



Title	吸収式ヒートポンプによるごみ焼却施設の排熱回収
Author(s)	後藤, 早苗; 越智, 喜美雄
Description	第2回衛生工学シンポジウム (平成6年11月10日 (木) -11日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 3 有効利用、高度処理、廃棄物処理 . 3-1
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 2, 78-83
Issue Date	1994-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7588">https://hdl.handle.net/2115/7588</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	2-3-1_p78-83.pdf



# 吸収式ヒートポンプによる ごみ焼却施設の排熱回収

日立造船(株) 環境事業本部 統括部 技術情報部 後藤 早苗  
プラント事業本部 統括部 プラント計画部 越智 喜美雄

## 1. はじめに

近年、省エネルギー対策、CO<sub>2</sub>による地球温暖化防止対策などにより、ごみや河川水、下水、海水などの未利用エネルギーの有効利用が積極的に推進されている。特に、年々増加する一方のごみは焼却率の向上やごみの高カロリー化、国や自治体の積極的な姿勢などにより焼却熱を利用した発電や熱供給が行われ、そのエネルギーの有効利用が図られるようになってきている。しかし、日本ではごみ焼却施設の近くに適当な大量熱需要先がないことから、発電後の排熱は大気に放出されている場合がまだまだ多い。

このような状況の中で、当社では吸収式ヒートポンプの技術を利用してごみ焼却施設の排熱回収を実施し周辺地区へ熱供給しているため、その事例について紹介する。

## 2. 吸収式ヒートポンプとは

ヒートポンプは、燃料の燃焼のように直接高温を発生するものでなく、水を高位まで汲み上げるごとく、低い温度の熱を利用可能な温度にまで汲み上げる装置であって、原理的には水などの作動媒体が蒸発・凝縮するときの相変化を利用して吸熱・放熱を行うものである。圧縮式ヒートポンプが圧縮機による機械的な力で駆動するのに対して、吸収式ヒートポンプは熱エネルギーを駆動源とするので産業排熱の利用に際して有効であり、中低温度域の排熱回収設備としてすでに数多くの実績を重ねている。

吸収式にはその需要方法により第1種と第2種とがあるが、両者ともに同じ原理・構造である。一般に作動媒体には水を、吸収剤には臭化リチウムが使用されており、水蒸気と臭化リチウム水溶液との間の吸収放散作用を利用している。図1に概念図を示す。

### 1) 吸収式ヒートポンプの種類

#### ①第1種吸収式ヒートポンプ

温水製造を目的とした使用に適しており、高温蒸気または灯油・ガスによる直焚などの高温熱源により比較的低温の熱(15~50℃程度)を汲み上げて、中温(40~80℃程度)の熱を出力する(図2)。この場合、高温熱源の約1.7倍の中温熱を出力する。また、冷凍機としても使用可能で、高温熱源を用いて低温の冷水を製造することも

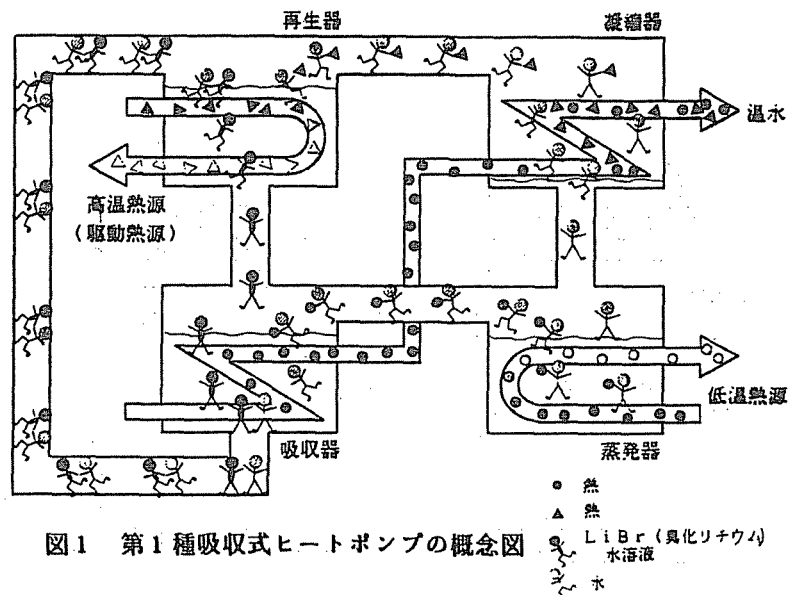


図1 第1種吸収式ヒートポンプの概念図

でき、地域冷暖房やビル空調などによく使用されている。

②第2種吸収式ヒートポンプ

蒸気発生を目的とした使用に適しており、中温熱（60～90℃程度）を駆動源として高温熱と低温熱を出力する（図3）。得られる熱量は駆動熱源熱量の約半分であるが、駆動熱源よりも高温の出力が可能であり、主に産業用として化学プロセスなど高温蒸気や高温水の必要な工程に適用が多い。つまり、第1種が増熱型であるのに対して、第2種は昇温型である。

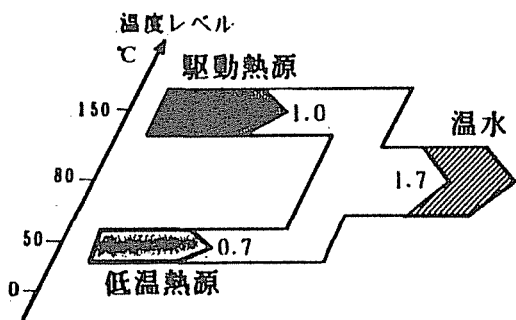


図2 第1種吸収式ヒートポンプの熱概念図

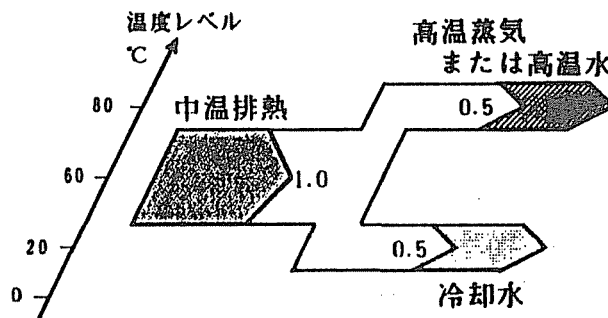


図3 第2種吸収式ヒートポンプの熱概念図

2) 吸収式ヒートポンプの経済性

ヒートポンプはボイラなどの代替法があるため、常にその経済性が問題となるが、石油焚ボイラに対する圧縮式と吸収式の経済性をみると、表1及び表2の通りとなる。同じ出力に対して圧縮式は動力費が大きく、蒸気など排熱が多く存在する場合には吸収式ヒートポンプの使用が経済的であることがわかる。

表1 経済性算出条件

石油低位発熱量	8,670 kcal/l (A重油)
燃料単価	35 円/l
ボイラ効率	0.85
年間運転時間	8,000 時間
電力単価	12 円/kW
成績係数 ※	圧縮式=4 吸収式=1.7

※：成績係数とは、駆動力（駆動熱量）に対する出力の割合（効率）

表2 経済性比較

		圧縮式	吸収式
出力熱量	Mcal/h	480	
ボイラによる重油代	円/年	18,237,000	
動力費	円/年	13,440,000	1,440,000
駆動用必要蒸気熱量	Mcal/h	—	280
年間利得	円/年	4,797,000	16,797,000

3) 当社の吸収式ヒートポンプの特徴

当社の吸収式ヒートポンプは、シェルアンドチューブ熱交換器による縦形4胴式（再生器、凝縮器、吸収器、蒸発器）で構成されており、その外観図を図4に示す。

4つの主要熱交換器が縦形であることから、その特徴として、

- ①対向流方式の熱交換により、横形と比較して熱交換効率が良い。
- ②蒸気発生方式に適している。
- ③据付面積が少ない。

が挙げられる。主として化学工業などの産業用とごみ焼却施設の排熱回収に使用されている。

なお、吸収式ヒートポンプの作動媒体—吸収剤として広く使用されている臭化リチウム水溶液は、170℃ 以上で装置金属への腐食性が急激に強くなるため、高温域では使用できない。そのため、当社では適用範囲を 250℃まで広げる高温用作動媒体として硝酸塩系水溶液を使用した吸収式ヒートポンプの開発・実用化を行った。これにより低温から高温に至る全ての温度領域に適用できるものと考えている。<sup>1)</sup>

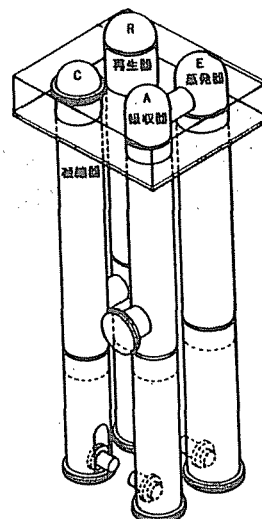


図4 日立造船式  
吸収式ヒートポンプ

### 3. ごみ焼却施設への適用例<sup>2)</sup>

ごみ発生熱量のうち、ボイラで回収できる熱量は一般に高い場合でも80～85%程度で、発生した蒸気を極力発電に利用しても、回収した熱量の高々15%程度が現状である。一般にごみ焼却施設における損失熱量として①低圧復水器放熱量②排ガス持出損失熱量③放散熱量④灰の持出熱量⑤灰中未燃損失熱量⑥排ガス処理に伴う損失熱量⑦高圧復水器放熱量⑧炉温低減用噴霧水の蒸発潜熱が挙げられる。この中で①低圧復水器放熱量と②排ガス持出損失熱量が大きく、7割程度以上を占めている。

低圧復水器は蒸気タービンの排気を復水処理する設備で、空冷式と水冷式とがある。日本では、ごみ焼却施設の立地条件や環境保全の観点からほとんどの施設で空冷式低圧復水器が採用されている。その熱損失例を概算すると次のようになる。処理能力300 t/dの焼却炉ボイラでの発生蒸気のうち蒸気タービンでの発電に使用される蒸気量を30t/h、タービン排気0.22ata（空冷では許容最高レベル、61.7℃）とすると、

$$\begin{aligned} \text{低圧復水器放散熱量 } Q_c &= W_s \times (h_i - h_o) \\ &= 30 \times 10^3 \times (624.0 - 61.7) \\ &= 16,870 \times 10^3 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

ただし、 $W_s$ ：蒸気流量 [kg/h]

$h_i$ ：低圧復水器入口蒸気エンタルピー [kcal/kg]

$h_o$ ：低圧復水器出口蒸気エンタルピー [kcal/kg]

という膨大な量となる。

また、排ガス持出損失については、煙突からの白煙発生を防止するために 200℃程度まで蒸気による加熱をしているために生じるものである。例えば、白煙を問題視せず現状における低減可能下限温度60℃まで下げたとすると、処理能力300 t/d（排出排ガス量約50,000Nm<sup>3</sup>/h）のごみ焼却施設において利用可能な排ガス損失熱量は、

$$\begin{aligned} \text{排ガス損失熱量 } Q_G &= W_G \times (T_1 - T_2) \times C_p \\ &= 50,000 \times (160 - 60) \times 0.3 \\ &= 1,500 \times 10^3 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

ただし、 $W_G$ ：煙突から排出される排ガス流量 [Nm<sup>3</sup>/h]

$T_1$ ：現状の排ガス排出温度 [°C]

$T_2$ ：低減可能下限の排ガス排出温度 [°C]

$C_p$ ：排ガスの定圧比熱 [kcal/Nm<sup>3</sup>·°C]

となる。

つまり、これらをいかに回収するかがごみ焼却施設における熱利用率の向上につながるものとする。そこで、これら損失熱を有効に回収したごみ焼却施設の事例について以下に紹介する。<sup>3)</sup>

1) 埼玉東部清掃工場（第2種吸収式ヒートポンプ適用例）<sup>4)</sup>

①施設概要

平成7年9月竣工予定で現在建設中のこの施設のシステムフローを図5に、主要設備概要を表3に示す。ボイラ蒸気条件は380℃×37ata、発電効率は20.6%（ごみ1tあたり720kWh）であり、共に国内最高である。過熱器材料の開発などによるボイラ蒸気条件の高温・高圧化、ボイラでの蒸発量の増大、タービン蒸気呑込み量の増大（内部抽気圧力制御を採用した復水タービンの抽気を場内使用蒸気に利用）、低圧復水器真空度アップ（夏場でも空冷復水器での最高レベル0.2ata）などの工夫により高効率発電を図っている。さらに、0.22ata（60℃）タービン排気を第2種吸収式ヒートポンプの熱源として利用してタービン排気よりも高い温度の温水（81℃）をつくり、5Gcal/hの熱を工場周辺地域の熱需要先へ供給することで、熱利用率の向上を図る。

②ヒートポンプによるタービン排熱回収

タービン排気のうち吸収式ヒートポンプの熱源として供給できるのは低圧復水器にて自然通風状態で処理される蒸気量を差し引いたものである。タービン排気は第2種吸収式ヒートポンプの吸熱部である再生器と蒸発器へ平行に導入され、その凝縮潜熱が再生器内吸収液の濃縮と蒸発器内作動媒体の蒸発に利用される。工場周辺地区へ供給されてシステムへ戻った温水は吸収器へ導入され、作動媒体蒸気と吸収剤溶液との吸収熱によって加熱されて再び工場周辺地区へ供給される。凝縮器は水冷で冷却塔が設置され、地域での熱負荷が最大となる冬期には冷却水温度が低下するので、駆動熱源であるタービン排気と冷却水との温度差が大きくなり、ヒートポンプの推進力が増してヒートポンプの出力は最大になる。表4に冬期最大出力時のヒートポンプ入出力条件を示す。

③熱利用率

熱利用率は現状の計画ベースで約27%となり、従来の高度ごみ発電施設において5~20%程度であったのに比べるとかなり向上している。その熱精算図を図6に示す。将来、ヒートポンプ出力を約25Gcal/hに拡大する予定であり、熱利用率は約40%にもなり現状の国内最高レベルの2倍以上にもなる。

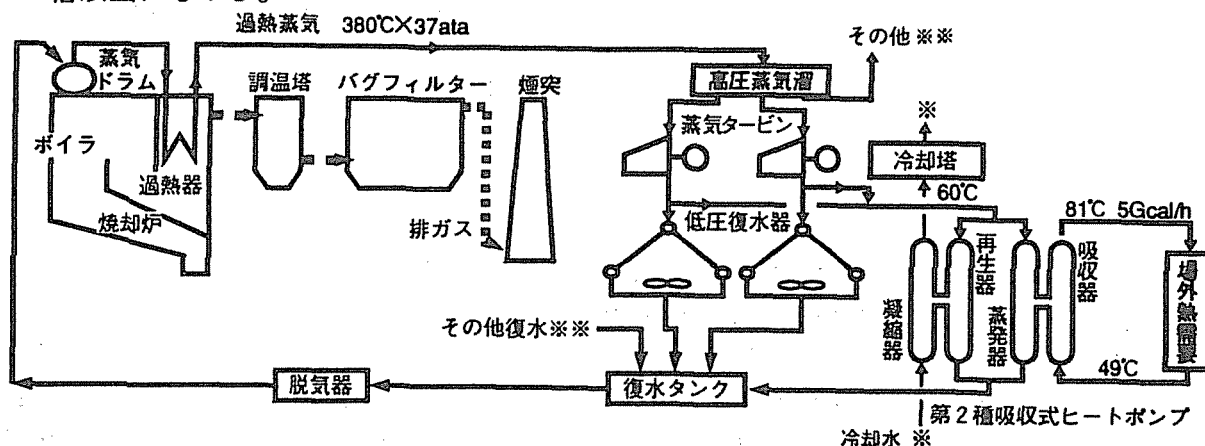


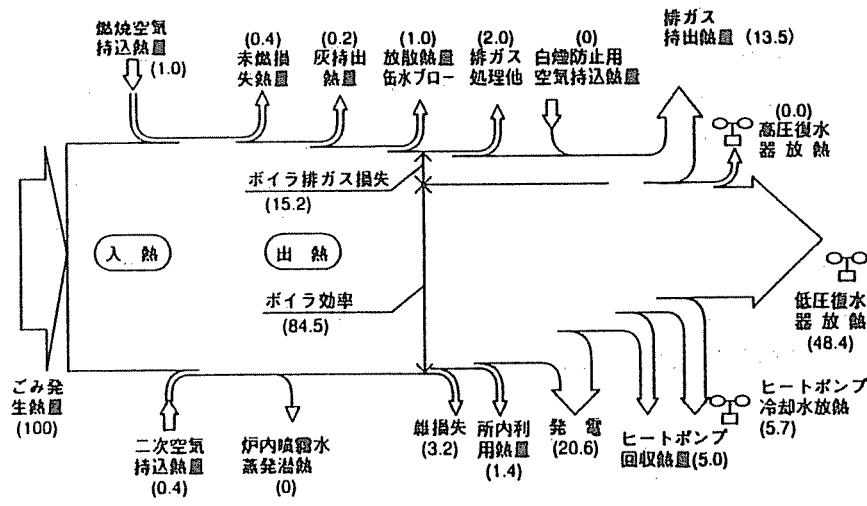
図5 埼玉東部清掃工場システムフロー（概略）

表3 主要設備概要

処理能力	200t/d×4炉
ボイラ蒸気量	34.5t/h×4缶
ボイラ蒸気条件	380℃×37ata
発電出力	12,000kW×2基
排熱回収設備	第2種吸収式ヒートポンプ
場外熱供給量	5Gcal/h
排煙処理設備	バグフィルタ

表4 ヒートポンプ入出力条件（入口/出口）

		吸収器	再生器・蒸発器	凝縮器
温度	℃	49 / 81	60 / 58	15 / 20
流量	t/h	156	20.7	1,130



注:  
 1) 対象は200万日のストーカ炉(冬期)で高質ごみ、最大負荷時  
 2) 排煙処理方式は乾式、低圧復水器は空冷  
 3) カッコ内の数値は各入・出熱量のごみ発生熱量(顕熱含む)に対する割合

図6 埼玉東部清掃工場熱精算図

2) 長野市清掃工場(第1種吸収式ヒートポンプ適用例)

昭和60年10月に竣工して現在稼働中のこの施設では背圧タービンにより1,300kWの発電を行い、1.5ataのタービン排気を有効に利用して、地域社会の振興を目的とした温水プールを中心としたレクリエーションセンター「サンマリン・ながの」へ4.5Gcal/hの熱を供給している。

冬期には、タービン排気(1.5ata)を熱源にして温水発生器で温水をつくと同時に、ごみ焼却ボイラ蒸気(低圧蒸気溜からの6ata蒸気)を駆動熱源として、ごみ焼却場の各種機器類の冷却水として利用された39℃の水を低温熱源として第1種吸収式ヒートポンプに導入して温水を発生させている。温水発生器と吸収式ヒートポンプにより常時80℃に加熱されている温水は、熱利用先にて暖房、給湯、融雪などに利用され、65℃で本施設へ戻る。(図7参照)

夏期には外部流体ラインを切り替えて、タービン排気(1.5ata)を駆動熱源とする吸収式冷凍機として使用し、得られた冷水を熱利用施設へ供給して冷房を行っている。

3) ユプサラエネルギー公社

首都ストックホルムの北西60kmに位置するユプサラ市(人口約25万人)では、市営の共同企業体であるUEAB(ユプサラエネルギー公社)がユプサラ市で必要とされる熱、電力及び工業用蒸気を生産・供給している。この熱生産の1/3は、UEABが運営しているごみ焼却施設により賄われている。年間約25万tのごみを焼却し、その排ガス処理とエネルギーの節約とを目的として、湿式洗煙装置と吸収式ヒートポンプを組み合わせた新しいシステムが採用された。このシステムは世界で初めてのものであり、また排ガス冷却器及び吸収式ヒートポンプともに世界最大規模のものである。

燃焼排ガスは電気集じん器、エコノマイザーを通過した後140℃で排ガス冷却器へ導かれ、循環水によって35℃まで冷却されて排ガス中の水分が凝縮し、排ガス中の汚染物質が除去される。冷却水で回収された排熱を吸収式ヒートポンプの低温熱源に使用し、ごみ焼却施設のボイラ蒸気を駆動熱源に使用して得られた71.4℃の温水は、ボイラ蒸気にてさらに加温されて熱需要家へ供給される。このシステムにより、従来煙突より排出されていた排ガスから22MWの熱を回収して53MWの熱を出力している。(図8参照)

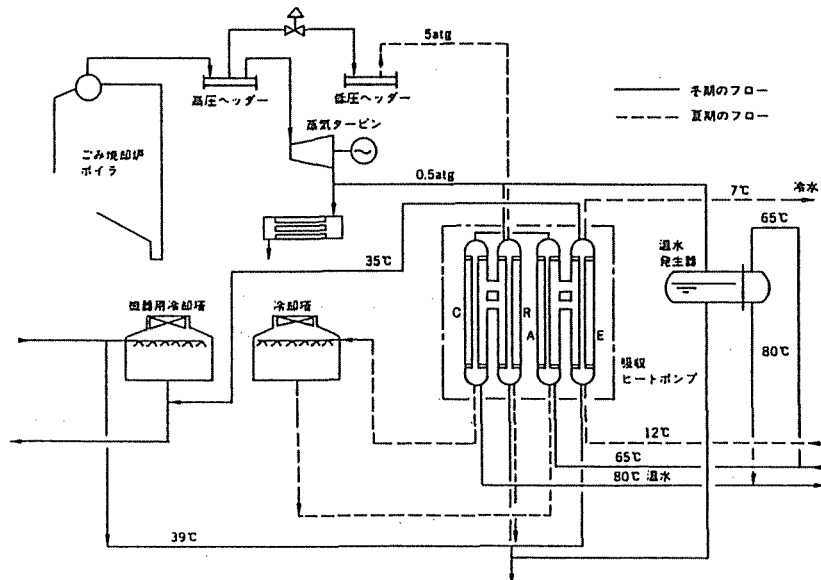


図7 長野市清掃工場ヒートポンプフローシート

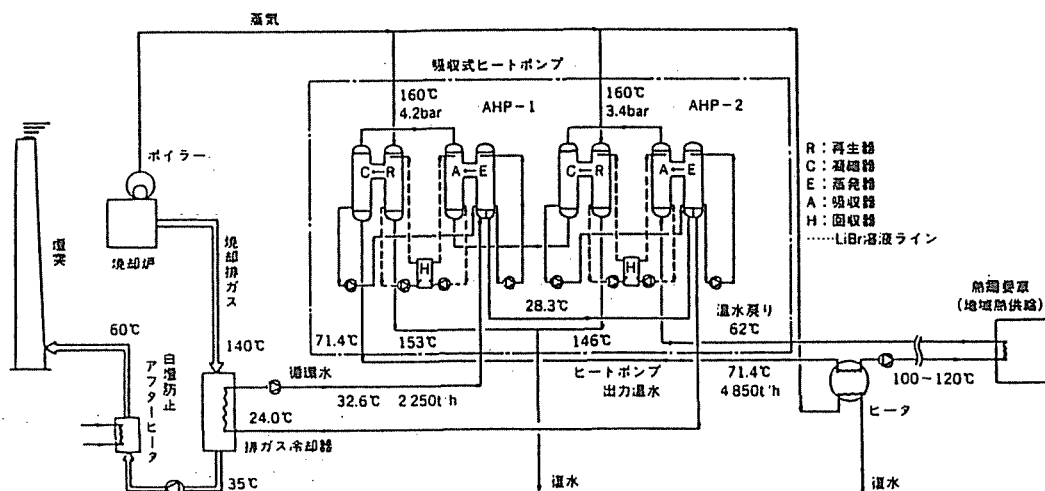


図8 UEABにおける排ガスからの熱回収システムフローシート

### 3. おわりに

ごみ焼却施設の第1目的はごみの衛生的処理であるが、エネルギーをほとんど海外から輸入しなければならないわが国にとってはごみの持つエネルギーは重要である。そのエネルギーを有効に回収して利用するためにも、ボイラの高温・高圧化に耐えることができる過熱器管材料や溶射などの開発、燃焼特性の高度化、排熱回収システムの開発などがさらに必要である。しかし、古くから発電所としてごみ発電を実施してきた欧米に比べると、日本のボイラ蒸気条件はまだ低く、排熱利用もまだまだ改善する必要がある。埼玉東部清掃工場では国内最高レベルの高度ごみ発電システムを計画して熱利用率の向上を図ったが、これを超える高効率熱利用型ごみ焼却施設熱回収システムの構築を期待したい。

### 参考文献

- 1)越智、井上：日立造船技報、第55巻第1号、pp43-pp47、1994
- 2)(財)廃棄物研究財団：W121CP「焼却処理施設におけるエネルギー転換推進研究（H3年度）」、1992
- 3)加藤：建築設備と配管工事、1988年3月号、pp55-pp59
- 4)深堀、築井山、神山、寺島：廃棄物学会第4回研究発表会講演論文集、pp679-pp682、1993