

■ シリーズ特集 ■ 各部門における省エネルギー対策 (6)

廃熱回収発電について

林 重 利*

Shigetoshi Hayashi

1. はじめに

近年世界的に省エネルギーがさげばれ、各国とも新技術、既存の技術でその実行がなされつつあるが、我国では政府機関によるサンシャイン計画、ムーンライト計画、税制優遇処置、代替エネルギー利用促進処置等のバックアップもあって、企業各社に於てはプロジェクトチームを設け、エネルギーの有効利用及び回収の実行が進み、ここ1~2年に於けるその成果発表をみると、省エネルギー対策が着実に進んでいる事が証明されている。

ところで、弊社は現在迄に各種産業用ボイラ及び公害防止設備を製作し、納入しているが省エネルギーの観点からこれらの実績をふりかえてみると、ボイラ部門に於ては昭和27年頃より廃熱、廃材の有効利用計画部署を設けて研究をして来た結果、各種プラント用廃熱回収ボイラとしては300社近くの納入実績を持つに至った。又木材屑、木皮屑(バーク)、砂糖キビ屑(バガス)、等の廃材を代替燃料としたボイラは、国内のみならず、東南アジア、中近東、アフリカ、南アメリカ方面にも多数納入し、この2つの分野では我国随一の実績を有している。

環境設備部門に於ては、都市ゴミ焼却プラントを主体とした装置を納入しているが、最近納入される大型ゴミ焼却プラントでは、そのほとんどが焼却炉+廃熱ボイラ+蒸気タービン発電機の組合せとなり、エネルギー回収面で積極的なものとなっている。

ここで最近納入された廃熱回収発電設備の事例を発表させていただき、今後の省エネルギー対策の参考にさせていただきたい。

* (株)タクマ機械本部技術第一第一課課長

〒530 大阪市北区堂島浜 1-3-23

2. 廃熱回収と発電方式

各種プロセスより発生、排出される廃熱源は多種多様であるが、熱機関にて仕事をさせる場合は、廃熱量(kcal/H)のみならず、廃熱温度(質)が重要な問題となる。

廃熱量が膨大であっても、温度が低い場合は回収方式によっては、その装置に多大の費用を要するため、実施のメリットが出ない場合がある。

廃熱源として現在排出されている質と量について調査し、発表された報告の1部を図-1及び図-2に示す。

この調査結果でもわかる通り最近では燃焼廃ガスでは250℃をこえるものは廃ガス源の40%弱であり、且つ500℃をこえるものはこの内の10~20%と少なく温度

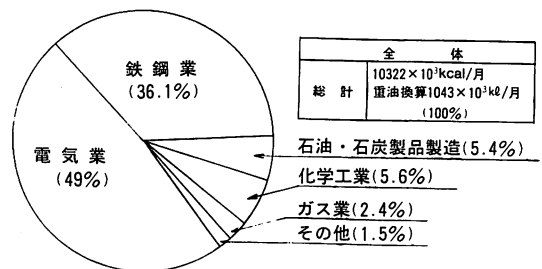


図-1 業種別排熱量比

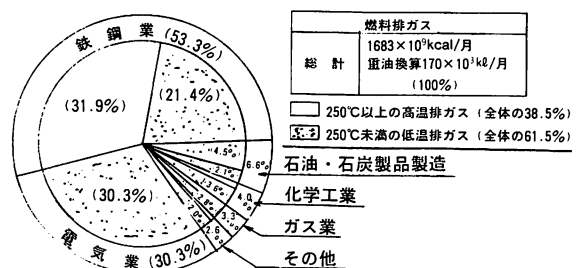


図-2 燃焼排ガス・排熱量種別排熱量比

の高い廃ガスを放出しているところは少なくなったとみられ、質の高い廃熱源からの熱回収は大部分実施されていると考えられる。

今後の廃熱回収の方向は200~500℃程度の中温、200℃以下の低温熱回収が主体となり、電力として回収する場合は、ある温度域を境として高温側は、「中低圧蒸気回収発電方式」、低温側は「有機媒体発電方式」が採用される事が考えられる。

「中低圧蒸気回収発電方式」は従来の高圧蒸気発電方式に改良を加え低圧に於ても出来るだけ高効率を確保する様な設計を行い、比較的数多く運転されている。

又「有機媒体発電方式」についてもメーカー各社で研究され、テストプラントや実用機が運転に入っているものもあり、技術的には確立されたものと考えられるが、現在では、設備費用が高価で償却に期間がかかりすぎる場合が多く、今後設備コストを下げる努力が必要である。

図-3、図-4に蒸気回収発電方式と有機媒体発電方式のサイクルの1例を示す。

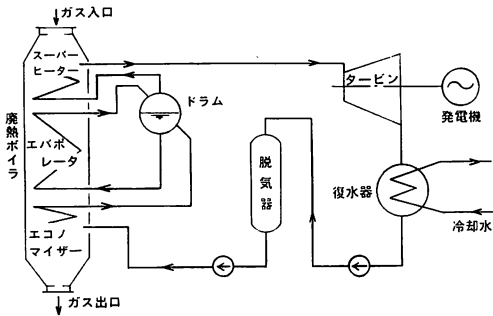


図-3 蒸気回収発電方式

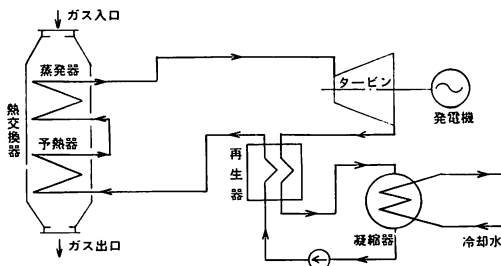


図-4 有機媒体発電方式

3. 廃熱回収発電プラントの実施例

次に廃熱回収発電の実施例としてフェオアロイ電気炉より発生した低温廃ガス源を、装置を改造し、質の高い高温廃ガスとして熱回収し、発生蒸気にて発電を行なった事例並びに既納入の亜鉛精鉱焙焼プラント内に

設けた発電設備を省エネルギー型に改造した事例について述べる。

3.1. フェオアロイ電気炉廃熱回収発電設備

フェロシリコン、フェロクロム、フェロニッケル等のフェオアロイは電気炉によって製造されますが、これらの電気炉は製鋼用のアーク炉とはことなり連続操業のものがほとんどである。

フェオアロイ製造電気炉は従来からの操業形態をみると開放型操業と密閉型とに分かれている。

密閉型操業では炉上部は全て天蓋でおおわれており、発生したガスはCOが含有されているので冷却脱塵してガスホルダーにためられ各種熱源に利用されている。

今回実施した設備は開放型フェロシリコン (Fe-Si) 製造電気炉より発生する廃ガスにより、蒸気回収方式で熱回収し発電した我国初めての設備である。

Fe-Si 電気炉の構造は操業形態から現在操業されているほとんどの炉は、側部開放型であり開放部より炉内点検や調整作業、原材料や添加物の投入を行っている。炉表面より発生したガスは開放部より多量に吸込まれる空気によって250~400℃程度に稀釈され、天井フード部よりダクトに吸引されて、後部バグフィルターにて脱塵されて大気へ排出される。

現状のまま熱回収発電方式を計画するとすれば、前記したいずれかの方式となるわけであるが、いずれの方式でもサイクル熱効率は8~15%程度となり設備メリットがない。出来るだけサイクル熱効率を上げるため考えたのが電気炉の開放側部を出来るだけ密閉化し、廃熱温度の上げる方式である。

電気炉表面より発生するCOガスの燃焼に必要な空気が入る部分と炉内の点検、整備や添加物を投入するのに必要な部分を残して炉を半密閉化する事により炉出口より取出されるガスは高温となり、炉からの発生熱量は同じでも質の高い廃ガスとなる。

この様な電気炉の改造を行なう事で廃ガスを800~900℃程度で取出し、廃熱ボイラで比較的高温蒸気として回収して蒸気タービンにて発電し、回収率のアップ

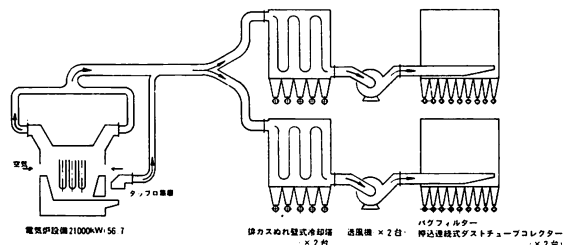


図-5 廃熱ボイラ設置前のガス流れ図

をはかったわけである。

3.1.1 本設備計画上の検討事項

理論的には前述した考え方で有効な熱回収がはかれるわけであるが、実施にあたっては細かい問題点も多く、電気炉側では

- ① 新設備を設置する事により、従来の操業に悪影響はないか。
 - ② 製品の品質に影響はないか。
- と言う事が重要な点であった。

この点については、炉の操業、運転管理に高度な技術を持っている客先によって、理論的説明及びテスト操業が実施され、長期連続操業面を残し、問題のない事が確認された。

我々は新しく設置する設備に対し、次の項目について検討を行なった。

- ① 炉から発生するガス熱量は理論値とほぼ同等のものか。
- ② 廃ガス量、廃ガス温度の変動巾はどの程度か。
- ③ 炉からの冷却水の脱却熱量、放熱量はどの程度か又、その値は低温操業の場合と高温操業の場合と同程度かどうか。
- ④ 発生ガス中のダスト量はどの程度で、低温時と高温時とではどの程度ことなるか。
- ⑤ ボイラに飛来するダストのボイラ水管群に対する付着性、堆積等はどの程度か。
- ⑥ ダスト除去方法はどのような方式がよいか。

等で、これらの実体を把握するため客先と協同で調査する事とし、第1段階として実動炉に於ける操業実体の調査、第2段階として小型燃交換器を製作して実動炉に付設し、このテスト機に比較的高温ガスを導入して長期運転において熱交換器の操業実態を調査しました。このテスト結果及び操業実体調査の結果を基本として廃熱ボイラ及びタービン発電機の設計条件を決定し、詳細設計を行なった。

本設備は炉の高温化の改造工事を第一に行ない、

発電設備は54年4月に着工し、54年8月に完成、1ヶ月の調整試運転の結果、54年10月より定格操業に入り、55年10月に1回目の定検を行なったが、改造個もなく順調に2年目の操業をつづけている。

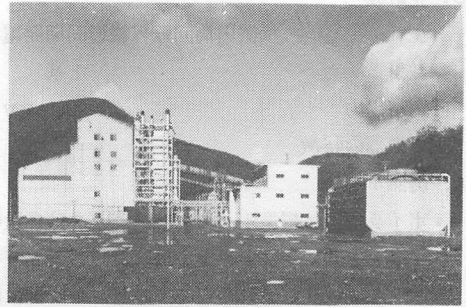


写真-1 電気炉廃熱回収発電設備の全景
(左より電気炉建家、廃熱ボイラ、タービン発電機室、冷却塔)

3.1.2 電気炉改造前後の操業比較並びに新設主要機器仕様

(1) 電気炉改造前後の操業比較

表 1

	改造前	改造後
電気炉容量	21000 KW	21000 KW
廃ガス流量	150000 ~ 230000 Nm ³ /H	60000 ~ 70000 Nm ³ /H
廃ガス温度	280 ~ 400 °C	800 ~ 900 °C
ガス冷却塔の運転	2 系列	1 系列
誘引ブロワーの運転	2 台	1 台
集塵器の運転	2 系列	1 系列

本設備の設置により既設プラントに於ては電気炉で21000 kw、付帯設備で約1200 kw程度の電力を使用していたものが、新発電設備で送電端で4300 kw ~ 4700 kwの電力を得るとともに冷却塔、誘引ブロク、集塵器の運転半減による電力削減が約700 kw程度となり、電気炉総設備の約24%の電力回収節減となつて、大いに省エネルギーに役立つ事となつた。

(2) 廃熱回収発電設備主要機器と特徴

主要機器仕様

A. 廃熱ボイラ

- 型式 WF-1400 S 型強制循環式ボイラ
- 数量 1 基
- 蒸気圧力 常用 (過熱器出口) 59.0 kg/cm²G
- 蒸気温度 (過熱器出口) 450 °C
- 蒸発量 22,200 kg/H

B. 蒸気タービン

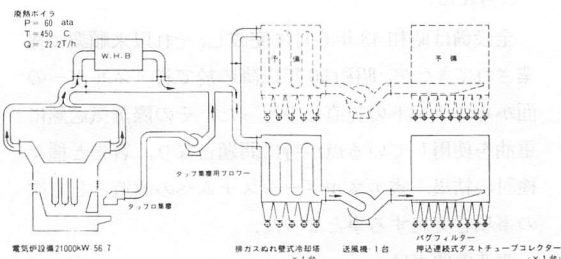


図-6 廃熱ボイラ設置後のガス流れ図

型式	単気筒反動式復水タービン
数量	1基
定格出力	5000 kw (発電機端)
回転数	7200 R. P. M

C. 発電機

型式	横置円筒回転界磁形同期発電機
数量	1基
定格出力	5883 KVA

(3) 主要機器の特徴

A. 廃熱ボイラ

- ボイラ構造は縦型Iパスとし、廃ガスは多量のダストと共に上部より下方に流れて最下部でダストの20～30%を分離して反転し、プロアに吸引される。
- 本ボイラのダスト除去装置はショットクリーニング装置を採用し、良好なダスト除去効果を上げている。
- ボイラのスタート時、及び電気炉の緊急停止時等を考慮し、発電設備の安定操業が行えるよう非常用油燃焼装置を備えている。

B. タービン発電機

- タービンは高効率の実績のある反動式復水タービンを採用した。
- 発電機は自家用火力でも実績の多い4極式同期発電機を採用し、単独運転並びに並列運転が出来る様にしている。

C. 付帯設備

- 発電設備の水一蒸気系統はクロースドサイクルとなっているので、補給水は小容量の純水装置としたが、給水タンクはタービントリップ時でもボイラは単独運転出来る様に、3時間分の容量を持っている。
- ボイラの万一の事故時に電気炉の操業に支障のきたさない様に、ボイラ入口、出口及びバイパスダクトに遠隔操作自動ダンパーを設けて、緊急時の安定操業が可能としている。

3.2. 亜鉛精鉱焙焼プラント用廃熱回収発電設備の改造

非鉄金属製錬に於ては、亜鉛精鉱や銅精鉱を流動焙焼炉で焙焼して、ZnO・CuOの形で焼鉱を回収し、発生ガスは多量のSO₂を含んでいるので冷却し、硫酸を回収している側が多い。

この様なプラントでは焙焼炉から排出されるガスは850℃～950℃となり、且つダスト(焼鉱)が200～400g/Nm³と含まれている。この高温ガスの冷却用と

して従来から廃熱ボイラが設置されて、ガス温度を300～350℃迄冷却し、脱塵して後部硫酸製造プラントに送っている。

弊社は昭和43年に当時I系列では世界最大と言われた500T/D(亜鉛精鉱処理量)の焙焼プラントに廃熱ボイラを設置して、発生蒸気にて所内の電力をまかなうために出力2300kwの復水タービン発電設備を納入した。納入時の発電設備のフローを次に示す。

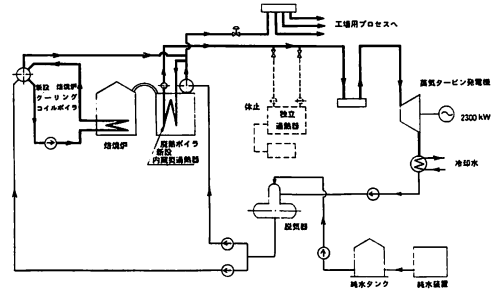


図-7 亜鉛精鉱焙焼プラントに設置した廃熱回収発電設備フローシート

本発電設備の基本計画思想は、当時次の様に考えて設置された。

- 建設される焙焼プラントは世界で初めての規模であり、操業に支障のない様な実績のある廃熱回収装置を設置する。
- 発電量は出来るだけ多い方がよいが、蒸気源である廃熱ボイラの蒸気量が焙焼炉の負荷変動並びにダストの付着による経時変化により変動する事を考慮し、常用計画値の85%程度の蒸気を発電に利用し、残りを工場用に使用する事とした。
- 過熱器は、安価で且つ安定した供給燃料であった重油を使用する重油専焼型独立過熱器とし、蒸気温度の安定と設備費用の低減をはかった。
- ボイラとタービン室が約250m離れているので、タービン室の横に過熱器を設置する事が有利であると考えた。

全設備は昭和43年6月に完成し、それ以来順調に操業されてきたが、昭和50年以降に於て省エネルギーの面からプラントの見直しを行った。その際蒸気過熱に重油を使用している点が特に問題となり、客先と種々検討の結果、省エネルギーシステムへの改造として次の事項を実施する事となった。

改造の要点は

- 重油専焼の独立過熱器を休止させるため、廃熱ボ

イラに内蔵型の過熱器を新設する。過熱器伝熱面は充分な大きさとすると共に、付着するダスト除去のために全自動長抜差型煤吹機の増設及び特殊ハンマリング装置を設ける。

- (2) 過熱器を内蔵型に変更したため、ボイラより発生する蒸気量は低減する。発電用、工場用蒸気量共不足するので同一焙焼プラント内で蒸気量を確保するため、焙焼炉クリーニングコイルボイラを新設する。改造後の発電設備のフローを次に示す。

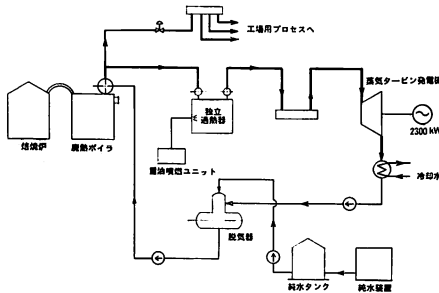


図-8 省エネルギーシステムに改造した廃熱回収発電設備フローシート

次に焙焼炉に新設されたクリーニングコイルボイラについて説明する。

流動焙焼炉の操業は定常運転に於ては垂鉛精鉱に含有された硫黄の自然により焙焼温度が確保されており、且つ硫黄分の自然のみでは炉内温度が上昇しすぎるので、炉内温度制御として炉内に冷却水を注水して炉温コントロールをして操業されて来た。

今回の改造では、この炉内注水をやめて炉内温度制御用に焙焼炉の流動層内にボイラ伝熱器を挿入し、管内にボイラ水を循環させる事により、熱を除去し蒸気として回収する方法を取った。

このクリーニングコイルボイラでは 28.0 kg/cm²G の飽和蒸気を約 5 T/H 回収出来たので、発電用、工場用に供給する事により工場内の蒸気バランスがとれる事となった。改造前にはボイラ発生蒸気量の変動と工場使用蒸気量の変動の関係から発電量は 2000~2300 kw の変動していたが、改造後はタービンへの送気量が一定に確保出来て発電量も 2300 kw 一定の操業となっている。

次に納入時と改造後の主要機器仕様と計画数値を示す。なお図-9は既設廃熱ボイラに過熱器を内蔵した断面図を示している。

改造前後の主要機器仕様及び計画数値

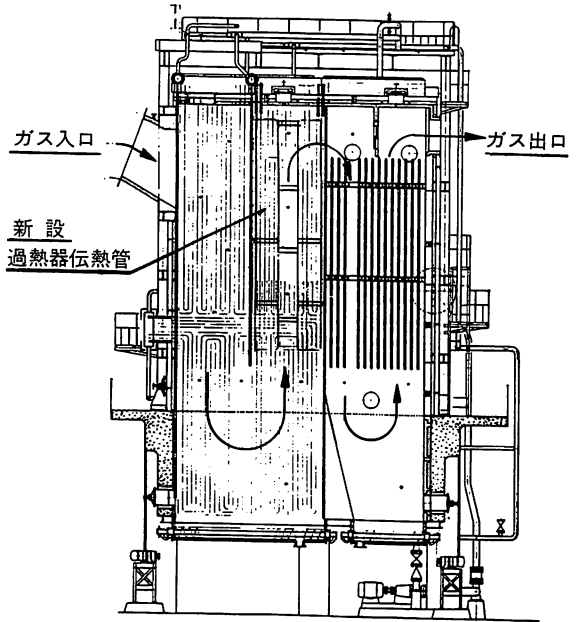


図-9 既設廃熱ボイラに過熱器を内蔵した断面図

	納入時	改造後
(1) 焙焼炉		
型式	500 T/D 流動焙焼炉	同 左
数量	1 基	同 左
(2) 廃熱ボイラ		
型式	WF-1700型強制循環式	同 左
数量	1 基	同 左
最高使用圧力	30.0 kg/cm ² G	30.0 kg/cm ² G
常用圧力(ドラム内)	28.0 kg/cm ² G	28.0 kg/cm ² G
常用圧力(過熱器出口)	—	26.0 kg/cm ² G
蒸気温度(ドラム内)	231℃	231℃
“ (過熱器出口)	—	380℃
蒸気量(ボイラ出口)	15050 kg/H	14200 kg/H
“ (過熱器出口)	—	14200 kg/H
(3) 独立過熱器		
型式	接触放射型	—
数量	1 台	—
蒸気流量	14200 kg/H	—
蒸気温度(過熱器入口)	230℃	—
“ (過熱器出口)	370℃	—
重油使用量	210 kg/H	—
(4) 蒸気タービン		
型式	衝動型復水タービン	同 左
数量	1 台	同 左

発電端出力	2300 KW	同 左
タービン入口蒸気圧力	21.0 kg/cm ² G	同 左
タービン入口蒸気温度	350 °C	同 左
蒸気圧力	690 mmHg	同 左
(5) 発電機		
型式	三相交流同期発電機	同 左
数量	1 台	同 左
出力	2875 KVA	同 左
(6) クーリングコイルボイラ		
型式	— タクマWF-15 型 強制循環式	
数量	— 1 台	
最高使用圧力	— 30.0 kg/cm ² G	
常用圧力	— 28.0 kg/cm ² G	
蒸気温度(ドラム内)	— 231 °C	
蒸発量	— 5500 kg/H	

4. おわりに

以上で概略であるが最近運転に入っている廃熱回収発電実施例を述べたが、特にフェロシリコン電気炉廃

熱回収については、我国初めての例であり、計画から調査、実験、実機テストを経て、約2年半をかけて実プラントが完成し、2年近い運転経過の結果、所期の目的を十分に達し得ている事を確認している。

又既設廃熱回収設備に於ける内容の再点検の結果、検討し、改良を行なう事により、省エネルギーシステムに改造出来た実例もあったわけである。

今後、ますます省エネルギーシステムへの改良、開発が研究されると思うが、これらはユーザーとメーカーの協同姿勢がぜひとも必要であると共に、新技術開発には各学会研究者の御指導、御援助をいただく事により、より早く確立されるものとする次第である。

廃熱回収発電設備の納入先である日本重化学工業株式会社、並びに東邦亜鉛株式会社の関係者の皆様の御協力に本誌をかりまして深く感謝いたします。

参考資料

1. 低温度差エネルギーの有効利用研究成果報告書 (1.)
2. MOL 1981年1月号

