

北九州市新規熱供給地区におけるコージェネレーションシステムの導入効果の評価と整備戦略に関する研究

韋 新東^{1,2}・松本 亨³

¹非会員 博(工) 吉林建築工程学院教授 環境工学部(〒130021中国吉林省長春市紅旗街1129号)

²日本学術振興会外国人特別研究員(〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)

E-mail: xindong33@hotmail.com

³正会員 博(工) 北九州市立大学助教授 国際環境工学部(〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)

E-mail: matsumoto-t@env.kitakyu-u.ac.jp

本研究では、北九州市新規熱供給地区におけるコージェネレーションシステムの導入効果と整備戦略に関して分析するための手法の提示と、それを用いて複数のケースについて分析した。用途別の延べ床面積とエネルギー原単位を用い、熱供給地区におけるエネルギー需要量を計算した。4つのケースを設定し、各ケースにおけるエネルギー消費量、CO₂排出量、及びランニングコスト・イニシャルコスト・単純回収年数を計算し、熱電比と省エネルギー性との関係分析、一次エネルギー需要マトリックスと環境保全性との関係分析のための手法を提示し、感度分析を行うことで適したシステムを示した。今後の環境低負荷型エネルギー供給システムの整備戦略に関して、補助金、炭素税の面から考察した。

Key Words : energy supply system, energy saving, combined heat and power (CHP) system, economic, comprehensive evaluation

1. はじめに

都市活動には、大量の資源・エネルギー消費を伴う。日本の場合で、全人口の約7割が都市に居住するが、これはエネルギー消費活動の都市への集中も意味する。エネルギー消費に伴う大気汚染物質の排出量の増大は、居住者の生活環境のみならず、地球温暖化に見られるような地球的規模の環境に影響を与えつつある。将来世代のために資源や良好な環境を残すために、都市活動におけるエネルギー消費効率の向上は重要な課題である。

2005年2月の京都議定書発効を経て、4月には京都議定書目標達成計画が決定された。2008年から2012年における目標期間に1990年の水準に比べ6%の削減目標を達成しなければならない中で、新エネルギーとともにコージェネレーション等分散型電源への期待が謳われている。

日本では、公害防止条例にもとづいて、環境負荷軽減方策のひとつとして地域冷暖房が推進されてきた。さらに未利用エネルギーの活用などにより、環境への負荷の軽減に一層配慮した普及促進を図るべく、地域冷暖房推進長期計画¹⁾に取り組んでいる。一方、欧米諸都市にお

いては、地域暖房の推進に際して、広域的なネットワークの形成により、未利用エネルギーやコージェネレーションの有効利用を図り、環境保全面で優れた効果がもたらされている。たとえば、EUに加盟しているオランダ、ドイツ、デンマーク等の国では地域暖房の全熱供給量の約70%をコージェネレーションの排熱により賄っている²⁾。

今後は日本においても、特に民生用エネルギー需要の多い都市において熱需要密度が高いことから、分散型エネルギー供給システムの普及が求められると予想される。この分野の既往研究としては、地域冷暖房導入の可能性地区選定³⁾、地域冷暖房の総合評価手法^{4)~8)}、都市未利用エネルギーの活用可能性評価手法^{9)~15)}、都市エネルギー回収システムとしての熱供給ネットワークに関する研究^{16)~21)}がある。また、省エネルギー性、環境保全性、経済性、安全性・信頼性の立場からコージェネレーションシステムの導入効果を詳細に分析した研究^{22)~27)}がある。

著者らはこれまで、地域冷暖房の評価手法²⁸⁾、新規熱供給地区における熱供給システムの最適化^{29)~33)}に関しても検討してきた。まず、多基準分析法と多変量解析を用いた総合評価を行った。これによって各地域冷暖房事業

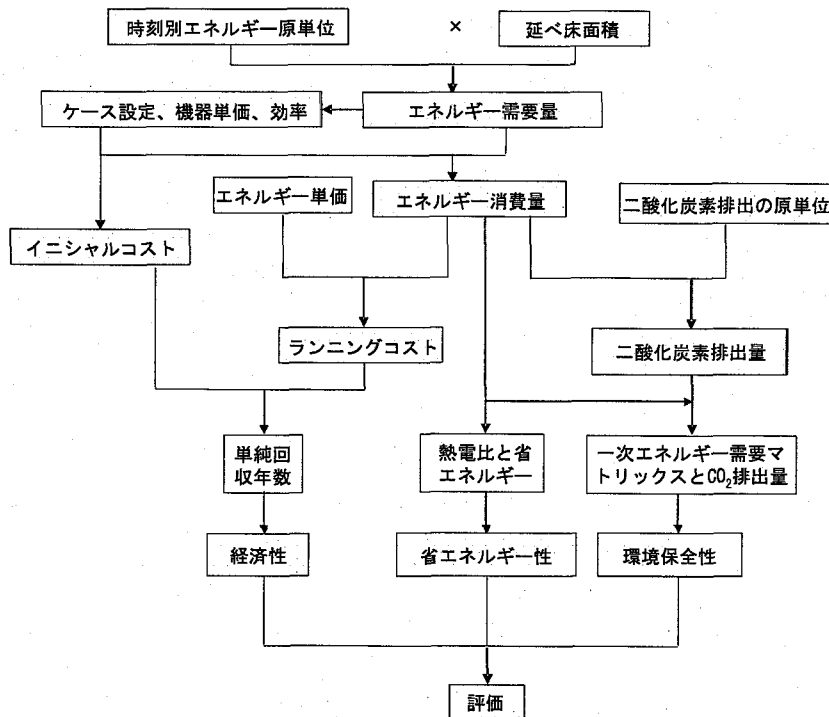


図-1 評価フロー

の優劣に関する順位付けが可能になり、個々の事業分析からでは指摘できなかった下位の地域冷暖房事業に包含される負の影響因子を抽出した。評価した順位を利用することにより、現在の地域冷暖房の問題を確認し改善点が見出されることが明らかになった。更に、熱源ネットワーク化をした場合のバックアップ効果評価手法、その場合の圧力の計算手法、新規熱供給地区における熱供給システムの最適化の検討手法を提案し、それらの研究手法に基づいて、熱源ネットワーク化をした場合の効果評価及び新規熱供給地区における熱供給システムの最適化の計画が可能になった。しかし、コージェネレーションシステムの導入効果の検討に関しては、熱電比と省エネルギー性との関係分析や、今後の整備戦略に関して詳細に分析していない。

そこで、本研究では、北九州市新規熱供給地区におけるコージェネレーションシステムの導入効果の評価と戦略整備を検討することを目的とする。まず、供給エリアの用途別床面積と原単位にもとづいて、熱供給地区における熱需要量と電力需要量を計算する。次に、熱供給地区の熱供給システムをいくつか設定する。さらに、各熱供給システムの一次エネルギー消費量、CO₂排出量、初期投資・ランニングコストを計算し、熱電比と省エネ

ギー性との関係分析、一次エネルギー需要マトリックスと環境保全性との関係分析を行うことで、省エネルギー性、環境保全性、経済性を評価する。最後に、今後の環境低負荷型エネルギー供給システムの整備戦略に関して、補助金、炭素税の面から考察する。

2. 評価手法

図-1に、本研究の評価フローを示す。まず、用途別の延べ床面積とエネルギー原単位³⁴⁾³⁵⁾を用い、熱供給地区におけるエネルギー需要量を計算する。その後、ルームエアコン・ガス給湯ヒーターシステム、ボイラー・吸収冷凍機システム、熱主電従及び電主熱従コージェネレーションシステムなどの4つのケースを設定する。さらに、各ケースにおけるエネルギー消費量、CO₂排出量、及びランニングコスト・インシヤルコスト・単純回収年数について検討を行い、熱電比と省エネルギー性との関係分析、一次エネルギー需要マトリックスと環境保全性の関係分析に着目し、省エネルギー性、環境保全性、経済性に関して評価する。

表-1 エネルギー価格の設定

系統電力				
区分			単位	消費税込 円
基本料金	契約容量が6kVA以下の場合		1 契約	1,155.00
	契約容量が6kVAをこえる場合		1 契約 10kVA超過分	1,575.00 283.50
電力量料金	デイトタイム (10時～17時)	夏季	1 kWh	32.0145
		その他季	1 kWh	26.7015
	リビングタイム (8時～10時、17時～22時)		1 kWh	20.139
	ナイトタイム (1時～8時、22時～24時)		1 kWh	7.1925
ガス				
家庭用高効率給湯器契約	基本料金 (1ヵ月及びガスメーター一個につき)		従量料金単価 (1㎡につき)	
	871.5円		209.79円	

トータルエネルギーシステム契約	基本料金			従量料金単価 (1㎡につき)
	定額基本 (1ヵ月及びガスメーター一個につき)	流量基本 (1㎡につき)	その他基本 (1㎡につき)	
	78750.00円	812.70円	最大需要額 1.07円	54.76円
コージェネレーションシステムでは、年間電力供給量当たり水道料金は0.25円/KWh、年間電力供給量当たり修繕費は2.00円/KWh、電力供給量のピーク値当たり人件費は4000.00円/KW、電力供給量のピーク値当たり保守費用は1350.00円/KWとした。ボイラーシステムでは、熱需要量の年間値当たり水道料金は0.03円/MJ、熱需要量の年間値当たり修繕費は0.55円/MJ、熱需要量のピーク値当たり人件費は375.00円/MW、熱需要量のピーク値当たり保守費用は477.69円/MWとした。				

3. 熱供給地区のエネルギー供給システムの設定

熱供給地区のエネルギー供給システムを4つのケースに分けた。ケース1は図-2のように、ルームエアコンによる暖房・冷房、ガス給湯ヒーターによる給湯、系統電力による電力供給とし、比較対照システムとする。ケース2は図-3のように、ボイラー、蒸気吸収冷凍機により温熱、冷熱を供給し、系統電力から電力を供給する。ケース3は図-4のように、コージェネレーション (CGS電主熱従)、蒸気吸収冷凍機を用いて電力、温熱、冷熱を供給するが、コージェネレーションの排熱が温熱、冷熱の需要量より小さい場合は補助ボイラーにより熱を補足とする。ケース4は図-5のように、コージェネレーション (CGS熱主電従)、蒸気吸収冷凍機を用いて電力、温熱、冷熱を供給するが、コージェネレーションの発電が電力需要量より小さい場合は系統電力から電力を補足し、コージェネレーションの発電が電力需要量より大きい場合は系統電力へ売電する。

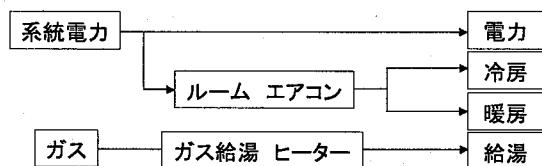


図2 エネルギー供給システム (ケース1)

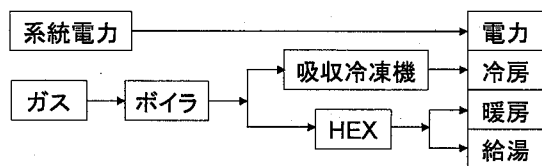


図3 エネルギー供給システム (ケース2)

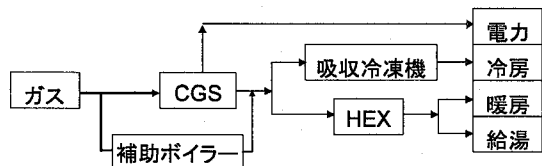


図4 エネルギー供給システム (ケース3)

4. エネルギー価格、二酸化炭素排出原単位、機器単価及び機器効率の設定

検討対象地域として、北九州市の熱供給地区を仮想的に設定する。ランニングコストを計算するための、エネルギー価格の設定を表-1に示す。基本料金と従量料金は九州電力株式会社³⁶⁾と西部ガス会社のホームページ³⁷⁾を参照した。なお、コージェネレーションシステムでは、年間電力供給量当たり水道料金は0.25円/KWh、年間電力供給量当たり修繕費は2円/KWh、電力供給量のピーク値当たり人件費は4000円/KW、電力供給量のピーク値当

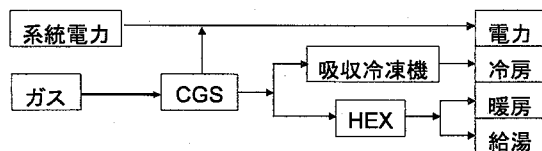


図5 エネルギー供給システム (ケース4)

り保守費用は1350円/KWとした。ボイラーシステムでは、熱需要量の年間値当たり水道料金は0.03円/MJ、熱需要量の年間値当たり修繕費は0.55円/MJ、熱需要量のピー

ク値当たり人件費は375円/MW，熱需要量のピーク値当たり保守費用は477.69円/MWとした³¹⁾。

一次エネルギー消費量，汚染物質排出量及びイニシャルコストを計算するため，本論で用いた機器単価，機器効率，CO₂排出原単位^{28)～33)}を表-2に示す。なお，電力の二酸化炭素排出原単位については電気事業者の平均値を用いた²⁸⁾。

5. 省エネルギー性，環境保全性及び経済性の評価手法

省エネルギー性，環境保全性を評価するため，一次エネルギー削減率，CO₂排出量の削減率を指標として評価する。それらの指標は以下の式で計算する。

$$\Delta E = \frac{100(E_i - E_j)}{E_i} \quad (1)$$

ここで， ΔE ：一次エネルギー削減率

E_i ：ケース*i* (*i*=1～4) による年間一次エネルギー消費量

E_j ：ケース*j* (*j*=1～4) による年間一次エネルギー消費量

$$\Delta C = \frac{100(C_i - C_j)}{C_i} \quad (2)$$

ここで， ΔC ：CO₂排出量の削減率

C_i ：ケース*i* (*i*=1～4) による年間CO₂排出量

C_j ：ケース*j* (*j*=1～4) による年間CO₂排出量

経済性は，システム存立の可否を決める最も大きな要因であるので，通常はランニングコストとイニシャルコストを現在価値で統合したライフサイクルコストで評価する。しかし，イニシャルコストについては計画段階で正確な価格を見積もることが難しく，本研究でも概算値しか求めることができていない。一方でランニングコストは，ある程度正確に計算しているため，ライフサイクルコストの概念で統合すると，初期投資の影響が強くな

表-2 CO₂排出原単位、機器単価及び機器効率

項目	値	
二酸化炭素排出原単位		
系統電力	177.27 g-C/kwh	
ガス	15.66 g-C/MJ	
機器諸元	初期費用	効率
ガスエンジン	25000 円/Kw	(発電)30% (排熱)45%
ボイラ	8000000 円/(トン/h)	85%
受電設備	50000 円/Kw	-
冷却塔	25000 円/RT	-
吸収冷凍機	120000 円/RT	1.1

表-3 熱供給地区の概要

住宅延床(m ²)	商業延床(m ²)	業務延床(m ²)	病院延床(m ²)
0.00	120,000.00	210,000.00	0.00

ってしまう。本研究では，経済性だけではなく，省エネルギー，環境保全性で総合的に評価するので，コストについてはランニングコストとイニシャルコストに分け，単純回収年数で経済性を評価する。単純回収年数は式(3)を用いて推計する。

$$\Delta L = \frac{(L_i - L_j)}{(I_j - I_i)} \quad (3)$$

ここで， ΔL ：単純回収年数

L_i ：ケースケース*i* (*i*=1～4) によるイニシャルコスト

L_j ：ケース*j* (*j*=1～4) によるイニシャルコスト

I_i ：ケースケース*i* (*i*=1～4) による年間ランニングコスト

I_j ：ケース*j* (*j*=1～4) による年間ランニングコスト

6. ケーススタディ

今回対象とした熱供給地区は，延べ床面積が210千m²の業務施設，延べ床面積が120千m²の商業施設が立地する地区である(表-3)。前述した評価手法を用いて，北九州市を想定し，エネルギー需要量を計算した。また，ルームエアコン・ガス給湯ヒーターシステム，ボイラー・吸収冷凍機システム，熱主電従及び電主熱従コース

表4 省エネルギー性、環境安全性及び経済性の計算結果

計算結果の比較								
	ケース1		ケース2		ケース3		ケース4	
	電力	ガス	電力	ガス	電力	ガス	電力	ガス
二酸化炭素排出 (tC)	12844.74	267.47	10129.66	3199.75	0.00	10994.50	4886.87	6043.97
一次エネルギー消費 (GJ)	784502.06	17081.95	618676.77	204352.89	0.00	702166.64	298469.47	385999.91
CGSの容量 (KW)					15985.93		23018.47	
補助ボイラー容量 (t/h)			55.02		21.38			
費用 (円)								
イニシャルコスト	0.00		1987136439.72		5714535125.92		7301606969.86	
年間合計								
ランニングコスト	1962786497.77		1952809561.66		1231016968.09		1402651429.16	
単純回収年数			199.17		7.81 (5.16)		13.04 (9.66)	

注：（ ）の数字はケース2と比較した単純回収年数である。

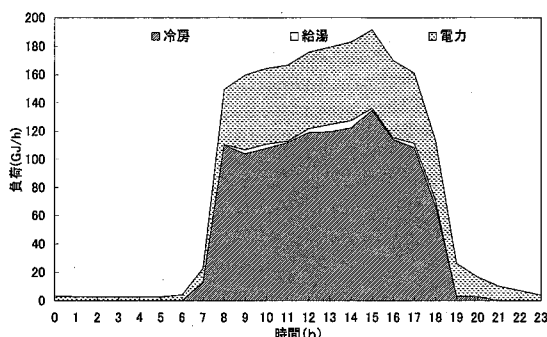


図-6 時刻別エネルギー需要量 (8月)

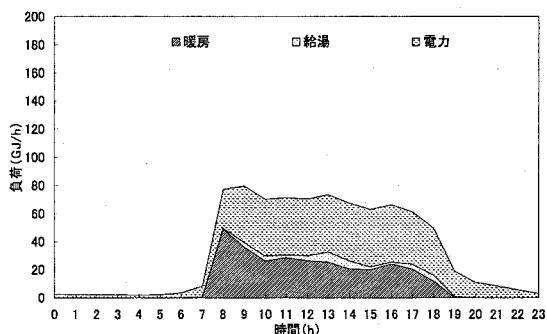


図-7 時刻別エネルギー需要量 (1月)

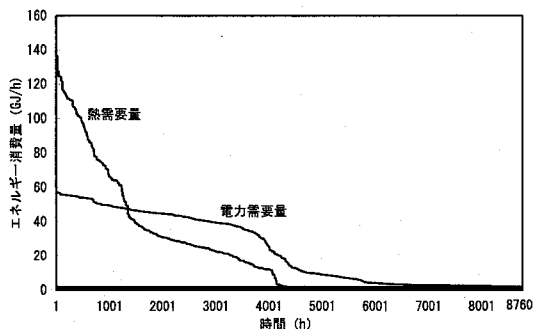


図-8 エネルギー需要量の時間累積負荷曲線

エネルギーシステムなどの4つのケースにおけるエネルギー消費量、CO₂排出量、及びランニングコスト・イニシャルコスト・単純回収年数について計算を行った。さらに、熱電比と省エネルギー性との関係分析、一次エネルギー需要マトリックスと環境安全性との関係分析することに着目し、省エネルギー性、環境安全性、経済性を評価した。

(1) エネルギー需要量

北九州市熱供給地区の8月時刻別エネルギー需要量を図-6、1月時刻別エネルギー需要量を図-7に示す。図に示すように、8月では15時の冷房需要量と14時の電力需要量が最も大きい、1月では8時の暖房需要量と14時の電力需要量が最も大きい。一方、給湯需要量は冷暖房需要量・電力需要量に比べ、かなり小さい。図-8には、年間を通してエネルギー需要量0から昇順に積算した、研究対象地域のエネルギー需要量の時間累積負荷曲線 (8760h) を示している。

(2) 省エネルギー性、環境安全性及び経済性

図-9及び表-4に、一次エネルギー消費量を示す。搬送によるエネルギー投入量を無視すれば、ケース2、3、4の一次エネルギー消費量はケース1の一次エネルギー消費量よりそれぞれマイナス2.68%、12.40%、14.61%削減となった。ケース2、3、4のCO₂排出量はケース1のCO₂排出量よりそれぞれマイナス1.67%、16.15%、16.64%削減となった (図-10、表-4)。したがって、コージェネレーションシステム (ケース3、4) を導入したエネルギー供給システムは、一次エネルギー消費量、CO₂排出量の面においては有効といえる。将来、地域冷暖房の推進に際して、広域的なネットワークの形成により未利用エネルギーやコージェネレーションの有効利用を図ることで、環境保全面で優れた効果がもたらされることが期待できる。

次に、ランニングコスト・イニシャルコスト・単純回収年数の結果を表4に示す。ケース1のランニングコスト・イニシャルコストをベースとして計算した結果、ケース2, 3, 4の単純回収年数はそれぞれ199.17年, 7.81年, 13.04年となった。ケース2の初期投資の回収可能性が低いことから、コージェネレーションシステム（ケース3, 4）が経済性の面においても有効であるといえる。

(3) 熱電比による一次エネルギー削減率の感度分析

式(1)より、電主熱従（ケース3）及び熱主電従（ケース4）のコージェネレーションシステムを、ボイラー・吸収冷凍機システム（ケース2）と比較した場合の一次エネルギー削減率は、以下の式で推計できる。

電主熱従コージェネレーションシステム（ケース3）で、かつ需要の熱電比が供給システムの熱電比（1.5）より小さい場合、一次エネルギー削減率は式(4)で計算する。

$$\Delta E = 100 \left(1 - \frac{\eta_3 \eta_4}{\kappa \eta_3 + \eta_1 \eta_4} \right) \quad (4)$$

ここで、 η_1 ：コージェネレーション発電効率

η_3 ：系統電力発電効率

η_4 ：ボイラー効率

κ ：需要の熱電比

電主熱従コージェネレーションシステム（ケース3）で、かつ需要の熱電比が供給システムの熱電比（1.5）より大きい場合、一次エネルギー削減率は式(5)で計算する。

$$\Delta E = 100 \left(1 - \frac{\frac{1}{\eta_1} + (\kappa - \frac{\eta_2}{\eta_1}) \frac{1}{\eta_4}}{\frac{1}{\eta_3} + \frac{\kappa}{\eta_4}} \right) \quad (5)$$

ここで、 η_2 ：コージェネレーション排熱効率

熱主電従（ケース4）コージェネレーションシステム、かつ需要の熱電比がシステムの熱電比（1.5）より小さい場合、一次エネルギー削減率は式(6)で計算する。

熱主電従コージェネレーションシステム（ケース4）で、かつ需要の熱電比が供給システムの熱電比（1.5）

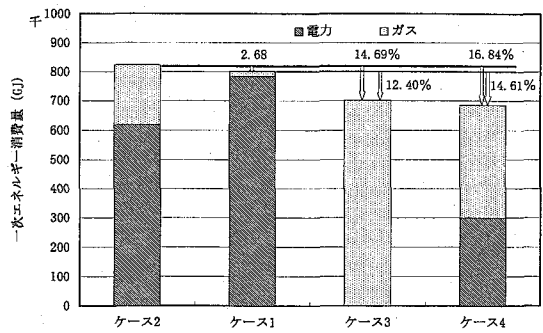


図9 一次エネルギー消費量

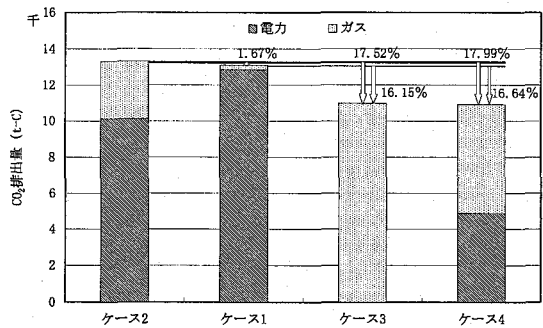


図10 CO₂排出量

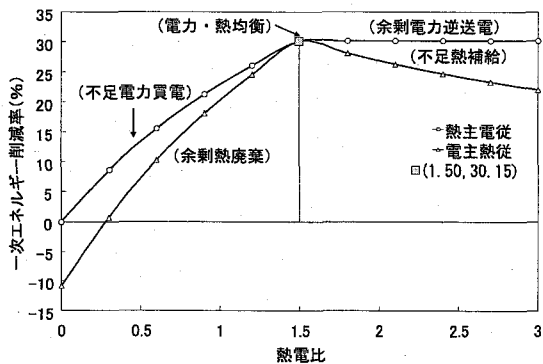


図11 熱電比と一次エネルギー削減率の関係

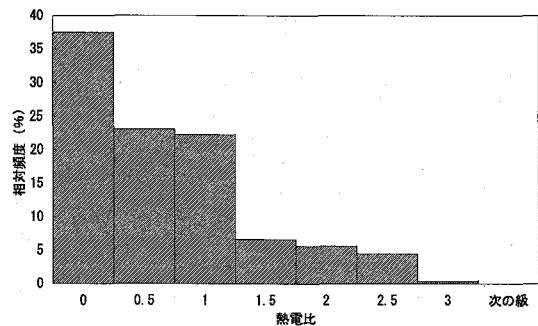


図12 熱電比の相対頻度分布

より大きい場合、一次エネルギー削減率は式(6)、かつ $\kappa=1.5$ で計算する。

$$\Delta E = 100 \left(1 - \frac{1}{\eta_2 + \left(\frac{1}{\kappa} - \frac{\eta_1}{\eta_2} \right) \frac{1}{\eta_3}} \right) \quad (6)$$

図-11は熱電比と一次エネルギー削減率の関係である。これは、横軸を供給対象負荷の熱電比、縦軸をコージェネレーションシステムの運転を行った場合の一次エネルギー削減率とした座標上に、周囲とどのような関係でそのシステムを運転するかによって理論的に決まる一次エネルギー削減率を、曲線で表現したものである。不足電力買電、不足熱補助、余剰熱廃棄、余剰電力逆送電のコージェネレーションの運転各方式における熱電比に変化にともなう一次エネルギー削減率の変化が示されている。ここでは、コージェネレーションシステム導入の可能性を評価する場合、熱、電力のどちらか不足する方を、電力であれば買電、熱であれば補助熱源で補う、不足電力買電、不足熱補給の方式によって運転して、コージェネレーションで需要を最大限満たす場合の、一次エネルギー削減率を評価指標に用いた。その曲線は、供給システムの熱電比(1.5)と需要の熱電比が一致した「電力・熱均衡」状態で、一次エネルギー削減率がピークとなる最適点(30.15%)を持った山型をなしている。

図-9を見れば、電主熱従(ケース3)及び熱主電従(ケース4)コージェネレーションシステムをボイラー・吸収冷凍機システム(ケース2)と比較すると、一次エネルギー削減率はそれぞれ14.69%、16.84%、最大時の一次エネルギー削減率の約1/2となった。その原因は、需要の熱電比頻度分布のピークが電力・熱均衡点に近いほど、そして集中度がそのピーク周辺で高いほど一次エネルギー削減率が大きくなるので、本研究対象の需要の熱電比頻度分布(図-12)のピークが電力・熱均衡点と離れ、集中度がそのピーク周辺であまり高くないことにある。

(4) 一次エネルギー需要マトリックスの推計

各ケースの燃料別と用途別の一次エネルギー消費量の推計に関しては前節に詳述したので、ここでは、各ケースの一次エネルギー消費量と一次エネルギー需要マトリックスの推計結果を、図-13～図-16に示す。一次エネルギー消費量に対する電力消費量は、ケース1で97.87%、ケース2で75.17%のように膨大であることがわかる。それで、ケース1とケース2のCO₂排出量も大きくなる。

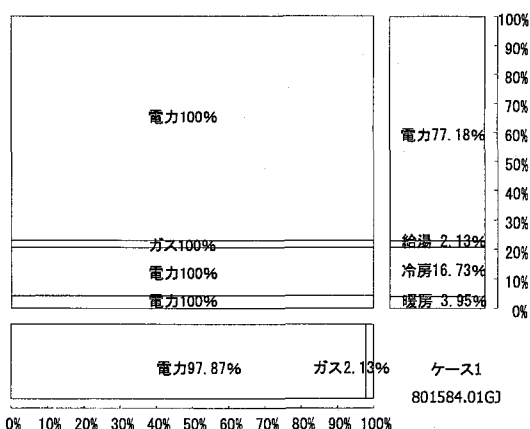


図-13 一次エネルギー需要マトリックス (ケース1)

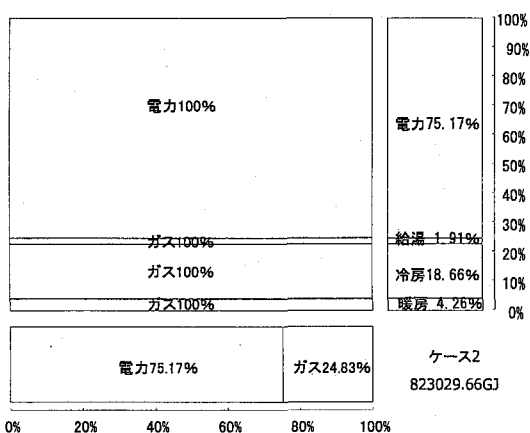


図-14 一次エネルギー需要マトリックス (ケース2)

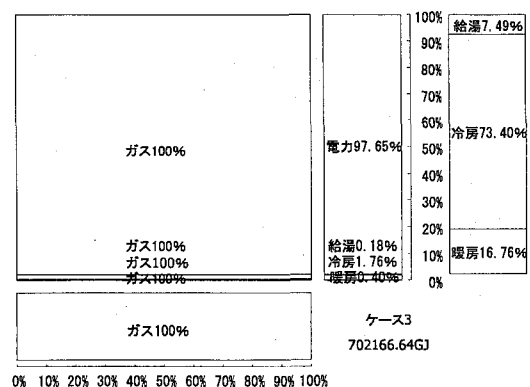


図-15 一次エネルギー需要マトリックス (ケース3)

7. 整備戦略に関する考察

6章では、北九州市を想定した熱供給地区におけるエ

エネルギー需要量を計算した。また、ルームエアコン・ガス給湯ヒーターシステム、ボイラー・吸収冷凍機システム、熱主電従及び電主熱従コージェネレーションシステムの4つのケースにおけるエネルギー消費量、CO₂排出量、及びランニングコスト・イニシャルコスト・単純回収年数について計算を行った。熱供給地域が4つエネルギーシステムのいずれを導入するかは、今後の都市インフラ政策の如何にかかっている。環境低負荷型エネルギー供給システムの導入のために効果的な政策を推進することは、ひいては事業者のエネルギー費用削減にも繋がる。

6章の分析によると、ケース1と比べた単純回収年数は、ケース2、3、4でそれぞれ199.17年、7.81年、13.04年であり、ケース2と比べた単純回収年数は、ケース3、4でそれぞれ5.16年、9.66年である。熱供給事業者の経済的負担の軽減のためには、公的機関による補助金や炭素税の導入などが不可欠といえる。

そこで本研究では、コージェネレーションシステムのイニシャルコストに対する補助金額の割合を0から0.5、炭素税を0円/kg-Cから100円/kg-Cの間に変動させ²⁷⁾、その経済性を検討する。図-17は補助金額と単純回収年数の関係、図-18は炭素税と単純回収年数の関係である。図が示すように、単純回収年数は補助金額と炭素税の上昇に伴い減少していることがわかる。

8. 結論

本研究では、北九州市新規熱供給地区におけるコージェネレーションシステムの導入効果の評価と整備戦略について検討した。その結果として、

1) コージェネレーション（ケース3、4）が導入されたエネルギー供給システムは、一次エネルギー消費量、CO₂排出量、ランニングコストの点において有効である。

2) ボイラー・吸収冷凍機システム（ケース2）、電主熱従（ケース3）及び熱主電従（ケース4）コージェネレーションシステムは、ルームエアコン・ガス給湯ヒーターシステム（ケース1）と比較し、一次エネルギー消費量の削減率はそれぞれ-2.68%、12.40%、14.68%、CO₂排出量の削減率はそれぞれ-1.67%、16.15%、16.64%、単純回収年数はそれぞれ199.17年、7.81年、13.04年となった。

3) 熱供給地区におけるエネルギー供給システムを導入する際、ルームエアコン・ガス給湯ヒーターシステム（ケース1）、あるいはボイラー・吸収冷凍機システム（ケース2）に比べ、電主熱従（ケース3）及び熱主電従（ケース4）コージェネレーションシステムが最も有

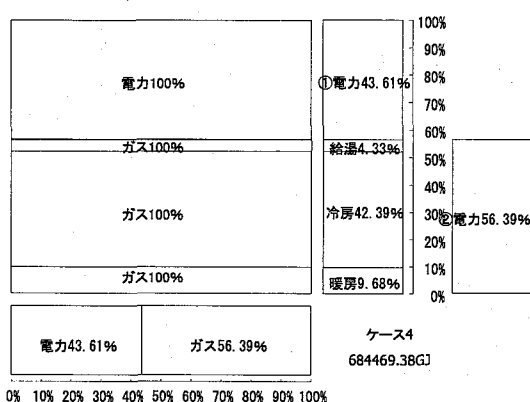


図-16 一次エネルギー需要マトリックス (ケース4)

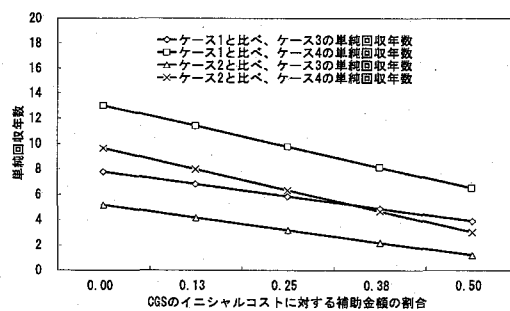


図-17 補助金額と単純回収年数の関係

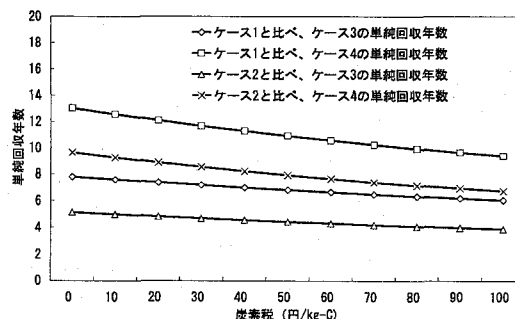


図-18 炭素税と単純回収年数の関係

効な方策である。

4) 電主熱従（ケース3）及び熱主電従（ケース4）コージェネレーションシステムは、ボイラー・吸収冷凍機システム（ケース2）と比較し、一次エネルギー削減率はそれぞれ14.69%、16.84%、最大時の一次エネルギー削減率（30.15%）の約1/2となった。その原因としては、本研究対象の需要の熱電比頻度分布のピークが電力・熱均衡点と離れ、集中度がそのピーク周辺にあまり高くないことにある。

5) 一次エネルギー需要マトリックスの推計結果より、

一次エネルギー消費量に対する電力消費量はルームエアコン・ガス給湯ヒーターシステム（ケース1）で97.87%、ボイラー・吸収冷凍機システム（ケース2）で75.17%のように大きい割合を占めていることがわかる。これが、ケース1とケース2のCO₂排出量が大きくなる原因といえる。

6) 今後の環境低負荷型エネルギー供給システムの整備戦略に関して、補助金、炭素税の導入が投資回収年の短縮化の面で効果的であることを示した。

今後の課題としては、本論文で提案した手法を用いて、更に多くのエネルギー需要パターンやエネルギー供給システムを想定した熱供給地区を評価対象とすることで、手法の一般化と評価結果の汎用性向上に対応していきたいと考えている。

謝辞：本研究は平成18年度科学研究費補助金（特別研究員奨励費）（外国人特別研究員）を受けて実施したものです。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 社団法人熱供給事業協会：地域冷暖房推進長期計画，<http://www.jdnc.or.jp/>，2007年1月。
- 2) 高偉俊，李海峰，趙鵬林，尾島俊雄：EUにおける分散電源による地域熱供給の現状に関する考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.623～624，2001年9月。
- 3) 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，No.510，pp.61～67，1998年8月。
- 4) 下田吉之，内海巖，水野稔：環境保全型地域熱供給システムの総合評価手法に関する研究（第1報）評価指標の選定と各指標の計算手法，空気調和・衛生工学会論文集，No.70，pp.59～71，1998年7月。
- 5) 下田吉之，内海巖，水野稔：環境保全型地域熱供給システムの総合評価手法に関する研究（第2報）各指標の重みに関するアンケート結果と多基準分析法による総合評価，空気調和・衛生工学会論文集，No.74，pp.113～120，1999年7月。
- 6) 盛岡通，藤田壮，板垣正明：GISを用いた地域冷暖房の整備適性評価システムに関する研究，環境システム研究，Vol.25，pp.589～592，1997年。
- 7) 汐崎剛，森口祐一：地域特性を考慮した地域冷暖房システムのライフサイクル分析，環境システム研究，Vol.24，pp.260～271，1996年。
- 8) 板垣正明，盛岡通，藤田壮：地理情報システムを用いた地域冷暖房の整備適応性評価に関する研究，土木学会関西支部年次学術講演会講演梗概集，pp. VII-15-1～VII-15-2，1997年。
- 9) 渡辺浩文，尾島俊雄：河川水熱利用地域冷暖房施設の大気への熱的影響に関する研究，日本建築学会計画系論文集，No.460，pp.61～70，1994年6月。
- 10) 依田浩敏，北山広樹，片山忠久，西田勝：九州地域における未利用エネルギー活用に関する研究，日本建築学会計画系論文集，No.517，pp.99～105，1999年3月。
- 11) 池上貴志，荒巻俊也，花木啓祐：下水熱利用地域冷暖房システムの戦略的導入による環境負荷低減効果の解析，環境システム研究論文集，Vol.33，pp.343～354，2005年。
- 12) 河原能久，末次忠司，小林裕明，木内豪：水熱エネルギーを利用した地域冷暖房システムによる排熱・排ガスの削減効果の算定—2010年の東京都23区を例として—，環境システム研究論文発表会講演集，Vol.28，pp.443～448，2000年。
- 13) 荒巻俊也，藤田将治，花木啓祐：東京都区部における清掃工場廃熱利用地域冷暖房導入によるCO₂排出量削減可能性の評価，地球環境シンポジウム講演論文集，Vol.10，pp.69～74，2002年。
- 14) 佐藤仁美，谷口庄一，森川高行：都心部における循環型エネルギー供給システムの比較分析，土木学会年次学術講演会講演概要集第7部，Vol.58，pp.569～570，2003年。
- 15) 細井由彦，城戸由能，島谷康弘：低集積型都市における環境保全技術の適用可能性の検討—鳥取市街地におけるごみ焼却熱利用地域冷暖房システムを事例として—，土木学会中国支部研究発表会発表概要集，Vol.47，pp.342～343，1995年。
- 16) 東京都都市計画局：都市熱源ネットワーク整備基本計画調査，平成10年3月。
- 17) 日本地域冷暖房協会：欧州熱源ネットワーク事情調査報告書，1999年4月。
- 18) 北九州市：都市熱源ネットワーク整備推進調査報告書，平成12年3月。
- 19) 鈴木将史，佐土原聡，吉田聡，村上處直，加藤慎章：日本における広域熱供給ネットワーク導入可能都市の抽出とその特性に関する研究，日本における広域熱供給ネットワーク導入可能性に関する研究 その3，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.655～656，1999年9月。
- 20) 湯浅和博，藤井修二，矢島堅太郎：温水を利用した環状熱供給ネットワークシステム 都市エネルギー回収システムとしての熱供給ネットワークに関する研究，日本建築学会計画系論文集，No.505，pp.39～44，1998年3月。
- 21) 並木貴司，荒巻俊也，花木啓祐：コージェネレーションシステムと清掃工場排熱利用の地域冷暖房システムの導入によるCO₂排出削減量の評価—東京都区部におけるケーススタディ—，環境システム研究論文発表会講演集，Vol.29，pp.27～35，2001年。
- 22) 谷内高志，杉本聡子，杉本貴，大野春雄：地震時ライフラインの安全性・信頼性を考慮した燃料電池型コージェネレーションシステムの適応性と課題について，平成13年度土木学

- 会関東支部技術研究発表会講演概要集, Vol.29, pp. 84~85, 2002年.
- 23)吉田聡, 佐土原聡: 日本における熱供給発電所(CHP)を組み込んだ広域熱供給システムのエネルギー評価に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.468, pp.85~92, 2000年3月.
- 24)松本由紀子, 三浦浩之, 和田彦彦: 分散型エネルギー供給システムの構築に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第7部, Vol.57, pp.165~166, 2002年.
- 25)荒巻俊也, 飯濱美夏, 花木啓祐: 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~, 環境システム研究論文集, Vol.28, pp. 85~93, 2000年.
- 26)黄光一: 地域冷暖房におけるコージェネレーション導入の可能性に関する研究, 早稲田大学博士論文, 1996年2月.
- 27)楊涌文, 阮応君, 李海峰, 高偉俊: E-GAMSを用いた炭素税の変動に伴う地域エネルギーシステム導入の経済性に関する評価 地域分散型電源・熱源及び供給システムの統合化に関する研究(その14), 日本建築学会大会講演梗概集, D-2分冊, p.1379~1380, 2006年8月.
- 28)韋新東: 地域冷暖房の評価手法に関する研究一多変量解析法による総合評価の試み, 日本建築学会計画系論文集, No.537, pp.71~76, 2000年11月.
- 29)韋新東, 尹軍, 高偉俊, 李海峰, 尾島俊雄: 東京駅周辺地区の新規熱供給地域における熱供給システムの導入効果に関する研究(第1報) コージェネレーションシステムの導入効果, 日本建築学会研究報告(九州支部), 第41号・2, pp.313~316, 2002年3月.
- 30)高偉俊, 韋新東, 尹軍, 李海峰, 尾島俊雄: 東京駅周辺地区の新規熱供給地域における熱供給システムの導入効果に関する研究(第2報) 熱供給事業のネットワーク化の効果, 日本建築学会研究報告(九州支部), 第41号・2, pp.317~320, 2002年3月.
- 31)韋新東, 高偉俊, 李海峰, 尾島俊雄: 東京駅周辺新規熱供給地区における熱供給システムの最適化に関する検討, 日本建築学会計画系論文集, No.562, pp.53~59, 2002年12月.
- 32)韋新東, 高偉俊, 李海峰, 尾島俊雄: 東京駅周辺地区における既存熱供給事業のネットワーク化に関する検討, 日本建築学会計画系論文集, No.558, pp.49~56, 2002年8月.
- 33)韋新東, 高偉俊, 李海峰, 尾島俊雄: 新宿地域における既存地域冷暖房のネットワーク化に関する検討, 日本建築学会計画系論文集, No.559, pp.45~50, 2002年9月.
- 34)尾島俊雄: 建築の光熱水原単位(東京版), 早稲田大学出版部, 1995年6月.
- 35)日本熱供給事業協会: 地域冷暖房技術手引書, 日本熱供給事業協会, 平成9年6月.
- 36)九州電力株式会社: 電気料金・使用量のご照合, <http://www.kyuden.co.jp/>, 2007年1月.
- 37)西部ガス: ガス料金・約款について, <http://www.saibugas.co.jp/>, 2007年1月.

STUDY ON INTRODUCTION EFFECT AND ADJUSTED STRATEGY OF THE COMBINED HEAT AND POWER SYSTEM IN THE NEW HEAT SUPPLY AREA OF THE KITAKYUSHU

Xindong WEI and Toru MATSUMOTO

This paper discusses the evaluate on introduction effect and adjusted strategy of the combined heat and power (CHP) system in the new heat supply area of the Kitakyushu, and be used in several kinds of energy supply system. Utilize the floor area of different types of buildings and energy consumption intensity, calculate energy requirement in new heat supply district. Moreover, four cases (tracking heating, tracking electricity, etc.), which is using single air conditioner system, boiler system. Simultaneously, the energy consumption, intensity of CO₂ emission, initial cost and running cost, pay back years are discussed. Especially put forward a method of analyzing the relation of thermo-electricity ratio and energy saving, composition of energy demand and environmental protection by utilizing sense degrees of analytical method to point out relatively suitable system. Regarding the adjusted strategy of the CHP system in the future, will be investigated from respects such as subsidy, plain tax of charcoal, etc.. Its result is: The CHP system, the energy consumption, intensity of CO₂ emission and running cost in the period of the respect is favorable.