

(解説)

# ラジアルタービンを用いた省エネ化技術

## Energy Saving Rotating Equipment using Radial Turbines



松本哲也\*

Tetsuya Matsumoto

This paper shows how dramatic energy savings can be achieved, based on unique Kobe Steel technologies, by using high efficiency radial turbines. The paper introduces information showing the technical advantages of radial turbine compared with axial turbines, radial turbine coupled compressor model (ECOCENTRI) and a special application of radial turbine for power generation systems.

まえばき = 京都議定書の発効に伴い、企業における省エネ活動は近年ますます盛んになっており、これは決して逆戻りすることのない趨勢である。当社は、圧縮機という産業界の中でも大型に属する電力消費機器を製造・販売しているが、消費機器として、その消費エネルギー（電力）の極小化に努める一方、タービンというガスの持つエネルギーを電力などの動力エネルギーに変換する回転機も製造している。

ラジアルタービンは、一般的な軸流タービンに比べ非常に高い効率を得られるなど、そのユニークな特性が広く顧客の支持を集めており、本編ではその用途と省エネ効果を中心に紹介する。

### 1. タービンの種類と一般特性

ガスのエネルギーを用いて機器を駆動するというタービンの基本的な考え方は2000年以上前にまで遡り、約400年前には蒸気エネルギーで羽根車を回転させる砕石用試作機も製作されたが、120年前に10馬力の発電用軸流タービンが製作されたのが最初の実用機と言える<sup>1)</sup>。

現在タービンは、一般的に軸流型タービンとラジアル型タービンに大別される。構造面での比較を図1に、主要部品のイメージ写真を図2に示す。

図1に示すように、軸流タービンではガスが軸平行方向に流入し、ブレードと衝突してガスの持つエネルギーを回転体（車板）に与える。一方、ラジアルタービンでは、ガスは径（ラジアル）方向に流入し、ランナと呼ばれる羽根車にエネルギーを伝える形となる。

一般的には、軸流タービンは中・大容量に適し、大型の火力発電所での蒸気タービンなどはほとんど全て軸流タービンが採用されている。

一方、ガスの膨張比（単段あたり）は、ラジアルタービンの方が大きく採ることができる。ガスの持つエネル

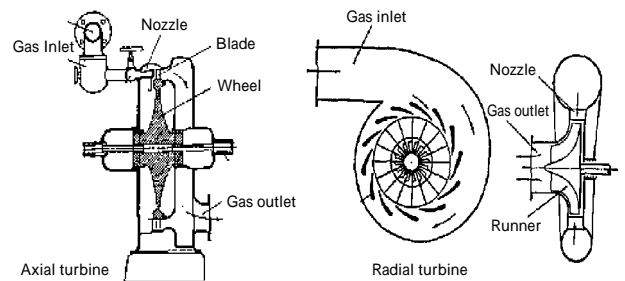


図1 軸流タービンとラジアルタービンの概略構造  
Fig. 1 Configuration of axial/radial turbine



Axial turbine Radial turbine

図2 軸流タービンとラジアルタービン  
Fig. 2 Axial/radial turbine

ギーを回収する機械としての効率は、一般に断熱効率として評価される。ガスが膨張する際、理論的には等エントロピー変化をすれば、ガスの持つエンタルピーを、100%の効率で動力エネルギーとして回収できることとなる。

ガスが膨張する際の変化例として、飽和蒸気でのエンタルピー・エントロピー線図を図3に示す。入口点から鉛直に延びる破線で示す状態変化が上述の等エントロピー変化である。このときに得られる熱落差が理論熱落差

\*機械エンジニアリングカンパニー 回転機技術部

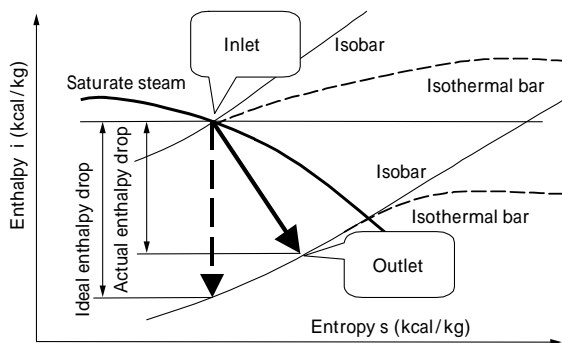


図3 ガス膨張時の熱落差のイメージ  
Fig. 3 Enthalpy drop at gas expansion

であり、実際にタービンでガス（蒸気）を膨張させる場合は、太い矢印で示す出口点に状態変化し、実際に得られる熱落差は理論熱落差よりも小さくなる。この比率が断熱効率である。

中・小型の軸流タービンの断熱効率は最大でも40%程度であるのに対し、ラジアルタービンでは80～85%に達する。この決定的な違い（優位性）がラジアルタービンの最大の特長であり、ガスからの動力回収量は、ラジアルタービンでは軸流タービンのほぼ2倍（単段あたり）となる。

## 2. ラジアルタービンの構造

図4にラジアルタービンの構造断面図を示す。

### 2.1 回転体（ロータ）

ガスのエネルギーを直接受取るのがランナであり、軸の先端に取付けられている。ラジアルタービンの最大の特徴である高効率性は、このランナ形状によって大きく左右される。当社では、千差万別のガスの仕様（条件）に対し、常にランナの最適設計を行うことで、最高効率を確保し、顧客に満足頂ける性能を提供している。

ランナが取付けられた軸には、所定回転数まで減速するギヤが設置される。機械的な安定性を考慮し、ピニオンギヤは軸から削り出した一体構造としている。このランナ・軸（およびピニオンギヤ）がタービンロータとしての構成主要部品となる。

### 2.2 軸受

タービンロータは、2個の軸受で支えられる。一般にラジアルタービンは高速回転するため、軸受負荷特性や

制振性能に優れたティルティングパッド型のジャーナル軸受が採用される。このタイプの軸受を使用することで、設計回転数は非常に大きな自由度を有し、結果として、最高効率を得られる設計が可能となっている。

### 2.3 動力およびガススラスト伝達系統

ランナを介して回収された動力は、ロータと一体になっている高速ギヤから低速ギヤに伝達され、最終的には発電機や被動機に伝わっていく。

ラジアルタービンの高速回転の中で動力を機械的に安定して伝達すべく、ギヤにはヘリカルギヤを採用し、また、動力伝達ロスを極力低減するために、タービンロータにはスラスト軸受の代わりに、ライダリングと称する特殊スラストカラーを設け、ガスによって発生するスラスト力を低速軸に設けたテーパランド型のスラスト軸受へ伝達する構造としている。低速軸側にスラスト軸受を設置することで、大きなサイズの軸受を組込むことができ、安定してガススラストを受持つことができるとともに、高速側にスラスト軸受が無くなることで、機械ロスを最小限にすることを可能にしている。

## 3. ラジアルタービンの適用例

ラジアルタービンは歴史上、ガスの寒冷発生用として発達してきた機器である。ガスをタービンに供給し膨張させることで、ガスの温度を下げることを目的としたもので、空気分離装置における寒冷発生膨張タービンがその代表例である。当社でも同用途の膨張タービンを1960年より多数製作・納入してきたが、以下は、この寒冷発生以外の最近の用途について記載する。

### 3.1 ガス別の適用例

#### 3.1.1 蒸気タービン

最も一般的な用途であり、発電用蒸気ラジアルタービンの外観写真を図5に示す。単段（ランナ1枚）で、1.7MPaの飽和蒸気を26t/h供給し、1MPaまで膨張させることで、550kWを発電できるシステムである。同じ蒸気を軸流タービンに供給するとすれば、約350kWの発電量しか得られず、ラジアルタービンの効率の良さが理解できる事例である。

写真でも分かるように、発電機はもちろん、潤滑油機器などの補機類も共通台板に搭載した完全パッケージ型であり、客先での据付工事が簡素化できる配慮も行って

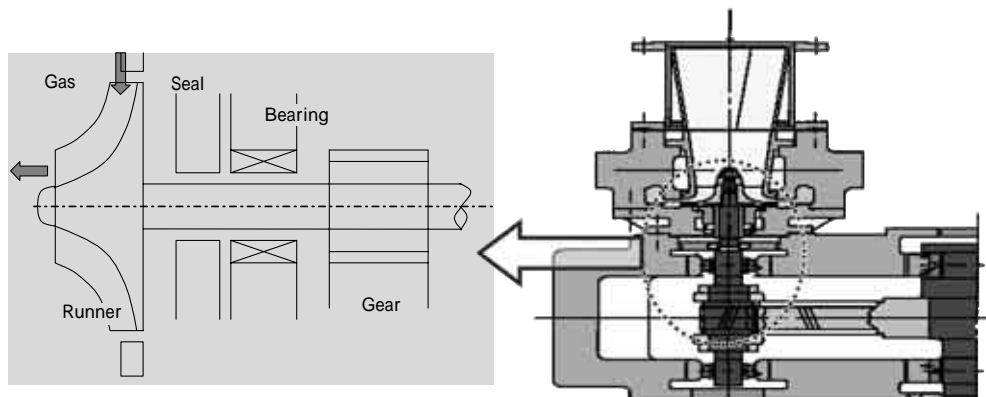


図4 ラジアルタービンの構造図  
Fig. 4 Sectional drawing of radial turbine

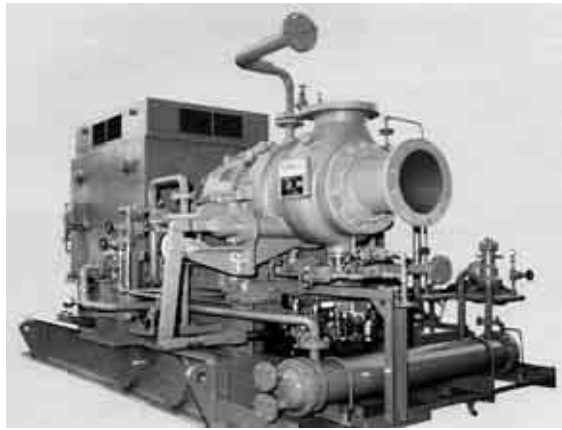


図5 蒸気ラジアルタービンの外観  
Fig. 5 Outline view of radial steam turbine



図6 水・アンモニアラジアルタービン  
Fig. 6 H<sub>2</sub>O-NH<sub>3</sub> mixed vapor radial turbine

いる。

### 3.1.2 排ガスタービン

化学プラントの反応塔から発生する排ガスを供給することで、併設する圧縮機など電力消費機器の補助動力源とする適用方法である。テレフタル酸プラントが適用代表例である。プロセス空気圧縮機として7～8MW級の消費電力を要するプラントサイズでは、ラジアルタービンを設置し排ガスを供給することで、3～4MWの動力を回収することができる。従って、実質的な消費電力は約半分に低減することが可能となる。ちなみに、ラジアルタービンを設置しない場合、同プラントで発生する排ガスは無害化処理の上、大気放出されるだけとなる。

### 3.1.3 水・アンモニア混合ガスタービン

アンモニアガスに数%の水蒸気を加えると、非共沸の性質を持つ混合ガスができる。このガスは比較的小さな温度差でも大きな熱落差を採れることが知られており、ここにラジアルタービンを用いることで、最大限の出力を回収することができる。プロセスとしてのアイデアは20年以上前から存在し、研究機関などで実用化検討が進められていたものの、商用化には至っていなかった。その中で当社は、世界実用第1号機を1999年に納入した。製鉄所の転炉から排出される温水を熱源とし、上述の水・アンモニア混合ガスと熱交換させた後、これを膨張させるプロセスにより、排出・循環するだけの温水(約60)で、約4MWの発電に成功した。同様のプロセスで既に、2・3号機を納入し、高い評価を得ている(図6参照)。現在も年間連続運転で商用発電を行っている。

### 3.1.4 液化天然ガス用タービン

天然ガスはその供給基地で所定圧力まで減圧されて、市中に供給される。通常であれば、減圧は単なる圧力調節弁で減圧されるだけであるが、ここにラジアルタービンを設置することで、数MWレベルの発電が可能となる。当社は国内でいち早くこの用途での実用機を製作・納入し、長年のノウハウを蓄積している。

### 3.2 圧縮機との結合タービン例<sup>2)</sup>

遠心圧縮機とラジアルタービンの両方を製作できる当社の特長を最大限に発揮した製品として、『エコセントリ』がある。図7にエコセントリの概念断面図を示す。図中一点鎖線で示した電力消費機器である圧縮機と、破

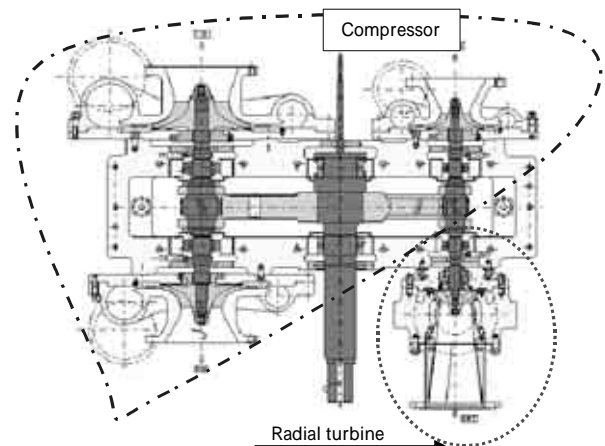


図7 エコセントリの断面図  
Fig. 7 Sectional drawing of ECOCENTRI

線部の動力を回収するラジアルタービンを直結することで、動力伝達損失ゼロのシステムを構築したものである。

圧縮機に軸流タービンを直結しようとする、双方の特性上回転数は全く異なり、ここに増・減速機や結合するための軸継手を設ける必要がある。一方、ラジアルタービンはその設計回転数が圧縮機の回転数と同レベルにあるため、圧縮機軸にタービンランナを直接取付けることができることとなる。

圧縮機ガス(空気)を要し、また、蒸気を使用している企業・工場は工業界ではごく一般的であり、かつ、蒸気系統には通常余剰蒸気が存在し、減圧して使用しているケースが多い。エコセントリを設置する蒸気バランス系統図を図8に示す。従来、減圧弁で減圧された後、蒸気消費機器へ供給されていた蒸気は、その熱落差を破棄していた。一方で圧縮機を設置した場合は、外部から電力を供給する必要がある。

そこで、エコセントリのタービン部分へこの減圧させられていただけの蒸気を供給することで、圧縮機が消費する動力を大幅に低減することが可能となるシステムが構築できる。

表1にエコセントリの効果例を示す。表1に示す効果例は、いずれも連続運転仕様での商用機であり、余剰蒸気をエコセントリへ供給するだけで、圧縮機の消費動力

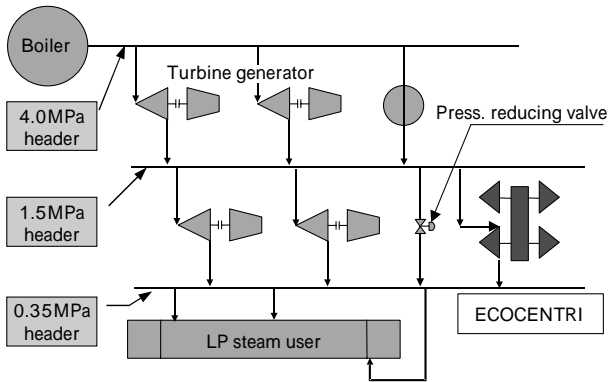


図8 エコセントリを設置した蒸気系統図  
Fig. 8 Steam balance flow with ECOCENTRI

を、蒸気条件によっては、90%以上カットすることもできる。加えて、あくまで圧縮機の補助動力源としての使用方法ゆえに、純粋な発電タービンと異なり、電気事業法の適用外となり、機器の設置申請やメンテナンスの簡素化にも大きく貢献している。これらの特長により、2000年に日本機械工業連合会会長賞を受賞し、上市以降、製鉄・自動車・タイヤ・製紙・化学など幅広い業界への納入を果たしている。

表1 エコセントリ納入機の省エネ効果例  
Table 1 Power save sample with supplied ECOCENTRI

| Model   | Comp. req'd power (kW) | Turbine recovered power (kW) | Actual req'd power (kW) |
|---------|------------------------|------------------------------|-------------------------|
| VGP100R | 335                    | 190                          | 145                     |
| VGP100R | 676                    | 620                          | 56                      |
| VGP190R | 1,430                  | 1,240                        | 190                     |
| VGP100R | 540                    | 200                          | 340                     |

むすび= 当社は、高効率というラジアルタービンの持つ最大の特長を活かしつつ、ラジアルタービンを製作できる圧縮機メーカーとしての特異性、更に、あらゆるガスに対応できる非汎用対応能力の高さを融合させ、種々用途で省エネに貢献してきた。今後は更にラジアルタービンの適用可能範囲を広げ、顧客により満足いただける製品を提供していく所存である。

参考文献

- 1) ターボ機械協会：蒸気タービン，(1991) p.12, 日本工業出版．
- 2) 松本哲也：ターボ機械協会誌，2003年9月号．