

# CFRPによる 風車ブレード大型化の検討

東京大学工学部システム創成学科  
環境エネルギーシステムコース4年

100921 宮村明孝

指導教員 高橋 淳 教授

## 目次

1. 研究背景
2. 解析方法
3. 中実直方体の長さによる感度解析
4. 中空直方体の厚さによる感度解析
5. 風車ブレード大型化の検討
6. 結論

## 目次

1. **研究背景**
2. 解析方法
3. 中実直方体の長さによる感度解析
4. 中空直方体の厚さによる感度解析
5. 風車ブレード大型化の検討
6. 結論

## 環境エネルギー問題



- 世界的な電力消費量の増加
- CO<sub>2</sub>排出量が少ない風力発電



風力発電の導入は、電力の安定供給と環境負荷低減に寄与

## 風車ブレード大型化のメリット



- 風車1基あたりの発電量の増加
  - ・ 受風面積の増加
  - ・ 高高度の強い風の利用
- ↓
- 優れた風況を持つ土地を有効利用
- 1基あたりの施工にコストのかかる洋上風力発電において有用

現状では主にGFRPを用いているが、ブレード長に限界が...

出典: "ENERCON Wind Energy converters Product overview",  
ENERCON

## 本研究の目的

比剛性・比強度に優れたCFRPを用いることにより、さらなるブレード大型化の可能性を検討する

- ・ 剛性の不足
- ・ 自重による応力の増加
- ・ 強度の不足

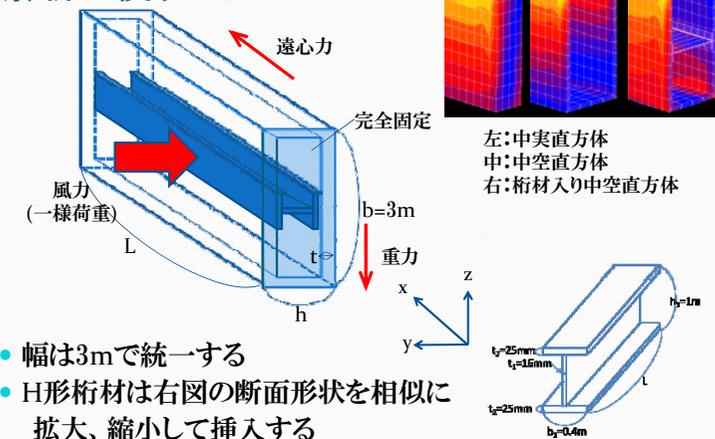
各材料において、ブレード限界長さを規定している要素が存在する

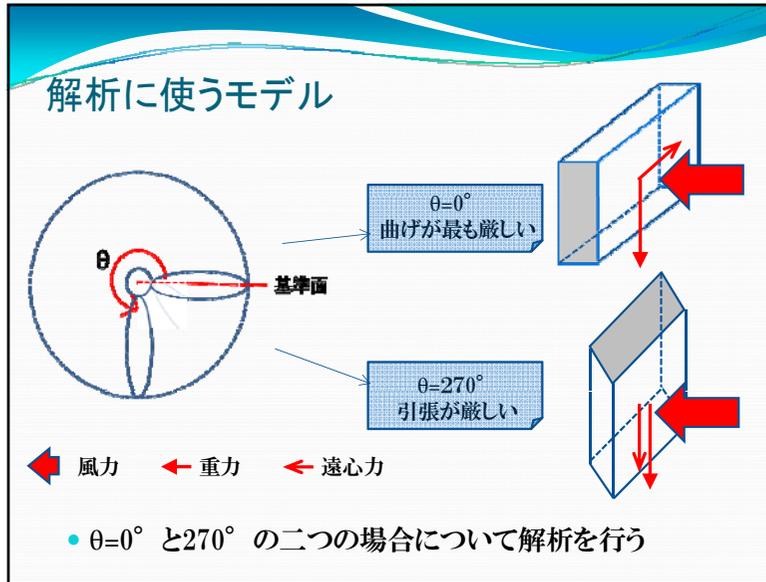
- 材料としてスチール、アルミ、GFRP、CFRPを用いたブレードの解析を行い、ブレード大型化の障害となっているものを明らかにする

## 目次

1. 研究背景
2. **解析方法**
3. 中実直方体の長さによる感度解析
4. 中空直方体の厚さによる感度解析
5. 風車ブレード大型化の検討
6. 結論

## 解析に使うモデル





### 解析条件

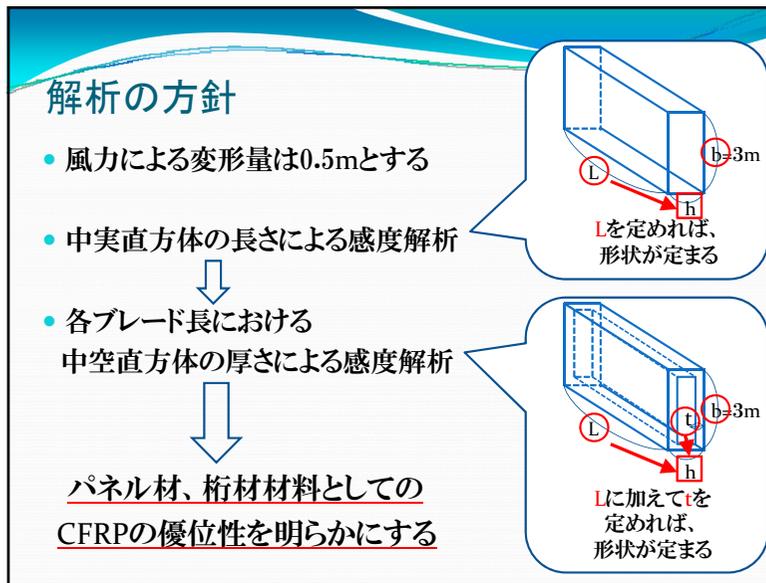
- 材料にはスチール、アルミ、GFRP、CFRPを用いる
  - GFRP、CFRPは簡単のため、繊維が半分ずつ交差するように積層した0/90材を想定し、繊維方向の揃ったUD材の半分のヤング率を持つ等方性材料とした

	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Density (kg/m <sup>3</sup> )
Steel	210	0.28	7800
Aluminum	73	0.33	2800
GFRP	22	0.28	1850
CFRP	70	0.30	1500

UD材      0/90材

引用: J. E. Gordon, "構造の世界", 丸善株式会社, 1991.  
小原嗣朗, "金属材料概論", 朝倉書店, 1991.

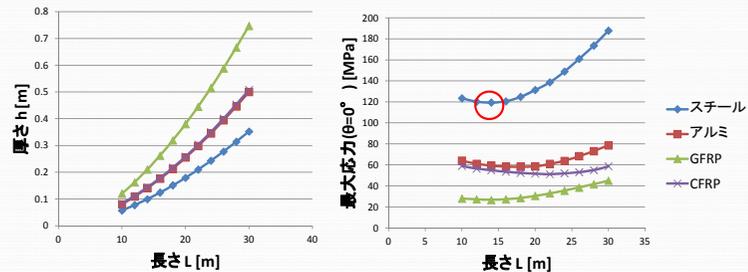
- 重力加速度9.8m/s<sup>2</sup>、回転速度30rpmとして重力、遠心力を負荷する



### 目次

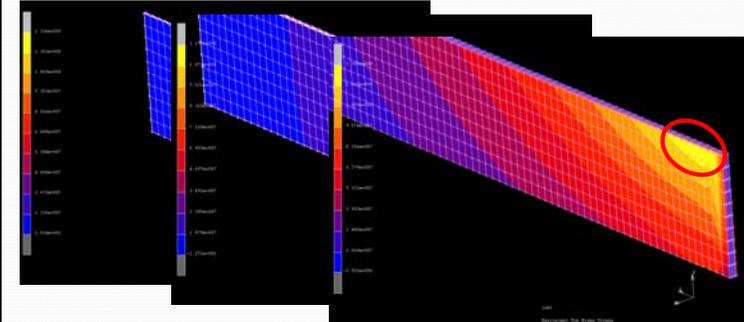
1. 研究背景
2. 解析方法
3. **中実直方体の長さによる感度解析**
4. 中空直方体の厚さによる感度解析
5. 風車ブレード大型化の検討
6. 結論

### 中実直方体の長さによる感度解析



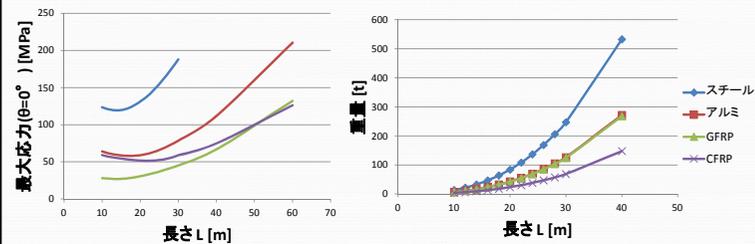
- ヤング率が大きいほど、厚さは薄くなる
- 比重が大きいほど、最大応力が大きくなる
- 最大応力はある長さで極小値を取り、その後増加している

### 中実直方体の長さによる感度解析



- 最大応力が極小値を取った後、自重が最大応力値に大きな影響を与えている

### 中実直方体の長さによる感度解析

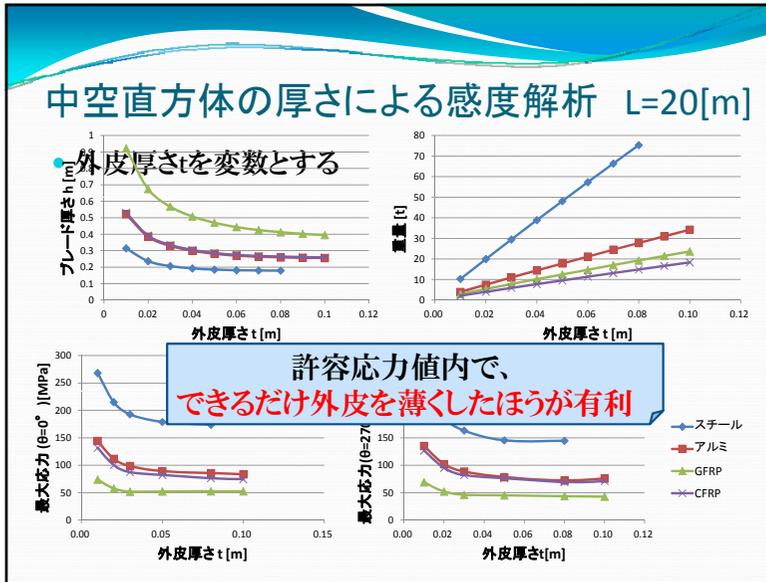


- 比重が小さい材料ほど、最大応力の伸びが緩やか
- 比剛性の大きなCFRPが、最も重量が小さい

➡ 比重が小さく、比剛性が大きいCFRPは、大型ブレードにおいて非常に有利

## 目次

1. 研究背景
2. 解析方法
3. 中実直方体の長さによる感度解析
4. 中空直方体の長さによる感度解析
5. 風車ブレード大型化の検討
6. 結論



## 目次

1. 研究背景
2. 解析方法
3. 中実直方体の長さによる感度解析
4. 中空直方体の厚さによる感度解析
5. 風車ブレード大型化の検討
6. 結論

### 風車ブレード大型化の検討

- ブレード長を20, 40, 60, 70mと伸ばしていき、各材料におけるブレードの限界長さについて検討する
- 検討の方法は以下のようにする

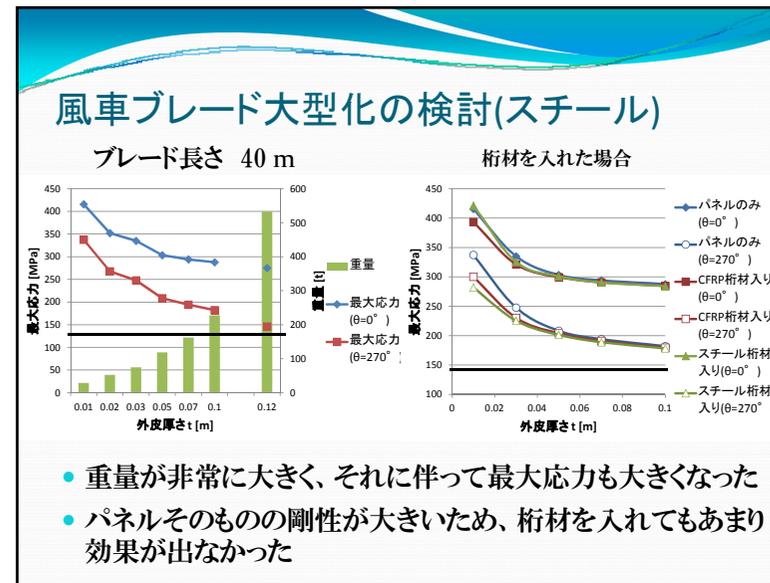
風力による変形量が0.5mとなるブレード形状を定義する  
(ブレード厚さの上限は幅と同じ3mとする)

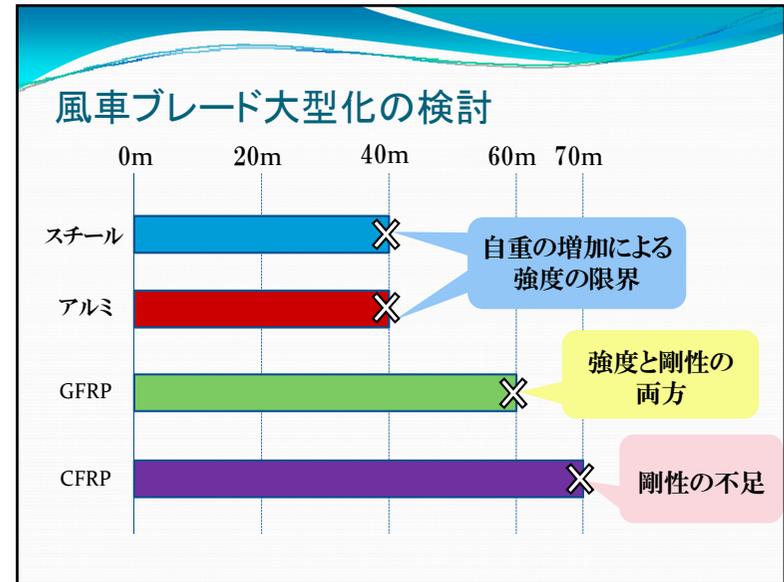
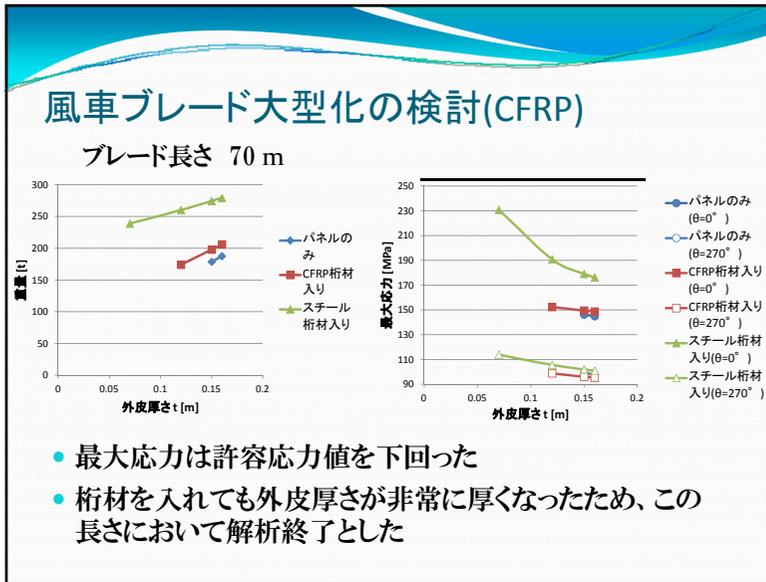
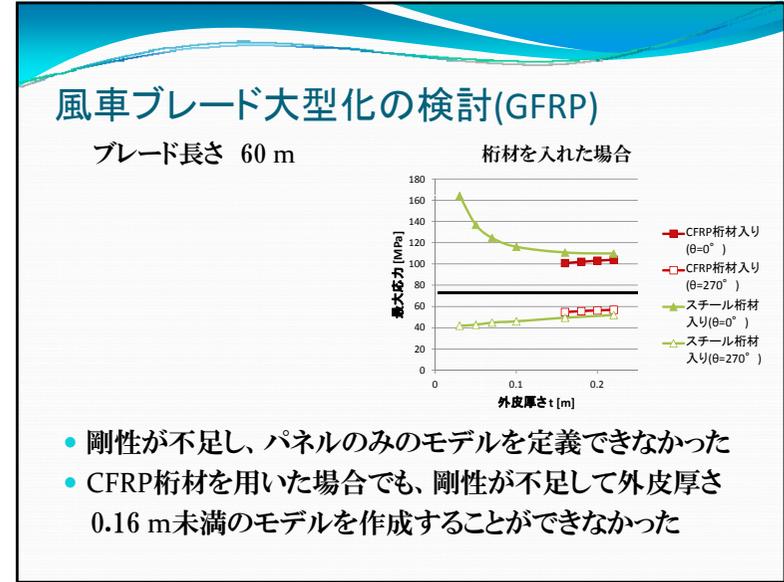
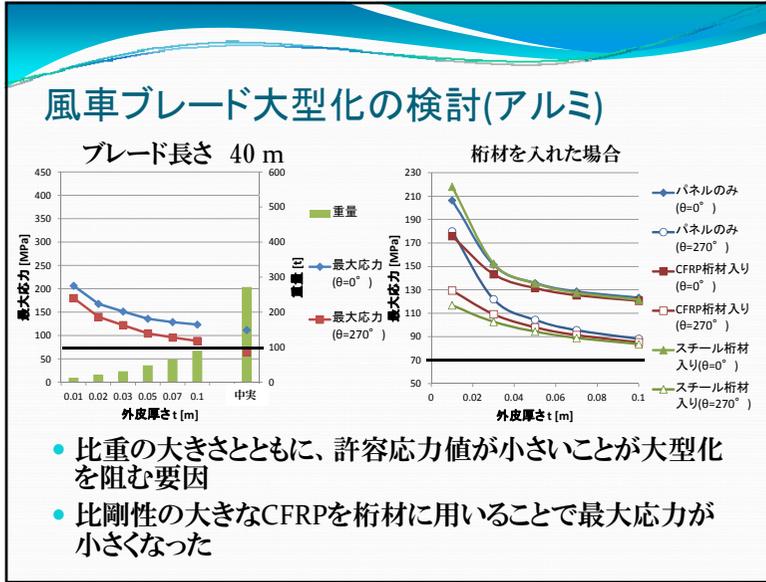
↓

最大応力が許容応力値を超えていなければ、その長さでのブレード設計が可能であると判断する

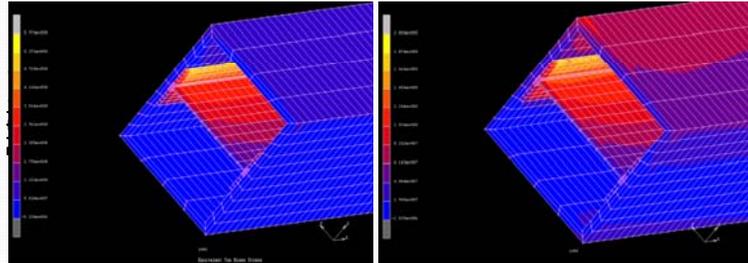
	スチール	アルミ	GFRP	CFRP
許容応力 [MPa]	140	70	70	700

引用: GRP Constructions Inc. ホームページ





## 桁材の検討(GFRP 60m)



スチール桁材の場合

CFRP桁材の場合

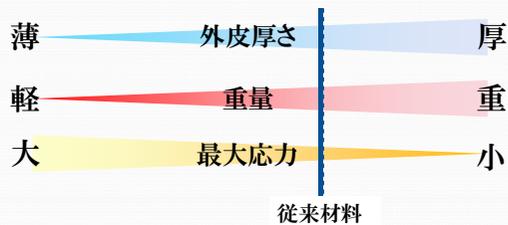
- パネル部分よりも桁材部分に大きな応力が作用している

➡ 桁材で剛性をまかなう場合、  
桁材には大きな強度が求められる

## 目次

1. 研究背景
2. 解析方法
3. 中実直方体の長さによる感度解析
4. 中空直方体の長さによる感度解析
5. 風車ブレード大型化の検討
6. **結論**

## 結論



- 比剛性、比強度の高いCFRPは、従来構造においても有効であることはもちろん、従来に無い構造を設計することができ、更なるブレードの軽量化、大型化が可能になる

## 結論

- 大きな剛性を持つ桁材には、外皮よりも大きな応力が生じる場合がある

スチール

CFRP

パネルにおいても桁材においても  
CFRPは風車ブレードの大型化に**有用**である

非常に高いため、  
桁材の破壊の恐れが  
少ない



スチール桁材

CFRP桁材



小	比剛性	大
小	強度	大
小	比強度	大

- CFRPを桁材として用いることで、高い剛性をもたらすとともに、外皮の強度を最大限生かした設計が可能になる

## 今後の課題

- 本研究で用いたモデルにおいて、同程度の長さを持つ実在のブレードと比較した際、重量が大きくなっていた
  - －実際のブレードにおいては、ブレードの厚さに傾斜をつけているものと考えられる
- 実際のブレード形状においてはねじり荷重も作用する
  - －CFRPの配向性を考える際にはその点を考慮し、現実に近いモデルを用いて解析を行う必要がある
- CFRPのコストは非常に高く、パネルに高価なCFRPを大量に用いるのは、現時点においてはあまり現実的ではない
  - －桁材のみ、あるいはブレードの一部のみにCFRPを用いるなど、コストや施工性なども考慮した設計が必要である

ご清聴ありがとうございました