



神戸市域における未利用エネルギーによる地域冷暖房システムの導入可能性に関する研究

森山, 正和
山本, 和久

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 2:33-48

(Issue Date)

1998-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCOI)

<https://doi.org/10.24546/00317454>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00317454>



神戸市域における未利用エネルギーによる 地域冷暖房システムの導入可能性に関する研究

Study on Introduction Possibility of District Heating and Cooling System

by Un-used Energy in Kobe City

森山正和¹⁾

Masakazu Moriyama

山本和久²⁾

Kazuhisa Yamamoto

概要：地域冷暖房システムの導入可能性は導入効果を指標として評価されるべきであり、導入効果は地域によって異なると考えられる。そこで本研究では熱需要や未利用エネルギーに関する地域の特性を考慮して導入可能地域を抽出し、その地域の導入効果を定量化して導入可能性を評価する。本研究の対象地域は神戸市域とし、熱需要量と未利用エネルギーの活用可能量との地域的な収支による導入可能地域の抽出方法について述べる。導入効果として省エネルギー効果、CO₂削減効果、NO_x削減効果及び未利用エネルギーの有効活用率を算定し、神戸市域における未利用エネルギーによる地域冷暖房システムの導入効果を定量的に示した。

キーワード：地域冷暖房システム、未利用エネルギー、神戸市域、導入効果

1. はじめに

地域冷暖房システムの導入では、現実には直接的な利益を受けるユーザーが納得する熱料金を設定できるかという事業性によって導入可能性が判断されていることがほとんどである。しかし、大気汚染制御やCO₂排出抑制などの社会的な効果が大きければ、地域冷暖房システムの導入を促進すべきである。そこで本研究では熱需要と未利用エネルギーに関する地域の分布特性から神戸市域における未利用エネルギーによる地域冷暖房システムの導入可能地域を抽出し、その地域の導入効果を定量的に算定した。

2. 熱需要量の推定

(1) 熱需要原単位の仮定

a) 供給熱媒の使用用途

建物内で使用する熱には冷房用、暖房用、給湯用の3種類があるが、その優先順位は年間を通じて需要のある給湯、季節需要であるが設備が簡単な暖房、最後に冷房となる。また住宅での冷房需要は極めて個人差が大きく、容量も少ないために現段階で地域冷暖房システムにより賅うのは難しい。そこで住宅の地域冷暖房システムによる熱供給は暖房・給湯のみとし、冷房については個別システムで対応する。また、その他の建物用途については全ての熱需要に対して地域冷暖房システムによって賅うものとする。

b) 本論文で使用した熱需要原単位

ここでは建物の単位延べ床面積当たりの熱需要量を建物用途別及び使用用途別に整理した値として原単位を使用する。原単位の使用用途分類は冷房用・暖房用・給湯用、建物用途分類は住宅・医療・業務・商業・宿泊・娯楽・文化・教育施設、また原単位の時間単位は年間・月・時刻別に分けている。表2-1は首都圏の建物を対象に作成された本論文で使用する単位延べ床面積当たりの建物用途ごとの年間熱需要量を示す。¹⁾神戸市の場合、これら8用途で全建物延べ床面積の80%以上を占める。表2-1に示す原単位の調査期間は建物用途によって異なるが、業務、商業、住宅、医療、娯楽施設が1986~93年、宿泊、教育、文化施設は1970年前後である。

表 2-1 熱需要原単位

	住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	文化	教育
暖房 (Mcal/m ² 年)	17	80	50	18	118	43	86	57
給湯 (Mcal/m ² 年)	48	206	13	23	310	64	0	0
冷熱 (Mcal/m ² 年)	18	123	71	86	65	70	43	22

(2) 熱需要密度の地域分布

建物用途別延べ床面積に熱需要原単位を乗じたものが熱需要量であり、それを都市的利用土地面積で除したものを熱需要密度という。都市的土地利用面積とは、土地面積から山林、雑種地、公園の面積を除いたものである。地域冷暖房システムの導入には町丁目において集中的に熱需要の高いことが要求されるため、都市的利用土地面積を用いる。

$$\text{熱需要密度} = \frac{\text{熱需要原単位} \times \text{建物用途別延べ床面積}}{\text{都市的利用土地面積}} \quad (1)$$

熱需要密度の推定は既成市街地と開発地区に分けて行う。既成市街地は阪神淡路大震災以前のデータによって推定する。また、開発地区の熱需要密度の推定には文献^{2) 3)}より情報収集し、建物中心の開発かつその開発の内容が具体的である計画を抽出する。町丁目別市街地情報集計データにおける建物用途の区分は 18 種類に分かれている。それを熱需要原単位の 8 用途に対応するように変換する。なお町丁目別市街地情報集計データにおける特殊商業施設の延べ床面積中に占める宿泊施設、娯楽施設の比率は区別の実際の延べ床面積比により設定する。

a) 既成市街地

熱需要密度の地域分布の結果を図 2-1 に示す。従来、地域冷暖房システムの導入対象地域に対する熱需要密度を 1Tcal/ha 年以上と定めているが、中央区、兵庫区、北区でさらに熱需要密度の大きい地域が目立つ。神戸市の都市的利用土地面積に対する熱需要密度の平均は 0.64Tcal/ha 年であり、都市的利用土地面積は 1Tcal/ha 年以上で 13%、2Tcal/ha 年以上で 4%である。導入効果は熱需要密度が大きいほど、高いため、導入可能性も高い。0.5~1Tcal/ha 年の地域は今後の発展次第で導入可能性が高まると言える。

b) 開発地区

神戸市における開発計画のうち建物中心かつその内容が具体的な計画は 5 つ存在する。推定した建物用途別延べ床面積によって算定した熱需要密度を表 2-2 に示し、計画の分布を図 2-2 に示す。熱需要密度の点から言えばマリンピア神戸以外は地域冷暖房システムの導入が考えられる。

表 2-2 開発計画の熱需要密度

プロジェクト名	温熱(Tcal/年)	冷熱(Tcal/年)	熱需要密度 (Tcal/ha年)
キャナルタウン兵庫	10.5	3.3	2.51
JR新長田駅前地区	1.8	1.8	2.47
垂水駅周辺地区	7.7	6.8	2.07
ポートアイランド第2期	51.8	45.2	1.07
マリンピア神戸	5.9	7.7	0.73

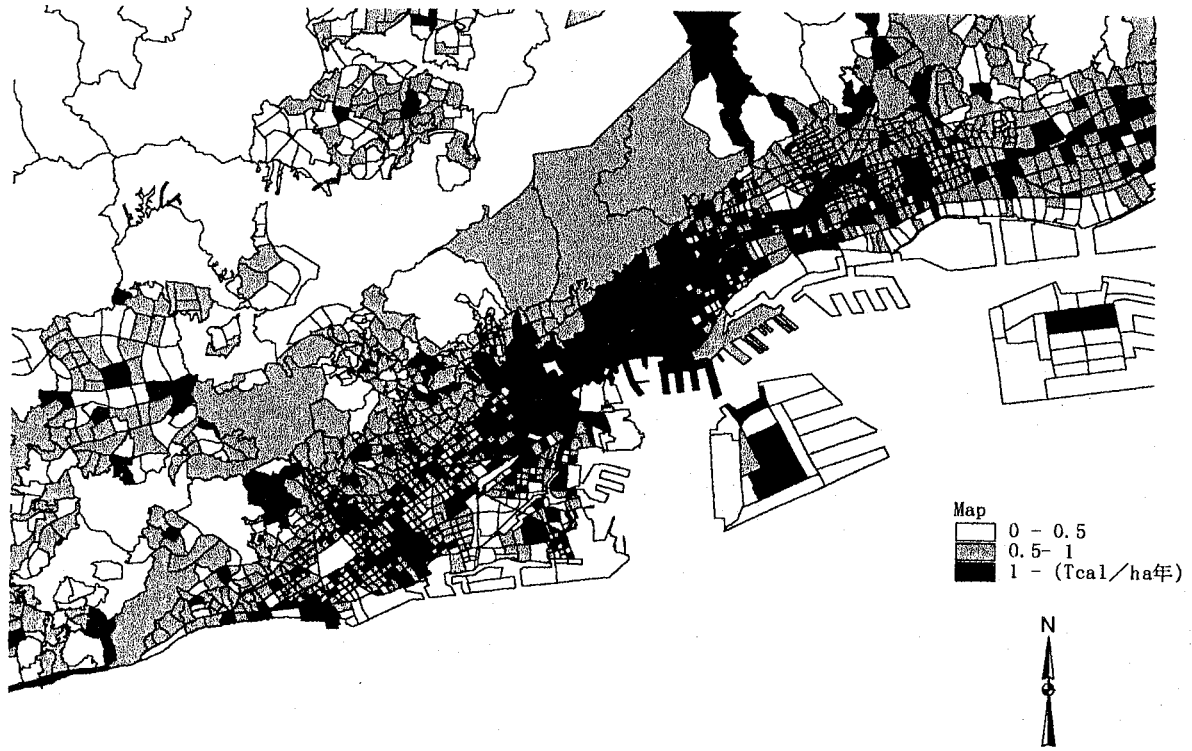


図 2-1 熱需要密度の地域分布 (三宮を中心とした地域)

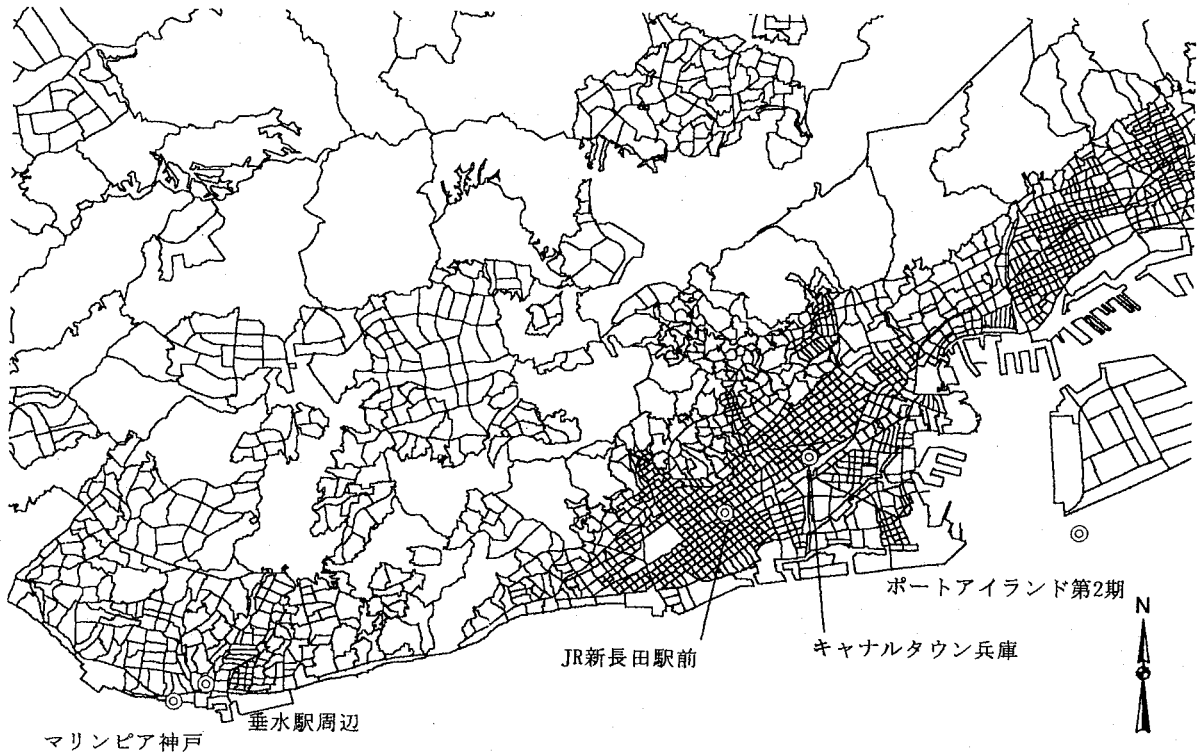


図 2-2 開発地区の地域分布 (神戸市内 5ヶ所を対象)

3. 未利用エネルギー源の地域分布

(1) 未利用エネルギー活用システムの想定

a) 対象とする未利用エネルギー源

対象とする未利用エネルギーは清掃工場、下水処理場、工場、河川、海とする。(表 3-1) 火力発電所は神戸市内にないため対象外とした。ここでは熱源が所有している熱量を賦存量と呼び、そこから設備効率を考慮し、所内利用分を引いた熱量を活用可能量と呼ぶ。賦存量の算定方法は熱源の種類によって異なる。また、賦存量は熱需要量と同様に季節・時間による変動が考えられる。しかし、下水処理場では月別の処理水量の変化が少なく、また清掃工場では年間を通してごみを燃焼させることをダイオキシン対策としている。そのため、季節・時間を通しての変動は少なく、年間を通じて一定量の排熱があると想定する。

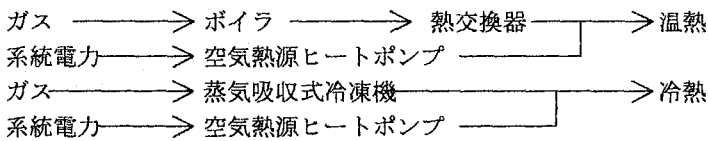
表 3-1 対象とする未利用エネルギー源とその種類

熱源の種類	エネルギー源	未利用エネルギーの種類
清掃工場	蒸気	高温エネルギー
工場	蒸気	高温エネルギー
	温排水	低温エネルギー
下水処理場	生下水、処理水	低温エネルギー
河川	河川水	温度差エネルギー
海	海水	温度差エネルギー

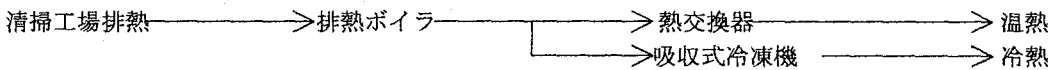
b) 活用システムの分類

地域冷暖房システムに未利用エネルギーを活用する際、高温未利用エネルギー源と低温未利用エネルギー源に区別してシステムを想定する。以下に地域冷暖房のシステムフローを示す。また、工場は高温・低温の未利用エネルギーが排出するため別のシステムフローを設定する。工場では高温エネルギーを優先的に用いる。全てのシステムで未利用エネルギーを給湯、暖房、冷房の順に優先して使用し、賄えない場合補助熱源システムで賄うこととする。

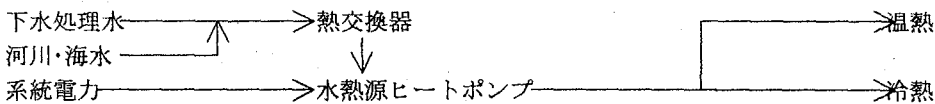
① 未利用エネルギーで賄えない場合の補助熱源システム



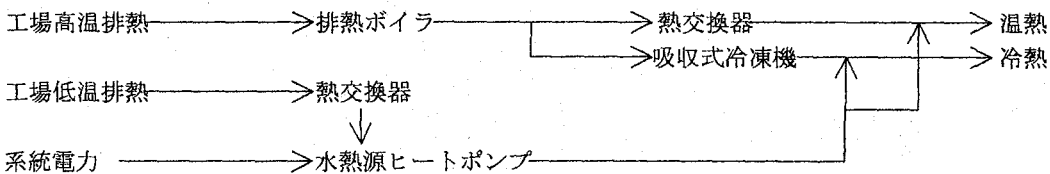
② 高温エネルギー源（清掃工場）を活用するシステム



③ 低温エネルギー源（下水処理水、河川水、海水）を活用するシステム



④ 工場排熱を活用するシステム



(2) 清掃工場

a) 算定方法

年間処理量に単位重さ当たりの低位発熱量を乗じて賦存量を推定する。

$$Q=W \times \alpha \quad (2)$$

$$Q_h=Q \times 0.44 \times \text{排熱ボイラ効率} \quad (3)$$

$$Q_c = Q \times 0.44 \times \text{排熱ボイラ効率} \times \text{蒸気吸収式冷凍機効率} \quad (4)$$

ここに Q は賦存量、 W は年間ごみ焼却量 (t/年)、 α は単位ごみ量当たりの低位発熱量 (Gcal/t)、 Q_c は冷熱活用可能量、 Q_h は温熱活用可能量である。高温エネルギー源 (清掃工場) を活用するシステムを活用した場合の機器効率は排熱ボイラ 0.8、蒸気吸収式冷凍機 1.15 と仮定する。さらに清掃工場における排熱の所内消費には電力と熱によるものがあるが、文献⁴⁾により所内で消費する電力量と熱量を定める。所内消費電力は入口蒸気、出口蒸気でタービンによって発電し、所内利用電力分以外の蒸気は全て高圧で取り出し、地域の熱供給に使用し、60度の温水で循環させる。その結果、地域熱供給に使用できるのは賦存量中の44%となる。

b) 算定結果

神戸市における清掃工場のデータとして1991年から1995年までの神戸市全体の年間焼却量の推移によると年間処理量は比較的安定しており、1993年以降やや減少傾向にある。また、1991年から1995年までの単位ごみ量当たりの低位発熱量の推移によると単位ごみ量当たりの低位発熱量には年々増加の傾向が見られる。そこで単位ごみ量当たりの低位発熱量を2.5Gcal/tと仮定する。

なお、東クリーンセンターは2000年に設備更新され、処理能力が現状の690t/日から900t/日に拡大される。そこで、本研究では、東クリーンセンターを設備更新後の処理能力で扱う。それによって神戸市の処理能力は3000t/日となる。また、各々の清掃工場の年間処理量を以下の方法で求める。なお、神戸市の年間焼却量は1991~1995年度の平均値621402tを用い、清掃工場での設備稼働率を(5)式で推定する。結果、設備稼働率は60%となり、さらに(6)式で各清掃工場の実処理量を推定する。神戸市には5ヶ所の清掃工場が稼働し、各清掃工場における賦存量及び活用可能量は表3-2の通りとなった。

$$\text{設備稼働率 (\%)} = \frac{\text{年間焼却量 (t/年)}}{\text{処理能力 (t/年)}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{推定実処理量 (t/年)} = \text{設備稼働率 (\%)} \times \text{処理能力 (t/年)} \quad (6)$$

表3-2 清掃工場の賦存量及び活用可能量

	処理能力 (t/日)	推定実処理量 (t/日)	賦存量 (Mcal/時)	活用可能量 (Mcal/時)
東清掃工場	900	540	56250	24413
落合清掃工場	450	270	28125	12206
港島清掃工場	450	270	28125	12206
苅藻島清掃工場	600	360	37500	16275
西清掃工場	600	360	37500	16275

(3) 下水処理場

a) 算定方法

処理水をヒートポンプ熱源として活用することを考える。月別の下水処理量とヒートポンプ温度差と比熱の積で賦存量を推定する。

$$Q = S \times \beta \times T \quad (7)$$

ここに、 Q は賦存量、 S は月別下水処理量 (t/月)、 β は比熱 (1Mcal/t°C)、 T はヒートポンプ温度差 (5°C) である。下水処理場では処理水の温度が低く、ほとんど有効に活用されていない。下水処理水は水熱源ヒートポンプの熱源として活用するが、そのCOPを求める式とそれぞれの活用可能量を求める式を示す。⁵⁾

$$y_c = 0.0033x^2 - 0.2539x + 9.1752 \quad (8)$$

$$y_h = 0.0059x^2 - 0.0417x + 3.4252 \quad (9)$$

$$Q_c = Q \times (y_c / (y_c - 1)) \quad (10)$$

$$Q_h = Q \times (y_h / (y_h + 1)) \quad (11)$$

ここに、 x は熱源水の温度、 y_c は水熱源ヒートポンプの冷熱用 COP、 y_h は水熱源ヒートポンプの温熱用 COP、 Q_c は冷熱活用可能量、 Q_h は温熱活用可能量である。

b) 算定結果

各施設の処理水の温度を調べると、処理水の温度差は冬期に大きく (10℃以上)、夏期・中間期に小さい。また一日を通して処理量に時間毎の変化はないものとする。冷熱・温熱の COP も処理場による差はほとんどない。下水処理場における季節による活用可能量の差を考慮するために季節を夏期、冬期、中間期とし、それぞれ 8 月、1 月、5 月に代表させる。その季節ごとに用いる冷熱、温熱の COP を表 3-3 に示す。神戸市には 7 ヶ所の下水処理場が存在する。処理水の温度については年間で変化が生じるが、後述の 4. (1) d) に示すように冬期の熱需要量と活用可能量を比較するため、1 月に各処理場で観測された値を使用して、活用可能量を算定する。(表 3-4)

表 3-3 下水処理水を熱源とするヒートポンプの COP (PI:ポートアイランド)

	1月 温熱COP	5月 温熱COP	8月 温熱COP	5月 冷熱COP	8月 冷熱COP
東灘下水処理場	4.59	5.82	8.13	4.98	4.43
PI下水処理場	5.26	6.46	7.88	4.76	4.46
中部下水処理場	4.76	5.82	7.41	4.98	4.54
鈴蘭台下水処理場	4.34	5.42	7.10	5.16	4.6
西部下水処理場	4.59	5.88	7.72	4.96	4.49
垂水下水処理場	4.59	5.70	7.48	5.03	4.53
玉津下水処理場	4.76	5.64	7.10	5.06	4.6

表 3-4 下水処理場の賦存量及び活用可能量

	処理量 (m^3)	賦存量 (Mcal/時)	活用可能量 (Mcal/時)
東灘下水処理場	53288896	30416	24971
PI下水処理場	3334200	1903	1599
中部下水処理場	22142418	12638	10445
鈴蘭台下水処理場	8545951	4878	3965
西部下水処理場	39143066	22342	18342
垂水下水処理場	32382915	18483	15175
玉津下水処理場	23796550	13583	11226

(4) 河川・海

a) 算定方法

賦存量は利用可能水量に比熱とヒートポンプ温度差を乗じた値とする。利用可能な河川の条件として、低水位流量が $5.6m/s$ 以上とする。河川における利用可能水量は、水を戻した後の環境への影響を考慮して、低水の 5% とする。低水位量とは、年間 275 日はこれを下回らない流量のことである。河川水、海水の温度差エネルギーは現在、使用されていないため、活用可能量を算定する際の所内で消費する分は考えない。水熱源ヒートポンプの成績係数は下水処理場と同じ式を用いる。

$$Q = R \times \delta \times \beta \times T \quad (12)$$

ここに、 Q は賦存量、 R は流量 (m^3)、 δ は利用水量 (5%)、 β は比熱 ($1Mcal/m^3$)、 T はヒートポンプ温度差 ($5^\circ C$) である。

b) 算定結果

神戸市において低水位流量が $5.6m/s$ 以上の河川は存在せず、活用できない。⁶⁾ また、海については利用可能水量が無限であるため、賦存量及び活用可能量は無限大となる。そこで活用量については後述の 5. (2) b) の条件に該当する地域の熱需要量の全てに活用できるものとし、水熱源ヒートポンプの消費電力量を考慮する。下水処理場と同様に、海水の温度と海水を熱源に使用した水熱源ヒートポンプの温熱 COP、冷熱 COP を求める。(表 3-5)

表 3-5 海水温度と海水を熱源とするヒートポンプの COP

	1月	5月	8月
海水温度 (°C)	10.7	20.7	25
温熱COP	3.65	5.09	6.07
冷熱COP	6.84	5.33	4.89

(5) 工場

a) 算定方法

投入一次エネルギー量（一次エネルギー消費分と購入電力量）の多い産業について検討する。ここでは、パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業、石油・石炭製造業、鉄鋼業、窯業・土品製品製造業、非鉄金属製造業の6業種で、発生する未利用エネルギーの種類は蒸気と高温排水が考えられ、発生する量は産業によって異なる。

排熱は製品の製造工程及び自家発電設備の2ヶ所で発生し、投入エネルギー量に対する割合で求める。それぞれの産業によって製造工程からの排熱割合や自家発電設備からの排熱割合は異なる。

$$\text{排熱量 } B = \text{投入一次エネルギー量 } A \times (\text{製造工程からの排熱割合 } (\%) + \text{自家発電設備からの排熱割合 } (\%) \times \text{自家発電割合 } (\%) / 100) / 100 \quad (13)$$

$$\text{自家発電割合} = \text{自家発電電力量} / (\text{自家発電電力量} + \text{購入電力量}) \times 100 \quad (14)$$

投入エネルギー量に関しては、産業別に従業員数 x で投入エネルギー量 A (=一次エネルギー量+購入電力量+購入蒸気量) を直線回帰式で回帰分析し、これによって産業別の従業員1人当たりの平均投入エネルギー量を求める。投入エネルギー量は従業員1人当たりの投入エネルギー量に従業員数を積算したものである。

排熱に関しては製造工程での排熱として、高温排熱（排ガス顕熱と回収蒸気）と低温排熱（温排水と冷却用循環水）に分ける。これに自家発電設備からの排熱を加えて、産業別に投入エネルギーに対する排熱割合の平均値を求めたものである。所内利用分については高温排熱については清掃工場と同様に電力と熱を合わせて賦存量の35%とする。低温未利用エネルギーの活用可能量の算定方法は下水処理場と同様とする。

b) 算定結果

文献⁷⁾より従業員200人以上の工場を調査し、その賦存量を求める。現在、神戸市において2ヶ所の排熱利用が可能な工場が存在する。

表 3-6 工場の賦存量及び活用可能量

	従業員数 (人)	投入一次 エネルギー量 (Tcal/年)	熱賦存量 [高温] (Mcal/時)	熱賦存量 [低温] (Mcal/時)	活用可能量 [高温] (Mcal/時)	活用可能量 [低温] (Mcal/時)
A工場 (灘区)	1935	4983	22979	118138	9973	97004
B工場 (中央区)	902	2323	10712	55070	4649	46273

(6) 活用可能量のまとめ

熱需要量と未利用エネルギーの活用可能量を比較する。まず、対象となった未利用エネルギーの地域分布を示す。(図 3-1) 図 3-2、図 3-3 では神戸市の未利用熱源ごとの活用可能量を比較する。未利用エネルギーの活用可能量中に占める割合を未利用エネルギー源の種類別でみると工場が最も多く 48%、次いで清掃工場、下水処理場の 26%となっている。なお、図 3-2 のグラフ値には低温未利用エネルギーを使用する場合のヒートポンプ消費電力量は考慮されていない。

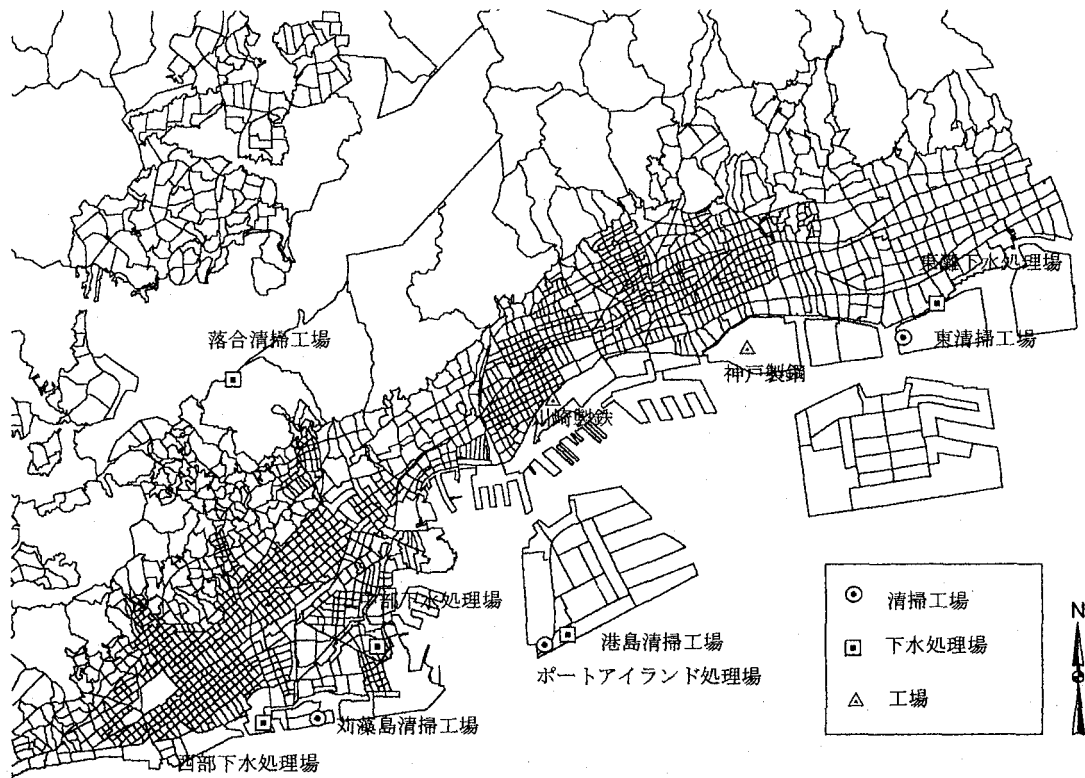


図 3-1 未利用エネルギーの地域分布 (三宮を中心とした地域)

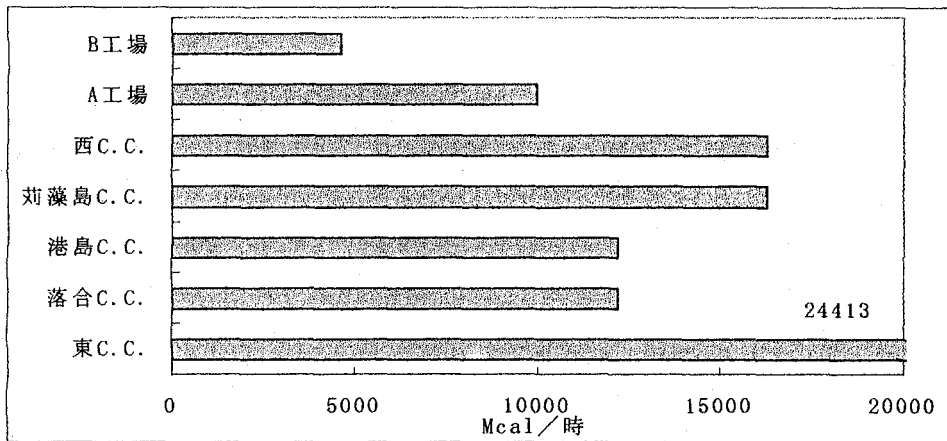


図 3-2 高温未利用エネルギーの活用可能量 (C.C.:清掃工場)

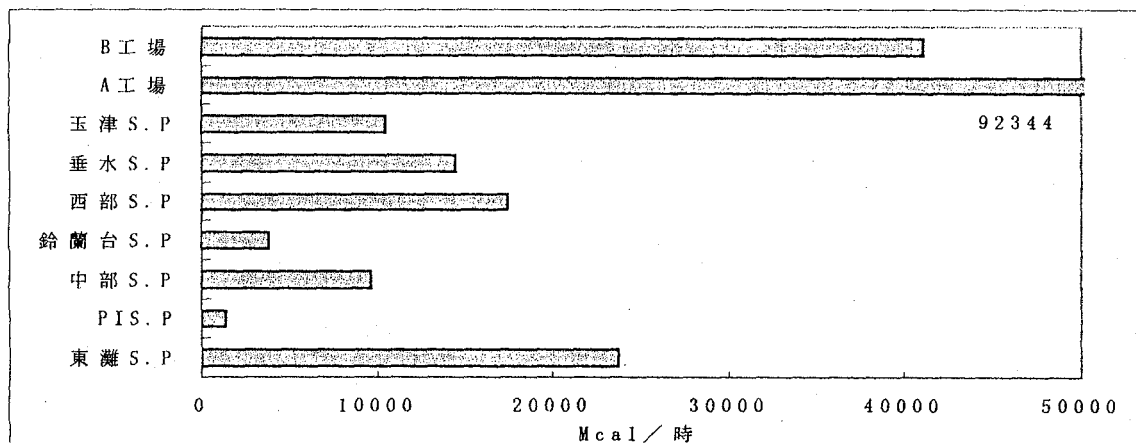


図 3-3 低温未利用エネルギーの活用可能量 (S.P.: 下水処理場)

4. 導入可能地域の抽出

(1) 導入可能地域の抽出方法

a) 熱需要密度による導入基準

熱需要密度による導入可能地域の抽出については、東京都で従来、「熱負荷密度指数が1以上」という基準により地域冷暖房システムの導入可能性を評価していたことから、それに従って評価指標を考える。「熱負荷密度指数1」とは、事務所ビルが500mメッシュに1階分すまなく建っている状態の温熱需要に相当し、当時、それは23Tcal/年・メッシュであった。1メッシュは25haであるから、約1Tcal/年・haである。よって、地域冷暖房システムの導入可能地域に必要な熱需要密度を1Tcal/年・haとする。熱需要密度では都市的土地利用面積によって熱需要量を除するため、山林等の建物の密集していない地域でも熱需要密度1Tcal/年・ha以上とすることが生じ、この条件のみで導入可能とすることには問題がある。

b) 熱供給の優先方法

地域冷暖房システムの導入可能地域の抽出は熱需要と未利用エネルギー源に関する地域特性によって行う。また、その地域の導入可能性を評価するためには導入効果を指標として用いる。

熱需要に関する要素として既成市街地及び開発地区の2通りについて考え、設備更新の手間が必要ないため開発地区に最も近い未利用エネルギーの供給を行う。(表4-1)まず、熱需要密度が1Tcal/ha年の地域でかつ熱源から搬送可能距離内にある地域を対象とする。導入可能地域を決定する際の熱需要量は一日当たりとし、既成市街地では町丁目単位で、開発地区では計画単位で冬期で算定し、導入可能地域の判定基準として用いる。熱需要量では時刻別の最大熱需要量が重要な指標となるが、今後、蓄熱槽が普及することによって未利用エネルギーの有効活用率が増し、導入効果が向上することが考えられる。そこで一日当たりの熱需要量と活用可能量がバランスする地域を導入可能地域とする。

未利用エネルギー源に関する要素としてはまず、位置の分布があり、それぞれの未利用エネルギー源について賦存量及び活用可能量を推定する。排出される蒸気や温水の量については年間を通じて一定と考えるが、低温未利用エネルギーについては排水温度が気温に影響されるためヒートポンプの季節別COPの変化を考慮し、季節別の熱需要量に合わせて用いる。

対象地域から優先的に排熱を活用する導入可能地域を抽出する方法であるが、未利用エネルギー源からの距離によって1kmごとの地域に分割し、その地域内で一日当たりの熱需要量より活用可能量が多ければ次の1kmの地域に供給する。その地域内、全てに供給できない場合は熱需要量の多い町丁目に優先的に供給する。また、複数の未利用エネルギーの供給が可能な地域には複数のシナリオを想定し、その導入効果を比較する。

表 4-1 開発地区の熱需要量及び未利用エネルギー源の距離

プロジェクト名	最も近い未利用エネルギー	距離 (m)	熱需要量 (Mcal/日)
キャナルタウン兵庫	苅藻島清掃工場	2150	67390
JR新長田駅前地区	苅藻島清掃工場	1741	11395
垂水駅周辺地区	垂水下水処理場	819	47709
ポートアイランド第2期	港島清掃工場	894	325360

c) 未利用エネルギーと熱需要地の距離

未利用エネルギーからの距離は、供給する熱媒が蒸気であれば、その蒸気圧降下による力学的あるいは経済的な距離の限界が考えられ、温水の供給であれば、経済的な距離の限界が考えられる。⁸⁾しかし、同様の研究で用いられている搬送可能距離は様々である。⁹⁾文献¹⁰⁾から搬送可能距離を高温エネルギーの場合 5km、低温エネルギーの場合 2km、温度差エネルギーの場合 0km (需要地と接していること) とする。

d) 建物用途構成比による熱需要特性

地域の熱特性を表す熱需要量は日・季節変動があり、その変動は建物用途によって異なる。中でも最も重要な熱特性として、日最大熱需要量が挙げられる。しかし、具体的な導入地域を決定する前の段階で日最大熱需要量を算定することは建物用途によって日最大熱需要量の起こる時刻、季節が異なるため困難である。そのため一日当たりの熱需要量により導入可能地域の決定を行う。時刻別の最大熱需要量が生じる季節を検討する方法として町丁目を建物用途構成比のタイプによって分類する。¹¹⁾

まず、地域冷暖房システムに必要な 1Tcal/ha 年未満の熱需要密度の町丁目を除外する。また、建物用途構成比を求める上で、土地利用等の理由から建物用途構成比に著しく偏りのある町丁目を除外する。除外条件は上記 8 用途以外の建物用途が 10%以上を占める、ネット容積率 100%未満、宅地面積率 50%以下とする。その町丁目の建物用途別延べ床面積の割合を 5%刻みに変換し、そのうちある建物用途が 50%を超えている場合、その用途地区とし、どの建物用途も 50%を超えていない場合、その他 (複合) とする。主な建物用途によって町丁目を分類し、その建物用途の構成比を平均したものが表 2-3 である。

6 つの建物用途構成比のタイプでの夏期、冬期における熱需要量の一日の変動を調査し、日最大熱需要量がいずれの季節に生じるかを検討した。結果、主に商業施設の町丁目、主に医療施設の町丁目では夏期に、それ以外の町丁目では冬期に最大需要量が見られる。その理由として、建物単体で考えると業務・商業施設は夏期の熱需要量が多いが、住宅施設では冷熱の需要量は地域冷暖房システムの対象になりにくいいため、夏期の熱需要量は小さい。そのため、業務施設が中心であるが、住宅施設が混在している町丁目では冬期の熱需要量の方が大きくなる。上記の 6 タイプにあてはまる町丁目の延べ床面積合計値をそれぞれの用途構成比タイプ別の時刻別熱需要原単位に乗じて、熱需要密度 1Tcal/ha 年以上の町丁目の夏期、冬期の一日の需要変動を算定する。(図 2-3) その結果、日最大熱需要量は冬期に生じ、冬期の熱需要量を基準として考えるのが妥当であることを示した。

表 4-2 主な建物用途による用途構成比

	サンプル数	住宅 (%)	医療 (%)	業務 (%)	商業 (%)	宿泊 (%)	娯楽 (%)	文化 (%)	教育 (%)
主に住宅施設	609	76	2	6	15	1	0	0	0
主に業務施設	85	12	2	77	7	2	0	0	0
主に商業施設	38	16	1	10	71	2	0	0	0
主に宿泊施設	7	11	1	2	3	64	19	0	0
主に医療施設	2	35	60	5	0	0	0	0	0
その他 (複合)	48	34	4	21	24	12	4	1	1

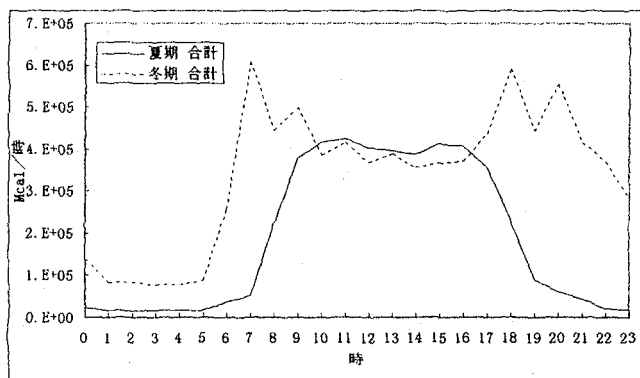


図 4-1 季節による熱需要量の時刻別変動

(2) 導入可能地域の抽出結果

本研究では開発地区に未利用エネルギーを優先的に供給するため、既成市街地に供給できる活用可能量はその残りとする。冬期一日当たりの活用可能量と周辺の熱需要密度 1Tcal/ha 年以上の町丁目における熱需要量を

比較し、導入可能地域を抽出する。(図 4-2) この際、スラッジセンター(神戸市内に 1ヶ所)の排熱を活用した地域温水供給システムが稼動している六甲アイランドの一部は導入可能地域から除外する。また東灘区・灘区の一部と兵庫区・長田区の一部では複数の未利用熱源から排熱供給が可能な地域となる。東灘区・灘区の一部では活用可能な未利用熱源は東灘下水処理場、東清掃工場、A工場であるが、工場は推定値の精度が不足する上、民間の施設であるため、活用は困難であると考えられる。そのため、東灘区側では東灘下水処理場、灘区側では東清掃工場を活用する。兵庫区・長田区の一部では高温エネルギー源である苅藻島清掃工場をより熱需要量の多い長田区側に供給し、兵庫区側では中部下水処理場を活用する。

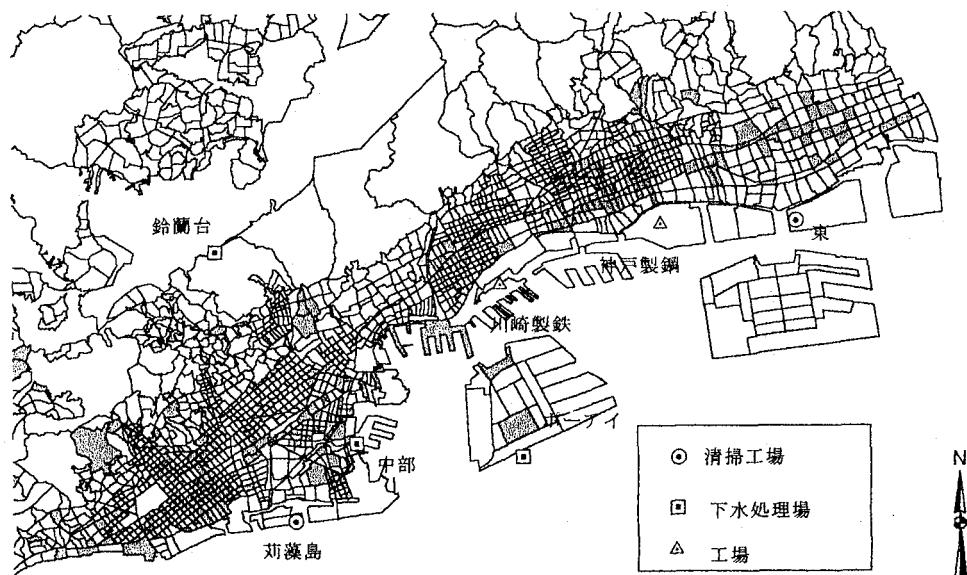


図 4-2 地域冷暖房システムの導入可能地域の抽出結果(三宮を中心とした地域)

5. 導入効果の分析結果

(1) 導入効果の算定方法

導入効果は熱需要量と未利用エネルギー源からの活用可能量に影響される。熱需要量には季節変動と日変動があるため、導入効果はまず季節の一日当たりの削減量、削減率によって評価し、年間値で評価する場合は、夏期は7・8・9月(92日間)、冬期は1・2・12月(90日間)、中間期は3・4・5・6・10・11月(183日間)に対応するため、それぞれの季節の日数を乗じた数値とする。導入効果として省エネルギー効果、CO₂削減効果、NO_x削減効果及び未利用エネルギーの有効活用率を算定し、未利用エネルギーによる地域冷暖房システムの導入効果を定量的に示す。

a) 従来システム(個別システム)の設定

正確な冷暖房機器の構成がわからないため、冷房は電力69.1%、都市ガス22.6%、A重油8.3%、暖房は電力34.4%、都市ガス23.4%、A重油42.2%とする。¹⁰⁾電力による熱源機器は空気熱源ヒートポンプで、都市ガス・A重油による熱源機器は温熱用としてボイラ、冷熱用として吸収式冷凍機を使用する。

b) 省エネルギー効果

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することによってどれだけのエネルギー消費を削減できるかを算定する。高温未利用エネルギー活用の場合は従来投入されていたエネルギーがすべて削減されるものとし、低温未利用エネルギー活用の場合は、ヒートポンプに投入する電力を差し引いたものをエネルギー削減量とする。

・高温排熱の場合

$$\text{省エネルギー量} = \text{未利用エネルギー活用量} \quad (15)$$

・低温排熱の場合

$$\text{省エネルギー量} = \text{未利用エネルギー活用量} - \text{ヒートポンプ電力消費量} \quad (16)$$

低温未利用エネルギーによるヒートポンプの電力消費量は次式により算定する。

$$E_w = \frac{R}{\text{cop} \times 860} \quad (17)$$

ここに、 E_w はヒートポンプ電力消費量 (Gwh)、 R は低温未利用エネルギー消費量 (Gcal) である。従来システムで用いる空気熱源ヒートポンプの COP は以下の式を用い、温熱は年間平均値、冷熱は5月から10月の間の平均値を用いた。既存システムの場合、求めた値に0.8をかけた数値とする。⁷⁾ (表5-1)

$$y_h = -0.0007x^2 + 0.0832x + 3.1097 \quad (18)$$

$$y_c = -0.0036x^2 - 0.3414x + 10.596 \quad (19)$$

ここに、 x は熱源水の温度、 y_h は水熱源ヒートポンプの温熱用 COP、 y_c は水熱源ヒートポンプの冷熱用 COP である。また、ガス、重油 A を用いた場合の機器の総合 COP を 0.8 とし、電力の一次エネルギー換算値は 1kwh = 2250kcal を用いて計算を行う。

表 5-1 空気熱源ヒートポンプの COP

	温熱	冷熱
年平均	4.463	3.895
総合COP	3.57	3.12

c) 大気汚染物質削減効果

表 5-2 に環境性の評価に用いる各大気汚染物質の排出原単位を示す。投入一次エネルギーに対する数値である。

表 5-2 大気汚染物質の排出量の原単位

	単位	発電所	ボイラ	
			都市ガス	重油A
NO _x	(kg/Tcal)	235.23 *1	170.7 *3	223.6 *3
CO ₂	(kg-C/Tcal)	10000 *2	56400 *4	79100 *4

*1:東京電力:電力設備、平成6年度

*2:東京電力:数表で見る東京電力、平成8年度

*3:環境庁:窒素酸化物総量規制マニュアル

*4 環境庁:温暖化する地球 日本の取り組み

表 5-2 により地区の現状 (従来システム) において熱を発生させるときに排出する大気汚染物質の量を求め、これに対して地域冷暖房システムを導入した場合には大気汚染物質の排出量がどの程度削減されるか算定を行うものであり、以下の式を用いる。

大気汚染物質削減量 =

$$\text{従来システム年間大気汚染物質排出量} - \text{地域冷暖房システム年間大気汚染物質排出量} \quad (20)$$

$$\text{大気汚染物質削減率} = (\text{年間大気汚染物質排出削減量} \div \text{従来システム年間大気汚染物質排出量}) \times 100 \quad (21)$$

表 5-3 地域冷暖房システムの冷熱 1Tcal 当たりの原単位

	構成比	冷熱 COP	投入電力量 (Gwh)	投入1次エネルギー量 (Tcal)	NO _x 排出量 (kg/Tcal)	CO ₂ 排出量 (kg-C/Tcal)
電力	0.5	3.9	0.149	0.336	79	33585.1
都市ガス	0.5	0.8	—	0.625	111.06	35250
				0.961	190.06	68835.1

表 5-4 地域冷暖房システムの温熱 1Tcal 当たりの原単位

	構成比	温熱 COP	投入電力量 (Gwh)	投入1次エネルギー量 (Tcal)	NO _x 排出量 (kg/Tcal)	CO ₂ 排出量 (kg-C/Tcal)
電力	0.5	4.46	0.13	0.293	68.95	29310.77
都市ガス	0.5	0.8	—	0.625	111.06	35250
				0.918	180.01	64560.77

表 5-5 従来システムの冷熱 1Tcal 当たりの原単位

	構成比	冷熱 COP	投入電力量 (Gwh)	投入1次エネルギー量 (Tcal)	NO _x 排出量 (kg/Tcal)	CO ₂ 排出量 (kg-C/Tcal)
電力	0.691	3.12	0.258	0.58	136.48	58018.26
都市ガス	0.226	0.8	—	0.283	50.2	15933
A重油	0.083	0.8	—	0.104	24.24	8206.63
				0.967	210.92	82157.89

表 5-6 従来システムの温熱 1Tcal 当たりの原単位

	構成比	温熱 COP	投入電力量 (Gwh)	投入1次エネルギー量 (Tcal)	NO _x 排出量 (kg/Tcal)	CO ₂ 排出量 (kg-C/Tcal)
電力	0.344	3.57	0.112	0.252	59.3	25207.26
都市ガス	0.234	0.8	—	0.293	51.98	16497
A重油	0.422	0.8	—	0.528	123.22	41725.25
				1.073	234.5	83429.51

d) 未利用エネルギーの有効活用率

本研究では未利用エネルギーを活用した地域冷暖房システムを検討するにあたり、蓄熱槽を設けないものとする。蓄熱を行わない場合、未利用エネルギーからの排熱の活用可能量を時間毎の熱需要量が超えた時、超えた分の量は 3. (1) b) 節で設定した補助熱源システムによって供給されることになり、また時間毎の熱需要量はその活用可能量を下回った時、余剰の熱は消費されずに捨てられることになる。

そこで未利用エネルギーの有効活用率を各導入可能地域における未利用エネルギーが有効に使用されていることを評価する指標として扱う。未利用エネルギーを有効に活用することは環境性にも貢献していると言える。また、未利用エネルギーの有効活用率は導入可能地域での平準化率の低さを示し、蓄熱槽の必要性を示している。よって経済性に関わる効果の一つとも言える。

$$\text{未利用エネルギーの有効活用量} = \frac{\text{活用した賦存量}}{\text{未利用熱源の賦存量} - \text{所内利用分の賦存量} - \text{放熱分の賦存量}} \times 100 \quad (22)$$

$$\text{未利用エネルギーの有効活用率} = \frac{\text{有効活用量}}{\text{未利用熱源の賦存量}} \quad (23)$$

(2) 導入効果の分析結果

導入効果を算定する項目は省エネルギー効果、CO₂削減効果、NO_x削減効果、未利用エネルギーの有効活用率の4種類である。これらの項目は冬期、夏期、中間期の1日毎の温熱・冷熱別の活用排熱量や排熱で賄えない熱量、低温排熱を活用した場合のヒートポンプ電力量、活用可能量の余剰熱量を算定し、投入一次エネルギー量、CO₂排出量、NO_x排出量及び未利用エネルギーの有効活用率を算定する。さらに個別システムの場合の投入一次エネルギー量、CO₂排出量、NO_x排出量を算定し、それぞれの削減率を算定する。年間値で評価する場合、冬期90日、

夏期 92 日、中間期 183 日であるから、その日数を乗じて年間の評価を行う。

a) 開発地区の導入効果

開発地区では 4 地区が導入可能となり、それぞれの導入効果を算定し年間値で評価する。

表 5-7 開発地区の導入効果

	省エネルギー		CO2		NOx		高温	低温
	量 (Tcal/年)	率 (%)	削減量 (kg-C/年)	削減率 (%)	削減量 (kg/年)	削減率 (%)	有効活用率 (%)	
キャナルタウン兵庫	10.3	71	853540	74	2333	74	37	—
JR新長田駅前地区	2.7	76	230699	73	611	73	59	—
垂水駅周辺地区	5.8	39	393751	32	1237	38	—	51
ポートアイランド第2期	67.3	70	5782525	74	15326	73	49	—

b) 既成市街地の導入効果

既成市街地の中で清掃工場、下水処理場、工場の排熱を活用した地域の導入効果について表 5-8 に示す。各未利用熱源から 1 つの地域に熱源を供給する。それぞれの導入効果を算定し年間値で評価する。東灘・灘エリア、海水の温度差エネルギーを活用する地域は熱需要密度 1Tcal/ha 年以上でかつ、他の未利用熱源からの排熱を供給しない地域とする。該当する地域は 5 地域である。各導入効果は同様の傾向を示すため、代表して省エネルギー率の地域分布を図 5-1 に示す。

表 5-8 既成市街地の導入効果

	省エネルギー		CO2		NOx		高温	低温
	量 (Tcal/年)	率 (%)	削減量 (kg-C/年)	削減率 (%)	削減量 (kg/年)	削減率 (%)	有効活用率 (%)	
落合清掃工場周辺	77	73	6401165	76	17428	76	69	—
西清掃工場周辺	40	92	3239136	92	8839	93	25	—
PI 下水処理場周辺	17	18	1874481	25	5145	25	—	100
鈴蘭台下水処理場周辺	10	38	635898	32	2074	38	—	46
垂水下水処理場周辺	20	43	1279620	34	4209	41	—	29
玉津下水処理場周辺	3	45	184060	35	589	42	—	5
B 工場周辺	46	65	3389485	60	9794	64	74	18
海周辺 (5 地区)	24	40.6	1329878	30.8	4854	36	—	100
東清掃工場周辺	117	81	9631801	83	26169	83	78	—
東灘下水処理場周辺	51	37	3348037	30	10836	36	—	38
中部下水処理場周辺	32	42	2111066	34	6747	40	—	55
苅藻島清掃工場周辺	97	73	8273972	76	22319	76	78	—



図 5-1 省エネルギー率の分布（三宮を中心とした地域）

c) 神戸市域の導入効果のまとめ

以上の結果をまとめて神戸市における導入効果を表 5-9 に示す。熱源別に見ると清掃工場の排熱活用による導入効果が最も大きく、例えば省エネルギー量と比較すると全ての未利用エネルギーを活用する場合の導入効果の 60%、次いで工場が 23%、下水処理場が 13%、海が 4%である。また、全ての未利用エネルギーを活用すると神戸市の既成市街地で投入されている一次エネルギーの約 11%、CO₂ 排出量の約 10%、NO_x の約 11%が削減される。

表 5-9 地域冷暖房システムの導入効果の合計

	未利用エネルギー	省エネルギー量 (Tcal/年)	CO ₂ 排出削減量 (kg - C/年)	NO _x 排出削減量 (kg/年)
既成市街地	清掃工場	315	26117048	70831
	下水処理場	81	6085125	18764
	工場	155	11479642	33143
	海	24	1329878	4854
開発地区	清掃工場	80	6866764	18270
	下水処理場	6	393751	1237
既成市街地	合計	576	45011693	127593
開発地区	合計	86	7260515	19507

6. 結論

熱需要と未利用熱源に関する地域特性を明らかにし、それらを考慮した地域冷暖房システムの導入可能地域を抽出する方法を述べた。そして神戸市域を具体的な対象地域として、その方法を適用し、導入可能地域を抽出した。さらにその地域における導入効果として省エネルギー効果や CO₂ 削減効果、NO_x 削減効果などについて算定し、神戸市域における未利用エネルギーを活用した地域冷暖房システムによる導入効果を定量的に示した。但し、工場の賦存量及び活用可能量の算定方法は資料不足の為、十分な精度を得られず、また、熱需要量の算定に使用した熱需要原単位は首都圏の建物から推定された数値であるなど、問題点もある。文献¹⁾²⁾によると地域冷暖房導入地区の熱需要量の調査結果で都道府県別で兵庫県は全国で4番目に大きく、人口100万人以上の都市で比較すると神戸市は4番目に大きい。しかし、阪神大震災後の復興計画において、地域冷暖房システムは2地区で計画されているが、いずれも未利用エネルギーは活用しておらず、今後の都市計画に本研究の結果が活かされることを望む。

謝辞：GISデータの入手に関してお世話になった神戸大学情報処理センター福島徹先生、平成8年度卒業論文で本テーマを取り上げ資料収集や第1次とりまとめを行った大倉要さん、及び実務的な立場から数々のご助言を頂きました大阪ガス㈱の遠座俊明氏に感謝いたします。また本研究は(社)日本地域冷暖房協会の自主研究調査委員会(委員長:佐土原聡氏)で行った調査を下地として、まとめ直したものです。関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 尾島俊雄：建築の光水熱原単位、早稲田大学出版、1995
- 2) 産業タイムス社：全国都市再開発計画総覧 1995年度版、1995
- 3) ユー・シー・プランニング社：全国公共・都市プロジェクト集、1993
- 4) 近畿通商産業局・㈱日建設計：広域共同熱供給システム構想－神戸市域における広域共同熱供給システムの検討－、pp51-59、1996
- 5) 大倉要、森山正和：未利用エネルギーによる地域冷暖房計画に関する研究－兵庫県及び中国・四国地方を対象として－、日本建築学会近畿支部研究報告集(北海道)、pp49-52、1997
- 6) 建設省河川局：流量年表、1985～1989
- 7) 日本経済新聞社：会社年鑑(上場会社版)、1994
- 8) 藤野耕一：未利用エネルギー活用研究会報告、(社)日本ガス協会、未利用エネルギー活用シンポジウム資料、pp17-55、1994
- 9) 尾島俊雄：低温廃熱資源の総合的有効利用に関する研究 pp64-66、センチュリリサーチセンタ㈱、1985
- 10) (社)地域冷暖房協会：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 平成7年度報告書、1997
- 11) 市川裕康、十倉将、茂呂隆、村上公哉、尾島俊雄：東京都23区250mメッシュ内の建物用途構成比とその負荷特性 リサイクル型の水・エネルギー供給処理システムの導入可能最小空間規模に関する研究 その1、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp1007-1008、1995
- 12) 佐土原聡、長野克則、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(投稿中)、1998

筆者：1) 森山正和、都市安全研究センター、助教授 2) 山本和久、大阪ガス㈱(元神戸大学大学院自然科学研究科建設学専攻、学生)