

富士標準小容量自家用発電タービン

吉 川 修 平*

Shuhei Yoshikawa

Standard Models of Fuji Small Power Industrial Steam Turbine

Synopsis

The small steam turbine generator is mainly used for industrial power plants.

The purpose of this article is to describe the standard models of Fuji small power industrial steam turbine.

The contents of this article are as follows: 1. Introduction 2. Standard for steam turbine 3. Kinds of standard models of Fuji small power industrial steam turbine 4. Fuji industrial high speed backpressure steam turbine 5. Construction of steam turbine 6. Conclusion.

I. ま え が き

工場における自家用発電設備としては蒸気タービン発電機が主として使用されている。自家用発電設備の形態としては大別して

- 1) 化学工業、石油工業、製紙工業など、加熱工程の熱源として工場用蒸気を併給する蒸気併給発電所
- 2) 窯業、鉄鋼、鋁山など、余熱あるいは廃ガス利用の発電所

となる。前者に対してはほとんどの場合、背圧タービンあるいは抽気背圧タービンが使用されている。これは工場用蒸気をも含めたプラント全体としての熱効率が非常に高く、自家用発電として充分に低廉な発電原価を達成できるからである。後者の場合には余熱および廃ガス利用という性格からいって、ほとんどが復水タービンである。

わが国における自家用発電所の現状をみても蒸気併給の発電所では出力 10,000 kW 以下の背圧式ないしは抽気背圧式が件数において圧倒的に多い。また復水式の場合にも 10,000 kW 前後にとどまることが多い。このような需要の状況であるのでメーカー側としても、需要の度合の大きな機種に対して標準化を行なうことは計画的かつ能率的生産を可能にし、工期の短縮あるいは生産原価低減のために必要なことである。

II. 機種の標準化について

機種の標準化が必要な理由として、また標準化によって得られる成果としては

- (1) 製品の短納期化
- (2) 製造原価の低減化

- (3) 品質の向上、信頼性の向上および性能の向上
 - (4) 標準部品の使用による保守の簡易化
- などの項目があげられる。

工業の各分野における技術革新により新工場あるいは新設備の建設に要する工期は大幅に短縮され、短期間のうちに操業を開始することが可能となり、また必要となっている。このためメーカーにとっても短納期で製品を完成させるということが要求される場合が多くでてきている。この要求は機種の標準化によって最もよく達成される。また標準化によって設計の段階における時間と労力は大幅に縮小されるし、また製造の面でも木型や鍛造型あるいは工具などに要する原価も軽減される。したがって製造原価の低減化が可能となり、また生産面においても計画的、能率的な生産の態勢をとることができるようになる。

標準化の方法としては出力の大きさによって3～4の段階に分類して機種を決定している。

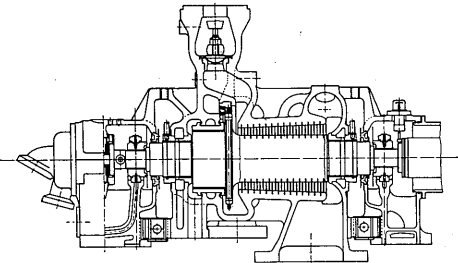
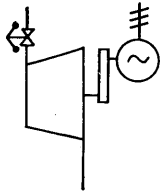
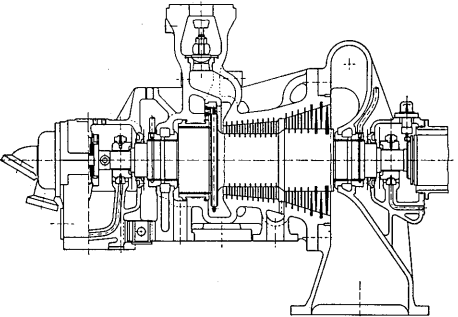
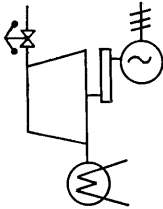
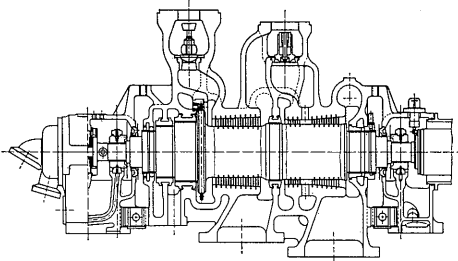
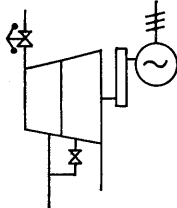
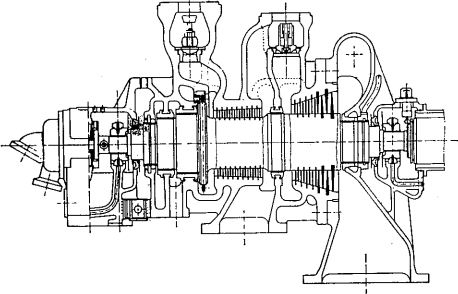
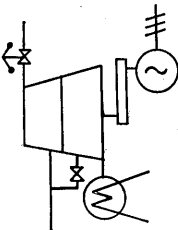
III. 富士小容量自家用発電タービンの標準機種

上述した趣旨に沿って当社が標準化した中小容量の高速背圧式または復水式のタービンの標準機種は次のとおりであり、蒸気条件、出力などから回転数 5,000 rpm～12,000 rpm の範囲でもっとも目的に適した設計が採用される。

- 1) G系列 背圧タービン (Gは背圧式を示す符号である)。出力の大きさにしたがって G-200, G-300, G-400, G-500 の各形式がある。
- 2) K系列 復水タービン (Kは復水式を表わす)。K-600, K-601, K-800, K-801, K-1100, K-1101 の6形式がある。

* 川崎工場火力部

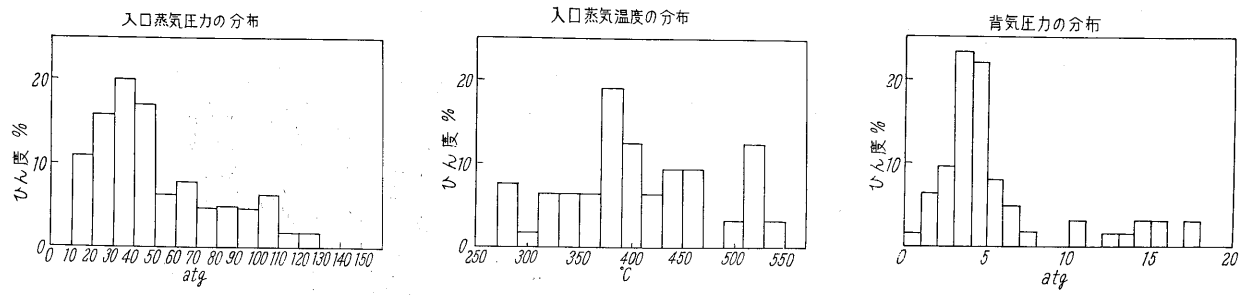
第1表 富士標準小容量高速自家用発電タービンの形式一覧
Table 1. Standard models of Fuji small power industrial steam turbine

	形 式	タービン断面図	ダイヤグラム
G 形 背 圧 式	G-200		
	G-300		
	G-400		
	G-500		
K 形 復 水 式	K-600		
	K-601		
	K-800		
	K-801		
	K-1100		
	K-1101		
EG 形 抽 気 背 圧 式	EG-200		
	EG-300		
EK 形 抽 気 復 水 式	EK-600		
	EK-800		
	EK-1000		
	EK-1100		

- 3) EG 系列 抽気背圧タービン (EG は抽気背圧式を表わす). EG-200, EG-300 の2形式がある。
- 4) EK 系列 抽気復水タービン (EK は抽気復水式を表わす). EK-600, EK-800, EK-1000, EK-1100 の4形式がある。
- これら各系列のタービンの断面図の例を第1表に掲げる。

IV. 富士自家用高速背圧タービン

上述した G, K, EG, EK の各系列ともその使用形態が異なるのみで標準化に対する基本的な考え方に変わりはないので、需要のひん度が高く最も一般的なG系列の高速背圧タービンについて述べる。蒸気併給発電所の場合には工場における生産工程に必要な蒸気圧力と所要蒸気量とから背気の条件が決まり、これと工場の所



第 1 図 10,000kW 以下の背圧タービンの蒸気条件についての統計
Fig. 1. Steam conditions generally used for industrial backpressure turbines, recently

要電力負荷とからタービン入口の蒸気条件が決定される。したがって各工場によってこれらの条件はそれぞれ異なり、別々の需要家に対して同一条件の設計がなされることは非常に少ない。しかしこれらを統計的にみた場合には、ある決まった範囲で最も多く使用されていることがわかる。第 1 図に当社がまとめた過去 7～8 年間における 10,000kW 以下の工業用背圧タービン需要の入口蒸気条件および出口条件の使用ひん度を示す。これによれば入口蒸気圧力 30～50atg 入口蒸気温度は 350～450℃ および背気圧力は 3～5 atg くらいのところで最もひん度が高くなっている。この範囲の需要に応ずる機種として富士小容量高速背圧タービン G 系列の標準化が行なわれている。

富士小容量高速タービンはシーメンス社の開発になるものである。大容量のタービンに対して高速化することは不可能であるが、自家発電用などの比較的小容量のものに対しては高速化が可能であり、回転数を高くすることによって次のようなすぐれた特長が生まれる。すなわち

- 1) 翼の周速を大きくすることができるので段当たりの熱落差を大きくとれ、段数が少なくてすむ。また熱落差を同じにしたままで翼平均直径を小さくして翼長を大にすることができるので翼端損失を減少させることが可能である。
- 2) 翼平均直径を小さくできるので翼端のすきまが小さくなり、またすきまの全周長さ自体も小さくなる。このためすきまによる漏えい損失が減少する。

これらの理由によりタービンの内部効率はいちじるしく向上し、それと同時に軽量、小形になる。高速化によって減速歯車装置が必要となるが効率の向上はこの歯車損失を考慮に入れてもなおあまりあり、軽量化は歯車の重量を含めてもなお約 20% 近くの重量節減が可能である。また歯車により減速を行なっているので接続する発電機の回転数は自由に選べる。特に小出力の場合には回

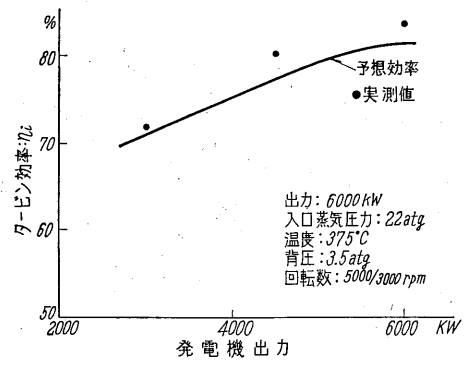
転数を 1,500～1,800 rpm に下げて 4 極の発電機を使用し発電機の価格を低減することもできる。また小形軽量化は重量節減のみでなく、全体としてコンパクトになり、始動、停止時あるいは運転状態の急変などの際に生じるケーシング壁、ロータなどの熱応力、熱変形の発生を減らし運転の安全性、信頼性を著しく高度にする。

このように小容量高速タービンは高性能と高経済性のゆえに需要は伸びつつあり、欧州においては小形の発電用ならびに自家用タービンの主流をなしており、数多く製作され、利用されている。

高性能を示す一例として昨年大昭和製紙・吉永工場に納入した G-500 形 (出力 6,000kW, 入口蒸気圧力 22 atg, 温度 375℃, 背圧 3.5 atg 回転数 5,000 rpm) の予想効率曲線ならびに実測値を第 2 図に示す。

標準高速背圧タービンには前述したごとく 4 機種あるが具体的に次のような分類になっている (第 2 表)。

入口、出口蒸気条件から出力範囲が決まり機種を選定する。同一の機種においては回転数および入口蒸気圧と内部出力の比、入口蒸気圧と背圧との比から内部効率が定まり、最適の設計を行なうことができる。材質の選定により入口蒸気圧力 80 atg, 温度 500℃, 背圧 15 atg



第 2 図 大昭和製紙・吉永工場納入 G-500 形高速背圧タービン予想効率曲線および効率実測値

Fig. 2. Expected and measured efficiencies of Fuji high speed backpressure turbine, type G-500 for Yoshinaga Works, Daishowa Seishi Co.

第2表 富士高速背圧タービンG形の標準機種

Table 2. Classifications of Fuji high speed backpressure turbine, type G

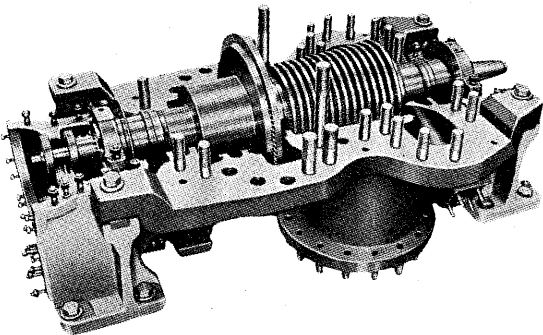
形 式	出力範囲(継手出力) (kW)	回 転 数 (rpm)
G-200	~1,850	12,000 10,000
G-300	~4,150	10,000 8,000 7,000
G-400	~7,500	8,000 7,000 6,000
G-500	~12,700	6,500 6,000 5,000

までの蒸気条件に対して使用できる。したがってG形のみで自家発電用あるいは自家発電タービンの大部分の需要に対してこたえることができるわけである。

V. 構造について

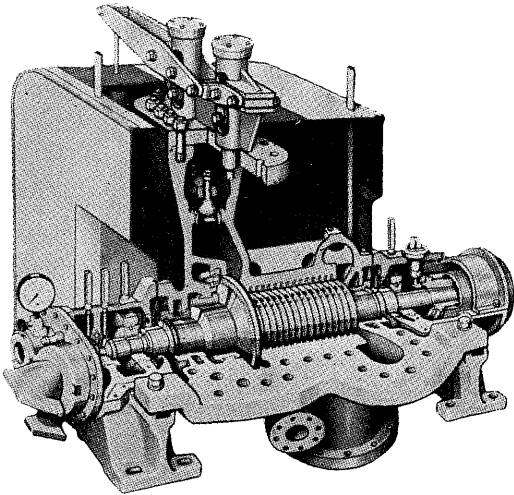
富士小形高速背圧タービンの構造は他の富士蒸気タービンと同じく1段または2段のインパルス調速段を有する多段式反動タービンでその主要な特長として

- 1) ロータは調速段ホイールを含めて一体に鍛造されるので、始動、停止などに際し熱応力や変形による応力あるいは振動などに対してきわめて安全性が高い。またロータの危険速度はその機種における最高使用回転数よりも高くとってあるので、始動、停止のいかなる場合にも振動の原因となることはなく、翼先端やラビリンスパッキン損傷の原因となることは全くない。温度の高低により4種類の材質を選ぶようになっている。
- 2) タービンケーシングは上下二つ割りの構造で調速段



第3図 G形高速背圧タービンのロータおよびケーシング下部

Fig.3. Rotor and under part of casing of G-type high speed backpressure turbine



第4図 G形高速背圧タービンの内部構造

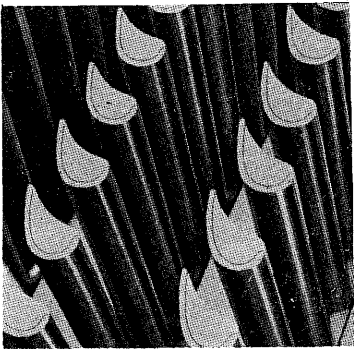
Fig.4. Inner view of G-type high speed backpressure turbine

後部の車室および反動段の中途から抽気をとれるように無制御抽気用抽気口が設けられている。制御弁およびノズル室はケーシング上半部と一体に鋳造されている。蒸気条件により3種類の材質がある。

- 3) 翼はすべて 13% Cr 不銹鋼を用いて製作され、反動段動翼は丸頭翼形を有しており、次のような特長もっている。
- (1) 正規負荷時の性能がすぐれているだけでなく、流れの方向の影響を受けることが少なく、部分負荷における効率の低下も少ない。
- (2) 強度的に強く、侵食、クラック発生、振動応力に対して耐性が大である。

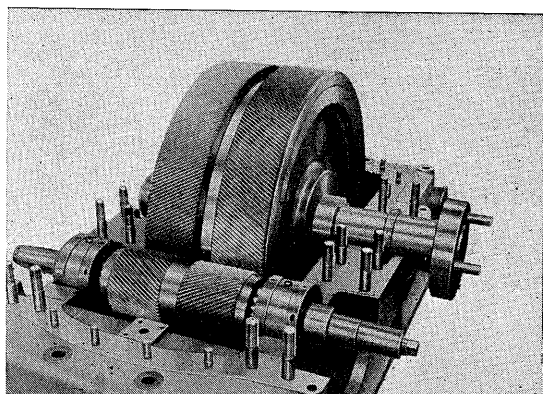
動翼のシュラウドリングは翼と一体に削り出されるので、特に高速による遠心力に対して充分な強度を有している。

また回転数が高いので一般に調速段動翼の脚にはT字形脚の代わりに円筒形のいわゆるラパル脚を使用している。



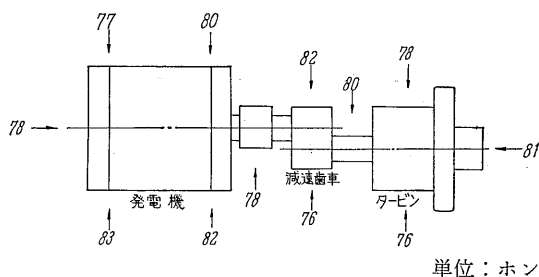
第5図 反動動翼

Fig.5. Reaction moving blade



第 6 図 減速歯車

Fig. 6. Reduction gear for high speed turbine



第 7 図 大昭和製紙・吉永工場納入 G-500 形
高速背圧タービン運転時の騒音レベル

Fig. 7. Noise levels at running
Fuji high speed backpressure turbine
type G-500 for Yoshinaga Works,
Daishowa Seishi Co.

4) 減速歯車装置は特殊鋼製の大小歯車と鋳鉄製の歯車箱とから成っている。適切な歯形を選定し、かつダブルヘリカル式であるためかみ合いが円滑に行なわれ、マーズ製の歯切機械によって得られた最高級の精度とあいまって、運転時の騒音は高い回転数と大伝達馬力にもかかわらず比較的低いものとなっている。また潤滑については全密閉式強制潤滑を行なっており、減速歯車を用いたために、タービンの安全性が阻害されたり、保守が複雑になったりする心配は全くない。

一例として大昭和製紙に納入した G-500 形の騒音の測定結果を第 7 図に掲げる。

5) 保安装置としては他の一般の富士蒸気タービンと同

じく、非常止め弁、非常调速機、非常停止装置、スラスト保護装置、油圧低下警報および軸受温度警報が設けられている。非常止め弁は油圧式でタービンケーシング上半部の横に直接取り付けられる構造が採用されている。

6) 制御弁は部分負荷時にも効率の低下があまり大きくならないように G-200 形では 3 個、その他では 5 個設けられている。圧力損失を極力少なくするためディフューザ弁が用いられている。また構造としては 1 本の横梁を上下することによってすべての弁が順次開閉されるような簡単な構造で保守点検が容易となっている(第 4 図参照)。

7) 制御装置としては油圧式の回転数制御装置が使用されている。これは回転数の増減に対応して変化する油圧の信号(一次油圧)をこれと逆な関係にある油圧(二次油圧)に変換させて、これにより制御弁の開度を調節するものである。構造が簡単で、しかも感度は高く、応答速度も早くきわめてすぐれた性能をもっている。タービンが小形であるため、始動装置、油圧式调速機、回転数設定装置、背圧制御装置などの制御装置はすべてコンパクトな制御箱におさめ、タービンの横に設置されるので運転および保守点検に対して便利なものになっている。

VI. あとがき

工業用自家発電設備として需要度の高い 10,000 kW 前後までの中小容量蒸気タービンについて機種標準化の意義とその必要性を述べ、当社における標準化の現状の一端を、もっともひん度が高く一般的な高速背圧タービンについて紹介した。もちろん需要のひん度は低くても蒸気条件などによっては復水式の方が有利な場合もあるが、背圧式以外の復水式、抽気復水式については機種のみにとどめた。また強制貫流ボイラの発達により、工業用自家発電設備の分野にもサイクル効率の高い高温高圧タービンの需要が次第に高まっている。これらに対する標準化などについてはまた稿を改めて述べたいと思う。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。