

② 清掃工場における排熱利用の現状と今後の課題

森谷昭司

—はじめに

東京都区部のごみ排出量は、昭和三十年代からの高度経済成長期に飛躍的に増大し、昭和四十八年秋の第一次石油危機で若干減少し、さらに昭和五十四年の第二次石油危機を経て、その後ほぼ年間三百八十万トンで横這いの状態が続いてきた。しかし、昭和六十年代から再び増に転じ、以後年平均六%のペースで増え続け、昭和六十三年度には四百八十七万トン（産業廃棄物を除く）とこれまでの最高の量となっている。この四年間で百万トン、人口百六十万人の札幌市や人口二百万人の名古屋市等の年間処理量に匹敵する量の増加をみたことになる。

ごみ急増の要因は、にわかに特定できないが、ごみの組成の経年変化等から、情報化、OA化の進展の中で紙の使用量が増え、折からの円高の影響で古紙の価格が暴落したため古紙の回収ルートが衰退し、大量の紙がごみとして排出さ

れたことが大きいと見られている。このように、ごみは変動する社会情勢を敏感に反映しており、最近のごみは量だけでなく質の面でも大きく変化している。昭和四十年代初期のごみは、厨芥類が主体であり、発熱量は平均千キロカロリー／キログラムと低かったが、最近では、紙、プラスチックの含有が増え、発熱量は二千キロカロリー／キログラムを超えるほど高くなっている。このため、ごみ発熱量上昇の影響を受けて古い工場ほど焼却能力が低下している現状である。

しかし約二千キロカロリー／キログラムという高いカロリーのごみを焼却処理する際に発生する焼却排熱は次のような優れた特徴を有する都市の貴重なエネルギー源でもある。

- ① ごみを適正に中間処理する過程で付随して発生する副産物といえるので、燃料費が無料となり経済性と省エネルギー性に優れている。
- ② ごみ焼却熱は、その生産に原油などの新たな

—はじめに
二—ごみ焼却排熱利用の現状
三—今後の課題

一次エネルギーを必要としないので、一次エネルギー価格に影響されず、長期にわたり安定した供給が可能である。

更に、ごみ焼却排熱の特徴をあげれば、第一に利用ポテンシャルが高いことである。焼却炉で発生した熱を廃熱ボイラで吸収し蒸気として利用できるため、発電、給熱、吸収式冷凍機による冷熱製造等多用途に活用できる。

第二に量が多いということである。現在、都二十三区で年間発生する可熱ごみの量は約三百五十万トンである。ごみ一トン当たり二ギガカロリー^キとして計算すると、全量を焼却した場合、年間発生熱量は七千テラカロリー^キ、その熱量を石油に換算すると約七十万キロリットルに相当する。

反面、ごみ焼却排熱を利用する場合、①一般に清掃工場が熱需要地から離れて立地している、②排ガス中に腐食性ガスを多く含むことから、蒸気条件を低く抑えざるを得ないこと、③ごみ

焼却が目的であるので、熱負荷に追従して発生熱量を制御できない等の制約がある。このため、東京都においても発電、近隣施設への給熱等により排熱利用を行っているものの、大部分の熱が未利用であるのが現状である。

しかしながら、炭酸ガスによる地球温暖化問題、あるいは省エネルギーの観点から未利用エネルギーの活用は、環境政策やエネルギー政策上の主要施策の一つとして、急務を要する課題となっている。

かかる背景において、清掃工場を地域エネルギーセンターとして位置づけ、社会的役割を拡大し、イメージアップを図ることにより、将来にわたり安定した清掃事業の運営を確保するためにも、ごみ焼却排熱利用の拡大は、今、大きく求められているところである。

二——ごみ焼却排熱利用の現状

東京都が清掃事業を行っている都内二十三区を例に取ると、焼却処分することが可能な可燃ごみの年間発生量は、前述したように昭和六十三年度で年間三百五十万トンである。清掃工場の焼却能力の関係から、この内の約二百八十万トンを表1の十四カ所の清掃工場で焼却処分している。ごみ焼却時の発生熱量はごみ一トン

当たりの発生量を二ギガカロリーとすると、年間約五千六百テラカロリーとなる。

清掃工場の内部は図1のようになっている。ごみ収集車で搬入されたごみはごみバンカに貯蔵され、クレーンで焼却炉上部の投入ホッパに投入される。焼却炉内に投入されたごみは、火格子(ストローカ)上を移動しながらごみ焼却熱により順次乾燥されて燃焼する。

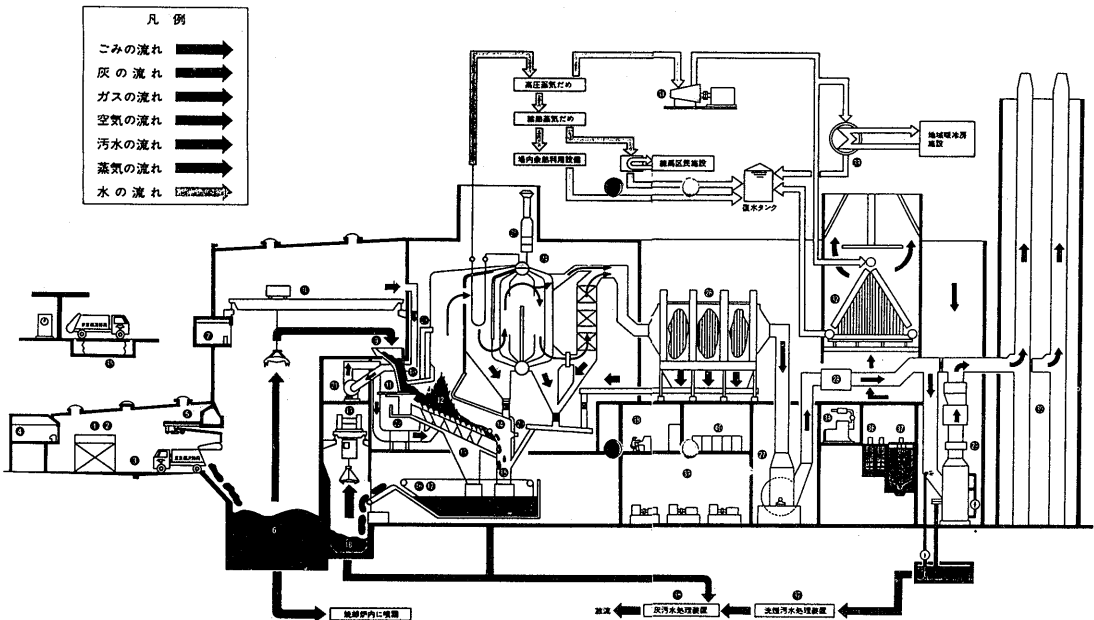
焼却残灰は、炉下部の冷却水槽に落ち、コンベアで灰バンカに送出される。

ごみ焼却排熱は、炉上部に設置されたボイラにより回収される。

全清掃工場を合計した昭和六十三年度の熱バランス実績を図12に、各清掃工場のボイラ及びタービンの仕様を表12に示す。なお、建設年度の古い江戸川及び北清掃工場にはボイラを設置していない。

図12によりその概要を説明すると、ボイラで回収できた熱量は七〇%である。回収できなかった熱損失の内、最も大きいのは排ガ

図-1 清掃工場フローシート

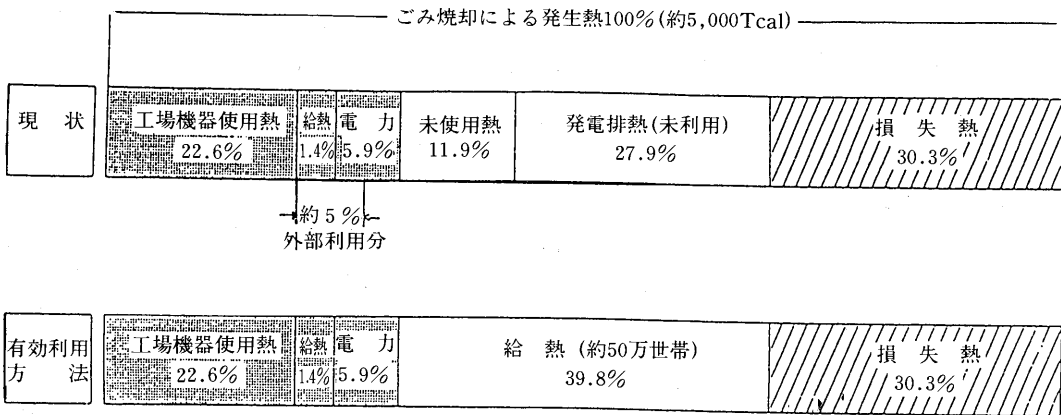


表一 東京都清掃工場一覧

工場名	工期		敷地面積	建設費	炉型式 注3	設計最高 発熱値	規模 (炉基数)	焼却能力 注4	エネルギーの利用		利便施設	
	着工	竣工							発電能力	給熱能力		
	昭和	昭和	m ²	百万円		kcal/kg		t/日	kW			
江戸川	39.12	41.10	19,704	1,437	タクマ式 SC型	1,200	600t/24H (200t×3)	405	—	温水	9	区立くつろぎの家 注1
北	41.7	44.3	10,470	1,681	フェルント式	1,200	600t/24H (300t×2)	400	—	温水	6	区立老人いこいの家
練馬	41.6	44.3	15,763	2,069	デ・ロール式	1,500	600t/24H (300t×2)	430	1,500	温水 高温水	25 1.3	見原台温水プール 立三原台児童館 区立三原台敬老館
世田谷	41.10	44.3	27,846	3,136	デ・ロール式	1,500	900t/24H (300t×3)	645	2,500	温水 蒸気	25 5	区立老人体養ホームふ じみ荘 区立身障者施設 世田谷美術館
千歳	42.10	46.3	17,062	2,285	タクマ式 H型	1,500	600t/24H (300t×2)	430	1,700	温水 高温水	25 0.7	区立千歳温水プール (温水プール、老人体 養室、トレーニング室)
大井	45.10	48.9	53,767	5,737	デ・ロール式	1,800	1,200t/24H (300t×4)	1,080	2,500	温水 高温水	15 19.0	区立東品川敬老会館 区立東品川文化センター 体育施設
多摩川	46.4	48.11	26,948	2,997	タクマ式 H型	1,900	600t/24H (300t×2)	520	2,000	温水 高温水	30 1.8	区立矢口区民センター (温水プール、保育園、老 人福祉施設、身体障害児 (者)施設、青年の家等)
江東	45.10	49.3	86,738	9,339	タクマ式 H型	1,800	1,800t/24H (300t×6)	1,560	15,000	温水 高温水	25 12.0	都立夢の島体育館 立夢の島いこいの家 (老人施設・身障者施 設) 熱帯植物館
板橋	46.7	49.12	44,424	4,548	フェルント式	1,900	1,200t/24H (300t×4)	1,100	3,200	温水 高温水	15 3.36	区立高島平福祉センター 区立温室植物園 区立高島平温水プール
葛飾	48.12	51.12	42,311	14,842	マルチン式	2,500	1,200t/24H (400t×3)	1,200	12,000	温水 高温水	26.2 1.5	区立水元区民センター (区民館、老人いこいの家、 温水プール、体育館)
足立	49.4	52.9	37,103	15,623	デ・ロール式	2,500	1,000t/24H (250t×4)	750	6,000	温水 高温水	20 2.0	区立竹の塚温水プール、 区立老人会館、区立心 身障害者福祉センター、 区立東伊興児童館
杉並	53.4	57.12	36,958	17,737	フェルント式	2,100	900t/24H (300t×3)	600	6,000	温水 高温水	14 3	区立高井戸市民センター (温水プール、老人福 祉センター、地域区民 センター)
光が丘 注2	55.10	58.9	23,690	10,513	マルチン式	2,700	300t/24H (150t×2)	300	4,000	温水 高温水 低温水	3.1 1.5 8.0	旭町南地区区民館、 児童温水プール、体 育館、敬老館)
大田 第一	62.3	平成 2.3	92,017	19,824	タクマ式 HN型	3,000	600t/24H (200t×3)	600	12,000	—	—	—
大田 第二	62.3	平成 2.3	92,017	32,570	日立造船式 熱分解熱焼炉 灰熔融炉付	3,500	600t/24H (200t×3)	600	15,000	—	—	—
目黒 建設中	62.9	3.3 (予定)	29,752	17,988	フェルント式	2,800	600t/24H (300t×2)	600	11,000	温水 高温水	6 3.9	未定

注1. 温水及び蒸気の単位はt/H、高温水(135°C)および低温水(45°C)の単位はGcal(ギガカロリー)=100万kcal/Hである。
 2. 光が丘の正式名称は、練馬清掃工場光が丘工場
 3. 炉型式、タクマ式(日本)、フェルント式(デンマーク)、デ・ロール式(スイス)、マルチン式(西ドイツ)
 4. 焼却能力は、現在のゴミ質を焼却した場合における能力である。

図-2 清掃工場熱バランス (全工場)



- 注) ・ 蒸気1Ton当りの利用可能熱量は0.5Gcalとした。
 ・ 1世帯の年当りの冷暖房・給湯による熱使用量は4.25Gcalとした。
 ・ 1Tcal=1,000 Gcal, 1Gcal=1,000,000 Kcal
 ・ 発電量：約380,000,000 KwH/年 Kwh

表-2 清掃工場ボイラ・タービン仕様

工場名	ボイラ				タービン			
	形式	容量 t/h	圧力 kg/cm ²	温度 ℃	形式	圧力 kg/cm ²	温度 ℃	真空度 又は背圧
練馬	自然循環	33×2	17	206	背圧	12	192	0.3
世田谷	自然循環	33×3	17	206	背圧	10	138	0.3
千歳	強制循環	23.4×2	16	260	背圧	12	260	0.5
大井	自然循環	31.5×4	16	220	背圧	10	191	0.3
多摩川	強制循環	31.0×2	23	270	背圧	17	250	0.5
江東	強制循環	27.8×6	23	270	復水	17.5	250	539
板橋	自然循環	28.9×4	20	214	背圧	12	191	0.3
葛飾	自然循環	58.8×3	23	280	復水	17	273	576
足立	自然循環	39.5×4	19	211	背圧	14	197	0.3
杉並	自然循環	36×3	26	320	復水	19	275	539
光が丘	自然循環	30×2	21.5	280	復水	19	275	547
大田第一	自然循環	35×3	30	300	復水	25	295	555
大田第二	自然循環	43.8×3	30	300	復水	25	295	570
目黒 建設中	自然循環	50.8×2	29.8	300	復水	23.5	295	570

ス持ち出し熱量である。これは、塩化水素等による低温腐食を防止するため排ガス温度が二五〇度程度と高いことによるが、最新の清掃工場では、さらに排ガス温度を下げるため耐触性を考慮したエコノマイザが設置されている。他の熱損失としてはボイラ壁、炉壁からの放熱、焼却残灰保有熱量等がある。ボイラで回収された熱の利用内訳は、二三%（発生熱量に対して、以下同様）を工場内で使用し、近隣施設、地域冷暖房用給熱に一・四%、タービン発電機で電力に交換される熱が六%である。

したがって、発生熱量に対して四〇%（約二千二百テラカロリー／年、石油換算で二十二万キロリットル）が現在未使用となっている。この内、一二%の熱がボイラで発生した蒸気のまま復水されており、二八%が発電後の利用可能な排熱である。

① 排熱利用による発電

ごみ焼却排熱を利用した発電は、欧州では比較的古くから例があるものの、わが国では昭和三十九年に竣工した大阪市の西淀清掃工場が最初である。東京都においては、昭和四十四年、練馬清掃工場に千五百kWの発電機を設置し、これ以後建設した清掃工場については、すべて発電機を設置している。

ただ、昭和五十年以前に建設した清掃工場については、電力会社に対して余剰電力の逆送電が出来なかったことから、所内使用電力を賄う程度というところで取り扱いの客易な背圧タービンを採用し、余剰蒸気の一部を使用して発電しているため、発電出力が小さいものとなっている。

昭和五十一年に逆送電が可能になり、その後、電力会社が余剰電力を買ってくれるようになったため、昭和五十一年以降に建設された清掃工場の大部分は、余剰蒸気の全量を発電に使用する設計となっており、効率の良い復水タービンを採用している。発電出力が大きくなっている。例を挙げると、設計ごみ発熱量が上がっているため単純な比較はできないが、練馬清掃工場と同一焼却規模（日量六百トン）の目黒清掃工場（建設中）における発電出力は一万一千kWである。

現在、東京都で発電機を設置している清掃工場（十二工場）の発電出力合計は八万三千四百kWであるが、昭和六十三年度には五万六千四百kWで約三億七千万kWh発電し、半分強の一億九千万kWhを電力会社に逆送電して約十四億円の収入を得ている。また、清掃工場所内使用電力の九四%を発電で賄っている。

総合発電熱効率は、全清掃工場平均では約六

%であるが、背圧タービンを設置している工場でも五%、復水タービンを設置している工場でも一五%程度と、一般の発電用タービンの総合発電熱効率四〇%程度に比較して低くなっている。これは、①燃焼ガス中の腐食性物による高温腐食のためボイラ蒸気条件が圧力で三〇kg/cm²、過熱温度で三五〇度程度以下に抑えられていること、②清掃工場の立地上の理由から空冷式蒸気復水器を使用しているため真空度を高められないこと等による。

原単位について見ると、ごみ一トン当たりの発電量は復水タービンで約三百kWh、背圧タービンで約百二十kWhである。なお、ごみ一トン当たりの電力使用量は百kWh前後であるから、復水タービンでは、所内使用に対し三倍の発電をしていることになる。

② 近隣施設への給熱

東京都においては、表一に示すようにすべての清掃工場で、近隣の区民センター、プール、植物園、老人福祉施設等へ給熱を行っている。給熱方式としては、温水直送または高温水方式を用いている。

温水直送方式は、清掃工場内に設置した熱交換器で蒸気により七〇〜八〇度の温水を造り、ポンプで近隣施設に搬送して温水を直接給湯等

に使用する方式である。高温水方式は、清掃工場内に設置した熱交換器で一三〇度程度の高温水を造り、近隣施設内に設けた熱交換器との間を循環させて、熱のみを送る方式である。高温水方式は、暖房はもちろん吸収式冷凍機を用いて冷房にも使用出来るなど利便性が高いことから、今後設置していく給熱設備については主に高温水方式とする方針である。

しかし、東京都のごみ焼却排熱量全体から見ると、近隣施設への熱供給量は僅か〇・五％に過ぎない。江東清掃工場では、夢の島総合体育館、熱帯植物館といった比較的大きな熱需要先を持つているにもかかわらず、当工場のごみ焼却排熱量に対する給熱量の割合は一・五％程度である。したがって、相当大規模なプール、植物園等を清掃工場近隣に設置しても、量的には有効な利用先とはなり得ないことを、この数字は表している。

⑦八潮団地への給熱

品川八潮団地には、住宅が約五千二百戸、学校が五校、店舗、銀行、保育園等業務施設が十六施設あり、図一三のように熱供給会社の給熱プラントより熱を供給している。

昭和六十三年の実績を見ると、大井清掃工場からの年間熱供給量は約四十テラカロリー、熱供給設備容量に対する利用率は二二％、当工

場ごみ焼却排熱に対する熱供給量の割合は七％となっている。

⑧光が丘団地への給熱

練馬清掃工場光が丘分工場から光が丘団地給熱プラントへの熱供給は、高温水を用いている八潮団地と異なり図一四のように、発電排熱を利用している。即ち、清掃工場のボイラから発生した蒸気を、まず工場内の復水タービン（四千kW）に通して発電し、タービン出口蒸気を復水する過程で得られる熱を、温水（四五度）の形で、給熱プラントに送熱している。

昭和六十三年の実績で、光が丘分工場から給熱した熱量は年間約三十三テラカロリー、熱供給設備容量に対する利用率は四八％、当工場ごみ焼却排熱に対する熱供給量の割合は二八％である。

三——今後の課題

ごみ焼却排熱利用の今後の方向は、技術開発の動向、清掃工場の立地条件等を勘案すると、次のように考えられる。

①ごみ焼却排熱による発電の拡大

電気は、多用途に使えて扱い易いエネルギーである。清掃工場内使用電力の三倍程度の発

電が現状の技術でも可能なことから、大きな熱需要先が見込めない場合は、発電は有効な利用方法である。加えて発電電力の余剰を電力会社が引き取るなら、電力会社の送電線網を通じて余剰電力を特別なコストなしに需要先まで輸送でき、電力需要は大きいので、発電に使用可能な蒸気すべてを利用できるメリットがある。

問題は、総合発電熱効率が最新の設備でも一五％程度と低いことである。したがって、①高温腐食対策を行ってボイラ蒸気条件を高くする、②タービン排気復水方式を検討して真空度を上げることに、タービン熱効率を向上させること、等が今後の課題である。

②地域熱供給への利用

熱需要先として、区民センター、温水プール等の公共施設だけでは熱需要量が小さいことから、熱需要の大きい地域冷暖房に清掃工場排熱を利用するものである。ただ、冷房用の冷水製造に二重効用吸収式冷凍機を使用したとしても、蒸気条件は $8\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ であり、九〇度の温水を製造するには、大気圧を少し上回る程度の蒸気圧力で十分である。

したがって、熱供給を主体に排熱利用を行う場合でも、蒸気を所内使用電力を賄う程度の抽

図-3 品川八潮地域冷暖房給湯システム

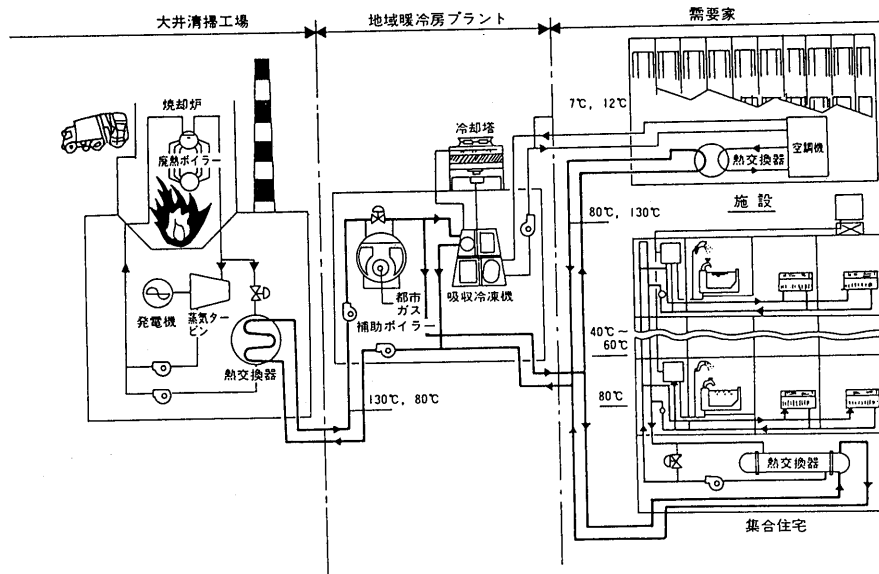
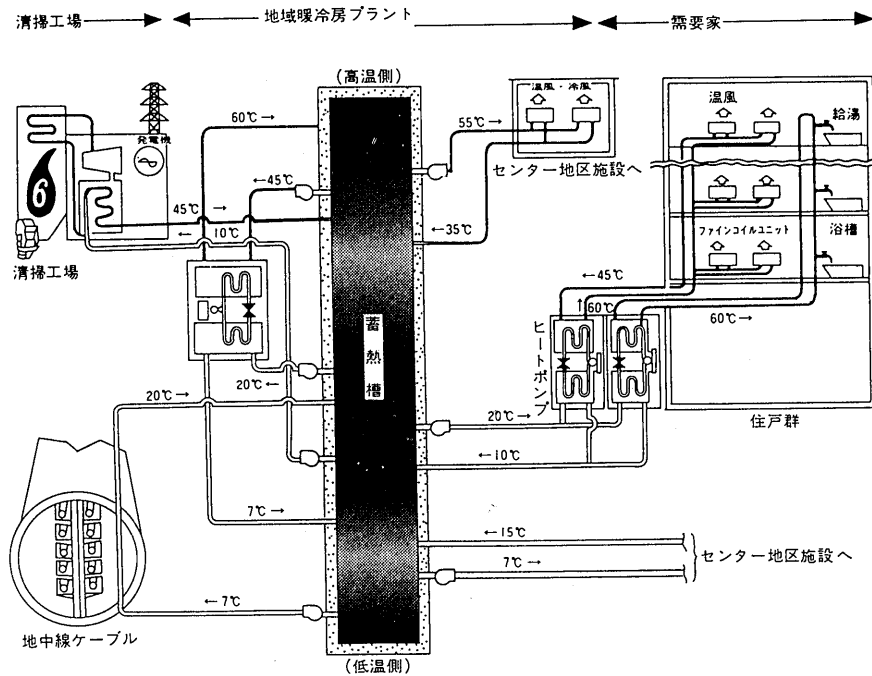


図-4 光が丘地域冷暖房給湯システム



気タービンで先ず使用し、タービン使用後の蒸気で冷水、温水製造を行う電熱複合システムが、熱利用上からは有効であると考えられている。

地域熱供給を行う場合の問題点として、①清掃工場近隣地域は一般に一戸建住宅が多く、熱需要密度が小さいため、熱供給区域が広範囲となる、②既存市街地に熱供給する場合、配管敷設費が高額になる、③清掃工場が定期点検、故障等で給熱できなくなることがあるため、バックアップ熱源が必要となる、④ごみ焼却排熱が熱源ということで、給熱単位が低くなることを熱需要先から期待されること等から、初期投資費用が大きくなるとともに収入が低く抑えられ、事業採算が取れなくなる恐れがある、等が挙げられる。

なお、八潮、光が丘団地は、計画当初から地域熱供給が計画されており、熱供給配管の大部分は住宅建設事業者の負担で建設されたものである。

④ 都市排熱ネットワークの構築

清掃工場等の都市排熱が活用されていない大きな原因は、熱を効率的に活用できる熱需要密度の高い大規模熱需要先と排熱発生源が離れており、いわゆる位置的なミスマッチが生じていることにある。東京二十三区で見ると、清掃工

場は区部周辺の内陸部及び湾岸部に点在している。これに対し、大規模熱需要地は、都心部及び今後、臨海部副都心を始めとして大規模な再開発が予定されている東京湾岸地域である。

このミスマッチを解決する方策として、大規模熱需要地と排熱発生源をリンクして熱輸送を行う熱ネットワークの構築が考えられる。熱輸送ルートの選定、大深度地下利用の可否、物流システム等都市施設管路との併設可能性など、解決しなければならぬ問題は多いが、実現できるなら、ごみ焼却排熱を始めとした未利用エネルギーの活用は飛躍的に進むことになる。

東京都においては、卸熱供給ネットワークの検討を主眼に、清掃工場排熱の積極的な有効利用を図るため、本年度から三カ年計画で「清掃工場余熱利用推進調査」を実施している。調査の初年度である本年は、

- ① 清掃工場における熱利用の現状調査・評価
- ② 清掃工場発生熱エネルギーの需要先調査
- ③ 清掃工場における熱利用推進技術の調査
- ④ 清掃工場における新規熱利用事業の可能性調査
- ⑤ 熱輸送管路と清掃工場間ごみ中継輸送システムとの一体化調査

を主体に行う考えである。また、本年度の調査結果をふまえ、次年度以降の調査フレームを抽出していく考えである。

出していく考えである。

特に、本年は各種の余熱利用モデルによるケーススタディを行い、その経済効果、政策効果を検討していく考えであり、その一つとして、都心部等の大規模熱需要地に清掃工場を立地し、熱供給を行う「熱需要地立地モデル」について調査・検討することとしている。ごみ処理上はもちろん、熱供給においては、都心部等に清掃工場を立地するメリットは大きい。しかし、土地の有効利用及び住民対策上、清掃工場の地下化を含めた検討、また、合築による工场上部空間の多目的利用の検討等対処すべき課題も多い。

東京都においては、これらの調査をふまえ、清掃工場で発生する未利用の膨大な熱エネルギー（平成十二年度ベースで約八千テラカロリー）を活用し、ごみの資源化及び省エネルギーをなおいっそう推進していく所存である。

余熱利用推進調査にあたっては、国、電力・ガス等の監督官庁、エネルギー供給事業者及びその他関係機関のご理解とご助力を、この紙面を借りて、強くお願いする次第である。

△東京都清掃局工場管理部副主幹（発電計画担当）▽

（注）

- (1) ギガカロリー 一百万キロカロリー
- (2) テラカロリー 十億キロカロリー