。

対象自治体の選定は、以下の基準で行った。

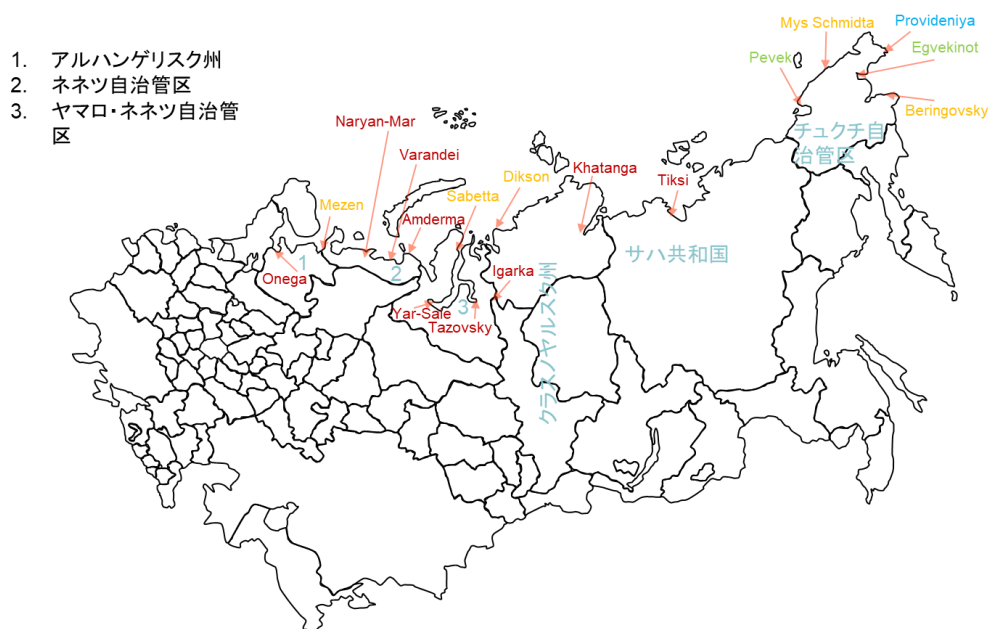
- 北極海航路沿岸にある都市・村・集落であること
- 既存の港湾ターミナル施設があること
- 2021 年時点の人口規模の多寡

図表 2.6.1 選定した自治体

№	種類	自治体
アルハンゲリ斯克州＋ネネツ自治管区		
1.	都市部	オネガ
2.	都市部	メゼン
3.	村	アムデルマ

4.	rotational village	ヴァランディ
5.	都市部	ナリヤン・マル
クラスノヤルスク州		
6.	集落	ディクソン
7.	都市部	イガルカ
8.	村	ハタンガ
サハ共和国		
9.	集落	チクシ
チュクチ自治管区		
10.	集落	ベリンゴフスキー
11.	都市部	ペヴェク
12.	集落	エグベキノト
13.	集落	ミス・シュミッタ
ヤマロ・ネネツ自治管区		
14.	rotational village	サベッタ
15.	集落	タゾフスキー
16.	集落	ヤル・サレ

図表 2.6.2 展開候補地の立地



出所) コンソーシアム作成

緑：風力発電・LNG 火力発電置換の実現可能性 大
 黄：風力発電・LNG 火力発電置換の実現可能性 中
 赤：風力発電・LNG 火力発電置換の実現可能性 小

2.6.2. 各自治体の基礎情報

2.6.2.1. 各自治体の人口

各自治体の人口は、下表の通りである。

図表 2.6.3 選定した自治体における人口

№	種類	自治体	Population (persons)
アルハンゲリスク州＋ネネツ自治管区			
1.	都市部	オネガ	18149
2.	都市部	メゼン	3161
3.	村	アムデルマ	506
4.	rotational village	ヴァランディ	- ¹
5.	都市部	ナリヤン・マル	25536
クラスノヤルスク州			
6.	集落	ディクソン	513
7.	都市部	イガルカ	4274
8.	村	ハタンガ	4612
サハ共和国			
9.	集落	チクシ	4745
チュクチ自治管区			
10.	集落	ベリンゴフスキー	801
11.	都市部	ペヴェク	4513
12.	集落	エグベキノト	3138
13.	集落	ミス・シュミッタ	124
ヤマロ・ネネツ自治管区			
14.	rotational village	サベッタ	-
15.	集落	タゾフスキー	7209 (2020) ²
16.	集落	ヤル・サレ	7703
<参考>			
17.	都市部	プロヴィデニヤ	2141

出所) ロシア連邦国家統計局

2021 年時点の選定した自治体の人口は 77,775 人であり、これは北極圏の全人口の 3%に相当する。これらの自治体は、人口は少ないものの北極海航路の存続と発展には欠かせない位置にあり、政府の北極

¹ Varandey と Sabetta の rotational village に関する人口データなし

² タゾフスキ地区に再編されたため、ロシア連邦国家統計局の公式情報には 2021 年のタゾフスキ集落のデータは含まれていない。

圏開発戦略にも集落の近代化が目標として明記されている。

同人口の約 35%～48%が生産年齢人口であると推定される。男女比に関しては、国全体の生産年齢人口において 1：1.05 とされているが、ロシア連邦国家統計局が発表している北極圏居住地の男女比の正確なデータはない。

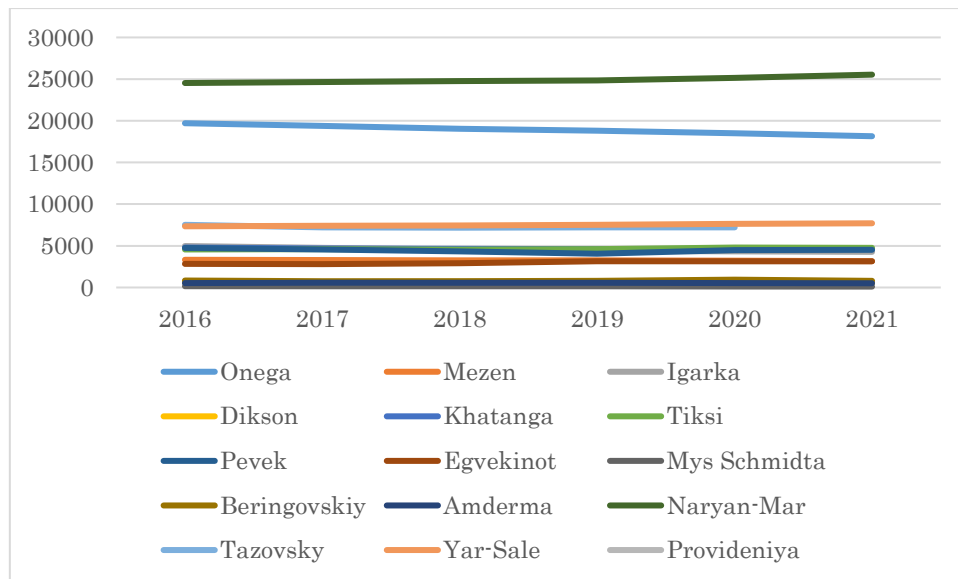
図表 2.6.4 選定した自治体における各都市の人口推移

自治体名	2016	2017	2018	2019	2020	2021
オネガ	19706	19381	19030	18830	18493	18149
メゼン	3325	3287	3267	3248	3212	3161
アムデルマ	548	577	572	572	542	506
ナリヤン・マル	24535	24654	24775	24827	25151	25536
イガルカ	4975	4754	4544	4417	4319	4274
ディクソン	609	569	548	535	529	513
ハタンガ	4788	4686	4622	4614	4602	4612
チクシ	4556	4604	4537	4602	4793	4745
ペヴェク	4743	4547	4329	4053	4494	4513
エグベキノト	2815	2803	2899	3146	3139	3138
ミス・シュミッタ	155	144	140	130	117	124
ベリンゴフスキー	837	755	759	816	938	801
タゾフスキー	7518	7201	7169	7209	7209	-
ヤル・サレ	7339	7413	7441	7533	7636	7703
総計	86449	85375	84632	84532	85174	77775
<参考> プロヴィデニヤ (都市部のみ、周辺集落含まず)	-	2109	2151	2091	2091	2141

出所) ロシア連邦国家統計局

選定された集落のうち、最大の自治体はオネガ（アルハンゲリスク州）とナリヤン・マル（アルハンゲリスク州ネネツ自治管区）、その人口はそれぞれ 1 万 8,000 人と 2 万 5,000 人強である。タゾフスキー集落とヤル・サレ集落は、人口 7,000 人台、アムデルマ（アルハンゲリスク州ネネツ自治管区）、ベリンゴフスキー（チュクチ自治管区）、ディクソン（クラスノヤルスク州）は、人口 500 人強～1000 人未満、Mys Shmidta（チュクチ自治管区）は人口が 200 人未満で、残りの自治体は、人口が 3～5 千人の規模である。

図表 2.6.5 選定した自治体における各都市の人口推移のグラフ



出所) ロシア連邦国家統計局

上図に示すように、人口はほぼ全ての自治体で減少の一途を辿っていることがわかる。

アルハンゲリ斯克州ネネツ自治管区のヴァランディとヤマロ・ネネツ自治管区のサベッタについては、人口統計が公開されておらず、また、人口の多くは任期付きの労働者であることから推計が困難である。

2.6.2.2. 対象自治体の主な産業や課題

各自治体の主な産業や課題は、以下の通りである。

● アルハンゲリ斯克州

アルハンゲリ斯克州の特定の市町村の境界内では、主な産業は以下の通り。

- ・オネガ：木材の採取および伐採。
- ・メゼン：鉱業および漁業。

アルハンゲリ斯克州の主な課題は、低賃金、および低い経済水準である。また、アルハンゲリ斯克州ネネツ自治管区の自治体のうち、特にアムデルマ村とヴァランディ村の経済は、「北方航路」による鉱物の採取とその後の出荷を中心に発展してきた。

● クラスノヤルスク州

クラスノヤルスク州は、シベリア連邦管区の半分を占めるロシア連邦最大の地方で、ロシアで最も天然資源が豊富な地域の一つである。

同州の主な課題は、人口減少、市民の低賃金、域外からの物資輸送にかかる高い物流コストである。

● サハ共和国

サハ共和国は、地方行政単位としては最大の地域である。鉱業が経済の基盤であり、北方航路の物流に依存している。

チクシの問題は、蓄積された環境破壊と、北方航路への依存に伴う物資の供給途絶の可能性が挙げられる。

- チュクチ自治管区、およびヤマロ・ネネツ自治管区

ヤマロ・ネネツ自治管区とチュクチ自治管区にある自治体の最も深刻な課題は、住民への生活必需品の安定的な供給である。既存の北方輸送は失敗し、一般的な生活必需品の価格が非常に高くなる。

2.6.2.3. 各自治体のインフラ整備計画

「北極圏開発戦略」において明記されている各自治体のインフラ整備計画は、以下のとおりである。

- アルハンゲリ斯克州＋ネネツ自治管区

- 木材加工および紙パルプ産業の育成（近代的な木材加工複合施設の形成、廃棄物のリサイクルからバイオ燃料を生産する技術の導入など）
- ヴァランディ **rotational village** におけるヴァランディ石油鉱物資源センターの開発
- ナリヤン・マルにおける以下の開発計画
 - ✧ ナリヤン・マル港の再建
 - ✧ ナリヤン・マル空港の改築
 - ✧ ナリヤン・マル～ウスリースク（Ussuriysk）間の道路建設

- クラスノヤルスク州

- ディクソン港を含む海港の開発
- ハタンガ村をはじめとする空港ネットワークの再構築
- ディクソン集落に緊急救助隊と北極圏危機管理センターの創設

- サハ共和国

- アナバー川、レナ川、ヤナ川、インディギルカ川、コリマ川の浚渫（しゅんせつ）
- 軍事・民間双方が利用可能なインフラ開発を含むチクシ集落の総合的な開発
- チクシ港とそのターミナルの再建
- 燃料、食料、その他の重要な物資を遠隔地のコミュニティに届けるための貿易・物流センターのネットワーク構築
- チクシに緊急救助隊と北極圏危機管理センターを設置

- チュクチ自治管区

- ペヴェク港の開発
- プロヴィデニヤ港の輸送・物流ハブの創設
- チャウン・ビリビンスク電力ハブの近代化
- 道路・交通インフラの整備
- ベリングフスキー石炭採掘・処理センターの開発、アリナイ潟での通年ターミナル建設
- ペヴェクへの緊急救助隊と北極圏危機管理センターの設置

- ヤマロ・ネネツ自治管区
 - 海運ターミナルを備えたサベッタ港の開発、オブ湾の海上輸送路の開発
 - サベッタ入植地（オブスカヤ-ボバネンコボ-サベッタ）までの鉄道の建設と開発
 - サベッタ入植地の石油・ガス化学施設の開発、多目的産業・技術ガス処理・石油化学複合体の形成
 - ガス・石油パイプラインの整備・開発
 - 集落を無停電電源装置に接続することによる集中電力供給地域の拡大
 - サベッタ rotational village における緊急救助隊と北極圏危機管理センターの設置

2.6.3. 各自治体の電力事情

2.6.3.1. 各自治体の電力事情概要

- アルハンゲリリスク州+ネネツ自治管区
 - オネガ市の電力供給は、公共株式会社である Rosseti North-West のアルハンゲリリスク支店の電力ネットワークに集中化している。2019 年～2020 年のこの地域の消費者の電力消費量は約 90 万 kWh であった。
 - メゼン市は、ディーゼル発電によって電力が供給されている（詳細は関連セクションを参照）。
 - ✧ メゼンの消費者への電力供給は、公共株式会社「Rosseti Severo-Zapad」のアルハンゲリリスク支店のディーゼル発電所から分散型で行われている。
 - ✧ 今後のインフラ計画は以下の通り。
 - 500kV 架線と 500/10/35kV 配電所システムの建設。
 - 110kV 架空線建設によるメゼンスキー市区の中央電力供給への移管。
 - ✧ なお、政府のメゼン社会経済開発戦略の数値によれば、2035 年には電力需要が供給能力を上回る模様。
 - ネネツ自治管区は、地方政府によって再生可能な風力発電に適していると考えられている。この地域には安定した風量があり、年間を通じて風速 5m/s 以上の風が吹くほか、40～50%の頻度で風速 8～10m/s を観測する。ネネツ自治管区には、風力発電機の設置計画があり、また、すでに風力発電機が設置されている試験場もある。短期調査の結果（テストサイトは 2017 年から稼働しており、3kW の風力発電機を備えた小規模テストサイトが 5 カ所存在）、風力発電はディーゼル燃料を大幅に節約できることが期待されている。この結果を受けて、この地域では、風力発電機のさらなる設置に踏み切ることが決定された。
 - アムデルマにおいては、「Severzhilcompex LLC」がディーゼル発電で電力を供給しており、5.3MW の発電容量を有する。また、風力発電として 50kW の風力発電機 4 基（合計 200kW）も設置している。今後、ディーゼル発電を段階的に廃止し、風力発電に置き換える計画もある。
 - ナリヤン・マルの電力インフラは、メイングリッドから分離され、熱と電力の両方を供給する独立した電力複合発電所を備えている。ガス発電所 2 基とディーゼル発電機 5 基で構成されており、それぞれの特性は表に示したとおりである。プラント全体の複合発電量は 38,15 MW であり、そのうち、ガス発電所は 30MW の電力を供給する役割を担う。

図表 2.6.6 ナリヤン・マルにおけるガス発電プラント詳細

ガスプラント	タービン種	容量	タービン数	複合容量	利用開始年
GTES-12	GTA-6RM	6 MW	2	12 MW	2003
GTES-18	GTA-6RM	6 MW	3	18 MW	2009

出所) rosteplo.ru

図表 2.6.7 2035 年までのメゼン市の電力供給実績と計画

項目	単位	2013	2018	2035
1. 発電能力	MW	7.2	7.2	7.2
2. 最大需要電力	MW	4.0	4.1	12.0
－ うち、住宅・公共事業セクター	MW	3.1	3.1	4.5
3. 一人当たり家庭用電力消費量（ガス/電気）	kWh/year	1000		2,170/2,750
4. 年間電力消費量 地区全体	million kWh	6.9	7.0	50.0
－ うち、住宅・公共事業セクター	million kWh	10.3	14.7	20.6

出所) 2020~2035 年におけるメゼン社会経済開発戦略

- クラスノヤルスク州
 - エネルギー供給に関しては、この地域は、水力発電、ディーゼル発電、石炭発電等、さまざまな供給源からエネルギーを得ている。その中で、イガルカ市のみクラスノヤルスクダムからの電力供給を受けており、残りのハタング市とディクソン市は非常に高価なディーゼル電力で供給されている。
 - クラスノヤルスクダムは最大 6,000MW の発電能力がある。
- サハ共和国
 - サハ共和国領内の発電は、公共株式会社「サハエネルギー (Sakhaenergo)」が行っている。そのうちサハ支店はサハ共和国全域を担当し、ブルンスキー発電所はチクシ集落とブルンスキー・ウルスへの電力供給を担っている。同共和国の電源はディーゼル発電の割合が高いことが特徴であるが、これはチクシの集落にも当てはまる。
 - サハエネルギーは、135km の送電線を有しており、その内訳は以下の通りである：
 - ✧ 10 kV – 1.2 km

- ✧ 6 kV - 45.8 km
- ✧ 0.4kV - 88km
- サハエネルゴの 135km の送電線のうち、125.4km（93%）が北極圏に敷設されたもので、その内訳は次のとおりである：
 - ✧ 10 kV - 1.2 km
 - ✧ 6 kV - 43.7 km
 - ✧ 0.4 kV - 80.5 km
 - このうち、60.4km（49%）がブルン発電所、54.8km がチクシ発電所に敷設されている。
- また、2018 年、現在稼働中の容量 3MW のディーゼル発電所と連携稼働するよう設計された 900kW の風力発電所が、チクシにおいて稼働を開始し、チクシ集落の発電複合施設の総容量は 3.9MW となった。
- ✧ このプロジェクトにより、年間最大 500 トンのディーゼル燃料を節約できる見込みである。また、1,925kW まで拡張する可能性も検討されている。

図表 2.6.8 チクシにおける風力発電所の概要

指標	値や項目
総出力 kW	900
風車台数 台	3
単位当たり容量 kW	300
高さ m	41,5
ブレード径 m	33
下限温度 °C	-50
風の耐久上限 m/s	70
製造企業	駒井ハルテック
風力クラス	IEC I/II
最高回転速度 rpm	40,5
風力発電開始 m/s	3
風力発電のピーク m/s	11.5
風力発電の停止 m/s	25

出所) thewindpower.net

その他の発電方法として、サハ共和国政府は太陽光発電所の導入も積極的に進めている：

図表 2.6.9 サハ共和国における太陽光発電導入実績と計画

太陽光発電	2018	2019	2020	2021	2022	Total
発電容量 kW	220	195	130	190	210	945

出所) 2018 年～2022 年にサハ共和国電力グリッド開発計画 (2018 年発行)

サハ共和国の再生可能エネルギー施設のパイロットプロジェクトが活発な理由として、以下に示す燃料供給の課題が挙げられる。

- ディーゼル油の燃料シェアが 96%以上と大きいこと
 - 異なる種類の輸送手段（海、川、自動車輸送）に何度も積み替える複雑な輸送方式
 - 短い航行期間と小河川へのアクセスの悪さに起因し、燃料等の早期供給が困難であること
 - ディーゼル燃料や材料・技術資源の備蓄が必要なため、最長で 1 年半の運転資金が凍結されること
- これらの課題により、燃料（特に石炭）の輸送に伴う量的・質的損失が大きく、発電コストの高騰を招いている。サハ共和国は交通の便が悪く、気候条件も厳しいため、これらの課題はさらに深刻化している。

その他、電力インフラ整備のための施策として、現在サハエネルゴの投資プログラムに基づき、以下の送電網設備の建設が予定されている。

- ブルンスキー・ウルスのチクシ集落の CL-6kV の置き換え VLZ 6kV - 4km
- チクシの 35kV 架空線、ブルンスキー・ウルス市のチクシ-3 プラント-9.33km（変電所 2 基設置）

● チュクチ自治管区

- 供給：選定地の一部は、チャウンビリビンスク電力ハブ（ペヴェク市と隣接地域）からの電力が供給されている。また、浮遊式原子力発電所「アカデミック・ロモノソフ」（ペヴェク市）による電力供給もある。
- エグベキノトは、1952 年に稼働を開始した熱電供給発電所である GRES-Egvekinot から電力が供給されている。発電能力は 30MW であり、発電に使用される燃料は褐炭である。

● ヤマロ・ネネツ自治管区

- タゾフスキー発電所は、ITE-P1500 ガスピストンエンジン 10 台で構成され、1 台あたり 1.5MW、合計で 15MW の出力があり、このエンジンは、三菱 GS16R2 PTK ガスエンジンをベースにしている。³
- ヤル・サレ発電所はディーゼル発電所で、その詳細は章節 2.6.3.2 にて詳述する。

³ <http://www.kzkt45.ru/2017/10/18/gpa-tets-v-poselke-tazovskij/>

各地域のエネルギーの消費者価格⁴については以下のとおりである。ただし、消費者価格は水力発電や石炭火力発電、遠隔地におけるディーゼル発電、中央政府からの補助金等様々な要因が絡み合った結果として現れており、実際の発電コストは消費者価格と異なる。

図表 2.6.10 選定した各自治体における 1kW あたりのエネルギー価格

自治体名	1kW あたり価格			
	家庭用		業務用	
	Min	Max	Min	Max
アルハンゲリスク州＋ネネツ自治管区 ⁵				
オネガ	2.12	5.36	1.66	4.91
メゼン	2.12	5.36	2.12	5.36
アムデルマ	2.28	4.36	2.28	4.36
ヴァランディ	2.28	4.36	2.28	4.36
ナリヤン・マル	3.37	5.62	3.37	5.62
クラスノヤルスク州				
ディクソン	26.16	54.61	26.16	54.61
イガルカ	1.19	3.20 ⁶	1.19	3.20 ⁷
ハタンガ	28.01	55.23	28.01	55.23
サハ共和国				
チクシ	4.74	6.82	4.74	6.82
チュクチ自治管区				
ベリンゴフスキー	3.84	6.17	3.84	6.17
ミス・シュミッタ	3.84	6.17	3.84	6.17
エグベキノト	3.84	6.17	3.84	6.17
ペヴェク	5.49	8.82	5.49	8.82
ヤマロ・ネネツ自治管区				
サベッタ	1.49	2.97	1.49	2.97
タゾフスキー	1.49	2.97	1.49	2.97
ヤル・サレ	1.49	2.97	1.49	2.97

出所) energoseti.ru

⁴ 最低料金は、電気ストーブのない住宅で 2 部料金制のメーターの夜間価格、最大料金は電気ストーブのない住宅の単一料金プランの価格。

⁵ 2021 年の「人口及びそれに準ずる消費者」に分類される消費者に供給される電力(容量)価格 (tgc2-energo.ru)

⁶ "social consumption rate"を超過した際に発生する料金

⁷ "social consumption rate"を超過した際に発生する料金

2.6.3.2. 各自治体のディーゼル発電設備の概要

以下、選定した各自治体におけるディーゼル発電設備やプラントの概要を記す。

● アルハンゲリスク州

➤ オネガ地区

✧ オネガ州の大部分は中央から電力が供給されているが、集落部は分散型で、独自のディーゼル発電機から電力を供給している。以下は、オネガ地区の各集落における発電容量等情報である。

図表 2.6.11 オネガ地区の各市町村における発電容量等情報

項目	Purnema	Lemz	Verkhneozersky
ディーゼル発電機の容量 kW	120 (2*60)	60 (2*30)	830 (2*315+200)
発電量, thousand kWh/year	162,024	87,488	677,917
ディーゼル燃料消費量 L	78,527	47,534	264,909
電力系統の長さ km (合計)	4.45	3.847	7.157
—うち 0.4kW	4.45	3.847	4.82
—うち 10kW	-		2.337

出所) オネガ市開発戦略

➤ メゼン地区

✧ メゼン地区には、15 基のディーゼル発電所がありその中で最も大きいのはメゼン発電所で、メゼンと近隣の集落に電力を供給している。メゼン発電所は 1971 年に運転を開始し、現在では 9 台の G-72 ディーゼル発電機があり、ディーゼル燃料と石油を消費している。

✧ 2019-2020 年、メゼンディーゼル発電所は消費者に 26,358kWh の電力を供給した。

図表 2.6.12 メゼン地区における発電容量等情報

項目	単位	値
発電容量	kW	7,430
年間ディーゼル燃料消費 (2019-2020)	千トン	7,151.4
ディーゼル発電機数	pcs.	9
ディーゼル発電機一台当たり容量	kW	800
ディーゼル発電機一台の一時間あたり燃料消費量	kg/hour	198.1
単位発電量あたりの潤滑材消費量	g/kWh	1.55

出所) アルハンゲリスク州燃料・エネルギー複合体・住宅・公共事業省

➤ アムデルマ

- ✧ 風力とディーゼルの複合発電所で、合計容量は 5.3MW だが、そのうち風力発電は 200kW のみで、残りはディーゼル発電機によるものである。ディーゼル発電機は、DG-72 であり、その仕様はチクシのものと同様である。公開情報によれば、設置台数は 6 台とされている⁸ものの、6 台では 4.8MW しかカバーできないため、容量 300kW のその他のディーゼル発電機と合わせて 7 台設置されているものと推測される。

➤ ナリヤン・マル

- ✧ ナリヤン・マルの発電機構成は、以下の通り。

- 1 MW ディーゼル発電機 11D100、3 台
- 1 MW ディーゼル発電機 G-72、1 台
- 0.8 MW ディーゼル発電機 DG-72M、2 台
- 0.63 MW ディーゼル発電機 6CHN、1 台
- 1.92MW のディーゼル発電機（台数等詳細不明）

● クラスノヤルスク州

- 前述の通り、イガルカ以外の施設はディーゼル発電で電力を供給している。ディクソンとハタンガの集落については、クラスノヤルスク州の産業・エネルギー・住宅省が以下のような公式情報を出している。

図表 2.6.13 ディクソンとハタンガにおける発電容量等情報

No	地名	人口	設備容量, kW	年間発電 量、2018 (total) thousand kWh.	年間発電 量、2019 (total) thousand kWh.	年間発電 量、2020 (total) thousand kWh.
1.	ディクソン (本土)	370	2,655	3,648.08	3,615.31	3,377.97
			955			
2.	ディクソン (島)	2,504	8,552	14,466.29	13,492.56	12,392.71
3.	ハタンガの 村落部					

出所) クラスノヤルスク州産業・エネルギー・住宅省

⁸ [Энергия ветра для Амдермы | Общественно-политическая газета Ненецкого АО - Нярьяна вындер \(nvinder.ru\)](http://nvinder.ru)

● サハ共和国

➤ チクシのディーゼル発電所の構成は、以下の通りである。

✧ A) 最大消費者負荷 4MW の古い 10MW コМПレックス (チクシ)

✧ B) 3.2MW の新しいコМПレックス (チクシ-3)

図表 2.6.14 サハ共和国チクシにおける発電容量等情報

地名	発電設備の名称	2019 年時点の発電設備のタイプ (メーカー) と数量		発電設備容量, kW	最大負荷, kW	最小負荷, kW	設備による発電量, thousand kWh	発電のための燃料消費量, tons	1kWh の電気を作るための原燃料換算消費量, g.u./kWh	輸送・調達コスト込み燃料代 (付加価値税抜), rub/1000
		設備タイプ	燃料							
チクシ	チクシ	DG-72M	6CHN36/45	800	4148	1220	11711.892	2752.205	353.2	60,003.66
		DG-72		800						
		DG-72		800						
		DG-72		800						
		DG-72		800						
		DG-315	6CHN25/3 4	315						
		DG-72	6CHN36/45	800						
		DG-72		800						
		DG-72		800						
		DG-72		800						
		DG-72		800						
		DG-72		800						
		DG-72		800						
		DG-72		800						
		DG-72		800						
		DG-72		800						

		DEU-150.1	6CHN12.3/15.6	150						
	合計			10865						
チュクシ	チュクシ	DG-72	6CHN36/45	800	1220	280	3461.412	827.928	362.4	59,105.73
		DG-72		800						
		DG-72		800						
		DG-72		800						
	合計			3200						

出所) サハ共和国電力開発スキーム・プログラム (2018 年～2022 年)

● チュクチ自治管区

前述のように、一部の自治体には、チャウン・ビリビンスクの電力ハブから供給されている。また、標準的なディーゼル発電機 DG-72 をベースにした様々な規模のディーゼル発電機が使用されている。なお、実証地であるプロヴィデニヤにおけるディーゼル発電機の情報については第 3 章にて記述する。

● ヤマロ・ネネツ自治管区

ヤマロ・ネネツ自治管区では、ガス、石炭、風力発電など、さまざまな電源から電力を供給している。

➤ ヤル・サレ

✧ ディーゼル発電所プラントは 2016 年に稼働を開始した。1.9MW の発電機モデル「ITE D-1900」ディーゼル発電機 4 台で構成され、合計 6.8MW の電力を供給可能である。内部エンジンには三菱 S16R2-PTAW を使用。

2.6.4. 対象自治体における LNG・風力活用計画(ロードマップ)

選定した各自治体において、LNG・風力へ置き換え可能性を検討するための情報を整理した結果、以下に示す通り結論を得られた。

まず、LNG/風力発電の導入プロジェクトの候補としては、以下の都市、集落が考えられる。

● アルハンゲリスク州

➤ メゼン：ディーゼル発電所は 1971 年に運転開始され、近い将来、設備の近代化は予定されていない。そのため、発電所のリプレースを提案することが可能である。

● チュクチ自治管区

- ペヴェック：新規発電設備（70MW ガスプラント）の建設が提案されていることから、自治体行政は可能性についての議論に前向きであると結論付けるのが妥当である。
- エグベキノト：新規発電所の建設が検討されている。LNG や風力発電を提案する可能性もある。
- ミス・シュミット、バリンゴフスキーの集落は、既存の発電設備がディーゼルであるため、ター

ゲットになり得る。

- なお、本件の実証地として想定しているプロヴィデニヤについては、風力発電が容易、港が多く LNG の取り扱いが容易、現状の発電インフラが古いなどの条件を備えるほか、北極海航路沿岸都市の将来の発展という文脈で、既に露国内及び米国からの北極圏クルーズ船の寄港都市となっている点も候補地として適する。

以上を対象とし、投資規模と人口密度を考慮し、以下の順序で新規発電所建設の可能性が検討しうる。

- 1) 人口 4,745 人、70MW の新規発電所建設需要があるペヴェクが最も有望な選択肢である。
- 2) 人口 3,138 人、15MW の発電所建設計画のあるエグベキノトも有望である。
- 3) 人口 3,161 人、1971 年に稼働を開始した発電所を持つメゼンも、LNG/風力発電プロジェクトの起点として有望である。
- 4) 人口 801 人の Beringovsky は、ガスタービンがサンクコストとなるため、小規模の風力発電所の建設地となり得る。
- 5) 人口 124 人の Mys Schmidta も、小規模風力発電所の建設地となりうる。

図表 2.6.15 各都市における LNG・風力発電置換の可能性に対する評価結果

地名	評価	コメント
アルハンゲリスク州		
オネガ	×	オネガの電力はアルハンゲリスクからの架線によって供給されているため、LNG や風力発電所の計画はない。
メゼン	△	a) 計画はない。ただし、発電設備は 1971 年運転開始とかなり古く、行政が代替を検討する可能性はある。 b) メゼン湾の潮流発電所を検討する大統領令がある。調査結果では 2022 年 3 月 1 日に大統領に提出される予定とされていたが、最新状況は更新されていない。 ⁹
アムデルマ	×	2021 年 11 月、セヴェルノエ市と ООО "Severnaya Teploenergeticheskaya kompaniya" の間で、新しいディーゼル発電所の建設提出書類作成に関する政府契約が締結された。 ¹⁰
ヴァランディ	×	ガスプロムが最近、ディーゼル発電所を新設したため、ヴァランディ集落のエネルギー供給を LNG や風力発電に切り替える可能性は限りなくゼロに近い。 ¹¹
ナリヤン・マル	×	既存のディーゼル発電はガスタービンがメインで、ディーゼル発電は補助的なエネルギー源であるため、廃止の予定はない。

⁹ <https://www.rbc.ru/business/18/10/2021/616d8f729a794706959f8a23>

¹⁰ <https://zakupki.kontur.ru/0184300000421000191>

¹¹ <https://neftegaz.ru/news/aviatehnika/651979-gazprom-neft-nachala-ekspluatatsiyu-novogo-vertodroma-arkticheskiy-v-pos-varandey/>

クラスノヤルスク州		
イガルカ	×	クラスノヤルスクダムから架空送電線で電力を供給している。
ディクソン	△	a) ディーゼル発電機のリプレース計画はない。 b) 現在、PJSC "Rosneft" は、Dikson の南 40km の Sever 湾で Vostok-Oil プロジェクトを開発中である。このプロジェクトでは、3.5GW の容量を持つ新しい発電所が必要である。計画中の発電所に関する詳細は非公開。 ¹²
ハタंगा	×	2016 年には新しいディーゼル発電機が稼働開始。行政が新しい発電機を LNG/風力と交換する可能性は極めて低い。
サハ共和国		
チクシ	×	900KW の風力発電所がある。これ以上の拡張は予定されていない。
チュクチ自治管区		
ベリンゴフスキー	△	ノヴァテック社は、浮体式原子力発電所「アカデミック・ロモノソフ」を、LNG を燃料とする浮体式ガスタービン発電所に置き換える意向である。この提案は、チュクチ地方に新しい浮体式原子力発電所を建設するという公共株式会社ロスアトムの代替案があるため、現在検討中である。 ¹³
ミス・シュミッタ	△	
ペヴェク	○	ビリビンスク原子力発電所は既に廃止され、チャウン熱電併給発電所は 2025 年に廃止される予定であり、チャウン-ビリビンスク電力網はエネルギー損失を被るため、「2019-2023 年度チャコトカ電力網整備戦略」では、2026 年度の稼働を目指し、予想発電容量 70MW のガス熱電併給発電所を新設し、将来的にはさらに 250MW まで増加することが検討されることが記されている。
エグベキノト	○	エグベキノト発電所は 1952 年に稼働を開始し、近代化が進んでいるものの、古い世代の発電機の寿命が近づいている。これを踏まえ、「2019-2023 年度チュクチ自治管区電力網開発戦略」では、既存発電所の建て替えや、最大 15MW の発電能力を持つ新規発電所の建設を提案している。
ヤマロ・ネネツ自治管区		
サベッタ	△	ノヴァテック社はすでに、サベッタに計画容量 200MW の風力発電所を建設計画がある。建設費は 120 億～140 億ルーブルの見込み。 ¹⁴
タゾフスキ	×	タゾフスキー集落には 2017 年に稼働したガス発電所があるため、

¹²https://vostokoil.rosneft.ru/about/Glance/OperationalStructure/Dobicha_i_razrabotka/Vostochnaja_Sibir/vostokoil/

¹³<http://www.morvesti.ru/news/1679/82469/>

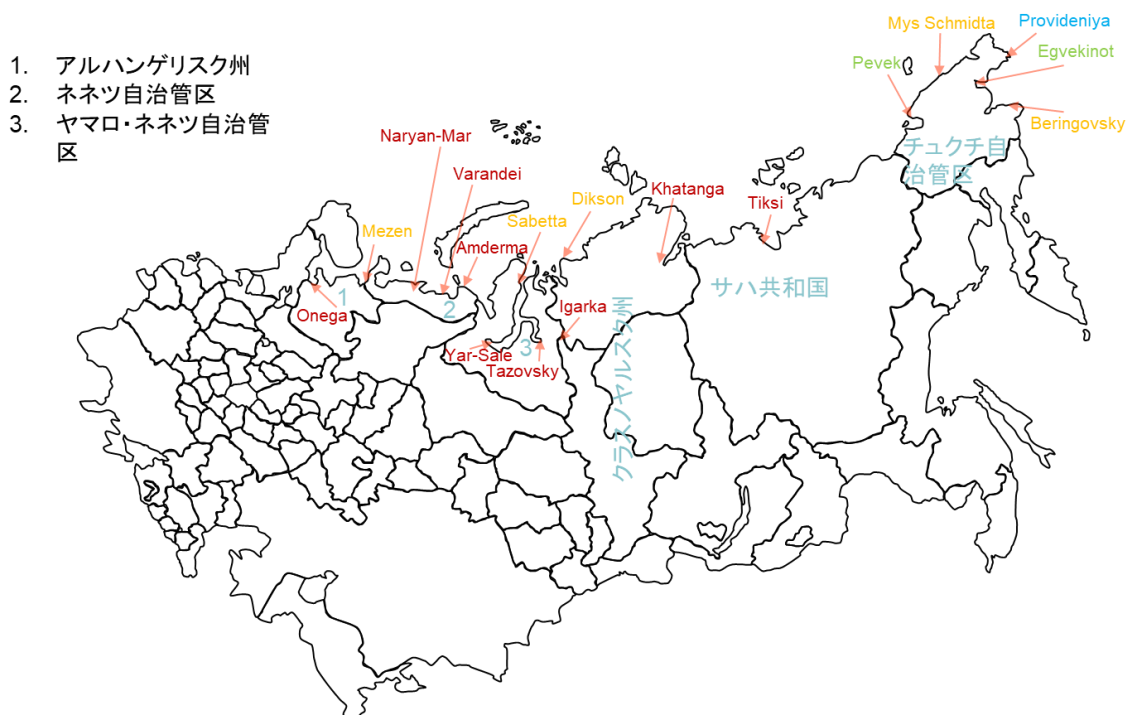
¹⁴<https://www.kommersant.ru/doc/4877669>

一		これ以上の新規発電所の計画はない。
ヤル・サレ	×	ヤル・サレのディーゼル発電所は比較的新しく、LNG や風力発電に置き換える計画はない。
参考		
プロヴィデニヤ	○	風力発電が容易、港が多く LNG の取り扱いが容易、現状の発電インフラが古いなどの全条件がそろう。

出所) 各自治体情報を基に、NRI 整理

以上の検討結果に基づき、候補自治体を地図上で色分けすると、下図のように示される。

図表 2.6.16 展開候補地の立地（再掲）



出所) コンソーシアム作成

緑：風力発電・LNG 火力発電置換の実現可能性 大

黄：風力発電・LNG 火力発電置換の実現可能性 中

赤：風力発電・LNG 火力発電置換の実現可能性 小

2.6.5. LNG・風力活用ロードマップ案

前節で検討した LNG・風力活用計画を、各対象自治体の現状や計画を踏まえ、ロードマップ化すると図表 2.6.17 の通りとなる。

なお、昨今のウクライナ情勢に鑑み、本事業の検討については、当面見合わせることを基本に国際的議論を踏まえ対応する。

図表 2.6.17 LNG・風力活用計画のロードマップ

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028 - 2030	2031 -
プロヴィデニヤ <本案件>	パイロットプロ ジェクト	実施結果を調査。 有望であれば、次 の候補地へのモデ ル拡張を進める	設備が意図したと おりに動作し、設 備利用に関する追 加データを供給	気候に合わせた機 器のメンテナンス と調整	設備が意図したと おりに動作し、設 備利用に関する追 加データを供給	設備が意図したと おりに動作し、設 備利用に関する追 加データを供給	気候に合わせた機 器のメンテナンス と調整	
ベヴェク エグヴェキノ	それぞれ70MWと 15MWの新規発電 所の建設が予定さ れている。 (両サイトはプロ ヴィデニヤと同じ チュクチ自治管区 に位置)	ベヴェク・エグ ヴェキノの自治体 に提案書を提出。 契約書作成、契約 締結等	契約仕様に基づき、 建設活動を開始。 ベヴェクの初期段 階では、70MWの 発電所が必要。 エグヴェキノでは 15MWの発電所が 必要	建設完了。 プロヴィデニヤの データを含む、結 果の検討	設備が意図したと おりに動作し、設 備利用に関する追 加データを供給 ベヴェクの発電所 は将来的に 250MWまで拡張 される見込みであ り、第2期工事の 着工の可能性あり	設備が意図したと おりに動作し、設 備利用に関する追 加データを供給 ベヴェク第2期工 事継続中	設備が意図したと おりに動作し、設 備利用に関する追 加データを供給 ベヴェク第2期工 事完了	これまでの データを基に、 ロシア北極圏 全体に進出す るためのFS (フィージビ リティスタ ディ)を開始。
サベッタ ベリンゴフスキー ミス・シュミッタ ディクソン メゼン	サベッタが Novatek JSCと新規 LNG発電所の契約 を締結。 サブコントラク ターとしての可能 性をNovatekに打 診	ベリンゴフスキー とミス・シュミッ トもチュコトカに あり、同じ地域の 一部であるため、 サブターゲットに なり得る	自治体への働きか け、契約協議。 人口規模が大きい ベリンゴフスキー を最優先	ベリンゴフスキー と契約締結後、ミ ス・シュミッタと 契約締結	施設の建設に着 手・完了	ディクソン（クラ スノヤルスク州）、 メゼン（アルハン ゲルスク州）との 契約	ディクソン、メゼ ンにおける建設着 工・工事完了	
チクシ アムデルマ ヴァランディ ナリヤン・マル タゾフスキー ヤル・サレ イガルカ ハタンガ オネガ	LNG火力発電/風力発電への置換可能性は低い							

出所) コンソーシアム作成

3. FS 対象都市・事業モデルの詳細

3.1. 本章の調査内容

本章においては、FS 対象都市の情報、ビジネスモデルの紹介を行い、それぞれの構成要素に基づき今後の現地導入にふさわしい技術仕様や費用情報等を記載する。

3.2. FS 対象都市(プロヴィデニヤ)に関する周辺情報

チュクチ自治管区は、複数の地区から構成され、各地域においてアナディリ、ペヴェク、エグベキノト、プロヴィデニヤ、ラヴレンティヤ、ベリンゴフスキー、ビリビノなどの大都市が位置する。

本案件においては、北極海航路沿岸都市の将来性という文脈で、プロヴィデニヤが既に露国内及び米国からの北極圏クルーズ船の寄港都市となっている点や、本案件の規模等の観点から FS 対象都市としてプロヴィデニヤを選択する。

図表 3.2.1 プロヴィデニヤのチュクチ自治管内の地図情報

(非公開)

出所) プロヴィデニヤ政府提供資料よりコンソーシアム作成

1. アナディリスキー地区
2. ビリビンスキー地区
3. イルチンスキー地区
4. プロヴィデンスキー地区
5. チャウンスキー地区
6. チュコツキー地区

3.2.1. 基礎情報

プロヴィデンスキー地区は、ロシアのチュクチ自治管区の領域にある自治体であり、行政の中心は都市型集落であるプロヴィデニヤである。

プロヴィデンスキー地区は、チュクチ自治管区の東部に位置し、そのほとんどがチュクチ半島の南部に位置している。北はチュコツキー地区、西はイルチンスキー地区と接している。東は太平洋のベーリング海、南は太平洋のアナディル湾に面している。この地域の海岸線の長さは 850km で、そのほとんどが岩の多い岬や深い湾、フィヨルドに囲まれている。

以下では、プロヴィデンスキー地区における都市環境、人口動態などについて整理する。

3.2.1.1. 都市環境

<物流>

プロヴィデンスキー地区の住民は、チュクチ自治管区外から食料やその他の物資を輸入している。6 月から 9 月まで（空路航行期間中）は航空輸送、それ以外の時期では海路輸送などが用いられる。アナディリ、ペヴェク、エグベキノト、プロヴィデニヤ、ラヴレンティヤ、ベリンゴフスキー、ビリビノなどの大都市がチュクチ自治管区の主な配送拠点となり、その後各個別地域への配送も行っている。プロヴィデニヤをはじめチュクチ自治管区の主要港には、20 フィートや 40 フィートのコンテナに入った貨物、自動車、重量 2 万 kg までの特殊機器（事前に合意があれば 2 万 kg 以上も可）、各種の一般貨物（圧延金属、製材、バルク貨物）、その他の貨物など、ほとんどの貨物を送ることができる。

チュクチ自治管区への貨物輸送の主な問題点は、地域が遠隔地でアクセスが困難であること、舗装された道路や鉄道がないこと、限られた航行期間、空港の滑走路が古いこと、冬場の極端な低温、飛行機が飛ばないほどの強風など、遠隔地特有の困難が伴う。

- 通年：
 - ロシアの大都市からペヴェク、ビリビノ、ウゴルヌイ（炭鉱）の各空港へ、定期的に貨物便が運航されている。チャーター便による貨物の配送も可能。
- 3 月から 11 月まで：
 - ロシアのヨーロッパ地域からの貨物は、主にアルハンゲリスク港から北海ルートを通してペヴェク港に運ばれる。ロシア東部からの貨物は海路にてウラジオストク港からアナディリ港、エグベキノト港、ラヴレンティヤ港、プロヴィデニヤ港、ベリンゴフスキー港へと運ばれる。
- 12 月から 5 月まで：
 - 冬の道路を使った商品の輸送。現在、舗装された道路があるのは都市部とその周辺の村だけで、チュクチ自治管区のその他の地域では、冬に雪が積もったときにのみ移動が可能な未舗装道路である冬期道路が使われており、移動には、全地形対応車、スノーモービル、オフロードトラックが使用される。また、主な冬期道路はマガダン～ビリビノ、ペヴェク～ビリビノ、ビリビノ～オモロン、ペヴェク～ミス・シュミットである。

＜気候＞

プロヴィデンスキー地区の気候は亜寒帯海洋性気候で、海岸から離れるにつれて大陸性気候の度合いが急速に増していく。冬の平均気温は -16°C 、夏は $+9^{\circ}\text{C}$ で、寒冷期の特徴として、12月から2月にかけては降水がある可能性があり、気温もプラスの値まで上昇する。

最大風速は 40m/s 以上で、ほとんどの地域で突風は 50m/s に達する。嵐の活動は秋に急激に増加し、11月から12月にかけて最大となる。

年間の日照時間は、半島の北東部で $1,500\sim 1,800$ 時間である。

この地域の地理的位置の特殊性により、霧が頻繁に発生する。海岸での霧の平均日数は、半島の南東部では $30\sim 50$ 日、内陸部では $10\sim 15$ 日である。年によっては、霧の日数が $100\sim 120$ 日になることもある。

年間降水量は地形によって大きく異なる。チュクチ半島の東海岸では約 $250\sim 350\text{mm}$ の降水量だが、海岸から離れると降水量はほぼ半分になる。年間の降雪日数は $55\sim 60\%$ 、降水日数が平均 $30\sim 35\%$ 、混合降水が $6\sim 10\%$ となっている。

図表 3.2.2 プロヴィデンスキー地区の気温

(非公開)

出所) プロヴィデニヤ政府提供資料より

図表 3.2.3 プロヴィデンスキー地区の降雪、霧等の状況

(非公開)

出所) プロヴィデニヤ政府提供資料より

図表 3.2.4 プロヴィデンスキー地区の降水量が 1mm 以上だった日数
(非公開)

出所) プロヴィデニヤ政府提供資料より

図表 3.2.5 プロヴィデンスキー地区の 1 日あたりの月平均日照時間
(非公開)

出所) プロヴィデニヤ政府提供資料より

<河川等環境>

この地域では、湖沼と河川のネットワークが非常に発達している。過酷な気候と永久凍土が広く分布していることが、この地域の河川等の特長である長期・広範囲にわたる結氷、多くの河川の底部までの凍結、急激な季節変動と不均一な流出、それによりもたらされる氾濫等に繋がっている。凍結は 1 年に 7~8 ヶ月続き、河川は 9 月に凍結し、5 月下旬から 6 月上旬に氷が融解する。河川の解氷は、下流域で遅れるため、氷の混雑を伴う。河川は急勾配で、下流域には広い谷や氾濫原がある。

多くの湖や沼があり、多くの場合、湖や沼は、河岸や海岸に沿って、平坦な流域や緩やかな斜面に位置している。山間部では、モレーン湖のネットワークが発達している。海岸には、海岸の隆起によって形成された多数のラグーン湖がある。ほとんどの湖は流出しており、多くの小さな川がそこから発生している。湖の水源は、雪解け水と雨水であり、地下水による供給は非常に少ない。冬期には、厚さ 1.5~2m の氷の層で覆われる。低地の湖は、しばしば（草などが）生い茂り、沼地になる。

3.2.1.2. 都市部の開発状況と人口動態

プロヴィデニヤは、チュクチ半島の南東部、ベーリング海のプロヴィデニヤ湾の沿岸に位置する。湾の対岸には、ウレリキの集落と「プロヴィデニヤ・ベイ」飛行場がある。

1959 年、レニングラード（サンクトペテルブルクの旧称）のデザイン研究所「ギプロアルクティカ」が、地形の特徴を考慮して村の開発計画を作成した。プロヴィデニヤは、湾の北岸に細長く伸びているが、建設地が限られているため、ポルトヴァヤ山の斜面に建物を建てざるを得なかった。

1962 年には皮なめし工場、その 2 年後には水産加工場が建設された。

1975 年、新たに策定された村の開発計画によると、プロヴィデニヤは 2000 年までに人口 1 万 2 千人の都市になる予定で、名前も「デズネフ」に変更することが提案されていた。しかし、ポスト・ソビエト時代の社会経済の混乱により、これらの計画は実現しなかった。1994 年から 2002 年にかけて、この村ではまったく建設が行われなかった。

1980 年代末まで、この村には約 6,000 人が住んでいたが、1990 年代、住民の本土への大規模な移転に伴い、ウレリキとプロヴィデニヤの 2 つの村の行政統合が行われた。

都市集落の地位と境界は、2004 年 11 月 29 日付チュクチ自治管区法第 45-OZ 号「チュクチ自治管区のプロヴィデンスキー地区の領土にある自治体の地位、境界および行政センターについて」によって定められている。

図表 3.2.6 プロヴィデニヤの人口推移
(非公開)

出所) プロヴィデニヤ政府提供資料

＜プロヴィデンスキー地区の領土・自治体区分（構造）について＞

2004 年から 2010 年まで、プロヴィデンスキー地区の領土には、1 つの都市と 5 つの農村があり、2010 年 11 月 20 日の法律により、それらは部分的に統合され、自治体の数は 1 つの都市と 3 つの農村の集落に減少した。

2010 年 10 月 20 日付のチュクチ自治管区法 No.89-OZ により、都市型集落であるプロヴィデニヤ、農村型集落であるノボエ・チャプリノ、シレニキが統合され、プロヴィデニヤに行政センターが置かれることになった。

2015 年 6 月 8 日付チュクチ自治管区法第 51-OZ 号により、プロヴィデンスキー地区内の全集落（都市型集落のプロヴィデニヤ、農村型集落のヤンラキンノ、農村型集落のヌシリグラン、農村型集落のエンメレン）がプロヴィデンスキー地区として統合された。

2015 年時点において、プロヴィデンスキー地区は下記の構成となっている。

図表 3.2.7 プロヴィデンスキー地区の構成（2015 年の内訳）
(非公開)

出所) プロヴィデニヤ政府提供資料

図表 3.2.8 プロヴィデンスキー地区の地区構成（2015 年の内訳）
(非公開)

出所) プロヴィデニヤ政府提供資料

※オレンジ字は 2014 年→2015 年の比較において人口増加傾向であったもの、青字はその人口減少傾向であったもの

3.2.2. エネルギー・インフラ情報

以下、プロヴィデンスキー地区におけるエネルギー関連情報を示す。

3.2.2.1. 電力の消費量と発電所の概要

＜電力消費量＞

プロヴィデンスキー地区の変電所の稼働地域にある消費者の推定電力消費量と、消費者に関するデー

タの概要を表に示す。

(非公開)

図表 3.2.9 プロヴィデンスキー地区において用いられているディーゼル発電機

(非公開)

出所) プロヴィデニヤ政府提供資料

<発電事業者>

2006年9月8日、ロシア連邦政府の政令で承認された「電力産業改革の過渡期における小売電力市場の運営に関する規則」がプロヴィデンスキー地区で発効したことに関連して、電力の保証供給者が決定した。

保証供給者とは、卸売・小売電力市場の参加者であり、自分の活動範囲内にいる連絡をしてきた消費者と契約を締結する義務がある。保証供給者の活動地域は、既存の顧客サービスの領域に基づいて、地域当局によって設定される。

電力市場の改革の過程で、保証供給者の地位は入札によって割り当てられ、保証供給会社は、その活動領域の境界内でのみ契約を締結する権利を持っている。

現在、プロヴィデンスキー地区の電力供給システムは、チュクチ自治管区の国営企業である ChukotKommunKhoz によって運営されている。

3.2.3. 野菜情報

北極圏航路沿岸地域では野菜の自給率が極めて低く（北極圏地域を含む極東ロシア全体の野菜自給率はロシア全体の2.4分の1程度）、食料供給が問題視され、「北極圏開発戦略」の中では食料調達がエネルギーと同様の深刻な課題として挙げられている。

食料の供給不足が起こると価格が上昇するが、例えばロシア人の消費量が最も多い食料の一つであるキュウリは、北極圏地域含む極東ではモスクワの10倍近くの価格（＝1キロ当たり750ルーブル、日本で1,100円程度）で販売されている。また、ロシア連邦各都市の生活費指数¹⁵によれば、ロシア連邦全体の生活費指数を1単位とすると、北極圏地域におけるアナディル市（チュクチ自治管区）の指数は1.58であり、公開されているロシア国内の生活費指数の中では最高値となっている。

図表 3.2.10 ロシア連邦内各都市の生活費指数

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ロシア連邦 全体	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
アナディル	1.79	1.72	1.75	1.73	1.63	1.55	1.54	1.58	1.61	1.62	1.58

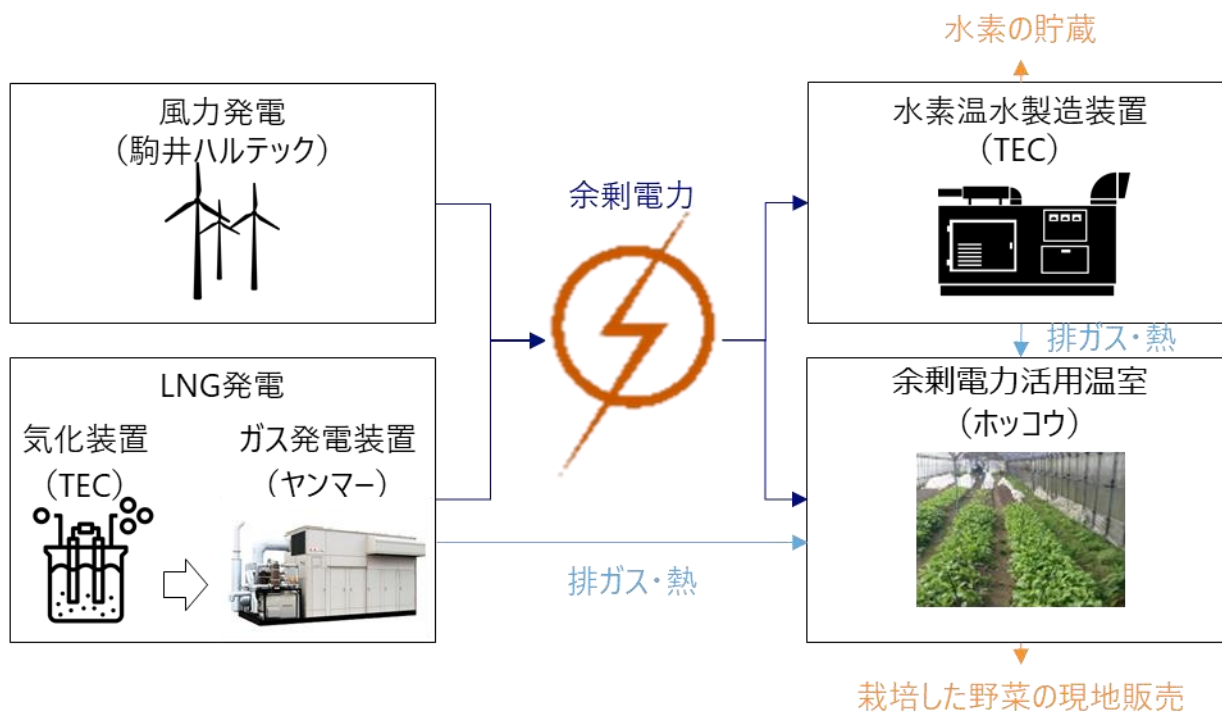
出所）ロシア統計局データよりコンソーシアム作成

¹⁵ https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/wueLttWW/itogi_isj-2010-2020.pdf

3.3. 想定事業モデルについて

既存のディーゼル発電設備を、下記 LNG 発電と風力発電に置き換え、これらの余剰電力をもちいることでグリーン水素や温水製造に活用することに加え、ガス発電装置やグリーン水素温水製造装置から生じた排ガスや廃熱を温室において活用し、地域住民が消費するきゅうり等の野菜類を生産することを想定している。また、製造された水素は現地でバックアップとして貯蔵を行う等を想定している。

図表 3.3.1 本案件において想定するビジネスモデル



出所) コンソーシアム作成

3.4 風力発電事業

本節ではプロヴィデニヤにおける風力発電機導入の可能性について調査する。風力発電機の導入の検討には、立地調査と風況データに基づく発電量予測が不可欠である。立地調査では、社会条件の調査および自然条件の調査を行う。発電量予測にあたっては、現地の風況情報を収集し、シミュレーションによる予測を行う。

併せて本項では、プロヴィデニヤ現地調査をもとに基本設計（風車設置候補地点、風車導入規模の検討）を行った。

3.4.1 導入条件の洗い出し

3.4.1.1 電力条件

① 電力需要の状況

2020年10月から2021年9月までのデマンドデータを整理したところ、年間の平均電力需要は、1,150kWで最大需要電力1,885kW／最小需要電力543kWであった。

図表 3.4.1 プロヴィデニヤの電力需要
(非公開)

出所) チュクチ自治管区政府

次に、電力需要が最も高い2月の時間帯別電力需要と最も低かった6月の時間帯別電力需要を以下に示す。

図表 3.4.2 プロヴィデニヤの時間帯別電力需要
(非公開)

出所) チュクチ自治管区政府

どちらも昼間の電力需要が高く、夜間は低い。しかし、昼夜間の電力差は冬期200kW、夏期340kWであり差がないことが判った。また、冬期の平均需要と下記の平均需要の差も360kWで、極端な差がないことが判明した。

今回の調査で、プロヴィデニヤの電力需要は概ね1,000kWから1,800kW範囲であり、年間を通して大きな変動がないことが判った。

風力発電の導入容量を、安定化システムの導入を前提としない場合、最大電力需要1,800kWの3割程度の540kWと想定すると、定格300kWの風車KWT300×2基導入と想定、検討を行った。

② 送電ルート

現在の発電所の単線結線図を下図に示す。

図表 3.4.3 プロヴィデニヤ発電所単線接線図
(非公開)

出所) チュクチ自治管区政府

プロヴィデニヤの発電所の位置と送電線系図を以下に示す。風車の建設候補地は2つあり、サイト1は既設発電所の近くの山間部で距離は450mである。サイト2は町と空港の中間地点にあり発電所からは遠いが、変電所までの距離が200mとかなり近い。

図表 3.4.4 プロヴィデニヤ発電所系統図
(非公開)

出所) チュクチ自治管区政府

サイト1は発電所に近く風況も期待できるが、山の斜面に位置し、建設用道路コストがかかることから初期費用が高くなると予想される。サイト2は、平地であるがプロヴィデニヤ空港の航空機侵入経路と重なるためロシア航空法に基づいた手続きを経る必要がある。また、立地条件としては谷間にあたるため風の通り抜けが期待できるが、風車建設位置は河口としての土地性情が懸念されるため、地盤に注意が必要となる。しかし近くに変電所があるため、風力発電機の系統接続の観点では好条件と言える。

3.4.1.2 風況条件

プロヴィデニヤ市役所で計測された2020年10月から2021年9月の1年間の月別平均風速と風向（高度10m）の情報を以下に示す。

図表 3.4.5 プロヴィデニヤの月別風速・風向
（非公開）

出所）チュクチ自治管区政府

2009年から2012年までの観測結果より、主流風向は北東で、平均風速の平年値補正値を1.182とし、本観測期間の月平均風速は以下であることが判った。

図表 3.4.6 プロヴィデニヤの月別風速・気温
(非公開)

出所) チュクチ自治管区政府

風車の発電量を予測するには、10年間のデータを解析することが望ましいため、

- Vortex modeling data (2011-2021)
- ERA5 satellite meteorological data (1991-2021)

を使用した、風況シミュレーションを実施する。

Vortexは、投資ファンドやコンサルティング会社から独立した民間企業によるモデリング・データで、ERA5は、Copernicus Climate Change Serviceによって開発され、ECMWF（ヨーロッパ中期天気予報センター）によって処理および提供される気候データである。

これらのデータを風車のハブ高さ41.5mに変換した風況マップを以下に示す。VortexとERA5で結果は異なるが、各サイトの年平均風速は6m/s～7m/sと予測される。

図表 3.4.7 Vortex によるプロヴィデニヤの年平均風速
(非公開)

出所) 駒井ハルテック・エナジー

図表 3.4.8 Vortex による発電量予測
(非公開)

出所) 駒井ハルテック・エナジー

図表 3.4.9 ERA5 によるプロヴィデニヤの年平均風速
(非公開)

出所) 駒井ハルテック・エナジー

図表 3.4.10 ERA5 による発電量予測
(非公開)

出所) 駒井ハルテック・エナジー

Vortexによる発電量予測と、ERA5による発電量予測で逆の計算結果は異なるものとなったが、年間予測発電量は概ね計算範囲内に収まると推測できる。実際に得られる発電量は、メンテナンス、電氣的要因、環境的要因等による風車停止の発電量損失を加味する必要がある。机上での事業性検討の後、具体的なプロジェクト実施に向けては、より信頼性の高い風の特長評価を行うため、風車サイトでの風況観測データ収集が重要である。

3.4.1.3 立地条件

① 気象条件

気象観測所が2013年に閉鎖されたため、1966年から2012年の観測結果に基づいて、気候データを示す。

図表 3.4.11 プロヴィデニヤの月別風速・気温
(非公開)

出所) チュクチ自治管区政府

② 地形条件、搬入条件

風車を建設するのに適した条件として、風況が良いことに加え、初期費用(建設費、送配電線設備など)が抑えられることが望ましい。現地調査の結果、プロヴィデニヤ市街周辺で風況マスト設置場所の候補地を2ヶ所選定することができた。

現地調査に対し、市役所は協力的な姿勢であり、以前ポリグランス社が風車建設を検討したものの、実現しなかったとの情報を頂いた。

以下に、風車建設候補2サイトの概要を示す。

候補サイト1 ゴルニヤ

候補サイト1は、既設発電所のすぐ近くにある山腹に位置する。黄色はスキースクールが開催される場所になっており、赤線は20%の急傾斜である。青部分が風車候補地と想定され、系統連系点までは450mと適度な距離となっている。但し、搬入路がなく、建設コストが増大することから、実現可能性は低い。

図表 3.4.12 サイト1 展望写真



出所) 駒井ハルテック・エナジー

サイト1の対岸は空港であり、湾に沿って空港まで、10kVの送電線が引かれている。送電線の一部は地中配管を通してしている。

候補サイト2 ヤースナプラーナ

風車は、第7変電所（緑）に接続し、風車（青）との送電線距離は約 350m となる。海岸沿いに小さな住居があるが、コテージレンタルや、DIY の小屋である。この付近の地質データは無いが、三角州になっていて、大雨が降ると増水することがあるため、より条件の良い土地を検討する。この付近に建設する場合、杭基礎による風車建設になることが予想される。

図表 3.4.13 サイト2 展望写真



出所) 駒井ハルテック・エナジー

主風向は北で、山から海に向かって風が吹く。良好な風が吹くはずだが、かつて存在した気象観測所が撤去されているため、2014 年以降のデータは存在しない。

その他の土地情報としては、空港のある対岸の土地は国防省の管轄であるため使うことができないこと、空港に隣接する対岸の住宅は現在廃墟であることが判っている。

③ 土地利用条件

プロヴィデニヤはチュクチの原住民が多く、環境の変化に敏感なところがあるため、現地にて市役所と情報交換を行っており、また土地の利用制限がないか調査した。具体的な風車建設場所を特定する際は、設計院による許認可手続きが必要となるため、再度市役所との協議が必要となる。

④ 候補地の選定

以上のように、現地調査の結果、以下の結論を得ることができた。

- ・サイト 1 は山に位置し風況は良いが、アクセス道路が無いので、インシャルコストが高くなる。
- ・サイト 1 は夏しかアプローチできず、夏であっても、全輪駆動車が必要となる。また、山から吹きおろしの風が吹くため、乱流が発生しやすい。

よって、風車建設候補地として、サイト 2 を選択する。

3.4.2 導入設備の仕様策定

① 導入予定機器の特徴および仕様

気象条件が非常に厳しく、交通アクセスの悪い遠隔地集落が点在する北極圏においては、制限の多い輸送条件や、大型重機の入手が困難という建設条件の制約に対応する必要がある。同時に、北極圏コミュニティの多くは、外部と電力系統がつながっておらず、ディーゼル発電機による小規模な独立電力系統に電力を依存している。一日のピーク電力は数 MW と小規模であり、世界市場で主流となっている 2～4MW 出力の大型風力発電機は導入できない。本調査では、極寒冷地の気象条件や、遠隔地の輸送や建設制約にも対応可能な出力 300kW の中型風力発電機の導入を前提に検討する。

本事業での検討対象である駒井ハルテック製中型風力発電機は、下記のように、北極圏地域の条件に合致した風力発電機である。

図表 3.4.14 風力発電機 KWT300 の特徴

技術課題	KWT300 寒冷地仕様の特徴および課題への対処方法
独立系統で電力系統の規模が小さいため、再生可能エネルギーによる出力変動への許容量が小さい。	・AC・DC・AC フルコンバータを装備しているため、電力系統への影響が小さい。 ・電力余剰時には外部信号をうけて出力を 10%～100%の範囲で抑制できるなど、電力品質を維持しながら、風力発電エネルギーを有効に利用するための制御システムを構築可能。 ・再生可能エネルギーの導入率を上げる場合には、バッテリーとの組合せにより風車容量のアップ、系統安定化システムの導入提案が可能である。

最低気温が-40℃に達する	・これまで NEDO 実証において、カムチャッカやサハ共和国に導入しており、極寒冷地下での運転実績がある。
寒冷地特有のブレードへの着氷・着雪	・ブレードに着氷が起きにくくなる特殊塗料を使用したうえで、風車制御による着氷防止動作を実施し、これまでカムチャッカやサハ共和国の事業において着氷・着雪による問題は発生していない。
荷揚げ用港や輸送用道路等のインフラが不十分	・当該機のブレードはトラック輸送可能な 16m 長さ。タワーは 4 分割して 1 ブロック 10 トン以下となり、トレーラーを使用することなく、トラックでの輸送が可能。
建設用クレーンが無いなど、建設条件が厳しい	・大型クレーンが無い場合は、60 トンクレーンでの施工が可能（2MW クラスの大型風車の場合は、500 トン級クレーンが必要となる。）
メンテナンス費用が高くなる傾向にある	・現地のエンジニアをトレーニングし、地元でメンテナンスが実施できる体制をカムチャッカで構築済み。 ・日本から遠隔でモニタリングして風車の状況を把握し、現地のメンテナンススタッフに対して指示ができるなど、メンテナンス支援体制を構築している。

出所）駒井ハルテック

② KWT300 寒冷地仕様の情報

以下に、風力発電機 KWT300 の標準仕様と寒冷地仕様の対照表を示す。寒冷地の気候に合わせ、マイナス 40℃対応とマイナス 50℃対応がある。

図表 3.4.15 風力発電機 KWT300 の仕様

	標準仕様	寒冷地仕様 (極寒冷地仕様)
EC/JIS 風車クラス	クラス II a+	クラス II a
基準風速 V_{ref} (m/s)	50	42.5
極値風速 V_{e50} (m/s)	70 ($V_{ref} \times 1.4$)	59.5 ($V_{ref} \times 1.4$)
平均風速 V_{ave} (m/s)	8.5	8.5
乱流強度、 I_{ref}	0.18	0.16
運転風速範囲 (v/s)	3~25	3~25 3~22 (-30℃以下)
運転温度範囲 (℃)	-15~45	-30~30 (-35~30)
停止温度範囲 (℃)	-20~55	-40~40 (-50~40)

その他	風車クラス I の極値風速を採用	着氷検出時に運転制御 (低温時出力抑制)
-----	------------------	-------------------------

出所) 駒井ハルテック

③ 蓄電池一体型システムの概要

蓄電池一体型システムの風力発電機 KWT300 の構成図を以下に示す。風力発電機 (Generator) と系統電力 (Grid) を接続するコンバータにバッテリーを接続し、風車の風に依存する出力変動をバッテリーによる補正で安定化する技術を組み込むことで、プロヴィデニヤの小さい系統電力に与える負荷変動を軽減することができる。

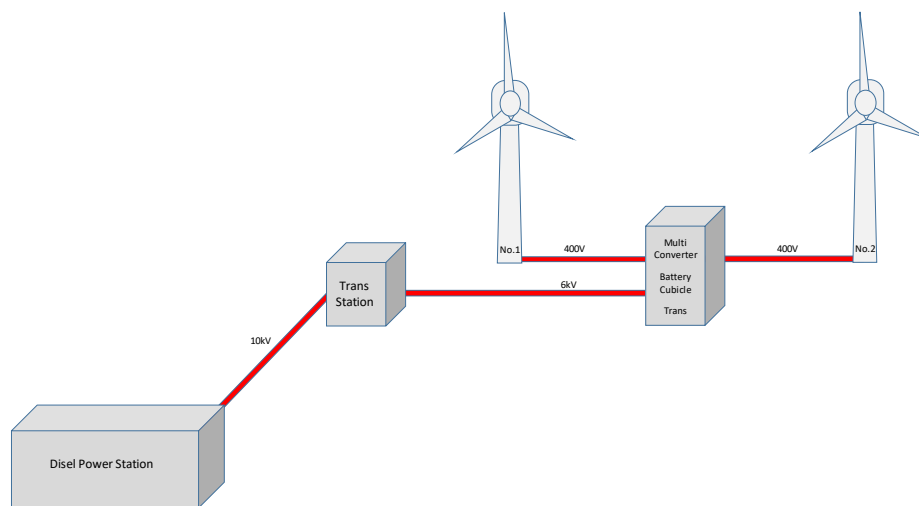
図表 3.4.16 KWT300 システム構成
(非公開)

出所) 駒井ハルテック

④ 導入システム

風力発電機KWT300を2基導入したときの構成図を以下に示す。風力発電機2基に対して、コンバータは1台の構成となる。

図表 3.4.17 風力発電システム構成図



出所) 駒井ハルテック

次に、2基の風力発電機をサイト2に設置したときの、系統接続配置図を以下に示す。

図表 3.4.18 風力発電システム配置図
(非公開)

出所) チュクチ自治管区政府

3.4.3 設備・プラント費用

3.4.3.1 輸送計画

風車部品として、タワー、ナセル、ブレード、および専用架設工具等を入れたコンテナを神戸港から海上輸送する。外航船はロシアのウラジオストクまでとなり、ウラジオストクにて通関検査ののち、ロシア国内の内航船にてプロヴィデニヤまで海上輸送を行う。港からサイトまではトラックやトレーラーなどを使用し陸上輸送とする。

図表 3.4.19 輸送ルート



出所) Openstreet mapよりコンソーシアム作成

図表 3.4.20 港の様子



3.4.3.2 建設計画

風車の基礎形式は、一般的に直接基礎と杭基礎に分類される。プロヴィデニヤでは、強度の低い浸水土であるため、一般住居などでは杭基礎が採用されている。風車基礎の選定はボーリング調査後に決定されるが、コストのかかる杭基礎タイプとなる可能性が高い。

風車の建設については、部材重量の最も大きいナセルの上架方法によって決定される。大型重機（呼称160t以上のクレーン）と呼ばれるクレーンの調達が可能の場合は、一般的な工法で建設することができる。この一般的な工法のメリットとしては、架設期間を短くすることができるため、工期が短いことが挙げられる。これは気象条件により施工期間を短くする際、有利な特徴となる。

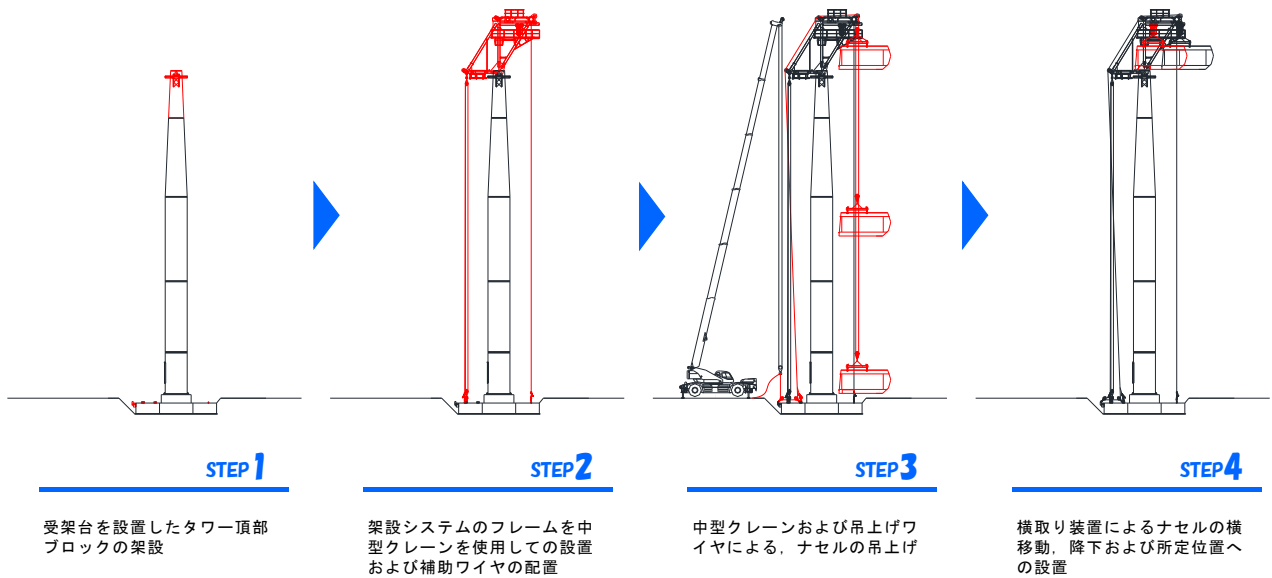
図表 3.4.21 クレーンによる風車建設の様子



出所) 駒井ハルテック

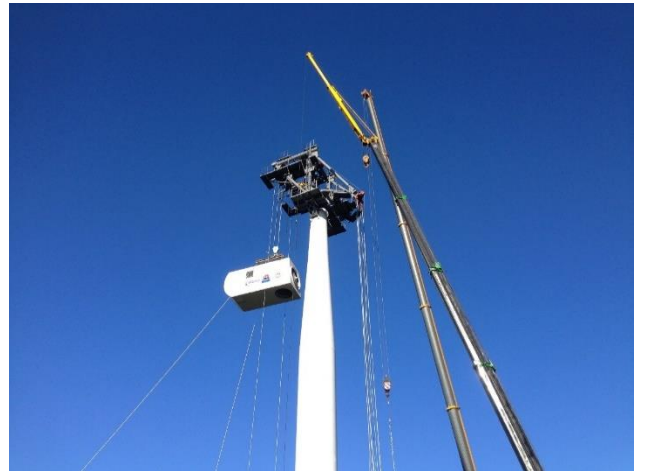
しかし、大型重機がない場合、若しくは重機の輸送費を抑えたい場合、駒井ハルテック社が考案したナセル架設システム工法を用いた建設が可能となる。

図表 3.4.22 ナセル架設システム



出所) 駒井ハルテック

図表 3.4.23 ナセル架設システムによる風車建設の様子



出所) 駒井ハルテック

架設方法の選定については、今後重機の調達計画等を立案し、検討したのちに決定することを予定している。

3.4.3.3 建設工程

プロヴィデニヤの冬季は、積雪および極低温環境となるため、作業員の安全性の確保が厳しくなるとともに風車基礎コンクリートの品質に悪影響を及ぼす。そのため、11月から5月までの冬期を除いて工程を設定する。

図表 3.4.24 風車建設工程

工 種		1年目												2年目												2年目												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
調査・設計																																						
風車製作																																						
輸送（日本→サイト）																																						
現場施工	土木工事																																					
	基礎工事																																					
	建設工事																																					
	受変電設備																																					
	電気・通信																																					
	試運転調整																																					
	運転開始																																					

※現場施工期間は6月から10月までの夏季のみとして設定している。

出所) 駒井ハルテック

3.4.3.4 輸送・建設費

日本側の調査・設計費、風車本体価格、およびウラジオストクまでの輸送費、現地調査によるロシア国内輸送費、および建設費を以下に示す。なお、金額は現時点（2022年2月）での数値であり、着工時には再度詳細な条件設定の上、見積もりする必要がある。

図表 3.4.25 設計・輸送・建設費
(非公開)

出所) 駒井ハルテック

3.4.3.5 メンテナンス費

風車2機分のメンテナンス費用の年額を以下に示す。風車の運用年数20年分の年平均額であり、3年サイクルや6年サイクルのメンテナンス項目が集中した場合年額はこれより高くなり、その他の年は安くなる。この金額も現時点の数値であり、年を経るごとに物価に連動した見直しが必要となる。

図表 3.4.26 メンテナンス費
(非公開)

出所) 駒井ハルテック

3.5. 天然ガス火力発電事業

3.5.1. 気化装置に係る事業実施可能性

天然ガスを燃料としてガスエンジンを動かして発電する手法は世界でも日本でも広く行われている。また、大量輸送のため液化した LNG を気化させて天然ガスに変換する気化装置を用いた発電事業は、大規模事業が先進国を中心に世界で普及している。

LNG での大規模発電は日本でも JERA や関西電力といった大手電力会社の主力となっており、そこでは大規模気化装置（1 基あたり処理量は 100 万トン/年クラス）を複数台常設し、天然ガスを生産している。この大規模気化装置は熱源として海水を利用する例が殆どで、海水による腐食の防止と高効率の熱伝導に関する冶金学的な技術を有する神戸製鋼と住友精器が世界の 2 大メーカーである。

他方で、小規模発電となるとその燃料はディーゼル（軽油）が殆どで、LNG を燃料とするケースは殆ど皆無であるのが現状である。LNG では生産国からの国際輸送、消費国での貯蔵と国内輸送で一貫した極低温が求められ、更に発電所燃料の天然ガスに転換する気化装置も必要なことから設備コストが巨額となるが故にスケールメリットが活かせる大規模事業でしか実現できなかった。然るに、世界的な低環境負荷の動きや LNG のコモディティー化によって、アジアや離島の諸国での小規模天然ガス発電事業の計画が検討されている。

今回の検討では北極圏沿岸を対象としたロードマップのモデルケースとして、ロシアのチュクチ自治管区プロヴィデニヤに稼働中の小規模発電所の燃料転換（現在使用されているディーゼルから天然ガスに燃料転換）することを想定する。ガスエンジン発電機にて天然ガスを燃料として利用すること、このため LNG を気化すること自体は技術的には実証済であり、対応可能な機器/装置を用いての LNG 導入スキームの構築（詳細後述）及び、本事業の実施は技術的に可能である。

3.5.1.1. 導入可能性のある技術選択肢

LNG を天然ガスに気化する原理はシンプルで、マイナス 162℃付近の LNG に入熱させれば天然ガスになる単純な原理であるものの、LNG はエンタルピーが大きい可燃性液体であるため、取り扱いに際しては対応に留意する必要がある（日本では高圧ガス保安法の適用対象）。また、入熱によりボイルオフガス（Boil Off Gas、以下 BOG）が発生することから、BOG 発生を抑制しながら極低温の LNG を気化装置に供給するシステムを構築することになる。このシステムは世界的に普及した汎用技術である。

LNG に入熱させる熱媒体は世界的にも海水を利用する例が多い。ただし、性状や温度により海水の利用が相応しくない場合には、温水（製造が必要）や大気（亜熱帯/熱帯地域に限定される）の熱を利用することもある。

発電やガス供給などの大規模事業では LNG を大量に消費するため、LNG タンカー着岸港近傍の工業地帯に大型の LNG タンクと気化装置が併設し、気化後の NG をパイプラインにて供給するケースが多い。尚、LNG を内航船（2,000～10,000N m³）で輸送するケースもあるが、これは大手ガス会社が輸入者となって購入した LNG を地方の中小ガス会社に販売するケースである。一例だが大阪ガスは広島ガスや四国ガスに内航船で LNG を供給している。

天然ガスユーザーが内陸部や小規模の場合は、大型 LNG タンクの LNG をローリー車で小分け輸送して、天然ガスユーザー近傍に気化装置とガスホルダーを設置して、その地で LNG を気化し天然ガスを供給する方法がある。尚、この場合は大型 LNG タンク近傍に LNG をローリー車に積む Truck Loading

Facilities が必要となる。日本の場合、LNG ロリー車は全体として高圧ガス保安法の適用対象で、タンク部分は圧力容器構造規格での設計/製作が必須となる。

3.5.1.2. 導入条件の洗い出し

今回の検討では北極圏沿岸を対象としたロードマップのモデルケースとしてロシアのチュクチ自治管区プロヴィデニヤに稼働中の小規模発電所の燃料転換（現在使用されているディーゼルから天然ガスに燃料転換）するものだが、導入条件として、①小規模気化装置、②寒冷地対応、③港での LNG 受入と貯蔵、④LNG 気化装置までの LNG 輸送と気化後の天然ガス輸送、⑤需要変動があるガスエンジンへの天然ガス供給、の主要項目について検討した。

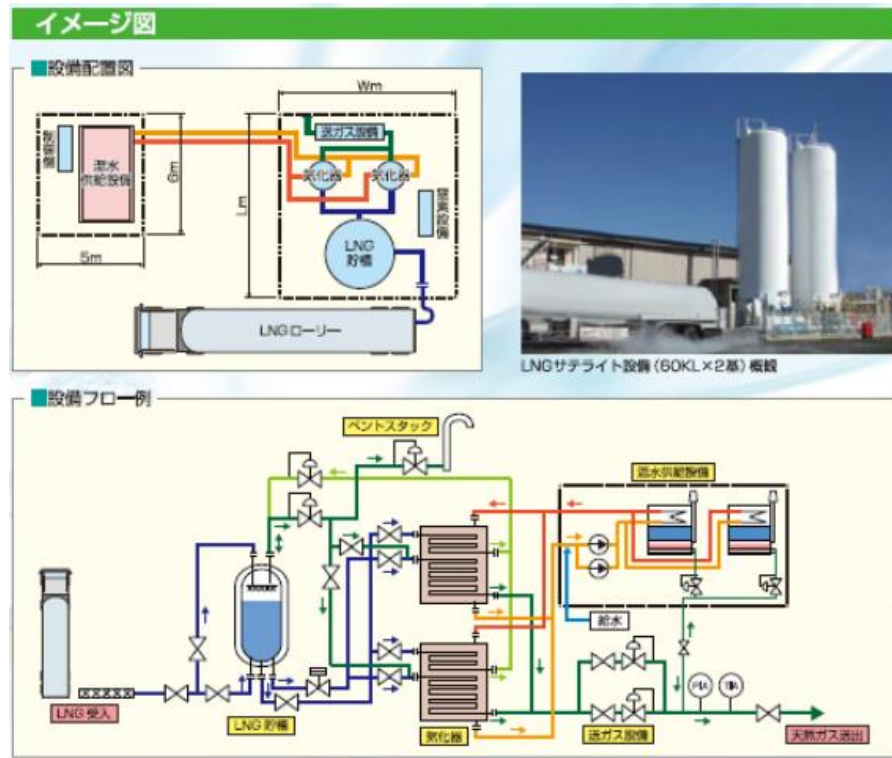
①小規模な気化装置については、本案件に相応しい技術とキャパシティを有する装置を検討することである。1 基あたり気化能力 0.4～0.6ton/h の気化器を持つ「パッケージ型 LNG サテライト設備」と呼ばれる LNG 気化装置が下記の日本メーカー3 社により製造されている（詳細は後述）。ニーズに応じて気化器を複数台にしたり、ガスホルダーのキャパシティを大型化したりパッケージからのカスタマイズも行われている。

- ・ JFEエンジニアリング (<https://www.jfe-enc.co.jp/products/energy/ene03.html>)
- ・ IHIプラント建設 (https://www.ipc-ihl.co.jp/products/lng_smart/index.html)
- ・ エア・ウォーター (https://site.awi.co.jp/product/micro_satellite/)

プロヴィデニヤの気温条件では熱源として海水や大気を利用することはできないため、気化方式は温水式（ヒーターかボイラー）に限定される。上記のメーカー3 社とも気化方式は「温水式」である。

尚、上記の 3 社以外で神戸製鋼や三菱化工機が気化器単体のみを製品化している。ただし、その場合は気化装置として全体のシステム設計だけでなく熱源製造装置やガスホルダーといった周辺機器、配管、電気、計装などを個別に設計、調達、据付工事が必要となり大規模な気化装置向きである。プロヴィデニヤの場合には小規模な気化装置になるため「パッケージ型サテライト設備」が相応しい。

図 3.5.1 パッケージ型 LNG サテライト設備 (JFE エンジニアリング)



出所) JFE エンジニアリング 株式会社ホームページ

②寒冷地対応については、上述日本メーカー3社にヒアリングしたところ、各社の製品（構成する各機器）は LNG という極低温に対応できる材質（SUS 材）で構成されているのでプロヴィデニヤの気候条件での稼働は基本的に可能との見解が示された。また、設置場所での降雪が心配であることから、気化器や温水製造装置は屋内設置が望ましいとの推奨もあった。

図表 3.5.2 プロヴィデニヤ気温データ（再掲）
（非公開）

出所) 同市提供資料

③港での LNG 受入と貯蔵については、(i)小型 LNG 船（LNG2,000 m³積載クラス）のプロヴィデニヤ港の着岸、(ii)LNG 荷卸用 Unloading Arm の設置、(iii)LNG 受入貯蔵用の LNG タンクの設置、に関して現地情報を机上で勘案する限りでは可能と思われる。

(ii)の LNG タンクは 20m × 20m の敷地面積が必要となるため、既設建築物の撤去可能性も考慮して設置場所の決定が必要になる。この LNG タンクを含む各機器の基礎構造形式を選定するために、地質/地盤調査が必要となる。この調査結果に基づいて杭支持の要否、地盤改良の要否、直接基礎の可否など通例的な事項だけでなく、寒冷地であるため凍結深度も考慮し、基礎構造形式について検討することが必要である。

また、カルスト（地盤に孔ができる現象）等の特殊地盤条件の有無についても調査も必要である。尚、

寒冷地、特に冬季でのコンクリート工事は困難を極めることから、ロシアでは土工工事の実施可能時期が制限されてしまうため、綿密な工事計画が求められる。

④LNG 気化装置までの LNG 輸送と気化後の天然ガス輸送については、LNG 受入/貯蔵のプロヴィデニヤ港エリアから天然ガスユーザーである発電所（ガスエンジン）までの距離が 600m 程度と上空写真、地図から見受けられ、安定供給と安全性を重視した導入後の運用の観点で考えるとローリー車よりもパイプラインによる輸送が相応しい。下記(a)-(d)の検討を踏まえて、ケース(c)の「港エリアに LNG 気化装置を設置し、天然ガスをパイプラインで発電所まで圧送する方法」が最適であると考えられる。この理解のもと、設備の概念設計を行った。

図表 3.5.3 ケース別整理
(非公開)

出所) 東洋エンジニアリング作成

⑤需要変動があるガスエンジンへの天然ガス供給については、電力需要の変動（季節別、時間帯別）によるガスエンジンの稼働変動があるため、これに応じて天然ガスの供給を変動できるスキームを構築する必要がある。具体的には気化装置からの天然ガスパイプラインの出口、即ち、ガスエンジンの前段にバッファ用の天然ガスタンクを設置することで天然ガスの供給を変動させる。天然ガスタンクから排出される天然ガスはガスエンジンからのデータに応じて、コントロールバルブにより自動流量調整を行い、圧縮機により天然ガスの自動圧力調整を行うことで、常に最適な量と圧力の天然ガスをガスエンジンに可変的に連続供給する仕組みとしている。

ガスエンジンに天然ガスを連続供給するとタンク内の天然ガスが減る。その減った量の天然ガスを連続的に補充することが必要で、その補充は気化装置で LNG から天然ガスを生産して天然ガスタンクに送るスキームとしている。具体的には天然ガスタンクの圧力を監視し、その圧力データに応じた自動制御によって LNG ポンプと気化装置を可変的に連続稼働させる仕組みとしている。

3.5.1.3. 設備・プラント費用の詳細

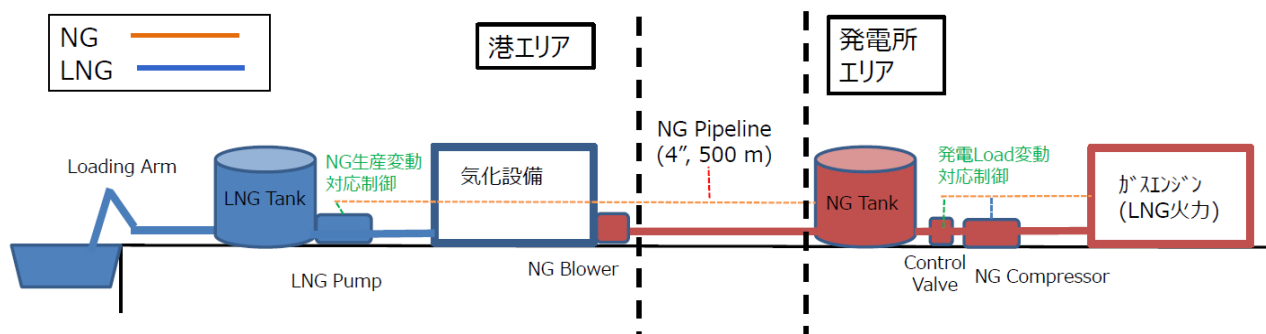
3.5.1.2 で述べた内容をスキーム図にすると下記になる。ポイントは、以下のとおりである。

- プロヴィデニヤ港エリアで LNG 受入/貯蔵と LNG 気化(Re-Gas)を行う。
- 港エリアから発電所エリアには Pipeline で NG を圧送する。
- 発電所エリアでガスエンジン稼働変動に対応して NG を供給する。

<スキームでの制御の特徴>

- ガスエンジンの変動時に応じて NG Compressor と Control Valve を変動させて、自動制御で可変的に NG を供給
- NG タンク内の NG 残量に応じて LNG ポンプと気化装置を変動させて、自動制御で可変的に LNG から NG を生産

図表 3.5.4 LNG 導入スキーム (ガスエンジンへの NG 供給スキーム)



出所) コンソーシアム作成

前述した内容を全体レイアウト図にすると下記になる。

図表 3.5.5 全体レイアウト

(非公開)

出所) コンソーシアム作成

スキームの構築とこれを構成する機器の仕様決定、即ち、この概念設計段階の設備設計は、実績に基づいた1年間のガス消費量を出発点としている。このガス消費量データは1時間毎で1年間分をカバーしているので、電力変動に伴うガスエンジン変動に応じた天然ガス消費量の変動を緻密にカバーしている。

図表 3.5.6 天然ガス消費量

(非公開)

出所) 東洋エンジニアリング作成

1年間のガス消費量データでのピーク時の平均ガス消費量:460N m³/h を設備設計のベースとした。

尚、1年間のガス消費量データを基にした LNG 消費量は下記の通り算出される(天然ガスの想定分子量を 17kg/kmol として)。

(非公開)

上述の設計ベースに基づいたスキームを構成する機器と主要スペックは下記となる。

図表 3.5.7 LNG 導入スキーム 主要機器スペック

(非公開)

出所) 東洋エンジニアリング作成

LNG 気化装置以外の機器に関しては、マイナス 162℃の LNG に対応した機器を製作できるメーカーは世界でも限定的だが、本邦メーカー候補として下記を挙げる。

- Re-Gas Package JFE エンジ、IHI プラント建設、エア・ウォーター
- LNG Unloading Arm 東京貿易マシナリー、FMC(仏)
- LNG Tank トーヨーカネツ、IHI、三菱重工、川崎重工
- LNG Pump 日機装、荏原製作所

なお、パッケージ型 LNG 気化装置日本メーカー3社の主要仕様は下記の通りである。

図表 3.5.8 LNG 気化装置 主要機器スペック①(各社カタログ情報より)

メーカー名	JFEエンジニアリング			IHIプラント建設			エア・ウォーター		
製品名	ハッケージ型LNGサテライト設備			LNGスマートサテライト			Vサテライト		
モデル名	(なし)	(なし)	(なし)	L501	L601	L801	Type-1	Type-2	Type-3
気化能力	0.4t/h	0.6t/h	1.0t/h	0.45t/h	0.65t/h	0.75t/h	0.6t/h	1.2t/h	0.5t/h
気化器構成	常用1基 +予備1基	同	同	常用1基 +予備1基	同	同	常用1基 +予備1基	同	同
気化方式	温水 (真空温水ヒーター)	同	同	温水 (熱源供給別途)	同	同	温水 (温水ヒーター)	同	同
スペース	8m x 10m + 5m x 6m	8m x 11m + 5m x 6m	8m x 12m + 5m x 6m	9m x 9m	9m x 9m	9m x 9m	5m x 6m	5m x 6m	5m x 6m
貯槽能力	40KL	60KL	80KL	50KL	60KL	80KL	80KL	80KL	50KL
送ガス圧力	0.2MPa±10%	同	同	0.1MPa	同	同	(未開示だが0.1MPa程度(推定))		
送ガス温度	0℃以上	同	同	0℃以上	同	同	(未開示だが0℃以上(推定))		

<参考概算価格> (非公開)

<参考納期> 工場渡して最低 9 ヶ月

<機器重量> 貯槽以外：約 10 トン、貯槽はサイズによって 90～120 トン

<機器据付工事期間> 3 日～12 日

出所) 各社カタログ情報等 (ヒアリング含む) より東洋エンジニアリング作成

今回の LNG 導入スキームでは平均ガス消費量:460N m³/h を設計条件にしているので、これに応じて想定気化能力は 0.45t/h としている。3 社の想定気化能力を踏まえて下記にて比較した。

図表 3.5.9 LNG 気化装置 主要機器スペック②(各社カタログ情報より)

	JFE エンジニアリング	IHI プラント建設	エア・ウォーター
適用モデル名	なし(2 番目のモデル)	L501(最小モデル)	Type-1(最小モデル)
気化能力	0.60t/d	0.45t/d	0.60t/d
長所	送ガス圧力が比較的高い	気化能力がジャストフィット	コンパクト(占有面積最小) 消費電力小(温水ボイラー)
短所	消費電力大(温水ヒーター) 占有面積大	熱源は別途手配要 占有面積大	ロシア案件対応は未定

出所) 各社カタログ情報等 (ヒアリング含む) より東洋エンジニアリング作成

上記情報を基に比較の結果、本件に適切な設備はエア・ウォーター社製品と判断する。次点が JFE エンジニアリング社製品となる。選定での最大ポイントは設備運転での電力消費で、エア・ウォーター社製品は温水ボイラー(燃料は生産した NG)式故、温水ヒーター式の JFE 社製品よりもこの点で優れている。また、エア・ウォーター社製品は貯槽を含めて機器が縦型にコンパクトに収められているので、占有面積が最も小さくなり、このことで据付工事期間も最も短い。

プロヴィデニヤの寒冷気候は、現地工事の制約条件になる。気温データから、(i)コンクリート基礎工事、(ii)プラント資機材の同地への搬入、は夏場である 5 月～9 月にしか実施できない。その他の工事、即ち、(i)タンク組立工事、(ii)機器据付/配管/電気計装工事、(iii)埋設パイプライン工事は夏場でなくても

施工可能である。工事量と季節制約要因を考えると、下記の工事計画になる。

- LNG タンク 杭/コンクリート基礎工事：4 ヶ月(5～8 月) タンク組立工事：10 ヶ月(9～6 月)
- NG タンク 杭/コンクリート基礎工事：4 ヶ月(5～8 月) タンク組立工事：8 ヶ月(9～4 月)
- 他機器 杭/コンクリート基礎工事：1 ヶ月(9 月) 据付等工事：3 ヶ月(10～12 月)
- パイプライン 掘削/コンクリート溝工事：1 ヶ月(9 月) 配管敷設工事：1 ヶ月(10 月)

これを実現するためには資機材の現地搬入を 8 月までに全て完了しておくことがポイントである。また工事業者も上述のスケジュールに合致する様に、現地到着と工事準備をしておかねばならない。

設備・費用に関する試算結果は下記の通りである。

図表 3.5.10 LNG 気化装置 各種費用
(非公開)

出所) 東洋エンジニアリング作成

＜試算上の特記事項＞

- ロシアでの各種プロジェクトのコストデータを基に当地の特殊性(極寒性、辺境性など)を考慮して試算されている(業界標準: AACE Level-5 (精度±50%)—他プロジェクトでのコストから類似性でスライド調整して算出する手法)。
- 整地コスト(港エリア、発電所エリア)、各種税金(法人税、輸入関税など)は含まず。

なお、OPEX については以下 3 項目から構成される想定。

(非公開)

3.5.2. 発電機に係る事業実施可能性

極東連邦管区において適応可能な発電機には、遠隔地への厳しい輸送条件や、資材の入手性等の面で不自由な施工環境に対応できる必要がある。また、寒冷地気候でも安定稼働が可能な設計、ロシア適用法規に合致した仕様、マイクログリッドへの高い適応性が求められる。

3.5.2.1 導入可能性のある技術選択肢

導入可能性のある技術選択肢は、原動機・回転数・燃料にある。具体的には以下の通りである。

1. 発電機を回す原動機： エンジン / タービン
2. 原動機の回転数： 高速（1,000 回転以上） / 中速（1,000 回転未満）
3. 使用する燃料： ディーゼル / 天然ガス

また、上記 3 点の技術選択肢の選択に加えて、並行して、導入効果を検証するにあたり、信頼性・安定性・耐久性・メンテナンス性・環境性・経済性という項目で、検証を実施した。

3.5.2.2. 導入条件の洗い出し・選定根拠

まず、原動機に関しては、常用で使用する環境を想定した際に、「エンジン」を選択すべきだと判断した。タービンを選択した場合、運転時間と起動回数（羽根に荷重がいかにかかるかが重要）によりメンテナンスが求められることになり、更にメンテナンスの際にはパワーモジュールを生産工場に持ち帰る必要が発生してしまうことになり、遠隔地である事を考慮すると、オンサイトでのメンテナンスに比べて、メンテナンス性で問題が発生すると考えられるためである。

次に、原動機の回転数に関しては、「中速」を選択すべきだと判断した。世界的に見ると高速エンジンの方が Jenbacher 等、納入実績は多いものの、発電所の用途においては、耐久性が評価され、中速エンジンが選択されている。高速エンジンで今回のような発電所の用途（常用）で使用する場合は、メンテナンス体制が整備され、サービスが行き届いていた場合においても、5・10 年以内での更新が必要となる場合が想定される。なお、高速エンジンの場合は耐久性を考慮して、バックアップ用途、もしくは非常用（スタンバイ）用途に特化し、工事現場で使用されるような限られた時間の使用に限定されている。更に今回採用を検討している中速（750 回転）のディーゼルエンジンをベースとしたガスエンジンは耐久性が高く、国内の電力会社においても、今回と同様の仕様で対応している実績がある。

最後に、原動機を回すために使用する燃料に関しては、「ガス」を選択した。北極海の砕氷船で北極海航路を構築する、LNG 船がベーリング海を通り極東地域への流通を想定する、その中継基地としてチュクチが選択している現状に鑑みると、入手性・流通性の観点から燃料は天然ガス（LNG）を選択するのが適切と考えられる。結果としてロシア国内でも天然ガスの有効活用が可能となり、国策とも整合する。また、今後の環境性を考慮した際にも現状ロシアで使用しているディーゼルエンジンに比べ、温室効果ガスの排出を抑えることが可能となり、有用であると考えられる。

更に、常用の発電所として使用されることを考慮したときに、地域住民の信頼に耐えうるものが第一条件だと考えた。信頼性・安定性の面で、今回選択しているガスを燃料として使うヤンマーの発電機は有用だと判断した。

ヤンマーのガスエンジン発電機は分解・部品交換がしやすい構造となっており、メンテナンス性が高

く、外航船のエンジンとして採用され、市場から好評を博しており、特に信頼性が評価されている。極東地域等僻地で使用する発電機は建設機械に使用されているようなエンジンはメンテナンス性を考慮すると、今回のように常用として長期・長時間の稼働には不向きであると考えている。また、最低 20 年、長くて 30～40 年使用可能という、長いライフサイクルを実現しているという点から、安定性の面でも採用されている。

また、大型ガスエンジン発電機はメンテナンス性を考慮し、点火プラグが不要であるパイロット着火方式が一般的である。今回採用するエンジン構造は、パイロット着火方式を採用しており、点火プラグが不要である事より、消耗部品が減る傾向にあり、信頼性の高い構造となっている。今回採用しようとしているガスエンジンは、ガス燃料が供給不可の際も、ディーゼル燃料で運転・発電可能となっている。このように、非常用ディーゼル発電機の側面も持ち、バックアップ的な位置づけでの使用も可能となっており、信頼性という面において有用である。

最後に、発電所運転コストを、燃費差による燃料費用、設備維持コスト（交換部品、更新費用）という点で、ヤンマーエンジン発電機と他社エンジン発電機（ロシア内既設機）を比較した結果、15 年の運転を想定すると、16～18%のコスト削減が可能となるという検証結果が出ている。

3.5.3.3. 導入条件を充たすシステム概要

上記条件を充たすエンジンとして「6EY26DF」を提示する。参考資料として 6EY26DF 標準仕様書を添付する。

今回採用したガスエンジンによる発電とエネルギーの有効活用による省エネルギー及び温室効果ガス抑制の観点より、冷却水システムからの温水熱回収に加えて、排気ガス中の CO₂を活用するトリジェネレーションシステムを検討した。エンジンによって発電された電気は町の需要で消費され、冷却水からの温水熱回収によりハウスの暖房負荷を補い、更に排気ガス中の CO₂をハウスへ供給し、植物の光合成を促進するシステム構成とする。また、ガス燃料が供給不可となった場合においても、ディーゼル燃料による継続運転し、給電が可能となるバックアップ機能も兼ね備えている。

図表 3.5.11 6EY26DF 標準仕様書①
(非公開)

出所) ヤンマーパワーテクノロジー株式会社、ヤンマーエネルギーシステム株式会社

図表 3.5.12 6EY26DF 標準仕様書②

(非公開)

出所) ヤンマーパワーテクノロジー株式会社、ヤンマーエネルギーシステム株式会社

図表 3.5.13 6EY26DF 標準仕様書③

(非公開)

出所) ヤンマーパワーテクノロジー株式会社、ヤンマーエネルギーシステム株式会社

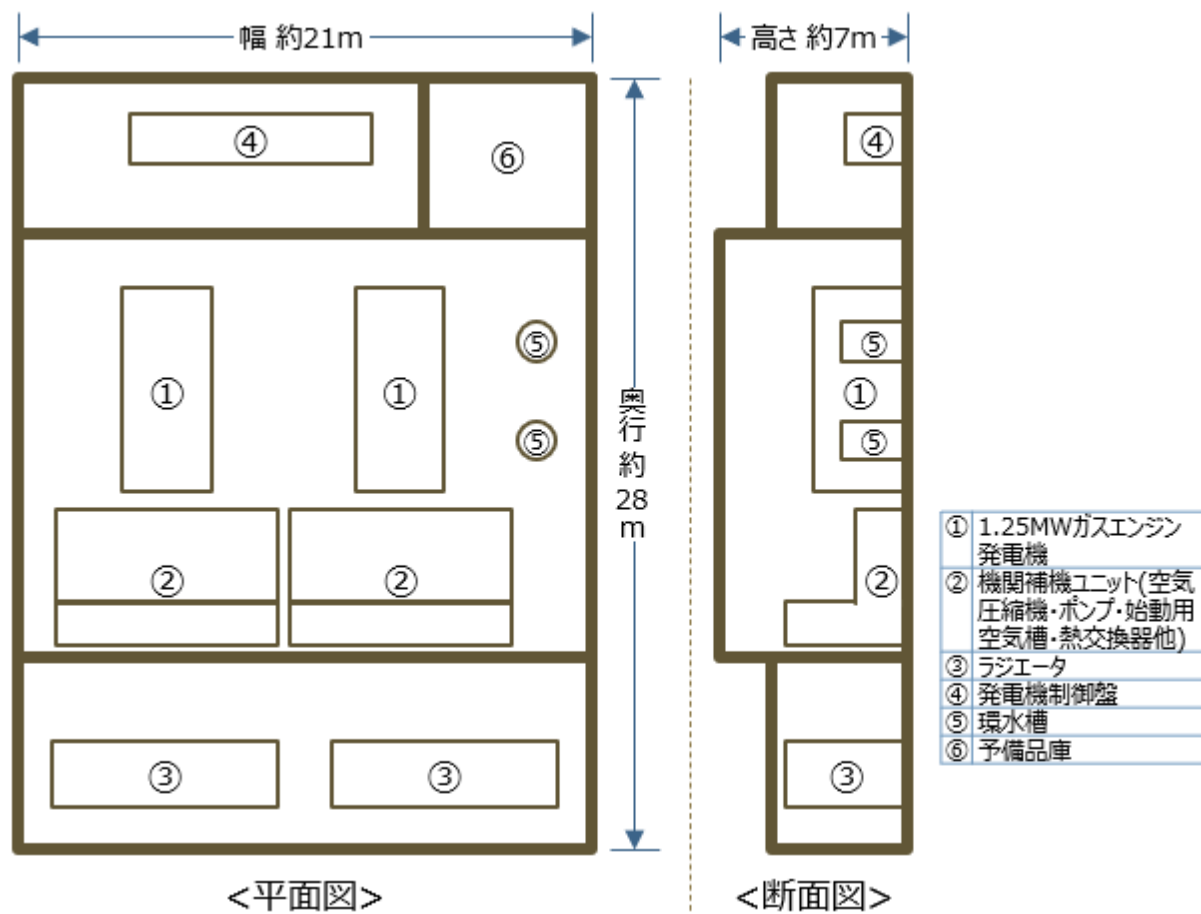
各フロー・レイアウト・各種系統図は以下となる。

<発電機室レイアウト(平面図・断面図)>

1.25MW ガスエンジン発電機を 2 台設置し、付随する補機類・予備品庫・発電機制御盤等を設置した場合、必要な設置スペースは、概算で、幅 21m×奥行 28m×高さ 7m である。

尚、寒冷地対応として、ラジエータも屋内設置とする。

図表 3.5.14 発電機室レイアウト(平面図・断面図)

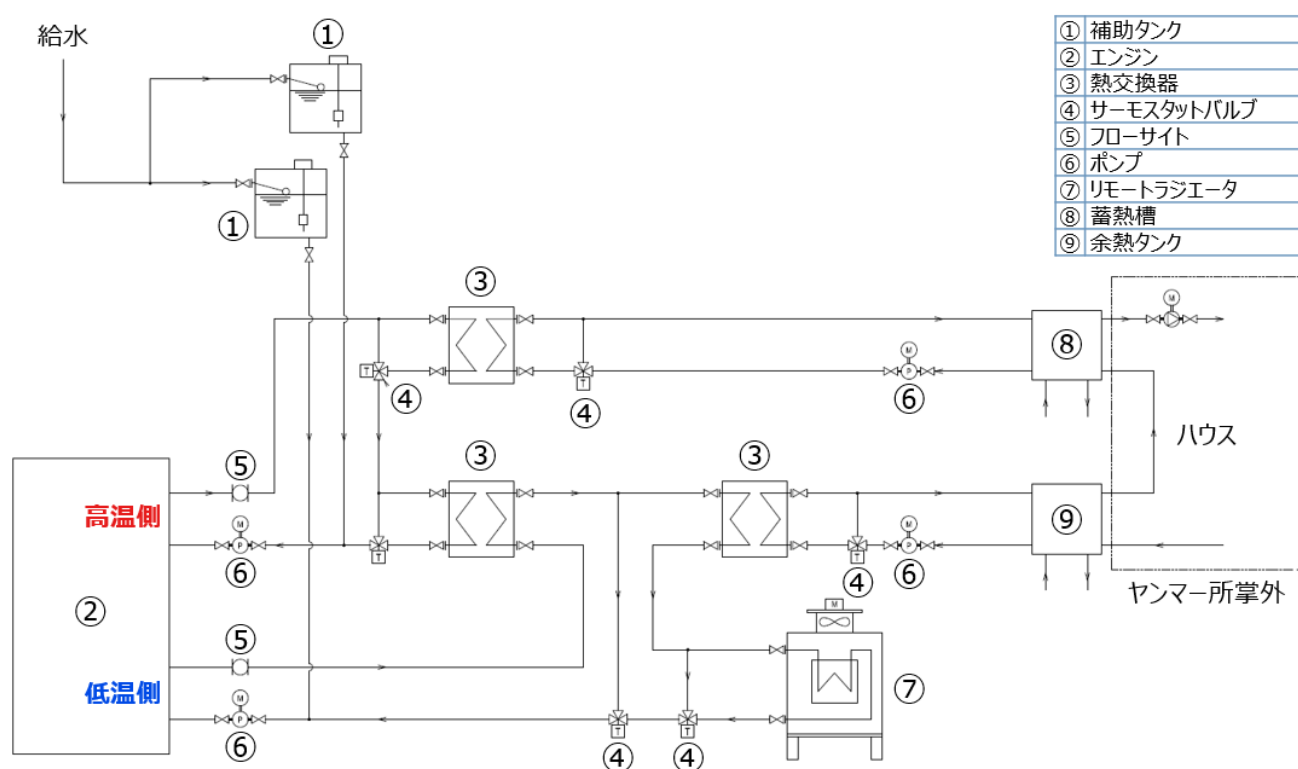


出所) ヤンマーエネルギーシステム株式会社

<冷却水・温水フロー図>

通常の機関冷却に加えて、発電機の廃熱及び温水をハウス側に利用できるよう以下のシステムを検討する。エンジンの冷却水システムは、シリンダブロック等を冷却する高温側と LO クーラ、インタークーラを冷却する低温側の 2 系統冷却を採用し、別置きラジエータによる冷却方式とした。エネルギーを効率的に活用するために、高温側のみならず、低温側からも温水熱回収するシステムを構築する。そのため、まず低温側系統より熱交換器を介し、余熱タンクの水を温め、さらに高温側系統側にて蓄熱槽を昇温するシステム構成とした。

図表 3.5.15 冷却水・温水フロー図



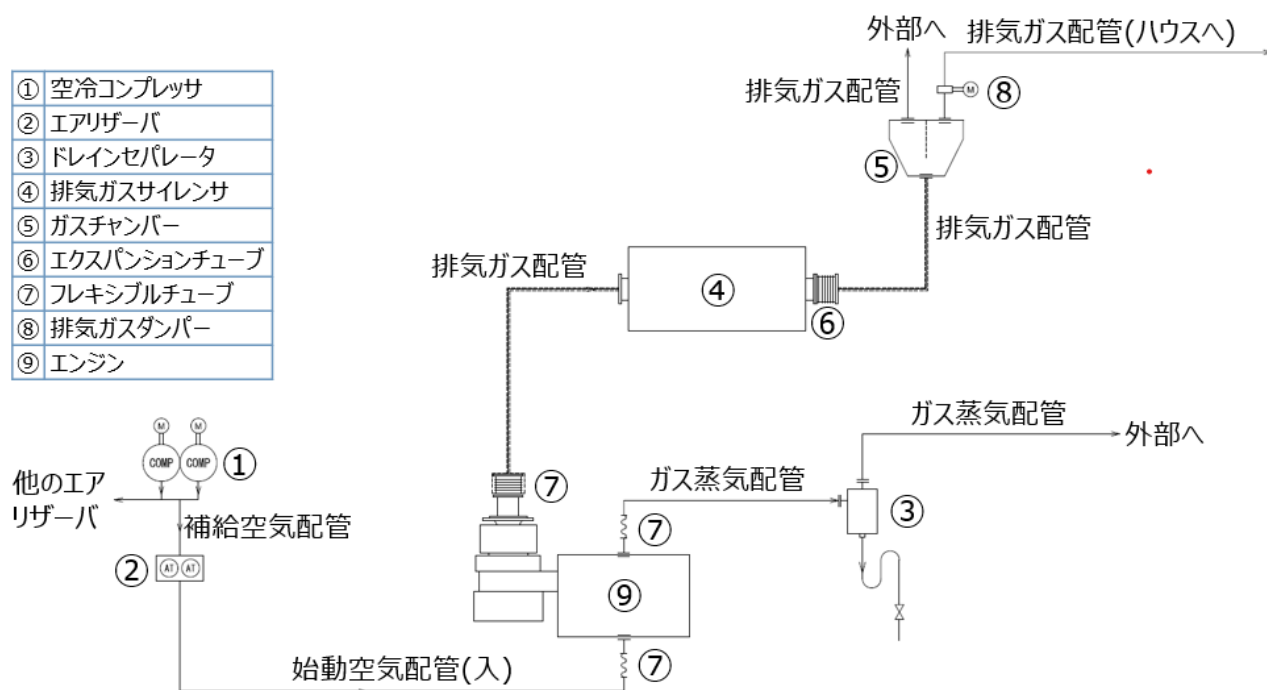
出所) ヤンマーエネルギーシステム株式会社

<ガススタータ系統図・排気系統図>

エンジンの始動は、圧縮空気によるエアモータ始動（空気始動）とする。

また排気ガス系統は、通常時は排気ガス全てを大気へ開放するシステムとするが、ハウス側の要求に応じて一部の排気ガスをハウス側に必要な量のみ提供し、CO₂による植物の光合成を促すシステム構成とする。

図表 3.5.16 ガススタータ系統図・排気系統図



出所) ヤンマーエネルギーシステム株式会社

<燃料ガスフロー図>

設備側より供給される燃料ガスを、ガスバルブユニットを介してエンジンに供給するシステムとする。ガスバルブユニットはガスの供給・遮断をするバルブ・エンジン入口で、適切なガス圧力に調整するガスレギュレータ及び、配管内の圧力上昇を回避するガス逃がし弁(安全弁)で構成される。

図表 3.5.17 燃料ガスフロー図

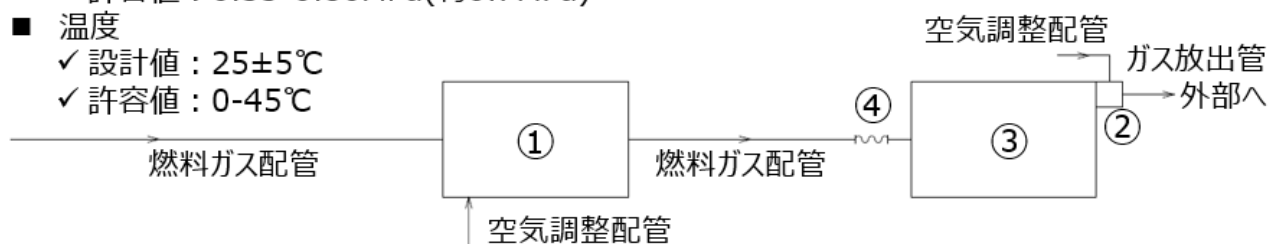
■ 液化天然ガス

- ✓ 低温バルブ：32 MJ/Nm³以上
- ✓ メタンナンバー：65以上
- ✓ 圧力設計値：0.65±0.05MPa
- ✓ 許容値：0.55-0.80MPa(約0.7MPa)

■ 温度

- ✓ 設計値：25±5℃
- ✓ 許容値：0-45℃

①	燃料ガスバルブユニット
②	ガス逃がし弁
③	エンジン
④	フレキシブルチューブ



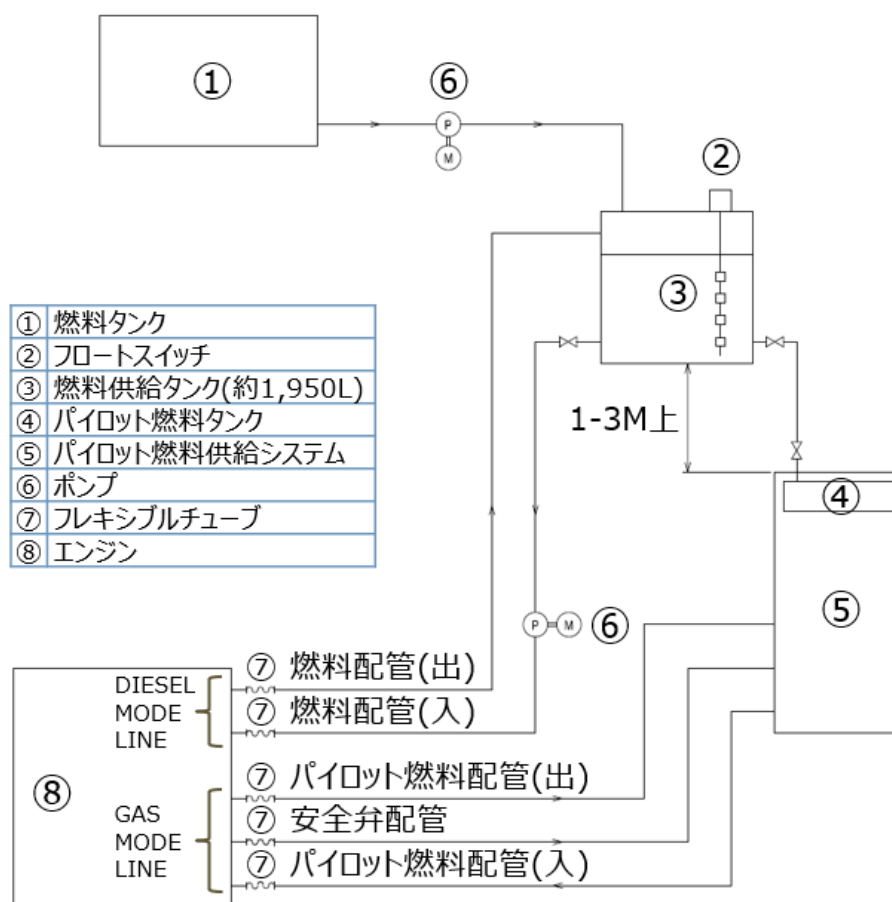
出所) ヤンマーエネルギーシステム株式会社

<燃料ディーゼルフロー図>

今回採用したガスエンジンはガス燃料を安定的に着火させるマイクロパイロット燃料着火方式によるガスエンジンであるため、微量なディーゼル燃料も必要とする。また、ガス燃料が供給不可となった場合においても、ディーゼル燃料による継続運転し、給電が可能となるバックアップ機能も兼ね備えている。

ディーゼル燃料システムとしては、メインタンクにて十分な燃料を貯蔵しておき、そこから小出し槽に燃料をポンプにて移送し、小出し槽を介して機関に燃料を供給する。

図 3.5.18 燃料ディーゼルフロー図

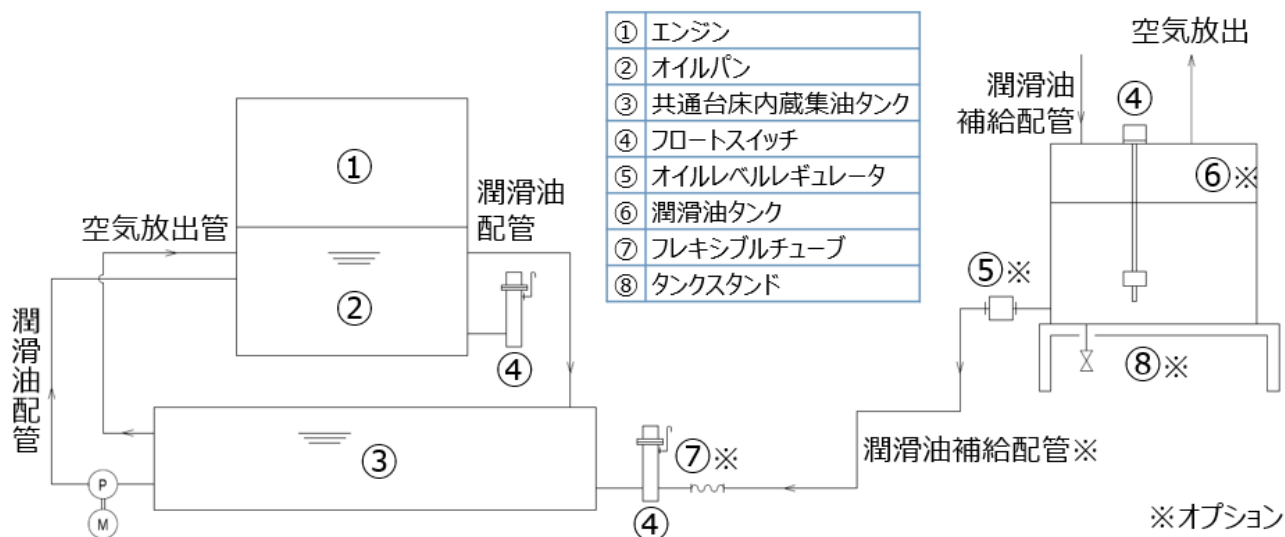


出典：ヤンマーエネルギーシステム株式会社

<潤滑油フロー図>

潤滑油補給による停止を回避し、常用で連続運転するためには、運転時に消費される潤滑油を補給する必要がある。よって、本システムでは潤滑油の自動補給ユニットを搭載し、安定した連続稼働が出来るシステム構成としている。

図表 3.5.19 潤滑油フロー図



出所) ヤンマーエネルギーシステム株式会社

3.5.3.4. 設備・プラント費用の詳細

日本側の調査・設計費、ガス発電機本体価格、ウラジオストックまでの輸送費、現地施工確認・試運転調整費等を含め、(非公開)となる。なお、金額は現時点での数値であり、着工時には再度詳細な条件設定の上、見積する必要がある。

図表 3.5.20 LNG ガス発電設備設計・輸送・建設費

(非公開)

出所) ヤンマーエネルギーシステム株式会社

発電機 2 台分のメンテナンス費用の年額は以下となる。発電機の運用年数 30 年分の年平均額であり、3 年サイクルや 6 年サイクルのメンテナンス項目が集中した場合、年額はこれより高くなり、その他の年は安くなる。この金額も現時点の数値であり、年を経るごとに物価に連動した見直しが必要となる。

図表 3.5.21 メンテナンス費用

(非公開)

出所) ヤンマーエネルギーシステム株式会社

3.6. 排熱等活用型農業用温室事業

3.6.1. 導入可能性のある技術選択肢

2019 から 2020 年のロシアの温室面積は 7% 高まり、2020 年には 3,990ha に達した。ロシアの温室で最も人気のある野菜は、キュウリとトマトである。キュウリの生産は国内需要量を満たす程の量が生産されているため、2019 年の自給率は約 86% と高い。ロシア人は平均的に年間 5.2kg ものキュウリを食すとされ、その消費量は年々増加傾向にある。栽培品目は日本と異なり、短く太い品種が主となっている。

プロヴィデニヤ地方の人口は約 2,800 人であり、人口当たりの年間キュウリ消費量は約 15 t となる。しかし、農地面積が非常に少ないため、当該地域における生産額はロシア全体の 0.03% のみとされており、農業生産物の構成比は、畜産物 97.8%、農産物 2.2% となっている。プロヴィデニヤ地域の中でも、チュクチ自治管区は特に農産が発達しておらず、一部で小規模な温室栽培が若干行われているものの、わずかにジャガイモ等の野菜が栽培されているのみである。

下の図表は、ロシアで生産されるキュウリの品種を示している。図表 3.6.1 の Mewa RZ は周年栽培可能な品種であり、うどんこ病やモザイク病に対する耐性を持ち、補光栽培に適している品種であり、ヤクーツクにおける栽培実績がある。

図表 3.6.1 オランダを代表する種苗会社ライク・ズワーンの品種



出所) Rijk Zwaan | Rijk Zwaan RU

図表 3.6.2 ロシアで多く栽培されている Mewa RZ



出所) Rijk Zwaan | Rijk Zwaan RU

プロヴィデニヤ地方では農地面積が非常に少ないことから、通年で野菜を生産する場合、温室が必要であること、植物が光合成を行う上で温度、水、光、炭酸ガスは必要不可欠な要素であることに鑑み、今回は、ヤクーツクでも導入実績のあるフィルムハウスに断熱効果の高い複層エアールハウスを導入し、極地気候でも栽培可能な温室ハウス設備を設計することとした。

3.6.2. 導入条件の洗い出し

導入条件について、室内温度・ガス濃度・降水量の観点から整理する。

まず、室内温度に関して、プロヴィデニヤの気温は7月に24℃となるが、1999年10月から2013年8月までの気温データによると、当該期間における最低気温は-33℃であり、更に、過去には-39℃にまで下がったという報告も存在するため、温室内の温度を維持するには、通年での加温が必要と考える。そこで、ガス発電機から温水の供給を行い、温室内を加温する設計とした。通常、キュウリの栽培に最適な温度は20℃～25℃である。栽培に必要な熱量を、外気が-39℃の時温室内の温度を20℃に保持する条件で試算すると約250kW¹⁶（1,000 m²ハウス一棟あたり）必要となることが判った。

次に、ガス濃度に関して、キュウリの場合、ある程度の日射量がないと光合成が行われない。必要な日射量を示す光補償点 (klx) は、トマトの数値が1.5に対し、キュウリは5.0となっている。ところで、プロヴィデニヤの日照時間は、年間で1,500～1,800時間である。北海道札幌のそれが1,720時間、旭川が1,570時間、稚内が1,450時間であるため、日照時間において北海道と大差はない。しかし、ロシアの現地では、夏は白夜のため、日照時間が非常に長くなる一方、冬は極夜となり日照時間が非常に短くなる特徴がある。そのため、年間の日照時間では、北海道とプロヴィデニヤでは大差はない

¹⁶ 1時間当たりの必要発熱量として「kcal/h」からの換算により、「kW」を記載している。

ものの、通年での栽培を考えると、電照は必須と言える。以上の事情に鑑み、ガス発電機から電照に必要なとされる電力及び栽培設備の電力を供給する設計を採用することとした。

温室栽培における炭酸ガス施用はキュウリの光合成を促進するため、収穫量の増加を期待できる技術と考えられる。通常、大気中の炭酸ガス濃度は約 400 ppm とされるが、光合成が最も活発に行われるのは 1,000ppm の時であり、400ppm の半分の数値である 200ppm の場合、炭酸ガス飢餓状態とされる。200ppm の環境において、光強度が $500\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 程度で光合成速度が頭うち（光飽和）になるのに対し、1,000ppm ではより強い光強度 $1,500\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ にすることで光合成速度の上昇が見込める。以上の特性を栽培管理に活用する観点から、炭酸ガス施用を採用し、温室内の CO_2 濃度を 1,000ppm まで上げることとする。

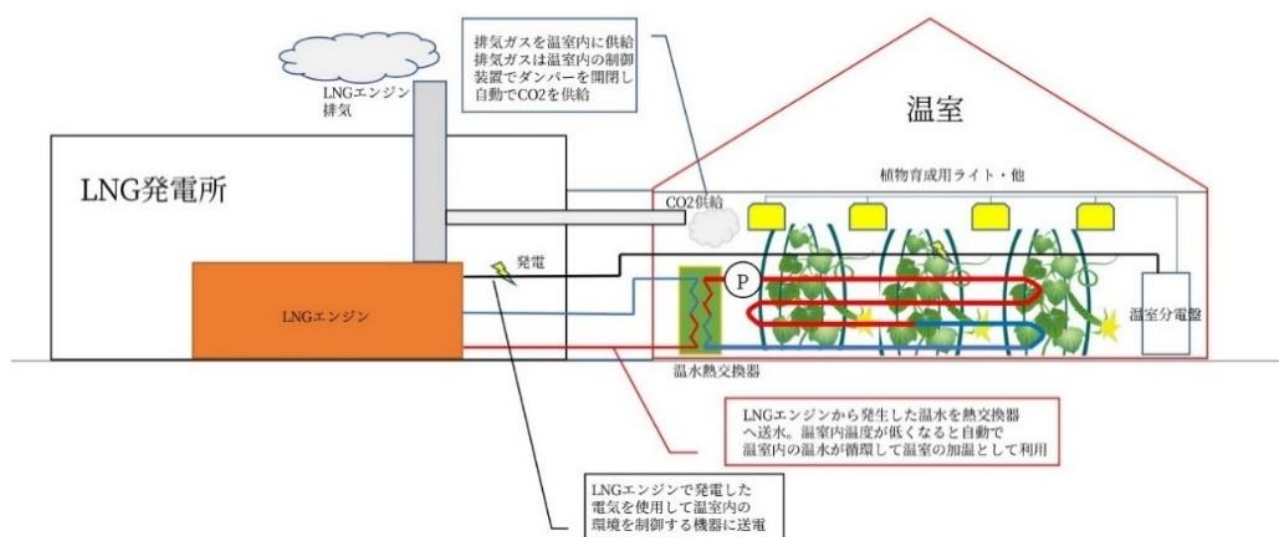
最後に、年間の降水量に関して、北海道の札幌が 1,200mm である一方、プロヴィデニヤでは 650mm となっているため、キュウリ栽培において栽培用の水の確保が重要と考えられる。そこで現地での井水の水質が飲用に適していることを踏まえ、ハウス内に直接給水配管を立ち上げ、栽培用水として使用する設計を採用することとした。

以上を踏まえ、通年でのキュウリ栽培を行うために電照設備を設置し、光合成に必要な温水・電気・炭酸ガスは全てガス発電機から供給される設計とする。

3.6.3. 導入設備の仕様策

本 FS における天然ガス発電所余剰エネルギー温室の利用イメージは下記の通りである。

図表 3.6.3 天然ガス発電所余剰エネルギー温室利用イメージ



出所) ホッコウ作成

ガス発電機が 365 日連続で運転することを前提とした場合、温水及び電気は常時利用することが可能である。下記、温水利用・電気利用・炭酸ガスについて記載する。

■ 温水利用（1,000 m²ハウス 1 棟あたり）

温室への熱供給はガス発電機からの温水を使用する。温水は、温室内の熱交換器への供給分は 60℃である。20 m³/h の温水が熱交換機器に供給され、機器内で温風に熱交換され、温室内温度が 20℃を保てるよう自動送風の制御も行う。なお、機器の入りと出の水温の差は 15～20℃程度となる。一度冷却された温水は再度、ガス発電機に戻る設計とする。

■ 電気利用（1,000 m²ハウス 1 棟あたり）

電気利用については、下記の候補を想定する。利用用途として、栽培装置の運転や光合成用の電照が主な仕様用途である。

- 日本製品：3 相 200V、6kW
- 日本製品：単相 100V、1kW
- ロシア製品：電照、単相 220V、100kW
- ロシア製品：循環ポンプ・熱交換器ファン、3 相 380V、4kW
- 温室内コンセント：単相 220V、3kW（想定値）

■ 炭酸ガス

先述の通り、キュウリの光合成を促進させるためには、炭酸ガス施用が必須である。キュウリが光合成を行うと室内の炭酸ガスは、植物に吸収され、濃度は大気中の 400ppm から 200ppm 以下になる。通常、外気を導入して温室内に炭酸ガスを供給出来るが、極地での気候の場合、外気を導入すると温室内温度が下がるため難しい。そこで、今回はガス発電機から温室内に炭酸ガスを供給し、光合成をおこなう時間帯の濃度は外気以上の 1,000ppm とし、収量を高める事とした。

3.6.4. 設備・プラント費用の詳細

寒冷地用温室の概要は以下の通りである。

- 基本仕様
 - 間口：12m×奥行 84m
 - 軒高：3.5m
 - 面積：1,008 m²
 - 鉄骨造（柱・梁）：150×75×3.2
- 外装フィルム
 - 屋根：エフクリーン+PO フィルム複層エアー
 - 天窓：エフクリーン+PO フィルム 2 層張り+開口部防虫ネット張り
 - 側面固定部：エフクリーン+PO フィルム複層エアー
 - 側面巻上部：PO フィルム複層エアー+開口部防虫ネット張り
 - 妻面：エフクリーン+PO フィルム複層エアー
- カーテン：2 軸 2 層
 - 上層：遮光・保温兼用フィルム
 - 下層：保温フィルム

- 暖房：熱源は温水、ロシア製温水温風機、VOLCANO 仕様
- 炭酸ガス：発電機より直接排ガス利用
- 電照：ロシア製植物育成用高圧ナトリウムランプ
- 栽培設備：キュウリ用 RW 栽培ベッド 自動養液灌水方式
- 環境制御装置
 - 外：外気温湿度センサー、日射センサー、風向風速計、感雨センサー
 - 室内：室内温湿度センサー、CO₂センサー
 - 室内、室内・外各種センサーによりハウス内環境を自動制御
 - キュウリへの養液管理は外的要因を考慮して自動制御

図表 3.6.4 温室外観の様子



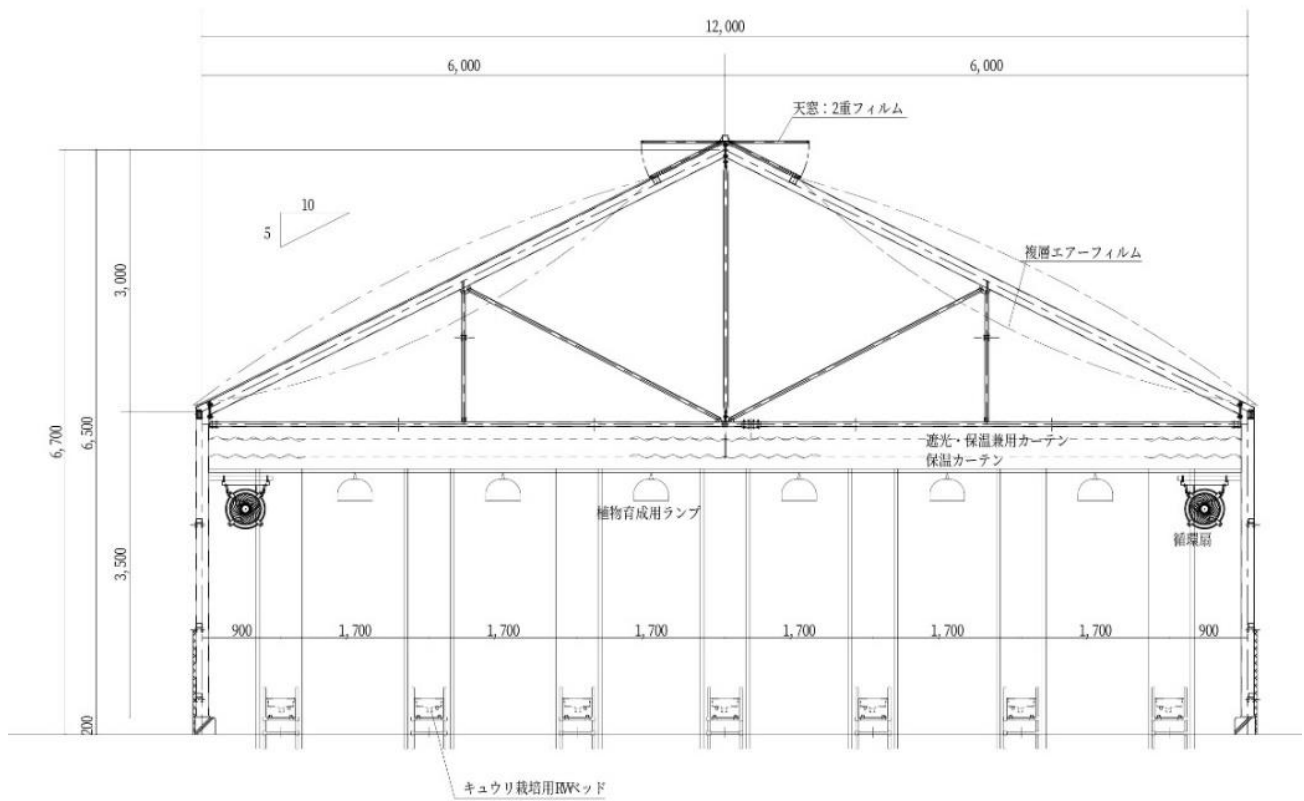
出所) ホッコウ撮影

図表 3.6.5 温室内部の様子（電照点灯状況）



出所) ホッコウ撮影

図表 3.6.6 キュウリ栽培温室断面図 イメージ図面



出所) ホッコウ作成

図表 3.6.7 温室建設コスト（道内建設費概算）12m×84m 1,008 m² 1棟分
（非公開）

出所) ホッコウ作成

3.7. グリーン水素(水素・温水)事業

3.7.1. 導入可能性のある技術選択肢

本ロードマップ作成においてはモデルケース検討具体例としてプロヴィデニヤを取り上げ、発電機の設備構成については以下2ケースに基づき発電量をシュミレーションした。

ケース1：風車 300kw ×1, ガスエンジン発電機 1,220kw ×2

ケース2：風車 300kw ×2, ガスエンジン発電機 1,200kw ×2

いずれも電力需要は同量に設定しており、ケース1と2においてそれぞれ発電機の負荷割合に違いが発生している。特に、発電機の操業に関しては1年間8,760時間を1時間毎に需要と供給を算出しており、ガスエンジン発電機の技術的制約(①2台とも同負荷で運用 ②最低負荷を維持 ③1時間毎の負荷変動を許容できる範囲内での運転維持)を勘案した内容となっている。ケース1においては風車からの余剰電力は発生しないというシミュレーション結果となったが、ケース2においては風車余剰電力の発生が確認された(以下表参照)。尚、本結果はモデルケースとして取り上げたプロヴィデニヤでの検証結果であり、ロードマップで対象としている他の北極圏沿岸都市での電力需要及び風況により、風車からの余剰電力量は本結果と異なる可能性がある。

図表 3.7.1 本事業における余剰電力量のシミュレーション
(非公開)

出所) コンソーシアム作成

風車からの余剰電力量はプロヴィデニヤのケースでは最大値が1時間86kwhと少量の結果となったが、今後北極圏沿岸都市にて更に検討を進める際には以下の2シナリオを想定する。

[シナリオ1]

- ・風車からの余剰電力量が相当数見込める場合
- ・中型/大型の水素電解装置の導入を検討
- ・気体水素を燃料として利用。用途：水素自動車、水素トラック、ガスエンジン発電機燃料

[シナリオ2]

- ・風車からの余剰電力量がプロヴィデニヤでの量に相当する少量の場合
- ・水素による発電及び、発電時に発生する温水を利用
- ・電力及び温水は温室に供給

再生可能エネルギーを元とした水素製造では、水の電気分解によって水素を製造する。現在実用化されている水電解装置の種類として、アルカリ形水電解装置、固体高分子形水電解装置(PEMEC)、の2種類がある。また今後期待される水電解装置として固体酸化物形水電解装置(SOEC)、またアニオン交換

膜を活用した純水型水電解（AEM）も存在する。各水素製造方式の概略と調書・短所を下表に整理する。

図表 3.7.2 水素製造方式の概略と長所・短所

方式	概略	長所	短所
アルカリ形水電解	アルカリ形水電解においては、電解質として強いアルカリ性を示す KOH（水酸化カリウム）溶液を用いた水素製造	技術としての歴史も長く、技術的に確立されている。 白金・チタンを触媒へ使う必要が無く、PEMEC に比して安価な運営が可能。	電解により発生したガスが一定量以上隔膜(多孔質膜)を通過する事を防ぐため、差圧制御が必要となり、負荷変動に弱い。 純度が PEMEC には劣る 運転に要する KOH 溶液の濃度管理で純水を供給し続ける必要あり
PEMEC	電解質に水素イオン透過性を有する固体高分子膜を用いて純水の水電解により水素製造	差圧制御が不要なため、負荷変動性が高い 電極間にガス・溶液抵抗なく、高効率、高電流密度化が可能 発生水素の純度が高い	触媒電極へ白金・チタン等をもちいるため、製造コスト・電極交換の際のコストが高い
SOEC	電解質に酸素イオン透過性を有するセラミックを用いて水蒸気を高温下で電気分解し水素製造。	電解質に酸素イオン透過性を有するセラミックを用いることから、電解質の管理が不要 電解効率が低い	水蒸気を高温下（600℃）で電解する必要あり、同環境を維持するコストが必要 今後の大規模・商業化に向け技術開発途上。
AEM	電解質へアニオン交換膜を用いて純水を電気分解し水素を製造	触媒電極へ白金等の貴金属を用いる必要なく、設備費の低コスト化が可能	今後の大規模・商業化に向け技術開発途上。

出所）東洋エンジニアリング作成

アルカリ形水電解と PEMEC とを比較すると、一般に PEMEC は同じ面積に流す電流（電流密度）がアルカリ形水電解に比べて高い為、電解槽を小型化できるほか、生成水素中に不純物としての電解質が混入しにくく、比較的簡易な構造で高純度の水素を得られるといった特徴がある。一方で、触媒等に高価な材料を利用することから、現時点においては PEMEC の水素製造におけるコストは比較的高いと考えられている。他方、未だ技術開発・改善段階であるがアニオン交換膜を用いた純水水電解であれば触媒へ貴金属を不要とする事から、PEMEC に比して安価な設備コストを実現する事が期待され、開発が進んでいる。

一般に水電解装置は、温度が高い方が理論電解電圧は低くなることから高効率となる。この特徴を利用

した高効率水電解装置が固体酸化物形水電解装置（SOEC）となる。

各水素製造方式の主要メーカーと出力・効率を下表に示す。

図表 3.7.3 各水素製造方式の主要メーカーと出力・効率

方式	メーカー名	出力	効率
アルカリ形	A 社	100kW～	4.3kW/N m ³
	HY 社	80-500kW	5.0-5.4kW/N m ³
	N 社	～2.2MW	3.8-4.4kW/N m ³
	T 社	5MW、20MW	～4.5kW/N m ³
PEMEC	HZ 社	～2MW	～5kW/N m ³
	SK 社	～500kW	～5kW/N m ³
	HY 社	～15MW	5.0-5.4kW/N m ³
	S 社	～6MW	3.8-4.4kW/N m ³
	N 社	～2MW	～5.3kW/N m ³
	I 社		4.5-5.0kW/N m ³
SOEC	(商業化未達)		～3.6kW/N m ³
AEM	E 社	～1kW	4.8kW/N m ³

出所) 東洋エンジニアリング作成

電解設備は基本的に定格での運転により発生水素純度の維持・補器類の負荷低減・寿命維持が保たれる為、水素製造に使用する余剰電力の変動は基本的に少ない方が望ましい。本件では需要・風力による発電量で余剰も変動してしまうため、一定量の余剰電力が定常的に見込まれない地域に関しては、水電解設備以外に蓄電池等の追加も検討し水素製造以外の余剰電力の受け入れ能力の追加も検討し得る。

北極圏沿岸地域によって余剰電力トレンド・余剰量も異なることから最適な設備構成はそれぞれ異なることになるが、プロヴィデニヤの場合は、余剰電力量が小さく、余剰トレンドも発生時間帯の変動も大きい為、余剰電力受け入れ先を広く持つ複数機器の複合が望ましいと考える。水電解設備・水素タンク・蓄電池・燃料電池等の機器を個別に調達して組み合わせることでシステム構築自体は可能であるが、実際には装置間のスペックの差異やユニット間制御の複雑さによる無駄などが生まれることから、トータルとして最適化が果たされず、結果的にパフォーマンスの割に高いコストとなるリスクが想定される。

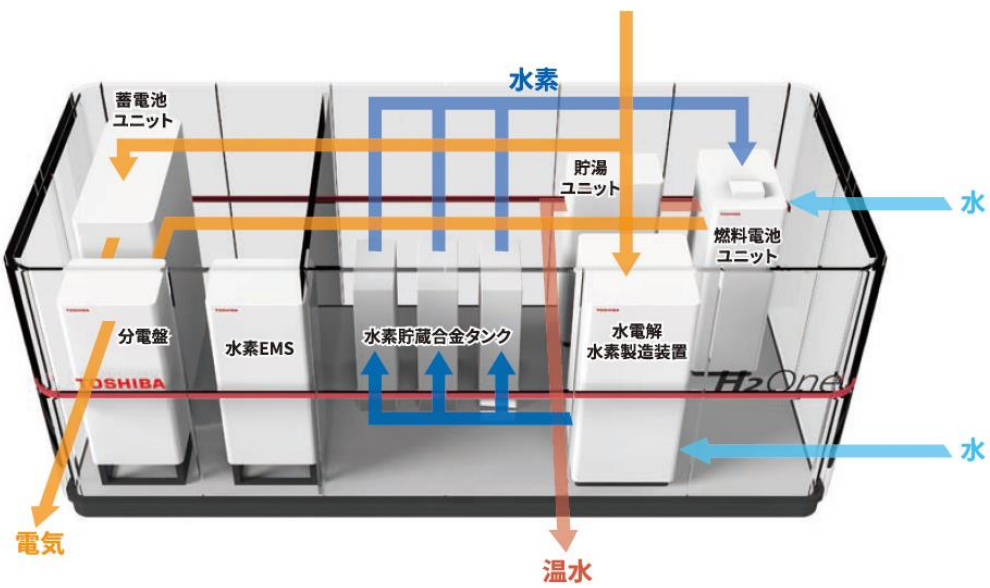
プロヴィデニヤの場合は、低価格で水電解水素製造装置、燃料電池、蓄電池がコンパクトに収められている小規模装置として東芝エネルギーシステムズ製(以下、東芝製と略式表記)H2One の適用を検討した。

図表 3.7.4 東芝エネルギーシステムズ H2One



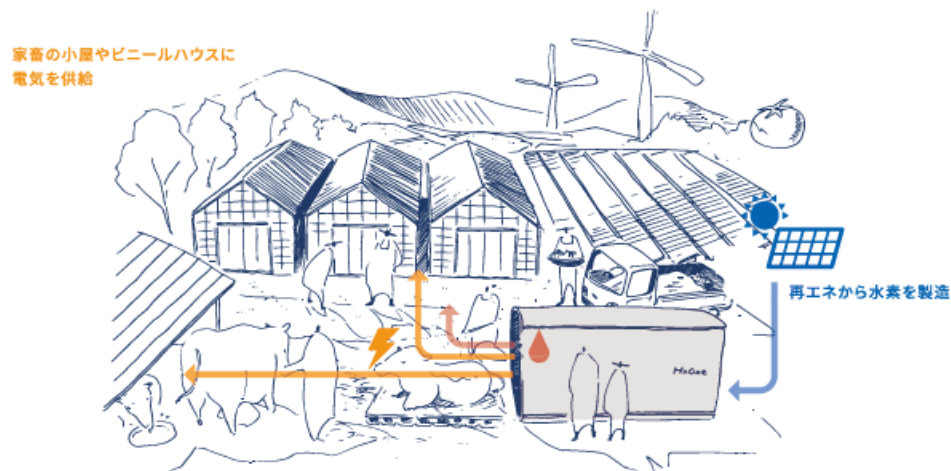
出所) 東芝エネルギーシステムズ株式会社ホームページ

図表 3.7.5 東芝エネルギーシステムズ H2One 内部



出所) 東芝エネルギーシステムズ株式会社ホームページ

図表 3.7.6 本事業における設備設置イメージ



出所) 東芝エネルギーシステムズ株式会社ホームページ

3.7.2. 導入条件の洗い出し

東芝製 H2One を用いたグリーン水素の活用としては、小規模である特徴も活かして温室への電気や温水の供給がこの地域では有効である。基本的に温度変動を嫌う温室であるため、H2One をバックアップ電源として電気/温水供給に組み込めば、温度変動の幅を抑えることができる。

3.7.3. 導入設備の仕様策定

推定部分もあるが、東芝エネルギーシステムズ製 H2One を想定した導入設備の仕様は下記となる。

図表 3.7.7 東芝エネルギーシステムズ H2One 主要仕様

水電解ユニット：	水素製造能力：	1 Nm ³ /h (≒ 4.8kW)
	水素貯蔵能力：	200 Nm ³
燃料電池：	出力：	3.5 kW
	水素消費量：	2Nm ³ /h (推定)
	温水製造能力：	2L/h (推定)
蓄電池：	入出力：	10kW
	蓄電容量：	44kWh
温水タンク：	貯蔵能力：	200L
	温度：	Max 60℃

出所) 東芝エネルギーシステムズ株式会社ホームページ

余剰電力の吸収機能は、水電解への入力 4.8kW+蓄電池への入力 10kW≒15kW の余剰電力を 1 つのユニットで吸収できると考えられる。また、水素貯蔵能力および蓄電池の蓄電容量から、水電解は 200 時間、蓄電池は約 4 時間の余剰電力入力に対応しているので、水電解に関しては十分な稼働時間があると言える。一方で、想定される余剰電力の最大値 86kWh を全て吸収するのであれば、複数台の H2One を設置するか、水電解装置のキャパシティアップなどのカスタマイズ対応が選択肢として挙げられる。

電力のバックアップ機能は、燃料電池出力 3.5kW+蓄電池出力 10kW=13.5kW がバックアップ電源

として利用できる。また、水素消費量および蓄電池の蓄電容量から、バックアップ電源の稼働時間は、燃料電池が 100 時間(200N m^3 (水素貯蔵能力) $\div 2\text{N m}^3/\text{h}$ (水素消費量))、蓄電池が 4 時間程度(44kWh (蓄電容量) $\div 10\text{kW}$ (入出力))と算定される。

温水製造能力は、燃料電池の仕様から 2L/h (最大温度： 60°C)程度と推定される。暖房用途の温室としては供給量が少ないため、温水供給を目的とする場合には温水製造装置を別途設けて、補完的に余剰電力にて温水製造するなどの対応が選択肢として挙げられる。

プロヴィデニヤの 2 ケースでの余剰電力で東芝製 H2One を活用した場合の年間の水素製造量及び燃料電池による発電量は以下となる。水電解装置の 1 時間当たりの容量が風車からの余剰電力量を大きく下回るためかかる結果となったが、プロヴィデニヤ以外の北極圏沿岸地域において風車の余剰電力量が小さく、かつ多くの時間に分散して発生する場合はより多くの水素製造、燃料電池発電が可能となる。

水素製造量： $6\text{N m}^3/\text{h}$

発電量 10.5kWh

温水量： 6L

尚、H2One の蓄電機能を本件で活用すると以下の運用となる。

図表 3.7.8 東芝エネルギーシステムズ H2One 蓄電・放電機能の運用想定
(非公開)

出所) コンソーシアム作成

3.7.4. 設備費用

(非公開)

4. 事業モデルの実施可能性

4.1. 本章の調査内容

本パートでは主にプラント全体としての経済性検討結果について記述する。

経済性検討では、まずプラント全体像より、各設備の費用（Capex）および運営費（Opex）を算出し、その情報を基に見込み損益計算書の作成を行った。また、LNG の単価の変化があった場合に収支がどう変化するか等の感度分析を実施することにより、現実的にどのような条件下で経済性が成立するのかの検討も行った。

加えて、市場環境の変化等で将来的に本プラント運営に影響を与えうるポジティブな要素・ネガティブな要素についても調査した（定量化し経済性検証の数値として反映できない部分については、定性的な情報のみにとどめている）。

また、プラントの経済性検討に付随した資金調達のプランに加え、ディーゼル発電機を風力発電や天然ガス発電機によって置き換えるビジネスモデルにより、どの程度 CO₂ 排出量を抑制できるのかの試算を行ったため、その結果についても記述する。

4.2. 経済性・事業実施可能性試算

4.2.1. 経済性の検討(FS)・感度分析

本ビジネスモデルに関連する設備の導入に際し、設備の導入実績が豊富な東洋エンジニアリング社、ヤンマーエネルギーシステム社、ホッコウ社の協力の下、基本設計及びコスト等の算定を実施した。経済性の検討に当たっては、事業規模・コスト・収入等の算出を実施した。

経済性検討は、章節 3.1 において整理したプラント概略の内容に従い、見込み損益計算書のドラフト（想定される売上及び費用項目等の枠を入力したもの）を作成した上で、それぞれの項目に関して知見を有する企業の協力のもと、検証を進めた。

経済性検討の起算点はプラント建設のマイナス 3 年時点とし、プラント建設後 15 年後までを想定し試算した。なお、建設後 15 年で事業を終え、16 年目の期初において、残存価値のある設備の売却を行う想定をしている。

見込み損益計算書の項目構成としては、売上、営業費用、営業外費用（支払利息）、税引前当期純利益、租税公課（法人税）、税引後当期純利益である。営業費用は大きく「プラント設備費」と「プラント運営費」に分かれる。各費用の詳細項目については以下に記載する。

- 見込み損益計算書の売上項目

本検討における見込み損益計算書の売上項目の構成は、ディーゼル発電から風力発電への変換による燃料費削減、ディーゼル燃料から LNG への変換による燃料費削減、温室でのきゅうり栽培による売上の 3 つで構成されている。

（非公開）

- プラント設備費の詳細

プラント設備の主な構成は、風車、LNG 気化装置、LNG 火力発電機、温室、水素製造機である。それぞれの能力および設備費は下記で計算を行っている。各設備の減価償却については、耐用年数を用いた

定額法で処理している。

図表 4.2.1 プラント設備費

(非公開)

出所) コンソーシアム作成

<その他設備の主な情報>

- 風車
 - 発電能力：1,314,000 kw/year
 - 耐用年数：25 年
- LNG 気化装置
 - LNG 処理能力：0.60t/day
 - 耐用年数 25 年
- LNG 火力発電機
 - 発電能力：2,500kw/year
 - 耐用年数：25 年
- 温室
 - 耐用年数：5 年
- 水素製造機
 - 水素製造能力：6 N m³/hour
 - 耐用年数：10 年

● プラント運営費の詳細

プラント運営費の主な構成は、LNG 燃料費、風車、LNG 気化装置（港～設備までの天然ガス運搬含む）、天然ガス火力発電機、温室、水素製造機それぞれの維持管理費（人件費等）である。それぞれの運営費は下記の通りである。

図表 4.2.2 プラント運営費

(非公開)

出所) コンソーシアム作成

(非公開)

次に、IRR¹⁷を求めるにあたり、営業 CF は税引き後利益に減価償却費を加えて算出した。また、先述の通り、16 年目の期首において、設備を残存価値で売却することとし、同額を投資 CF と考え検討を行

¹⁷ 本節においては、EIRR（Equity Internal Rate of Return）を算出している。

ったところ、ベースケースにおいて、-3.79%と算出された。ベースケース（LNG 価格：3 ドル、ディーゼル発電機稼働率：25%、ガスエンジン稼働率：40%）のほか、ケース 2（LNG 価格：3 ドル、ディーゼル発電機稼働率：40%、ガスエンジン稼働率：40%）、ケース 3（LNG 価格：11 ドル、ディーゼル発電機稼働率：25%、ガスエンジン稼働率：40%）と分け、感度分析を行ったところ、それぞれの IRR は -9.69%（ケース 2）、-13.46%（ケース 3）との結果が得られた。

図表 4.2.3 IRR 試算

ケース	ベースケース	ケース 2	ケース 3
設定条件	● LNG 価格：3 ドル ● ディーゼル発電機稼働率：25% ● ガスエンジン稼働率：40%	● LNG 価格：3 ドル ● ディーゼル発電機稼働率：40% ● ガスエンジン稼働率：40%	● LNG 価格：11 ドル ● ディーゼル発電機稼働率：25% ● ガスエンジン稼働率：40%
IRR	-3.79%	-9.69%	-13.46%

出所）コンソーシアム作成

本分析の結果、収益性が低いことが判明した。また、焚き減らし方式による売上自体の少なさ、LNG 気化装置の設備導入費の大きさ等が要因となり、事業期間の一部において運転資金が不足してしまう状況が生じる結果となった。

4.2.2. 資金調達条件

上記の経済性分析にあたり、以下のファイナンス条件を想定した。概要は以下のとおりである。

- 負債比率については、一般的な 7 割（自己資本 3 割）を想定した。
- 政策金融と市中銀行の比率は、6 対 4 とした。
- 政策金融の適用金利は 3 年元本据え置きとし、LIBOR+0.59%を加算したもので、金利は 0.79%を適用した。
- 市中銀行の金利は政策金融+3%を想定（金融機関ヒアリングにより）し、適用金利を 3.79%と想定した。
- なお、USD LIBOR は 6 か月の金利を使用している。

4.2.3. CO₂ 排出削減量の試算

本ビジネスモデルにおいては、ガス火力発電がプラントの主な CO₂ 発生源となる。天然ガス火力発電を行うために LNG から生じた CO₂ を試算し、従来の電力需要を賄うためにディーゼル発電によって排出されていた CO₂ 量と比較を行い、既存のディーゼル発電から風力+LNG ガス火力発電方式への転換に

よって、どの程度排出量が減少するかを算出する。

(非公開)

本事業によるCO₂排出量を試算したところ、上記風車2台(300kW×2台)+ガスエンジン2台(1,220kW×2台)利用の場合、これによってCO₂排出量は約7,604tから約6,669tに減少し、合計で約935tのCO₂削減となる見通しである。

図表 4.2.4 想定CO₂削減量

項目	想定CO ₂ 量 (t)
本ビジネスモデルにより生じる年間CO ₂ 排出量試算	6,669.267
現状の年間CO ₂ 排出量試算	7,604.011
発電方式転換による年間CO ₂ 排出削減量	934.744

出所) コンソーシアム作成

5. 今後の方針

本事業の調査を通じ、事業性の確保のために以下の課題が明らかとなった。

(解決すべき課題)

- ✓ LNG 価格水準について、見通しが立つことや設備コストの低減
- ✓ 発電のための風況条件を満たすことや LNG が必要量確保できること
- ✓ 各種主要設備が想定通りにスケールメリットが発揮された価格帯で製造・建設実現できること
- ✓ 必要十分な Finance 組成及び本検討で適用した水準での借入規模と金利が実現されること。

なお、昨今のウクライナ情勢に鑑み、本事業の検討については、当面見合わせることを基本に国際的議論を踏まえ対応する。

(以上)

(様式2)

二次利用未承諾リスト

ロシア連邦・北極海航路沿岸における LNG・風力活用計画等策定及び事業実施可能性調査事業報告書

令和3年度質の高いエネルギーインフラの海外展開に向けた事業実施可能性調査事業委託費（我が国企業によるインフラ海外展開促進調査）

株式会社駒井ハルテック、三井物産株式会社、株式会社野村総合研究所

頁	図表番号	タイトル
55	3.4.24	風車建設工程
70	3.5.14	発電機室レイアウト(平面図・断面図)
71	3.5.15	冷却水・温水フロー図
72	3.5.16	ガススタータ系統図・排気系統図
73	3.5.17	燃料ガスフロー図
74	3.5.18	燃料ディーゼルフロー図
75	3.5.19	潤滑油フロー図
83	3.7.2	水素製造方式の概略と長所・短所
84	3.7.3	各水素製造方式の主要メーカーと出力・効率
86	3.7.7	東芝エネルギーシステムズ H2One 主要仕様