

小地域内で廃棄物・バイオマス由来の電力・熱を融通する地域エネルギー供給による効果の算定システムの構築

横井 隆志¹・山本 祐吾²・齊藤 修³・盛岡 通⁴

¹学生会員 大阪大学大学院工学研究科 博士前期課程 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail: yokoi@em.sec.eng.osaka-u.ac.jp

²正会員 博(工) 大阪大学大学院工学研究科 助教 (同上)

³正会員 農博 大阪大学大学院工学研究科 助教 (同上)

⁴正会員 工博 大阪大学大学院工学研究科 教授 (同上)

本研究では、都市部において発生する廃棄物やバイオマスを電熱源とし、小地域内で電力と熱を融通する横浜市金沢区での地域エネルギー供給の取り組みに着目し、同地区のマイクログリッド型のエネルギー供給システム構築を支援する方法を提案した。バイオマス発生量・エネルギー需要量の空間分布を算出するプロセスを構築し、GISを用いて対象地域におけるエネルギー需給分布を算定した。その上で、エネルギー需要の時刻別変動と熱需要温度の違いを考慮し、エネルギー供給先の違いによる省エネルギー効果の変化を明らかにした。その結果、今後の都市部において地域エネルギー供給を進める上で、負荷平準化効果、熱のカスケード利用を考慮することの重要性と構築した支援システムの有効性を示すことができた。

Key Words: regional energy system, geographical information system, biomass, load leveling, cascade heat utilization

1. はじめに

人間・経済・産業の集積地である都市における活動が最大の要因となり、地球温暖化や廃棄物処理の問題が引き起こされている。近年、両問題の改善に向けて、廃棄物の中でもカーボンニュートラルとされるバイオマスのエネルギー利用に注目が集まっている。とりわけ、都市部においては生ごみなどの食品系廃棄物や下水汚泥などのバイオマスが大量に発生しているにもかかわらず、食品廃棄物の約80%、下水汚泥の約36%が未利用のままである¹⁾。また、都市部には大規模なごみ焼却場や様々な業種の工場が存在しており、大量の排熱が発生している。このような都市部での未利用エネルギーを有効利用することで、化石資源の代替やCO₂排出量の大幅な削減につながる可能性がある。

また、資源枯渇や地球温暖化の問題が深刻化する中で、化石燃料を中心とした大規模集中型のエネルギーシステムに完全に依存するのではなく、需要に密着した分散型エネルギーシステムの導入も図っていくべきとする流れが徐々にできつつある²⁾。空間的に分散して発生することが多いバイオマスや自然エネルギーは、分散型エネルギーシステムと親和性が高い。加えて、分散型にして、

需要に直結したエネルギー生産・供給方法を採用することにより、熱利用効率を中心にエネルギーの総合利用効率を大幅に高めることも期待できる。そのような中、新しいエネルギー供給形態として注目されているマイクログリッドは、個々の分散型エネルギーと個々の需要家をネットワーク化することで、分散型エネルギーが持つ供給ポテンシャルを需要側で最大限利用可能にする仕組みである。特に、様々な需要パターンが存在し、熱需要が集中している都市部で有効な方策と期待されている。

そこで、本研究は、都市部において発生する廃棄物やバイオマスを電熱源とし、小地域内で電力と熱を融通する地域エネルギー供給システムの構築を支援する方法を提案することを目的とする。具体的には、マイクログリッド型の地域エネルギー供給システムの実証実験が進む横浜市金沢区の産業団地³⁾をケーススタディの対象地域として、地域エネルギー供給を検討する上で重要となる供給資源側でのバイオマス発生量、需要側でのエネルギー需要量の地域情報を地理情報システム (GIS) を利用して空間的に算出するプロセスを構築する。

マイクログリッド型のエネルギー供給システムは、エネルギー供給先に関して無数の解があるので、地域全体として省エネルギー性のより高い代替案を選択するため

には、多様な代替案を比較評価できるシステムを構築する必要がある。これまでエネルギー需給バランスの評価の際には、1km メッシュレベル⁴⁾や町丁目レベル⁵⁾での需要推計が行われてきた。しかし、1km メッシュレベルでは、建物別の需要パターンや熱需要温度の違いを考慮することが難しいため、小地域内のエネルギー需給バランスの評価には限界がある。そこで、本研究では、需要パターンの異なるエネルギー需要や温度の異なる熱需要をより細かい空間精度で分析できるシステムの構築をめざす。その上で、エネルギー供給先について複数のケースを設定し、省エネルギー効果や二酸化炭素削減効果を定量的に評価する。

2. 金沢区の地域特性と検討対象

(1) 金沢区の概要と供給側特性

金沢区の人口は平成 17 年 4 月現在で 208,232 人、総世帯数は 82,900 世帯、面積は 30.68km²であり⁶⁾、南北約 8km、東西約 6km に広がっている。区の東部には金沢産業団地・鳥浜産業団地の 2 つの産業団地が立地し、区の中部・西部には住居地域が広がっている(図-1)。金沢産業団地内には、ごみ焼却場である金沢工場、金沢下水処理場、南部汚泥処理センターのインフラ 3 施設が隣接立地している。

このごみ焼却場では廃棄物発電、南部汚泥処理センターでは消化ガス発電が既に実施されている³⁾。特にごみ焼却場における廃棄物発電は、年間の総発電電力量が 130,917MWh、売電電力量が 71,529MWh (ともに平成 16 年度)⁷⁾とエネルギー供給ポテンシャルが大きく、マイクログリッド型のエネルギー供給システムである「地域エコエネルギーウェブ」の主要なエネルギー供給源として検討されている³⁾。そこで、本研究でもごみ焼却場をエネルギー供給地として、小地域内で電力と熱を融通することを検討する。

(2) エネルギー供給地周辺の需要特性

本研究では、熱輸送に伴う熱損失を考慮し、エネルギ

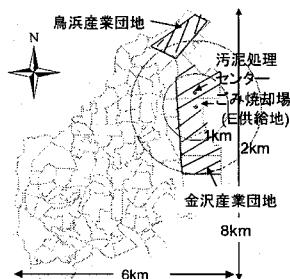


図-1 金沢区の概要

ー供給地となるごみ焼却場から半径 2km 以内⁸⁾をエネルギー供給可能な範囲(金沢区以外のエリアは含まれていない)とする。金沢区のごみ焼却場半径 2km 以内には産業団地が立地しているため、複数の業種の工場が存在している。同時に多企業の業務系・商業系の建物、住宅団地も立地しており、商・住・工の混在地域となっている。

3. エネルギー供給先を決定する判断基準

地域で発生する廃棄物やバイオマスを電熱源とする地域エネルギー供給システムを構築する際、地域全体として最も省エネルギー効果を生み出すようにエネルギー供給先を慎重に検討する必要がある。本研究では、エネルギー供給地周辺の商・住・工の土地利用が混在している需要特性から、民生部門におけるエネルギー需要の時刻別変動の違い、産業部門と民生部門の熱需要温度の違いに着目する。そして、負荷平準化や熱のカスケード利用を図ることが、エネルギー供給先を決定する際の重要な判断基準であるとし、それらによる効果を定量化し、比較分析するための支援システムを構築した。

(1) 負荷平準化の効果

エネルギー供給地周辺には、昼間にエネルギー需要が多い業務系の建物と、夜間に需要が多い住居系の建物用途が混在している。ごみ焼却場における廃棄物発電からのエネルギー供給量は昼夜一定であるため、エネルギー供給先として業務系と住居系の建物用途をバランスよく選定することで、負荷が平準化され、未利用エネルギーを最大限利用することが可能になると考えられる(図-2)。

本研究では、同一メッシュ内における時刻別エネルギー需要の異なる建物用途の混在を最小限に止めるために、民生部門のエネルギー需要を 100m メッシュ単位で算出した。また、エネルギー供給先について複数のケースを設定することで、需要構成の違いによる省エネルギー効果の差を定量的に分析した。

(2) 熱エネルギーのカスケード利用

熱エネルギーのカスケード利用とは、温度レベルが高

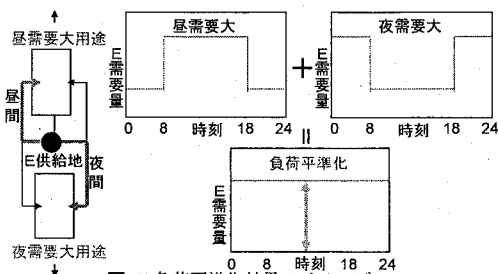


図-2 負荷平準化効果のイメージ

い熱需要から低い熱需要に順に熱エネルギーを利用していくことであり、エクセルギー効率の高い利用方法であると言える。エネルギー供給地周辺には、温度レベルの高い熱を必要とする産業系の熱需要と、温度レベルの低い熱を必要とする民生系の熱需要が混在している。したがって、ごみ焼却場からの高温排熱を温度レベルの高い熱需要に優先的に供給することで、より省エネルギー効果が高まると考えられる。

そこで、本研究では、産業部門の熱需要について、1工場単位で熱需要温度別に算出するプロセスを構築し、熱のカスケード利用による省エネルギー効果を分析することを可能にした。

4. GISデータベース構築の手順

(1) バイオマス発生量の算出方法

都市部で発生すると考えられる民生系バイオマス3種類（家庭系厨芥類・事業系厨芥類・剪定枝）、産業系バイオマス3種類（動植物性残渣・有機性汚泥・建設廃木材）の計6種類について、金沢区での発生量を算出した。小スケールのバイオマス発生量の算出に関しては、石井ら⁵⁾が家庭系厨芥類、事業系厨芥類の発生量を町丁目レベルで推計している。本研究では、さらに動植物性残渣・有機性汚泥の発生量について1工場単位での算出プロセスを構築した。

a) 家庭系厨芥類の発生量

金沢区全体の発生量を町丁目別人口により割り振り、町丁目レベルで算出した。家庭ごみ中の厨芥類組成は横浜市中における値（35.0%）⁹⁾を用いた。

b) 事業系厨芥類の発生量

地域メッシュ統計¹⁰⁾の従業員数に従業員1人あたりの排出量¹¹⁾を乗ずることにより、500mメッシュ単位で算出した。対象とする事業所は厨芥類の発生が多い飲食店、ホテル・旅館、デパート・スーパー、食品小売店、学校、病院、事務所営業所、食品以外の小売店とした。

c) 産業系バイオマスの発生量

産業系バイオマスは1工場あたりの発生量が大きく、工場ごとに処理・有効利用方法が決定されと考えられる。そのため、金沢区の食料品製造業、飲料・たばこ・飼料製造業から発生する動植物性残渣・有機性汚泥の発

生量を1工場単位で算出した。具体的には、神奈川県産業廃棄物総合実態調査報告書¹²⁾の県全体における発生量を、各業種の製造品出荷額により区単位に割り振り、さらに出資金¹³⁾により1工場単位に割り振った。

d) 木質系バイオマスの発生量

剪定枝に関しては、金沢区の公園面積⁹⁾に公園面積あたりの剪定枝発生量¹⁴⁾を乗じることで、金沢区全体から発生する量を算出した。建設廃木材に関しては、金沢区における除去建築物床面積¹⁵⁾に建築床面積あたりの廃木材発生量¹⁶⁾を乗じることで、金沢区全体からの発生量を算出した。

(2) 民生部門エネルギー需要量の算出方法

金沢区内の民生部門のエネルギー需要量を100mメッシュ単位で求めた。対象建物用途は、エネルギー消費原単位や時刻別負荷パターンの違いを考慮して、戸建住宅・集合住宅・商業施設・業務施設・行政施設・宿泊施設・学校・病院の8用途とした。この8用途の延床面積を100mメッシュ単位で集計し、各建物用途の単位床面積あたりのエネルギー消費原単位を延床面積に乗じて、100mメッシュあたりのエネルギー需要量を算出した。

a) 6建物用途の100mメッシュ内延床面積

6建物用途（戸建て住宅・集合住宅・商業施設・業務施設・行政施設・宿泊施設）の100mメッシュ内の建物用途別延床面積を算出する方法は、吉田ら¹⁷⁾が用いた方法を参照した。使用データは、都市計画基礎調査建物現況調査¹⁸⁾と細密数値情報¹⁹⁾である。都市計画基礎調査の町丁目別延床面積と細密数値情報の10mメッシュ土地利用情報に対して、図形データ²⁰⁾（町丁・字界データ）によりGIS上で位置情報を付加し、100mメッシュ内6用途別延床面積を算出した（図-3）。なお、都市計画基礎調査建物現況調査と細密数値情報は表-1に示す地域で整備されており²¹⁾、神奈川県以外の他の都市部でも適用可能な方法であるといえる。

b) 病院、学校の延床面積

病院に関しては、全国病院名鑑²²⁾に記載されているデータを用いた。データが記載されていない病院については、数値地図2500（空間データ基盤）²³⁾を利用して建物床面積を求め、各病院のホームページから得た階数データを乗じることにより算出した。

学校は、小・中・高校を対象とし、数値地図2500（空

表-1 建物用途別延べ床面積の算出に用いたデータの概要

細密数値情報(10mメッシュ土地利用, 1994)	都市計画基礎調査建物現況調査, H12
データ内容	
17種類に分類された10mメッシュ土地利用 (民生用建物用途は5分類)	町丁目別の建物用途別延べ床面積 (横浜시는32分類、民生用用途は22分類)
データ整備地域	
首都圏, 中部圏, 近畿圏	宮城, 千葉, 東京, 神奈川, 愛知, 大阪, 兵庫, 高知

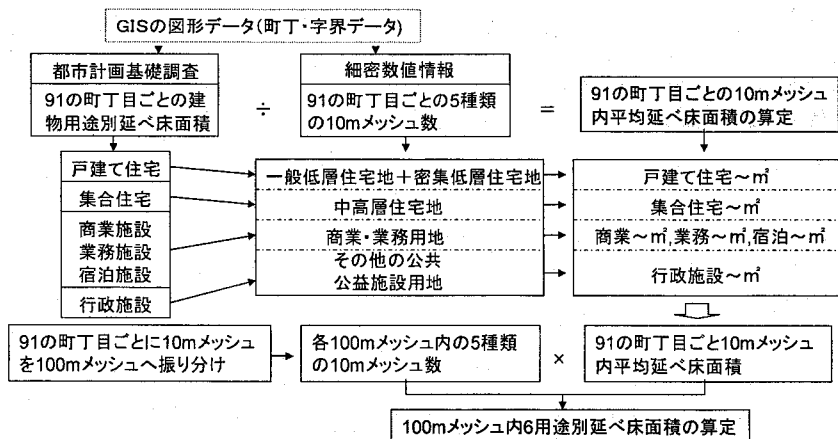


図-3 100m メッシュ内建物用途別延べ床面積の算出方法

間データ基盤)を利用して建物床面積を求め、階数を3階と設定して延床面積を算出した。

c) 100m メッシュ内エネルギー需要量

100m メッシュ内建物用途別延床面積に電力・給湯・暖房・冷房の4つの利用用途別の年間エネルギー消費原単位^{24) 25) 26)}を乗じ、さらに、月別負荷パターン^{24) 25) 26)}を乗じ、1ヶ月の日数である30または31で除し、時刻別負荷パターン^{24) 25) 26)}を乗じることで、100m メッシュ内の時刻別エネルギー需要量を夏期・中間期・冬期別に算出した。なお、夏期は8月、中間期は4月、冬期は1月として、それぞれの月のデータを用いた。

(3) 産業部門エネルギー需要量の算出方法

a) 産業部門エネルギー需要量

本研究では、産業部門のうち、エネルギー需要の大半を占める製造業を対象とした。産業部門のエネルギー需

要を算出する際に必要な点は、①工場の位置・業種別の工場数の特定、②エネルギー需要量の算出、③熱の需要温度の設定である。この3点を考慮し、金沢区に存在する工場(製造業)1工場あたりのエネルギー需要量を算出した(図-4)。

b) 対象とするエネルギー需要の選定

本研究では、産業部門における未利用熱エネルギーの有効利用を検討するため、熱需要のみを算定の対象とした。産業部門における熱需要は、燃料を利用するボイラ用・直接加熱用・コージェネレーション用の熱需要、電力を利用する加熱用熱需要の4用途に分類されるが、図-5に示すとおり、ボイラ用・直接加熱用が熱需要の大半を占めるので、これらの2用途を算出の対象とした。

c) 対象とする業種の選定

平成13年時の産業標準分類の中分類22業種のうち、食料・繊維・紙製品・化学・石油・窯業・鉄鋼・非鉄・

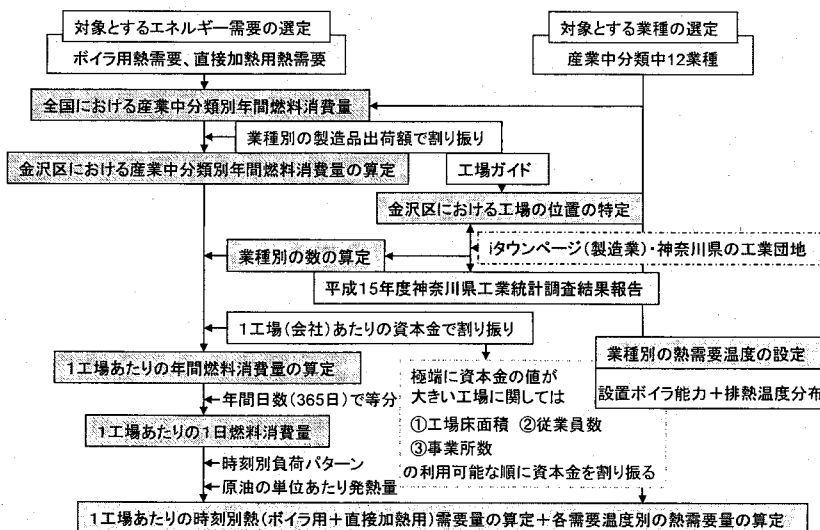


図-4 産業部門エネルギー需要量の算出方法の概要

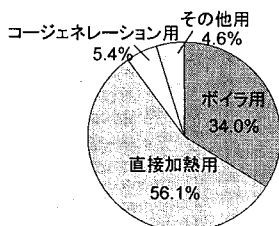


図-5 製造業における燃料の用途別消費割合²⁷⁾

金属・機械・電機・輸送機（略称）の12業種を選定した。まず、熱需要量上位10業種を選定し、下位7業種を対象外とした²⁷⁾。次に、残りの5業種のうち、政令指定都市における事業所数上位2業種を選定した²⁸⁾。

d) 工場の位置・業種別の工場数の特定

「工場ガイド」神奈川県版¹³⁾の金沢区の欄に記載の440の工場を、平成15年度神奈川県工業統計調査結果報告²⁹⁾の値に合うように産業中分類の業種別に振り分けた。業種の特定は①各工場のiタウンページ³⁰⁾における業種の確認、②「工場ガイド」の営業品目と工業統計調査の産業小分類別の営業品目との照合、③「神奈川県の工業団地」³¹⁾の主要製品名と産業小分類別の営業品目との照合、の手順で行った。位置は、上記の方法で抽出した工場について、「工場ガイド」に記載されている各工場の住所をもとに、CSVアドレスマッチングサービス³²⁾を用いてGIS上で特定した。

表-2に、算定した業種別の工場数と工業統計調査結果報告における工場数とを比較したものを示す。最大で7の誤差があるものの（機械）、この算出方法によって概ね良好な再現結果を得ることができることが分かる。なお、工業統計調査では製造品が複数の品目にわたる事業所は、中分類が同じである製造品出荷額の合計が最も大きな業種に分類される。機械など他の業種に分類される営業品目も製造している業種では、各工場の製造品出荷

額が記載されていない「工場ガイド」を用いる方法では、正確に分類されない場合がある。

e) 1工場あたりのエネルギー需要量の算出方法

産業部門の業種別のエネルギー消費量に関しては、県や市、区スケールでデータがなかったため、全国における産業中分類別年間燃料消費量²⁷⁾を業種別の製造品出荷額²⁸⁾で割り振り、金沢区における産業中分類別年間燃料消費量とした。次に、「工場ガイド」に記載されている資本規模をもとに、産業中分類別に1工場あたりの年間燃料消費量を求めた。この方法の問題点として、ここでの資本規模は会社全体の値であるため、複数の工場を有する大企業などは資本規模が極端に大きく、エネルギー需要が過大評価されてしまう。この問題を解決するために、極端に資本規模が大きい工場に関しては、各企業のホームページで利用可能な順に①工場床面積、②従業員数、③事業所数に基づいて会社全体の資本規模を1工場単位に振り分け、その値を用いた（図-4）。

f) 業種別の熱需要温度の設定

対象とした産業中分類別の12業種について、図-6に示す業種ごとのボイラ用燃料消費量と直接加熱用燃料消費量の大きさを比較し、①：ボイラ用>>直接加熱用を満たす業種（紙製品・食料・繊維・電機）、②：ボイラ用<<直接加熱用を満たす業種（窯業・鉄鋼）、③：①・②を満たさない業種（化学・石油・非鉄・金属・機械・輸送機）、の3類型に分類した。①に関してはボイラ用熱需要温度のみ、②は直接加熱用熱需要温度のみ、③は両方を設定した。

ボイラ用熱需要温度については、4段階の温度別（150℃未満・150～200℃・200～250℃・250℃以上）に集計された蒸気ボイラの設置数²⁷⁾を参考に熱需要温度を設定した。具体的には、4段階の温度別のうち、全体のボイラ基数の大半を占める温度区分を熱需要温度と設定した。直接加熱用熱需要温度については、業種別の排

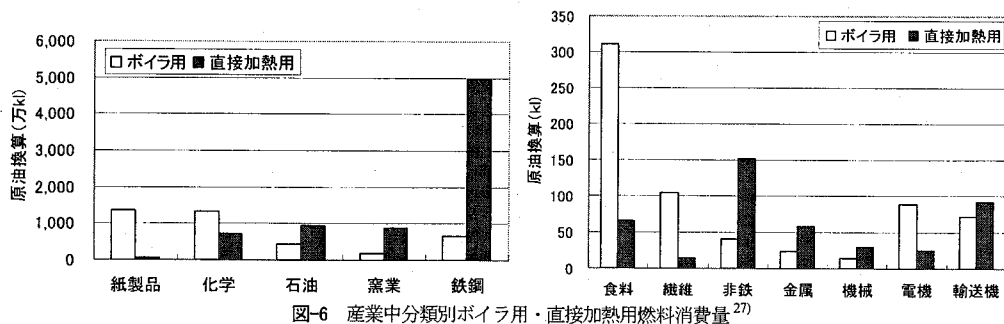


図-6 産業中分類別ボイラ用・直接加熱用燃料消費量²⁷⁾

表-2 産業中分類別工場数の算定結果と工業統計調査結果との比較

産業中分類	食料	飲料	繊維	紙製品	化学	石油	窯業	鉄鋼	非鉄	金属	機械	電機	輸送機	合計
結果	38	2	4	7	12	2	4	12	2	66	55	17	50	271
工業統計調査	39	2	4	7	11	4	5	12	3	68	62	17	52	286

表-3 産業中分類別の熱需要温度の設定

	類型	ボイラ用熱需要温度(°C)	直接加熱用熱需要温度別比率		
			100～200°C(%)	200～400°C(%)	400°C以上(%)
食料	1	150～200			
繊維	1	150～200			
紙製品	1	150～200			
化学	3	150～200	0.0	25.2	74.8
石油	3	150～200	0.0	71.6	28.4
窯業	2		23.6	38.0	38.4
鉄鋼	2		43.3	24.0	32.7
非鉄	3	150～200	0.0	14.0	86.0
金属	3	150～200			
機械	3	150～200	0.0	64.9	35.1
電機	1	150～200			
輸送機	3	150～200	0.0	44.3	55.7

熱温度レベル³³⁾³⁴⁾を基に100～200°C・200～400°C・400°C以上の3区分に分類して、熱需要温度レベルを設定した。未利用熱利用方法として、発電用の400°Cの蒸気を抽気して需要地に供給する方法と、煙突からの200°Cの排熱を回収して利用する方法の2パターンが考えられるため、このように分類した。排熱の中には蒸気ボイラからの排熱も当然含まれるが、ボイラ用の熱需要温度の大部分が200°C以下であることから、類型③に関しては、直接加熱用の熱需要は200°C以上の温度レベルのみと設定した。各業種別に設定した熱需要温度を表-3に示す。

表-4 金沢区におけるバイオマス発生量の算出結果

対称バイオマス		1日あたり発生量(t/日)
Wet系	家庭系厨芥類	34.14
	事業系厨芥類	17.66
	動植物性残渣	7.92
	有機性汚泥	54.46
木質系	剪定枝	1.35
	建設廃木材	6.28

業系ともに厨芥類の発生量が多い一方で、木質系バイオマスの発生量が少ないことが分かる。

(2) バイオマス収集シナリオごとのエネルギー供給可能量

a) バイオマス収集シナリオの設定

廃棄物処理施設へバイオマスを回収した場合のエネルギー供給ポテンシャルを算出するため、実現性の高い順に7通りのバイオマス収集シナリオを設定した(表-5)。産業系バイオマス(近隣)は金沢区のみ、同(広域)は隣接する磯子区も含めた収集、厨芥類(近隣)は金沢区のみ、同(広域)はごみ焼却場で処理している厨芥類の収集を意味する。また、Wet系バイオマスは汚泥処理センター、Dry系バイオマスはごみ焼却場まで回収され、それぞれ下水汚泥、他の焼却ごみと混合処理された後に、廃棄物発電・消化ガス発電のエネルギー源とされるものとした。

なお、本研究では、以下の理由からバイオマスの回収に要するエネルギーは無視できるものとした。

- ・ 民生系厨芥類に関しては、ごみ焼却場と隣接する汚泥処理センターに回収するので、輸送に要するエネルギーに変化はなく、厨芥類の分別収集の回数が増加する一方で、焼却ごみの収集回数が減少するため、追加的な輸送は生じないと見なすことができる。
- ・ 産業系バイオマスに関しては、発生源が回収場所の

表-5 バイオマス収集シナリオの設定

収集シナリオ	対象バイオマス・対象範囲
①	産業系バイオマス(近隣)
②	産業系バイオマス(広域)
③	②+事業系厨芥類(近隣)
④	②+事業系厨芥類(広域)
⑤	④+家庭系厨芥類(近隣)
⑥	④+家庭系厨芥類(広域)
⑦	⑥+木質系バイオマス

5. 金沢区におけるエネルギー需給分布の算出結果

(1) 金沢区におけるバイオマス発生量

計6種類のバイオマスについて、1日あたりの発生量を算出した(表-4)。また、Wet系バイオマスの発生源の分布を図-7に示す。表-4から、金沢区では家庭系・事

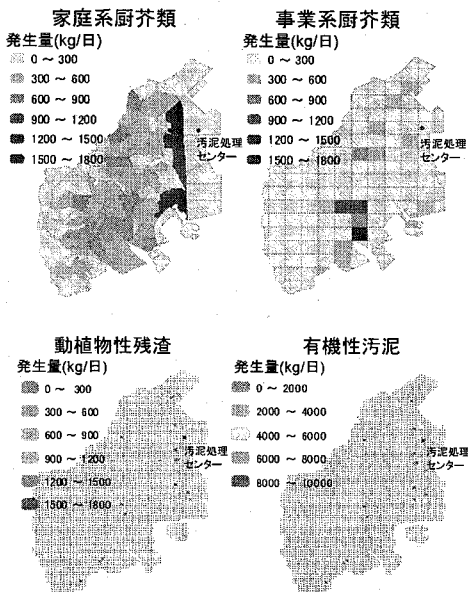


図-7 金沢区におけるWet系バイオマスの発生分布

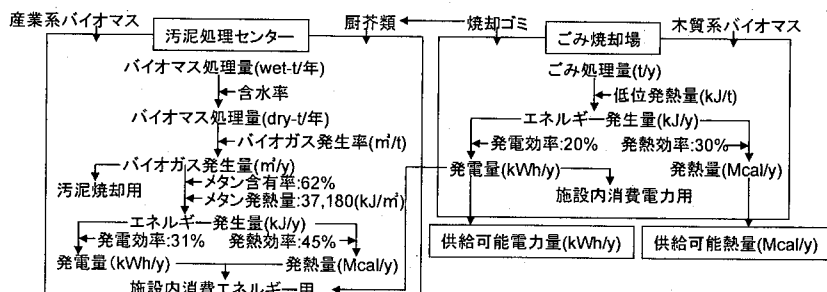


図-8 汚泥処理センター、ごみ焼却場におけるエネルギー発生量算出フロー³⁶⁾

近くに集中しており、従来の処理場³⁵⁾への回収と比較して、輸送に要するエネルギーは大きく変わらないと予想される。木質系バイオマスに関しては、発生量が少なく、収集に要するエネルギーの影響は小さいと考えられる。

b) 汚泥処理センターにおけるエネルギー発生量の変化

Wet系バイオマスの混合処理による消化ガス発電からのエネルギー発生量の変化、施設内消費電力量の変化を算出した（図-8左、表-6）。施設内消費エネルギーは、平成16年度の消費エネルギーと汚泥処理量³⁶⁾から単位汚泥あたりの消費エネルギーを求め、その値にバイオマス混入後の汚泥処理量を乗じることで算出した。なお、汚泥は乾燥状態における重量とした。メタン発酵で生じたガスの増加分は、汚泥焼却に必要なガスの増加分に回し、残りを発電用に用いることとした。また、発電で発生した電力・熱は、それぞれ施設内の消費電力・消費熱に用いることとした。

c) ごみ焼却場におけるエネルギー供給可能量の変化

厨芥類の引き抜き・木質系バイオマスの回収による廃棄物発電からのエネルギー発生量の変化、施設内消費エネルギーの変化を算出した（図-8右、表-7）。施設内消費エネルギーに関しては、平成16年度の施設内消費電力量とごみ処理量⁷⁾から単位ごみあたりの消費電力量を求め、その値に施策導入後のごみ処理量を乗じて算出した。

また、ごみ焼却場における供給可能電力量を式(1)から算出した。発生した熱は、全て供給可能とした。

表-6 バイオマス発生量算出に用いたデータ^{36) 37)}

対象バイオマス	含水率	バイオガス発生率 (ml/dry-t)
下水汚泥	94.6%	301
家庭系厨芥類	80%	550
事業系厨芥類		550
動植物性残渣		550
有機性汚泥	VS2.18%	0.15mCH ₄ /投入kgVS

表-7 焼却ごみ別の低位発熱量

焼却ごみ	低位発熱量 (kJ/kg)	参考文献
紙類	7,516	38)
プラスチック類	26,943	
木竹類	9,981	
繊維類	9,650	
厨芥類	2,599	
金属・ガラス類	0	14)
その他	3,536	
建設廃木材	15,600	
剪定枝	18,800	

$$\text{供給可能電力量 (kWh/年)} = \text{発電量} - \text{施設内消費電力量} - \text{汚泥処理センターへの売電量} \quad (1)$$

表-8に、7通りのシナリオ別のごみ焼却場におけるエネルギー供給可能量の算出結果を示す。シナリオ①、②では、供給電力量が低下するという結果になった。これは、産業系バイオマスを汚泥処理センターへ混入した場合、消化ガス発電量よりも施設内消費電力量の増加が大きいため、ごみ焼却場から汚泥処理センターへの売電量が増加したことによると考えられる。シナリオ③～⑥では、供給電力量は増加し、供給熱量は低下するという結果になった。これは、厨芥類がごみ焼却場から引き抜かれたため、供給熱量は低下するが、厨芥類の発熱量は低く、発生熱量あたりに要する処理電力量が大きいいため、廃棄物発電量の減少量を施設内消費電力量の減少量が上回ったためと考えられる。最後に、シナリオ⑦では、ごみ焼却場で木質系バイオマスを混合処理しているため、供給電力量、供給熱量ともに増加している。

(3) 金沢区におけるエネルギー需要量

金沢区全体、ごみ焼却場から半径2km以内及び半径1km以内の3つのカテゴリ別に、夏期、冬期、中間期の民生部門エネルギー需要量を算出した（表-9）。どの時季においても電力で金沢区全体の約30%、温熱で約24%、冷熱では33%以上の需要が、ごみ焼却場から半径2km以内に集中している（図-9）。また、温熱だけで比較すると夏期の需要が冬期の需要の約8分の1だが、冷熱も合わせると、夏期は冬期の60%以上の熱需要を有している。したがって、1年を通して十分な熱需要が存在している。

表-8 ごみ焼却場におけるエネルギー供給可能量

シナリオ	供給可能電力量 (MWh/年)	供給可能熱量 (Tcal/年)
現状	55,413	168.89
①	55,311	168.89
②	55,181	168.89
③	55,844	167.68
④	57,791	164.27
⑤	59,114	161.95
⑥	64,033	153.32
⑦	65,628	156.16

表-9 金沢区における民生部門エネルギー需要量の算出結果

	電力(kwh/日)	割合(%)	温熱(Mcal/日)	割合(%)	冷熱(Mcal/日)	割合(%)	熱合計(Mcal/日)
夏期(金沢区全体)	1,479,701		528,091		1,223,904		1,751,995
冬期(金沢区全体)	1,426,167		3,970,897		3,441		3,974,338
中間期(金沢区全体)	1,443,558		1,665,585		45,832		1,711,417
夏期(半径2km以内)	463,926	31.4	122,878	23.3	463,790	37.9	586,668
冬期(半径2km以内)	422,424	29.6	940,292	23.7	1,833	53.3	942,125
中間期(半径2km以内)	433,577	30.0	393,330	23.6	15,348	33.5	408,678
夏期(半径1km以内)	165,705	11.2	35,973	6.8	171,504	14.0	207,477
冬期(半径1km以内)	145,009	10.2	274,389	6.9	458	13.3	274,847
中間期(半径1km以内)	152,425	10.6	111,524	6.7	5,961	13.0	117,485

表-10 金沢区における産業部門エネルギー需要量の算出結果

	熱需要(Mcal/日)	割合(%)
金沢区全体	2,688,880	
半径2km以内	1,585,248	59.0
半径1km以内	111,092	4.13

にしているといえる。産業部門の熱需要に関しては、ごみ焼却場から半径2kmに約60%が集中している(図-9、表-10)。

6. エネルギー供給先の違いによる省エネルギー効果の分析

(1) 負荷平準化による省エネルギー効果

a) 分析方法

冬期の電力・熱需要について、まず各メッシュの1日あたりの需要量を8～18時と18～8時に分類して算出し、8～18時のエネルギー需要量が1日の50%以上を占めるメッシュを「業務系メッシュ」、50%未満のメッシュを「住居系メッシュ」として、各メッシュをエネルギー需要の時刻別変動の違いによって分類した。年間熱需要が1Tcal/ha以上のメッシュは、今後単独でコージェネレーションが導入される可能性があるため、未利用エネルギー供給対象外とした。なお、冬期を対象としたのは、温熱需要が大きいことを考慮したためである。

次に、2種類に分類したメッシュに関して、図-10に示すようにエネルギー供給先の需要構成を11ケース設

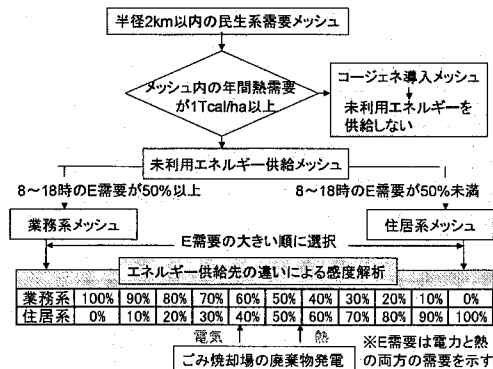


図-10 負荷平準化効果の評価方法

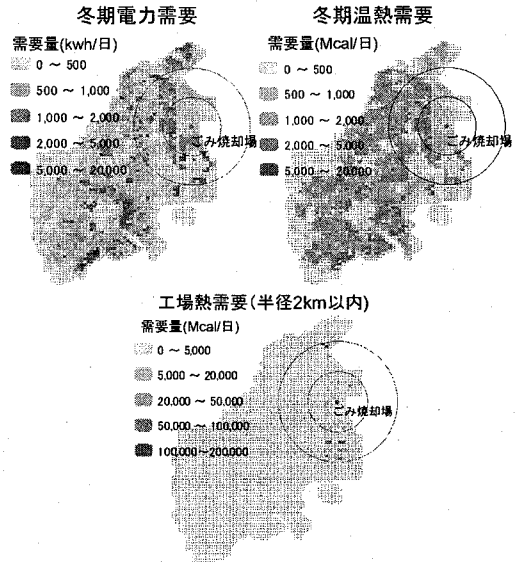


図-9 金沢区におけるエネルギー需要量の分布

定し、需要構成の違いによる省エネルギー効果の違いを定量的に分析した。エネルギー需要が大き順に供給するメッシュを選択したのは、需要の集中したエリアに優先的に供給することで、小地域内の電力・熱の供給インフラとなる自営線や熱導管の必要量を最小限に抑えるためである。図-11は、需要構成を業務系50%+住居系50%とした時の需要家全体の時刻別負荷パターンを示している。評価指標として、式(2)で算出されるエネルギー代替率(未利用エネルギー供給可能量のうち、需要代替に貢献した量の割合)を用いた。エネルギー代替率が高くなるように供給することには、次の3つの利点がある。

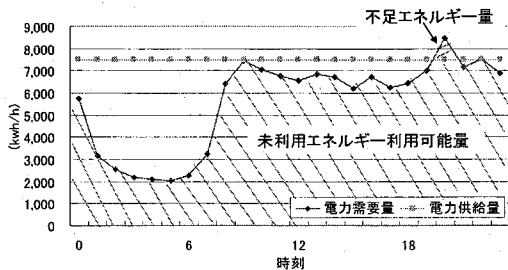


図-11 業務系50%+住居系50%の時刻別負荷パターン

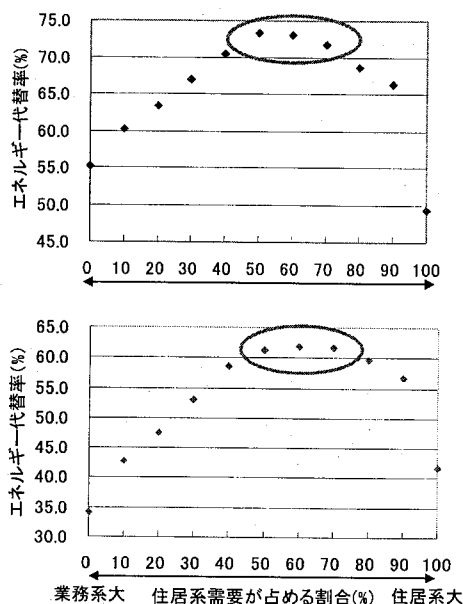


図-12 需要構成別エネルギー代替率の変化(上:電力,下:熱)

- ・ コストの高い蓄電池・蓄熱槽を用いず、未利用エネルギーを最大限利用できる。
- ・ 系統電力への売電単価よりも家庭への売電単価のほうが大きいため、系統電力への売電量を少なくすることは経済面で有利である。
- ・ 需要地への電力供給を大きくすることで、同地区のマイクログリッドシステムへの導入が予想される太陽電池³⁾の変動を吸収しやすくする。

廃棄物発電からの供給エネルギーは、最も電力供給可能量が大きい表-8のシナリオ7における年間エネルギー供給可能量から1時間あたりの供給可能量を算出した値(電力:7,491.8kWh/h, 熱:17,827Mcal/h)を用い、24時間一定の出力が保たれるとした。

$$\text{エネルギー代替率} = \frac{\text{未利用エネルギー利用可能量} - \text{不足エネルギー量}}{\text{未利用エネルギー供給可能量}} \quad (2)$$

b) 分析結果

需要構成別エネルギー代替率の変化を図-12に示す。電力・熱ともに業務系30%+住居系70%、業務系40%+住居系60%、業務系50%+住居系50%の需要構成となるように未利用エネルギーを供給することで、省エネルギー効果が高まるという結果になった。また、需要構成の違いにより、電力で最大24.0%、熱で最大27.6%、需要代替に貢献する未利用エネルギーの割合に変化が生じることが分かった。さらに、最も省エネルギー効果が大きい需要構成(電力:業務系50%+住居系50%、熱:業務系40%+住居系60%)で未利用エネルギーを供給することで、冬期1日において、金沢区・民生8部門の最

終エネルギー需要の7.27%を代替できることが明らかになった。

(2) 熱のカスケード利用による省エネルギー効果

a) 代替案の設定

ごみ焼却場から半径1km、半径2km以内のそれぞれの年間熱需要量を表-11に示す。ここでは、工場における熱需要量は、3区間の温度レベルに分類した熱需要のうち、200℃以下の熱需要を廃棄物発電からの排熱で代替できるとし、その値を示している。

各カテゴリー別の熱需要量と表-8のシナリオ7における熱供給量:156.2(Tcal/年)との比較から、以下の3つの代替案を設定した。

- ①半径2km以内の民生部門熱需要のみへの排熱供給
- ②半径1km以内の産業部門熱需要へ優先的に排熱供給し、余剰分を民生部門熱需要へ供給
- ③半径2km以内の産業部門熱需要のみへの排熱供給

なお、本研究では熱輸送に伴う熱損失は無視したが、実際は配管での熱損失が10%弱あると考えられる³⁹⁾ので、より正確な省エネルギー効果を評価する際には考慮する必要がある。また、本来、「熱のカスケード利用」とは温度レベルが高い熱需要から低い熱需要に順に熱エネルギーを多段階で利用していくことを意味するが、ここでは産業部門の高い温度レベルの熱需要へ優先的に排熱供給することを指すものとする。

b) 分析方法

熱需要代替によるエネルギー消費削減量の違いから生じるCO₂排出削減量を算定し、3つの代替案の省エネルギー効果を評価した。民生部門への排熱供給は温熱需要のみを対象とし、給湯需要、暖房需要の順、業務部門、家庭部門の順に、それぞれの熱需要に達するまで供給するものとする。給湯需要は変換効率71%のガス給湯器を使用、暖房需要は業務部門がCOP3のエアコンを使用、家庭部門は7割の家庭がCOP3のエアコンを使用、3割の家庭がCOP0.8の石油ストーブを使用と設定し、都市ガス、電気、灯油の消費削減量からCO₂排出削減量を算定した。産業部門については、原油の消費削減量からCO₂排出削減量を算定した。算定に用いたデータを表-12に示す。

表-11 各カテゴリー別熱需要量

	給湯需要	暖房需要	温熱需要 (Tcal/年)	排熱供給量 (Tcal/年)
民生半径1km以内	24.8	20.7	45.5	156.2
民生半径2km以内	84.5	71.7	156.2	
工場半径1km以内			24.1	
工場半径2km以内			273.9	

表-12 CO₂排出削減量の算定に用いたデータ²⁵⁾

	エネルギー換算係数	CO ₂ 排出係数
原油	9,143kcal/l	2.65kg-CO ₂ /l
灯油	8,767kcal/l	2.51kg-CO ₂ /l
都市ガス	10,000kcal/m ³	2.15kg-CO ₂ /m ³
電気	2,348kcal/kwh	0.355kg-CO ₂ /kwh

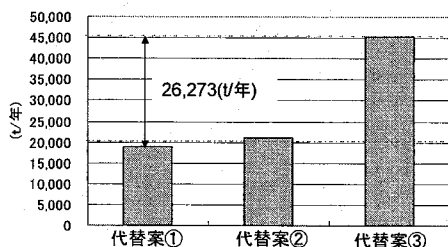


図-13 各代替案のCO₂排出削減量の算出結果

c) 分析結果

3通りの排熱供給方法ごとに、CO₂排出削減量を算定した結果を図-13に示す。代替案②、代替案③と産業部門への熱供給が増加するにつれて、大幅にCO₂排出削減量が増加している。民生部門のみへ排熱供給する代替案①に比べ、産業部門のみへ排熱供給する代替案③のCO₂排出量が年間で26,273t少なくなることが明らかになった。2つの代替案の最終エネルギー需要の代替量は同量であるが、民生部門の低温熱生成より産業部門の高温熱生成に必要な1次エネルギー消費量が多い。そのため、産業部門のみへ供給した場合の方が、CO₂排出削減量が多くなったと考えられる。

7. おわりに

本研究では、民生部門におけるエネルギー需要の時刻別変動の違い、産業部門と民生部門の熱需要温度の違いを考慮して、都市部におけるバイオマスを活用した地域エネルギー供給システムの代替案を評価するGISベースの支援システムを構築し、対象地域に適用した。以下に、本研究から得られた主要な結果をまとめる。

- ① GISを利用して、バイオマス発生量、エネルギー需要量を空間的に算出するプロセスを構築した。特に需要側において、民生部門に関しては100mメッシュ単位で、産業部門に関しては熱需要温度の違いも考慮して、1工場単位で熱需要量を算出する手法を構築した。この算出方法は、地域レベルで共通して入手可能な統計データを入力する構造としているので、多くの都市に適用可能である。100mメッシュ単位に分割したことで、異なる需要パターンの同一メッシュ内への混在を最小限に止めることを可能にした。具体的には、対象とした8つの建物用途が存在する全2,117メッシュ中、83%を占める1,758メッシュで同一種の建物用途（戸建住宅と集合住宅、商業施設と業務施設は同一種とみなす）が90%以上の割合を占める結果を得た。また、1工場単位で算出したことにより、異なる温度の熱需要を空間的に分解することができた。

- ② 負荷平準化による省エネルギー効果を分析した結果、電力・熱ともに業務系30%+住居系70%、業務系40%+住居系60%、業務系50%+住居系50%の需要構成となるように未利用エネルギーを供給することで、省エネルギー効果が高まるという結果になった。100mメッシュ内に街区レベルの情報を反映することができ、エネルギー供給先の変化に応じた省エネルギー効果の算定が可能になった。
- ③ 熱のカスケード利用によるCO₂排出削減効果を評価した結果、産業部門への熱供給割合を増加させることで、CO₂排出削減量が大幅に増加しうることが定量的に明らかになった。精度に改善の余地があるものの、異なる温度の熱需要を空間的に分解して算出したことで、熱のカスケード利用の効果を評価することを可能にした。

金沢区のような住宅と業務建物が混在している地域は、日本の都市部に多く存在していることから、本研究で提案した負荷平準化効果の分析方法は他の地域でも広く応用可能である。熱のカスケード利用の評価も、産業系の熱需要と民生系の熱需要が小地域内に混在する川崎や尼崎での適用が可能であると考えられる。熱需要温度の設定の見直し、経済性・技術性評価の追加、評価対象の都市スケールへの拡張などを今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 農林水産省：バイオマスニッポン総合戦略、2006
- 2) 例えば、山地憲治編著：「分散エネルギーシステム」、エネルギー資源学会、2004
- 3) 石川島播磨重工業：地域エコエネルギーウェブシステム（自然エネルギーを中心としたエネルギーの相互利用システム）のための制御方法に関する技術開発業務報告書、2005
- 4) 丹治三則、盛岡通、藤田壮：流域圏でのシナリオ誘導型施策立案と評価を支援する地理情報システムに関する研究、環境システム研究論文集、Vol31, p.367-377, 土木学会環境システム委員会、2003
- 5) 石井暁、花木啓祐：川崎市下水処理場における有機性食品廃棄物を利用したエネルギー回収および二酸化炭素削減ポテンシャルの推定、環境システム研究論文集、Vol34, p.443-453, 土木学会環境システム委員会、2006
- 6) 横浜市長官舎：「金沢区統計要覧 2005-2006」、<http://www.city.yokohama.jp/me/kanazawa/08kanazawa/tokeiyoran/2005_2006.pdf>, 2005
- 7) 横浜市資源循環局：ごみの処理について、<<http://www.city.yokohama.jp/me/pcpb/dat30.html#hatsuden>>
- 8) 新エネルギー産業技術総合開発機構：技術情報データベース 温度差エネルギー理論的賦存量資料、2001、<<http://www.nedo.go.jp/ndata/14fy/07/0007blast.htm>>

- 9) ごみの組成は？(平成 16 年度値): 横浜市資源循環局ホームページ, <<http://www.city.yokohama.jp/Me/pcpb/data/datl.html#sosei>>
- 10) 統計情報研究開発センター: 地域メッシュ統計(都道府県別) 平成 13 年事業所・企業統計調査(14 神奈川県), 2004
- 11) 羽原・松藤・田中, 事業系ごみ量と事業所規模別発生・循環推計法に関する研究, 廃棄物学会論文誌, Vol.113, No.5, p.315-324, 廃棄物学会, 2002
- 12) 神奈川県環境農政部廃棄物対策課: 「神奈川県産業廃棄物総合実態調査報告書(平成 15 年度実績: 資料編)」, 2005
- 13) 株式会社データフォーラム: 「工場ガイド神奈川改訂第 2 版」, 2003
- 14) NEDO 技術開発機構: バイオマス賦存量・利用可能量の推計, <<http://appl1.infoc.nedo.go.jp/>>
- 15) 横浜市: 横浜市統計ポータルサイト 横浜市統計書[web 版], <<http://www.city.yokohama.jp/me/stat/toukeisho/new/index.html#10>>
- 16) 日本住宅・木材技術センター: 在来工法木造住宅の木材使用量調査, p.48, 1994
- 17) 吉田雄介, 湯浅和博: 都市のエネルギー需要特性に基づく分散型エネルギーシステムの導入形態, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, Vol2002, No2, p.617-620, 空気調和・衛生工学会, 2002
- 18) 神奈川県提供資料: 平成 12 年度神奈川県都市計画基礎調査第 8 集(上)「建物用途(基本集計)」
- 19) 国土交通省国土地理院: 細密数値情報(10m メッシュ土地利用), (財)日本地図センター, 2002
- 20) 総務省統計局: 統計 GIS プラザ, <<http://gisplaza.stat.go.jp/>>
- 21) 福井徹, 吉田聡, 佐土原聡: 日本におけるエネルギー面的利用期待地区の抽出に関する研究 その 1, 日本建築学会学術講演梗概集, Vol2006, p.737-738, 日本建築学会, 2006
- 22) 厚生問題研究会: 「全国病院名鑑 1998 年度版」, 厚生問題研究会, 1998
- 23) 国土地理院: 数値地図 2500(空間データ基盤)関東 4 日本地図センター, 2006
- 24) 富士経済: 経済産業省資源エネルギー庁委託調査, 「平成 15 年度ロードカーブ改善対策技術等調査(分散型エネルギー供給システム将来普及展望予測調査) 報告書本編」, 2004
- 25) 日本エネルギー学会編: 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2005, 日本工業出版株式会社, 2005
- 26) 尾島俊雄研究室: 「建築の光熱水原単位(東京版)」, 早稲田大学出版部, 1995
- 27) 経済産業省: 平成 13 年石油等消費構造統計表(商工業), 2001
- 28) 経済産業省経済産業政策局調査統計部: 平成 16 年工業統計表(市区町村編), 経済産業省ホームページ, <<http://www.meti.go.jp/statistics/>>
- 29) 神奈川県企画部統計課: 平成 15 年神奈川県工業統計調査結果報告, 2005
- 30) i タウンページ, <<http://itp.ne.jp/>>
- 31) 神奈川県商工労働部工業振興課: 「神奈川県の工業団地」, 2005
- 32) 東京大学空間情報科学研究センター: CSV アドレスマッチングサービス, <<http://www.tk1.iis.u-tokyo.ac.jp/~sagara/geo/code/>>
- 33) 日本環境技研: 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」報告書, 2005
- 34) 省エネルギーセンター: 「工場群の排熱実態調査研究要約集」, <<http://www.eccj.or.jp/wasteheat/index.html>>
- 35) 横浜市資源循環局: 横浜市 産業廃棄物業者 Web 検索システム, <<http://cgi.city.yokohama.jp/shigen/sanpai/searchmenu.php>>
- 36) 日本下水道協会: 平成 16 年度下水道統計 行政編, 日本下水道協会, 2006
- 37) 日本有機資源協会事務局: バイオガスシステムの現状と課題, 日本有機資源協会, 2003
- 38) 三鷹市, 調布市: 新ごみ処理施設整備基本計画資料編, 2006
- 39) 日本環境技研: 環境保全型地域暖冷房推進調査報告書, 1992

DEVELOPMENT OF ESTIMATION SYSTEM FOR EFFECTS OF THE REGIONAL ENERGY SYSTEM THAT SUPPLIES BOTH ELECTRIC POWER AND HEAT PRODUCED FROM WASTES AND BIOMASS RESOURCES WITHIN A SMALL AREA

Takashi YOKOI, Yugo YAMAMOTO, Osamu SAITO and Tohru MORIOKA

The regional energy system has been introduced in Kanazawa Yokohama as a demonstrative micro grid that supplies both electric power and heat produced from wastes and biomass resources in a small area. This paper proposes the GIS-based decision support system to estimate the spatial distribution of biomass energy and regional energy demand. The support system enables planners to evaluate the supply-side energy-saving effect through matching the energy demand patterns and the temperature levels of heat demands with generation.