日本全国の清掃工場を対象とした排熱利用 地域冷暖房システムによるCO₂排出削減 ポテンシャルの推計

河上 裕美¹・荒巻 俊也²・花木 啓祐³

¹東京大学大学院 工学系研究科 元学生 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

²正会員 東洋大学教授 国際地域学部 (〒374-0193 群馬県邑楽郡板倉町泉野1-1-1)

E-mail: aramaki@toyonet.toyo.ac.jp

³正会員 東京大学大学院教授 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

全国約500の全連続式焼却炉を持つ清掃工場における排熱賦存量を推定し、排熱を地域冷暖房および給湯に有効利用した場合に削減されるCO₂排出量を推計した。地理情報システムを用いて、焼却排熱の賦存量と、清掃工場周辺の焼却熱供給先として利用可能量の大きい業務および家庭部門の建物熱需要を1kmメッシュ単位、月別で推定し、利用可能排熱量と周辺建物熱需要のバランスから地域冷暖房導入により削減されるCO₂排出量を推計した。また、LCCO₂の観点から熱供給に必要な配管敷設によるCO₂排出量を考慮した。その結果、全国で最大280万t-CO₂/yearのCO₂削減効果があることが明らかになった。

Key Words : CO₂ emission reduction, waste heat, solid waste incineration plant, district heating and cooling(DHC)

1. はじめに

低炭素社会の構築に向けて、清掃工場からの焼却排熱はその量の大きさと温度レベルの高さから積極的活用が期待される未利用エネルギーである。

これまで、清掃工場焼却排熱を熱源とする地域熱供給について、詳細なシステムの検討が多く行われてきた。下田らは、清掃工場排熱の活用形態を月別に最適化したシステムの省エネルギー特性について、発電タービンの形式による比較評価を行った¹⁾。つづいて、そうしたシステムが現実の地域において稼動した場合のケーススタディが行われてきた。エリアとしては、東京都区部²⁾、東京副都心エリア³⁾、大阪市⁴⁾などにおける研究事例がみられるが、仮想的な地域条件を想定したCO₂削減量の推計が多く、実際の熱供給量と熱需要をともに算出し詳細にCO₂削減可能性を検討した例は少ない。

一方で、清掃工場の焼却排熱の未利用エネルギーとしてのポテンシャルについて、日本全体でどの程度利用可能なのかについての試算も行われており、個々の清掃工場を対象としてその利用可能ポテンシャルを推計し、それを積み上げて全国におけるポテンシャルを推計する努力が行われている。佐土原ら⁵⁾、森ら⁶⁾、経済産業省⁷⁾は清掃工場排熱を含めた未利用エネルギー全体を対象と

した解析を行っている。森ら⁶⁾の試算では、清掃工場周辺での熱需要は考慮されておらず、供給側からの利用ポテンシャルを評価したにとどまっている。佐土原ら⁵⁾の推計では、東京都の地域冷暖房導入地区の抽出条件を参考に、用途別床面積データがある地域については床面積から熱需要を推定し、熱需要密度と熱需要の規模を用いて導入地域を選定している。一方で床面積データがない地域については、法定容積率を用いて異なる条件を用いて導入地域を選定している。

本研究では、全国の既存の清掃工場を対象として各清掃工場における焼却処理量から推定される排熱量と工場周辺の実際の人口や産業構成から推定される周辺熱需要をもとに、個々の清掃工場において排熱利用地域冷暖房システムを導入した場合のCO₂排出削減のポテンシャルを推計した。本研究の推計手法の特徴は、配管敷設に伴うCO₂排出を推計に取り入れたことで、熱負荷密度などによる地域冷暖房の導入可能条件は設定していないが、熱需要密度が低い地区はCO₂排出削減ポテンシャルが少なく地域冷暖房の導入対象外となるような推計となっていること、全国の各清掃工場に対して周辺熱需要などを同じ条件で算出しCO₂排出削減ポテンシャルを推計していることである。

2. 清掃工場における利用可能排熱量の推定

(1) 解析対象とした清掃工場

本研究では全国の清掃工場のうち、24時間焼却炉の運転を行う全連続式炉を持つ清掃工場を解析対象とした。焼却排熱を利用した熱供給を現実的に想定した場合、24時間運転でないと熱の安定供給ができないためである。全国でみると、全連続式炉を持つ清掃工場は全体の44%だが、処理能力は全体の84%を占める⁹⁾。そのため全国の清掃工場のうち、全連続式炉を持つ清掃工場を解析対象とするのが必要かつ十分であると判断した。全連続式炉を持つ清掃工場は全国に615ヶ所存在した。

環境省廃棄物処理技術情報が提供する施設整備状況焼却場 平成17年度調査結果⁹⁾（以下、廃棄物処理技術情報とする）を清掃工場からの利用可能排熱量推定の基礎データとした。廃棄物処理技術情報は清掃工場の住所データを提供していないため、ごみ焼却施設台帳 全連続燃焼方式編¹⁰⁾より各清掃工場の住所データを得た。住所がごみ焼却施設台帳に載っていない清掃工場についてはインターネット、自治体への電話ヒアリング等で住所を調べた。

廃棄物処理技術情報において、焼却量が0となっている30ヶ所の清掃工場は本研究の解析対象から外した。また、住所が同一の工場が複数存在する場合があったが、ごみ組成や低位発熱量はそれらの工場間では同じ値であるケースがほとんどであったため、焼却量を合計し、合計した焼却量を持つ一つの工場とみなして評価することとした。これらの処理を行った結果、最終的に解析対象となった清掃工場は全国536ヶ所となった。

(2) 熱供給システム

本研究では、清掃工場からの焼却排熱を利用した図-1に示す熱供給システムにより周辺地域に冷房、暖房、給湯の3種類の熱を配るシステムを想定した。清掃工場が発生した蒸気は地域冷暖房プラントに送られる。蒸気は温熱利用の場合そのまま使われ、冷熱利用の場合は吸収式冷凍機で冷熱がつくられる。ごみ焼却排熱利用時の機器COPを表-1に示す。地域冷暖房プラントにはガス式ボイラーを設置し、供給不足分に対してはガス式ボイラーおよび吸収式冷凍機で補う。それらの機器効率およびCOPを表-2に示す。ただし、補機電力は考慮しないこととする。これらのCOPは過去の研究事例を参考に標準的な値として設定したものである。

(3) 月別利用可能排熱量の推定

それぞれの清掃工場について月別利用可能排熱量推定を行った。推定のフローを図-2に示す。まず年間利用可

能排熱量の推定を行った。年間利用可能排熱量は全国の清掃工場ごとの年間ごみ焼却量 $[t/年度]$ と低位発熱量 $[J/kg]$ の積から得られる。年間ごみ焼却量 $[t/年度]$ および低位発熱量 $[J/kg]$ は廃棄物処理技術情報より得た。清掃工場ごとの低位発熱量データは平成17年度がデータ提供開始初年度であり、0.008~184 $[MJ/kg]$ とばらつきが非常に大きく外れ値と考えられる値を多く含んでいたため、すべての清掃工場の低位発熱量の中央値9.0 $[MJ/kg]$ を全国一律の低位発熱量として各清掃工場に適用することとした。

図-1 熱供給システム図

表-1 ごみ焼却熱利用地域冷暖房機器 COP¹¹⁾

冷房 COP	0.85
暖房 COP	1.00
給湯 COP	0.85

表-2 ガス利用地域冷暖房機器効率および COP¹²⁾

蒸気ボイラー効率(%)	80.2
吸収式冷凍機 COP	1.23

図-2 月別利用可能排熱量推定のフロー

表-3 横浜市ごみ年間焼却量月別割合[%]

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
7.6	6.7	8.1	8.2	8.7	8.8	9.1	9.0	8.4	8.4	8.3	8.7

図-3 解析対象範囲

月別利用可能排熱量は年間利用可能排熱量を月別の焼却量データで月別に割り振ることで算出した。月別の焼却量の地域差を定量化するにはこれまでの知見が不十分であり、また清掃工場ごとの値を入手することが困難であることから、横浜市ごみ年間焼却量月別割合¹³⁾(表-3)を全国一律に適用した。

なお、清掃工場で現況で行われている熱供給やごみ発電への排熱利用については本研究では考慮していない。後述するように、本研究では排熱利用の地域冷暖房によるCO₂削減量を当該地域において個別にエネルギー・熱供給を行う場合との比較から算出しており、その結果は個別供給と比較した場合の排熱利用地域冷暖房システムによるCO₂削減のポテンシャルを表すこととなる。

3. 清掃工場周辺の熱需要の推定

熱需要の推定は、家庭部門と業務部門に分けて行い、結果を合計することで求めた。家庭部門の熱需要推定には平成12年 国勢調査に関する地域メッシュ統計¹⁴⁾、業務部門の熱需要推定には平成13年 事業所・企業統計調査地域メッシュ統計¹⁵⁾を使用した。熱需要推定の解析対象範囲は以下のように設定した。

(1) 熱供給エリアの設定

熱供給エリアとして3種類の熱供給範囲を想定した。ここではメッシュデータを用いるため、範囲設定が1km×1kmのメッシュ単位(標準地域メッシュの3次メッシュ)となる。まず対象とした全清掃工場について住所から清掃工場が存在するメッシュを特定し、各清掃工場周辺の清掃工場を含む1km×1kmメッシュを最も小さな熱供給エリアと設定した。次に、清掃工場を含む1km×1kmメッシュとその外側に隣接するメッシュを合わせた9メッシュを1つのエリアとした3km×3kmメッシュ、さらに3km×3kmメッシュの外側に隣接するメッシュを合わせた25メッシュを1つのエリアとした5km×5kmメッシュ

を3種類の熱供給エリアとして設定した(図-3)。

(2) 家庭部門における熱需要推定

熱供給事業において戸建住宅は配管に伴う環境負荷や費用の面から不利になることから、本研究では集合住宅を対象を限定した。メッシュごとの集合住宅床面積の情報は存在しないため、平成12年国勢調査に関する地域メッシュ統計(その1 人口、世帯、産業)¹⁶⁾の住宅関連データから、戸建や集合など住宅形式別の世帯数と住宅床面積ごとの世帯数を用いて集合住宅床面積を推定した。具体的には、まず国内でも人口密度が高い1次メッシュ(メッシュ番号5339)を対象として戸建・集合住宅世帯数と世帯面積の関係を検討した。この1次メッシュのうち総世帯数が戸建世帯数とほぼ等しくなっているメッシュデータを抽出して戸建世帯の世帯面積について調べたところ、戸建世帯の約9割が世帯面積70m²以上であった。また世帯面積70m²以上の世帯数と戸建世帯数には、 $R^2=0.87$ と高い相関があった。これらから世帯面積70m²未満の世帯を集合住宅とみなし、式(1)よりメッシュごとの集合住宅床面積を算出した。

集合住宅床面積

$$= \Sigma (70\text{m}^2\text{未満の各世帯面積レンジの中央の値}$$

$$\times \text{世帯数}) \quad (1)$$

こうして得られたメッシュごとの集合住宅床面積と用途別熱需要原単位の積からメッシュごとの熱需要データを算出した。各用途における年間熱需要原単位(冷房、暖房、給湯)を表-4に示す。文教施設以外の原単位は天然ガスコージェネレーションシステム計画・設計マニュアル2000¹⁶⁾、文教施設は東京都環境保全局の指導要綱のデータ¹⁷⁾を引用した。ここで、全国で熱需要を算出する際には気候によって熱需要が異なることを考慮するため、年間熱負荷の地域係数¹⁸⁾を用いた(表-5)。地域係数は、全国12都市の気象データを用いて地域ごとに算出したものであり、基準となる熱需要に乗じて全国各都市の熱需要原単位を算出することができる。なお、給湯についての地域係数は信頼できるデータが得られなかったため、全国一律で同じ熱需要原単位を利用することとした。家庭部門熱需要推定のフローを図-4に示す。

年間熱需要から月別熱需要の推定には、天然ガスコージェネレーションシステム計画・設計マニュアル2000¹⁶⁾で示されている熱需要用途別月別パターンを利用した。

(3) 業務部門における熱需要推定

平成13年 事業所・企業統計調査 地域メッシュ統計における業種別従業員数のデータを業務部門の熱需要推定に用いた。業務部門の熱需要推定のフローを図-5に示す。メッシュ別業種別従業員数のデータからメッシュごとの熱需要を推定するために、まず全国の業種別従業員数と延床面積の関係を算出して従業員一人当たり延床面積を表す原単位[m²/人]を作成した。その原単位とメッシュ別従業員数の積でメッシュ別延床面積を算出し、さらに延床面積と用途別熱需要原単位との積によって業務部門の熱需要を求めた。

業種別従業員数と延床面積の関係を表す原単位は既存ではないため、表-6のように算出した。業種ごとにカテゴリーを揃え、エネルギー・経済統計要覧2007¹⁹⁾における全国の業種別延床面積データを平成16年事業所・企業統計²⁰⁾における従業員数データによって除算することで業種別従業員数あたり延床面積を得た。事務所・ビルにおける従業員数については、金融、不動産、公務サービスなどの従業員数を足し合わせるだけでは、業種としては製造業に含まれるが工場ではなくオフィスで働いている従業員をカウントすることができない。そこで、事務所・ビルで働く従業員数は事業所形態別（7区分）の事務所・営業所の区分にある従業員数データを使用することとした。事業所形態別の従業員数データは平成16年事業所・企業統計²⁰⁾にはないため、平成13年事業所・企業統計¹⁵⁾の値を用いた。ここで得られた従業員一人当たり延床面積を表す原単位[m²/人]と事業所・企業統計調査から得られたメッシュ別従業員数の積により、延床面積が算出される。延床面積と熱需要原単位の積から熱需要データが得られる。

4. CO₂排出削減ポテンシャルの推計方法

(1) 熱需要に対する排熱利用可能量の推定

推定された清掃工場周辺の熱需要と熱供給量の過不足の比較を月別に行い、熱供給エリアの設定ごとにどの程度清掃工場排熱で賄えるのかを検討した。推定した周辺熱需要を満たすのに必要な熱量（機器COP（表-2）で割り戻した値）の1kmメッシュ、3kmメッシュ、5kmメッシュの各値と利用可能排熱量を月別で比較した。図-6に西多摩衛生組合環境センター（東京都羽村市）における結果を示す。必要熱量には各月で大きなばらつきがあるが、利用可能排熱量はほぼ一定である。利用可能排熱量は、地域冷暖房に使われる機器のCOPを考慮してCO₂削減効果が高くなるよう暖房、給湯、冷房の順に用いることとした。また、必要熱量が利用可能排熱量を上回る月はガス式地域冷暖房により不足分を供給することとした。

表-4 建物用途別年間熱需要原単位[MJ/m²/yr]¹⁶⁾¹⁷⁾

	冷房	暖房	給湯
集合住宅	33	84	126
業務	552	247	8
商業	523	146	96
文教	63	107	107
宿泊	419	335	335
医療	335	310	335

表-5 地域係数¹⁸⁾

	最大熱負荷		年間熱負荷	
	冷房	暖房	冷房	暖房
北海道	0.8	1.5	0.5	2.4
東北	0.9	1.3	0.7	1.4
北陸		1.1	0.9	
関東	1	1	1	1
東海				
近畿			1.1	0.9
中国				
四国				
九州			1.2	0.7
沖縄	1.1	0.5	1.5	0.07

図-4 家庭部門熱需要推定のフロー

図-5 業務部門熱需要推定のフロー

表-6 業種別従業員数、延べ床面積と従業員あたり延べ床面積の算出

平成16年事業所・企業統計		エネルギー・経済統計要覧		従業員一人あたり延床面積 (㎡/人)	熱需要原単位 の категория
カテゴリー	従業員数 (千人)	カテゴリー	床面積 (百万㎡)		
事業所・営業所 従業員*	20,816*	事務所・ビル	460	22	業務
J 卸売・小売業	13,435	デパート・スーパー	22.4	29	商業
Q82 サービス業		卸小売	413		
M70-71 飲食店		飲食店	64.7		
Q84 娯楽業	861	劇場・娯楽場	35.5	260	文教
O 教育・学習支援業	1,368	学校	356		
M72 宿泊業	768	ホテル・旅館	94		
N 医療・福祉	4,156	病院	102.5	25	医療

*平成13年事業所・企業統計第12表より

(2) 配管敷設によるCO₂排出量の推計

熱供給エリア内には熱供給のための配管を敷設するが、配管長算出にあたり、3種類の供給面積あたり配管長原単位[m/m²]を用いた。焼却排熱利用地域冷暖房実プラントデータとして、東京練馬・光が丘(0.011[m/m²])、臨海副都心²⁰⁾(0.0018[m/m²])、および地域冷暖房導入例15ヶ所²⁰⁾について供給エリアと配管長をプロットした図-7から得られる1次近似式

$$y = 0.0037x + 840 \quad (2)$$

x: 供給エリア[m²], y: 配管長[m]

から算出した値を用いた。なお3種類の配管長原単位について、本論文では値が小さいものから低密、全国平均、高密と呼ぶこととした。配管敷設CO₂排出原単位²⁰⁾は、3,936[kg-CO₂/m] (開削工法、4管式、断面積6.12[m²])を用いた。

配管敷設によるCO₂排出量の推計にはメッシュ面積が必要だが、1メッシュの一边の長さは緯度によって異なるため、メッシュ面積は全国で均一ではない。第3次メッシュの面積は、正確に1km²ではない。地域によるメッシュ面積の違いを考慮するため、都道府県ごとのメッシュ面積値²⁰⁾を利用することとした。1メッシュを1km²としたときの1~5kmメッシュごとの配管敷設によるCO₂排出量を配管長原単位と配管敷設CO₂排出原単位から表-7のように算出し、該当する都道府県ごとのメッシュ面積値をかけることで、各メッシュのCO₂排出量を算出した。

(3) 個別の熱供給によるCO₂排出量

清掃工場排熱利用地域冷暖房によるCO₂排出削減量を算出する際の比較対象として、ガスや電気を利用した地域冷暖房システムが選択される場合が多いが、現状で地域冷暖房が導入されている事例は非常に少ないことから本研究では地域冷暖房が導入されていない場合の個別の熱供給によるCO₂排出量を比較対象とした。算出のプロ

図-6 熱需要と熱供給の月別比較
(西多摩衛生組合環境センター)

図-7 配管長と供給エリアの関係 (実プラントデータ)

表-7 基準となる配管敷設によるCO₂排出量 [t-CO₂/km²/yr]

	低密配管	全国平均	高密配管
1km mesh	234	595	1,379
3km mesh	2,110	4,473	12,408
5km mesh	5,861	12,229	34,468

一を図-8に示す。

個別の熱供給による熱利用量は推定した熱需要と等しいとの仮定を置き、冷房、暖房、給湯にそれぞれのエネルギー源を用いるかを表す用途別エネルギー源別消費割合（表-8）および各種機器COP（表-9）を考慮することで、冷房、暖房、給湯に必要なエネルギー源別のエネルギー量を求めた。用途別エネルギー源別消費割合は家庭、業務の2パターンが得られたので、集合住宅には家庭の値を、その他用途には業務の値を用いた。最後にエネルギー源別のCO₂排出量原単位（表-10）を掛け、個別の熱供給によるCO₂排出量とした。石油については灯油の排出係数を用いた。また、全国でその地域に電力供給を行う電力会社ごとにCO₂排出原単位が異なるため、電力会社ごとのCO₂排出原単位（表-11）を考慮した。

なお本研究では、地域冷暖房導入に伴う配管敷設以外の施設や熱源機器の建設・製造・廃棄時のCO₂排出量は考慮していない。よって、個別供給においても機器の建設・製造・廃棄時のCO₂排出は考慮しない。

5. CO₂削減ポテンシャルの推計結果

熱供給エリアの設定にあたって都市部では複数の清掃工場が近いところに立地している場合があり、熱供給エリアが重複する状況が発生する。その場合、個々の清掃工場ごとに個別に地域冷暖房システムを導入するとして解析を行うと熱需要を過大に評価したことになる。ここでは熱供給エリアが重複し、熱供給の競合が起こる清掃工場と、周囲に他の清掃工場がなく熱供給範囲の競合が起こらない清掃工場に分けて解析を行った。前者については、熱供給エリアが競合している複数の清掃工場の熱供給可能範囲をまとめて1つの熱供給範囲とみなし、それらの熱需要を内包される清掃工場全体で供給すると仮定した。競合が起こるエリアの様子を図-9に示す。破線で囲んだブロックが競合を起こしているため一つの熱供給範囲と見なして解析を行うエリアである。

図-8 個別の熱供給によるCO₂排出量算出のフロー

表-8 用途別エネルギー源別消費割合（家庭・業務）²⁶⁾

		電力	都市ガス	LPG	灯油	太陽熱
	家庭	冷房 100 暖房 9.7 給湯 5.5	0 18.7 35.1	0 6.7 31.8	0 64.8 22.7	0 0 4.4
	業務	電力	ガス	石油	石炭	太陽熱
		冷房 57.5 暖房 7.7 給湯 0	28.3 10.6 34	0 80 53.4	14.2 1.7 6.2	0 0 6.4

表-9 熱利用用途別燃料別 COP（家庭・業務）¹¹⁾

		電力	都市ガス	LPG	灯油	太陽熱
	家庭	冷房 3.0 暖房 3.5 給湯 0.85	- 0.9 0.85	- 0.9 0.85	- 0.9 0.85	- - -
	業務	電力	ガス	石油	石炭	太陽熱
		冷房 3.0 暖房 3.5 給湯 0.85	1.23 0.9 0.85	1.23 0.9 0.85	- 0.9 0.85	- - -

表-10 エネルギー源別 CO₂ 排出量原単位 (g-CO₂/MJ) ^{25), 26)}

灯油	68.5
液化石油ガス	58.6
都市ガス (天然ガス)	51.3
輸入一般炭	90.4

表-11 電力会社ごと CO₂ 排出原単位 [kg-CO₂/kWh] ²⁷⁾⁻²⁹⁾

北海道電力	0.51	関西電力	0.35
東北電力	0.512	中国電力	0.66
東京電力	0.368	四国電力	0.39
北陸電力	0.407	九州電力	0.368
中部電力	0.453	沖縄電力	0.94

図-9 競合が起こる大阪周辺エリア

図-10 西多摩衛生組合環境センターにおける配管長原単位 (低密, 全国平均, 高密) ごとのCO₂排出削減ポテンシャル

表-12 配管長原単位 (低密, 全国平均, 高密) ごとのCO₂削減ポテンシャル(万t-CO₂/yr)

配管長原単位	競合が起こらない清掃工場	競合が起こる清掃工場	総計
低密	155	125	280
全国平均	75	80	155
高密	21	28	49

図-11 競合が起こる清掃工場

図-12 大阪周辺エリアの中央部の熱供給エリアにおける配管長原単位 (低密, 全国平均, 高密) ごとのCO₂排出削減ポテンシャル

(1) 熱供給エリアの競合が起こらない清掃工場におけるCO₂削減量推計結果

競合が起こらない清掃工場は、全国で536ヶ所のうち401ヶ所であった。競合の起こらない清掃工場は関東、関西、中部など大都市圏を除いた地方に多い。それら401ヶ所の清掃工場について地域冷暖房を導入した際のCO₂排出削減ポテンシャルを推計した。例として、図-10に西多摩衛生組合環境センター（東京都羽村市）における結果を示す。西多摩衛生組合環境センターの場合、3kmメッシュへの熱供給でCO₂削減量が最大化するという結果を得た。このような傾向はその他の多くの清掃工場でも見られた。熱供給エリアの拡大に伴い熱需要密度が低くなり、配管敷設によるCO₂排出がCO₂削減を上回ったためである。このように、熱需要密度が低い地域では排出削減ポテンシャルが見込めないため、本研究においては地域冷暖房が導入されないということになる。

このようにして401ヶ所の清掃工場についてCO₂削減量を算出し、CO₂削減量が最大となる供給範囲を決定し、その値を合計した値を表-12の競合が起こらない清掃工場の結果に示す。低密の配管長原単位を想定した場合、全国の競合が起こらない清掃工場への地域冷暖房導入で最大155万(t-CO₂/yr)のCO₂削減効果があるという結果を得た。

(2) 熱供給エリアの競合が起こる清掃工場におけるCO₂削減ポテンシャル推計結果

熱供給エリアを最大の5kmメッシュの範囲としたときに競合が起こる清掃工場は、全国で536ヶ所のうち135ヶ所であった。競合の起こる清掃工場は関東、中部、近畿に集中しており、それ以外の地域で競合していたのは、北海道1ヶ所、東北2ヶ所、中国3ヶ所、四国2ヶ所、九州1ヶ所であった。全国で競合が起こる清掃工場をプロットしたものを図-11に示す。ここでは、このように競合が起こっている地域をひとまとまりとして、その地域で1kmメッシュ、3kmメッシュ、5kmメッシュ圏内で熱供給を行うとした場合の中からCO₂削減ポテンシャルが最大となる供給範囲を選ぶ。

CO₂削減ポテンシャル推計結果の例として、図-9の大阪周辺エリアの中央にある11箇所の清掃工場において競合が起こっている熱供給エリアの結果を図-12に示す。この地域では3kmメッシュ圏内に熱供給した場合にCO₂削減ポテンシャルが最大化する結果を得た。

このようにして135ヶ所の清掃工場についてCO₂削減ポテンシャルが最大となる供給範囲を決定し、その値を合計した値を表-12の競合が起こる清掃工場の欄に示す。低密の配管長原単位を想定した場合、全国の競合が起こる清掃工場への地域冷暖房導入で最大125[万t-CO₂/yr]の

CO₂削減効果があるという結果を得た。

(3) 全国のCO₂排出削減ポテンシャル推計結果

全国でのCO₂排出削減ポテンシャルは、競合しない清掃工場401ヶ所分のCO₂削減量と熱供給エリアが競合する清掃工場135ヶ所分のCO₂排出削減量の合計値から算出される。その結果を表-12に示す。競合する清掃工場は数が少ないものの、削減ポテンシャルについては約半分くらい見込まれることが示された。配管長原単位が最も小さい低密を想定した場合のCO₂排出削減量が最大となり、その削減量は280万[t-CO₂/yr]であった。なお、佐土原⁹⁾の推計では、未利用エネルギー全体で653万[t-CO₂/yr]であり、エネルギー利用の削減量に対して清掃工場排熱が約63%貢献しているとしている。森ら¹⁰⁾の試算では、未利用エネルギー利用における省エネ効果を約500万[t-CO₂/yr]程度としており、清掃工場排熱の発電および熱供給への利用が省エネ効果で7割程度貢献するという結果を示している。本研究で得られた値はこれら値よりやや低いものとなった。

2005年度の日本におけるCO₂排出量12億9300万[t-CO₂]³⁷⁾であるので、ここで得られた日本全体のCO₂削減ポテンシャル280万[t-CO₂/yr]は日本全体のCO₂排出量の0.22%となる。また本研究において削減対象として考えている民生部門のCO₂排出量と比較した場合、家庭部門と業務その他部門を合わせた民生部門の2005年度におけるCO₂排出量は4億1200万[t-CO₂]⁷⁾であるので、ここで得られた解析結果は民生部門からのCO₂排出量の0.68%を占めるという結果になった。なお、経済産業省³⁷⁾はごみ焼却排熱の活用可能量を全国の主要な9地域で年間53万TJと試算しており、これは民生部門のエネルギー消費量496万TJ(2004年度)の約1%である。本研究でのCO₂排出削減ポテンシャルと単純に比較はできないが、本研究で推計された値は、これより低いものとなっていた。

6. おわりに

日本全体の焼却排熱利用の地域冷暖房導入によるCO₂削減量は想定する配管密度によって、50～280[万t-CO₂/yr]と推計された。これは2005年度の日本全体の民生部門からのCO₂排出量の0.12～0.68%に相当する。

清掃工場周辺の熱需要がCO₂排出削減ポテンシャルに大きく影響を与えており、一般的に熱需要が高いほどCO₂排出削減量が大きくなった。また、配管密度(配管長原単位)の影響も大きく、その値の仮定により削減ポテンシャルが最大となるエリアが変わる、あるいは地域冷暖房導入可否の判定が変わるケースが多くあった。地

域冷暖房導入に伴う配管による影響について、特に地域性による違いについては今後さらなる検討が必要である。

本論文は現状の清掃工場とその周辺の熱需要を対象として評価を行ったが、周辺土地利用の変化や清掃工場そのものの移転、あるいは清掃工場におけるゴミ処理量やその質の変化について考慮し、将来的なポテンシャルを推計していく必要がある。

謝辞：本研究は、東京大学空間情報科学研究センターの研究用空間データ利用を伴う共同研究(研究番号144)としてデータ提供を受けた。また、環境省地球環境研究総合推進費S-3-3「都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価」(代表：花木啓祐教授・東京大学大学院)の支援により行われた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 下田吉之、柳邦治、水野稔：熱需要の変動を考慮した清掃工場排熱活用熱電供給システムに関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、No. 80, pp. 27-35, 2001.
- 2) 荒巻俊也、薦田将治、花木啓祐：清掃工場排熱利用地域冷暖房によるCO₂排出削減に周辺地区の特性が与える影響、第21回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集、2002.
- 3) 藤木洋徳、曹鳴鳳、尾島俊雄：ごみ焼却熱を活用した熱源ネットワークの構築に関する研究：東京副都心エリアにおけるケーススタディ、日本建築学会環境系論文集、No. 619, 25-31, 2007.
- 4) 下田吉之、水野稔：大阪市における一般廃棄物からのエネルギー回収ポテンシャルの推計：都市における物質・エネルギー代謝と建築の位置づけ その3、日本建築学会計画系論文集(560), 65-72, 2002.
- 5) 佐土原聡、長野克典、三浦昌生、村上公哉、森山正和、下田吉之、片山忠久、依田浩敏、北山広樹：日本全国の地域冷暖房導入可能性と地球環境保全効果に関する調査研究、日本建築学会計画系論文集、510, 61-67, 1998.
- 6) 森保文、亀井川幸治、乙間末廣、寺園淳：全国における未利用エネルギー利用による省エネ効果の推計、エネルギー・資源、21(4), 363-368, 2000.
- 7) 経済産業省資源エネルギー庁：未利用エネルギー面的活用熱供給の実態と次世代に向けた方向性(平成19年度未利用エネルギー面的活用熱供給適地促進調査報告書 概要版)、平成20年3月、2008.
- 8) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：日本の廃棄物処理、平成16年度版、2004.
- 9) 環境省廃棄物処理技術情報：施設整備状況 焼却場平成17年度調査結果.
- 10) 廃棄物研究財団：ごみ焼却施設台帳 全連続燃焼方式編 2002.
- 11) 斉藤晃太郎、嵐紀夫、玄地裕、稲葉敦、匂坂正幸：民生用エネルギーシステムの最適組合せにおけるCO₂削減ポテンシャル評価、エネルギー・資源学会第19回研究発表会 講演論文集、pp.297-302, 2000.
- 12) 下田吉之、内海誠、水野稔、横林直規：環境保全型地域熱供給システムの総合評価に関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.70, pp.59-71, 1998.
- 13) 横浜市統計ポータルサイト：ごみ収集及び終末処理の状況

<http://www.city.yokohama.jp/me/stat/>

- 14) 総務省統計局：平成 12 年 国勢調査に関する地域メッシュ統計
- 15) 総務省統計局：平成 13 年 事業所・企業統計調査に関する地域メッシュ統計
- 16) 日本エネルギー学会；天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2000, 35-40, 2000.
- 17) 東京都環境保全局；地域冷暖房推進に関する指導要綱, 1991.
- 18) 日本地域冷暖房協会；地域冷暖房技術手引書, p.50
- 19) 日本エネルギー経済研究所：エネルギー・経済統計要覧 2007 年版
- 20) 総務省統計局：平成 16 年事業所・企業統計調査
- 21) 地域冷暖房, vol.77, pp.14-18, 2004.
- 22) 林英明, 高橋章, 松木直子, 横尾昇剛, 岡建雄：地域配管の建設によるエネルギー消費量と二酸化炭素排出量, 日本建築学会計画系論文集, 第 521 号, pp.81-87, 1999.
- 23) 総務省統計局地域メッシュ統計の概要
<http://www.stat.go.jp/data/mesh/gaiyou.htm>
- 24) 財団法人省エネルギーセンター財団法人日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット；改訂版 図解エネルギー・経済データの読み方入門, (2004), pp.139-157
- 25) NEDO；エネルギー源別 CO2 排出量原単位
<http://www.nedo.go.jp/nedata/175/14/e/0014e001.html>
- 26) 総合エネルギー統計の解説 2004 年度版；6.エネルギー起源炭素表, 表 2-2-4-1.エネルギー量当炭素排出係数表(2005 年改訂炭素排出係数), <http://www.rieti.go.jp/users/kainou-kazunari/download/index.html>
- 27) 北海道電力株式会社：ほくでんサステナビリティレポート 2006
- 28) 東北電力株式会社：東北電力 NOW CSR レポート 2006
- 29) 東京電力株式会社：サステナビリティレポート 2006
- 30) 北陸電力株式会社：北陸電力グループ CSR 報告書 2006
- 31) 中部電力株式会社：CSR Report 2006
- 32) 関西電力株式会社：関西電力グループ CSR レポート 2006
- 33) 中国電力株式会社：2006 エネルギアグループ CSR 報告書
- 34) 四国電力株式会社：よんでん環境保全・社会活動レポート 2006
- 35) 九州電力株式会社：九州電力 CSR 報告書 2006
- 36) 沖縄電力株式会社：環境行動レポート 2006
- 37) 我が国の温室効果ガス排出量：環境省 地球環境・国際環境協力 地球温暖化国内対策 HP
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/>

CO₂ REDUCTION POTENTIAL IN JAPAN BY UTILIZING HEAT FROM WASTE INCINERATION PLANTS FOR DISTRICT HEATING AND COOLING SYSTEM

Yumi KAWAKAMI, Toshiya ARAMAKI and Keisuke HANAKI

CO₂ reduction potential was investigated for district heating and cooling system using waste heat from existing solid waste incineration plants in Japan. The amount of available heat for 500 continuously operated plants was estimated using the actual amount of treatment, and the surrounding heat demand for these plants was analyzed using 1km grid level information on GIS. Then, CO₂ reduction potential was calculated by monthly heat supply and demand with considering the induced CO₂ emission from construction of pipe network for district heating and cooling system. As a result, CO₂ reduction potential was estimated to be 0.5-2.8 million tons per year.