

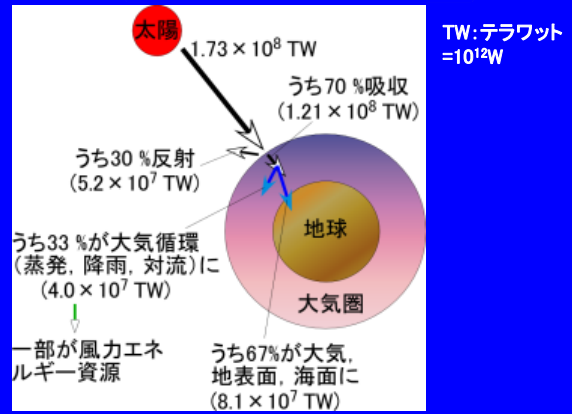
応用研究課題 研究課題番号(①)
助成受付番号 第14001号

カエデの種型風車を用いた被災地と 震災時における電力確保のための 小型風車に関する研究

福島大学 共生システム理工学類
産業システム工学専攻

島田邦雄

地球における風力エネルギー



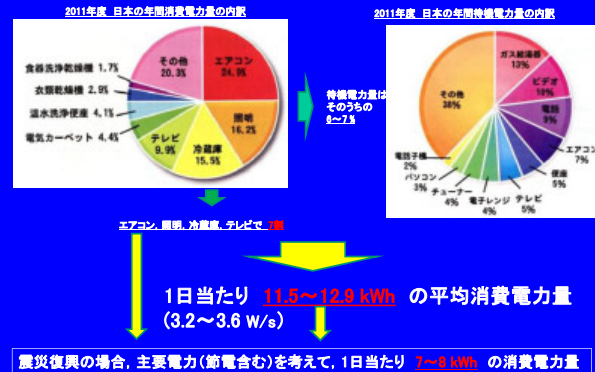
日本の風力発電の現状

世界各国に比べて日本は風力発電に出遅れている。風車を設置する土地や風力の確保が困難な点もあるが、主な理由として太陽光発電を重視している。

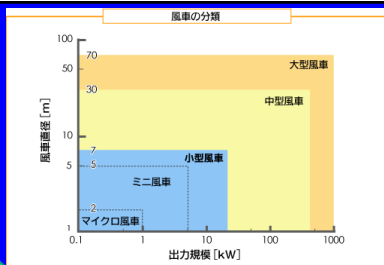
世界累計設置容量(2009年末)		
順位	国名	容量(GW)
1	米国	25.17
2	ドイツ	23.903
3	スペイン	16.754
4	中国	12.21
5	インド	9.645
6	イタリア	3.736
7	フランス	3.404
8	英国	3.241
9	デンマーク	3.18
10	ポルトガル	2.862
11	カナダ	2.369
12	オランダ	2.225
13	日本	1.88
-	世界全体	120.761

日本の消費電力量について

年間 **4,293~4,734 kWh** の平均消費電力量



風車の規模



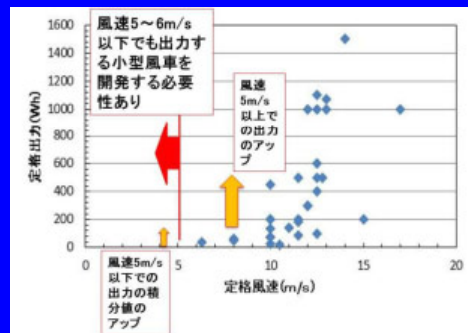
これを使って計算

- 定格出力は、風車直径の2乗に比例、風速の3乗に比例
- 定格出力2kWの時、風車直径は約2mが標準

小型風車 …… 定格出力20kW以下、風車直径7m以下
中規模型風車(中型風車) …… 定格出力20~300kW、
風車直径30m以下

小型風力発電の市場動向

従来の小型風車の出力と風速の関係



風力発電システムの種類

MPPT制御 (最大電力追従) コンバーター付

AC

系統連係型

独立電源型

系統連係型小型・中型風力発電導入率

出力別導入率

~500kW	6%
10~250kW	7%
~750kW	14%
~1000kW	15%
~1250kW	1%
~1500kW	24%
~2000kW	21%
3000kW~	7%

250kW以下 出力別導入率

10~100kW	29%
~250kW	71%

導入基数(台)	
全体	1964
~250kW	140
10kW~100kW	41

出典: 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 風力発電導入ガイドブック2008 <http://www.nedo.go.jp/content/100079735.pdf>
 一般社団法人 日本小型風力発電協会
 小形風力発電機業界 再生可能エネルギー固定価格買取制度への取り組み http://www.meti.go.jp/committee/shotatsu_kakaku/003_00_00.pdf

小型・中型風車(250kW以下)は全体の7%、さらに10kW~100kWはその内の29%

独立電源型小型・中型風力発電導入率

出力別導入率

~2kW	1%
1kW	21%
10kW未満	78%

導入基数(台)	
1kW未満	7182
1kW	1943
2kW	124
2kW~100kW	0

出典: 一般社団法人 日本小型風力発電協会

独立電源の78%が1kW未満

独立電源における2kW~100kWの風車導入は0

あまり普及していない小型風車を開発する価値がある

固定価格買取制度

風車出力	20kW以上	20kW未満
調達価格	23.1円	57.75円
調達期間	20年間	20年間

※2012年7月1日から施行

小型風車の用途例

	電気エネルギー	機械エネルギー	熱エネルギー
小型風車	離島・僻地電源 灯台	農地揚水 海水淡水化	養魚場加熱 凍結防止
中規模風車	非常電源 通信中継基地	井戸水汲上げ 産廃し	小規模温室
大規模風車	山小屋 標識・看板・照明	噴水動力 楽器・玩具の駆動	

(出典: 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 HPより)

風車の効率

風力発電の各種損失

風力エネルギー (100%)

電気エネルギー 30%

電気機械的損失 6%

機械的損失 4%

空気力学的損失 60%

ベッツの効率

ロータ

増速機

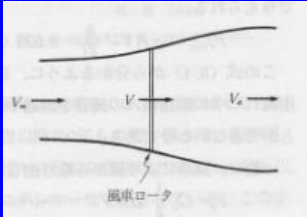
発電機

定格出力の20%

(出典: 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 HPより)

風車の理論

◎ 理論パワー(出力) P_{th}
 $P_{th} = 1/2 \cdot \rho A V_{\infty}^3$
 ↓
 ・ 空気の密度に比例
 ・ 受風面積に比例 (ロータ直径の2乗に比例)
 ・ 風速の3乗に比例



◎ **ベッツの効率** …… 風車より取り出し得るパワーも最大値は **59.3% (約60%)**、風車の効率はこれを超えることが出来ない
 (ランチェスター(英)1915年、ベッツ(独)1920年より)

小型風車の開発で目指すところ

目標設定

- 従来の小型風車と同じ稼働風速範囲(5~12m/s)で、出力の積分値が数kWで十分見込めること。
- 微風速の範囲(5m/s以下)でも、出力の積分値が数kWで十分見込めること。
- カットインは、1m/s以下、カットアウトは8~10m/s。

課題

```

    graph LR
        A[軽量化] --> B[強度]
        C[風向追従性] --> B
        D[強風対策] --> B
        E[低騒音化] --> B
        B --> F[CFRPでの製作・加工・生産]
    
```

風車の分類

(1)

風車	水平軸形	揚力形	プロペラ式 セイルウィング式 オランダ式 多翼式
		抗力形	ダリウス式 ジャイロミル式 フレットナー式
	垂直軸形	揚力形	サボニウス式 パドル式
		抗力形	パドル式 クロスフロー式

(2) 抗力形 ⇔ 抗力により回転 ⇔ 低風速
 揚力形 ⇔ 揚力により回転 ⇔ 高風速

新しい小型風力発電の開発


○ 風力発電の現状

メリット	デメリット
<ul style="list-style-type: none"> 温室効果ガスを排出しない 比較的成本が低く、事業化が容易 エネルギー自給率の向上の期待 工期が短い 	<ul style="list-style-type: none"> 風力の変動により発電量が安定しない 大型の物は騒音や低周波の影響が大きい

世界各国で開発研究が進められ、急進的に発展してきている。大型の物だけでなく、一般家庭や一企業においても小型の風車を設置するようになってきた。

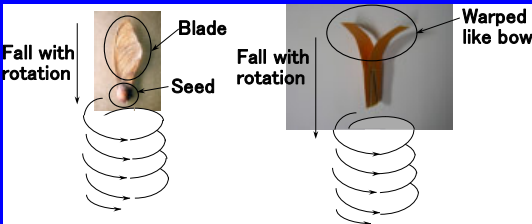
○ 従来のプロペラ式風車は・・・

- 一般的に用いられているプロペラ型の風車は困難な技術を要する
- ブレードにねじりを入れている
- 製作コストがかかる
- 小型のものにおいては個人や家庭への普及が難しい



小型風車:カエデ型風車の提案

- 楓の種の形からヒントを得た(自然落下する際の回転)
- 低風速でも回転する可能性がある
- しなりを付けただけの簡易な構造ゆえに低コストで製造しやすい



特許公開

- 島田邦雄, 発電用羽根車及びこれを備えた風車, 特許公開 2013-189970 (平成25年9月26日)
- 島田邦雄, 風車, 特許公開2014-141901 (平成26年8月7日)

研究の目的

2011年の東日本大震災により、東北地方の被災地における仮設住宅では、未だに不自由な生活を強いられている人々が多い。

そのためにも、簡易的な方法でコストの掛からない電力供給が必要。また、震災時における電力確保も同様。



そこで本研究では ……

再生可能エネルギーの一つである小型風車を取り上げ、本申請者が提案している簡易的に低コストで製作可能なカエデの種型ブレードを適用

これらの電力確保のための小型風車システムの構築と実証試験、震災から安全・安心して暮らせる国土のための新しい提案と研究。

研究項目

- ① ブレードの計算と設計、及び最適ブレードの特定: 最適な寸法と形状によるカエデのブレードを設計し、ブレード周りの流れの数値解析を行ってブレードを設定する。
- ② CFRP等によるブレードの製作: ①によるブレードをCFRP等で製作する。
- ③ 最適な発電機の選定: ①の風車性能に見合う最適な発電機を選定する。
- ④ 風洞を用いた風車特性実験: 海上技術安全研究所の大型風洞を借りて風車システムを組み立てて、風車特性(回転数、電力等)を計測する。
- ⑤ 野外における風車実証試験: 実際に野外にこの風車を設置し、同様に風車特性(回転数、電力等)を計測する。
- ⑥ 検証と評価: 被災地と震災時に対応できるものかどうかを風車特性から評価、考察する。

構造解析計算

CFRPを多層構造にする



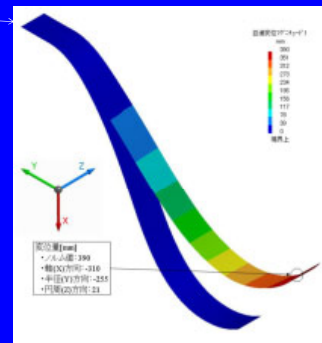
	回転数 [rpm]	回転数 [rpm]	
BLADE-1	595	BLADE-4	1028
BLADE-2	789	BLADE-5	1056
BLADE-3	1241		

- ・ 解析ソフト: CATIA V5 GPS
- ・ 解析モデル: サーフェスモデル
- ・ 要素数: 1518



形態	繊維配向角度	肉厚(mm)	総肉厚(mm)
平織り	±45°	t0.24	t1.68
UD	0°	t0.3	
UD	0°	t0.3	
UD	0°	t0.3	
UD	0°	t0.3	
平織り	±45°	t0.24	

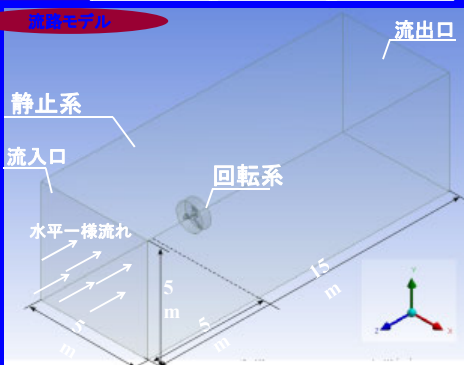
ブレード
根本



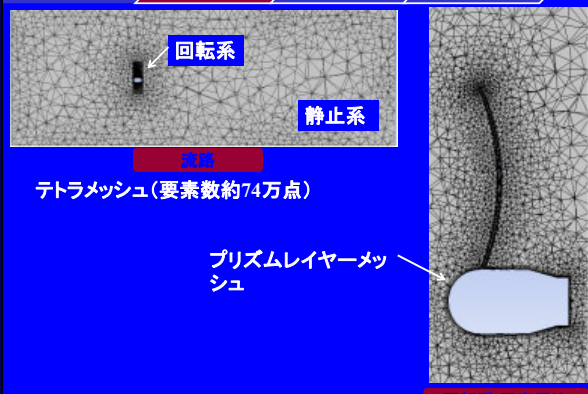
ブレードの変位量の計算結果の一例

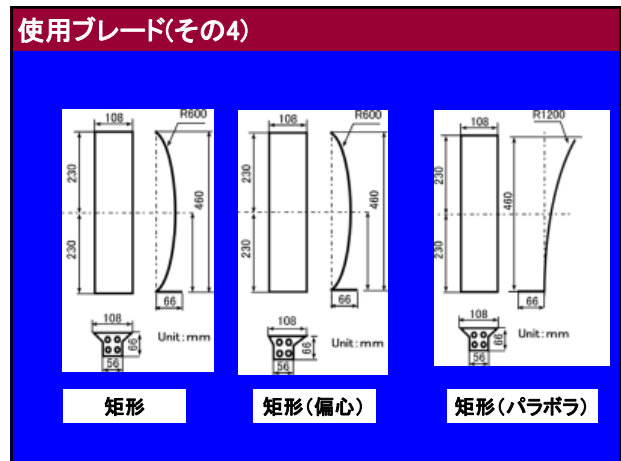
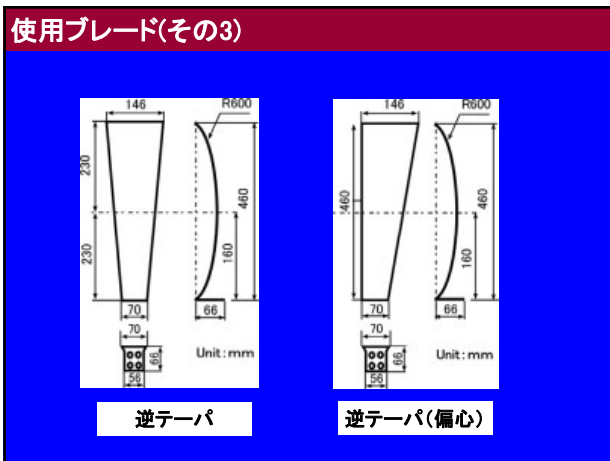
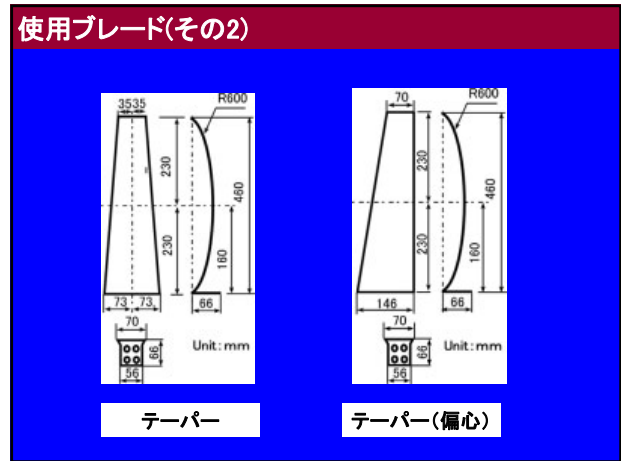
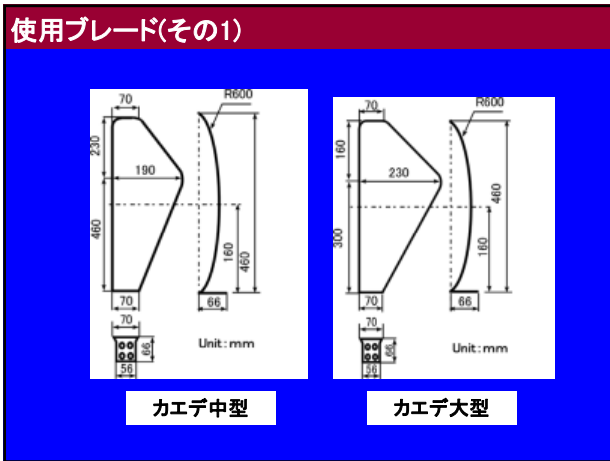
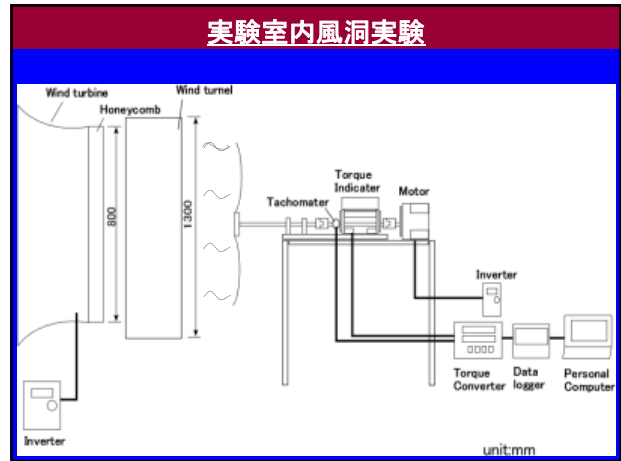
流体数値解析 (ANSYS)

モデリング → メッシュ生成 → 条件の設定 → 結果処理

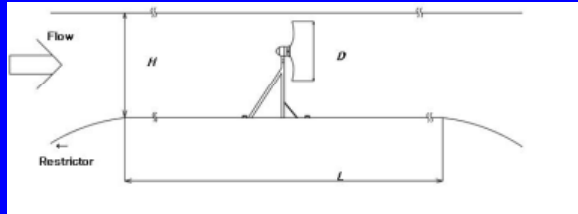


モデリング → メッシュ生成 → 条件の設定 → 結果処理

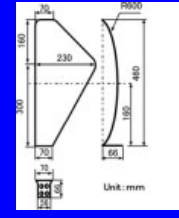
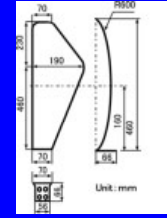




海上技術安全研究所の風洞での大型風洞実験



使用ブレード

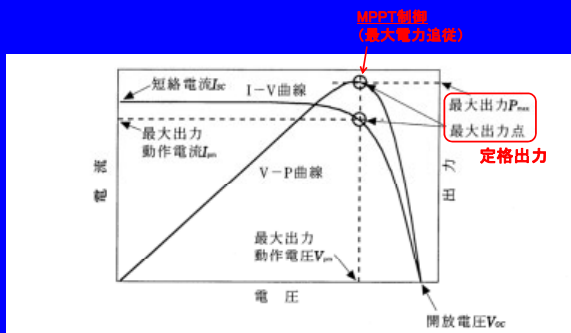


矩形

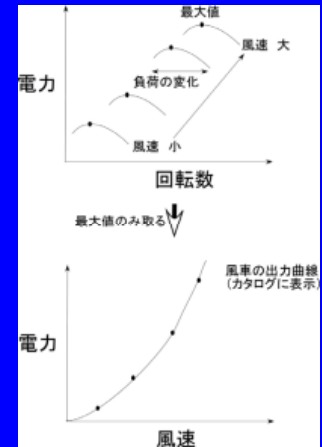
カエデ中型

カエデ大型

風車の出力特性

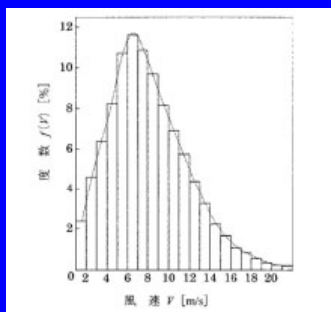


風車の出力曲線の求め方



屋外での実際の風には分布がある

ワイブル分布



実際の出力算出では、これを基に風速分布と一緒に計算する必要がある。

↓
そこで

実際の出力の算定の仕方

(1) 定格風速以上の風速のみ考慮した場合(簡易的計算)

レイリー分布(ワイブル分布で形状係数 $k=2$ の場合)より算出

…… ワイブル分布は、風速1m/s毎の吹いている時間が算出できるが、平均風速の環境下での算出はできない。

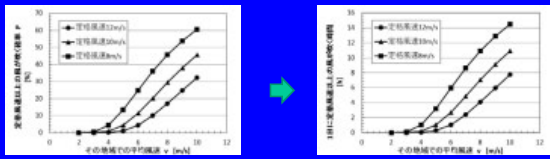
↓
したがって、レイリー分布を採用する

…… レイリー分布は、平均風速の環境下での定格風速以上の風速となる時間が算出できる。

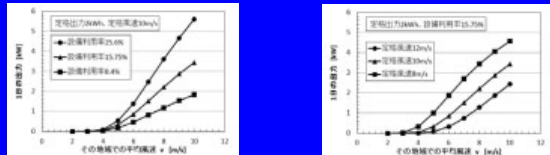
↓
簡易的計算

風速分布と設備稼働率を考慮した時の出力の試算例

定格出力2kWhの風車の場合



定格風速を下げるのが大切。Cp, η pb, η gを上げることが大切。



(2) 定格風速以下の風速も考慮した場合(詳細計算)

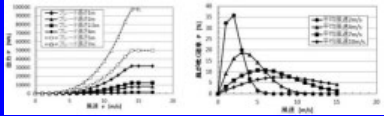
レイリー分布(ワイブル分布で形状係数k=2の場合)より算出

…… レイリー分布は、平均風速の環境下での定格風速以下の風速となる時間も算出できる。

詳細計算

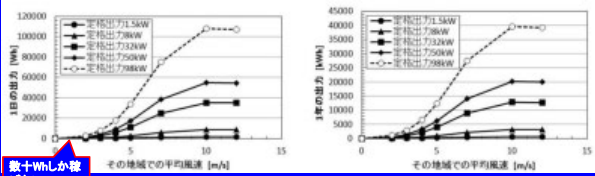
ある平均風速の地域において、ある定格出力を持つ風車の出力の試算

出力特性 (定格風速14m/s) ある平均風速の地域において、ある風速が吹く確率



稼働率15.75%

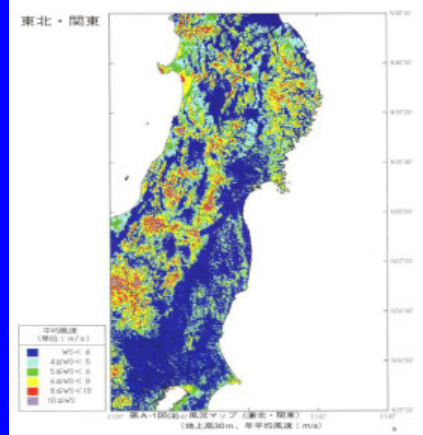
を考慮



数十Whしか稼働しない

東北地方の風況マップ(平成5年度)

(ニューサンシャイン計画) 平成5年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書「大型風力発電システムの開発(風況観測)」付属資料(全国風況マップ) 平成6年3月より



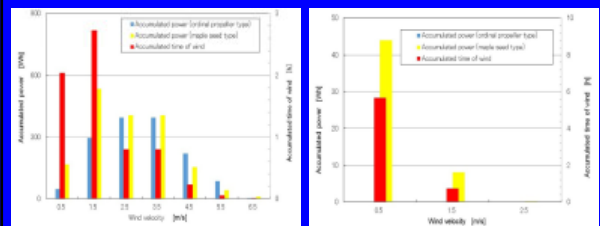
日本の場合、得られる出力が小さい場所が多い

野外における風車実証試験



福島大学の7階建ての理工棟の屋上におけるカエドの種型風車

1日における累積出力と風速の累積時間の試験結果一例



まとめ

カエデの種型風車は、既存のプロペラ型風車に比べて応答時間が早いので、変動に対する出力変化にも対応できる。

したがって、弱風地帯でも十分に対応できる風車であるので、被災地と震災時に十分対応できる。

付録(報道関係)

新聞、雑誌、テレビなど全国報道 多数

