

## 高炉ガス乾式除塵設備の開発

技術報告

浅井 武二\*・望月 顕\*<sup>2</sup>・横井 毅\*<sup>2</sup>  
 藤原 利久\*<sup>2</sup>・小野 義之\*<sup>2</sup>・高和 正\*<sup>2</sup>

## Development of Blast Furnace Gas Dry Cleaning System

Takeji ASAI, Ken MOCHIZUKI, Takeshi YOKOI,  
 Toshihisa FUJIWARA, Yoshiyuki ONO, and Tadashi TAKAWA

## Synopsis :

Recently, top gas pressure recovery turbine units have been installed in most steelmaking plants for energy saving purpose. In Kokura steel works, a wet axial flow turbine was installed at No. 2BF in March, 1979. This unit has been working satisfactorily and consuming less energy. Furthermore a development was made on the Blast-furnace Gas Dry Cleaning System (BDC) and the wet axial flow turbine was reconstructed. After the small bagfilter test and several other kinds of tests at the pilot BDC unit on the same scale as the new commercial unit, the BDC unit was installed at No. 2BF in Kokura steel works in March, 1982. This unit is working satisfactorily. At the same time the wet axial flow turbine was converted to the dry axial flow turbine. This system resulted in the power increase of about 45% compared with the conventional one.

## 1. 結 言

近年製鉄所では、高炉の高圧化が進み、これに伴い高炉の炉頂から排出される高炉ガス（以下Bガスと呼ぶ）の保有する圧力、温度等の物理的エネルギーは非常に大きなものになっている。

省エネルギーの見地より、このエネルギーの利用技術が着目されるようになり、これを電力として回収する高炉炉頂圧発電設備（以下TRT：Top Pressure Recovery Turbineと呼ぶ）が急速に脚光を浴び、現在では大半の高炉に設置されるようになった。

小倉製鉄所においても、1979年3月に湿式軸流TRTが設置され、その後順調に稼動、発電を行い省エネルギーに大きく貢献している。

今回、TRTの次期ステップともいえるBガスを乾式で除塵する高炉ガス乾式除塵設備（以下BDC：BF-gas Dry Cleaning System）の開発に取り組み、小型バグテスト及び実機スケールのパイロットプラントによる各種テストの後、実機のBDCが1982年3月に稼動を開始するに至った。以後順調に立ち上がり、TRTの出力も当初の計画どおり大幅に向上している。以下、その内容について報告する。

## 2. 開発目的及び開発経緯

## 2-1 開発目的

我が国において、高炉の炉頂圧回収タービンは、1974年に湿式軸流タービンが稼動を開始して以来、現在では大半の高炉に設置されている。タービンの形式も、軸流タービン化し、効率も80%以上を示している。

一方、高炉ガス温度は、リングスリットワッシャー（以下RSWと呼ぶ）、ベンチュリースクラバー等により湿式除塵されるため、40~50°Cに低下し、顕熱は大半が集塵水に捨てられ、また、除塵設備により圧力も大幅に損失している。

今回小倉製鉄所でこの高炉ガス顕熱及び圧力損失分をTRTにより回収するべく、BDCを開発した。このBDCの開発及び乾式TRTの可変翼制御により、タービンの出力は、40~50%増加する外、現状の除塵設備に比べ、大幅な省電力を図ることができる。

## 2-2 開発経緯

除塵設備として、Table 1, に示す4方式を開発対象として、比較検討した。乾式EPは、設備費が大で、保全性も良くない。マルチサイクロンは圧損大で集塵効率も悪い。充填層式は、ろ過層通過によるガス温度低

昭和57年9月本会講演大会にて発表 昭和57年3月17日受付 (Received Mar. 17, 1982)

\* 住友金属工業(株)本社 (Head Office, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

\*<sup>2</sup> 住友金属工業(株)小倉製鉄所 (Kokura Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1 Konomimachi Kokurakita-ku Kitakyushu 802)

Table 1. Comparison of cleaning method.

	Dry EP	Multi Cyclone	Sand filter	Bag filter
(1) Precipitation efficiency (Outlet dust)	10 mg/Nm <sup>3</sup>	20~30 mg/Nm <sup>3</sup>	5~30 mg/Nm <sup>3</sup>	<10 mg/Nm <sup>3</sup>
(2) Pressure drop	30~60 mmAq	1 000~1 400 mmAq	400~600 mmAq	200 mmAq
(3) Heat resistance	<400°C	<400°C	<350°C	<250°C
(4) Maintenance	poor	good	poor	good
(5) Cost of plant (BF 2 000 m <sup>3</sup> class)	high	middle	middle	low
(6) Problems	Precipitation efficiency changes for the worse with gas temperature and gas volume variations	Precipitation efficiency is poor and pressure drop is great	There are some problems about high pressure sealing and maintenance	Heat resistance is low and gas temperature control is necessary

下、ろ過砂の再生困難等の問題が予想されたため、開発案として、圧損も小さく、集塵効率も良いバグフィルター方式を採用した。なお、バグフィルター方式は欧州の普通圧小型高炉で、まずまずの実績があり、これらを調査したところ、高圧大型高炉にも十分、適用できることを確信した。

バグフィルター方式の開発に際し、問題となる点は大別すると以下の3点であつた。

- (1) ガス温度制御装置及びシステム
- (2) ろ布の材質、耐久性、集塵性能の維持方法
- (3) BDC+TRTでの炉頂圧制御システム

これらの問題点を解決するため、小型バグによる事前テストを実施後、実機規模のパイロットプラントによるテストを経て、今回実機が稼動したものである。

### 3. パイロットプラントによるテスト

#### 3.1 テストの目的

バグフィルター方式の問題点として挙げられたガス温度制御及びシステムと、ろ布の材質、耐久性については

少なくとも事前にテストし解決する必要があつたので、小型バグ及びパイロットプラントによる、ろ布耐久性テスト、集塵性能テスト、ガス温度調整テストを実施することにした。なお、BDC+TRTでの炉頂圧制御システムについては並行して机上検討を行つた。

#### 3.2 テスト設備フロー

Fig. 1 にパイロットプラントによるテスト設備フローを示し、Table 2にパイロットプラント設備仕様を示す。また、Photo. 1 にパイロットプラントの写真を示す。

本テスト設備は、実機5チャンバーに対し、実機スケールの2チャンバーを有するテストプラントである。

さらに、炉頂温度上昇時対策として、ダストキャッチャー(以下DCと呼ぶ)にスプレー装置を取り付けている。

#### 3.3 テスト内容及び結果

パイロットプラントによるテストについては、その結果が、実機に反映させられるように、次に示す主な6項目について、調査を行つた。

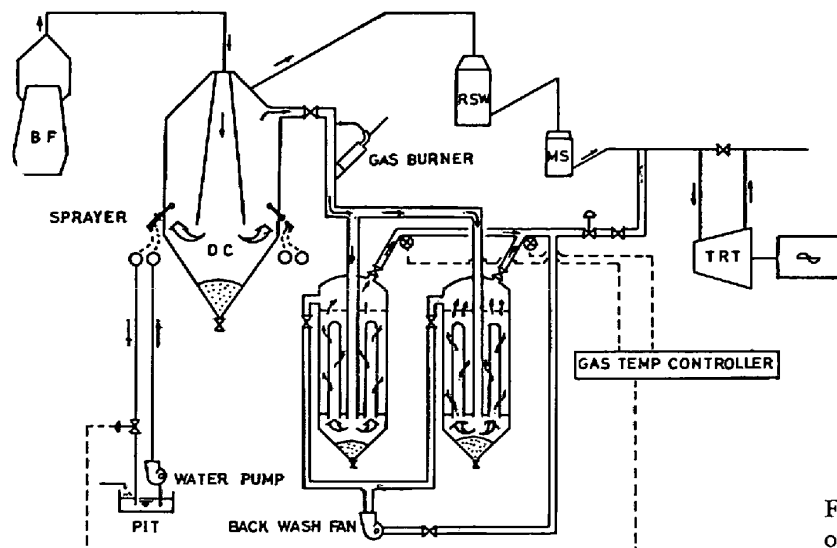


Fig. 1. Flow sheet of pilot BDC unit.

Table 2. Specification of the pilot BDC unit.

Items	Specification
(1) BF-gas flow rate	65 500 Nm <sup>3</sup> /h
(2) Bag chamber	3.5 mφ×20 mH×2 chambers
(3) Bag filter	300 mmφ×10 mH×46 bags/chamber
(4) Water spray nozzle	return-type 25 nozzles Pressure 35 kg/cm <sup>2</sup> flow rate 36.5 t/h
(5) Gas heating burner	heating from gas temp ≤60°C

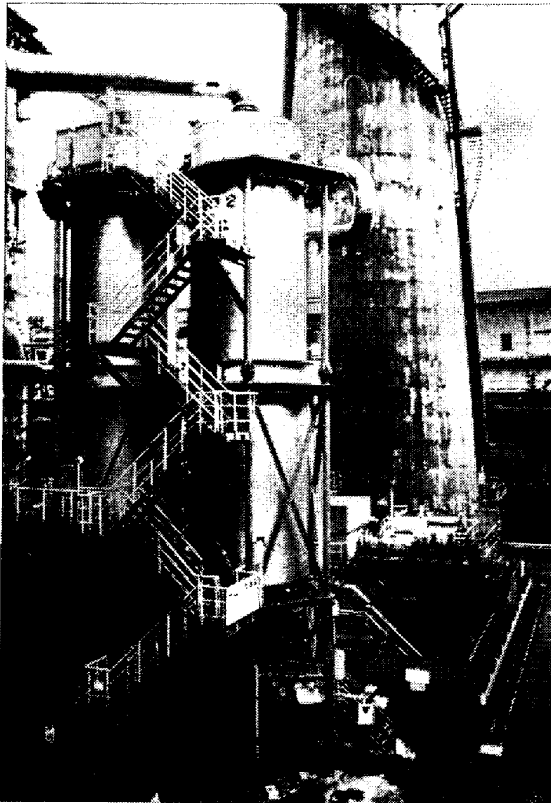


Photo. 1. Pilot BDC unit.

- (1) ろ布の耐久性の確認
- (2) 除塵能力の確認, 圧力損失との関係チェック
- (3) ろ布のダスト払い落とし, 逆洗インターバル及び逆洗時間の確認
- (4) 除塵後のダスト排出に関する問題点把握
- (5) 温度制御技術の確立
- (6) 露点に達させないための高炉ガス予熱技術の確立

以下に, テスト結果を示す。

### 3.3.1 ろ布の耐久性

パイロットプラントによる, 実証試験を行う前に予備試験として, 湿りガスの条件下で, 約 2000 h テストを行つた。このテストは, 逆洗に N<sub>2</sub> ガスを用いたため, ドレンが大量に発生し過酷な条件であつたが, 十分

Table 3. Results of dust measurements (JIS Z 8808).

Date	Dust content in mg/Nm <sup>3</sup>		Performance factor
	Inlet gas	Clean gas	
4. 9. 1980	5 240. 8	1. 7	3 083
	5 759. 6	1. 2	4 799
	4 956. 8	2. 0	2 477
	av. 5 319. 1	av. 1. 6	3 323
1. 11. 1980	4 602. 5	1. 3	3 539
	4 175. 9	1. 0	4 175
	5 121. 3	1. 3	3 938
	av. 5 633. 2	av. 1. 2	3 860

$$\text{Performance factor} = \frac{\text{Removal efficiency}\%}{(100 - \text{Removal efficiency}\%)}$$

Reference: Performance factor of typical cleaner  
Venturi scrubber: 300 to 400  
Elect. precipitator: 100 to 300  
Conventional bag: 1 000

実用に耐えることを確認した。

なお, ろ布の材質の相違により, 劣化に有意差がみられたため, その中から最適のものを選定し, パイロットプラントに採用した。

また, パイロットプラントで使用したバッグは, 化学特性と物理特性を調べた結果寿命 2 年以上は十分使用可能という結論を得た。

### 3.3.2 除塵能力

Table 3 に測定結果を示す。

(1) BDC 出口ダスト量が少なく, JIS 規定の 20 mg 採取はできない程であつた。

(2) 採取用ろ紙付着も, 目視できず, 出口ダスト量は無視できるものと思われる。

以上の結果から, バッグフィルターによる除塵後のガスは, 清浄空気なみであり, ダストによるタービンの回転翼のエロージョン対策としても十分有効であることが判明した。

### 3.3.3 ダスト払い落とし逆洗インターバル及び圧力損失

バッグフィルターの特性から, ろ過時にガスが結露しないかぎり, インターバルを相当延ばしても, 払い落とし性能には影響しないことが確認された。

しかし, エネルギー回収の点では, 圧力損失を僅少にしなければ, 目的に添えないため, テストはインターバルを 14 min, 逆洗時間を 2 min の条件で経時変化を調べた。

Fig. 2 に圧力損失の時系列変化を示す。

この結果, 100% 負荷の条件での圧力損失は BDC 入口, 出口, のフランジ間で, 約 150 mmAq に維持できることがわかつた。

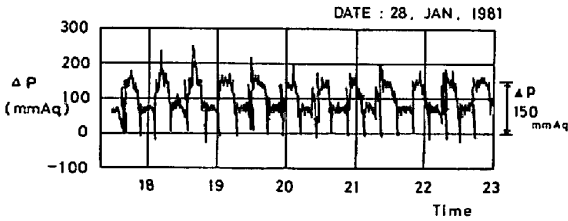


Fig. 2. Transition of pressure drop in BDC pilot unit.

3.3.4 除塵ダストの排出方法

除塵ダストを切り出すために3重弁排出方式を採用した。

バグチャンパーからダストをスムーズに排出させることも、実用上、十分配慮する必要があった。

ダスト排出時期の検出は、チャンパー内挿入温度計の指示値低下により行い、ダストは現場で手動排出し、最終的にはスラリー移送により処理した。

3.3.5 高炉異常時のBガス温度制御

高炉異常時、特に吹き抜け時のガス温度上昇パターンを示すデータはない。しかし、吹き抜け時の最高温度については、記録があり、その値は700~900°Cの範囲と見なされる。吹き抜け時、BDC入口における温度の上昇はBガスが、高炉ガス上昇管、下降管、DC及び、高炉ガス本管等を通することによって、緩和され、最高温度到達時間、温度上昇率とも、炉頂での状況と異なってくる。

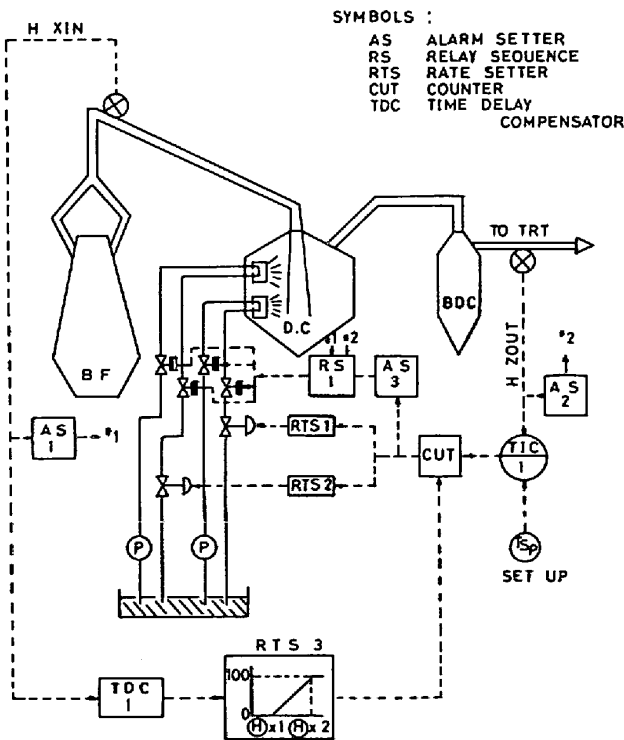


Fig. 3. BF-gas temp control system.

以上の観点から、パイロットプラントでは温度検知を清浄ガス部におき、温度制御を行つた。

ガス温度異常高温時の制御としては、DC内で特殊ノズルにより超微粒水を噴霧する方法を採つた。

Fig. 3 にその制御系統図を示す。

パイロットプラントでのテスト中に、人為的に、炉頂温度を最高400°Cまで、温度上昇率約11°C/minで昇温させ、制御系の確認を行つた。

その計測結果をFig. 4に示す。また高炉吹き抜けについては、実証できないため、シミュレーションによる結果で判断することにした。

吹き抜け時の温度上昇を150°Cから700°Cまで20s、700°Cから1000°Cまで100sとした時のシミュレーション結果をFig. 5に示す。

制御系としては、高炉炉頂温度、清浄ガス温度及びガス流量を入力させる演算システムである。

結果は、最高温度217°C、最低温度108°Cの範囲で、制御され良好である。

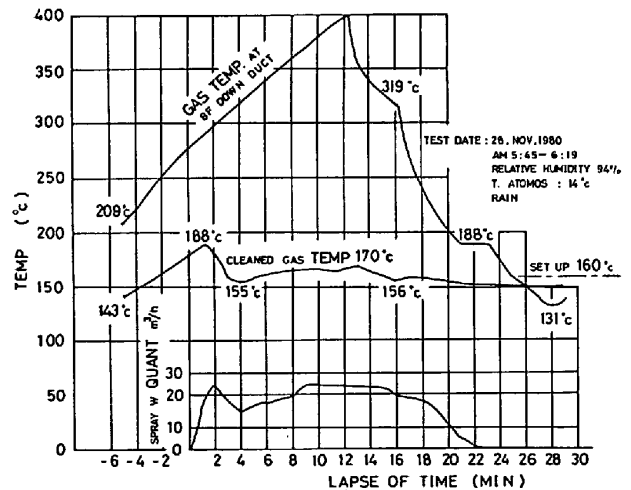


Fig. 4. Result of gas temperature control.

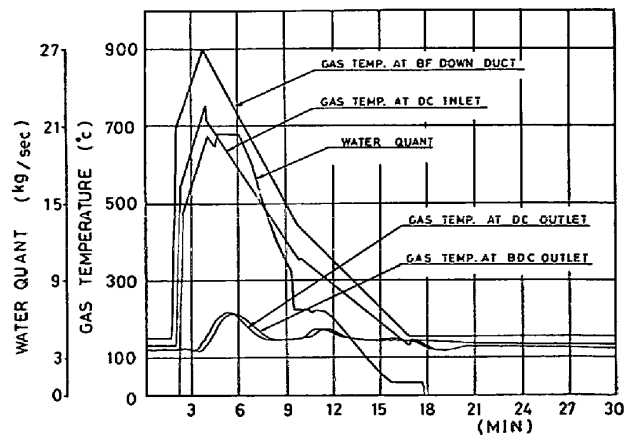


Fig. 5. Simulation results as to blow off II.

当該温度制御は、本設備の成否を決める最重要課題の一つとして考え、制御性、安全性の面から十分配慮した装置とした。

3.3.6 結露防止対策

高炉原料に、水分が多い時、寒冷期などでは、炉頂温度が低下し、バグフィルター部で結露現象が起こることがある。この対策として、BDC 入口部に燃焼器からの高温ガスを必要最少限混入する装置を開発した。

燃焼器は、パイロットバーナー、助燃バーナー及び主バーナーで構成され、自動着火、自動消火等の機能を備えている。

Table 4 に、燃焼器の使用流量配分を示す。

なお、実機プラントにおいては、年間を通じて、ガス温度が BDC 入口で下記の温度が満足されれば、本装置は不要であり、今回の実機には当面設置しない方針とした。

<BDC 入口圧力> (kg/cm <sup>2</sup> )	<BDC 入口最低温度許容値> (°C)
0~1.0	50
1.0~2.0	59
2.0~3.0	65

4. 実機計画

パイロットプラントによる、種々の試験を行い、ほぼ、良好なテスト結果が得られた。

これに、基づき実機 BDC の設置を計画し 1982 年 3 月に、本格稼動に入った。

Table 4. Results of mixing gas ratio (in Nm<sup>3</sup>/h).

	LPG	BFG	Air
Pilot Burner	1	—	32
Aux Burner	12	—	330
Main Burner	—	720	360

4.1 設備フロー

Fig. 6 に実機の BDC 設備フローを示す。

また、Photo. 2 に実機乾式 TRT 設備の写真を示す。

実機 BDC 設備のバグチャンパーの数は、5 筒式とした。TRT は、BDC による乾式化に伴い、全体の耐熱化及び 100°C 以上で最大効率となる様な乾式 TRT に、改造した。

さらに、出力 up 対策及び炉頂圧力制御の精度向上のために、従来のガバナー弁制御から TRT の可変翼制御に切り替えた。TRT トリップ時は、Fig. 6 に示すバイパス副弁で制御するように制御系も改造した。

4.2 設備仕様

Table 5 に実機 BDC の設備仕様を示す。形式は内面ろ過逆洗方式で、ろ布は耐熱性で 204°C での連続使用に耐える。除塵後のダスト濃度は 3 mg/Nm<sup>3</sup> 以下、BDC 全体の圧損は 250 mmAq 以下でろ布の寿命は 2 年以上である。附帯設備としてはガス温度制御用の水プレー、ダスト払出装装置等がある。

4.3 予測効果

実機 BDC 設備を設置した場合の予測効果を Table. 6 に示す。

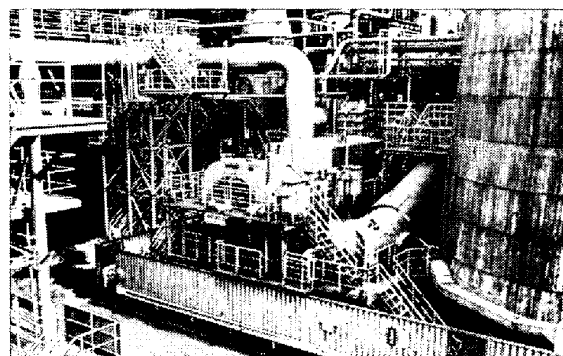


Photo. 2. Commercial Dry TRT.

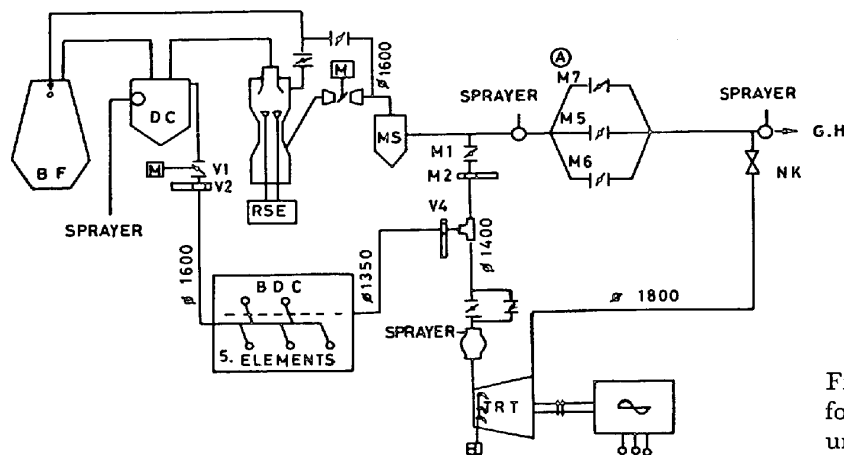


Fig. 6. Flow diagram for commercial BDC unit.

Table 5. Specifications of the commercial unit.

Items	Specifications
(1) BF-gas flow rate	58 325 Nm <sup>3</sup> /h. cham. × 4 cham. = 233 300 Nm <sup>3</sup> /h
(2) Type	Inside filtering, Back washing dust removal
(3) Bags	Heat resistance, Hard combustible special reinforcement Size : 306 mm dia × 10 m length Temperating : 204°C for continuous use 270°C for momentary use (total 20 h) Element : Vertical cylindrical chamber fabricated construction : 3 500 mm dia contained for 46 bags
(4) Guarantee terms	Dust concentration in cleaned gas : 3 mg/Nm <sup>3</sup> max. Total pressure loss : 250 mmAq max. Durability of bags under correct use : over 2.0 years
(5) Associated equipments	A. Gas temperature controller with water mist sprayer B. Dust discharger (Automatic or manual system)

Table 6. Effect of commercial BDC unit.

Items		Unit	Conventional unit	Commercial BDC unit
Blast Furnace Operation	Products	$\frac{T}{D}$	3 400	3 400
	Blast Volume	Nm <sup>3</sup> /min	2 700	2 700
	Blast Temperature	°C	1 130	1 130
	Blast Moisture	g/Nm <sup>3</sup>	30	30
	Coke Ratio	$\frac{kg}{t}$	4 85	4 85
	Top gas Pressure	$\frac{kg}{cm^2}$	1.80	1.80
	Top gas Temperature	°C	1 20	1 20
TRT Operation	Inlet gas Volume	Dry Nm <sup>3</sup> /H	2 333 00	2 333 00
	Inlet gas Pressure	$\frac{kg}{cm^2}$	1.45	1.74 (⊕ 0.29)
	Rate of Operation	%	91.2	91.2
	Inlet gas Temperature	°C	46	100 (⊕ 54)
	Generating Power	kw	4 081	5 813 (⊕ 1 732)
Electric Saving	Electricity Consumption	kw	460	90 (⊖ 370)

BDC 使用後は、同一高炉操作条件下において、TRT 入口ガス温度が 46°C から 100°C に、TRT 入口ガス圧力が 1.45 kg/cm<sup>2</sup> から 1.74 kg/cm<sup>2</sup> に、上昇し、発電出力は、4 081 kW から 5 813 kW 大幅に上昇する見込みである。

また、従来、湿式除塵用に使っていた電力も、460 kW から 90 kW へ、大幅に減少する見込みである。

## 5. 稼動状況

### 5.1 立ち上がり日程

立ち上がりについては、計画どおり試運転等を行い、BDC, TRT 共に、ほぼ計画どおり稼動させることができた。

### 5.2 稼動状況

Fig. 7 に稼動状況を示す。

1982 年 3 月 3 日より稼動を開始し、TRT 入口ガス温度及び TRT 入口ガス圧力共に計画どおりで、順調に

稼動を続けている。

### 5.3 発電実績

実機 BDC 稼動後の TRT 発電実績は計画値、(5813 kW) を達成している。

TRT の出力向上分のうち、BDC によるものが 70%、可変翼制御等によるものが 30% である。

なお、RSW の省電力量も含めると当初の発電量の 50% 以上もメリットが出たことになる。

## 6. ま と め

住友金属工業(株)小倉製鉄所は、TRT の出力を増加させるために BDC の開発に取り組み、小型バグテスト及び実機スケールのパイロットプラントによる各種テストを行い、実機 BDC が 1982 年 3 月に稼動を開始するに至った。以後順調に立ち上がり、TRT の出力も当初の計画どおり大幅に向上している。

また、TRT は、我が国において 1974 年に 1 号機が

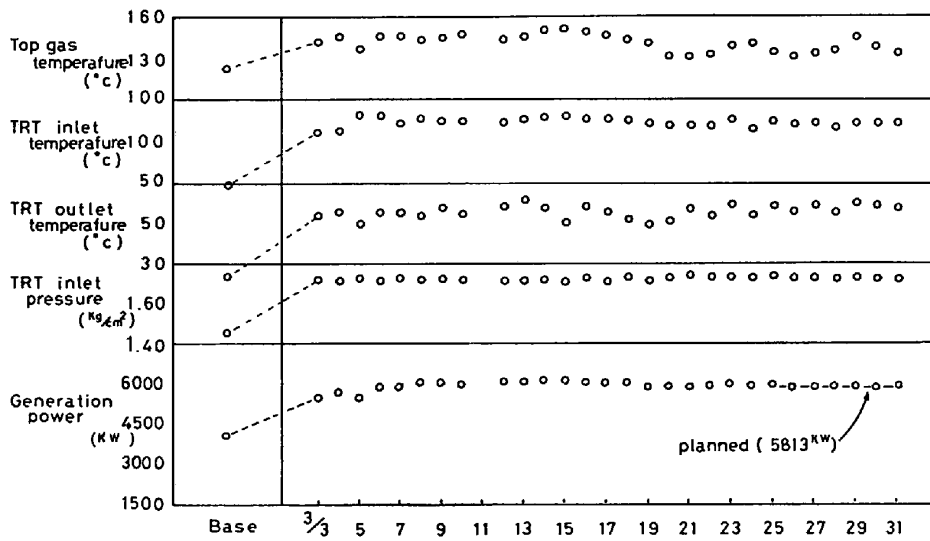


Fig. 7. State of commercial BDC unit operation.

稼動して以来、その後 TRT の効率向上への進歩はめざましく、当社においても湿式軸流 TRT の開発にひきつづき、今回世界で初めて B ガス非燃焼型乾式 TRT で、炉頂圧力制御も可変翼化した最新鋭の TRT 開発に成功した。これにより、従来の湿式軸流 TRT (4081 kW) に比較し発電量が大幅に増加し (5813 kW)、約 42% の

出力向上を図ることができた。さらに初期の TRT (湿式軸流タービン：炉頂圧力はセプタム弁制御：出力約 3400 kW) に比較すると、実に 70% 以上 (出力 5813 kW) の出力向上が図られたことになる。

なお、本開発は、日立造船の協力を得て実施できたものであり、関係諸氏に多大の感謝の意を表します。