

技術報告

UDC 669.162.259 : 621.311

高炉炉頂圧発電の現状について*

佐々木 洋 三**

Present State of Top Gas Pressure Recovery Turbine Plants

Yozo SASAKI

Synopsis:

Recently, top gas pressure recovery turbine plants have been installed in some steel making plants for energy saving. Eleven turbine plants have been operated including two test plants in Japan.

Total operation time of the first plant (Kawasaki Steel Corp. Mizushima Works No. 2 B. F) was approximately 26 400 hours.

There are two basic types of turbines for energy recovery; wet and dry. A radial flow turbine is of the wet type, and an axial flow turbine is of the dry type. Each turbine has special devices designed for prevention of corrosion, erosion and clogging of the turbine by dust and moisture-laden gas. These turbine systems have had no effect in any way on the blast furnace operation. Recovery turbine output of the first plant reaches 20 to 30% of blast blower input energy and its availability, approximately 85%, is over the average of self-thermal power plants in steel making plants.

In the future, economical plants will be developed for further improvement of turbine output and higher reliability of turbine systems including gas cleaning equipment.

1. ま え が き

近年製鉄所では生産性向上のため、高炉の大型化、高圧化が進んでいる。これにともない高炉の炉頂から排出される高炉ガス（以下Bガス）も多量で、このガスの保有するエネルギーは非常に大きなものになっている。Bガスが保有するエネルギーは反応熱に代表される化学的エネルギーと、圧力、温度などの物理的エネルギーがある。前者は熱量的に大きく、従来より製鉄所の主要熱エネルギー源として、種々の熱設備で有効利用されている。このエネルギーは最近、燃焼効率向上で著しい成果を生み、利用価値を高められている。一方後者の利用技術は遅れたが、省エネルギーの見地より着目され、このエネルギーを電力として回収する高炉炉頂圧発電設備が急速に脚光を浴びてきた。本設備のタービンは、現在、軸流機と輻流機の2種類が実用化されている。軸流機の開発は Brown Boveri Sulzer Turbomachines (B.S.T.)社とソ連が代表的で、B.S.T.社は250~300馬力のテストタービンを Cockerill-Ougree-Providence に1967年6月に設置したがその後開発を中止した。ソ連は乾式の燃焼式タービンで成功し、1968年12月 CHEREPO-VETS 製鉄所で実用材を稼働させた。わが国では1976

年9月¹⁾ 新日本製鉄(株)名古屋製鉄所第3高炉で初めて稼働した。一方輻流機は Sofrair 社(仏)が1969年 Wendel Sidelor 製鉄所で300kWのテストタービンを成功させたのが最初である。実用機は、川崎重工(株)の技術導入により、1974年10月²⁾ 川崎製鉄(株)水島製鉄所第2高炉で稼働した設備が1号機である。いずれも稼働以来順調な運転を続けている。またタービンの被駆動機は使いやすい電力として回収する発電機がほとんどであるが1977年 Usinor 製鉄所では高炉用送風機を被駆動機とする設備が稼働している。

2. 高炉ガス集塵装置と発電設備の構成

Bガスは約800kcal/Nm³の発熱量があり、炉頂排出時は多量のダストを含んでいる。Bガスは製鉄所の燃料として使用するため、ダストキャッチャー、ベンチュリースクラバー、電気集塵機などで構成されるガス清浄装置で、段階的に除塵され、最終的に5mg/Nm³以下の含塵量となる。これらの集塵装置は性能的に安定しており、特にダストキャッチャー、ベンチュリースクラバーは国内ではほとんどの高炉に採用されている。ベンチュリースクラバーは湿式のため、結果的にBガスの温度は約120°Cから約40°Cまで冷却され、ガスの持つ顕熱

* 昭和53年7月7日受付 (Received July 7, 1978)

** 川崎製鉄(株)水島製鉄所 (Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasakidori Mizushima Kurashiki 712)

を失っている。また、ガス中の水蒸気は飽和となり、しかもミストを同伴し燃料価値を低下させている。

高炉の高圧操業は高炉の送風機の吐出圧を上げる一方ガス流にセプタム弁等を設けて調節することにより行なわれ、炉頂圧は $1.5 \sim 2.5 \text{ kg/cm}^2$ 程度である。セプタム弁下流圧力は、Bガスの需給調整を行なうガスホルダーの圧力で決定される。この圧力は構造上 $0.05 \sim 0.08 \text{ kg/cm}^2$ と低圧である。セプタム弁で減圧される圧力差は比較的小さく、ほとんどの高炉ではこの減圧エネルギーを回収されないままであつた。これに対し、セプタム弁の代りに膨脹タービンを設置してBガスの持つエネルギーを運動エネルギーに変換させ、電気エネルギーとして取り出したのが高炉炉頂圧発電設備である。Photo. 1に設備全景を示した。本設備で回収されるエネルギーは湿式集塵機後のガス温度の低い場合でも、高炉送風機が

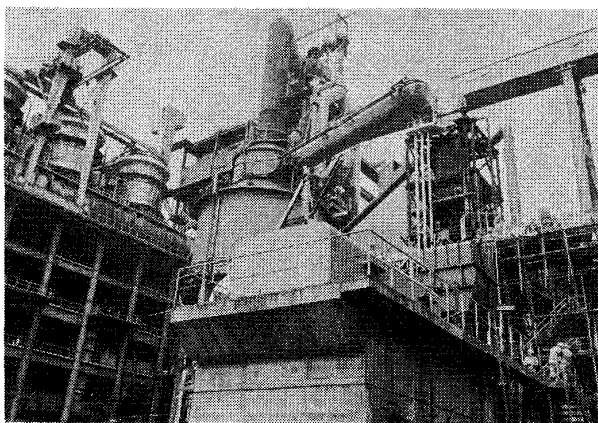


Photo. 1. General view of the top gas pressure recovery turbine plant at Mizushima works.

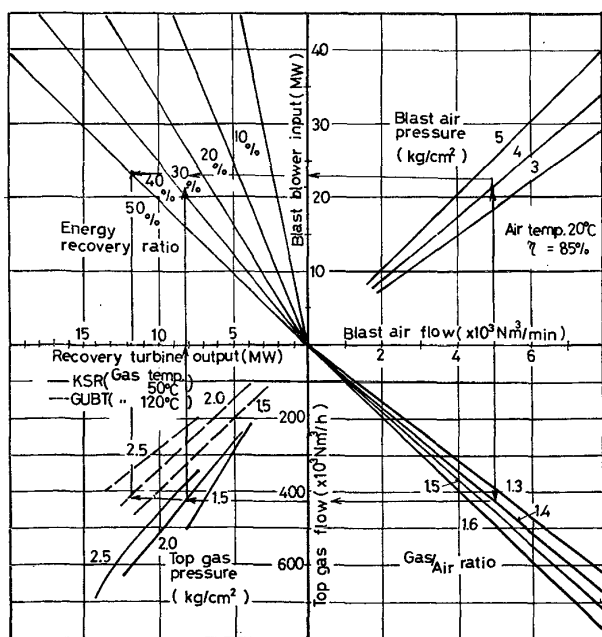


Fig. 1. Blast furnace gas energy recuperation.

消費する入力エネルギーの $25 \sim 30\%$ に達する。Fig. 1に高炉送風機に対するエネルギー比率を示す。これによると理論的には約 $5000 \text{ Nm}^3/\text{min}$ の送風量の高炉では回収電力は $8000 \sim 9000 \text{ Kw}$ となり回収比率は 35% 期待できる。現実には、全量ガスを回収することが少く、送風機入力も高効率点からはずれて入力が大きくなり回収比率は低下する。またBガスを高炉排出時の温度で回収すれば、理論的には回収比率は約 50% 近くに増加する。高炉炉頂圧発電設備は一般的な火力発電、水力発電に比較して、ボイラ、ダムなどに代表される高価な付帯設備を必要とせず、小型発電設備として初期投資が少ない。また特別に補助燃料も必要とせず発電原価は安くなる。このため発電設備として、経済的に成立つにはまず、長期連続運転が可能であることである。連続運転のため、Bガス中に含まれるダストによるタービンの摩耗および目詰り防止対策が必要である。これにはダスト集塵方式の確立とタービンでのダスト対策がある。集塵方式は現状設備の構成より特に優れたものがなく、現在までこの集塵装置を前提としたタービンのダスト対策開発が主流となつている。現在稼動中のものはいずれもBガス中のダストミスト対策に特別な方策を採用したものである。今後は経済性をさらに高めるため、効率向上対策や高炉操業条件に対して広い範囲で高い発電量を発生することが必要で、新しい機種が開発されつつある。またBガス集塵設備も含めて、現行の集塵のためのBガス顕熱損失をなくするため、新たに、高温ガス用乾式集塵設備も見直されることになる。なお、被駆動機は同期発電機が採用されているが今後小型発電設備には誘導発電機の採用も考えられる。

3. 設 備

発電設備は、製鉄所の必臓部である高炉の付帯設備として、高炉の操業に悪影響を与えないこと、および高出力の発電をおこなうことを基本としている。このため、万一の事故が発生しても、すぐ安全に高炉作業から切離せること、ガス漏れがないこと、長時間の連続運転に耐える単純で堅牢な設計であることなどが必要である。発電設備は KSR 型 (Kawasaki Safrair Radial Turbine) とソ連の GUBT 型 [Gazovue Utilizachionnwl Beskompresornwe Turboagregapw 略 GYBT (gubt と発音)] があり現在国内で稼動中の設備を Table 1 に示す。(試運転中含む)

3.1 設備の構成

発電設備は炉頂圧制御弁であるセプタム弁のバイパス位置に設置する 경우가一般的で、ガス流に沿つて、入口

Table 1. Reference list of top gas pressure turbine plants in Japan.

Type	Plants	Turbine type	Turbine inlet press. (kg/cm ²)	Turbine inlet temp. (°C)	Turbine gas flow (Nm ³ /h)	Rated output (kW)	Date of installation
Radial turbine	Mizushima 2BF	KSR-90	2.34	55	360 000	8 000	Oct. 1974
	Fukuyama 4BF	KSR-90	2.41	50	460 000	9 500	Dec. 1975
	Mizushima 4BF	KSR-130	2.42	55	610 000	13 000	Oct. 1976
	Kure 1BF	KSR-90	2.32	60	437 000	9 600	Nov. 1976
	Kakogawa 3BF	KSR-130	2.61	55	679 000	14 500	May 1978
	Kashima 3BF	KSR-60	2.25	55	675 000	12 500	June 1978
	Mizushima 3BF	KSR-90	2.36	55	445 000	9 500	Sep. 1978
Axial turbine	Nagoya 3BF	GoBT-12	2.1	120	360 000	11 300	Sep. 1976
	Chiba 6BF	GUBT-12 (2 plants)	2.8	140	340 000	12 000	April 1978
	Kashima 2BF	GUBT-12	1.75	140	300 000	8 200	July 1978

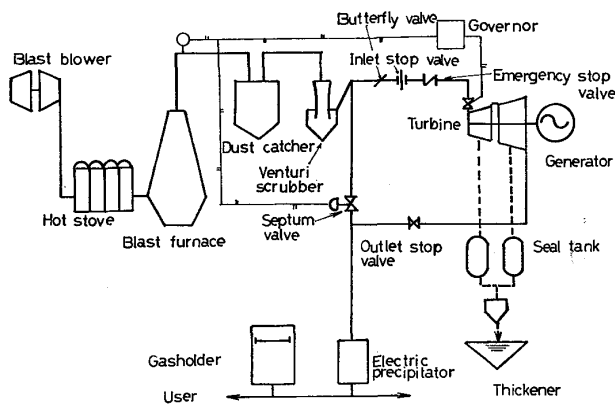


Fig. 2. Top gas pressure recovery turbine gas flow of K.S.R. with septum valve in parallel.

止弁, 危急遮断弁, 调速弁, 膨脹タービン, 出口止弁で構成される. Fig. 2 に KSR 型発電設備の代表的な系統図を示す. また発電設備によつてはガス清浄装置に炉頂圧制御も可能な R.S.W (Ring Slit Washer) を設備する例³⁾があり, 複数の Ring slit element と称する一種の可変スロート部の開口面積を調整して炉頂圧力を制御している. この場合, タービン運転時はタービンの前圧 (R.S.W. の背圧) を上昇させ, 除塵に必要な最低差圧になるよう R.S.W. の差圧を低下設定し, R.S.W. の炉頂圧力制御とタービンの前圧制御の協調制御を行なう. この方式ではタービン停止時にそなえてバイパス弁が必要となるが, この時, タービン入口圧力がガスホルダー圧力まで低下するため, 入口止弁はガス高圧下での開閉を必要とせず, 入口バタ弁を省くことができる.

Fig. 3 に KSR 型タービンと R.S.W. を組合せた代表的な系統図を示す.

GUBT 型のものは, 基本的に KSR 型と変ることがないが, タービンへの流入ガスを Wet ガスとしないため, タービン入口にガス昇熱用のガスヒータを設ける. ガスヒータは主燃料として B ガスを使用し, パイロット

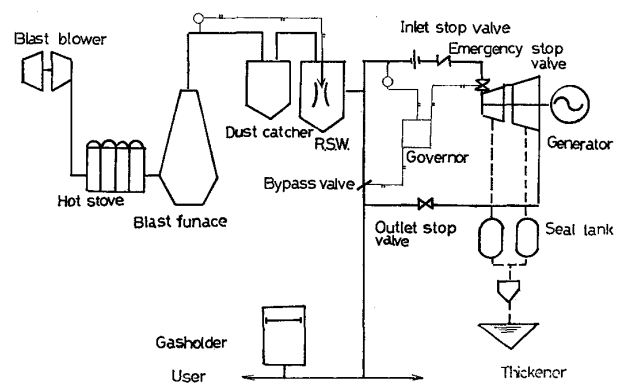


Fig. 3. Top gas pressure recovery turbine gas flow with R.S.W. in series.

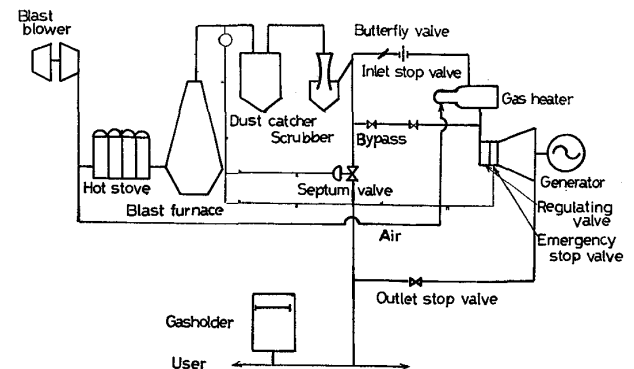


Fig. 4. Top gas pressure recovery turbine gas flow of GUBT type.

用燃料としてコークス炉ガスや LPG などを使用する. またタービンの起動時のガス昇熱用のため昇熱ガスをバイパスするようになってい. ガスの燃料空気として高炉送風機からの圧縮空気を利用するのが特長である. 代表的な系統図を Fig. 4 に示す.

3.2 設備の特色

3.2.1 K.S.R. 型タービン構造の特色

KSR 型はガス中の含塵量が比較的多量の 100mg/Nm³ 以下で, しかもガスを湿り状態で流入させる特色

がある。作動ガスが湿りガスのため、タービン内でガスの膨脹中に放出される水の凝縮熱はガスへ移され、ガスを膨脹させる。このためガスの温度降下を減少させ、タービン内での氷結防止を行なう。また凝縮水はタービン内でのダストを除去する役割を持つ。作動流体がダスト、ミストを含むために生ずる摩擦および目詰りを防止するため、タービン型式としてラジアル求心型膨脹タービンを採用し、次のような特色をもっている。

(1) 車室と翼のすき間を大きくし、目詰り防止上羽根なしノズルとしている。

(2) ガスは自由渦流れで渦巻型車室にそつてローター中心に流れるが重いダスト、ミストなどは遠心力で翼の外に放出され、翼の摩擦を防ぐ。また異物混入などがあつても翼に流入することがなく、事故の拡大を少くする。

(3) 翼は直線放射形状で翼内部に流入するダストを付着しにくくしている。

(4) ダストおよびミストはガスの遠心力により車室外周部に集まり、重力と遠心力から設計した特殊な形状のスワンネックより排出する。

(5) 翼に付着するダストを除去するため、シュラウド面、円板面、翼通路部にそれぞれ水噴射を行なう。

(6) ダスト、ミスト除去効果があり、一種の集塵機能を持ち、その効率は 60~70% である。

(7) 調速弁はタービン車室に内蔵され、渦巻型の車室にそつて設計したフラップ弁で圧損が少く、しかもタービンの部分負荷特性がよい。

(8) 有毒な高炉ガスを完全シールするため、車室グランドは静圧および動圧の二重の水封装置を設けている。

Fig. 5 に 1 段側翼断面図を、Fig. 6 に軸断面図を示す。

3.2.2 GUBT 型タービン構造の特色

GUBT 型は軸流型を採用しているため、輻流機に比べて約 10% 効率がよく発電設備として出力が増加する。しかし、ダスト、ミストは流路上そのまま翼に衝突し、摩擦しやすい。しかも輻流機に比較し、すき間が小さいため目詰りしやすい。このためダスト、ミストの許容値が少なく、含塵量は $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下、ダスト粒径 0.05 mm 以下、ミスト量 0.5% 以下となつている。特色として、次の点があげられる。

(1) 軸流機で危急遮断弁、調速弁を車室に内蔵しているため、コンパクトであり、重量が軽く、保守が容易である。

(2) 軸流 1 段の静翼が可変で静翼角度を調整するこ

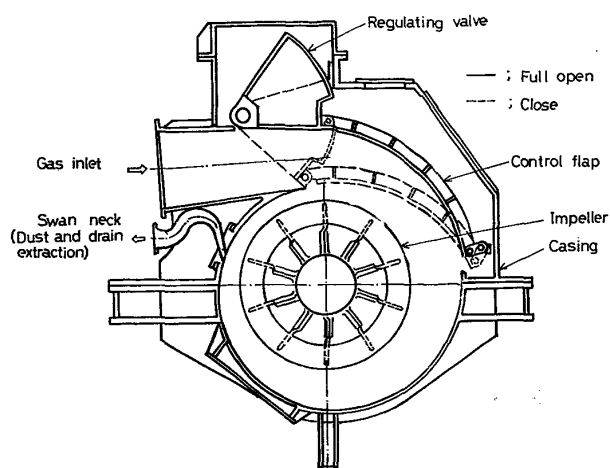


Fig. 5. Cross section of KSR type turbine.

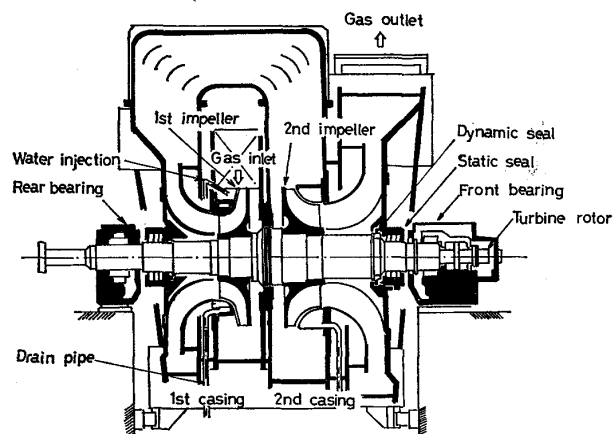


Fig. 6. Cross section through the assembled turbine.

とにより、高炉のガス条件（圧力、流量等）に幅広く効率のよい発電が可能となつている。

(3) ガス漏れ防止は、中空車軸より窒素を流入させラビリンスと窒素シールで安全性を高めている。またタービン各部のフランジ部からの漏洩ガスは特殊設計フランジからエジェクターで大気へ排出する。

(4) タービン内部でのガスの膨脹過程でもドレンが発生しないよう、流入ガスを約 50°C から $120\sim 140^\circ\text{C}$ まで加熱する。タービンのドレン処理装置が不要でシンプルである。

(5) B ガス加熱のため、流入ガスの約 3% のガスを燃焼混合させるため B ガスの熱量は約 5% 低下する。しかし、B ガスの燃焼エネルギーのため発電出力は加熱しない方式に比べて増加する。

Fig. 7 に GUBT 型のタービン断面図を示す。

3.2.3 タービン特性

KSR 型および GUBT 型発電設備はいつでも個々の

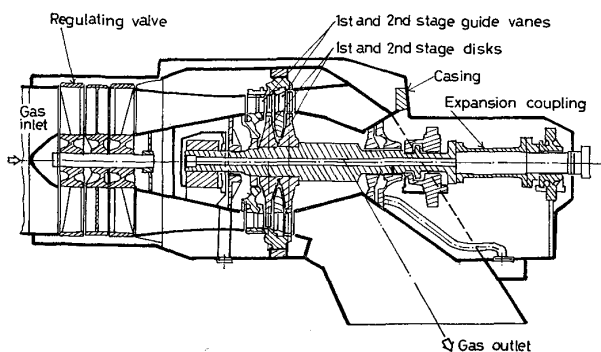


Fig. 7. Cross section of GUBT type turbine.

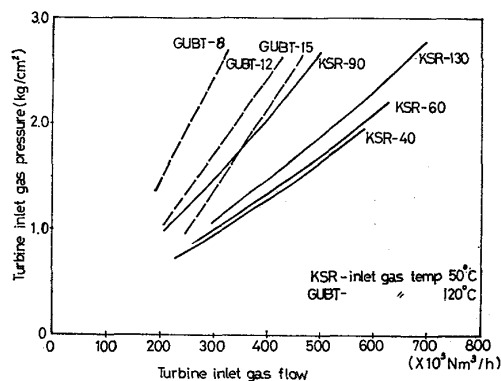


Fig. 8. Top gas pressure recovery turbine performance of gas flow vs. inlet gas pressure.

高炉のガス条件に適合すべく種々の標準型式を定めている。例えば KSR 型は 40 型, 60 型, 90 型, 130 型などがあり, GUBT 型は 8 型, 12 型, 15 型などがある。発電設備は高炉操業条件にいかに関与した機種を選択できるかが, 経済性を高める重要因子である。軸流機は静翼可変でガス条件に対する適応が広い。KSR 型はこれに対し, タービン設計は標準機種を基本とするが車室比などを変え高炉仕様に合うようオーダー設計している。Fig. 8 に代表的機種のガス量と入口圧力の関係を示す。KSR 型では 90 型, 130 型が 2 段タービンで比較的高圧高炉に適するもので, 40 型, 60 型は単段タービンで比較的低圧高炉に適する。GUBT 型は入口ガス温度が高いが, KSR 型に比較して, 入口ガス圧力に対する流入ガス量が少ない。このため大型高炉には 2 基を併用して設置する例がある。回転数は基本的に GUBT 型が 3000rpm, KSR 型が 1800rpm であるが KSR 型は 40 型, 60 型で高速化する例があり, 40 型では 2500 rpm で 90, 130 型の断熱効率が 70% 前後に対し約 80% 近くまで効率向上させ, 軸流機の効率に近づけている。Fig. 9 に KSR 型の各機種の出力線図を示す。KSR 型 GUBT 型ともそれぞれ特色を持つため, これらの機種

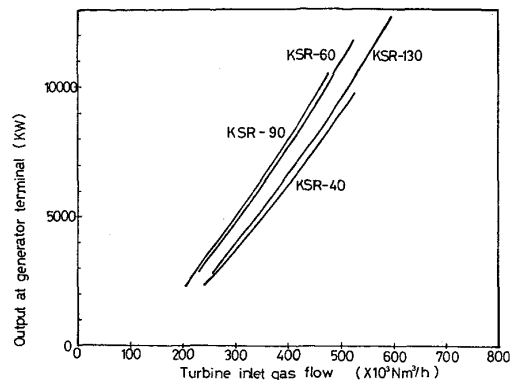


Fig. 9. Top gas pressure recovery turbine performance of gas flow vs. output.

集塵システムと性能, 設備投資額, 副生ガス評価, 電力, ガスの需給状況など総合的な評価がされる必要がある。最近, KUBT 型軸流機の効率と非燃焼方式の KSR 型の湿りガスに着目して, 互いの長所をとらえた湿式ガスでの軸流機の開発が国内の数社で行なわれ, 既にテストプラントにも成功させ, 実用機の稼動も近づいている。また現在経済性の高い大型高炉の発電設備が優先され, 機種が少ないが今後は小型高炉用の機種の開発が行なわれる動向にある。

3.2.4 タービン運転制御

タービンの運転制御は, 外電との併列運転が可能で, 高炉ガスの保有するエネルギーを最大限回収するという目的のほか, 限られた高炉の運転員が安全で確実な操作ができ, しかも, 高炉の炉頂圧制御の外乱とならないための機能を持っている。KSR 型および GUBT 型とも制御の本質は変わることがないため代表的な例として KSR 型の制御装置について述べる。KSR 型の制御は電気ガバナーで行なわれ, 制御装置は以下の機能によつて構成される。タービンの制御系統図を Fig. 10 に示す。

- (1) タービンの運転および保安上必要な機能
 - (a) 負荷制限 (起動, 停止時の回転数の増減と外電併列時の調速弁開度一定運転時に用いる。)
 - (b) 回転数制御 (タービン単独運転時に用いる。)
 - (c) 負荷制御 (外電との併列運転時の出力増減および出力制御に用いる。)
 - (d) 最大負荷制御 (タービンおよび発電機の過負荷防止に用いる。)

これらはいずれも発電設備として最低の機能である。

- (2) 高炉操業との協調制御に必要な機能
 - (a) 流量制限 (炉頂圧力制御をセプトム弁で行なうに必要な最少ガス量を確保するため, タービン流入ガスを制限するために用いる。)
 - (b) 前圧制御 (タービンで炉頂圧制御するために用

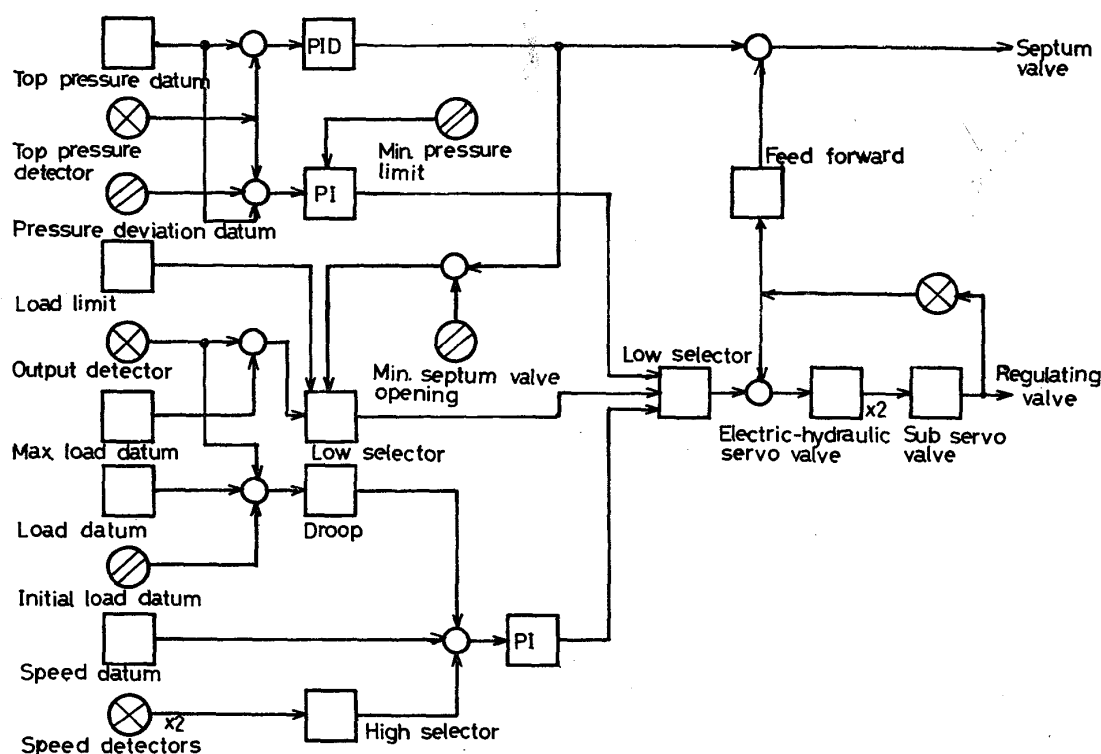


Fig. 10. Control diagram of KSR type turbine plant.

いる.)

高炉ガス流量は高炉の操業条件の変化や原料投入時等の原因で発生量が変動する。セプタム弁は流量変動に対して、ある設定炉頂圧力になるよう制御する機能を持っている。タービンの発電量を増加させるためには、タービン流入ガス量を増加させる必要があるが、セプタム弁の通過ガス量は逆に減少し、ついには全閉になる。この場合、セプタム弁での炉頂圧力制御機能が全く失われるため、タービンで炉頂圧力機能を持たせる必要がある。この制御機能を前圧制御と称している。炉頂圧制御をセプタム弁とタービンで行なうため、タービンにはセプタム弁の炉頂圧設定器の設定値に対し、それよりもわずかに低い設定値で制御させ、それぞれの制御が干渉することなく円滑に制御を切替えるようにしている。

以上の制御機能は重要部にバックアップ機能を持ち、しかも、炉頂圧制御と発電のため優先するものを低位選択器で電気的に選択する。選択された制御モードのみが電気-油圧変換器に入り油圧で调速弁を作動させるようになっている。

(3) 炉頂圧力の突上り防止に必要な機能

(a) フィードホワード制御

タービンが運転中、電気的な故障時は一般的に負荷遮断で、タービンの故障時はタービントリップとなる。この結果タービンは無負荷運転またはタービン停止とな

る。この時、瞬時にタービン通過ガス量は零になる。Bガスは急激にせき止められ炉頂圧力が上昇する。この圧力上昇を検出してセプタム弁が開動作をするが、セプタム弁の応答の鈍さから炉頂圧力が過渡的に上昇する。これを防止するため、負荷遮断またはタービントリップと同時に故障前のタービン通過ガス量に応じたフィードホワード信号をセプタム弁に送って、セプタム弁を最適開度に開ける動作を行なわせる。

4. 試運転と運転経過

4.1 試運転結果

4.1.1 負荷試験

代表的な例として、川鉄水島 2BF (KSR-90 型)、同 4BF (KSR-130 型)、川鉄千葉 6BF (GUBT-12型×2基)、新日鉄名古屋 3BF (GUBT-12型) の負荷試験¹⁾²⁾⁴⁾ (いずれも官庁試験)結果を Table 2 に示す。いずれの発電設備とも発電機の定格力まで確保できていないが、これは高炉操業条件が当初予定していた設計条件を下まわっているためである。

効率低下となるものにガス中に含まれるミストがあり KSR 型で 20g/Nm³ のミスト量で約 5% の出力低下が実測されている。

4.1.2 負荷遮断試験

水島 4BF での全負荷遮断時 (出力 10950kW) のオ

Table 2. Test running results.

Items	Mizushima 2BF	Mizushima 4BF	Chiba 6BF	Nagoya 3BF
Turbine type	KSR-90	KSR-130	GUBT12×2	GUBT-12
Top gas pressure (kg/cm ²)	1.9	2.4	2.5	2.6
Inlet gas pressure (kg/cm ²)	1.74	2.23	2.15	2.2
Inlet gas flow (Nm ³ /h)	340 000	558 000	608 700	350 000
Inlet gas temperature (°C)	54.6	54.4	120	126
Outlet gas pressure (kg/cm ²)	0.1	0.08	0.1	0.1
Output (kW)	6 540	10 950	19 940	10 800
Rated output (kW)	8 000	13 000	24 000	11 300

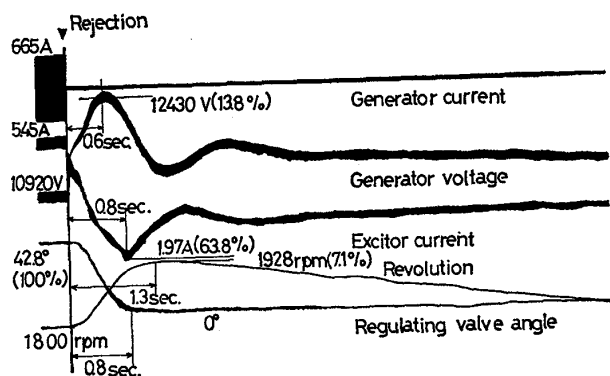


Fig. 11. Full load rejection test record (10 950 kW).

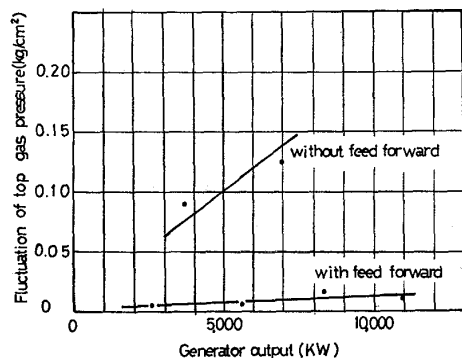


Fig. 12. Test results of load rejection with and without feed forward control.

シログラフを Fig. 11 に示す。負荷遮断により 0.8 s で調速弁は全閉となり、発電機の回転数は 1 800 rpm から 1.3 s 後に最大 1 928 rpm まで上昇し、15.6 s 後には 1 800 rpm に整定する。回転数上昇率は 7.1% で過回転規定値 11% に対し十分余裕を持っている。Table 3 に負荷遮断時の状況を各項目について数値的に示した。炉頂圧は 2.40 kg/cm² から 2.41 kg/cm² と 0.01 kg/cm² 上昇する程度でフィードホワード制御により圧力の飛び上りが少くなっている。この飛び上りはガス発生量とタービン流入ガス量の割合にも関係するが、フィードホワード制御を行なうか否かで相当変化する。Fig. 12 に発電量による炉頂圧飛び上り量の実測データを示す。出力が大きくなると、発生ガスに対するタービン流入ガス

Table 3. Full load rejection test results (10 950 kW).

Items	Test initiated	Speed peak	Speed recovery
Speed (rpm)	1 800	1 928	1 800
Speed increase (%)	—	7.1	0
Time (sec)	—	1.3	15.6
Voltage (V)	10 920	12 430	11 330
Voltage increase (%)	—	13.8	3.78
Generator current (A)	665	0	0
Frequency (Hz)	60	74.6	60
Frequency current (%)	—	7.67	0
Excitor current (A)	5.45	1.97	3.20
Power factor (%)	0.87	1.0	1.0
Turbine inlet pressure (kg/cm ²)	2.23	2.34	2.34
Turbine outlet pressure (mmH ₂ O)	830	400	600
Turbine gas flow (×10 ³ Nm ³ /h)	558	143	143
Regulating valve angle (deg.)	42.8	0	4
Top gas pressure (kg/cm ²)	2.4	2.41	2.4
Septum valve opening (Control valve) (%)	54	67.5	—
Septum valve opening (Range valve) (%)	0	1.2	—
Septum valve opening (Manual valve) (%)	15	—	100
Control oil pressure (kg/cm ²)	29.8	28.2	30

量比率が増加するため、フィードホワード制御は不可欠の保護装置となつている。

4.2 運転実績

4.2.1 発電出力と稼働率

国内で最も実績のある水島 2BF 用発電設備について、1974 年 10 月より 1978 年 3 月までの運転実績を Fig. 13 に示す。稼働時の平均出力は 5 260 kW で認可出力に対して 81% の負荷率である。稼働率は平均 85% で、運転時間は約 26 400 h に達している。また月単位の稼働率では max 99.9%, min 41.8% である。本設備は法的にガスタービン適応となつているため、毎年 1 回の定期検査を必要とする。2BF 用発電設備は毎年秋に定

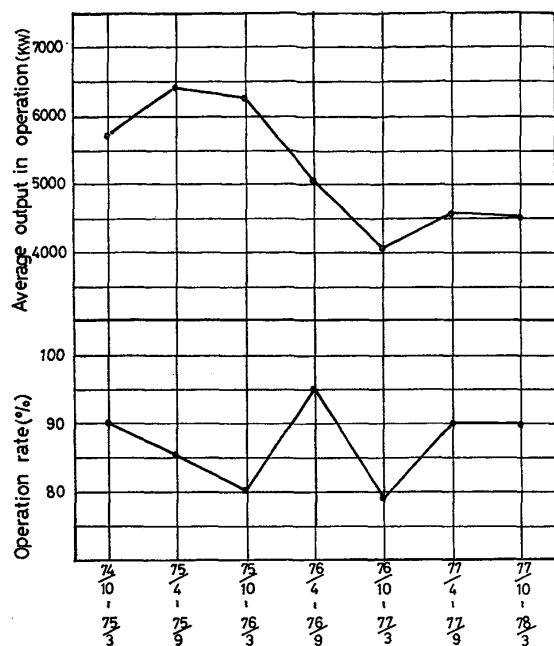


Fig. 13. Actual data of the first plant.
(Mizushima No. 2 BF)

期検査を行なっているため、この期間の発電量および稼働率は低下する。定期検査期間は1号機でもあり、当初は20日間で実施していたが、その後作業能率の向上もあり、2週間程度となつている。

故障停止原因は本設備個有のものは少なく、初期におけるダストかみ込みによる危急遮断弁作動不良とダスト付着による振動発生程度である。危急遮断弁は第1回の定期検査期間を利用して改造したためその後の問題は発生していない。

一方名古屋製鉄所3BFの発電設備の実績¹⁾では1976年10月より1977年5月までの8ヶ月で、定期検査のない期間であるが月平均稼働率約85%、稼働時平均発電出力約6800kWで認可出力に対して63%の負荷率となつている。

製鉄所の発電設備は副生ガスを主燃料とする火力発電があるが、事業用大型発電設備に比較してスケールの小さく、発電効率も劣る。このため事業用発電設備から電気を購入する方が時間帯によつて得になり、自家発電の経済抑制を行なうケースが増加している。このため火力発電と炉頂圧発電との同一レベルでの稼働率比較はできないが昭和50年実績²⁾で炉頂圧発電は稼働率で火力発電に劣ることはなく発電量に対する自己消費電力量が低く有利となつている。

4.2.2 水噴射と効果

水噴射による出力ロス水量と噴射位置によつて差があるが、水量25t/hで4~5%になる。水島2BF用発電設備は当初から水噴射なしの運転を継続しており、

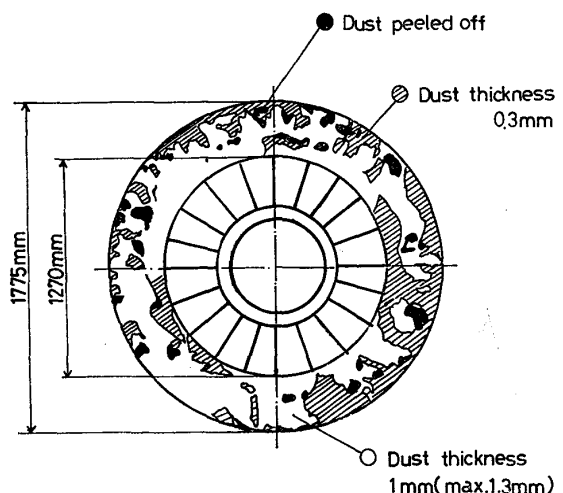


Fig. 14. Dust adhesion of first stage impeller.

ダストの付着は全面に厚さ0.5mm~1.0mmでセメント状で、ある程度付着すると剥離する繰り返しを続けていた。振動値は片振幅で5μ以下におさまる順調な稼働を続けている。しかし、ダスト条件が急激に変化すると剥離部にアンバランスを生じ、振動の原因となる。Fig. 14に1段階側シュラウド面のダスト付着状況を示す。この剥離状態では振動値は通常の3~4倍になり、アンバランス量としてインペラ先端部で約1300gになる。一方水噴射を継続するとダスト付着はほとんどなく、振動も非常に小さい。水噴射は振動値より判断して実施するか、または定期的の実施するバッチ式噴射が効果的である。

5. あとがき

炉頂圧発電設備は現在まだ稼働実績も短く、技術開発途上でもあり、十分に確立した分野ではない。今後はさらに信頼性の高い設備で、高炉操業の持つ流動要素に対して幅広く高い発電を行なう、より経済的な発電設備が設置される予定である。また本設備は公害上、環境汚染は全くなく、騒音レベルが低下するなどの利点も評価されている。

鉄鋼業で消費されるエネルギー量に比べ、本設備の発電量はわずかであるが、省エネルギー活動の高まりを背景に広く普及するものと思われる。

文 献

- 1) 松崎寿夫, 須沢昭和, 阿部幸弘: 鉄と鋼, 第94回講演概要集 (1977), p. 76
- 2) H. FUJIMORI and M. INUBUSHI: Iron and Steel Engineer, (1976) October, p. 51~60
- 3) 山本 肇, 西山 治, 尾崎年春: 川崎技報, (1976) 8月, p. 38~46
- 4) 藤本芳男, 小播晃志, 中嶋由行: 鉄と鋼, 第93回講演概要集 (1977), p. 73
- 5) 鉄連動力委員会, (第13回技術専門委員会), (1977) 自家発調査