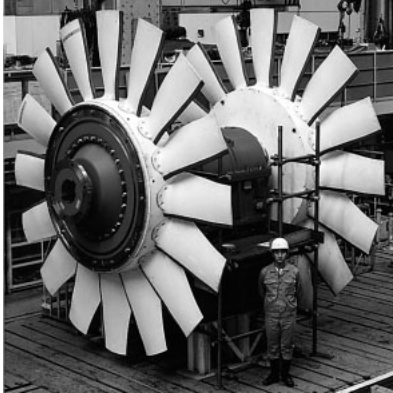


# 火力発電所用大形軸流送風機FRP動翼の実用化

## Development of Axial Flow Fan FRP Rotor Blade for Large Thermal Power Station



川 節 望<sup>\*1</sup>  
Nozomu Kawasetsu

後 藤 充 成<sup>\*2</sup>  
Mitsushige Gotoh

田 北 勝 彦<sup>\*3</sup>  
Katsuhiko Takita

古 関 正 憲<sup>\*4</sup>  
Masanori Koga

戸 島 学<sup>\*5</sup>  
Manabu Toshima

FRP動翼は、従来火力発電所の大形軸流送風機に使用されている金属製動翼に替わるものであり、超軽量、高耐食性等の特長より、ユーザ及び製造者にとって画期的なメリットが期待できるものである。当社は、平成5年度より大形軸流送風機のFRP動翼開発の基礎研究を開始し、平成8年までに要素試験により、基本構造及び製作法を確立した。さらに東北電力(株)能代火力発電所で、実ガス中の長期耐久試験を行い、平成11年IPP 700 MW石炭焚きユニット1号機脱硫設備の昇圧送風機に適用し好結果を得た。引き続き2号発電ユニットの脱硫設備にも採用した。本稿では実用化したFRP動翼の材料特性/構造特性、パイロットプラントでのテスト結果及び700 MW発電ユニットでの実運用結果を紹介する。

### 1. はじめに

火力発電ユニットには、小形から大形まで種々の送風機が使用されている。その内ボイラ燃焼空気を送風する押込送風機(FDF)/1次空気送風機(PAF)、燃焼後のボイラ排ガスを送風する誘引送風機(IDF)/脱硫送風機(BUF)は大形であり、火力発電所補機のなかで消費動力が最大のものである。一方、火力発電ユニットは年々大容量化/高効率化のため、種々の技術開発が行われ、送風機についても大形化/高効率化が進み、近年では、1台当たりの駆動動力が10000 kWを超える大形機が出現している。その駆動動力及びメンテナンスコストの削減は、火力発電ユニットの経済性を向上する上で、必須となっている。当社は、これらの要求にこたえ、最も高効率である動翼可変ピッチ制御の軸流送風機を開発を行い、1965年に中部電力(株)知多火力1号(375 MW)向け押込送風機1号機を完成させ、以来今日まで約500台の軸流送風機を火力発電所に納入してきた。この間ユーザの要求にこたえるべく、種々の新技術の開発を行っている。その状況を図1に示す。この内最近実用化したFRP製動翼について紹介する。

### 2. FRP動翼とは

#### 2.1 FRP動翼の特徴

FRP(Fibred Reinforced Plastics)動翼は熱硬化

性プラスチックをガラス繊維で強化した複合材料を使用した動翼であり、金属製の動翼に比べ以下の長所を持っている。

- 錆びない、腐らない。
- 軽量である(炭素鋼の約1/4)。
- 比強度が高い(炭素鋼の約3倍)。
- 振動吸収性、衝撃吸収性が高い。

これまで火力発電所における軸流送風機の動翼は、炭素鋼、アルミ合金、耐食合金鋼などの金属製が使用されてきた。軸流送風機の動翼は周速100~250 m/sの高速で回転するため、その重量が装置全体の構造へ与える影響が大きく、これをFRP製とすることで、回転体の大幅な軽量化、構造簡素化、信頼性向上が期待できる。さらに強腐食性雰囲気での使用が可能であり、ユーザ及び製造者に以下に述べる画期的なメリットがある。なお、FRP材の特性を金属材料と比較し表1に示す。

#### 2.2 FRP動翼適用のメリット

回転体の軽量化、構造の簡素化

- 軸流送風機の回転体の構造、強度は、主に動翼の遠心力及び動翼ピッチの可変に要する力により設計される。動翼の重量が1/4になれば両者共それぞれ1/4となり、表2に示す様に回転体の軽量化、簡素化が可能となる。

メンテナンスの簡素化

- 軸流ファンのメンテナンスはほとんど動翼可変機

\*1 技術本部長崎研究所材料溶接研究室

\*2 長崎造船所風力・船用機械設計部風力機械設計課主席

\*3 長崎造船所風力発電事業グループ主席

\*4 長崎造船所風力船用機械設計部風力機械設計課

\*5 東北電力(株)能代火力発電所技術グループ

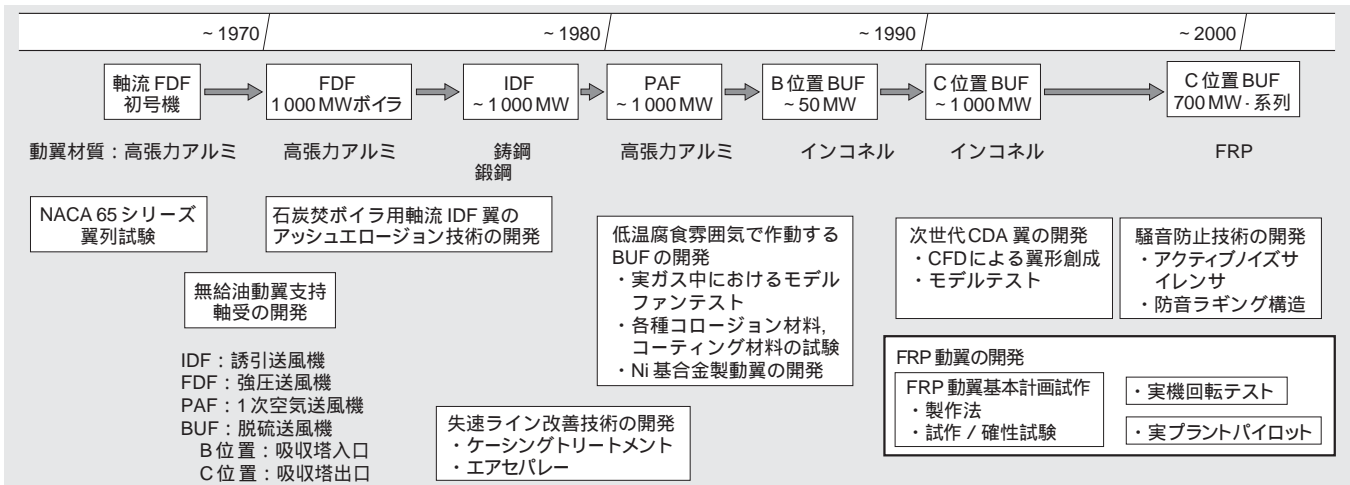


図1 軸流送風機主要技術開発 火力発電所用軸流送風機の技術開発項目を示す。

表1 FRP (ガラス繊維強化型) と金属材料の比較

	重量	比強度	比剛性	材料減衰係数	衝撃値
炭素鋼 (S25C) (%)	100	100	100	100	100
アルミ合金 (%)	36	250	96	50	24
FRP (ガラス繊維強化型) (%)	24	300	44	2500	30

表2 某発電所 450 MW 1 系列 BUF での比較

	従来翼(インコネル翼)	FRP 翼
動翼遠心力 (kN)	12000	3000
動翼重量 (N/本)	1000	230
ロータ重量 (kN)	83000	60000
慣性モーメント (kg・m <sup>2</sup> )	2625	1625
オイルユニット (kW)	15	7.5

構摺動部の交換であり、定検周期もこの摺動部材の寿命で決まる。FRP 動翼を使用することにより、摺動部の面圧は半分程度となり部材の交換周期を従来の約 2 倍とすることができる。

- 従来、定検時クレーンで作業していた動翼分解組立を、人の手で行えるようになり、定検の手間が大幅に省略できる。

信頼性の向上

- 軸流ファンのトラブルは動翼制御油圧系のトラブルが約 60 ~ 70 % を占めている。FRP 動翼を使用した場合、制御油圧を大幅に低下することができるため、制御油圧系のトラブルの大部分を解消でき、信頼性が大幅に向上する。

耐食性の向上

- 脱硫送風機では、省エネ及び環境対策の観点より、ガス温度の低い吸収塔出口に設置することが、近年増加している。しかし、使用環境が酸露点下の強腐食性雰囲気であり、動翼の腐食対策が必須である。従来使用されていたニッケル基ベースの超合金は、価格が高く、運転条件によっては短期間

でピッチングが発生した。FRP 動翼は耐食性があり、これらの問題点を根本的に解決でき、そのメリットを最大限に生かすことができる。

3. FRP 動翼の基本設計

3.1 素材及び製造方法

今回開発した FRP 動翼は、耐食性、耐熱性、強度を兼ね備えたもので、最も重要となるマトリックス樹脂には、連続使用最高温度が 120 のビニルエステル樹脂(エポキシアクリレート樹脂)を採用した。また強化繊維には、ガラス繊維の特殊クロス織物を用いた。製造法は、金型を用いたハンドレイアップ工法である。

3.2 翼構造

動翼の構造は、フランジと外皮を強度が高いガラスクロス材を用いた FRP とし、翼断面中央部にはガラスチョップ材を充填した。図 2 に FRP 動翼の断面図を、図 3 にガラスクロス材及びガラスチョップ材の外

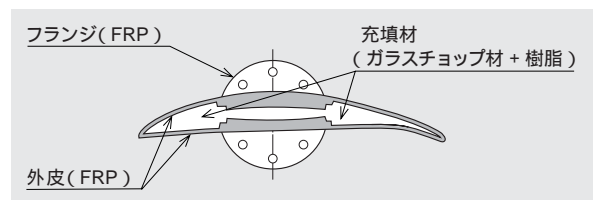


図2 FRP 動翼の断面 軸流送風機用に開発した FRP 動翼の構造及び材料を示す。

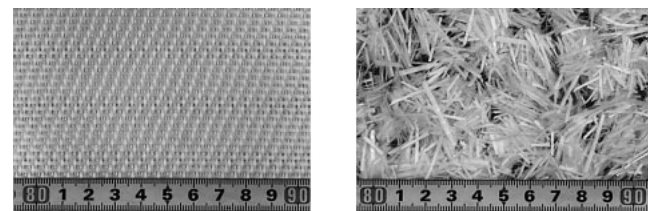


図3 ガラスクロス及びガラスチョップ材の外観 強化材として使用したガラス繊維の外観を示す。

観を示す。

#### 4.パイロットプラントによる検証(長期耐久性評価)

##### 4.1 FRP 動翼及びモデルファンの基本設計

250 MW 2 系列 / 脱硫送風機相当のモデルファンを設計し、東北電力(株)能代火力発電所 1 号脱硫装置脇に据付け、実ガス(約 100 ~ 120 )による長時間運転試験を実施した。図 4 に定格運転時の応力解析結果を示す。翼先端の最大変位は 1.98 mm, 最大応力は 14.6 MPa で翼根フランジ部翼面に発生する。

図 5 に製作した FRP 動翼の外観を示す。モデルファンは本動翼 4 枚を装備しており、作動条件を模擬するため動翼先端の周速を実機と同じ約 130 m/s に合わせ、駆動動力低減のため翼枚数を減少して設計した。

##### 4.2 試験結果

モデルファンによる実ガス運転検証は、累積 13 620 時間の運転を実施した。その間、定期的に FRP 動翼の目視検査及びクリープ伸びを計測し、健全性を確認した。

##### FRP 動翼の健全性

FRP 動翼の健全性を確認するため、13 620 時間運転後の実体翼の 140 °高温引張試験を実施した。

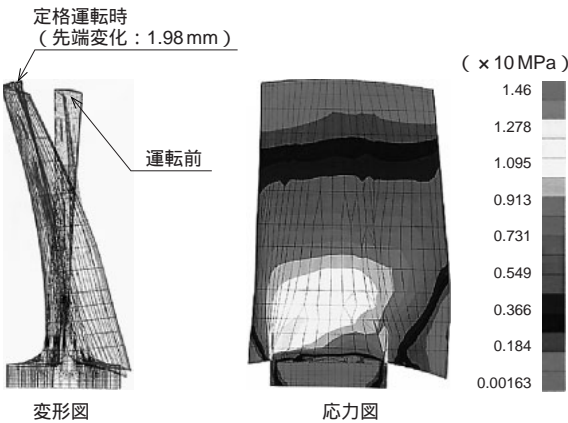


図4 定格運転時の応力解析結果 FEM 計算による運転中の動翼応力分布及び変形量を示す。

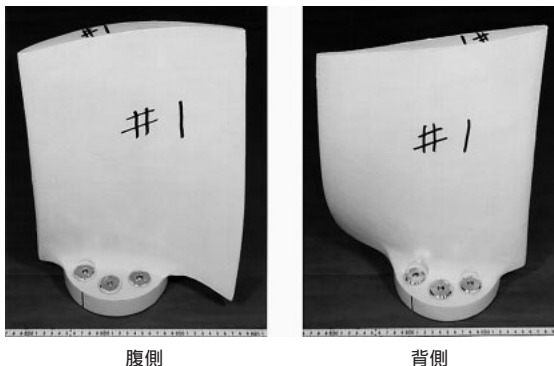


図5 FRP 動翼の外観 パイロットテスト用に製作した 1/2 スケールモデル翼の外観を示す。

図 6 に高温引張試験の状況を、図 7 に引張荷重と変位の関係を示す。

試験の結果、定格運転時の遠心力; 62 kN に対し、3.5 倍以上の 223 kN の荷重に耐えることを確認し、FRP 動翼はガス温度最高 120 °までの雰囲気において、連続使用可能であることを検証した。

また、13 620 時間運転後の FRP 動翼から試験片(6 本)を採取し室温引張試験を実施した。その結果、引張強度; 平均 272 MPa, 引張弾性率; 平均 227 MPa といずれも初期値と比較して同等であり、運転中の素材劣化はほとんど無いことが確認できた。

##### クリープ変形の影響

FRP は樹脂をマトリックスとしているため、室温においてもクリープ変形を生じる。そこで、運転時にリアルタイムで FRP 動翼の伸び(全長)を自動計測する現地計測システム(精度: 0.05 mm)を開発し連続計測を行った。

図 8 に FRP 動翼のクリープ測定結果を示す。クリープ変形は、運転初期から 500 時間の初期クリープ領域と、その後の安定領域に区別される。初期クリープ速度は、別途試験片の樹脂単体のクリープ予測線図に一致し、安定領域のクリープ速度は FRP のクリープ予測線図に一致する。本 FRP 動翼は最低 8 年(64 000 時間)の連続使用を想定しているが、

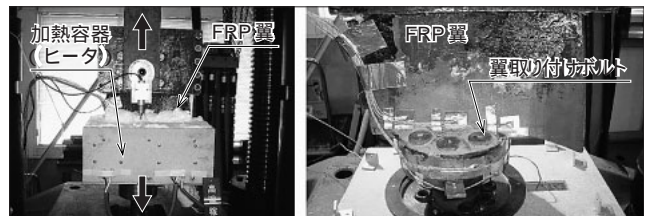


図6 FRP 動翼の高温引張試験の状況(13 620 時間運転後: 試験温度 140 °) 長期連続運転後運転時温度を再現し実施した試験の状況を示す。

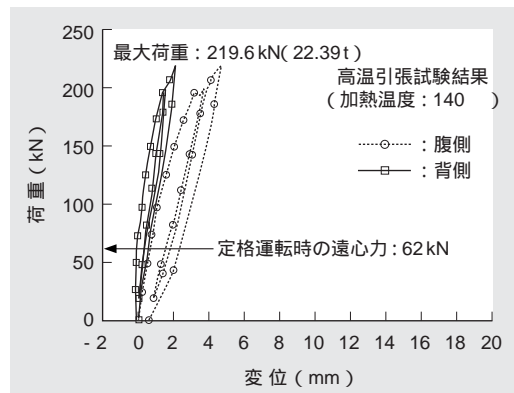


図7 FRP 動翼の高温引張試験結果 引張り荷重と変位の関係を示す。安全率が 3.5 以上あることが分る。

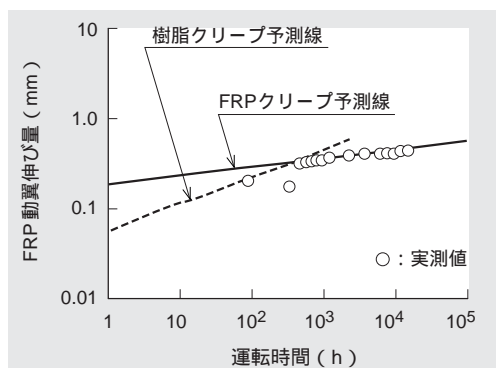


図8 FRP動翼のクリープ測定結果 モデルファンで測定したクリープ変形量を試験片により予測したクリープ曲線状に示した。



図9 約18000時間運転後の動翼外観状況 約2年半運転後の現地でのFRP動翼の外観を示す。

クリープ変形及び破断寿命ともに問題の無いことが検証された。

## 5. IPP 700 MW ユニット脱硫送風機

FRP 動翼を採用した脱硫送風機のIPP 700 MW 1 / 2号ユニットでの良好な運転状況を以下に紹介する。

### (1) 設備概要

プラント：IPP 700 MW 1 / 2号ユニット  
 運転開始：1号ユニット...平成13年7月  
 2号ユニット...平成15年7月

#### 脱硫ファン主要目

台数：1台/ユニット×2ユニット  
 風量×風圧：54100 m<sup>3</sup>/min × 8824 kPa  
 入口ガス温度：52  
 駆動機：10200 kW × 590 rpm  
 動翼：FRP製×16枚/段×2段

### (2) 特徴と運転実績

本送風機は、省エネ及び環境対策上の観点より脱硫装置吸収塔出口のガス温度の低い位置に設置されている。このため酸露点以下の強腐食性ガスを送風できる様に、従来のインコネル等ニッケル基合金製動翼に替えてFRP動翼を採用した。

1号ユニットは、平成13年7月の運転開始以来、初回定期点検を経て現在迄約20000時間ノートラブルで運転中であり、FRP製動翼のメリットを確認している。

初回定期点検ではいずれの部品も良好な状態に有ることを確認した。

図9に約18000時間運転後の動翼外観状況を示す。

## 6. む す び

FRP 動翼はこれ迄、航空用ジェットエンジンのコンプレッサ動翼（カーボン繊維強化型C-FRP）及び冷却塔用ファン、風車等（ガラス繊維強化型G-FRP

動翼）が実用化されているのみで、主に発電所等で使用される大形送風機に使用された例はなかった。C-FRPは高強度であるものの価格が高く、一方、G-FRPは安価な反面、高速回転体である大形軸流送風機の使用条件に適用できなかった。

当社では風車のG-FRP動翼をベースとして、構造/材料/形成法を工夫し、高強度/高信頼性かつ経済性の高い動翼の開発を行い、実機に適用し、好結果を得た。

これらの成果をもとに火力発電所用送風機のみならず種々の大型送風機に適用する所存である。

### 参 考 文 献

- (1) 戸島学, 軸流ファンFRP動翼の開発について, 火力原子力発電だより第60号(2002) p.17
- (2) 戸島学ほか, 軸流ファン動翼の軽量化, B.T AVENUE, Spring 2003 No.28(2003)
- (3) 後藤充成, 脱硫ファンにおける効率向上, 火力原子力発電No.565 VOL54(2003) p.111
- (4) 松崎昭二, ビニルエステル樹脂, 化学工業日報社, 初版1冊(1993) P.39
- (5) 大橋吉之助ほか, 強化プラスチックハンドブック, 日刊工業新聞社, 改訂版(1967) p.38
- (6) 植村益次ほか, FRP設計便覧, (社)強化プラスチック協会, 第3刷(1988) p.72



川節望



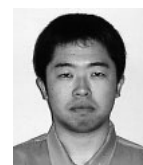
後藤充成



田北勝彦



古関正憲



戸島学