九州地域における未利用エネルギー活用に関する研究
A STUDY ON UTILIZATION OF UNUSED ENERGY IN KYUSHU依田 浩敏*, 北山 広樹**, 片山 忠久***, 西田 勝****
Hirotoshi YODA, Hiroki KITAYAMA, Tadahisa KATAYAMA
and Masaru NISHIDA

Annual thermal demands for heating and cooling on built-up and redevelopment districts scattered on leading cities in Kyushu are estimated based on floor area of building use, further, some suitable districts for District Heating and Cooling (DHC) are picked up.

Possible area in and around the cities for utilization of unused energy are selected by concerned with its heat demands characteristics and unused energy distribution, further the quantity of usable energy sources are calculated on the possible area.

The feasibility of using unused energy in the suitable districts are discussed and its effects of energy saving and anti-pollution are made clear comparing DHC system including unused energy sources with unit air conditioning system.

Keywords: *Unused energy, District heating and cooling, Leading cities in Kyushu, Heat demand, Energy conservation, Reduction in air pollution*

未利用エネルギー, 地域冷暖房, 九州主要都市, 熱需要量, 省エネルギー, 大気汚染物質排出削減

1. はじめに

地球環境問題への対応が求められる中、増加する民生用エネルギー需要の現状から都市における冷暖房設備は、都市環境や都市エネルギー面から見ても効率的に行うことが要求される。そのひとつとして地域冷暖房への期待が大きい。従来の建物個別による冷暖房方式に比べ熱源設備を集中化し、効率的な運用管理ができることから需要者側の機械設備スペースが削減され安全性も向上する上、そのスケールメリットを生かした工夫により熱負荷の平準化を可能とする。さらに、未利用エネルギーと総称される、都市の中の排熱や自然のエネルギーをその熱源として活用すれば、より大きな効果が期待される。

本研究は、このような未利用エネルギーを活用した地域冷暖房の導入可能性について九州地域を対象に検討するものである。

都市計画上の法定容積率 400%以上の地区が存在し、人口 10 万人以上の九州主要都市を対象とする。これら都市内の既成市街地や開発地区の建物床面積データを収集し、それらより求められる熱需要量や熱負荷密度から、将来的に地域冷暖房導入可能な地区（以下、高密度地区）の抽出を行う。さらに、その周辺に存在する未利用エネルギーの賦存量を求め、地理的条件から未利用エネルギー活用可能地区を選定する。最終的に、これらの地区で未利用エネルギーの

活用効果として、省エネルギー効果と環境負荷低減効果を試算する。

未利用エネルギーは、主に人間活動により発生するごみや下水を処理する際の焼却排熱や温度差エネルギー、または排熱が集中して発生する地下鉄・地下街・変電所、自然環境にある河川や海水等さまざまである。地下鉄・地下街・変電所での排熱量は小さく、その熱回収の難しさや利用効率とコストパフォーマンス等種々の面から活用が容易ではない。無限な賦存量が期待される海水利用の場合は、海岸沿いの特定された地域に限定されるなどの利用要因が影響する。したがって、本研究では利用効率が高く賦存する熱量が期待される清掃工場と下水処理場および一級河川を検討の対象とする。

解析は平成6年度の資料を用いて行った。

2. 九州主要都市における熱需要の推計

2-1 既成市街地における熱需要の現状と高密度地区の抽出

建物床面積データの整備状況を把握するために、各都市の担当部局へアンケートによる事前調査^①を行った。その結果、独自に建物床面積データを整備しているところは少なく、ほとんどが課税台帳などに記載される建物面積資料に準ずるものであった。記載方法から見れば、その建物床面積データは、大別して①市全体の建物床面積が町丁目別に記載される場合と、②市全体での建物床面積のみが

* 近畿大学九州工学部建築学科 助教授・工博

** 九州産業大学工学部建築学科 講師・工博

*** 九州大学大学院総合理工学研究科
環境エネルギー工学専攻 教授・工博

**** 九州産業大学工学部建築学科 教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering in Kyushu, Kinki Univ., Dr. Eng.

Lecturer, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kyushu Sangyo Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Energy and Environmental Engineering Sciences, Kyushu Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kyushu Sangyo Univ., Dr. Eng.

記載されている場合、の2つである。

各都市の建物床面積データの整備内容、およびこれらのデータを用いて建物床面積を想定する方法をまとめて表1に示す。①の場合は、建物用途の数により3分類し、それぞれの方法により処理して、建物用途別延床面積の想定を行った。②の場合は、市域全体あるいは商業地域での値しか推計できない。そこで、少なくとも法定容積率ごとの建物延床面積を想定するために、②の場合の都市と都市規模や都市機能が類似していると考えられる長崎市と熊本市の建物用途別延床面積を用いて、法定容積率400%地域と500%以上地域の、単位面積あたりの建物用途別延床面積の構成比率（以下、グロス容積率）を算出し³⁾、各都市の法定容積率ごとの地域面積に乘じて建物用途別延床面積の想定を行った。

①の場合は、想定した建物用途別延床面積に熱需要原単位²⁾を乗じて熱需要と熱負荷密度（熱需要を地区面積で除した値）を町丁目単位で算出し、熱負荷密度が4.0TJ/ha・年（約1.0Tcal/ha・年）以上で地区面積が5.0ha以上の地区を高密度地区とし、これらが複数隣接する場合にはまとめて1つの高密度地区とした。また、熱負荷密度が2.0TJ/ha・年（約0.5Tcal/ha・年）以上4.0TJ/ha・年（約1.0Tcal/ha・年）未満地区で、地区面積が5.0ha以下の地区については、同隣接する地区とあわせて4.0TJ/ha・年（約1.0Tcal/ha・年）以上で地区面積が5.0ha以上であれば、あわせた地区を1つの高密度地区とした。②の場合は、特定な地区の熱需要を推計するのは困難であるため、法定容積率500%以上地区を高密度地区とした。

2-2 開発計画地区における熱需要予測と高密度地区の抽出

新開発・再開発地区に対して、面積や建物用途別延床面積が具体的に特定できる地区については熱需要の推計が容易であるが、開発計画地区面積や土地利用面積のみしか把握できない地区については、熱需要や熱負荷密度の推計は難しい。

そこで、地区面積が1.0ha以上で総延床面積が25,000㎡以上の、計画申入れ⁴⁾に既に完了した、建物用途別延床面積の把握できる開発プロジェクト⁵⁾を5つのタイプに分類し、それぞれのタイプごと

にグロス容積率を求めた。このグロス容積率の設定値を表2に示す。開発地区面積や土地利用面積のみしか把握できない地区については、開発計画内容に最も近いと考えられるタイプを表中から選択し、そのタイプに応じたグロス容積率を地区面積に乘じて、建物用途別延床面積を想定した。

開発計画地区においても、熱負荷密度が4.0TJ/ha・年（約1.0Tcal/ha・年）以上である開発地区を高密度地区とするが、広域でかつ高密度な地区が地域冷暖房の効率面からみて有効であると考えられるため、地区面積が1.0ha以上で開発計画地区の総延床面積が25,000㎡以上のものを高密度地区とした。

2-3 主要都市における熱需要と高密度地区

九州主要都市の年間熱需要量と、既成市街地および開発計画地区における高密度地区の年間熱需要量を表3に示す。

年間熱需要量は福岡市が32297.6TJ/年と最も大きく、次いで北九州市、熊本市の順で、これらの都市の熱需要量は概ね都市人口に比例する。既成市街地における高密度地区は37地区であり、主要都市全体の熱需要が16240.4TJ/年に対して、福岡市は60.9%を占める。また、開発計画地区における高密度地区は30地区であり、主要都市全体の熱需要が10483.8TJ/年に対して、福岡市が3329.9TJ/年、久留米市が3147.3TJ/年と大きい値となっている。

3. 九州主要都市の未利用エネルギー賦存量と活用可能性

3-1 未利用エネルギー熱源の現状

九州主要都市に存在する清掃工場の焼却排熱と下水処理場の処理水、九州地域の一級河川を対象に、それらの分布と賦存量の算定を行った。賦存量算定にあたっては、アンケート調査¹⁾により入手した各都市における清掃工場、下水処理場の設備概要や月別処理実績値等を、また、河川の流量データ等については九州地方建設局より入手した一級河川の流量観測所におけるデータを利用した。

表1 建物床面積データの概要と床面積想定の方法

床面積の記載区分		処理方法	該当する都市名
①町丁目ごとに床面積がわかる場合	A 建物用途が細かく分類される	建物用途を集約する	福岡市・長崎市・熊本市
	B 建物用途が大まかに分類される	建物用途をさらに細かく分類する	佐賀市・大牟田市
	C 建物用途別に分類されていない	福岡市の建物用途別構成比 ³⁾ を用いて分類する	北九州市・久留米市
②市全域での床面積のみわかる場合		長崎市と熊本市から想定した建物用途別床面積比率を用いて床面積を想定する	佐世保市・八代市・大分市・別府市・宮崎市・都城市・延岡市・鹿児島市・那覇市・沖縄市

表2 開発プロジェクトの分類とグロス容積率

開発プロジェクトの分類とその特徴		グロス容積率(%)				
分類	タイプの概要	住宅	業務	商業	宿泊	娯楽
タイプ1	集合住宅・商業中心で住宅の延床面積が80%以上を占める	9.9	0.3	0.1	0.0	0.0
タイプ2	業務・商業中心で業務・商業の延床面積が80%以上を占める	4.1	58.6	57.1	0.0	0.0
タイプ3	業務中心で業務の延床面積が80%以上を占める	0.0	170.1	4.7	0.0	0.0
タイプ4	商業中心で商業の延床面積が80%以上を占める	0.0	0.0	109.2	1.2	0.0
タイプ5	混在しており他のタイプに当てはまらない	11.9	34.4	26.8	29.0	3.9

表3 九州主要都市における年間熱需要量の推計値と高密度地区の熱需要

都市名	市域全体		既成市街地						開発計画地区			
	熱需要(TJ/年)		地区数	地区面積(ha)	熱需要(TJ/年)			地区数	地区面積(ha)	熱需要(TJ/年)		
	冷熱	温熱			冷熱	温熱	合計			冷熱	温熱	合計
福岡市	7920.9	24376.7	14	1432.4	3086.2	6809.7	9895.9	8	470.7	1572.6	1757.3	3329.9
北九州市	3991.6	14335.3	2	119.3	143.6	536.8	680.4	3	55.7	189.3	175.4	364.7
久留米市	1918.2	5253.0	1	73.7	358.4	96.3	454.7	3	322.0	1066.4	2080.9	3147.3
大牟田市	482.3	2665.2	1	11.4	16.7	33.1	49.8	1	18.1	59.5	57.4	116.9
佐賀市	831.7	2780.1	1	33.6	56.9	77.9	134.8	0				
長崎市	1597.8	7005.3	6	168.0	358.8	868.8	1227.6	3	26.5	73.3	139.4	212.7
佐世保市	1090.2	1708.7	1	51.0	134.0	271.7	405.7	1	74.0	242.8	234.1	476.9
熊本市	1519.0	7914.2	2	84.2	261.7	403.6	665.3	2	19.8	64.9	62.4	127.3
八代市	420.3	750.7	1	15.0	39.4	80.0	119.4	1	11.3	37.7	85.0	122.7
大分市	2188.3	6637.7	1	61.0	160.4	324.9	485.3	1	49.7	165.0	374.3	539.3
別府市	430.2	1602.2	1	34.0	89.2	180.0	269.2	0				
宮崎市	1232.3	3541.8	1	45.0	118.5	239.5	358.0	2	115.5	379.3	365.1	744.4
都城市	455.9	1635.7	1	70.0	183.8	372.6	556.4	1	12.9	42.7	97.1	139.8
延岡市	330.0	1472.6	1	24.0	63.2	127.7	190.9	0				
鹿児島市	1548.9	5656.9	2	81.0	215.6	431.3	646.9	2	20.2	67.0	138.2	205.2
那覇市	953.9	1634.8	1	16.0	52.8	47.3	100.1	1	2.5	18.8	7.5	26.3
沖縄市	789.5	1115.6	0					1	104.5	433.8	496.6	930.4
計	27701.1	90086.6	37	2319.6	5339.2	10901.2	16240.4	30	1303.4	4413.1	6070.7	10483.8

九州主要都市における研究対象とした未利用エネルギー熱源は、清掃工場が28施設、下水処理場が50施設である。また、九州地域の一級河川は19河川であり、そのうち九州主要都市内に流れる河川は11河川である。

未利用エネルギー活用の現状は、清掃工場28施設のうち25施設(約90%)で焼却排熱を場内利用しており、その利用用途は、給湯が43%と最も多く、次いで場内空調で31%、発電の15%となっている。下水の利用については、一部中水利用が行われているものの熱利用している施設はみられない。河川についても同様に熱利用はされていない。⁸⁾

また、未利用エネルギー源の熱的特性は、清掃工場における可燃物の低位発熱量の実績値は、5460MJ/t(約1305Mcal/t)から10593MJ/t(約2530Mcal/t)となっており、都市の規模や機能により排出されるごみの組成により差が見られる。

下水処理水および河川の水温と、気温との関係は、冬季において下水処理水温は気温よりも10℃前後、河川水温は気温よりも5℃程度高くなっており、夏季においては下水処理水温と河川ともに気温より3～4℃程度低くなっている。

3-2 未利用エネルギー賦存量

各未利用エネルギー熱源の潜在的な熱量から実際に空調機器の熱媒(清掃工場は蒸気、下水処理場・河川は冷温水)として利用が可能な熱量を賦存量として定義し、算定式^{14,15)}を表4に示す。

清掃工場と下水処理場については、月別実績値をもとに月別賦存量を算出し、これらを年間で積算して年間賦存量を求めた。河川については、各流量観測所の時間あたりの流量から月別賦存量を算出し、これを積算して年間賦存量を求めた。清掃工場の賦存量算定では、ごみ焼却排熱の場内利用分を考慮せず処理実績から求められるすべての熱量を賦存量と考えた。また、賦存量算定におけるごみ焼却時の低位発熱量は、調査により得られた各清掃工場での実績値を用いた。この低位発熱原単位にごみ焼却量を乗じ、

表4 未利用エネルギー賦存量算定式

施設種別	賦存量 Q(TJ/年)	記号の説明
清掃工場	$R_g \times \sigma_d \times \eta_B$	R_g : 年間焼却ごみ量(t/年) σ_d : 低位発熱量(MJ/t) η_B : 熱回収ボイラ効率 0.8
下水処理場	$R_w \times C_{pw} \times T$	R_w : 年間下水処理量($10^3\text{m}^3/\text{年}$) C_{pw} : 水の定圧比熱(MJ/ 10^3°C)
河川	$V_w \times 0.05C_{pw} \times T$	T : 利用温度差 5(°C) V_w : 年間流量($\text{m}^3/\text{年}$)

焼却排熱を求め、その熱を熱回収ボイラで回収する際に発生する蒸気の熱量を賦存量とした。下水処理水と河川水は、利用温度差を5℃¹⁶⁾に処理実績量・流量を乗じて賦存量を求めた。なお、河川では利用可能な流量を月別流量の5%として算定した。

図1 九州主要都市における未利用エネルギー賦存量

九州主要都市における未利用エネルギー賦存量の算定結果を、年間賦存量として各都市ごとに図1に示す。100万人都市である福岡市・北九州市は他の都市と比較し、清掃工場や下水処理場の有する賦存量が大きくなることがわかる。また、久留米市・熊本市・大分市・八代市・宮崎市・延岡市の6都市に一般河川があり、特に熊本市は3河川が市内を流れているため、河川水の賦存量が大きくなっている。

3-3 未利用エネルギー活用可能地区と活用可能熱量

未利用エネルギー活用可能地区は、熱媒搬送の経済性や地理的条件を考慮し、清掃工場から2km以内、下水処理場から5km以内、河川に接している高密度地区とした。

各都市での単純な地理的物件のみで未利用エネルギーの活用可能性を評価すれば、福岡市では下水処理場や清掃工場が活用可能な熱源として存在し、北九州市では、高密度地区が線状で広域にわたるため近接する処理施設が多く散在する。特に、小倉北区、若松・黒崎地区ではそれらの活用可能性も高いものと考えられる。西鉄久留米駅を中心に高密度地区が広がる久留米市では、都市処理施設との距離が遠く、また、大牟田市では清掃工場が高密度地区に隣接する。福岡県以外の都市をみれば、長崎市、熊本市、大分市、延岡市などでは高密度地区に隣接する処理施設等も多く存在する。特に、大分市と熊本市の場合には、一般河川に接することからその活用も考えられる。また、八代市や都城市、鹿児島市では比較的隣に清掃工場や下水処理場が立地する。⁴⁾以上より、九州主要都市の中で高密度地区として抽出された67地区のうち、熱源との地理的条件からみた未利用エネルギーの活用可能地区は19地区となる。この19地区を対象に未利用エネルギーの活用可能熱量を推計した。

未利用エネルギー活用可能地区において、その熱需要特性と未利用エネルギーの活用可能な熱量との関係を把握するために、まず、各地区ごとに累積需要曲線を作成した。年間原単位を構成する月別熱需要原単位および都市ごとの日平均気温の平年値¹⁷⁾をもとに日別熱需要量を求め、これを時刻別変動係数¹⁸⁾により1日単位の熱需要パターンに振り分け時刻別熱需要量を算出した。これを熱需要の高い順に並べ、年間の需要パターンを累積需要曲線¹⁹⁾として作成した。また、各種の未利用エネルギー源の年間賦存量を単純に365日24時間で除せば、年間を通して常に一定量を供給できると考えた場合の時刻別活用可能な熱量を得る。活用可能地区における累積需要曲線と未利用エネルギーの賦存量の関係から、地区特性と未利用エネルギーの活用可能性について概ね推測できる。

次に、未利用エネルギー賦存量がその活用可能地区の熱需要に占める定量的熱量の推計について考える。熱源として未利用エネルギーを活用する地域冷暖房は、蓄熱などのサブシステムを一切考えず、単純に熱を一定活用する方式を想定し、未利用な熱源からどれだけの熱を活用できるかを月別に温・冷熱別に求め、これを活用可能熱量として推計した。高温排熱である清掃工場の熱源がもつ賦存量は、蒸気としてこれを直接活用できるものとした。また、下水処理水や河川水の場合には、ヒートポンプによる二次的活用を考え、利用する月ごとの水温データをもとに月別に水熱源ヒートポンプの成績係数を温熱・冷熱ごとに求め¹⁹⁾、この成績係数と賦存量から利用可能な熱量を算定し、これを月別熱需要に対して活用するものとした。

未利用エネルギー賦存量が対象となる地区の温・冷熱需要を上回る場合には、余剰する熱量があってもそれは活用せずに捨てることになる。逆に、賦存量が活用可能地区での温・冷熱需要の両方を下回る場合には、月別の温熱需要量と冷熱需要量のうち大きい方の需要に対して優先的に熱を活用するものとした。さらに、低温排熱の温熱を供給する場合は、ヒートポンプの各月の温・冷熱成績係数より月ごとの投入電力量を求め、その熱量を加えて活用可能熱量として求めた。

未利用エネルギーの活用範囲内に複数の対象地区がある場合には、最も年間熱需要量が大きな地区での活用を優先し、その他の地区での活用を考えず余剰分の熱は棄てるものとした。また、活用できる未利用エネルギーが複数ある場合、高温排熱を優先的に熱需要の高い地区で活用し、不足分については別の未利用熱源の活用により補うものとするが、低温排熱の活用は下水処理場を優先させた。

この未利用エネルギーの活用が可能な19地区において、各都市ごとにその年間の活用可能熱量を合計し、九州主要都市における開発地区を含めた都市全体での年間熱需要に対する割合を図2に示す。都市別にみれば、熱需要の高密度な地区が面的にも広域な福岡市では市域全体の11.7%に相当する熱需要を賄える未利用エネルギーが存在し、また、九州内でも中小の都市の中でも高密度地区が比較的狭い地域に集中し、その周辺に活用可能な未利用エネルギーが存在する都市では、未利用エネルギーの割合も10%程度と大きくなる。しかし、全体的にみれば福岡市を除く主要都市の中でも、比較的人口が多い都市での未利用エネルギーの活用可能な割合は、都市全体の熱需要に対して数%程度である。

図2 九州主要都市の全熱需要に対する未利用エネルギー活用可能熱量の割合

これらの結果を九州主要都市全体でまとめたものを表5に示す。九州主要都市全体での熱需要量を冷熱および温熱に分類し、さらに高密度地区でのそれらの値とともに、未利用エネルギーの活用可能熱量を示している。九州主要都市全体での未利用エネルギーによる

活用可能熱量は、冷熱で2904.9TJ/年（693.8Tcal/年）、温熱で5634.4TJ/年（1345.7Tcal/年）となる。これらの値は主要都市全域での熱需要量に対してそれぞれ10.5%、6.3%に相当し、高密度地区での値は、それぞれ29.4%、32.8%に相当する。熱需要量全体からみれば、九州主要都市での未利用エネルギーの供給可能熱量が占める割合は7.2%、高密度地区での総熱需要量に対するその値は31.5%となる。高密度地区での年間熱需要に対する活用可能熱量の割合は、将来的にも熱需要が集中する地区での活用のみを考慮したため大きな値となる。

3-4 活用可能地区での省エネルギー効果と環境負荷低減効果

抽出された未利用エネルギー活用可能地区における具体的な活用効果として、未利用エネルギーを活用した地域冷暖房システムを導入した場合の省エネルギー効果および環境負荷低減効果の試算を行った。

省エネルギー効果は、個別空調方式で投入される一次エネルギー量から未利用エネルギーを活用した地域冷暖房方式において投入される一次エネルギー量を差し引き、この投入一次エネルギー削減量を省エネルギー効果とした。

個別空調方式では、需要側が建物ごとに個別で冷暖房装置を設置するものとし、電力、ガス、重油を投入エネルギーとして設定した。未利用エネルギーを活用した地域冷暖房方式では、電力による冷暖房には空気熱源ヒートポンプを用い、ガスと重油による冷房では蒸気吸収冷凍機、暖房にはボイラを用いるものとした。ごみ焼却排熱を活用する場合には、蒸気を熱媒として冷暖房機器に投入するため機器の動力エネルギーは考えないものとし、従来投入されていた一次エネルギーがすべて削減されるものとした。また、下水処理水と河川水を活用する場合には、水熱源ヒートポンプに投入される電力を投入一次エネルギー量とした。未利用エネルギー活用可能地区における熱需要量が、未利用エネルギーの供給可能な熱量よりも大きな場合には、地域冷暖房での補助システムを導入して、その不足分の熱量を補うものとした。この際の投入エネルギーとしては、電気とガスを使用した。ここで設定される地域冷暖房システムにおける

投入一次エネルギー量は、未利用エネルギーを活用する場合の水熱源ヒートポンプの動力である電力と、未利用エネルギーだけでは不足する熱需要を補うための補助システムにおける投入エネルギーであるガス・電気をそれぞれ一次エネルギー換算した値とした。電力の一次エネルギー換算値は1kWh=9420.8kJ(2250kcal)として計算した。

それぞれの設定条件に基づき、冷暖房機器における投入エネルギーの消費構成^{注3}と各冷暖房機器の効率と能力^{注4}とを考慮し、未利用エネルギー活用可能地区の熱需要に対して必要な投入一次エネルギー量を求めた。

また、未利用エネルギー活用による環境負荷低減効果は、投入一次エネルギー削減量に大気汚染物質排出原単位^{注5}を乗じることににより炭酸ガス(CO₂)・硫黄酸化物(SO_x)・窒素酸化物(NO_x)の3種類の大気汚染排出量を求め、個別空調方式と未利用エネルギーを活用した地域冷暖房方式との差を、環境負荷低減効果とした。

省エネルギー効果および環境負荷低減効果をまとめたものが表5である。未利用エネルギー活用による投入一次エネルギー削減率が39.2%、環境負荷低減効果としての大気汚染物質排出削減率が約39.4～87.9%という効果がみられる。

また、未利用エネルギー別にみれば、焼却排熱を活用した場合の効果は高く、投入一次エネルギー削減率が平均で約80%、下水処理水を活用した場合では、焼却排熱に比べて低くなるがその値は平均で約20%程度である。河川水は、下水処理水や焼却排熱の活用と併用したシステム設定が多く河川水による供給熱量は小さいが、清掃工場や下水処理場よりも中心市街地に近いことから、種々の制約はあるものの総合的な活用効果は高いものと考えられる。

以上の結果を、主要都市全体での熱需要に対して個別方式を仮定すれば、未利用エネルギー活用によるエネルギー削減量は、都市全体の投入エネルギー量の約7%であり、大気汚染物質排出削減量は都市全体での排出量に対してCO₂やNO_xで約0.7%、SO_xの場合で約1.2%となる。

表5 九州主要都市における未利用エネルギー活用可能熱量とその割合

	熱需要(TJ/年)		
	冷熱	温熱	合計
九州主要都市全体の年間熱需要量	27701.1	90086.6	117787.7
高密度地区での年間熱需要量	9886.8	17202.3	27089.1
未利用エネルギー活用可能地区での活用可能熱量	2904.9	5634.4	8539.3
主要都市全体に対する活用可能熱量の割合	10.5%	6.3%	7.2%
(高密度地区に対する活用可能熱量の割合)	(29.4%)	(32.8%)	(31.5%)

表6 省エネルギー効果と環境負荷低減効果

	投入一次エネルギー量 (TJ/年)	大気汚染物質排出量		
		CO ₂ (t-C/年)	NO _x (t/年)	SO _x (t/年)
個別冷暖房方式	15,161	293,029	779	1,619
未利用エネルギー活用型地域冷暖房方式	9,220	177,438	462	196
投入一次エネルギー・大気汚染物質削減率	39.2%	39.4%	40.7%	87.9%

4. まとめ

法定容積率 400%以上地区が存在し、人口 10 万人以上の九州主要 17 都市を対象に、未利用エネルギーを活用した地域冷暖房の導入可能性について検討して得られた知見を以下に示す。

未利用エネルギー活用可能地区ごとの年間熱需要量、熱源と施設名、熱源から地区までの距離、賦存量、活用可能熱量、投入一次エネルギー削減量、大気汚染物質削減率を表 7 にまとめる。

1) 建物用途別延床面積と熱需要原単位とから熱需要量を算出し、市域全体において、冷熱が 27701.1TJ/年、温熱が 90086.6TJ/年であった。

2) 熱需要、熱負荷密度、地区面積などから、既成市街地 37 地区、開発計画地区 30 地区の計 67 地区の高密度地区を抽出した。既成市街地での総熱需要量は 16240.4TJ/年であり、福岡市の値が他市に比較して圧倒的に大きい。また、開発計画地区での総熱需要量は 10483.8TJ/年であり、福岡・久留米両市の値が大きい。

3) 高密度地区のうち、熱源との地理的条件からみた未利用エネルギー活用可能地区は 19 地区である。その活用可能熱量は、冷熱で 2904.9TJ/年、温熱で 5634.4TJ/年となる。これらの値は主要都市全域での熱需要量に対してそれぞれ、10.5%、6.3%に相当し、高密度地区全域での熱需要量に対しては、それぞれ 29.4%、32.8%に相当する。

4) 個別空調方式と比較した省エネルギー効果は、未利用エネルギー活用による投入一次エネルギー削減率が、都市全体で約 7%であり、名古屋市域の推計結果 6%とほぼ同程度である。²⁰⁾ また、未利用エネルギー活用の対象となる地区だけで考えれば 39.2%となり、これも既往の文献²¹⁾に示される結果と同程度となる。

5) 個別空調方式と比較した環境負荷低減効果は、未利用エネルギー活用による大気汚染物質削減率が、都市全体での排出量に対して CO₂ や NO_x で約 0.7%、SO_x の場合で約 1.2%となる。また、未利用エネルギー活用の対象となる地区だけで考えれば、CO₂ が 39.4%、NO_x が 40.7%、SO_x が 87.9%となる。

未利用エネルギーの活用は、熱需要に対してのみ有効であること、その熱需要密度の高い地域にのみ適用可能であることなどの制約条件はあるものの、今後、二次側システム、運輸および生活などにおける省エネルギー化とあわせ、都市エネルギーシステムとして積極的に推進される可能性を持つ。

付記

本研究は、平成 7 年度～8 年度文部省科学研究費補助金基盤研究 (A)「九州地域における都市・建築の未利用エネルギー有効利用に関する総合的研究」(課題番号: 07305028、研究代表者: 西田勝)、平成 5 年度～8 年度社団法人空気調和・衛生工学会九州支部「九州地域の都市・建築エネルギー調査」研究委員会(委員長: 片山忠久)平成 6 年度～8 年度社団法人日本地域冷暖房協会自主研究「プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査研究」(研究代表者: 佐土原聡)の成果によるものである。

表 7 未利用エネルギー活用可能地区の熱需要と活用効果

都市名	対象地区名	熱需要量 (TJ/年)	熱源 (施設名)	距離 (km)	賦存量 (TJ/年)	活用可能熱量 (TJ/年)		投入一次 エネルギー 削減量 (TJ/年)	大気汚染物質削減率 (%)		
						冷熱	温熱		CO ₂	SO _x	NO _x
福岡市	箱崎五丁目地区	69.5	下水処理水 (東部)	1.5	597.3	9.2	72.4	26.8	31.2	82.4	38.9
	福岡博多地区	3954.6	下水処理水 (御笠川)	1.8	1383.9	540.5	1014.5	661.5	21.0	84.0	22.8
	福岡中央地区	4189.9	下水処理水 (中部)	1.8	1372.0	499.1	1047.2	677.9	21.2	84.3	22.6
	姪浜地区	604.6	ごみ焼却熱 (西部)	3.7	1819.1	185.1	419.5	550.2	98.2	99.6	98.2
北九州市	小倉駅周辺地区	534.2	ごみ焼却熱 (日明)	3.6	1344.6	112.6	421.2	473.5	97.3	99.5	97.4
	黒崎駅周辺地区	146.5	ごみ焼却熱 (皇后)	2.2	1163.3	30.6	115.5	133.6	100.0	100.0	100.0
久留米市	広域都市拠点地区	1954.1	ごみ焼却熱 (上津)	4.8	554.2	191.3	320.3	521.7	38.8	90.9	37.1
大牟田市	旭町東新町地区	116.8	ごみ焼却熱 (新開)	2.7	308.7	59.5	57.4	109.3	97.7	99.5	97.8
佐賀市	中央本町地区	134.8	ごみ焼却熱 (佐賀)	5.0	259.9	56.9	78.3	122.7	96.8	99.4	96.7
長崎市	長崎市内地区	751.6	ごみ焼却熱 (東工場)	3.1	758.7						
			下水処理水 (中部)	1.8	318.9	237.0	503.2	608.0	84.7	95.7	86.2
佐世保市	佐世保駅周辺地区	476.9	ごみ焼却熱 (西部)	2.0	397.1	142.4	206.0	348.8	43.6	92.0	42.1
熊本市	中心市内地区	582.8	河川水 (白川・小島橋)	0.0	1819.2	248.3	363.0	207.3	22.5	74.5	31.3
	熊本駅周辺地区	43.5	ごみ焼却熱 (西部)	4.7	933.3	22.2	21.4	41.9	100.0	100.0	100.0
八代市	八代中央地区	119.3	ごみ焼却熱 (八代)	2.5	229.1	39.4	80.0	109.7	98.5	99.7	98.6
大分市	大分駅地区	485.2	ごみ焼却熱 (弁天)	1.8	144.7						
			河川水 (大分川・広瀬橋)	0.0	1565.1	161.2	386.5	172.1	23.4	76.9	32.3
宮崎市	橘通り周辺地区	228.6	ごみ焼却熱 (南部)	4.9	479.3	32.0	112.2	207.7	94.9	98.9	94.9
都城市	都城駅地区	556.5	ごみ焼却熱 (都城)	2.8	214.8	89.6	134.0	311.1	65.4	94.7	64.5
延岡市	延岡中央地区	190.9	ごみ焼却熱 (延岡)	2.5	394.8	63.2	127.7	177.5	100.0	100.0	100.0
鹿児島市	鹿児島中心地区	511.2	下水処理水 (錦江)	1.9	236.6	100.5	154.1	109.3	23.9	83.6	26.3

注

1) 法定容積率ごとの建物用途別グロス容積率設定値

法定容積率	戸建住宅	集合住宅	業務施設	商業施設	宿泊施設	娯楽施設	医療施設
400%	14%	32%	25%	31%	7%	3%	2%
500%以上	8%	22%	36%	41%	10%	3%	2%

2) 九州地域における熱需要原単位

	冷熱	暖房	給湯
戸建住宅 ²²⁾	14.2 (18.0)	115.1 (11.7)	143.2 (143.2)
集合住宅 ²²⁾	20.5 (25.5)	124.4 (12.6)	224.0 (224.0)
業務施設 ²²⁾	261.3 (326.6)	236.1 (23.4)	37.3 (37.3)
商業施設 ¹⁸⁾	305.7 (382.3)	140.3 (14.2)	107.6 (107.6)
宿泊施設 ¹⁸⁾	271.7 (339.6)	495.3 (49.4)	1296.3 (1296.3)
娯楽施設 ¹⁸⁾	273.0 (341.2)	820.7 (82.1)	— (—)
医療施設 ¹⁸⁾	196.4 (245.4)	476.5 (47.7)	1007.4 (1007.4)

単位: MJ/m²・年

()は沖縄地区の値

沖縄地区については、(社)日本地域冷暖房協会による地域補正係数に基づき、沖縄地区以外の九州地区原単位に対して、冷熱1.25倍、暖房0.1倍、給湯1.0倍とした。

3) 冷暖房機器における投入エネルギーの消費構成

文献 23)に基づき、個別空調システムにおいては、冷房では電気 69.1%、ガス 22.6%、重油 8.3%、暖房では電気 34.4%、ガス 23.4%、重油 42.2%とした。また、未利用活用型地域冷暖房システムにおいては、冷熱・温熱ともにそれぞれ50%とした。

4) 冷暖房機器の効率と能力

空気熱源ヒートポンプ

$$\text{温熱: } y = -0.0007x^2 + 0.0832x + 3.1097 \quad \text{冷熱: } y = 0.0036x^2 - 0.3414x + 10.596$$

水熱源ヒートポンプ

$$\text{温熱: } y = 0.0059x^2 - 0.0417x + 3.4252 \quad \text{冷熱: } y = 0.0033x^2 - 0.2539x + 9.1742$$

(y:成績係数 x:気温)

蒸気吸収冷凍機、ボイラ効率:0.8

5) 大気汚染物質排出原単位

大気汚染物質	発電所	ボイラ	
		都市ガス	A重油
NO _x (kg/TJ)	56.18 ²⁴⁾	40.77 ²⁶⁾	53.4 ²⁶⁾
SO _x (kg/TJ)	39.53 ²⁴⁾	2.60 ²⁷⁾	219.82 ²⁷⁾
CO ₂ (kg-C/TJ)	0.24×10 ⁵ ²⁵⁾	0.135×10 ⁵ ²⁸⁾	0.189×10 ⁵ ²⁸⁾

本論文に関連するおもな発表文献

- 朝比奈慶一ほか4名：九州主要都市における熱需要と未利用エネルギー賦存量調査—九州地域の未利用エネルギー有効活用に関する研究—、日本建築学会中国・九州支部研究報告、第10号・pp.449-452、1996.3
- 朝比奈慶一ほか4名：九州地域における未利用エネルギー活用に関する研究 その6 建物床面積データ整備と開発計画および各種処理実績に関するアンケート調査、平成8年度（第三回）空気調和・衛生工学会九州支部学術研究発表会講演梗概集、pp.49-52、1996.5
- 依田浩敏ほか4名：九州地域における未利用エネルギー活用に関する研究 その7 九州主要都市の商業地域における熱需要量の推計、平成8年度（第三回）空気調和・衛生工学会九州支部学術研究発表会講演梗概集、pp.53-56、1996.5
- 北山広樹ほか4名：九州地域における未利用エネルギー活用に関する研究 その8 九州主要都市における未利用エネルギー分布と活用可能性、平成8年度（第三回）空気調和・衛生工学会九州支部学術研究発表会講演梗概集、pp.57-62、1996.5
- 近藤貴史ほか5名：九州主要都市の商業地域における熱需要量の推定 日本全国の地域冷暖房導入可能性に関する調査研究 その17、日本建築学会大会学術講演梗概集、D・pp.691-692、1996.9
- 朝比奈慶一ほか5名：九州主要都市の未利用エネルギー分布と

- 賦存量 日本全国の地域冷暖房導入可能性に関する調査研究 その18、日本建築学会大会学術講演梗概集、D・pp.693-694、1996.9
- 植松史博ほか5名：九州主要都市の既成市街地および新開発地区の熱需要に関する研究、日本建築学会九州支部研究報告、第36号、pp.393-396、1997.3
- 朝比奈慶一ほか4名：九州主要都市における未利用エネルギー活用可能地区の抽出と供給可能量、日本建築学会九州支部研究報告、第36号、pp.397-400、1997.3
- 北山広樹ほか5名：九州地域における未利用エネルギー活用に関する研究 その9 既成市街地および開発地区における活用可能性の検討、平成9年度（第四回）空気調和・衛生工学会九州支部学術研究発表会講演梗概集、pp.41-46、1997.5
- 依田浩敏ほか4名：九州地域における未利用エネルギー活用に関する研究 その10 九州主要都市における活用効果の試算、平成9年度（第四回）空気調和・衛生工学会九州支部学術研究発表会講演梗概集、pp.47-52、1997.5
- 植松史博ほか4名：九州主要都市の既成市街地および開発地区における地域冷暖房導入可能性地区の抽出 日本全国の地域冷暖房導入可能性に関する調査研究 その22、日本建築学会大会学術講演梗概集、D・pp.671-672、1997.9
- 依田浩敏ほか4名：九州主要都市における未利用エネルギー活用可能性地区の抽出と環境負荷低減効果 日本全国の地域冷暖房導入可能性に関する調査研究 その23、日本建築学会大会学術講演梗概集、D・pp.673-674、1997.9

参考文献

- 石田秀行ほか4名：福岡県における未利用エネルギー活用に関する研究（その5）福岡市法定容積率400%以上地域における建物属性と民生用エネルギー需要量の推定、日本建築学会研究報告九州支部、第35号・2、pp.233-236、1995.3
- (社)日本ガス協会：都市ガスによる未利用エネルギー活用システムについて（第2報）、1992.5
- 九州電力(株)：九州主要都市における未利用エネルギー賦存量調査報告書、1992.3
- 下水熱利用促進研究会編：最新下水道 未利用エネルギー活用の手引き 地球にやさしいまちづくりをめざして、山海堂、1995.12
- 福岡管区気象台：気象月報、1995.1~12
- 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
- 宮村ほか：ヒートポンプ熱源としての河川水のポテンシャル評価、日本建築学会北陸支部研究報告、1994.5
- 坂本ほか：名古屋地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、pp.111-118、1995.6
- (財)新エネルギー財団地域エネルギー委員会編：最新未利用エネルギー活用マニュアル、オーム社、1992.3
- 村上誠ほか5名：福岡市のエネルギー需要に関する調査解析 その2 住宅、業務施設のエネルギー消費原単位、日本建築学会大会学術講演梗概集、D・pp.489-490、1993.9
- 陳超ほか3名：福岡市と北九州市における各種建物のエネルギー消費特性に関する調査研究、日本建築学会計画系論文集、第485号、pp.41-49、1996.7
- 東京電力：電力設備、平成6年度
- 東京電力：数表でみる東京電力、平成8年度
- 環境庁：窒素酸化物総量規制マニュアル
- 環境庁：大気汚染物質排出量総合調査、昭和58年
- 環境庁：温暖化する地球、日本の取り組み

(1998年7月10日原稿受理、1998年9月18日採用決定)