

プラチナチャレンジング賞

ゲームチェンジャーとなり得る風力発電機構

～洋上風力クライシスからの脱却～

日本型風力発電の創造

イマデスト株式会社
株式会社ライジングサン

杉谷伸芳
小崎恭壽男

次世代型：日本型風力発電とは何か？



日本の風力発電

累計：6GW弱
664MW/年

1 : 1000

次世代型風力発電のコンセプト

- ・小さくて軽い
- ・安い：お得感
- ・壊れない
- ・燃費がいい（高効率）
- ・大量（ライン）生産可能

日本車のイメージ

世界は交流→直流



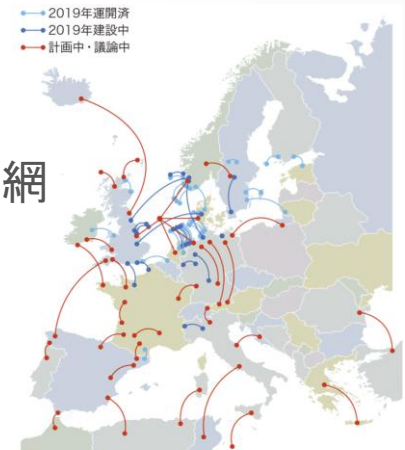
140年前
Tesla Vs Edison
交流○ 直流



インフラ

HVDC

自励式
高圧直流送電網



トヨタHEV：460万台/年
 $460万 \times 100KW = 462GW$

HEVの技術：何十兆円の投資

頂いちゃいます
日本には解決できる技術がある

20%のアイデア（分配&増速 ネジ状機構）
80%の既存技術（HEVの流用と革新）

風力発電を支配する3つの物理法則

1. トルク・機構重量 $\propto MW^{1.5}$

(風力発電だけの特殊な法則：通常プラントは0.7程度)

この法則は風力関係者の中では広く知られていた。

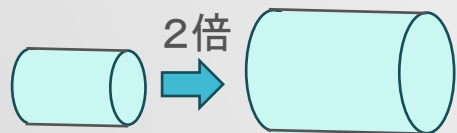
出力UP＝ブレードの径UP→回転数↓ (先端速度＝一定)

回転の低下分 ($1/\sqrt{\quad}$) を補う為に、トルク増加 $\uparrow\sqrt{\quad}$

出力を2倍 \uparrow →トルク 2倍 $\cdot\sqrt{\quad}$ $=2^{1.5}$

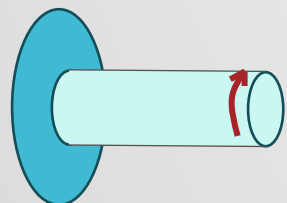
2倍＝2.83倍
2MW→20MW：31.6倍

2. 重量 \propto トルク

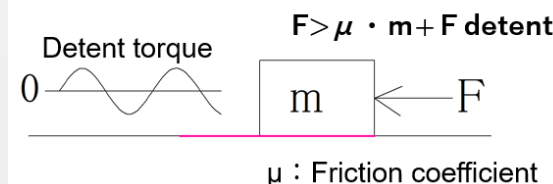


剪断応力：径の3乗で大きくなる(強くなる)
 $=2^3$ は8倍強くなるが相似形では重量も8倍
重量・体格はトルクに比例

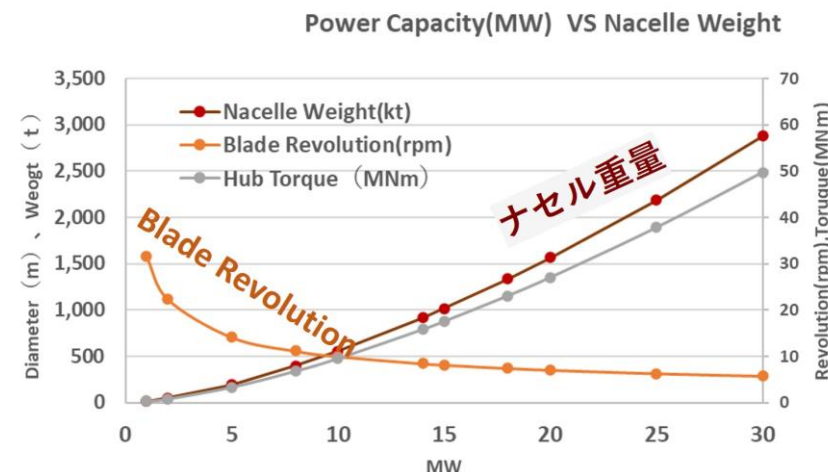
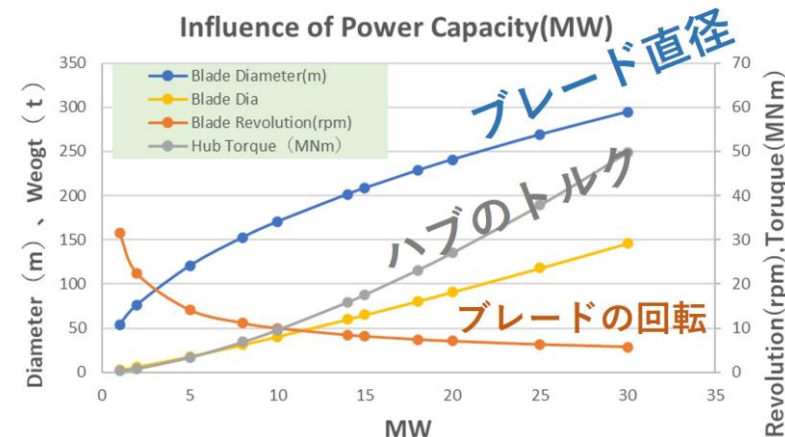
3. 慣性モーメント (イナーシャ) \propto ギア比²



ねじり応力は反力



イナーシャが大きいと風の変動がねじり応力として発生
＝故障 (スミアリング、増速機) 誘発、微風で動かない



増速すると変動は増幅される
久保愛三先生の名言 (実測)

一定回転への風の変動分 (風) は増速しても小さくはない

3つの法則は何をもたらしたか？

増速型



大型では衰退

イナーシャ増加
→故障率増加
→メンテナンス費用増加

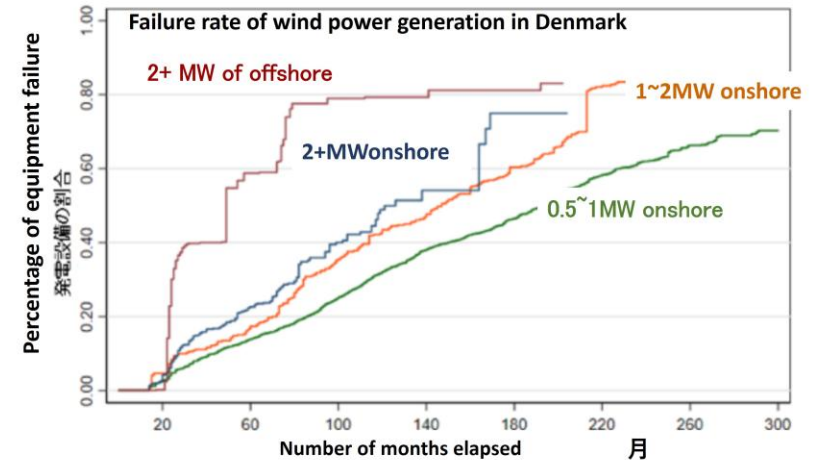
壊れるのは当然

物理法則を無視した増速型は、必ず故障が多発する
→メンテナンスと名の故障修理に追われる

当然の結末

→国内メーカー撤退→風力発電は禁句となる
→海外メーカーの下請け化

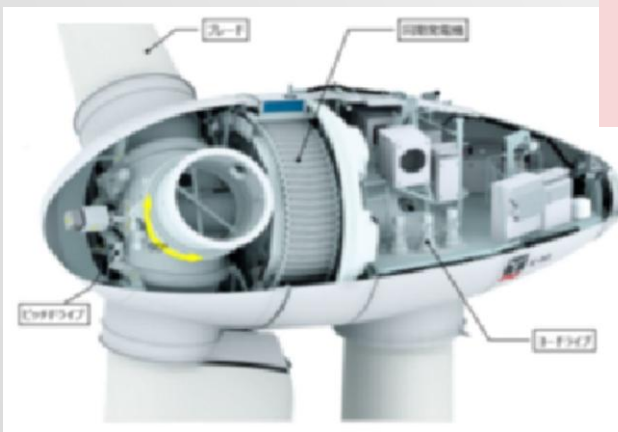
デンマークにおける故障率（ベスト？）



自動車の1万倍の故障率

ダイレクト式

大型風力の主力（洋上風力の90%）

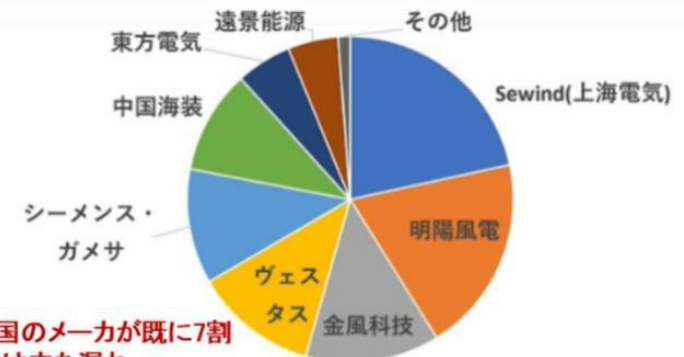


大型化：磁石使用量増大
→重量、コスト増大

中国の寡占状態
→独占

当然の帰結
洋上風力クライシス

世界の洋上風力発電設備メーカーシェア



中国のメーカーが既に7割
GEは立ち遅れ
Vestas以外はダイレクト式
BIG3 (GE、Siemens、Vestas) 苦戦

注：2021年のシェア

出典：世界風力エネルギー協議会

唯一の解決策＝主軸レス分配&増速方式

従来型1：主軸+増速方式（増速比 ≥ 100 ）

増速

イナーシャ： $100^2=10,000$



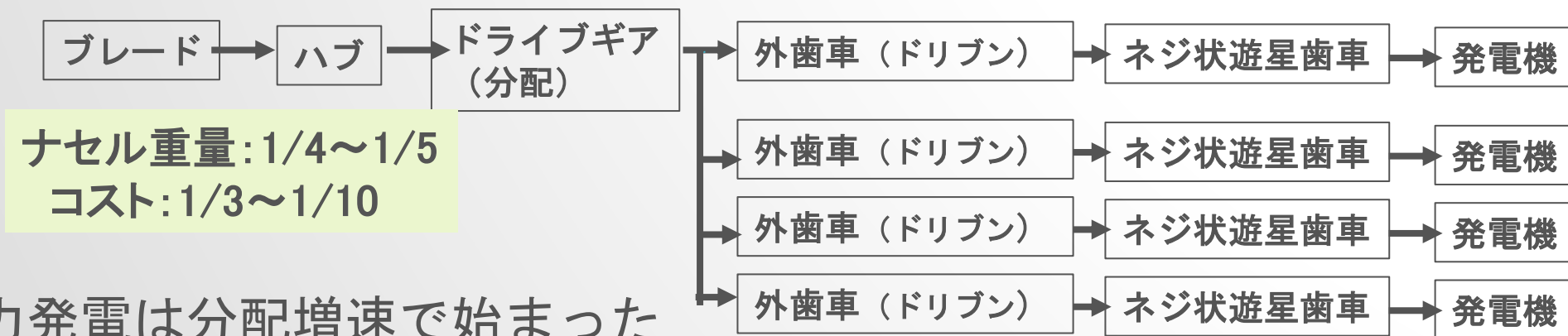
従来型2：増速機なし：ダイレクト式



分配&増速：分配4&増速6→1段遊星増速（増速比4）

分配（4分配）&増速6倍:トルク $=1/24 \cdot$ 増速4 $=1/96$

イナーシャ： $24^2 \cdot 4=2300$



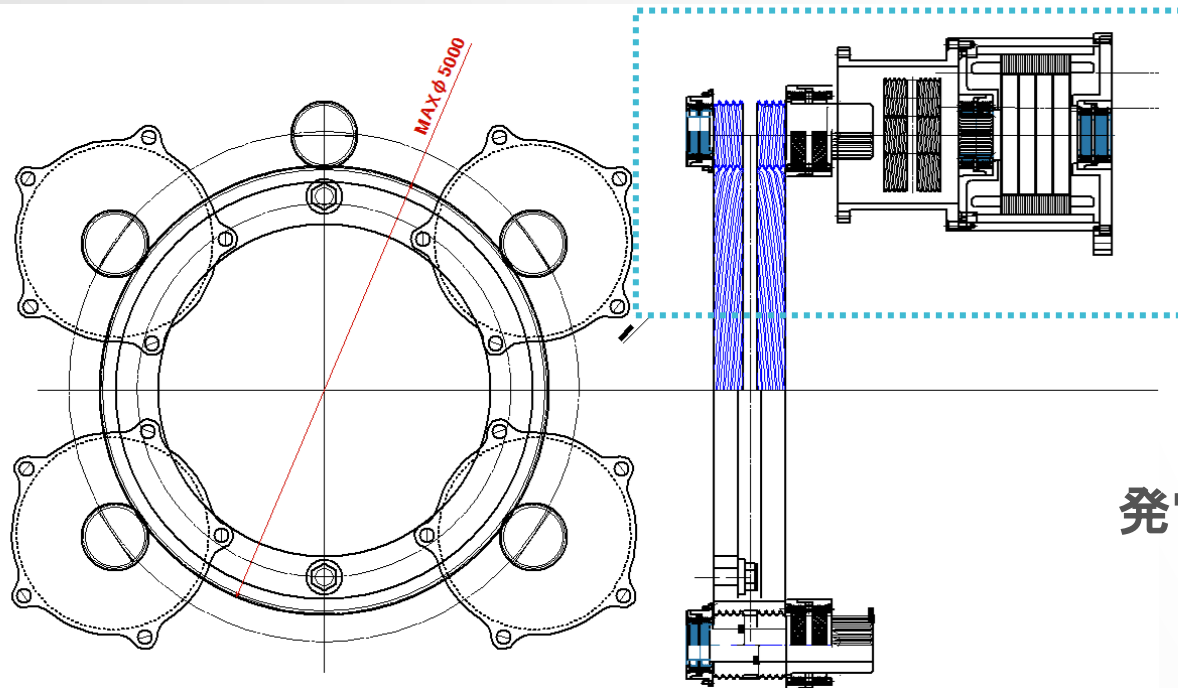
風力発電は分配増速で始まった

違い: 主軸レス+直流発電

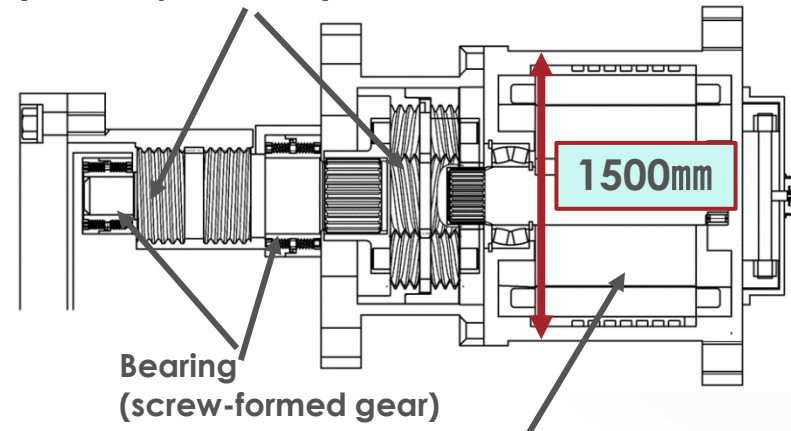
2022. 5分配方式を発案 → 22. 3. 08国内特許成立→23. 8国際出願→25. 2各国移行

概略

機構は最後には一つに収斂する（機構学的優位性、経済合理性）



high efficiency screw-formed gear
(Planetary Gear etc)



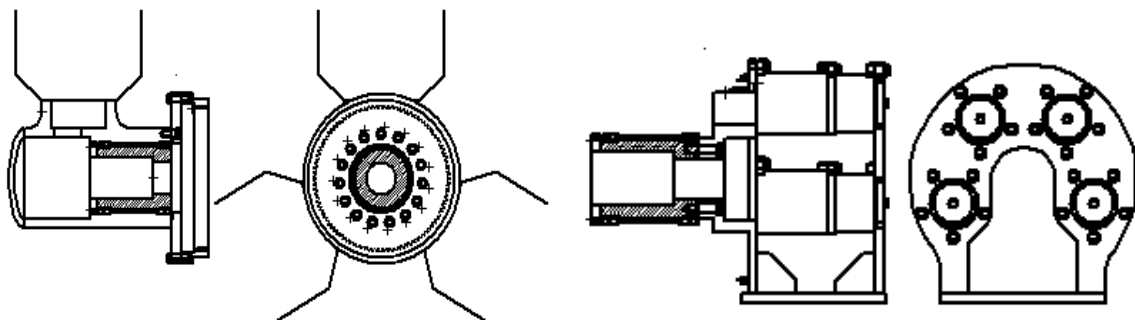
発電機・コンバータ

Generator with Converter

ダイレクト式の発電機のロータの代わりにリングギア

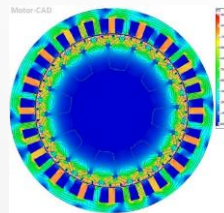
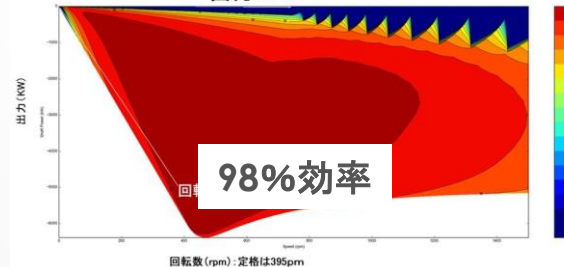
回転部

固定部



IPM発電機（プリウス型の革新）

出力MAP



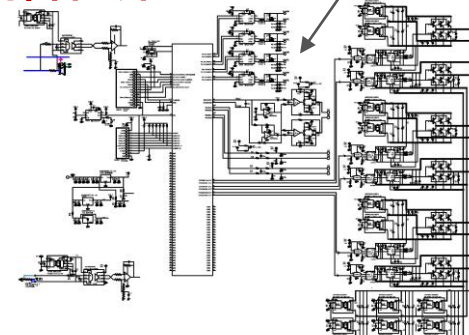
- ・ 低回転
- ・ 高トルク
- ・ 高効率

駆動回路（SIC）：鉄道・EV



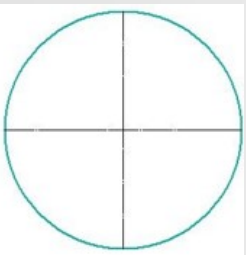
項目	仕様	備考
1. 基本仕様	1.1 定格電圧: 650V	1.2 定格電流: 10A
2. 性能仕様	2.1 最大出力: 100W	2.2 最大効率: 98%
3. 構造仕様	3.1 外形寸法: 50mm x 20mm x 10mm	3.2 重量: 10g
4. 使用条件	4.1 使用温度: -40℃ ~ 150℃	4.2 湿度: 5% ~ 95%
5. 保証	5.1 保証期間: 1年	5.2 保証内容: 材料・加工不良

制御回路は手のひらサイズ



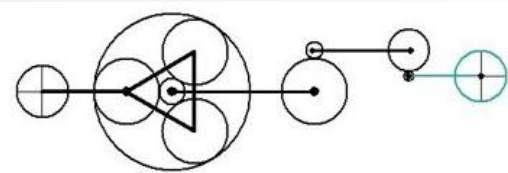
各方式のサイズと重量イメージ

Direct type

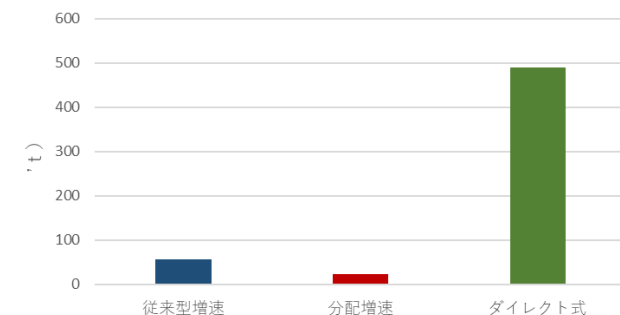


Number of distribution	----	
Distribution ratio	----	
Increasing ratio	1/1	
Torque:	1/1	
Generator speed	7	
Generator Efficiency	90	%
Total Gear Efficiency	90	%

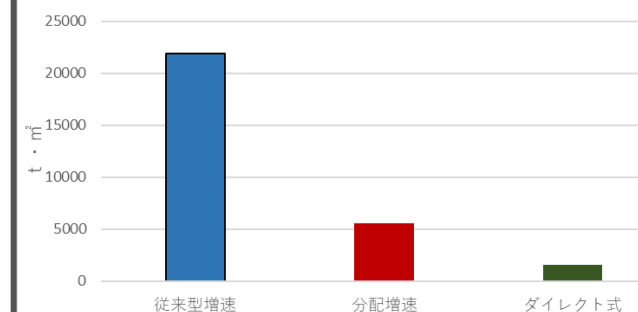
Number of distribution	--	
Distribution ratio	--	
Planetary speed increase ratio	6	
1th-step Parallel	4	
2th-step Parallel	4	
Increasing ratio	96	$5 \times 8 = 40$
Torque:	1/96	$1/(6 \times 8 \times 5)$
Generator speed	$\div 7 \times 96 = 672$	
Generator Efficiency	0.98	$95 \cdot 95 \cdot 95$
Total Gear Efficiency	$> 86\%$	$95 \cdot 95 \cdot 95$
Total Gear Efficiency	$> 84\%$	%



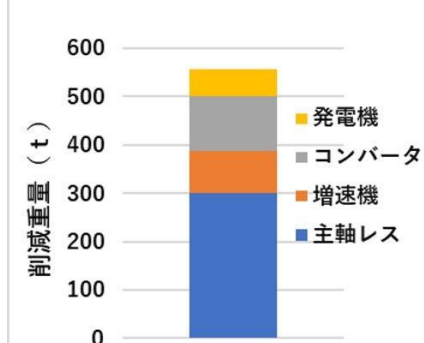
機構重量 (増速機+発電機)



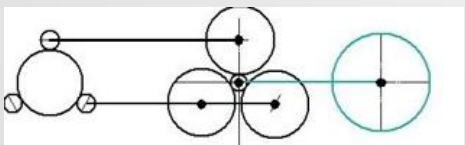
イナーシャ



削減量 (従来増速-△t)

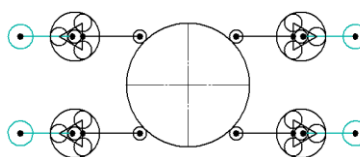


Semi-Direct type



Number of distribution	---	
1th-step Parallel	3.5	
2th-step Parallel	4	
Increasing ratio	14	$5 \times 8 = 40$
Torque:	1/14	$1/(6 \times 8 \times 5)$
Generator speed	$\div 7 \times 40 = 280 \text{ rpm}$	
Generator Efficiency	96	%
Total Gear Efficiency	> 90	%
Total Gear Efficiency	> 87	%

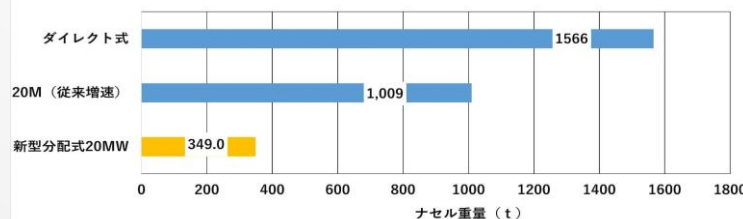
Distributed & Increased Speed type



Number of distribution	4	
Distribution Increases ratio	6	
Planetary speed increase ratio	5	
Increasing ratio	30	$5 \times 8 = 40$
Torque:	1/120	$1/(6 \times 4 \times 5)$
Generator speed	$\div 7 \times 40 = 210 \text{ rpm}$	
Generator Efficiency	$\div 98$	%
Total Gear Efficiency	> 93	%
Total Gear Efficiency	> 91	%

ライン生産可能
安価+大量生産

20MWナセル重量(設計値)

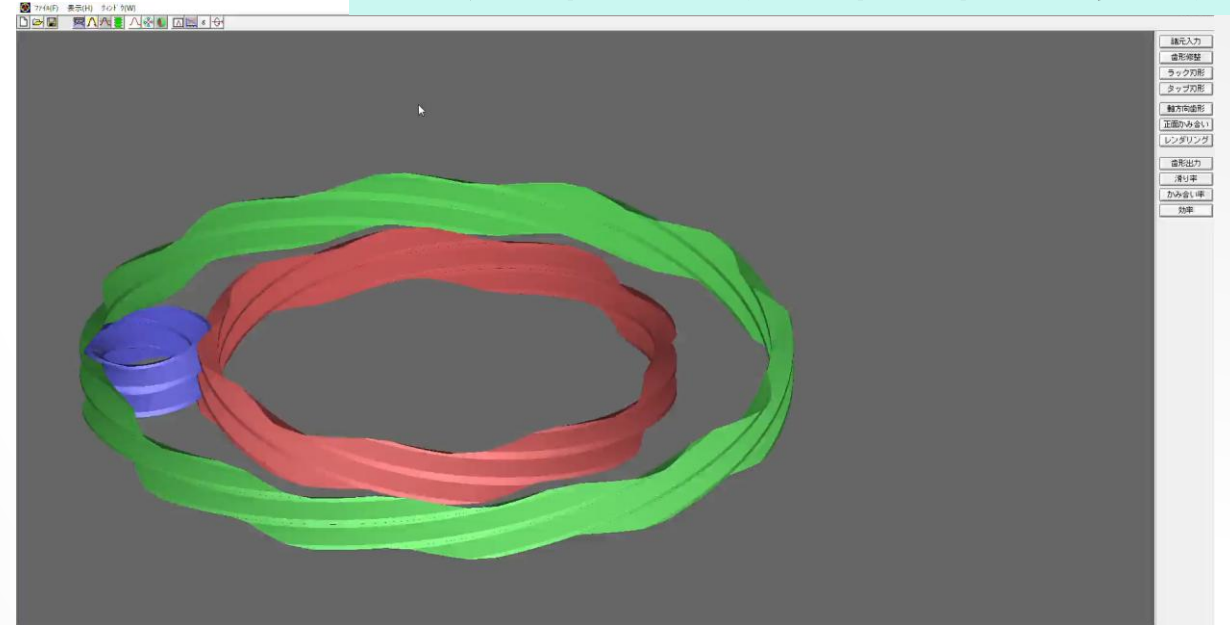
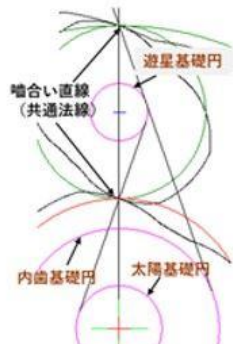
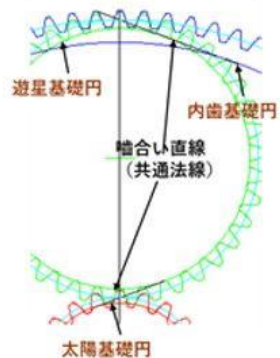
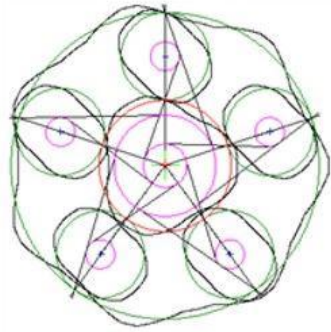
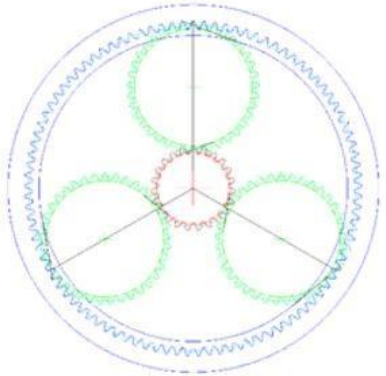
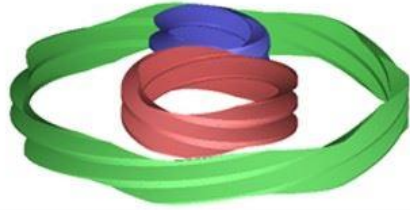
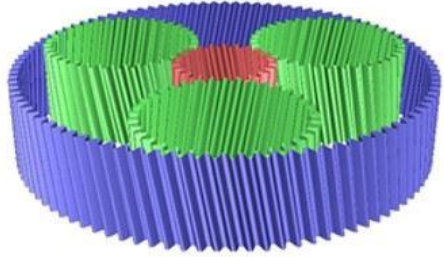


ネジ状遊星歯車による効率UPと強度アップ

ネジ状歯車とは
＝無音歯車 歴史は150年以上
→遊星歯車化（20年前に杉谷が実現）

ハス歯歯車

ネジ状ハス歯歯車

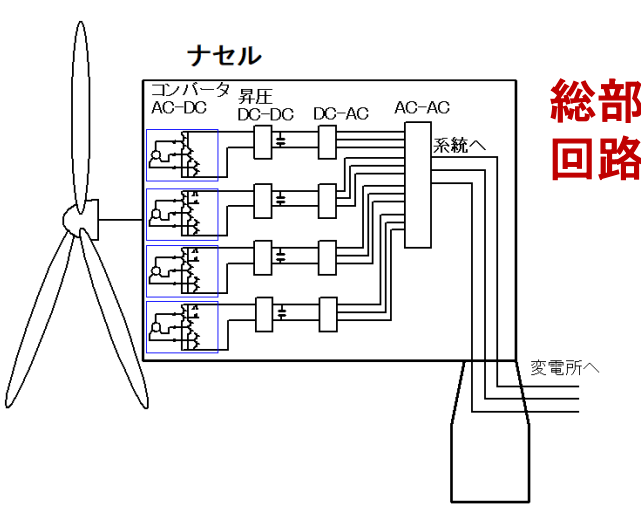


高強度 & 高効率

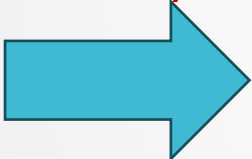
強度：モジュールが大きい
：噛合い率が高い（重なり）
高効率：基準ピッチ円近傍のみの噛合い

壊れない為に

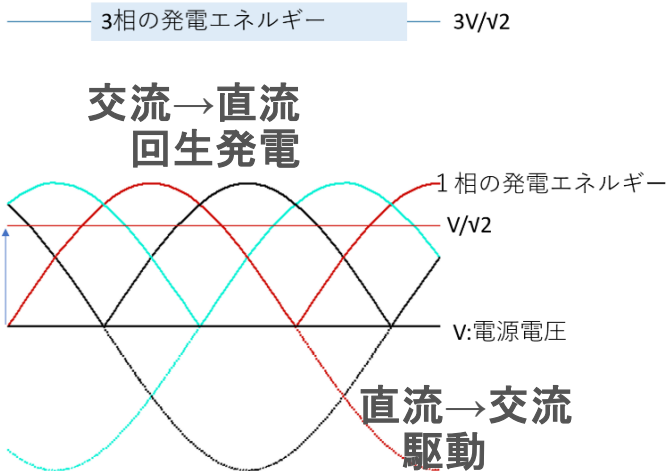
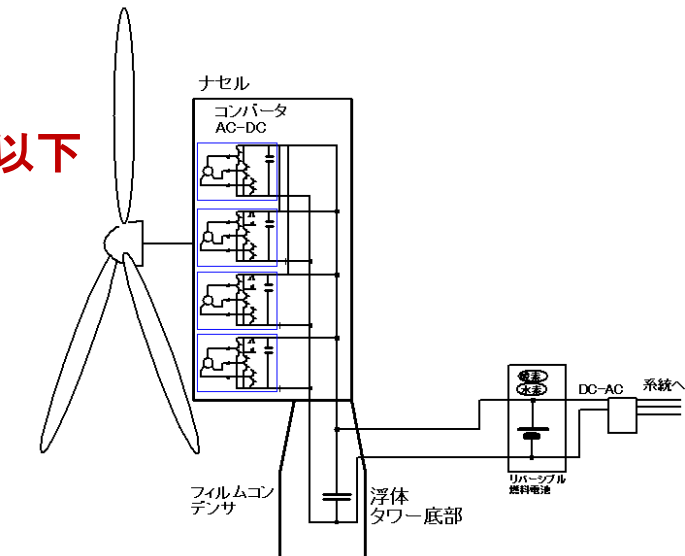
部品点数の劇的削減



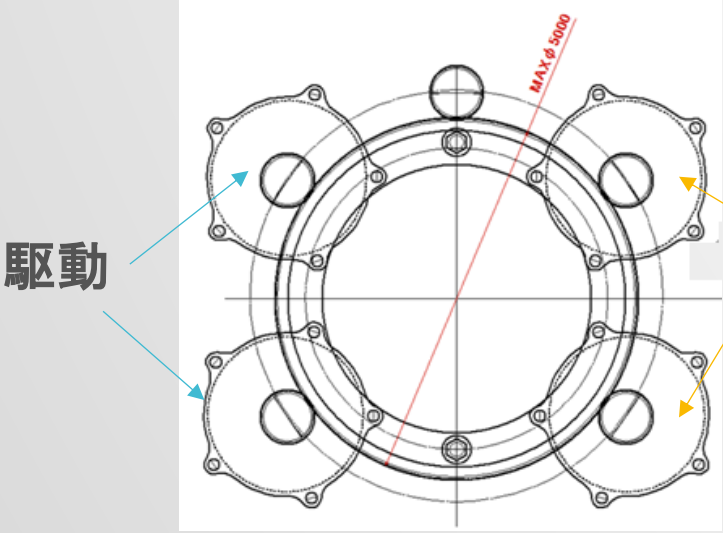
総部品点数は1/20以下
回路重量：1/100



直流回生発電（HEVシステム）は電機設備重量、部品点数を劇的に削減



単体試験



シュミレーションのみからの脱却
唯一耐久試験が可能なシステム構成
少電力で実験可能

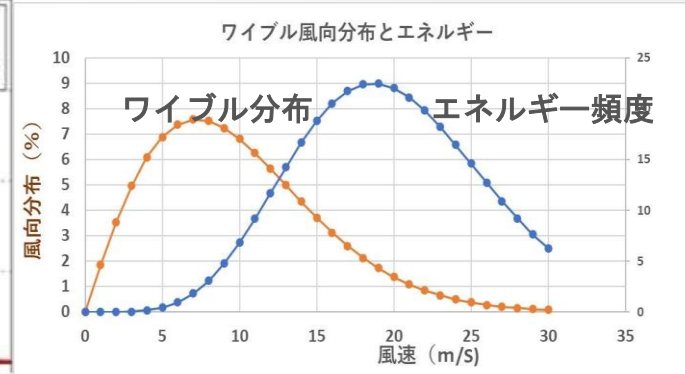
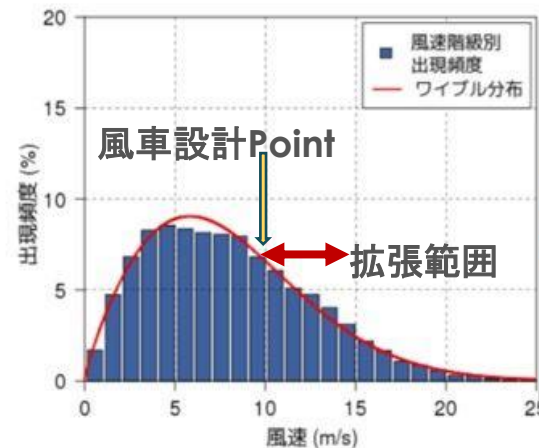
- ・ とことん試験
- ・ 壊れるまで試験

- ・ 駆動側の回転・トルクを実際の風向に合わせれば、耐久試験が可能
- ・ 電源供給の電力は電池を介するので平均的な損失分で実験可能

更なる低コスト化を目指して

1. 風を無駄にしない

風のエネルギーは風速の3乗に比例
1.2倍の風速まで発電：15MW→26MW
ブレードの強度UP
増速機・発電機は径1.2倍：対応可能



2. 設備耐久年数：20年→50年

壊れない機構

$\frac{1}{8}$

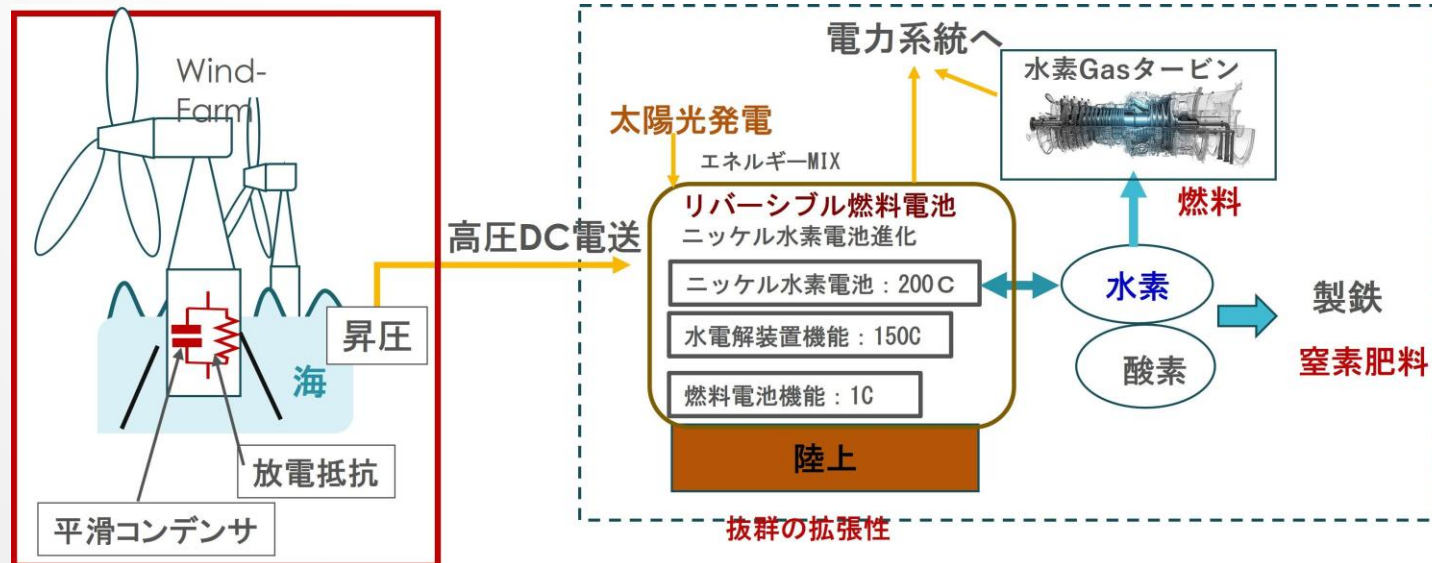
4 円 / kWh

$\frac{1}{2}$ ：ナセルの軽量化＝全体のコストダウン

$\frac{1}{2}$ ：長寿命化＋メンテナンスコスト

$\frac{1}{2}$ ：エネルギー2倍

3. 水素社会の実現



結論

- 1.本機構は、通常のプラントの様に0.7乗程度でスケールアップできる
 - ・スケールアップするほど単位MW当たりの重量、建設単価が下る
 - ・大型化の建設単価が下がり、浮体式でも経済的に成立する
- 2.設備耐久性が向上しメンテナンスコスト及び耐久年数が向上する
- 3.頑丈な機構であり、風速が大きくなっても発電可能
 - ・総括発電量が経済性が向上する
 - ・最も安価な発電方式を実現し水素社会を実現可能できる
- 4.リバーシブル燃料電池蓄電池（やぶさめ）を使うことで、発電制限を回避できる
- 5.直流回生発電を行い部品点数を減らし高効率で高信頼性を確保できる

最後に

世界中の洋上風力発電は逆境の只中です
＝物理法則を無視した当然の帰結だと考えている
逆境を新しい技術を生み出すチャンスと捉え立ち向かいたいと思います。
皆様のお力をお貸しく下さい
プラチナチャレンジング賞を頂きありがとうございました