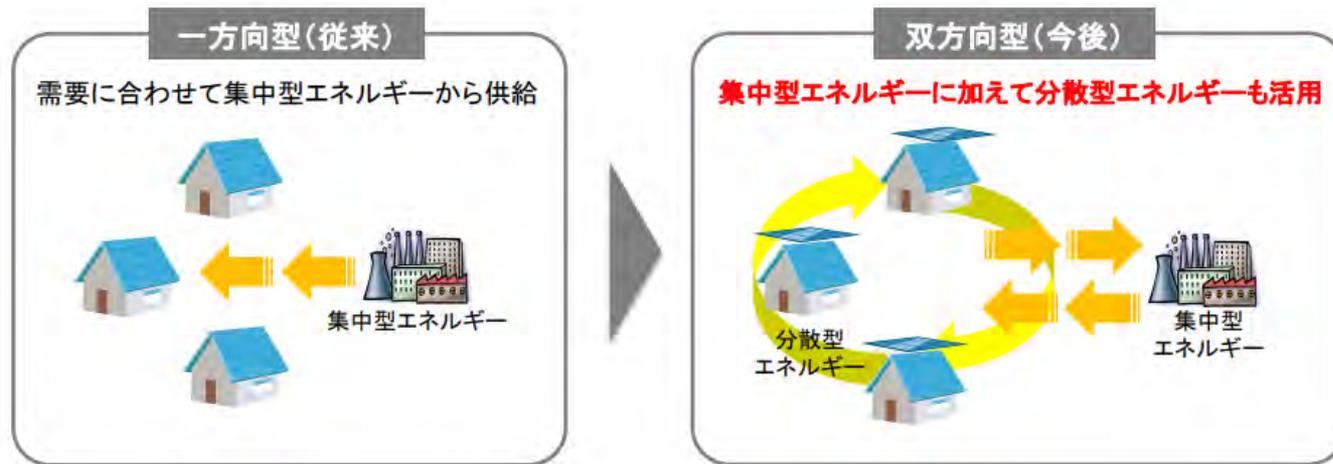


分散型エネルギー社会実現に向けた 中型レンズ風車とそのマルチ化の研究開発



脱炭素ユニット 未来エネルギー社会の再構築グループ
胡 長洪 (応用力学研究所)

分散型エネルギー社会とは？



出典：経済産業省資源エネ庁

分散型エネルギー意義

エネルギー政策の基本的視点 = “3E+S” (※「安全性」は前提)

安定供給	<p>【非常時のエネルギー供給の確保】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 非常時のエネルギー供給の確保につながるなど、エネルギー供給リスクの分散化が可能。 			
経済効率性	<p>【エネルギーの効率的利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 熱の有効活用による高いエネルギー効率の実現や、再生可能エネルギー・未利用エネルギーの有効活用による1次エネルギーの削減、需要地で地産地消することによる送電ロスの低減等により、エネルギーを効率的に活用することが可能。 			
環境適合	<ul style="list-style-type: none"> ● これにより、エネルギーコストの削減や、環境負荷の軽減に貢献することが可能。 			
追加的な意義	<table border="1"> <tbody> <tr> <td> <p>【地域活性化】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 地域資源の有効活用や、地域のエネルギー関連産業の発展等を通じて地域経済の活性化に貢献。 </td> <td> <p>【エネルギー供給への参画】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 需要家自らがエネルギー供給に参画することにより、エネルギー需給構造の柔軟化を実現。 </td> <td> <p>【系統負荷の軽減】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 分散型電源を地産地消で活用することができれば、系統負荷の軽減に貢献。 </td> </tr> </tbody> </table>	<p>【地域活性化】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 地域資源の有効活用や、地域のエネルギー関連産業の発展等を通じて地域経済の活性化に貢献。 	<p>【エネルギー供給への参画】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 需要家自らがエネルギー供給に参画することにより、エネルギー需給構造の柔軟化を実現。 	<p>【系統負荷の軽減】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 分散型電源を地産地消で活用することができれば、系統負荷の軽減に貢献。
<p>【地域活性化】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 地域資源の有効活用や、地域のエネルギー関連産業の発展等を通じて地域経済の活性化に貢献。 	<p>【エネルギー供給への参画】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 需要家自らがエネルギー供給に参画することにより、エネルギー需給構造の柔軟化を実現。 	<p>【系統負荷の軽減】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 分散型電源を地産地消で活用することができれば、系統負荷の軽減に貢献。 		

分散型電源

必要性

- 原発事故とウクライナ戦争による供給不安定 ⇒ 電力の需給バランスが重要となり、災害に強い分散型電源が注目される
- 相次ぐ主力電源（石炭火力、原発）の閉鎖 ⇒ 政策に左右される大規模集中型に投資のリスク大、小規模分散型に投資しやすい

種類

- 化石燃料を利用した設備（ディーゼル・ガスエンジン、ガスタービン、排熱回収など）
⇒ 災害時の非常用電源、総合エネルギー効率高める
- 再生可能エネルギーを利用した設備（太陽光発電、風力発電、小水力発電、バイオマス発電、地熱発電など） ⇒ 資源が枯渇せず、環境にやさしい、発電出力が不安定

課題

- 再エネ発電の出力不安定 ⇒ 高性能再エネ技術開発、再エネ複合利用、蓄電池
- 安定供給のため多種多様な小規模電源の制御が必要 ⇒ ルールの複雑化 ⇒ IoTなどを活用した高度なエネルギーマネジメント技術に期待
- 系統設備の増強が不可欠 ⇒ ネットワークコスト大 ⇒ 技術イノベーション、次世代蓄電池技術

再生可能エネルギーを利用した分散型電源

再生可能エネルギー導入の二つの方向性

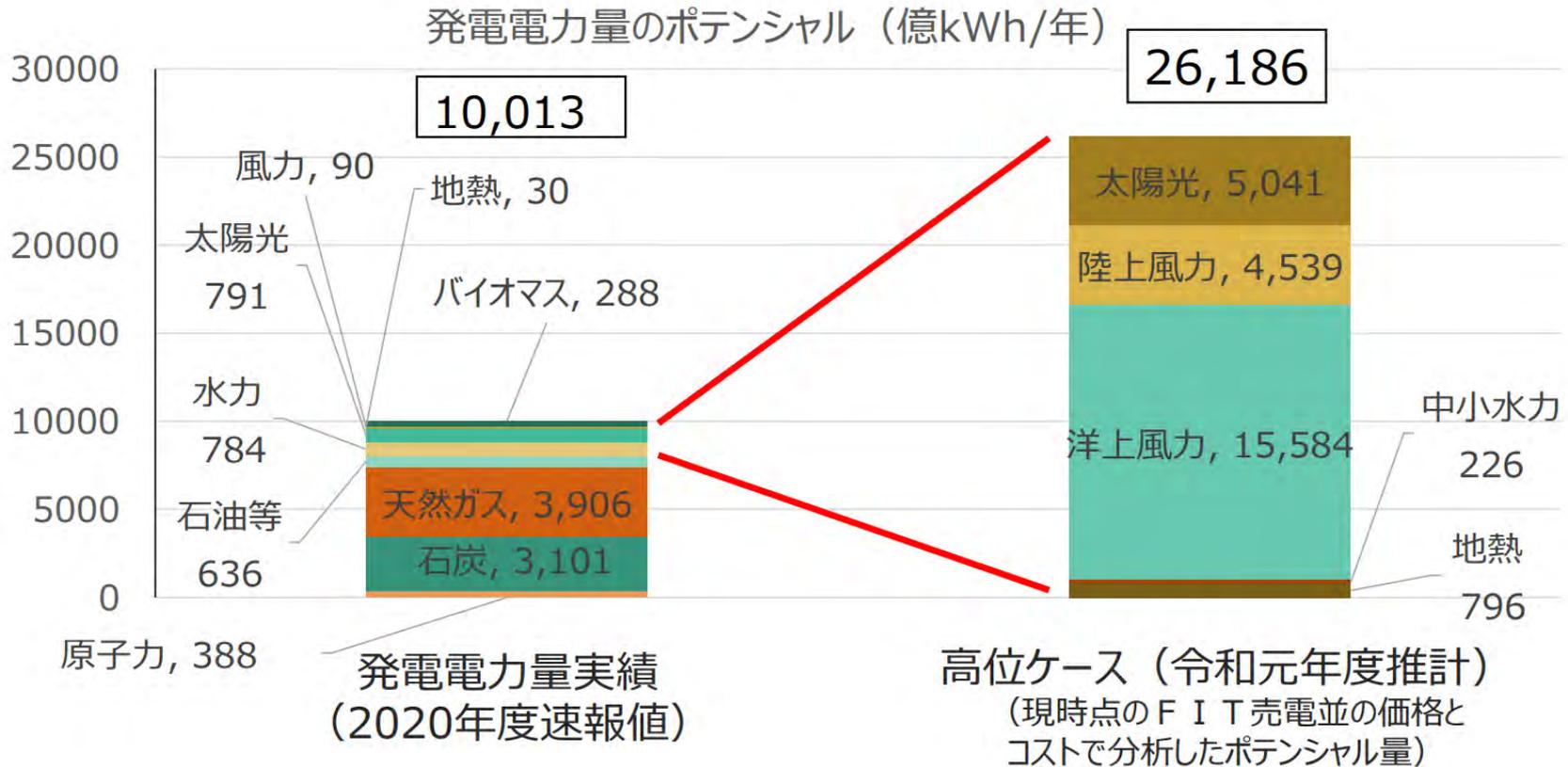
① 大規模集中型電源：超大型風車による大規模風力ファーム、メガソーラーなど

- 電力会社・再エネ事業者が、巨大な発電所を洋上或いは陸上過疎地に建設し、系統連結して都市部に大量送電を行う
- 日本は建設できる適地が限られている
- 日本の再エネ事業者が系統接続に苦労している

② 地産地消目的の分散型電源：中小規模風力、太陽光

- 日本に建設適地が多い、地元調整が相対的に容易
- オフグリッド利用可能
- 日本の離島、発展途上国など、一定の市場がある
- 関連する周辺技術の進歩（スマートグリッド、蓄電池等）

再生可能エネルギーの主力は風力



出典：環境省

- 風力は太陽光の4倍以上
- 超大型風車開発について国内メーカーは撤退している
- 日本特有の過酷な風況及び社会環境に対し、海外製洋上風車の導入が進んでいる

日本に小型・中型風力の普及が必要な理由

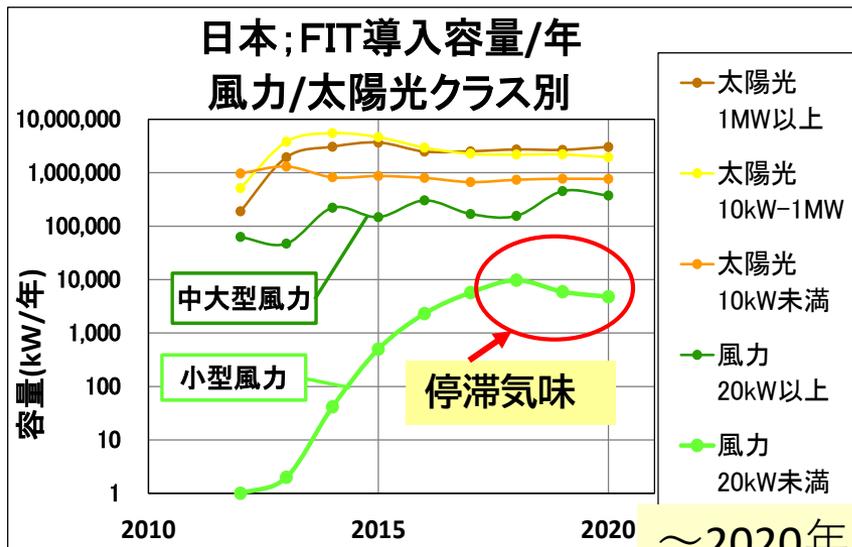
- 風力のポテンシャルはずば抜けている。**風力は圧倒的に賦存量が大きい**
(環境省 平成22年度調査資料)
- 再生エネ社会への大転換 ⇒ 日本でも、風力を大型から小型まで、**集中型電源のみならず分散型電源**としての利用が必要。
- **独立電源、非常用電源としての価値大** ⇒ **レジリエンスの強化**
- 大型と違って環境アセスが不要。ただ、地域周辺の人々への説明は必要
- **小さな投資で導入可能**。漁村、漁港、津々浦々の海岸部や、山間部集落、農場、牧場などの山あいでは小規模な設備投資 ⇒ 10億円以下の**ローカルファイナンス**で可能
- 複雑な山間地域でも**導入が簡単**。アクセスしやすい。運用開始期間が短い。メンテナンスがほとんど不要。
- PVパネルのように**場所を取らない**。比較的狭い基礎エリア。ただし、周囲は開けて。
- 信頼性の高い小型風車 ⇒ **年間平均風速が5m/sの地域で**
(日本の海岸線沿い、山間部は広範囲に広がっている好風況エリア)
設備利用率15%以上、太陽光同等か以上の自然エネルギー取得が可能

小型・中型風力の課題

小型(世界:100kW以下) 中型(100kW-1MW程度)

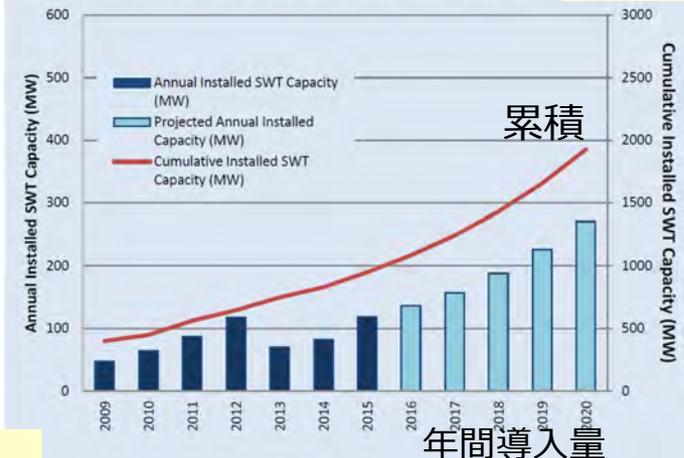
【過去からの課題】

- FIT (小型風力) 55円/kWh ⇒ 日本に海外製風車が大量導入 99%が海外製
- 日本の環境に合わず、風の乱れで故障しやすいというデータ
- 風車の空力騒音で周辺住民に迷惑かける ⇒ 市町村が設置条例を策定
- 風況を考えず安易に導入 ⇒ 期待値が得られず、社会受容性が低い
- FITから小型風力部門が撤廃。55円から20円以下へ ⇒ 大幅な市場縮小



SWT Installed Capacity World Market Forecast 2009 - 2020

世界



しかし現在、SDGsの概念普及、RE100企業、脱炭素先行地域など、風力の追い風が小型・中型まで波及、導入検討は増えている

九州大学の風力研究開発

九州大学は、画期的技術シーズの芽を有し、独自の風車技術／浮体技術(ハード面)と風況解析技術／流体構造解析技術(ソフト面)の両面を兼ね備え、風車開発ができる国内唯一の大学である。

ハードウェア開発

日本・アジアの風況・環境に適合した風車等の研究開発により洋上風力発電のイノベーションに貢献する

世界最高の発電効率の風車



レンズ風車



マルチローター風車

- 文部科学大臣賞(2008年)
- 環境大臣賞(2013年)

*国際誌 Renewable and Sustainable Energy Review (2020) 30名著者による風力に関する世界最先端技術サーベイ → **レンズ風車は最高発電効率の風車と紹介**

中型レンズ風車の開発と実用化(取組み中)

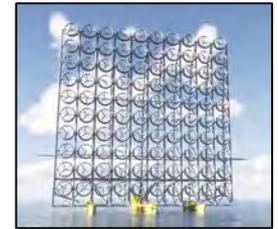
- 開発課題:集風レンズ付き風車の中型200kW機とそのマルチローターシステムの開発
- 実施機関:リアムウインドウ(九大発ベンチャー)、九州大学、三井E&Sマシナリー等
- 事業期間:2022~2024年度

環境省地域共創・セクター横断型/カーボンニュートラル技術・開発実証事業



中型マルチレンズ風車 (200kW×2)

大型洋上浮体式システム(構想)

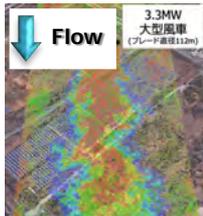


超大型浮体式マルチレンズ風車のイメージ(200kW×100機)

ソフトウェア開発

オープンソースのソフトウェア群の整備により洋上風力の国際研究中核拠点を形成する

風車気象予測ソフト



九大応力研開発の数値風況予測ソフトRIAM-COMPACT、国内の風力産業界に広く応用、オープンソース化計画中

2010年文部科学省若手科学者賞、2023年度NEDO先導研究プログラム採択

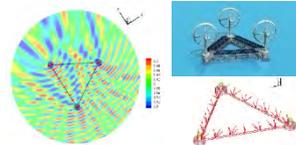
浮体動揺・荷重解析ソフト



九大工学研究院開発の浮体動揺・荷重解析のソフト、五島に設置された2MWスーパー型風車設計に応用、オープンソース化計画中

平成26年度産学官連携功労者表彰 環境大臣賞

海洋構造物流体構造解析ソフト



HAMS (Hydrodynamic Analysis of Marine Structures)は、九大応力研開発の波と浮体相互作用のオープンソースのソフトで、現在NREL(米国)と連携して世界中ユーザー数が増加中

Best Paper Award in AWTEC 2018

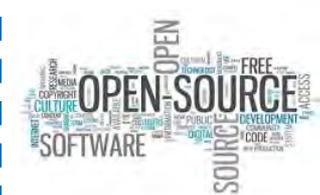
流体解析 CFDソフト

構造解析 ソフト

制御システム解析ソフト

...

風車と浮体設計のソフトウェアの集約・オープン化(構想)



洋上風力に係る国際学術ネットワーク及び産学官連携コンソーシアムの活動を通じて、風車と浮体設計のソフトウェアの集約及びオープンソース化を図る。

九州大学のビジョン、脱炭素社会実現に向けた取組み

Kyushu University

VISION 2030

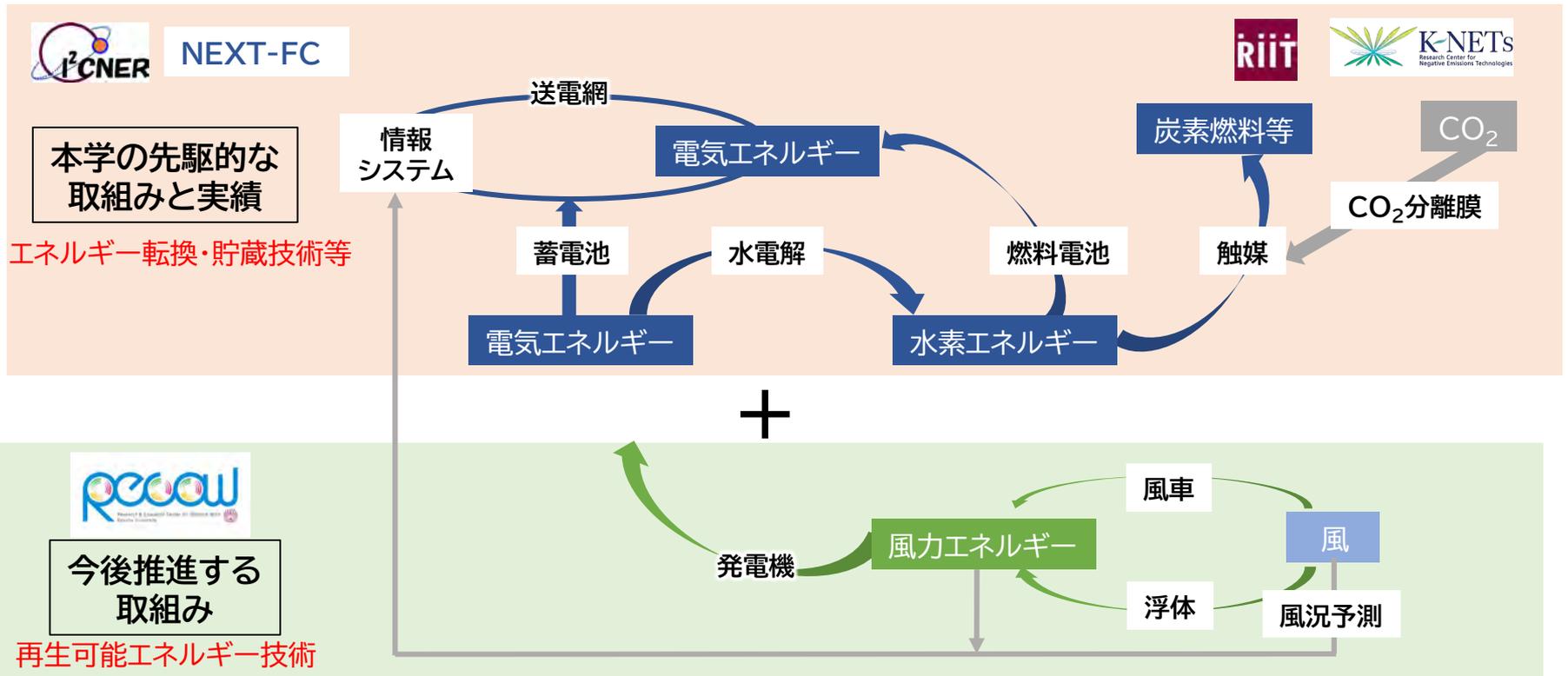


“カーボンリサイクルによる炭素循環・水素循環を可能にするエネルギーシステムやインフラ技術の確立、洋上風力発電をはじめとする風力エネルギー技術の革新を図る。”

→2022年4月に世界最高水準の洋上風力関連研究・教育の拠点として「**洋上風力研究教育センター(RECOW)**」を設置。また、同年8月に「**洋上風力産学官連携コンソーシアム**」設立。



カーボンニュートラルやWPI等の実績をベースに洋上風力をはじめとする再生可能エネルギー研究を推進し、脱炭素化の取組みが進む九州・福岡地域をはじめ我が国、世界の産学官と連携を図る。



脱炭素社会に向けた非連続のイノベーションを実現する革新技术と社会像を提案

九州大学が考えている洋上風力先端技術が導く未来社会デザイン¹⁰



風車技術及び浮体技術

レンズ風車及びマルチレンズ風車技術

風況解析技術及び先進流体解析技術

主要な洋上風力先端技術



デザイン思考と先端技術に基づく未来社会デザイン

脱炭素エネルギー社会の実現

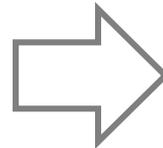
全国各地の都市部及び一般海域

地域分散型エネルギーシステムの構築(ステップ I)

地産地消型独立電源(MW級)



小型・中型風車でノウハウ等を蓄積



部品の量産効果による発電コスト低減

再エネ海域利用法指定エリア

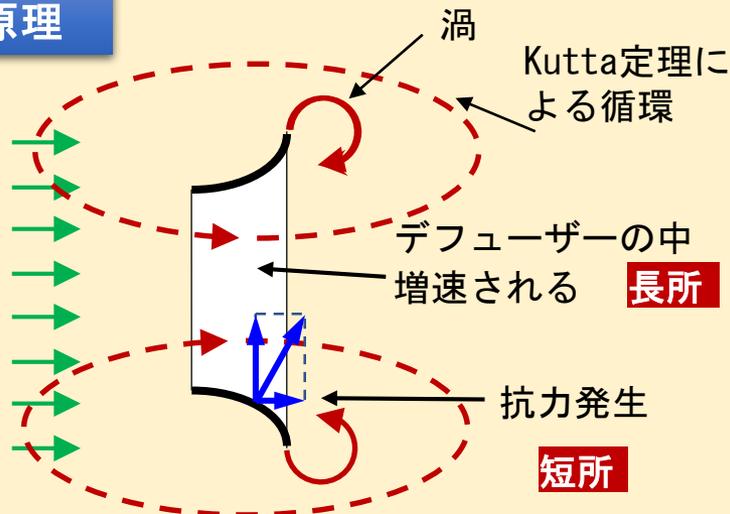
洋上風力による主力電源化(ステップ II)

超大型風車によるウィンドファーム(GW級)





原理



- 開発者：大屋裕二
- 文部科学大臣賞(2008)
- 環境大臣賞(2013)

長所:

- 従来風車より2～3倍の高出力
- **静かな風車**
- 避雷針で雷害を防ぐ
- バードストライクフリー
- 景観性がよい

短所と対策:

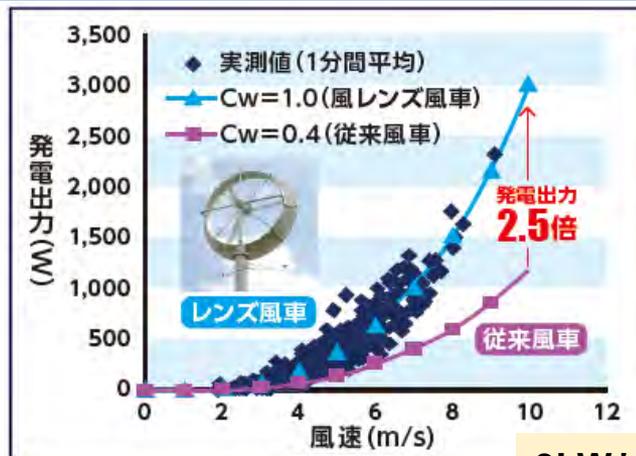
- 風荷重が大きい
 - レンズ構造改良
- 大型化困難
 - クラスタ化により大型化

レンズ風車の長所

Point
01

流入風速の増加による高い発電効率
低風速でも発電できる

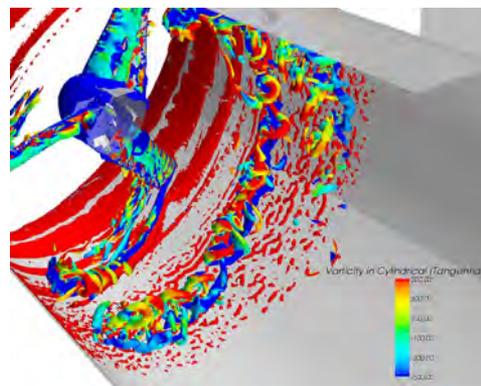
→ 同じロータ径の風車と比べて2～3倍の発電量

Point
02

翼端渦により発生する騒音の低減

→ 3kW機の騒音計測では風速5～14m/s、
風車近くで音圧レベル55dB以下を記録

風車を取り巻く
環境問題をほぼ解決



3kWレンズ風車
野外試験

CFD解析結果

Point
03

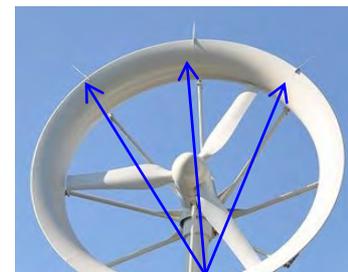
景観性が高く「バードストライク」も起きにくい

→ 周りの風景に溶け込みやすい
→ ディフューザ（輪っか）は鳥の目にも見える

鳥の休憩場所



バードストライク軽減



雷害軽減（避雷針を
輪へ、直接アース）

レンズ風車のマルチ化 ⇒ マルチレンズ風車

ディフューザ+マルチロータの相乗効果

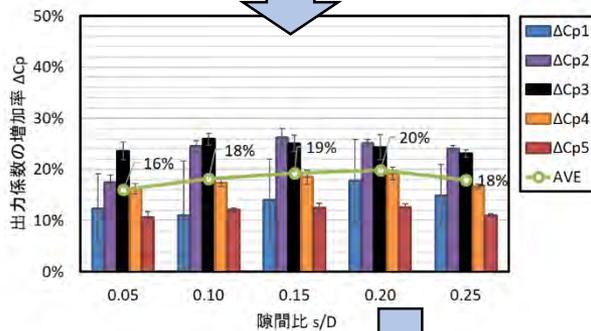
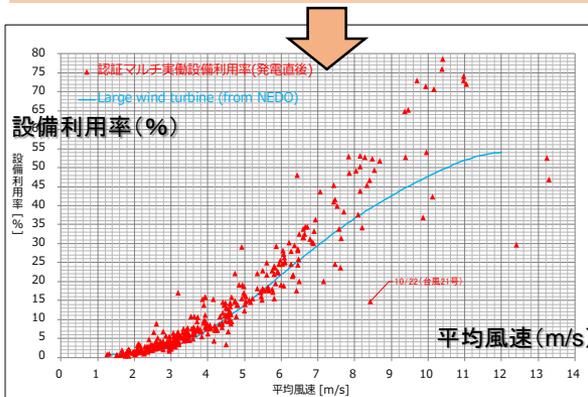
3輪マルチ全体出力が10%増加



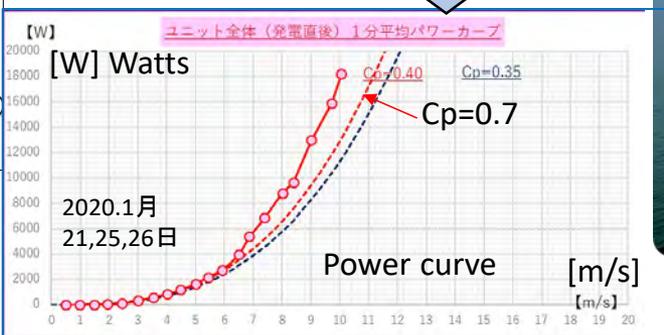
7輪マルチ風洞試験



3ユニットの10kWマルチレンズ風車 (2019.6月 型式認証取得)



5輪マルチ風車 (NEDO事業で開発 2020年初号機設置)



高効率な発電性能 (Cp=0.75: ロータ基準) & 静音化



レンズ風車現在の技術

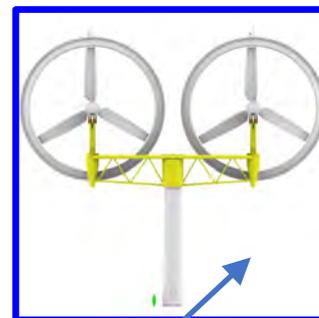
- レンズ風車 (WLT)
- マルチWLT (M-WLT、10kW-20kW)

中型レンズ風車開発



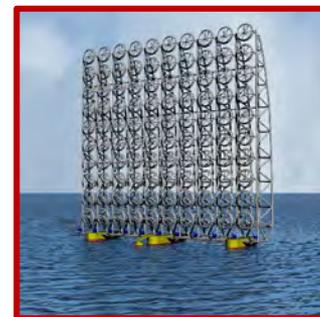
- 200kWレンズ風車の開発と実用化
- 環境省PJT
- 新技術採用
- マルチの基本ユニットに
- 低コスト、高信頼性
- R5年度完成、商業化普及へ

中型レンズ風車のマルチ化開発



主に分散型電源用

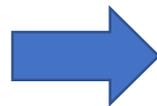
洋上へ、超大型システム



小型レンズ風車から中型レンズ風車の開発へ、そのマルチ化により必要容量の発電設備になり、分散型電源のみならず、超大型洋上風車開発により主力電源としても視野に

中型レンズ風車の開発で分散型エネルギー社会の実現へ貢献

- 200kWレンズ風車を基本ユニットとして、必要に見合った適切な規模の風車システムになる。
3基、5基、7基・・・100基構成 ⇒ 分散型電源として利用しやすい
- ローカルなファイナンスで事業化可能 ⇒ 地方での分散型エネルギー社会実現へ貢献
- 大型風車超大型風車では現時点世界の技術に追いつけない ⇒ しかし、中型風車は可能
- それを多数集めれば大容量化ができる ⇒ 九大のRECOWの20MW構想など



200kWユニット機

目標性能

- ・ 200kW at 11m/s
- ・ $C_p=0.7$ 以上 (パワー係数、ロータ径基準)
- ・ $C_d^*=0.5$ 以下 (抵抗係数、レンズ径基準)
- ・ パッシブヨー、翼可変ピッチなどの機構
- ・ 極値風速59.5m/s (ClassII)の耐風性
- ・ 設備利用率： 大型風車以上を目指す

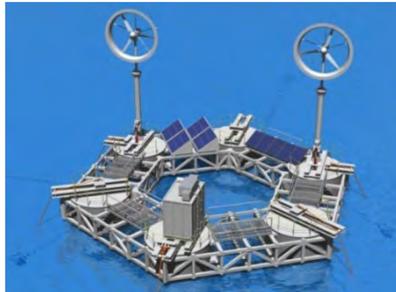


1MWマルチレンズ風車のイメージ

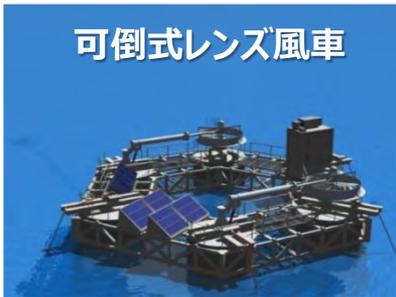
レンズ風車の洋上展開 第1ステージ：小型FS実証機

博多湾に設置された洋上風力発電浮体（3 kWレンズ風車使用）

環境省プロジェクト地球温暖化対策事業（2010-2012）



可倒式レンズ風車



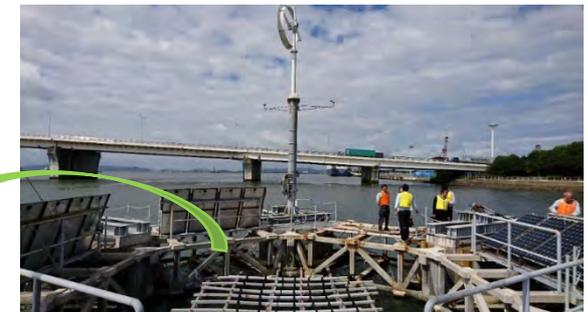
2011年12月4日博多湾に設置



漁礁： レンズ風車の音・振動は
静か⇒魚に優しいことを実証

漁業協調

- 3 kWレンズ風車2基+2kW太陽光パネルをベースとした世界初の浮体式洋上エネルギー複合利用施設
- コンクリート製浮体、直径18m、排水量140ton
- 700m沖海上風車と海岸風車を比較 ⇒ 海上の総発電量は2倍
- 10年経過した今、牡蠣の養殖に使用



第2ステージ：漁業協調分散型電源としての中規模システム

漁業協調型Floating Offshore Wind Turbine (FOWT)開発

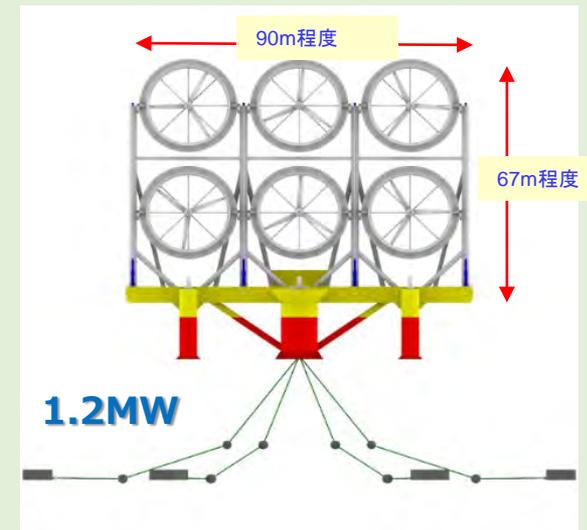
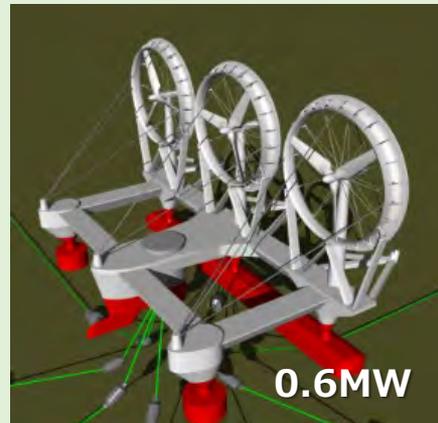


- 地方・離島に電源供給する地域分散型電源
- 地産地消の電気供給消費システム
- 中小造船所で安価な建造・設置方式
- 漁業協調(一つの地先、一漁業組合と)

- 複合エネルギー利用(風力+太陽光=1MW)
- 1基の浮体に3基の200kWレンズ風車
- カテナリー係留のセミサブ浮体(水深40m~100m)
- 浮体をハブとする浮沈式養殖生簀を設置

200kWレンズ風車の洋上展開計画

- 1基の浮体に3基-6基レンズ風車(200kW)並列Array
- レンズ風車クラスタ
- 台風時:風車を横に倒す
- 太陽光パネル設置可能
- 浮体は一点係留



九州大学洋上風力研究開発ロードマップ

社会実装

基礎研究

大学主導の基盤技術の研究開発

産学官連携で取組む開発・実証



2MWスパーク型風車



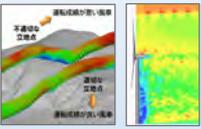
一点係留2枚翼風車



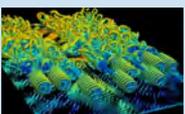
小型クラスタ風車



小型浮体式レンズ風車



風車ウェイク予測 (リアムコンパクト)



先進流体解析技術

洋上風況計測技術: TLP型洋上風況観測塔

低コスト支持構造技術

風車及びそのクラスタ化

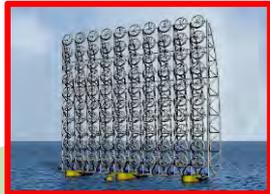
風車の高品質大量生産技術

風車部品高度化と低コスト化技術

風車仕様の最適化技術



超大型浮体式風車関連技術



超大型浮体式クラスタレンズ風車

洋上風力の主力電源化

脱炭素未来社会

地域分散型エネルギーシステム社会の構築

開発中



風車開発: 中型レンズ風車(200kW)



高層ビルの風力タービン



浮体式独立電源



漁業協調洋上風力発電システム

風車と浮体の連成解析手法

洋上風況予測: 次世代CFD技術

浮体搭載風車の最適設計技術

洋上風況予測: 洋上版リアムコンパクト

低風速・台風・落雷等の気象条件への適応技術

洋上風力エネルギーマネジメント技術

エネルギー貯蔵: 洋上水素生成技術



洋上風力ファームリアルタイム発電予測システム

- 大気物理・海洋物理・流体力学を融合した風力エネルギー科学の研究
- 大規模洋上ウインドファーム普及へ社会学・経済学的研究

過去～現在 (九大保有の先端技術)

5年後

10年後

15年後

まとめ

- 地球環境保全のため、脱炭素社会実現 ⇒ 再エネの拡大が望まれる
- 分散型再エネ電源は未来エネルギー社会の一翼を担う期待
- 日本の再エネのポテンシャルは地方ほど多い、特に風力が大きい
- 近年風力発電のコストは急激に低下
- 地産地消目的の分散型電源の導入は地域にプラス、災害時の電力供給も
- 分散型電源として小型・中型風力発電に期待
- 特に、風に恵まれた地方、離島、山間部での小型・中型風力利用が拡大中
- レンズ風車は高効率で社会受容性も良く、分散型電源として期待
- 九州大学は中型レンズ風車を開発により、そのマルチ化で必要に見合った適切な規模の風車システムが構成でき、分散型エネルギー社会の実現へ貢献する。