

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-587

空冷タービンの空力特性に関する研究 (II)

動翼シュラウドリングからの吹出しの影響
(吹出し角 30° の場合)

臼井 弘 ・ 井上 重雄

養田 光弘 ・ 能瀬 弘幸

1988 年 6 月

航空宇宙技術研究所

NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

概 要	1
記 号	1
1. まえがき	2
2. 供試タービンの構造及び仕様	2
3. 実験装置	3
3.1 空気系統	3
3.2 二次空気吹出し部の構造	4
3.3 計測断面	5
3.4 計測装置	5
4. 計 算 式	6
4.1 タービン比出力，タービン膨張比	6
4.2 断熱効率	7
4.3 無次元圧力	8
4.4 温度効率	8
5. 実験結果	8
5.1 全体性能	8
5.1.1 流量特性	8
5.1.2 トルク特性	8
5.1.3 断熱効率特性	8
5.2 内部流動	8
5.2.1 断熱温度効率分布	8
5.2.2 動翼出口絶対流出マッハ数分布	9
5.2.3 動翼出口絶対流出角分布	9
5.2.4 動翼出口相対流出角分布	11
5.2.5 動翼出口温度分布	11
5.2.6 動翼下流無次元圧力分布	11
5.2.7 動翼下流フローパターン	12
6. 結 論	13
7. あとがき	18
参考文献	18
付 録	19

空冷タービンの空力特性に関する研究 (II)*

動翼シュラウドリングからの吹出しの影響 (吹出し角30°の場合)

臼 井 弘** 井 上 重 雄**
養 田 光 弘** 能 瀬 弘 幸**

Experimental Investigation on the Effect of Coolant Injection on Turbine Aerodynamic Characteristics.

Part II: Effects of Injection from Rotor Casing with 30° Slanted Holes.

Hiroshi Usui, Shigeo Inoue, Mitsuhiro Minoda and Hiroyuki Nouse

Abstract

Using a test turbine, the authors investigated the effects of coolant injection on turbine aerodynamic characteristics.

In this paper, part II, the effects of the coolant injection from a rotor casing with 30° slanted holes are described. The discussed turbine efficiency introduced herein is based on torque, rotational speed and mass flow rate, and the radial and tangential distributions of total pressure and flow angles.

It may be concluded that there are some reductions in total pressure losses and increases in outlet flow angles in the tip region caused by the coolant injection.

概 要

ガスタービン入口温度の高温化に伴い翼及び翼周
辺の冷却が必然となっているが、この冷却の為に吹
出し空気が主流に及ぼす影響を調べるために、空冷
タービン回転試験機を設計製作し、実験を行った。
第一報では空力回転試験機と装置について報告した。

本報告は、タービン動翼先端のシュラウドリング
から二次空気（冷却空気に相当）を吹出した場合、
吹出し空気が主流に及ぼす影響について述べたもの
である。

なお、本研究は通商産業省工業技術院の大型省エ
ネルギー技術研究開発制度（ムーンライト計画）によ
る高効率ガスタービンの研究開発の一環として、航
空宇宙技術研究所で進めている「タービン技術の研
究開発」として行ったものである。

記 号

A : 面積
 C_p : 定圧比熱
 G : タービン質量流量
 g : 重力加速度
 ΔH : タービン比出力
 J : 熱の仕事当量
 M : マッハ数

*昭和63年3月4日 受付
**原動機部

N	: タービン回転数
p_s	: 静圧
p_t	: 全圧
R	: ガス定数
r_i, r_o	: 流路内壁半径, 同外壁半径
T	: 温度
β	: 二次空気流量比
δ	: 基準圧力に対するタービン入口全圧の比
ε_{cr}	: 流量の補正係数
ε	: オリフィスの修正係数
ρ	: 密度
η_c	: 主流及び二次空気を作動流体とみなした効率
η_p	: 主流のみを作動流体とみなした基本効率
θ	: 温度比
κ	: 比熱比
π	: 膨張比
τ	: タービン軸トルク
添 字	
a	: 軸方向
c	: 二次空気
cr	: 修正値
des	: 設計値
h	: 翼根部
m	: 平均値又は主流空気
or	: オリフィス
s	: 静温又は静圧
st	: 標準状態
t	: 翼先端部

1. まえがき

ガスタービンの研究開発において熱効率の向上や比出力の増大を図るため、タービン入口温度をより高くする努力が続けられている。高温化のためには翼冷却が必然となっているが、より高いタービン入口温度を実現するためには翼冷却と共にノズル端面や動翼ケーシングについても冷却を考慮しなければならない。一般に二次空気は使用量が多い程、高い冷却効果を期待出来るが、多くの二次空気を使用することはエンジンサイクル全体を考慮した場合、マイナスの要因となる。従ってより少ない二次空気に

よって、より大きな冷却効果を得ることが冷却タービンの設計にあたっては重要な課題である。また、二次空気の吹出しにより主流がみだされ、空力的にマイナスの要因になることも十分考慮しなければならない。このような背景から、タービン内に吹出された二次空気が主流に与える影響を明らかにすることは非常に重要な問題である。本研究は、空冷タービン試験機を用い、動翼先端シュラウドリングからの吹出しの影響を調べたものである。

実験に使用した試験装置は動翼からの二次空気の吹出しが可能なほか、静翼については一部の変更に より静翼端面からの吹出しも可能である。さらに、本実験で行ったように供試タービンのシュラウドリングを変更することにより、ここからの吹出しによる影響を調べることも可能である。

本供試タービンで使用したノズル翼および動翼はフェンジェットエンジン FJR710/20¹⁾ の要素試験用高温タービン HT-30H²⁾ に使用された翼と同一の翼を使用しており、共に空気冷却方式を採用している。この HT-30H は同エンジンの高性能化を図るため、タービン入口温度の設計値を 1453.2K にしたものである。このような高温試験用に設計された試験機で詳細な空力性能を調べるにはいくつかの困難点がある。

即ち (1) 燃焼器の特性により円周方向および半径方向に均一な温度分布が保たれない、(2) タービン入口温度の正確な測定が難しい、(3) 高温の為プローブ等に制約があり内部流動の詳細な測定が困難である。このような理由から本研究では非加熱 (タービン入口温度 約 130°C) の圧縮空気を使用する空冷タービン空力試験機による試験方法とし、そのシュラウドリングから二次空気の吹出しを行い、吹出し空気が主流に及ぼす影響を明らかにしたものである。

2. 供試タービンの構造及び仕様

本供試タービンは前述のように、冷却の為の二次空気が主流に及ぼす影響を明らかにするために設計製作したもので、ノズル翼、動翼共にタービン高温試験機 HT-30H と同じ空気冷却構造の翼を採用した。本試験機は動翼を取外すことにより、ノズル翼のみ

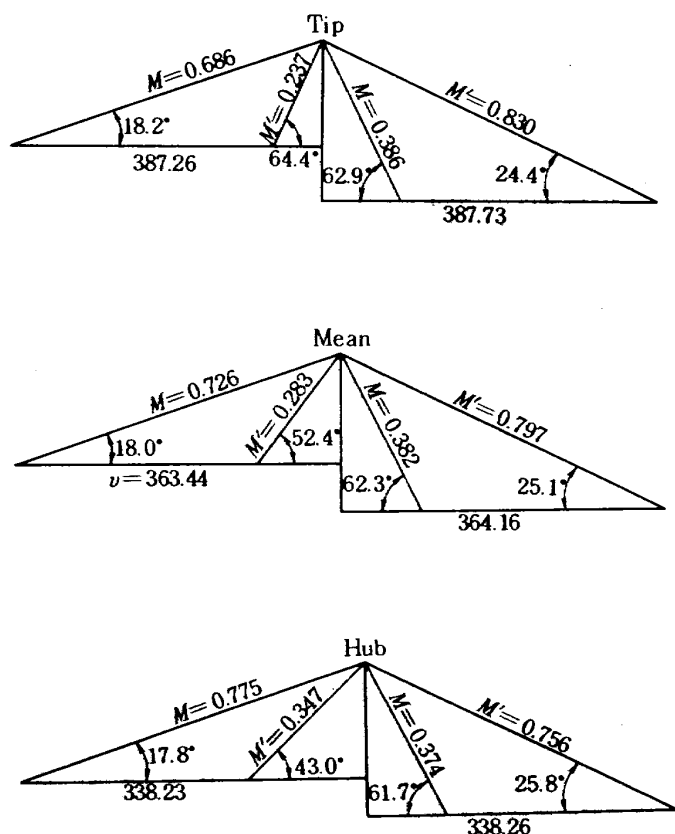


図1 供試タービン設計速度三角形

表1 供試タービンの設計点要目

入口主流圧力	235 KPa (2.4 kg/cm ² , abs)
入口主流温度	410 K (137°C)
全圧膨張比	1.92
主流流量	6.5 kg/s
回転数	7300 rpm
二次空気	
圧力	245 KPa (2.5 kg/cm ² , abs)
温度	410 K (137°C)
流量	3% (タービン入口流量比)

の試験やシュラウドリングからの吹出しによる影響を調べることを可能とするため、軸方向に分割出来る構造とした。

二次空気流量の設定や各ベアリングに供給するシール空気の調整は全て一箇所にまとめて配管し、設定の合理化と誤操作の防止を図った。

三次元流れの解析の為に動翼下流において円周方向および半径方向のトラバース測定が可能な構造とした。さらにタービンの内・外径の壁面に静圧孔を

表2 翼および翼列諸元

翼	項 目	Tip	Mean	Hub
静	半 径 r (mm)	254.8	242.5	230.2
	翼 枚 数	66		
	ピ ッ チ S (mm)	24.26	23.09	21.92
	翼 弦 長 C (mm)	33.13	31.80	30.46
	スロート長さ O (mm)	7.81	7.37	6.92
	ソリディティ σ	1.365	1.378	1.390
	前縁厚さ d_f (mm)	4.1	4.1	4.1
	後縁厚さ d_r (mm)	1.0	1.0	1.0
	翼前縁角 β_f (deg)	9.75	9.75	9.75
動	半 径 r (mm)	259.0	242.5	226.0
	翼 枚 数	114		
	ピ ッ チ S (mm)	14.28	13.37	12.46
	翼 弦 長 C (mm)	18.95	19.08	19.20
	スロート長さ O (mm)	5.79	5.57	5.34
	ソリディティ σ	1.327	1.427	1.542
	前縁厚さ d_f (mm)	2.0	2.0	2.0
	後縁厚さ d_r (mm)	1.0	1.0	1.0
	翼前縁角 β_f (deg)	34.75	34.75	34.75
翼	喰 違 い 角 ξ (deg)	39.5	31.8	24.0

設けた。

図1に供試タービンの設計速度三角形、表1に設計点要目、表2に翼及び翼列諸元を示す。

3. 実験装置

3.1 空気系統

図2に空冷タービン空力回転試験装置³⁾の系統図を、図3に写真を示す。本実験では空気源に軸流圧縮機(出力: 1800 kW, 出口圧力: 0.314 MPa)⁴⁾を使用し、非加熱(タービン入口部温度約 403.2 K)の圧縮空気を用いて行った。二次空気の供給は主流空気より分岐し、円周上4ヶ所よりシュラウドリングに供給する構造とした。主流及び二次空気流量の測定は共にJIS円板オリフィスを用いて行ない、流量 G (kg/s)は次式で求めた。

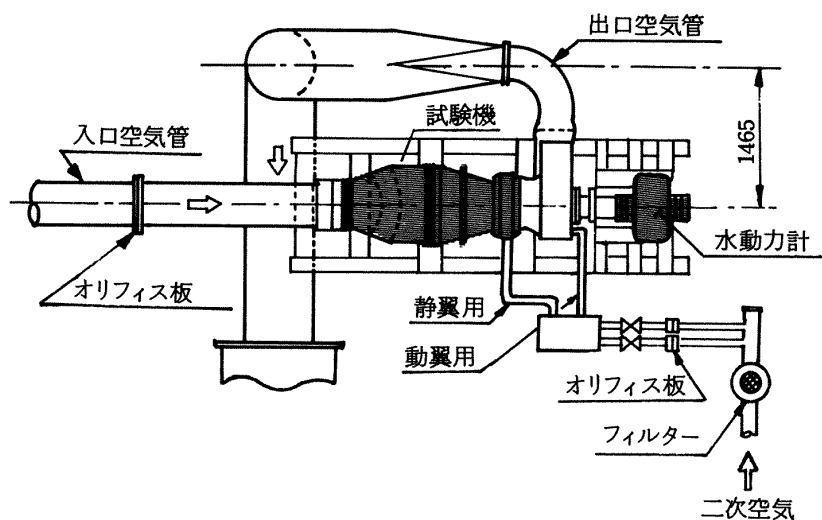


図2 空冷タービン空力回転試験機系統図

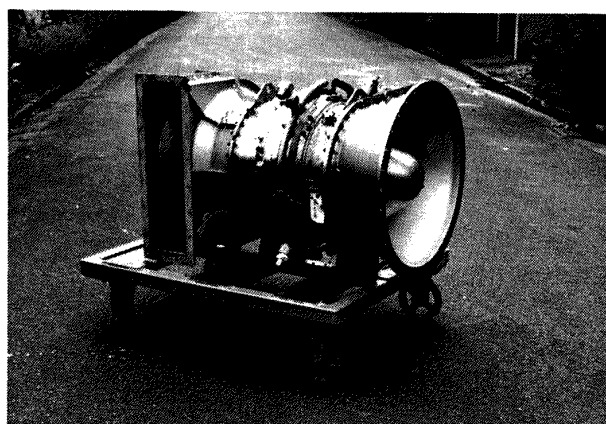


図3(a) 空冷タービン空力回転試験機

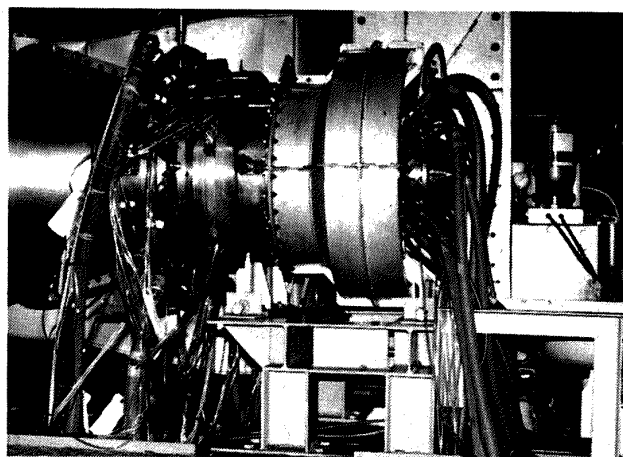


図3(b) 空冷タービン空力回転試験装置

$$G = \alpha \varepsilon A_{or} \sqrt{2 \rho_{or} \Delta p_{sor}} \quad (1)$$

ここに α は流量係数で開口比 (β) との関係から次式で求めた。

$$\alpha = 0.5957 + 0.02736\beta + 0.3916\beta^2 - 0.3248\beta^3 + 0.4422\beta^4$$

ε は空気の膨張補正係数でオリフィス前の静圧を p_{sor} として次式で求めた。

$$\varepsilon = 1 + (-0.199 - 0.235\beta + 0.344\beta^2 - 0.42\beta^3) \Delta p_{sor} / p_{sor}$$

A_{or} = オリフィス開孔面積 (m^2), Δp_{sor} = オリフィス前後差圧 (KPa), ρ = 密度 (kg/m^3)

また, 使用したオリフィスは次の通りである。

	管内径 (m)	絞りの口径 (m)	開口比 (β)
主流測定用	0.4952	0.2462	0.247

二次空気測定用	0.0807	0.0484	0.359
---------	--------	--------	-------

3.2 二次空気吹出し部の構造

図4に二次空気吹出し部の構造, 図5に写真を示す。吹出しに使用する二次空気量の増大はエンジン性能にマイナスの影響を与えるため多量に使用することは適切でなく, 本実験では主流の3(%)を確保し得るものとして設計した。二次空気の吹出し方向は, 動翼の回転方向に対向し, 動翼先端ティップクリアランスから主流の漏洩を抑制する可能性のある方向(反回転方向)に行った。吹出し角度は主流の漏洩抑制効果がより多いと予測されること及び工作上的な制約から接線に対し 30° の角度に決定した。

吹出し孔位置は, 動翼先端部軸方向の静圧分布を考慮して, 吹出し流量をほぼ均等とするため, 上流

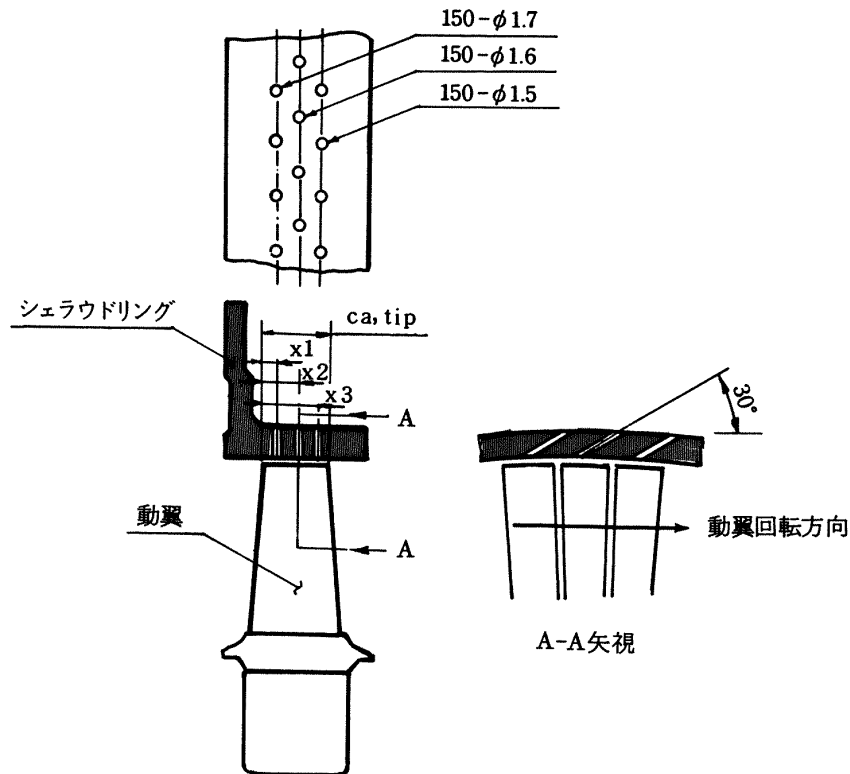


図4 二次空気吹出し部の構造

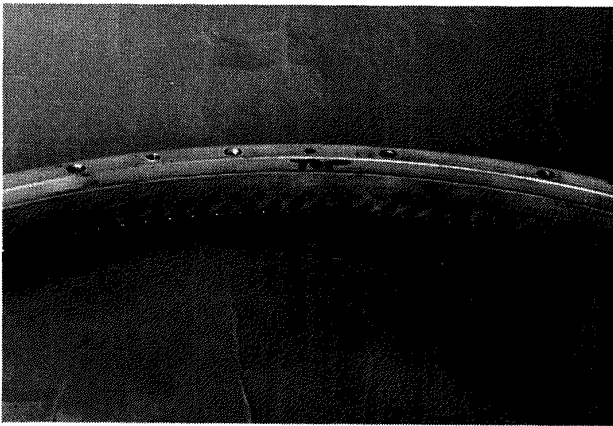


図5 二次空気吹出し部

側の吹出し孔径を大きくし、下流側の吹出し孔径を
しだいに減少させた。吹出し孔の数はシェラウドリ
ング全体の流量配分及び許される二次空気流量を考
慮して次の通りに決定した。

	吹出し孔総面積	(m^2)	$x_i / C_{a,tip}$
第1列	$\phi 1.7 \times 150$ 個	2.3×10^{-6}	0.2
第2列	$\phi 1.6 \times 150$ 個	2.0×10^{-6}	0.5
第3列	$\phi 1.5 \times 150$ 個	1.8×10^{-6}	0.8

$C_{a,tip}$ = 動翼先端部の軸方向翼弦長

3.3 計測断面

図6aに供試タービンの計測断面図を図6bに計測
器の写真を示す。

計測は各断面において行い、ガス温度の測定は
CA熱電対温度計(シース径 $\phi 1$)を使用し、全圧測
定には5孔楕型全圧計(先端部内径 $\phi 0.8$)、5孔ピ
トー管(先端部内径 $\phi 0.5$)を使用し測定した。また
断面3(動翼中心より40mm下流)において二次空
気の吹出しによる影響を詳細に調べるため、5孔ピ
トー管(先端部内径 $\phi 0.5$)を用いて円周方向14点
(0.5° ずつ等間隔)、半径方向17点(内外壁の付近
を細かく計測のため不等間隔)計238点のトラバ
ース測定を行なった。なお円周方向トラバース範囲
 6.5° はノズル翼の1.2ピッチ(表2参照)分に相当
する。

図7にトラバース範囲を示す。

3.4 計測装置

図8に本実験に使用したシステムの計測系統図を
示す。

本システムでは円環型翼列風洞試験設備と一部の
機器を共用し、計測機器の有効利用を図った。計測
は実験時間短縮のため、2台のパーソナルコンピュ

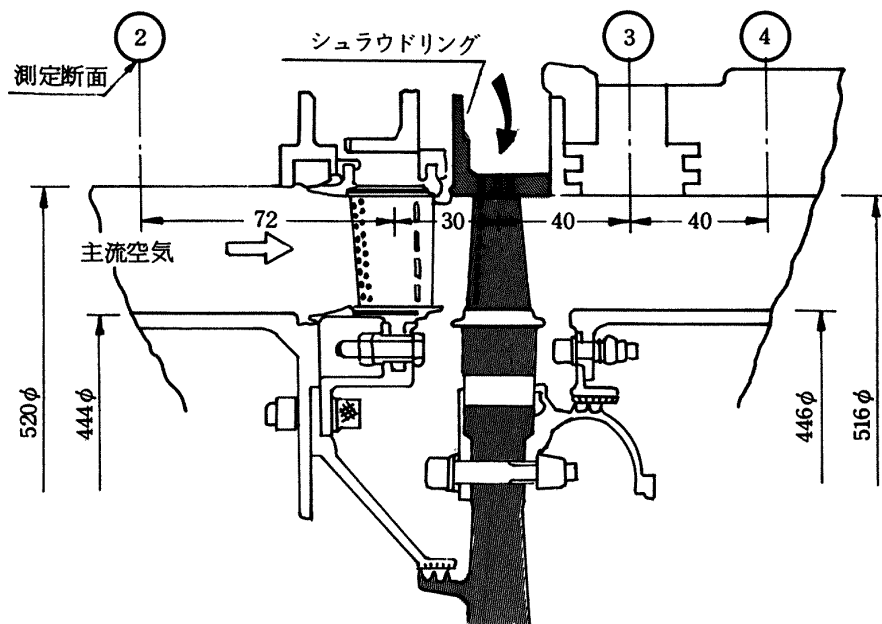


図 6(a) 試験機断面図

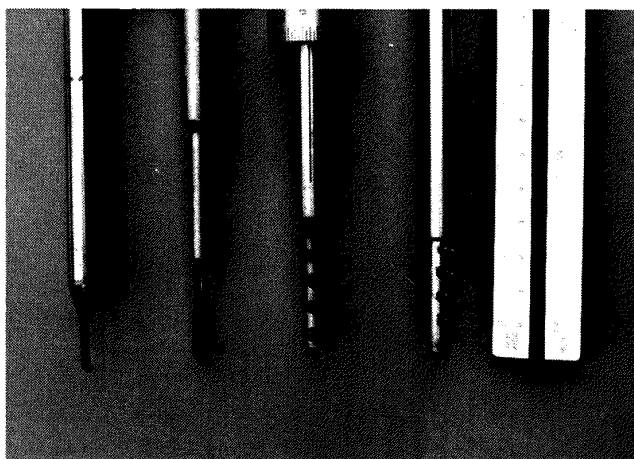


図 6(b) 計測機器

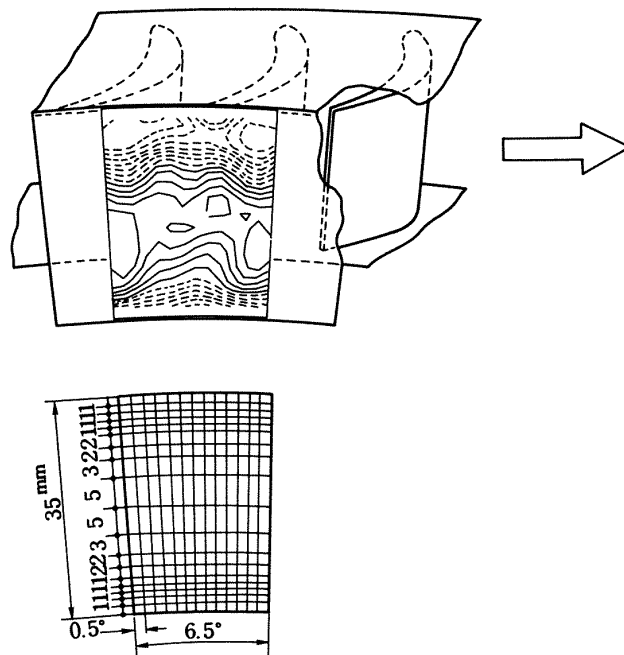


図 7 動翼下流トラバース詳細図

ータを使用し、全体性能測定用とトラバースデータ測定用に分け同時に測定を行った。全体性能測定では16ビットのパーソナルコンピュータ(YHP 9835A)を使用し、温度、圧力、トルク、回転数等の測定や供試タービン内、外壁の静圧測定用スキニングバルブ制御を行なった。

トラバースデータ測定用には8ビットマイクロコンピュータ(NEC PC8001)を使用し、トラバース装置の制御、トラバースデータの集録を行った。これらの制御にはBasic言語によるプログラムをもちいて行い、測定機器関係のインタフェースはGP-IB、伝送関係はRS-232C、BCD入出力はデジタルI/Oを使用した。得られたデータはRS-

232Cの専用回線によりデータ伝送し(伝送速度: 9600ボー), VAX 11/750によりデータ処理を行った。

4. 計算式

4.1 タービン比出力・タービン膨張比

タービン比出力は水動力計(最大吸収動力: 970 kW, 最高回転数: 8000 rpm)で測定したトルク

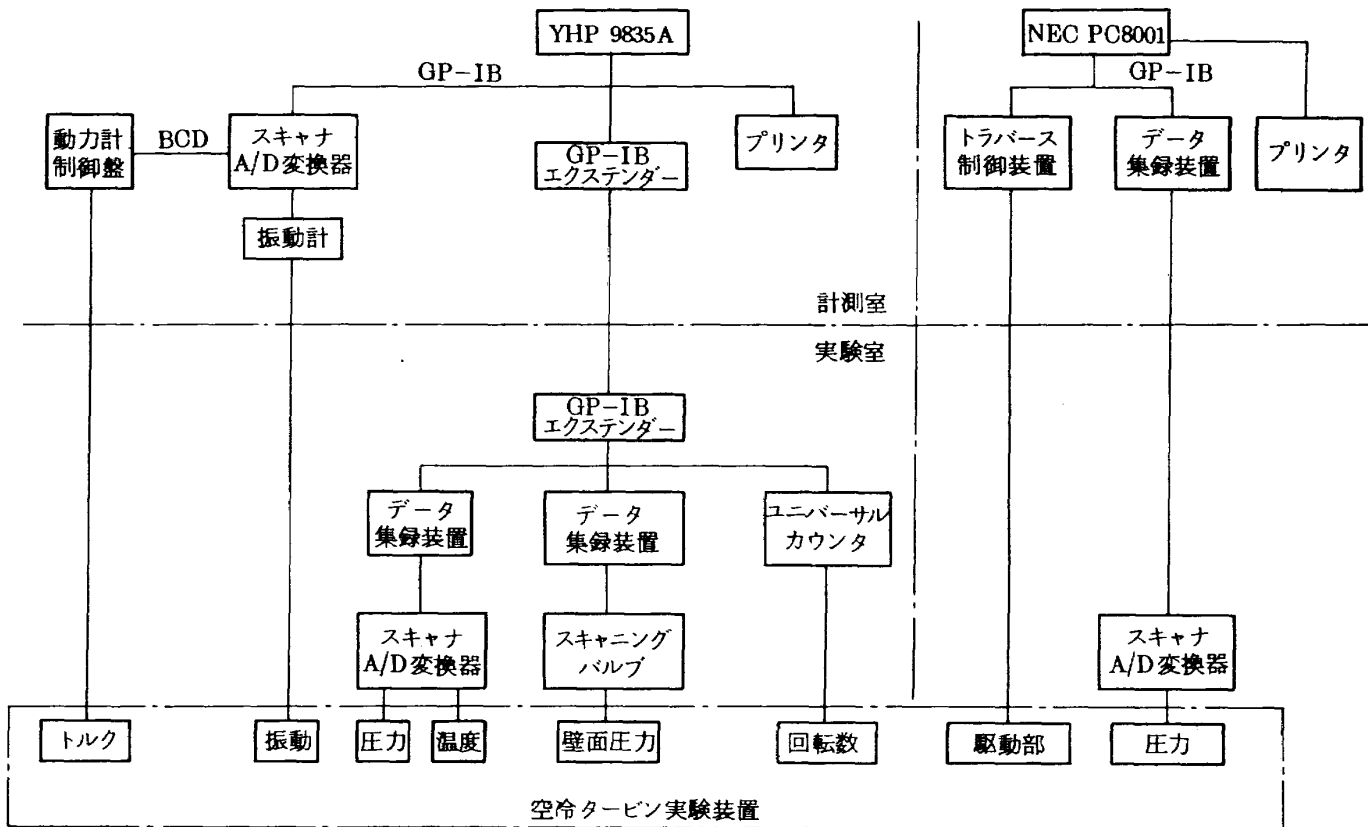


図8 計測系統図

(Nm) を使用し、次式で求めた。

$$\Delta H = 2\pi N\tau / 60 J G g \quad (2)$$

$$\text{タービン膨張比} \quad \pi = p_{t2} / p_{t3}$$

ここに p_{t2} はノズル翼上流の六本の全圧管より得られた測定値を算術平均して用い、 p_{t3} は動翼中心より下流 40 mm の位置 (断面 3) で行った半径方向および円周方向のトラバースによる測定値を面積平均して求めた。

4.2 断熱効率

タービン断熱効率は二次空気の影響を考慮して二つの効率を定義した。一つはシュラウドリングからの二次空気の吹出しはタービン仕事に寄与しないと考えた。

すなわち主流空気のみが作動流体とみなした基本効率 η_p を

$$\eta_p = L_t / G_m C_{pm} T_m \{1 - (1/\pi)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\} \quad (3)$$

および二次空気も作動流体とみなした効率 η_c を

$$\eta_c = L_t / \{G_m C_{pm} T_m + G_c C_{pc} T_c\} \times \{1 - (1/\pi)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\} \quad (4)$$

として定義した。ここに L_t は動力計から測定したタービン仕事で $L_t = 2\pi N\tau / 60 J g$ である。

得られた実験値を高温動作時 (タービン入口温度 1543 K, タービン入口圧力 1.642 MPa, $\kappa = 1.33$) の設計値と比較するためにタービン内の比熱比の違いを考慮した修正値として次のものを用いた。

$$\text{修正流量} \quad \epsilon_{cr} G \sqrt{\theta_{cr} / \delta}$$

$$\text{修正回転数} \quad N / \sqrt{\theta_{cr}}$$

$$\text{修正比出力} \quad \Delta H / \theta_{cr}$$

$$\text{修正トルク} \quad \epsilon_{cr} \tau / \delta$$

ここで $\theta_{cr} \cdot \delta \cdot \epsilon_{cr}$ は補正係数で次式で定義した。

$$\theta_{cr} = \left(\frac{\kappa}{\kappa+1} R T_t \right) / \left(\frac{\kappa_{st}}{\kappa_{st}+1} R_{st} T_{t,st} \right)$$

$$\delta = \bar{P}_t / P_{t,st}$$

$$\epsilon_{cr} = \left\{ \kappa_{st} \left(\frac{\kappa+1}{2} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \right\} / \left\{ \kappa \left(\frac{\kappa_{st}+1}{2} \right)^{\frac{\kappa_{st}}{\kappa_{st}-1}} \right\}$$

ここに添字 st は標準状態を示し、それぞれ次の値を採用した。

$$T_{t,st} = 288.2 \text{ K}$$

$$P_{t,st} = 101.3 \text{ KPa}$$

$$R_{st} = 29.27 \text{ kg} \cdot \text{m} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$\kappa_{sf} = 1.4$$

4.3 無次元圧力

断面 3 (動翼下流) における圧力分布を表す為、無次元圧力 P_n を次式により定義した。

$$P_n = (P_{31} - P_{3s}) / (P_3 - P_{3s}) \quad (5)$$

ここに

P_3 = 断面 3 における半径及び円周方向平均全圧

P_{31} = 断面 3 における半径及び円周方向局所全圧

P_{3s} = 断面 3 における半径及び円周方向平均静圧

ここで使用した全圧及び静圧は五孔ピトー管による測定圧力に角度及びマッハ数の補正^{6), 7)}を加えたものを使用した。

4.4 温度効率

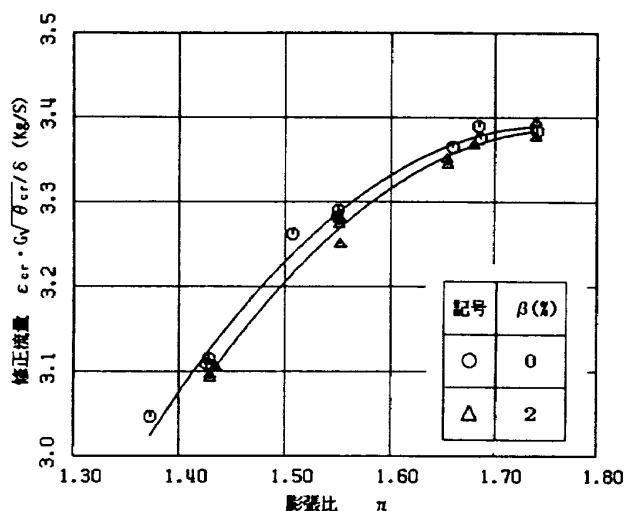
断面 3 (動翼下流) における断熱温度効率を表すため、温度効率 η_t^i を次式により定義した。

$$\left. \begin{aligned} \eta_t^i &= \Delta T^i / T^i \left\{ 1 - (1/\pi^i)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right\} \\ R^i &= 2 \int_{r_h}^{r_t} r dr / (r_t^2 - r_h^2) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここに ΔT^i , T^i , π^i はそれぞれ R^i に於ける全温度降下, タービン入口主流全温及び全圧膨張比で r_h , r_t は主流流路の内, 外半径である。

5. 実験結果

5.1 全体性能



a) 修正流量特性

5.1.1 流量特性

図9aに修正流量特性を示す。修正流量は本実験範囲内ではノズル翼, 動翼ともチョーク流量には達しておらず, 膨張比と共に増加の傾向を示している。また吹出しにより修正流量はわずかに減少の傾向を示している。

5.1.2 トルク特性

図9bに修正トルク特性を示す。図に示されているように二次空気の吹出しにより修正トルクはわずかに増加している。この変化を流量特性と合わせて考察すると, 二次空気の吹出しにより修正流量は減少し, 逆に修正トルクは増加する。これはシュラウドリングからの二次空気の吹出しにより, 動翼先端テップクリアランスからの主流の漏れを二次空気が抑制しているためと思われる。

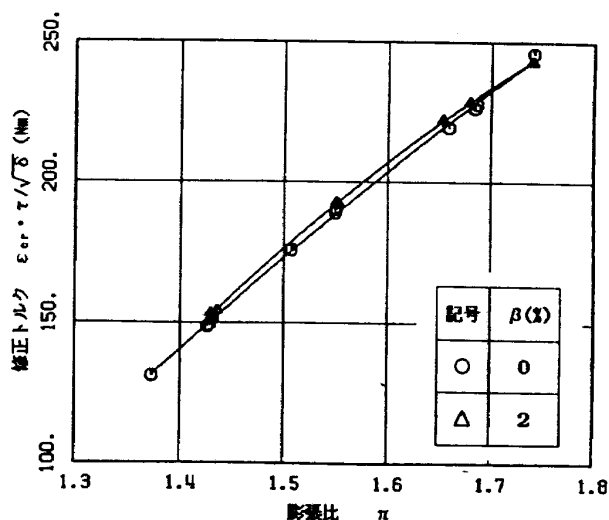
5.1.3 断熱効率特性

図10に断熱効率特性を示す。主流のみを作動流体とみなした基本効率 η_b の場合, 吹出しのある場合は吹出しのない場合に比べ全般的に約 1.5 (%) 効率の向上があった。また二次空気も作動流体とみなした効率 η_c は二次空気のない場合に比べほぼ等しく, シュラウドリングからの二次空気の吹出しは, 効率向上に大きな効果があることが明かになった。

5.2 内部流動

5.2.1 断熱温度効率分布

図11に(6)式で定義したスパン方向断熱温度効率



b) 修正トルク特性

図9 修正流量及び修正トルク特性

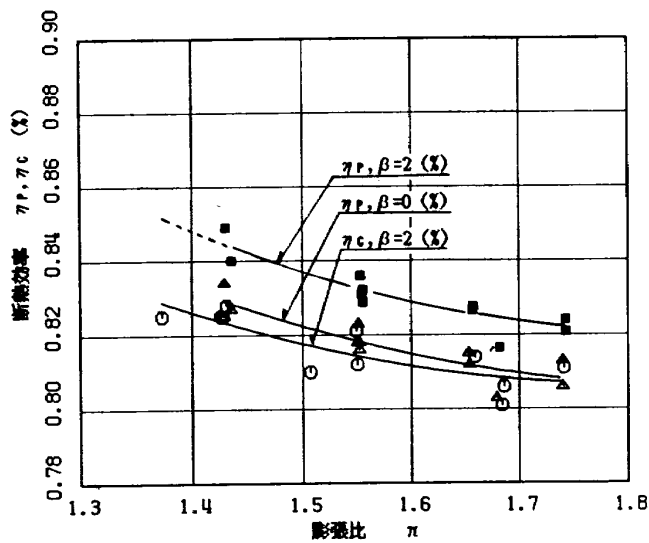


図10 断熱効率分布

(η_c^i)を二次空気流量比をパラメータに示す。温度効率は二次空気流量比の増加に伴い顕著に向上している。この傾向は膨張比の増加に従いしだいに小さくなっているが、その範囲はスパン中央部から翼先端部にわたり影響が表れている。また、この傾向は各膨張比共翼根部では見られず、吹出しが温度効率に影響を及ぼす範囲は外径からほぼ1/2スパンまでであった。

5.2.2 動翼出口絶対流出マッハ数分布

図12に絶対流出マッハ数分布を示す。本実験範囲では吹出しによるマッハ数分布への影響はあまりなく、僅かに膨張比の小さい場合(半径比0.7以上)にややその影響が見られる。しかし全般的に大きな影響は無い。

5.2.3 動翼出口絶対流出角分布

図13, 図14にピッチ角, およびヨー角の半径方向絶対流出角分布を示す。ピッチ角は半径方向の変化が小さく吹出しによる影響も見られない。これに対し, ヨー角では吹出しによる影響が翼先端部で顕著

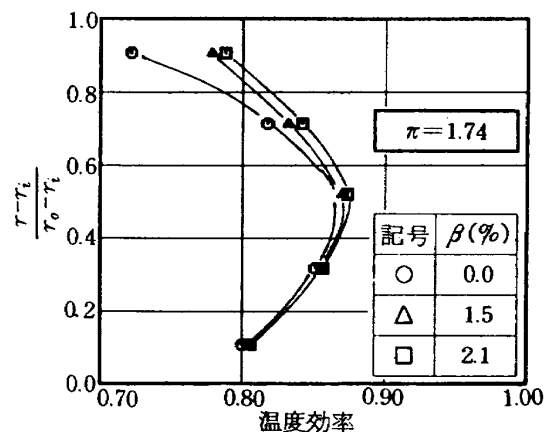
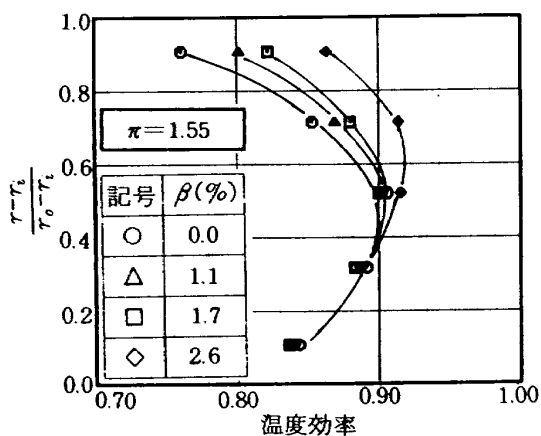
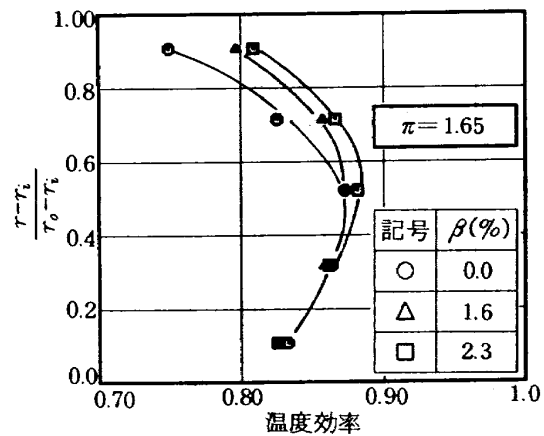
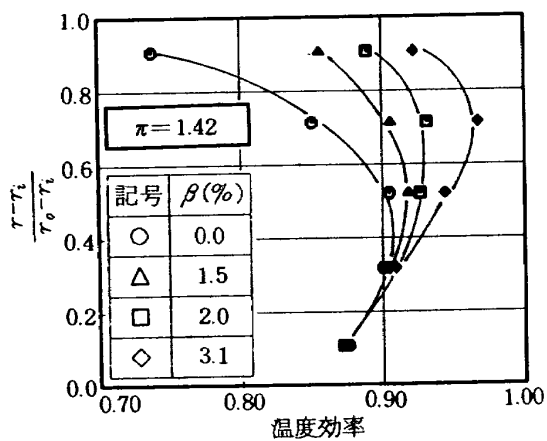


図11 断熱温度効率

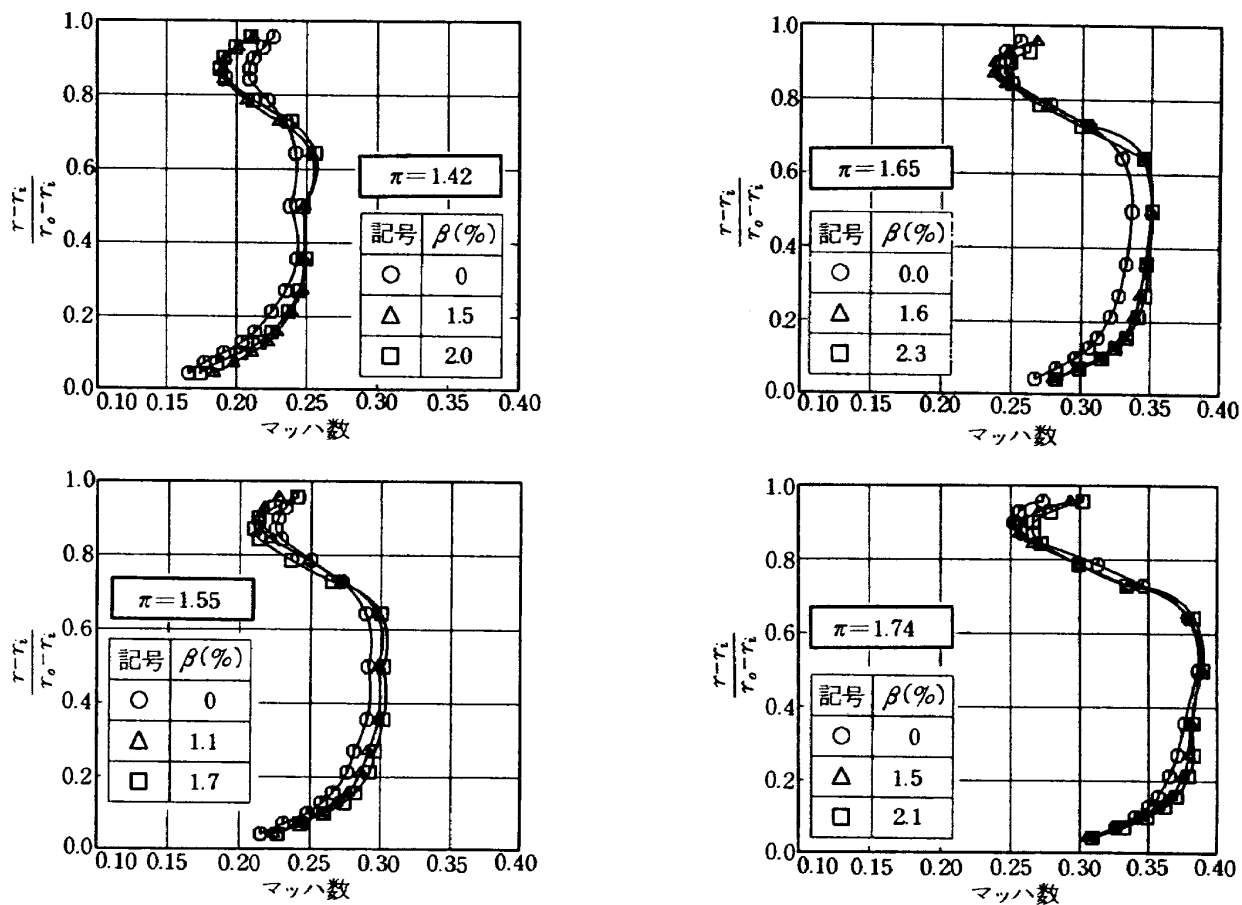


図12 マッハ数分布

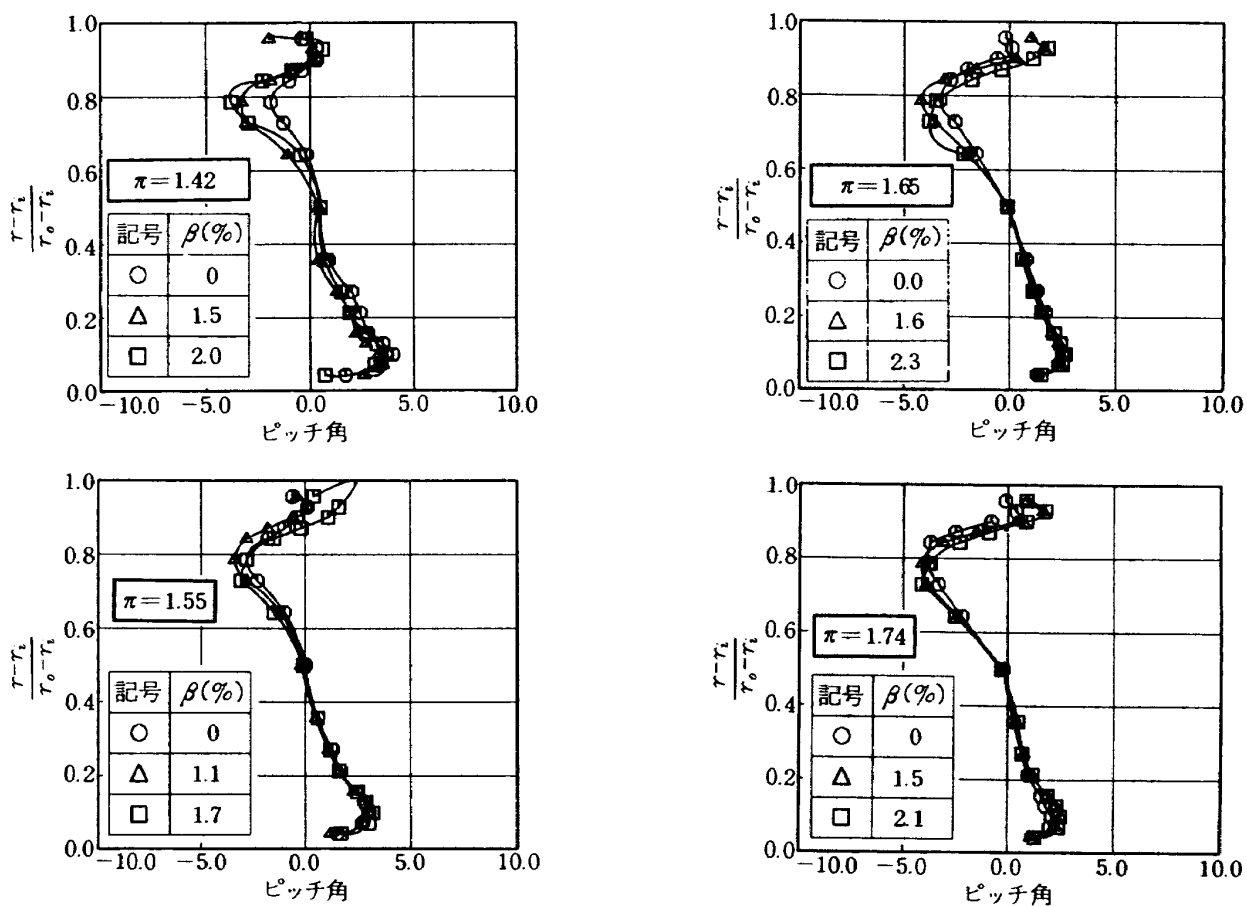


図13 ピッチ角分布

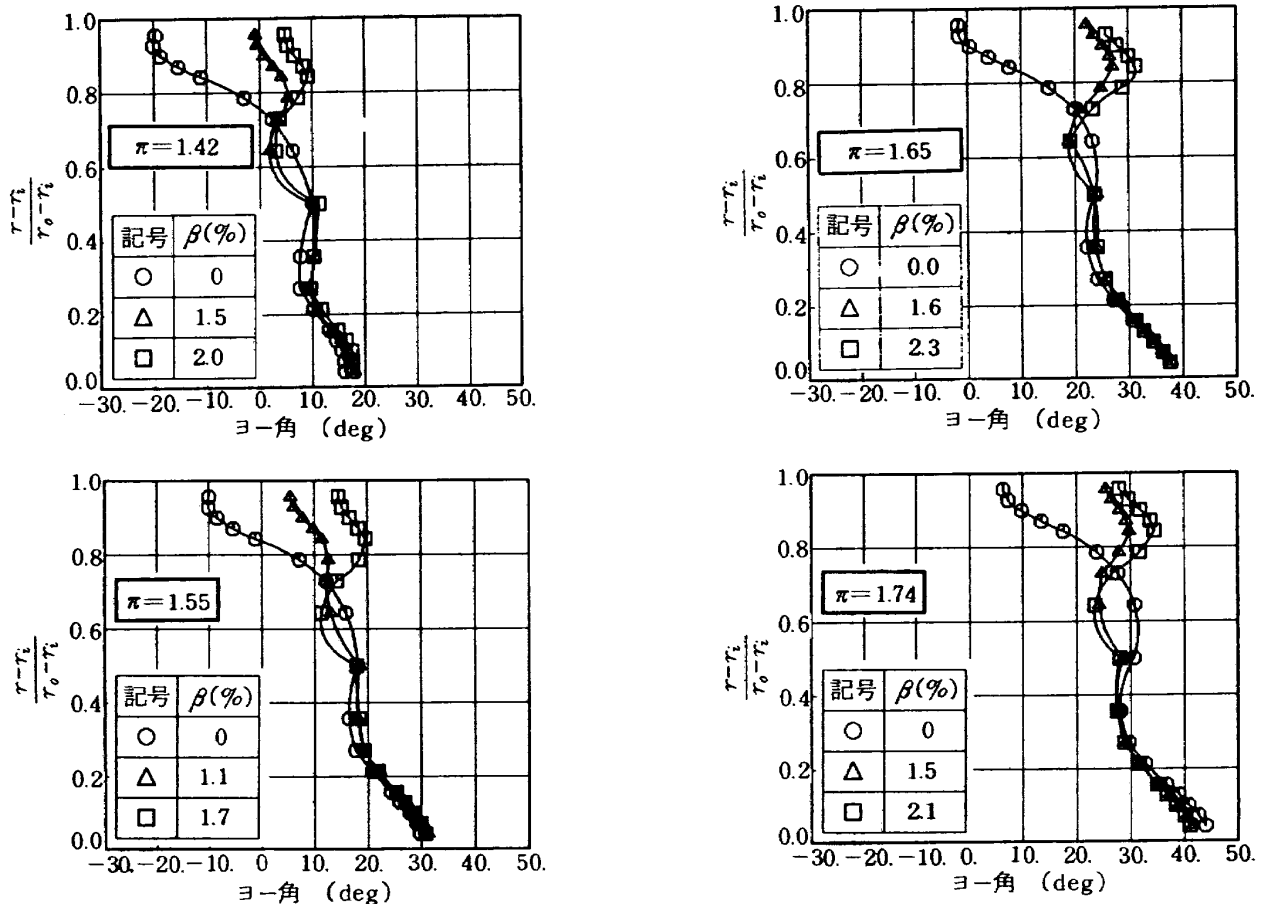


図14 ヨー角分布

に現われている。吹出しが無く、膨張比 $\pi=1.42$ の場合、 $-20^{\circ}\sim+20^{\circ}$ の幅広い流出角分布を示している。吹出し空気流量比2(%)の場合、翼先端部で流出角の増加がみられ、その角度変化は動翼先端部と翼根部では約 25° にも達している。また膨張比の増加に伴いヨー角は増加する方向に移行しているが、半径方向に分布する範囲は各膨張比共約 40° であり、膨張比による変化は見られない。

5.2.4 動翼出口相対流出角分布

図15に相対流出角分布を示す。図に示すように二次空気の吹出しによる転向角の増加が顕著に見られている。この傾向は膨張比 π の増加により一層顕著になり、シュラウドリングからの二次空気の吹出しがタービン効率に大きく貢献していることがわかる。また、相対流出角分布の定性的傾向はシュラウドリングの厚さを変えることで動翼ティップクリアランスの変化による影響を調べた報告⁸⁾と非常に良く一致した。

5.2.5 動翼出口温度分布

図16にノズル入口(断面2)および動翼出口(断

面3)における半径方向温度分布を示す。温度測定はノズル入口で楕型温度計(5点計測用)3本、動翼出口で同じく楕型2本を用いて行ったが、ノズル入口、動翼出口共測定値にバラツキがほとんどなく、円周方向に対して一様な温度分布を示した。図は膨張比 $\pi=1.42$ の場合を例として選び示した。

図17はノズル入口温度(15点の算術平均値)で動翼出口温度(各半径位置における測定値)を割った無次元温度を表しているが、各膨張比共温度分布パターンは同じ傾向を示しており、膨張比による温度分布への影響は見られなかった。

5.2.6 動翼下流無次元圧力分布

図18に断面3における無次元圧力分布 P_n を示す。図は二次空気流量比及び膨張比による影響を示したもので、(5)式で定義した無次元圧力を用いた。

図中の実線で示した領域は平均全圧より高い部分を示しており、鎖線で示した部分は平均より低い領域を表している。各図ともスパン中央付近では平均値より高い圧力分布を示しており、翼先端部および翼根部付近では境界層の影響が現れて全体的に低い

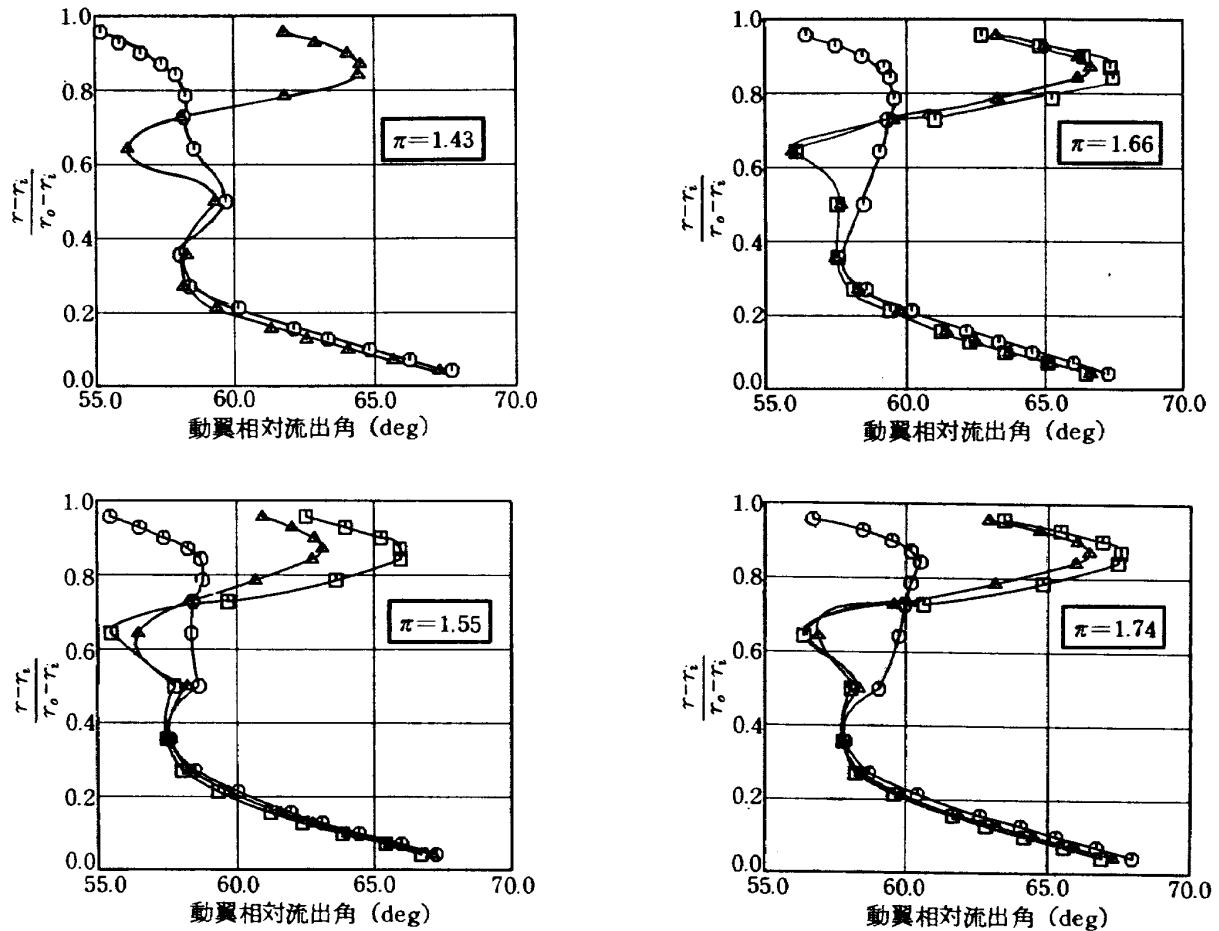


図 15 動翼相対流出角分布

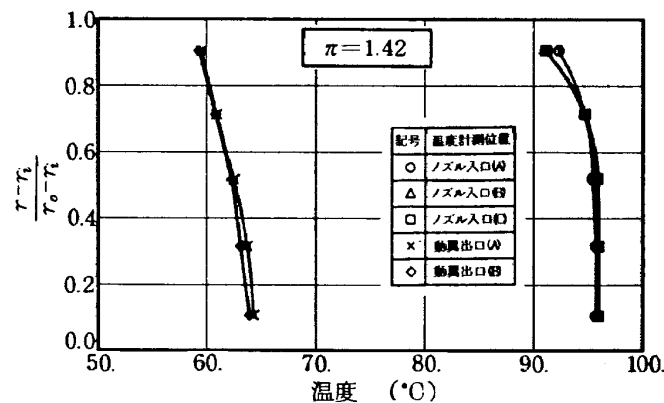


図 16 半径方向温度分布

圧力分布を示している。二次空気の影響は各膨張比とも翼中央から翼先端部付近にかけて見られ、半径比0.85付近では吹出しの影響と思われるほぼ楕円形をした等圧線が現れている。

また、ノズルによるウェークは膨張比の低い領域で僅かに現れている。

5.2.7 動翼下流のフローパターン

図19に動翼下流におけるフローパターンを示す。

本実験では図6に示すように動翼中心より40mm下流において、5孔ピトー管を用いた円周方向および半径方向のトラバース測定を行ったが、その結果をベクトル分布で表したものである。主流ベクトル V_m は平均流速を表しており、それからの変化を示している。図(a)の二次空気のない場合、ベクトルの方向は翼根部で反回転方向、翼先端部で動翼の回転方向を示しており、二次流れによる渦を形成している。

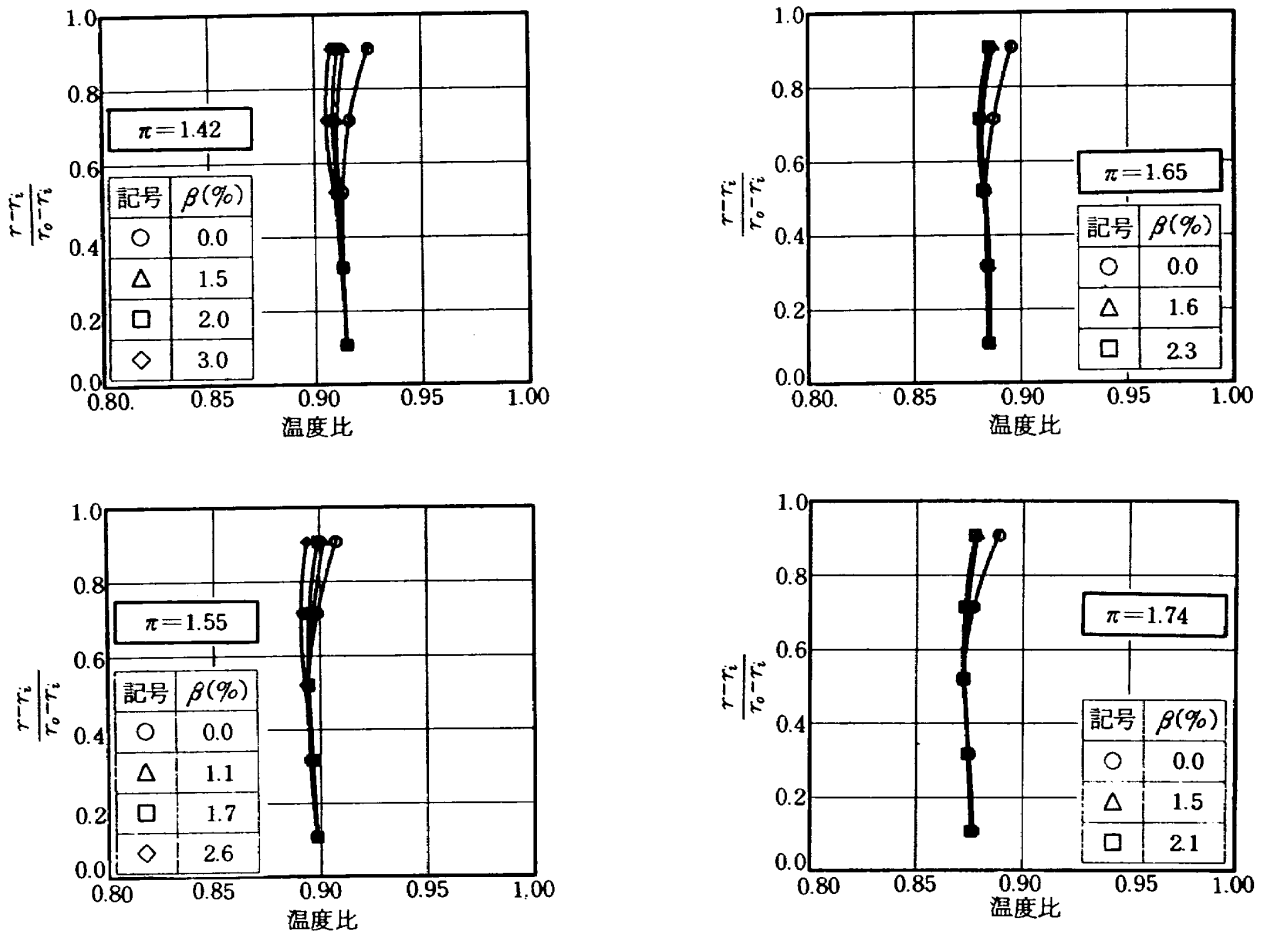


図17 温度比分布

図(b)の吹出し空気流量 $\beta = 2(\%)$ の場合、翼先端部では大きくその方向を変え、その影響は翼中央部にまで及んでいることが明らかである。

6. 結 論

空冷タービン空力回転試験機を使用して、動翼先端シュラウドリングから二次空気を吹き出すことにより、吹出し空気が主流に及ぼす影響を調べる実験を行い、全体性能および内部流動の解析を行った。実験範囲は回転数70(%)、タービン膨張比1.3～1.7、二次空気流量0～3(%)の範囲である。

その結果

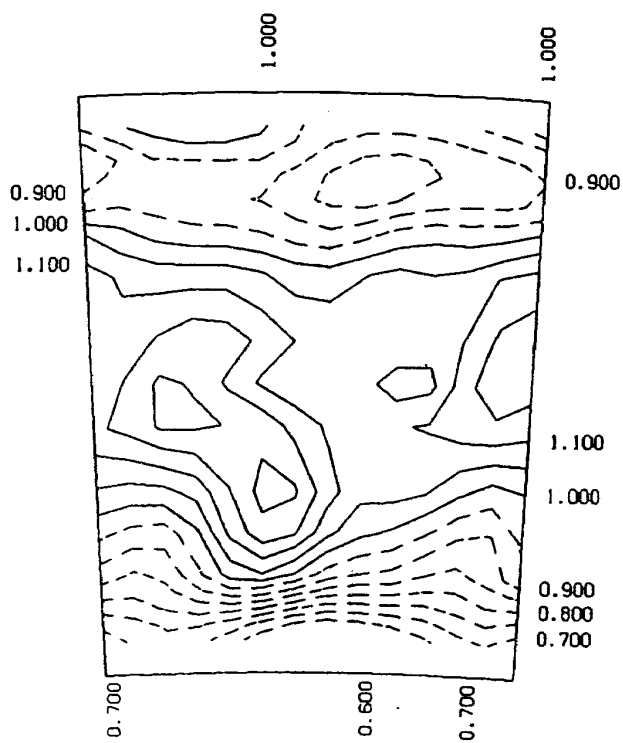
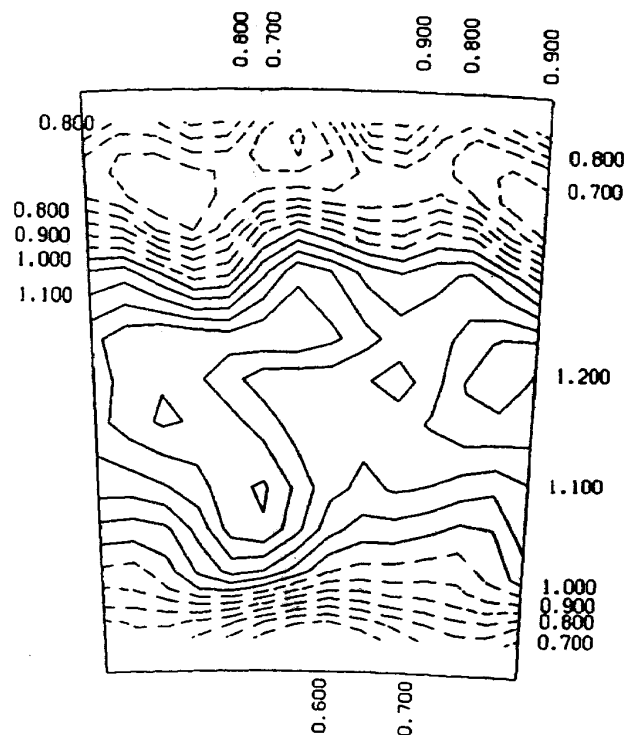
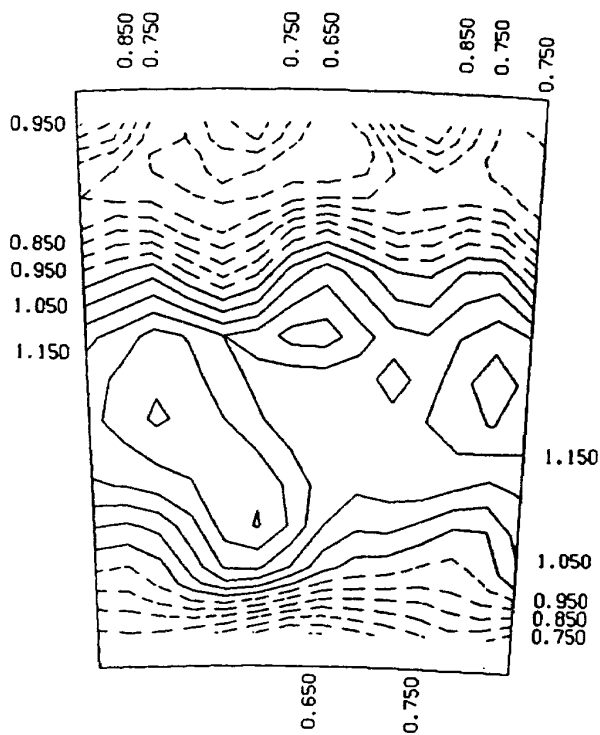
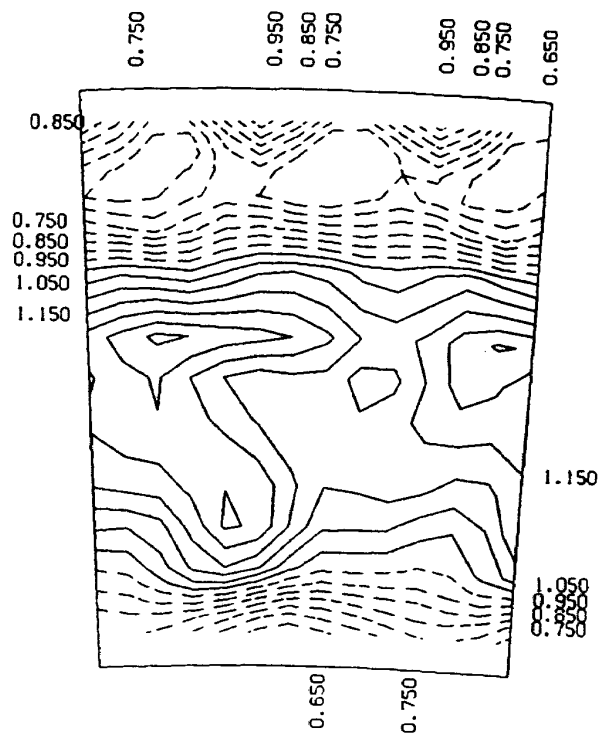
(1) 二つの効率を定義して検討した結果、主流のみを作動流体とみなした効率 η_p では二次空気流量2(%)の場合、二次空気のない場合に比べ約1.5(%)の効率が向上した。又、二次空気も作動流体であるとみなした効率 η_e においてもほぼ、二次空気のない場合に等しく、二次流吹出しによる効率の低下はみ

られなかった。

(2) 動翼下流において、5孔ピトー管による円周方向および半径方向のトラバースを行い、その結果をベクトル分布で表示した。このフローパターンでは吹出し空気流量2(%)において、翼先端部でベクトルの向きが大きく変化し、この影響は翼中央部にまで影響していることが分かった。

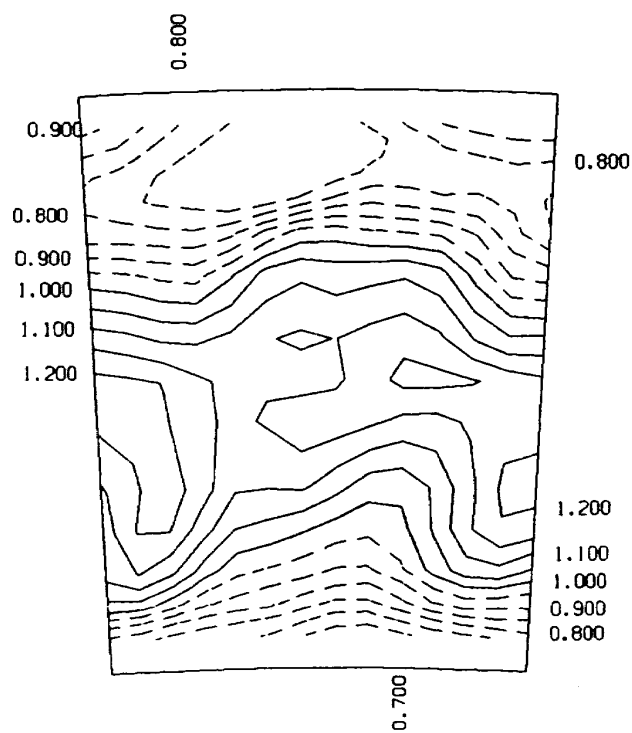
(3) 修正流量および修正トルクの測定結果から吹出し空気の影響を考察すると、修正流量は二次空気の吹出しにより減少しているが逆に修正トルクは増加している。このことから、動翼先端のティップクリアランスによる主流の漏れを二次空気の吹出しにより抑制する効果があることが明らかになった。

(4) シュラウドリングからの二次空気の吹出しにより相対流出角分布にも変化が現われ、翼先端部で転向角が増加することがわかった。この結果はシュラウドリングを変えることにより、ティップクリアランスを変えた結果と定性的に良く一致した。

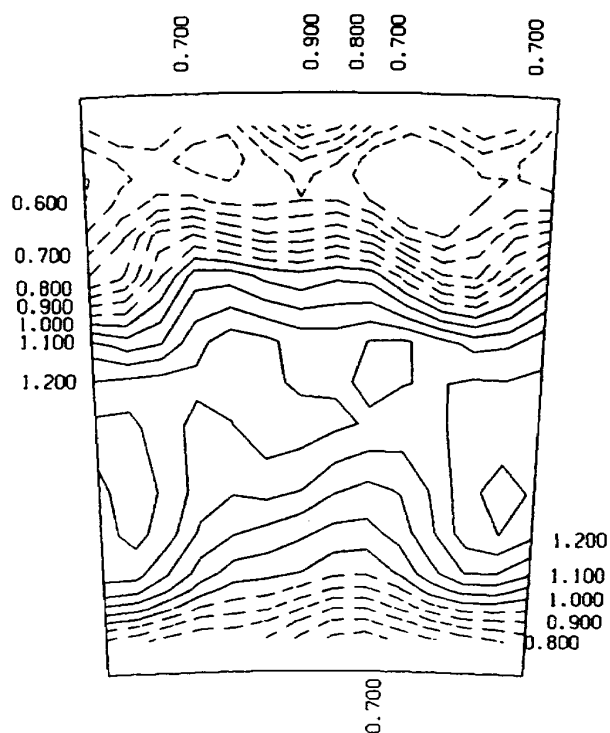
(a) $\beta = 0$ (%)(c) $\beta = 2.0$ (%)(b) $\beta = 1.5$ (%)(d) $\beta = 3.1$ (%)

$$\pi = 1.42$$

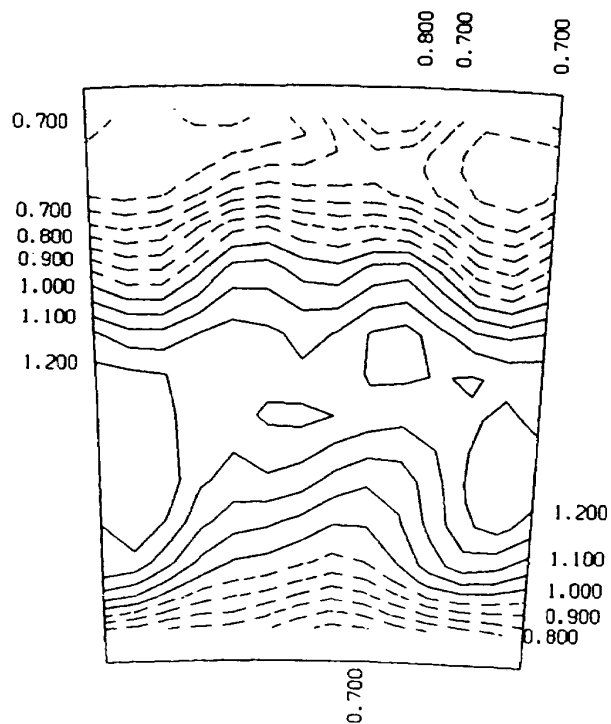
図 18 動翼下流等圧線分布 (A)



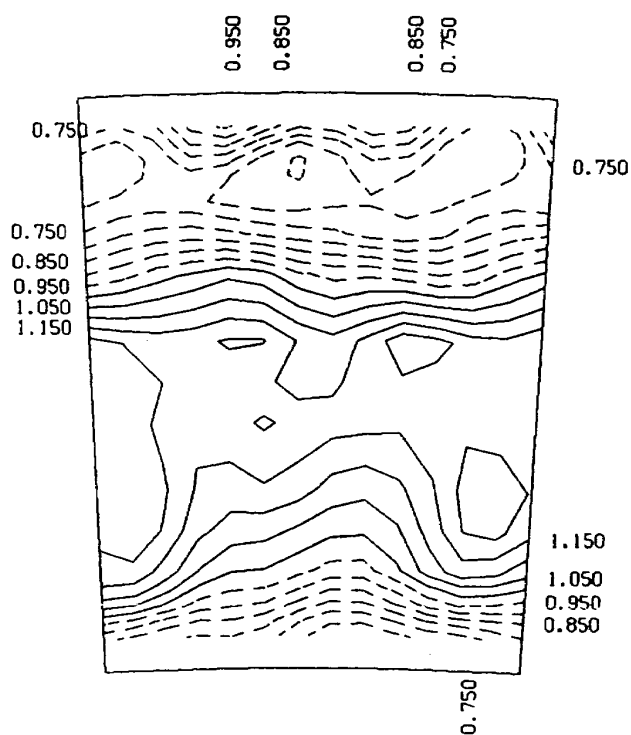
(a) $\beta = 0.0$ (%)



(c) $\beta = 1.7$ (%)



(b) $\beta = 1.1$ (%)



(d) $\beta = 2.6$ (%)

$$\pi = 1.55$$

図18 動翼下流等圧線分布 (B)

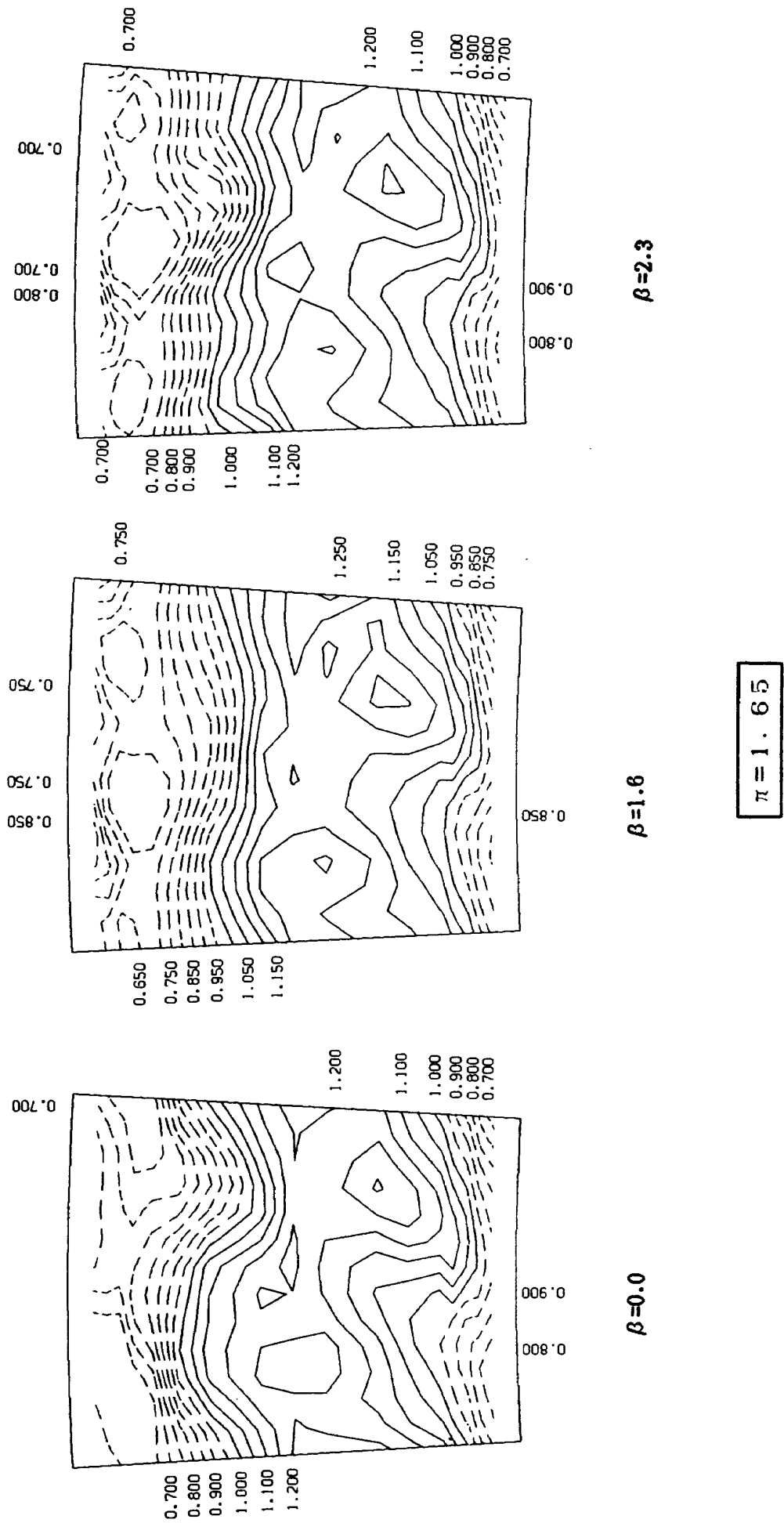


図 18 動翼下流等圧線分布 (C)

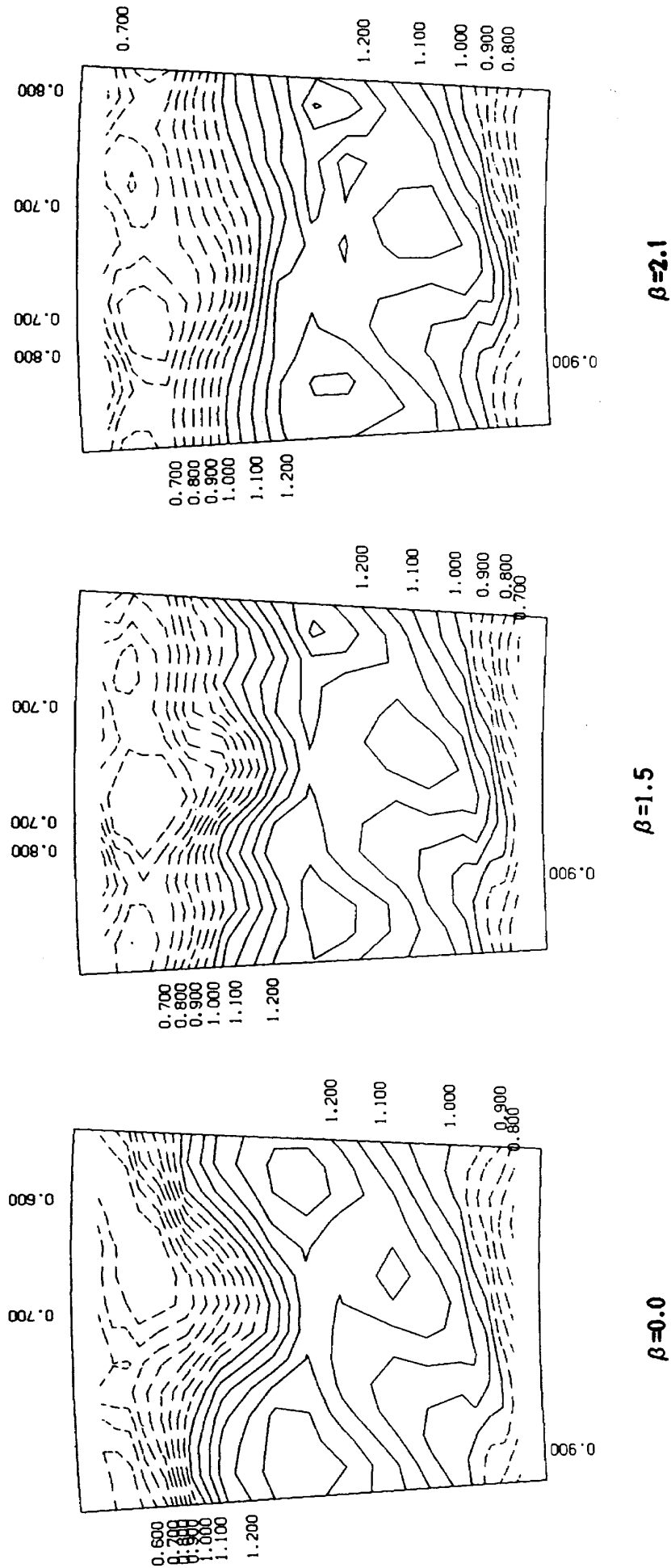


図18 動翼下流等圧線分布 (D)

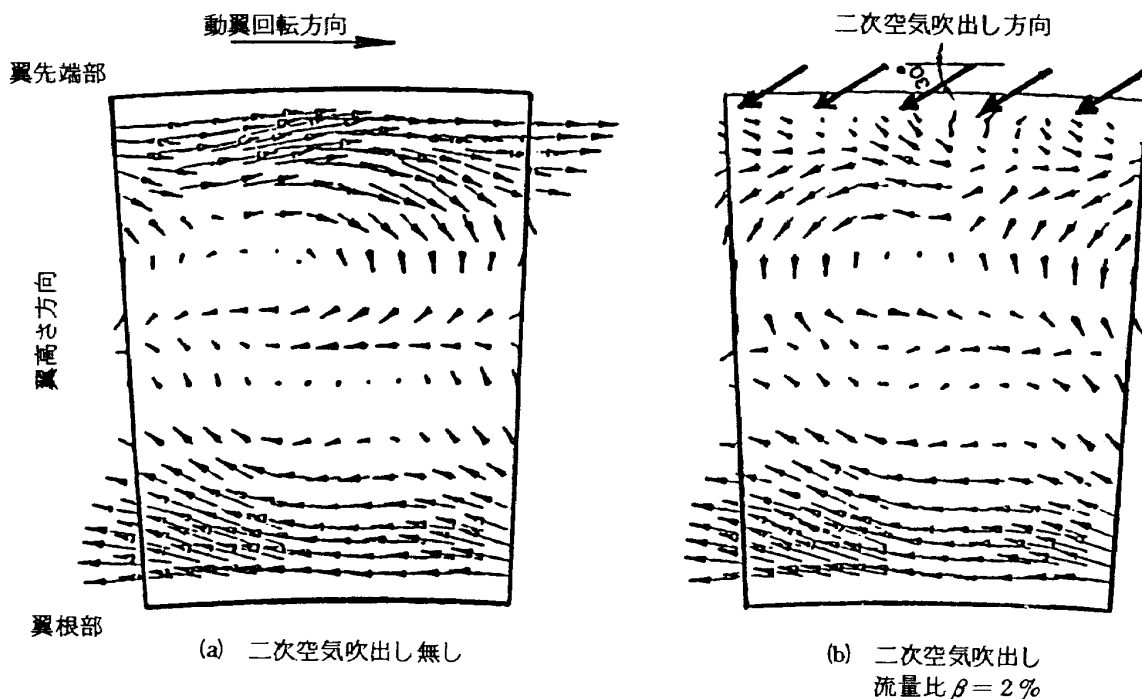


図 19 動翼先端部ケーシングからの冷却空気吹出しによる，動翼下流フローパターンへの影響
(ベクトルは，主流 V_m と直交する平面へ投影したベクトル V_s を示す)

7. あとがき

本研究は通商産業省工業技術院の大型省エネルギー技術研究開発制度による高効率ガスタービンの研究開発の一環として航技研で進めている「タービン技術の研究開発」として行ったものである。関係各位の御支援に感謝します。

本研究では当所原動機部の小倉五郎技官に空気源担当として実験に，山本主任研究官にはベクトル図作成プログラム利用に御協力戴いた。記して謝意を表わします。

参 考 文 献

- 1) 原動機部：航空機用ジェットエンジンの研究開発（第1期成果報告）NAL TR-482 (1977.3)
- 2) 三村，白井，高原ほか：高圧タービンの研究開発(N)，供試タービンHT-30Hの空力性能および翼冷却性能，航技研資料 NAL TM-487 (1983.3)
- 3) 井上：空冷タービンの空力特性に関する研究(I)タービン空力回転試験機と装置，航技研資料 NAL TM-585
- 4) 小倉，黒沢，鈴木：航空宇宙技術研究所のジェットエンジン要素試験設備の運転と保守航技研資料 NAL TR-531 (1978.3)
- 5) 能瀬，高原，養田ほか：高負荷低圧タービンの研究開発(I)空力回転試験機(LT-600)および試験装置の設計製作，航技研資料 NAL TM-491 (1983.3)
- 6) 西村：5孔アロー型，円錐ピトー管による流れの特性計算法，航技研資料 NAL TM-491 (1981.4)
- 7) 西村，白井，井上ほか：高負荷低圧タービンの研究開発(II)内部流動計測用5孔アロー型ピトー管の特性，航技研資料 TM-482 (1983.3)
- 8) 山本，高原，能瀬ほか：空冷軸流タービンの空力性能に関する研究（第2報 動翼先端隙間が全体性能，内部流動に及ぼす影響—実験結果と計算法，航技研報告 TR-466 (1976.8)

付録 実験結果と主要データ

実験番号	TURC06
設計回転数比	70 (%)
影張比	1.42
冷却空気流量比	0 (%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmAq)	PS (mmAq)	PAI
0.4795	0.226	-0.4	-19.6	327.4	-43.3	1.427
0.4785	0.219	0.3	-20.0	314.1	-33.2	1.429
0.4775	0.212	0.3	-18.7	300.3	-26.4	1.431
0.4765	0.209	-0.4	-15.4	295.0	-22.6	1.432
0.4755	0.209	-1.0	-11.2	296.8	-21.8	1.432
0.4735	0.222	-1.9	-3.0	327.4	-31.1	1.427
0.4715	0.235	-1.3	2.3	362.4	-40.8	1.423
0.4685	0.242	-0.2	6.2	383.0	-42.0	1.420
0.4635	0.238	0.5	10.0	378.3	-36.0	1.421
0.4585	0.243	0.9	7.6	391.8	-37.5	1.419
0.4555	0.235	2.0	7.5	370.7	-33.4	1.422
0.4535	0.225	2.4	10.2	343.9	-27.2	1.425
0.4515	0.213	2.8	13.2	307.3	-25.2	1.430
0.4505	0.204	3.6	14.4	282.8	-19.4	1.434
0.4495	0.191	4.0	15.6	254.2	-12.2	1.437
0.4485	0.177	3.4	16.0	225.8	-2.3	1.441
0.4475	0.166	1.7	16.1	208.8	7.9	1.444

修正流量 主流流量 (kg/s)	修正回転数 回転数 (rpm)	修正トルク トルク (N·m)	冷却空気流量比 速度比	入口平均温度 出口平均温度 (°C)	入口平均圧力 出口平均圧力 (mmHg)	修正回転数比 修正流量比
3.109	4628.0	148.8	0.0	88.8	4873.2	70.28
4.076	5171.3	218.0	0.496	58.6	303.3	96.26

実験番号	TURC08
設計回転数比	70 (%)
影張比	1.42
冷却空気流量比	2.0 (%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmAq)	PS (mmAq)	PAI
0.4795	0.210	-0.2	4.8	278.6	-42.1	1.439
0.4785	0.199	0.6	5.2	259.3	-28.3	1.441
0.4775	0.191	0.1	6.5	245.7	-20.1	1.443
0.4765	0.188	-0.9	8.2	240.8	-17.1	1.444
0.4755	0.192	-2.3	9.1	250.2	-17.0	1.443
0.4735	0.212	-3.8	7.2	300.3	-27.4	1.436
0.4715	0.239	-3.0	3.7	370.0	-47.2	1.426
0.4685	0.256	-0.5	3.0	424.6	-54.2	1.419
0.4635	0.247	0.5	11.2	407.8	-38.1	1.421
0.4585	0.249	0.7	10.2	415.1	-37.6	1.420
0.4555	0.245	1.5	9.5	402.1	-35.4	1.422
0.4535	0.237	1.9	11.8	378.0	-31.7	1.425
0.4515	0.225	2.7	14.8	340.9	-27.9	1.430
0.4505	0.216	3.2	16.3	316.8	-24.0	1.434
0.4495	0.203	3.7	17.4	284.4	-14.4	1.438
0.4485	0.186	3.1	17.6	249.0	-3.1	1.443
0.4475	0.174	0.8	17.6	230.9	9.5	1.445

修正流量 主流流量 (kg/s)	修正回転数 回転数 (rpm)	修正トルク トルク (N·m)	冷却空気流量比 速度比	入口平均温度 出口平均温度 (°C)	入口平均圧力 出口平均圧力 (mmHg)	修正回転数比 修正流量比
3.092	4612.2	153.4	2.0	95.3	4922.7	70.04
4.030	5201.3	225.6	0.494	62.7	321.5	95.72

実験番号	TURC07
設計回転数比	70 (%)
影張比	1.42
冷却空気流量比	3.1 (%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmAq)	PS (mmAq)	PAI
0.4795	0.218	0.6	16.1	291.9	-56.4	1.439
0.4785	0.202	1.7	17.0	261.2	-35.4	1.444
0.4775	0.190	1.3	18.2	237.4	-25.8	1.447
0.4765	0.185	0.1	19.2	227.0	-21.6	1.448
0.4755	0.184	-1.6	18.4	228.2	-18.0	1.448
0.4735	0.207	-4.4	11.9	283.4	-29.0	1.441
0.4715	0.243	-3.6	6.8	376.6	-54.2	1.428
0.4685	0.266	-0.7	4.7	451.1	-66.2	1.418
0.4635	0.253	0.7	11.9	424.3	-43.1	1.422
0.4585	0.253	0.7	11.3	426.8	-40.3	1.421
0.4555	0.251	1.4	10.2	420.9	-40.1	1.422
0.4535	0.244	1.7	12.4	398.2	-35.3	1.425
0.4515	0.233	2.3	15.3	362.9	-32.4	1.430
0.4505	0.224	2.9	16.8	336.7	-27.7	1.433
0.4495	0.209	3.4	17.7	301.8	-17.8	1.438
0.4485	0.194	2.8	18.5	269.3	-4.8	1.443
0.4475	0.180	0.7	18.4	246.8	8.9	1.446

修正流量 主流流量 (kg/s)	修正回転数 回転数 (rpm)	修正トルク トルク (N·m)	冷却空気流量比 速度比	入口平均温度 出口平均温度 (°C)	入口平均圧力 出口平均圧力 (mmHg)	修正回転数比 修正流量比
3.083	4601.4	154.7	3.1	93.0	4949.1	69.88
4.043	5171.9	228.0	0.492	59.9	338.7	95.44

実験番号	TURC09
設計回転数比	70 (%)
影張比	1.42
冷却空気流量比	1.5 (%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmAq)	PS (mmAq)	PAI
0.4795	0.212	-2.0	-0.8	276.4	-51.6	1.439
0.4785	0.201	0.1	-0.5	263.9	-29.9	1.440
0.4775	0.192	0.1	0.8	247.6	-21.0	1.443
0.4765	0.190	-0.9	2.5	243.5	-17.9	1.443
0.4755	0.191	-1.9	4.1	248.9	-16.6	1.442
0.4735	0.207	-3.3	5.3	289.5	-23.3	1.437
0.4715	0.230	-3.1	3.2	349.4	-36.7	1.429
0.4685	0.253	-1.1	1.8	413.6	-50.8	1.420
0.4635	0.248	0.4	10.1	409.7	-38.1	1.421
0.4585	0.248	0.4	10.4	414.2	-35.5	1.420
0.4555	0.247	1.3	9.1	409.8	-35.2	1.421
0.4535	0.239	1.9	10.8	387.3	-30.2	1.424
0.4515	0.229	2.2	13.7	355.6	-28.3	1.428
0.4505	0.222	2.7	15.4	335.4	-25.4	1.431
0.4495	0.211	3.3	16.6	305.6	-20.3	1.435
0.4485	0.198	3.5	17.7	275.0	-10.3	1.439
0.4475	0.184	2.6	18.0	246.7	1.0	1.443

修正流量 主流流量 (kg/s)	修正回転数 回転数 (rpm)	修正トルク トルク (N·m)	冷却空気流量比 速度比	入口平均温度 出口平均温度 (°C)	入口平均圧力 出口平均圧力 (mmHg)	修正回転数比 修正流量比
3.096	4606.2	151.4	1.5	96.7	4918.2	69.95
4.028	5203.8	222.6	0.493	64.5	315.2	95.86

実験番号	TURC16
設計回転数比	70 (%)
影張比	1.55
冷却空気流量比	0.0(%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmAq)	PS (mmAq)	PAI
0.4795	0.241	-0.6	-10.1	373.2	-49.2	1.564
0.4785	0.232	0.0	-10.1	356.3	-34.5	1.566
0.4775	0.227	-0.4	-8.4	346.2	-28.5	1.568
0.4765	0.225	-1.0	-5.4	342.6	-24.8	1.568
0.4755	0.229	-1.8	-1.2	355.8	-24.9	1.566
0.4735	0.250	-2.8	7.1	417.0	-37.8	1.557
0.4715	0.272	-2.3	12.2	484.1	-54.0	1.548
0.4685	0.289	-1.0	16.0	545.1	-60.1	1.539
0.4635	0.291	0.0	18.1	567.1	-51.2	1.536
0.4585	0.290	0.6	16.5	561.9	-50.7	1.536
0.4555	0.281	1.3	17.7	532.2	-43.1	1.541
0.4535	0.276	1.7	20.9	511.8	-41.3	1.544
0.4515	0.266	2.4	24.4	476.9	-39.6	1.549
0.4505	0.258	2.8	25.9	448.6	-34.6	1.553
0.4495	0.248	3.0	27.9	420.2	-26.9	1.557
0.4485	0.231	2.7	29.2	375.2	-12.8	1.564
0.4475	0.215	1.5	29.8	340.2	3.7	1.569

実験番号	TURC18
設計回転数比	70 (%)
影張比	1.55
冷却空気流量比	1.7(%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmAq)	PS (mmAq)	PAI
0.4795	0.240	0.4	14.5	349.2	-65.8	1.571
0.4785	0.224	1.6	15.2	319.5	-43.9	1.576
0.4775	0.213	1.1	16.6	295.0	-33.5	1.579
0.4765	0.210	-0.2	18.4	289.7	-29.5	1.580
0.4755	0.213	-1.5	19.6	300.2	-29.3	1.578
0.4735	0.236	-2.8	18.4	361.5	-41.7	1.569
0.4715	0.265	-3.2	14.2	451.7	-59.8	1.556
0.4685	0.300	-1.5	11.3	573.3	-82.5	1.539
0.4635	0.302	-0.1	17.9	596.0	-65.5	1.535
0.4585	0.302	0.6	18.4	600.1	-64.7	1.535
0.4555	0.296	1.2	19.3	577.8	-61.9	1.538
0.4535	0.292	1.6	21.9	557.3	-62.0	1.541
0.4515	0.282	2.5	25.3	522.0	-58.4	1.546
0.4505	0.274	2.9	26.9	490.5	-53.1	1.550
0.4495	0.260	3.2	28.6	449.4	-41.9	1.556
0.4485	0.243	3.0	29.9	401.2	-27.1	1.563
0.4475	0.227	1.7	30.7	363.9	-8.1	1.569

修正流量	修正回転数	修正トルク	冷却空気流量比	入口平均温度	入口平均圧力	修正回転数比
主流量	回転数	トルク	速度比	出口平均温度	出口平均圧力	修正流量比
(kg/s)	(rpm)	(N-m)		(°C)	(mmHg)	
3.282	4666.3	189.0	0.0	89.9	6350.3	69.15
4.693	5221.3	302.5	0.457	53.0	395.8	101.62

修正流量	修正回転数	修正トルク	冷却空気流量比	入口平均温度	入口平均圧力	修正回転数比
主流量	回転数	トルク	速度比	出口平均温度	出口平均圧力	修正流量比
(kg/s)	(rpm)	(N-m)		(°C)	(mmHg)	
3.266	4583.9	193.6	1.7	93.4	6390.4	69.61
4.658	5153.4	310.6	0.449	55.5	415.0	101.10

実験番号	TURC17
設計回転数比	70 (%)
影張比	1.55
冷却空気流量比	2.6(%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmAq)	PS (mmAq)	PAI
0.4795	0.259	0.4	21.9	403.2	-81.8	1.564
0.4785	0.239	1.6	23.2	363.3	-51.0	1.570
0.4775	0.228	0.8	25.3	334.7	-40.1	1.574
0.4765	0.224	-0.3	27.1	326.3	-36.8	1.576
0.4755	0.226	-1.4	27.5	330.7	-36.6	1.575
0.4735	0.240	-3.3	22.8	376.7	-40.7	1.568
0.4715	0.273	-3.9	16.1	479.1	-62.7	1.553
0.4685	0.310	-1.3	12.6	608.3	-89.9	1.535
0.4635	0.304	-0.1	18.7	603.4	-66.8	1.535
0.4585	0.304	0.5	19.0	607.7	-66.0	1.535
0.4555	0.299	1.2	19.5	586.6	-64.3	1.538
0.4535	0.294	1.8	22.1	565.3	-63.4	1.541
0.4515	0.284	2.7	25.5	528.8	-58.8	1.546
0.4505	0.275	3.1	27.0	494.5	-53.1	1.551
0.4495	0.262	3.4	28.6	456.0	-42.7	1.556
0.4485	0.243	3.1	29.9	402.5	-26.9	1.564
0.4475	0.226	1.8	30.6	364.3	-7.6	1.570

修正流量	修正回転数	修正トルク	冷却空気流量比	入口平均温度	入口平均圧力	修正回転数比
主流量	回転数	トルク	速度比	出口平均温度	出口平均圧力	修正流量比
(kg/s)	(rpm)	(N-m)		(°C)	(mmHg)	
3.283	4651.0	193.0	2.6	92.3	6401.3	70.63
4.698	5221.7	310.1	0.455	53.6	402.1	101.65

実験番号	TURC21
設計回転数比	70 (%)
影張比	1.65
冷却空気流量比	0.0(%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmAq)	PS (mmAq)	PAI
0.4795	0.255	-0.2	-1.7	428.1	-52.6	1.690
0.4785	0.245	0.1	-1.5	409.7	-34.5	1.693
0.4775	0.240	-0.6	0.4	398.7	-26.7	1.695
0.4765	0.241	-2.0	3.9	408.1	-22.6	1.693
0.4755	0.250	-2.8	7.8	435.8	-28.9	1.689
0.4735	0.277	-3.3	15.2	525.0	-46.3	1.675
0.4715	0.305	-2.6	20.0	627.2	-67.5	1.660
0.4685	0.329	-1.6	23.2	728.7	-77.5	1.645
0.4635	0.336	-0.1	23.7	774.0	-70.5	1.638
0.4585	0.332	0.8	22.2	758.2	-65.7	1.640
0.4555	0.327	1.3	24.1	735.7	-62.1	1.644
0.4535	0.321	1.7	27.1	707.8	-59.6	1.648
0.4515	0.312	2.1	30.6	669.5	-55.0	1.654
0.4505	0.306	2.4	32.6	645.3	-52.9	1.657
0.4495	0.296	2.5	34.4	610.1	-43.4	1.662
0.4485	0.282	2.3	36.2	562.4	-28.8	1.670
0.4475	0.267	1.3	37.6	522.5	-7.7	1.676

修正流量	修正回転数	修正トルク	冷却空気流量比	入口平均温度	入口平均圧力	修正回転数比
主流量	回転数	トルク	速度比	出口平均温度	出口平均圧力	修正流量比
(kg/s)	(rpm)	(N-m)		(°C)	(mmHg)	
3.365	4685.8	219.3	0.0	84.0	7925.3	71.16
5.369	5198.6	388.3	0.429	43.6	528.9	104.18

実験番号	TURC22
設計回転数比	70 (%)
膨張比	1.65
冷却空気流量比	2.3(%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmAq)	PS (mmAq)	PAI
0.4795	0.284	0.4	23.7	515.7	-81.7	1.681
0.4785	0.262	1.8	25.8	469.4	-41.5	1.688
0.4775	0.248	1.1	27.8	429.9	-24.2	1.694
0.4765	0.244	-0.4	30.0	423.3	-18.7	1.695
0.4755	0.249	-1.8	31.2	436.2	-20.9	1.693
0.4735	0.269	-3.5	28.9	507.0	-28.8	1.682
0.4715	0.299	-3.8	23.3	617.1	-47.2	1.666
0.4685	0.345	-2.1	19.1	799.4	-89.8	1.639
0.4635	0.351	-0.1	23.5	846.0	-72.4	1.632
0.4585	0.347	0.6	24.0	835.9	-64.6	1.633
0.4555	0.346	1.1	25.5	829.3	-64.8	1.634
0.4535	0.341	1.5	27.9	804.3	-64.9	1.638
0.4515	0.333	2.1	31.2	766.8	-61.1	1.643
0.4505	0.325	2.4	32.6	731.1	-59.1	1.649
0.4495	0.315	2.6	34.4	694.1	-45.6	1.654
0.4485	0.299	2.5	36.2	638.6	-28.1	1.662
0.4475	0.282	1.5	37.6	589.3	-1.5	1.670

修正流量	修正回転数	修正トルク	冷却空気流量比	入口平均温度	入口平均圧力	修正膨張比
主流量	回転数	トルク	速度比	出口平均温度	出口平均圧力	修正速度比
(kg/s)	(rpm)	(N-m)		(°C)	(mmHg)	
3.344	4650.8	221.8	2.3	88.9	7973.0	70.63
5.309	5195.3	393.5	0.427	46.7	525.8	103.54

実験番号	TURC30
設計回転数比	70 (%)
膨張比	1.74
冷却空気流量比	0.0(%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmAq)	PS (mmAq)	PAI
0.4795	0.273	-0.1	6.3	525.1	-28.0	1.792
0.4785	0.256	0.4	7.3	492.6	6.2	1.797
0.4775	0.252	-0.8	9.8	488.8	14.2	1.798
0.4765	0.258	-2.5	13.5	511.0	14.0	1.794
0.4755	0.272	-3.7	17.6	560.9	7.5	1.786
0.4735	0.313	-3.8	23.7	710.7	-25.2	1.762
0.4715	0.346	-3.3	27.6	849.9	-54.0	1.740
0.4685	0.379	-2.2	30.7	1002.1	-78.3	1.717
0.4635	0.386	-0.2	30.6	1051.5	-71.1	1.710
0.4585	0.376	0.3	28.1	1005.0	-57.5	1.717
0.4555	0.371	0.7	29.7	975.4	-58.6	1.721
0.4535	0.365	1.0	32.7	940.8	-57.3	1.726
0.4515	0.357	1.6	36.6	897.3	-56.5	1.733
0.4505	0.350	1.8	38.9	857.6	-57.8	1.739
0.4495	0.340	2.1	40.8	819.5	-45.5	1.745
0.4485	0.326	2.0	42.6	759.9	-33.9	1.754
0.4475	0.308	1.2	43.9	706.3	-4.5	1.763

修正流量	修正回転数	修正トルク	冷却空気流量比	入口平均温度	入口平均圧力	修正膨張比
主流量	回転数	トルク	速度比	出口平均温度	出口平均圧力	修正速度比
(kg/s)	(rpm)	(N-m)		(°C)	(mmHg)	
3.384	4553.3	246.1	0.0	81.2	9192.7	69.15
5.797	5030.7	465.9	0.402	38.0	649.8	104.77

実験番号	TURC23
設計回転数比	70 (%)
膨張比	1.65
冷却空気流量比	1.6(%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmAq)	PS (mmAq)	PAI
0.4795	0.267	1.0	22.2	466.6	-59.9	1.686
0.4785	0.247	1.6	23.5	422.4	-30.0	1.692
0.4775	0.237	0.3	25.2	397.2	-17.4	1.696
0.4765	0.236	-1.6	26.5	395.5	-15.8	1.697
0.4755	0.245	-3.1	27.0	422.8	-19.8	1.692
0.4735	0.275	-4.2	24.9	523.5	-37.0	1.677
0.4715	0.306	-3.6	20.9	639.9	-58.2	1.659
0.4685	0.345	-2.0	18.9	795.7	-92.2	1.636
0.4635	0.350	-0.1	24.0	842.7	-74.3	1.629
0.4585	0.346	0.7	23.9	824.8	-68.5	1.632
0.4555	0.342	1.2	25.6	808.5	-67.1	1.634
0.4535	0.338	1.5	28.4	786.7	-66.3	1.637
0.4515	0.331	2.0	31.4	752.9	-63.8	1.642
0.4505	0.324	2.3	33.1	721.5	-60.5	1.647
0.4495	0.314	2.6	34.7	684.2	-49.6	1.653
0.4485	0.297	2.4	36.5	628.2	-30.9	1.661
0.4475	0.280	1.3	37.8	576.9	-5.0	1.669

修正流量	修正回転数	修正トルク	冷却空気流量比	入口平均温度	入口平均圧力	修正膨張比
主流量	回転数	トルク	速度比	出口平均温度	出口平均圧力	修正速度比
(kg/s)	(rpm)	(N-m)		(°C)	(mmHg)	
3.351	4633.4	222.3	1.6	92.0	7938.2	70.36
5.296	5199.4	394.4	0.425	49.9	525.8	103.76

実験番号	TURC31
設計回転数比	70 (%)
膨張比	1.74
冷却空気流量比	2.1(%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmAq)	PS (mmAq)	PAI
0.4795	0.302	0.9	27.9	628.2	-52.1	1.780
0.4785	0.279	1.8	29.7	571.2	-7.6	1.789
0.4775	0.266	0.9	31.8	538.3	11.2	1.794
0.4765	0.266	-0.9	33.7	537.3	11.1	1.794
0.4755	0.272	-2.3	34.4	559.1	9.0	1.791
0.4735	0.299	-3.7	31.7	659.2	-7.1	1.775
0.4715	0.334	-4.1	26.6	802.8	-32.0	1.752
0.4685	0.383	-2.5	23.4	1018.3	-81.2	1.719
0.4635	0.390	-0.3	28.0	1077.1	-66.7	1.710
0.4585	0.382	0.5	27.5	1046.5	-49.8	1.715
0.4555	0.383	0.7	28.9	1044.8	-56.8	1.715
0.4535	0.379	1.2	31.5	1025.0	-57.8	1.718
0.4515	0.370	1.9	35.0	969.3	-59.4	1.726
0.4505	0.362	2.3	36.7	933.5	-49.9	1.732
0.4495	0.349	2.5	38.5	875.4	-39.3	1.741
0.4485	0.332	2.4	40.0	814.5	-11.8	1.750
0.4475	0.309	1.4	41.0	733.9	18.4	1.763

修正流量	修正回転数	修正トルク	冷却空気流量比	入口平均温度	入口平均圧力	修正膨張比
主流量	回転数	トルク	速度比	出口平均温度	出口平均圧力	修正速度比
(kg/s)	(rpm)	(N-m)		(°C)	(mmHg)	
3.395	4669.3	242.9	2.1	87.5	9244.0	70.91
5.773	5204.8	460.6	0.412	42.3	670.4	105.10

実験番号	TURC32
設計回転数比	70 (%)
膨張比	1.74
冷却空気流量比	1.5(%)

RADIUS (mm)	MACH	PITCH (Deg)	YAW (Deg)	PC (mmHg)	PS (mmHg)	PAI
0.4795	0.293	0.9	25.4	591.7	-46.6	1.782
0.4785	0.270	1.7	26.5	534.5	-6.1	1.791
0.4775	0.256	0.4	28.0	501.1	12.7	1.797
0.4765	0.256	-1.5	29.2	500.5	13.7	1.797
0.4755	0.266	-3.1	29.8	535.5	9.4	1.791
0.4735	0.300	-4.1	27.9	656.3	-14.3	1.771
0.4715	0.336	-3.9	24.7	802.5	-43.3	1.748
0.4685	0.379	-2.4	24.2	1000.6	-78.0	1.718
0.4635	0.389	-0.2	28.7	1070.3	-69.4	1.708
0.4585	0.381	0.4	27.5	1034.9	-57.2	1.713
0.4555	0.379	0.8	29.0	1017.3	-60.1	1.716
0.4535	0.375	1.2	31.7	991.6	-62.6	1.719
0.4515	0.366	1.9	35.2	946.1	-60.3	1.726
0.4505	0.357	2.3	37.2	897.9	-57.5	1.734
0.4495	0.344	2.6	38.9	850.5	-38.3	1.741
0.4485	0.326	2.3	40.5	774.9	-21.8	1.753
0.4475	0.305	1.1	41.6	712.7	17.7	1.762

修正流量	修正回転数	修正トルク	冷却空気流量比	入口平均温度	入口平均圧力	修正回転数比
主流量	回転数	トルク	速度比	出口平均温度	出口平均圧力	修正流量比
(kg/s)	(rpm)	(N-m)		(°C)	(mmHg)	
3.377	4656.8	243.3	1.5	90.1	9202.5	70.72
5.713	5207.9	460.6	0.411	44.8	650.2	104.55

航空宇宙技術研究所資料587号

昭和63年6月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7-44-1
電話 三鷹(0422)47-5911(大代表) ㊦182
印刷所 株式会社 共 進
東京都杉並区久我山5-6-17
