

風車空力音低減のためのブレード先端形状の検討

A STUDY ON THE BLADE TIP SHAPE FOR A WINDTURBINE NOISE REDUCTION

細田直久¹⁾ 細見雅生¹⁾
Naohisa Hosoda Masao Hosomi

1. まえがき

東日本大震災に端を発する電力不足により、再生可能エネルギーの更なる普及が望まれており、その中でも最も事業採算性に優れ、費用対効果が大きいとされる風力発電の導入促進が期待されている。その一方で、国土の狭隘なわが国では、風力発電の普及促進に伴って周辺地域の環境保全や騒音等の問題が一部の地域で顕在化している。

本稿は、風力発電事業の普及促進に資することを目的として、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託を受けて、イー・アンド・イー・ソリューションズ株式会社、株式会社アイ・エヌ・シー・エンジニアリング、株式会社駒井ハルテックが平成21年度から平成22年度の2箇年にわたって実施した「次世代風力発電技術研究開発（自然環境対応技術等（風車音低減対策））」のうち、当社が中心となって実施した風車空力音対策に係るブレード先端形状の検討について報告するものである。

開発工程については表-1に示す通り、まず風洞実験により風車空力音の低減に効果的なティップシェイプ形状を選定する。次に選定された形状による実物の新型ブレードを試作し、当社富津工場のプロトタイプ風車のブレードと交換する。交換前後の風車音計測結果を比較することで風車音の低減効果を把握・評価する。風車音計測に関しては、イー・アンド・イー・ソリューションズ株式会社、株式会社アイ・エヌ・シー・エンジニアリングの2社が実施した。

表-1 実施工程表

	平成21年度				平成22年度			
	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th
事前騒音調査				-				
風洞実験				—				
ブレード製作						—		
ブレード撤去						-		
ブレード再設置							-	
事後騒音調査								-

2. 風洞実験によるティップシェイプの選定

空力音に関しては風車ブレードの先端近くが騒音の主たる発生源になっており、ブレード先端形状が風車音低減に大きく寄与するとの知見から、風車空力音の

低減対策に効果的なティップシェイプ形状を選定することを目的として風洞実験を行った。選定にあたり、8種類のティップ形状（表-2、写真-1）について縮尺1/2の3次元模型を製作してその効果を比較した。

表-2 模型一覧表

模型番号	模型形状
A-1	ナイフシェイプ（原型形状）
A-2	先端折り曲げ45°（ウィングレット）
A-3	先端折り曲げ90°（ウィングレット）
A-4	楕円形状
A-5	先端+5°ツイスト
A-6	ウィングチップ
A-7	Ogee形状
A-8	先端小翼

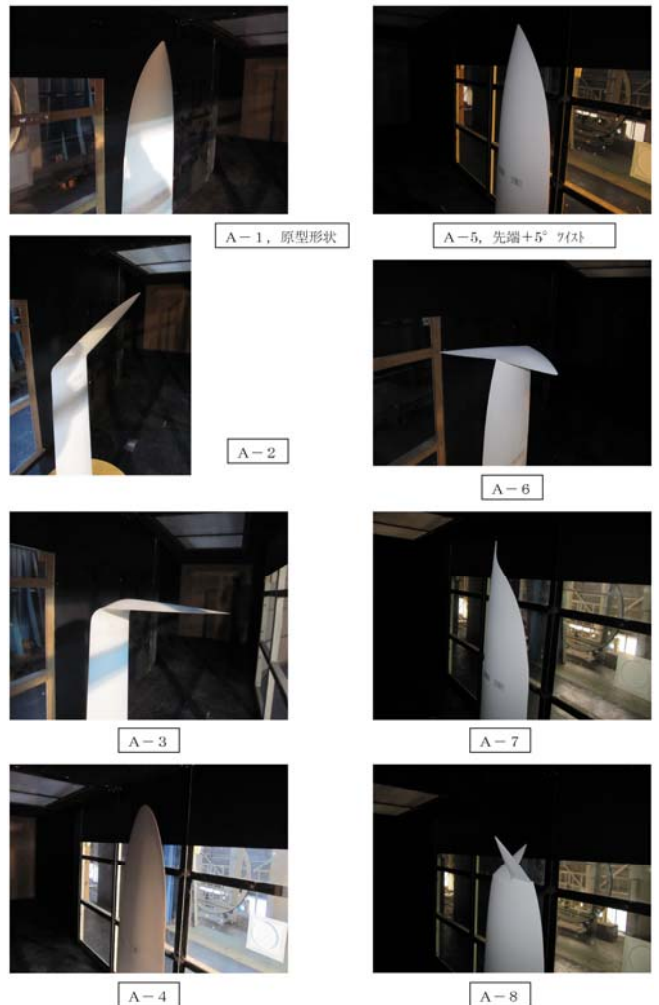


写真-1 模型写真

1) 環境事業部

風洞実験は当社保有のエッフェル型風洞を使用して実施した(写真-2,3)。風速は5, 10, 13.5m/sの3種類、ピッチ角は0°~20°まで2°刻み, 20°~40°まで5°刻みに変化させ, 抗力と揚力を計測する。ティップシェイプ形状の選定基準は, ブレード先端からの渦の放出に起因する抗力を低減させ, かつ揚力低下の少ない形状を選定することとした。

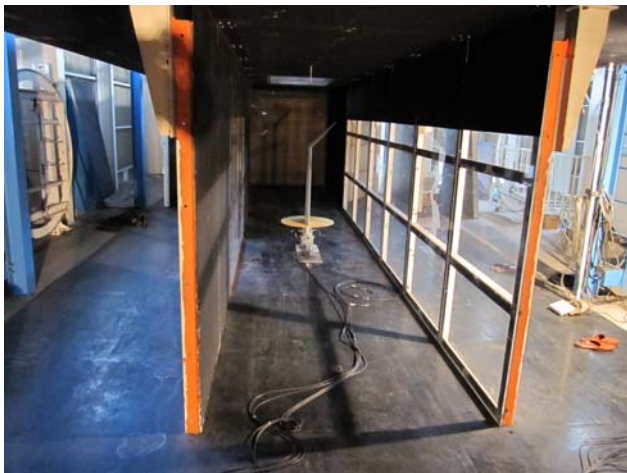


写真-2 模型設置状況

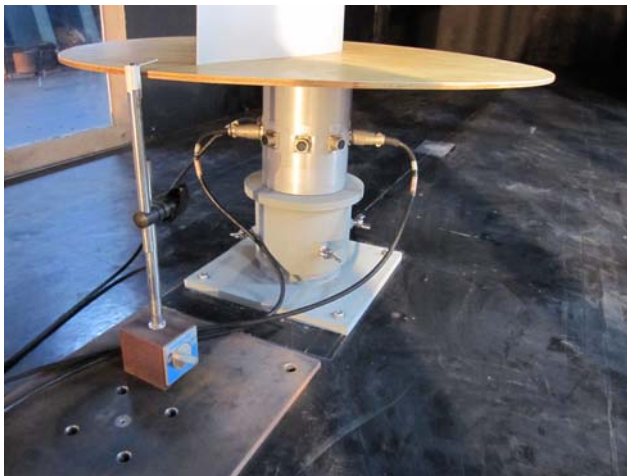


写真-3 6分力計

揚力と抗力については, 下記の式を用いて空気力を無次元化して結果を評価した。

$$\text{抗力係数} : C_D = P_D / (0.5 \times \rho V^2 \times l \times d)$$

$$\text{揚力係数} : C_L = P_L / (0.5 \times \rho V^2 \times l \times d)$$

ここに

P_D : 抗力 (kg・m/s²)

P_L : 揚力 (kg・m/s²)

ρ : 空気密度 (約 1.225kg/m³, 10°C)

V : 風速 (m/s)

l : 模型長 (1.25m)

d : 模型幅 (0.2685m, 接合部の模型弦長を使用, 模型下端から 0.75m の位置)

実験結果を図-1, 2に示す。抗力係数についてはA-3以外では大きな差はなく, 揚力係数はA-3では減少が大きい。原型形状A-1との比率で整理した抗力係数, 揚力係数のグラフを図-3に示す。A-2, A-7において, 揚力の減少が少なく, 抗力を低下させる効果が期待できると考えられる。

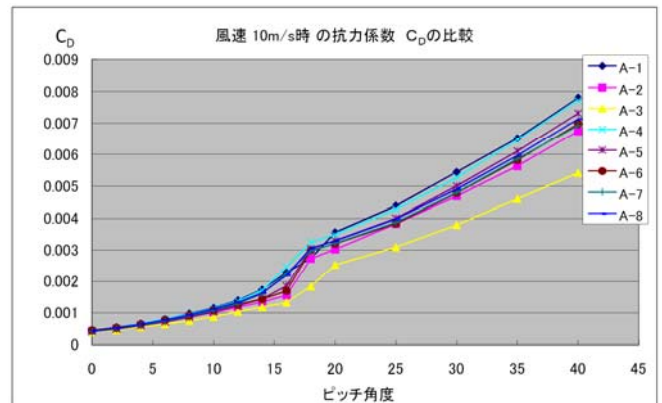


図-1 抗力の比較

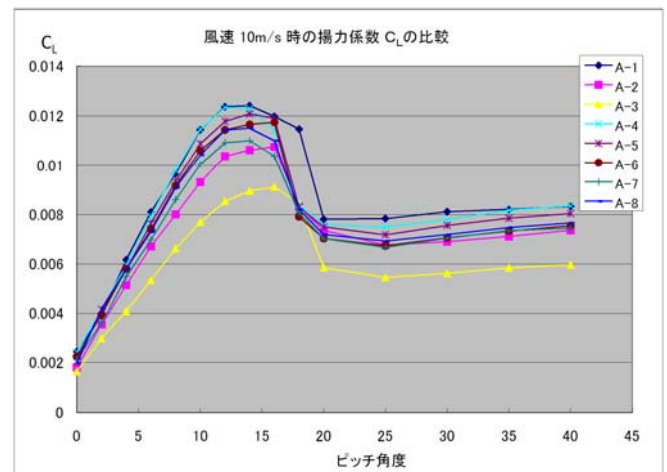


図-2 揚力の比較

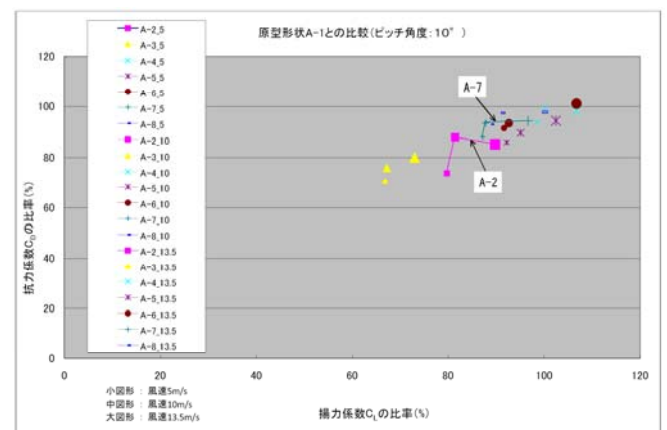


図-3 原型形状 A-1 との比較

これらの結果を踏まえて、A-1、A-2、A-7 に特定して風速の変化を細かくした風洞実験を実施した。抗力係数について整理したグラフを図-4 に示す。この中では、A-2 の抗力が小さく、迎え角 10° ではその傾向が大きい。A-2 が角度 5°，角度 10° とともに高風速側で抗力係数が小さいことがわかる。

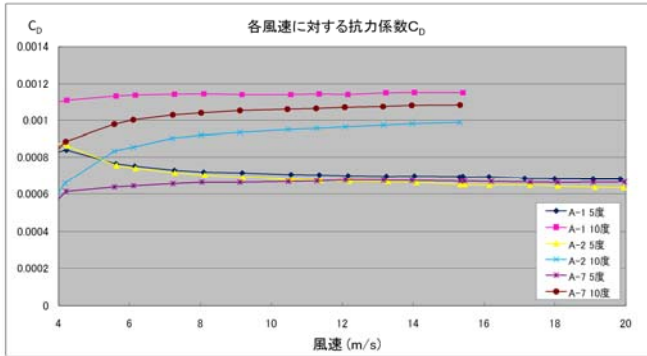


図-4 抗力の比較

また、揚抗比（揚力/抗力）について整理したグラフを図-5 に示す。先端形状を変化させ抗力を減少させると、揚力も同時に減少し風車性能が低下する。これを補うためにブレードを長くする修正を加える必要があるが、長くするとまた抗力が増加する。その影響を少なくするため出来るだけ揚抗比の大きい先端形状を選定する必要がある。ピッチ角度が 5° と小さい時には、A-1 のほうが揚抗比は大きいですが、ピッチ角度 10° のケースでは、A-2 がもっとも揚抗比が大きくなる。ピッチ角度が大きくなるケースは、高風速時であることから、このケースに着目し、A-2 が優れていると評価した。

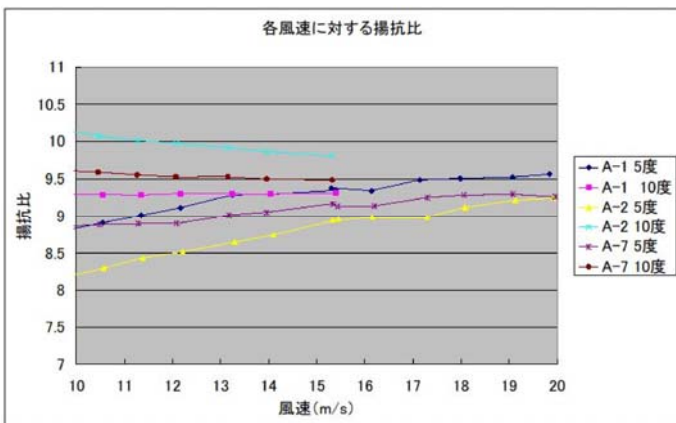


図-5 風速による揚抗比の変化

A-1、A-2、A-7 については流れの可視化実験を行った（写真-4, 5, 6）。各実験ケースにおいて問題となるような状態は見受けられず、また大きな差異は確認でき

なかった。

以上の風洞実験結果より、最も効果のある A-2 ティップ形状について実物大のブレードを試作し、ブレード取換前後の騒音計測によりその風車音低減対策の効果を確認する。A-2 を採用した場合、揚力が低下することによるブレード性能の低下が予測されるが、先端 45° 折り曲げ後のローター径を元のローター径に合わせるにより、当初の揚力が確保できると考えられる（表-3）。

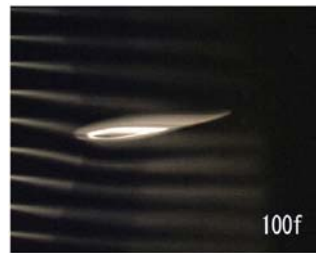


写真-4 可視化 A-1 5°

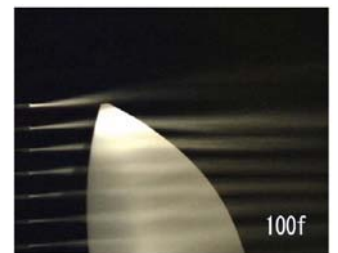


写真-5 可視化 A-2 5°

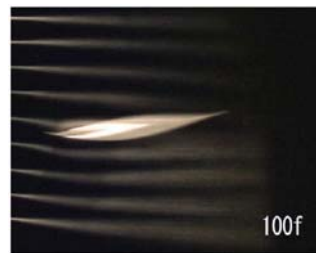


写真-6 可視化 A-7 5°

表-3 ブレード長の変更と揚力・抗力の関係

ブレード長	16.0m(オリジナル)	16.235m
ティップ形状	先端0.8m,45°折り曲げ	先端0.8m,45°折り曲げ
ローター直径	32.53m	33.0m
揚力の低下率(原型から)	-3.3%	0%
抗力の低下率(原型から)	-5.0%	-1.5%
	角度10°,風速13.5m/sの条件	

3. 対策ブレードの試作および実証機への設置

ティップシェイプの変更による風車音低減効果を実機にて検証するため、風洞実験により最も騒音低減効果が見込まれる A-2（先端折り曲げ 45°）の形状でブレードを試作し、当社富津工場のプロトタイプ風車のブレードを交換した。

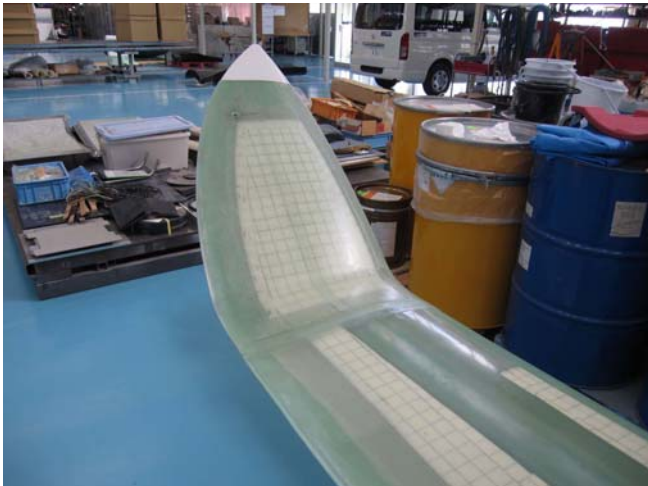


写真-7 ブレード製品検査



写真-8 対策ブレードの架設



写真-9 架設完了

4. 風車音計測結果

ブレード交換の前後で風車音計測を実施した。計測時期は表-1 に示した通りである。

騒音の A 特性パワーレベルは 100.1dB から 98.3dB へと約 2dB の低減が見られた。

標準風速 10m/s における交換前後の騒音周波数特性比較を図-6 に示す。図に示すように、機械音の卓越成分を除いた 2kHz 以下の帯域でレベルの低減が見られ、交換前に存在した 1.6kHz バンドの卓越成分は消失している (2kHz 以上では風による暗騒音の影響が大きいと推定される)。

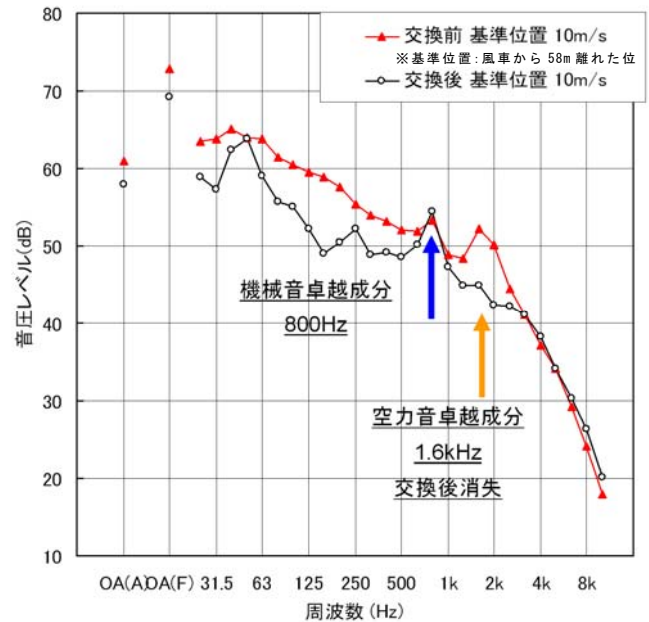


図-6 ブレード交換前後の騒音周波数特性比較

5. まとめ

風車空力音低減に効果的なブレード先端形状を把握するため、8 種類のティップシェイプの模型を製作し、風洞実験により空力性能を比較した。その結果、「先端折り曲げ 45°」の形状を選定し、試作したブレードを実機に取り付け、交換前後の騒音計測を行ったところ、A 特性パワーレベルで約 2dB の低減効果が確認できた。

6. あとがき

本開発は NEDO の委託を受けて前記の 3 社で実施したものである。研究開発の遂行にあたっては、風力発電ならびに騒音制御工学の学識経験者等からなる委員会が設置され、特に委員長である足利工業大学牛山学長、東京大学大学院荒川教授、独立行政法人産業技術総合研究所小垣研究員には、先端形状案の作成や風洞実験の評価にあたって貴重なご助言を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：「次世代風力発電技術研究開発（自然環境対応技術等（風車音低減対策）」）成果報告書，2011.3.