廃棄物処理等科学研究費補助金 研究報告書概要版

研究課題名・研究番号＝焼却施設における熱回収効率向上・省エネルギー等温暖化対策技術に関する研究（K1858）

国庫補助金精算所要領（円）＝3,684,000

研究期間（西暦）＝2006

研究年度（西暦）＝2006

代表研究者名＝八木 美雄（財団法人 廃棄物研究財団）

共同研究者名＝近藤 和義（財団法人 廃棄物研究財団）、宇野 晋（財団法人 廃棄物研究財団）

研究目的＝2005 年 2 月に京都議定書が発効し、官民挙げての温室効果ガス排出量の低減が急務となっている。このため、廃棄物焼却施設においてもエネルギーの更なる有効利用や省エネルギー化を推進し、二酸化炭素排出量の低減等の地球温暖化対策に寄与する必要がある。

しかしながら、地方自治体が所有する焼却施設においては、財政逼迫のため、現状の処理体系の維持に精一杯で、エネルギーの有効利用等の新たなる研究開発や設備更新を推進する余裕はない。また、焼却施設における温暖化対策に関する技術的な研究成果もほとんどなく、本分野の研究開発・情報発信が強く望まれているのが現状である。

そこで、既存焼却施設における未利用エネルギーの有効利用方策及びその評価方法を体系的にまとめ、自治体を中心に関連企業等に情報を提供することにより、所有する焼却施設での温暖化対策の参考となり、未利用エネルギーの利活用へのインセンティブを与えるものである。

研究方法＝

1. 既存焼却施設における熱回収効率向上・省エネルギー等温暖化対策技術の研究
   1) 運用上可能な温暖化対策の研究

      「ガス再加熱器出口温度の設定変更による発電量の増加」や「隣接工場との負荷調整によるピーク調整」など、改造費用を伴わない運用上の省エネルギー等温暖化対策の効果について、文献調査の他、自治体やメーカー等のコメントを踏まえ、とりまとめを行った。

   2) 施設の改造を伴う温暖化対策の研究

      「廃棄物の発電ネットワーク化」や「焼却施設における ESCO」検討など、施設の改造や機器増設等の改造費用を伴う効率的事業運営方法や省エネルギー等温暖化対策について、文献調査の他、自治体やメーカー等のコメントを踏まえ、とりまとめを行った。

3） 国内の温暖化対策実施例の調査

水噴射炉を廃熱ボイラに変更した事例や、焼却施設への ESCO 導入等、温暖化対策に資する先進的な事例について、ヒアリング調査を実施した。

2. 熱回収効率向上・省エネルギー等温暖化対策研究事例の評価

「1. 既存焼却施設における熱回収効率向上・省エネルギー等温暖化対策技術の研究」で取りまとめられた研究事例に対し、温暖化対策効果評価指標である $LCCO_2$ と施設の改造に伴うイニシャル･ランニングコストの両面から、評価検証を行った。

さらに、自治体やメーカー等の現場サイドの意見を加味した上で、現場に即した効果的・効率的で実行性のある温暖化対策技術の提示（リストアップ）を行った。

3. 委員会の設置

本研究が、自治体所有の焼却施設をターゲットにし、そこでの適用を指向していることから、主要都市を中心とした産官学による委員会を設置し、アドバイスを受けながら研究を推進した。

委員会は、18 年度に 2 回行っており、委員メンバーは下表のとおり。

氏　名	所　　属	役　　職
明橋　武博	大阪ガス（株）	ｴﾈﾙｷﾞｰｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞﾁｰﾑ ﾏﾈｼﾞｬｰ
鮎川　大祐	(株)タクマ	プロジェクトセンター環境技術第1部長
浦邊　真郎	福岡大学大学院工学科	客員教授
勝又 和信	横浜市資源循環局	適正処理部技術担当部長
熊取谷　要	堺市環境局	環境事業部長
久間　正純	京都市環境局	適正処理施設部担当部長
香西　幸男	カワサキ環境ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ(株)	技術企画部長
坂田　和昭	（株）神鋼環境ｿﾘｭｰｼｮﾝ	技術本部プラント技術部長
篠原　庸泰	神戸市環境局	施設課主幹
澁谷　榮一	JFE環境ｿﾘｭｰｼｮﾝｽﾞ（株）	環境エンジニアリング本部環境設計部長
畑辺　高行	東京二十三区清掃一部事務組合	施設管理部長
平賀　良	大阪市環境事業局	処理技術担当部長
三野　禎男	日立造船(株)	エンジニアリング本部環境計画部長
山口　弘澄	川崎市環境局	施設部長

（五十音順、敬称略）

調査協力機関

氏　名	所　　属	役　　職
吉川　克彦	(株)アーシン	専務取締役 計画部長

結果と考察＝

1. 既存焼却施設における熱回収効率向上・省エネルギー等温暖化対策技術の研究

1) 施設の運用上の熱回収効率向上・省エネ等対策技術

既存焼却施設における改造費用を伴わない運用上の省エネルギー等温暖化対策として以下に示す 8 つの技術に着目し、その効果について、文献調査の他、自治体やメーカー等のコメントを踏まえ、とりまとめを行った。

(1) 契約電力の変更による基本料金の削減
(2) 昼夜負荷調整による売電収入の増加
(3) 隣接施設との負荷調整によるピーク調整
(4) 夜間の飛灰処理装置稼働の検討
(5) 年間運転スケジュール及び運転炉数の検討
(6) ガス再加熱器出口温度の設定による発電量の増加
(7) 非常用発電機の常用化による電気料金削減
(8) 白煙防止装置廃止による効果の検討

以下、代表的な研究事例として「(8) 白煙防止装置廃止による効果の検討」のとりまとめ結果を示す。

① 研究目的

焼却施設で一般的に使用されている煙突からの白煙を防止する設備を停止、もしくは廃止した場合の省コスト、CO_2 排出量削減効果の検証を行った。

② 研究条件

白煙防止条件の有無により、発電量、売電量、CO_2 削減量の違いを検証する。なお、研究対象は、下記の施設とした。

- 焼却炉規模　109t/日×2 炉
- 定格発電量　5,000kW
- 白煙防止条件　5℃、50%
- 白煙防止装置運転期間　6 ヶ月/年
- 処理フロー

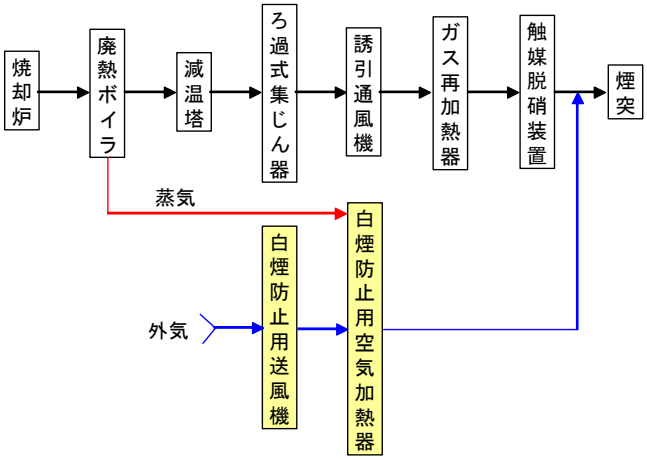

図 1 焼却処理施設フロー

③ 研究結果

表 1 に発電力量、売電力量、CO_2 削減量の比較を示す。白煙防止装置を廃止することで、売電力量の差は 140kW となることから、

140kW×24 h/日×180 日/年×0.000555 tCO_2/kWh＝336 tCO_2/年

年間 336t の CO_2 削減が可能である。

表 2 にコスト試算結果を示す。白煙防止装置を廃止することで、イニシャルコストで約 10 百万円、ランニングコストで約 4.8 百万円の効果がある。

表 1 発電力量等の検討結果

	白防装置あり	白防装置なし	差	備考
発電力量	3,400kW	3,520kW	120kW	2 炉運転時
売電力量	2,030kW	2,170kW	140kW	
CO_2 削減量	1,887kgCO_2	1,954kgCO_2	67kgCO_2	発電量ベース

注）CO_2 排出係数は、「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver.1.2(平成 19 年 2 月 環境省・経済産業省)」の 0.000555 tCO_2/kWh を採用

表 2 コスト試算結果

	白防装置あり	白防装置なし	差	備考
建設費	1,000 万円	0 円	－1,000 万円	
売電収入	70,157 千円/年	74,995 千円/年	4,838 千円/年	8 円/kWh

④ 考察

白煙は、排ガス中の水分が、煙突より排気される段階で外気により冷却され水滴化し白煙として見られるものであり、何ら有害なものではないが、焼却施設近隣の住民との協定等により配慮がなされているのが一般的である。

本研究にてヒアリング調査を行った千歳市、札幌市、秋田市の焼却施設では、寒冷地であり冬季の白煙防止が困難であることから、建設当初より白煙防止装置が設備されていない。また、研究委員より、白煙防止装置の停止を地域住民と取組んでいる施設の報告もされた。

温室効果ガス排出量の低減に向けて、本装置の停止が有効であることが判ったが、既存の白防装置を停止する場合には、排ガス量の低減、温度低下による煙突排出ガス速度低下に十分留意する必要がある。

2) 施設の改造を伴う熱回収効率向上・省エネ等対策技術

既存焼却施設における施設の改造や機器増設等の改造費用を伴う効率的事業運営方法や省エネルギー等温暖化対策として以下に示す８つの技術に着目し、文献調査の他、自治体やメーカー等のコメントを踏まえ、とりまとめを行った。

(1) 廃棄物発電のネットワーク化
(2) 自家発を常用化することにより発生する排熱の有効利用
(3) スーパーごみ発電での蒸気タービンの効率向上

(4) タービン設計点変更による部分負荷時発電量の増加
(5) 既存工場改造による電力収支の改善
(6) ごみ焼却施設での採用可能な自然エネルギーの検討
(7) 高効率機器の採用による電力使用量削減
(8) 焼却施設における ESCO 検討

以下、代表的な研究事例として「(1) 廃棄物発電のネットワーク化」のとりまとめ結果を示す。

① 研究目的

廃棄物発電施設からの余剰電力を特定規模電気事業者（Power Producer and Supplier）を介して、電力の需要家である他の行政施設へ電力を融通する仕組みであり、従来の一般電気事業者との売買電力の価格差を利用し自治体総体としての電力に係る収支を改善する効果が期待できる。

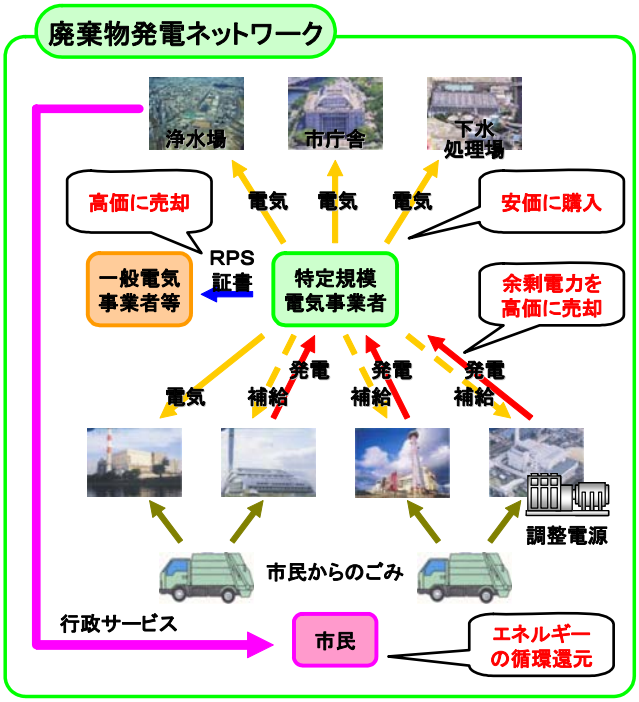

図 3 発電ネットワーク概念図

② 研究条件

平成 16 年度の A 市実績データを基に A 市全 10 工場と 4 下水処理場の廃棄物発電ネットワーク化について検討した。

主発電工場（A7 工場）の余剰電力を他のごみ焼却工場および下水処理場へ供給し、主発電工場（A7 工場）以外で発生した余剰電力は、一般電気事業者へ販売するというケースである。

主発電工場（A7 工場）の余剰電力が他のごみ焼却工場の消費電力量を下回っている場合は、A7 工場に設置した調整電源（ガスエンジン）による発電で不足電力を補う。調整電源を用いても不足する場合は、一般電気事業者より補給電力を購入するか、既存 PPS から補給電力を購入する。

③ 研究結果

現状の A 市の収支とネットワーク化した場合の比較を表 3 に示す。

表 3 コスト試算結果

	現状ケース	ネットワーク化
支出合計	1,704 百万円	958 百万円
収入合計	426 百万円	192 百万円
収支	△1,277 百万円	△766 百万円

ネットワーク化のコストの中には、調整電源としてのガスエンジンの燃料費及びメンテナンス費を含む。

これより A 市は現状より年間 511 百万円収入増が期待できる。調整電源として A7 工場に設置したガスエンジン（11.6MW）のイニシャルコストを 1,340 百万円（想定）とすると、単純回収年数は 2.62 年となる。

④ 考察

自治体内のごみ焼却工場同士で電力ネットワークを構築することで、自治体にとって経済的なメリットが生じる可能性があることが分かった。但し、実際に自治体でこのネットワーク化が導入されるためには、事業として成立することの他に、廃棄物処理行政の動向や発電事業を取り巻く環境の変化など、潜在的なリスクの事業に対する影響度合と頻度を精査した上でのリスク分析が必要であり、また、リスク分散と回避手法などを十分に検討しておくことが重要である。

また、東京二十三区のごみ焼却場を運営する東京二十三区清掃一部事務組合は、ごみ焼却場で発生するエネルギーを使って発電した電気を 2010 年度から小売することを決めた。東京ガスと共同で電力小売会社「東京エコサービス株式会社」を設立、この会社を通じて主に公共施設向けに販売し、ごみ焼却場の運転委託によるアウトソーシングの一層の推進とより収益性の高い電気販売の実現を目指すものであり今後の動向が注目されている。

3) 熱回収効率向上・省エネ等地球温暖化対策実施例

自治体が焼却施設にて行っている地球温暖化対策の先進的な取組み事例をヒアリング調査した。

（1） 水噴射炉のボイラ化による廃熱利用例（千歳市）
（2） 焼却施設における ESCO 事業（三鷹市）
（3） 発電ネットワークシステム（東京二十三区清掃一部事務組合）
（4） 高圧蒸気利用率向上に関する取り組み（明石市）
（5） 蒸気タービン増設事例（秋田市）

以下、代表的な取組み事例として「(5) 蒸気タービン増設事例」の調査結果を示す。

① 改造概要

昭和 58 年に竣工した 200 t /日の焼却炉については、廃熱ボイラが設置されているものの、余熱利用は熱供給のみが想定され、発電設備は設置されていなかった。その後、余剰のボイラ蒸気を有効利用するために、平成 4 年に 1,000kW の背圧タービン設備が追設され、発電電力は施設内で使用されている。

＜蒸気タービン発電機仕様＞

・形式　　減速式背圧タービン
・発電出力　　1,000kW
・蒸気条件　　1.52MPa×201.9℃（飽和蒸気）

増設した蒸気タービンや低圧蒸気復水器は、既存建屋に収まらないため、図 5 に示すような 10mL×12mW×18.5mH の別棟を既設棟に併設し、配置している。

図 4 蒸気タービン発電機

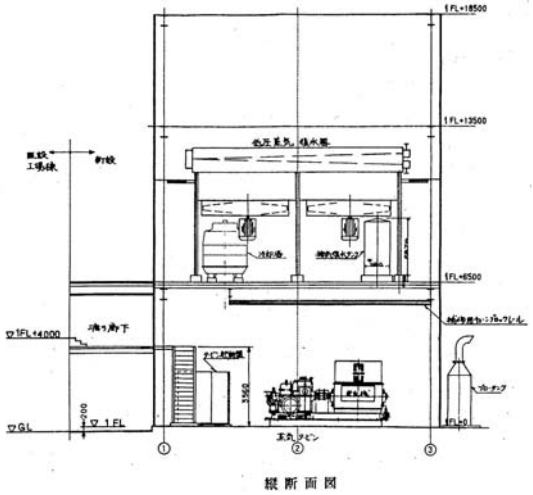

図 5 別棟断面図

② 経済効果及び CO_2 削減効果

タービン増設工事	515 百万円
	内、208 百万円は補助金
発電による電力支出削減効果	約 60 百万円/年
タービン設備の維持管理費	約 12 百万円/年

⇩

年間約 48 百万円の収支改善効果（補助金を除いた金額は 6.4 年で回収）

CO_2 削減効果　　2,358 tCO_2/年（CO_2 排出係数 0.000555 tCO_2/kWh として）

③ 考察

廃熱ボイラによる余熱の有効利用が実施されていないという条件があるものの、蒸気タービン増設により優れた経済効果及び CO_2 削減効果を有している事例であることから、今後、他自治体の温暖化対策導入における参考となる施設である。

2. 熱回収効率向上・省エネルギー等温暖化対策研究事例の評価

「1. 既存焼却施設における熱回収効率向上・省エネルギー等温暖化対策技術の研究」で取りまとめられた研究事例に対し、温暖化対策効果評価指標である $LCCO_2$ と施設の改造に伴うイニシャル･ランニングコストの両面から、評価検証を行った。

本報告書での $LCCO_2$ は消費電力削減量もしくは発電電力増加量を CO_2 削減量に換算した数値で評価したものであり、この量から各事例が地球温暖化に与える影響を評価することができる。

なお、研究事例の中で、「タービン設計点変更による部分負荷時発電量の増加」のように施設の竣工時点（新設時）で配慮している方がより効果的な事例、定量評価が困難な事例及び現時点でイニシャル及びランニングコストの正確な把握が困難な事例については検討対象から除外した（表 4 参照）。

1）評価条件

研究事例を相対的に比較評価するために、売電単価や換算係数等は下記の値を用いている。ただし、単価や CO_2 換算係数については、昨今の電力料金単価や都市ガス単価の実績等を配慮して巾を持たせて設定した。

- 通常の売電単価（昼間時間帯）　7～8 円/kWh
- 通常の売電単価（夜間時間帯）　5～6 円/kWh
- 通常の売電単価（重負荷期）　14～15 円/kWh
- スーパーごみ発電単価　9～12 円/kWh
- 都市ガス購入単価　35～40 円/m^3
- 電力→CO_2 換算　0.358※1～0.555kg-CO_2/kWh※2
- 都市ガス→CO_2 換算　2.08kg-CO_2/m^3 ※2
- 10 年間あたりのコスト＝イニシャルコスト＋（ランニングコスト×10 年）
- $LCCO_2$ の変化量＝（新技術の導入に伴う消費電力削減量または発電量増加量の CO_2 換算値）－（新規の外部燃料使用に伴う CO_2 排出量増加）

※1 平成 17 年度の一般電気事業者の二酸化炭素排出係数のうち、最小の数値（平成 19 年 3 月 23 日環境省報道発表資料より）

※2 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver.1.2(平成 19 年 2 月 環境省・経済産業省）を参照。

表 4 熱回収率向上・温暖化対策技術評価メニュー

No.	項目	評価	備考
1.1	契約電力の変更による基本料金の削減	○	
1.2	昼夜負荷調整による売電収入の増加	○	
1.3	隣接施設との負荷調整によるピーク調整	－	※1
1.4	夜間の飛灰処理装置稼働の検討	○	
1.5	年間運転スケジュール及び運転炉数の検討	○	
1.6	ガス再加熱器出口温度の設定による発電量の増加	○	
1.7	非常用発電機の常用化による電気料金削減	○	
1.8	白煙防止装置廃止による効果の検討	○	
2.1	廃棄物発電のネットワーク化	○	
2.2	自家発を常用化することにより発生する排熱の有効利用	○	
2.3	スーパーごみ発電での蒸気タービンの効率向上	－	※2
2.4	タービン設計点変更による部分負荷時発電量の増加	－	※2
2.5	既存工場改造による電力収支の改善	○	
2.6	ごみ焼却施設での採用可能な自然エネルギーの検討	○	
2.7	高効率機器の採用による電力使用量削減	○	
2.8	焼却施設におけるESCO検討	○	
2.9	潜熱蓄熱材を利用した熱供給システム	－	※3
2.10	熱電素子を利用した発電システム	－	※3

注）事例 No. 1. 1～1. 8 は「施設の運用上の熱回収効率向上・省エネ等対策技術」、事例 No. 2. 1～2. 10 は、「施設の改造を伴う熱回収効率向上・省エネ等対策技術」に該当。

※1　省コスト化が期待されるものの定量評価が困難な事例
※2　施設の竣工時点（新設時）で配慮している方がより効果的な事例
※3　現時点でイニシャル及びランニングコストの正確な把握が困難な事例

2）評価結果

表 4 に示す 13 の研究事例を対象に、10 年間の総コストを横軸に、$LCCO_2$ 変化量を縦軸にプロットし、各事例の費用対効果の検証を行った。その際、相対的に比較評価するために、コスト及び $LCCO_2$ 変化量をごみ処理 ton 数で除した、ごみ 1ton あたりのコスト対 $LCCO_2$ 評価とした（図 6 参照）。

図中の□内の数値は、表 4 における研究事例 No.に該当するものである。

また、図中のプロットで縦軸、横軸方向に範囲で示している事例は、電量料金や都市ガス料金の単価及び CO_2 排出係数を範囲設定したことによるものである。

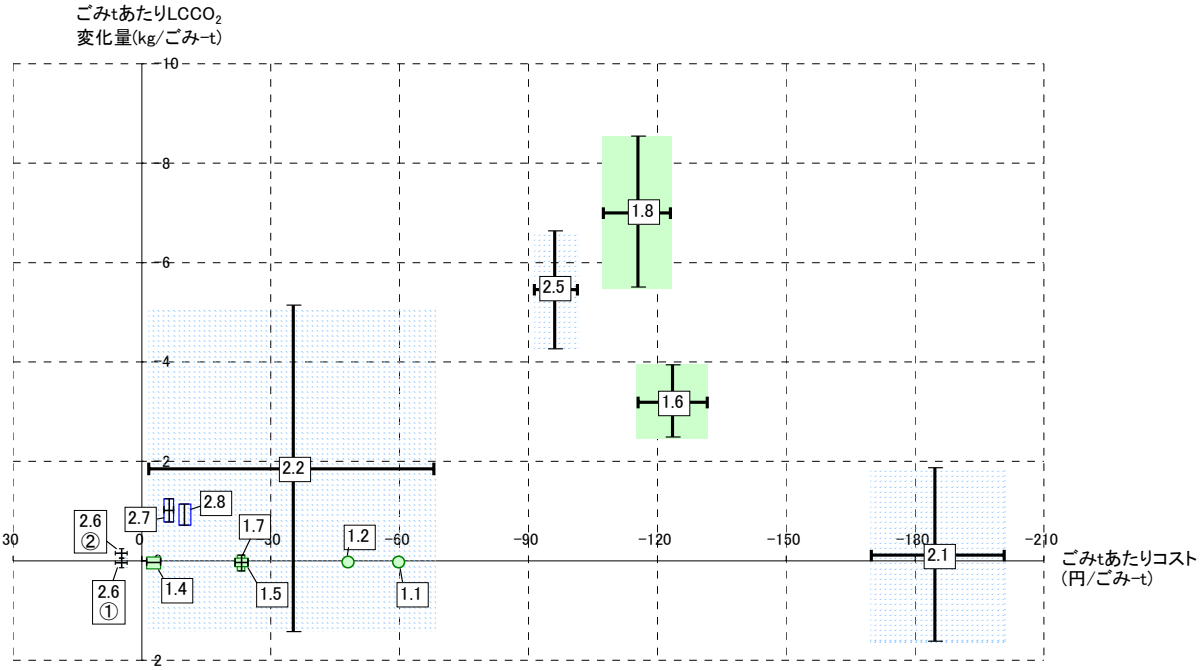

図 6　10 年間あたりのコスト対 $LCCO_2$ 効果

図 6 において、横軸方向にプロットされている事例は、維持管理費低減に重点をおいたメニューであり、財政事情が逼迫している自治体に有効な手法となり得るものである。

また、「1.6 ガス再加熱器出口温度の設定による発電量の増加」、「1.8 白煙防止装置廃止による効果の検討」、「2.5 既存工場改造による電力収支の改善」は、省コスト化に加え、CO_2 削減効果にも優れており、今後の導入が期待されるものである。

1.6、1.8、2.5 の 3 事例の平均 CO_2 削減量は約 5.3kg/ごみ-ton となる。

平成 16 年度における一般廃棄物の総排出量（環境省調べ）は、5,059 万 ton で、その内、焼却処理された量は 3,914 万 ton であることから、仮に、国内の焼却施設すべてが、1.6、1.8、2.5 に示すような温暖化対策を実施したとすると、

3,914 万 ton/年 × 5.3kg/ごみ-ton ≒ <u>21 万 ton-CO_2/年</u>　もの CO_2 削減ポテンシャルを有していることとなる。

結論＝地球温暖化対策として、2010 年度で廃棄物発電は 417 万 kW を想定されており、廃棄物発電にかかる期待は大きい。しかしながら、2002 年時点で 136.5 万 kW、2004 年時点で 149.1 万 kW の発電能力である現状を踏まえると、既存廃棄物処理施設から高効率発電を行う熱回収施設への転換が急務となっている。

さらに、広く温暖化に資するためには、既存廃棄物焼却施設での省エネルギー対策の効果的・効率的かつ実効性ある対策技術の普及が強く求められているところである。

このような状況の中、本研究結果のように、省コストと $LCCO_2$ を同時に満足するメニューを評価し、自治体を中心として幅広く技術情報を提供することにより、以下の成果が期待される。

1. 熱回収効率向上・省エネルギー等温暖化対策に関する知見の整理と実施設での有益な取り組み情報の共用化により、関連技術の幅広いブレークスルーと実用化が図られること
2. 実行性の高い熱回収率向上・省エネルギー技術が既存廃棄物焼却施設に導入されることにより、ランニングコスト削減が見込まれ、財政逼迫している自治体にインセンティブを与えることが期待されること
3. 既存廃棄物焼却施設への温暖化対策導入後の温室効果ガス排出量の低減化が定量的に評価されることになり、温暖化対策事業促進に寄与すること

英語概要

Subject of research＝Study of the techniques for global warming prevention measures in existing municipal solid waste incineration plants

Chief researcher＝Yoshio Yagi（Japan Waste Research Foundation）

Joint researchers＝Kazuyoshi Kondou（Japan Waste Research Foundation）、Susumu Uno（Japan Waste Research Foundation）

Abstract＝As the Kyoto Protocol had officially come into effect in February 2005, global warming prevention measures in the whole country are now being promoted. In a related matter, efficient use of unutilized potential energy in solid waste is now strongly demanded, especially taking measures in waste incineration plants to improve heat recovery and power generation efficiency, and energy conservation.
This study is, therefore, carried out by the research group based on industry, local government, and academia for the purpose of investigating present techniques practically which contribute to global warming prevention by improving heat recovery and power generation efficiency, and energy conservation in existing municipal solid waste incineration plants. Furthermore, a comprehensive evaluation of these techniques is provided from the aspects of CO_2 emission reduction and initial/running costs.
The result of this study is expected to contribute to introducing more effective/efficient techniques to existing plants for global warming prevention.

Key Words ＝ municipal solid waste incineration plants, heat recovery, power generation, CO_2 emission reduction, global warming prevention