

低圧風力発電に関する 技術開発・実証成果発表

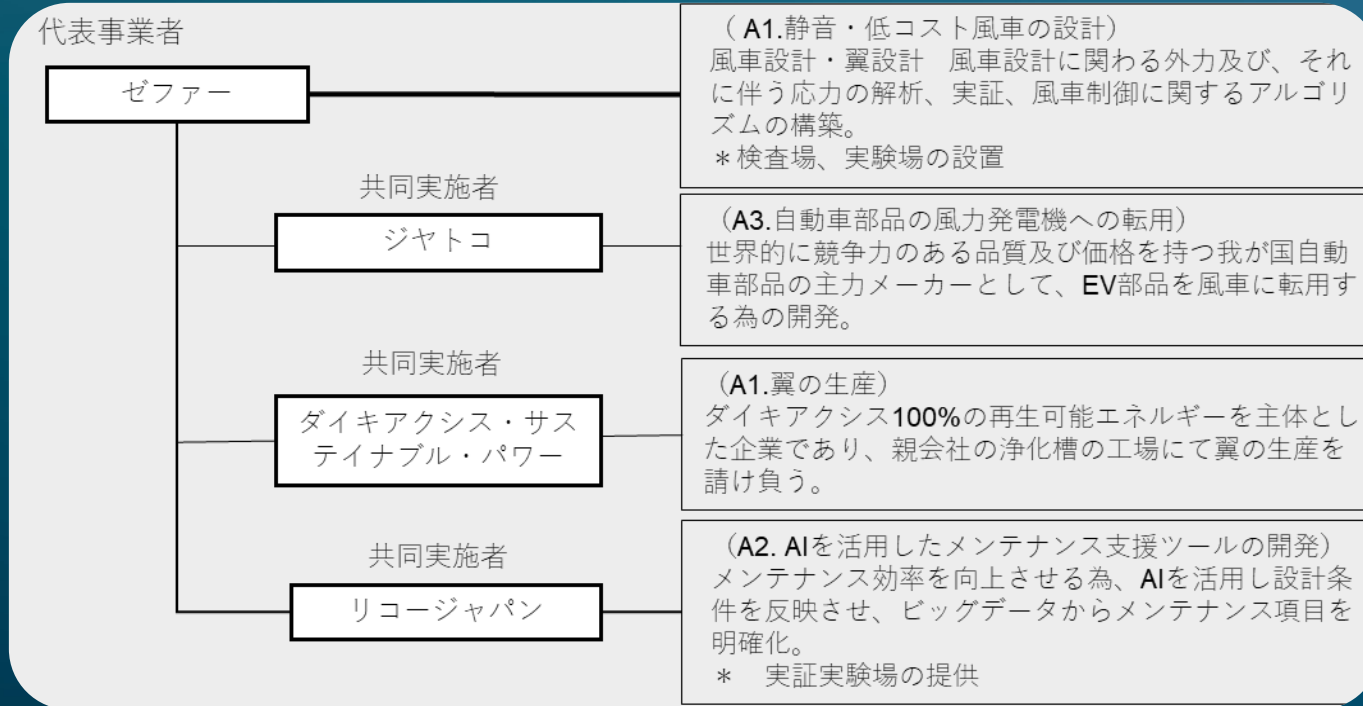


ゼファー株式会社
代表取締役社長 久保 昌也

目次

- 技術開発の概要（1 – 5）
- 技術開発の経過と成果（1 – 5）
- CO2削減効果（1 – 2）
- 事業終了後の事業化の取り組み（1 – 3）
- 開発から事業遂行までの課題と解決方法（1 – 3）

実施体制



技術開発の概要—1

RE100、SDGs及びBCP等の観点から、事業所へ再生可能エネルギーを設置し自家消費する動きが活発化しているが、太陽光発電だけでは電力が不足するという課題や変動を受け止めるために蓄電設備の過剰投資が必要という課題がある。また、地域防災の観点や、過疎地における送電インフラの合理化の観点から、自営線や既存配電網を活用し独立系グリッドを作る動きも増えているが、グリッド内の電源が太陽光発電だけでは上記と同様の課題がある。そこで、居住地近傍でも使用できる社会受容性の高い風力発電機を新たに開発し、太陽光発電と並ぶ電源として普及させることで、上記の課題を解決し、地域循環共生圏の構築を推進する。

技術開発の概要—2(ユースケース1)

ウィンドファーム

ウィンドファームとは、送電網により電力を供給するために、同じ場所にある電力会社規模の風力発電機のグループのことです。これらの風力発電所は通常、定格出力1MW以上の機器で構成され、広大な敷地に数十から数百基の風力発電機を設置するが、風力発電機の間の土地は農業や他の目的に利用されることがあります。また、風力発電所は洋上に設置されることもあります。

変電所

送電では効率を上げるために電圧を高くしているため、使用場所(鉄道、工場、ビル、家庭など)にあわせた電圧に変圧して電気を分配する必要があります。また必要に応じて電気系統をつないだり切り離したりします。

送電

送電線は、大量の電力を長距離にわたって送電し、国内のさまざまな地域を結んでいます。送電線は変電所を通して配電線に接続されています。

配電

配電線は、送電変電所から住宅、企業、地域内の他のエネルギー利用者にエネルギーを送ります。中型の風力発電機は、自治体や電力会社によって配電線に直接接続されることもあります。

農業とビジネス

風力発電は、農場や他の企業などに安価な電力をコーポレートPPAの契約を活用して電力を供給することができ、直接利益をもたらす重要な経済的後押しとなります。

市民風力発電

市民風力発電プロジェクトは、地域コミュニティによって所有される資産です。風力発電システムの用途や規模ではなく、所有モデルによって定義されます。相互接続のポイントや需要地への近さによって異なります。市民風力発電プロジェクトは、分散型と定義することもできます。

住宅用

小形(マイクロ)風力発電機は、自家消費が主であり、余剰発電(家庭で使用されなかった電力が配電システムに戻る際に顧客に還元される)を利用して電力使用量を直接相殺したり、完全にオフグリッドの家庭をサポートするために住宅地で使用することができます。これらの風力発電機は、太陽光発電システムや蓄電システムなど、他のコンポーネントと統合することもできます。

学校

小形風力発電機、数百kWの風力発電機、さらにはマイクロ風力発電機の集合体を、クリーンなエネルギーで学校に供給するために使用することができます。学校地域はエネルギー料金の節約になり、場合によっては収入を得ることができます。風力発電プロジェクトは、生徒たちに素晴らしい教育の機会を提供します。

技術開発の概要ー3(ユースケース2)



出典: 米国エネルギー省

<https://www.energy.gov/eere/wind/distributed-wind-animation-text-version>

技術開発の概要ー4(ユースケース3)



出典: 米国エネルギー省

<https://www.energy.gov/eere/wind/distributed-wind-animation-text-version>

技術開発の概要—5(開発の目的)

欧米などでは太陽光と並び100kW未満の風力発電を活用する事例について研究開発が進められている。他の再エネ電源との組み合わせにより、自家消費や構内連系を促している。しかしながら、我が国では次のような課題により、自家消費型の電源として風力発電はほとんど用いられていない。

- 1) 山がちな島嶼国であるため乱流が発生しやすく(乱流係数は欧米の1.7倍)、外国産の量産型の風力発電機は故障した場合、部品の手配等に時間がかかりダウンタイムが長くなりオペレーションコストが高くなる傾向がある。また、風車の開発には実風での実証が効率的であり、外国製風車においては我が国のような風況が無い為、乱れた風の中での実証を経していない可能性がある。CO2排出量を低減するためには、国産の風力発電機の開発が必要である。
- 2) 騒音の発生により需要地近傍への設置が困難であり、且つ、回転数が高いため近傍の住民への恐怖感を助長している事も普及の妨げとなっている。
- 3) (その他)機器の開発だけでは、風力発電ビジネスは成功しない。費用対効果を明確にする為の信頼性のある事業計画や、事業計画のリスクの範囲内で収まる施工や、運用等。また、これらのビジネスを支える人の育成も必要である。これらの機器に付帯するサービスは、我が国ではメーカーが立ち上がらないと難しいのではないかな？

技術開発の経過と成果ー1

分散型電源としての風車を世界でイニシアティブを取る為には？

技術的優位性

- 1) 乱流下でも耐え得る事の出来る風車システムの設計
- 2) 住宅地近傍での運用となるので騒音への対策
- 3) 費用対効果を得る為、国際競争力のある産業の部品のリユース
- 4) (その他)風車システムとしての出力の平滑化及びシャドーフリッカ対策

商業的優位性

国内→系統連系協議(既に茨城県神栖市の実証において構内連系)

海外→IEC61400-2の規格改定

エンジニアのエゴで、良いモノを作れば成功なのではない！

風力発電は世界のエキスパートが集う国際規格による科学的な安全性の証明が必要

技術開発の経過と成果ー2

技術面もビジネス面も同時並行で優位性を確保してきた。

技術面

- ①乱流下においては、設計の段階から、Iref0.30を指針として開発をしてきた。費用対効果から、2モデルを用意すべきとの結果になっている。高乱流下への設置には、コストが増大するが翼の剛性を高める必要がある。しかしながら、自家消費という事を考えると、我が国の工場等の設置場所においては、Iref0.18を指針としたほうが費用対効果が高い。
- ②騒音においては、実証場所の茨城県神栖市は風速3m/s～6m/sでNEDOの風況マップによると41%の出現率となっている。実際、我が国においては、このような場所が多いと考える。つまり、高い出現率の風速下での騒音低下が鍵となる。風速6m/sの騒音は下記となる。

項目: Bin 6	AP	暗騒音の方が高いデータ	1dB未満のデータ	最大差
風車音+暗騒音	46.1dB	7スペクトル	6スペクトル	6.1dB
暗騒音	43.9dB			
レベル差	2.2dB			
風車音	33.1dB			

技術開発の経過と成果ー3

技術面

- ③ 世界で初めて自動車部品の転用に成功した風車の開発に成功。コスト、安全性、リユース含め、レアアースの問題等は既に解決済み。
- ④その他、シャドーフリッカ制御システム搭載。低高圧網の所謂Low Voltageのグリッドとの連系には風車システムの平滑化が必要。これにおいては、詳細を割愛させて頂きたく思います。

総括

技術的優位性は、海外製の風車の3歩ぐらい先を見据えて開発をしてきた。結果、殆どの技術面において目標を達成していると言える。

技術開発の経過と成果ー4

商業面

① Edition 3 では、風車の受風面積が200m²未満に国際規格において制限されていた。既に、Edition 4 の審議が進められており、大きな違いはこの受風面積の拡大である。

IEC 61400-2 defines SWT (small Wind Turbine) :

With a swept area of less than 200m² and
Generating voltage less than 1000V AC or less than
1500V DC

JIS C 1400-2 of Japanese Industrial Standard

As same as IEC 61400-2.

Enacted without changing any technical content.

技術開発の経過と成果ー5

商業面

- ② 茨城県神栖市の実証試験場において、自家消費としての構内連系において既に低圧網としての単機出力50kWの風車として連系が開始している。
- ③ 再生可能エネルギーを導入する為には、送配電網への再投資が必要になるが、予算の問題ではなく既に人口減少が著しい我が国で可能か？
- ④ 配電網への自家消費が最も費用対効果が高い。

総括 技術的な開発と世界規格をユースケースを鑑みながら同時進行で進めており、且つ、連系や様々な荷重ケースの再現のテストのマイルストーンを確実にこなしてきている。

CO2削減効果ー1 (ポテンシャル)

項目	数値	引用・備考	
平均風速	風車設置適地の15m高の平均風速	5m/s	小形風力協会より
	べき乗パラメータ	7	竹中 翔「風況精査における「べき法則」型風速予測式の有効性」
	15m高の平均風速に対応する50m高の平均風速	5.94m/s	$= 5\text{m/s} * (50\text{m}/15\text{m}) ^ (1/7)$
農家	全農家の農業地域面積のうち50m高の平均風速6m/s以上の割合	11%	国土交通省「国土情報ウェブマッピングシステムNEDO「局所風況マップ」
	日本の全農家数	1,161,500戸	e-Stat「都道府県別 販売農家 農家数」(2018年12月)
	農家の電力需要から算出した、一戸あたりの導入見込み	7,431kWh/戸・年	資源エネルギー庁「総合エネルギー統計(2017年度)」 e-Stat「都道府県別 販売農家 農家数」(2018年12月) e-Stat「平成30年住宅・土地統計調査/住宅数概数集計」
農家への導入見込	937,745,891kWh/年	農業施設1戸に対し、少なくとも住宅1戸が近隣にあり、電力を消費していると想定 $= 1,161,500\text{戸} * 7,431\text{kWh/戸} * \text{年} * 11\% + 100$	
住宅	50m高の平均風速6m/s以上に該当する自治体の合計棟数	1,392,370戸	風況マップを基に主要な該当都市を抽出
	自治体の合計棟数のうち該当する住宅の割合	11%	全国の住宅に対し、棟数ベースで約3.5%、戸数ベースで1.1%に該当
	住宅の電力需要から算出した、一戸あたりの導入見込み	5,093kWh/年	NEDO風況マップ及び国土情報ウェブマッピングシステムより概算 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計(2017年度)」 e-Stat「都道府県別 販売農家 農家数」(2018年12月)
	住宅への導入見込み	3,545,802,262kWh/年	e-Stat「平成30年住宅・土地統計調査/住宅数概数集計」 $= 1,392,370\text{戸} * 5,093\text{kWh/年} * 11\% + 100$
小売事業所	該当する主な自治体における小売事業所合計数	39,676件	e-Stat「平成28年経済センサスー活動調査」(2018年6月)
	自治体における小売事業所合計数の該当する小売事業所の割合	50%	NEDO風況マップ及び国土情報ウェブマッピングシステムより概算
	業務部門平均電力消費量	147kWh/m2	財団法人省エネルギーセンター「エネルギー・経済統計要覧」
	小売事業の平均専有面積	1,343m2	国土交通省「平成25年土地基本調査総合報告書」
	事業所の電力需要から算出した、導入見込み	197,421kWh/件・年	$= 147\text{kWh/m}^2 * 1,343\text{m}^2$
事業所への導入見込み	3,916,437,798kWh/年	$= 39,676\text{件} * 197,421\text{kWh/件} * \text{年} * 50\% + 100$	
導入ポテンシャル (農地+住宅)		8,399,985,952 kWh/年	$= 937,745,891\text{kWh/年} + 3,545,802,262\text{kWh/年}$
CO2削減効果	電力の排出係数	0.51kg-CO2/kWh	環境省「電気事業者別排出係数(特定排出者の温室効果ガス排出量算定用)ー平成29年度実績ーH30.12.27環境省・経済産業省公表」
	年間CO2削減効果	4,300,793tCO2	
導入台数	想定小形風車の年間発電量	124,830kWh/年	定格出力50kW・寿命20年・設備利用率30%・可動率95%
	風車の導入可能台数	67,291台	$= 8,399,985,952\text{kWh/年} + 124,830\text{kWh/年}$

CO2削減効果一2(計算)

国内潜在市場規模：67,291台(2020年9月試算)

削減原単位：

- 定格発電電力：
50kWh
- 設計寿命： 20年
- 設備利用率： 28.5%
- 年間発電電力量： 24.83kWh/年/台
- 累計発電電力量： 2,496.6kWh/台
- 排出係数 0.51 kgCO₂/kWh
- CO₂削減量： 63.66tCO₂/年
- 累計CO₂削減量： 1273.27tCO₂

○2025年時点の削減効果

- ・ 目標販売価格： 2000万円
- ・ 販売台数： 100台
- ・ 累計販売台数： 230台
- ・ CO₂削減量： 12.73万

tCO₂

- ・ 累積CO₂削減量： 29.29万 tCO₂
- ・ CO₂削減コスト： 15,708円/tCO₂

○2030年時点の削減効果

- ・ 目標販売価格： 1800万円
- ・ 販売台数： 1000台
- ・ 累計販売台数： 2,980台
- ・ CO₂削減量： 127.33万

tCO₂

- ・ 累積CO₂削減量： 379.43万 tCO₂
- ・ CO₂削減コスト： 14,137円/ tCO₂

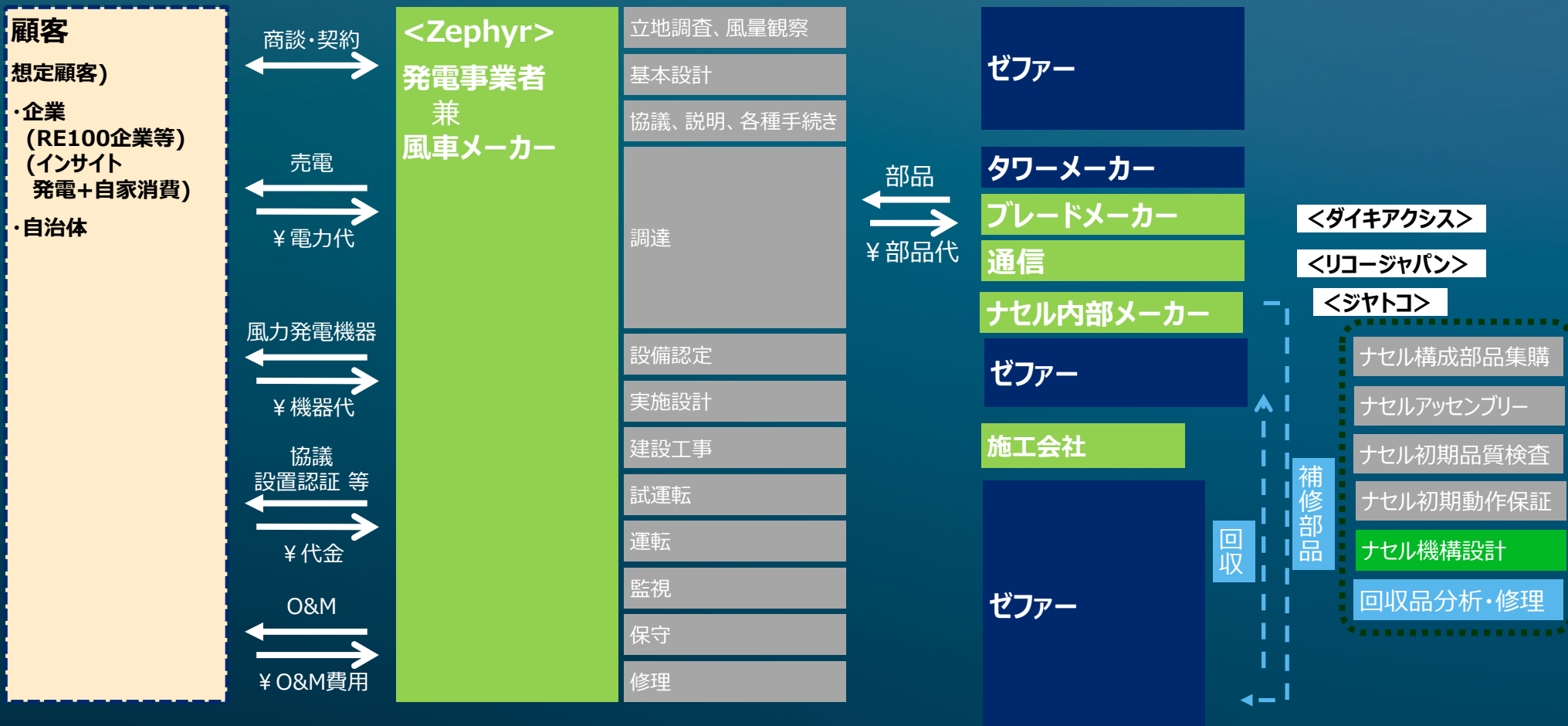
○2050年時点の削減効果

- ・ 目標販売価格： 1600万円
- ・ 販売台数： 5000台
- ・ 累計販売台数： 70,980台
- ・ CO₂削減量： 636.63万

tCO₂

- ・ 累積CO₂削減量： 9,037.64万tCO₂
- ・ CO₂削減コスト： 12,566円/ tCO₂

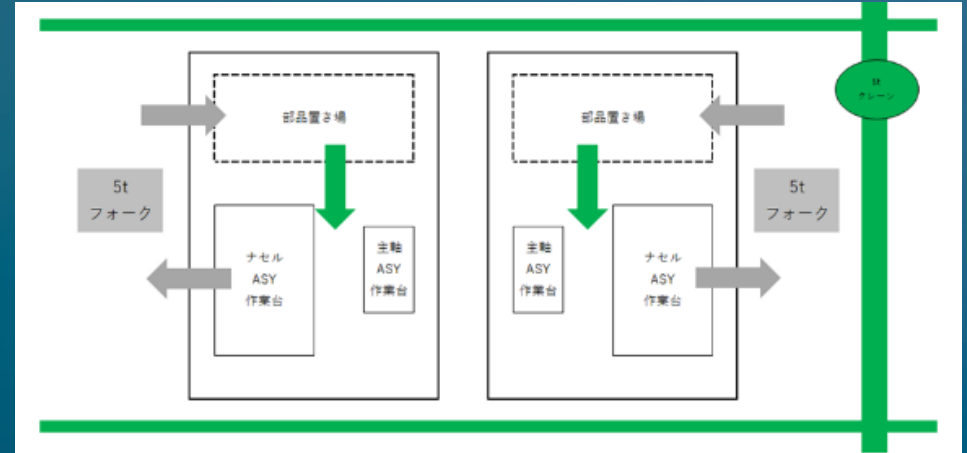
事業終了後の事業化の取り組みー1 (ビジネススキーム)



事業終了後の事業化の取り組みー2(ナセル)

生産準備対応

FY25 50台/年、FY26 100台/年の生産
 パイロット生産 = 実地検証継続
 (コーポレートPPAの為、ナセルはすべてZephyr管理下)
 基本体格は変更しない(細かい改善は織込む)
 蒲原5tクレーンを活用
 (クレーン直下に組立て作業場を配置)
 購入する部品については大きく5つの群に分け管理



部品群	ソーシングカテゴリ	詳細
第一群 (大物)	A(①専用大物)	ナセルベース, 主軸台座, G/Bマウント, ラック類(Inverter用, 冷却器用 etc.), 配電盤
第二群 (Gear Box部品 & 大物BRG)	A(①専用大物) B(②標準部品) B(③専用小物)	Gear, Case, Pipe, 大物BRG, ハーネス類
第三群 (自動車部品)	B? (関係メーカーと協議要)	Motor, Inverter, Brake, 冷却器系, 強電系ハーネス類 etc.
第四群 (一般部品)	B(②標準部品) B(③専用小物)	Bolt, Nut, Bracket, Seal類
第五群 (Zephyr担当分)	Zephyrと協議要	ピッチ機構, ハブ(羽根), ナセルカバー, 風向センサー 他 (別途調整要)



事業終了後の事業化の取り組み—3(通信)

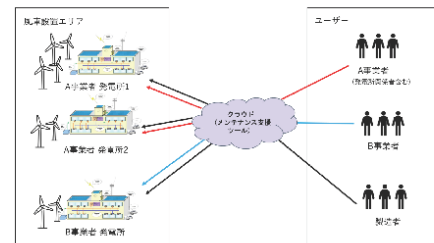
共同実施者であるリコージャパンと引き続き2025年の事業化に向けて通信ユニットの協議を続けている。

クラウドアプリ設定

RICOH
imagine. change

発電機、ユーザー追加に関して必要は作業は以下になります。

1. ユーザー追加 → ゼファー社のみで運用の場合は増減はないが、長期的には外部ユーザー登録が発生する。
2. 権限付与 → ゼファー社のみで運用の場合は増減はないが、長期的には追加ユーザーへの権限付与が発生する。
3. テナント(事業者)追加 → ゼファー社のみで運用の場合は増減はないが、長期的には事業者は顧客ごとにわけておくほうがよいかもしれない。
4. 発電所追加 → 発電所追加の度に発生する。
5. 発電機追加 → 発電機追加時に毎回発生する。



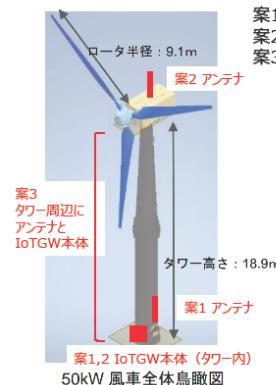
メンテナンス支援ツールは「事業者」の単位で画面の制御をしている。

3

IoTGateway設置案

RICOH
imagine. change

- 案1 アンテナはタワー開口部上部 + IoTGW本体はタワー内
- 案2 アンテナはナセル上 + IoTGW本体はタワー内
- 案3 アンテナ、IoTGW本体共にタワー横



	RJ技術的見解	協議ポイント
案1	アンテナ ・アンテナ長は5mほどになり、メーカー動作検証済みのアンテナ(15kW実績5m)ある。(実現可) IoTGW本体 ・特に技術的な懸念なし(実現可)	・アンテナボックスの調達、取付、維持保守の役割 ・タワーへの取り付け方法(案3共通) 金属ベルト、溶接 etc
案2	アンテナ ・アンテナ長は20mほどになり、対応のアンテナケーブルなし。(実現不可) IoTGW本体 ・特に技術的な懸念なし(実現可)	—
案3	アンテナ、IoTGW本体 ・特に技術的な懸念なし(実現可)	・アンテナボックス、IoTGW本体ボックスの調達、取付、維持保守の役割

3

開発から事業遂行までの課題と解決方法ー1

目的:ステークホルダーの不満の解消と自家消費としての風力発電設備の導入量を増やす

Q1. 誰に、何を、どのように提供するのか？

A1. 消費電力の高い施設(工場等)、電力小売り会社、離島におけるマイクログリッド事業者に風力発電設備における電力をコーポレートPPAを活用して提供

Q2. リターンを考えると、受風面積を広げる必要があるのでは？

A2. IECの規格、そのものを変更する活動をしている

世界的にも分散型電源として風車のニーズは社会情勢の変化に伴い急速に高まっている

Q3. 分散型として自家消費で使用するということは、社会活動している中に風車を導入するという事だが、騒音や安全性は？

A3. 騒音については、実際の動画を後で御覧いただければと思います。

安全性については、規格で定められている荷重だけではなく、日本の自然環境を汲んだ上で設計しているつまり、設計の段階で、どのような等価疲労荷重を見込むのかであり、大型風車でも使われている空力弾性モデル以上の値を使用している

開発から事業遂行までの課題と解決方法ー2

Q4. 中型の風車での事業採算を考えると、精緻なシミュレーションが必要では？

A4. 風況のシミュレーションモデルは、非常に難しく様々なシミュレーションモデルが出ているが実地での観測が最も精緻である。しかしながら、時間と費用がかかるのも事実である。ゼファーは既に国内ではエアドルフィン及びZ9000で膨大な件数の風力発電設備に関わっており、実際に、どの場所でどのくらい発電量があるのかはシミュレーションモデルと実際の発電量を組み合わせて予想することが可能である。

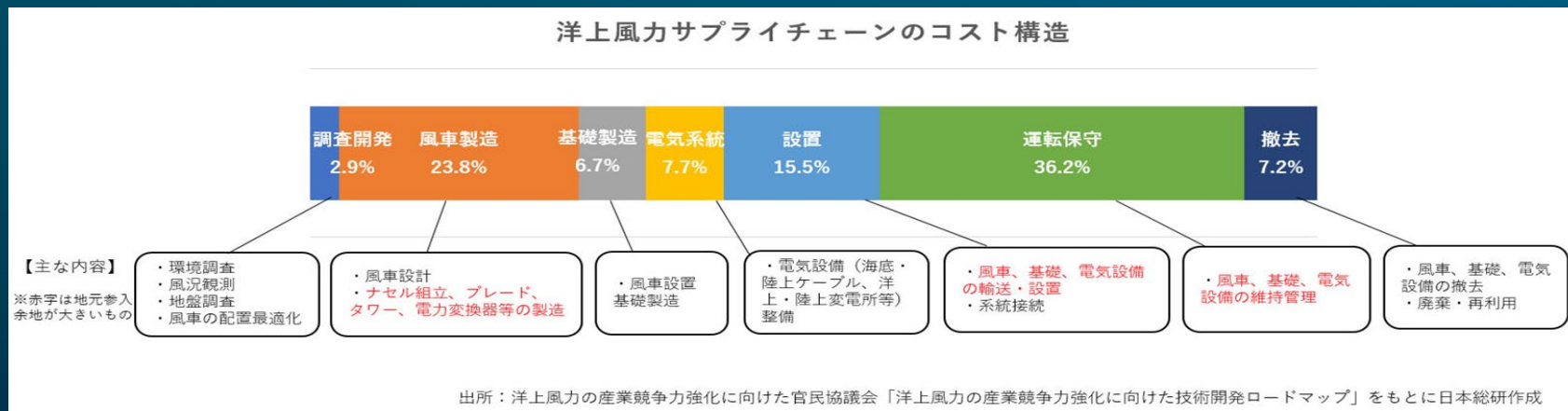
Q5. 風車の稼働率を上げるには？

A5. 風車の稼働率を上げるには、サプライチェーン、人材育成等、多岐に渡る。ゼファーにはフィールドエンジニアリング部に風車に10年以上関わった人材や、プロジェクトマネジメント部にも10年以上関わった人材がいる。それらの人材と外部に協力会社があり、そこに経験や知見が溜まっていく仕組みである。サプライチェーンは、全て国内となっており、無駄な在庫を抱えることもしない。施工には地域の土木、電気工事業者の力を借りる必要があるが、メーカーとして全ての発電設備に関与する事で、初めての風車施工に不安が生じ無いようサポートしている。

開発から事業遂行までの課題と解決方法ー3

Q6. 本当に風力事業で利益を上げることができるのか？

A6. コストに関しては、想定通りに進んでいる。自動車部品の転用が成功したのが大きい。ただ、それだけでは上手くいかない。風車の産業は、洋上風力から抜粋するが、陸上風力も殆ど同じであり、流体、機械、電気、土木等を総合的に繋げる事で安全性と事業性が担保される仕組みである。ゼファーは既に、FITにて各地域に調査、電気施工、土木施工、保守等の体制を構築しており、且つ、住民への意見を最も尊重して事業を進めてきた。これらのステークホルダーが全体として、ワンステージ上の出力の風車を維持管理していくことが成功の唯一の方法と考える。



出所： 日本総研様HPより

発表一1(施工中)



発表一2(運用中)



発表一3(音)



さいごに

戦後、一斉にスタートを切った我が国の産業は高度経済成長期を経て、昭和後期から平成の間に痛みを伴う構造改革の中で事業の効率化を目指した。結果、失われた30年と言われつつも大幅な事業モデルを変える事なしに生き残る事が出来ている。しかしながら、高度に細分化された各産業は、他社や他産業におんぶにだっこの状態を生み出し、丸投げ体質を生み出してしまったのかもしれない。風力産業は、高度化された個々の技術を組み合わせる必要があり、その点、原子力発電所に似ている点がある。重厚長大なメーカーが存在していた時は、そのようなメーカーが各技術の通訳となり、電気、土木、流体、機械等の異なる言語を駆使して指示を出す事が出来た。また、その際の通訳の際には、根底に日本の文化が共有されていた点も無視できない。弊社が実証を経て事業化も目と鼻の先に来ている事で多くの企業の方々からご連絡を頂けておりますが、事業規模が未だ小さい事でご迷惑をお掛けする点多々あると考えます。しかしながら、本成果発表会にて調査～撤去まで一貫して事業をしなければならぬ事をご理解いただけたと考えております。今後も変わらぬご指導のほど、何卒よろしくお願い申し上げます。