

(解説)

# ゴミ焼却プラント用高圧蒸気ラジアルタービン

## High Pressure Steam Radial Turbines for Incineration Plants



梶木一俊\*  
Kazutoshi Kajiki



馬場祥孝\*\*  
Yoshitaka Baba



吉田 敦\*\*\*  
Atsushi Yoshida

Kobe Steel has developed a new high-pressure radial steam turbine for a Kyushu area incineration plant. Due to the extremely high steam inlet pressure under saturated conditions, in past steam turbine designs, a very large exciting force to rotor had to be factored into the Kobe Steel's new design. To better control this force and create more stable operating conditions, special design considerations-like special damper seals, rotor configurations, and a new drainage system-were developed. The resultant turbine is currently operating smoothly under extreme conditions and generating power efficiently (which is the primary advantage of radial turbines over axial turbines).

まえがき = 国内外において環境問題が議論される中、ダイオキシン低減対策を中心としたゴミ焼却プラントの新設が相次いでいる。一方で、当該プラントは数MWの電力(エネルギー)を消費するため、省エネルギーについては環境対策の観点から、ゴミ焼却において発生する廃熱余剰エネルギーを利用して蒸気タービンで発電するのが通常である。

このたびゴミ焼却プラント用高圧蒸気ラジアルタービンを九州地区のゴミ処理施設に納入し、2001年9月より順調に全負荷運転を継続している。供給蒸気が飽和蒸気であること、ラジアルタービンにとっては世界的にも実績の少ない高圧蒸気であることなど、本機は技術的難易度の高い仕様となっている。以下にその概要を紹介する。

### 1. 蒸気ラジアルタービンの特徴

一般的に蒸気ラジアルタービンは、軸流タービンと比較して以下の特徴を有する。

#### 1.1 高効率

ラジアルタービンは、構造上軸流タービンと比較して、高回転数での設計が可能である。従ってエネルギー回収における最適設計が可能となり、軸流タービンと比較して20~30%の高効率化が達成できる。

#### 1.2 高加振力

ラジアルタービンでは、タービン内部において蒸気流れが半径方向から軸方向に変化する。このため、タービンランナまわりの不安定流れが増強されやすく、この流れに起因する加振力が大きくなる。これによりロータが加振されやすく、最悪の場合、運転に支障がでる。

一方、軸流タービンはタービン内部において基本的には蒸気流れが軸方向のままであり、不安定流れを起因とする加振力はラジアルタービンほど大きくならないと考えられる。

### 2. 本機の仕様及び外観

表1及び写真1に本機の仕様及び外観を示す。

本機の蒸気仕様は、通常と比較して高圧で、また飽和となっている。この仕様は、ゴミ焼却時に発生する廃熱量及び廃熱ボイラの能力に起因するもので、客先の都合

表1 蒸気タービン仕様

Table 1 Steam turbine specification

Name	Steam radial turbine
Type	GRT270
Gas	Saturated steam
Inlet pressure (MPaG)	3.7
Inlet temperature ( )	247.3
Exit pressure (MPaG)	1.25
Exit temperature ( )	193
Pinion rotor speed (rpm)	25 855
Output rotor speed (rpm)	3 600
Power (kW)	980



写真1 本機と同型の蒸気ラジアルタービン

Photo 1 Outside view of same type steam radial turbine

\*神鋼テクノ(株) 回転機設計室 \*\*機械カンパニー 開発部 \*\*\*機械カンパニー 回転機技術部

からきた仕様である。蒸気が高圧になると熱落差が大きくなり、エネルギー回収量が大きく見込める。しかしながら、高圧化により12節で述べた不安定流れを起因とする加振力が増大する。また、本機に供給される蒸気が飽和状態のため、この蒸気中にドレンが存在する。このドレンがバックシールや軸シールなどに滞留することにより、上記とは別の原因による加振力が増大される。

本機の仕様は、通常の仕様と比較して、高圧によりエネルギー回収量が大きく見込める反面、高圧及び飽和により加振力が増大しピニオンロータ軸振動に悪影響して、安定運転に支障が出やすい仕様となっている。

### 3. 本機の構造

本機の構造を図1に示す。

#### 3.1 タービンケーシング

タービンケーシングは、ケーシングカバーを介して減速機ケーシングの一端に取り付けられている。蒸気はケーシング上部より流入して、可変ノズル、タービンランナを経て出口管から軸方向に流出する。

#### 3.2 可変ノズル

タービンランナ入口直前に可変ノズルが設置されている。アクチュエータ、油圧増幅器を介してガバナ制御によって可変ノズルの角度が変更され、高効率を維持したまま広いレンジの流量調整が可能である。

#### 3.3 タービンランナ

タービンランナはステンレス鍛造品より機械加工さ

れ、耐エロージョン性を高めるため特殊コーティングを施している。また、非破壊検査、過速度テストを実施して安全性を確認している。なお、タービンランナは減速機のピニオン軸の先端にオーバハングして取付けられている。

#### 3.4 ピニオンロータ用ジャーナル軸受

フレキシブルパッド型ジャーナル軸受を適用しており、オイルホワール、オイルホイップなどの油膜に基づく軸振動を回避できる。パッドは放電加工により形成され、軸受ハウジングと一体となっている。2つ割れの軸受ハウジング及び2つ割れのエンドシールから、軸受は構成されている。また、パッド表面にはホワイテタルが盛られている。

#### 3.5 出力ロータ用ジャーナル軸受

2つ割れのスリーブ軸受が適用されており、スラスト荷重はテ-パランドスラスト付ジャーナル軸受で受持つ。

#### 3.6 軸シール

ピニオン軸がケーシングカバーを貫通する部分には軸シールが設置され、外部への蒸気もれを抑制している。この軸シールは、ドレンに対する耐エロージョン性の高い材料を適用している。また、軸シールの中間室よりもれ蒸気を吸引する吸引ファンが設置され、もれ蒸気が外部へもれないようにしている。

#### 3.7 バックシール

タービンランナ背面にはバックシールが設置され、スラスト荷重の軽減が図られている。軸シールと同様、ド

Parts No.	Parts name	Remark
1	Turbine casing	
2	Variable nozzle	
3	Turbine runner	
4	Journal bearing	For pinion rotor
5	Journal bearing	For output rotor
6	Shaft seal	
7	Back seal	
8	Reduction gear	
9	Pinion rotor	
10	Output rotor	
11	Output rotor shaft end	
12	Exit pipe	

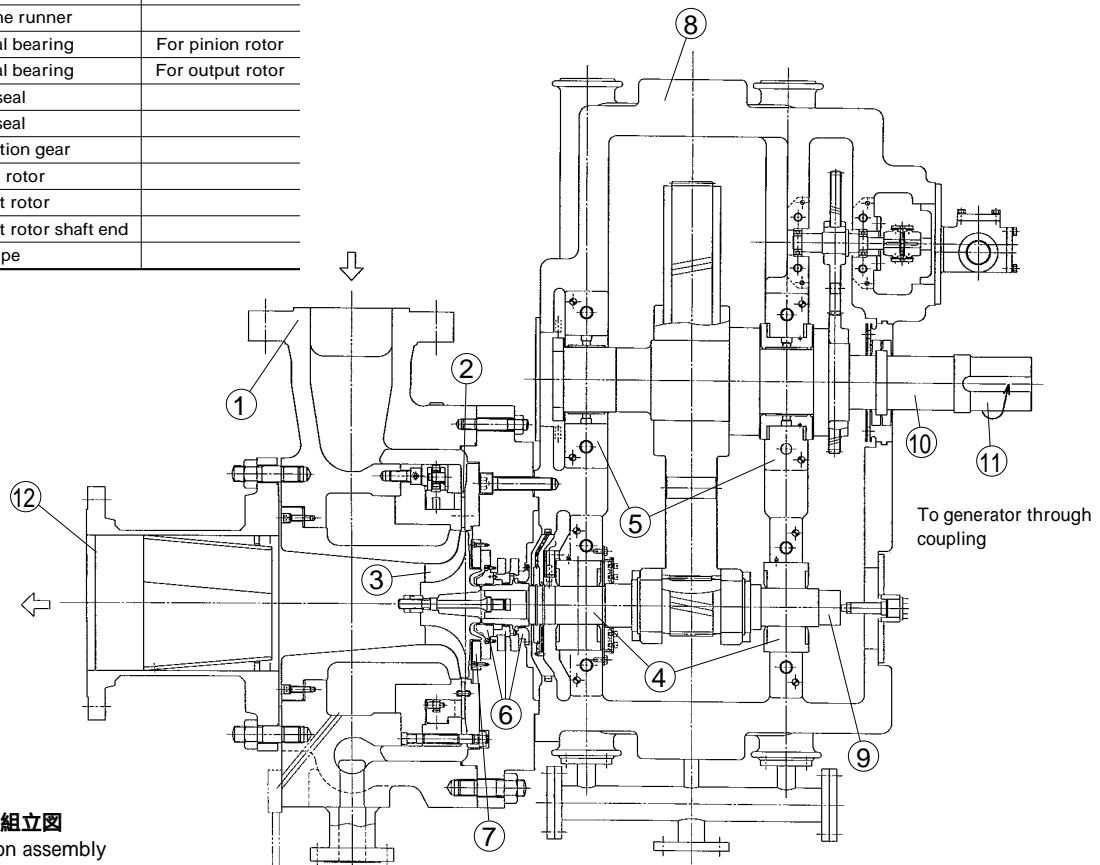


図1 タービン断面組立図  
Fig. 1 Turbine section assembly

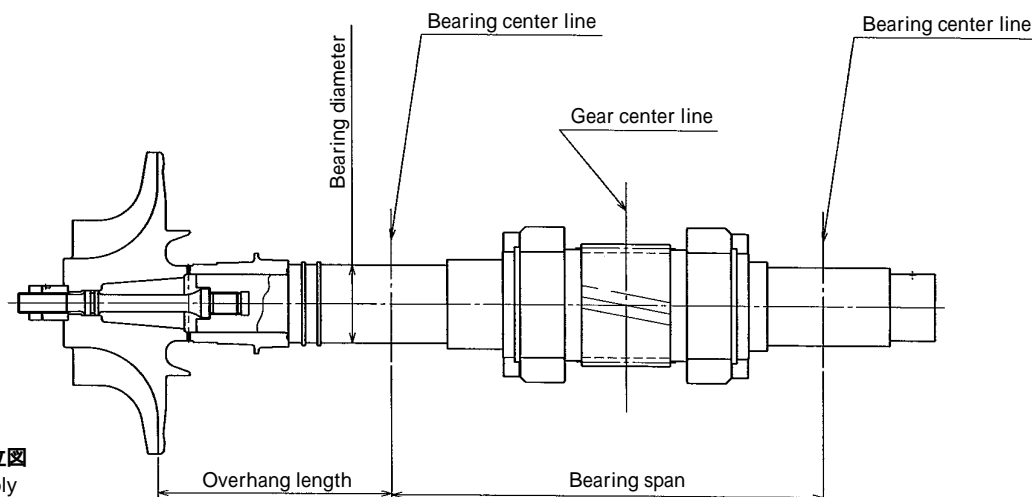


図2 ピニオンロータ組立図  
Fig. 2 Pinion rotor assembly

レンに対する耐エロージョン性の高い材料を適用している。

### 3.8 減速機

ランナで回収された動力は、減速機の歯車を介して減速機出力ロータに伝達される。軸継手を介して減速機出力ロータから発電機へ回収動力が伝達され、発電される。

### 3.9 軸継手

減速機出力軸と発電機間の軸継手はフレキシブル軸継手を適用しており、据付誤差、熱変位などの軸心の偏心、偏角に対して追従できる。

## 4. 本機の特徴

供給蒸気が高圧でかつ飽和蒸気であることから、従来の仕様よりピニオンロータへの加振力が大きい。これにより、ロータ軸振動が不安定となり蒸気タービンの安定した運転ができなくなることが考えられる。従って、耐振性を向上させるため、本機には以下の特徴を持つように対処している。

### 4.1 ロータの高剛性化

本機のピニオンロータ形状を図2に、このロータの主要寸法及び1次固有振動数を表2に示す。

このピニオンロータに対して軸振動解析を実施した。この解析に用いたピニオンロータモデルを図3に示す。このモデルにおいては、タービンランナのハブを軸と一体とみなした。また、タービンブレードとライダリングを付加して、その質量及びGD2を考慮した。付加したポイントはタービンブレードにおいてポイント5、ライダリングにおいてはポイント13, 14, 18, 19で、それぞれ図中に丸印をつけている。

この軸振動解析を実施した結果の一つである1次固有振動モードを図4に示す。図中において"P"と記載しているのは、振動の振れまわり方向がロータ回転方向と同一ということである。このことから、このモードは実際の運転において、振動が顕著となる場合のモードと考えることができ、これを1次固有振動モードとした。また、このモードに対応する固有振動数を1次固有振動とした。

表2 ピニオンロータ主要寸法及び1次固有振動数

Table 2 Main dimension and first critical speed of pinion rotor

Bearing diameter (mm)	70
Overhang length (mm)	208.5
Bearing span (mm)	387
Operating speed (rpm)	25 855
First critical speed (rpm)	19 331

また、通常設計と比較して、1次固有振動数が1.5倍、対数減衰率が1.4倍となる解析結果となった。この結果から、ピニオンロータの高剛性化を達成した。

### 4.2 ダンパシールの採用

バックシールからのもれ蒸気の影響によって、ロータ軸振動を不安定にする加振力が大きくなる。この加振力を軽減し、かつ軸振動を抑制する力を生ずるダンパシールの一種であるホールパターンシールをバックシールに採用した(写真2参照)。

### 4.3 ドレン排出能力の増強

蒸気流中のドレンあるいはタービン内で生成されたドレンがバックシールや軸シールに滞留すると、軸振動に対して悪影響があると考えられる。そのため、ドレンが滞留する可能性のあるシールまわりの各中間室にドレントラップにつながった配管をつないで、ドレン排出能力

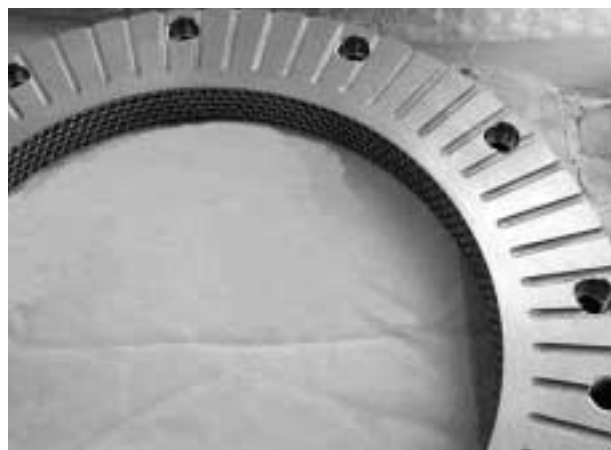


写真2 ダンパシール(ホールパターンシール)  
Photo 2 Damper seal (Hole pattern seal)

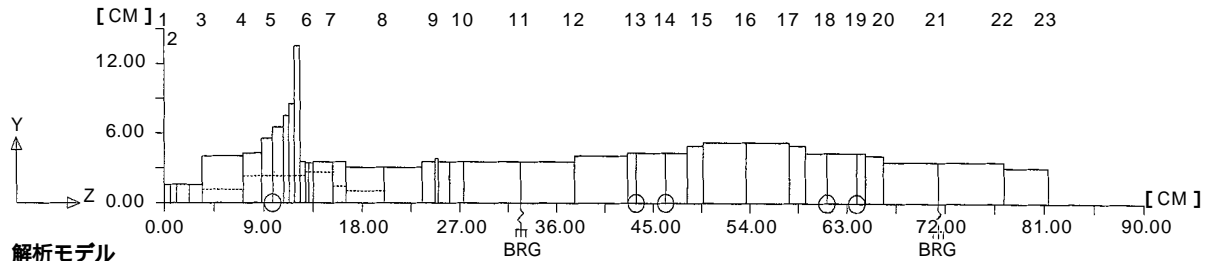


図3 解析モデル  
Fig. 3 Analyzing rotor model

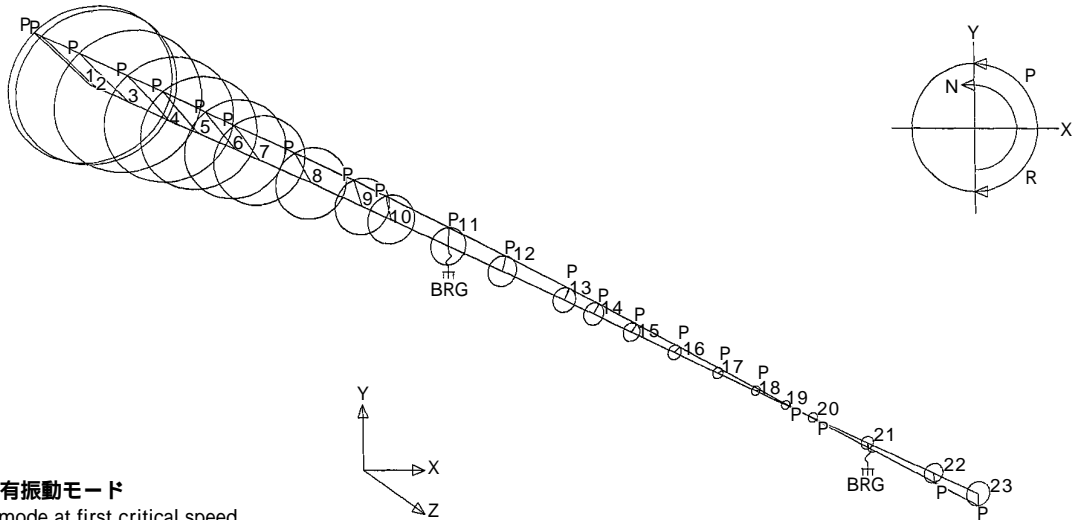


図4 1次固有振動モード  
Fig. 4 Rotor mode at first critical speed

を強化した。

## 5. 試運転結果

2001年9月に実施した現地試運転における定格発電量 (= 980kW) の運転においても、軸振動は  $6 \mu\text{m}$  であった。過速度試験、負荷遮断試験、連続5時間運転も実施して、ともに全く問題ない結果となった。現在も順調に運転されている。

むすび=ラジアルタービンは軸流タービンに比べエネルギー回収効率が20~30%高いことから、省エネルギーの観点

からも時代のニーズによりマッチしたのもであり、当社は国内で唯一ラジアルタービンの設計・製作が可能なメーカーである。今回のゴミ焼却プラント用高圧蒸気ラジアルタービンの製作実績から得られた数々の貴重な知見をもとに、今後本技術のさらなる向上を目指していきたい。