

平成 21 年度
廃棄物分野における温暖化対策に関する
動向等調査報告書

平成 22 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会
社団法人 産業と環境の会



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>

序

近年、経済の発展と環境の保全、機械の高度化と安全に対する課題がクローズアップされ、機械工業においても環境問題や安全問題が注目を浴びるようになってきております。環境問題では、地球温暖化対策として排出権取引やCDMなどの柔軟性措置に関連した新ビジネスの動きも本格化し、政府や産業界は温室効果ガスの削減目標の達成に向けた取り組みを強化しているところです。また、欧州化学物質規制をはじめとする環境規制への対応も始まっています。その対応策が新たな課題であるとともに、新たなビジネスチャンスとも考えられます。

一方、安全問題も、機械類の安全性に関する国際規格の制定も踏まえて、平成19年には厚生労働省の「機械の包括的な安全基準に関する指針」の改正に伴い、リスクアセスメント及びその結果に基づく措置の実施が事業者の努力義務として規定されるなど、機械工業にとってきわめて重要な課題となっております。

海外では欧米諸国を中心に環境・安全に配慮した機械を求める気運の高まりから、それに伴う基準、法整備も進みつつあり、グローバルな事業展開を進めている我が国機械工業にとって、この動きに遅れることは死活問題であり早急な対応が求められております。

こうした内外の情勢に対応するため、当会では環境問題や機械安全に係わる事業を発展させて、環境・社会との共存を重視する機械工業のあり方を追求するため、早期からこの課題に取組み調査研究を行って参りました。平成21年度には、海外環境動向に関する情報の収集と分析、それぞれの機械の環境・安全対策の策定など具体的課題を掲げて活動を進めてきました。

こうした背景に鑑み、当会では機械工業の環境・安全対策のテーマの一つとして社団法人産業と環境の会に「廃棄物分野における温暖化対策に関する動向等調査」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚です。

平成22年3月

社団法人 日本機械工業連合会
会長 伊藤源嗣

はしがき

地球温暖化対策は、機械工業をはじめとして産業界全体が取り組むべき喫緊の課題です。我が国は、鳩山イニシアチブのもと、2020年までの温室効果ガス排出量の削減目標について、すべての主要国による意欲的な目標の合意が前提としながらも、1990年比で25%の削減を達成するとの高い目標を掲げています。目標達成のためには、温室効果ガスの排出源に応じてきめの細かい対策を推進していくことが求められますが、なかでも廃棄物分野の温室効果ガスは、総排出量に占める割合こそ比較的小さいものの、排出量が基準年比よりも依然として増加しており、今後の更なる対策が必要な分野のひとつです。

廃棄物を利用した廃棄物発電や廃棄物熱利用は、新エネルギーとして位置付けられており、廃棄物対策のみならず地球温暖化対策にも有効であると言えます。地球温暖化対策推進大綱では廃棄物発電の場合、2010年に417万kW（新エネ導入目標の約3割）という目標達成のため、導入促進が図られています。

機械工業をはじめとする産業界においては、産業廃棄物対策は重要な環境対策であり、廃棄物焼却炉を有する事業者も多いことから、廃棄物分野を中心とした温暖化対策の実態把握をすることで対策の推進を図ることが、地球温暖化対策の観点からもきわめて重要なものであると考えます。

一方、京都議定書第一約束期間がスタートし、我が国の削減目標（6%）達成のためのさらなる削減が産業界に求められているとともに、費用対効果の高い削減方策として京都メカニズムの活用に向けた検討が行われています。

以上の状況を踏まえ、本調査では、温暖化対策促進に資することを目的として、廃棄物分野を中心とした温暖化対策の実態把握を行い、率先的取組の調査と対策促進のための課題の抽出を行いました。また、費用対効果等の面から、産業界における温暖化対策に寄与し、我が国の京都議定書削減目標の達成することを目的として、京都メカニズム活用のための国内外の動向調査を実施しました。

本報告書が、機械工業をはじめとする産業界の今後の地球温暖化対策と廃棄物対策の一助となりましたら大変幸いです。最後になりますが、本調査研究を進めるに当たり、多大なご協力を賜りました関係各位に深甚の謝意を申し上げます。

平成22年3月

社団法人 産業と環境の会
会長 山本 貞一

平成21年度「廃棄物分野における温暖化対策検討委員会」委員名簿

委員長	高岡 昌輝	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 准教授
委員	角田 芳忠	社団法人 日本環境衛生施設工業会 技術委員長 ((株)タクマ 企画・開発センター 東京技術企画部長)
”	小坪 一久	(財)地球環境戦略研究機関 気候変動領域 市場メカニズム研究員/プロジェクト・サブマネジャー
”	澁谷 栄一	JFEビーレック(株)代表取締役社長
”	山田 明弘	三菱重工環境・化学エンジニアリング(株) プラント事業本部プロジェクト部長
”	山田 正人	(独)国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター 資源化・処理処分技術研究室 主任研究員

(敬称略 氏名五十音順)

目次

第1章 廃棄物分野における温暖化対策の現状と課題	1
1.1 はじめに	1
1.2 廃棄物分野における温室効果ガス排出の現状	3
1.3 廃棄物分野における温暖化対策の現状	3
1.3.1 一般廃棄物	3
1.3.2 下水汚泥	11
1.3.3 海外における状況	13
1.4 今後の課題	25
第2章 市場メカニズムの活用による温暖化対策の現状と課題 ...	27
2.1 はじめに	27
2.2 廃棄物分野における対策事例	28
2.2.1 JI	28
2.2.2 CDM	30
2.2.3 排出量取引	42
2.3 廃棄物分野以外での対策事例	46
2.3.1 再生可能エネルギー利用	46
2.3.2 エネルギー利用の改善	47
2.3.3 工業ガス削減	47
2.3.4 植林他	47
2.4 今後の課題	47
第3章 温暖化対策におけるイノベーションの可能性	49
3.1 はじめに	49
3.2 廃棄物分野における現状と可能性	50
3.2.1 発電効率の向上	50
3.2.2 廃熱利用の用途拡大	66
3.2.3 一般廃棄物と産業廃棄物の混焼による発電効率の大幅アップ	85
3.2.4 その他	91
3.3 国内外への市場拡大の可能性	102
3.4 今後の課題	102
参考文献	106

第1章 廃棄物分野における温暖化対策の現状と課題

1.1 はじめに

我が国の平成19年度における一般廃棄物の総排出量は5,082万トン(前年度比2.3%減)であり、1人1日あたりのごみ排出量は1,089g(前年度比2.4%減)と年々減少を続けている。総排出量から集団回収量(305万トン)等を除いた総処理量は4,774万トンで、そのうち焼却等で中間処理された総処理量は4,392万トンとなっている。また、直接焼却量は3,701万トンで、総処理量の約78%が焼却されている。この直接焼却量も、平成13年度以降、微量ではあるが減少傾向にある。

一方、平成18年度における産業廃棄物の総排出量は4億1,850万トン(前年度比約0.8%減)であり、このうち汚泥が約1億8,533万トンで約45%を占めており、これに動物のふん尿とがれき類を加えると、総排出量の約80%にもなる。ここでは、排出量が最も多く統計資料が整備されている流域下水道と公共下水道から排出される下水汚泥¹⁾について言及する。平成19年度において公共下水道、流域下水道施設等から排出された総発生汚泥量は497,174千m³であり、このうち公共下水道で約63%の345,014千m³が発生している。最終処分汚泥量は2,573千トンで、公共下水道では約63%の1,633千トンとなっている。また、下水汚泥の中間処理としては、主に焼却処理が行われている。

廃棄物の処理処分に伴って各種の温室効果ガスが排出されるが、このうちIPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)が廃棄物分野で排出量の報告を義務付けているのは、図1-1に示したように、焼却等の熱処理では化石燃料由来のCO₂とCH₄、N₂Oであり、この他では生物処理と埋立処分の過程で排出されるCH₄、N₂Oである。

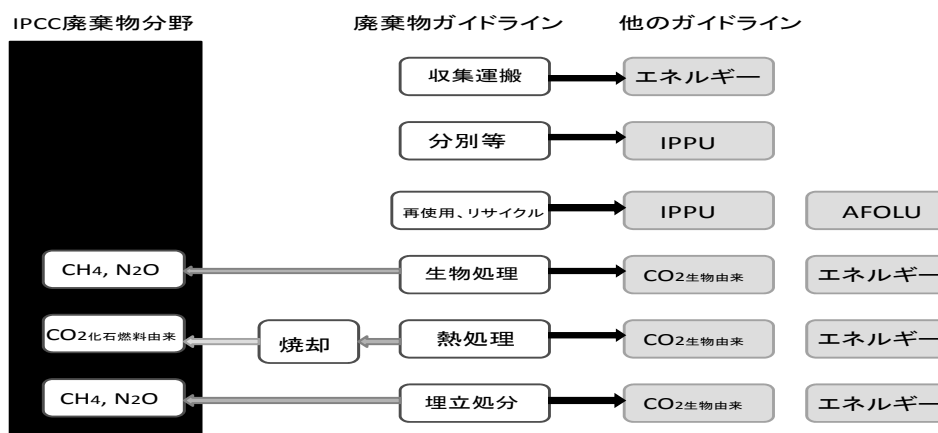


図1-1 IPCCが廃棄物処理分野で報告を義務付けている温室効果ガス²⁾

廃棄物の焼却技術は、廃棄物量の増大や質の多様化、必要とされる環境保全対策等の変化に対応して質的な改善が図られ、現在では世界最高レベルの水準にある。例えばダイオキシン類の場合、燃焼温度の高温化や滞留時間の十分な確保に加え、燃焼ガスの急冷、活性炭の吹き込みや触媒反応塔の設置等の技術開発が進み、ダイオキシン類の発生抑制と効率のよい熱利用が両立されているなど、様々な課題を克服している。さらに近年、温室効果ガスである CO₂ の排出削減対策として、廃棄物処理施設についても発電設備の導入・拡大が要請され、RPS 制度に基づく電力会社による余剰電力の購入措置も講じられている。

ごみ発電は、ごみの焼却に伴い発生する高温の排ガスの熱エネルギーをボイラで回収し、蒸気を発生させてタービンを回して発電を行うもので、ごみ焼却施設の余熱利用の有効な方法の一つである。我が国初のごみ発電施設は、昭和 40 年の大阪市西淀工場とされており、平成 19 年度末では全国で 298 施設、総発電能力が 1,604MW に達している。産業廃棄物焼却炉においてもごみ発電を行っているが、施設数、発電能力の規模および発電効率等は一般廃棄物焼却炉に比べて低い。

廃棄物分野では、ごみ焼却施設以外に最終処分場からもメタンを中心とした温室効果ガスが排出されている。我が国における最終処分場の構造は、多くが準好気性であり、メタンの発生量は欧米の処分場に比べて少ないことから、国内では東京都のみが処分場からのメタンを有効利用している。

廃棄物は、収集運搬から埋立処分に至るまで種々の技術を利用しているが、図 1-2 に示すように、再使用・リサイクル、生物処理、熱処理および埋立処分では資源とエネルギー回収が可能であり、これにより温室効果ガスの排出抑制が期待できる。そこで、本調査では、エネルギー回収による温暖化対策に関する情報等を取りまとめた。

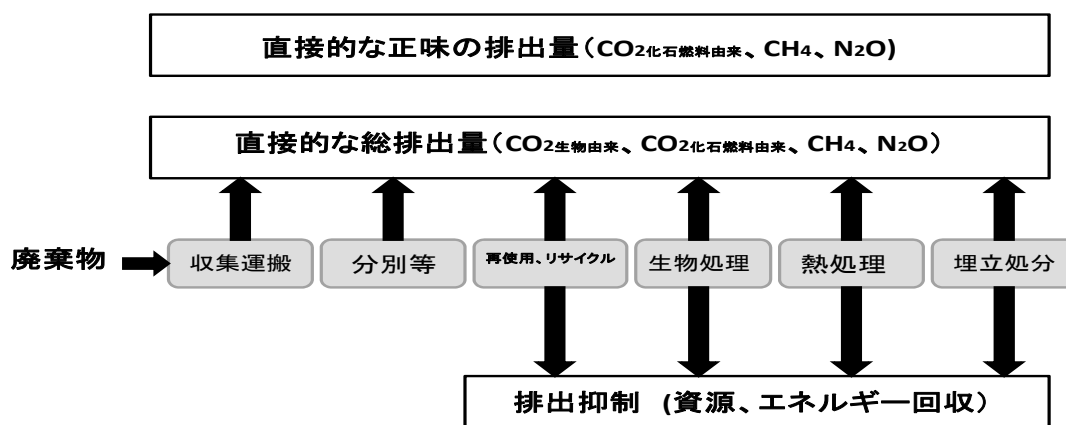


図 1-2 資源・エネルギー回収による温室効果ガスの排出抑制²⁾

1.2 廃棄物分野における温室効果ガス排出の現状

平成 19 年度の温室効果ガスの総排出量は 13 億 7,400 万トン（CO₂換算）であり、平成 2 年度（1990 年）の総排出量から 13.8%の増加となった。また、京都議定書の規定による基準年（CO₂、CH₄、N₂O については平成 2 年、HFCs、PFCs、SF₆ については平成 7 年）の総排出量と比べ、9.0%上回った。平成 19 年度の CO₂ 排出量は 13 億 400 万トンであり、温室効果ガス総排出量の 94.9%を占めた。また、平成 2 年度比 14.0%の増加、前年度比 2.6%の増加となった。

平成 19 年度の CH₄ 排出量は 2,260 万トン（CO₂換算）であり、温室効果ガスの総排出量の 1.6%を占めた。また、平成 19 年度の N₂O 排出量は 2,380 万トン（CO₂換算）であり、温室効果ガスの総排出量の 1.6%を占めた。

平成 19 年度の温室効果ガス排出量の分野別の内訳を見ると、温室効果ガス総排出量に占める割合は、エネルギー分野が 90.6%、工業プロセス分野が 5.7%、溶剤およびその他製品使用分野が 0.02%、農業分野が 1.9%、廃棄物分野が 1.8%となった。

廃棄物分野からの温室効果ガス排出量は約 4,083 万トン（CO₂換算）であり、平成 2 年度比 15%増と他の分野に比べて増加率が高い。廃棄物分野の排出量のうち、ごみ発電等のエネルギー利用している焼却施設からは 1,666 万トン（CO₂換算）であり、廃棄物分野の約 41%を占めている。

1.3 廃棄物分野における温暖化対策の現状

1.3.1 一般廃棄物

我が国における一般廃棄物焼却施設は平成 19 年度で 1,284 施設であり、平成元年の約 1,900 施設に比べて 600 施設ほど減少している。これは、ダイオキシン類対策と市町村の合併等により、発電に適さない小規模施設が減少したためであるが、施設の大型化に住民が反対するケースも多いことから、高効率発電に適する 300 トン/日以上施設数はほとんど変わっていない。このため、ごみの発熱量を 9MJ/kg と仮定すると発電を行っている施設の発電効率はおしなべて 11.6%にすぎない。

しかし、一般廃棄物の発熱量が高くなったこともあり、国内では 400 以上の焼却施設で発電を行っている。発電した電気は施設内のほか、売電などによる外部利用も盛んに行われている。このうち、売電では温室効果ガスの削減効果を定量評価で「見える化」することが容易であることから、売電している 193 施設を表 1-1 に示す。

表 1-1 発電により売電を行っている一般廃棄物焼却施設

(1) 発電（売電）—その 1—

自治体名	工場名	竣工	発電効率
札幌市	札幌市駒岡清掃工場	1985	6%
札幌市	札幌市篠路清掃工場	1990	6
札幌市	札幌白石清掃工場	2002	18
札幌市	札幌市発寒清掃工場	1992	6
札幌市	札幌市近文清掃工場	1996	7
苫小牧市	苫小牧市沼ノ端クリーンセンター	1999	11
十勝環境複合事務組合	くりりんセンター	1996	12
西いぶり広域連合	西胆振地域廃棄物広域処理施設	2003	9
釧路広域連合	釧路広域連合清掃工場	2006	16
盛岡市	盛岡市クリーンセンター	1998	5
仙台市	葛岡工場	1995	14
仙台市	今泉工場	1995	9
仙台市	松森工場	2004	18
秋田市	秋田市総合環境センター溶融施設	2002	19
酒田地区クリーン組合	酒田地区クリーン組合ごみ焼却施設	2002	11
置賜広域行政事務組合	置賜広域行政事務組合千代田クリーンセンター	1998	13
郡山市	郡山市徳山クリーンセンター	1996	7
水戸市	水戸市小吹清掃工場	1984	2
さしま環境管理事務組合	さしまクリーンセンター寺久	2008	13
常総広域事務組合	常総環境センター	1989	4
宇都宮市	クリーンパーク茂原	2000	18
佐野市	佐野市みかもクリーンセンター	2006	14
前橋市	前橋市六供清掃工場	1991	5
高崎市	高浜クリーンセンター	1998	9
桐生市	桐生市清掃センター	1998	13
伊勢崎市	伊勢崎市清掃リサイクルセンター21	2000	10
さいたま市	さいたま市クリーンセンター大崎第二工場	1995	13
さいたま市	さいたま市東部環境センター	1994	5
さいたま市	さいたま市西部環境センター	1993	8

(2) 発電(売電) —その2—

自治体名	工場名	竣工	発電効率
川越市	仮称川越市清掃センター	2010	13%
所沢市	所沢市東部クリーンセンターごみ焼却施設	2003	15
東埼玉資源環境組合	第一工場	1995	18
児玉郡市広域市町村圏組合	広域市町村圏組合立小山川クリーンセンター	2000	12
千葉市	北清掃工場	1996	13
千葉市	新港清掃工場	2002	16
市川市	市川市クリーンセンター	1994	12
船橋市	船橋市南部清掃工場	1999	3
長生群市広域組合	環境衛生センター	1999	11
八王子市	八王子市小吹清掃工場	1998	9
町田市	町田市町田リサイクル文化センター	1982	14
柳泉園組合	柳泉園クリーンポート	2000	14
多摩川衛生組合	クリーンセンター多摩川	1998	13
多摩ニュータウン環境組合	多摩清掃工場	1998	15
東京二十三区一部組合	太田清掃工場	1989	5
東京二十三区一部組合	有明清掃工場	1994	5
東京二十三区一部組合	墨田清掃工場	1997	14
東京二十三区一部組合	破碎ごみ処理施設	1992	7
東京二十三区一部組合	江戸川清掃工場	1996	13
東京二十三区一部組合	目黒清掃工場	1990	10
東京二十三区一部組合	千歳清掃工場	1995	14
東京二十三区一部組合	杉並清掃工場	1982	11
東京二十三区一部組合	太田清掃工場	1989	12
東京二十三区一部組合	新江東清掃工場	1998	12
東京二十三区一部組合	港清掃工場	1998	14
東京二十三区一部組合	練馬清掃工場	1992	5
東京二十三区一部組合	豊島清掃工場	1999	11
東京二十三区一部組合	北清掃工場	1997	13
東京二十三区一部組合	渋谷清掃工場	2001	14
東京二十三区一部組合	中央清掃工場	2001	16

(3) 発電(売電) —その3—

自治体名	工場名	竣工	発電効率
東京二十三区一部組合	板橋清掃工場	2002	16%
東京二十三区一部組合	多摩川清掃工場	2003	16
東京二十三区一部組合	足立清掃工場	2004	15
東京二十三区一部組合	光が丘清掃工場	1983	9
東京二十三区一部組合	世田谷清掃工場	2008	10
東京二十三区一部組合	品川清掃工場	2006	12
東京二十三区一部組合	葛飾清掃工場	2006	14
横浜市	資源循環局金沢工場	2001	18
横浜市	資源循環局保土ヶ谷工場	1980	6
横浜市	資源循環局都筑清掃工場	1984	12
横浜市	資源循環局鶴見清掃工場	1995	16
横浜市	資源循環局旭清掃工場	1999	13
川崎市	浮島処理センター	1974	10
川崎市	橘処理センター	1983	5
横須賀市	横須賀市南清掃工場	1983	5
藤沢市	藤沢市北部環境事業所	1972	6
茅ヶ崎市	茅ヶ崎市ごみ焼却処理施設	1995	7
相模原市	相模原市南清掃工場	1980	6
相模原市	相模原市北清掃工場	1991	7
相模原市	相模原市津久井クリーンセンター	1998	12
大和市	大和市環境管理センター	1994	12
新潟市	新潟市新田清掃センター	1986	6
新潟市	新潟市鎧潟クリーンセンター	2002	19
富山地区広域圏事務組合	富山地区広域圏クリーンセンター	2003	16
金沢市	西部クリーンセンター	1980	8
金沢市	東部クリーンセンター	1990	12
白山石川広域事務組合	松任石川クリーンセンター	1998	14
甲府市	甲府市環境センター	1995	7
富士吉田市	富士吉田市環境美化センター	2002	11
松本西部広域施設組合	松本クリーンセンター	1998	14

(4) 発電(売電) —その4—

自治体名	工場名	竣工	発電効率
多治見市	多治見市三の倉センター	2003	17%
静岡市	沼上清掃工場	1995	11
浜松市	浜松市南部清掃工場	1981	8
富士市	富士市環境クリーンセンター	1986	4
島田市・北榛原衛生組合	田代環境プラザ	2006	13
名古屋市	名古屋市猪子石工場	2001	13
名古屋市	名古屋市南陽工場	1997	12
名古屋市	名古屋市富田工場	1989	12
名古屋市	名古屋市五条川工場	2004	17
名古屋市	名古屋市鳴海工場	2009	16
豊橋市	豊橋市資源化センターごみ処理施設	2002	17
一宮市	一宮市環境センター	1998	11
春日井市	春日井市クリーンセンター 1,2号炉	1991	5
春日井市	春日井市クリーンセンター 3,4号炉	2002	15
稲沢市	稲沢市環境センター	1999	14
知多市	知多市清掃センター	2003	6
豊川宝飯衛生組合	豊川宝飯衛生組合清掃工場	2003	10
尾張東部衛生組合	尾張東部衛生組合晴丘センター	1992	6
小牧岩倉衛生組合	小牧岩倉衛生組合環境センター	1984	6
西尾幡豆広域連合	西尾幡豆クリーンセンター	2000	9
津市	津市西部クリーンセンター	2001	13
鈴鹿市	鈴鹿市清掃センター	2002	12
京都市	京都市東部クリーンセンター	1980	11
京都市	京都市南部クリーンセンター	1986	12
京都市	京都市東北部クリーンセンター	2001	15
綾部市	綾部市クリーンセンター	2002	16
城南衛生管理組合	城南衛生管理組合	2006	17
乙訓環境衛生組合	ごみ焼却施設	2003	15
大阪市	大阪市環境局住之江工場	1988	16
大阪市	大阪市環境局八尾工場	1995	17

(5) 発電(売電) —その5—

自治体名	工場名	竣工	発電効率
大阪市	大阪市環境局鶴見工場	1990	16%
大阪市	大阪市環境局大正工場	1980	5
大阪市	大阪市環境局南港工場	1977	5
大阪市	大阪市環境局西淀工場	1995	17
大阪市	大阪市環境局舞州工場	2001	23
大阪市	大阪市環境局平野工場	2003	20
堺市	堺市クリーンセンター東工場第二	1997	23
吹田市	吹田市北工場	1981	5
枚方市	東部清掃工場	2007	18
茨木市	環境衛生センター第1工場	1996	14
茨木市	環境衛生センター第2工場	1999	14
豊中市伊丹市クリーンランド	豊中市伊丹市クリーンランド4号炉	1995	9
泉北環境整備施設組合	泉北クリーンセンター1号炉	2004	21
泉北環境整備施設組合	泉北クリーンセンター2号炉	2004	21
柏羽藤環境事務組合	柏羽藤クリーンセンター	1992	5
神戸市	神戸市東クリーンセンター	1999	13
神戸市	神戸市港島クリーンセンター	1983	7
神戸市	神戸市刈藻島クリーンセンター	1989	9
尼崎市	第1工場1号炉	2000	9
尼崎市	第1工場2号炉	1989	9
尼崎市	第2工場	2005	15
明石市	明石クリーンセンター	1999	15
西宮市	西部総合処理センター	1997	12
宝塚市	クリーンセンター	1987	4
和歌山市	青岸エネルギーセンター	1986	11
米子市	米子市クリーンセンター	2002	15
出雲市	出雲エネルギーセンター	2003	15
岡山市	岡山市東部クリーンセンター	2001	14
倉敷市	倉敷市水島清掃工場	1994	25
広島市	広島市中工場	2003	14

(6) 発電(売電) —その6—

自治体名	工場名	竣工	発電効率
広島市	広島市安佐北工場	1990	6%
広島市	広島市南工場	1988	7
呉市	クリーンセンターくれ	2002	13
安芸地区衛生施設管理組合	安芸クリーンセンター	2002	11
宇部市	宇部市環境保全センター	2002	15
山口市	山口市清掃工場	1998	8
中讃広域行政事務組合	クリンピア丸亀	1997	8
松山市	松山市西クリーンセンター	1982	6
松山市	松山市南クリーンセンター	1994	7
高知市	高知市清掃工場	2001	16
安芸広域市町村圏事務組合	安芸広域メルトセンター	2006	13
北九州市	北九州市新門司工場	2007	23
北九州市	北九州市日明工場	1991	8
北九州市	北九州市皇后崎工場	1998	26
福岡市	福岡市臨海工場	2001	17
福岡市	福岡市西部工場	1992	9
福岡市	福岡市南部工場	1981	8
玄界環境組合	古賀清掃工場	2000	16
玄界環境組合	宗像清掃工場	2003	12
糸島地区消防厚生施設組合	糸島クリーンセンター	1999	10
甘木・朝倉・三井環境施設組合	廃棄物再生処理センター	2003	12
筑紫野・小郡・基山清掃施設組合	クリーンヒル宝満	2008	16
佐賀市	佐賀市清掃工場	2002	17
長崎市	東工場	1988	7
佐世保市	東部クリーンセンター	2000	13
県央県南広域環境連合	県央県南クリーンセンター	2005	17
熊本市	東部環境工場	1994	16
熊本市	西部環境工場	1986	8
大分市	大分市福宗環境センター福宗清掃工場	1997	14

(7) 発電（売電）—その7—

自治体名	工場名	竣工	発電効率
大分市	大分市佐野清掃センター	2003	17%
佐伯市	エコセンター番匠	2003	11
宮崎市	宮崎市南部環境美化センター	1982	0
延岡市	延岡市新清掃工場	2009	—
鹿児島市	鹿児島市南部清掃工場	1994	12
鹿児島市	鹿児島市北部清掃工場	2007	18
肝属地区一般廃棄物処理組合	肝属地区クリーンセンター	2008	16
那覇市・南風原町環境施設組合	那覇・南風原クリーンセンター	2006	15

以上、193 施設 「出典：環境省 ホームページから作成」

さらに、かつて焼却施設は迷惑施設として住民から建設を反対されることが多く、その結果として山間地に建設された施設が少なくなかった。そのため、施設周辺に熱供給できる集合住宅等がきわめて少ないため、施設周辺における熱利用効率が低くなっている。現在、国内で地域熱供給を行っている焼却施設は表 1-2 に示すように、わずか 6 施設であり、欧州に比べるとかなり少ない。

表 1-2 地域熱供給を行っている焼却施設

自治体名	工場名	都道府県	竣工時期
札幌市	札幌市駒岡清掃工場	北海道	1985. 11
印西地区環境整備事業組合	印西	千葉県	1986. 3
東京二十三区一部組合	光が丘清掃工場	東京都	1983. 9
東京二十三区一部組合	有明清掃工場	東京都	1994. 7
東京二十三区一部組合	品川清掃工場	東京都	2006. 3
大阪市	森ノ宮工場	大阪府	1969. 2

この他の温暖化対策としては、表 1-3 に示すように、新エネルギーの利用と省エネルギーの観点から焼却施設の敷地内に太陽光発電や風力発電装置の設置および屋上・壁面緑化を実行しているところがある。また、廃棄物収集運搬車の集合基地となっている敷地内でも同様に太陽光発電や風力発電装置を設置する自治体が増加する傾向にある。これらの発電能力等はそれほど多くないが、CO₂削減の一方法として活用できる。

表 1-3 敷地内で風力・太陽光発電を導入している焼却施設

自治体名	工場名	都道府県	竣工時期
宇都宮市	クリーンパーク茂原ごみ処理施設	栃木県	2001. 3
川口市	川口市朝日環境センター	埼玉県	2002. 11
所沢市	所沢市東部クリーンセンターごみ焼却施設	埼玉県	2003. 3
東京二十三区一部組合	渋谷清掃工場	東京都	2001. 7
東京二十三区一部組合	葛飾清掃工場	東京都	2006. 12
東京二十三区一部組合	多摩川清掃工場	東京都	2003. 6
東京二十三区一部組合	足立清掃工場	東京都	2005. 3
東京二十三区一部組合	板橋清掃工場	東京都	2002. 11
東京二十三区一部組合	中央清掃工場	東京都	2001. 7
東京二十三区一部組合	品川清掃工場	東京都	2006. 3
東京二十三区一部組合	世田谷清掃工場	東京都	2008. 3
東京二十三区一部組合	中防灰溶融施設	東京都	2006. 12

また、最終処分場の温暖化対策として、東京都は中央防波堤内側埋立地で発生するガス（メタン成分約 40%）を利用して、昭和 62 年 1 月から発電を行っている。平成 19 年度における総発電量は 119 万 kWh であり、埋立地内の各種設備の消費電力の一部として利用している。

1.3.2 下水汚泥¹⁾

環境省作成の「産業廃棄物処理分野における温暖化対策の手引き」（平成 20 年 3 月）によると、表 1-4 に示すように、下水汚泥の焼却処理では燃焼温度などの燃焼条件により N₂O の排出係数（wet-base）が大きく異なる。

表 1-4 下水汚泥の焼却における N₂O 排出係数

凝集剤の種類	炉の形式	燃焼温度	排出係数 (gN ₂ O/トン)
高分子凝集剤	流動床炉	通常燃焼 (燃焼温度 800℃)	1,508
高分子凝集剤	高分子凝集剤	高温燃焼 (燃焼温度 850℃)	645
高分子凝集剤	多段炉	—	882
その他	—	—	—
石灰系	—	—	294

したがって、汚泥を焼却処理する際に燃焼温度を高くすることで、N₂O の排出量を大幅に削減できる。平成 17 年~19 年度における焼却処理の燃焼温度は、表 1-5 に示すとおりであり、高温燃焼の焼却量が増加している。

表 1-5 下水汚泥の焼却量

	単位	平成 17 年度	平成 18 年度	平成 19 年度
高分子・流動床・通常	kt/年(wet)	2,839	2,474	2,403
高分子・流動床・高温	kt/年(wet)	1,469	1,781	2,317
高分子・多段炉	kt/年(wet)	102	88	8.75
石灰系	kt/年(wet)	289	219	31.8
その他	kt/年(wet)	289	299	14.4

この結果、汚泥焼却に伴う N₂O の排出量は年々減少しており、燃焼温度の高温化により、温暖化対策に効果を上げている。

このほか下水処理場では、生物処理の過程で発生する消化ガスをガスエンジンや燃料電池の燃料として有効利用しており、平成 19 年度に回収した熱量は約 180 Terajoules(10¹² J)であった。

また、一般廃棄物焼却施設および産業廃棄物焼却施設における廃棄物発電の電力量経年変化を図 1-3 に示す。図から明らかなように、一般廃棄物焼却施設における廃棄物発電の電力量は年々増加しているが、産業廃棄物では発電量が少なく、ほとんど増加していない。これは、産業廃棄物焼却施設では多種類の廃棄物を処理しており、燃焼管理や腐食等の問題から蒸気温度を高温にできないため発電効率が低いことと、発電設備の維持管理に経費がかかる割には売電単価が低いなど、発電を行うメリットが少ないためと考えられる。

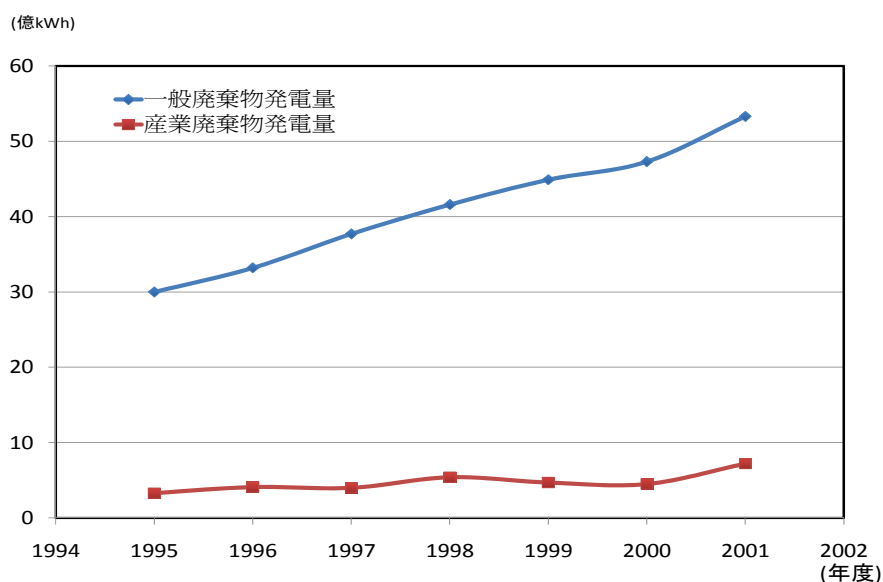


図 1-3 日本における廃棄物発電の電力量経年変化³⁾

なお、産業廃棄物処理施設におけるエネルギー回収事例を表 1-6 に示す。

表 1-6 産業廃棄物処理施設におけるエネルギー回収事例

事業主体	事業内容	事業概要
(株)サニックス	廃棄物発電事業	発電出力 74,000kw、発電効率 27.1% 蒸発量 180t/h×2、蒸気 (400℃・6.2Mpa)
(株)カムテックス	廃棄物発電事業	発電出力 4,490kw
(財)茨城県環境保 全事業団	廃棄物発電事業	発電出力 7,200kw 蒸気 (370℃・3.8Mpa)
(株)ミツヤマグリ ーンプロジェクト	バイオマス燃料 製造事業	バイオマス発電所へ、燃料となる木質チップを供 給する施設
東京臨海リサイク ルパワー(株)	廃棄物発電事業	発電出力 23,000kw 施設は医療廃棄物専焼炉とガス化熔融炉
オリックス資源循 環(株)	廃棄物発電事業	熱分解ガス化改質炉から発生する燃焼ガスを精製 し、ガスエンジン・ガスボイラの燃料に利用
日本ノボパン工業 (株)	ノボパン木屑リ サイクル事業	木屑をマテリアルリサイクルすると同時に、不向 きなものをサーマルリサイクルする事業
(株)市原ニューエ ナジー	廃棄物発電・熱供 給事業	焼却施設での発電・熱供給事業であり、一部の余 剰電力を売電
奥羽クリーンテク ノロジー(株)	熱輸送システム 事業	焼却施設の余熱を、トランスヒートコンテナによ り水産関連施設に供給
(株)京葉興業	バイオマスコー ジェネレーショ ン事業	汚泥の処理工程で発生するメタンガスを活用し、 発電と排ガスを利用したコージェネレーションシ ステムを実施
住友大阪セメント (株)	バイオマス燃料 製造事業	セメントキルン炉の余熱を利用して、有機汚泥を 乾燥し、バイオマス燃料として活用
(株)ティアール	バイオマス燃料 製造事業	食品製造工場からの有機性廃棄物を可溶化処理 後、嫌気性メタン発酵によりバイオガスに変換

1.3.3 海外における状況

欧州では平成 11 年に策定された「廃棄物の埋立に関する理事会指令」により、処理されていない廃棄物の埋立禁止、生分解性廃棄物の埋立の削減といった規制が設けられたため、一般廃棄物中の有機物・可燃物の無機化が不可欠になった。これは埋立量の削減と温暖化対策としての埋立有機物からのメタン発生抑制を目的としている。

エネルギー関連では、平成 13 年の「再生可能エネルギーに関する欧州指令」では、平成 22 年までに再生可能エネルギー導入の割合を最終エネルギー供給量の 12%にする目標が掲げられ、同じく平成 13 年の「グリーン電力推進に関する欧州指令」では、電力について平成 22 年までに電力供給量の 22.1%を再生可能エネルギー電力で賄う目標が設定さ

れている。これらを背景に、欧州における廃棄物処理は、それまでの埋立処分中心からマテリアルリサイクルの推進および積極的なエネルギー回収へと向かっている。

欧州の廃棄物発電の特徴として、一般に日本と比べて焼却規模が大きいこと、また熱回収率が高いことが挙げられ、焼却処理では可能な限り熱効率を高めようとする姿勢が見られる。表 1-7 に欧州各国および日本の一般廃棄物焼却施設の規模を、表 1-8 に欧州の一般廃棄物焼却施設からの電力および熱の販売量を示す⁴⁾。

表 1-7 欧州における一般廃棄物焼却施設の規模(2005 年)⁴⁾

国名	施設数	合計能力(トン/h)	平均能力(トン/日・施設)
オーストリア	9	91	243
ベルギー	18	367	489
チェコ共和国	3	117	936
デンマーク	34	577	407
フィンランド	1	8	192
フランス	127	1,909	361
ドイツ	68	2,445	863
英国	22	386	421
ハンガリー	1	60	1,440
イタリア	51	690	325
オランダ	11	670	1,462
ノルウェー	13	78	144
ポルトガル	3	205	1,640
スペイン	10	245	588
スウェーデン	30	513	410
スイス	30	464	371
日本	1,374		143

表 1-8 欧州における一般廃棄物焼却施設からの電力・熱の販売量⁴⁾

国名	電力 (MWh/年)	熱 (MWh/年)	ごみ処理量 (トン年)	電力 (kWh/ごみ t)	熱 (kWh/ごみ t)
オーストリア	23,412	844,200	842,230	28	1,002
ベルギー	460,390	69,324	1,370,693	336	51
チェコ共和国	5,702	694,719	410,383	14	1,693
デンマーク	1,183,653	6,156,051	3,009,953	393	2,045
フィンランド	0	104,700	49,000	0	2,137
フランス	1,083,137	4,691,580	8,238,173	131	569
ドイツ	3,905,450	8,327,206	15,259,766	256	546
英国	439,625	51,459	872,797	504	59
ハンガリー	40,291	47,684	160,054	252	298
イタリア	1,855,245	509,498	4,453,738	417	114
オランダ	2,010,257	659,818	5,158,988	390	128
ノルウェー	132,593	1,076,679	766,723	173	1,404
ポルトガル	282,726	0	648,463	436	0
スペイン	4,381,060	0	2,221,218	1,972	0
スウェーデン	624,049	6,088,072	3,077,906	203	1,978
スイス	993,982	2,019,972	3,024,847	329	668

欧州では焼却施設の規模が平均で 500 トン/日近くに達しており、日本の 143 トン/日に比べて 3 倍以上にもなる。また、電力および熱の販売量は合計でごみトンあたり 1,000kWh に近く、ごみの発熱量を 10MJ/kg とすると、ごみ入熱の 35%以上を販売したことになる。さらに、表 1-8 に示したように、熱の販売量が電力を上回っているのが特徴である。

欧州では古くから地域熱供給が普及しており、一部は一般廃棄物中の可燃分を燃料としている。オーストラリア、デンマーク、フランス、スウェーデンなどの国々は特に一般廃棄物による地域熱供給が盛んで、地域熱供給の熱源に占める一般廃棄物の割合が 10%以上に達している。欧州では一般廃棄物処理が民間事業として行われる場合もあり、採算性を確保するため遠距離収集や産業廃棄物の同時処理等を行って焼却施設の規模を大きくするとともに、可能な限り発電を行いかつ施設内での電力消費を削減することで非常に高い送電端効率(例えば 24~26%)を目指す例が見られる。以上のように、欧州においては廃棄物からの熱回収が埋立処分量の削減、地球温暖化防止、再生可能エネルギーの供給などの観点から、廃棄物処理の重要な手法として認識されている。

米国では、排出された一般廃棄物の約 80%が埋立処分されている。米国の埋立処分地は嫌気性発酵方式が多いため、埋立地から CH₄が発生する。このため、平成 6 年から埋立処分地からの CH₄の漏出防止、Cost-Effective な技術の開発および環境負荷の小さい発生ガ

スのエネルギー利用を推進してきた⁵⁾。発生ガスの組成は CH₄～50%、CO₂～50%であることから、再生可能エネルギーとして扱うことができ、百万トンの一般廃棄物から 432,000m³のガスが発生し、0.8MW の電力が発電できる。

平成 21 年 4 月現在、米国内の 44 州で発生ガスのエネルギー利用のため 485 のプロジェクトを運用しており、年間で 12×10⁹kWh の発電電力量と 85×10⁹m³ の発生ガスを直接燃焼して熱エネルギーとして利用している。これにより、889,000 世帯の電力消費量を賄うとともに、614,000 世帯での熱利用(暖房等)を可能にしている。発電はガスエンジンのほか、ガスタービン、マイクロタービンなどにより行っている。また、発生ガスの直接利用方法としては、ボイラにおける天然ガス、石炭等の化石燃料の代替、天然ガスのパイプラインへの直接挿入および天然ガス自動車の燃料利用などがある。表 1-9 に発生ガスからのエネルギー回収事例を示す。

表 1-9 米国の埋立処分地における発生ガスからのエネルギー回収事例⁵⁾

事業主体	事業内容	事業概要
Lanchester Landfill Narvon, PA	直接利用	パイプラインにより周辺の事業等に輸送し、代替燃料等に利用
H ₂ Gro Greenhouses Lewiston, NY	発電・熱供給	発電出力 12MW、温室の熱源に利用
BMW Manufacturing Greer, SC	発電・熱供給 直接利用	発電出力 11MW、パイプラインにより 周辺の事業等に輸送
Alameda Power & Telecom and City Palo Alto, CA	発電	平成 21 年末で、発電出力は 18.4Mw
Veolia ES Greentree LF Kersey, PA	直接利用	発生ガスを精製して CO ₂ 濃度を 1%以下とし、天然ガスのパイプラインに直接挿入
Central Landfill, Worcester County, MD	発電	2 つの 1MW ガスエンジンで発電
Enoree Landfill, Greer, SC	発電	3.2MWのガスエンジンで発電し、売電
Cape May County SLF, Woodbinn, NJ	発電	3 つの 150kW のマイクロタービンで 発電し、廃熱も利用

表 1-9 に示した埋立処分地では、発電による売電、直接利用および熱利用等により CO₂ のオフセットが発生し、クレジットによる収入が得られた。

ISWA (International Solid Waste Association : 国際廃棄物協議会) の白書⁶⁾によると、OECD 諸国などで毎年 1 億 3 千万トン以上の廃棄物が焼却処理されており、600 以上の焼却施設でエネルギー回収が行われている。そのエネルギーは、電力として年間 1000PJ(Petajoules 10¹⁵)にもなり、1000 万人分の消費量に相当する。また、米国では平

成 20 年度における埋立地ガスの利用プロジェクトの成果により、8,430 万トンの CO₂ を削減した。

また、IEA (International Energy Agency) の統計資料⁷⁾によると、図 1-4 に示すように、OECD および非 OECD 諸国における廃棄物からのエネルギー回収は都市ごみ(一般廃棄物)焼却炉が最も多く、しかも毎年増加しているが、産業廃棄物焼却炉からの回収量は少なく、ほとんど増加していない。バイオマスエネルギーについては、米国で埋立処分地からの発生ガス利用を積極的に行っていることから毎年増加しており、平成 18 年(2006 年)度は産業廃棄物焼却炉からの回収量を上回った。

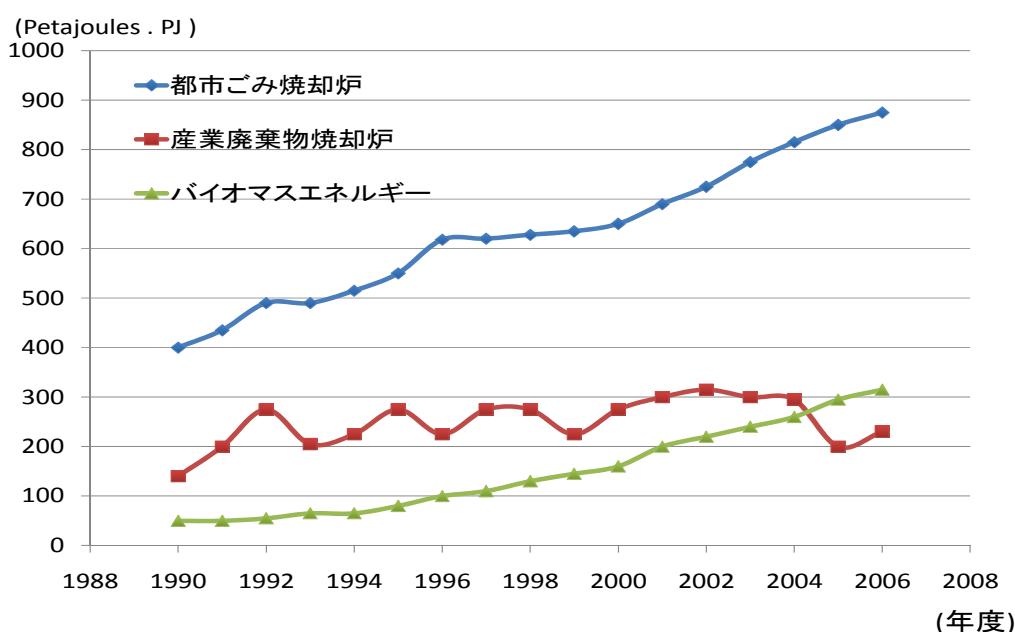


図 1-4 OECD、非 OECD 諸国における廃棄物からのエネルギー回収の経年変化⁷⁾

(1) 廃棄物からのエネルギー回収効率の向上による温暖化対策検討事例⁸⁾

ここでは、廃棄物処理施設からのエネルギー回収効率を最適化することで、温暖化対策をより効果的に実行する方法について検討している。具体的には、廃棄物焼却施設におけるエネルギー回収に関して、発電単独、発電と暖房等の地域熱供給のほか、通年での熱利用が可能になる地域冷房への活用を検討した。その結果、焼却施設におけるエネルギー回収効率が、温室効果ガスの排出量に決定的な影響を与えることを明らかにした。

a. 発電単独

既存の廃棄物焼却炉で発電単独の場合、エネルギー効率は約 18~26%にすぎないことが多い⁹⁾。最新の焼却施設では、高い蒸気温度と圧力によりエネルギー効率が 30%を超える

ものもある⁹⁾。しかし、この場合は施設の腐食等の問題で維持管理が難しく、コストがかかりすぎるとの指摘もある。

b. 地域熱供給

地域暖房および産業ユーザー向けに蒸気の提供を目的とするものであり、エネルギー効率も最大で 90%を超えることも可能である¹⁰⁾。このような高いエネルギー効率を達成するためには、適切なユーザーとの連携が重要である。地域暖房に対する需要は、対象となる地域の気候条件によって異なる。年間を通して安定した熱需要を確保するためには、季節や気象条件に関係なく熱供給量と同量の蒸気を必要とする産業ユーザーを獲得することが極めて重要である。したがって、工業団地等の熱多消費地域に隣接した焼却施設の場合以外は、このような高いエネルギー効率は達成できない。

c. 発電・熱供給

EU 諸国における多くの焼却施設では、発電・熱供給施設として設置されており、電力だけでなく地域暖房網および産業ユーザー向けの蒸気を供給している。この場合は、最新の焼却施設で 50%を超すエネルギー効率を達成しており、85%を超えている施設もある。どれだけのエネルギー効率が達成できるかは、地域の条件や施設のエネルギー回収システム等によって異なる。これらの施設では投資コストは高く、施設の耐用年数期間内で経済的に最適な運用が可能である。

d. 地域冷房

夏季や暑い地域における熱需要を高める方法の 1 つは、吸収式冷房システム用の熱を供給することである。吸収式冷却装置は、地域暖房システムと一緒に利用することができる。地域暖房システムによる熱需要は、暑い時期には通常の給湯に限定されるが、同じユーザーが冷房を必要とする場合には地域暖房網を利用して地域冷房サービスまで拡張すれば、エネルギー効率は向上できる¹¹⁾。米国では地域冷房システムは広く利用されており¹²⁾、欧州でも約 10 年前からスカンディナビア（ストックホルムなど）で導入されている。

地域冷房システムを利用した場合のユーザー側の利点としては、冷房装置を設置するためのスペースが不要になり、屋根に再冷却器を置く必要もなくなる。これにより、利用可能な部屋数が増え、換気装置の雑音からも解放される。ただし、地域冷房システムの導入における経済的評価は、対象となる地域の状況に応じて異なることから、個別的に検討する必要がある。

e. ウィーンにおける個別的な検討結果

ここでは、ウィーン市内において焼却施設からの地域暖房システムを地域冷房システムまで拡張した場合、エネルギー効率の向上により CO₂ 削減量がどの程度増加するかについて

て検討している。

ウィーン市内で、オフィスビル、研究機関および病院が密集している地域では、冷房への需要が高く、今後も冷房への熱供給市場は成長する可能性が高い。この成長率は、今後数年間で年間 30~50 GWh と見積もられている。したがって、ウィーン市内で焼却施設からの廃熱を活用して吸収式冷却システムにより、「冷却センター」を分散化する方法はエネルギー効率向上に有効である。また、エネルギー効率は 75%程度まで高くなるので、発電単独の施設（エネルギー効率 25%）に比べて CO₂ 削減量が約 2 倍多くなることが確認された。

f. 結論

焼却施設におけるエネルギー効率を最適化する方法として、「焼却で生ずるエネルギー」と「ユーザーが利用できるエネルギー」を増やすことが考えられる。このうち、前者は焼却施設の省エネルギー化と同時に、焼却処理で適正な燃焼を行うことで達成可能である。後者は、通年における熱の需要先を確保することで可能となる。

地域冷房は、夏季および暑い地域での熱需要の拡大に有効である。ウィーン市内でも冷房の需要が高い地域があり、暖房の必要がない夏季において新たな熱需要を確保できる。

廃棄物の埋立処分、発電単独による焼却処理および発電と熱供給を組み合わせた焼却処理に関して、廃棄物重量当たりの CO₂ 排出量を比較すると、焼却施設のエネルギー効率が大きく影響している。発電単独でエネルギー効率が 25%の施設と比べて、熱供給も行いエネルギー効率を 75%まで向上できる施設では、CO₂ 削減量をさらに約 50%増やすことが可能である。また、埋立処分と比べると CO₂ 排出量が 1/10 まで削減することが可能となる。

(2) 埋立処分地からの埋立地ガスの利用による温暖化対策検討事例¹³⁾

ここでは、埋立地発生ガス（LFG）を精製して、埋立処分地で使用する大型のごみ収集車である天然ガス燃料車の燃料としての利用可能性、経済的導入可能性および温暖化対策としての効果などを評価している。

a. 検討したシナリオ

検討したのは、①LFG を回収しないでフレアで焼却、②LFG をガスエンジンの燃料として発電に使用、③LFG を精製して天然ガス車の燃料として利用、の 3 つのシナリオである。検討に際して、いくつかの構成要素のモデルを活用した。それは、LFG の発生、LFG の回収プロセス、天然ガス車の車両運行および経済的インセンティブである。また、経済的インセンティブでは資本コスト、装置の保守コスト、運営コスト、クリーンエネルギーの使用による減税効果、環境負荷の低減による経費節減および回収された CO₂ の販売による収入を評価した。

b. LFG の発生

LFG は主に CH₄ と CO₂ および窒素と酸素から構成されている。LFG からごく少量の微量化合物が検出されることがある。ガスの組成は、埋め立てた廃棄物の種類、気候条件、埋立地の経年数など様々な要因によって異なる。また、同じ処分地でも場所によって発生量が異なるなど、地形による影響も受ける。表 1-10 に代表的な LFG の組成を示す。現場で LFG の発生量を正確に把握することは非常に難しいため、通常は推定式を用いて年間の発生量を推定している。推定式に用いるファクターは多くの不確定要素を含んでいるため、推定される発生量はバラツキが大きい。

表 1-10 代表的な LFG の組成¹³⁾

成分	パーセント (乾重量当たり)
CH ₄	47.5
CO ₂	47.0
N ₂	3.7
O ₂	0.8
パラフィン系炭化水素	0.1
芳香族/環状系炭化水素	0.2
水素	0.1
H ₂ S	0.01
CO	0.1
微量化合物	0.5
合 計	100

c. LFG の回収プロセス

米国の埋立地は、世界の CH₄ 総排出量の 3 分の 1 を排出している。米国の環境保護庁 (EPA) の規制では、LFG に含まれている CH₄ の量によって、①そのまま大気中に放出する、②フレアで燃焼する、③それ以外の方法で処理する、と決められている⁵⁾。

LFG は、ガス抜き管とガス収集用パイプ/ブロワーにより集められて貯留タンクに送られ、そこで目的に応じて処理される。貯留後には、LFG をガス発電機で燃焼させて発電をする、産業用天然ガスの代替として利用する、温室の熱源に利用する、LFG を精製後に天然ガスのパイプラインに挿入して利用する、天然ガス車の燃料として利用する、などが行える。

CH₄ の利用で最も基本的な方法であるが、最も生産性が低いのは単に燃焼させることである。これ以外の方法で LFG を有効利用する場合は、前処理により LFG からいくつかの成分を取り除く必要がある。また、前処理の程度は利用目的により異なる。ガスの湿度除去を含めた前処理はコストが高く、エネルギー回収システムの経済的インセンティブに重

大な影響を与える¹⁶⁾。

d. 発電

LFG を利用した発電は、米国で現在実施されているプロジェクトの約 3 分の 2 を占めている。現場での利用、または売電用の電気は内燃エンジン、タービン、マイクロタービン、スターリングエンジン（外燃機関）、有機ランキンサイクルエンジンおよび燃料電池など、様々な技術を使用して発電されている。プロジェクトで使用しているのは、ほとんどが内燃エンジン又はタービンであり、その他ではマイクロタービンが小規模な埋立地などで使用されているだけである。スターリングエンジン、有機ランキンサイクルエンジンおよび燃料電池などの技術はまだ開発段階にある¹⁷⁾。

e. LFG の精製による天然ガス車燃料への変換

LFG から天然ガス車燃料へ変換するための精製プロセスを図 1-5 に示す。

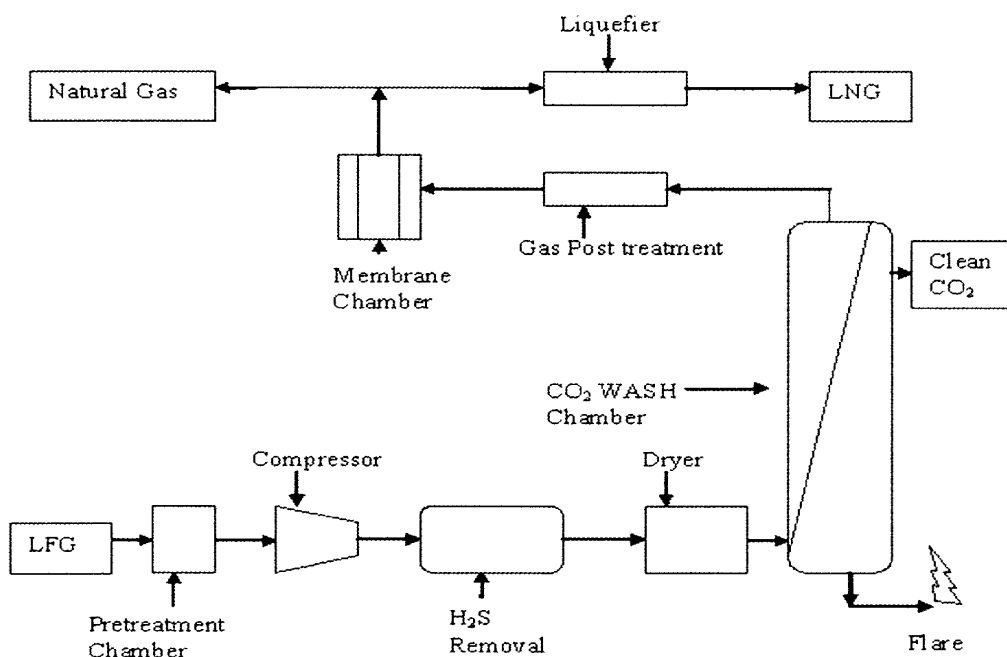


図 1-5 LFG からの CO₂ 除去における精製プロセス¹³⁾

LFG から天然ガス車燃料へ変換するためには、CH₄ 濃度を高くする必要がある。図 1-5 に示すプロセスでは、まず LFG から硫化水素(H₂S)や水蒸気など不要な物質を除去し、次に冷水中に導入して LFG 中の CO₂ を溶解・分離することで高濃度の CH₄ に精製する。利用できない揮発性有機化合物はフレアで焼却する。この精製で得られる CH₄ 濃度は 95% 以上であり、液化工程を経た後に天然ガス車燃料として利用する。冷水で溶解・分離された CO₂ は冷水の加温により容易に回収でき、かつ食品生産用として使用できるので、販売

による収入が期待できる。

埋立地で発生する LFG の回収率は約 80%である。表 1-10 に示すように、LFG には約 50%の CH₄が含まれている。LFG は精製プロセスなど高度の処理を行えば、この CH₄の約 80%を天然ガスに変換可能である。

f. 車両運行

ごみ収集車の走行には特徴がある。複数のごみステーションからごみを収集するため、ごくわずかに移動しただけで停止し、すぐに発車しなければならないためである。このため、短時間の間に何回も加速、減速、アイドリングが繰り返される。また、ごみ収集車は収集ステーションから埋立地への往復に高速道路を利用するため、高速走行も必要になる。

ごみ収集車の走行における特徴は、走行モデルで説明できる。運転サイクルは、車両の運転パターンを模倣するために使用される速度プロファイルである。これは、通常の場合、時間または距離の関数である車両速度として作成され、加速、減速、アイドリング、クリープアイドリング、走行などの運転特性が含まれている。運転サイクルを作成する目的の 1 つは、自動車からの排ガス、燃料消費量およびモデリング時の運転条件を再現するためである。

g. 経済的導入可能性

経済的導入可能性モデルでは、①LFG を回収しないでフレアで焼却、②LFG をガスエンジンの燃料として発電に使用、③LFG を精製して天然ガス車の燃料として利用、の 3 つのシナリオについて検討した。経済分析モデルに含まれている要素は以下のとおりである。

- ・フレアから発電、天然ガス車用燃料への装置変換に要する資本コスト
- ・発電、天然ガス車用燃料への装置変換で必要となる保守および運転コスト
- ・ディーゼル車/天然ガス自動車のいずれかの車両変換に要する資本コスト
- ・ディーゼル車/天然ガス自動車のいずれかの車両変換に要する保守/運転コスト
- ・天然ガス利用による環境汚染物質の低減による経済効果
- ・クリーンエネルギー利用に伴う優遇税制の効果
- ・発電した電気、回収した CO₂、余剰の天然ガスの販売利益

これらの要素のうち、資本、保守、および運転コストは現在稼働中の施設管理者等から得た。また、車両コスト、優遇税制、製品販売の価格等は文献から得た。

車両からの排ガスに関連した経済効果では、EL Paso 埋立処分地において 3 台のディーゼル車の実走行を行い、それらの結果から、燃料消費量、排ガス量のデータを得た。さらに、燃料消費量と排ガス量は、トリップ、車両タイプ（ディーゼル車または天然ガス車）、年式、収集車の運転サイクルに基づいて決定した。また、汚染物質の負荷低減による経済

効果は、文献から 1t の汚染物質の除去に必要となる浄化費用を基に算定した。なお、個別の汚染物質の浄化費用は以下のとおりである。

- ・窒素酸化物 \$13,000/トン
- ・炭化水素 \$10,700/トン
- ・一酸化炭素 \$15,600/トン
- ・二酸化炭素 \$ 42/トン
- ・微粒子状物質 \$26,000/トン

天然ガス車の排ガスは、ディーゼル車に比べて窒素酸化物、炭化水素、一酸化炭素および微粒子状物質の排出量が非常に少ないことから、汚染物質の浄化費用が少なく経済効果が大きい。

h. ケース・スタディの検討結果

ケース・スタディとしてテキサス州の El Paso にあるクリント埋立地を選んだ。この埋立地は、これまでの埋立量が約 5 百万トン、年間の埋立量が 39 万トンと大規模な埋立地であり、評価するのに適した埋立地であると考えられる。

埋立地に関するデータを表 1-11 に示す。表から明らかのように、評価に必要とされるデータがそろっているため、分析精度は高いと考えられる。

表 1-11 EL Paso 埋立地の入力データ ¹³⁾

基礎情報	値
埋立地の情報	
現在までの埋立量 (トン)	5 百万
年間の埋立量 (トン)	39 万
雨量 (インチ/月)	0.77
有機物含有率 (%)	32
車両に関する情報	
現在の車両台数 (型式別)	110
平均停止回数	400
都市、高速、収集、埋立地ルート別巡回距離 (マイル)	4、30、5、2
埋立地まで運ぶ回数/日	2
収集日数/週	4
年間の取替台数と耐用年数	12 台、3 年

これらのデータをもとに、3 つのシナリオについて正味のコスト (NPC) を比較したものを図 1-6 に示す。

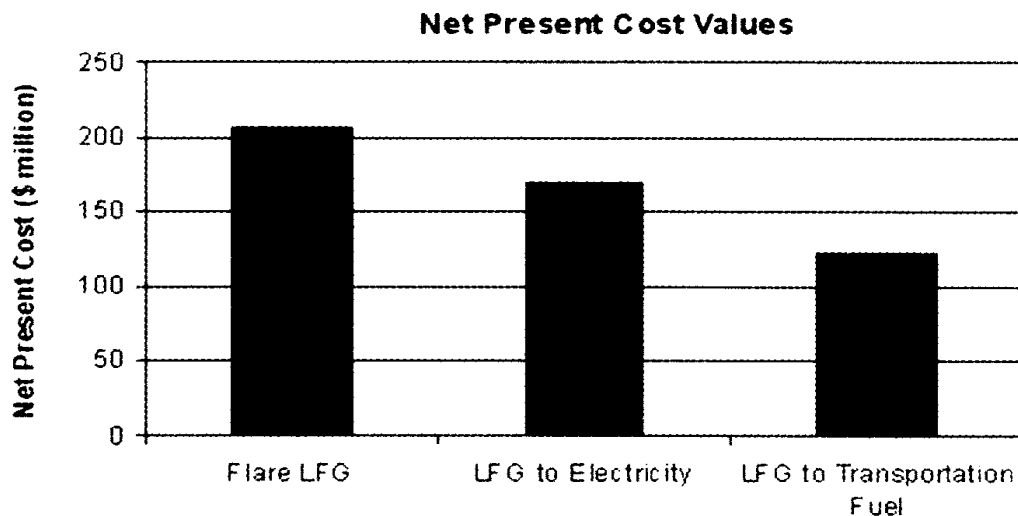


図 1-6 3つのシナリオにおける正味のコスト比較¹³⁾

図 1-6 では、Flare LFG が何もしないでフレアで LFG を燃やすこと、LFG to Electricity はガスエンジンによる発電、LFG to Transportation Fuel が天然ガス車燃料への変換、をそれぞれ示している。また、NPC(Net Present Cost Values)の値が最も低いシナリオが最も経済的導入可能性が高いことになる。

図 1-6 から明らかなように、LFG から天然ガス車燃料への変換が最も経済的なインセンティブが高く、現状よりも約 40%改善される。次いで LFG を使用した発電で、現状よりも 18%改善されることになる。これらは経済的な面に関する評価であり、総合的な評価ではないことに留意する必要がある。また、ファクター等の条件が変わった場合には、結果が異なることがある。

i. 結論

この検討事例から、以下の結論が得られた。

- LFG を利用する技術としては、ここで取り上げたもののほかに、天然ガスパイプラインに挿入するための高度の精製技術の適用、燃料電池用の燃料としての利用などがある。本研究では、天然ガス車燃料への変換に着目して、フレア燃焼および発電と比較評価した。
- LFG を天然ガス車燃料に利用する技術は、最近検討されたものである。Mack Trucks 社と Acrion Technologies 社は協同していくつかのテストを行い、LFG から天然ガス車燃料への変換の実現可能性を評価し、その可能性を実証した。
- LFG の利用は、ガス中に含まれているメタン濃度に依存する。テキサス州にある埋立地については、17ヶ所で LFG から天然ガス車燃料への変換が可能であることを確認した。

- ・この研究では、LFG の発生、LFG の回収プロセス、車両運行および経済的導入可能性などのファクターを用いて評価している。また、ケーススタディとして、テキサス州の El Paso にあるクリント埋立地において実証的な評価を行った。

以上の検討結果から、LFG の活用が埋立地で実用可能であること、またケーススタディでは LFG から天然ガス車燃料への変換が経済的導入可能性の高い選択肢であることが示された。ただし、評価の前提条件が変われば、評価の結果も変わることには留意する必要がある。

1.4 今後の課題

廃棄物からの熱回収は地球温暖化防止、再生可能エネルギーの供給などの観点から、廃棄物処理における重要な手法である。事例で取り上げたように、欧州では廃棄物処理施設からの熱回収を積極的に行っており、それにより大幅な CO₂ 削減を実現している。欧州では都市部に焼却施設が設置されることが多いこと、焼却施設の能力が大きくて熱回収量が極めて大きいこと、などによりエネルギー効率の向上を達成しやすい条件にある。

これに対して、日本ではダイオキシン類等の問題により都市部への焼却施設の建設は反対されることが多く、施設の大型化も住民の反対を受けやすい状況にある。このため、日本の焼却施設ではエネルギー回収の向上や廃熱利用用途の拡充が難しい。

しかし、現在の日本における焼却施設は燃焼装置やばい煙除去装置の高度化により、施設周辺に環境負荷をかけることが極めて少なくなった。また、燃焼の安定性が格段に高くなったので、エネルギー回収率を高く設定することが容易になった。我が国における焼却施設からの熱回収量は欧州に比べてかなり劣ることから、今後は以下の点について検討を進めるべきであると考えられる。

- ・焼却施設は熱供給施設としての能力を活用できるので、今後は都市施設の一つとして中心部への建設を進めるなど、熱利用効率の向上が経済性を高める手段になるような方策を推進する。
- ・温暖化防止を効果的に行うため、今後は発電効率の向上とともに地域熱供給（冷暖房）の拡大を積極的に進める。
- ・イノベーション等による高効率発電や廃熱利用の拡大が可能になる技術的知見を集積する。
- ・焼却施設における省エネルギー化を一層進めて、CO₂ 削減量をさらに増やす努力をする。

また、米国の例のように埋立処分地から発生する CH₄ を利用することでも CO₂ 削減が可能である。ただし、日本では埋立処分地の跡地を活用することが重要な課題となっていることから、できるだけ早期に処分地を安定させる必要がある。このため、日本の埋立処分地は米国のように嫌気性構造ではなく、準好気性の構造となっている。この場合、埋立

地から発生する CH₄濃度は米国に比べて低く、発生量も少ない。現在、国内で埋立処分からの CH₄ を利用しているのは東京都だけであり、その利用規模も米国とは比べものにならないほど小さい。したがって、この分野でエネルギー回収を進めることは、日本の実状から困難であると考えられる。

第2章 市場メカニズムの活用による温暖化対策の現状と課題

2.1 はじめに

京都メカニズム(市場メカニズム)は京都議定書の締約国が費用効果に優れた方法で目標を達成すると同時に、途上国の持続可能な発展を援助できるよう意図したメカニズムである。市場メカニズムには①共同実施 (JI)、②クリーン開発メカニズム (CDM)、③国際排出量取引 (IET) の3種類がある。

JIとは京都議定書で第6条で規定されている活動の通称名であり、温室効果ガス排出量の上限(総排出枠)が設定されている付属書I国同士が協力して、付属書I国内において排出削減(又は吸収増大)プロジェクトを実施し、その結果生じた排出削減量(又は吸収増大量)に基づいてクレジットが発行される。共同実施で発行されるクレジットをERU(Emission Reduction Unit)と呼ぶ。ERUは京都議定書の数値目標達成に向けて活用可能であり、平成20年以降の削減分に対して発行される。

CDMは京都議定書で第12条で規定されている活動の通称名であり、温室効果ガス排出量の上限(総排出枠)が設定されている付属書I国が関与して、排出上限が設定されていない非付属書I国(途上国)において排出削減(又は吸収増大)プロジェクトを実施し、その結果生じた排出削減量(又は吸収増大量)に基づいてクレジットが発行される。CDMで発行されるクレジットをCER(Certified Emission Reduction)と呼ぶ。CER発行には様々な審査が必要であり、第三者が関与し厳格に行われる。CERは京都議定書の第1約束期間が始まる前に発行が可能であり、平成12年～平成17年の排出削減量に基づいて発行されたクレジットについても、付属書I国の数値目標達成に活用できる。CDMでは「CDMプロジェクトがなかった場合と比べて、温室効果ガスの追加的な排出削減がある」ことを証明する必要がある。そのため、プロジェクトがなかった場合に生じたであろうシナリオをベースラインシナリオとして設定し、それに基づいて算出した温室効果ガス排出量(ベースライン排出量)と、プロジェクトが実施されたシナリオに基づく温室効果ガス排出量(プロジェクト排出量)とを算出し、その差をCDMプロジェクトによる排出削減量として示す方法がとられる。

これらに対して、排出量取引は温室効果ガス排出量の上限(総排出枠)が設定されている付属書I国間で、排出枠・クレジット(京都ニット)の取得・移転(取引)を行うことであり、大規模産業施設などの指定排出源からの排出量を制限するキャップ・アンド・トレード方式を採用する国が多く、温室効果ガスの排出量削減に効果がある。この制度では、政府が全体の上限を設定して総排出量を制限するが、排出量削減の達成方法と実施場所は企業が決定できるという柔軟性を与えている。参加者にとっては排出量の削減と排出枠の取引を柔軟に行えることで、費用対効果の最も高い方法で全体の排出量を削減できる。参

加企業には排出枠が割り当てられ、各排出枠は関連する排出トン数で表される。排出権取引制度では、企業は市場で排出枠を購入することで割当量を超える量の排出が可能になる。同様に、排出量が割当量に満たない企業は余った排出枠を売却できる。

EU では加盟国が排出量削減目標を達成できるよう、独自の排出権取引制度（ETS）を平成 17 年に創設した。EU ETS は 3 つのフェーズに分かれている。第 1 フェーズは平成 17 年の制度発足から平成 19 年末までの期間、第 2 フェーズは京都議定書の第 1 約束期間と同じ平成 20 年～24 年であり、第 3 フェーズが平成 24 年～32 年である。EU の温室効果ガス排出量のほぼ半分に相当する、多様な産業部門の 1 万以上の施設が、政府の NAP(国家割当計画)の下で年間排出枠を割り当てられる。このほかに、ニュージーランド（森林部門について平成 20 年から排出量取引制度を導入）、米国、カナダ、オーストラリアでも排出量取引制度の導入について検討が進められている。また、平成 19 年 10 月、EU 主要国、米国およびカナダの数州、ニュージーランド等は国際炭素行動パートナーシップ（ICAP）を創設し、各国各地域の制度を国際的にリンクするためのルール作りを始めている¹⁾。

この他に排出量取引に関しても、これまで日本経団連の自主行動計画、環境省の自主参加型国内排出量取引制度（J-VETS）などの試行が行われてきたが、現在、環境省ではキャップ・アンド・トレード方式による国内排出量取引制度の創設に向けた検討を行っている²⁾。

2.2 廃棄物分野における対策事例

2.2.1 JI

これまで、国連気候変動枠組条約の事務局主催による JI ワークショップが開催されており、JI 監査委員会（JISC）を設立(10ヶ国の委員と 10ヶ国の代理委員で構成)した。ここでは、JI ガイドラインの要件に合致していれば JI プロジェクトとして認められるが、ERU のクレジット期間は平成 20 年以降となっている。

表 2-1 に廃棄物処理分野における IGES JI プロジェクトデータベースを示す。表から明らかなように、プロジェクトが実施されているのはチェコ共和国、ポーランド、ハンガリーなど旧東欧圏がほとんどである。プロジェクトの内容は、埋立処分地からの発生ガスに含まれている CH₄の回収・利用やバイオマスを活用した燃料転換が多い。廃棄物処理分野以外では、ニュージーランドにおける風力発電（複数）などがある。

日本でも東北電力（株）や関西電力（株）などが実施したプロジェクトがあるが、ハンガリーの South Nyirseg Biogas Project（東北電力株式会社）のほかは風力発電など廃棄物処理分野以外で参加している。

表 2-1 廃棄物分野における JI プロジェクトデータベース 3)

(1) —その 1—	(平成 21 年 12 月 1 日現在)	
JI プロジェクト名	ホスト国	プロジェクトの種類
TEDOM Portfolio CZ-Ostrava	チェコ共和国	メタン回収・利用
TEDOM ENERGO Portfolio CZ-Zelec	チェコ共和国	メタン回収・利用
TEDOM Portfolio CZ-Praha	チェコ共和国	メタン回収・利用
TEDOM ENERGO Portfolio CZ-Hantaly	チェコ共和国	メタン回収・利用
TEDOM ENERGO Portfolio CZ-Chrast	チェコ共和国	メタン回収・利用
TEDOM ENERGO Portfolio CZ-Vodnany	チェコ共和国	メタン回収・利用
TEDOM ENERGO Portfolio CZ-Temice	チェコ共和国	メタン回収・利用
TEDOM ENERGO Portfolio CZ-Mutenice	チェコ共和国	メタン回収・利用
Landfill gas extraction and utilization in Konin, Poland	ポーランド	メタン回収・利用
Utilization of methane gas from Landfill and Sludge, Zakopane	ポーランド	メタン回収・利用
Landfill gas recovery on the Radiowo Landfill in Warsaw, Poland	ポーランド	メタン回収・利用
Mazurskie Landfill Gas Package	ポーランド	メタン回収・利用
Methane capture and utilization from treatment of swine manure	ポーランド	バイオガス
Paide Bioenergy Project	エストニア	バイオマス利用
Tamsalu Bioenergy Project	エストニア	バイオマス利用
Kadrina Bioenergy Project	エストニア	バイオマス利用
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Nova Cerekev	チェコ共和国	燃料転換
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Velky Karlov	チェコ共和国	燃料転換
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Rostin	チェコ共和国	燃料転換

(2) —その2—

JI プロジェクト名	ホスト国	プロジェクトの種類
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Salvicin	チェコ共和国	燃料転換
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Driten	チェコ共和国	燃料転換
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Bouzov	チェコ共和国	燃料転換
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Trebic TTS K13	チェコ共和国	燃料転換
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Hornie Plana	チェコ共和国	燃料転換
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Iremez	チェコ共和国	燃料転換
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Zlutice	チェコ共和国	燃料転換
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Zlate Hory	チェコ共和国	燃料転換
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Bystrice	チェコ共和国	燃料転換
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Stitna nad Vlari	チェコ共和国	燃料転換
BTG Biomass Energy Portfolio CZ-Zruc nad Sazavou	チェコ共和国	燃料転換
Burwood Landfill Gas Utilization Project	ニュージーランド	メタン回収・利用
Sawdust 2000	ルーマニア	燃料転換
South Nyirseg Bioenergy Project	ハンガリー	バイオガス
Palhalma Biogas Project	ハンガリー	バイオガス
Exim-Invest Biogas	ハンガリー	バイオガス
Pannonpower Gas and Biomass Cogeneration Project	ハンガリー	燃料転換
Biomass Retrofit at Bakonyi Power Plant	ハンガリー	燃料転換
Biomass Retrofit at AES Borsod Power Plant	ハンガリー	燃料転換
Awapuni LFG to Energy Project	ニュージーランド	メタン回収・利用

2.2.2 CDM

平成 21 年 5 月 31 日現在、CDM 理事会に登録されている CDM 事業活動³⁵⁾は 1,647 件(予測排出削減量：約 3 億 200 万トン/年)であり、うち廃棄物処理分野の事業活動は全体の 21.3%を占める 351 件(予測排出削減量：約 3,600 万トン/年)である。さらにこのうち、埋立処分地からのメタン回収・燃焼に関する事業活動は 105 件(予測排出削減量：約 2,200 万トン/年)である。この埋立処分地ガス回収の CDM 事業活動を件数ベースで地域的に見ると、中南米地域で 62 件(59.0%)、アジア地域で 29 件 (27.6%)、アフリカ・中近東地域で 12 件(11.4%)、その他地域で 2 件 (2.0%) となっており、中南米地域での事業活動が活発である⁶⁾。

廃棄物処理の過程で排出される温室効果ガスは、基本的に都市の廃棄物ストリームにおいて、プラスチックや有機性廃棄物の処理・処分に用いられているプロセスから、CO₂、CH₄、または N₂O を削減できれば CDM 事業活動は成り立つ。しかし、開発途上国の廃棄物ストリームの趨勢は、中間処理を持たない直接埋立(または野積みや野焼き)であるから、

承認されているプロジェクトにおいて、有機性廃棄物の埋立回避と埋立処分地からのガスの放出回避が主な削減の方法となっていると考えられる。表 2-2 に日本政府承認済の廃棄物処理分野における IGES CDM プロジェクトデータベースを示す。

表 2-2 廃棄物処理分野における CDM プロジェクトデータベース³⁾

(1) —その1—

(平成 21 年 12 月 1 日現在)

プロジェクトの種類	実施国	プロジェクトの概要	申請者
下水汚泥の乾燥・焼却	シンガポール	汚泥処理を埋立処分から焼却に変更	鹿島建設 (株)
排水メタン回収利用	中国	酒類製造工場でメタンを回収し燃料利用	日本エナジー (株)
排水メタン回収利用	中国	酒類製造工場でメタンを回収し燃料利用	日本エナジー (株)
排水メタン回収利用	中国	酒類製造工場でメタンを回収し燃料利用	日本エナジー (株)
排水メタン回収利用	中国	酒類製造工場でメタンを回収し燃料利用	日本エナジー (株)
排水メタン回収利用	中国	酒類製造工場でメタンを回収し燃料利用	日本エナジー (株)
排水メタン回収利用	中国	酒類製造工場でメタンを回収し燃料利用	日本エナジー (株)
排水メタン回収利用	中国	酒類製造工場でメタンを回収し燃料利用	日本エナジー (株)
排水メタン回収利用	中国	酒類製造工場でメタンを回収し燃料利用	日本エナジー (株)
バイオマスへの燃料転換	タイ	バイオマスボイラの活用	味の素 (株)
都市ごみ焼却発電	中国	都市ごみを燃料とした発電	住友商事 (株)
バイオガス回収発電	マレーシア	パームオイルからのメタンの回収・発電	日本カーボン (株)
バイオガスの回収	ベトナム	有機排水処理でのメタン回収と燃料利用	住友商事 (株)
バイオガスの回収	ベトナム	有機排水処理でのメタン回収と燃料利用	住友商事 (株)
バイオガスの回収	インドネシア	有機排水処理でのメタン回収と燃料利用	住友商事 (株)
バイオガスの回収	インドネシア	有機排水処理でのメタン回収と燃料利用	住友商事 (株)
バイオガスの回収	インドネシア	有機排水処理でのメタン回収と燃料利用	住友商事 (株)
バイオガス回収発電	タイ	有機排水処理でのメタン回収と発電	三菱 UFJ 証券 (株)
バイオガス回収発電	タイ	有機排水処理でのメタン回収と発電	三菱 UFJ 証券 (株)
バイオガス回収発電	タイ	有機排水処理でのメタン回収と発電	丸紅 (株)
有機性廃棄物の活用	インドネシア	パームオイル製造からの有機性廃棄物堆肥化	伊藤忠商事 (株)
有機性廃棄物の活用	インドネシア	パームオイル製造からの有機性廃棄物堆肥化	伊藤忠商事 (株)
バイオマスコージェネレーション	中国	養鶏場からのバイオガスによる発電と熱利用	東京電力 (株)
バイオマスコージェネレーション	中国	養鶏場からのバイオガスによる発電と熱利用	(株) アドバンテック
都市ごみ焼却発電	中国	都市ごみを燃料とした発電	住友商事 (株)
バイオガス回収発電	マレーシア	パームオイルからのメタンの回収・発電	パシフィックコンサル
バイオガス回収発電	タイ	有機排水処理でのメタン回収と発電	(株) エックス都市研
メタンガスの回収	インドネシア	埋立処分地での発生ガスの回収・利用	清水建設 (株)

(2) —その2—

プロジェクトの種類	実施国	プロジェクトの概要	申請者
バイオガスの回収	ベトナム	有機性廃液処理でのメタンの回収	(株) 東芝
バイオガスの回収	ベトナム	有機性廃液処理でのメタンの回収	(株) 東芝
メタンガス回収発電	タイ	パームオイル製造からのメタンの回収発電	丸紅 (株)
バイオガス回収発電	タイ	パームオイル製造からのメタンの回収発電	丸紅 (株)
バイオガス回収発電	中国	有機排水処理でのメタン回収と発電	電源開発 (株)
バイオマスコージェネレーション	インドネシア	パーム製造からのメタン回収発電と熱利用	三菱重工業 (株)
バイオガス回収発電	タイ	パームオイル製造からのメタンの回収発電	三菱 UFJ 証券 (株)
バイオガスの回収	インドネシア	パームオイル製造からのメタンの回収利用	三菱 UFJ 証券 (株)
炭化と有機ガスの回収	スリランカ	熱分解による炭化と回収ガスの利用	日本カーボン (株)
メタンガスの回収	マレーシア	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	日本カーボン (株)
バイオマスコージェネレーション	インドネシア	パーム製造からのメタン回収発電と熱利用	三菱 UFJ 証券 (株)
メタンガスの回収	シリア	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	清水建設 (株)
メタンガスの回収	シリア	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	清水建設 (株)
バイオガス回収発電	タイ	有機排水処理でのメタン回収と発電	住友商事 (株)
バイオマス発電	インド	木質等残渣の燃料利用・発電	関西電力 (株)
メタンガスの回収	中国	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	丸紅 (株)
バイオガスの回収	ベトナム	有機性廃液処理でのメタンの回収	住友商事 (株)
バイオガスの回収	タイ	有機性廃液処理でのメタンの回収	住友商事 (株)
バイオガス回収発電	タイ	有機排水処理でのメタン回収と発電	三菱 UFJ 証券 (株)
バイオマス発電	インド	木質等残渣の燃料利用・発電	三菱 UFJ 証券 (株)
バイオガス回収発電	マレーシア	パームオイル製造からのメタンの回収発電	(株) 農業技術
メタンガスの回収	メキシコ	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	エコセキュリティーズ
バイオガス回収発電	タイ	パームオイル製造からのメタンの回収発電	(株) 農業技術
バイオガスの回収・熱利用	インドネシア	パームオイル製造からのメタンの回収熱利用	三菱 UFJ 証券 (株)
バイオマス発電	インドネシア	木質等残渣の燃料利用・発電	住友林業 (株)
バイオガス回収発電	カンボジア	養豚場からのバイオガスによる発電と熱利用	三菱 UFJ 証券 (株)
メタンガスの回収	中国	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	エコバンク (株)
バイオガス回収発電	インドネシア	養豚場からのバイオガスによる発電と熱利用	中部電力 (株)
バイオマス発電	スリランカ	籾殻の利用による発電	日本カーボン (株)
バイオマス発電	ブラジル	木質等残渣の燃料利用・発電	(株) 三井住友銀行
メタンガスの回収	チリ	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	関西電力 (株)
有機性廃棄物の活用	マレーシア	パームオイル製造からの有機性廃棄物堆肥化	関西電力 (株)
バイオマスコージェネレーション	チリ	木質等残渣の燃料利用・発電・熱利用	東京電力 (株)
バイオマスコージェネレーション	チリ	木質等残渣の燃料利用・発電・熱利用	東京電力 (株)

(3) —その3—

プロジェクトの種類	実施国	プロジェクトの概要	申請者
RDF 発電	マレーシア	RDF 製造、発電	日本カーボン (株)
メタンガスの回収	南アフリカ	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	九州電力 (株) 他
メタンの回避	ブラジル	木質廃棄物のメタン発酵抑制	九州電力 (株) 他
バイオマスコージェネレーション	ブラジル	木質等残渣の燃料利用・発電・熱利用	三菱 UFJ 証券 (株)
バイオマス発電	ブラジル	籾殻の利用による発電	三菱 UFJ 証券 (株)
バイオマス発電	インドネシア	パームの殻椰子利用による発電	三菱 UFJ 証券 (株)
メタンガスの回収	タイ	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	三菱 UFJ 証券 (株)
バイオマスコージェネレーション	ブラジル	木質等残渣の燃料利用・発電・熱利用	九州電力 (株) 他
バイオガスの回収	インドネシア	有機排水処理でのメタン回収と燃料利用	住友商事 (株)
バイオマス発電	タイ	パームの殻椰子利用による発電	(株) 農業技術
バイオマス発電	ブラジル	木質等残渣の燃料利用・発電	中国電力 (株)
メタンガスの回収	グルジア	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	清水建設 (株)
バイオマスコージェネレーション	ブラジル	バガス等残渣の燃料利用・発電・熱利用	中国電力 (株)
バイオマスコージェネレーション	ブラジル	バガス等残渣の燃料利用・発電・熱利用	中国電力 (株)
バイオマスコージェネレーション	ニカラグア	バガス等残渣の燃料利用・発電・熱利用	電源開発 (株)
メタンガスの回収	中国	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	豊田通商 (株)
バイオマスコージェネレーション	ケニア	バガス等残渣の燃料利用・発電・熱利用	日本カーボン (株)
メタンガスの回収	アルゼンチン	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	出光興産 (株) 他
バイオマス発電	ホンジュラス	バガス等残渣の燃料利用・発電	出光興産 (株) 他
バイオマス発電	韓国	木質等残渣の燃料利用・発電	三菱 UFJ 証券 (株)
メタンガスの回収	コロンビア	埋立処分地での発生ガスの回収・利用	電源開発 (株)
バイオマス発電	マレーシア	パームの殻椰子利用による発電	(株) 農業技術
バイオマス発電	マレーシア	パームの殻椰子利用による発電	(株) 農業技術
バイオマス発電	マレーシア	パームの殻椰子利用による発電	三菱 UFJ 証券 (株)
メタンガスの回収	ブラジル	埋立処分地での発生ガスの回収・利用	ナットソースジャパン
バイオガス回収発電	インドネシア	養豚場からのバイオガスによる発電と熱利用	三井物産 (株)
メタンガスの回収	チリ	埋立処分地での発生ガスの回収・利用	三井物産 (株)
バイオガス回収発電	ベトナム	有機排水処理でのメタン回収と発電	新日鉱テクノ (株)
メタンガスの回収	南アフリカ	埋立処分地での発生ガスの回収・利用	日本カーボン (株)
バイオマス発電	ホンジュラス	バガス等残渣の燃料利用・発電	三井物産 (株)
メタンガスの回収	ブラジル	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	昭和シェル (株)
メタンガスの回収	ブラジル	埋立処分地での発生ガスの回収・利用	電源開発 (株)
メタンガスの回収	アルメニア	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	清水建設 (株)
メタンガスの回収	マレーシア	埋立処分地での発生ガスの回収・発電	鹿島建設 (株)

(4) —その4—

プロジェクトの種類	実施国	プロジェクトの概要	申請者
メタンガスの回収	ブラジル	埋立処分場での発生ガスの回収・利用	昭和シェル（株）
メタンガスの回収	チリ	豚舎排水処理でのメタン回収・利用	東京電力（株）
メタンガスの回収	チリ	豚舎排水処理でのメタン回収・利用	東京電力（株）
メタンガスの回収	チリ	豚舎排水処理でのメタン回収・利用	東京電力（株）
メタンガスの回収	ベトナム	油田でのメタン回収・利用	日本ベトナム石油（株）

(1) アルメニア共和国ヌバラシェン埋立処分場における CDM プロジェクト 7)

a. アルメニアの位置関係

図 2-1 に示したように、アルメニア共和国は旧ソビエト連邦の一員で、北はグルジア、西はトルコ、南はイラン、東はアゼルバイジャンに囲まれ、コーカサスと呼ばれるシルクロードの要所に位置している。301 年に世界で初めてキリスト教を国教に定めた国であり、敬虔なキリスト教国家である。アルメニア共和国の人口は 321 万人、国土の面積は 29,800km²（関東一都六県とほぼ同じ面積）で、人口の約 3 分の 1 が首都エレバンに住んでいる。

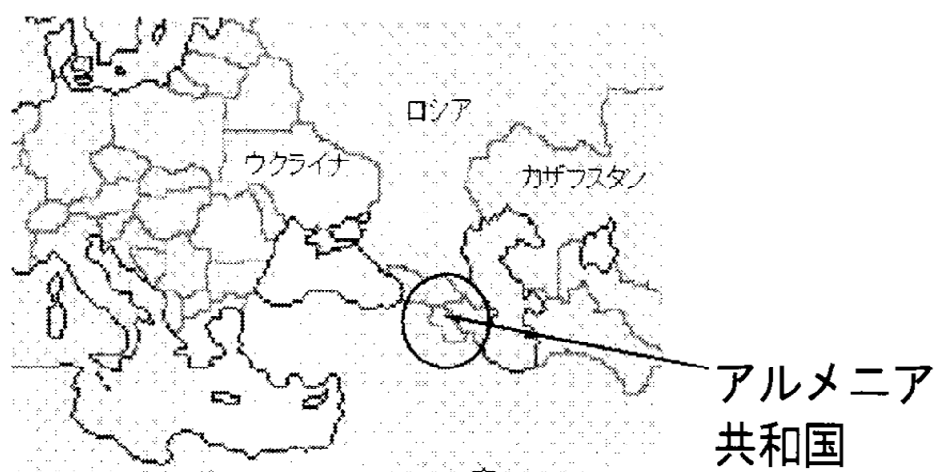


図 2-1 アルメニア共和国の位置 7)

アルメニア共和国は CDM プロジェクトへの投資を促進するため、京都議定書発効前の早い段階から、プロジェクトの国家承認体制を整備した。管轄する自然保護省は CDM を強力に推進するという国家戦略の先頭に立ち、高いリーダーシップを発揮している。

このような状況を踏まえ、「エレバン市ヌバラシェン埋立処分場メタンガス回収プロジェクト」を開発してきた。アルメニア側関係者の協力と努力もあり、このプロジェクトは欧州地域で初めて国連に登録された CDM プロジェクトとなった。

b. プロジェクトの概要

ヌバラシェン処分場は、廃棄物の自然発火、廃棄物から発生する悪臭等が常時発生しており、周辺環境に悪影響を与えていたが、プロジェクトを実施することにより、このような環境が改善される。

2009年4月末よりガス回収設備、フレア設備の建設を開始し、8月末に竣工、その後運用に入る予定である。CDMプロジェクトとしての期間は2023年末までの14年5ヶ月間で、合計52万トン-CO₂削減を予定している。さらに、CH₄の回収状況に応じて、発電に利用することも検討している。

c. CDMプロジェクトにおける課題等

埋め立てられた有機物は嫌気性状態で10年から20年かけて徐々にメタン発酵する。埋立処分場での発生量を正確に評価するためには、まず、過去10年から20年間にどのような組成のごみが、どこに、どれだけ埋め立てられたかのデータを入手しなければならない。さらに気候、処分場サイトの条件からCH₄発生のパテンシャル、CH₄発生割合定数を割り出し、CH₄発生量を予測する。しかし、途上国の埋立処分場でこのような過去の廃棄物処理の履歴がデータとして保管されているところはほとんどないのが実状である。あっても、せいぜい搬入量を記録している程度である。

したがって、通常プロジェクト開始時に得られる確実なデータは直近数年の廃棄物量、現在の廃棄物組成、測量による現在の廃棄物埋立量である。これらに基づき、埋立当時の状況を推定し、CH₄発生量を予測せざるを得ない。このため、より現実を反映させた予測手法を試み、その結果と実施結果の検証により予測方法のブラッシュアップが今後必要である。

CDMは本来、現在の温暖化を誘発した先進国の責任として温室効果ガスの排出削減割当が課され、我が国のようにそれらを達成できない場合に活用できる補完手段として用意された。このコンセプトは先進国の資金と技術によって途上国の温室効果ガスを削減し、その実績を先進国が有し、加えて途上国の持続的開発に貢献することである。この目的に沿ってCDMプロジェクトを推進していくことが今後とも必要であろう。

(2) マレーシア Pulau Burung 埋立処分地における CDM プロジェクト ⑧

a. プロジェクトの目的、内容

プロジェクトの目的は、マレーシア国 Pulau Burung 廃棄物処分場において、通気設備を増設することにより、当該処分場から排出される温室効果ガスの削減および処分場環境の早期改善を図ることにある。

プロジェクト実施サイトである Pulau Burung 廃棄物処分場は、準好気性システムを採用した廃棄物処分場であり、2001年8月より埋め立てが開始され、2区画が2007年末で完了している。同システムは日本国内において多数の実績があり、処分場の早期安定化お

よび環境改善に有効な手法である。一方マレーシア国においても、JICA の協力により同システムが一部処分場で採用され、現地でも高い評価を得ている。

しかし、同処分場におけるガス計測結果によるとメタンガス濃度が 60% と高く、準好気性システムを採用しているにも関わらず、排水および通気設備が機能していないために嫌气的状態を保っており、処分場の安定化が進んでいない。処分場でのメタンガスの削減は、処分場を嫌气的状態から準好气的状態に改善することで可能となる⁹⁻¹⁰⁾。本プロジェクトでは、鋼管ケーシングを用いた削孔工法により埋め立てが完了した処分場に通気、排水を目的とした井戸を設置する。これにより、準好気性システムの機能が回復し、廃棄物安定化の促進とメタンガスの排出を抑制することができる。

本プロジェクトの実施に伴い、以下の便益が期待される。

- ① 廃棄物処分場からの CH₄ や硫化水素などのガス発生量が削減でき、環境への負荷が軽減できる。
- ② 処分場において、爆発の危険性や有毒ガス発生危険性がなくなる。
- ③ 浸出水の排水が改善されるため、好气的な領域が拡大し、廃棄物の分解が促進されるとともに、浸出水の周辺環境への影響が軽減される。
- ④ 廃棄物処分場の安全閉鎖が早期に実現できる。
- ⑤ 埋立跡地の植林、公園開発等への早期活用が可能となる。

さらに、発電等の事業を行う前提がないため、プロジェクトの事業性が見込めなくなった時点でもプラント等の放置による環境劣化問題の心配がなく、真の意味での持続可能な開発を実現できる¹¹⁻¹²⁾。

b. プロジェクト実施場所

本プロジェクトの実施サイトである Pulau Burung 廃棄物処分場は、ペナン島の南東約 20km に位置している。同処分場の面積は 63 ha であり、埋立終了時の面積が 33.3 ha、稼働中の面積が 29.7 ha となっている。1日あたりの埋立処分量は約 1,200t トン/日であり、ペナン島で発生する廃棄物のほとんどが同処分場に埋め立てられている。本プロジェクトにおいて予定している実施エリアは 33.3 ha である。

c. プロジェクト技術

本プロジェクトでは閉鎖された処分場で通気設備の設置を行う工法として、主に通気を目的とした鉛直管を設置する技術と、処分場内部の保有水を排除する目的の水平管を設置する技術を採用している。鉛直管の施行は従来工法と比較してメリットのある鋼管ケーシング工法を採用し、水平管の施工には誘導式水平ボーリング工法を採用した。これらの技術はすでに日本の処分場で実績があり、その有効性が確認されている。本プロジェクトで実施する通気設備の模式図を図 2-2 に示す。

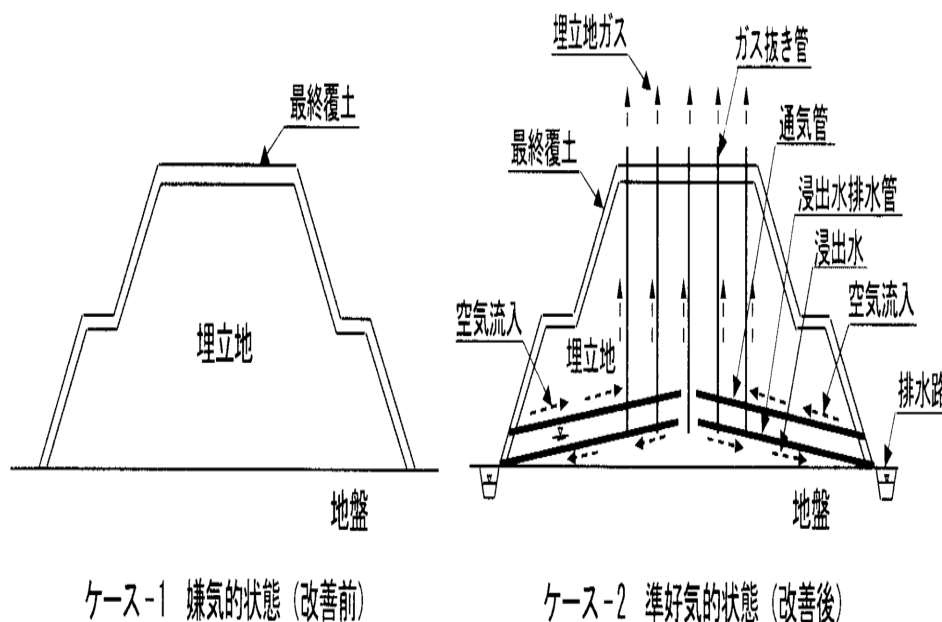


図 2-2 通気設備の模式図 8)

① 鋼管ケーシング工法

本工法は、先端に槍状のピースを取り付けた鋼管ケーシングを廃棄物層に無排土、無水で、鋼管ケーシング内部に通気管を建て込みながら回転圧入し、圧入後の最後に鋼管ケーシングのみを回収することで、通気管を所定の位置に設置する工法である。

本工法は処分場における井戸設置工法として用いられているロータリー式ボーリング工法に比べ、短期間、低コストで深度 30～40m 程度の通気設備を設置することが可能である。また、廃棄物を排出することもなく作業環境が良く安全な工法である。

② 誘導式水平ボーリング工法

本工法は埋設管等の敷設において日本や欧米で普及している非開削技術であり、マレーシアにおいても利用されている技術である。本工法は、ジェット噴出するドリルヘッドを地上より電磁誘導を行いながら到達地点まで掘進する。到達抗で埋設する管外径に適合したバックリーマーを取り付け、バックリーマーを回転させながら、掘削流体をジェット噴出させて管を引き込み・埋設する。本工法も非開削で行えるため、廃棄物等の排出がなく安全性が高い工法である。

これらの工法を用いることによって、嫌気性状態でメタンガスの排出割合が多い処分場において、少ない環境負荷で安全に通気設備を設置し、処分場を準好気的狀態に改善することができる。

これらの技術については、プロジェクト実施サイトである Pulau Burung 廃棄物処分場において、現地の施工機械の改造および技術指導を行いながら試験施工を実施した。試験施工では鉛直管径 $\phi 200\text{mm}$ 、水平管径 $\phi 200\text{mm}$ のパイプを設置した。この結果、同処分

場においても確実に通気設備が設置でき、技術移転を伴うプロジェクトになることが実証された。

d. ベースライン新方法論

廃棄物処分場から発生するメタンガスの処理に関しては、メタンガスの一部あるいは全量が大気中に放出される条件をベースラインとし、メタンガスを回収してフレア燃焼処理あるいは発電・熱エネルギーとして用いる統合方法論が承認されている。しかし、このプロジェクトは、嫌気性状態にある処分場を準好気性状態に改善することによってメタンガス発生量そのものを減少させて大気中に放出するという方法であり、この方法論は承認されている統合方法論には含まれていない。このため、追加的削減として承認される根拠を示すため、新たな方法論を作成した。作成した新方法論は国連に提出し承認を得る必要がある。モデリングに関する方法論についても新方法論に基づき作成する。

e. 予想されるプロジェクト効果

本プロジェクトを実施する処分場は 2001 年から埋立処分が開始されており、2008 年に埋立が完了している。プロジェクトの開始を 2010 年とし、クレジット期間をプロジェクト実施後 10 年間とした時に、期待されるクレジットの総量は表 2-3 に示す¹³⁾とおりである。

表 2-3 期待されるクレジット総量 (2010 年～2019 年) ⁸⁾

年	ベースライン排出量 (トン-CO ₂)	プロジェクト排出量 (トン-CO ₂)	排出削減量 (トン-CO ₂)
2010	226,785	113,392	113,392
2011	186,939	93,469	93,469
2012	145,805	72,902	72,902
2013	113,191	56,595	56,595
2014	86,594	43,297	43,297
2015	64,316	32,158	32,158
2016	45,198	22,599	22,599
2017	28,444	14,222	14,222
2018	13,506	6,753	6,753
2019	0	0	0
Total	910,777	455,388	455,388

(3) 開発途上国廃棄物分野における気候変動対策への支援協力の課題¹⁴⁾

(独)国際協力機構(JICA)は日本政府の政府開発援助(ODA)を担う期間として開発途上国の様々な開発ニーズに対応して協力を行ってきており、地球温暖化に伴う気候変動への対応という新たな課題に対する協力に取り組んでいる。協力プロジェクトの中で温室効果ガスの発生抑制を支援し、ひいては CDM 事業として案件形成を行っている事例もある。たとえば、エジプトのザファラーナ風力発電事業やインドのニューデリー地下鉄事業を JICA は有償資金協力(円借款)で支援しているが、これらの事業は CDM 理事会において登録済みである。

JICA が実施する開発途上国廃棄物分野の気候変動緩和策に対する支援協力は、大きく 4 つに分けられる。すなわち、①埋立地の温室効果ガス排出削減支援、②中間処理による温室効果ガス発生ポテンシャル抑制支援、③廃棄物処理システム全体としての温室効果ガス排出抑制支援、④社会全体の廃棄物削減と低炭素化支援、である。重要なのは、CDM 事業を孤立的に実施するのではなく、途上国の包括的な廃棄物管理課題対処能力向上(キャパシティ・ディベロップメント)という課題の中で位置づけることである。

a. 埋立地ガス排出の削減のための支援

支援の内容としては、①埋立地から CH₄ を回収することによって対処する方法、②埋立地内での CH₄ の発生そのものを抑制する方法の 2 つである。

① 埋立地メタン回収への取組支援

埋立地から排出される CH₄ をできるだけ削減するために埋立地内部からガスを回収しフレアで焼却して大気中に放出するもので、最も普及している CDM 事業の 1 つである。

JICA では、アルゼンチンにおいて 2004 年から専門家派遣、2006 年からは「CDM 基盤整備プロジェクト」を実施し、CDM のプロジェクト形成や普及を支援してきた。このような支援を背景として、同国の最終処分場における CH₄ の回収・燃焼設備が CDM 事業として導入されてきている。ただし、埋立地ガス回収方式は、ごみの減量化というインセンティブを生みにくい傾向があり、長期的に見て持続可能な開発の概念と対立的であるといえる¹⁵⁾。

② 埋立地内での CH₄ 発生抑制への取組支援

JICA はこれまで衛生埋立化、埋立地早期安定化を図る一つの方法として、準好気性埋立の導入支援をマレーシア、ネパール、バングラデシュ、カンボジア、エルサルバドル、ドミニカ、パレスチナ、太平洋上の島嶼国等で行ってきたが、この方式は CH₄ の発生を抑制する上でも一定の効果があることが知られている¹⁶⁾。今後、本方式の導入条件がある地域では、緩和策としての適用が期待される。

b. 温室効果ガス発生ポテンシャルの前処理による低減支援

最終処分場で埋立処分を行う以前の段階における廃棄物に対して、中間処理を行うこと

により、温室効果ガス発生ポテンシャルを低減する方法の導入支援である。

① バイオマス系廃棄物からコンポストの製造の取組支援

温室効果ガスの発生ポテンシャルの前処理による低減策として、開発途上国で最も広く取り組まれているのが、バイオマス系廃棄物を原料とするコンポストの製造である¹⁷⁾。

コンポスト製造を温室効果ガスの発生抑制や減容化と安定化に結びつけて取り組むことは有効であるが、土壌改良材や肥料の代替物と見て売却収入を期待するアプローチ、また、大規模な集中型のコンポスト・プラントを作って製造する試みは、総じて持続性に乏しく、開発途上国の少なくない都市でプラントが閉鎖され中止されている。閉鎖した事例に共通するのは、集中型の大型コンポスト・プラントでは、都市化の進行と相まって、臭気発生等の問題のために周辺住民の理解が次第に得られにくくなること、都市廃棄物を材料とした場合にコンポストの品質が分別の程度によって変化すること、コンポストの需要が生産量とバランスのとれたものにならなくなること^{18,19)}、などである。したがって、中間処理としてのコンポストは緩和策として有望であるが、製造施設の立地や製造されたコンポストの用途といった点について十分留意する必要がある。

② 有機性廃棄物からのバイオガス製造の取組支援

バイオマス系の有機性廃棄物からバイオガスを製造する取り組みは²⁰⁾、技術面やシステムの問題から、開発途上国ではしばしばパイロット・スケールのプラントにとどまり、波及効果や自立発展性が必ずしも大きくない場合が多い。メキシコでは、JICAの技術協力により農村地域におけるバイオガス製造装置を使用した小規模 CDM 事業モデル形成支援を実施している。このプロジェクトでは、養豚場からの家畜廃棄物（ふん尿）による環境汚染に悩んでいた農家および農業省に、ふん尿を集めてバイオ・リアクターで処理し、ガスと排水の有効利用と CDM 化による運転コストの捻出を図った。ここでは CDM が、ふん尿による環境汚染対策の促進ツールとして使われている。

このように、現地の条件に適合した技術を導入し、適正規模で分散型のシステムに位置付けて展開するならば、緩和策としてのバイオガス製造の持続性は高いと考えられる。

③ バイオマス系廃棄物からの液体燃料製造の取組支援

中間処理としての温室効果ガス発生ポテンシャル削減の、もう一つの手法として、バイオマス系の廃棄物からの液体バイオ燃料製造がある。

ベトナム・ホーチミン市では、廃食用油によるバイオ・ディーゼル燃料(BDF)製造の試み²¹⁾、インドネシアにおいては、パーム油廃棄物を原料とした BDF 製造計画²²⁾があるものの、いずれも事業段階ではない。廃食用油からの BDF は比較的製造が容易で、しかもディーゼルと混合して動力燃料に活用できるため、今後とも有望な協力支援分野になるものと考えられる。

一方、アルコール発酵の原理を用いた廃棄物によるバイオ・エタノール製造は、実用段階ではないが JICA-JST 地球規模課題対応国際科学技術協力事業として、ブラジルにおいてサトウキビ廃棄物からのエタノール生産研究が実施されている。

④ バイオマス系廃棄物の炭化処理支援

バイオマス系廃棄物を炭化処理して焼却し、温室効果ガス発生ポテンシャルを削減する試みは、インドネシア²³⁾やフィリピンで行われており、フィリピン・マニラのサンマテオ処分場では、大阪市の協力により小規模の埋立地ガス回収プラントを設置して燃焼による熱により廃材から木炭を製造するとともに、木炭を浸出水処理における吸着材として利用する CDM プロジェクトを形成した²⁴⁾。

また、スリランカにおいては、環境対策投資の資金を提供する円借款事業のツー・ステップ・ローンの一部を活用して、同国で大量に発生するココナツ殻廃棄物を炭化し、回収したガスの燃焼による発電を行う企業を支援することで、CH₄の回収と電力代替の双方による温室効果ガス削減の CDM 事業を実施している²⁵⁾。

c. 廃棄物管理システム全体の効率化と低炭素化支援

「廃棄物そのもの」に着目し温室効果ガスの発生抑制を図るのではなく、ごみの排出、収集、運搬、中間処理、最終処分からなる「廃棄物処理システム」全体を効率化することにより、システム全体として温室効果ガスを削減する²⁶⁾ための支援である。

廃棄物処理システムの低炭素化という観点では、収集運搬においても改善課題がある。開発途上国においては、廃棄物収集運搬車量の多くは耐用年数を超えた燃費の悪いトラックであることが多い。バングラデシュ「環境プログラム無償資金協力」²⁷⁾において、老朽化車両を更新し、温室効果ガスの排出量を削減するために CNG（液化天然ガス）を燃料とする収集車両の導入を計画中である。これにより、収集車両から排出される CO₂ が約 45kg/台・日から約 17 kg/台・日へ削減され、2008 年には日量 1,619 トンであったごみ運搬能力が、2012 年には 2,121 トンに向上する見込みである。

d. ごみ発生抑制による社会全体の低炭素化

経済社会の生産、流通、消費のプロセスにおける廃棄物の発生量を削減することにより、全体としての温室効果ガスの削減に寄与する、という社会システム全体を変革するための支援である。

JICA は 1980 年代以降、廃棄物分野において 50 余りの技術協力を行ってきたが、それらの技術協力の中でしばしば取り込まれるパイロット・プロジェクトが、ごみ分別とリサイクルである。しかし、パイロット・プロジェクトの検証結果によれば、現地の条件に左右され、必ずしも全てのケースで有効性や持続可能性が認められたわけではない。一例をあげると、フィリピン・マニラ市では、JICA が開発調査でコミュニティ単位の集団回収リサイクルのパイロット・プロジェクトを実施したが、政治やコミュニティの合意形成、民間セクターとの調整といった点に課題があり、限定的なインパクトにとどまっている²⁸⁾。

環境に調和した低位炭素社会を目指すための支援を行う場合、国家レベルの生産、流通、

消費、廃棄を総合的に把握し計画する観点が必要である。まだこのような協力事業の事例は少ない。

e. 開発途上国にとっての CDM 事業とは

現在、開発途上国における廃棄物分野の CDM 事業は、とりわけ埋立地における CH₄ の回収に注目が集まり、プロジェクト形成がすすめられている。ところが、こうして形成される CDM プロジェクトが、当該都市の廃棄物処理システムや都市全体の廃棄物管理計画の観点とは、ほとんど無関係にすすめられているという現実がある。

開発途上国の現場では、CDM プロジェクトの形成が現地のキャパシティ・ディベロップメント(CD)支援プログラムと必ずしも調整・連携する形で行われていない。一方、廃棄物分野の CD 支援プログラムの中に CDM プロジェクトを位置づける試みは、まだ初歩的段階にある。そのため、持続可能な開発への支援という課題と、気候変動対策への課題が孤立的に扱われている。このような現状を踏まえて考えると、今後は開発途上国における廃棄物分野の CD 支援は、CDM プロジェクトの形成支援を含む気候変動緩和策をより一層意識して連携することが要求され、また、CDM プロジェクトを含む緩和策の策定も実施主体のキャパシティの向上や持続可能な開発に調和したものとならなければならないと考えられる。

2.2.3 排出量取引

これまで環境省などによって国内で行ってきた排出量取引の試行では、鉄鋼業、エネルギー関連およびセメント工業など化石燃料の消費量が特に多い産業が参加主体の中心になって実施されてきた。このため、廃棄物処理分野などエネルギー多消費型ではない産業における実施例はほとんど見あたらない。しかし、一般廃棄物中には有機成分として紙、段ボール、厨芥および家庭ごみなどが 30～70%含まれている。これらは再生可能資源であることから、焼却処理の際に発電、熱利用を積極に行ってエネルギー回収効率を高めることで CO₂ を大幅に削減することができる。また、最終処分場で嫌気性発酵した場合はメタンが発生するので、エネルギー回収もできる²⁷⁾。

欧州では、焼却施設の熱利用を発電のみ(回収効率最大 25%)から発電+地域熱供給にシフトして、回収効率を 75%と 3 倍高めることで大幅な CO₂ 削減が可能であるとの報告が多数ある³⁰⁻³⁴⁾。さらに、一般廃棄物と産業廃棄物を混合して廃棄物の発熱量を約 20,000 ジュールと石炭程度まで高くして混焼した場合、発電効率を 35～45%まで上げることが可能になる^{35,36)}。廃棄物の混焼でも紙、庭ごみなどの再生可能資源の割合は 50%前後であることから、カーボン・ニュートラルによる大幅な CO₂ 削減が可能となる。欧州では、これらの方法による CO₂ 削減を進めて、余剰の削減量を EU 域内における排出量取引に活用することを目指して、近年は廃棄物が焼却処理される割合が増加している。

米国では、埋立処分地のほとんどが嫌気性発酵方式となっているため、埋立処分地から

大量の CH₄ が発生している。平成 6 年以降、CH₄ の回収とエネルギー利用を積極的に進めており、カーボン・オフセットの活用でクレジットによる収入を得るとともに、CO₂ 削減に効果をあげている³⁷⁾。

我が国では、これまで焼却施設は温室効果ガスの排出源として捉えられており、カーボン・オフセットの対象とは考えられていない。一方、我が国における温室効果ガスの削減目標が 25% と極めて高いことから、あらゆる方法で CO₂ 削減を進める必要がある。そのためには、廃棄物処理分野においても積極的に対策をとる必要があり、焼却施設でのエネルギー回収効率の向上は極めて有力な方法であると考えられる。

(1) EU 域内排出量取引制度(EU-ETS)の仕組み¹⁾

EU 域内での排出量取引制度は、発電所、石油精製、製鉄、セメント等のエネルギー多消費施設(約 10,000 以上)が対象であり、排出量のカバー率 49%、裾きり基準：熱投入量 20MW である。各加盟国は対象施設に排出枠が交付されており、各施設は各年終了後に、排出量と同量の排出枠を政府に提出する義務がある。義務を果たすために、排出枠等を買ってくることもできる。また、各施設は義務を果たすために、CDM/JI によるクレジットを使用できる。EU-ETS の仕組みを表 2-4 に示す。

表 2-4 EU-ETS の仕組み¹⁾

	第 1 フェーズ (2005-2007)	第 2 フェーズ (2008-2012)	第 3 フェーズ (2013-2020)
削減目標	05 年排出量比+8.3% (05~07 年の期間平均)	05 年排出量比▲5.6% (08~12 年の期間平均)	05 年排出量比▲21% (20 年時点)
削減実績	+0.98%(05 年比 07 年排出実績)	-3.06%(07 年比 08 年排出実績)	N/A
対象ガス	CO ₂	CO ₂ 一部の国は他の温室効果ガスにも拡大予定	CO ₂ 、N ₂ O (化学)、PFC (アルミ)
対象部門	エネ転、産業部門に限定(約 11,500 事業所)	航空部門への拡大(2012 年以降)を決定	アルミ、化学、航空部門等を追加
課徴金	40 ユーロ/トン・CO ₂	100 ユーロ/トン・CO ₂	消費者物価指数により毎年スライド
CDM/JI 活用可能量	制限無し	最大 20% 等の上限有り	2005 年の排出実績の 3% が上限。一定の要件を満たす加盟国は、最貧国又は島嶼国のプロジェクトから追加的に 1%

(2) 米国連邦議会における主な排出量取引制度関連法案の概要

現段階における米国議会の排出量取引制度関連の取組状況を表 2-5 に示す。

表 2-5 米国連邦議会における主な排出量取引制度関連法案の概要¹⁾

		第 110 議会		第 111 議会	
		リーバーマン・ウォーナー法案	ビンガマン・スペクター法案	ワックスマン・マーカーキー法案	
		2007 年 12 月 5 日 : 上院環境・公共事業 委員会で可決。本会 議採決は至らず。		2009 年 3 月 31 日 : 下院提出 同年 5 月 21 日、修正 案が委員会可決 同 6 月 26 日、下院本 会議可決	
削減目標 (米総排出量)	2020	2005 年比 19%減	2006 年比横ばい	2005 年比 20%減	
	2030	—	1990 年比横ばい	2005 年比 42%減	
	2050	2005 年比 63%減	2006 年比 60%減	2005 年比 83%減	
規制対象	石炭使用設備、天然ガス・石油の生産施設・輸入等		化石燃料等の輸入・生産事業者、石炭消費施設等	エネルギー部門（発電、石油石炭、天然ガス）、産業部門等	
割当方法	過去の実績に基づく無償割当とオークションを組み合わせ、段階的にオークションの割合を高めていく		過去の実績に基づく無償割当とオークションを組み合わせ、段階的にオークションの割合を高めていく	過去の実績に基づく無償割当とオークションを組み合わせ、段階的にオークションの割合を高めていく	
費用緩和措置	<ul style="list-style-type: none"> ・「炭素市場効率性理事會」を設置し排出枠価格の安定化を図る ・次期期間への繰り越しは無制限 ・次期期間からの借入は一定の制限有り ・国内外削減プロジェクトの活用 		<ul style="list-style-type: none"> ・事実上の上限価格を設定（安全弁、\$ 12/トン・CO₂） ・次期期間への繰り越しは無制限 ・国内外削減プロジェクトの活用 	<ul style="list-style-type: none"> ・FERC と CFTC による市場監視 ・次期期間への繰り越しは無制限 ・次期期間からの借入は一定の制限有り ・国内外削減プロジェクトの活用 	

(3) 世界の排出量取引総量と取引額

現状における、世界の排出量取引総量と取引額を表 2-6 に示す。

表 2-6 世界の排出量取引総量と取引額¹⁾

	2006年(\$ 1=116円)		2007年(\$ 1=118円)		2008年(\$ 1=103円)	
世界全体	17億トン	3兆6192億 円(312億 ドル)	30億トン	7兆4348 億円(630 億ドル)	48億トン	13兆0135 億円(1263 億ドル)
EU-ETS	11億トン	2兆8304億 円(244億 ドル)	21億トン	5兆7897 億円(491 億ドル)	31億トン	9兆4667億 円(919億ド ル)
Primary CDM市場	5.4億トン	6728億円 (58億ドル)	5.5億トン	8771億円 (74億ドル)	3.9億トン	6715億円 (65億ドル)
Secondary CDM市場	0.3億トン	516億円 (4.5億ドル)	2.4億トン	6432億円 (55億ドル)	11億トン	2兆7065億 円(263億ド ル)
JI市場	0.2億トン	162億円 (1.4億ドル)	0.4億トン	589億円 (5億ドル)	0.2億トン	299億円 (2.9億ドル)

注) 主な取引所には、ノルウェー電力取引所(ノルドプール)、ドイツ欧州エネルギー取引所(EEX)、フランス電力取引所(ブルーネクスト)、欧州気候取引所(ECX)等がある。

(4) 国際的なキャップ&トレード市場の構築に向けた動き(ICAP)¹⁾

2007年10月、ICP(International Carbon Action Partnership: 国際炭素行動パートナーシップ)が発足した。これは、義務的なキャップ&トレード制度を実施済又は実施を約束している政府又は公的機関によるフォーラムであり、地域炭素市場の設計、互換性、リンク可能性を議論し、その障害と解決策を特定することになっている。現在のメンバーは、以下の29主体である。

① EUメンバー

デンマーク、欧州委員会、フランス、ドイツ、ギリシャ、アイルランド、イタリア、オランダ、ポルトガル、スペイン、イギリス

② 米国地域温暖化効果ガスイニシアティブ(RGGI)メンバー

メイン州、メリーランド州、マサチューセッツ州、ニュージャージー州、ニューヨーク州

③ 西部気候イニシアティブ(WCI)メンバー

アリゾナ州、ブリティッシュコロンビア州、カリフォルニア州、マニトバ州(カナダ)、

ニューメキシコ州、オレゴン州、ケベック州（カナダ）、ワシントン州、オンタリオ州（カナダ）

④ その他

オーストラリア、ニュージーランド、ノルウェー、東京都

このほかに、日本（環境省）、ウクライナ、韓国がオブザーバー参加している。

2.3 廃棄物分野以外での対策事例³⁶⁾

平成 21 年 3 月までに登録された CDM プロジェクトのうち、廃棄物分野以外のものを分類すると以下の 4 つに分けられる。

- ① 再生可能エネルギー利用(水力、バイオマス、風力、地熱、太陽光)
- ② エネルギー利用の改善(排ガス、廃熱利用、省エネルギー、燃料転換、セメント、炭層炭坑メタン回収・利用)
- ③ 工業ガス削減（HFC、N₂O、PFC 削減）
- ④ 植林地(植林、交通)

この中で、再生可能エネルギーを利用するプロジェクトが登録件数の約半分（56%）を占めている。次にエネルギー利用の改善が 18%、工業ガス削減が 4%、植林他が 1%未満であった。これらプロジェクト種類別の事業内容と登録の傾向の概要（廃棄物管理・処理は除く）は以下のとおり。

ちなみに、廃棄物管理・処理は登録件数の 22%を占めている。

2.3.1 再生可能エネルギー利用

現在、CDM として最も多く登録されているプロジェクトは水力発電である。主に河川の流れを利用した流れ込み式の発電方式であるのが特徴である。現在の登録件数は 390 件で、登録件数全体に占める割合は 25.1%と最も多い。また、平成 20 年の登録件数は平成 18 年と比べて 2.5 倍と増加している。

この他には、農作物残渣等の生物資源を利用するバイオマス・プロジェクトとして、サトウキビの絞りかすや米の籾殻、またココナッツやバーム等空房を燃焼し、ボイラへの蒸気を供給して発電を行う事業もある。この事業の登録件数は 235 件で、登録件数全体に占める割合は 15.1%である。

風力発電プロジェクトは 1 基あたり 0.25MW から 3MW のタービン装置を設置して系統へ売電する。現在の登録件数は 223 件で、登録件数に占める割合は 14.4%である。平成 20 年の登録件数は平成 18 年と比べて 1.4 倍に増加している。その他の再生可能エネルギーとして、太陽光発電や太陽熱利用、地熱発電があるが、1 件あたりの年間削減量が 1000 トン以下のプロジェクトが 6 件中の 4 件と、プロジェクトあたりの CER 量が非常に少ない

のが特徴である。

2.3.2 エネルギー利用の改善

廃ガス・廃熱利用プロジェクトは、製鉄所やセメント工場にて原料を加熱・加工する過程で発生する廃ガスや廃熱を回収し発電する事業である。現在の登録件数は131件で、登録件数全体に占める割合は8.4%と比率としては少ないものの、平成20年の登録件数は平成18年と比べて2.4倍と増加している。

省エネ CDM プロジェクトは、主に工場におけるボイラやコンプレッサー等の設備機器の更新や新規設備導入による燃料消費量の削減によって CO₂ 排出を抑制する事業である。現在の登録件数は63件で、登録件数全体に占める割合は4.1%と途上国における削減可能性を考慮すると非常に少ない。

燃料転換事業は、工場や発電所等において石炭や重油燃料から天然ガス等の燃料に転換する事業である。登録件数全体に占める割合は2.7%(42件)と少ないが、平成20年の登録件数は平成18年と比べて2倍と増加している。

2.3.3 工業ガス削減

HFC23 はエアコンの冷媒やフッ素系樹脂の原料として用いられる HFC22 製造時の副産物として発生する温室効果ガスである。HCFC 類は、モントリオール議定書の対象物質であり、平成42年までに全廃されることが決まっているが、途上国では現在でも生産が続けられている。登録件数に占める割合は1.2%(18件)と少ないが、年間の平均排出削減量は419万トンと非常に大きい。

N₂O 削減事業は、硝酸やアジピン酸の製造施設において発生する N₂O の分解設備を導入するプロジェクトである。登録件数に占める割合は2.8%と少ないながら、年間の平均排出削減は94万トンと非常に大きい。

2.3.4 植林他

植林および再植林のプロジェクト登録は、これまでに3件と非常に低い件数にとどまっている。この他には都市交通においてバス高速輸送システムの導入や地下鉄路線における回生ブレーキを用いた発電システムの導入例が CDM として採択されている。

2.4 今後の課題

平成16年に CDM として最初のプロジェクトが CDM 理事会に登録されて以降、審査手続きに関するルールやプロセス、排出削減量の計算方法論の追加や改訂を経て CDM の制度が構築されてきた。今日、CDM は議定書の達成だけではなく、世界的な温暖化対策への取り組みにおいても必要不可欠な削減メカニズムとして機能していると考えられる。一

方で、これまでの 5 年余りにわたる実施を経て、CDM も以下のような課題に直面している³⁶⁾。

- CDM として審査する手続きが非常に複雑化し、多くの時間がかかるために CER の発生量や事業としての見通しがたてにくくなっている。これは、申請プロジェクト数の増加という外的な要因以外にも、CDM 理事会における審査体制や DOE(Designated Operational Entity)等審査期間における仕事量の増大等、CDM としての仕組みそのものに問題があると考えられる。公平および公正な審査体制を保ちつつも、透明性があり簡素化された手続きを導入していく必要がある。
- CDM プロジェクトの登録時再審査実施の理由として、プロジェクトの追加性に関する証明が不十分であることが理由として最も多くあげられている³⁷⁾。この追加性を判断するための方法についても、わかりやすい指標や登録手続きの簡素化等、審査登録手続きに関する一層の改善が望まれる。
- 中国やインド、ブラジルといった大国に CDM が集中する地域分布の問題に関して、平成 20 年末にポーランド・ボズナンで開催された COP14 で改善策が決められた。CDM 登録が 10 件未満の国においては、CDM に関する手続きの簡素化や、政府や民間部門における CDM の開発支援の促進が求められており、具体的な対応策の実施が重要となってきた。

第3章 温暖化対策におけるイノベーションの可能性

3.1 はじめに

CO₂排出量の25%削減はきわめて困難な課題であるが、同時に大きな市場を提供する可能性があり、解決が難しい難題から巨大なビジネスチャンスへと変わりつつある。現在、米国が実施しているグリーン・ニューディール政策によるクリーンパワーやエネルギー効率のよいテクノロジーの開発は、今後50年にわたり、国の経済的地位、環境の健全性、エネルギー安全保障、国家安全保障の尺度を決めると言われている。このクリーンエネルギー・テクノロジーの開発は、イノベーションが大いに期待できる分野でもある¹⁾。

一方、国内の地方自治体が毎年作成している温暖化防止実行計画では、域内の温室効果ガス総排出量のうち、焼却施設からのCO₂排出量の占める割合が非常に高い。このため、自治体では廃棄物の減量化と容器包装材等プラスチック製品のリサイクルを推進するとともに、焼却施設の省エネルギー化等をはじめとする機能強化が重要な課題となっている。

廃棄物分野における温暖化対策はエネルギー回収が中心となることから、イノベーションが期待される分野としては焼却施設におけるエネルギー回収効率の向上が上げられる。効率向上の内訳としては、発電効率のほか地域熱供給などによる廃熱利用の用途拡大がある。

焼却施設発電効率は、廃棄物の発熱量が最大11,000ジュール程度であることから、最新の焼却施設でも30%が限界となる。発電効率を30%以上にするためには、焼却の対象となる廃棄物の発熱量をさらに高める必要がある。一般廃棄物の発熱量は上限が11,000ジュール程度であるが、産業廃棄物との混焼により混合廃棄物の発熱量を20,000ジュール程度まで上げることが可能である。日本の場合、廃棄物処理法により廃棄物は一般廃棄物と産業廃棄物に区分されている。このうち産業廃棄物は工場、事業所などから排出されたものが対象となる。現在、産業廃棄物は20種類が指定されており、それ以外の廃棄物は一般廃棄物となる。

しかし廃棄物のうち、紙くず、木くず、廃プラスチック類およびゴムくず類などは産業廃棄物も一般廃棄物も組成は同じであり、しかも発熱量が高い。最新の焼却炉では、これら発熱量の高い廃棄物をダイオキシン類や窒素酸化物など汚染物質の排出を抑制可能とする燃焼技術が確立されている。また、発熱量が20,000ジュール程度あれば、発電効率は最適条件で最大45%まで向上することができる。これにより、より多くのCO₂削減を達成できる^{2,3)}。

一方、廃熱利用の用途拡大では、地域熱供給の対象区域を広げ、これまで利用が進んでいない200℃以下の低温廃熱の用途拡大が必要となる。このうち地域熱供給では、焼却施設が熱供給を必要とする工場、事業所や集合住宅に近接することが条件となるため、欧州

のように都市計画の段階から焼却施設を熱供給施設として位置付けた配置計画を作成していかなければ、効率的なエネルギー回収ができないと考えられる。また、低温廃熱の利用では、これまで暖房等への利用を中心に開発が行われてきた。しかし、日本の場合は気候風土から暖房よりも冷房に使われる熱量が遥かに多い。このため、低温廃熱を冷房に利用できれば、大幅なエネルギー効率の向上が期待できるので、この分野でのイノベーションが待たれる。

国内外への新技術の市場拡大に関しては、CDM の活用分野が有望であると考えられる。これまでの CDM は、埋立処分地でのメタンを含む発生ガスの回収が主であったが、今後はリサイクルシステム、コンポスト、焼却および嫌気性発酵が増加すると予想されている。このうち、リサイクルシステム、コンポストおよび焼却の分野では、日本の技術レベルも世界の最新レベルにあることから、大いに期待できると考えられる。これら CDM の拡大により、途上国への技術移転が促進され、温室効果ガス排出量の削減が推進される⁴⁾。

3.2 廃棄物分野における現状と可能性

3.2.1 発電効率の向上

環境省では、3R 対策・温暖化対策の推進の必要性から、平成 20 年 3 月に閣議決定された「廃棄物処理施設整備計画」においても地球温暖化防止にも配慮した施設整備を推進するとしている⁵⁾。この計画の中でごみ焼却施設の総発電能力の目標値として、2,500MW(平成 24 年度)が設定された。しかし、現在稼働している焼却施設は発電設備を有している施設が 30%程度であり、また平均発電効率も 10.9%(平成 18 年度)と低レベルにとどまっている。このため、目標値を達成するためには高効率ごみ発電が可能な焼却技術の普及を図る必要がある。

発電技術は施設規模に依存することから、施設規模に応じてどの程度までの発電効率が得られるのかを把握しておく必要がある。そこで、ここでは施設規模別に、発電効率向上の視点からプロセスパラメータや設備構成を最適化した場合に、現実的な技術レベルにおいて、どの程度発電効率が得られるのかを検討した。

(1) 環境省における検証

a. 発電効率について

ごみ焼却施設における発電効率は、以下の式で表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{発電効率(\%)} &= \text{発電出力} \times 100 \text{ (\%)} / \text{投入エネルギー (ごみ+外部燃料)} \\ &= \text{発電出力(kW)} \times 3600(\text{kJ/kWh}) \times 100(\%) / \{ \text{ごみ発熱量(kJ/kg)} \times \text{施設規模(t/h)} + \text{外部発熱量} \times \text{外部燃料投入量} \} \end{aligned}$$

また、発電効率は、ボイラでの熱回収効率、発生した蒸気を発電へ利用できる率(割合)、

タービン・発電機等の効率の積として表すこともできる。すなわち、これらの効率に影響を与える因子が、発電効率へ影響する因子であるといえる。

$$\text{発電効率} = \text{熱回収率} \times \text{蒸気利用率} \times \text{発電システム効率}$$

b. 発電効率に影響を与える因子

発電効率に影響する因子としては、表 3-1 に示すものが考えられる。

表 3-1 発電効率に影響を及ぼす因子⁵⁾

発電方式	① 焼却発電 (BTG 方式) ② ガス化発電 (GT、GE、燃料電池方式) ③ RDF 発電 ④ コンバインド発電 (スーパーごみ発電)
ごみ質	発熱量、塩素濃度等の酸性ガス
施設規模	スケールメリット
熱回収率	① 燃焼空気比 ② エコノマイザー出口温度 ③ 排ガス循環の有無
蒸気利用率	① 白煙防止の有無 ② 触媒用排ガス再加熱の有無 ③ 余熱利用の有無
発電システム効率	① 蒸気条件 (温度、圧力) ② 復水器形式 (空冷式、水冷式) ③ 再生サイクルの有無
公害防止条件と排ガス処理方式	① HCl、SO _x 除去方式 (乾式、半乾式、湿式) ② NO _x 除去方式 (触媒方式、無触媒方式)
排水処理条件	放流の可否 (無放流、下水道放流)

c. 試算条件

試算にあたっての設定条件は、以下のとおりである。

- ① ごみの低位発熱量は、全国平均として妥当と考えられるレベルの 8,800kJ/kg とした。
- ② 白煙防止は無しとして、蒸気をできるだけ発電のため使用することとした。
- ③ 排ガス処理方式は乾式とした。
- ④ 蒸気条件は、高温高圧とするほどタービン効率が向上する。ここでは、ごみ焼却発電施設で最も一般的に採用されている 3MPaG×300℃、および近年採用事例がでてきている 4MPaG×400℃とした。

- ⑤ 空気比は、燃焼安定性を考慮して 200 トン/日以下の規模では 1.5、200 トン/日を超える規模では 1.4 とした。
- ⑥ 200 トン/日以下の規模では排水をクローズド化し、200 トン/日を超える規模では余剰排水を一部あるいは全量放流できるものと仮定し、ボイラ出口温度設定を、300℃から 190℃の間で設定した。
- ⑦ 触媒は低温触媒を使用することとし、185℃の排ガスを受け入れることができるものとして、排ガス再加熱を不要とした。
- ⑧ 復水器形式は基本的に空冷式とし、タービン排気圧を -86.6kPa_g ($0.15\text{kg/cm}^2\text{A}$) とした。

d. 試算結果

前記した設定条件を適用した場合の発電効率の試算結果と、併せて実績施設の発電効率をプロットしたものを図 3-1 に示す。

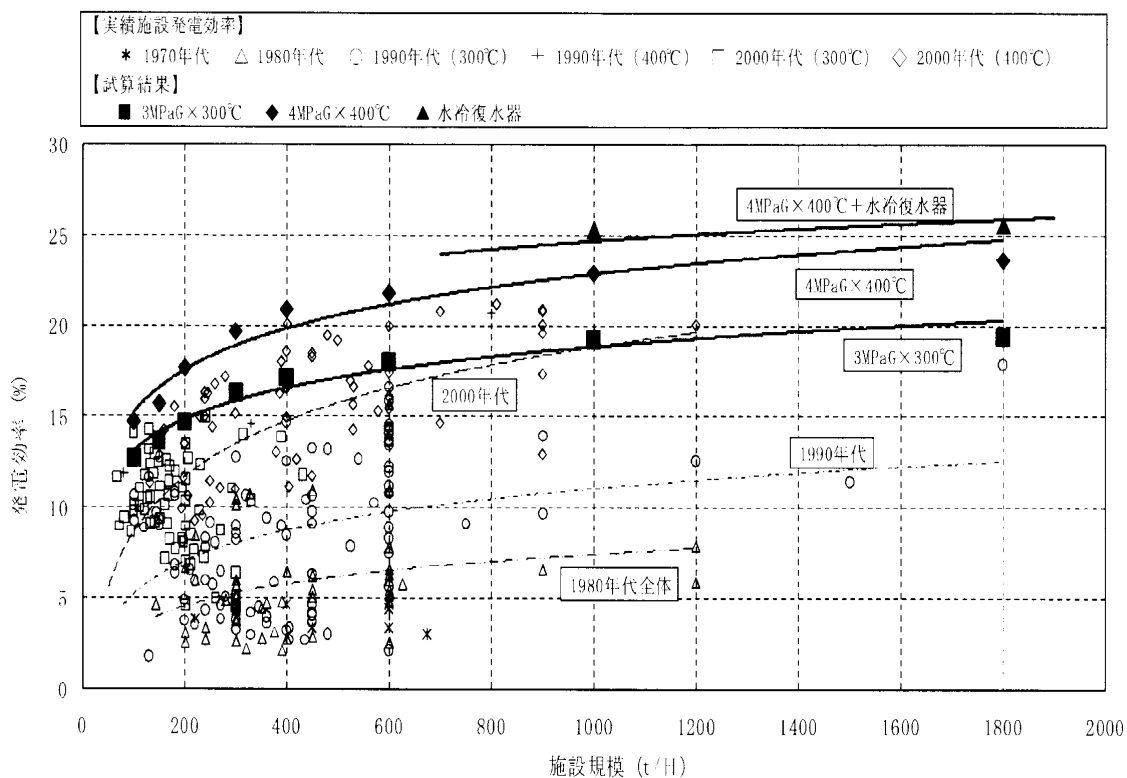


図 3-1 ごみ焼却施設の発電効率実績と試算結果⁵⁾

図 3-1 より、1980 年代、1990 年代に建設された施設は、2000 年代の施設に比べ、発電効率が低いことがわかる。これら 1980 年代、1990 年代の施設の建て替え時に発電効率を向上することで、大幅に国内のごみ発電量の増加に寄与できると考えられる。

(2) 発電効率の向上に向けたイノベーションの事例⁶⁾

高効率ごみ発電を行うためには、高効率な燃焼と熱回収の増強などが必要であり、このため、焼却施設の製造メーカーは高効率化を達成するための技術開発を行っている。具体的には①低空気比燃焼による廃熱回収の向上、②レーザーO₂分析計による高度燃焼技術の実現、③低温エコノマイザ導入による発電端効率の向上、④高効率乾式廃ガス処理による環境負荷の低減と発電効率の向上、⑤水冷式復水器の採用による高効率ごみ発電の実現などである。

a. 低気比燃焼による廃熱回収の向上

廃棄物の焼却処理においてボイラによる廃熱回収率を向上させるためには、低空気比化での燃焼が有効な手段であるが、多種多様なごみを燃料としている廃棄物焼却炉においては、これまで低空気比化における安定した燃焼を継続するためのシステムは存在せず、またその実現は非常に困難であると言われてきた。しかし本システムをこれを解決し、有害物質および排ガス量の低減を実現すると同時に、廃熱回収率の大幅な向上を実現した。

① 空気比燃焼システムの概要

技術の基本コンセプトは、以下の技術を実現することである。

- ・ 廃熱回収率の大幅向上
- ・ 環境負荷の低減
- ・ 操業コストの低減

本システムは、二回流式焼却炉やハイブリッド自動燃焼制御システムなどの既存技術と高温空気燃焼制御技術を応用した低空気比燃焼技術を組合せて、上記コンセプトの達成を図ったものである。本システムの概念図を図 3-2 に示す。

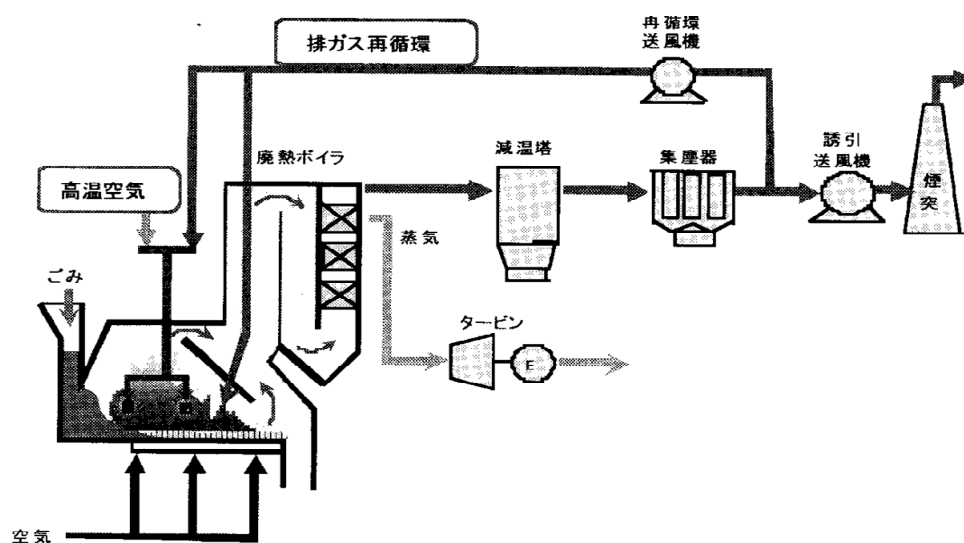


図 3-2 JFE ハイパー21 ストーカーシステムのフロー概念図⁶⁾

本システムは、図 3-3 に示すように、高温空気と再循環ガスを混合させた高温混合気を二回流式焼却炉の燃焼開始領域に供給している。これによりごみ層直上の空間に安定燃焼領域を形成させ、ここに安定した定常対向流の拡散火炎を定在させている。その結果、従来のストーカ炉では達成できない低空気比条件（空気比 $\lambda = 1.3$ ）下での安定燃焼を実現している。この低空気比安定燃焼により、NO_x および排ガス量の低減と、廃熱回収率の向上が可能となった。

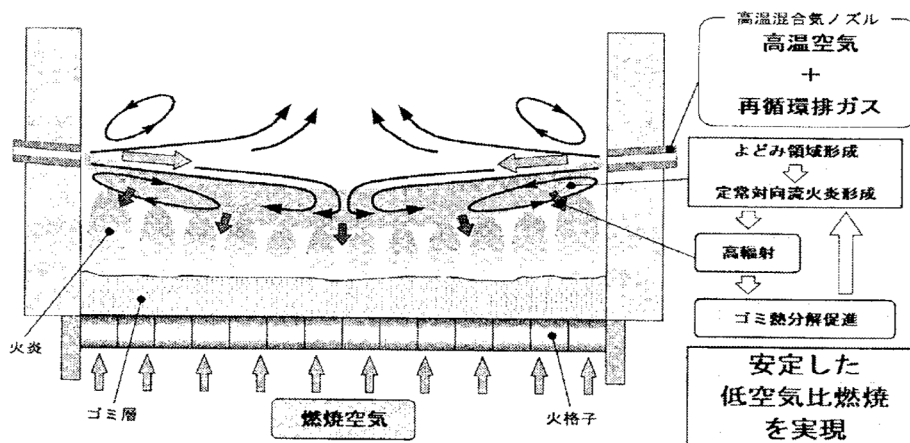


図 3-3 燃焼開始領域での火炎安定化イメージ ⑥

② システム適用による効果

- ・ 低空気比燃焼の安定性と有害物質の削減

従来の低空気比による運転（以下、従来燃焼）時と低空気比での運転（以下、低空気比燃焼）時の排ガス濃度（O₂、CO、NO_x）の経時変化を比較した結果を図 3-4 に示す。

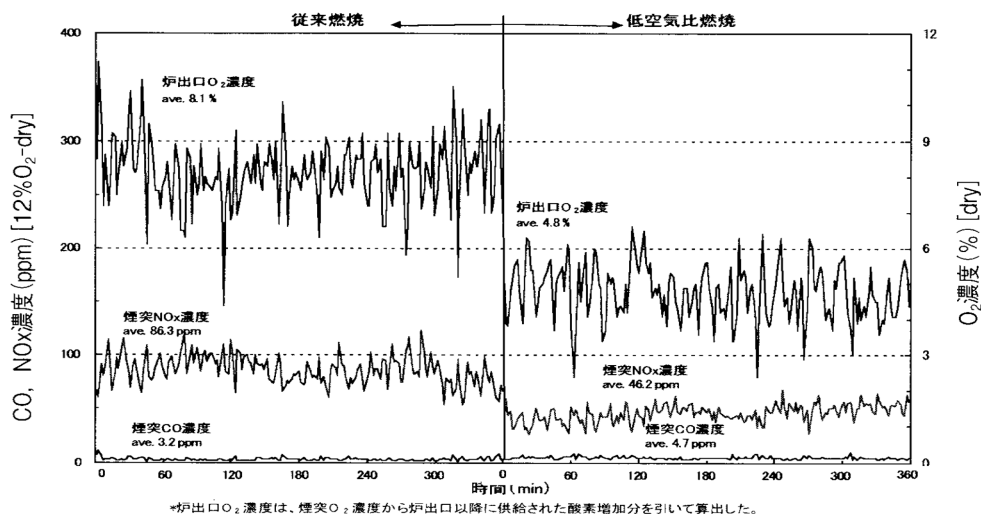


図 3-4 排ガス濃度の比較 ⑥

図 3-4 から明らかなように、従来燃焼時の炉出口 O₂ 濃度が平均 8.1% (空気比 λ = 1.6) に対して、低空気比燃焼時の炉出口 O₂ 濃度は平均 4.8% であり、空気比 λ = 1.3 の運転が実現している。

低空気比燃焼時の CO 濃度は、平均値が 4.7 ppm であり、かつ顕著なピークもなく従来燃焼時と同様に低い値であることから、完全燃焼が達成できていることを確認した。また、従来燃焼時の NO_x 濃度は平均 86.3 ppm であるのに対して、低空気比燃焼時は平均で 46.2 ppm となっており、従来比の 54% とほぼ半減している。

- ・ 炉内温度の均一化

焼却炉内への高温混合気の吹き込みにより炉床面全体での均一な熱分解が促進されるとともに、排ガス再循環による不活性ガスの吹き込みにより、局所的な高温域が無くなり、炉内温度の均一化が進む。

- ・ 煙突排ガス量の削減

焼却炉への総投入熱量と煙突排ガス量の関係を図 3-5 に示す。従来燃焼と低空気比燃焼を同等の総投入熱量で比較した場合、従来燃焼時の煙突排ガス量は 26.0km³N/h であるのに対し、低空気比燃焼時は 21.7km³N/h と従来比で約 17% 低減している。

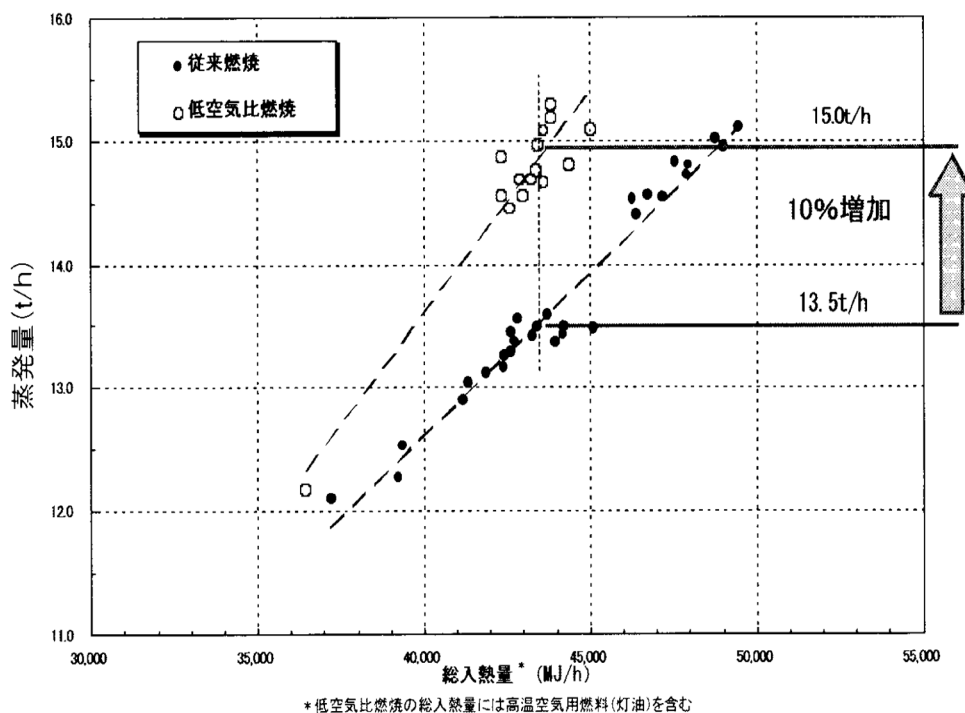


図 3-5 総投入熱量と煙突排ガス量の比較 6)

- ・ 廃熱回収効率の向上 (ボイラ蒸発量の増加)

従来燃焼と低空気比燃焼を同等の総投入熱量で比較すると、従来燃焼時のボイラ蒸発量が

13.5 トン/h に対し低空気比燃焼時は 15.0 トン/h であり、従来比で約 10%蒸発量が増加した。これは、煙突排ガス量の削減によって炉外への熱の持ち去り分が減ったことに加えて、炉内温度の均一化により炉内温度調整のための炉内水噴霧が不要となったためと考えられる。

b. レーザー-O₂分析計による高度燃焼技術の実現

ここでは、高効率発電に向けた取り組みについて、レーザー-O₂分析計による高度燃焼技術を中心に記述する。

① 高効率ごみ発電プラントの開発

新世代ストーカ式ごみ焼却プラントの開発コンセプトおよび開発技術を図 3-6 に示す。

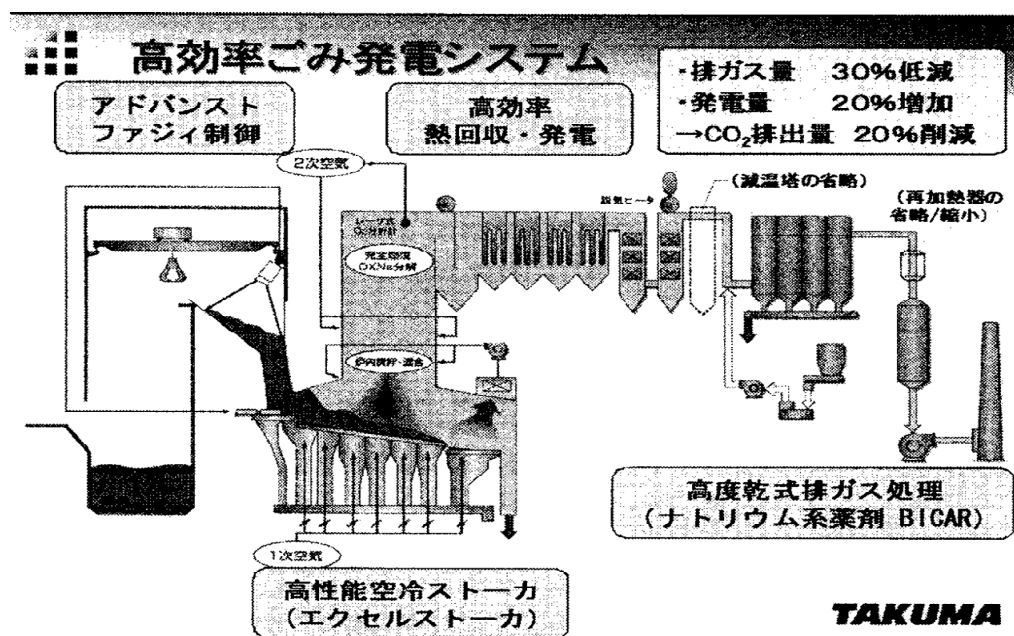


図 3-6 高効率発電システム 6)

〈開発コンセプト〉

- ・衛生処理・完全燃焼
- ・環境保全
- ・高効率熱回収
- ・設置スペースの縮小
- ・ランニングコストの低減

〈主要開発技術〉

- ・高性能空冷ストーカ (エクセルストーカ)
- ・アドバンスドファジー制御

- ・低空気比運転
- ・脱気ヒータなどの低温熱回収技術
- ・Na系薬剤による排ガス処理システム

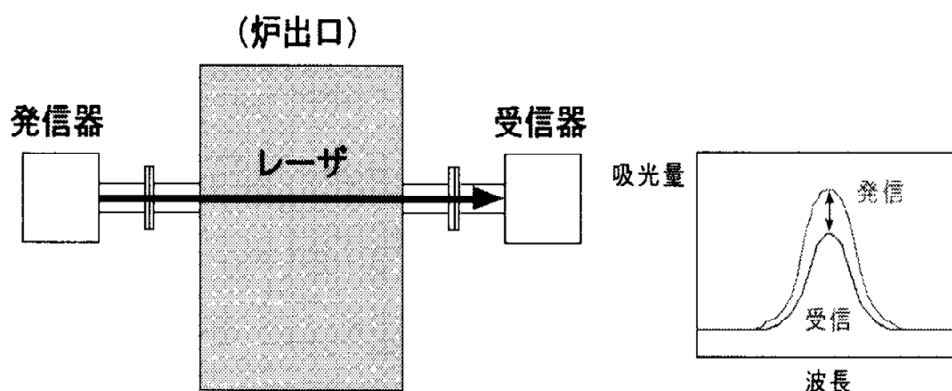
開発コンセプトである高効率熱回収、設置スペースの縮小およびランニングコストの低減には、低空気比運転が有効な手法であるが、廃棄物のように性状が一定でない燃料に対し、空気比を低減して安定燃焼、完全燃焼を達成するには、燃焼装置に関わるハード、ソフト両面での高度な技術が要求される。

そこで、従来 1.7~2.0 の空気比であったものを 1.3 程度の低空気比運転を実現するために、ハード面では一次空気を低減し、ごみを完全燃焼するためにごみ攪拌効果が高く、ごみ層厚さにかかわらず空気を均一に供給できかつ空気量を低減しても適正な冷却能力を有するストーカを開発した。

また、ソフト面では従来の蒸発量制御をベースとし、ごみ供給量とごみ比重データによりごみ発熱量を推定し、炉内に供給する熱量を一定にするごみ供給量制御と、レーザーO₂分析計によりリアルタイムで計測した炉出口 O₂ 濃度からの応答性の良い二次空気量制御を組み合わせたアドバンスフェージ制御を開発した。

② レーザー分析計原理

図 3-7 に示すように、測定原理は吸収分光法を利用したものである。ある特定波長の光が吸収媒体（ガス）を通過すると、入射光と透過後の光の強度差（減衰量）は吸収媒体濃度と光路長に比例するという法則（Lambert-Beer の法則）にしたがって測定したいガス成分（O₂ガス）に吸収されやすい波長域の半導体レーザーを入射させて、どれだけ吸収されたかを計測することで、ガス濃度を測定することができる。



レーザー光を発信し、受信器でどれだけ吸収されたかを計測します。
その吸収量よりガス濃度を測定します。

図 3-7 レーザー分析計測定原理⁶⁾

特徴としては、

- ・測定ガスの吸引が不要なため、応答速度が速い
- ・高ダスト、高温域でも計測可能

そのため、ごみ焼却炉やガス化溶融炉などの燃焼制御にも適用可能である。

③ レーザーO₂分析計による低空気比運転

空気比を低減して安定燃焼、完全燃焼を達成するためには、燃焼状況を迅速に把握して、必要な空気量へ調節できることが必要である。従来のサンプリング式分析計はダスト対策のため集じん装置出口以降に設置されており、燃焼指標の一つとなる燃焼排ガスの O₂ 濃度を把握するのに時間的なズレが生じていた。そこで、燃焼状況を迅速に把握するため、炉出口にレーザーO₂分析計を設置し、従来と比較して約 2 分早く測定可能とした。これにより、ごみ質の変動による燃焼状態の変化にすばやく対応し、リアルタイムに二次空気量を調整できるようになった。実際に燃焼施設に取り付けた写真を図 3-8 に示す。装置は

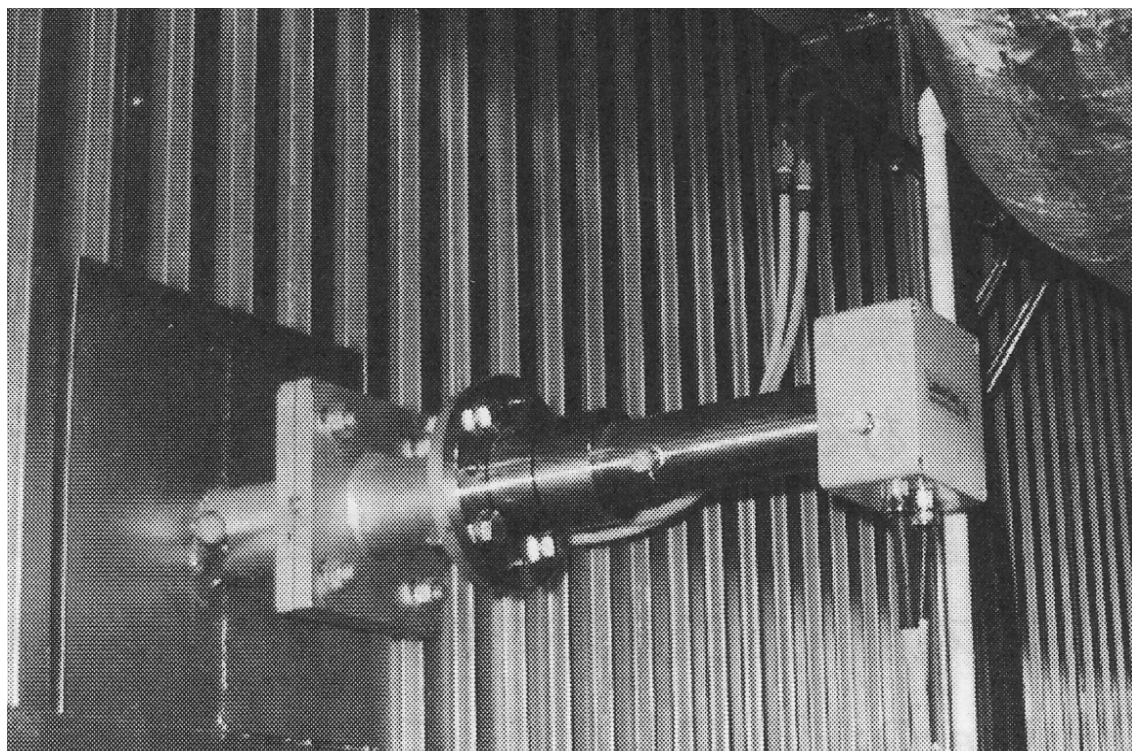


図 3-8 レーザーO₂分析計設置状況⁶⁾

は非常にコンパクトで、取付管台は 50A、発信機、受信機 BOX は 120×120×80 mm の大きさであり場所をとらない。

また、燃焼室出口に設置したレーザーO₂分析計による燃焼制御と従来の集じん装置出口に設置した O₂ 濃度分析計による燃焼制御との比較を図 3-9 に示す。

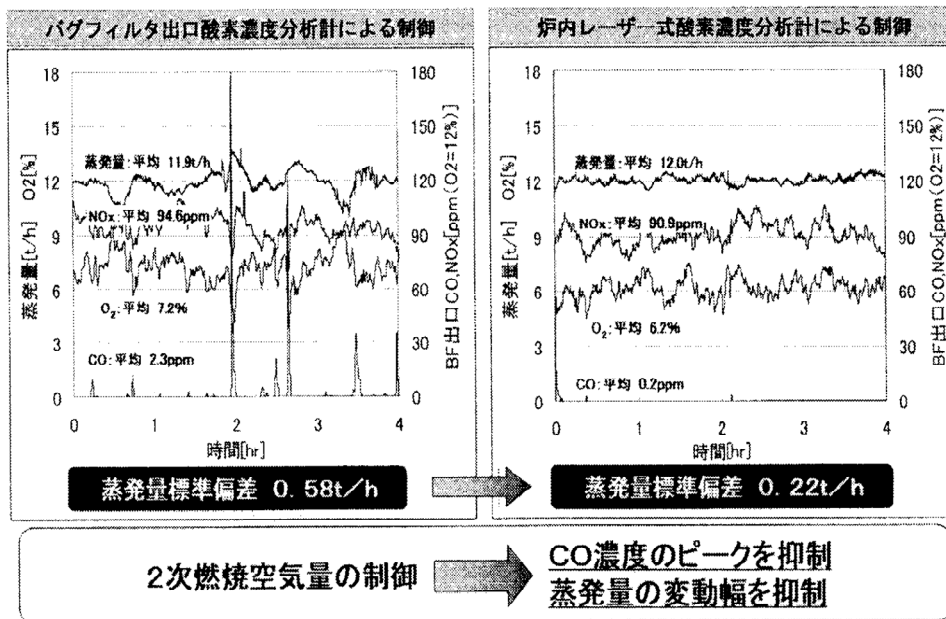


図 3-9 従来型 O₂ 濃度分析計と炉内レーザー O₂ 分析計との燃焼制御比較 ⑥

レーザー O₂ 分析計による迅速な燃焼制御により、ごみ質が変動しても過剰な空気や空気不足での運転状態がなくなり、CO 濃度のピークが発生せず、また NO_x 濃度の変動も制御できた。燃焼排ガス中の O₂ 濃度変動も 2% 程度の変動幅に収まり燃焼が安定した結果、ボイラ蒸発量の変動も少なくなり、安定した発電運転が達成された。

c. 低温エコマイザ導入による発電端効率の向上

廃棄物処理施設における発電端効率向上の手段として、ボイラの高圧・高温化、低温エコマイザの採用が奨励されている。このうち、低温エコマイザについては、硫酸露点腐食を防止するため、給水温度を 140℃ 程度に、エコマイザ出口排ガス温度を 220℃～240℃ に設定せざるを得ないため、これまでほとんど採用されていなかった。

そこで、ボイラでの熱回収効率増加を目的とした低温エコマイザーを開発し、実機による試験も行った。ここでは、ラボ試験と実機試験により検討を行うとともに、耐硫酸露点腐食材料の耐用調査結果並びに低温エコマイザ導入による発電効率の向上効果について述べる。

① 燃焼排ガスの硫酸露点温度

低温エコマイザの給水温度決定のため実炉における硫酸露点温度を把握する必要があるが、連続測定が腐食環境下では困難であるため、排ガス中の SO₃ 濃度を計測し、これを基に硫酸露点温度を計算で求めた。なお、検討のために Robert R. Pierce の式により露点温度を計算した。

各工場の露点温度調査結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 ごみ焼却工場における SO₃ 計測結果と酸露点温度⁶⁾

計測項目	単 位	A工場	A工場	A工場	A工場	B工場	B工場
		1号-(1)	1号-(2)	2号-(1)	2号-(2)	(1)	(2)
SO _x 濃度	ppm(wet)	81.0	68.4	26.5	24.7	85.1	100
H ₂ O濃度	(%)	25.1	25.1	35.9	35.9	17.7	17.7
SO ₃ 濃度	ppm(wet)	6.32	5.17	0.05	0.85	7.1	8.3
露点濃度	(°C)	143	141	108	130	140	142
転換率*	(%)	7.8	7.5	0.19	3.4	8.4	8.3

(注) *転換率 = SO₃/SO_x × 100

A 工場では、同一時刻に測定したにもかかわらず、炉によって露点温度が異なった。B 工場では、エコマイザ給水温度が 144°C、出口排ガス温度 220°C の計画があるが、年平均約 0.1 mm の減肉が発生しており、高温域に設置されている蒸発管群よりも高い減肉量を示している。

ごみ組成、燃焼量を一定とし、空気比のみを変化させた場合、O₂ 濃度が 1% 変動すると硫酸露点温度は約 3°C 変動することがわかっており、両工場結果からもエコマイザの環境は運転状態・燃焼状態の影響を大きく受けていることが示唆された。

これらの結果から、給水温度は運転状態・燃焼状態の変動を考慮し、工場ごとに SO₃ 濃度の推定を行って条件を決める必要がある。

② ラボ試験

試験結果の一例として図 3-10 に浸漬温度 110°C における硫酸濃度と腐食速度の関係を示す。供試材料には図 3-10 の右表に示す 12 鋼種を用いた。GI 値が増加するに従い耐食性が増加する傾向が見られると同時に、硫酸濃度の低下に伴って腐食量が増加する傾向が見られた。供試材料としては、SS400、HR8N、C276 が比較的良好な耐食性を示した。

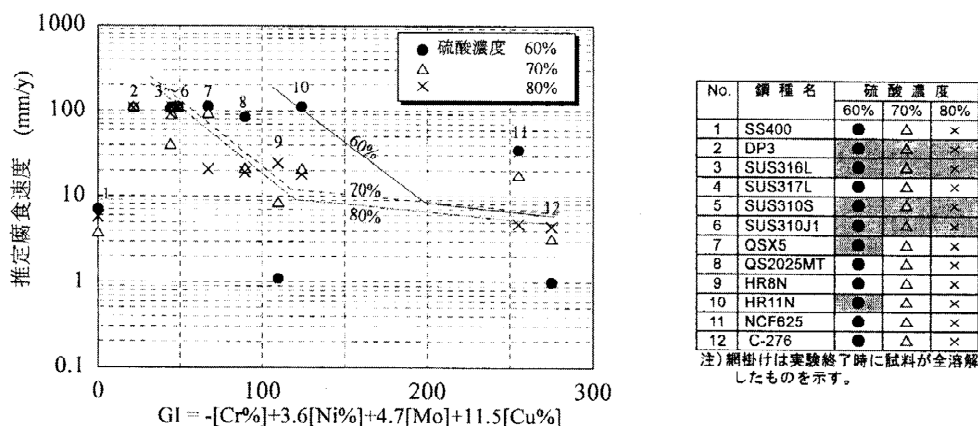


図 3-10 管壁温度と最大肉厚減量の関係⁶⁾

③ 実機耐用試験

ラボ試験の結果に基づき、実機耐用試験を2工場で実施した。ボイラ出口～電気集じん装置の煙道部（排ガス温度約 270℃）に試験装置を設置し、本試験装置の内流体にはボイラ給水を使用して、入口給水温度 110℃の条件で耐用試験を行った。この時、試験装置出口の給水温度は 150℃になるよう温度制御を行った。試験装置は堆積灰による閉塞の恐れはなかったことから、スートブロワ等による除塵装置を用いないで実施した（試験期間は約6ヶ月）。

図 3-11 に管壁温度に対する各供試材料の年間最大肉厚減量の関係を示す。炭素鋼 (STB340)の腐食量に関しては管壁温度に依存する傾向が見られたのに対し、耐食鋼管については全ての温度域で鋼種の優劣がつけられない軽微な腐食であった。排ガス分析の結果、露点温度は 100℃前後であると推定される。

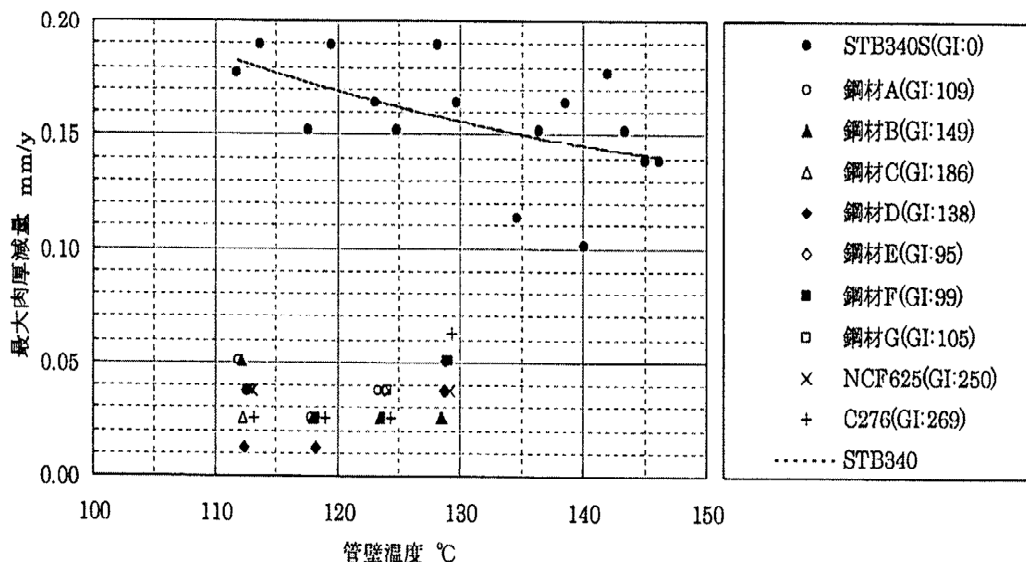


図 3-11 管壁温度と最大肉厚減量の関係⁶⁾

④ ラボ試験および実機耐食試験の評価

実機試験の結果から、露点温度付近であれば炭素鋼でも十分な耐食性が得られると考えられる。標準的なごみ質の露点温度については 130～140℃程度であると推定されることから、給水温度が 140℃以上の部位には炭素鋼を、それ以下の場合には耐食鋼管を採用することが必要であると評価された。

⑤ 低温エコノマイザ採用による効果

低温エコノマイザを設置してエコノマイザ出口温度を 190℃として減温塔を削除した工場では、表 3-3 に示すように、蒸発量増加により発電端効率は 1.05 ポイント向上した。また、発電電力量の増加に加え、減温水ポンプ、コンプレッサーが削除されたことにより、発電

電力量+消費電力量減少分は平均ごみ質時において約 300kW となった。

エコノマイザの増加によるコストアップは、省エネルギー効果によって十分に減価償却が可能であると考えられる。

表 3-3 低温エコノマイザによる効果⁶⁾

項目	単位	低温エコノマイザ仕様	一般仕様
ごみ焼却量	t/d・炉	125t/日×2	
ごみの平均発熱量	MJ/kg	5,860	
給水温度	℃	144	
ボイラ出口排ガス温度	℃	190	220
ボイラ蒸発量	kg/h・炉	11,580	11,130
発電電力量 (2 炉運転時)	kW	1,990	1,720
発電端効率	%	11.09	10.04
減温水ポンプ消費電力量	kW	0	5.5×2 台
コンプレッサー消費電力量	kW	0	37×2 台
送電電力増加量	kW	約 300	—

d. 高効率乾式廃ガス処理による環境負荷の低減と発電効率の向上

熱回収施設には、環境負荷の低減と高効率ごみ発電の両立が求められるようになったが、これらはトレード・オフの関係になる場合も少なくない。そこで、それらの両立を目指した技術開発について述べる。

① 高効率乾式廃ガス処理システムの概要と効果

・概要

ここでは、消石灰よりも反応効率の高い「ナトリウム系薬剤」を用いることで、従来は湿式法が必要とされた厳しい排出基準に対応するシステムであり、触媒反応塔前での排ガス再加熱用蒸気量を削減して、発電効率を向上することが可能となる。

・発電効率の向上効果

湿式法では、湿式洗浄塔内で多量の水を循環し、排ガス中の酸性ガスを吸収・除去しており、湿式洗浄塔出口では排ガス中の水分が飽和まで増湿し、排ガス温度は 60℃程度となる。一方、触媒反応等の活性を維持するため、触媒反応等入口排ガス温度を 210℃程度に設定することが多い。そのため、150℃程度の排ガス再加熱が必要となる。

これに対し、乾式法の採用により図 3-12 に示すように、バグフィルタ出口排ガス温度 165℃から 210℃までの昇温（再加熱は 45℃程度）となるため、排ガス再加熱に要する蒸気量が湿式法に比べて約 1/3 に削減できる。これにより、蒸気タービンへの蒸気供給量が増加するため、約 3%の発電効率の向上が期待できる。

② さらに高効率発電への取り組み

図 3-12 に示すように、これまでは触媒反応塔の活性を維持するため触媒反応塔入口での排ガス温度は 210℃程度が採用されていたが、最近では 170～190℃の低温域でも活性を持つ低温触媒による排ガス処理技術が開発されており、実施に採用される例が見られる。高効率乾式排ガス処理技術に低温触媒を組み合わせることで、さらに再加熱用の蒸気が削減され、一層の発電効率の向上が可能である。高効率乾式排ガス処理と低温触媒を適用した高効率ごみ発電施設の一例を図 3-13 に示す。

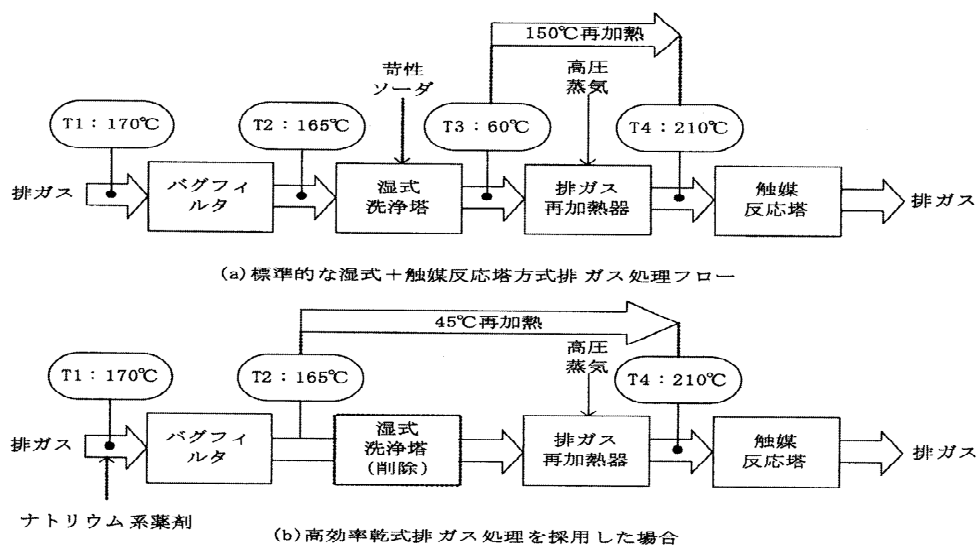


図 3-12 湿式法および高効率乾式法を採用した場合の排ガス処理フロー (例) 6

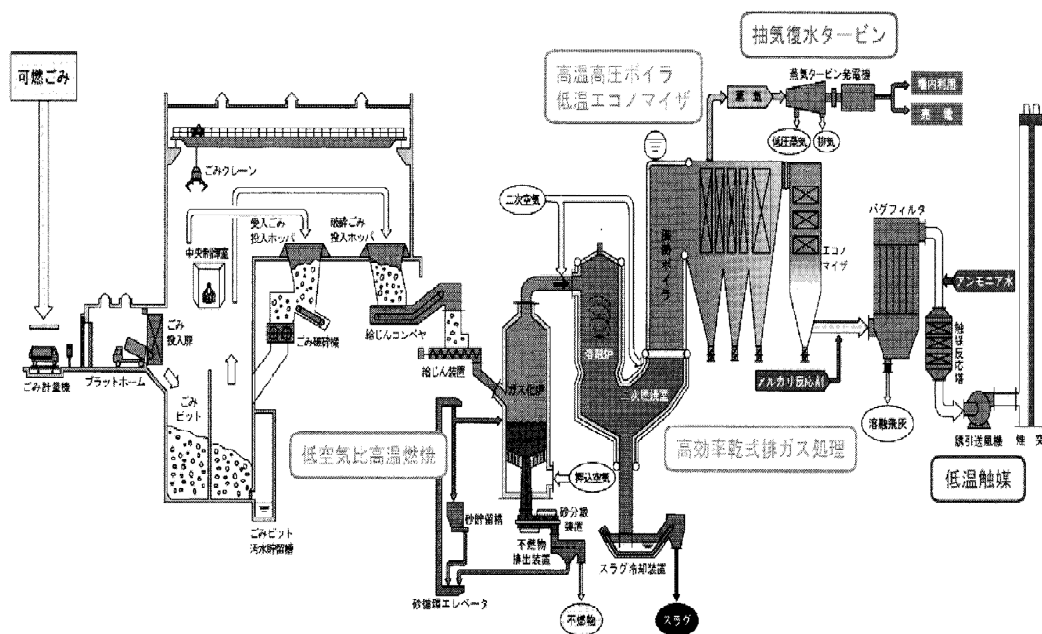


図 3-13 高効率乾式排ガス処理装置および低温触媒を適用した高効率ごみ発電施設 6

e. 水冷式復水器の採用による高効率ごみ発電の実現

ここでは、シャフト炉式ガス化溶融炉の利点を活かしつつ、廃熱ボイラによる高温・高圧蒸気の回収に加え水冷式復水器を採用することによりごみ発電の効率化を図り、発電効率を向上させた施設の計画概要と稼働実績について記述する。

① ごみ発電の高効率化に向けた取り組み

これまでに高効率ごみ発電の指向し、ボイラ蒸気の高温・高圧化に取り組んできた。また、ボイラ加熱器の高温腐食問題を解決するため、適切な材料の選定およびボイラ構造の最適化を図り、400℃、4MPa 級ボイラの実機稼働実績を積んできた⁷⁾。さらに発電効率の向上を目指すために、北九州市新門司工場で水冷式復水器を採用し、タービン排気圧力低下を図った。フローを図 3-14 に示す。

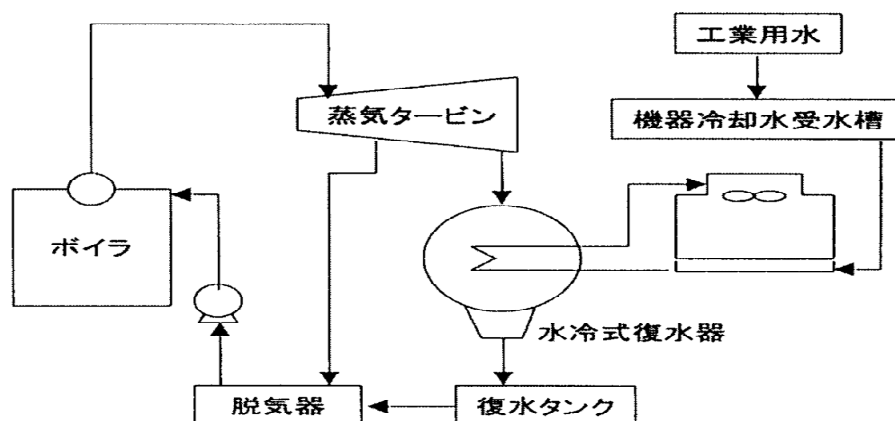


図 3-14 水冷式復水器フロー⑥

設計時の空冷式との性能比較を表 3-4 に示すが、水冷方式は空冷方式と比べて出力で 1,500kW、発電効率で 1.5%大きくなっている。

表 3-4 復水器の冷却方式による性能比較（新門司工場の設計）⁶⁾

項目	復水器の冷却方式	
	水冷式	空冷式
発電機 最大出力	23,500kW	22,000kW
タービン入口 蒸気流量	107.04 t/h	108.2 t/h
タービン入口 蒸気温度・圧力	400℃ 41ata	400℃ 41ata
タービン出口 排気温度・圧力	33℃ 0.052ata	54℃ 0.15ata
抽気蒸気 温度・圧力	252℃ 11ata	250℃ 10ata
発電効率	22.3%	20.8%

② 北九州市新門司工場での運転実績 8.9)

北九州市新門司工場（120t/d×3 炉）は、平成 19 年 3 月に試験運転を完了後、平成 19 年 4 月より本格的に営業運転を開始し、現在まで順調に稼働している。

設備フローを図 3-15 に示す。

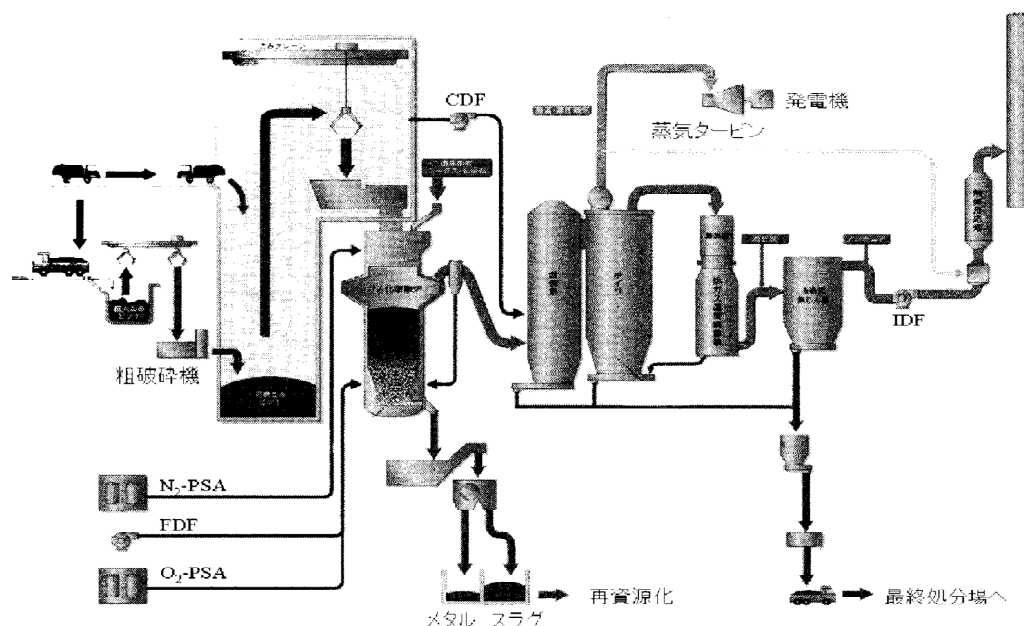


図 3-15 全体のフロー図 6)

本施設で採用されたシャフト炉式ガス化溶融炉は、溶融炉中央上部からコークス・石灰石と共にごみが投入される。ごみは乾燥予熱帯（100～300℃）で水分が蒸発された後、炉内を降下して熱分解・ガス化帯（300～1,000℃）で可燃分が熱分解・ガス化される。発生した熱分解ガスは燃焼室で完全燃焼され、燃焼排ガスは廃熱ボイラで熱回収された後、排ガス温度調節器で急冷される。その後、バグフィルタで除塵された排ガスは触媒反応塔を通過し、最終的に煙突から放散される。熱分解後に残った不燃分は、コークスと共に燃焼帯（1,000～1,700℃）、溶融帯（1,700～1,800℃）へと降下する。コークスは炉下部に設置した羽口から供給される空気および酸素により燃焼され、高温の溶融帯を形成して灰分は完全に溶融される。溶融物は適度な流動性を保ちつつ、炉底部出湯口から水槽に排出・急冷されることで粒状のスラグと鉄分（メタル）となり、磁選機で分離回収後に有効利用される。

・ごみ発電の効率化検証

当施設は蒸気温度 400℃・蒸気圧力 4MPa の高温・高圧蒸気であり、水冷式復水器を導入することにより、タービン排気圧力は -96.0kPa(0.052ata) となり、性能試験時において発電端効率は 3 炉運転時で 23.0% を達成できることを検証した。この時、発電電力は

21,177kW（定格の約 90%）であり、プラント内の電力を賄った上で余剰電力 14,460kW（発電電力の約 70%）を売電できる能力を有している。

・新門司工場の稼働実績

表 3-5 にごみ処理実績と発電実績を示す。年間平均の発電効率は、ごみ分析による低位発熱量を基に算出すると 16~17%、熱収支から逆算した低位発熱量を基に算出すると 19~20%となっている。設計値よりやや低めになっているが、これは 1 年を通して 3 炉運転していないので、蒸気タービンを部分負荷の状態で作動していることが主な原因であると考えられる。

表 3-5 新門司工場の運転実績⁶⁾

	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度(4~7 月)
ごみ処理量 (t/年)	165,000	158,000	54,800
総発電量 (MWh/年)	97,000	86,200	31,100

3.2.2 廃熱利用の用途拡大

高い発電効率が期待できる焼却能力 300 トン/日の焼却施設を前提にすると、種々の技術の組み合わせで発電効率 20%までは確保できるとの見通しがたっている¹⁰⁾。しかし、焼却能力の拡大は、現在の地方自治体の状況を考慮すると全国的に広めることは難しいと考えられる。CO₂削減が緊急を要する課題であることを考慮すると、発電以外の廃熱利用を推進する必要がある。日本は気候が温暖であることから、欧州のように地域暖房に大量の廃熱を利用することは難しく、通年して廃熱利用ができる用途を開拓しなければならない。

一つの方法として、欧州と同様に焼却施設を都市施設として位置付け、地域熱供給や下水処理場、製造施設等へ蒸気・温水を供給することで総合的な廃熱利用効率を高めるやり方も検討する価値があると考えられる。熱供給は、熱の変換効率や熱ロスの少ない熱供給管の開発など新たな技術開発も必要となり、この面でのイノベーションも期待できる。

(1) 日本における焼却廃熱による地域熱供給のポテンシャル¹¹⁾

ここでは、ごみ焼却廃熱の更なる有効利用を推進することを目的として、我が国全体でのごみ焼却廃熱の賦存実態を把握すると共に、地域熱供給などをツールとしたごみ焼却廃熱の面的利用のポテンシャルを明らかにする。

a. ごみ焼却廃熱の賦存量および活用可能量の推計

現在、焼却施設内外での廃熱利用については、利用量の実態は正確には把握されておらず、廃熱の多くが未利用のまま大気等に捨てられているものと考えられる。経済産業省資源エネルギー庁は、平成 16 年度に全国的全連続式一般廃棄物焼却工場約 795 施設を対象にアンケート調査を行い、廃熱の発生や利用状況について実態調査を行った¹²⁾。そのデー

タから全国におけるごみ焼却廃熱の賦存量や活用可能量を推定した結果、焼却廃熱の賦存量は 286,245TJ/年と推計された。これは、東京都内の民生家庭・業務部門の年間エネルギー消費量（平成 17 年度で約 487,000TJ/年）の約 60%に相当する。また、賦存量のうち約 80%を占める 226,815TJ/年が活用可能量と推計された。ここで、「活用可能量」とは、ごみ焼却廃熱から現状での発電利用量や熱利用量、それと利用に際しての放熱損失量を差し引いた値であり、推計にあたっては図 3-16 に示すように、復水器からの低温の放熱量並びに高温の排ガス量に区分して推計を行った。

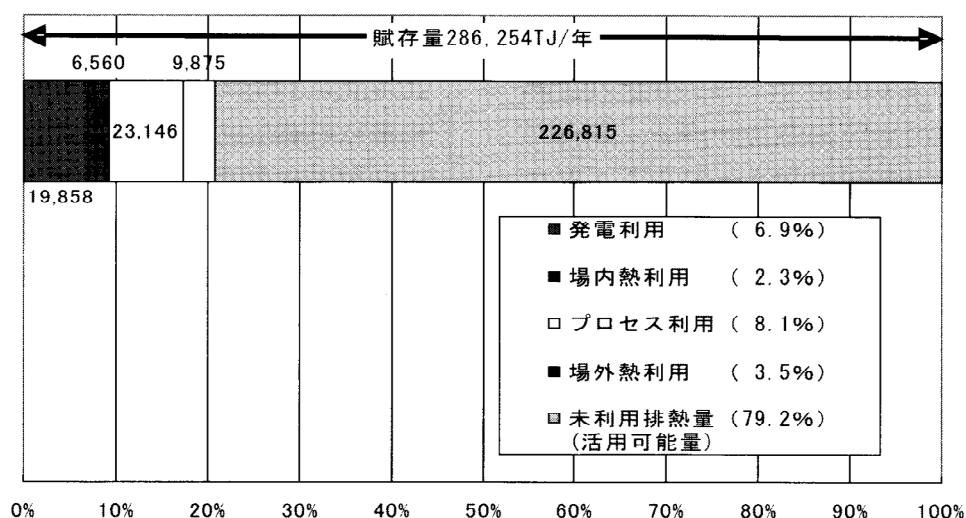


図 3-16 我が国全体でのごみ焼却廃熱の賦存量・活動可能量などの推計¹²⁾

推計されたごみ焼却廃熱量の活用可能量の状況は、地域により人口当たりの廃熱量や活用可能量は差が見られており、首都圏や近畿圏など人口密度が高い大都市圏で活用可能量等が多くなっている。

b. ごみ焼却廃熱の面的な利用

ごみ焼却廃熱の利用方法としては、図 3-17 に示すように、発電以外では場内および場外での熱利用がある。

廃熱回収蒸気を場内、場外に直接供給する方法、高温水または温水に熱交換して供給する方法がある。このうち、場外での熱利用については場内利用に比べて少ないが、地域熱供給用（住宅団地、業務・商業施設群）や温水プール・体育館（空調、給湯、加温）、高齢者福祉施設（空調、給湯）、植物園（空調用など）、ビニル園芸（加温など）、融雪など、いろいろな用途で利用されている。

また、資源エネルギー庁による調査では¹²⁾、全国の都市開発予定地区などの情報を基に、地域熱供給の導入ポテンシャルを有する地域についても調査している。これによると、平

成 16 年度時点において全国での導入潜在地区は 674 地区、開発面積は 4,669ha にもなる
と推計されている。これは、現在全国で稼働中の熱供給事業 148 地区、供給区域面積
4,426ha に匹敵あるいは上回る規模であり、大都市圏を中心に、都市開発に併せた地域熱
供給の導入ポテンシャルがまだ高いことがわかる。

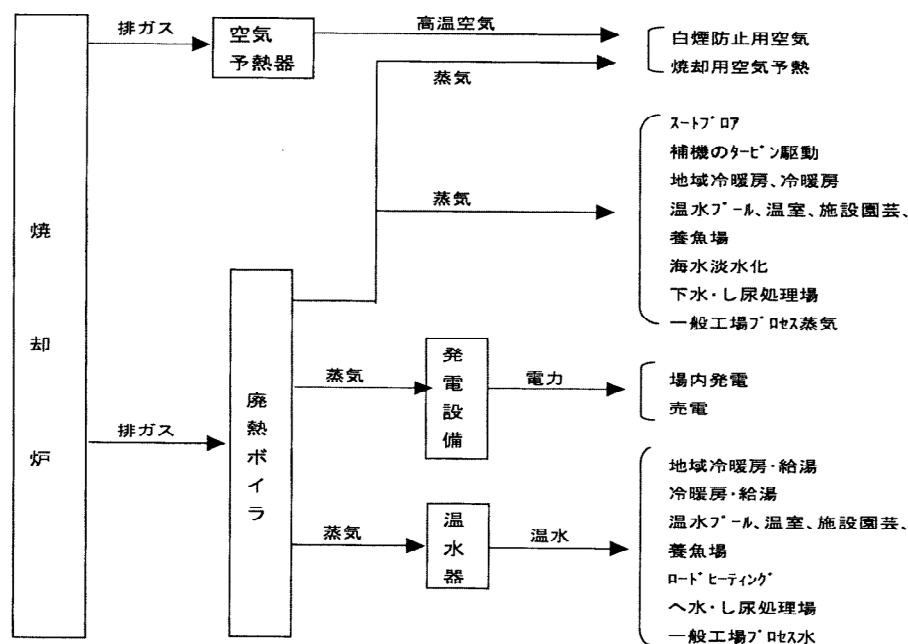


図 3-17 ごみ焼却廃熱の熱利用用途の例 13)

(2) 清掃施設における地域熱供給の事例 1 14)

当該施設では、焼却施設（能力 200t/日）を昭和 61 年に稼働開始させた後、平成 11 年
になって 1 炉増設し、施設は現在、可燃ごみ 300 トン/日、粗大・不燃ごみ 50 トン/5h の
体制になっている。ただし、現在のごみ搬入量は可燃ごみで平均日量 130 トン程度であり、
3 炉のうち 2 炉ないし 1 炉の運転で処理が可能となっている。

a. 余熱利用

この焼却施設は、建設・稼働に関する立地特性と施設の高度利用の可能性から、図 3-18
に示すように、地域の中心に位置する千葉ニュータウン中央駅に近い場所に建設され、
平成 5 年には隣接して余熱利用施設である温水センターを開業した。

また、清掃工場の位置を生かした地域冷暖房事業への熱供給として、平成 7 年度から千
葉ニュータウン都心地区の業務・商業施設への冷暖房用熱源を供給する（株）千葉ニュー
タウンセンター熱供給事業本部（以下、CNC 熱供給事業とする）に対して、約 1km の範
囲で地下共同溝の往復配管により蒸気の供給を行っている。

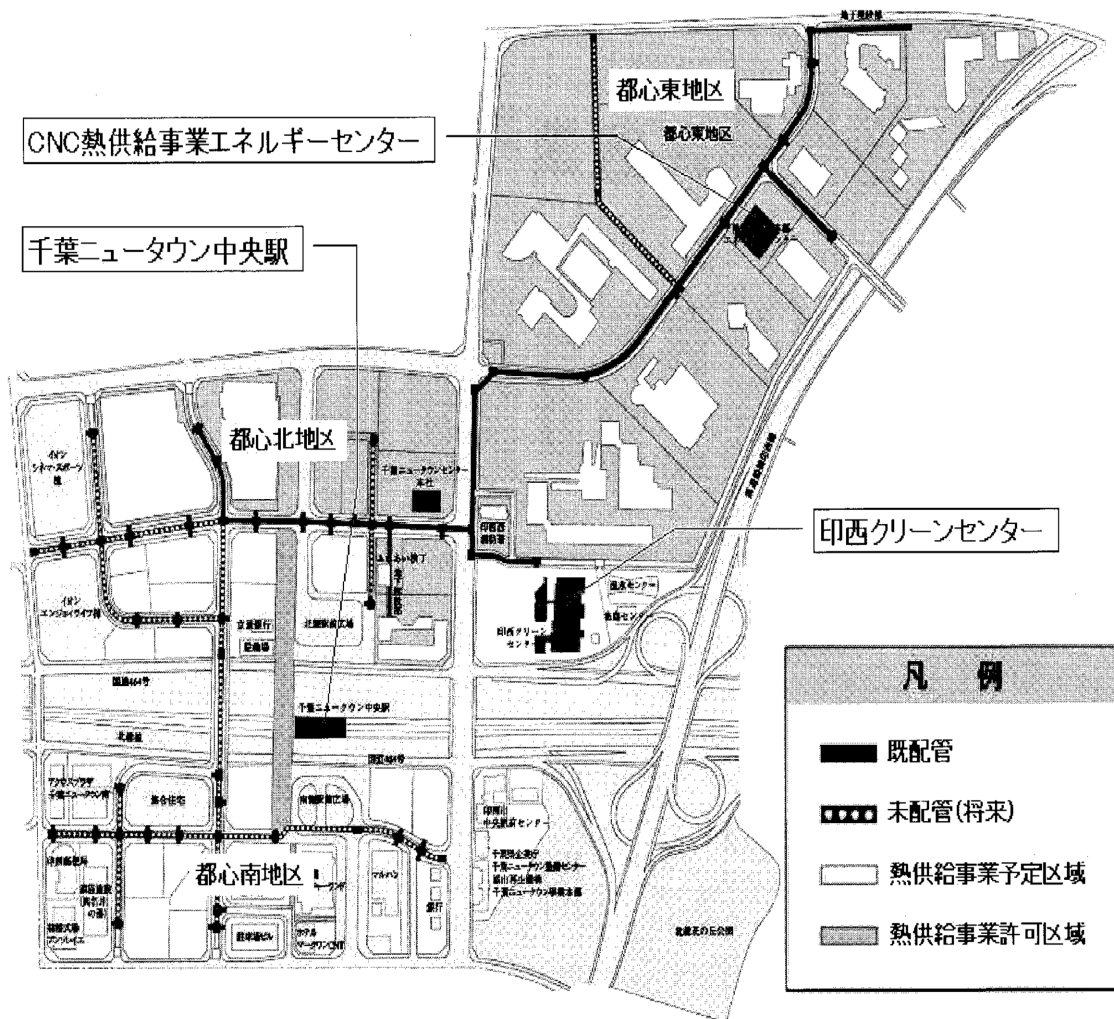


図 3-18 千葉ニュータウン都心地区平面図 14)

CNC 熱供給事業は、当該地区の約 83.5ha に立地する業務・商業施設等に必要とされる冷暖房用熱源を集中管理し、安全で快適な街づくりに留意したクリーンエネルギーサービスとして、都心東地区の中心にあるエネルギーセンターにおいて、ごみ焼却廃熱の他、電気、都市ガスを熱源とした冷温水を製造し、現在 13 業務・商業施設（供給面積 52.4ha）に冷温水を供給しており、今後も供給ルートや需要家も拡大していく予定である。現在は、その冷温水製造に必要なエネルギーの約 4 分の 1 がごみ焼却廃熱で賄われている。

b. 余熱利用の実績

過去 10 年間のごみ焼却から発生したエネルギー（蒸気）の利用実績を図 3-19 に示す。

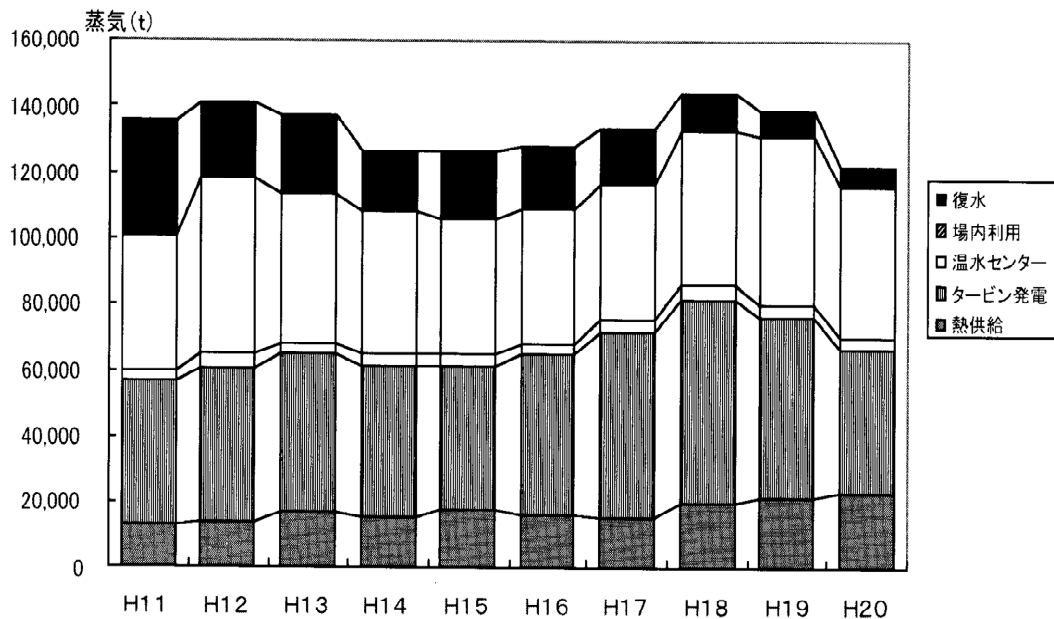


図 3-19 過去 10 年間の熱利用実績¹⁴⁾

このグラフから明らかなように、復水に反映される「未利用エネルギー」、平成 20 年度では 5.1%まで減少している。一方で、タービン発電で利用する量を抑え、CNC 熱供給事業への供給量が増えている。

c. 未利用エネルギーの課題

これまで以上の効果や究極の余熱利用システムを目指すには、設備投資を行う必要がある。蒸気供給配管の入れ替えやタービン背圧の熱利用、発電能力の向上などが挙げられるが、特に国でも研究がされている「白煙防止装置」による消費は、時間当たり約 2 トン (炉毎に) の蒸気が、白煙が発生する条件ではない時間帯、季節においても消費されているのが実状である。

これらにおいては、財政状況もあり、機器単体や単独事業での対応は難しいため、施設全体の更新時に現システムを生かした新たな設計が必要と考えられる。

(3) 清掃施設における地域熱供給の事例 2¹⁵⁾

東京臨海副都心は、東京湾の中心部に位置し江東区、港区、品川区にまたがる開発面積 442ha の地域で、東京都により開発が進められてきた。東京臨海副都心の開発では、具体的事業化に向けて平成元年 4 月に「臨海副都心開発事業化計画」を策定したが、その後のバブル経済の崩壊による厳しい状況の中で総合的な見直しを行い、平成 8 年 7 月に「臨海副都心開発の基本方針」等を策定し、開発を推進している。

ここでは、これらの計画の中で省エネルギー型の都市作りおよび快適な都市生活の実現

を目指して地域冷暖房システムの導入事例について報告する。

a. 地域冷暖房

東京臨海副都心は、有明清掃工場で発生する廃熱を利用することによる省エネルギーの推進、都市環境の保全等の観点から地域冷暖房システムを採用した。

① 事業主体

「臨機副都心開発事業化計画」に基づき臨海副都心地域において地域冷暖房システムの整備および運営などの事業を営むことを目的として東京臨海熱供給株式会社が平成2年8月に設立され、平成7年10月から熱供給を始めている。

② 供給区域

台場地区、青海地区、有明南地区の3地区約305haに熱供給されている。そのうち、台場、有明南地区に有明清掃工場で発生した蒸気を受け入れている。

主な熱供給先として、国際展示場、フジテレビ本社ビル、ホテル日航東京、テレコムセンタービル等の41施設(平成20年末)で、平成20年度における供給実績は温熱326,000GJ、冷熱742,000GJの合計1,068,000GJを供給している。熱供給地域を図3-20に示す。

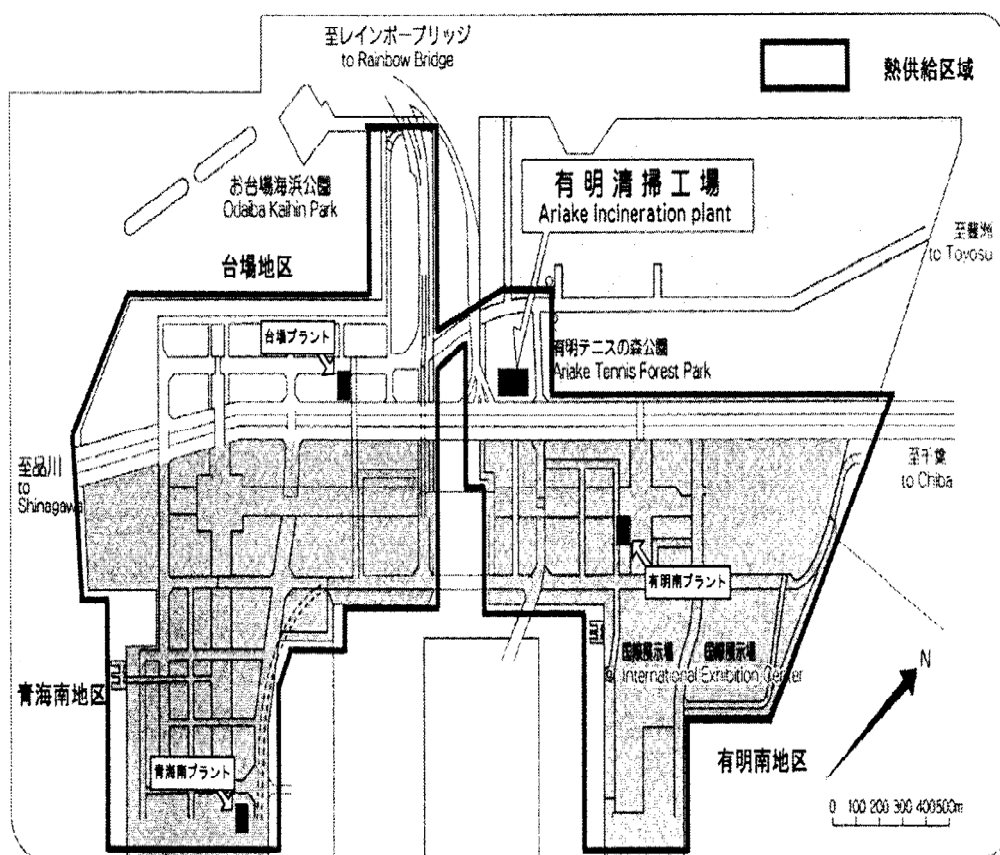


図 3-20 臨海副都心の熱供給区域 15)

③ 供給能力

各プラントの設備能力を表 3-6 に示す。

表 3-6 設備能力¹⁵⁾

プラント名	冷熱 [GJ/h]	温熱 [GJ/h]	合計
台場	296	193	489
有明南	302	201	503
青海南	200	134	334
合計	798	528	1,326

b. 有明清掃工場の廃熱利用

① 有明清掃工場の概要

- ・ 竣工：平成 6 年 7 月
- ・ 工場規模：400 トン/日 (200 トン/2 基)
- ・ 発電出力：5,600kW (抽気背圧タービン)
- ・ 焼却方式：全連続燃焼式火格子炉
- ・ 高温水熱交換機：横置シェルアンドチューブ形、熱交換容量 5.25 cal/h
- ・ 敷地面積：約 24,000m²
- ・ 建設面積：約 11,600m²

③ ごみ焼却廃熱利用

熱供給設備に関する概要図を図 3-21 に示す。

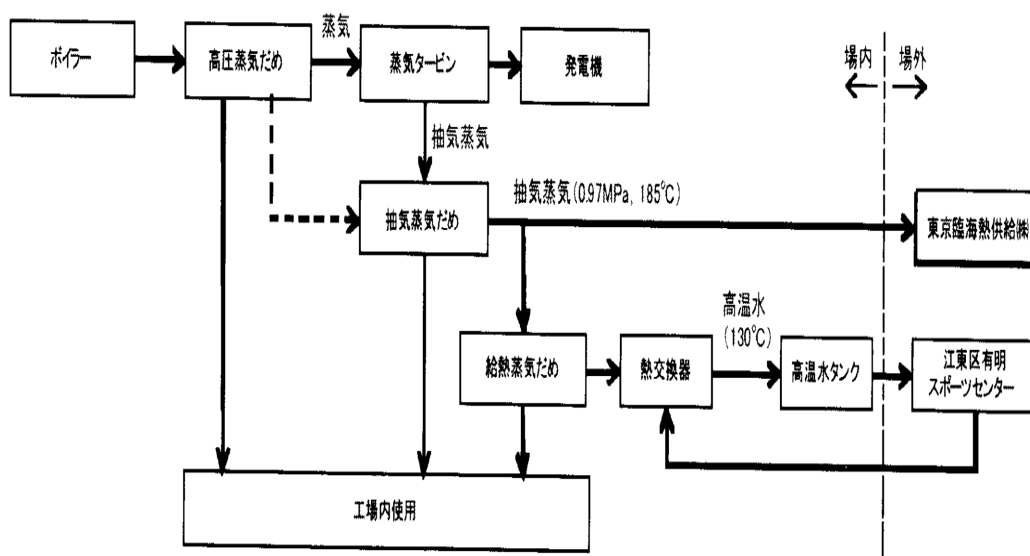


図 3-21 熱供給設備の概要図¹⁵⁾

ボイラにより生成された蒸気は、蒸気タービンにより発電に利用する。蒸気タービンは抽気背圧タービンが採用されており、地域冷暖房への必要量に応じて抽気蒸気量を制御している。

抽気された蒸気（0.97MPa、185℃）は東京臨海熱供給株式会社の台場地区および有明南地区の供給プラントへ配給され、また抽気蒸気の一部は工場内に配置された熱交換器により高温水（130℃）に交換され隣接している江東区有明スポーツセンターに熱供給している。

また、平成 20 年度におけるボイラで発生した蒸気を 100%としたときの廃熱利用状況を表 3-7 に示す。

表 3-7 廃熱利用状況（平成 20 年度実績）¹⁵⁾

用 途	使用割合
発電用蒸気	39.7 %
熱供給（蒸気）	22.1 %
熱供給（高温水）	3.0 %

東京臨海熱供給株式会社への供給量および売却金額を図 3-22 に示す。

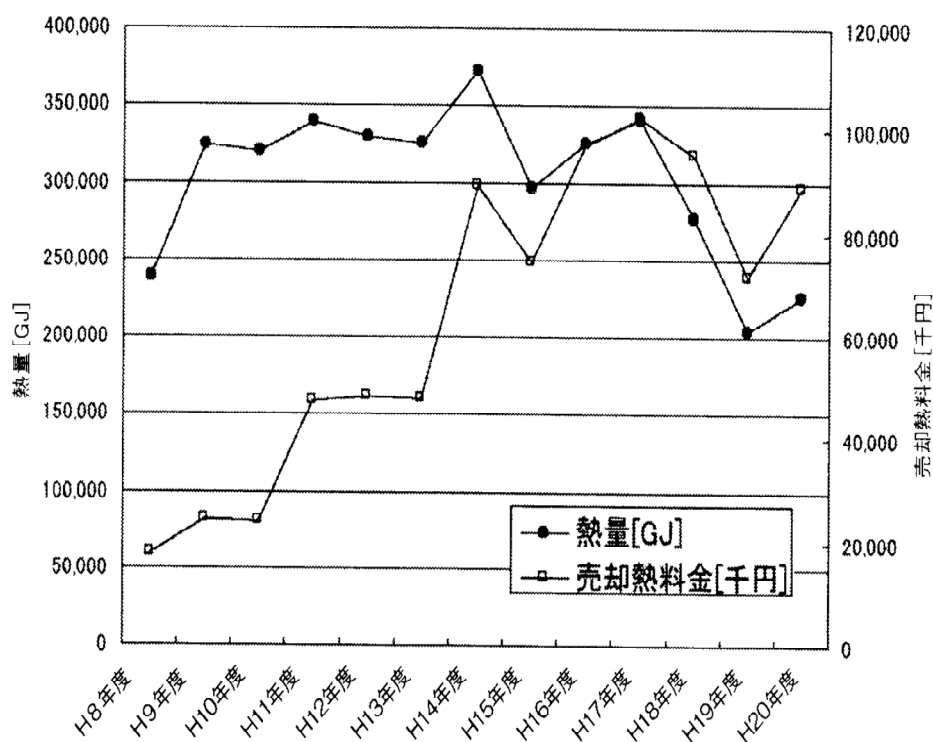


図 3-22 東京臨海熱供給株式会社への供給量および売却金額¹⁵⁾

有明清掃工場が供給する熱量は、清掃工場の稼働状況により変動があるが、東京臨海熱供給株式会社が地域に供給する熱量の15～25%を占めており、重要な役割を担っている。このように、ごみ焼却から発生する熱エネルギーを有効活用することで、各ビル等の熱源機器への化石燃料の消費を抑え、東京副都心地域のCO₂排出量の削減に大きく貢献している。

(4) 清掃施設における低温廃熱の活用検討事例¹⁶⁾

東京二十三区清掃一部組合では、平成18年度に開催された「温水廃熱ネットワーク研究会」に参画する機会を得て、検討の過程において未利用の熱源のインベントリーと利用可能性の調査を行ったので、その概要について報告する。

a. 中央清掃工場の概要と廃熱利用の現状

① 中央清掃工場の概要

中央清掃工場は東京23区部の湾岸地域である中央区晴海に位置している。中央区の晴海地区は、従来は倉庫などの港湾関連施設が集積した地区であったが、近年、高層住宅ビルの建設など再開発が活発に進められ、清掃工場周辺における大規模集合住宅の建設が見込まれることから、中央清掃工場を検討対象施設に選定した。

中央清掃工場における主要な諸元を表3-8に示す。

表3-8 中央清掃工場の主要諸元¹⁶⁾

所在地	東京都中央区晴海5丁目2-1
工期	平成10年4月～平成13年7月
敷地面積	約29,700 m ²
建築	工場棟：建築面積約14,900 m ² (高さ：地上31.7 m、地下：14.2 m) 煙突：コンクリート外筒支持鋼製内筒型 (高さ：177.5 m)
プラント	処理能力：焼却炉 600 トン/日 (300 トン/日×2基) 焼却炉：全連続燃焼火格子焼却炉 設計最高発熱量：13,400 KJ/kg
廃熱利用	発電設備：定格出力 15,000 kW 熱供給：区立ほっとプラザはるみ(蒸気)

② 排ガスフロー

中央清掃工場の構造を図3-23に示す。

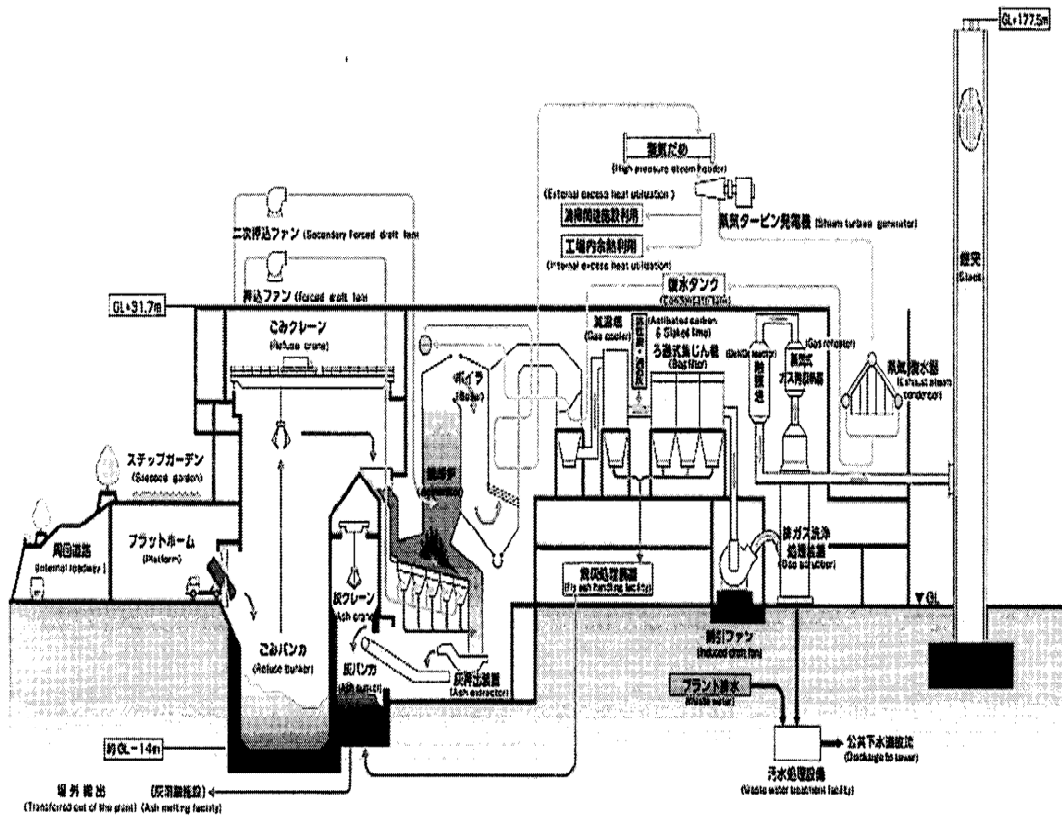


図 3-23 中央清掃工場の仕組み 16)

燃焼ガスは、焼却炉出口において 850℃以上に維持され、ボイラによりごみが保有する熱エネルギーが回収される。排ガス温度は、ボイラ出口で 220℃程度となり、さらに減温塔で水噴射により 150℃程度に減温された後、ばいじんろ過式集じん機により除去される。排ガスは、洗煙塔出口側で白煙防止などを目的として 55～60℃に減温・減湿された後、400℃の蒸気で約 200℃に再加熱されて触媒反応塔に導かれ NOx 濃度が低減された後に煙突から排出される。

③ 廃熱利用の現状

中央清掃工場における熱の利用状況を図 3-24 に示す。蒸気として回収された熱エネルギーのうち、約 20%は場内・外部の熱利用に使われており、約 64%が発電用の蒸気として利用され、発電端での熱効率は約 17%である。一方、発電機に投入された蒸気の排気復水器における放熱分は発生したエネルギー全体の約 47%に相当している。

このような放熱分が周辺の住宅や業務ビル等で有効に活用できれば、熱利用率の大幅な向上が期待できる。また、蒸気を熱エネルギーから蒸気タービンで機械エネルギーへ、機械エネルギーを発電機で電気エネルギーへとエネルギー形態の変化を伴う発電だけではなく、直接、熱利用することにより発電機の復水廃熱分も有効に利用することが可能になり、熱効率も向上することで、CO₂の発生抑制につながる。

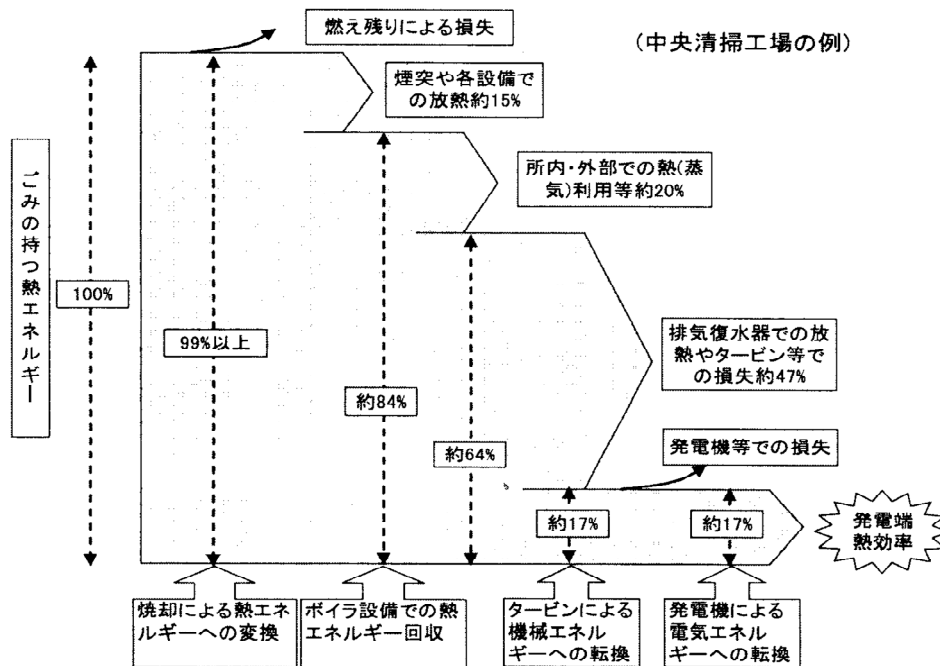


図 3-24 熱の利用状況 16)

b. 未利用廃熱の種類と利用可能量

中央清掃工場からの廃熱源は、蒸気・復水系統と排ガス処理系統の2つに大別される。

① 蒸気・復水系統からの熱回収の可能性

蒸気・復水系統の廃熱利用としては、図 3-25 に示すように、現在、発電利用している蒸気の一部を給熱蒸気だめからの蒸気と熱交換による温水回収、空冷式の蒸気復水器と併設して水冷式の蒸気復水器を設置し、現在、大気に放出されている復水廃熱からの温水回収が考えられる。

② 排ガス処理系統からの熱回収の可能性

排ガス処理系統では、洗煙塔における排ガス洗浄時に冷却、減温減湿を行っており、その際に排ガスから一部の熱を放熱している。排ガス洗浄後の汚水は洗煙汚水槽に回収され、汚水処理設備へ送られるが、洗煙汚水は 60℃程度の温度をもっており、洗浄汚水からの熱交換によって低温水の回収が期待される。

また、減温減湿塔部分では、冷却吸収塔で飽和状態となった排ガスから水分を除去して白煙を防止するために相当量の減温減湿水を循環している。減温減湿水は、65℃程度の温水として回収されたものを、空冷式冷却塔で 55℃程度に冷却して循環されており、循環水との熱交換によって一定量の低温水の回収が期待される。

③ 各種廃熱の利用可能性の評価

既設の清掃工場に関して、各廃熱源の利用可能性について評価した結果を表 3-9 に示す。各種未利用エネルギー源を比較した場合、現在未利用の廃熱源で一定の廃熱回収量が見込

まれ、かつ比較的軽微な改修工事で廃熱利用の可能性があり、廃熱利用時に清掃工場側にもエネルギー使用量削減等のメリットが期待できる廃熱源として、「低温減湿水からの廃熱回収」の優先順位が高いと考えられる。

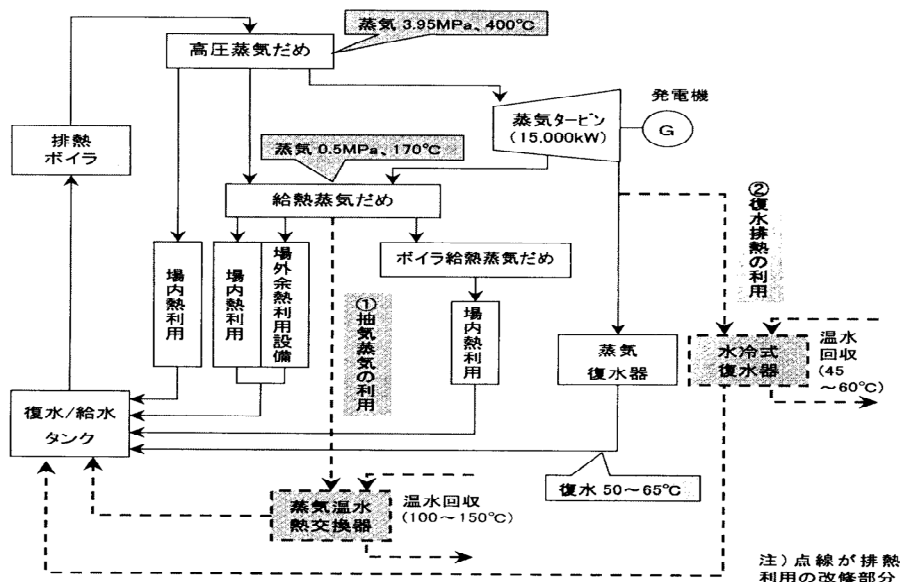


図 3-25 蒸気・復水系統からの廃熱温水の回収方法 16)

表 3-9 既設清掃工場における住宅向け廃熱利用可能量の評価結果 16)

	抽気蒸気	復水廃熱	排ガス洗浄水	減温減湿水
廃熱温度・供給可能戸数	・蒸気 100-200°C ・約 160GJ/h ・約 15,200 戸	・40-50°C程度の温水回収 ・約 117GJ/h ・約 11,200 戸	・50-60°C程度の温水回収 ・約 25GJ/h ・約 2,400 戸	・50-60°C程度の温水回収 ・約 21GJ/h ・約 2,000 戸
省エネ・CO ₂ 削減可能性	・発電利用時に比べて熱利用効率の向上による省エネ ・約 4.6 トン CO ₂ /h	・廃熱利用量に相当する給湯需要が削減 ・約 6.7 トン CO ₂ /h	・廃熱利用量に相当する給湯需要が削減 ・約 1.4 トン CO ₂ /h	・廃熱利用量に相当する給湯需要が削減 ・約 1.2 トン CO ₂ /h
総合評価	・賦存量、利用実績が抱負で技術的な課題は少ないが、給湯余熱用としての優先順位は低い	・既存工場では、廃熱回収に関わる機器の設置スペース、運用面での課題が大きい	・運用面の制約が少ない洗煙汚水は賦存量が少ない ・賦存量の大きな循環水は水質、運用面での配慮が必要	・清掃工場側のメリットも期待 ・一定量が循環し、水質・運用面での制約も少ない

(5) 未利用エネルギーの活用事例 17)

清掃工場やバイオマス発電施設、熱を利用する工場など、熱源を持つ施設からは、従来、250℃以下の中・低温域の廃熱が膨大な量排出されている。平成12年の調査で工場等から排出される250度以下の廃熱量は日本全体で約80万TJ/年と推算されている¹⁸⁾。この廃熱量は重油換算で年間約24百万kLに及び、年間約66百万トンのCO₂排出量に相当する。清掃工場に限ってみると、150—249℃の廃熱が主体で全体の77%を占めており、年間の廃熱量が6.7TJ/年にも及ぶ。この廃熱量は重油換算で約200万kL、年間約530万トンのCO₂排出量に相当する。この中・低温域の廃熱は、経済的な観点から熱回収、利用が効率的ではないため、隣接する温水プール等への温水供給などのオンライン方式での熱供給に利用用途が限定される場合が多い。この中・低温域の廃熱を回収して熱エネルギーとして広く活用できれば、化石燃料の使用量を削減でき、CO₂排出量の削減、地球温暖化の抑制に貢献できる。

a. 神戸製鋼グループの取り組み

神戸ソリューションと神戸製鋼所は共同で、オフライン方式の高効率蓄熱輸送システム「サーモウェイ」を開発した。これは、図3-26に示すように、中・低温域の廃熱を蓄熱装置に蓄えて車両等により遠隔地まで輸送し、熱エネルギーを無駄なく高効率で取り出して利用することができるシステムである。



図 3-26 「サーモウェイ」蓄熱装置（4トン機）¹⁷⁾

車両等を使って廃熱を輸送するため、熱利用施設の地理的範囲や選択の自由度が従来よりも飛躍的に広がる。すなわち、将来的な熱利用施設や熱供給施設の変更や増減にも適用が容易であり、複数施設の組み合わせへの適用も可能となる。

b. 蓄熱輸送システムの概念

オフライン方式の蓄熱輸送システムの概念図を図 3-27 に示す。

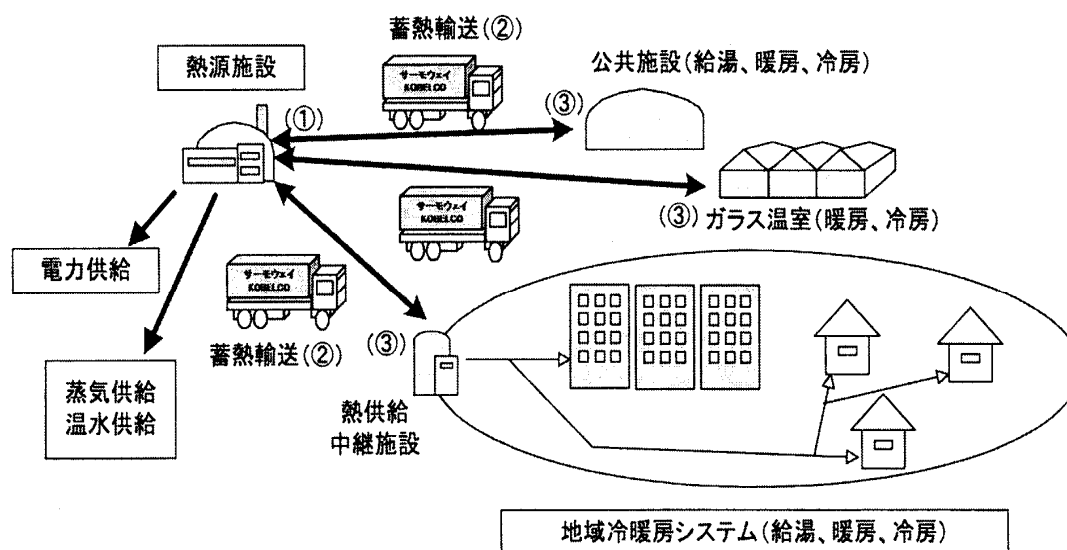


図 3-27 熱輸送システムの概念図 17)

清掃工場等の熱源施設で廃熱を蓄熱装置に蓄熱する (①)。熱エネルギーを蓄熱した蓄熱装置を車両等を使用して離れた熱利用施設まで輸送する (②)。熱利用施設で蓄熱装置から熱エネルギーを取り出して給湯や冷暖房等の用途に利用する (③)。蓄熱装置には潜熱蓄熱材 (PCM: Phase Change Material) を充填しており、蓄熱 (①)・車両輸送 (②)・放熱 (③) を繰り返す。

潜熱蓄熱とは相変化物質の融解潜熱を利用して蓄放熱を行う技術であり、潜熱蓄熱材は蓄熱密度が大きいため、蓄熱容量を大きくとれる。潜熱蓄熱材の融点付近の温度で蓄熱利用するので、選定する潜熱蓄熱材の種類に応じて使用する温度範囲が決まる。

c. サーモウェイの特徴

① 潜熱蓄熱材

潜熱蓄熱材としてエリスリトール (融点 119°C、融解潜熱 340kJ/kg) を採用した。エリスリトールは中・低温域の蓄熱に適しており、90°Cの高温水の供給が可能である。図 3-28 に代表的な潜熱蓄熱材 19)の融点と融解潜熱を示す。

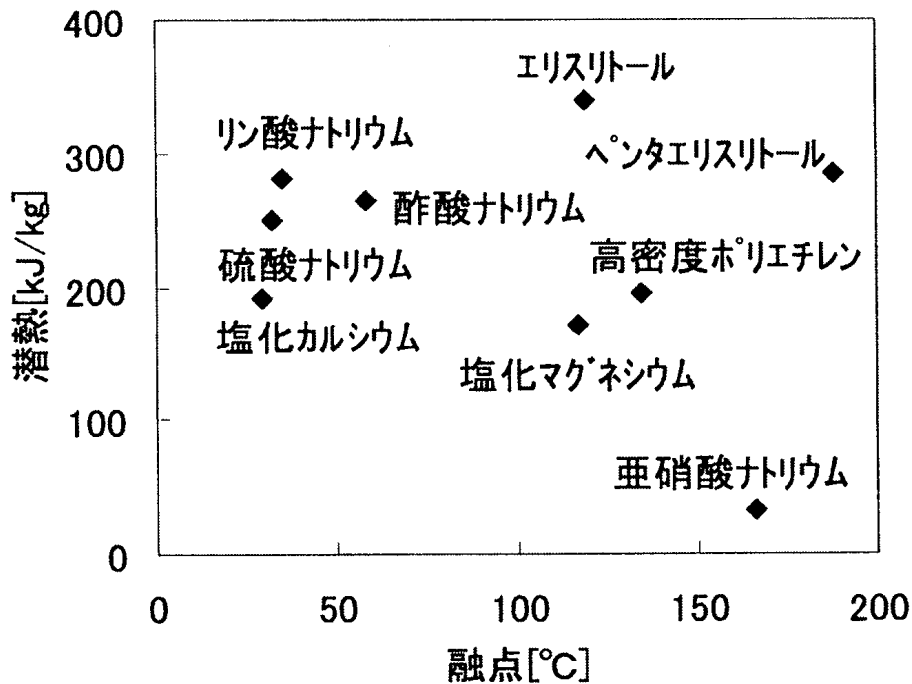


図 3-28 代表的な潜熱蓄熱材の融点と融解潜熱¹⁹⁾

エリスリトールは他の材と比較して融解潜熱が大きいことから、蓄熱密度が大きく、蓄熱装置をコンパクトにできる。また、エリスリトールは糖アルコールの一種で人工甘味料として広く普及しており、安全性が高い。

② 直接接触式熱交換

直接接触式熱交換は、潜熱蓄熱材層に熱媒油を通し、伝熱管等の熱交換器を介さずに直接熱交換を行う方式である。直接接触式熱交換を開発し、高い潜熱・放熱性能を実現した。既報²⁰⁾では、蓄熱装置内の潜熱蓄熱材の理論蓄熱量に対して 90~95%以上の高効率で無駄なく熱エネルギーを取り出せること、一定出力で 8 時間以上安定して放熱運転が可能であることを報告した。

③ 冷熱転換利用

蓄熱装置から得られた 80~90°C の高温水を吸収冷温水機の駆動熱源として供給することで 7°C の冷水を得ることができる。暖房や給湯に加えて冷房の用途利用も可能となることで、廃熱を年間を通して利用できる。

d. 潜熱蓄熱性能の評価

① 蓄熱・放熱性能

ベンチスケール蓄熱装置 (1.5t 機) を使用して、放熱出力を変えて熱回収効率について評価した試験結果から評価した。ここで熱回収効率とは、蓄熱装置内の潜熱蓄熱材の理論蓄熱量に対する放熱運転で実際に取り出された熱エネルギー量の比率を意味する。この結

果から、放熱出力によらず熱回収効率が 90～95%以上の高い性能を維持できていることを確認した。

② 冷熱転換の運転安定性の検証

同じく、ベンチスケール蓄熱装置（1.5t 機）を使用して行った冷熱転換試験の結果から評価した。蓄熱装置から取りだした熱エネルギーを廃熱利用吸収式冷温水器に供給して、冷房システム全体としての運転の安定性を確認した。図 3-29 に冷熱転換試験の運転データを示す。

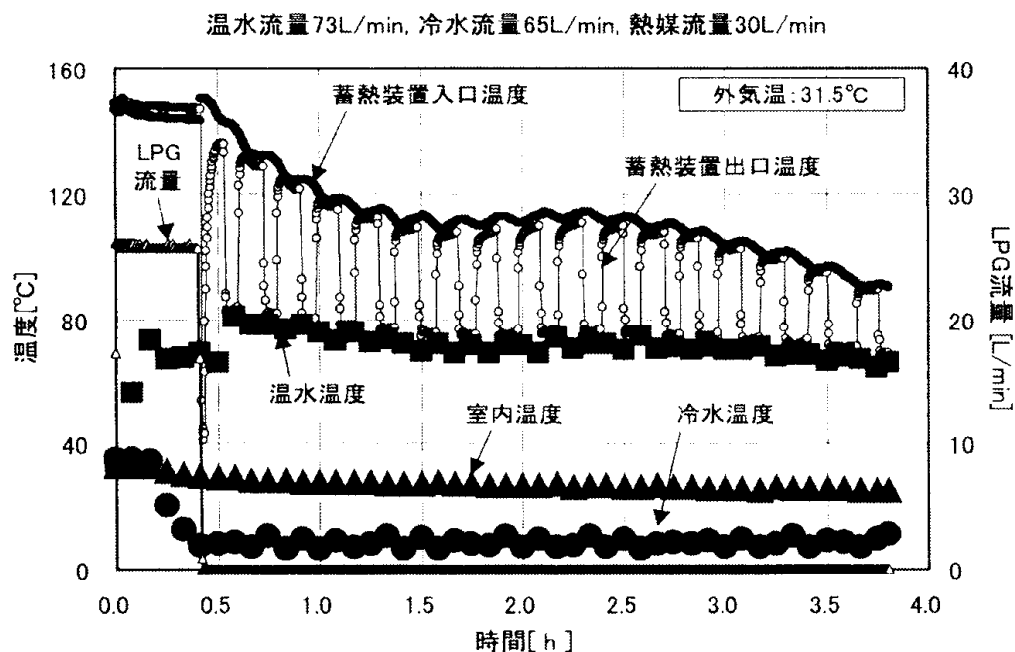


図 3-29 冷熱転換試験の運転データ 17)

吸収式冷温水機の立ち上げは内蔵の補助ボイラ（燃料：LPG）を使って行い、定常運転状態となった時点で補助ボイラを停止し、蓄熱装置からの熱供給に切り替えた。その後は、吸収式冷温水機の熱要求信号に応じて蓄熱装置からの熱供給を on-off して運転を行った。約 3.5 時間の運転において、補助ボイラを使用せず、冷水温度 7～10°C、室温 27°C に制御して、吸収式冷温水機を安定運転できることを確認した。

e. 「サーモウェイ」の運用例

20 トン蓄熱装置の運用例について、前提条件と試算結果を表 3-10 に示す。ここでは、20 トン蓄熱装置を 3 基で運用し、蓄熱時間と放熱時間が各 4 時間、輸送距離 10km で年間 330 日運用した場合を想定した。

輸送熱量（63GJ/日）に対して車両燃料熱量（1.5GJ/日）は 2%と小さく、エネルギー

効率が高いことがわかる。蓄熱輸送した廃熱をボイラの代替に活用した場合、年間の重油削減量は 780kL、年間の CO₂ 排出削減量は 2,100 トンとなる。

表 3-10 「サーモウェイ」の試算例¹⁷⁾

20 トン蓄熱装置	3 基
輸送サイクル	4 時間毎
輸送距離	10km
輸送熱量	63GJ/日
車両燃料熱量	1.5GJ/日
重油削減量 (ボイラ効率 75%として)	2.4kL/日
年間運用日数	330 日
年間重油削減量	780kL/年
CO ₂ 排出削減量	2,100 トン-CO ₂ /年
車両 CO ₂ 排出量	37 トン-CO ₂ /年

(6) 廃熱の冷房への活用事例²¹⁾

水和剤 (TBAB : テトラ n ブチルアンモニウムブロマイド) を水に溶かした水溶液を冷却すると水和物の微細結晶 (固体) が生成される。水和物結晶は大きな潜熱を持つため、水和物スラリは水に比べて大きな冷熱を持つことができる。水和物の生成・融解について図 3-30 に示す。

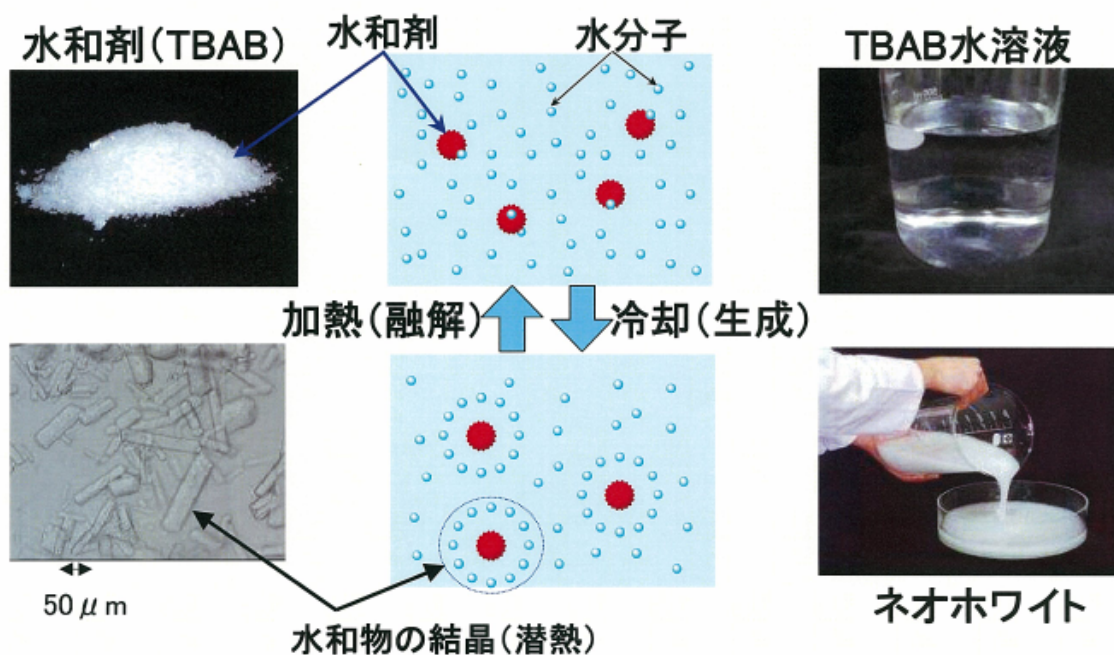


図 3-30 ネオホワイトの生成・融解²¹⁾

TABA 水溶液は、既に「化学物質の審査および製造等の規制に関する法律（化審法）」に対応した化学品であり、安全衛生法、毒物・劇物取締法、消防法（水溶液）に該当していない。また、繰り返しの使用、長期的使用に対して熱物性は安定しているため、長期的使用に耐える。

a. 水和物スラリー蓄熱空調システムの特徴

① 省エネルギー効果

- ・ 5～8℃の潜熱蓄熱によって、冷凍機の効率を低下させることなく蓄熱可能である。
- ・ 蓄熱システムにより冷凍機の高効率な定格運転が可能となる。また、外気温の低い夜間に蓄熱運転するので冷凍機の効率が向上する。
- ・ 蓄熱によって冷却水ポンプ、冷却ファン、冷水ポンプの運転時間短縮を図ることができる。
- ・ 蓄熱しないシステムに比べて、冷凍機容量を小さくできる。

② その他

- ・ 図 3-31 に示すように、水の約 2 倍の熱密度を持つので、既存の水蓄熱層の蓄熱容量を増大できる。
- ・ 凝集性がなく、流動性が高い媒体である。
- ・ 二次側室内空調機へ直接搬送が可能である。
 - ・ 冷水式空調システムと同様のメンテナンスのみで、特別の管理が不要である。

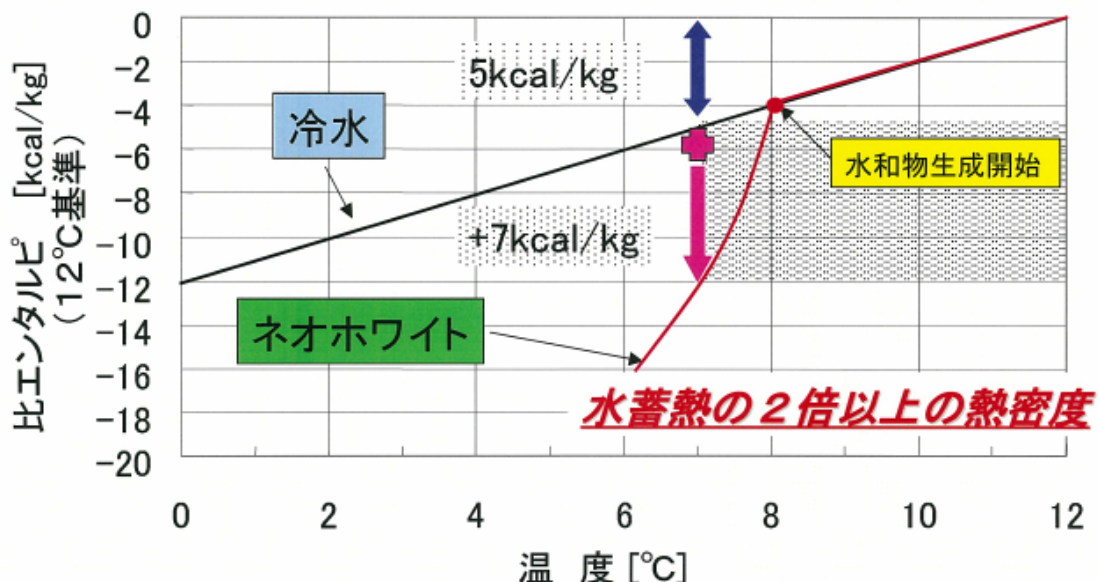


図 3-31 水とネオホワイトの温度と比エンタルピー²¹⁾
(単位質量当たりの保有熱量) の関係 (一例)

b. 蓄熱空調システムの構成

水和物スラリーを利用した蓄熱空調システムの構成を図 3-32 に示す。

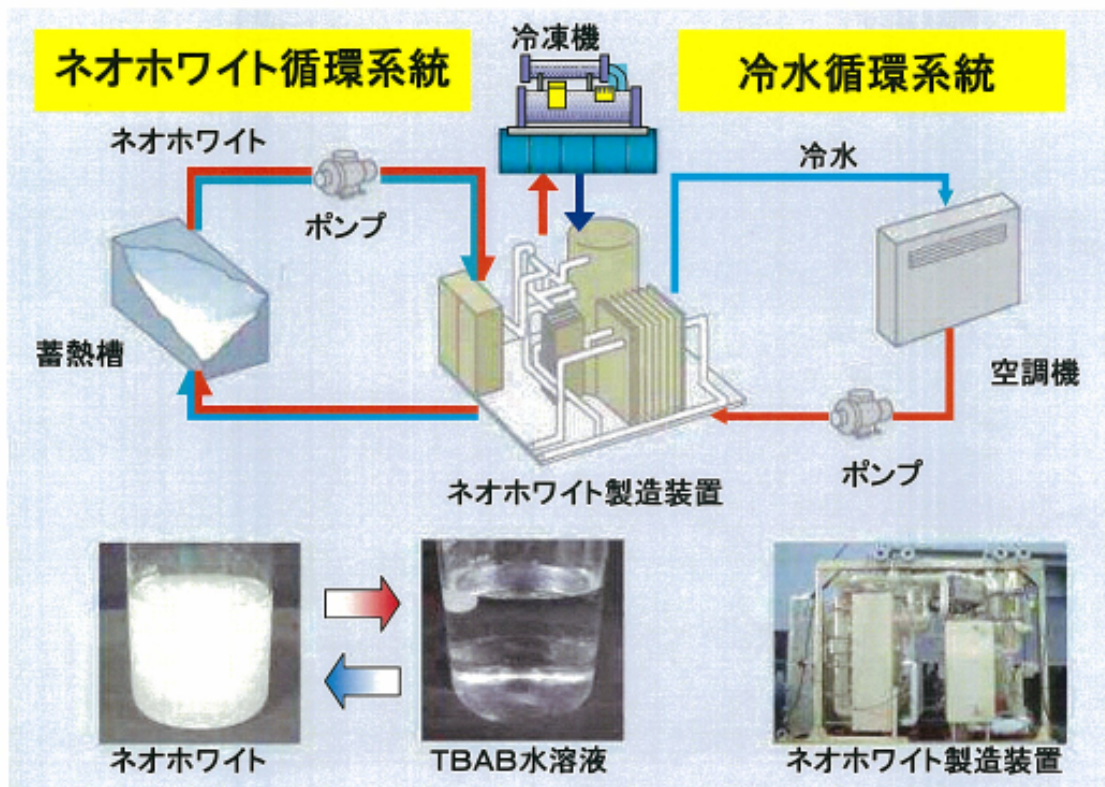


図 3-32 ネオホワイト蓄熱空調システムの構成²¹⁾

この蓄熱空調システムでは、ネオホワイト製造の動力源を電力としているが、電力の代わりに廃棄物焼却施設からの廃熱を利用して発生させた蒸気を動力源として利用できる。また、システムで使用する配管は既存のものを利用できるため、条件によってはインシヤルコストを低く抑えることも可能となる。

c. 活用事例²¹⁾

① JFE 事務所ビルへの導入事例

所在地：横浜市鶴見区末広町 2-1

延床面積：17,300m²

階数：地上 7 階、地下 1 階

竣工：1984 年（昭和 59 年）

冷房設備：（改修後）

（1）ネオホワイト蓄熱システム

高効率ターボ冷凍機 180RT

ネオホワイト製造装置 180RT

ネオホワイト蓄熱槽 350m³

(2) ヒートポンプチラー

空冷ヒートポンプチラー 80RT、50RT

暖房設備：(改修後、給湯兼用)

ガス炊真空ボイラ 1,300kW

温水熱交換器

運転開始：2005年(平成17年5月)

CO₂排出削減量：278トン(25.9%)削減(2006年度)

② 川崎駅地下街への導入事例

建物名称：川崎地下街アゼリア

延床面積：約56,000m²

店舗数：153店舗

階数：地上2階、地下2階

運転開始：2008年(平成20年3月)

冷房設備：

(1) FCU系統

スクリーン冷凍機 500RT

ネオホワイト製造装置 500RT

ネオホワイト蓄熱槽 700m³

(2) AHU系統

吸収式冷温水発生量 550RT×3

暖房設備：吸収式冷温水発生機 1,570kW×3

CO₂排出削減量：1,300トン削減(2008年度)

3.2.3 一般廃棄物と産業廃棄物の混焼による発電効率の大幅アップ

規模な大きな焼却施設(300トン/日以上)は、発電効率を20%程度まで高めることができるため、CO₂の削減に効果的である。しかし、3Rによりリサイクル率が高くなるにつれて、焼却処理の対象となる都市ごみの排出量は年々減少しており、その結果として焼却施設の稼働率が落ちている。現に全国のごみ発電量も減少しており、大規模施設のある政令市などが特に影響を受けている。

そこで、広域処理による施設の大型化と同時に、焼却施設の稼働率を高める施策が必要となる。日本では、一般廃棄物と産業廃棄物は法律で明確に区分されており、事業系産業廃棄物の一部以外は一般廃棄物との混合処理は行われていない。しかし、廃プラスチック類、紙・繊維類および木くず類は一般廃棄物と産業廃棄物の両方に分類されているが、組成はほぼ同じである。これらの廃棄物は発熱量が高く、焼却処理の過程で大量の廃熱が得

られる。したがって、仮に一般廃棄物や産業廃棄物の大型焼却施設で混焼できれば、稼働率と同時に発電効率を高める効果が期待できる。法制度上や住民の感情等の問題など、検討すべき課題も多いが、廃棄物処理分野における CO₂ 削減率を高める方法として、検討する価値があると考えられる。

(1) 神奈川県における検討事例²²⁾

a. 事業計画

① 事業の目標

この事業は、廃棄物のリサイクル施設と連携し、最終的にリサイクルが困難な可燃ごみ（以下、発電ごみとする）を利用した高効率発電システムにより、クリーンな電力供給を行うことを目的とする。電力の供給対象は県内の公共施設とする。安定した電力供給や電力需要の変動に柔軟に対応するため、一部天然ガスを利用した発電施設を補助としてシステムの取り組む。

なお、主たる発電ごみは、一般廃棄物系のリサイクルできない可燃物・廃プラスチック類、産業廃棄物系の廃プラスチック類・廃油・紙くず・繊維くず等とする。

② 発電ごみ量

この事業では、平成 19 年の第 I 期に施設の稼働を開始し、以降は第 II 期（平成 24 年）、第 III 期（平成 29 年）、第 IV 期（平成 34 年）と段階的に施設規模を増強することを想定した。表 3-11 に各期における発電ごみの想定量を示す。

表 3-11 各期における発電ごみの想定量²²⁾

		I 期	II 期	III 期	IV 期	合計
一般	可燃物	31.9	33.3	30.6	37.3	133.1 万トン/年
	廃プラスチック類	10.8	11.3	10.4	12.6	45.0 万トン/年
産業	廃プラスチック類	5.3	5.6	5.1	6.2	22.2 万トン/年
	廃油	2.8	2.9	2.7	3.2	11.6 万トン/年
	紙くず	2.0	2.1	2.0	2.4	8.5 万トン/年
	繊維くず	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2 万トン/年
合計		52.9	55.2	50.7	61.8	220.6 万トン/年
1 日当たりの発電ごみ量		1,450	1,512	1,389	1,693	6,044 トン/日

③ 発電システムの特徴

- ・ごみ焼却ボイラ、ガスタービン、ガスエンジンを基本構成とする。
- ・ごみ焼却ボイラ出口での蒸気条件を高温・高圧（500℃、9MPa）としガスタービンの排気による過熱を不要とした。
- ・高圧蒸気タービン排気蒸気をガスタービン排気で加熱する、再熱リサイクルを採用し、

発電効率の向上を図る。

- ・昼間、夜間の負荷変動は、ガスタービンを停止して、DSS(Daily Start-up & Shut-down)を行うことを基本とする。
- ・急激な負荷変動は、ガスエンジンでの対応を別途考慮する。
- ・廃棄物焼却炉 6 炉（常用 5 炉、予備 1 炉）、共通蒸気ヘッダー、発電システム 2 系列の構成により、焼却炉側の種類、構成によらず、安定した電力供給を可能とする。
- ・ダイオキシン類、NO_x などの環境汚染物質濃度は、完全燃焼と高度の排ガス処理装置の設置により、最大でも法律、条例規制値の 50%未満とする。

④ 施設の規模

廃棄物処理施設の年間平均稼働日数を 300 日と設定し、表 3-11 に示した発電ごみ量に基づき、表 3-12 に示す期別の施設容量を設定した。

表 3-12 期別の施設規模の想定²²⁾

	I 期	II 期	III 期	IV 期	合 計
ごみ処理施設	1,760	1,840	1,690	2,060	7,350 トン/日
発電施設（合計）	133,600	139,100	127,900	155,800	56 万 kW
発電施設（ごみ発電）	66,100	68,800	63,300	77,100	28 万 kW
発電施設（都市ガス）	67,500	70,300	64,600	78,700	28 万 kW

b. CO₂ 削減効果等

① ごみ発電（パワーセンター）導入による CO₂ 排出量の削減効果

ごみ発電事業により、既存の発電所での発電量が削減されるため、発電量に相当する化石燃料による CO₂ 排出量が削減される。想定される CO₂ 排出量の削減効果を表 3-13 に示す。

表 3-13 パワーセンター導入に伴う CO₂ 排出量の削減効果²²⁾

	単 位	単純焼却	通常のごみ発電	パワーセンター方式
県内の発電ごみ量	万トン/年	220.6	220.6	220.6
焼却に伴う CO ₂ 排出量	万トン-CO ₂ /年	143.4	143.4	143.4
廃棄物発熱量	kJ/kg	—	10,450	17,000
発電効率	%	—	15	34
発電量	万 kWh/年	—	96,192	348,856
発電所の平均 CO ₂ 排出量原単位	g-CO ₂ /kWh	—	278.7	287.7
ごみ発電による CO ₂ 削減量	万トン-CO ₂ /年	—	26.8	97.2
焼却施設からの CO ₂ 排出量	万トン-CO ₂ /年	143.4	116.6	46.2

ここで想定したごみ発電効率 34%は、今後の技術開発による段階的な発電効率向上を想定したもので、当初を 30%、第IV期の目標を 40%程度とした場合のおおよその平均値とした。

② 発電ごみ輸送時の輸送距離の延長に伴う CO₂ 排出量

算定は、以下の前提条件を想定する。

- ・現状の 42 ヶ所の焼却施設を 20 ヶ所のリサイクルセンターに再構築する。
- ・リサイクルセンターから一ヶ所のパワーセンターに発電ごみを輸送する。

上記の前提条件を基に、「リサイクルセンターから一ヶ所のパワーセンターに発電ごみを輸送する」ための CO₂ 排出量を算出してみると、トラック輸送では 4,580 トン・CO₂/年であるのに対して、全て鉄道での輸送が可能となれば 1,170 トン・CO₂/年程度となり、可能な限り鉄道輸送を利用することにより、輸送による CO₂ 排出量を低減することができる。

また、「現状の 42 ヶ所の焼却施設を 20 ヶ所のリサイクルセンターとして再構築する」では、2 トンパッカー車による収集の移動距離が増すことにより、CO₂ 排出量は増加する。その結果を整理すると、42 ヶ所に収集する場合には 2,710 トン・CO₂/年であるのに対して、20 ヶ所とした場合には 3,850 トン・CO₂/年となり、地域内の収集のみでも 1,140 トン・CO₂/年が増加することになる。

従って、輸送と焼却処理を総合した CO₂ 排出量は以下のように算定される。

- ・42 ヶ所の焼却施設で収集/焼却処理の場合：CO₂ 排出量=2,710 トン・CO₂/年
 - ・20 ヶ所のリサイクルセンターに収集し一ヶ所のパワーセンターでごみ発電を実施する場合：CO₂ 排出量=5,020~8,430 トン・CO₂/年
- となり、2,310~5,720 トン・CO₂/年の増加が推算された。

③ まとめ

パワーセンターの導入に伴う CO₂ 排出量の変化を表 3-14 に示す。

表 3-14 パワーセンター導入に伴う CO₂ 排出量の変化²²⁾

	CO ₂ 排出量削減効果
可燃ごみの減量化に伴う CO ₂ 排出量削減効果	244,900 トン・CO ₂ /年減
パワーセンター導入に伴う CO ₂ 排出量の削減効果	1,742,000 トン・CO ₂ /年減
輸送距離の延長に伴う CO ₂ 排出量の増加	3,700 トン・CO ₂ /年増
合 計	1,983,200 トン・CO ₂ /年減

リサイクル等による可燃ごみの減量化に伴う CO₂ 排出削減量は 244,900 トン・CO₂/年、パワーセンター導入に伴う火力発電所における CO₂ 排出削減量は 1,742,000 トン・CO₂/年および輸送による CO₂ 排出量の増加を 3,700 トン・CO₂/年として合計すると、1,983,200 トン・CO₂/年の削減効果となった。これは、火力発電所で 397,000 万 kWh (約 115 万世帯分に相当) を発電するときに排出される CO₂ に相当する。

c. パワーセンター導入に伴う CO₂ 排出量削減効果（1990 年との比較）

① 神奈川県における CO₂ 排出量削減効果（1990 年との比較）

表 3-15 に 1990 年度に神奈川県で焼却された廃棄物量と当時の廃棄物発電量を示す。

表 3-15 パワーセンター導入に伴う CO₂ 排出量の削減効果（1990 年との比較）²²⁾

	単 位	1990 年	パワーセンター方式
県内の焼却ごみ量	万トン/年	314	220.6
焼却に伴う CO ₂ 排出量	万トン-CO ₂ /年	204	143
焼却ごみ減量による CO ₂ 削減量	万トン-CO ₂ /年	基準	60.9
ごみ発熱量	k J/k g	—	17,000
発電効率	%	—	34
発電量	万 kWh/年	16,200	348,856
火力発電所での CO ₂ 排出量原単位	g-CO ₂ /kWh	498.7	498.7
ごみ発電による CO ₂ 削減量	万トン-CO ₂ /年	7.85	174
パワーセンター導入による CO ₂ 削減量	万トン-CO ₂ /年	基準	167 減
発電ごみ輸送による CO ₂ 増加量	万トン-CO ₂ /年	基準	0.1 増
1990 年との比較	万トン-CO ₂ /年	基準	227 減

神奈川県全域を対象に、焼却ごみの減量化およびパワーセンター方式を導入した場合、CO₂ 排出量は約 227 万トン-CO₂/年まで削減できると推算された。

② 全国での CO₂ 排出量削減効果（1990 年との比較）

神奈川県的一般廃棄物量が全国に占める比率 6.5%（1998 年の実績）、並びに産業廃棄物の比率を 10%と仮定すると、パワーセンター導入の効果を全国レベルで換算したものを表 3-16 に示す。全国的に最も CO₂ 排出量の多い発電方式である火力発電所の発電量をごみ発電により削減すると仮定すると、全国レベルでパワーセンターを導入した場合の CO₂ 排出量は、1990 年比で約 3,150 万トン-CO₂/年まで削減できると推定された。

平成 19 年度における我が国の温室効果ガスの総排出量は 13 億 7,400 万トン（CO₂ 換算）であり、このうち廃棄物分野からの排出量は約 4,083 万トン（CO₂ 換算）である。また、廃棄物分野の排出量のうち、ごみ発電等のエネルギー利用している施設からは 1,666 万トン（CO₂ 換算）である。

パワーセンター方式を全国に広めた場合の CO₂ 排出削減量は約 3,500 万トン-CO₂/年と推定されることから、既存のエネルギー利用している焼却施設から排出される CO₂ 排出量の約 2 倍も削減できるなど、CO₂ 排出量の削減効果が非常に大きい。

表 3-16 全国レベルでの CO₂ 排出量の削減効果 (1990 年との比較) ²²⁾

	単 位	1990 年	パワーセンター方式
焼却ごみ量	万トン/年	4,350	3,165
発電ごみ量 (一般廃棄物分)	万トン/年	3,925	2,740
発電ごみ量 (産業廃棄物分)	万トン/年	425	425
焼却に伴う CO ₂ 排出量	万トン-CO ₂ /年	2,827	2,056
焼却ごみ減量による CO ₂ 削減量	万トン-CO ₂ /年	基準	770 減
ごみ発熱量	kJ/kg	—	17,000
発電効率	%	—	34
発電量	万 kWh/年	224,640	5,005,116
火力発電所での CO ₂ 排出量原単位	g-CO ₂ /kWh	498.7	498.7
ごみ発電による CO ₂ 削減量	万トン-CO ₂ /年	112	2,500
パワーセンター導入による CO ₂ 削減量	万トン-CO ₂ /年	基準	2,384 減
発電ごみ輸送による CO ₂ 増加量	万トン-CO ₂ /年	基準	5.9 増
1990 年との比較	万トン-CO ₂ /年	基準	3,150 減

(2) 海外における検討事例

欧米では、25 年以上前から分別後の可燃物 (木くず、紙くず、廃プラスチック類など) から固形回収燃料 ²³⁾ (SRF: Solid Recovered Fuel) を作り、化石燃料の代替物として利用してきた。これは、厨芥類が混入することがある日本の RDF に比べて発熱量が高い。最近では、この SRF に塩素漂白していない廃プラスチック類と廃ゴムを加え、発熱量を化石燃料並みの 20,000kJ/kg にまで高めて高品質 SRF(HQ-SRF)の燃料として利用している。

文献 ²⁴⁾では、イタリア、EU、U.S.A.、中国およびインドについて現状における廃棄物の排出量から潜在的な HQ-SRF の年間生成可能量を推定している。例えば、イタリアの場合は、地域で排出される一般廃棄物を十分に回収すると HQ-SRF の製造量は 2 万トン/年、産業廃棄物からも同じく 2 万トン/年の製造が見込めると推定している。EU 全体では、混焼に利用される HQ-SRF の潜在量を 27~37M トン/年と推定している。

イタリアでは既にセメントキルンなどで混焼が行われており、HQ-SRF を積極的に利用している。このため、イタリアなどでは品質とロット管理のサンプリング手順を基準化するため、詳細な技術的基準を作成している。

また、HQ-SRF は発熱量が高く、従来のごみ発電と比べて発電効率が高いので、混焼による CO₂ 排出量の削減量も多い。イタリアでは HQ-SRF の混焼による CO₂ 排出削減量は 9.2M トン/年にもなるとしており、発電量も 5TWh/年と推定している。この他に、EU、インドなどでも同様な効果が期待できることを定量評価している ²⁴⁾。

さらに、現在は風力、太陽光、水力およびバイオマスなど、各種の再生可能エネルギー

による発電が行われているが、HQ-SRFの混焼では発電効率が高いので発電コストを従来よりも安くできる可能性がある。そこで、HQ-SRFを発電プラントで混焼した場合の発電コストと、各種の再生可能エネルギーによる発電コストとを比較したものを表3-17に示す。

表 3-17 IEFE*による再生可能エネルギーの発電コスト評価²⁴⁾

再生可能エネルギー源	発電単価 (ユーロ/kW)	施設の寿命 (年)	稼働時間 (h/年)	総コスト (ユーロ/MWh)
発電プラントでSRFと混焼	170	15	7,200	30~69
風力発電	914	15	2,200	63
水力発電<10MW	2500	30	3,500	66
通常のごみ発電	6255	15	7,200	228
バイオマス発電	3600	20	8,000	121
太陽光発電	5370	20	1,400	280

注) *IEFE : Institute of Economy and Politics of Energy and Environment-Bocconi University

このHQ-SRFは、日本では一般廃棄物と産業廃棄物の混焼に該当するものであり、表3-16から明らかのように、混焼による発電コストは他の再生可能エネルギーによる発電コストと比べても有利である。

3.2.4 その他

一般廃棄物と産業廃棄物の混焼では発熱量の高い廃棄物を利用できるため、発電効率と発電コストの面からも従来のごみ発電等に比べて極めて有利である。このため、大幅なCO₂排出量の削減を効果的に実施する方法として、混焼による発電システム（パワーセンター方式）を検討する価値があると考えられる。パワーセンター方式では、廃棄物の収集は従来の市町村単位ではなく、市町村間の境界を越えた広域的な対応が必要となる。廃棄物の広域処理を行う場合、従来と異なる新たな収集方法を構築する必要がある。そこで、廃棄物の広域輸送を検討した事例を以下に示す。

(1) 神奈川県における検討事例²⁵⁾

a. 事業方針

① 企画の主旨

本事業は、神奈川県が掲げる環境負荷低減を事業の推進理念として、健全な事業運営を前提に、神奈川県が抱えた環境課題解決の一翼を担うことを目指している。また、国際的なCO₂排出量削減問題等を踏まえて、可及的速やかな対応が迫られており、早急に事業を推進する必要がある。

② 事業の目標

パワーセンターへの安定した発電ごみの供給は、パワーセンター事業の成立における最も重要な要件の一つであり、発電ごみ輸送事業の安定性が、パワーセンター方式の成否を左右する。パワーセンターにおける高効率システムを支える大量の発電ごみの集積は、他の交通機関との協調を図りながら、効率的かつ安全に行わなければならない。また、パワーセンター方式での発電ごみの処理システムとの関連を整理しつつ、排出側における発電ごみ排出量の変動を吸収し、安定供給する機能も必要である。以上のように、発電ごみ輸送事業は、パワーセンター方式を支える重要な役割を担っており、リサイクル後の発電ごみからのエネルギー回収による高効率発電によってクリーンな電力供給を安定的に行うため、発電ごみの確固たる物流ネットワークの構築を目標としている。

③ 事業の範囲

公的な収集システム、リサイクルセンターでの分別処理を経て、リサイクルセンターからの発電ごみの受け入れ、輸送に必要な発電ごみの加工処理（破碎・圧縮等）並びに荷捌き、鉄道輸送並びにトラック輸送および海上輸送、パワーセンターにおける荷捌き、保管・貯蔵までの一連の機能を事業範囲とする。

b. 発電ごみ輸送システム

① 検討の前提条件

- ・リサイクルセンターの操業時間は、年間稼働 300 日、稼働時間 8 時間/日とする。
- ・パワーセンターの操業条件は、年間稼働 365 日、稼働時間 24 時間とする。
- ・リサイクルセンターから受け取る発電ごみの種類は、混合可燃ごみ、紙くず、廃プラスチック類、木くず、繊維くず、廃油の 6 種類とする。
- ・輸送に当たり、6 種類の発電ごみを 5 種類に集約し、各ごみ毎に輸送・保管を行う。
- ・廃油を除く固体の発電ごみは 20 フィートコンテナ（約 30m³）を利用して輸送する。
- ・輸送効率を上げるため、固体の発電ごみは、表 3-17 に示すように、極力圧縮して輸送する。
- ・廃油以外の固体の発電ごみは、鉄道輸送および海上輸送を中心とする。廃油は、全量トラック輸送とする。
- ・鉄道輸送は、「1 編成 24 両、1 両当たり 3 コンテナ搭載」を標準とする。
- ・海上輸送は、「1 フェリーバージ当たり 35 コンテナ」を標準とする。
- ・貨物輸送の運行可能時間を午前 1 時～5 時とする。
- ・年末年始のリサイクルセンターの休業を考慮し、パワーセンターに 7 日分（ストックヤード 3 日、発電プラントピット 4 日分）の保管能力を持たせる。
- ・原則として、リサイクルセンターでの発電ごみの保管は行わない。

以上の条件をベースに、5 種類毎の発電ごみの年間発生量とセンターの 1 日当たり平均

処理量の試算結果を表 3-18 に、第 I 期並びに第 IV 期の一ヶ所のリサイクルセンターで発生する 1 日当たりの平均コンテナ数およびローリー台数と一ヶ所のパワーセンターで処理する平均コンテナ数およびローリー台数の試算結果を表 3-19 に示す。

表 3-18 発電ごみ毎の年間発生量と平均的センターの平均処理量の試算結果²⁵⁾

発電ごみの種類	第 I 期のごみ量			第 IV 期のごみ量			輸送時似 姿および 比重
	年 間	リサクル センター 1 日当た り平均	パワーセ ンター 1 日当たり 平均	年 間	リサクル センター1 日当たり 平均	パワーセ ンター 1 日当たり 平均	
廃プラスチック類	17.4 万トン	580 トン	477 トン	72.2 万トン	2407 トン	1978 トン	コンテナ 圧 縮 0.15
紙くず、 繊維くず	2.0 万トン	67 トン	55 トン	8.7 万トン	290 トン	238 トン	コンテナ 圧 縮 0.2
木くず	1.3 万トン	43 トン	36 トン	5.0 万トン	167 トン	137 トン	コンテナ 0.4×2/3
混合可燃 ごみ	31.9 万トン	1063 トン	874 トン	133.1 万 トン	4437 トン	3647 トン	コンテナ 圧 縮 0.25
廃 油	2.8 万トン	93 トン	77 トン	11.6 万トン	387 トン	318 トン	ローリー 0.8
合 計	55.4 万トン	1846 トン	1519 トン	230.6 万 トン	7688 トン	6318 トン	

② 鉄道輸送の対応能力に関する検討

鉄道輸送と海上輸送を中心とする輸送システムの検討に当たり、以下の項目について日本貨物輸送（株）との協議が必要である。

- ・各駅毎の対応可能能力
- ・貨物列車の運用可能時間
- ・利用可能な貨物台数
- ・コンテナの貨物への積載条件等々に関する JR 規則

既存資料から推定すると、輸送効率を考慮して利用を前提としている 20 フィートコンテナを現状で取り扱える可能性がある貨物駅は数カ所に限定され、かつ県東部並びに臨海部に偏在している。したがって、使用可能な貨物駅がない県西部や内陸部の発電ごみの輸

送には、海上輸送とトラック輸送を組み合わせた輸送システムがメインとなる可能性が高い。

表 3-19 各センターで必要となる 1 日当たりの平均コンテナ数及びローリー台数²⁵⁾

検討対象ごみ 種 類	第 I 期のごみ量		第 IV 期のごみ量	
	リサイクルセンター 1 日当たり平均	パワーセンター 1 日当たり平均	リサイクルセンタ ー1 日当たり平均	パワーセンター 1 日当たり平均
廃プラスチック類	26 コンテナ	106 コンテナ	27 コンテナ	444 コンテナ
紙くず、繊維くず	3 コンテナ	10 コンテナ	3 コンテナ	40 コンテナ
木くず	1 コンテナ	5 コンテナ	1 コンテナ	18 コンテナ
混合可燃ごみ	29 コンテナ	117 コンテナ	30 コンテナ	487 コンテナ
廃 油	ローリー2 台	ローリー7 台	ローリー2 台	ローリー29 台
合 計	59 コンテナ +ローリー2 台	238 コンテナ +ローリー7 台	61 コンテナ +ローリー2 台	989 コンテナ +ローリー29 台

③ 発電ごみ輸送システムの基本的な考え方

発電ごみ輸送システムの基本的な考え方は以下のとおりである。

- ・ 県内で発生した各種廃棄物は、各地区のリサイクルセンターに集められて分別される。また、分別された 6 種類の発電ごみのうち、個体の混合可燃ごみ、紙くず、廃プラスチック類、木くず、繊維くずはリサイクルセンター内で圧縮・コンテナ詰めになされ、コンテナヤードに一時保管される。液体の廃油は鉱物油、植物油に分けて貯蔵タンクに一旦貯蔵される。
- ・ コンテナ詰めになされた固体の発電ごみは、リサイクルセンター周辺の交通インフラの状況に応じて、次の 4 通りの方法でパワーセンターまで輸送される。
 - (i) 鉄道の引き込む線を持つリサイクルセンターでは、コンテナ列車によりパワーセンターに出荷される。
 - (ii) 貨物駅に近接するリサイクルセンターでは、一旦トラックにより最寄りの貨物駅まで輸送され、貨物駅からパワーセンターに出荷される。
 - (iii) パワーセンターに近接するリサイクルセンターでは、トラック輸送によりパワーセンターに出荷される。
 - (iv) 港に近接するリサイクルセンターでは、一旦トラックにより最寄りのフェリー埠頭まで輸送され、パワーセンター近くのフェリー埠頭まで海上輸送された上で、再度トラックによりパワーセンターまで輸送される。
- ・ 液体の廃油は、リサイクルセンターからローリー車でパワーセンターまで輸送される。
- ・ 鉄道輸送された発電ごみはパワーセンター内の引き込み線からストックヤードに横付けされ、トラック輸送された発電ごみと一緒にストックされる。

- ・パワーセンターの運転状況に合わせて、ストックヤードから発電ごみを発電設備まで運搬し、発電施設のピットに投入する。

c. 物流管理システム

① 物流管理システムの概要

リサイクルセンターからのコンテナ輸送は、リサイクルセンター引き込み線よりコンテナ列車により輸送されるケースと、一旦トラックによりコンテナを最寄りの貨物駅又はフェリー埠頭に輸送し、コンテナ列車又はフェリーにより輸送されるケースがある。また、パワーセンター近傍のリサイクルセンターからはトラックにより直接パワーセンターに輸送され、鉄道輸送、トラック輸送、海上輸送が複合した輸送形態となっている。

そこで、鉄道、トラックおよびフェリーによる発電ごみの輸送を効率よく行うための物流管理システムを検討した。

・全体システムの構成

鉄道輸送とトラック、フェリー輸送では物流の管理内容が異なることから、鉄道物流管理システムおよびトラック・海上物流管理システムの2つのサブシステムを設けた。

鉄道物流管理システムは、鉄道の運行管理が鉄道会社によって行われていることから、本システムでは主にコンテナの物流管理を行うシステムとした。

トラック・海上物流管理システムは、主にトラックの配車計画、位置管理、動態管理、配送状況管理など、トラックの直接的な管理とコンテナ物流管理を併せて行うシステムとした。また、海上輸送についてはフェリー輸送の前後、すなわちリサイクルセンター→フェリー埠頭、フェリー埠頭→パワーセンター輸送はトラック輸送であり、フェリー輸送区間はトラック輸送中のコンテナの付け替え作業と考えられることから、トラック物流管理の範疇とした。

パワーセンター構内については、コンテナのヤード管理、ストックヤードからごみピットまでのトラック輸送などの物流管理のため、第3のサブシステムとしてパワーセンター物流管理システムを設けた。

また、発電ごみの原料となるごみの収集、管理についても、その収集確保の重要性とごみ収集量が物流計画の基本となることから、第4のサブシステムとしてごみ収集管理システムを設けることにした。

以上の4つのシステムが物流管理システムを構成するサブシステムであるが、物流の全体管理とサブシステム間の連携を司るシステムとして統合物流システムを設けている。

・ネットワーク関係

本システムには大きく分けて車両物流管理に用いられる車両用通信網と広域ネットワークがあり、それぞれ幾つかのネットワークから構成される。

(i) ごみ収集車通信網

ごみ収集車通信網は、ごみ収集車の物流管理に使用されるもので、ごみ収集車に搭載

された通信ユニットとごみ収集車両管理システム通信サーバとの通信網である。

(ii)トラック車両通信網

トラック車両通信網は、コンテナ輸送トラックおよび廃油を輸送するタンクローリ車の物流管理に使用されるもので、トラック、タンクローリに搭載された通信ユニットとトラック・海上物流管理システム通信サーバとの通信網である。

(iii)構内車両通信網

構内車両通信網は、パワーセンター構内のコンテナ輸送トラックの物流管理に使用されるもので、トラックに搭載された通信ユニットと構内車両管理システム通信サーバとの通信網である。

(iv)ごみ収集広域ネットワーク

ごみ収集広域ネットワークは、各リサイクルセンターに設置するごみ収集管理システムと統合物流管理システムを接続する広域ネットワークで、主に収集ごみの物流情報の通信に用いられるネットワークである。

(v)鉄道物流広域ネットワーク

鉄道物流広域ネットワークは、各リサイクルセンター、各パワーセンターに設置するコンテナ管理端末および鉄道会社が保有する鉄道輸送運行管理システムと鉄道物流管理システムを接続する広域ネットワークで、主にコンテナ情報を中心とした鉄道物流情報の通信に用いられるネットワークである。

(vi)パワーセンター物流広域ネットワーク

パワーセンター物流広域ネットワークは、各パワーセンターに設置するパワーセンター物流管理システムと統合物流管理システムを接続する広域ネットワークで、主にパワーセンター構内物流情報の通信に用いられる。

・コンテナ管理

コンテナの物流管理は、コンテナを識別するためのコンテナ番号等によりトラッキング処理を行えば管理可能であるが、本システムでは、物流に必要な情報をコンテナ自身が保有するとともに、通信機能を併せて装備し、よりスムーズで確実な物流管理方式を構想している。

(i)コンテナ保有情報

コンテナには、コンテナ番号、輸送ごみ区分、輸送ルート、積み込み日時、出荷先、出荷日時、到着日時、実/空区分、洗浄区分など、物流の要所要所で読み書きされる情報を保有させ、その情報を利活用したスムーズなコンテナ運用を実現可能とする。また、その他の情報として、コンテナ製造日時、点検履歴などの保守情報も併せて持たせ、設備保全に供する。

(ii)通信施設

上記のコンテナ情報の読み書きのために、地上に通信施設を設けるが、その設置場所としては、リサイクルセンターのコンテナ出荷ゲート、鉄道沿線要所、フェーリー埠頭、

パワーセンター入着ゲート、ストックヤード入り口/出口、ごみピット前のトラックスケール位置など、主要な物流管理ポイントが候補としてあげられる。

(iii)設備イメージ

この通信機能を持ったトラッキング媒体は小型ユニットにまとめ、コンテナ上方に防水カバー付きで装備する構想である。

② システム機能

各システムの機能は、以下の内容を持っている。

- ・発電ごみ統合物流管理システム

(i)物流スケジューリング機能

各リサイクルセンターのごみ収集状況より、発電ごみの出荷量を予測し統合物流計画を作成する。

統合物流計画は、鉄道物流計画とトラック・海上物流計画に分解し、鉄道物流管理システムおよびトラック・海上物流管理システムへと各々通知する。また、パワーセンターには発電ごみの受け入れ計画を通知する。

スケジューリングに際しては、各リサイクルセンターの発電ごみストック量、気象(陸上、海上)、交通情報などを取り込み、スケジューリングに反映する。スケジューリングは、輸送負荷の平準化、およびリサイクルセンターが保有する発電ごみのストック量軽減をねらった物流計画を基本とする。

(ii)統合運行監視機能

鉄道物流管理システムからの運行状況、トラック・海上物流管理システムからの通行状況(陸上、海上)、およびパワーセンターからの構内物流状況を統合し、発電ごみ全体の物流状況を表示する。

(iii)統合実績管理機能

鉄道物流管理システムからの物流実績、トラック・海上物流管理システムからの物流情報、およびパワーセンターからの構内物流実績を統合し、発電ごみ全体の物流日報、月報、年報を作成する。

- ・鉄道物流管理システム

(i)物流計画機能

発電ごみ統合物流管理システムからの鉄道物流計画を受け、鉄道輸送計画を作成する。輸送計画は、各リサイクルセンターへの出荷指示に分解し、各リサイクルセンターへ通知する。また、鉄道会社へは輸送依頼を通知する。

(ii)運行監視機能

各リサイクルセンターからの鉄道輸送出荷状況、パワーセンターからの鉄道輸送入着状況、および鉄道会社からの運行状況の通知を基に鉄道物流の運行状況を表示する。

(iii)実績管理機能

各リサイクルセンターからの鉄道輸送出荷状況、パワーセンターからの鉄道輸送入着

状況、および鉄道会社からの運行実績の通知を基に鉄道物流の日報、月報、年報を作成する。

・トラック・海上物流管理システム

(i)物流計画機能

発電ごみ統合物流管理システムからのトラック・海上物流計画を受け、トラック配送計画を作成する。配送計画は、逐次各トラックへ通知する。また、海上輸送分についてはフェリー会社に予約の手続き等を行う。

(ii)運行監視機能

各トラックの車両位置、車両動態、配送状況などの運行状況を表示する。海上輸送についてはフェリー会社より通知される運行状況を表示する。

(iii)実績管理機能

各トラックからの配送実績を基にトラック物流の日報、月報、年報を作成する。

・パワーセンター物流管理システム

(i)物流計画機能

発電ごみ統合物流管理システムからの発電ごみ受け入れ計画より、パワーセンター構内のトラック配送計画を作成する。配送計画は、逐次各トラックへ通知する。廃油の受け入れに関しては操作員への作業通知とする。

配送計画に際しては、発電ごみピット、発電ごみストックヤードのストック状況などを取り込み、配送計画に反映させる。また、廃油の受け入れに関しては、廃油貯蔵タンクのストック状況などを取り込み、作業計画に反映させる。

(ii)運行監視機能

各車両の配送状況を表示する。廃油の受け入れに関しては、作業員の作業状況の管理を行う。

(iii)実績管理機能

各車両の配送実績を基に車両物流の日報、月報、年報を作成する。また、トラックスケール（発電ごみ）、油計量器（廃油）の軽量実績を集計し、パワーセンターへ発電ごみ引き渡し伝票として通知する。

・リサイクルセンターごみ収集管理システム

(i)配送計画機能

運行実績データをもとにごみ収集車の配送計画を作成する。配送計画は、逐次収集車へ通知する。

(ii)運行監視機能

各収集車の車両位置、車両動態、配送状況などの運行状況を表示する。

(iii)実績管理機能

各収集車からの配送実績を基に日報、月報、年報を作成する。また、ごみの収集実績は発電ごみ統合物流管理システムに通知する。

発電ごみに関する管理も本システムで行う。管理内容としては発電ごみの排出状況、ストック量の管理などで、発電ごみのストック量は発電ごみ統合物流管理システムに通知する。また、発電ごみの排出状況については、リサイクルセンター内のごみ処理設備から発電ごみ引き渡し伝票で通知される。

③ システムレイアウト

鉄道物流管理システム、トラック・海上物流管理システム、統合物流管理システムは集中的な情報管理システムであることから、物流情報センター（仮称）に集約、集中運用することが適当と考えられる。

パワーセンター物流管理システムはパワーセンター構内の物流管理を行うことから、当該パワーセンター構内の管理棟に整備して、パワーセンター内の運用とすることが適当と考えられる。

ごみ収集管理システムはリサイクルセンターに収集するごみの収集管理、および発電ごみの管理を行うことから、当該リサイクルセンターの管理棟に整備、リサイクルセンター内の運用とすることが適当と考えられる。

なお、トラック・海上物流管理システム、ごみ収集管理システムについては管理車両の台数、管理エリアなどにより、システムの集約、分割など、システム規模の適正化について検討する必要がある。

d. 発電ごみ輸送事業計画

① 事業計画検討の基本的考え方

現段階では、各リサイクルセンター並びにパワーセンターの正確な立地やごみ処理量が未確定なため、発電ごみ輸送システムにおける鉄道、海上、トラック輸送の望ましい組み合わせが確定できない。このため、輸送システムに必要な主要機器・設備・施設の仕様や数量の確定も難しい。

そこで、輸送システムに必要な主要機器・設備・施設をリストアップするとともに、概略で事業費や事業収入を想定し、事業計画を検討した。

② 事業費の想定

輸送システムに必要な主要機器・設備・施設をリストアップしたものを表 3-20 に示す。

パワーセンター内ストックヤードの保管、荷捌きシステムによって事業費は大きく変わってくるが、この事業計画の検討ではフォークリフト案を前提として、第 I 期分の事業費（初期投資額）として 150 億円を、第 IV 期（最終）分の事業費として 300 億円を想定した。

③ 事業収支計画の前提条件

事業収支計画の検討に当たり、事業費以外に下記の事項を前提条件とする。

・事業者

本事業は基本的に純民間事業として計画する。ただし、状況により第三セクター等になることもあり得る。

表 3-20 第 I 期の発電ごみ輸送システム主要機器・設備・施設²⁵⁾

	必要数量 (参考)	備 考
リサイクルセンター (1ヶ所当たり)		
発電ごみ圧縮装置	2~3 ライン	機械基礎必要
発電ごみ圧縮装置上屋	1,000 坪程度	参考事例より規模推測
フォークリフト	2 台	
コンテナヤード舗装	150~300 坪程度	保管能力 60 コンテナ
廃油貯蔵タンク	150m ³ 程度	
鉄道引き込み線	1 編成 24 両で約 600m	
パワーセンター (フォークリフト案)		
鉄道引き込み線	4 編成対応	
コンテナ積替用重機(25t フォーク)	27 台	
コンテナヤード舗装	7,000 坪程度	
脱着コンテナ式ダンプ	13 台	
コンテナ洗浄機、排水処理施設	150m ³ /日程度	
秤量機 (トラックスケール)	3 台	
廃油貯蔵タンク	600m ³ 程度	
20 フィートコンテナ	1,700 コンテナ	ロス率 15%考慮
物流管理 (情報) システム	一式	
海上輸送		
可動栈橋	最低 2ヶ所	
フェリーバージ	最低 1 隻	プッシャー込み
(参考) パワーセンター自動倉庫案		
自動倉庫システム	1 2 式(1,872 棚)	
トランスファークレーン	6 台	
AGV	22 台	

・事業収入

ごみ処理費から 7,500 円/トンの事業収入が得られるものとする。

・事業支出

施設・設備の償却費並びに保守費、日本貨物輸送等への業務委託費、人件費、水光熱費、借地料、保険料等の事業支出を第 I 期 64 億円/年、第 IV 期 161 億円/年と想定する。

・その他

補助金は想定しない。

④ 概略事業収支計画

参考として、これらの概略条件を前提にして積み上げた、第IV期（最終）の全県を対象にした概略事業収支を表 3-21 に示す。

表 3-21 第IV期における発電ごみ輸送の概略事業収支 ²⁵⁾

収 入		備 考		支 出		備 考	
ごみ輸送費	165 億円	7.5 千円/トン	建設費	28 億円	建設費×0.092		
			保守費	3 億円	建設費の1%		
			人件費	9 億円	60人×15百万円/年		
			借地料	15 億円	17ha×9,000円/m ³ 年		
			保険料	3 億円	建設費の1%		
			システム管理費	3 億円			
			その他	100 億円	JR等の委託費他		
合 計	165 億円		合 計	161 億円			

注) 1) 第IV期（最終期）までの建設総額を 300 億円とする。

2) 利率 4%、耐用年数 15 年とした場合の資本回収係数は、0.092 となる。

e. 将来における検討課題

この事例では、リサイクルセンター、パワーセンターの操業条件を一定にした上で発電ごみ輸送システムの検討を行った。従って、今後は川上（リサイクルセンター）から川下（パワーセンター）に至る全プロセスを通した最適なプロセスを構築するために、リサイクルセンターとパワーセンターの操業条件を見直しながら、輸送システムを比較・検討する必要がある。具体的には、輸送する発電ごみの分類方法や、パワーセンターのストックヤードにおける保管量（3 日分）の見直し等が発電ごみ輸送システムの事業費に大きく影響するため、それらの条件を変えながらパワーセンター事業の最適トータルシステムを検討しなければならない。

加えて、交通インフラの渋滞解消と環境負荷低減に配慮しながらパワーセンター事業の安定運転に寄与する最適発電ごみ輸送システムを実現するため、下記の検討課題について具体的な対応を行うことが必要である。

- ① リサイクルセンター、パワーセンターの立地並びに面積の確定
- ② ①を踏まえた日本貨物輸送（株）との協議
- ③ 海上輸送に利用できる土地、航路の調査、検討
- ④ リサイクルセンター、パワーセンター周辺の公共によるインフラ整備の必要性の検討
- ⑤ 具体的な物流シミュレーションによる発電ごみ輸送システムの能力検討
- ⑥ ⑤を踏まえた事業計画の策定

3.3 国内外への市場拡大の可能性

国内外への新技術の市場拡大に関しては、これまでの実績からも CDM の活用分野が有望であると考えられる。これまでの CDM は、第 2 章で記載したように、埋立処分地での CH₄ を含む発生ガスの回収、利用が主であったが、今後はリサイクルシステム、コンポスト、焼却などが増加すると予想されている⁴⁾。このうち、リサイクルシステム、コンポストの分野では、これまでの日本における経験や技術を活用して、現地の実状に併せた技術の適用とともに、市場拡大が可能であると考えられる。

また埋立処分地では、構造を準好気性に変えることで CH₄ を含む発生ガスの排出を抑制することができる。現在、日本では多くの埋立処分地が準好気性構造になっており、この経験や技術も CDM として活用できる範疇にあると考えられる。

さらに、日本で製造される焼却施設は、燃焼効率や排ガス処理装置の高度化が進んでおり、完全燃焼の実現によりダイオキシン類などの有害物質による環境負荷が少ない。焼却施設における日本の技術は世界の最新レベルにあることから、産業廃棄物焼却炉も含めて市場拡大が期待できる分野である。

これら CDM の拡大により、途上国への技術移転が促進され、さらに温室効果ガス排出量が削減されることになる。

3.4 今後の課題

これまで述べたように、CO₂ 排出量の削減効果を大幅に向上する方法としては、①熱回収における発電効率を高める、②発電後の廃熱利用の用途を拡大する、③より発熱量の高い廃棄物の混焼により高効率発電の実現を図る、などが挙げられる。

a. 熱回収における発電効率の向上による CO₂ 排出量の削減

焼却施設からの熱回収による発電の場合、作られた電気は場所を選ぶことがなく使用できることから、周辺に事業所や住宅が少ない既存の施設でも、発電効率を高めた分だけ CO₂ 排出量を削減できる。このため、発電は適用性が高く、目標値が決められた CO₂ 削減量を数値的に予測することが可能である。環境省が発電効率の向上を第 1 に挙げたのは、この理由が大きいと考えられる⁵⁾。焼却炉や廃熱ボイラの製造メーカーも事例紹介したように力を入れて取り組んでいるのは、汎用性が高い技術であるためと考えられる。

しかし、焼却施設からの熱回収は、国内外を問わず一般廃棄物焼却炉が中心になっており、産業廃棄物焼却炉では発電等の熱回収は進んでいない。一般廃棄物の場合、廃棄物の発熱量は最大でも 11,000kJ/kg 程度であり、この場合は熱回収機器の改善を十二分に図っても発電効率は最大で 30%程度が限界といわれている。また、欧米のように焼却施設的能力を高めることで総発電量を増やすことが可能であるが、施設の大型化は周辺住民との関

係から飛躍的な増加は難しい状況にある。

一方、産業廃棄物焼却炉では発電等の熱回収は進んでいない。これは、産業廃棄物は種類が多く（日本では20種類）、種類によって組成、含水率および発熱量が大きく異なるため、安定燃焼することが難しいためである。焼却施設の第一の目的は、安定燃焼によって廃棄物を完全に分解することであり、熱回収が目的ではない。多種類の産業廃棄物を処理するなど、安定燃焼の確保が難しい産業廃棄物焼却炉での発電を含めた熱回収は、周辺環境への影響や炉材の腐食等の問題で適応が難しい。一般廃棄物焼却炉のように、燃焼室の改善や耐腐食性の高い機材の使用により熱回収率を高めることは可能である。しかし、発電を行うには廃棄物処理や電気の供給を安定的に実行するため複数炉の設置が必要となり、コスト等の問題で経済的なメリットが少ない。また、一般廃棄物焼却炉に比べて排ガス中の腐食性ガス(NO_x 、 SO_x など)の濃度が高いケースが多いため、より高価な耐腐食性機材を使用しなければ短期間で機器が腐食してしまう。従って、現状では産業廃棄物焼却炉において熱回収による発電を積極的に行うのは難しい。この状況は今後も変わらないと考えられるので、産業廃棄物焼却炉を活用した大幅な CO_2 排出量削減を行う場合には、現状とは別の方法をとらざるを得ない。

b. 廃熱の用途拡大による CO_2 排出量の削減

現在は、熱回収による発電を行っている一般廃棄物焼却炉を含めて、発電以外の熱回収があまり行われていない。これは、焼却施設の立地が都市の中心部にあることが少なく、電気以外には周辺での用途が少ないためと考えられる。欧米では、早くから焼却施設を熱供給施設の一つとして位置付け、都市の中心部に立地して積極的に地域熱供給を行ってきた。発電単独と発電+地域熱供給等による総合熱効率の向上とを比べると、 CO_2 排出量の削減効果は後者の方が大きい。従って、廃熱の用途拡大は CO_2 排出量の大幅な削減を図る際には重要な課題となる。

用途拡大を図る第1の方法は、事例で紹介したように焼却施設を都市部に立地して地域熱供給を行うことである。これに加えて、発電後の廃熱利用を積極的に行うため、低温廃熱の利用・回収効率を高めるための機器や熱媒体の開発を進め、かつ広い範囲で利用できる技術の開発も必要であると考えられる。熱効率の向上は低コストで高い効果が得られる方法であると考えられる。

一方、産業廃棄物焼却炉の場合、発電を行うメリットは少ないが、機器における腐食の影響を受けにくい低温蒸気や温水の回収は十分に可能であることから、この廃熱を活用する方法がある。産業廃棄物の処理では、その過程で蒸気や温水などを使用することが多く、施設内での廃熱用途は多い。焼却施設の場合、廃熱の直接的な利用は発電と比べて熱効率が高いので、熱回収率が発電ほど高くなくても CO_2 排出量の削減に効果がある。従って、産業廃棄物焼却炉では発電以外での熱回収率を高めるための機器の開発が重要である。

c. より発熱量の高い廃棄物の混焼による CO₂ 排出量の削減

一般廃棄物の可燃ごみに産業廃棄物の一部（廃プラスチック類、廃ゴム、木くず、繊維くず、廃油など）を混合し、発熱量の高い混合ごみを発電プラント等で焼却することで熱回収率の向上を図ることができ、目的を達成することが可能となる。日本では、一般廃棄物と産業廃棄物は法的に区別しているため、現状では制度を変えない限り実行は難しいが、混合ごみは組成が類似しており安定燃焼の確保が容易で発電効率も最大で 45%まで向上できることから^{2,3)}、処理事業としての利益確保も可能である。神奈川県の実例では CO₂ 排出量の削減効果が極めて高いことが示唆されていた。イタリアの実例でも、発電コストが他と比べて低いと評価されている²⁴⁾。ただし、混合ごみの燃焼では、発熱量が 20,000kJ/kg と化石燃料並みに高くなることもあるので、従来の焼却炉には適用できないこともある。このため、この条件に適用できる燃焼室の構造、二次空気の供給技術および炉材等の腐食を防止するための鋼材の開発が必要になると考えられる。

産業廃棄物単独で考えた場合、バイオマスを利用した発電技術があり、既に国内外で実行されている。ただし、廃棄物である建設物の解体から発生するバイオマスの利用では、ヒ素やクロムを含む防腐剤を使用した解体木材が混入する可能性があるため、事前選別などの前処理が必要となりコストに影響する。また、間伐材等のバイオマスの利用ではコストが高くなるため、1 バレル当たりの原油価格が 100 ドル以下では経済的なメリットが少ないといわれている。原油価格 100 ドル以下の状態が今後も継続すると予想されていることから、新たな事業参入は難しいと考えられる。

d. その他

焼却施設の規模拡大や産業廃棄物との混焼を行う場合、対象となる廃棄物の収集形態が大きく変わる。廃棄物の収集を効率よく行うためには、収集のための中継施設の建設に加えて、従来の収集車だけでなく、より大量に輸送できる鉄道や船舶による収集・輸送システムの構築が重要である。

焼却施設の大型化と廃棄物の混焼が進んでいる欧州や米国では、廃棄物を大量輸送するため鉄道や船舶などの海上輸送が広く行われている。日本においても、鉄道輸送および海上輸送に関わるインフラ整備が進んでおり、欧米と同程度の収集輸送システムを作り上げることは可能であると考えられる。しかし、日本では廃棄物の広域収集や安定した広域輸送について検討した例は極めて少ない。

事例で紹介した神奈川県の例は、検討時期が平成 13 年のため現状では適用が難しい箇所もあるが、コスト的に事業化が可能であることが示唆されていた。住民との関係から難しい面もあるが、十分に検討する価値はあると考えられる。

以上のことから、今後は以下の点について検討を進めるべきであると考えられる。

- ・ 焼却施設からの低温廃熱をより広い用途に利用するため、イノベーション等により熱交

換率が高く、効率的な熱媒体や機器の開発を進める。

- 発熱量が高い混合ごみの燃焼は、従来の焼却施設に比べて燃焼温度が高くなる可能性があるため、この条件に適用できる燃焼室の構造、二次空気の供給技術および炉材等の腐食を防止するための鋼材の開発を進める。
- より高圧・高温の蒸気発生が可能なボイラや高効率発電機の開発などを進める。
- 広域的な混合ごみを効率よく、低コストで収集する方法、安全・安心の保管・貯留施設の構造および安定した物流確保が実行できるシステムの構築等について技術開発を進める。

参考文献

第 1 章

- 1) 「平成 19 年度 下水道統計」(社) 日本下水道協会
- 2) “Greenhouse gas accounting and waste management” Emmanuel Gentil, Thomas H. Chritensen and Emmanuelle Aoustin, *Waste Management & Research*, vol.27, pp.696-706 (2009)
- 3) NEDO : 廃棄物発電、国内の廃棄物発電導入状況推移
<http://www.nedo.go.jp/nedata/14fy/04/b/0004b001.htm>
- 4) ”Energy from Waste 2006” ISWA
- 5) ”An Overview of Landfill Gas Energy in the United States” U.S. Environmental Protection Agency, Landfill Methane Outreach Program (LMOP) <http://www.epa.gov/lmop>
- 6) ”White Paper on Waste & Climate Change 2009” ISWA
- 7) ”IEA Statistics” IEA (2009) <http://www.iea.org/Textbase/stats/index.asp>
- 8) “Energy efficiency in waste-to-energy and its relevance with regard to climate control” Arne M. Ragossnig, Christian Wartha and Andreas Kirchner, *Waste Management & Research*, vol.26, pp.70-77 (2008)
- 9) “Energy Report (Confederation of European Waste-to-Energy plants)” CEWEO, Bamberg. Reimann, D.O. (2006)
- 10) “Energetic optimization potential for municipal solid waste incinerators” Seiler. U., Optimization in Thermal Waste Treatment (2005)
- 11) “Cold from heat” Krottil, R., Heizung-Luftung-Klimatechnik (2007)
- 12) “Delivering the big chill” *Building Design & Construction*, vol.39, pp.42-44 (1998)
- 13) “Feasibility of Landfill Gas as a Liquefied Natural Gas Fuel Source for Refuse Trucks” Josias Zietsman, Muhammad Ehsanul Bari and Aaron J. Rand, *Air & Waste Management Association*, vol.58, pp.613-619 (2008)
- 14) “Final Report Comparison of Models for Predicting Landfill Methane Recovery” Augenstein, D., The Solid Waste Association of North America: Silber Spring, MD (1997)
- 15) “Solid Wastes and Residue, Conversion by Advanced Thermal Processes” ACS Symposium Series 76; Jones, J. L. and Radding, S. B., *American Chemical Society*, (1978)
- 16) “Waste Management’s LNG Truck Fleet: Final Results. Report” NREL/BR-540-29073; U. S. Department of Energy; National Renewable Energy Laboratory: Golden, CO (2001)
- 17) “Landfill Gas Process, Engineered Gas Systems Worldwide” ;
http://www.Enggas.com/Level_1/fg_process.htm

第2章

- 1) “世界の排出量取引制度の最新情報” 環境省 戸田英作、IGES 排出量取引セミナー—海外制度、国際リンク、国際交渉に関する最新動向— 2009年10月19日
- 2) 環境省：<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=11556>
- 3) (財)地球環境戦略研究機関：CDM・JIプロジェクト関連データ
- 4) “United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)”：Project Activities
<http://www.unfccc.int/projects/index.html>
- 5) 京都メカニズム情報プラットフォーム：国連 CDM 理事会登録済プロジェクト情報
- 6) “廃棄物処理分野における CDM 事業活動” 河井紘輔、山田正人、*廃棄物学会誌*、vol.20, pp.165-170 (2009)
- 7) “埋立処分場メタンガス回収プロジェクト開発への取り組み” 栗田弘幸、*廃棄物学会誌*、vol.20, pp.171-176 (2009)
- 8) “マレーシア国廃棄物処分場における CDM 準好気性埋立プロジェクト” 椿 雅俊、植野修一、辻 芳伸、*廃棄物学会誌*、vol.20, pp.177-182 (2009)
- 9) “マレーシアにおける廃棄物の処理処分の現状” 松藤康司、*環境技術*、vol.32, pp.606-610 (2003)
- 10) 外務省データ <http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/malaysia/index.html>
- 11) “Generation of Greenhouse Effect Gases from Different Landfill Types” Y. Matsufuji, H. Hanashima, S. Nagano and A. Tanaka, *Engineering Geology*, vol.34, pp.181-187 (1993)
- 12) “Generation of Greenhouse Effect Gases by Different Landfill Types and Methane Gas Control” 7th ISWA International Congress, vol. I , pp.230-237 (1996)
- 13) 新エネルギー・産業技術総合開発機構・東急建設（株）：平成 19 年度 CDM/JI 推進調査事業、マレーシア国における閉鎖処分場のメタンガス排出削減調査 (2008)
- 14) “開発途上国廃棄物分野における気候変動対策への支援協力の課題” 吉田充夫、森 尚樹、*廃棄物学会誌*、vol.20, pp.187-196 (2009)
- 15) “Estimates of CO₂ Emissions Reduction and Potential Power Generation from Biogas at Mare Chicose Landfill” A. Mudhoo and R. Mohee, *International Journal of Global Environmental Issues*, vol.9, pp.169-192 (2009)
- 16) “廃棄物処理と地球温暖化対策—準好気性埋立構造による埋立地からのメタン排出量の削減” 松藤康司、立藤綾子、*都市清掃*、vol.60, pp.351-356 (2007)
- 17) “The Impact of Landfilling and Composting on Greenhouse Gas Emissions-Review” X. F. Lou and J. Nair, *Bioresource Technology*, vol.100, pp.3792-3798 (2009)
- 18) “Magnetic Susceptibility Variation of MSW Compost-amended Soils: In Situ Method for Monitoring Heavy Metal Contamination ” M. Yoshida, N .Jedidi, H. Hamdi, F. Ayari, A. Hassen and A. M’hiri, *Waste Management & Research*, vol.21, pp.155-160 (2003)

- 19) “Proposal for the Integration of Decentralised Composting of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste into the Waste Management System of Cuba” I. Korner, I. Saborit-Sanchez and Y. Aguilera-Corrales, *Waste Management*, vol.28, pp.64-72 (2008)
- 20) “Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction” D. Deubein and A. Steinhäuser, Wiley-VHC (2008)
- 21) “Biodiesel Production from Waste Cooking Oils” A. N. Phan and T. M. Phan, *Fuel*, vol.87, pp.3490-3496 (2008)
- 22) “インドネシア国パーム油廃棄物からのバイオ・ディーゼル製造事業” (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) : 共同実施等推進基礎調査報告書 (2004)
- 23) “Potential of CO₂ Emission Reduction by Carbonizing Biomass Waste from Industrial Tree Plantation in South Sumatra, Indonesia” Y. Okimori, M. Ogawa and F. Takahashi, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol.8, pp.261-280 (2003)
- 24) “フィリピン国サンマテオ埋立処分場でのクリーン開発メカニズム事業調査—廃棄物埋立処分地から発生するメタンガスを利用した木炭製造とその有効利用調査—” 平賀 良、上田 博、藤川輝昭、芳倉太郎、阿部郁夫、*生活衛生*, vol.50, pp.33-42 (2006)
- 25) JICA HP : 我が国 ODA を活用した民間企業のプロジェクトが初めて CDM 事業登録—スリランカ「環境対策支援事業」による「ココナッツ殻の炭化および発電事業」
http://www.jica.go.jp/press/2008/20090331_04.html
- 26) “The Impact of Municipal Solid Waste Management on Greenhouse Gas Emissions in the United State” K. A. Weitz, S. A. Thorneloe and S. R. Nishtala, *Air & Waste Management Association*, vol.52, pp.1000-1011 (2002)
- 27) JICA HP : バングラデシュ「環境プログラム無償資金協力 (ダツカ市廃棄物管理低炭素化転換計画)」
http://www.jica.go.jp/mofai/gaiko/oda/data/zyoukyou/h20/090218_1.html
- 28) JICA 国際協力総合研修所 (編) : 開発途上国廃棄物管理分野のキャパシティ・ディブロップメント支援のために—社会全体の廃棄物管理能力の向上を目指して (改訂版)、(独) 国際協力機構刊 (2005)
- 29) ”White Paper on Waste & Climate Change 2009” ISWA
- 30) “Recycling revisited-life cycle comparison of waste management strategies” A. Bjorklund and G. Finnveden, *Resources, Conservation and Recycling*, vol.41, pp.83-102 (2005)
- 31) “Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion” O. Eriksson, G. Finnveden, T. Ekvall and A. Bjorklung, *Energy Policy*, vol.35, pp.1346-1362 (2007)
- 32) “Energy efficiency in waste-to-energy and its relevance with regard to climate control” Arne M. Ragossnig, Christian Wartha and Andreas Kirchner, *Waste Management & Research*, vol.26, pp.70-77 (2008)

- 33) “Energy use and recovery in waste management and implication for accounting of greenhouse gases and global warming contributions” T. Fruergaard, T. Ekvall and T. Astrup, *Waste Management & Research*, vol.27, pp.724-737 (2009)
- 34) “Results of Specific Data for Energy, RI Plant Efficiency Factor and Net Calorific Value of 231 European WtE plants” D. Reimann, *CEWEP Energy Report II (Status 2004-2007)*, (2009)
- 35) “High Quality Solid Recovered Fuel: International Perspective of Potential Use and Cost Ranking Among Renewable Energy Sources” M. Frigerio, Proceeding Sardinia 2007, *Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium*, (2007)
- 36) “Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions” T. Astrup, J. Moller and T. Fruergaad, *Waste Management & Research*, vol.27, pp.789-799 (2009)
- 37) ”An Overview of Landfill Gas Energy in the United States” U.S. Environmental Protection Agency, Landfill Methane Outreach Program (LMOP) <http://www.epa.gov/lmop>
- 38) “クリーン開発メカニズム(CDM)の仕組みと現状” 小坪一久、水野勇二、*廃棄物学会誌*、vol.20, pp.149-157 (2009)
- 39) “IGES CDM 再審査・却下プロジェクトデータ分析” (財)地球環境戦略研究機関、日本語版 2009年4月更新 (2009)

第3章

- 1) “グリーン革命（上）（下）：温暖化、フラット化、人口過密化する世界” トーマス・フリードマン 著、伏見威蕃 訳、日本経済新聞出版社（2009）
- 2) “High Quality Solid Recovered Fuel: International Perspective of Potential Use and Cost Ranking Among Renewable Energy Sources” M. Frigerio, *Proceeding Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium*, (2007)
- 3) “Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions” T. Astrup, J. Moller and T. Fruergaad, *Waste Management & Research*, vol.27, pp.789-799 (2009)
- 4) ”White Paper on Waste & Climate Change 2009” ISWA
- 5) “高効率ごみ発電施設整備マニュアル” 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課、pp.23-24 (2009)
- 6) “高効率ごみ発電の最新技術について”（社）日本環境衛生施設工業会、*都市清掃*, vol.62, pp.502-514（2009）
- 7) “高効率廃棄物発電ボイラ加熱器の技術開発と稼働実績” 木下弘志ほか、第16回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.790-792 (2005)
- 8) “大型ガス化溶融施設におけるダイオキシン類抑制と高効率発電” 柏原 友ほか、第18回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.582-584 (2007)
- 9) “北九州市における高効率廃棄物発電の導入とその実際” 三島達哉、*資源環境対策*, vol.45, pp.39-45 (2009)
- 10) “低炭素社会に向けての廃棄物発電の評価に関する研究” 盛岡修一、博士論文（2009）
- 11) “日本におけるごみ焼却廃熱による地域熱供給のポテンシャル” 福島朝彦、*都市清掃*, vol.62, pp.515-520（2009）
- 12) “平成16年度新エネルギー等導入促進基礎調査〔未利用熱エネルギー導入基盤整備調査〕” 経済産業省委託調査、日本環境技研（株）(2005)
- 13) “京都議定書目標達成に向けて建築・都市エネルギーシステムの新技術” 空気調和・衛生工学会編（2007）
- 14) “千葉ニュータウン都心地区におけるごみエネルギーの有効利用について” 高橋康夫、*都市清掃*, vol.62, pp.524-528（2009）
- 15) “ごみ焼却廃熱による地域熱供給について” 植田大輔、清水一夫、*都市清掃*, vol.62, pp.529-536（2009）
- 16) “清掃工場の低温廃熱利用に関わる検討について” 寺門明良、速水草一、*都市清掃*, vol.60, pp.376-380（2007）
- 17) “未利用エネルギーの活用 焼却廃熱の車両輸送について” 青木 勇、中島優一、高橋和雄、東 康夫、*都市清掃*, vol.60, pp.372-375（2007）

- 18) (財)省エネルギーセンター資料：工場群の廃熱実態調査研究 (2000)
- 19) “蓄熱技術—理論とその応用 第Ⅱ編「潜熱蓄熱、化学蓄熱」”(社)化学工学会 蓄熱・潜熱・熱輸送技術特別研究会
- 20) “熱輸送システムを使用した冷房システムの実用化”中島優一、青木 勇、田頭成能、高橋和雄、東 康夫、第28回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、pp.174-176 (2007)
- 21) 17回日経地球環境技術賞受賞 (2007)、第10回国土技術開発受賞 (2008)
- 22) “神奈川県廃棄物処理対策：その1.発電ごみの処理について”神奈川県 他、平成13年3月
- 23) “SRF: achieving environmental and energy-related goals markets-ERFO (European Recovered Fuel Organization) “ (2006)
- 24) “High Quality Solid Recovered Fuel(HQ-SRF): International Perspectives of Potential use and Cost Ranking among Renewable Energy Sources” M. Frigerio, *Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium*, (2007)
- 25) “神奈川県廃棄物処理対策：その2.発電ごみ輸送事業計画”神奈川県 他、平成13年3月

非 売 品

禁無断転載

平 成 2 1 年 度

廃棄物分野における温暖化対策に関する動向等調査報告書

発 行 平成 2 2 年 3 月

発行者 社団法人 日本機械工業連合会
〒105-0011
東京都港区芝公園三丁目 5 番 8 号
電 話 0 3 - 3 4 3 4 - 5 3 8 4

社団法人 産業と環境の会
〒105-0001
東京都港区虎ノ門一丁目 3 番 6 号
電 話 0 3 - 3 5 8 0 - 2 1 4 1