

ボイラ通風用高性能軸流ファン

High Performance Axial Flow Fans for Thermal Power Plants

横山英二* Eiji Yokoyama
高田 昭* Akira Takada
小林淳一** Jun'ichi Kobayashi

火力発電プラントの大容量化と省エネ運転のニーズから、従来の遠心ファンに代わってボイラ通風用の各種用途に動翼可変軸流ファンの採用が増加している。軸流ファンは遠心力による昇圧作用がなく、遠心ファンに比べて翼面の汚れや粗さにより性能が影響されやすい。軸流ファンの採用に当たっては、ボイラシステムと軸流ファンの特徴の十分な理解に基づく最適機種選定と最適設計が必要となる。

本稿では、モデルファンによって、翼面の粗さ、汚れの位置などが性能に及ぼす影響を定量的に求め、汚れによる性能低下のメカニズムの解明について述べた。その結果に基づいて開発された動翼可変軸流ファンでは、翼の高さ方向に仕事を最適配分することによって、低い周速で世界に類のない高圧力と高効率を得て実用化した。

1 緒 言

プラントの大容量化と、石油や天然ガスから石炭への燃料の移行、更に中規模プラントの部分負荷効率の向上のための変圧運転など、火力発電プラントは技術的に再検討されている。ボイラ通風用の送風機でも、従来の遠心ファンから、大容量及び部分負荷運転に適した軸流ファンへ移行しつつある。FDF(Forced Draft Fan: 押込通風ファン)については、動翼取付角度が運転中に変更できるいわゆる動翼可変式軸流ファンが、既に昭和51年ごろから採用され高効率と高信頼性が実証されている¹⁾。

石炭燃料の採用によって、ボイラの通風方式が強圧通風から平衡通風になり、ボイラの燃焼ガスを煙突に導きボイラ内の圧力を大気圧近くに保つためのIDF(Induced Draft Fan: 誘引通風ファン)が必要となるが、高温で石炭灰を含む燃焼ガスを取り扱うため、従来この用途には遠心ファンが有利とされてきた。最近計画されるプラントは大容量でしかも運転の経済性から、IDFにも動翼可変式軸流ファンが採用されるようになってきた。また、PAF(Primary Air Fan: 一次空気ファン)や排煙脱硫装置のBUF(Boost Up Fan: 昇圧ファン)にも同様に軸流ファンの採用が検討されている。図1に石炭火力プラントに採用される各種ファンのシステム内の位置を示し、火力発電所の規模と用いられるFDF、IDF及びBUFに要求される風量の関係を図2に示す。

軸流ファンは遠心ファンに比べて大風量に適し、設計点及

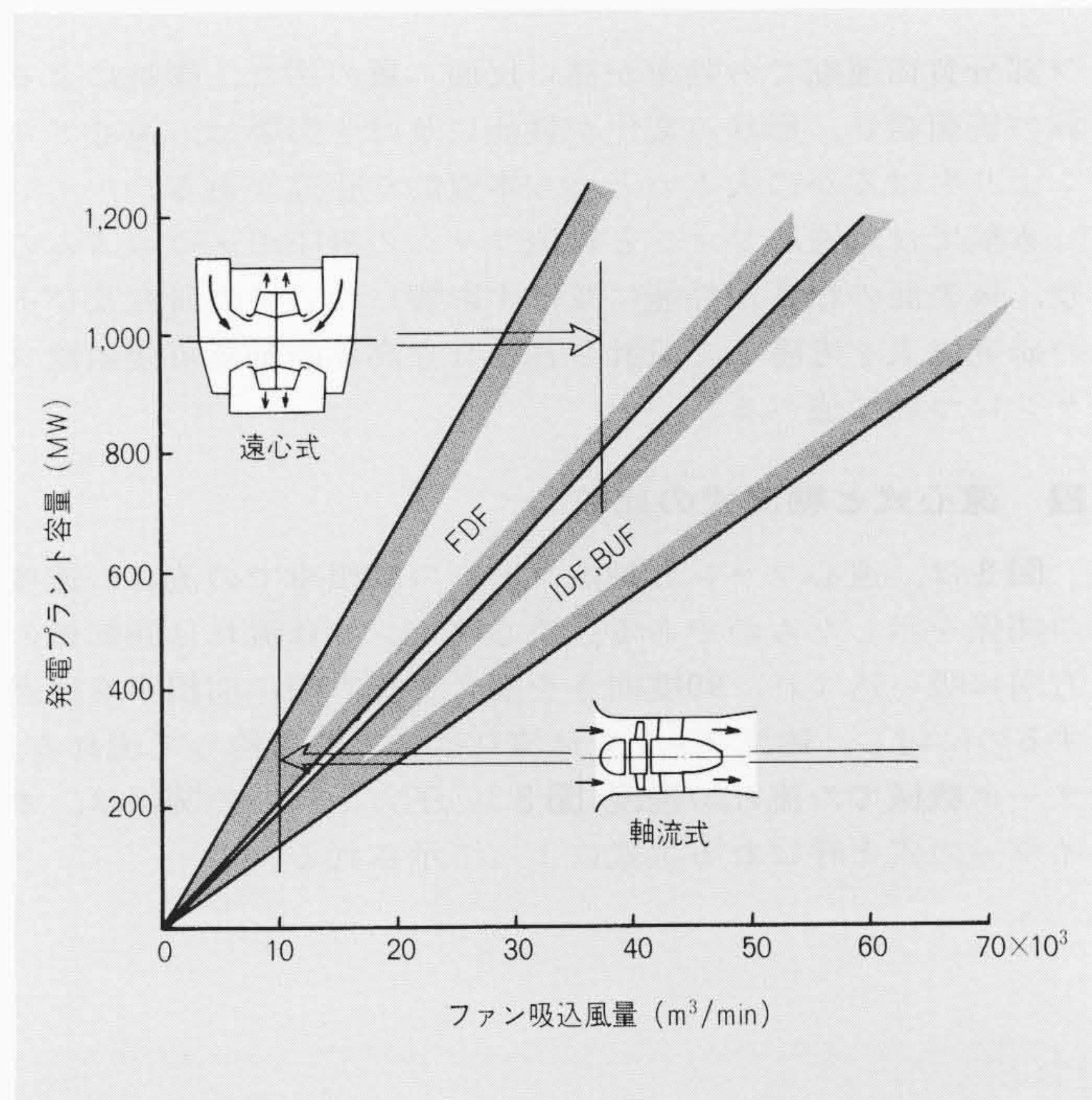


図2 火力発電プラントの規模とFDF、IDF、BUFに要求される風量の関係 プラントの大容量化によって、従来の遠心ファンに代わって大風量に適した軸流ファンが採用される。

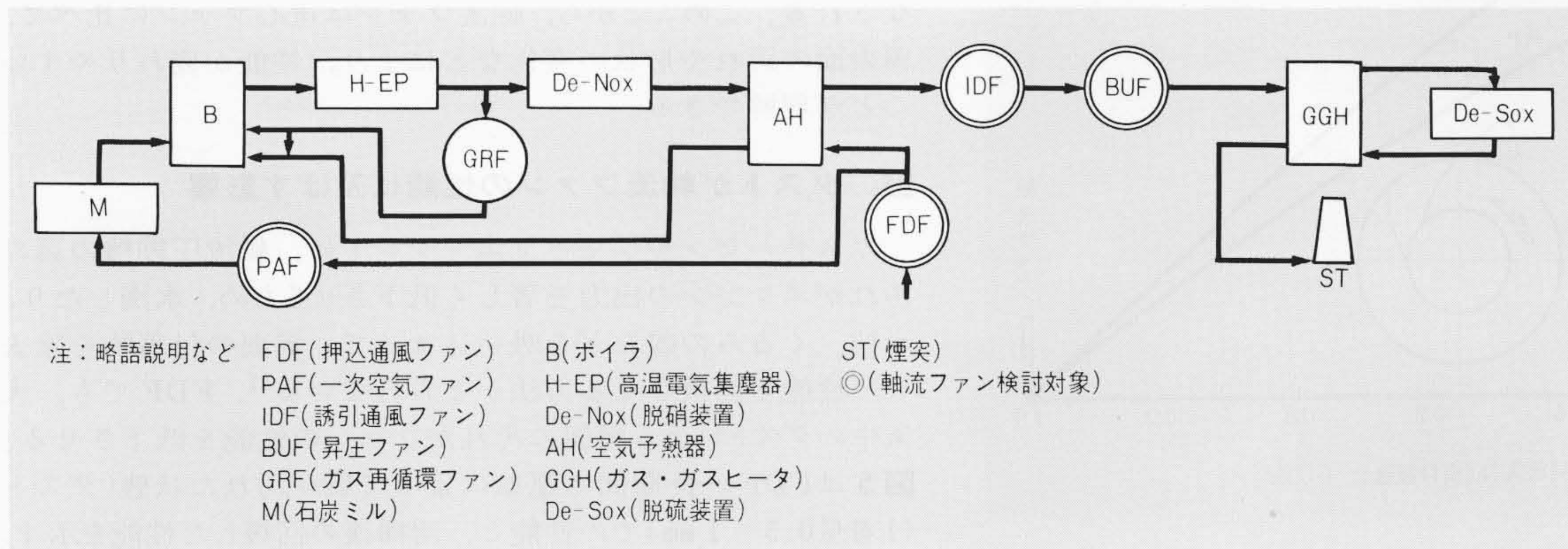


図1 石炭火力発電システムにおけるファンの役割 発電プラントの大容量化と部分負荷運転の効率向上のニーズから、FDFやIDF、BUF、PAFにも動翼可変式軸流ファンが採用される傾向にある。

* 日立製作所土浦工場 ** 日立製作所機械研究所 工学博士

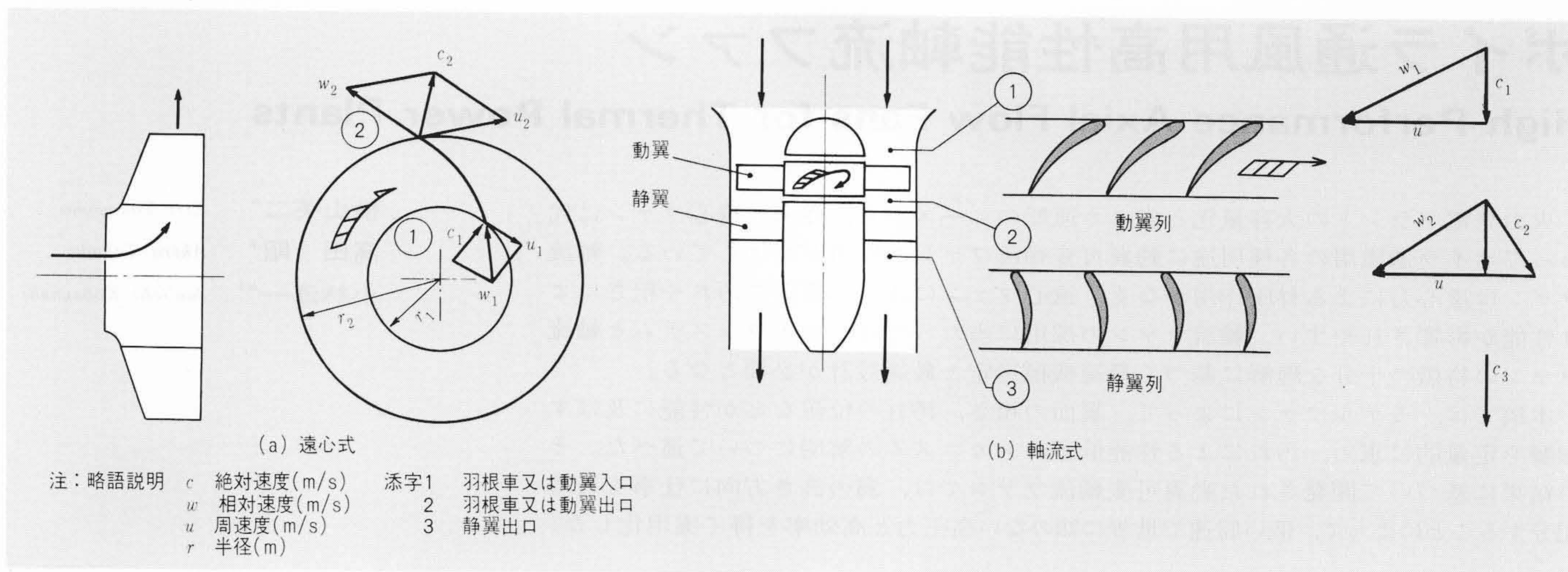


図3 遠心ファンと軸流ファンの羽根車における流れの速度 遠心式では、流れは径方向外向きに羽根車を通過するのに対し、軸流式では常に軸に沿って流れる。遠心式では遠心力が昇圧に役立つが、軸流ではその効果がない。

び部分負荷運転での効率が低い反面、翼の汚れ、摩耗による翼の表面粗さ、形状の変化が性能に及ぼす影響は、遠心ファンよりもはるかに大きいという本質的な相違がある。

本稿では、遠心ファンと軸流ファンの昇圧のメカニズムの差、翼表面の粗さが性能に及ぼす影響についての研究及びその研究成果を考慮して設計された日立高性能動翼可変軸流ファンについて述べる。

2 遠心式と軸流式の比較

図3は、遠心ファンと軸流ファンの羽根車で流れの速度の関係を示したものである。遠心ファンでは流れは回転軸の方向に吸い込まれ、90度向きを変えて径方向に羽根車を通過するのに対し、軸流ファンでは流れは常に軸に沿って流れる。ターボ機械での流れの速度(図3)と圧力上昇との関係は、オイラーの式と呼ばれる次式によって示される。

$$\Delta P = rH = \frac{\gamma}{2g} \{ (w_1^2 - w_2^2) + (c_2^2 - c_1^2) + (u_2^2 - u_1^2) \}$$

ここに ΔP ：圧力上昇(kgf/m²)

H ：ヘッド上昇(kgf・m/kgw)

w ：相対速度(m/s)

u ：周速度(m/s)

γ ：気体の密度(kgw/m³)

g ：重力加速度(m/s²)

c ：絶対速度(m/s)

添字1：入口状態、2：出口状態

本式で、右辺の第1項は羽根車の中で相対速度が減速することによる昇圧を、第2項は羽根車によって与えられる絶対速度、すなわち速度エネルギーの増加分で、羽根車の下流の静翼あるいはケーシング内で減速されて圧力に変換される部分を、第3項は遠心力の作用による昇圧分を示す。軸流ファンでは、 $u_2 = u_1$ となるため、第3項は0となるのに対し、遠心ファンでは、名前が示すとおりこの遠心力の作用が昇圧に大きい役割を果たしている。図4は、代表的な遠心ファンの遠心力による昇圧が、ファン全体の昇圧に占める割合を示す。遠心力の効果はファンの設計によって異なるが、同図からおおよそ30～60%に及んでいることが分かる。一方、軸流ファンでは、流れは常に軸方向に流れるために遠心力の効果はなく、昇圧はすべて翼に沿っての流れの向きを変えることによってなされる。このことから、軸流ファンは遠心ファンに比べて、翼表面の汚れや形状の変化などにより、性能が変わりやすいことが理解できる。

3 ダストが軸流ファンの性能に及ぼす影響

ガスタービンやジェットエンジンでは、軸流圧縮機の翼の汚れがエンジンの出力を著しく低下させるため、水洗したり、米粒、くるみの殻などを吸い込ませて、翼面の付着物を除去し、性能を回復させる方法がとられている²⁾。FDFでも、大気中のダストによる翼面の汚れがファンの性能を低下させる。図5はFDFが長期間の運転によって翼が汚れた状態(ダスト付着量0.5～1mm)での性能と、清掃後の回復した性能を示す。動翼可変式では、汚れによる風量の不足分は、動翼角を変更することによって増加できるが、サージング圧力の低下は清掃による以外に回復の手段がなく、発電に支障を来すこと

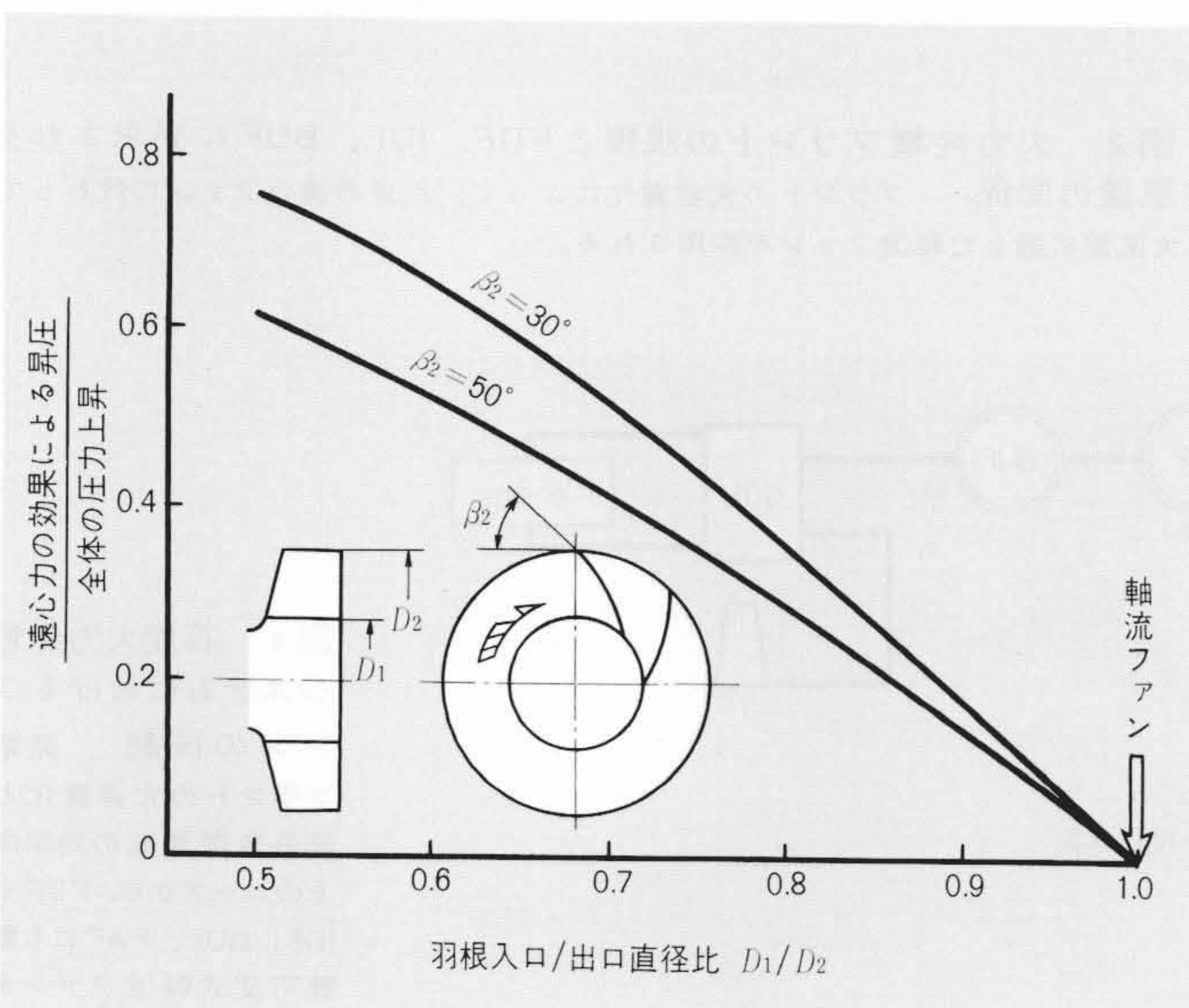


図4 遠心ファンの昇圧作用における遠心力の役割 遠心ファンの羽根車の内・外径比が小さいほど、流体に与える遠心力による昇圧が全体の圧力上昇に占める割合が大きくなる。一般の遠心ファンでは30～60%になるのに対し、軸流ファンでは0となる。

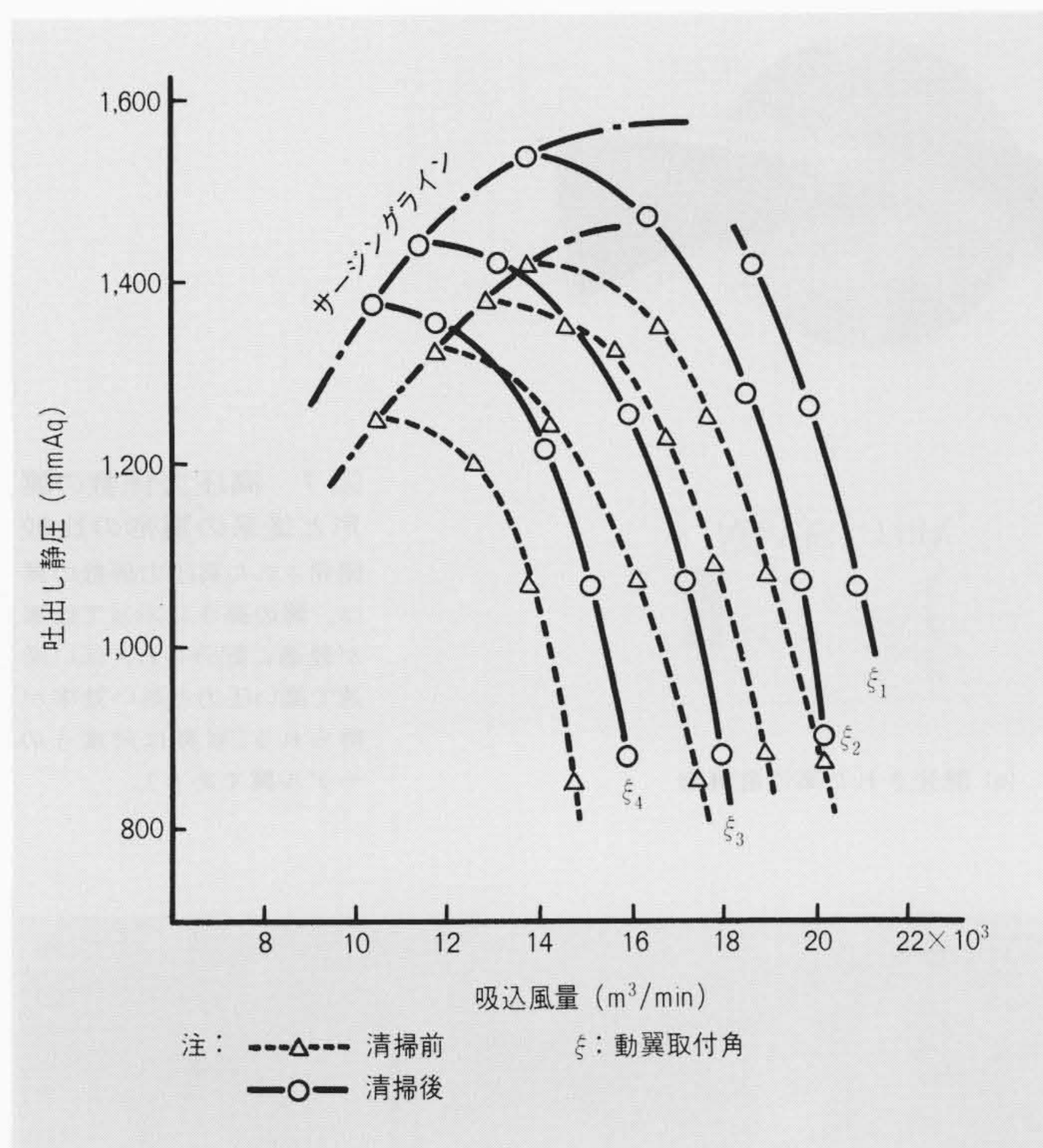


図5 翼面の汚れによる軸流ファンの性能低下の一例 FDFの翼面が汚れた状態での性能と、清掃によって回復した性能の対比を示す。軸流ファンの性能は翼面粗さの影響を受けやすい。

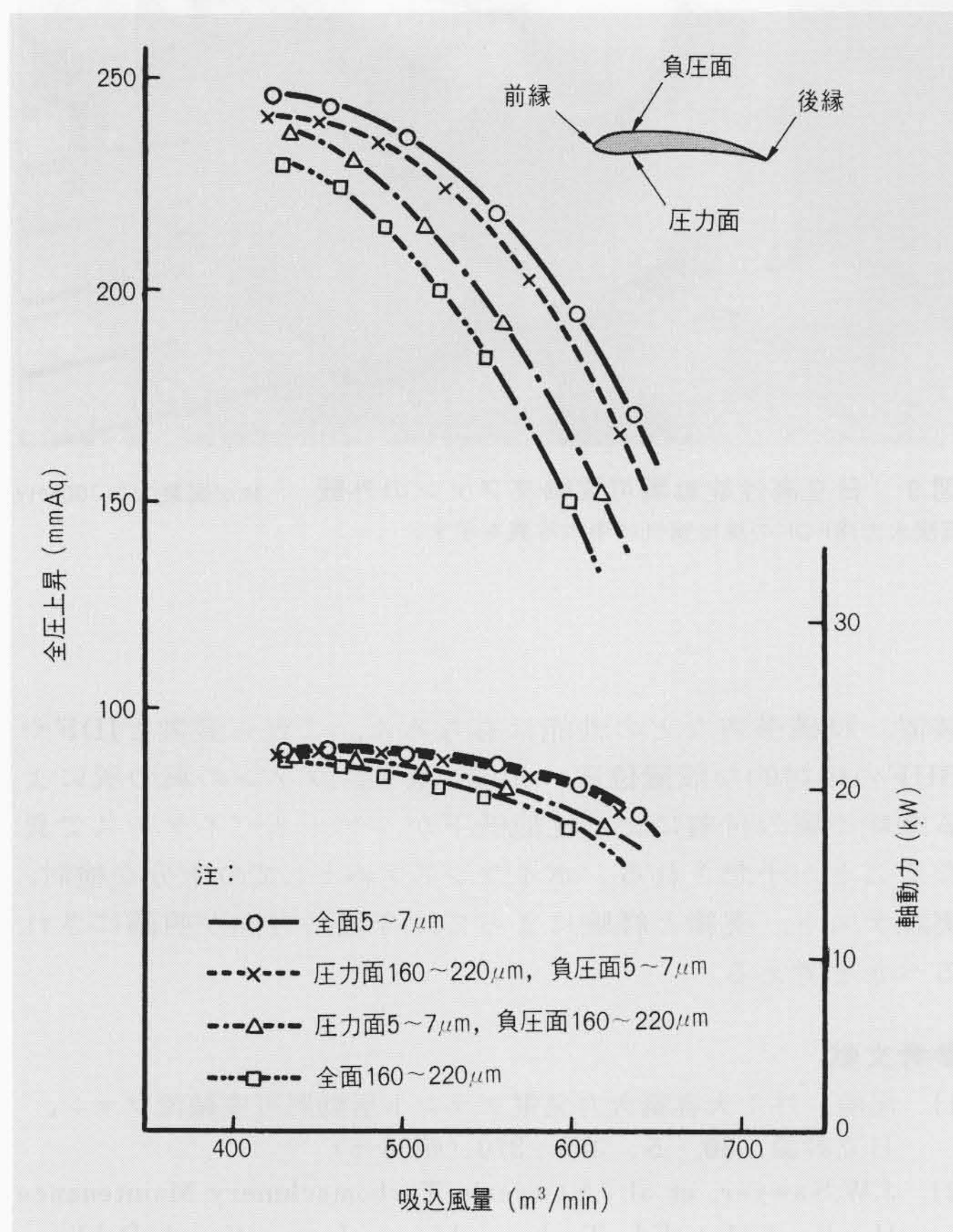


図6 翼面の汚れがファンの性能に及ぼす影響 翼の表面の粗さの影響に関する実験の一例で、圧力面よりも負圧面の粗さの影響が大きいことを示している。

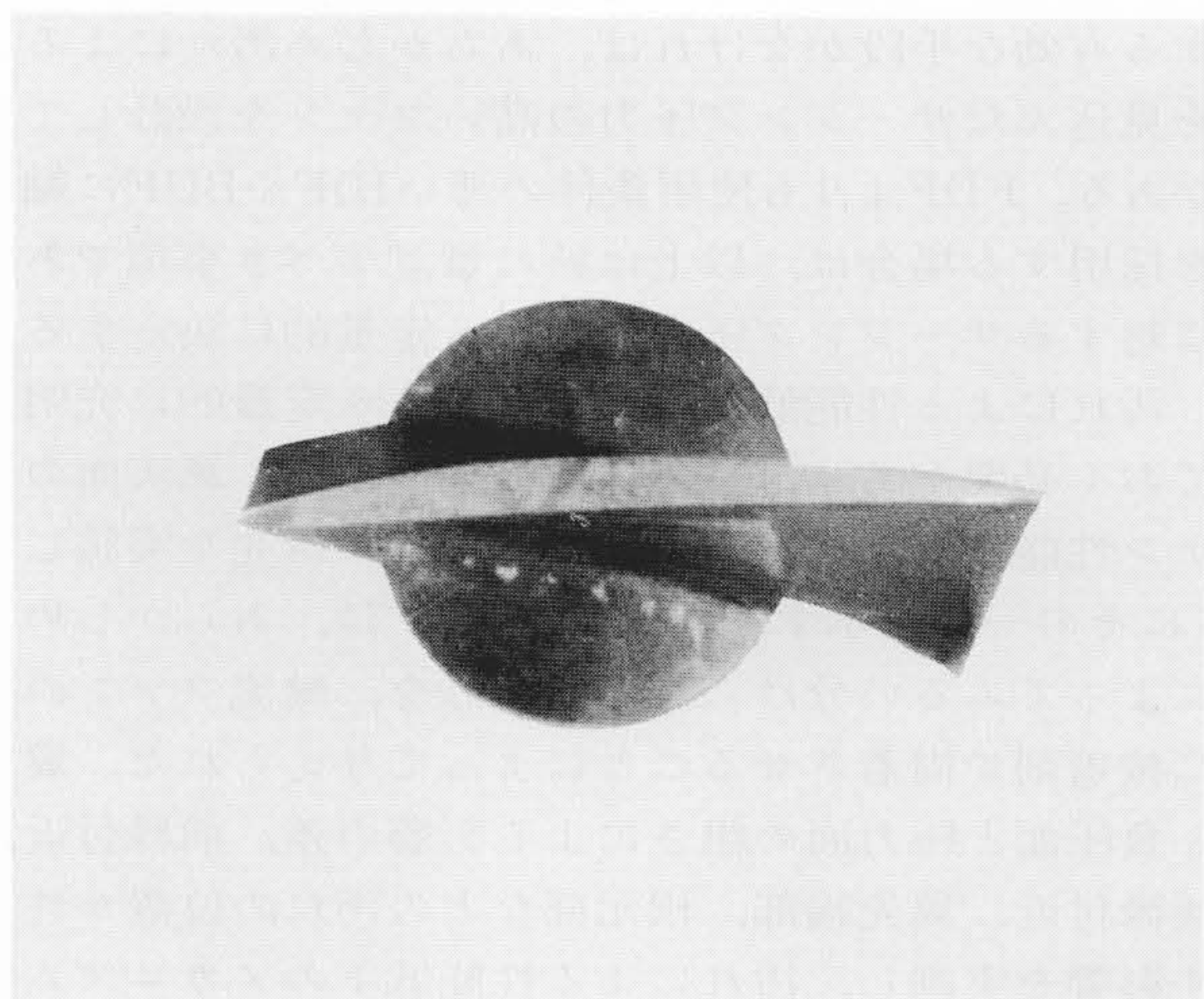
なく清掃する有効な手段がなければ、あらかじめ汚れによる性能低下を見込んだサージング圧力の高いファンを設計しておく必要がある。FDFよりも使用条件の悪いIDFやBUFに軸流ファンを採用する場合は、以上は特に留意すべき事項である。汚れに対するサージング圧力の余裕を定量的に決定するためには、汚れによる性能低下のメカニズムを定量的に究明し把握しておく必要があり、日立製作所の研究所で、翼表面の粗さがファン性能に及ぼす影響に関する一連の研究を実施した³⁾。図6にその一例を示す。翼表面の粗さは、あらかじめメッシュによってふるい分けられた鋳物砂を、軸流ファンの翼の表面に接着剤で固着させることによって与えられた。翼面の粗さ、負圧面と圧力面の粗さによる影響の差、前縁付近、中央部、後縁付近、翼先端部、根元部などの汚れの位置が性能に及ぼす影響を実測し、汚れによる性能低下のメカニズムを定量的に究明した。この研究により、概略下記の事項が明らかとなった。

- (1) FDFの翼表面の汚れによる性能低下は、翼の形状の変化によるものではなく、翼面の粗さによるものであること。
- (2) 翼の負圧面の粗さは特に性能に影響を及ぼし、動翼先端近くは効率の低下に、前縁近くは翼のなす仕事の低下に影響すること。
- (3) 翼表面の粗さによる圧力上昇の減小は、摩擦損失の増加によるものと、仕事の減小によるものとに分けられ、粗さが増すと前者の割合が増加し、ある程度粗くなると約50%程度となること。
- (4) 現地での追跡調査結果から、汚れによる表面の粗さは比較的短期間の運転である限界に達し、その後は付着物が成長とはく離を繰り返し、性能に大きな変化は起こらないこと。

4 日立高性能動翼可変軸流ファン

以上に述べたような一連の研究により、サージングライン及び汚れによるサージングラインの低下量の高精度の予測が可能となり、また軸流ファンの本質的な特徴、翼面の汚れが性能に及ぼす影響とそのメカニズムを考慮に入れ、長期間の連続運転により翼が汚れて性能が低下しても、プラントの運転に支障を来すことがないように十分に余裕をもたせた高性能の動翼可変軸流ファンを開発し、実用化した。その主な特長は、従来から一般に行なわれている翼高さ方向に沿って仕事を一定とする設計とは異なり、翼の高さ方向に仕事を最適に配分することによって、この種の軸流ファンとしては類のない高い圧力係数を持ち、動翼可変機構に強度上無理のない低い周速で、十分高い圧力と、しかも高い効率が確保できることである。図7にその動翼の写真、また図8には開発されたファンのJISに基づく性能試験結果を示す。単段動翼可変軸流ファンとしては世界に類のない高い吐出し静圧で、しかも高い効率を示している。図9に、実機の外観を示す。

火力発電プラントでの軸流ファンには、高い信頼性が要求されることはいうまでもないが、特に動翼可変機構は軸流ファンの信頼性を決定する重要な要素であり、開発の段階では、動翼各部の実働応力の測定及び動翼軸受、シール部、可変機構などの耐久試験を実施した。その詳細については既に発表されており¹⁾、ここでは重複を避けるが、研究の成果は昭和51年以来納入された実機に適用され、フィールドで信頼性を実証し、顧客から高く評価されている。その後、動翼軸受については更に研究を続け、オイルパック式軸受を実用化した。これは従来の強制給油式構造の複雑さを回避し、またグリース給油式やグリースパック式の遠心力によるグリースの分離、



(a) 従来の翼形



(b) 開発された高性能翼形

図7 高圧力係数の翼形と従来の翼形の比較
開発された高圧力係数の翼は、翼の高さに沿って仕事
が最適に配分され、低い周
速で高い圧力と高い効率が
得られる(写真は尺度 $\frac{1}{2}$ の
モデル翼である)。

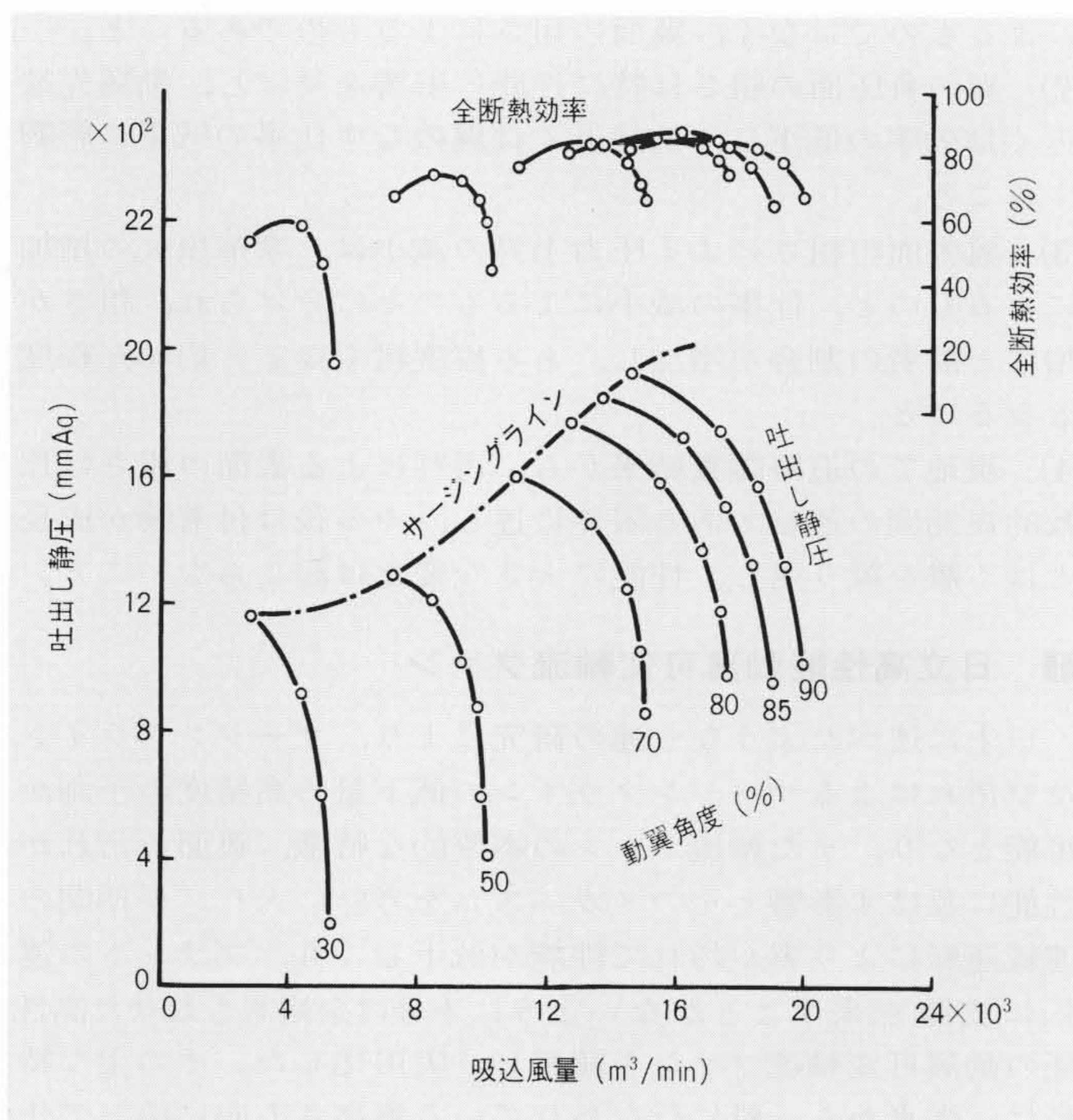


図8 高性能動翼可変軸流ファンの性能曲線の一例 動翼可変機構
の強度から制限された低い周速で、しかも単段で類のない高い吐出し静圧と高い
効率を実証した。

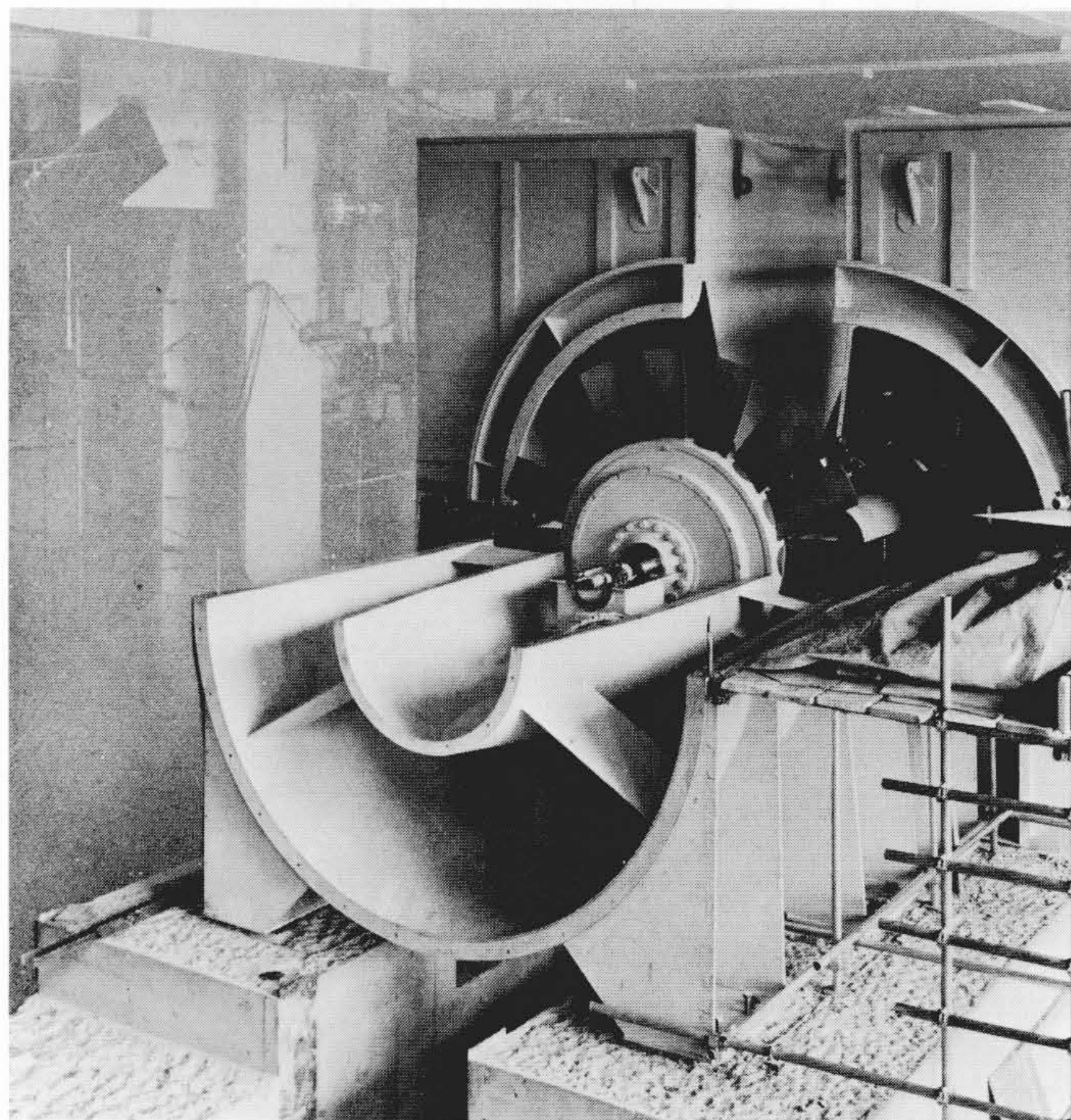


図9 日立高性能動翼可変軸流ファンの外観 我が国最大の700MW
石炭火力用FDFの現地据付け中の写真を示す。

劣化の問題点をなくしたもので、長期連続運転でも安定した
潤滑を確保し、構造も簡単で耐久性、信頼性の高い軸受である。

5 結 言

火力発電プラントで、遠心ファンに代わって動翼可変軸流
ファンの採用が急速に増加する現状にあって、軸流式の採用
に当たり留意すべき遠心式との昇圧のメカニズムでの本質的
な相違点と、軸流ファンの性能が汚れにより影響されやすい
理由を解説し、また翼面の汚れが性能を低下させるメカニズ
ムを明らかにし、その結果に基づいて開発し実用化したFDF
の一例を紹介した。

火力プラントの大容量化により、IDFやBUFにも軸流ファ
ンが採用されようとしているが、これらはFDFよりも使用さ
れる環境が悪く、燃料としての石炭の種類や集塵装置、脱硝

装置、脱硫装置などの性能はもちろん、これら装置とIDFや
BUFの相対的な設置位置の相違により、ファンの翼の灰によ
る摩耗や翼の付着による性能低下が、ケースバイケースで異
なることが予想される。ボイラシステムとしての十分な検討、
実証テスト、実績と経験によって、今後の方向が明確にされ
るべきと考える。

参考文献

- 1) 尾崎, 外: 大容量火力発電プラント用動翼可変軸流ファン,
日立評論, 60, 5, 365~370 (昭53-5)
- 2) J.W.Sawyer, et al.: Sawyer's Turbomachinery Maintenance
Handbook 1st Ed. Turbomachinery International Publica-
tions 1-3 (1980-11)
- 3) 小林, 外: 軸流ファンの性能に及ぼす翼面あらさの影響, 機
械学会, 日立地方講演会講演論文集, 82~84(1980-10)