

三菱汎用軸流送風機 (WIDEMAX ファン) の開発

Development of Mitsubishi General-Purpose Axial Fan (WIDEMAX Fan)

技術本部 山口 信行*¹ 大脇 敏和*²
長崎造船所 後藤 充成*³ 伊高 英彦*³
有村 久登*⁴

三菱重工業(株)では、WIDEMAX ファンと名づける新型の汎用軸流送風機を開発した。本ファンは、軸流ファンの高効率とコンパクトさに加えて、遠心ファンに匹敵する低価格と非常に広い作動範囲という長所を持っている。このファンは、我々が新たに開発した失速防止装置(エアセパレータ)と可変ピッチ入口案内翼をうまく組合せたものである。この組合せは、軸流ファンの特長を生かしつつ、その作動流量範囲を著しく拡大することを可能にした。本報は、この WIDEMAX ファンの開発の経緯と、結果として得られたその空気力学的特性、そして様々のメリットについて述べる。

We have developed a new type of general-purpose axial flow fan, the "WIDEMAX Fan". It offers the advantages of low price and very wide operation range comparable to those of centrifugal fans, in addition to the high efficiency and compactness of the axial flow fans. The fan integrates an ingenious combination of a newly developed anti-stalling device (air separator) and variable-pitch inlet guide vanes. This combination contributes greatly to widening the flow range, keeping the other favorable features of an axial fan. This paper describes an outline of the aerodynamic characteristics and resulting merits of various mechanical aspects of the fan in comparison with other types of fans.

1. ま え が き

当社は火力発電所向けのボイラ用送風機として大容量の動翼可変ピッチ軸流送風機を開発し、1965 年の実用 1 号機の納入以来、これまでに 300 台以上の納入実績を上げてきている。この軸流送風機は遠心送風機に比し、大風量に適し、しかも広い風量範囲にわたり高い効率を維持しているため、ボイラのみならず排脱装置、脱硝装置、燃焼炉などの広い分野の通風機として高い評価を得ている。

さらにこのたび、軸流送風機のコンパクトさと高効率に加え、新しく独自に開発した技術により、遠心送風機に匹敵する広作動範囲を達成した新形軸流送風機 WIDEMAX ファンを開発した。この新形ファンは、遠心ファンに対比して、高効率かつ小型、軽量で単純な構造をしており、このため、信頼性が高く、メンテナンスが容易であり、低振動、低騒音である。さらに基礎、据付費、駆動電動機が安価で済む、等の数多くの特長を持っている。

これらの特長は、当社独自の開発による失速防止装置(エアセパレータ)による作動範囲の大幅な拡大と、入口案内翼可変ピッチの技術により実現した。以下に本送風機の技術の開発とその特性について説明する。

2. エアセパレータの原理と現状

当社では軸流送風機の作動範囲を拡張し、かつ運転効率を向上し、動力費を低減するために様々な研究開発に取り組んできた。その幾つかの例については文末に記載の文献(1)、(2)などを参照いただければ幸いである。

改良の着眼点の一つに、失速点の改良がある。これに関しては最近様々のアプローチで研究されている。すなわち、空力設計法による翼形状の改良に加えて、サクシヨンバイパス、ケーシングトリートメント、サクシヨンリング、ブレードセパレータ、エア

セパレータ、等の諸施策、さらには、アクティブコントロールの適用などである。これらの手法の概要については、例えば文献(4)を参照いただきたい。

当社でもケーシングトリートメントを適用してサージ線を改良し、従来遠心ファンが利用されていた一次空気通風機を軸流ファンに替えて効率の大幅な向上に成功している⁽³⁾。

この中でセパレータ類は、K. A. Ушаков や S. K. Ivanov により提案された方式で、我が国では村田、三宅らによって精力的に研究されてきた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。最近ではファンに装着して実用化された例⁽⁷⁾も発表されている。また、最近 recess vane という名称で研究発表も行われている⁽⁸⁾。

我々も本装置の有用性、特に、簡単な装置でありながら非常に失速改善率の大きい点に着目し、研究を進めてきた。その結果、この実用化にこぎつけたものである。

まず、エアセパレータの一般的な形式を図 1 に示す。作動メカニズムは次のとおりである⁽⁶⁾。図 1 の動翼先端に開口した周方向

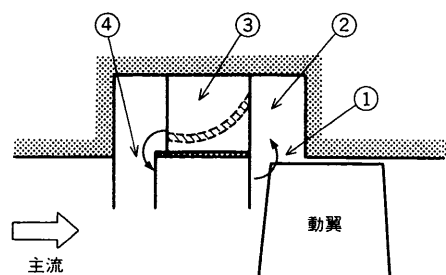


図1 エアセパレータの一般的構造と作用原理
動翼が失速に近づくとき失速の芽が先端①からキャビティ②に押込まれ、整流ベーン③で軸方向に整流されて④から主流に再び合流し、流れ全体の安定が保たれる。
General structure of air separator and its working principle

*1 高砂研究所主管 工博

*3 機械総括部風力・船用機械設計部風力機械設計課主務

*2 高砂研究所ターボ機械研究推進室

*4 機械総括部風力・船用機械設計部風力機械設計課

スリット①から、動翼先端の流れの一部が吸引され、セパレータ流路②の中に入り、その中に格納されたベーン列③によって旋回を除去され、軸流方向に整流されて、吸込側にあるセパレータの開口④から主流部分にもどる。ここで吸込主流に合流して再び動翼に流入する。

固体壁面に囲まれた通常のファンの場合、失速点に近づくと動翼の先端には失速の萌芽(ほうが)となる小さな低エネルギー流体の塊が発生し、部分的に逆流したり旋回失速を起こしたりして流れを乱すため、流れが不安定になり、失速に突入しやすくなる。一方、エアセパレータが存在する場合、それがこの萌芽を吸取り、動翼先端流れをクリーンに保つことにより、失速が妨げられると言われている。

3. エアセパレータの最適化

我々は、優れたエアセパレータを得るために、ファン試験装置(表1参照)を利用して、多数のセパレータ形式の試験を行った⁽⁹⁾。その狙いは、大きくかつ安定した失速改善効果、そしてファン効率低下の最小化である。その供試セパレータの中から代表的なタイプを図2に示す。ここでタイプIは、従来から提案されている一般的な配置を持つエアセパレータを示す。

このタイプIを利用した場合の性能を図3(a)に示す。本図には、エアセパレータを備えない場合(Solid wall)の特性を太線で示す。回転数を変化させて取得したファン性能を、ファン法則を利用して6000 rpmに換算し、回転数の影響を比較してある。これにより、このタイプIでは、低速では失速改善効果は大きいですが、高速では効果が減少している。この点については従来の報告には見られないが、高速・高圧の送風機への適用を考える上で問題であり、解決する必要がある。

そこで、エアセパレータ内の流れを改善することを目的として、

幾つかの異なる断面流路を持つエアセパレータを試みてみた。その詳細については文献(9)を参照されたい。それらの観察から、高速になる程エアセパレータ流路内の流れの乱れが増大することによるものと推測された。そこで図2に示すタイプIIのベーン列を考案した。本タイプは、動翼先端に対向して半径方向ベーン列を配したもので、従来形(タイプI)と異なり、動翼先端に対してはキャビティが存在しない形態になっている。したがって先端流れは直接すくい取られて直にちに旋回を除去され、続いて軸方向に転向することになる。

このタイプIIによる結果を図3(b)に示す。この無次元性能曲線上では、かなりの失速改善効果が得られており、同時に回転数の変化によらず同一の相対的失速点にまで伸びている。タイプIIによりファン周速に依存しない同一の流れパターンが流路内に確立され、これにより、その効果の確かさが向上したものと考えられる。また、ここには示していないが、効率低下も最小にとどめることができた。

これに対し、動翼先端にキャビティが存在するタイプIの場合には、高速化とともに強まる旋回流がキャビティ内で強い乱れが発生し、整流効果を低下させるとともに、動翼先端の流れにもさ

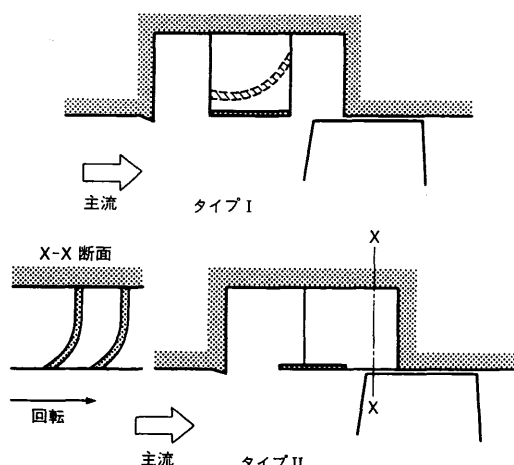
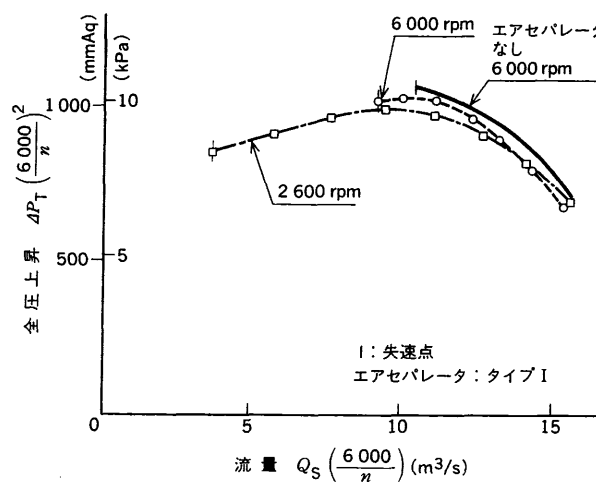


図2 供試セパレータ タイプIは一般的に提案されている軸流型整流ベーンを持つもの。IIは我々の提案した半径方向整流ベーンを持つもの。
Models of air separators for test

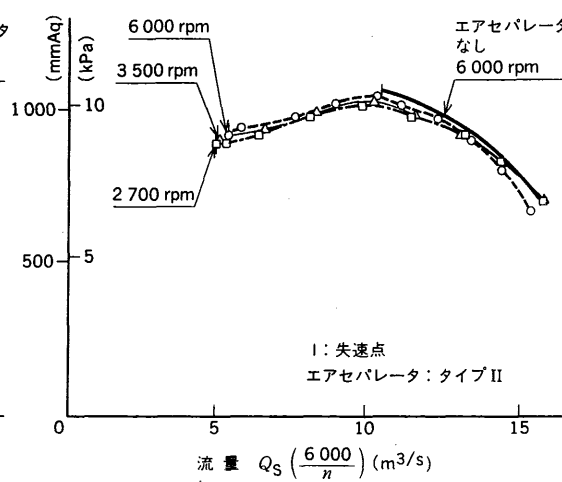
表1 試験用ファン諸元

Particulars of model fan for test

ファンチップ直径	540 mm
ボス比	0.626
回転数	6 000~2 600 rpm
動翼	NACA 65 A 翼, Z=20 枚
OGV	C-4 翼, Z=23 枚



(a) エアセパレータタイプI



(b) エアセパレータタイプII

図3 ファン失速性能に及ぼすエアセパレータの効果 (6 000 rpm 換算) タイプIでは高速度での失速点改善は低速に比し低下しているが、IIでは速度によらず失速点改良効果が優れている。

Effect of air separators on fan stalling performance (a) Type I, (b) Type II

かのぼって影響を及ぼしているのではないかと考えられる。

4. 動翼可変ピッチファンとの組合せ

以上で目的のファンに最適のエアセパレータ形式を得ることができたので、これをまず動翼可変ピッチと組合せて性能を調べてみた。

図4にその結果を示す。本研究で得られたエアセパレータを動翼可変ピッチに適用した場合、 $\Delta\theta_R \leq 15^\circ$ で従来の半分にまでサージ風量が低下し、作動範囲が著しく広がっている。また、効率も2%低下にとどまった。これによってエアセパレータ付き動

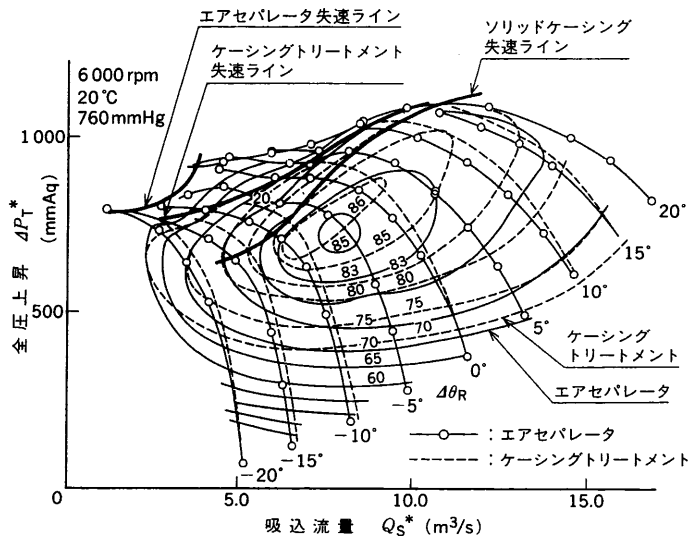


図4 動翼可変ピッチ軸流ファンでのケーシングトリートメントとエアセパレータの効果の比較 エアセパレータによる失速改良効果はケーシングトリートメントよりも大きいことが分かる。
Comparison of anti-stalling effects between casing treatment and air separator for variable-pitch moving blade operation

翼可変軸流ファンには次の利点が明らかである。(1) 失速余裕が増え、安全性、信頼性、計画上の余裕が高まる。(2) このため、高い効率点を通して計画でき、作動効率が高まる。(3) 圧力係数を高くとれ、ファンの小形化を図れる。(4) 既存ファンのケーシングの一部換装による高压化が可能である。

次に、ケーシングトリートメント付きファン⁽³⁾とエアセパレータ付きファンの特長を比較してみる(図4)。前者に比し、エアセパレータ付きの方が失速改善領域は広い、しかし、効率の低下量はケーシングトリートメントの方がやや小さいことが分かる。

ところで大風量側ではケーシングトリートメントの方が効率が良い。これは大風量設定で動翼先端の食違い角が小さくなるとケーシングトリートメントのインサートの相対軸幅が小さくなり、影響度が小さくなるのに対し、エアセパレータでは翼が前に突出し、セパレータ部の影響領域相対軸幅が大きくなり、これによって大風量側で影響を受けやすくなるのではないかと考えられた。したがって、エアセパレータ方式は動翼可変ピッチよりもむしろ入口案内翼可変ピッチに適した方式と考えられる。

5. 入口案内翼可変ピッチファンとの組合せ

そこで入口案内翼可変ピッチとエアセパレータの組合せを試みた。供試ファンにエアセパレータと入口案内翼を取付けた様子を図5に示す。エアセパレータの配置は、循環流が動翼の先端前縁側から入り、ケーシング外周のアニュラ流路を通してIGVの上流側に抜けるように開口されている。これはエアセパレータの効果とIGVの効果の両者を生かすように組合せたもので、我々のファンの特徴である。エアセパレータは、前述の最適化したものをを用いた。動翼は計画状態に設定した。

装置の写真を図6に示す。図6(a)は動翼を組込んだ状態で、図6(b)は本装置のエアセパレータである。

図7に本ファンのIGV可変ピッチ性能を示す。カーブ上の低

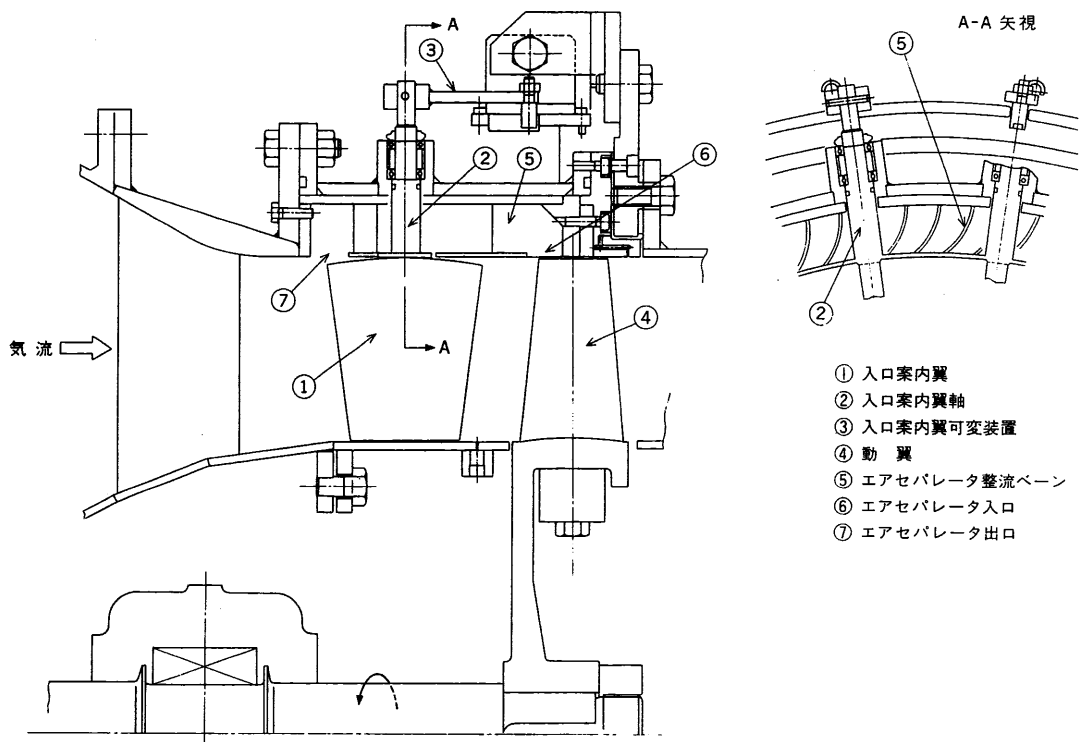
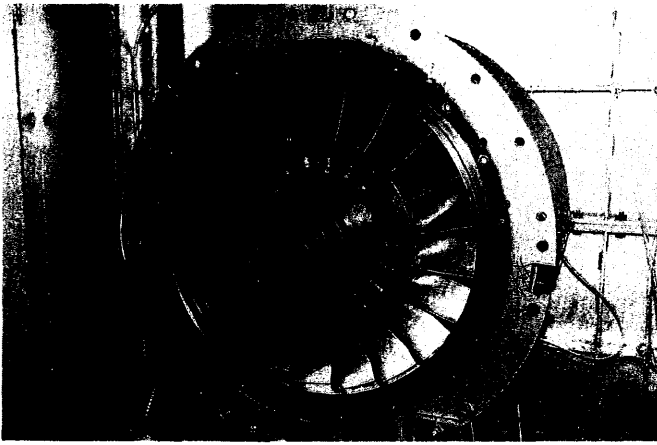
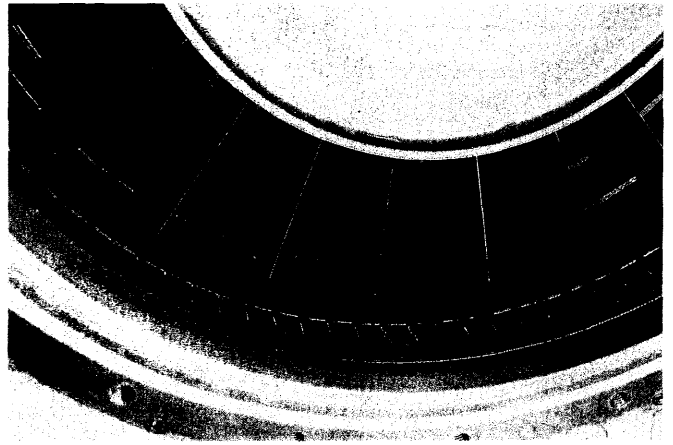


図5 エアセパレータ付きIGV可変ピッチ軸流ファンモデル試験装置 最適化されたエアセパレータとIGV可変ピッチの両特長を組合せるよう工夫された構造を示す。
Sectional view of experimental model of axial fan with variable-pitch inlet guide vanes and air separator



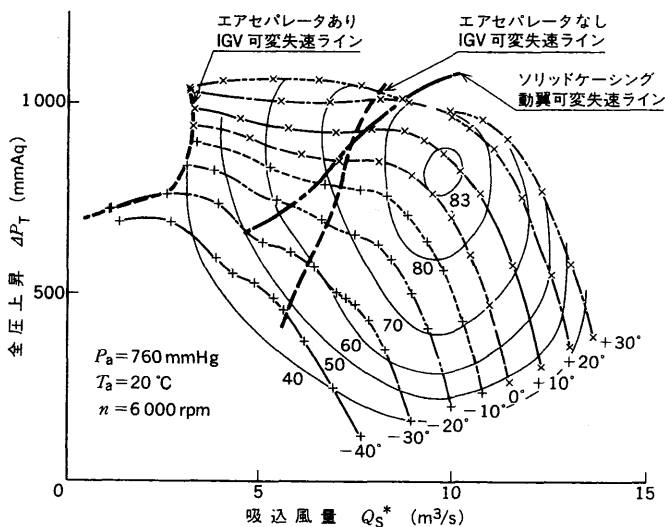
(a) 動翼と吸込ケーシング



(b) エアセパレータ入口側

図6 試験用モデルファン写真

Photographs of experimental fan, (a) moving blades and suction casing, (b) entry port of air separator

図7 エアセパレータ付き軸流ファン IGV 可変性能モデル試験結果
エアセパレータ付き IGV 可変ファンの IGV 角度変更により達成される広い作動域を示す。動翼可変ピッチに匹敵する広い作動範囲をエアセパレータ付き IGV 可変ファンは達成している。

Variable-pitch-IGV performance map of model fan

風量外周で測定点のない領域はサージングに入った領域である。サージ領域は低風量側に局限され、非常に狭まっている。また等効率曲線の目玉は上下に広く広がっている。図7にエアセパレータなしでの入口案内翼可変時の失速線を示すが、そのままでは失速ラインは急しゅんであり、それ程作動領域を広くとれない。これが従来その汎用化を妨げていたが、本方式によりサージ線が非常に伸び、運転上の安全性、信頼性が高まっていることが分かる。動翼可変ピッチによる広範囲での高性能には及ばないが、作動範囲は非常に広がっている。

6. 遠心ファンとの比較

そこで、ある動作点仕様に対し、吸込ベーンコントロールの遠心ファンと本研究のエアセパレータ付き入口案内翼可変軸流ファンの作動範囲と等効率曲線の概略を比較してみた。紙面のスペースの関係でその詳細は省略するが、その結果本軸流ファンの作動範囲は遠心と同等以上に広く、また等効率曲線の目玉の形から、特に低負荷領域で高い作動効率を期待できることが分かる。

その概略サイズを比較してみると、本ファンでは外形寸法が大幅に小型化され、重量が半減することが分かった。また回転慣性モーメント GD^2 が小さく高速になるので電動機も安価にすむ。これらから大型基礎が不要で据付、基礎工事の簡素化と費用節減が達成できることが分かった。

これらの検討から、在来型のファンに比して本形式のファンには、性能と価格の両面でのメリットが非常に大きいと期待できる。

7. 結 論

エアセパレータ付き IGV 可変ピッチ軸流ファンのモデル試験を実施し、非常に広い風量範囲で作動可能な軸流ファンを開発できた。本ファンは、最適化されたエアセパレータ、IGV 可変ピッチ、実績のある高効率動翼及び出入口案内翼の組合せを特徴とし、以上に述べた数多くの長所を持っている。この新形式軸流ファンを我々は WIDEMAX ファンと名づけ、新規用途や既存ファンの置換に適した汎用の新機種として期待している。様々な用途への採用を関係各位にお願い申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 山口ほか、ボイラ用動・静翼両可変軸流ファンの開発、三菱重工技報 Vol.25 No.1 (1988) p.20
- (2) 森島ほか、ボイラ用高性能ファンの開発、三菱重工技報 Vol.26 No.2 (1989) p.145
- (3) 山口ほか、ボイラ用軸流式一次空気通風機の開発—ケーシングトリートメント付き動翼可変軸流ファンの開発—、三菱重工技報 Vol.20 No.3 (1983) p.38
- (4) 山口、サージの制御、日本ガスタービン学会誌 Vol.19 No.76 (1992)
- (5) 軸流送風機の失速防止法 (外国文献ダイジェスト)、機械の研究 Vol.18 No.4 (1966)
- (6) 三宅、稲葉、軸流送風機のすき間流れと旋回失速、機械の研究 Vol.36 No.8 (1984)
- (7) Bard, H. The stabilization of axial fan performance, IMechE 1984-4 (Installation Effect in Ducted Fan Systems)
- (8) Ziabasharhagh M. et al., Recess vane passive stall control, ASME 92-GT-36 (1992)
- (9) 山口ほか、軸流送風機エアセパレータの研究、日本機械学会関西支部第250回講演会 (1991)