

ペーパスラッジ (PS) 及び廃タイヤ焼却炉発電設備

栗原 勝幸*

Thermal Power Generation by Industrial Waste Incineration

by Katsuyuki KURIHARA

Ebara has developed an industrial-waste incineration system capable of thermal power generation. Noteworthy is that this system can also incinerate paper-mill-derived PS-wastes, considered difficult to recycle, and used tires, whose illegal dumping is causing a social problem. The incineration of these two types of wastes alone generates 14 000 kW, making this system the largest scale such system in Japan. This system features superior boiler characteristics, in terms of thermal efficiency, controllability and operability, equal to those of fossil fuel burning boilers.

This system also features minimized pollution and superior feasibility, and is thus being used now in conjunction with existing power generation plants as a base load unit. It can also perform as a backup power source when the main power plant in a factory is shut down for periodical inspection. This large-capacity system is expected to revolutionize power generation by waste incineration.

Keywords: Waste, Waste tire, Paper sludge, Power generation facility, Turbine, Boiler, Turbine bypass valve, Thermal efficiency, High temperature, Corrosion

1. はじめに

従来の廃棄物発電設備では、熱効率向上対策及び運用面改善での積極的対応は少ない。熱効率よりも工場の廃棄物処理が優先され問題が生じるとユニットを停止し、電力は発生した分だけ供給する設計思想であった。

このたび日本大昭和板紙東北㈱に納入した本設備は熱サイクル、蒸気条件、容量から熱効率の向上を追究し、ベースロード火力として工場の既設ユニットと連系して運用することを前提に計画された。したがって、各機器の効率と稼働率の向上、復水の循環使用、ボイラブロー及び冷却水濃縮率向上によるブロー量の低減等の細かい点も考慮し、ユニット全体の事業性を向上させた。これらの設計思想及び実機運転の経緯を踏まえた概要について紹介する。

2. 設備概要

2-1 設備仕様

発電所の設備概要を表1に、設備全景を写真に示す。

ボイラは廃棄物、特に廃タイヤを焼却（燃焼）することから、内部循環流動床ボイラを採用し、燃焼によって



05-04 01/207

写真 設備全景

Photo Overall view of plant

生ずるタイヤ中の針金は火炉から連続排出して製鉄所で再資源化している。

また、廃棄物燃焼としては最も主蒸気条件の高い7.2 MPa × 480℃を採用し、タービンは一段抽気で回転速度を上げ、冷却塔を用いた水冷復水器によりタービン排気圧力を下げて熱効率を向上させている。運用後の2004年1月に発電機出力だけを14500 kWに変更し、更に11月には15000 kWに出力向上の改造を実施した。ただし、所内動力は増加させず、逆にその比率は1.1%の低減を

* 環境エンジニアリング事業本部 環境プラント事業統括

表1 発電所仕様
Table 1 Specifications of power plant

ボイラ Boiler	型式 Type	内部循環流動床ボイラ Internal circulation fluidize bed boiler 一胴水管式自然強制循環併用型 One drum-water tube and natural-forced circulation type
	最大連続蒸発量 Maximum capacity	65 000 kg/h
	最高使用圧力 Maximum pressure	7.20 MPa
	最高使用温度 Maximum temperature	480 ℃
	給水温度 Feed water temperature	154 ℃
	燃料 Fuel	廃タイヤ：5 200 kg/h (125 t/d) Waste tire PS：5 900 kg/h (142 t/d)
	通風方式 Draft system	平衡通風 Balanced draft
蒸気 タービン Steam turbine	型式 Type	横置多段衝動抽気復水タービン Impulsive bleeding condensed turbine of horizontal multi-stage type
	定格出力 Power	14 000 kW
	定格蒸気量 Steam capacity	61 600 kg/h
	定格圧力 Pressure	5.59 MPa
	定格温度 Temperature	456 ℃
	抽気圧力 Bleeding pressure	0.632 MPa
	排気圧力 Exhaust pressure	7.55 kPa (abs)
	定格回転速度 Revolution	5 806 min ⁻¹
発電機 Generator	型式 Type	横軸全閉水冷却型三相交流同期発電機 Three-phase AC synchro-generator of horizontal closed water cooled type
	容量 Capacity	16 470 kVA
	力率 Power factor	85%遅れ
	電圧 Voltage	11 000 V
	回転速度 Revolution	1 500 min ⁻¹

達成して送電端効率を上昇させた。

2-2 設計フィロソフィー

工場から排出されるPSを主とした廃棄物の処理が当初の設備目的であったが、最終的には発電による高い事業性を得ることに計画を変更修正した。図1に発電設備の全体系統図を示すが、高い事業性を得る目的で基本系統構成は次のような配慮を行った。

2-2-1 衛生的で安全な設備

工場廃棄物であるPSを衛生的で低公害に、かつ安全で確実に処理することが基本的コンセプトである。PSは発酵しやすいので先入れ、先出しとピンによる貯蔵システムにより臭気の発生と拡散を防止している。表2に排ガス性状計画値と運転値を示す。また、PS関連設備である工場設備と発電所は直結され一元管理されている。PS関連設備は、工場側の操作室及び本設備の中央操作室での操作と監視が可能ないように設置されている。

この設計思想は発電所の停止が工場の停止を意味することである。したがって、発電設備の所内機器が故障しても工場側は操業可能なよう発電設備側でバックアップシステムを構築している。

例えば、工場側の原因によるPSの供給が不可能となった場合は、廃タイヤだけで発電を継続する。発電所側の原因によりPS供給が不可能となった場合は、PS貯蔵箇所を変更し予備焼却炉を起動させることにより工場操業を継続させ臭気公害を防止している。

2-2-2 タービン発電機制御

既設ユニットとの協調運転を得るため、タービン発電機の負荷制御運転を実行した。廃棄物は不安定な物性による熱量変動があるため、タービン制御は化石燃料のような負荷制御は困難とされ、前圧制御によって運転する

表2 排ガス性状計画値と運転値 (O₂: 12%換算値)

Table 2 Planned and actual data of flue gas

項目 Items	単位 Unit	排ガス保証値 Guaranteed value	排ガス分析値 Actual value	備考 Remarks	
ばいじん Dust	g/m ³ (NTP)	< 0.04	0.004		
硫黄酸化物 SO _x	ppm	< 65	3.6		
窒素酸化物 NO _x	ppm	< 120	57	二段燃焼使用 Used two-stage combustion	
塩化水素 HCl	mg/m ³ (NTP)	< 100	0.8		
一酸化炭素 CO	ppm	< 100	8		
ダイオキシン類 DXNs	排ガス中 In flue gas	ng-TEQ/m ³ (NTP)	< 0.1	0.0082	活性炭は無噴霧 Active carbon not injected into furnace
	灰中 In ash	ng-TEQ/g	< 3.0	0.0087	

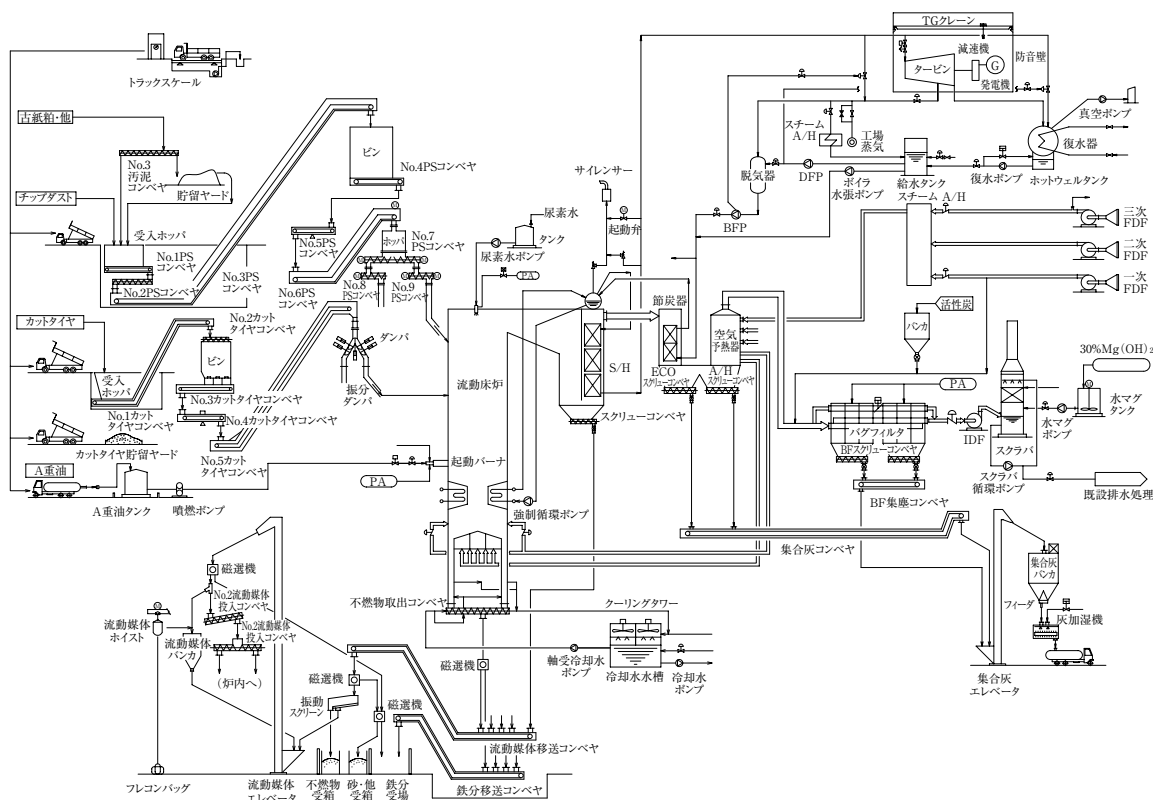


図1 全体系統図
Fig. 1 Whole system chart

のが一般的である。特に全量廃棄物による発電の場合は、負荷追従も熱量変動を有する廃棄物燃焼量によって行わなければならないので困難である。

本設備は発熱量変動の大きいPSの供給量を一定（定量供給）とし、発熱量の比較的安定している廃タイヤ（カットタイヤ）をエプロンコンベヤによる供給として、発電機負荷の信号を廃タイヤの輸送コンベヤ駆動インバータに入力する方式によってタービン発電機を安定的に制御している。

また、燃料では吸収できないボイラの瞬時的に大きな変動にタービンが追従できない場合は、タービン入口の圧力偏差を捉えて、負荷制御から前圧制御に自動的にシフトし、電力系統への外乱を最小限としている。表3に本設備のタービン発電機の運転機能を示す。

2-2-3 高い事業性

既設設備は黒液回収ボイラ（2缶）、重油ボイラ（1缶）、PS処理ボイラ（1缶）で構成され自家発電比率92%、工場への蒸気供給率100%、PS自家処理率は100%で運用されていた。

本設備の運転により黒液回収ボイラの重油混焼率を低

表3 タービン発電機の運転機能
Table 3 Operational function of turbine generator

運転 Operation	制御機能 Control function	速度制御 Speed control	前圧制御 Pressure control	負荷制御 Load control	発電機 Generator	
					単独 Independent	並列 Parallel
単独運転 Independent operation		○	-	-	○	
並列運転 Parallel operation		-	○	◎	-	◎

- 注) 1. ◎は通常行われる運転モードを示す。
1. ◎Mark indicates usual operation mode.
2. 負荷制御運転で主蒸気圧力制御が乱調した場合は、前圧制御にシフトして運転を継続する。
2. In case of disturbance in the main steam pressure under loaded control operation, operation is resumed after a shift is made to previous pressure control.

減（使用量）するとともにPS処理ボイラ（焼却炉：既設）を予備缶とした。それにより重油が15%/年低減され、効率の良いPS処理と14000 kWの電力の供給により事業性を高めることができた。

また、実機運転によって良質な安定した電力が供給可能であることが実証され、工場の電力会社との契約電力

を下げる事ができた。発電所停止による契約電力の超過は大きなペナルティが生ずるので長期の実機運転による確認後に契約電力の変更を実施した。

2-3 タービンバイパス装置

タービンバイパス装置は廃棄物の発熱量及び供給の変動があっても主蒸気圧力の安定運転が可能であり、また工場が操業をしている間はPSが連続的に排出されるので、タービン発電機が停止していても、ボイラを単独で定格連続運転してPS処理が可能ないように設置した。タービンバイパス装置はボイラを単独で定格連続運転可能としたばかりでなく、次のようなシステムの特長を有している。

2-3-1 起動時の水の回収

ユニット起動時の蒸気は、従来大気に放出し回収を行わない例が多い。本設備は起動時におけるシリカパーズ完了後から併入までの蒸気をタービンバイパス運転によってボイラから復水器に導き、蒸気を復水として回収しボイラ給水に循環使用する。

また、タービン停止時にボイラを運転する場合は、ボイラからの蒸気を大気放出することなく復水器に導き、蒸気を全量復水にして再使用する。

したがって、ボイラ補給水タンクは小さくて済み、シリカパーズまでの純水使用量と補給水量だけを保有している。

2-3-2 主蒸気圧力の維持

廃棄物の熱量変動及び供給量偏差によるボイラ入熱の不均衡時にボイラ圧力が上昇し、タービンの必要圧力以上となる場合がある。この時にタービンバイパス装置を作動させ復水器に主蒸気をダンプし、主蒸気系圧力を安定化させる。タービンバイパス装置によるこの動作は、タービンの蒸気加減弁並の制御性を有し、その移行はすべて自動で行い、電力系統への外乱を最小限に止めている。また、ボイラへの入熱量変動があっても、重油又は石炭火力並の制御性により、タービンの負荷制御運転を可能にしている。

表5にタービンバイパス運転を含めたボイラ・タービンの制御事例と本設備の適用の範囲を示す。

3. 高効率発電の採用

3-1 発電端効率

一般火力と異なり廃棄物発電では主蒸気条件、容量、システムなどの相違により発電端効率は一般的に10～20%と低い。本設備は主蒸気条件6 MPa × 460℃級で28%という高い発電端効率を得た。

主蒸気条件10 MPa × 500℃級の廃棄物発電で発電端効率30%¹⁾が現実的目標であるが、本設備の主蒸気条件及び容量が小さいため再生効率の低下を考慮すると限界に近い高効率発電と言える。

廃棄物を燃料としたカーリーナサイクルとランキンサイクルの最近の計画事例を表4²⁾に示す。熱サイクルにおいて、主蒸気圧力の高温・高圧化は発電端効率向上に対する寄与率が高いことを示している。

3-2 熱サイクルシステムによる向上

容量及び機能から一段抽気による熱サイクルを構築し、定格運転時のサイクル外への蒸気又は水の供給は零としてボイラで発生した蒸気は全量を発電に供した。また、熱サイクル構成の主管系統での圧力制御弁を可能な限り廃し、制御弁での圧力損失を低減した。更に、機器及び配管ドレンも徹底的に回収し、サイクルロスの低減を行い、熱サイクルでの効率向上に努めた。また、抽気によって給水脱気器の圧力(温度)を上げ、節炭器の低温腐食を防止すると共に熱効率を向上させた。

抽気は給水脱気器と蒸気式空気予熱器に使用しているが、タービン発電機負荷80%以上で抽気運転となり、それ以下では抽気圧が不足するので主蒸気の補助蒸気系統から供給される。本設備はベースロード火力のため、抽気運転負荷を上げ熱効率重視を考慮した。タービンの蒸気消費量線図を図2に示す。

表4 廃棄物発電の計画事例

Table 4 Planned example of waste power generation

復水器 Condenser: 空冷式 Air cool type,
外気温度 Atmospheric temperature: 20℃

サイクル種類 Type of Cycle	主蒸気圧力 (MPa) Main steam pressure 蒸気温度 (℃) Steam temperature	凝縮圧力 Condensed pressure (kPa)	発電機端出力 Power of generator (kW)	発電端効率 Gross thermal efficiency (%)*
ランキンサイクル1段再生 Rankin cycle 1 stage regeneration	2.94 300	19.6	5427	18.7 (100)
カーリーナサイクル Kalina cycle	7.85 300	-	6685	23.0 (123.3)
カーリーナサイクル Kalina cycle	7.85 400	-	7500	25.8 (138.2)
ランキンサイクル2段再生 Rankin cycle 2 stage Regeneration	3.92 400	14.71	6220	21.4 (114.6)
ランキンサイクル1段再生 Rankin cycle 1 stage regeneration	5.88 460	7.55	14000	28.0 (149.7)

* 下段の()内数値はランキンサイクル1段再生(2.94 MPa × 300℃)の発電端効率比を示す。

* Values in parentheses show ratio of gross thermal efficiency for one stage generation (2.94 MPa × 300℃) of rankin cycle.

表5 ユニット運転モード例
Table 5 Example of unit operation modes

運転モード	動作・特徴	概略ブロック図	主な適用条件
ボイラ追従運転 (負荷制御又は発電量制御とも称す)	<p>出力設定の変化に対し、タービン加減弁が動作して発電量の設定値に追従させる。 ボイラ入力量（給水、燃料、空気）の変化は遅いので、蓄熱量をひきだして（負荷減少の場合は押し戻す）負荷変化を行う。 その特徴として ：ドラム及び熱媒体の保有蓄熱量を最大限に利用するので、発電量の追従性が良い ：ボイラ～タービン間のエネルギー授受の不平衡を無視してボイラ蓄熱量を活用するため、負荷制御と主蒸気圧力の相互干渉が顕著に現れやすい</p>		<p>発電量と主蒸気圧力制御の干渉を減らすためには、ボイラの応答が早いことが必要である。短期的な圧力変動に対し、主蒸気圧力制御はタービンバイパス装置で行う。 本設備では、この運転モードの選択切替回路を設置している。</p>
タービン追従運転 (前圧制御とも称す)	<p>出力設定の変化に対し、燃料供給機の変速を変えてボイラ入力量を追従させ、発生蒸気量を変化させる。 タービン加減弁は主蒸気圧力を一定に維持するように動作するので、ボイラ発生蒸気量変化によって発電量を出力設定値に追従させる方式である。 その特徴として ：タービン加減弁が迅速な前圧制御を行うので、ボイラ～タービン間のエネルギー授受の平衡が良い ：発電量の変化は、蒸気量の変化によるため、発電量の応答が遅い</p>		<p>発生蒸気は全てタービンに呑み込む。産業廃棄物の熱量が変動、或いは産業廃棄物を一定量供給してもタービン最大呑み込み量以内であれば、発電に寄与する。 廃棄物発電に適した安定運転が期待できる。 本設備では、この運転モードの選択切替回路を設置している。</p>
ボイラ・タービン協調運転	<p>出力設定によりボイラ入力量制御とタービン加減弁制御に共通なマスタ指令信号を作り両制御を並列に動作させる。 発電量は主として、出力設定値に追従させることにより、また主蒸気圧力は主としてボイラ入力量制御の調節によって一定に維持する方法である。 その特徴として ：発電量制御に対し、主蒸気圧力偏差による発電量修正を加えるので、発電量の追従性を損なわずに主蒸気圧力の変動がある程度抑制される ：出力設定変化と同時にボイラ入力量加減を開始するので主蒸気圧力の変動を抑制できる</p>		<p>BTGのエネルギー平衡を取るため、燃料量の測定が必要であるが、廃棄物では適切な計量が困難である。</p>
タービンバイパス運転	<p>タービンバイパス装置は主に次の用途がある。 ：起動時の圧力制御 ：余剰蒸気の逃がし弁としてのΔP制御 ：焼却設備（ボイラ）の単独運転時の主蒸気圧力制御 ：負荷制御時の主蒸気圧力制御 したがって、高圧タービンバイパス系統は、タービン呑み込み蒸気量に見合った容量の減圧弁と減温装置をもっている。 低圧タービンバイパスは工場送気及びユニットの補助蒸気を除く余剰蒸気を復水器に流す。 ：ボイラ起動時から通気までは設定圧力（起動圧力）に制御されており、併入後は負荷制御又は前圧制御に切り替わる ：負荷遮断時あるいはタービントリップ時には、その時点のタービン入口蒸気流量に相当する弁開度に急速に開けて主蒸気圧力の上昇を防止する</p>		<p>補助蒸気圧及び流量によっては、低圧タービンバイパスを設けないこともある。 主蒸気圧力が高圧の場合、バイパス配管の暖管等が必要になり、またバイパス弁の漏洩等への配慮が必要である（ドレン対策等）。 本設備では、この運転モードの選択切替回路を設置している。</p>
燃料手動設定 + 前圧制御運転	<p>焼却発電設備は燃料となる廃棄物の入荷量が不確定な場合もあり、状況に応じた焼却計画に基づく処理量の設定を手動で行い発熱量、投入量の変動しても蒸気が無駄なく発電に寄与する前圧制御を採用する方法である。 この際、発電機出力の変動量は買電量を超えないことが必要である（逆潮防止）。 したがって、設定燃料量はタービン定格出力を超えないように設定する。</p>		<p>一般に廃棄物発電の制御外乱は、燃料となる廃棄物の発熱量と供給量の変動が主である。この供給量を定量にし、ユニット特性が改善される。 本設備では、この運転モードの選択切替回路を設置している。</p>

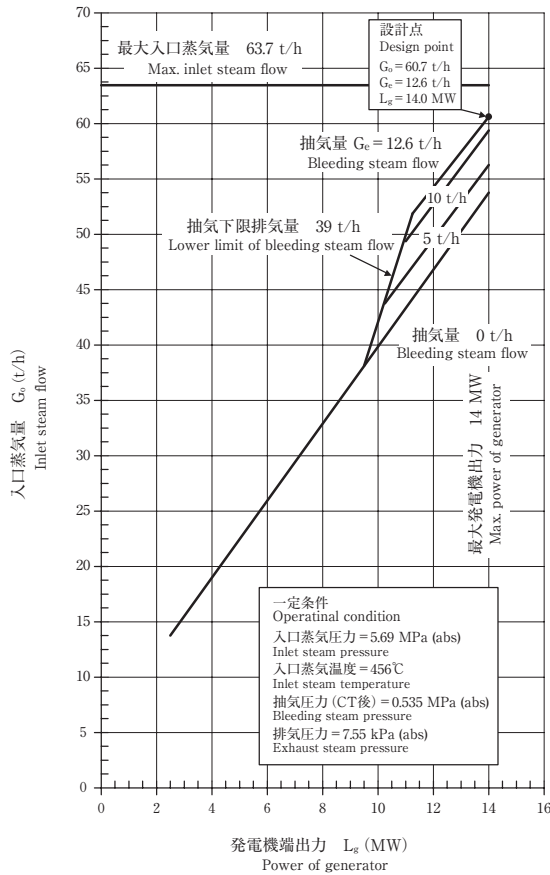


図2 タービン蒸気消費量線図
Fig. 2 Steam consumption diagram of turbine

なお、小容量プラントであり、費用対効果を考慮して
 高压给水加熱器と低压给水加熱器は設置しなかったが、
 これらの给水加熱器を設置すると更に熱効率率は約2%向

上する。

3-3 主蒸気条件の高温・高压化

燃料であるPS及び廃タイヤには塩素が含有されている。塩素はボイラ高温伝熱面を腐食させるためボイラの高圧・高压化が難しく、廃棄物発電では4 MPa×400℃級が一般的な上限とされている。塩素は塩化水素より腐食性が強く、燃焼排ガス中の塩素濃度を少なくすることが腐食低減に寄与する。塩素の塩化水素への転換率が小さいと予想される場合は、燃焼排ガス中に水蒸気を吹込み、積極的に塩化水素に転換することも実施している³⁾。本設備では伝熱面配置、伝熱管材質⁴⁾、燃料性状などを考慮し、6 MPa×460℃を定格主蒸気条件としたが、1年間の運転では高温領域での腐食は生じていない。ボイラ伝熱管は塩化物に対する金属の応力腐食割れを生じ、応力腐食は特定の金属に対して特定の腐食環境が組み合わされた場合に発生しやすい特徴がある⁵⁾。

PSの燃料分析値を表6に示すが、製紙工程から排出されるPSは成分及び発熱量が大きく変化している。PSの発熱量変化はタービン発電機の出力に直接影響するが、タービン発電機の運転モードの変更は行わずに主蒸気圧力制御だけで対応するよう計画した。

各種廃棄物燃料とPS及び廃タイヤの燃料としての位置付を図3⁶⁾に示すが、それぞれが両極端で主蒸気圧力の安定化運転の困難性を示している。

3-4 復水器の高真空化と冷却水質の高度維持

製紙業は大量の水を使用する産業である。復水器で冷却水循環を行うと、冷却塔での循環水の蒸発により塩濃度が上昇し、冷却水系統のスケールトラブル及び伝熱障害が発生するので排水ブロー量を最適にすべく管理して

表6 PSの燃料分析値
Table 6 Analytic values of paper sludge

試料 Sample	成分 (%) Composition			可燃分の元素 (%) Element of combustible material.						発熱量到着ベース (kJ/kg) Calorie of wet base
	水分 Moisture	可燃分 Combustible	灰分 Ash	C	H	O	N	S	Cl	
試料1 Sample 1	50.0	42.0	8.0	50.7	8.5	33.4	1.2	0.1	1.1	9370
試料2 Sample 2	62.0	25.0	13.0	52.8	6.2	46.8	2.1	0.4	1.7	2470
試料3 Sample 3	60.0	37.0	3.0	65.2	10.6	21.8	0.2	0.1	2.2	10410
試料4 Sample 4	55.0	18.0	27.0	64.5	10.1	24.6	0.6	0.1	0.1	4200
試料5 Sample 5	45.0	52.0	3.0	66.5	10.1	22.3	0.6	0.1	0.4	15500
試料6 Sample 6	50.0	49.5	0.5	44.0	6.1	49.6	0.2	0.1	0.1	6650

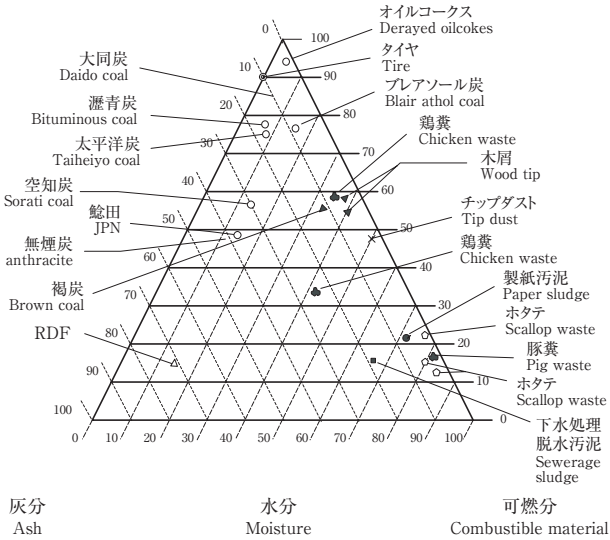


図3 各種燃料の分析値マップ
Fig. 3 Analysis map of fuel

いる。冷却水のブローをスクラバに有効利用するとともに、冷却水を使用した真空ポンプによって復水器の高真空化を達成している。復水器の冷却水は機器冷却にも使用しており、水質を高度に維持するためにスクラバからのブローに見合った薬品の添加を行っているので、機械的な復水洗浄装置は設置していない。冷却水循環水は復水器冷却、機器冷却、スクラバ補給を一括管理し、その水質管理値を表7に示す。循環水水質は管理値に対して良好な値を示している。

本設備の真空確立は蒸気エジェクタではなく真空ポンプを採用し、ユニット起動特性を向上させた。定格運転時は復水器を高真空に維持し、不凝縮ガスの排出と伝熱障害を少なくするだけではなく、真空ポンプを常に最適に維持して発電端効率を向上させた。

図4に真空ポンプの特性を示す。設置地である秋田市は夏と冬の寒暖の差が大きく、特に冬は海風が強いので冷却水の温度差も大きい。冷却水温度は冷却塔の冷却ファン運転台数制御により最適値を維持している。復水器真空度はタービン最終段翼列の湿度によって決定され、タービンの腐食を防止している。復水器の設計条件を表8に示すが、タービンバイパス運転の条件は定常運転からタービン負荷遮断直後の最も復水器に熱負荷の掛かる過渡状態の値を示す。

4. 発電所としての安定運転

4-1 廃棄物発電の基本概念

廃棄物電は一般的に廃棄物性状の不安定によるボイラ

表7 冷却水循環水の管理値
Table 7 Control values of cooling water

項目 Item	単位 Unit	管理値 Planned value	実測値 Actual value	
			循環水 Circulating water	補給水 Make up water
pH (25℃)	-	7~9	7.0	6.9
電気伝導度 Electric conductivity	μS/m	-	33.7	11.3
酸消費量 Acid consumption (pH4.8, CO ₂)	ppm	-	39	15
総硬度 Total hardness (CaCO ₃)	ppm	-	82	26
カルシウム硬度 Calcium hardness (CaCO ₃)	ppm	< 200	55	19
塩化物イオン Chloride ion (Cl ⁻)	ppm	< 150	37	13
硫酸イオン Sulphuric acid ion (SO ₄ ²⁻)	ppm	-	33	14
イオン状シリカ Slica ion (SiO ₂)	ppm	< 120	30	11
鉄 Iron (Fe)	ppm	< 1.0	0.53	0.03
濁度 Turbidity	度 Degree	< 10	1.0	< 0.5
薬品濃度 Concentration of chemicals	ppm	100~200	< 25	-

真空上昇時間 (抽気容量 80 m³, ポンプ1台運転の時)
Vacuum up time (Exhaust capacity: 80 m³/One pump operation)

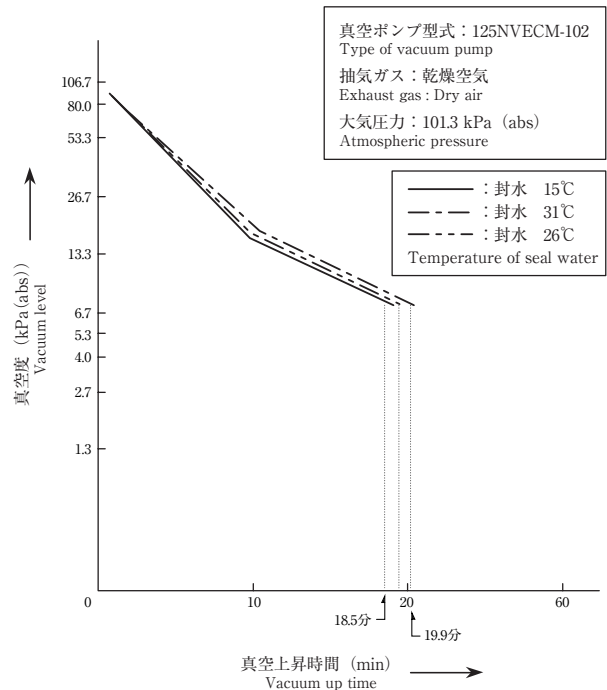


図4 復水器の真空ポンプの特性
Fig. 4 Characteristic curve of vacuum pump for condenser

表8 復水器の設計条件
Table 8 Design conditions of condenser

項目 Items	運転条件 Operational condition	単位 Unit	定格運転 Normal Operation		タービンバイパス運転 Operation of turbine bypass	
			設計点 Design point	夏季 Summer	設計点 Design point	夏季 Summer
			入口蒸気圧力 Inlet steam pressure	MPa (abs)	5.69	5.69
入口蒸気温度 Inlet steam temperature	℃	456	456	456	456	
入口蒸気量 Inlet steam capacity	t/h	60.7	61.4	61.4	61.4	
排気圧力 Exhaust pressure	kPa (abs)	7.55	9.1	-	-	
排気量 Exhaust quantity	t/h	47.9	48.5	-	-	
排気エンタルピ Exhaust enthalpy	kJ/kg	2325	2337	2745	2745	
発電機端出力 Power of generator	kW	14000	14000	-	-	
復水量 Condensing quantity	t/h	48.1	48.7	79.0	79.0	
復水器処理熱量 Thermal capacity of condenser	MJ/h	103.6	104.4	199.4	198.2	
復水器圧力 Pressure of condenser	kPa (abs)	7.55	9.1	14.3	17.0	
冷却水入口温度 Inlet temperature of cooling water	℃	26	30	26	30	
冷却水出口温度 Outlet temperature of cooling water	℃	35.5	39.5	44.2	48.1	
冷却水量 Cooling water quantity	m ³ /h	2620	2620	2620	2620	

主蒸気の変動、発電機出力の変動及び供給機の安定運転の困難さから発電所としての期待度は低い。したがって、発生した分の電力だけ出力制御し、また、焼却機器設備のトラブルからタービン発電機1基に焼却炉ボイラ2缶の1機2缶方式とするフェールセーフの運転システムを採用することが多い。

本設備も計画当初は衛生的で安全かつ一般的な廃棄物発電所であったが、自家用火力発電所並の高い事業性を得るための運用にすべく設計思想を次のように変更した。

- (1) 機器の信頼性を向上させ1基1缶方式の採用
- (2) 補機は50%×2基として予備機を削減し機器故障の場合は2/4負荷運転の採用
- (3) タービン発電機が故障しても、PS焼却を可能とするボイラ単独運転方式の採用
- (4) タービン発電機は既設と協調運転が容易な負荷制御方式の採用

これらを実行するための二重化及び冗長化を最小限とし、機器の高信頼性設計と既設設備からのバックアップシステムを確立するとともに、タービンバイパスシステム

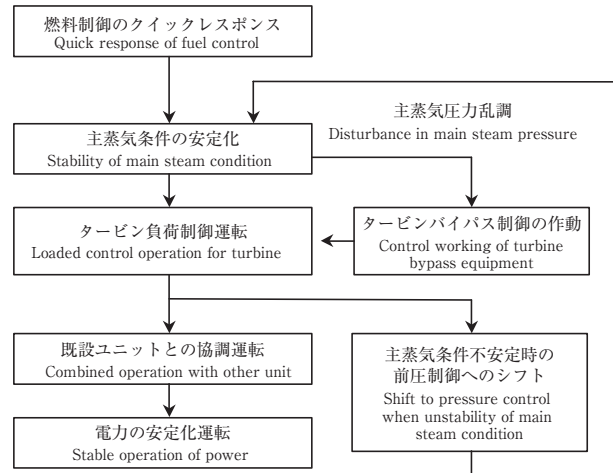


図5 電力安定化ブロック
Fig. 5 Diagram of power stability

ムによる電力安定化に努めた。電力安定化のブロックを図5に示す。

4-2 設備の信頼性

二重化は最小限とし各機器単体の信頼性を向上させた。計算機の主配線は二重化を、機器は主管系統のポンプだけに予備機を設置した。予備機はすべてスタンバイ起動を可能とし、設備の停止を極力避ける設計思想とした。

試運転以降の約6箇月間の稼働率は94%で、定検を考慮した年間稼働率も90%を超え廃棄物発電所としては高い信頼性を得ている。

表9に主要なトラブル例を示すが、主機の事故は少なく補機関係のトラブルが多いのが特徴である。補機関係の機器の信頼性を向上させることが、すなわち設備全体の信頼性を向上させることになる。

4-3 負荷変化対応

最大負荷変化率は3.5%/min (480 kW/min) と既設ユニット並で、電力幹線(電力買電)及び既設ユニットと協調して運用されている。本設備は新設発電所に中央操作室を設けているが、既設ユニットの中央操作室でも同一の操作及び監視が可能ないように配置され、協調運転が容易なように考慮されている。したがって、既設ユニット定検時の単独での工場への送電、保安電力の供給をも担い、特に工場側のデマンド変化率も変更していない。

5. おわりに

営業運転を開始してすでに1年半になるがボイラ・タービン・発電機などの主機に関するトラブルは少ない。

表9 トラブル一覧表
Table 9 Table of unit trouble

	機器名称 Name of equipment	トラブルの現象 Phenomenon of trouble	原因 Cause	対策 Measures
1	蒸気加減弁 Steam control valve	弁棒の傷による作動不良 Defective function due to damage on valve stem	弁棒へのごみの噛み込み Intrusion dust to stem clearance of valve	弁棒及びブッシュの交換 Change the valve stem and bush
2	熱回収室 Heat recovery furnace	針金詰り Clogging of wire	熱回収室に針金が堆積 Accumulation of wire in heat recovery furnace	タイヤ投入温度の変更による針金の初期堆積防止 Change the bed temperature of tire feeding time and prevention of accumulation at initially
3	流動媒体移送コンベヤ Transfer conveyer for bed material	チェーン摩耗 Wear of chain	据付不良によるチェーンの摩耗 Wear of chain due to inappropriate installing	コンベヤ再芯出し及びチェーンの交換 Re-centering of conveyor and change of chain
4	磁選機 Magnetic separator	ドラム回転軸のベアリング損傷 Bearing damage of drum shaft	流動媒体温度高によるベアリング損傷 Bearing damage due to high temperature of bed material	軸受部の冷却方式への変更(改造) Cooling of bearing part (Remodeled)
5	針金輸送管 (シュート) Transfer pipe of wire (Chute)	針金によるシュート閉塞 Clogging of wire	磁選機で分離後の針金がシュート部に閉塞 Clogging of wire in chute after magnetic sparator	シュート溶接部及び合流部の円滑化(磨き) Smoothing of wire exhaust for chute welding part and confluent part
6	過熱器灰排出コンベヤ Ash transfer conveyor for super heater	ロータリージョイント焼損 Damage of rotary joint	冷却空気の過熱によるジョイント設計温度の超過 Excessive design temperature of rotary joint for cooling air overheat	ジョイント二次側配管の圧力損失の低減 Reduction of pressure drop in piping
7	誘引送風機用サイレンサ Silencer of IDF	部分負荷で振動発生 Vibration of partial load	風量が約25%で振動発生(気柱振動) Vibration due to air quantity at 25% load	固有振動数を高くし、共振の回避 Change of vibrational generation range
8	スクラバ Scrubber	スケール成長による圧力損失の増加 Increase of pressure Loss	水酸化マグネシウムによるスケールリング Scaling by magnesium hydroxide	スクラバ運転時の循環水pHの変更 Change of circulation water pH for scrubber operation

そのため高い稼働率で電力系統と連系運転されており、発電端効率は28%と6 MPa × 460℃ × 14 MW級の廃棄物発電設備では最も高い効率で運用されている。工場から発生する処理困難物であるPS及び不法投棄で社会問題化している廃タイヤをサーマルリサイクルする本設備により、重油換算で15%/年の節約を、炭酸ガスも6.5万t/年の削減効果を得ている。今後も高い熱効率、高い事業性、高い地球環境への寄与を維持すべく努力したい。

最後に計画から試運転完了まで、御指導頂きました日本大昭和板紙東北㈱の関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 小泉信愛, 他「廃棄物利用発電」, 火力原子力発電, No.493, Vol.48 (1997.10)
- 2) 須藤雅夫, 他「環境工学」榎書店(1997.10)
- 3) R.U. Muremann. "Korrosion Erscheinungenen und deren Reduzierung an Verdampfen und Ueberhitzerbauteilen in Kommunalen Muellver brennungs anlagen" VGB Kraftnerks technik.72 (1992)
- 4) 栗原勝幸「ボイラ伝熱管の腐食と対策」配管技術, Vol.39, No.1 (1997.1)
- 5) 田島武光「塩素を使用するプラントの材料について」, 化学装置 (1969.2)
- 6) 山田貞裕「廃棄物発電」, 火力原子力発電, No.505, Vol.49 (1998.10)