

東京都区部における民生用エネルギー供給由来のCO₂排出削減可能性の検討 ～コージェネレーションシステムと清掃工場廃熱利用の地域冷暖房システムの導入による～

荒巻俊也¹・飯濱美夏²・花木啓祐³

¹正会員 工博 東京大学講師 先端科学技術研究センター (〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1)

²東京大学学部生 (現在、通商産業省) 工学部都市工学科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

³正会員 工博 東京大学教授 大学院工学系研究科都市工学専攻 (同上)

東京都区部を対象として地理情報を用いて各地区の特性を把握し、コージェネレーションシステム (以下、CGS) と清掃工場廃熱利用の地域冷暖房システム (以下、清掃工場DHC) について、CO₂排出削減という観点から適切な供給システムを各地区において評価し、これらのシステムを導入した場合の都区部全域でのCO₂排出削減量を推定した。その結果、都区部全体で民生用のエネルギー供給由来のCO₂排出のうち7.6% (火力発電基準) を削減できる可能性を示した。また、CGS導入地区では地区内にさまざまな用途を混在させることがCO₂排出削減により有効であることを示し、清掃工場廃熱利用の地域冷暖房システムについては、現状の設定では十分に未利用エネルギーを利用できていないことを示した。

Key Words : co-generation system, district heating and cooling system, energy supply for non-industrial use, CO₂ emissions, Tokyo

1. はじめに

都市活動に伴うCO₂排出のうち、家庭や事務所などで用いられる民生用のエネルギー供給に伴うCO₂排出は大きな割合を占めており、温暖化防止という観点から効率的な民生用のエネルギー供給形態を検討していくことが重要である。温暖化防止以外にも化石エネルギーの節約、エネルギー構成の多様化といった観点から、太陽エネルギーなどの自然エネルギーの利用、都市に散在するさまざまな未利用エネルギー源の利用、コージェネレーションシステム (以下、CGS) や燃料電池などによるエネルギーの高効率利用など、新エネルギーの開発や導入が進められている。

これら新エネルギー供給システムの導入に際しては、個々のシステムの導入費用やCO₂排出削減効果を推定しておくことは重要であるが、現在技術的に導入可能な新エネルギーを導入した場合の都市全体としてのCO₂排出削減のポテンシャルを評価しておくことも、温暖化対策を総合的に考えていくうえで重要であ

る。一方、新エネルギー供給システムによるCO₂排出削減効果は導入する建物や地区の特性で大きく変わり、単純には計算できない場合が多い。例えば、清掃工場廃熱を利用する場合などはその周辺地域以外では、配管や熱輸送の問題から導入が難しくなっている。またCGSについても、導入した建物や周辺地域の電力、熱需要の総量やプロファイルによってCO₂排出削減効果は大きく変わり、導入に伴ってCO₂排出量が増加する場合も考えられる。

CGSなどは今日までに導入が進められてきたシステムであり、その導入に際して経済性、省エネ性などの評価は実際の現場でも行われてきており、また機器の運用方式や用途地域による効率の違いについても都市部の一地区を対象として検討されてきた^{1),2)}。またCGSだけでなく、さまざまな民生用エネルギー供給システムを対象として、地区単位でのCO₂削減ポテンシャルの評価も行われている^{3),4)}。しかし、現在導入できる技術やシステムによる都市全体としてのCO₂排出の削減可能性を考えていく場合には、このような評

価を都市全体で行う必要がある。一方、未利用エネルギー利用については、都市全体を対象とした導入可能性や省エネ効果の評価例がいくつか報告されている^{5), 6), 7), 8), 9)}が、その他のエネルギー供給システムも含めた、また省エネ効果だけでなくCO₂排出削減という観点からの評価が必要である。

本研究では、東京都区部を対象として、地理情報を用いて各地区の特性を把握し、適切なエネルギー供給システムを各メッシュにおいて評価し、そのシステムを導入した場合のCO₂排出削減量を都区部全域で推定した。ここで対象としたエネルギー供給システムはCGSと清掃工場DHCの二種類のシステムである。CGSについては今後機器の効率改善等によりさらに広く普及される可能性を有しており、また清掃工場DHCについては未利用エネルギーの中でも都市部において潜在的な賦存量が多く、また比較的高温の熱源を利用して、両方のシステムとも東京都区部のような高密度な地域においてCO₂排出削減可能性が大きく見込まれるものである。

また、CGS導入対象地区の地域特性とCO₂排出削減率、清掃工場DHC導入対象地区における未利用熱の利用状況等についても併せて検討した。

2. 評価手法

(1) 地区特性の把握

地区特性の把握のために、東京都都市計画地図情報システム（平成3年）のデータを用いた。これは、建物とその敷地の地図情報からなっており、属性として敷地面積、建物投影面積、延べ床面積とその用途を保持している。建物ごとに解析を行うと莫大な数に上ることから、ここでは、このデータに250mのメッシュを重ねて用途別の敷地面積、建物投影面積、延べ床面積を集計したデータを用いて、メッシュごとにエネルギー供給システムを検討することにした。なお、メッシュ数は都区部全域で9,296メッシュである。

(2) 対象システム

前述したように、CGSと清掃工場DHCを対象とした。

CGSについては、単一ビルにおけるCGS、該当ビルへの電力供給と周辺地域へ熱供給を行うCGS+地域冷暖房、ある地区の全ビルに電力と熱を供給する特定電気事業といったいくつかの形態が考えられるが、ここではメッシュ単位で解析することから、特定電気事業としてCGSを導入する場合についてのみ検討する。また、1メッシュ（250m×250m）より広い範囲で導入

される場合が実際にあるので、ここでは複数のメッシュについて1つのCGSを導入した方がCO₂排出削減効果が大きくなるような場合には、複数のメッシュに広域化して導入していくこととした。

これらのシステムによる削減効果の評価においては、現在導入されているエネルギー供給システムからのCO₂排出量をその比較対象とすべきであるが、各建物ごとに導入されているエネルギー供給システムのデータを集めるのは難しいことから、電気は発電所から送られてくる系統電力を用い、熱は個別に生成するという個別供給システムを設定して、比較対象とした。

(3) 各メッシュにおける適切なエネルギー供給システムの決定方法

各メッシュに導入すべきエネルギー供給システムの決定方法については、図-1にそのフローチャートを示した。

清掃工場DHCについては使わずに捨てられていた熱を使うことからCO₂排出の削減効果があるのは明らかであり、また省エネルギーの観点からも導入すべきものと考えられる。ただし、配管敷設時の費用やCO₂排出量、熱の輸送距離を考えると、ある面積より広い地域での導入は難しいものと考えられる。ここでは、清掃工場DHCを導入しうる地域を、既存の清掃工場DHCの導入例¹⁰⁾を参考に5×5メッシュ（約1.56km²）とし、各清掃工場からこの範囲にあるメッシュについては清掃工場の未利用エネルギー賦存量を超えない範囲で清掃工場DHCを導入するものとした。なお、未利用エネルギー賦存量については、既存の清掃工場DHCにおける熱収支¹⁰⁾を参考に、各工場の月別処理量の実績値¹¹⁾を用いて算出した。

清掃工場DHCが導入されないメッシュについては、CGSが導入されうるかどうかの問題となる。CGSによるCO₂排出削減効果は導入対象地域の電力・熱需要の量や季節・時間変動によって変化し、熱需要が小さい地域では導入によりCO₂排出量が増加することも考えられる。また、この削減効果は、用いる機器、機器の運転方法などによっても変化し、その効果を定量的に評価するには詳細なシミュレーションが必要である。ここでは、大島らの研究²⁾を参考にして、東京ガス（株）が開発したエネルギー供給システム評価プログラムC-PLAN¹²⁾を用いてCGS運用時のCO₂排出量を算出し、個別供給システムと比較してCO₂排出が削減できるかどうかを判断するとともにその削減量を算出した。ただし、都区部の各メッシュ全部に対してそれぞれ計算を行うと膨大な時間がかかることから、CGSが導入されうるメッシュを絞り込むために、いくつかの

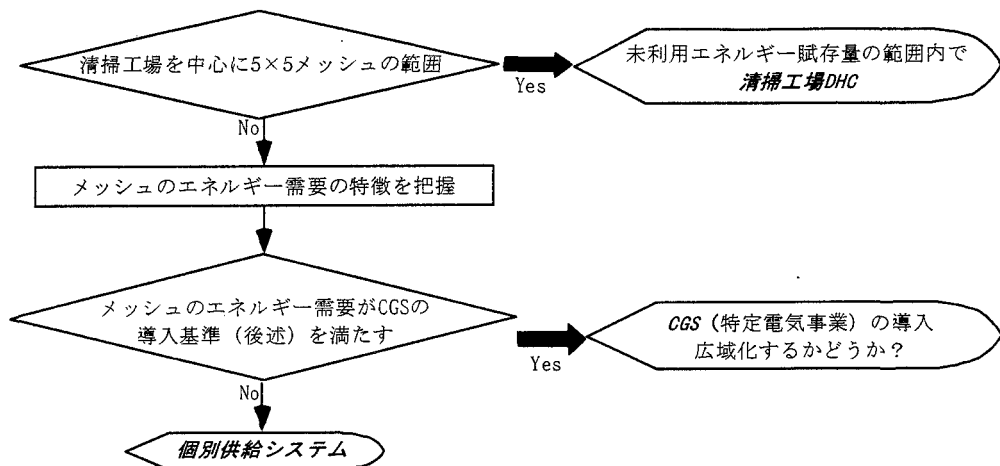


図-1 エネルギー供給システム決定のフローチャート

メッシュについてシミュレーションを行い、図-1中のCGSの導入基準を、電力需要や温熱、冷熱需要などのエネルギー需要関連の指標から導出することにした。なお、清掃工場DHC、個別供給システムのCO₂排出量の評価にもC-PLANを用いた。

(4) CO₂ 排出量の算出方法

清掃工場DHC、CGSからのCO₂排出量の算定には、前述したようにC-PLANを用いた。このプログラムでは、各地区の用途毎の延べ床面積といった地域設定、導入する機器の種類、特性、運転方式、未利用エネルギー量、建物負荷原単位、外気温、ポンプの揚程などから、エネルギー消費量の月・時間変動が算出される¹²⁾。このプログラムには、実際の機器のデータ等が既に入力されており、これらを利用して計算を行った。

延べ床面積あたりの各種エネルギー需要の設定¹²⁾を表-1に示した。地理情報で保持されている建物用途の属性をここで示した6種類の用途に当てはめて計算を行った。

各システムの熱源機器等の種類は、表-2の通りに設定した。各機器の容量は、ピーク負荷によって表-3の通り設定し、その機器容量でピーク負荷を満たすよう台数を設定した。CGSにおける発電機には、実際に導入されているガスエンジンのうち発電効率が最もよいものを利用することにした。この機器の定格出力は3,750kWであり、ピーク電力負荷を賄うように台数を設定して導入した。なお、特定電気事業として検討していることから、電主運転で行うものとしている。

ポンプの揚程の設定であるが、表-4に示すように冷水ポンプ・冷却水ポンプ・ボイラ給水ポンプを供給範囲に応じて、既存の導入例を参考に設定した。

表-1 各用途の負荷原単位

用途	単位 Mcal/㎡ (4.2MJ/㎡)				電力 kWh/㎡
	冷房	暖房	給湯	蒸気	
事務所	70	27	2	0	140
店舗	125	35	23	0	226
住宅	8	20	30	0	21
病院	80	74	80	132	170
ホテル	100	80	80	0	200
スポーツ施設	81	81	438	0	250

表-2 各システムの熱源機器等の設定

	CGS	清掃工場 DHC	個別供給	
			住宅	他5用途
暖房	蒸気 ボイラ	蒸気 ボイラ	空冷HP	蒸気 ボイラ
その他 熱供給			蒸気 ボイラ	
冷房	蒸気吸収 冷凍機	蒸気吸収 冷凍機	空冷HP	蒸気吸収 冷凍機
電力	ガス エンジン	電力会社	電力会社	

表-3 熱源機器の台数設定

冷熱負荷(Rt)	機器容量 (Rt)	温熱負荷 (t)	機器容量 (t)
0~5000	1000	0~50	10
5000~10000	2000	50~100	20
10000~24000	3000	100~150	30
24000~40000	4000	150~	40
40000~	5000		

個別供給システムからのエネルギー消費量の算出は、各用途100 m²についてのエネルギー消費量を求め、それらは延べ床面積に比例するという仮定を行い、各メッシュについて比例計算した。

CO₂排出量は、シミュレーションにより求められたエネルギー消費量とCO₂排出係数から算出される。ガスの排出係数は2,355 g-CO₂/Nm³と設定した。電力のCO₂排出係数については、火力発電からの排出係数(以下、火力基準)とすべての発電所の平均値を用いる(以下、平均基準)という2通りの考え方があるため、本研究では火力基準605 g-CO₂/kWh^[2]、平均基準473g-CO₂/kWh^[3]と設定し、両方の値を用いて解析した。

3. CGSの導入条件の決定

(1) 条件に用いるエネルギー指標の選定

図-1に示した手順で各メッシュに導入するエネルギー供給システムを決定していくが、まずCGSの導入を検討するメッシュの条件や、CGSを広域化して導入する場合の条件は決定されていない。

そこでまず、CGS導入の対象メッシュの選定条件を決定するために、各メッシュの電力・熱負荷の総量やピーク量について解析し、条件設定のための指標を選定した。表-5には総冷熱と総温熱需要の電力需要に対する比を用途別に示してあるが、温熱需要と電力需要の比は用途間でばらつきが大きいことから、総温熱需要と総電力需要の関係を用いてCGS導入の対象メッシュの選定条件を設定することにした。なお全メッシュについて総温熱需要と総電力需要を計算し、図-2にその値の範囲を示す。この図において斜めの実線は、各用途の温熱/電力需要比を表している。

(2) CGS導入の対象メッシュの選定条件

全てのメッシュの中からいくつかのメッシュを抽出してシミュレーションを行い、CGS導入の対象メッシュの選定条件を決定した。ただし、CO₂排出係数については火力基準と平均基準の2通りの考え方をを用いているため、それぞれのケースについて導入条件を決定した。

まず、火力基準の場合の導入条件であるが、いくつかのメッシュについてCGSを導入した場合と個別供給で行った場合のCO₂排出量を計算し、CGS導入によるCO₂排出量の削減率を推定した。図-3に各メッシュにおける総温熱負荷、総電力負荷と削減率の関係を示す。

CGSの導入条件を設定する目的は、前述したように、全てのメッシュに対してCO₂排出量の削減率を推

表-4 ポンプの設定 (単位 mAq)

供給範囲	250m×250m	750m×750m	1250m×1250m
冷水ポンプ	30	60	75
冷却水ポンプ	30	45	45
ボイラ給水ポンプ	110	120	140

表-5 各用途の総温熱、総冷熱需要と総電力需要の比 (Mcal/kWh)

用途	冷熱/電力需要比	温熱/電力需要比
事務所	0.50	0.21
店舗	0.55	0.26
住宅	0.38	2.38
病院	0.47	1.68
ホテル	0.50	0.80
スポーツ施設	0.32	2.07

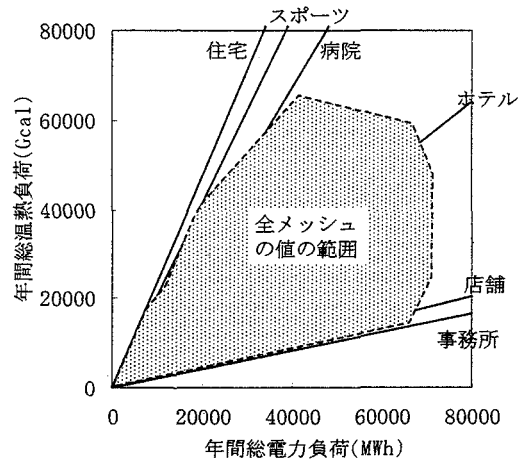


図-2 各メッシュの総温熱負荷と総電力需要の関係

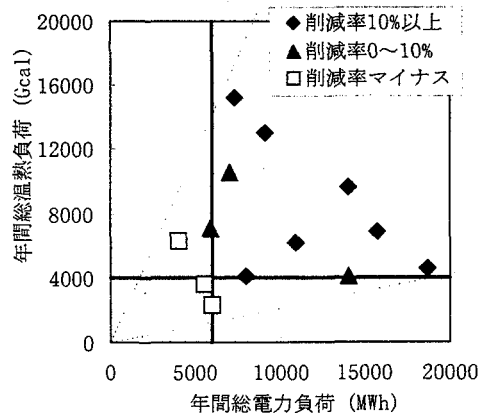


図-3 CGS導入条件の決定 (火力基準)

定するには膨大な時間がかかるので、CGS導入されうるメッシュをある条件を用いて絞り込むためである。よって、この図からCO₂排出量の削減率が正となるようなメッシュを概ね含むような導入条件を設定する必要がある。ここでは、以下の(1),(2)式(図中の太線)を満たすようなメッシュであれば概ねCO₂は削減されるであろうということで、これらの2式を導入条件とした。

年間総電力負荷 ≥ 6,000 (MWh) (1)

年間総温熱負荷 ≥ 4,000 (Gcal) (2)

平均基準の場合の導入条件であるが、同様にいくつかのメッシュについてCGSを導入した場合のCO₂排出量の削減率を推定し、図-4に示すような総温熱負荷、総電力負荷と削減率の関係を導いた。この図から以下の(3),(4)式(図中の太線)を満たすということを導入条件として設定した。

総温熱負荷 (Gcal) ≥ 0.3 × 総電力負荷 (MWh) (3)

総温熱負荷 (Gcal) ≥ 17,947 - 0.7528 × 総電力負荷 (MWh) (4)

(3) CGS 広域化の条件の検討

先に述べたCGSの導入条件を満たすメッシュが隣接して複数あるような場合に、1メッシュ単位で導入するよりも隣接する複数のメッシュでまとめて1つのシステムを導入した方がCO₂削減という観点から有利になることもあり得る。

図-5は、あるCGSの導入条件を満たす隣接する4メッシュについて、個別供給システムを導入した場合、各メッシュでCGSを導入した場合、およびCGSを広域化して4メッシュで一つのCGSを導入した場合についての平均基準でのCO₂排出量を示す。この例では、それぞれのメッシュで単独でCGSを導入することにより4.7%の削減率となるが、CGSを広域化して導入することにより14.7%と削減率がさらに大きくなる。

本研究では、この例のように広域化して導入した方がCO₂排出削減の観点から有効な場合には、清掃工場DHCと同様に5×5メッシュの範囲を上限として、CGSを広域化して導入していくものとする。しかし、実際にCGS導入基準をクリアしたメッシュについて、建物用地以外も含めたグロスの容積率を調べてみると、100%以下のような容積率が低いメッシュも存在する。本研究では、CGSをメッシュ全体に特定電気事業として導入することを検討しており、このようにメッシュ全体としての容積率が低い場合には、メッシュ内のご

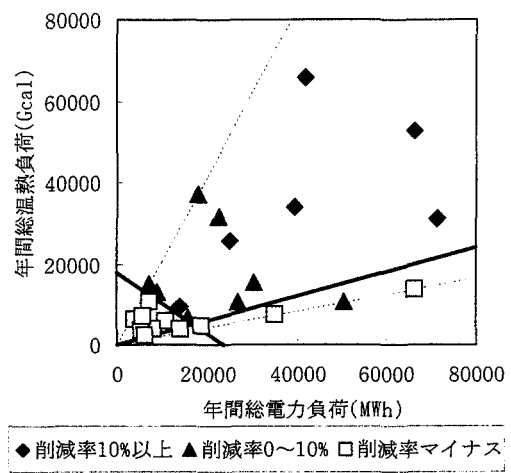


図-4 CGS 導入条件の決定 (平均基準)

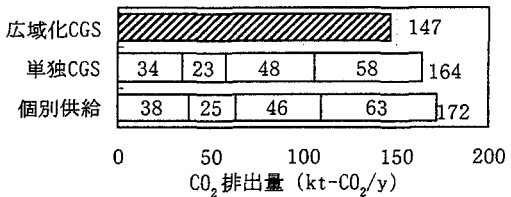


図-5 ある4メッシュにおける各システム導入時のCO₂排出量 (平均基準)

く一部の建物には建物単位でCGSが導入されうるとしても、メッシュ全体でCGSが導入されるものとは考えづらい。よって、グロスの容積率を条件として、CGS導入の対象となったメッシュについて、一つのメッシュでCGSを導入するか、広域化して導入するか、もしくは導入しないかを図-6のように決定することにした。なお、図中のグロスの容積率の値については、シミュレーションにより計算したCO₂排出削減率と東京都のCGS導入を推奨する地域の基準から著者らが設定したものである。なお、火力基準においてCGS導入基準を満たした628メッシュのうち、467メッシュはCGS広域化、9メッシュはCGS単独、152メッシュは個別供給システムとなった。

4. 結果と考察

(1) 都都区全体でのCO₂排出の削減状況

図-1と図-6に従って、各メッシュについてCO₂排出削減という観点から適切なエネルギー供給システムを決定した。結果を表-6に示す。また、これらのシ

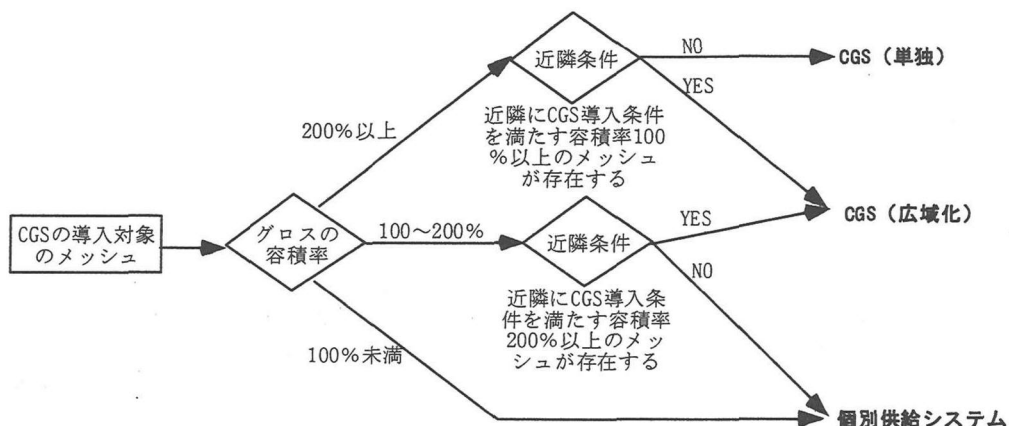


図-6 CGSの導入形態決定のフローチャート

システムが導入された地区の分布を図-7に示す。なお、3. で定めた手順で清掃工場DHCやCGSの導入が決まった地区でも、CO₂排出量を計算した結果、削減率がマイナスとなるようなメッシュについては個別供給システムが導入されるものとしている。清掃工場DHCは3.0%の地域で、CGSは火力基準で5.1%の地域で、平均基準で1.4%の地域で導入されることになった。また、CGSについてはほとんどの地域で広域化して導入されることになった。

CO₂排出量を算出した結果を表-7に示す。なお、比較対象として、すべてのメッシュに個別供給を行った場合のCO₂排出量も示す。各システムが導入された地域は、火力基準で10%弱、平均基準で5%弱と都区部のごく一部ではあるが、この表より各システム導入によって、都区部全体の民生用エネルギー供給システムからの負荷のうち、火力基準の場合は7.6%、平均基準では2.0%のCO₂排出削減がなされたことが分かる。システムごとに削減率を見ると、清掃工場DHCの削減率が約40%と高くなっている。しかし、清掃工場DHCの導入地区はそもそものCO₂排出量が少ないので、CO₂排出の削減量という点では小さくなっている。

つまり、清掃工場DHCの導入地区においては削減率は高いが、地区のエネルギー需要がCGS導入地区と比べて小さいため削減量は小さい。一方、CGS地区はその逆で、各導入地区のエネルギー需要が大きいため、削減率は小さく見えても削減量が大きくなっている。よって、これらのシステムを用いてCO₂排出削減をさらに進めていくには、CGSについては各地区における削減率の向上、清掃工場DHCでは導入地域の拡大か高密度化が必要である。以降の節では、この考察を踏まえてCGS導入地区の特性とCO₂排出削減率の関係、および清掃工場DHCの導入地区における未利用熱の利用状況についての解析を行う。

表-6 各システムの導入メッシュ

		清掃工場DHC	CGS 広域化	CGS 単独	個別 供給	総計
火力基準	メッシュ数	280	467	9	8,540	9,296
	導入率(%)	3.01	5.02	0.10	91.9	
平均基準	メッシュ数	280	109	19	8,888	9,296
	導入率(%)	3.01	1.17	0.20	95.6	

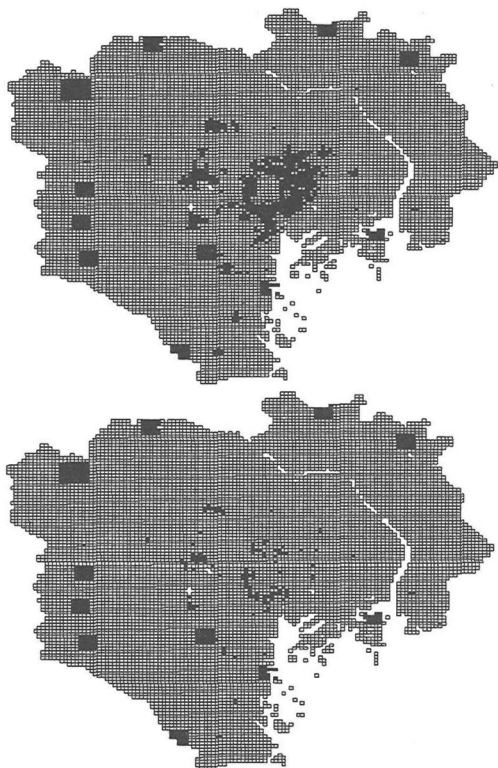


図-7 CGSおよび清掃工場DHCの導入地域
(上：火力基準、下：平均基準)

表-7 CO₂排出量の推定結果 (kt-CO₂/y)

	導入システム	各システム導入時	個別供給の場合	削減率(%)
火力基準	CGS (広域化)	6496	8593	24.4
	CGS (単独)	153	193	20.6
	清掃工場DHC	293	494	40.6
	個別供給	21525	21525	0.0
	計	28468	30805	7.6
平均基準	CGS (広域化)	2060	2362	12.8
	CGS (単独)	346	379	8.6
	清掃工場DHC	236	421	44.0
	個別供給	22909	22909	0.0
	計	25551	26070	2.0

(2) CGS 導入地区の特性と CO₂ 削減率の関係

都市計画という観点から、CGS 導入による CO₂ 排出削減の効率化を図るとすると、導入地区内におけるエネルギー需要量（特に熱需要量）の増大、用途の混在によるエネルギー需要の平滑化などが考えられる。ここでは、平均基準のケースについて、CGS 導入地区の特性と CO₂ 排出削減率の関係を解析することにより、用途の混在や熱需要の増大が CO₂ 排出削減に効果があるのかどうかを確認する。

平均基準で CGS 導入条件を満たしたのは 188 メッシュであった。そのうち、113 メッシュ（24 地区）では広域化して導入され、28 メッシュには 1 メッシュ単位の CGS、残りの 47 メッシュは個別供給システムとなった。しかし、CO₂ 排出削減率を算出してみると負になるところもあったため、実際に導入されることになったのは表-7 に示すような値になっている。

CGS 導入条件を満たした地区の特性のうち熱電比と CO₂ 排出削減率の関係を図-8 に示す。この図より、熱電/電力比が 0.5 を超えると、どの地区でも削減率がプラスになるが、熱電/電力比 0.5 以下では削減率がばらつきが出ている。

また、熱電/電力比 0.5 以下の地区について、事務所の延べ床面積が総延べ床面積に占める割合を示したのが図-9 である。この図より、削減率が小さくなっているのは事務所の比率が高い部分である。つまり、熱電比が低いということは事務所の占める割合が高い場合であり、そのような地区では削減率が小さくなるといえる。これは、熱電比の低い事務所では排熱の活用がなされにくい上に、事務所は他の用途と違い平日の限られた時間しかエネルギー需要がないことによると考えられる。

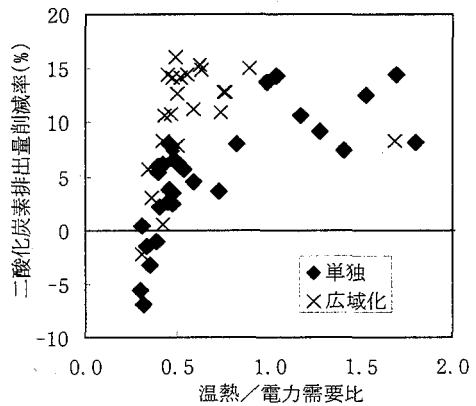


図-8 CGS 導入条件を満たした地区の熱電/電力需要比と CO₂ 排出削減率

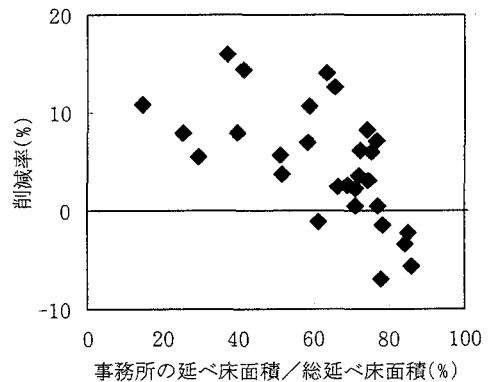


図-9 事務所の延べ床面積割合と CO₂ 排出削減率

(3) 清掃工場 DHC 導入地区における未利用エネルギーの活用状況

CGSと同様に、都市計画という観点から、清掃工場 DHC導入によりさらなるCO₂排出削減を図るとすると、導入地区内における熱需要量を増大させ、できるだけ多くの清掃工場からの未利用廃熱を用いることが考えられる。ここでは、現状の設定でどの程度の未利用エネルギーが用いられるようになっているのかを解析する。

清掃工場 DHC導入地区について、各清掃工場の未利用エネルギーの活用状況を表-8に示す。未利用エネルギーの活用率は各地区でまちまちであるが、最大でも48%となっている。ただし、本研究では一日の未利用エネルギー賦存量は24時間で等分に利用できるとしており、実際にはエネルギー需要に日変動があることから活用率の上限は100%にはならない。全般的に活用率が低い地区が多く、これらの地区内の熱需要をさらに上げることにより、CO₂排出削減効果は大きくなるであろう。

5. まとめ

本研究では、CGSと清掃工場廃熱利用の地域冷暖房システムを対象として、CO₂排出削減という観点から適切なエネルギー供給システムを都区部の各メッシュにおいて評価し、そのシステムを導入した場合のCO₂排出削減量を都区部全域で推定した。

その結果、都区部全体で民生用のエネルギー供給由来のCO₂排出のうち7.6%（火力基準）を削減できる可能性を示した。また、CGS導入地区では地区内にさまざまな用途を混在させることがCO₂排出削減により有効であることを示し、清掃工場廃熱利用の地域冷暖房システムについては、現状の設定では十分に未利用エネルギーを利用してきていることを示した。

ただし、今回のエネルギー供給システムの選定結果やCO₂排出量の推定結果は、さまざまな仮定を経て算出した一つの試算に過ぎないことに注意する必要がある。例えば、DHCやCGS、個別供給システムに用いた機器の種類、性能や運転方法、最適なエネルギー供給システムの選定方法、CO₂排出係数の設定などにより、得られる結果は違うものとなるであろう。今後、さまざまな仮定について厳密な議論をしていくことにより、本研究の枠組みを用いながら、都市内各地区における適切なエネルギー供給システムについて精度の高い評価を行えるようになるものと考えられる。また、今回対象とした以外のその他の未利用エネルギー源や太陽エネルギーを利用したシステムについても検討の

表-8 各清掃工場の未利用エネルギーの利用状況

清掃工場	賦存量 (Gcal/y)	熱需要量 (Gcal/y)	活用量 (Gcal/y)	活用率 (%)
A	110,767	51,014	35,140	31.7
B	250,630	15,722	12,551	5.0
C	116,056	52,015	41,407	35.7
D	321,880	6,731	6,278	2.0
E	272,218	59,360	51,639	19.0
F	406,054	50,558	47,198	11.6
G	335,186	38,675	36,876	11.0
H	167,453	64,395	51,251	30.6
I	205,977	157,604	98,968	48.0
J	218,308	42,149	39,853	18.3
K	216,859	81,834	68,659	31.7

対象に加えていく必要がある。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、東京ガス（株）エネルギー企画部、エネルギー技術部の方々にはさまざまなご助言やご支援を頂いた。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 田頭直人：都市の空間構造とエネルギーに関する考察－エネルギー削減を目指した諸システムの導入効果について－、第33回日本都市計画学会学術研究論文集、61-66、1998。
- 2) 大島敦仁：地区単位でのコージェネレーションシステムの導入可能性についての検討、東京大学工学部都市工学科卒業論文、1999。
- 3) 斎藤見太郎、嵐紀夫、玄地裕、稲葉教、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、297-302、2000。
- 4) 玄地裕、匂坂正幸、稲葉教、斎藤見太郎、嵐紀夫：民生用エネルギーCO₂削減ポテンシャルの地域性について、エネルギー・資源学会第19回研究発表会講演論文集、303-308、2000。
- 5) 坂本雄三、中原信生、元田晃二：名古屋域における未利用エネルギーの活用による省エネルギー効果の推計と評価 第1報－エネルギー需要と未利用エネルギーの賦存量、空気調和・衛生工学会論文集、No. 57、73-82、1995。
- 6) 坂本雄三、中原信生、元田晃二：名古屋域における未利用エネルギーの活用による省エネルギー効果の推計と評価 第2報－省エネルギー効果の推計と評価、空気調和・衛生工学会論文集、No. 58、111-118、1995。
- 7) 下田吉之、水野稔、亀谷茂樹、百瀬敏成、金地孝行：都市未利用エネルギーの活用可能性評価手法に関する研究 第1報－大阪市における各熱源の利用可能量と熱需要

- に関する調査と分析, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 61, 67-77, 1996.
- 8) 下田吉之, 水野稔, 亀谷茂樹, 百瀬敏成, 金地孝行: 都市未利用エネルギーの活用可能性評価手法に関する研究 第2報-未利用熱源水供給ネットワークの省エネルギーポテンシャル, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 67, 1-11, 1997.
- 9) 森保文, 亀卦川幸浩, 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, Vol. 21, No. 4, 363-368, 2000.
- 10) (財)新エネルギー財団地域エネルギー委員会: 最新未利用エネルギー活用マニュアル, オーム社, 1992.
- 11) 東京都清掃局: 清掃局年報平成8年版, 東京都清掃局, 1996.
- 12) 東京ガス(株): C-PLAN Ver5.00 マニュアル編・ロジック編, 1998.
- 13) 酒井寛二: 土木建設物の二酸化炭素排出量原単位, 土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集, 43-48, 1996.

REDUCTION OF CO₂ EMISSIONS BY IMPROVING ENERGY SUPPLY FOR NON-INDUSTRIAL USE IN TOKYO - INTRODUCING CO-GENERATION SYSTEM AND DISTRICT HEATING AND COOLING SYSTEM USING WASTE HEAT FROM SOLID WASTE INCINERATION PLANTS -

Toshiya ARAMAKI, Mika ITHAMA and Keisuke HANAKI

The potential of reducing CO₂ emissions in energy supply for non-industrial use were investigated in Tokyo 23 wards area. The projected area was divided into elements (250m × 250m), and the suitable electricity and heat supply system for reduction of CO₂ emission was selected in each element from the following options, co-generation system, district heating and cooling system using waste heat from solid waste incineration plants and conventional electricity and heat supply system. In case that these systems are assumed to substitute for thermal power generation, CGS was introduced around 5% of elements, and district heating and cooling system was introduced around 3% of elements. In this case, total annual reduction of CO₂ emissions was 2.3 Mt- CO₂, which corresponds to 7.6 % of total CO₂ emissions in energy supply for non-industrial use. In case that these systems are assumed to substitute for the average of all power generation systems, CGS was introduced only 1.3% of elements, and total annual reduction was 0.5 Mt- CO₂, which corresponds to 2.0 % of total CO₂ emissions in energy supply for non-industrial use.