

軸流圧縮機段特性とそのマッチング

Effects of Stage Characteristics and Their Matching to Axial-Flow Compressor Performance

伊 地 知 幸 文*
Yukifumi Ijichi

内 容 梗 概

軸流圧縮機の性能は遠心式に比べ理論解析が容易であり、また得られた結果の精度も高い。日立製作所においては電子計算機を利用して軸流圧縮機に関する種々の計算を行なっているが、そのうち全体性能に特に重要な影響をもつ段特性とそのマッチングについての解析結果を取りまとめたのが本論文である。

1. 緒 言

軸流圧縮機の構成要素を機能によって大別すると、入口の増速過程を行なうサクションノズル部、エネルギー授受を行なう翼列部、出口の減速過程を行なうディフューザ部の三つに大別される。

入口の増速ノズル部は翼列への流入速度が均一になり、かつ偏向をもたないよう形状を決定しなければならない。円周方向の均一性は入口案内翼により修正できないので、下部吸込口を有する場合には特に重要であり翼列がその機能を十分発揮できるかいかのきとなる。

出口の減速ディフューザは、増速ノズル部に比べ速度の絶対値の変化量がきわめて大きく、したがってかなり高速になることもあるので、それらの条件で効率よく圧力ヘッドに変換しなければならない。

これら翼列前後に付属配置される増速、減速過程を行なう各要素は、理論的な解析では完全を期しがたいのでいずれもモデルによって内部の流動を調査し、形状の修正を行なって実機に採用している。

エネルギー授受を行なう翼列部分は軸流圧縮機の生命であり、設計および加工とも細心の考慮が払われねばならない。翼列の設計には種々の方式があり、いずれも一長一短を有している。またその効果も使用目的によって変わるので一概にその優劣を論ずることはできない。しかしかなる方式を採用するにしても翼列内部の流動を十分に握し、使用条件との関連性を配慮し諸元の決定を行なわなければならない。

近年電子計算機を利用し、軸流圧縮機に関する種々の理論解析が行なわれているが、筆者は自由渦後置静翼翼列を対象とし、全体性能上特に重要な段特性とそのマッチングについて解析を試みたので、その結果について述べる。

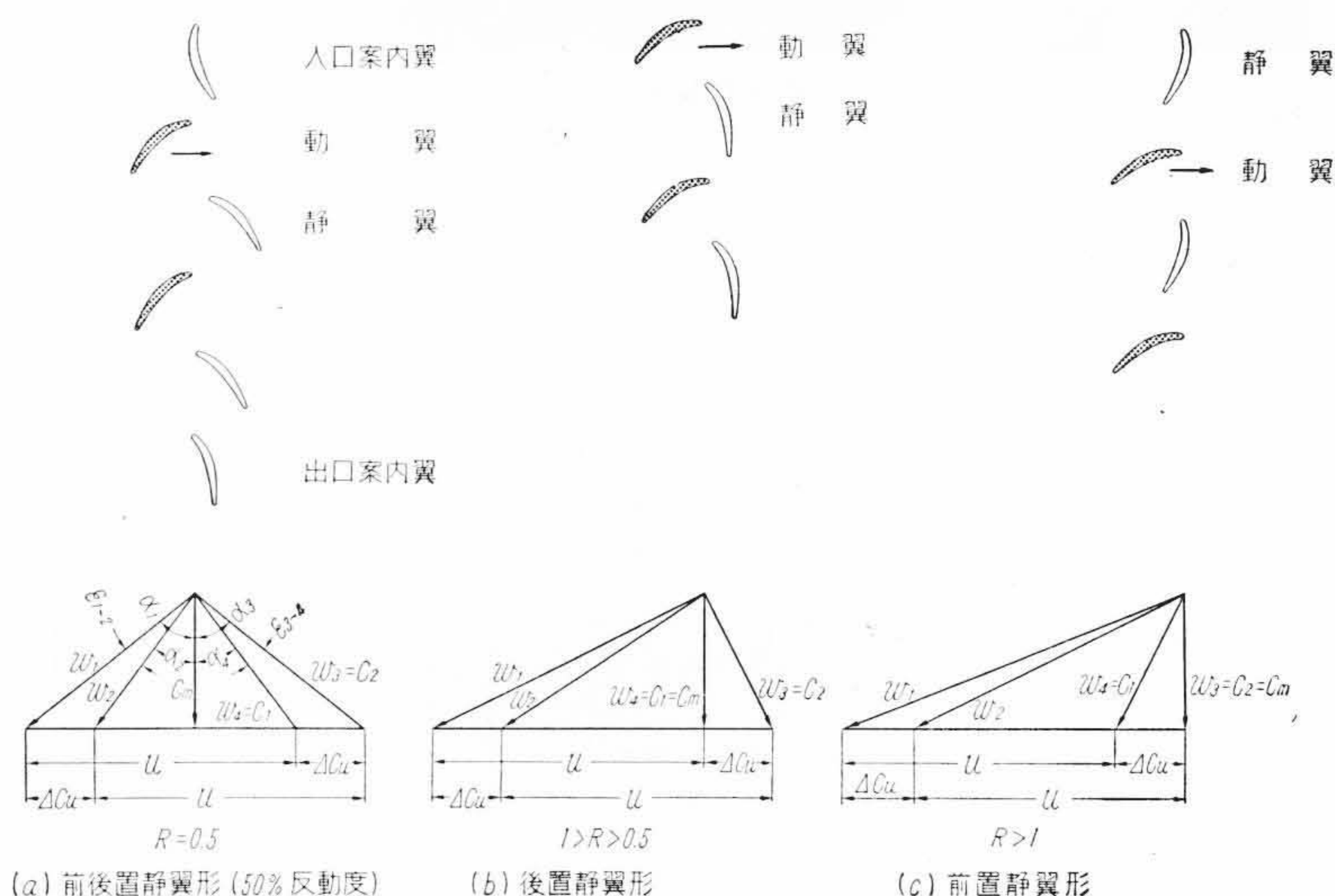
2. 段 特 性

軸流圧縮機の翼列は単段の配列により構成されており、段は回転羽根車（以下動翼とよぶ）と固定羽根車（以下静翼とよぶ）より成る。また単段の作動特性を以下段特性と称することにする。

軸流圧縮機の全体特性は、段特性の重畳によって得られるのでまずそのベースになっている段特性における基本的事項について考察する。

2.1 翼 列 の 分 類

翼列形式は流れの半径方向のつり合いによる分類と、速度三角形で決まる反動度（段の全圧上昇に対する動翼中の静圧上昇値の占める割合）による分類の二つの組み合わせで表わされる。



第1図 軸流圧縮機におけるおもな速度三角形

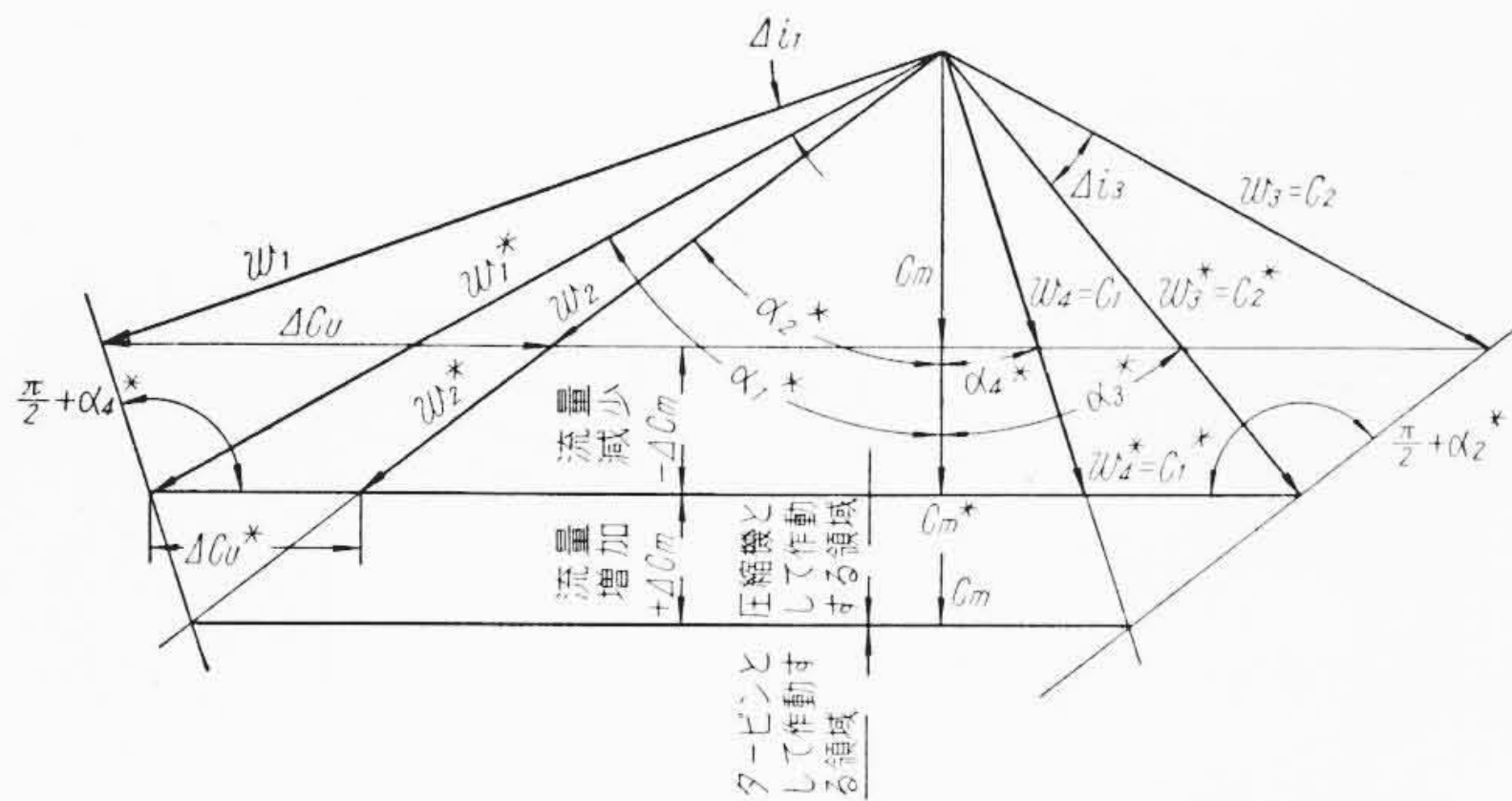
半径方向のつり合いは、翼列内の円周方向の速度成分が半径方向に半径に反比例して変化する自由渦形 (Free vortex), 半径に比例して変化する強制渦形 (Forced vortex or Solid rotation), およびこれらの中間形 (Half vortex) の3種類に分類される。これらのうち自由渦以外は翼列内で半径方向の速度が発生するため設計上の取り扱いが煩雑になり、また完全な強制渦形では仕事量が径の増大に伴い半径の2乗で分布することになるので特殊な用途、あるいはボス比(内径の外径に対する比)が大きいものの以外はあまり用いられない。

速度三角形による分類は第1図(a), (b), (c)に示すように反動度の順に前後置静翼, 後置静翼, および前置静翼の3種類に大別できる。

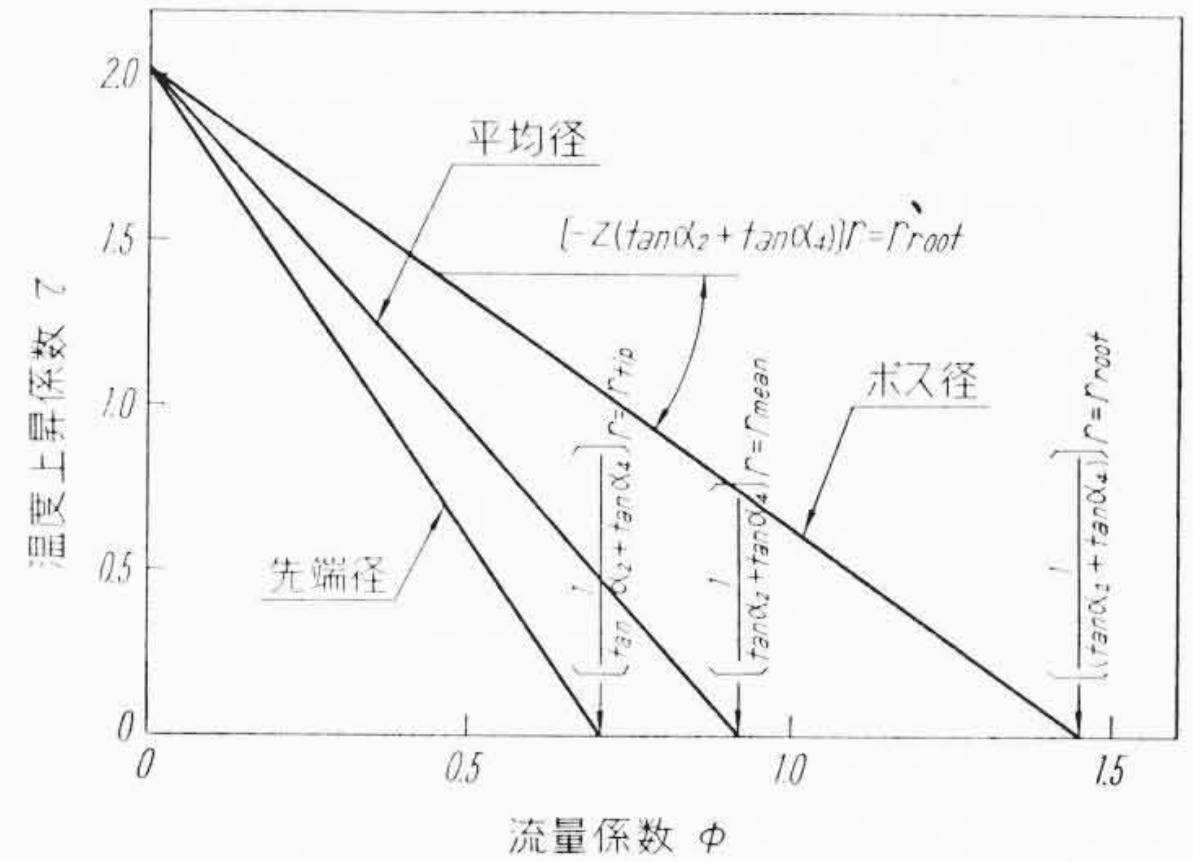
前後置静翼は最も多く採用されている翼列でその代表的なものは第1図(a)のような左右対称の速度三角形をもった50%反動度である。しかしこの翼列では動, 静翼ともにねじれが大きくなる。この変形翼列に静翼出口角度を一定にする方法があり、これでは静翼をねじりなしにすることもできるので使用目的によってはかなり有用な翼配列ということができる。

後置静翼形では、空気は動翼に対し軸方向に流入し静翼からは軸方向に流出するので入口および出口に案内翼を必要としない。この点は前置静翼形も同じであるが動翼, 静翼の順序は逆である。第1図からわかるように軸流速度 c_m と周速 u を同一の条件とした場合、動翼に対する相対流入速度 w_1 は前置静翼形が最大となり、それだけマッハ数の制限を受けやすい。また反動度 R もこの形式が一番大きく1より大きいので静翼で一度静圧が下がり、動翼では段当りの

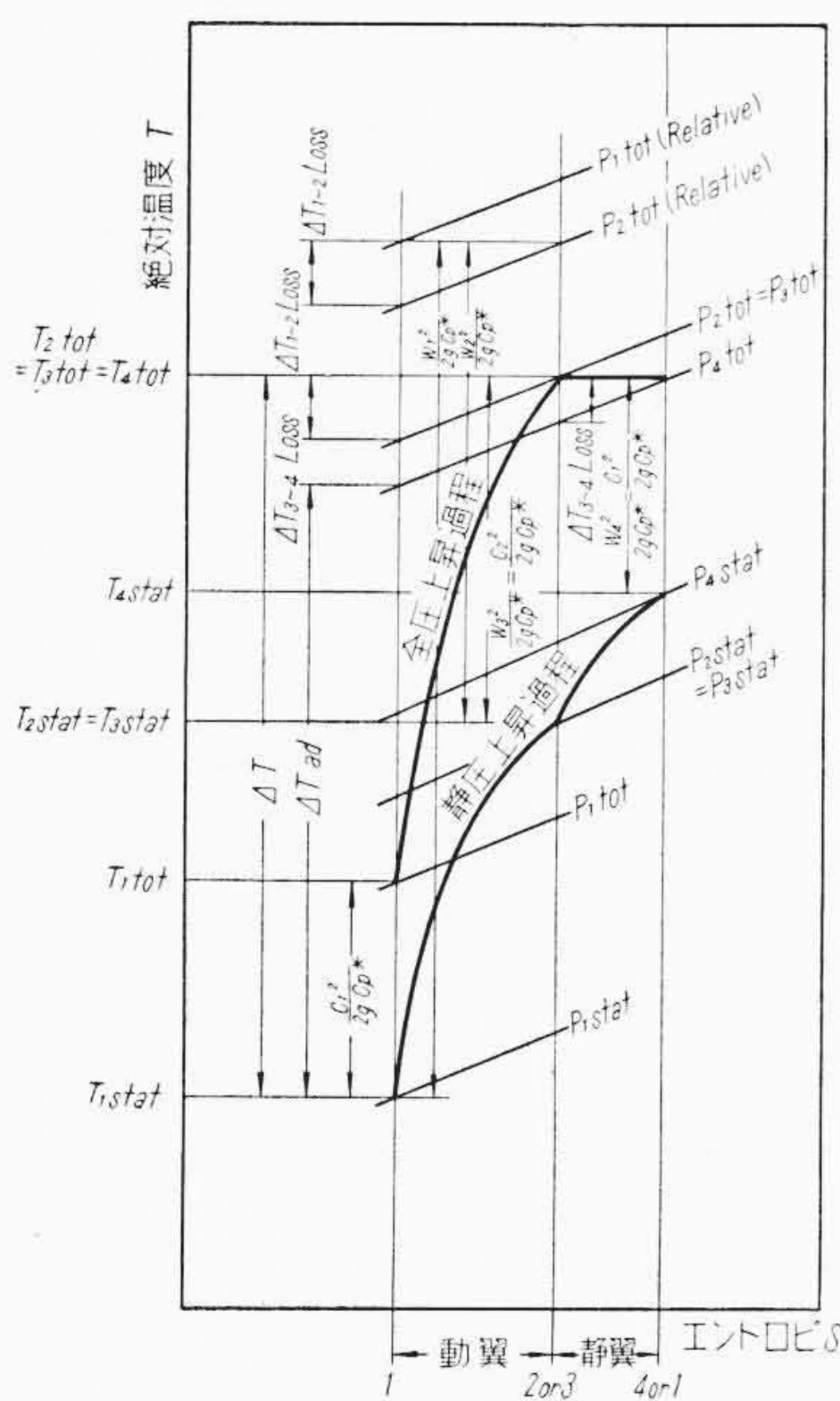
* 日立製作所川崎工場



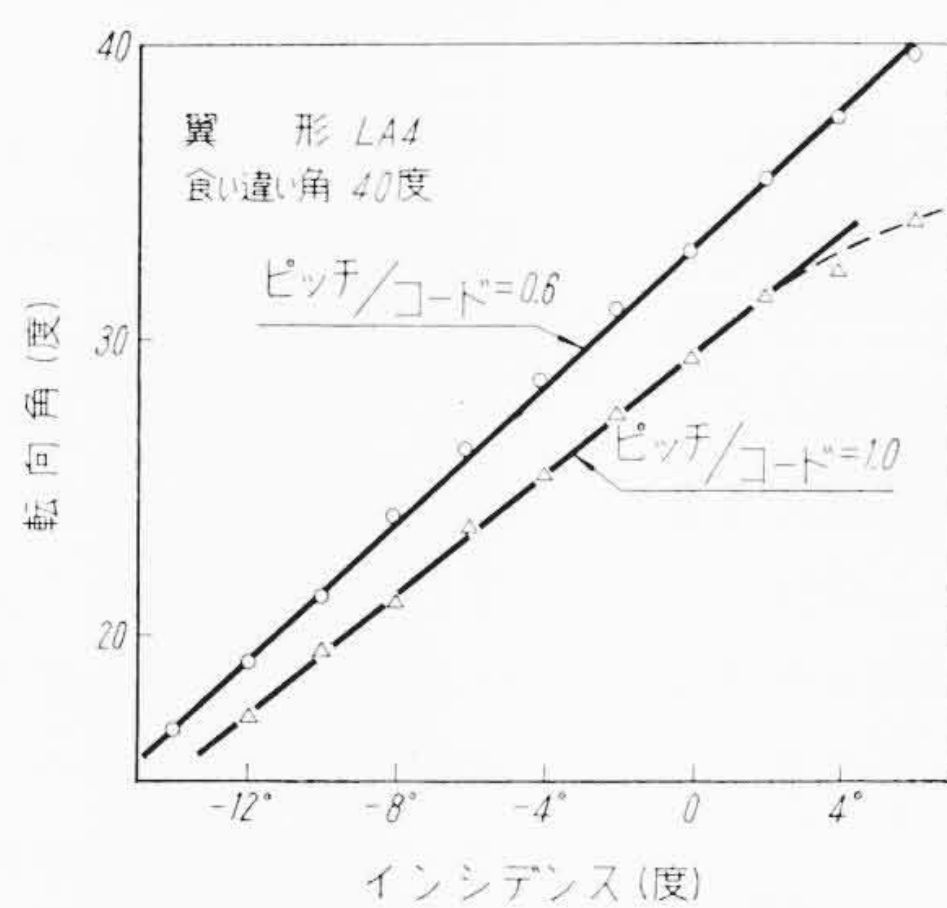
第2図 速度三角形の一般形



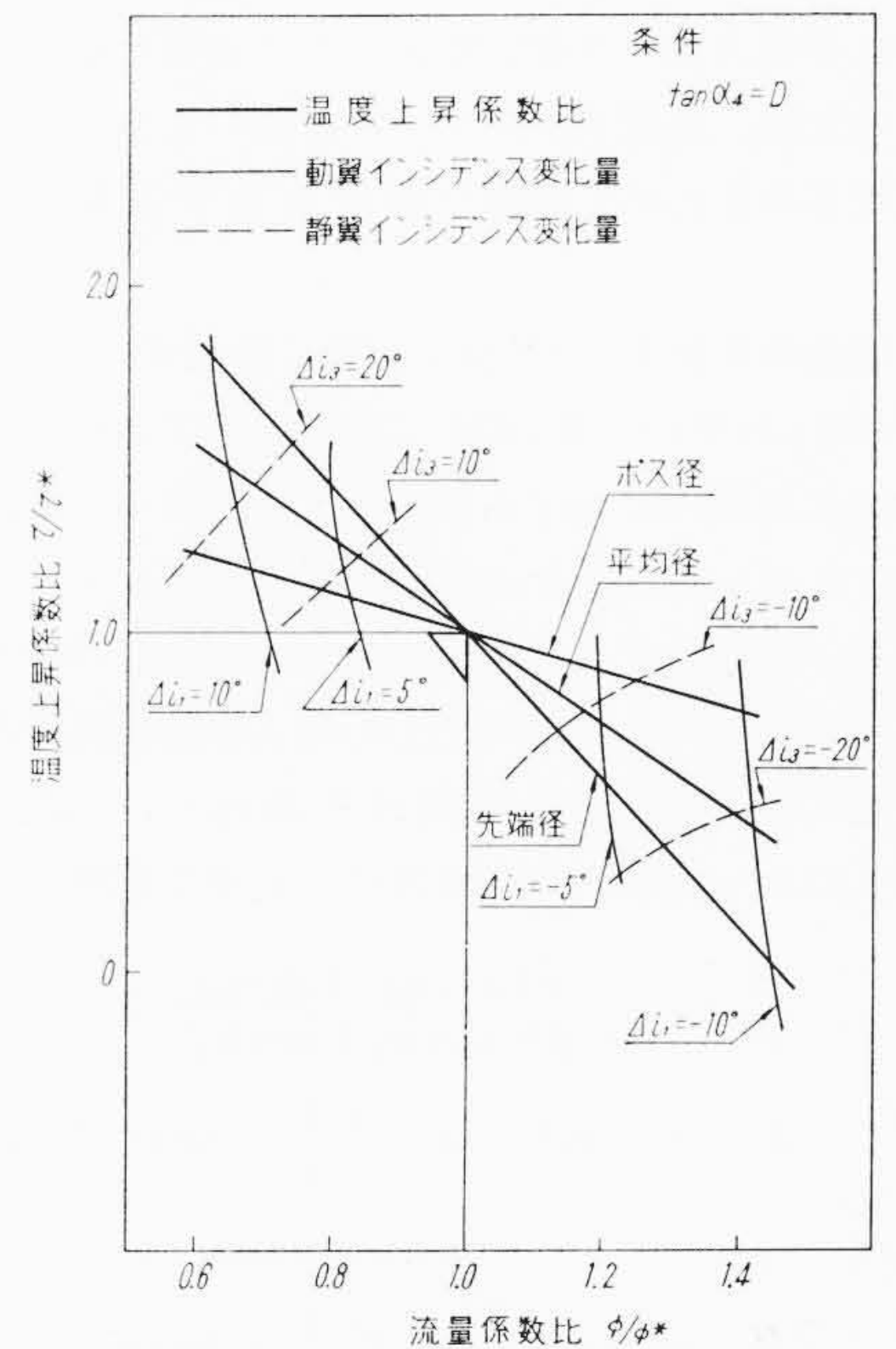
第5図 段の主要断面における温度上昇係数



第3図 段の T-S 線図



第4図 翼形転向角とインシデンスとの関係



第6図 仕事量増率および翼インシデンスの変化

全圧以上に静圧を上昇させるため段効率は悪くなる傾向をもつ。前置静翼ではこのように静翼は増速翼列となるので比較的簡単な翼列でかつ少ない枚数によって形成しうるし、また周速を低くしてもかなりの段圧が得られる利点はあるが、上述の理由で高効率を目的とする圧縮機には若干の不利をまぬがれない。

2.2 速度三角形と仕事量の関係

軸流圧縮機単段の仕事は動翼における円周方向の momentum 変化によって与えられ、圧力の上昇は動、静翼内の減速過程によってなされる。第2図は一般的な速度三角形を選び流量が変わった場合の変化の状況を示したものであり、計画状態は*をつけて区別した。また段の状態変化をT-S線図⁽¹⁾で表わすと第3図のようになる。

段の仕事量(温度上昇値で表わす) ΔT は流量変化の場合も含めて(1)式により与えられる。

$$\Delta T = \frac{u^2}{c_p^* g} \phi \left(\frac{1}{\phi} - \tan \alpha_2 - \tan \alpha_4 \right) \dots \dots \dots (1)$$

ただし ΔT : 段の仕事量(温度上昇値に等しい)

u : 動翼周速

c_p^* : $\frac{k}{k-1} R$

k : 取扱いガスの比熱比

R : 取扱いガスのガス定数

g : 重力の加速度

ϕ : $\frac{c_m}{u}$ で表わされる流量係数

α : 流入, 流出角

Suffix 1 および 2: 動翼入口および出口

3 および 4: 静翼入口および出口

仕事量 ΔT および圧力上昇の断熱ヘッド Δh_{ad} をそれぞれ動翼の周速 u を用いて無次元化し、相互の関係を求めると(2)~(4)式⁽²⁾となる。

$$\tau = \frac{\Delta T}{\frac{u^2}{2gc_p^*}} = 2\phi \left(\frac{1}{\phi} - \tan \alpha_2 - \tan \alpha_4 \right) \dots \dots \dots (2)$$

$$\Delta h_{ad} = c_p^* T_{1 \text{ tot}} \left[\left(\frac{P_{4 \text{ tot}}}{P_{1 \text{ tot}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \dots \dots \dots (3)$$

$$\phi = \frac{\Delta h_{ad}}{\frac{u^2}{2g}} = \eta_{ad} \tau = 2\eta_{ad} \phi \left(\frac{1}{\phi} - \tan \alpha_2 - \tan \alpha_4 \right) \dots \dots \dots (4)$$

ただし τ : 温度上昇係数

Δh_{ad} : 断熱ヘッド上昇値

T : 絶対温度

P : 絶対圧力

ϕ : 圧力上昇係数

η_{ad} : 断熱効率

Suffix tot: よどみ状態値

段特性の基本的な作動特性を調査するため温度上昇係数 τ を選び考察を進める。ただしインシデンス変化時の流出角は第4図に示すようにならかなり広い範囲で計画状態を保つことが知られているので便宜上一定とした。

段の仕事量を半径方向に一定とし、代表的な断面すなわちボス径、流量平均径および先端径を選び、おのおのの径における温度上昇係数 τ と流量係数 ϕ の関係を第5図に示す。曲線のこう配は(5)式により与えられ、反動度には無関係な式になる。

$$\frac{d\tau}{d\phi} = -2(\tan \alpha_2 + \tan \alpha_4) = \frac{1}{\phi} \left(\frac{\phi}{\eta_{ad}} - 2 \right) \dots\dots\dots (5)$$

次に設計点における仕事量および流量係数をそれぞれ τ^* 、 ϕ^* とし設計点以外の作動特性すなわち仕事量の増減率および動、静翼インシデンスの変化について調べる。仕事量の増減率の半径方向に対する分布は半径方向つり合いに関係して重要な意味を持ち、また動、静翼インシデンスは段の正および負の失速限界にきわめて密接な関係を有するものである。

仕事量の変化率 τ/τ^* および動、静翼インシデンスの変化量 Δi_1 および Δi_3 は(6)～(8)式に示すとおりであり、また自由渦の条件で設計された翼列における仕事量変化率のこう配は(9)式にて与えられる。これらの関係を ϕ/ϕ^* に対してプロットすると第6図のようになる。本図によれば仕事量変化率は半径の増大に伴い大きくなり、小風量での外径部の圧力の増大は容積流量の減少および圧力レベル差による半径方向の流れを誘起し、二次的損失の増大をきたす。したがって段の失速限界にも重要な意味をもつことになる。

$$\frac{\tau}{\tau^*} = \frac{1 - \phi (\tan \alpha_2 + \tan \alpha_4)}{1 - \phi^* (\tan \alpha_2 + \tan \alpha_4)} \dots\dots\dots (6)$$

$$\Delta i_1 = \alpha_1 - \alpha_1^* = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\phi} - \tan \alpha_4 \right) - \tan^{-1} \left(\frac{1}{\phi^*} - \tan \alpha_4 \right) \dots\dots\dots (7)$$

$$\Delta i_3 = \alpha_3 - \alpha_3^* = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\phi} - \tan \alpha_2 \right) - \tan^{-1} \left(\frac{1}{\phi^*} - \tan \alpha_2 \right) \dots\dots\dots (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{d \left(\frac{\tau}{\tau^*} \right)}{d \left(\frac{\phi}{\phi^*} \right)} &= \frac{-(\tan \alpha_2 + \tan \alpha_4)}{\frac{1}{\phi^*} - (\tan \alpha_2 + \tan \alpha_4)} \\ &= \frac{-1}{\mu^*} + 1 = \frac{-1}{\mu_B^* \cdot r^2} + 1 \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

ただし μ : ホワール比 $=c_v/u$
 $\bar{r}$: 半径比 $=r_B/r$

Suffix B: ボス径

半径比の基準としてボス径を採用した。これは内径一定形の流れの断面変化をもつ軸流圧縮機を対象としているためである。この定義においては段のボス比は先端半径比に等しく、また流量平均断面の半径比 $\bar{r}_m$ は(10)式により与えられる。

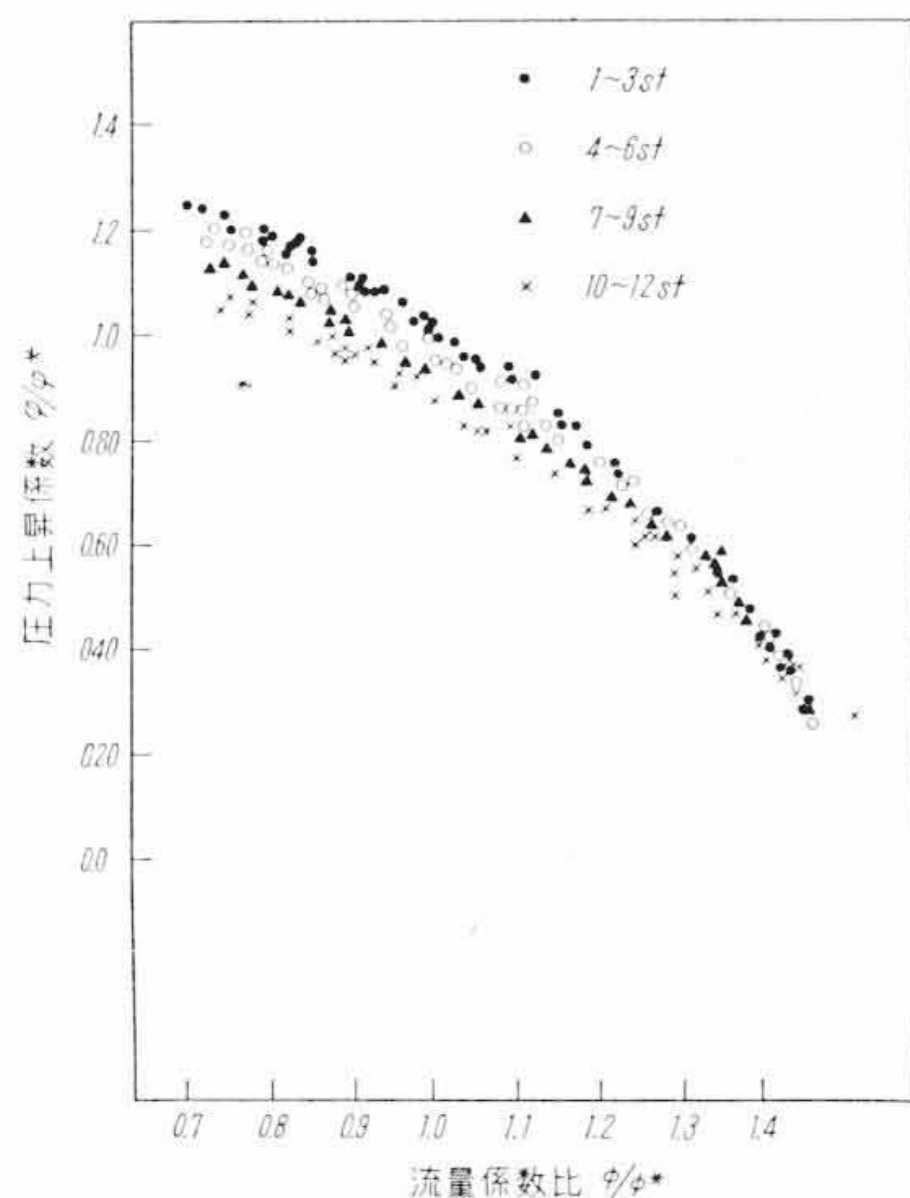
$$\bar{r}_m = \sqrt{\frac{2r_t^2}{r_t^2 + 1}} = \sqrt{\frac{2\nu^2}{\nu^2 + 1}} \dots\dots\dots (10)$$

ただし ν : 段のボス比

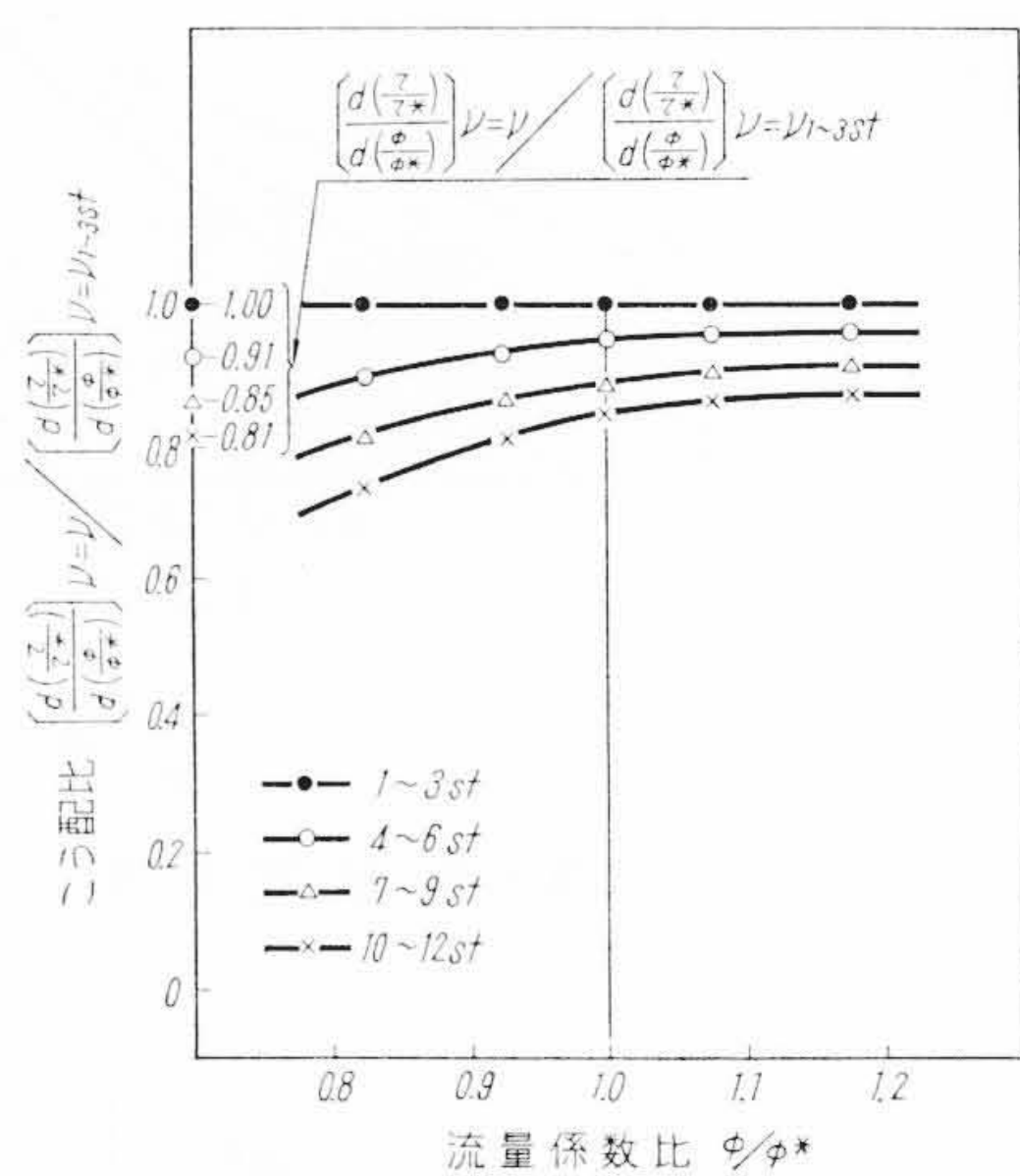
Suffix m: 流量平均径
t: 先端径

よく用いられているように段の特性が流量平均径によって代表されるものとすれば仕事量のこう配は(10)式により求まる半径比を(9)式に代入すれば得られる。

$$\left(\frac{d \left(\frac{\tau}{\tau^*} \right)}{d \left(\frac{\phi}{\phi^*} \right)} \right)_{r=r_m} = - \left(\frac{\nu^2 + 1}{2 \mu_B^* \cdot \nu^2} - 1 \right) \dots\dots\dots (11)$$



第 7 図 段特性の実温結果



第 8 図 段特性のボス比による変化率

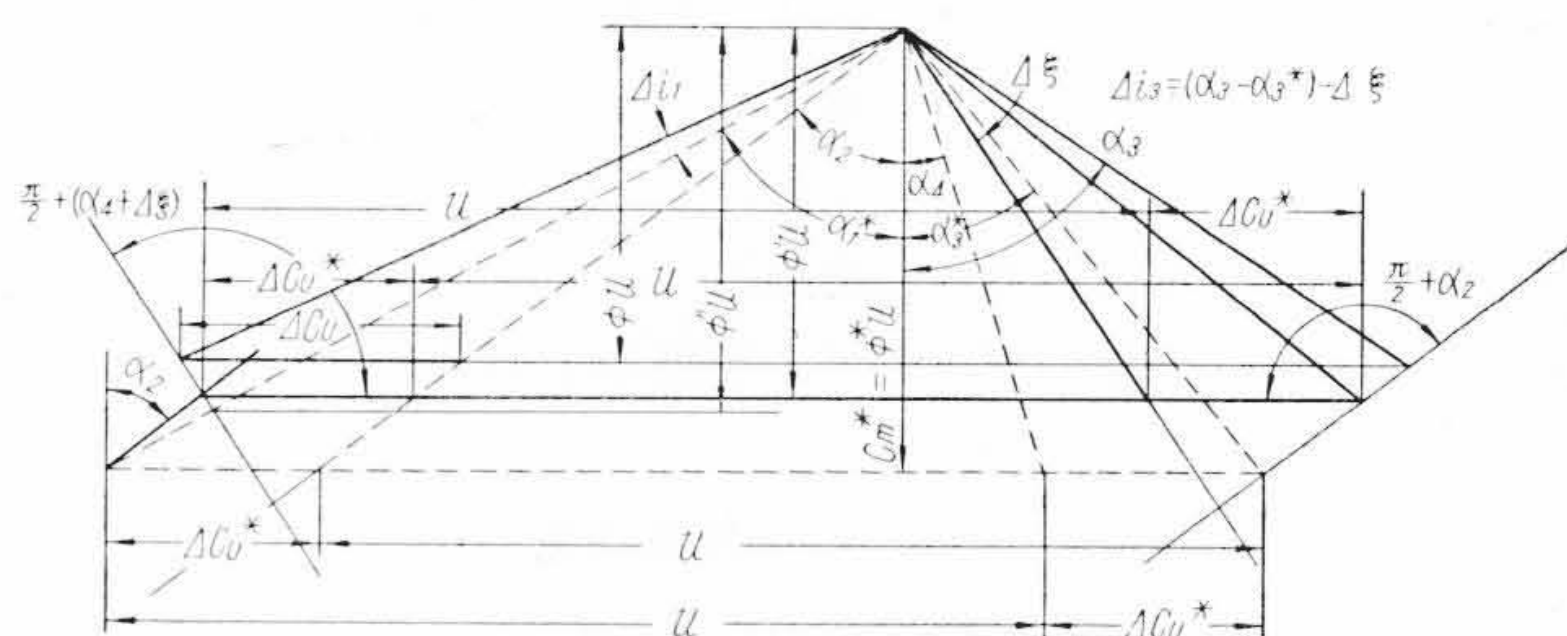
半径方向に自由渦、および仕事量一定にて設計された翼列特性は段のボス比の増大に伴い τ/τ^* の傾きは減少する傾向になる。また翼長も当然短くなり、二次元流損失の増大や先端ギャップの影響によって効率の低下をきたし圧力上昇係数のレベルは低下する。第7図は実機において実測された段特性であり、同一翼列でボス比のみ変化した場合のものである。第8図は実測された圧力係数と効率から仕事量 τ の曲線を求め、そのこう配と(11)式により求めたこう配の比較を行なったものである。同図における大きなボス比の特性は内径一定形の軸流圧縮機であるため後段側に対応する。実機特性と計算値との間に差が生じているがこれは圧力絶対値、境界層の厚さおよび径方向の流れなどの状態の変化により生ずるものと思われる。実機性能の推定にあたっては数多くのデータによりこの差を把握し段特性にボス比の影響をおり込み使用することにした。

最後に可変ピッチを行なった場合の段特性の基本的変化について考察する。可変ピッチの有用性は同一回転数において容量調整ができることであり、よく用いられている入口弁絞りよりも効率がよく、また増量も可能である。なかでも動翼による可変ピッチは容量調整方法として最も高効率であるが機構が複雑となり、特に高速回転の軸流圧縮機での実用性はきわめてうすい。したがってもしばら静翼による可変ピッチが採用されることになるので以下これを対象とし作動特性を検討する。第9図は静翼の取付角度を変更した場合の速度三角形の変化を示し、計画状態を点線、静翼取付角を $\Delta \xi$ だけ変更した状態での作動状況を実線にて表わした。

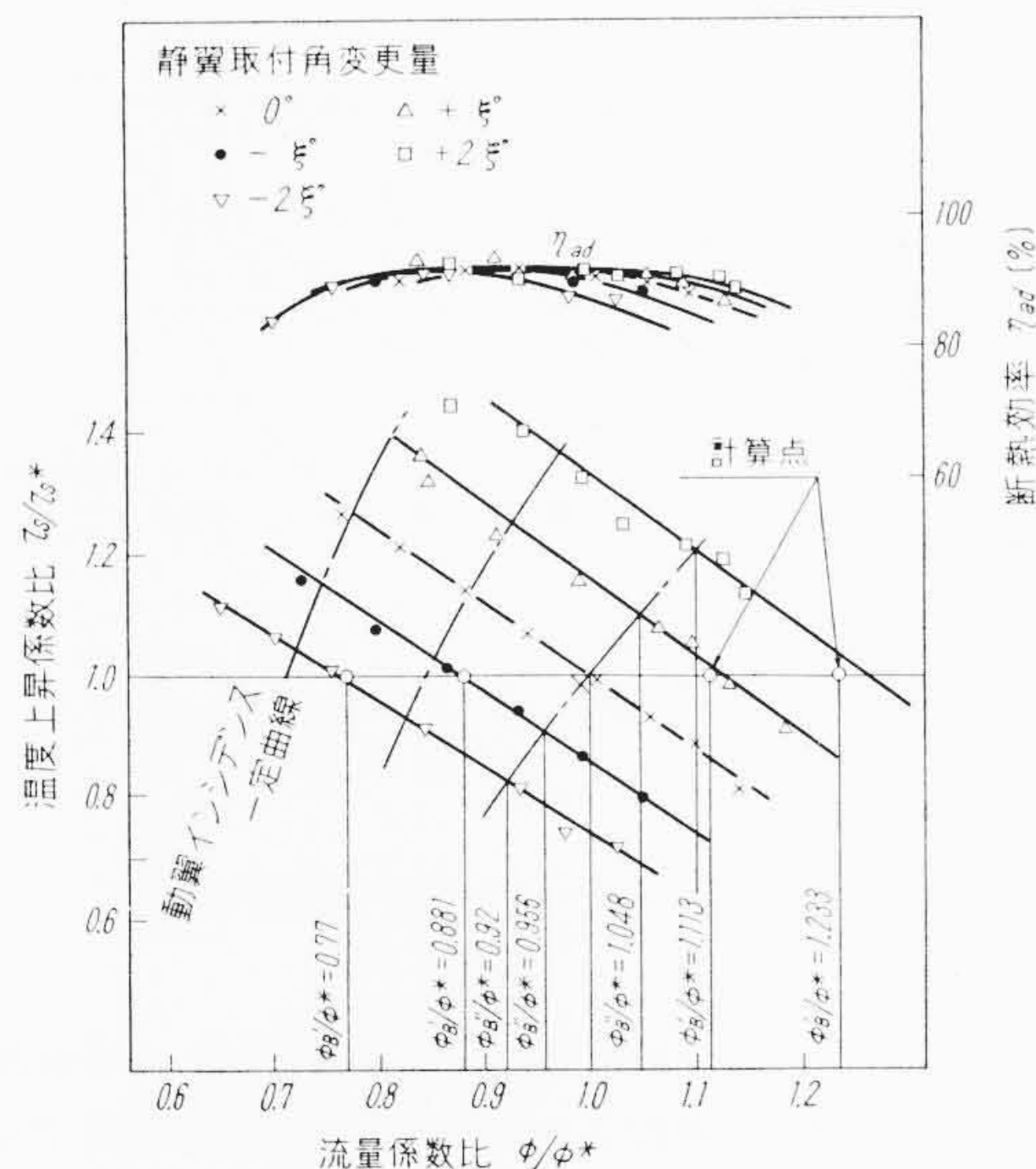
流量係数 ϕ と仕事量 τ との関係は計画状態の静翼流出角 α_4 が $\Delta \xi$ だけ変化したことに相当するから、(2)式の α_4 の代わりに $\alpha_4 + \Delta \xi$ を代入すればよい。すなわち(12)式となる。 $\Delta \xi$ は回転方向に換えた場合を正とした。

$$\tau_s = 2 \phi \left\{ \frac{1}{\phi} - \tan \alpha_2 - \tan (\alpha_4 + \Delta \xi) \right\} \dots\dots\dots (12)$$

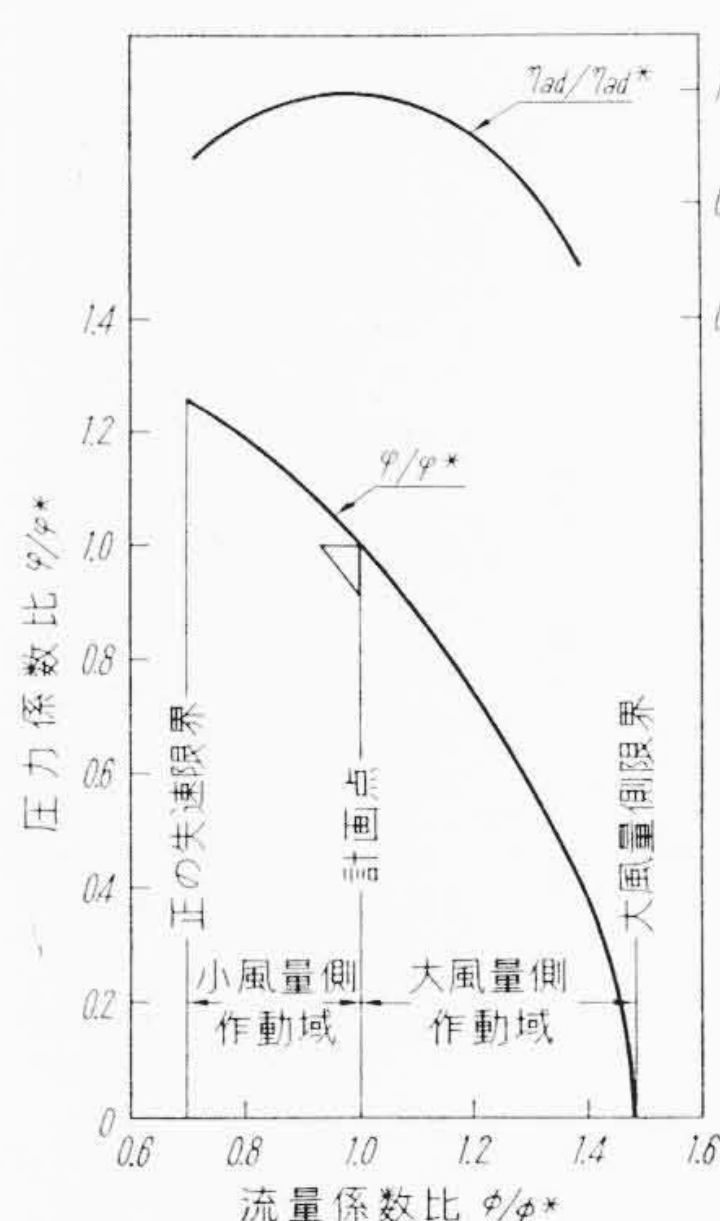
ただし τ_s : 静翼可変ピッチ時の仕事量



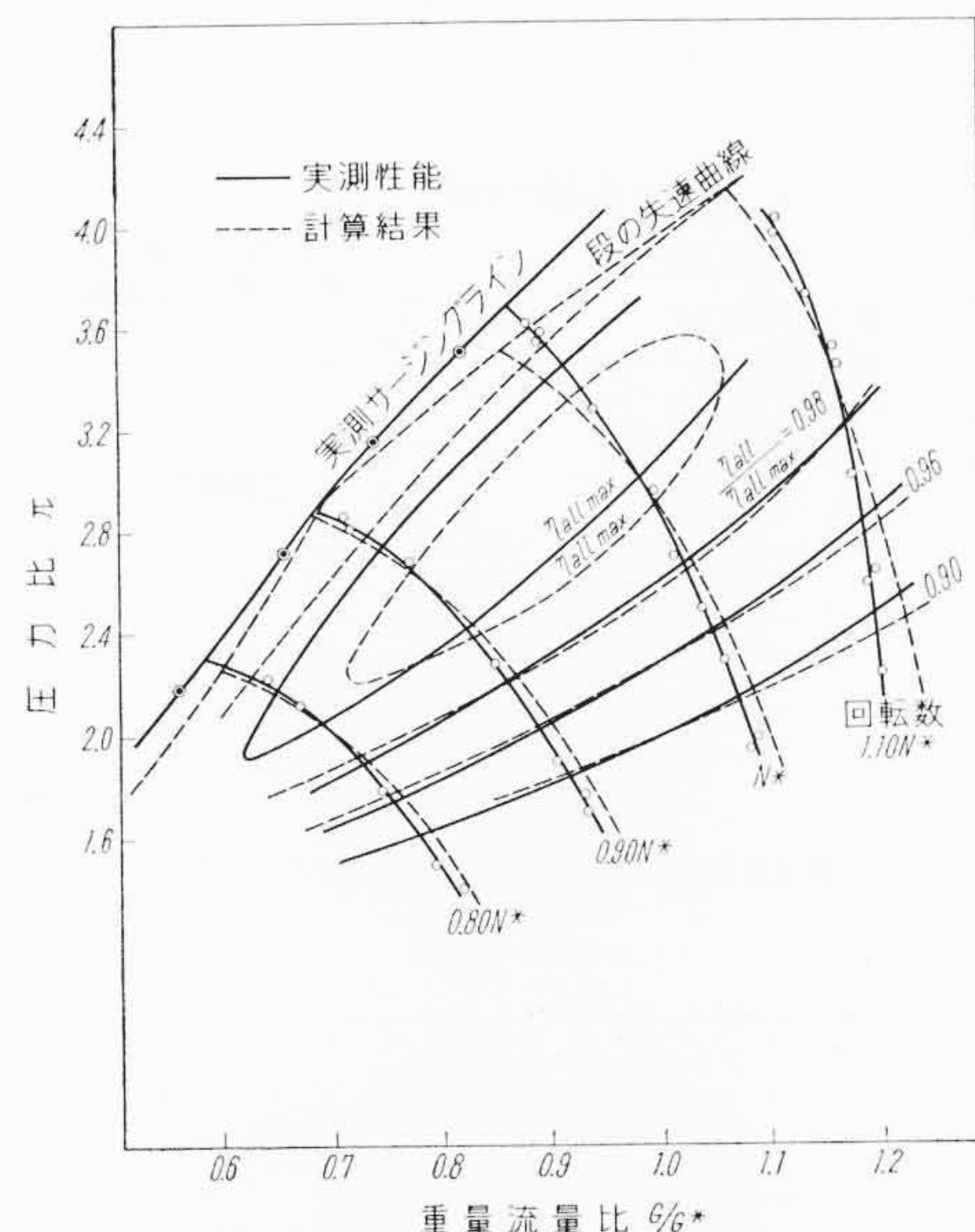
第 9 図 静翼可変ピッチ時の速度三角形



第10図 静翼可変ピッチ時の実測段特性



第11図 基本段特性



第12図 実機性能と計算結果の比較

計画状態値に対し同一の仕事量を与える流量係数 ϕ' , および同じ動翼のインシデンスをもつ流量係数 ϕ'' はそれぞれ(13)式および(14)式により与えられる。

$$\phi' = \phi^* \frac{\tan \alpha_2 + \tan \alpha_4}{\tan \alpha_2 + \tan (\alpha_4 + \Delta \xi)} \quad (13)$$

$$\phi'' = \phi^* \left\{ \frac{1}{1 - \phi^* (\tan \alpha_4 - \tan (\alpha_4 + \Delta \xi))} \right\} \quad (14)$$

静翼の可変ピッチによって生ずる段特性の遷移量が段の平均径において計算される値により近似されるものとすればそれぞれ(15)～(17)式となる。いずれもボス径を基準とした係数を使用した。

$$\tau_s = 2 \frac{2\nu^2}{1+\nu^2} \left(\mu_B^* + \phi_B \tan \alpha_{4B} - \phi_B \frac{\tan \alpha_{4B} + \tan \Delta \xi \sqrt{\frac{1+\nu^2}{2\nu^2}}}{1 - \sqrt{\frac{2\nu^2}{1+\nu^2}} \cdot \tan \alpha_{4B} \cdot \tan \Delta \xi} \right) \quad (15)$$

$$\phi_B' = \phi_B^* \left\{ 1 + \frac{\sqrt{\frac{2\nu^2}{1+\nu^2}} \cdot \tan \alpha_{4B} - \sqrt{\frac{2\nu^2}{1+\nu^2}} \cdot \tan \alpha_{4B} + \tan \Delta \xi}{1 - \sqrt{\frac{2\nu^2}{1+\nu^2}} \cdot \tan \alpha_{4B} \cdot \tan \Delta \xi} \right\} \quad (16)$$

$$\phi_B'' = \frac{\phi_B^*}{1 - \phi_B^* \frac{2\nu^2}{1+\nu^2} \left\{ \tan \alpha_{4B}^* - \frac{\tan \alpha_{4B}^* + \sqrt{\frac{1+\nu^2}{2\nu^2}} \cdot \tan \Delta \xi}{1 - \frac{2\nu^2}{1+\nu^2} \cdot \tan \alpha_{4B} \cdot \tan \Delta \xi} \right\}} \quad (17)$$

第10図は実機において静翼の取付角度を変えた場合の段特性の遷移状況を示している。計算による ϕ' , ϕ'' および動翼の等インシデンスの軌跡を付記し、傾向および計算値との差を調べたものである。 ϕ_B'' は動翼のインシデンスが計画状態と等しくなることを条件として求めたものであるから反動度の大きい翼列配置では等効率点の軌跡に密接な関係を有するものである。

3. 段特性のマッチング

各段における作動点の推移すなわち段特性のマッチングは段数の多い軸流圧縮機では特に重要である。段特性として高効率でしかも広い作動範囲を有するものを使用した場合でも、各段における断面

変化率の選定が適切でないとマッチングが悪くなり、段特性における利点を十分生かすことはできない。この段特性のマッチングは高炉送風用のように広い使用範囲が要求される用途においてはさらに慎重な考慮が必要となる。

以下回転数が増加する場合の軸流圧縮機の全体性能において、旋回失速とサージングに密接な関係をもつ段のストール曲線の推移、効率曲線の形状とストール曲線との相対的な関係位置、風圧曲線の形状などに対する断面変化率および段数の影響について考察する。

3.1 断面変化率の影響

第11図は全体性能の計算に用いた基本の段特性を示す。各段の積み重ね計算をするには段特性により各段におけるよどみ状態の圧力、温度上昇値を求める。また次段の流量係数は重量流量、断面積およびよどみ状態値から、逐次計算で静的状態値を求め算出した。第12図は12段の軸流圧縮機の実機性能と、段特性の積み重ねにより計算した全体性能の比較を行なったものである。両者はかなりよく一致している。したがってこの計算方法と結果は、軸流圧縮機の内部流動の調査、あるいは全体性能の推定などに十分な精度をもって利用することができる。断面変化率すなわち翼列部計画圧力比は、次に述べる諸点に特に考慮を払い選定した。

(1) ストール曲線と仕様範囲との関連性

低風量領域の運転能率

吐出側抵抗急変時における圧縮機作動の安全性

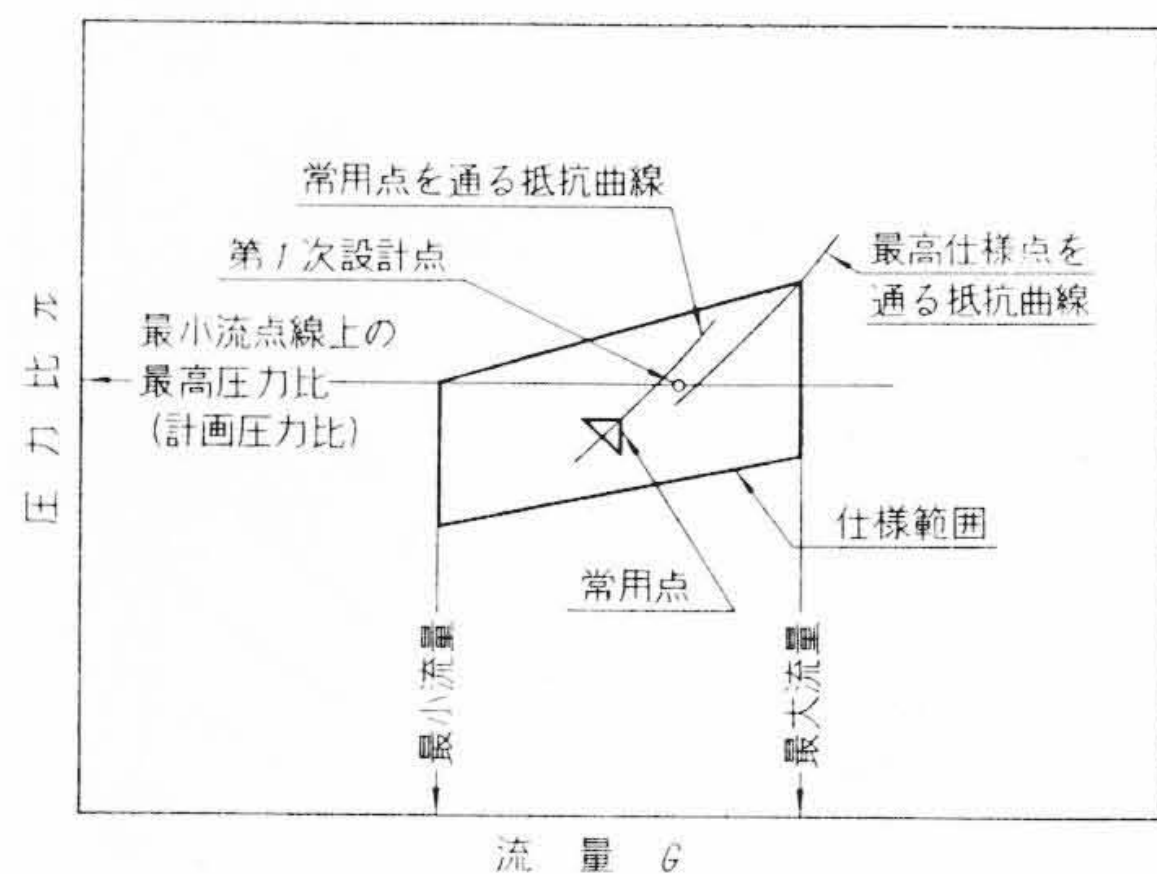
(2) 常用点の効率

長期運転能率 (ランニングコスト)

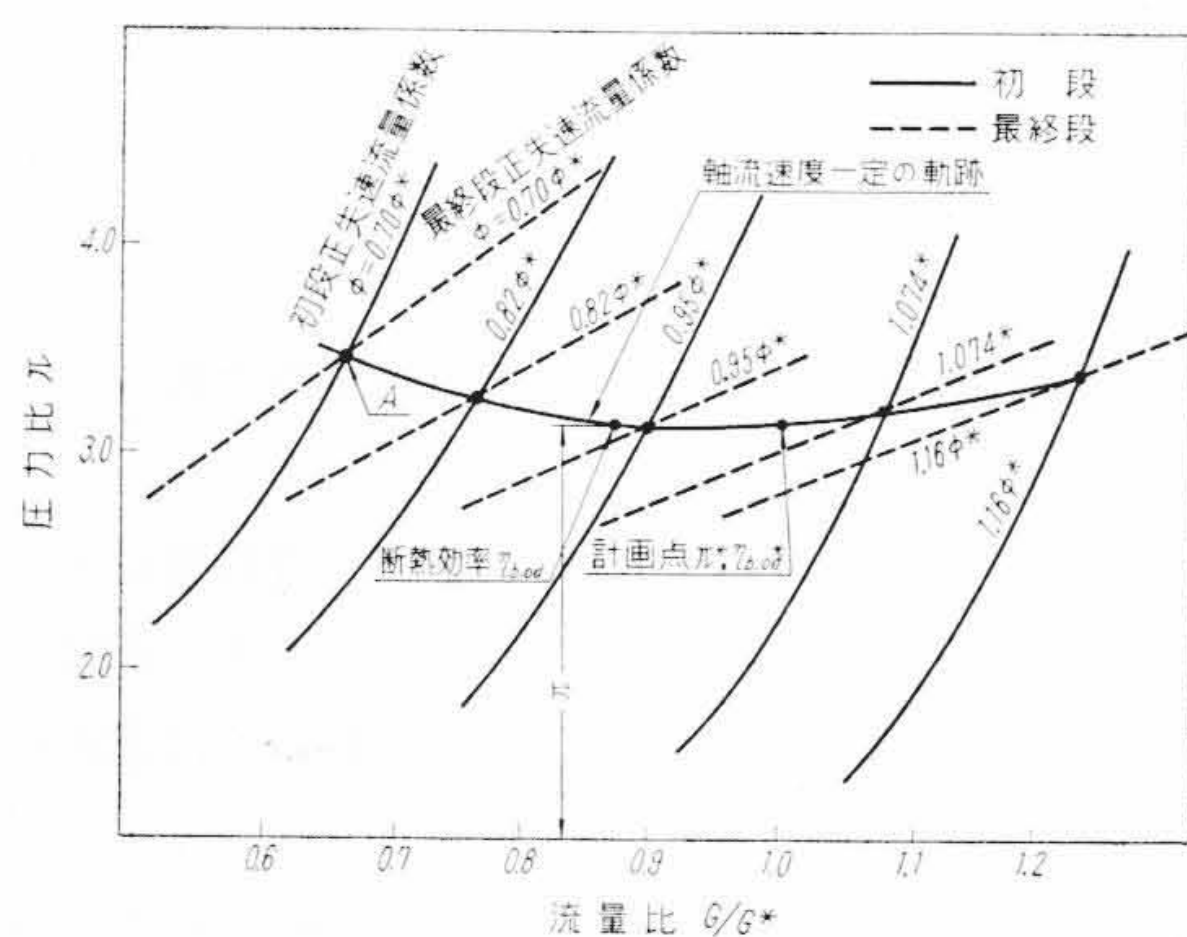
(3) 最高仕様点の効率

原動機の設備動力、常用点 (部分負荷になる) 能率

上述されている種々の条件を満足するように設計圧力比を決定しなければならないが、その第1近似値として最小風量線上の最高圧力を選定した。また設計点は、ここでは常用点および最大仕様点を通る吐出側抵抗曲線と計画圧力比線上における二つの交点の相互の関係位置を吟味し選定した。このような方法では仕様範囲が広い場合には設計点で最高効率にはならない。これの最大の理由はストール曲線と仕様範囲との相対的な関係位置を動翼および静翼のインシデンスにより調整しなければならないからである。仕様範囲から設計点を選定する過程は第13図に示すとおりである。以上設計点選定に関する基本概念を述べたが、実際には翼列内部の流動についてさらに詳細な検討を行ない、仕様全範囲に対する軸流圧縮機の特



第13図 仕様範囲と設計点の関係



第16図 流量係数分布

合理性を確認し、諸元の決定が行なわれる。

第14図は全体性能の計算過程において得られた回転数変化時の初段および後段部軸流速の分布を示す。初段の軸流速は流量に比例して増減するが、後段側の軸流速は著しく変化している。両曲線の交点は翼列内部で軸流速が一定となる作動点を表わし、この点では、流体の比体積比が流路断面積比に等しくなる。また両曲線の相対的關係は、高速回転では交点を有し、低速回転では交さない。したがって高速回転では、まず後段側において正の失速条件がつかなくなり低速回転では逆に初段側になる。これらの関係を段特性上の作動に関連づけるため流量係数の分布で表わしたものが第15図である。段の失速は、周速あるいは軸流速の絶対値で決定されるものでなく動、静翼におけるインシデンスの増大により生ずるものであるから第12図にて指示されている失速流量係数の軌跡がその限界を示すことになる。第16図は、座標として圧縮機全体性能を示す場合によく用いられる重量流量と圧力比をとり、風圧曲線および流量係数の分布をプロットしたものである。第14図から求められる軸流速一定の点は、各流量係数が同一となる点で表わされる。この軌跡上の各点の圧力比は(18)式により与えられ断熱効率が異なるためわん曲することになる。

$$\begin{aligned} \text{面積比(常数)} &= \frac{A_L}{A_0} = \frac{1}{\pi^*} [1 - \gamma_{b,ad}^* (\pi^* \frac{k-1}{k} - 1)] \\ &= \frac{1}{\pi} [1 - \gamma_{b,ad} (\pi \frac{k-1}{k} - 1)] \dots\dots\dots (18) \end{aligned}$$

ただし A: 翼列部リング状の面積

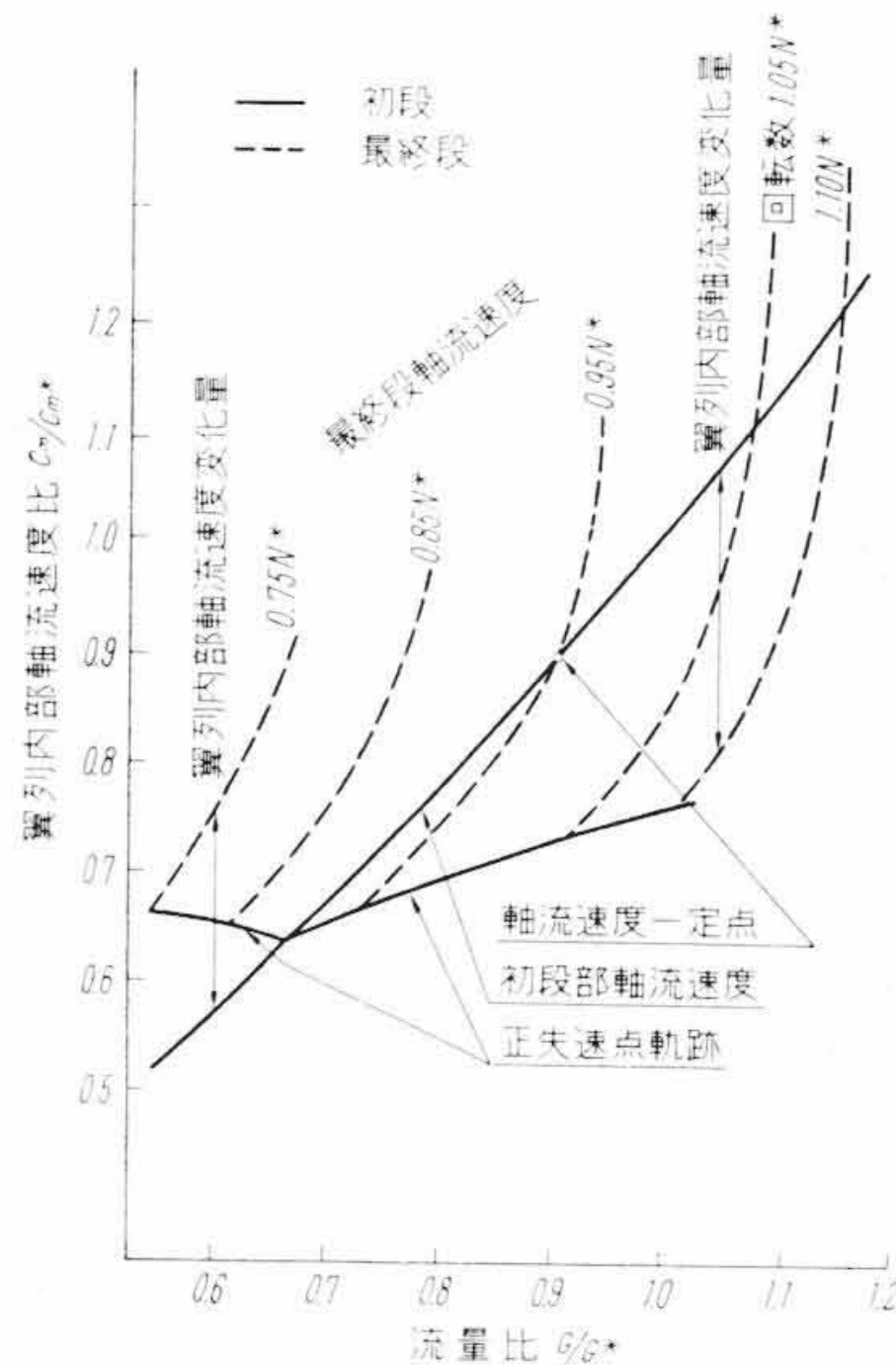
π : 軸流速一定の条件を満足する圧力比

$\gamma_{b,ad}$: 翼列部断熱効率

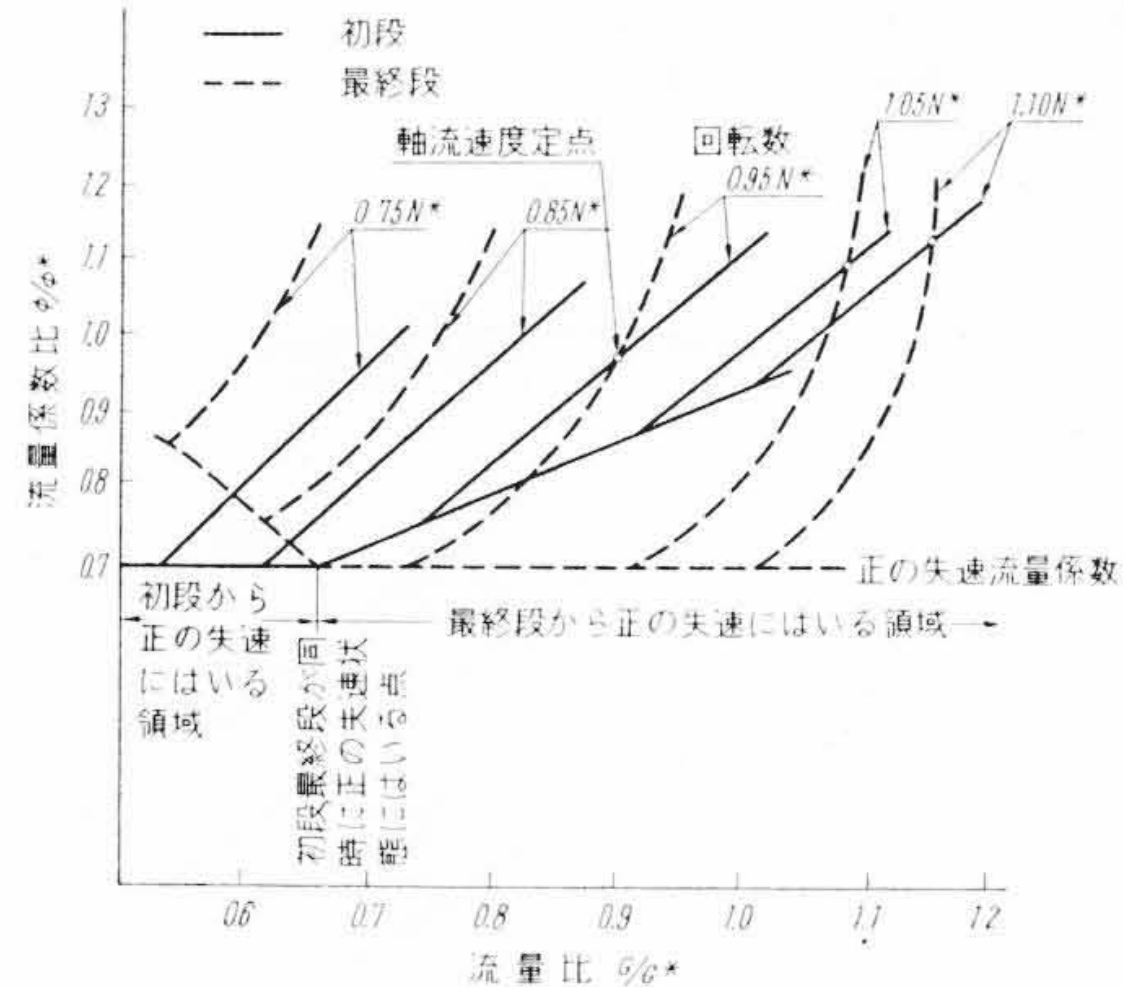
Suffix 0: 初段目入口

L: 最終段出口

*: 計画状態



第14図 回転数変化時の翼列内軸流速分布



第15図 流量係数の変化状態

初段、および最終段の正失速流量係数の交点Aは初段から後段まで同時に失速条件を満足する作動点に相当する。そのほかの領域では正の失速条件は初段および後段においてずれを生じ、前述したようにA点より高い圧力では最終段(一般的には後段)から失速状態にはいり、低い圧力ではその逆となる。段の失速は圧縮機のサージング現象と密接な関係を有しているが一致しない。これは、圧縮機のサージングが圧縮機および送風配管を含む装置全体の圧力変動にほかならないからであり、その系統の容量、圧力レベルあるいは抵抗などにより圧力変動に対する減衰効果はかなり変わるからである。

しかし、段の失速は旋回失速あるいはサージングにもつながるものであり、また長期運転に対する信頼性と翼の振動強度の面からも好ましくないので、広い仕様範囲が要求される用途における圧縮機の安定領域としては、初および後段の失速曲線により限定される範囲をとるべきであろう。第16図において、安定領域限界線である正失速流量係数の流量に対する傾斜は、段の失速点をずらすこと(翼のインシデンスをずらすこと)により変化する。一般的に、仕様範囲と安定領域限界線との相対的な関係位置は、第16図のA点の位置を断面変化率により、曲線の傾斜は段特性における失速点までの余裕により調整しうるのである。しかし風圧曲線、高効率領域も同時に変化するのでこれらの点にも配慮し、安定領域限界線の調整を行なわなければならない。

後段部面積を増減することにより断面変化率を変化させた場合の軸流圧縮機全体特性すなわち風圧曲線および等効率曲線の推移を第17図に示す。

3.2 段数と全体特性との関係

第17図に示すように一般に最高効率領域は失速曲線に近接している。この間隔は段特性における高効率点流量係数と失速点流量係数に支配される。いまこの差を翼列および翼形により広くすることができるならば、きわめて能率のよい軸流圧縮機の全体性能が実現することになる。翼列の選定、ならびに採用した翼列特性に最も適合した翼形の決定に苦心する理由はこの点にあるわけである。それらの内容についてはすでに報告⁽³⁾⁽⁴⁾されているのでここでは省略し、段数変化に伴う全体特性の推移について考慮する。第18図は段数が変化した場合の風圧曲線および高効率範囲の推移を示す。段特性はすべて同一条件のものを使用した。使用範囲と特性曲線の関係は図に示すとおりであり、広い範囲が要求される場合には一般に段数(正確には全仕事量)をあげて小風量側の高圧点が安定領域内に収まるようにする。したがって高効率範囲は圧力の高い側に移動し、常用点付近の効率が低くなる。したがって長期運転における能率の向上を図るためには、使用範囲をできるかぎり小風量側をカッ

トし、さらに高圧部分では鎖線にて描いた形状にすることが望ましい。大風量側でも高圧部を風圧曲線に沿ってとることができるならばきわめて経済的な圧縮機設備になりうるのである。ここで全仕事量の増減を計るため段数を変化させる方法を選んだが、同じ使用範囲に対し段当りの圧力比をあげた場合の段数の低下ではこの効果をきたすことはできない。

4. 結 言

以上、軸流圧縮機の全体性能上きわめて重要な影響をもつ段特性とそのマッチングについて考察し翼列内部の流動状態を解析するとともに、広い作動範囲が要求される用途に対する設計点選定根拠、および断面変化率と段数が変化した場合の風圧曲線、効率曲線の推移について述べた。これらの内容が使用者側における送風機設備計画あるいは運転操作面でなんらかの参考資料となれば幸いに思う次第である。

終わりにのぞみ、本稿執筆にあたり種々有益なご意見をいただいた関係者各位に深じんの謝意を表する。

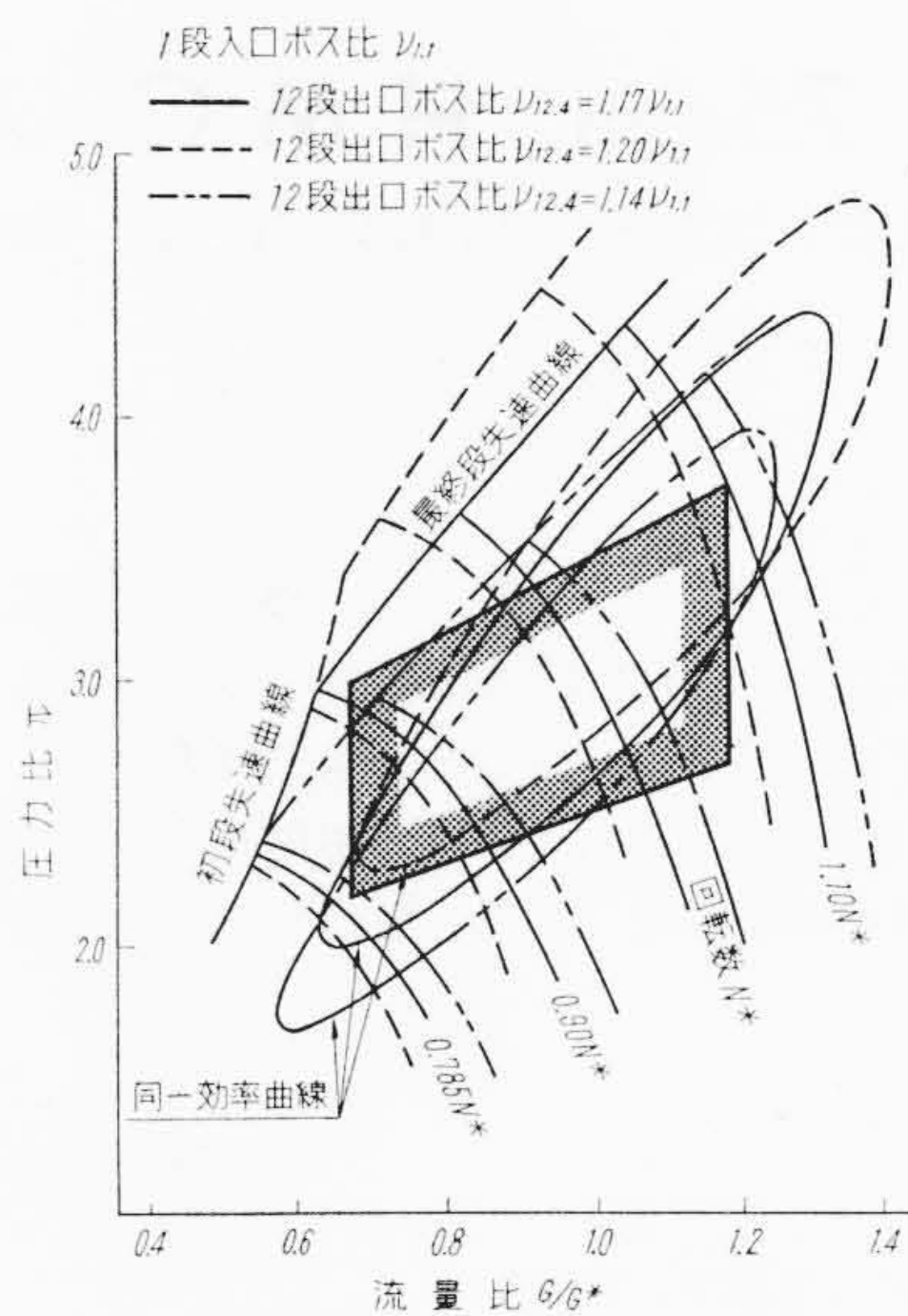
参 考 文 献

(1) J. H. Horlock: Axial Flow Compressors, 88 (1958)

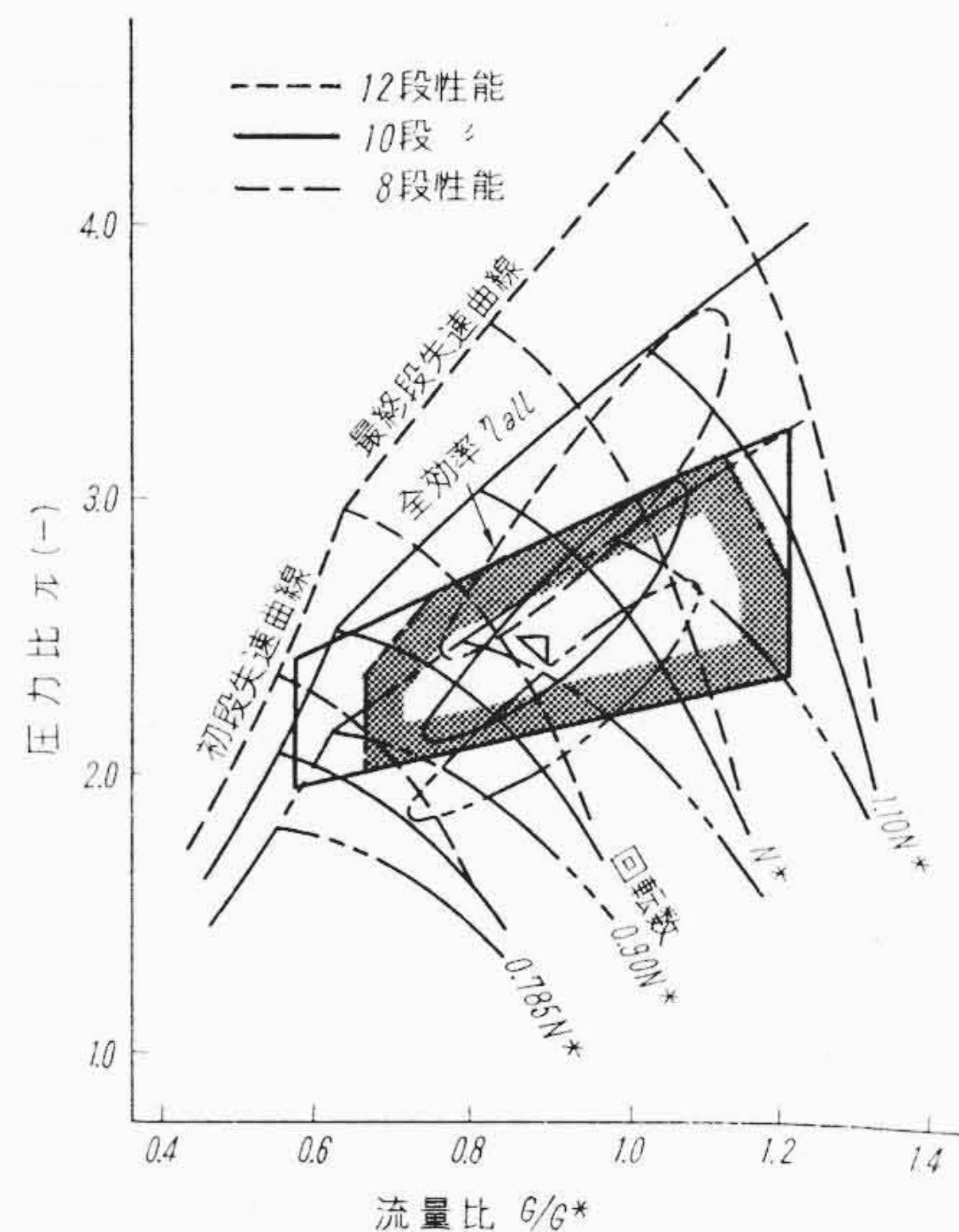
(2) A. Stone: Trans of the ASME, 1273 (Aug. 1958)

(3) 瀬賀: 日立評論, 42, 1078 (昭35-10)

(4) 伊地知: 日立評論, 43, 2166 (昭36-12)



第17図 全体性能に対する断面変化率の影響



第18図 全体性能に対する段数の影響

1962

日 立

No. 6

目 次

- 巻 頭 随 筆.....池 田 弥三郎
- 停 年 の な い モ ー ト ル
- ス テ レ オ に 魅 力 を 加 え た 残 響 装 置
- 環 境 清 掃 車 ス イ ー パ
- 日立ハイライト

- 海 を 招 く ハ ー モ ニ ッ ク プ レ ー ド
- 自 動 列 車 制 御 装 置
- 木 工 家 具 の 塗 料
- 工 場 の 保 安 を 守 る 音 波

- 電 線 百 話

ア ル ミ の 花

- 明日への道標

中興鉱業株式会社納立坑巻上設備

- 時代の脚光を浴びる LPG
- 工場を爆発から守る電気機器
- 新しい照明施設

サ ン ト リ ー 美 術 館

- 日 立 だ よ り

発 行 所 日 立 評 論 社

東京都千代田区丸の内1丁目4番地

振 替 口 座 東 京 7 1 8 2 4 番

取 次 店 株 式 会 社 オ ー ム 社 書 店

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地

振 替 口 座 東 京 2 0 0 1 8 番