

可動翼トルクコンバータとその応用

Adjustable Blade Torque Converter and Its Applications

関 英 彦*
Hidehiko Seki

内 容 梗 概

従来のトルクコンバータはほとんどが固定翼形であり、負荷の増減に応じて出力軸回転数が変わってそれに対応する回転力を発生するという自動応動性は備えているが、トルクコンバータ自体で人為変速を行なうことは不可能であった。このたび日立製作所で完成した可動翼トルクコンバータはステータを可動翼にして人為変速を可能にしたものであり、国内で初めての形式である。

本機は馬力一定特性を有する無段変速機として有用なものと考えられるので、その構造、特性、応用について述べる。

1. 緒 言

変速機構の理想は安価で扱いやすく、かつ高効率で信頼性のある無段変速機をうることにある。現実の変速機には歯車、ベルト、鎖などを利用した機械的変速機、油圧ポンプモータ、流体継手などの水力的変速機および渦流継手、ワードレオナード装置のような電気的変速機構など多くのものが実用されている。しかしこれらはそれぞれ得失を有しており、馬力や用途によって適当に使い分けられるべきである。たとえば機械式無段変速機は小馬力の安定した負荷の変速には適するが、伝達馬力が大きい場合や過酷な用途に供される場合には無理なことが多い。一方流体継手や渦流継手には伝動能力の制約はなく、大は1万馬力以上のものも製作されているが、いずれもすべり制御を利用した変速機であるため、負荷特性のいかんによっては不向きな場合もある。またワードレオナードのような高級電気的変速機構ではこの点は問題ないが、設備が大形になり、かつ高価な点で汎用性に欠けるうらみがある。

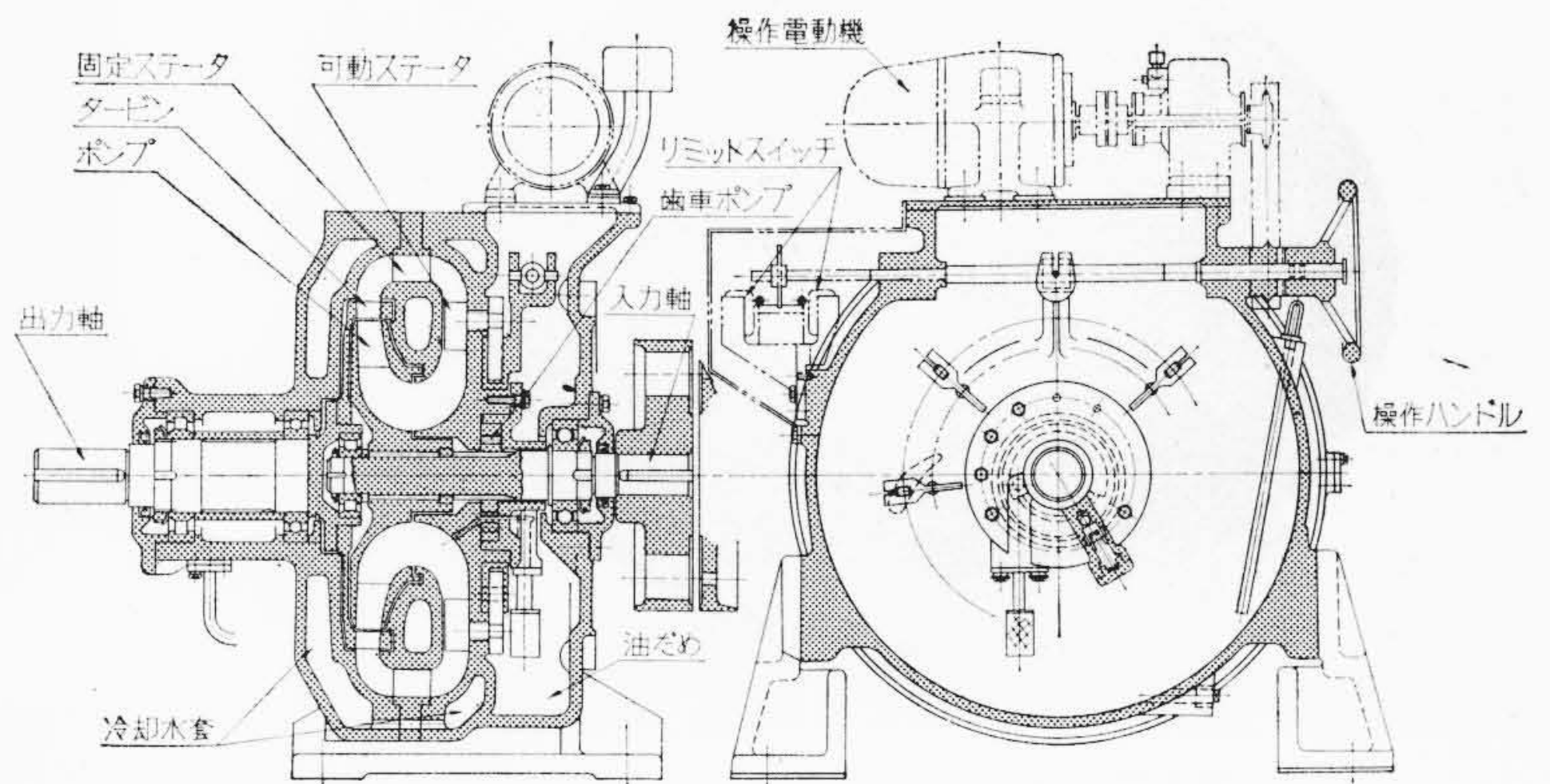
このように、手軽で万能な変速機はなかなか得がたいものであるが、本文に述べる日立 RSK 形可動翼トルクコンバータは容量、用途、負荷特性などにあまり制約されない特長を有しており、汎用性をもった無段変速機といえるであろう。

変速機構は直接の作業機械でなく動力の伝達を合理化する中間機械であるため、その効用については軽視されがちな宿命をもっている。しかし最近の技術の進歩は必然的に機構の複雑化、大容量化をきたし、その安全かつ合理的な稼動を図ることが設備費の低減よりもより重要な課題となりつつある。ここにおいて初めて変速機械の存在が注目を受けるのであり、その価値はそれ自体の価格とか効率とかだけにとらわれることなく、設備全体の経済性、操作性の総合判断によって判定されるべきである。

わが国の変速機産業も最近とみに活況を呈しつつあるが、その活用については残念ながらまだ欧米諸国の域に達していない。今後の課題はより有能な変速機の開発とその効用についてのおおかたの認識を高めることにあると思う。

2. 構造と作用

第1図に示すように RSK 形トルクコンバータは1段4要素1相形（タービンが1段でポンプ、タービン、固定ステータ、可動ステータの4要素よりなり、トルクコンバータ以外の変相運転はしないもの）トルクコンバータであり、各羽根はそれぞれ半径方向および軸方向流路に置かれている。トルクコンバータの羽根配置にはいろ



第1図 日立 RSK 形トルクコンバータ断面図

いろあるが、タービンが1段でしかもそれがポンプの外径に配置されることは従来の国内品には見られなかった新しい方式である。しかも復路の半径方向流路を可動ステータで専有できるから、操作機構の組み込みが容易となる。操作は通常のリック機構で行なわれるが、付属装置いかんによって遠方、自動および手動制御のいずれでも可能である。

入力軸には歯車ポンプが組み込まれており、油だめの油を作動室に供給する。しかし本機には外部への油配管はなく、運転中は単に作動室から油だめへの漏えい量を補充するだけでよいから、歯車ポンプは小容量のものでよく、作動室内圧維持がその主目的となる。

作動室の外側には冷却水套が設けられており、作動室内で発生する損失熱を直接取り去るようになっている。したがって油を冷却するための外部冷却器、油配管、油タンクは不要となり、取り扱いが簡単になる。また作動室内の油はほとんど閉じ込められた形となるから空気との接触が少なく、熱放散を高めるために作動油温を高めても油が劣化することも少ない。したがってこの方式でも十分な冷却効果をうることができる。

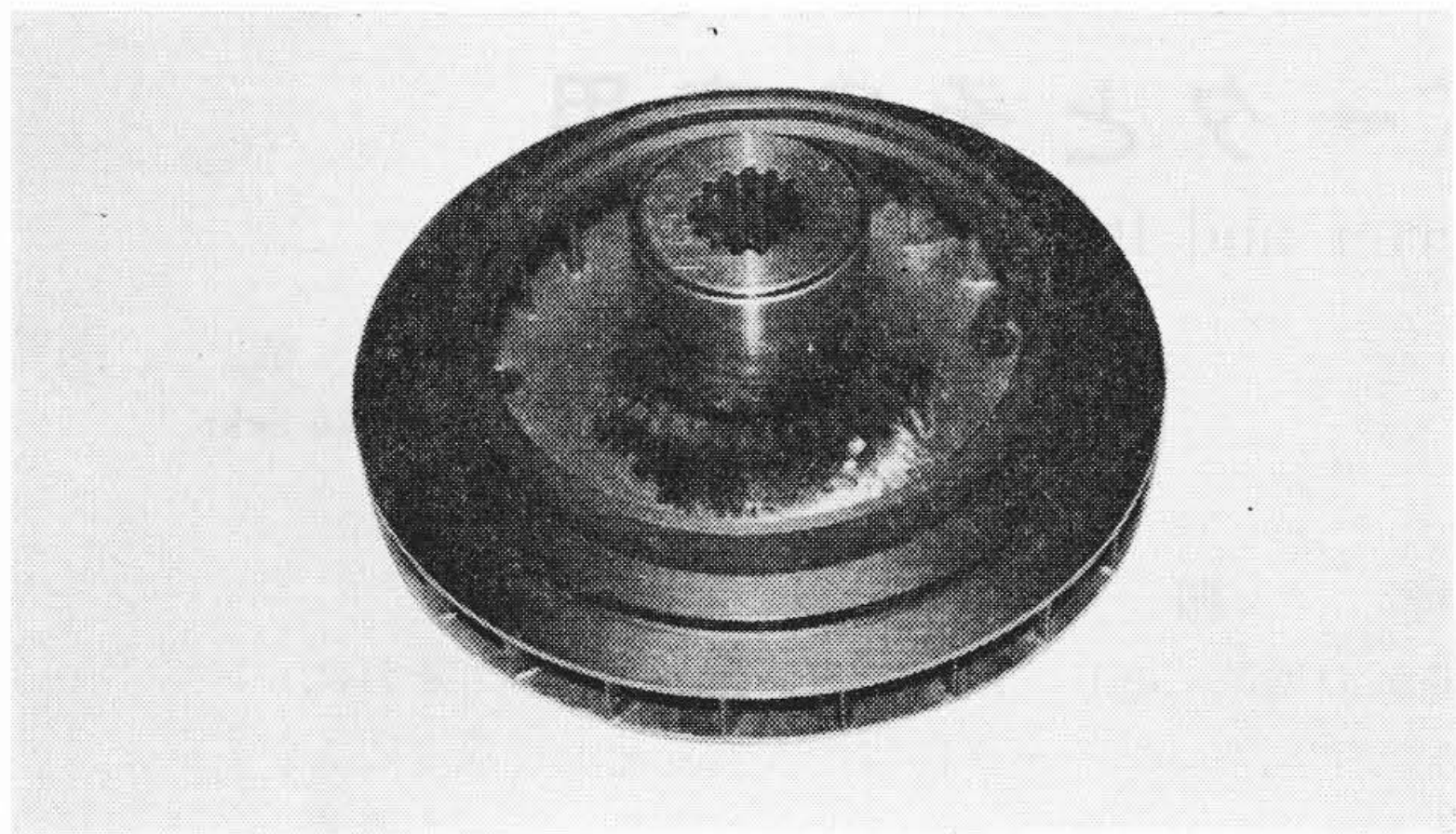
本形式のトルクコンバータは循環流速が高い形式に属するので、摩擦損失を減らすために羽根、流路面あらさを向上させること、また羽根のない自由空間が多いから翼列性能を加味して翼形を決定し、かつその成形を正確に行ない、機能を完全に発揮させることが必要である。以下各羽根について述べる。

2.1 ポンプ（第2図）

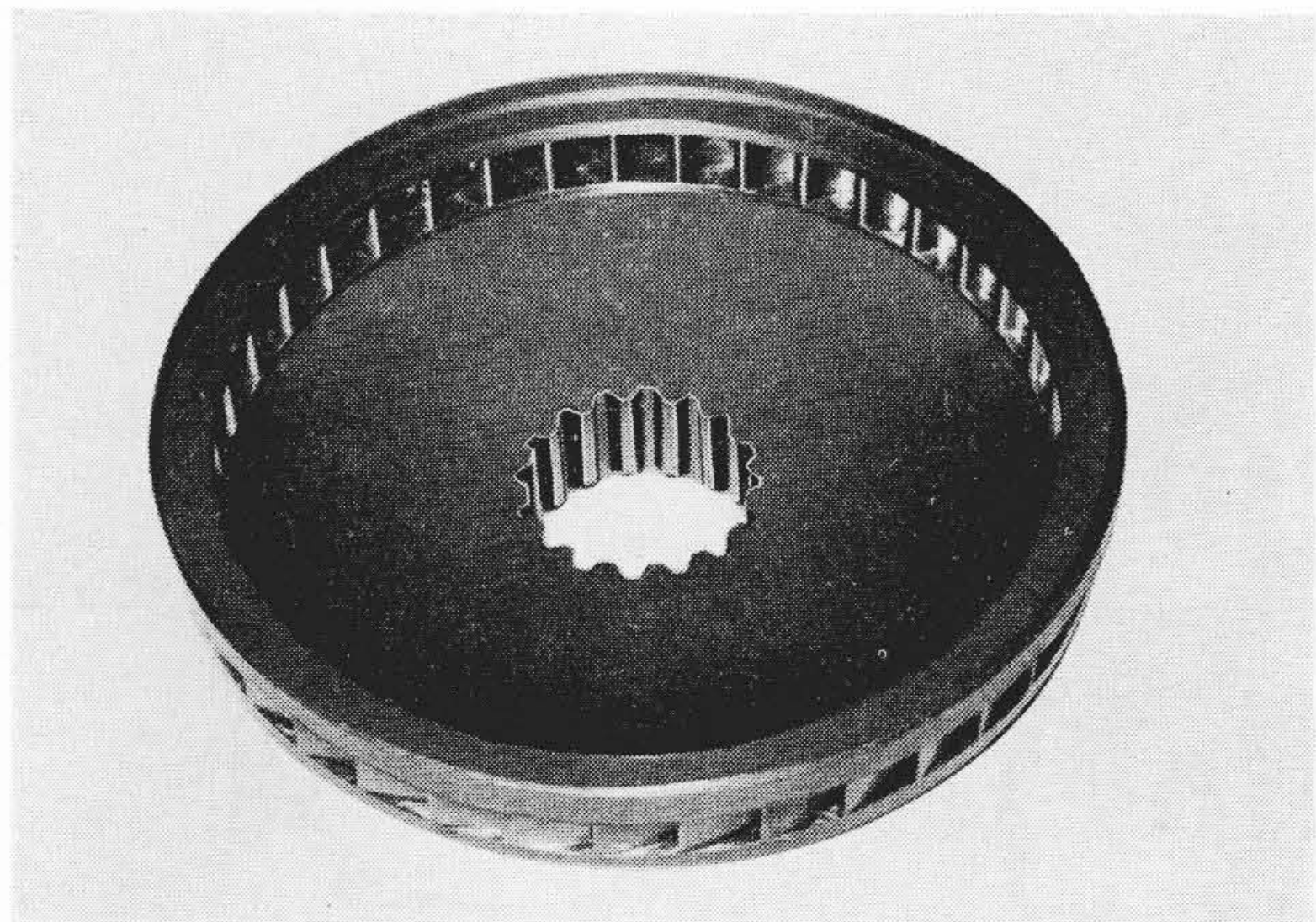
通常の遠心ポンプのインペラと類似であるが、羽根は飛行機翼形をもった二次元羽根で、ローストワックス式精密鋳造により、正確な翼形と美しい肌を保持している。

この種シュラウド付羽根車の一体精密鋳造は高度の製作技術を必要とし、多くの基礎研究の集積の上に立って初めて可能なものといえよう。

* 日立製作所亀有工場



第2図 ノズル



第3図 タービン

2.2 タービン (第3図)

完全な輻流形タービンであり、狭い円環部に密に羽根が植えられている。タービンはその回転数が大幅に変動するから、流入角の変化も大きく、特に安定度の高い翼形が要求される。本機の翼形は十分な研究調査によって、その良好な性能が確認されている。

製作方法としては羽根を削りだす削成法、成形翼材を使用する組立法および精密鑄造などが考えられるが、これらは用途や大きさに応じて使い分けられるべきである。たとえば高周速で過酷な用途に供される場合には削成法が無難であろう。この方法は一見不経済かつ非能率な印象を与えがちであるが、専用工作機の使用により高精度を維持できるとともに総合的な工数低減も可能で、中小量の繰り返し生産に対しては合理的な方法といえよう。

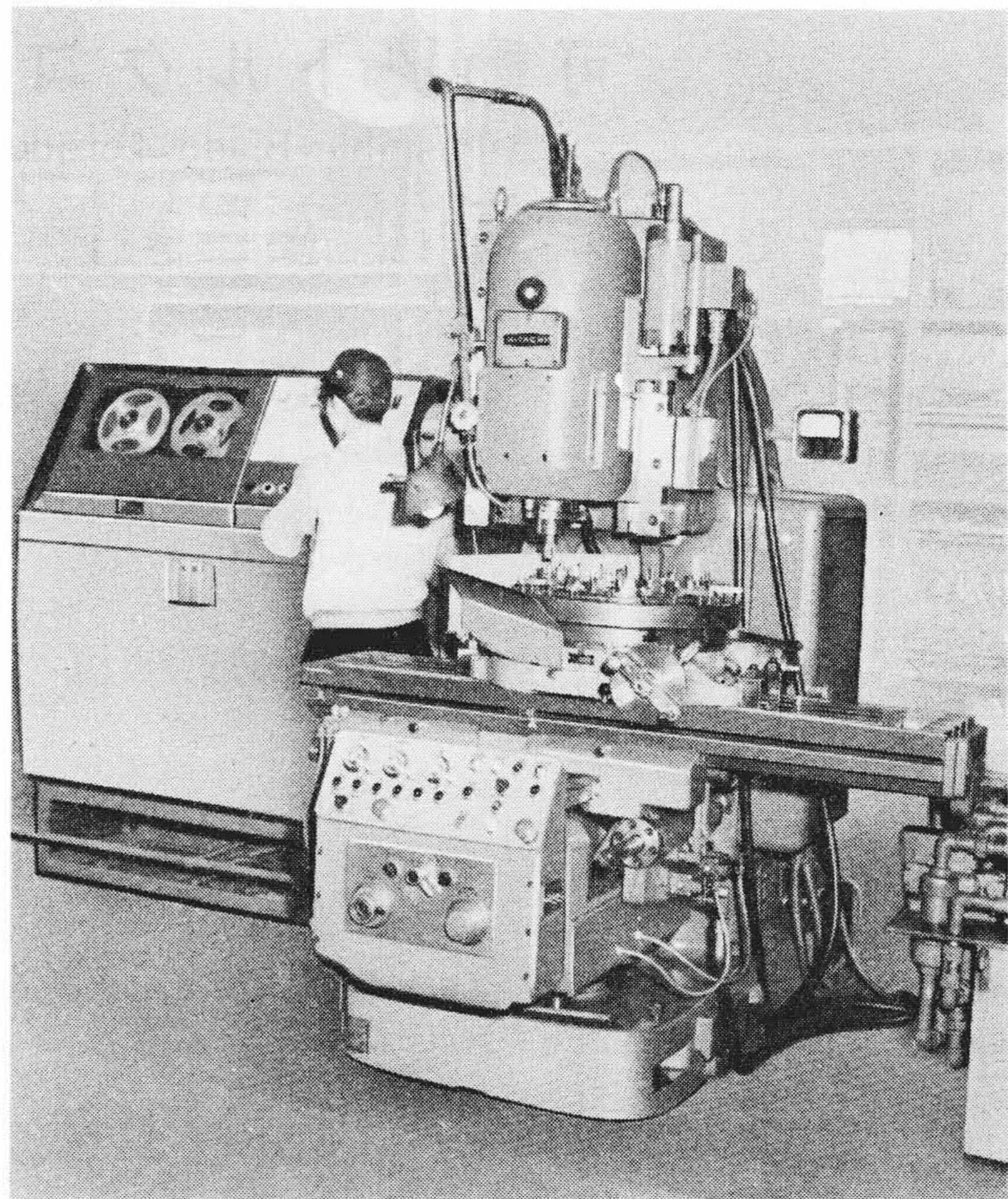
第4図は日立製作所製数値制御たてフライス盤により加工中の状況を示す。

2.3 可動ステータ (第5図)

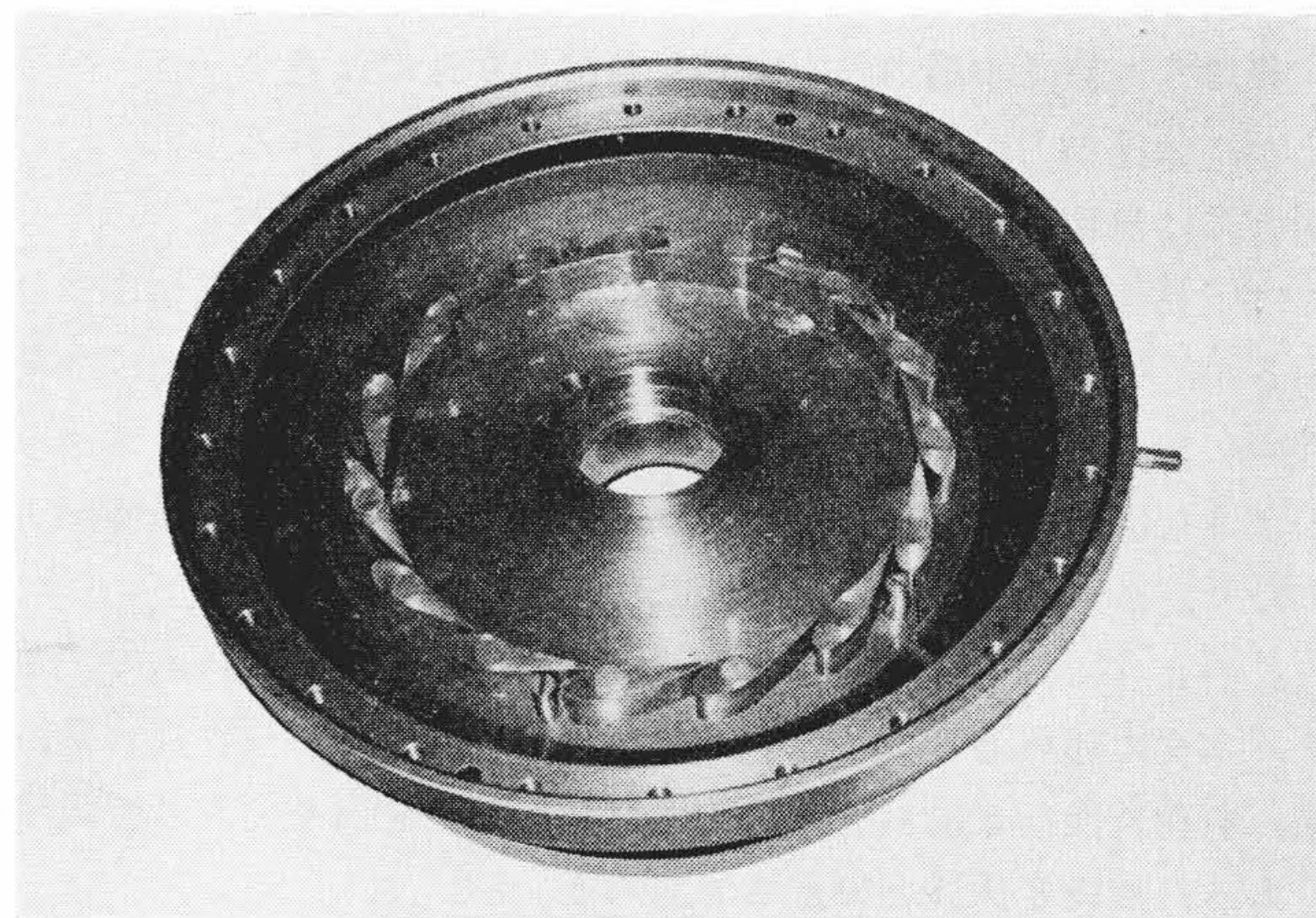
このステータ翼もタービンと同じく翼角度操作に応じて流入角が大幅に変化する。したがってその広範囲な変化に対して安定な翼形が必要である。

またこの翼には操作リンクと接続するピンが設けられているが、信頼性の面で翼と一体にすることが望ましい。本機においてはこれをローストワックス精密鑄造により製作し、精度、面あらし、信頼性の要求にこたえている。

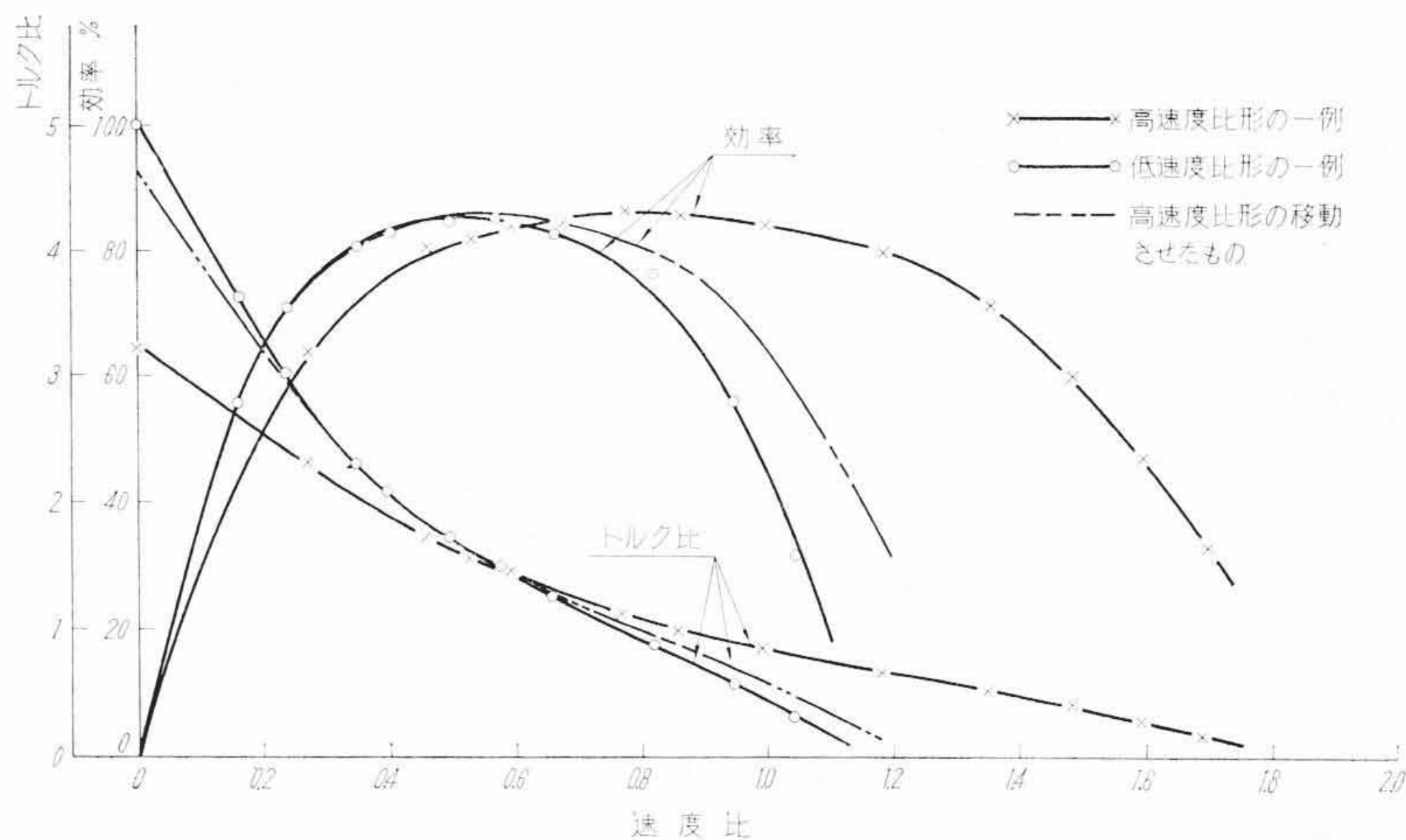
第5図は組み込んだ状態の全閉位置を示す。



第4図 日立製作所製数値制御たてフライス盤によるタービン加工状況



第5図 可動ステータ(全閉状態)



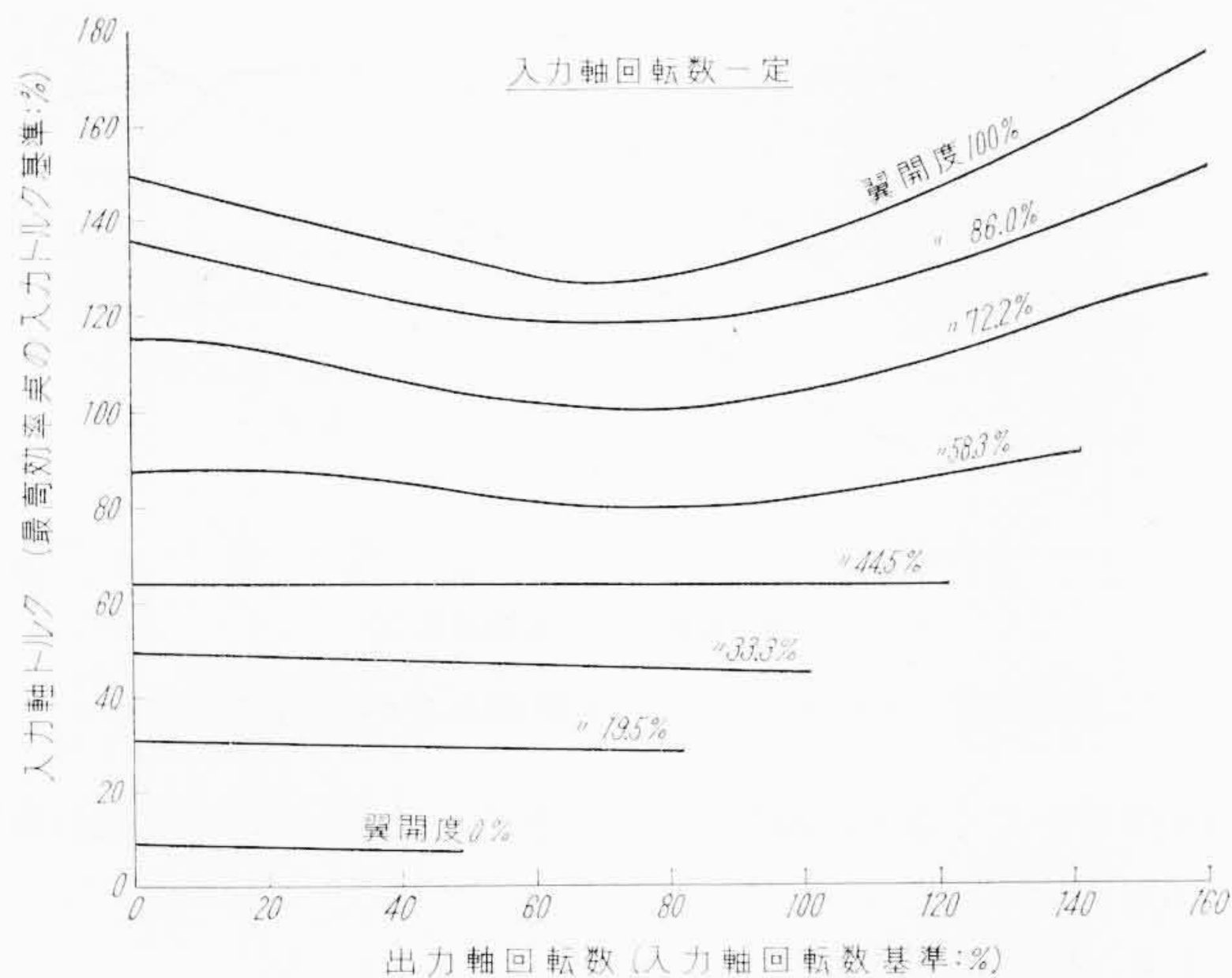
第6図 効率とストールトルク比の比較

3. 特性

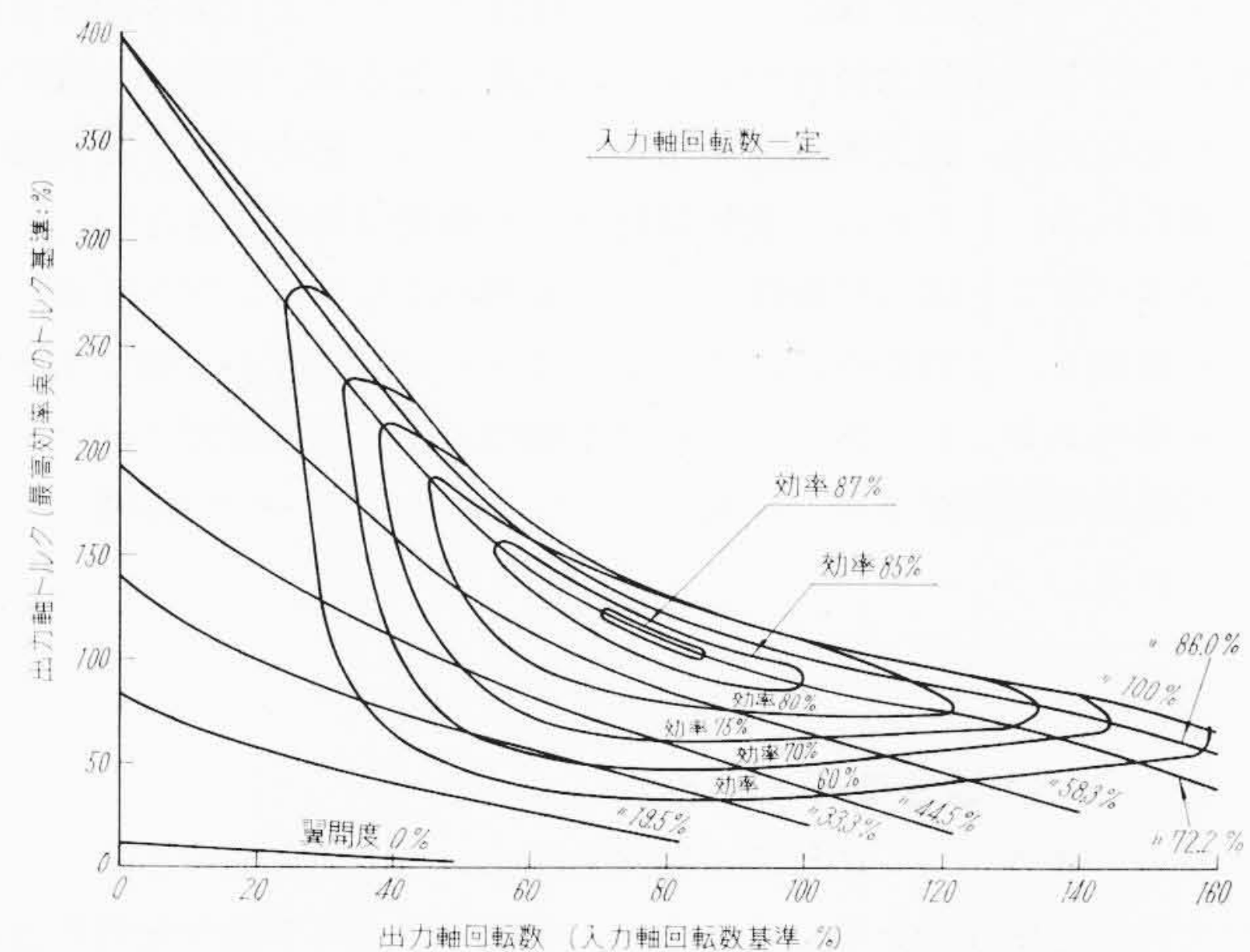
3.1 トルクコンバータの特性について

トルクコンバータの特性を示す代表値として、利用率、最高効率、ストールトルク比が用いられており、一般的通念として利用率、最高効率はストールトルク比の選び方によって規制されるものと考えられていた。しかしこれは経験的なものであり、理論的裏付けがあ

るわけではない。トルクコンバータは伝動機械であることを考えると、一般的には広範囲にわたって高効率を維持することがその本来の使命であろう。したがって最高効率と利用率の向上がたいせつであって、上記一般通念にとらわれてストールトルク比を重視しすぎ



第7図 RSK-M 形の入力特性



第8図 RSK-M 形の出力特性

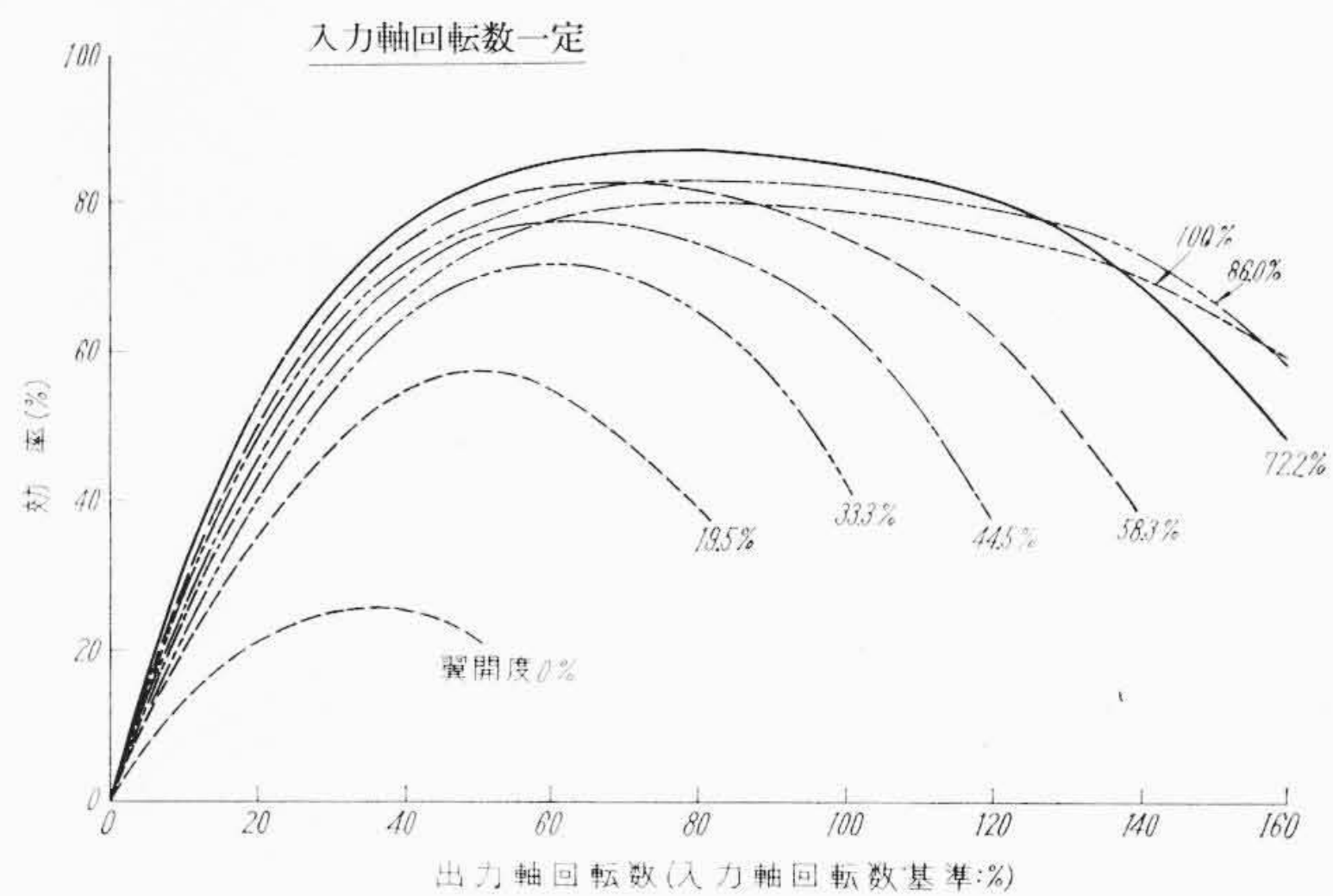
ることは危険である⁽¹⁾。

第6図はストールトルク比が高く低速度比部分の性能のよい低速度比形と、ストールトルク比は低いが高速度比部分の性能のよい高速度比形トルクコンバータの性能比較を示す。そのままでは比較の対象とならないので、後者に効率100%の減速歯車をつけ、両者の下限70%効率点を合わせたとする。仮想線は後者の変換されたトルク比および効率曲線を示す。これと前者の特性を比較すると、後者は多少ストールトルク比は低いが利用率はまさっていることがわかる。しかも最高効率にはほとんど差がない。すなわち前述の一般通念と異なり、ストールトルク比、最高効率、利用率間に一義的関連はないことがわかる。

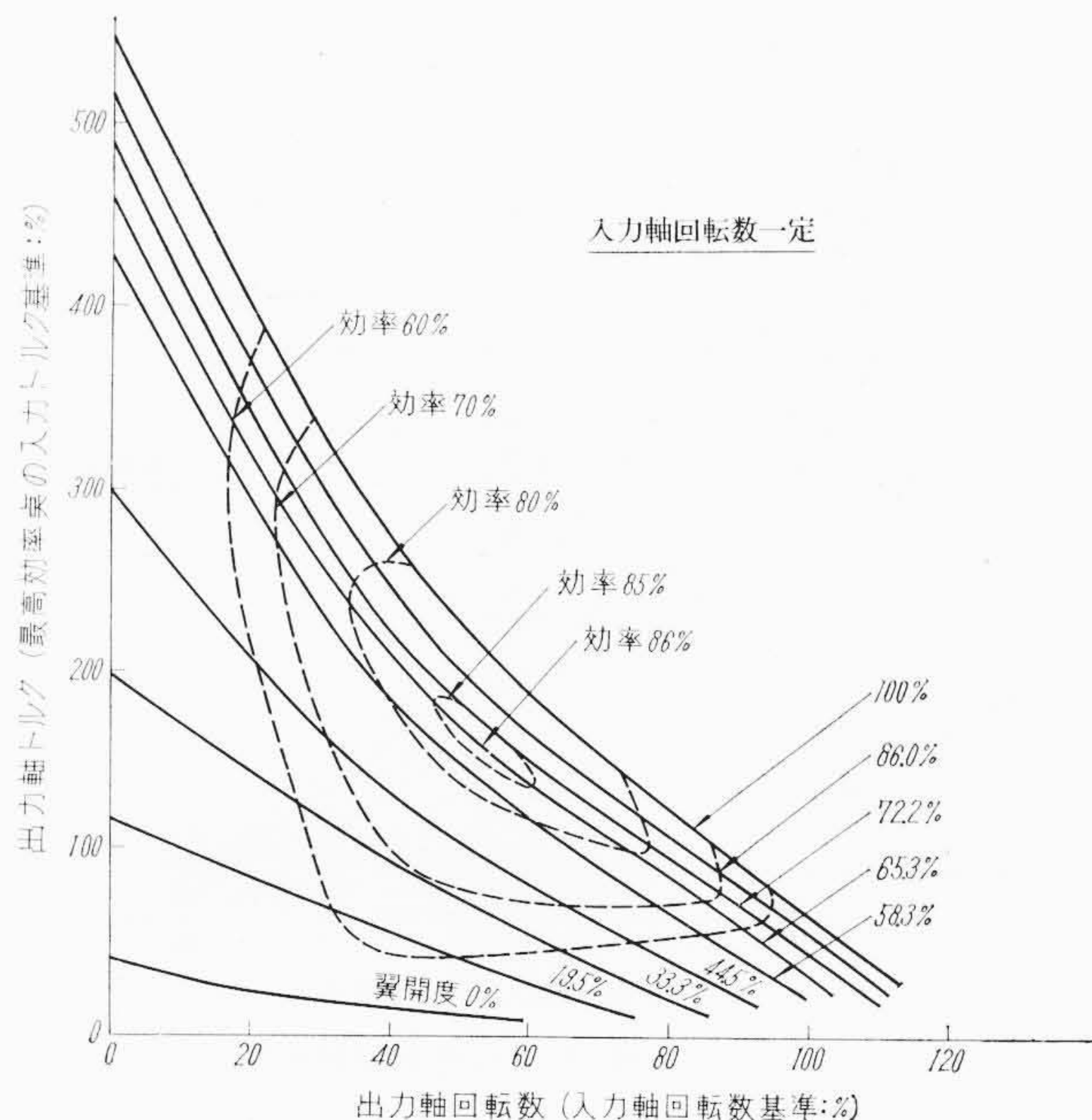
トルクコンバータはその羽根配列に応じて特性が変化するが、従来は一つの羽根配列を決定すると、選ぶうる性能もある範囲内に限定されるのが常であった。たとえば1段形トルクコンバータ継手のストールトルク比は最大4までで、それ以上になると2～3段形トルクコンバータに頼らざるを得なかった。しかし本機においては同一羽根配列のままでおのおのの羽根角度を適当に変えることによりストールトルク比5程度の低速度比形から3以下の高速度比形まで自由に選ぶうるという大きな特長を有している。以下その特性について述べるが、整理上低速度比形、高速度比形およびその中間形をそれぞれL、H、Mで表示する。

3.2 正常駆動特性

第7～9図はRSK-M形の入力特性、出力特性および効率曲線を



第9図 RSK-M 形の効率



第10図 RSK-L 形の出力特性

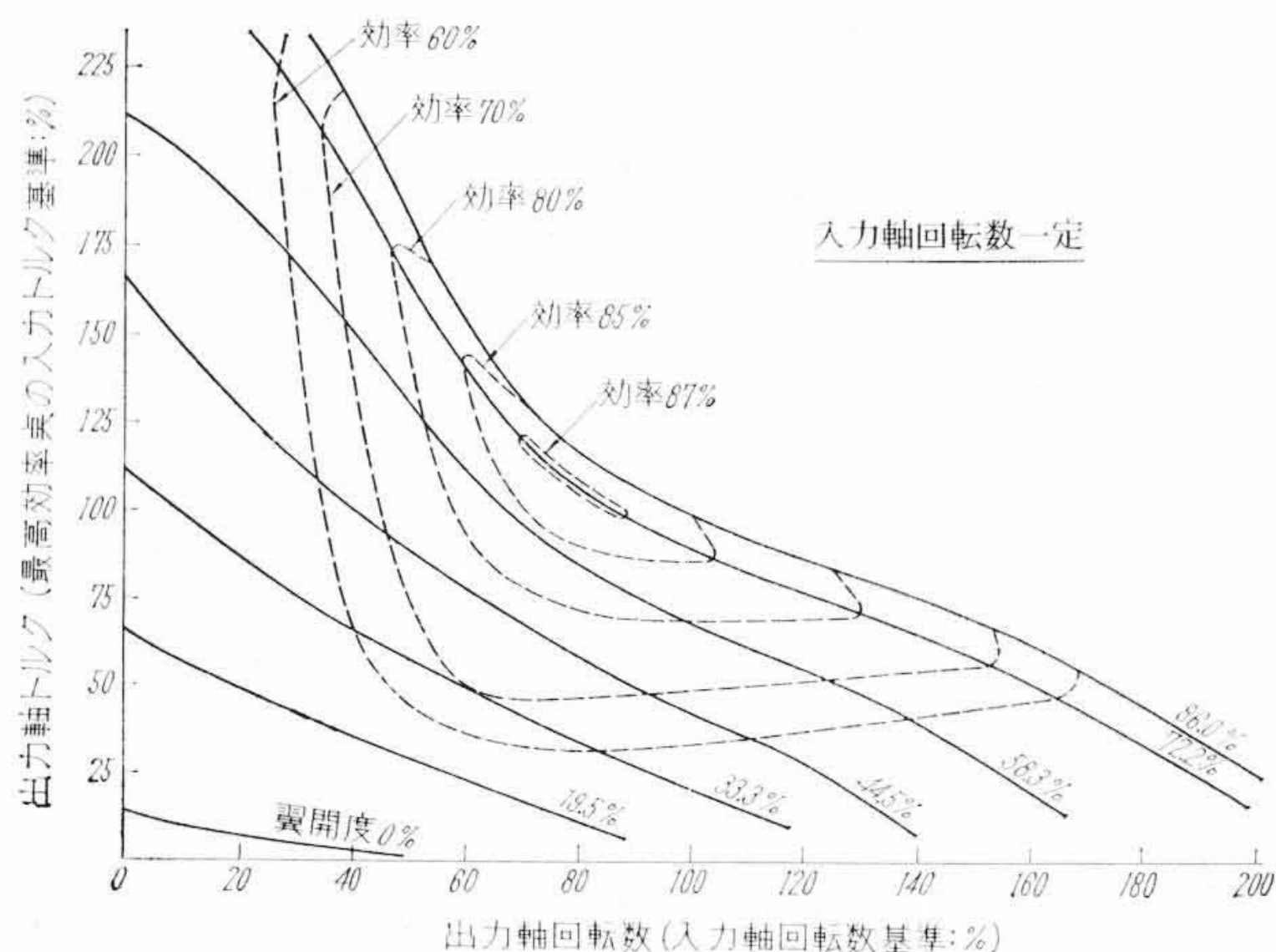
示す。いずれも入力軸回転数一定の場合である。パラメータは翼角度であり、実用性能上の最大限界開度を100%にとってある。第8図等高線は等効率曲線であり、その曲線で囲まれた部分が該当効率以上の範囲である。

翼開度零においては入出力トルクともわずかでほとんど伝動が中断される形となり、クラッチとしても使用しうることを示している。翼開度を開くとともに伝動能力、効率とも上昇するが、入力トルクは各開度においてほぼ一定で、最大翼開度を調整しておけばいかなる負荷状態においても原動機の過負荷を防ぎうるということがわかる。出力トルクはいずれも右下がりの形を示し、効率上昇とともに馬力一定曲線に近づく。したがって定速原動機（たとえばかご形誘導電動機）と組み合わせるだけで、直流直巻電動機と類似の駆動特性をうることができる。

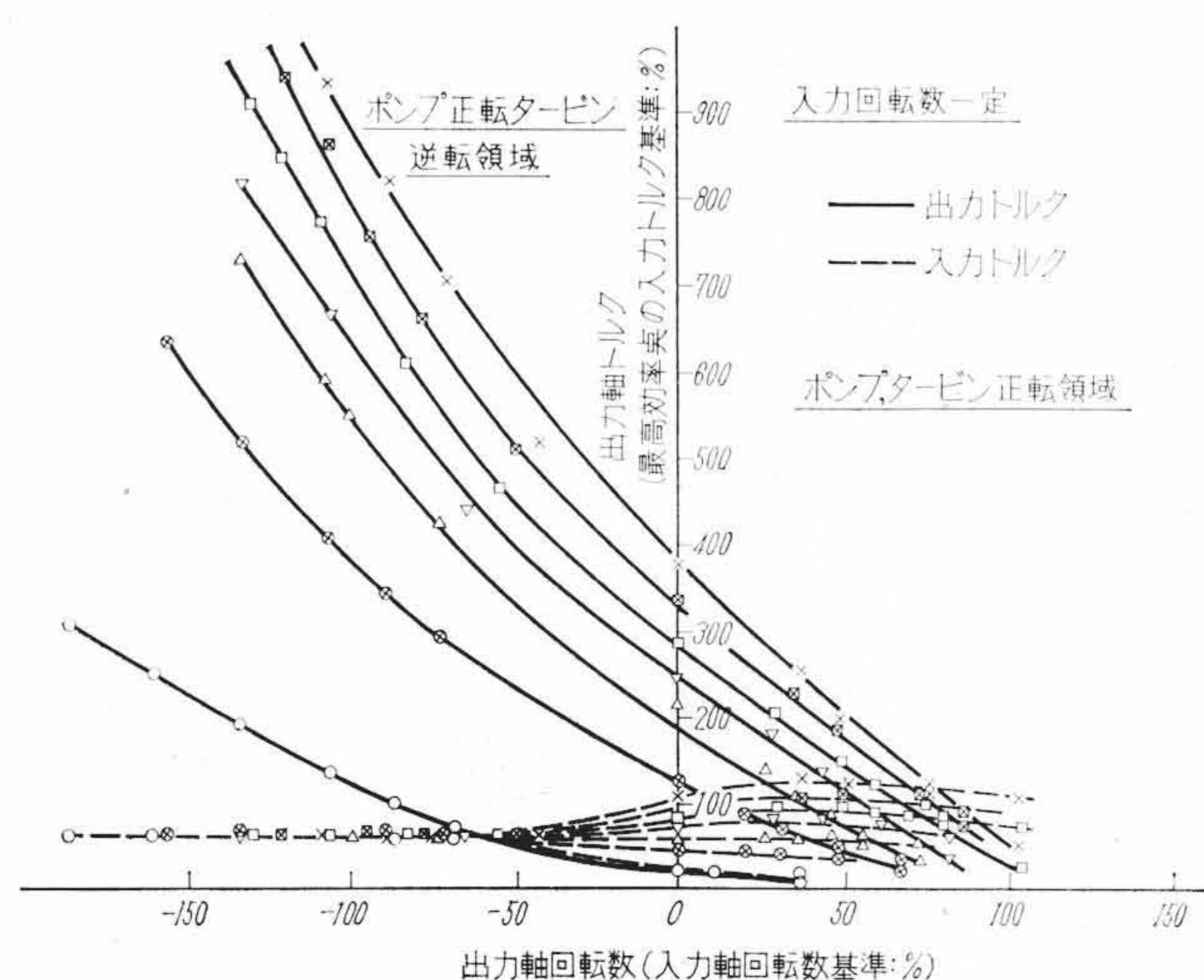
タービン空転速度は翼開度とともに増大し、その最大速度比は2に達する。これは本機が増速コンバータとしても使用しうることを示しており、従来には見られなかった新しい特長である。

最高性能は翼開度72.2%で得られ、最高効率87%、70%効率点の利用率4、ストールトルク比3.2であり、特に利用率の広いことが注目される。

第10、11図はそれぞれL、H形の出力特性を示す。一般性状はM形と類似であるので省略する。最適開度におけるL形の最高効率、利用率、ストールトルク比は86%、3.73、5.04であり、1段形トルクコンバータでは不可能視されていた高トルク比領域もおおいうる



第11図 RSK-H形の出力特性



第12図 RSK-L形の逆転制動特性

ことを示している。またH形においてはそれぞれ87%, 4.5, 2.66であるが、M形を上回る高度の増速性能を有している。

これら三者を通観すると、ストールトルク比の低い高速度比形に向うほど最高効率一定のまま利用率が増大する傾向があるようである。これは1段形トルクコンバータ継手には見られない傾向であり、本機のような自由空間の多いトルクコンバータの特性を理論計算⁽²⁾にのせるためには、翼列性能、回路形状の影響などを個々に追求し、妥当な係数を決定することが必要と考えられる。

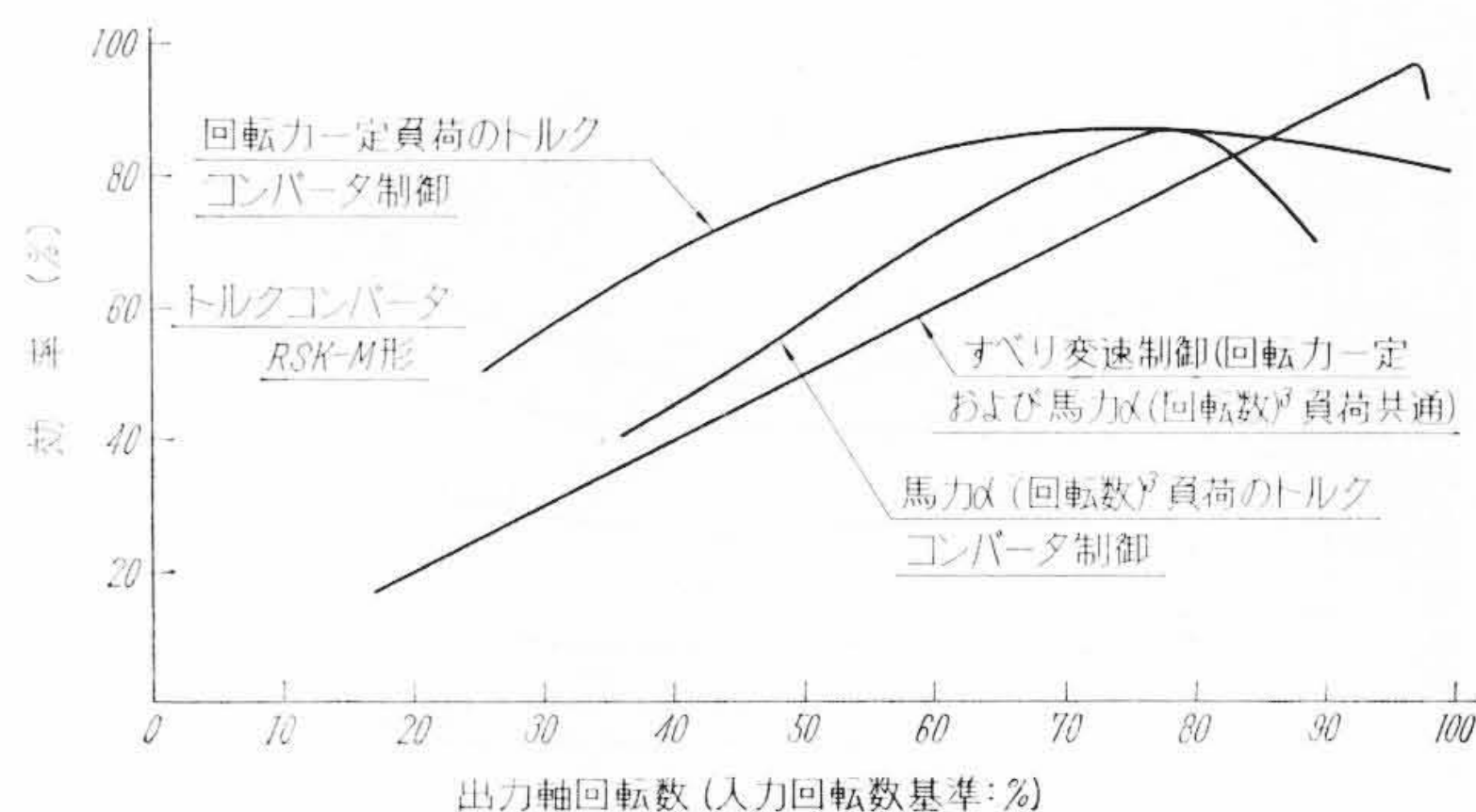
3.3 逆転制動特性

逆転制動特性とはポンプ正転、タービン逆転時の特性のことである。トルクコンバータ付クレーンで逆転機を使わず荷をおろす場合あるいは車両登坂時に逆転機を入れずに後退する場合などが該当し、トルクコンバータは制動機として働く。

一例として第12図にL形の逆転特性を示す。実線はタービントルク、点線はポンプトルクを示す。第1象限は正常範囲であり、第2象限が逆転制動範囲となる。この部分においてはポンプ、タービンとも外部より動力を吸収する。

両トルクとも第1象限の正確な延長を示し、タービン逆転度が増しても不安定現象を生ずることはない。L形においては逆転度の増大とともに入力トルクが低い一定値に収れんするが、M、H形ではこの傾向はない。しかしいずれにしろタービン逆転によって原動機が過負荷することはない。

このようにポンプ軸を小容量の原動機で回すだけでタービン軸には大きな制動力が得られ、かつその値を自由に調節しうるから、摩擦部分のない安定した制動機として使用できる。ただし両軸より動



第13図 トルクコンバータ制御とすべり制御の比較

力がはってくるから油温上昇が大きく、十分な冷却を行わなければならない。

3.4 正転制動特性

正転制動特性とは両軸とも正方向回転で、タービンが負荷によってその空転速度以上になる状態をいい、ちょうど車両降坂時のエンジンブレーキ性能に類似している。特性は、たとえば第8図各翼開度における正常出力特性の右下への延長となるが、傾斜が比較的ゆるやかなため、出力軸速度が相当に早くなって初めて大きな制動力が得られる。したがって逆転制動ほどの効果は期待できない。ただ注意すべきことはこの範囲においても初めはなおポンプが正規トルクを吸収し、これが空転に達するにはタービン速度が大幅に上昇する必要があることである。これは本機のような羽根配置ではタービン回転数の影響がポンプに及びにくいことを示す一つの証拠とも考えられる。

4. 応 用

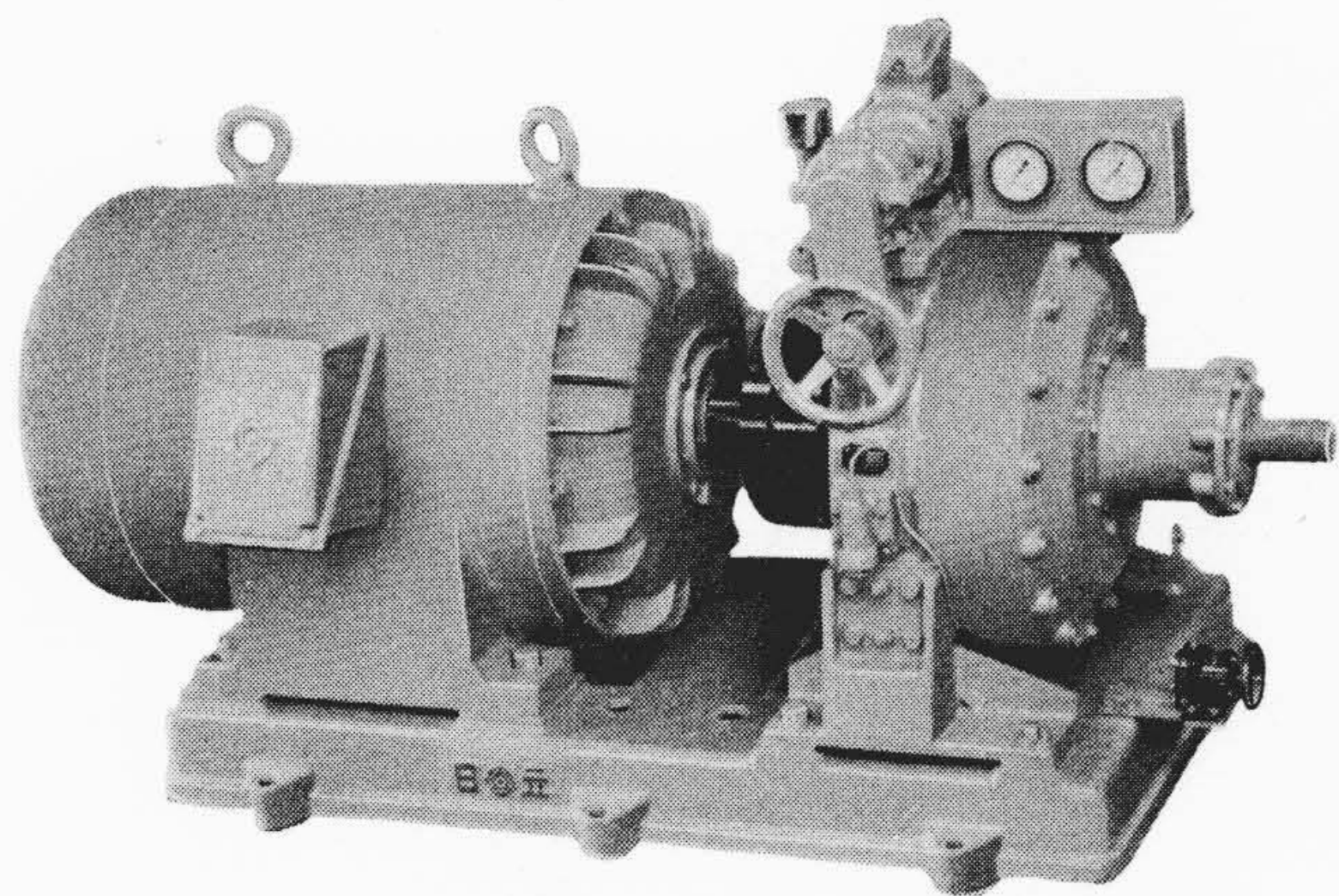
4.1 すべり変速機構との比較

緒言で述べたように無段変速機構にはいろいろなものがあり、それぞれの適用分野をもっているが、中馬力以上の手軽な無段変速機としてはまずすべり変速以外なかったといってよい。すべり変速機構とは入出力間のすべりを変えて変速する方式のことで、可変充てん式流体継手、渦流継手および誘導電動機の二次抵抗制御などがこれに属する。この方式の伝動効率はすべりの増加につれて減少するので不経済のようにみえるが、前述のように大馬力に適する無段変速機がなかったことと、ファン、ポンプのように所要トルクが回転数とともに増加する負荷においては、たとえ効率が悪くても回転数変化による負荷調整のほうが定速での他方式制御(たとえば弁制御)より経済的であることなどが従来多用されていた。

可動翼トルクコンバータも効率においては機械式より見劣りがするが、すべり変速と同じく機械式の及ばぬ広い分野をおおうものとして期待される。そこでここでは両者の利害得失を比較する。

代表的負荷特性としては馬力一定特性、回転力一定特性および所要馬力が回転数の3乗に比例する特性が考えられるが、馬力一定特性はトルクコンバータでは問題ないとしてもすべり変速には不向きであるので省略し、あと二者についてトルクコンバータ変速(RSK-M形)とすべり変速の比較を行なう。第13図はその効率比較を示す。最高速度近辺の小範囲変速では、いずれにしてもすべり変速がよいが、全般的にみれば回転力一定またはそれに類似の負荷に対しては可動翼トルクコンバータのほうがよい。回転数の3乗負荷に対しても85%速度以下では可動翼トルクコンバータのほうが有利にみえるが、仕様に多少のずれがあったり組み合わせが不適正の場合には必ずしもそうとは限らない。

したがって両者は用途、変速範囲によって適当に使い分けられるべきで一般的な優劣は決められない。



第14図 RSK形トルクコンバータを使用した可変速駆動装置

4.2 特 長

可動翼トルクコンバータの特長を要約すると次のとおりである。

- (1) 回転数零からの広範囲無段階変速ができる。
- (2) 馬力一定に類似の特性を有する。
- (3) 伝動をほとんど中断することができる。
- (4) 翼角度制御であるから即応性がよい。
- (5) 翼開度の調整により原動機過負荷を防止できる。
- (6) すぐれた緩衝性を有する。
- (7) 安定した制動機として使用できる。

4.3 用 途

第14図は誘導電動機と可動翼トルクコンバータを共通ベース上に設置し、可変速駆動装置とした一例である。ハンドルは現場手動用であり、さらに遠方操作用の操作電動機を取り付けることもできる。また小馬力の場合は電動機とトルクコンバータを一体に組み合わせ、据え付け、取り扱いを簡便にすることもできる。

以下数例についてその用途を述べる。

4.3.1 巻取機への応用

巻取機駆動には馬力一定特性が要求されることが多い。たとえば圧延機においては一定圧延速度、一定張力が必要であるが、これを巻取機側からみれば回転数、トルクはそれぞれ巻太り径に反比例および正比例して変化する必要がある。すなわち回転数が落ちるほど高いトルクが必要という典型的な馬力一定特性となる。しかも圧延容量の変動に伴い広範囲にわたって巻取設定馬力を調節できなければならない。この要求にかなう原動機としては直巻直流電動機があるが、直流電源を必要とし、汎用性に欠ける。この点本機の各翼開度の最高効率近辺を使用すれば、巻太り比2、馬力比約1:4の範囲で±10%以内の精度で馬力一定特性をうることができる。しかも原動機はかご形誘導電動機のような汎用原動機でよく、設備費は著しく低減される。

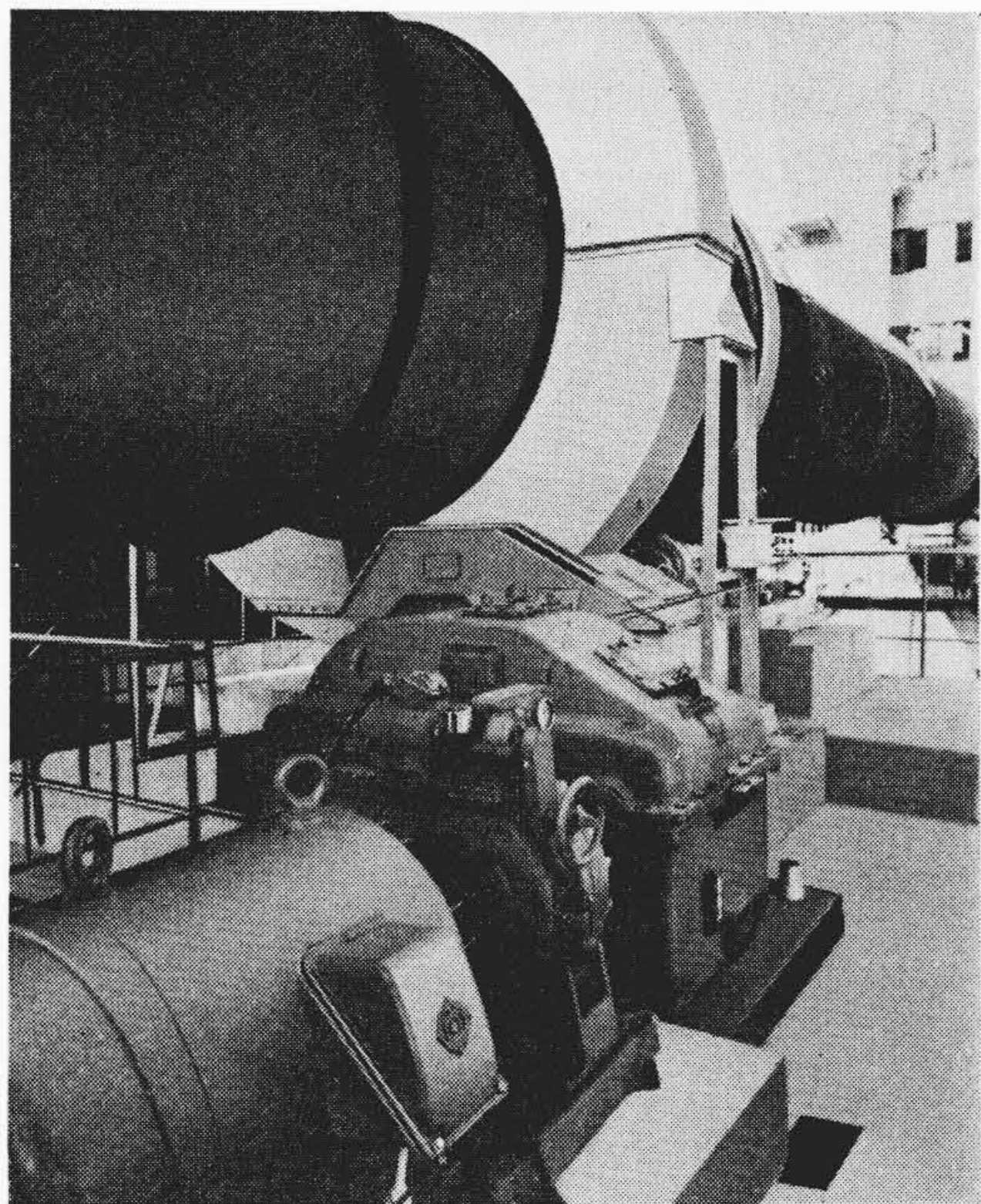
従来トルクコンバータがこの方面にあまり使用されなかったおもな理由は馬力調整のために高価な可変速原動機が必要であったためと考えられていたが、本機はこの難点を完全に克服したものといえよう。

4.3.2 抵抗および高慣性の負荷への応用

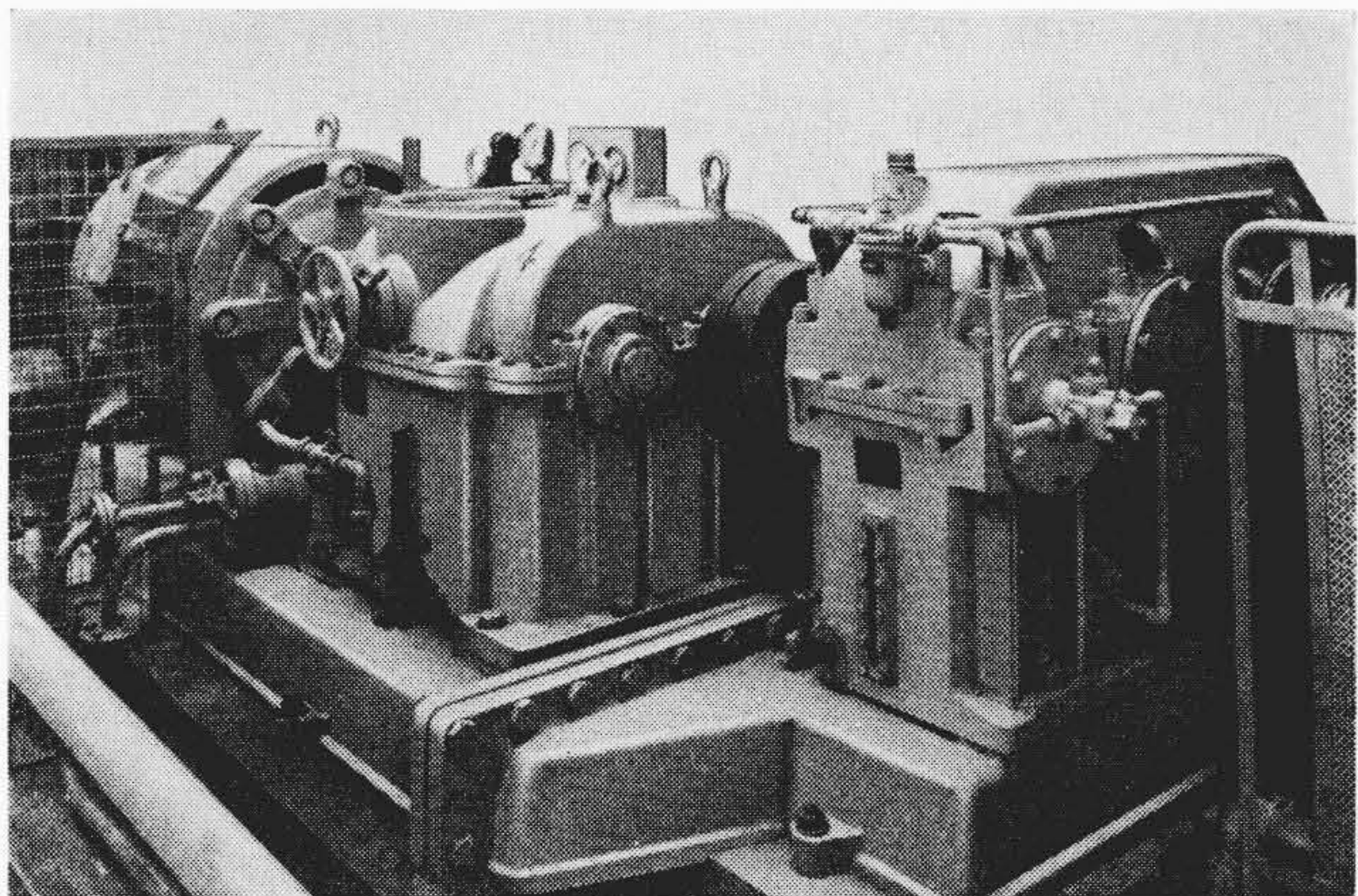
キルン、オートクレーブ、遠心鑄造機などの回転ドラム機械では抵抗や慣性が大きく、その起動性の改善、運転中の無段階変速はなかなかむずかしい問題である。ことに定速原動機を使用した場合の運転中の変速はある馬力以上はすべり変速を使わぬかぎり不可能に近かった。しかしこの種の負荷特性は回転力一定に近いのが普通で、すべり変速では動力損失が大きい。

これに本機を使用すれば次のような効果が得られる。

- (1) 起動時の原動機過負荷がなく、かつ大きな起動トルクが得



第15図 王子製紙株式会社春日井工場納12,000 rpm 50 kW
キルン駆動用 RSK 30 トルクコンバータ



第16図 東亜合成化学工業株式会社徳島工場納1,800 rpm
50 kW オートクレーブ駆動用 MV 320 液体変速機

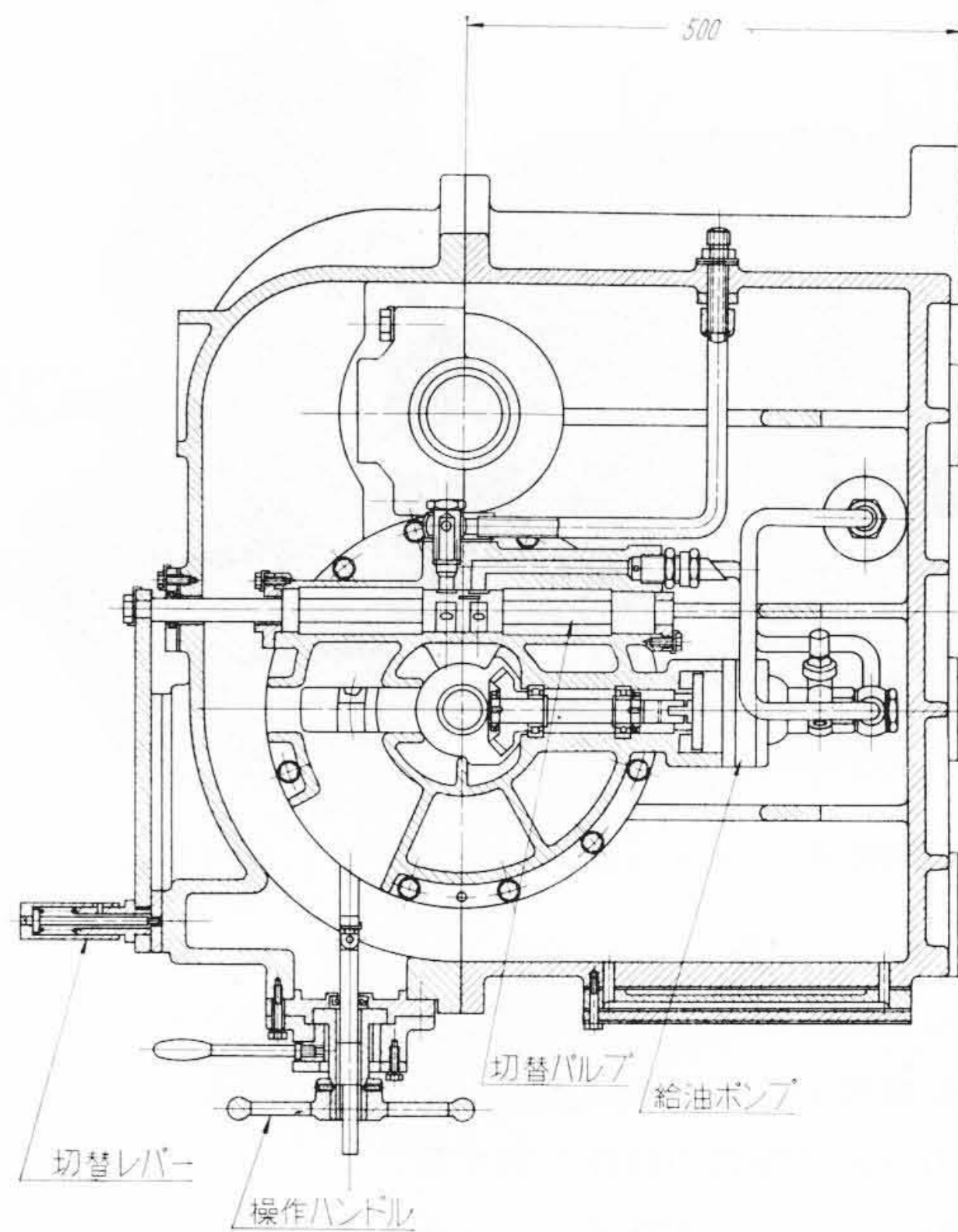
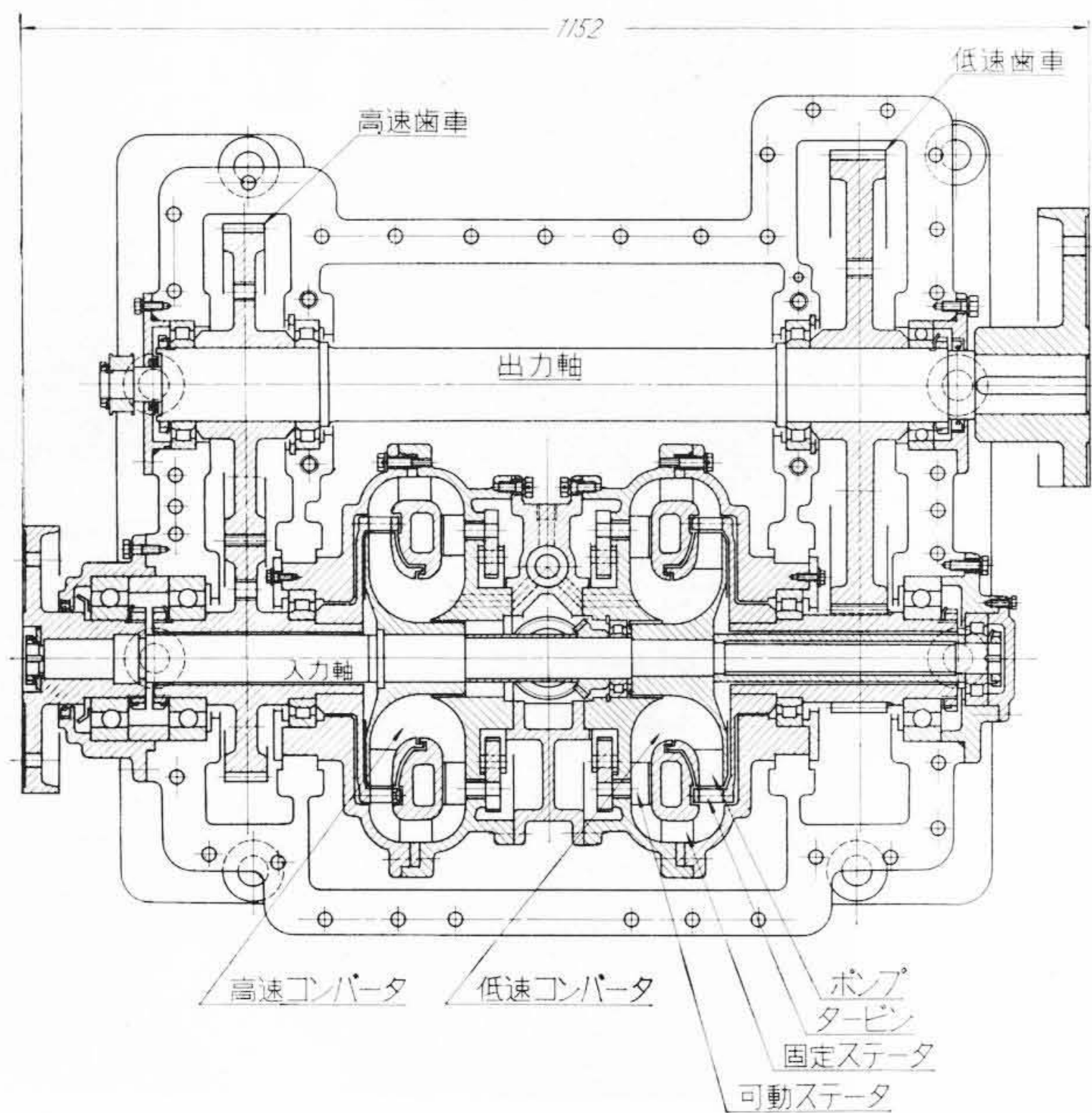
られるから起動のために大形原動機を使う必要なく、その小形化が可能となる。

- (2) 可動翼操作により徐々にトルクを上げうるから、無衝撃起動ができる。
- (3) 微動調整や運転中の無段階変速が簡単に行なえる。

第15図はキルン駆動に使用した例であるが、電動機容量を従来の $\frac{1}{2}$ 程度に低減することができたとともに、運転中変速および微動調整による内張りの点検交換が容易となった。

第16図はオートクレーブ駆動用に使用された例であるが、この場合は本機を2個組み込んだ高級液体変速機として構成されている。第17図はその構造を示すが、2個のトルクコンバータのポンプはともに入力軸に、2個のタービンのうち一方は減速比の少ない高速歯車に、他方は減速比の大きい低速歯車にそれぞれ結合されている。2個の可動ステータはハンドルによって一体に操作される。レバーは各トルクコンバータの充てん排出をつかさどり、高、低、中立の3位置をとりうる。レバーを高に倒せば高速トルクコンバータが作動し動力は高速歯車を介して伝達される。低に倒せば同様にして低速トルクコンバータが作動する。各範囲内での変速は可動翼ハンドルで行なわれる。レバーを中立にすれば両者の油が排出され伝動は中断される。

本例においてはオートクレーブを一定スケジュールのもとに、速度を100、75、33、16%の4段階に運転中変速することになっ



第 17 図 MV 320 液体変速機断面図

ているが、100, 75% 速度は高速駆動、33, 16% 速度は低速駆動として運転効率を高く維持することができる。しかも流体伝動であるから変速はもちろん高低の切り替えもいたって簡単で、その操作取り扱いの容易さについて顧客の好評を博している。

この用途には単体可動翼トルクコンバータでも使用できぬことはないが、運転効率をより高く保つ意味において、この種高級液体変速機の適する分野も多いと考えられる。

4.3.3 変動の多い負荷変速への応用

土木建設機械においては負荷変動が激しく機械式無段変速機では無理が多い。従来は数段の歯車式変速機が多用されていたが、負荷変動に正しく応答し、かつ動力中断の伴わない変速を行なうことはなかなかむずかしく、運転手の技りょうに左右されることのない安全容易な無段変速機の出現を望む声も大きかった。可動翼トルクコンバータはこれにこたえる変速機の一つと考えられる。すなわち

- (1) 動力を中断することなく負荷状況に即応した最適速度を自由に選定できる。
- (2) 内燃機関では不安定な低速部の安定変速ができる。
- (3) 流体伝動であるから大きな緩衝能力を有する。
- (4) 翼角度操作だけで正転駆動、逆転制動を自由に使い分けられるから作業性が向上する。
- (5) 原動機過負荷あるいはエンジンストップが防げる。
- (6) 伝動を中断することもできるから、異常時に対して安全である。

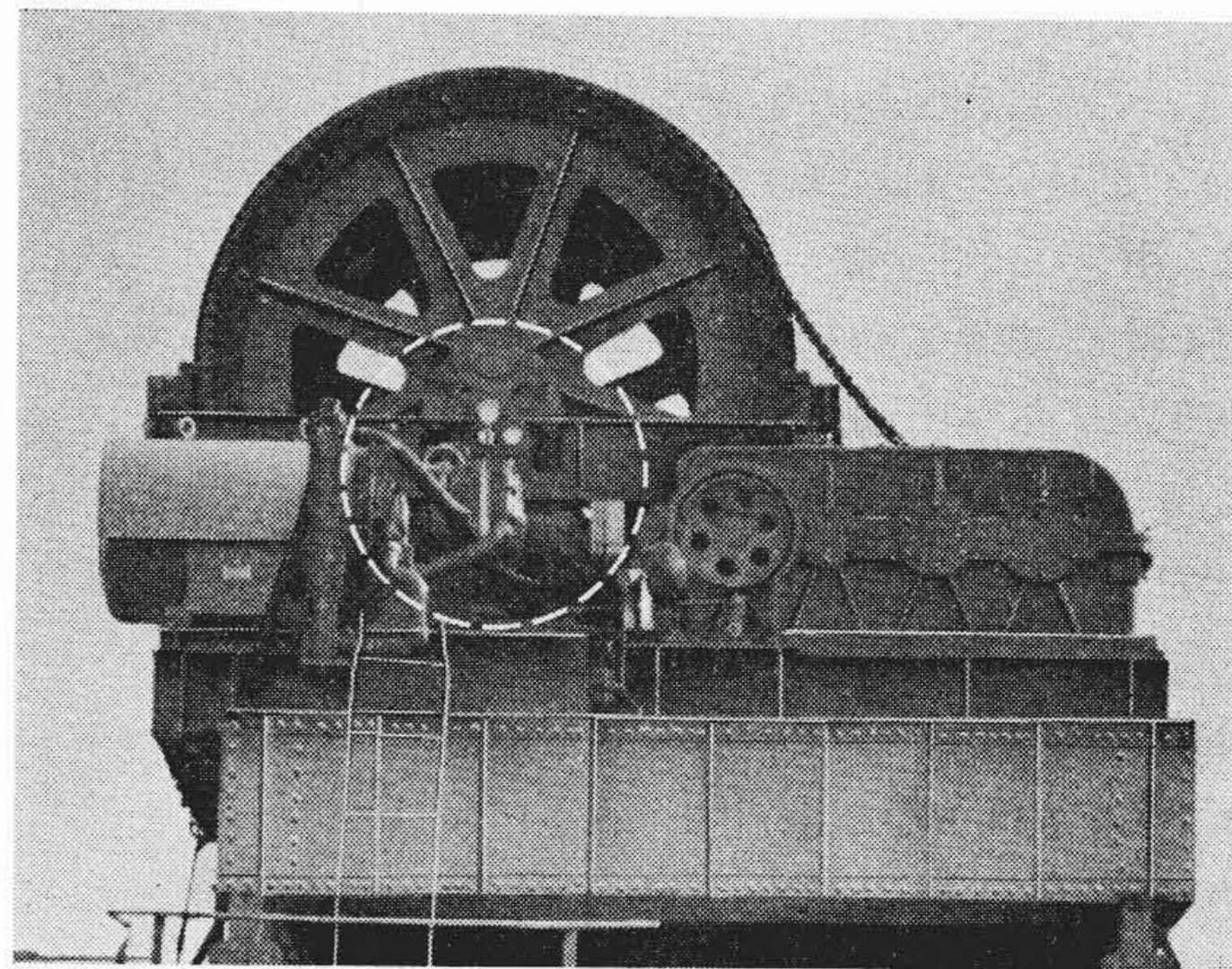
などの効果が得られる。

クレーン系統に内燃機関と固定翼トルクコンバータを使用し、機関回転数制御により荷の揚げ卸しを行なう例が国外⁽³⁾および国内においても見られるが、本機を使用すればその翼操作だけで同様の効果が期待できる。

第 18 図は送電線架線用の延線車に使用された例であり、無衝撃起動でロープや架線を保護しうること、ロープ径の変化に応じて延線速度を自由に変更しうること、ロープ継ぎ目の滑車通過時には微速運転にしてその通過を容易にしうることなどの効果が得られる。

4.4.4 可変速制動機としての応用

制動機構には摩擦式、流体式、電磁式などいろいろな方法があ



第 18 図 日立電線株式会社納 750 rpm 50 kW 延線車駆動用 RSK 47 トルクコンバータ

るが、価格、安定性、制動範囲についてそれぞれ制約があった。しかし本機の逆転制動を利用すれば速度零からの無段階安定変速が行なえるから、使いやすい制動機となるものと考えられる。この方面の応用例はまだ見受けられないが十分実用に供しうるものと確信する。

5. 結 言

可動翼トルクコンバータは人為変速を可能ならしめた新しい形のトルクコンバータで、無段変速機として有用なものと考えられる。

本機の羽根構成は従来国内ではあまり見られなかった新しい方式であり、性能面でも一般通念を破るすぐれたものが得られている。

技術の進歩は必然的に機能の高度化、作動の複雑化を招来するが操作の簡易化、安全化は忘れてはならない問題である。この意味において変速機構に対する要求はますます過酷なものになるであろう。本機はこれにこたえるものの一つとしてその発展が期待される。

終わりに臨み本機の開発に多大のご指導をいただいた東京大学生産技術研究所石原助教授に深じんな謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) F. Kugel: Oelhydraulik und Pneumatik, 3, 70 (1959)
- (2) 石原: 機学誌論文集 21, 61 (昭 30)
- (3) R. E. Orton: Machine Design, 23, 119 (June 1951)