



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 清掃工場における高効率熱利用について  |
| Author(s)        | 加藤, 征彦  |
| Description      | 第1回衛生工学シンポジウム (平成5年11月17日 (水) -18日 (木) 北海道大学学術交流会館) . 5 有効利用、高度処理、廃棄物処理 . 5-7   |
| Citation         | 衛生工学シンポジウム論文集, 1, 182-187   |
| Issue Date       | 1993-11-01  |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/7446">https://hdl.handle.net/2115/7446</a> |
| Type             | departmental bulletin paper   |
| File Information | 1-5-7_p182-187.pdf  |



## 5-7

### 清掃工場における高効率熱利用について

日立造船(株) 環境事業本部 統括部 第一設計部 加藤征彦

#### 1. はじめに

1990年10月、地球環境保全に関する関係閣僚会議において「地球温暖化防止行動計画」が策定され、わが国の一人当たりの二酸化炭素排出量について、2000年以降概ね1990年レベルで安定化を図ること等の目標が設定された。

地球温暖化問題の原因の約50%は二酸化炭素とされており、そのうち約80%が化石燃料の消費に起因するといわれていることから、二酸化炭素は経済活動と密接不可分なエネルギー消費に伴い不可避免的に発生する。

そのエネルギー消費は、今後5年間の実質経済成長率を3.5%と想定する政府の「生活大国5カ年計画」の目標達成のためには、特段の新たな対策を行わずに推移した場合、2000年度における最終エネルギー消費は原油換算4.2ないし4.3億klと推計されており、この場合、「地球温暖化防止行動計画」と一体である「石油代替エネルギーの供給目標」の前提となったエネルギー需要3.9億klとの間に3000ないし4000万klのギャップが生じることとなる。

二酸化炭素の排出量の増大なしにこのギャップを埋めるためには、原子力等のクリーンエネルギーや未利用エネルギーの積極的な活用が求められているが、原子力であれば、例えば、100万kw級原子力発電所約50基が必要であり、現在日本全国での原子炉が41基であることを考えるとほぼ同数の原子炉をこの20年間で建設するとしても極めて困難と考えられることから、省エネルギーや代替エネルギー対策が極めて重要なものとなる。

省エネ・代エネ対策として、昨今未利用エネルギー活用の積極的推進が図られているが、ごみ焼却熱も未利用エネルギーの一つとして論じられている。

全国における平成2年度のごみ排出量は年間約5000万tで、その内可燃ごみは約85%を占めている。この可燃ごみを全て焼却したとすると、年間約75,000Tcalの熱量となり、原油換算で約800万klに相当することになる。

しかしながら、日本全国の清掃工場2000施設ほどで、その焼却熱を回収し発電等を行っている施設はわずか110施設、35万kw程度にすぎず、熱はほとんど利用されることがなく大気中に捨てられているのが現状である。

そこで、清掃工場におけるごみ焼却熱の高効率熱回収とその熱利用について考えてみたい。

#### 2. ごみ焼却熱利用

図-1は東京都全工場におけるごみ焼却熱の熱バランスであるが、有効利用されているのはわずか30%程度であり、未利用の熱は40%もある。

発電への利用が6%程度と低いが、これは昭和40年代に建設された清掃工場では背圧タービンを採用していることが主原因である。しかし、電力会社への売電を指向している最近の清掃工場においても発電の熱効率は10~15%程度であり、事業用火力発電所の総合熱効率が40%弱であるのと比較すると、熱の利用率は相当に低い値となっている。

最近、ごみ焼却熱の電力転換効率向上を図るため、既存の常識に挑戦するいくつかの試みがなされている。

その発電効率向上策と未利用エネルギーとして大量に捨てられている発電廃熱および損失



現在建設中の埼玉東部工場では、ボイラ過熱器の材質および構造を替えることにより380℃、36気圧の高温高压化に挑戦中であり、発電熱効率を20.6%にまで上昇させようとしている。

欧米のごみ焼却では、例えば、500℃、60気圧とさらに高温高压化が図られているが、蒸気過熱器は消耗品と見なされている。

## (2) リパワリング方式

既設のボイラ、蒸気タービンのシステムに新たにガスタービン等を付加して、コンバインドサイクルに改造することにより、熱を一層高い温度から使うものである。

自治省が推進している「スーパーごみ発電事業」はリパワリングの一種であり、ごみ焼却熱で発生する蒸気をガスタービンの排気で過熱し、高温高压化により発電効率を20～25%に上昇させるものである。

腐食性のガスを含まないガスタービンの排気による蒸気過熱であることから過熱器の腐食は大きく軽減されるが、ガス料金と電力会社への売電単価との兼ね合いで経済性が決定されることから、自治省の試算では、300t/dの焼却能力でガスタービン出力1670kw時が最も経済的となっている。しかしながら、ガス料金、売電単価とも固定ではなく、リパワリングを含めたコージェネレーションを中核とするエネルギーコミュニティの構築は、省エネルギーと電源開発と地球環境制約の解決に大きく貢献するものであることから、今後の発展が期待される。

## (3) 湿分分離/再熱サイクル、高温/再熱化方式

東京都清掃局は、原子力発電の基幹的な発電サイクルである湿分分離/再熱サイクル(蒸気温度300℃)や高温/再熱化を提案している。

発電効率がいずれも20%を超え、リパワリングを上回る効率を確保できるとしている。表-2にごみ焼却発電の各種高効率化方策に関する発電効率等検討結果総括表(東京都清掃局作成)を示す。

## 2.2 発電廃熱および損失熱の熱回収

清掃工場は、いわゆる迷惑施設ということで郊外に建設されるため、近隣に熱需要先が少なく、従って大量に発生するごみ焼却熱を大気に放出せざるを得ないのが現状である。そのため、高効率発電による熱回収が最優先であるが、高効率発電を目指すほど復水温度が低くなり、その熱利用が難しくなる。

また、損失熱は排ガス損失が主体であり、ボイラ効率の上昇によりごみ焼却熱の15%程度まで少なくできるが、それでも熱量としては大きい。しかし、発電廃熱と同様利用先がないことから、その熱回収はされていないのが現状である。

しかしながら、大都市においては、清掃工場の適地が少なくなり、都心部・住宅地域内に建設せざるを得なくなってきたり、清掃工場も、ごみを焼却するだけの施設ではなく、ごみ焼却熱を活用した地域のエネルギーセンターとして周辺住民に歓迎される施設への転換が求められている。

周辺地域への熱供給を行う場合、回収温度は高温であればあるほど利用しやすいことから、ここでは吸収ヒートポンプによる熱回収の実例を紹介する。

### (1) 発電廃熱からの熱回収実例

図-2は長野市における第一種吸収ヒートポンプを使用した熱回収システムの概略図であるが、冬季は低圧ヘッダの蒸気(5kg/cm<sup>2</sup>G)を駆動源として、清掃工場の各機器類の冷却用として使用された39℃の冷却水の熱回収により80℃の温水を発生し、暖

表-2 ごみ焼却発電の各種高効率化方策に関する発電効率等検討結果総括表

---基準ゴミ発熱量: 2400kcal/kg, 炉負荷率110%---  
 ---排ガス処理条件: 湿式処理+210°C再加熱---

<600t工場炉入熱: 66.0 Gcal/H>

| 番号 | 類型   | システム名称  | 焼却ボイラ蒸気        |                | GTボイラ蒸気        |                | 低圧蒸気タービン       |             | 工場規模<br>GT出力<br>t/D, KW | 蒸気タービン出力    |                | 出力向上効果                |                                      | 発電端所内動力                               |           | 送電端諸元(売電分) |           |        |        |      |      |
|----|------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------------------|-------------|----------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------|------------|-----------|--------|--------|------|------|
|    |      |   | 再熟蒸気<br>°C/atg | 再熟蒸気<br>°C/atg | 再熟蒸気<br>°C/atg | 再熟蒸気<br>°C/atg | 入口蒸気<br>°C/atg | 排気圧力<br>ata |                         | 単独設置時<br>KW | 複合化時<br>KW     | 向上出力<br>KW            | 向上比率<br>%                            | 熱効率<br>(想定)<br>%                      | 送電端<br>KW | 熱効率<br>%   | 向上比率<br>% |        |        |      |      |
| 1  | 焼却   | 現状基準ケース<br>(湿式処理+210°C再加熱)                              | 300            | 27.5           | —              | —              | —              | —           | 0.25                    | 600         | 11,280         | —                     | 基準                                   | 基準                                    | 14.7      | 4,000      | 7,280     | 9.5    | 基準     |      |      |
| 2  | プラン  | 現状改善ケース<br>(複圧化/SGH 2段加熱化)                              | 300            | 27.5           | —              | —              | —              | —           | 0.25                    | 600         | 12,440         | —                     | 1,160                                | 10.3                                  | 16.2      | 4,000      | 8,440     | 11.0   | 15.9   |      |      |
| 3  | ト    | 湿分分離/再熟ケース<br>(1段過熱, 600t/D規模)                          | 300            | 73.0           | —              | —              | —              | 263         | 8.5                     | 0.114       | 600            | 15,440                | —                                    | 4,160                                 | 36.9      | 20.1       | 4,200     | 11,240 | 14.6   | 54.4 |      |
| 4  | 単    | 湿分分離/再熟ケース<br>(2段過熱, 1200t/D規模)                         | 300            | 55.0           | —              | —              | —              | 246         | 6.1                     | 0.114       | 板橋^-ス<br>1,200 | 31,000                | —                                    | 8,440                                 | 37.4      | 20.2       | 7,900     | 23,100 | 15.1   | 58.7 |      |
| 5  | 独    | 現状温度/再熟化ケース   | 300            | 73.0           | 280            | 5.8            | —              | —           | 275                     | 5.5         | 0.114          | 600                   | 13,500                               | —                                     | 2,220     | 19.7       | 17.6      | 4,200  | 9,300  | 12.1 | 27.7 |
| 6  | ケース  | 高温化(400°C)ケース   | 400            | 39.0           | —              | —              | —              | —           | —                       | 0.114       | 600            | 15,020                | —                                    | 3,740                                 | 33.2      | 19.6       | 4,200     | 10,820 | 14.1   | 48.6 |      |
| 7  | (空冷) | 高温/再熟化ケース   | 400            | 73.0           | 380            | 13.5           | —              | —           | 375                     | 12.5        | 0.114          | 600                   | 16,310                               | —                                     | 5,030     | 44.6       | 21.3      | 4,200  | 12,110 | 15.8 | 66.3 |
| 8  | G    | <板橋に重構造GT併設><br>高压蒸気再過熱+<br>排ガス2段脱硝<br><GT1基;MF221適用>   | 300            | 55.0           | —              | 490            | 53.0           | —           | 254                     | 6.1         | 0.114          | 1,200<br>GT<br>31,290 | ケース4<br>31,000<br>GTC/C-ST<br>11,600 | 41,000                                | 6,840     | 30.3       | 19.2      | 7,900  | 21,500 | 14.0 | 47.7 |
| 9  | C/C  | <板橋に航空転用GT併設><br>高压蒸気再過熱+<br>排ガス2段脱硝<br><GT1基;LM6000適用> | 300            | 55.0           | —              | 452            | 53.0           | —           | 241                     | 6.1         | 0.114          | 1,200<br>GT<br>37,835 | ケース4<br>31,000<br>GTC/C-ST<br>11,400 | 43,200                                | 9,240     | 41.0       | 20.7      | 7,900  | 23,900 | 15.6 | 64.1 |
| 10 | 併設   | <電気事業用ACCと連係><br>中圧蒸気再過熱+<br>排ガス2段脱硝<br><GT1基;701F適用>   | 300            | 32.0           | —              | 541            | 109.0          | 541         | 291                     | 30.5        | 3.9            | 0.052                 | 1,200<br>GT<br>221,200               | ケース4<br>31,000<br>GTC/C-ST<br>151,480 | 13,620    | 60.4       | 23.6      | 7,300  | 28,880 | 18.8 | 98.4 |

- 注1) 発電/送電の熱効率(炉入熱基準;%) = {発電端出力, 送電量+860.1} / {公称焼却能力/24\*1.1\*2400} \* 100 (但し, GTC/C併設ケースは出力向上分を含む)  
 2) 出力向上比率(%) = {各ケースの発電端出力, 送電量-基準ケースの出力, 送電量-GTC/C単独時出力} / 基準ケースの発電端出力, 送電量\*100  
 3) ケース2の排気圧力; 湿度が既に12%近くに達しているため真空度の改善行わず, ケース1以外; 全ケースとも, 1行の複圧化(排熱回収率の向上; 出口ガス240→165°C)+2段式排ガス再加熱  
 4) GTC/C併設ケースの発電効率; GTC/C単独設置時と比較した増分出力を, 現状基準ケースの発電出力に加えて算定した場合(所内動力も現状基準ケースの清掃工場^-ス).  
 5) ケース8~10; 板橋清掃工場の窒素酸化物総量規制適合^-ス, ケース8; 蒸気注入+高压蒸発器前に排ガスを混入(効率損失大), ケース9, 10; 低NOx燃焼器+高压蒸発器の後にガス混入



房、給湯、融雪に使用しているものである。夏季は、外部流体を切替えることによって冷凍機として使用しており、タービン排気（ $0.5\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ ）を駆動源として $7^\circ\text{C}$ の冷水を発生している。

図-3は埼玉東部における第二種吸収ヒートポンプを使用した熱回収システムの概略図であるが、 $60^\circ\text{C}$ のタービン排気を駆動源として $81^\circ\text{C}$ の温水を発生させ、地域への熱供給を行う予定である。

### (2) 排ガスからの熱回収実例

図-4はスウェーデン・ウプサラ市における第一種吸収ヒートポンプを使用したシステムの概略図である。排ガスの湿式洗煙装置との組み合わせで、地域暖房用温水の加熱を行っている。

## 3. おわりに

ごみ焼却熱は、発電と地域冷暖房への利用が理想であると思われ、発電についてはごみ焼却熱で発生する蒸気を最大限使用し、高効率発電により工場内の使用とともに電力会社への売電で十分に活用することができる。

一方、地域冷暖房への利用については課題が多い。清掃工場が都心部から離れて建設される場合が多いため、その熱輸送に膨大な費用がかかることや清掃工場はごみ発生量に応じてほぼ一定焼却量で運転されるため、季節、時間により大きく変動する地域冷暖房用熱需要とはマッチングが難しい。また、清掃工場は、1年間に一度、一か月程度の定期点検があることからバックアップ用熱源が必要にもなる。

しかしながら、これらは解決不可能なものではなく、また、地球温暖化防止のための未利用エネルギーの積極的な活用に関し、国の行政面、財政面での援助も始まっている。

近い将来、清掃工場が地域のエネルギーセンターとして、90%程度の総合熱効率は当たり前と言われる日がくるものと思われ、また、期待するものである。

## 参考文献

- 1) 通商産業省編：エネルギー '93 地球にやさしいエネルギー
- 2) 環境調和型エネルギーコミュニティセミナー：  
平田 賢著 「これからの省エネルギー型社会構造の構築に向けて」、  
村崎 勉著 「環境調和型エネルギーコミュニティの事業計画について」、  
原田 淳志著 「ごみ発電を巡る最近の傾向とスーパーごみ発電」
- 3) (財)日本環境衛生センター：平成5年度廃棄物処理施設技術管理者等地方ブロック別研修会 ごみ焼却関係テキスト  
掛田 健二著 「エネルギー回収技術の動向」
- 4) 清掃工場余熱利用推進化調査 報告書 (その3) 平成5年3月  
東京都清掃局
- 5) 空気調和・衛生工学 1992. 11 VOL. 66 NO. 6  
林田 耕作著「ごみ焼却排熱利用の現状と運転実績」
- 6) 建築設備と配管工事 '88. 3.  
加藤 征彦著「ゴミ焼却場の廃熱利用」
- 7) 廃棄物学会第4回研究発表会 '93. 10. 13~15  
深堀、築井山、神山、寺島著 「高効率ごみ焼却発電プラントの実例」