

# 地域暖房を導入する集合住宅群への分散型エネルギーシステムの 導入効果に関するフィージビリティ・スタディ

## Feasibility Study on Energy Efficiency of the Decentralized Energy System in the District Heating Area for Residential Buildings

西尾 新一 SHIN-ICHI NISHIO

1980年代を中心に普及がはかられた地域熱供給事業の多くが設備更新の時期を迎え、事業採算性の高いシステムへの移行、低炭素化社会に適応したエネルギー効率の向上といった課題に直面している。特に、寒冷地において公営住宅などの集合住宅を中心に温熱供給のみを実施している地域暖房エリアでは、温熱負荷の平準化による恩恵が受けづらいこと、エリア内の負荷密度が低く熱源の集約効果が低いこと、などへの対応も課題となっている。本研究では寒冷地における特定の事業者を対象としたケーススタディの成果を用い、国内における同様の事業者に技術展開した場合の波及効果の定量化を試みた。

キーワード：分散型エネルギーシステム、地域暖房、集合住宅、省エネルギー

Many district heating and cooling were wide-spread during the 1980's have now confronted to the time of equipment replacement. They are now challenged by problems, for example transferring their systems to ones with higher profitability or improving their energy efficiency that is appropriate for a low carbon society. The businesses that supply only heat mainly to collective housings such as public housings in cold districts have additional problems to solve. It is especially difficult for them to take benefit from thermal load-leveling and the effect of integration of heat sources cannot be highly expected due to the low load density in the area. In this study, based on the case study of specific operators of the heat supply in cold districts which transferred their energy system to a decentralized one, we evaluated their ripple effects assuming that the technology used by such operators is deployed to similar operators in Japan.

**Key Words:** Decentralized Energy System, District Heating, Residential Building, Energy Conservation

### 1. はじめに

地球温暖化抑制の機運の高まりを受け、住宅でのエネルギー消費を含む民生部門の温室効果ガス削減へ向けた取り組みは、国家的喫緊の課題となっている。一方、地域熱供給に代表されるエネルギーの面的利用は、2006年5月に発表された新・国家エネルギー戦略においても中核的な技術と位置づけられ、普及促進策が講じられている。

地域熱供給は、熱源設備を集約することで大型の高効率機器を利用でき、適切な運転・維持管理が可能になるため、エネルギー効率が高いという特徴がある。国内では現時点において149地区にて地域熱供給事業がすでに実施されている。そのうち温熱供給のみを実施している

地域暖房エリアは寒冷地を中心に15地区存在し、うち8地区は北海道において集合住宅に温熱供給のみを実施している事業者であり、老朽化が進行しているという共通の課題を有する。

本研究では、寒冷地で温熱供給のみを実施している地域暖房エリアにおいて、熱源機器の更新により効率的なシステムを構築し、事業性を向上させる手段として分散型エネルギーシステム（小型コージェネレーションシステムの分散配置）を取り上げ、特定の事業エリアにおける電力・温熱供給事業への転換による効果予測結果を用い、国内全体への環境負荷低減に関する波及効果を検証した。

## 2. 特定事業者を対象とした導入効果

### (1) 実モデル事業の概要

特定の事業エリアにおける効果予測に際しては、本研究への協力が得られていた北海道の熱供給事業者（以下「実モデル事業」）から現状設備の仕様、事業内容についてのデータ提供を受けた。

#### a) 事業規模

北海道において主に集合住宅に温水供給を実施している。供給エリアは約 28ha、供給延べ床面積は約 146,000 m<sup>2</sup> である。2,600 戸余の集合住宅のほか、学校、商業施設などに熱供給を行っているが、延べ床面積比率では住宅用途が約 135,000 m<sup>2</sup>（全体の 93%）を占める。

#### b) 熱供給システムの仕様

センタープラントに設置された重油焚きボイラから、一次側導管を介して 8 カ所のサブステーション（以下、「SS」）に 140℃の高温水を供給し、90℃の温水を選んでいる。各 SS では、85℃の二次側温水に熱交換され、二次側導管を介して各建物に供給される。各住戸では二次側温水を直接的に暖房に利用するほか、各建物に設置された貯湯槽にて二次側温水と上水とを熱交換し、各住戸に給湯用温水を供給している。

### (2) 実モデル事業のモデル化

実モデル事業から提供を受けたエネルギー消費実績、上記事業内容に基づくエネルギー需要およびシステム（現状/提案）を以下のとおりモデル化した。

#### a) エネルギー需要のモデル化

センタープラントにおけるエネルギー消費量および各 SS における供給熱量の実測値（2006年1月～12月、1時間値）の提供を受け、住宅における時刻別負荷パターンの汎用値<sup>4)</sup>を用いて、実測値から暖房負荷と給湯負荷の分離を行った。また、電力需要は住宅における年間負荷および時刻別負荷パターンの汎用値<sup>4)</sup>を用いてモデル化した。温熱需要データを図-1、および電力需要データの例を図-2に示す。

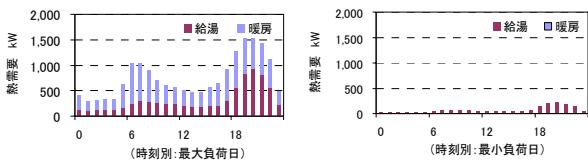


図-1 温熱需要データの代表例

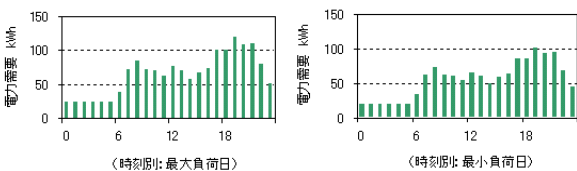


図-2 電力需要データの代表例

#### b) 現状システムのモデル化

実モデル事業から提供を受けた現状の設備仕様に準じて、センタープラントおよび各 SS の機器仕様をモデル化した。現状システムモデルの主要機器リストを表-1に、熱供給の概略フローを図-3に示す。

電力供給は、熱供給事業の範囲外であり、実際の設備仕様を入手することが困難であったため、商用電力を各棟で受電し、各住戸は電力会社と戸別に電灯契約をしているものとした。なお、住戸数 80 戸未満の小規模住棟は高圧線から柱上トランスなどで低圧受電し、各住戸に供給するものとした。また 80 戸以上の中規模住棟は、高圧を電力会社借室内受変電設備にて引き込み、各住戸に供給するものとした。

表-1 主要機器リスト（現況システム）

センタープラント				
記号	機器名	仕様[kW]	動力[kW]	
B-1	ボイラー No.1	4,511	18.5	
B-2	ボイラー No.2	7,518	30.0	
B-3	ボイラー No.3	7,518	30.0	
	合計	19,547	-	
記号	機器名	仕様[l/min]	動力[kW]	
HP-1	地域循環ポンプ No.1	5,000	37.0	
HP-2	地域循環ポンプ No.2	5,000	37.0	
HP-3	地域循環ポンプ No.3	600	7.5	
	合計	10,600	-	
記号	機器名	仕様		
SH-1	高温水ヘッダー(往)	340φ×2.315L(140℃)	-	
RH-1	高温水ヘッダー(還)	340φ×2.315L(90℃)	-	
※全ての地域循環ポンプの揚程は30m				

サブステーション													
SS	熱交換器		温水循環ポンプ			SS	熱交換器		温水循環ポンプ				
	記号	仕様[kW]	記号	仕様	動力[kW]		台数[台]	記号	仕様[kW]	記号	仕様	動力[kW]	台数[台]
A	HEX-A1	1,392	HSP-A1	400	5.5	2	F	HEX-F1	3,958	HSP-F1	850	7.5	2
			HSP-A2	400	5.5	2				HSP-F2	550	5.5	2
B	HEX-B1	1,856	HSP-B1	900	7.5	2	G	HEX-G1	1,346	HSP-G1	350	5.5	2
	HEX-B2	1,856	HSP-B2	900	7.5	2				HSP-G2	350	5.5	2
	HEX-B3	162	HSP-B3	80	2.2	2				HSP-G3	550	5.5	2
C	HEX-C1	4,431	HSP-C1	140	2.2	2	H	HEX-H1	2,459	HSP-H1	550	5.5	2
			HSP-C2	140	2.2	2				HSP-H2	140	2.2	2
			HSP-C3	1,350	11.0	2				HSP-H3	140	2.2	2
			HSP-C4	550	5.5	2				HSP-H4	250	3.7	2
D	HEX-D1	255	HSP-D1	140	2.2	2				HSP-H5	140	2.2	2
E	HEX-E1	3,148	HSP-E1	400	5.5	2	※全ての温水循環ポンプの温水往還温度は35℃/70℃、揚程は30m						
			HSP-E2	400	5.5	2							
			HSP-E3	80	2.2	2							
			HSP-E4	250	3.7	2							

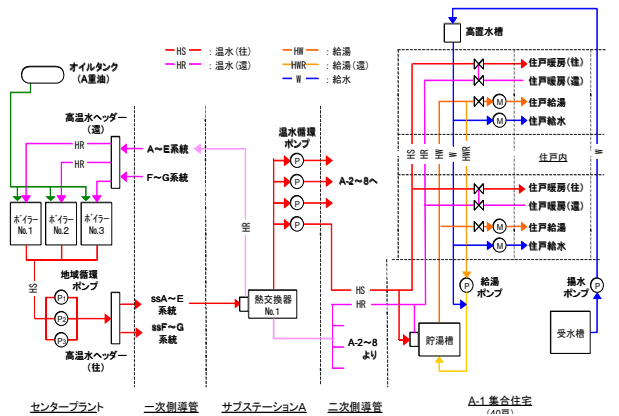


図-3 熱供給フロー（現況システム）

#### c) 分散型エネルギーシステムのモデル化

分散型エネルギーシステムでは、小型のコージェネレーションシステム（以下、「CGS」）を各 SS に分散配置した。分散型エネルギーシステムの導入概念を図-4に示す。各 SS では、CGS 排熱を回収し、既存の二次側導管を介して各建物に熱供給を行い、温熱が不足する場合には補助熱源（ガスボイラ）を稼働させる。なお、1時間当たりの電力需要の年間平均約 713kWh であること、

おおむね給湯需要のみとなる6月から9月における各SSの温熱需要の平均値が約588MJ/hであることから、発電出力108kW、回収熱量640MJ/hを定格能力とするガスエンジン駆動のCGSを各SSに1台、合計7台(756kW)を設置する想定とした。分散型エネルギーシステムの主要機器リストを表-2に、熱供給の概略フローを図-5に示す。

電力供給システムは、分散型エネルギーシステムへの移行に伴い、熱供給エリア全体での高圧一括受電とし、受電点に設置した受変電設備から各棟に対し配電するものとした。なお、CGSによる発電電力は熱供給事業者が購入した高圧電力と系統連係させ、事業エリア内にて相互融通利用を可能とした。

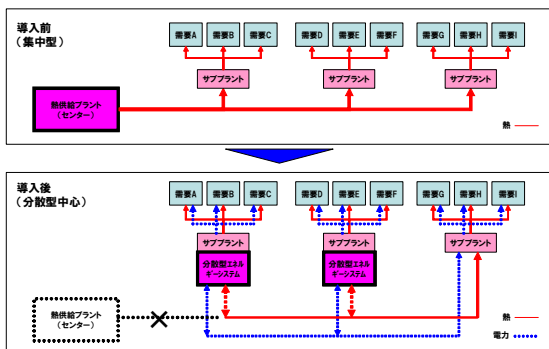


図-4 分散型エネルギーシステムの導入概念

表-2 主要機器リスト (分散型エネルギーシステム)

センタープラント			
記号	機器名称	設置場所	特記事項
B-1~3	ボイラー	センタープラント	廃止
HP-1~3	給湯循環ポンプ		廃止
SH~	高圧水ヘッダー		廃止
PH~	高圧水ポンプ		廃止

SS			
記号	機器名称	設置場所	特記事項
HEX-A1	熱交換器	SS-A	廃止
CGS-A1	ガスエンジンCGS		新設(108kW×1台)
B-A1	温水ボイラー		新設(93kW×3台)
HSP-A1	温水循環ポンプ		既設
HEX-A2	熱交換器	SS-B	廃止
CGS-B1	ガスエンジンCGS		新設(108kW×1台)
B-B1	温水ボイラー		新設(186kW×3台)
HSP-B1	温水循環ポンプ		既設
HEX-A3	熱交換器	SS-C/D	廃止
CGS-C1	ガスエンジンCGS		新設(108kW×1台)
B-C1	温水ボイラー		新設(93kW×3台)
HSP-C1	温水循環ポンプ		既設
HEX-A4	熱交換器	SS-E	廃止
HSP-D1	温水循環ポンプ		新設(140L/min×30mAq)
CGS-E1	ガスエンジンCGS		新設(108kW×1台)
B-E1	温水ボイラー		新設(93kW×3台)

記号	機器名称	設置場所	特記事項
HEX-H1	熱交換器	SS-F	廃止
CGS-F1	ガスエンジンCGS		新設(108kW×1台)
B-F1	温水ボイラー		新設(93kW×3台)
HSP-F1	温水循環ポンプ		既設
HEX-H2	熱交換器	SS-G	廃止
CGS-G1	ガスエンジンCGS		新設(108kW×1台)
B-G1	温水ボイラー		新設(465kW×3台)
HSP-G1	温水循環ポンプ		既設
HEX-H3	熱交換器	SS-H	廃止
CGS-H1	ガスエンジンCGS		新設(108kW×1台)
B-H1	温水ボイラー		新設(233kW×3台)
HSP-H1	温水循環ポンプ		既設

※1-は廃止する機器を示す。  
 ※2-ガスエンジンCGS(定格発電容量108kW、50Hz)<sup>1)</sup>  
 燃料消費量: 30.8Nm<sup>3</sup>/h(定格出力時)、18.5Nm<sup>3</sup>/h(50%出力時)  
 発電効率: 28.1%(HHV)、排熱回収率: 46.2%(W)(定格出力時)

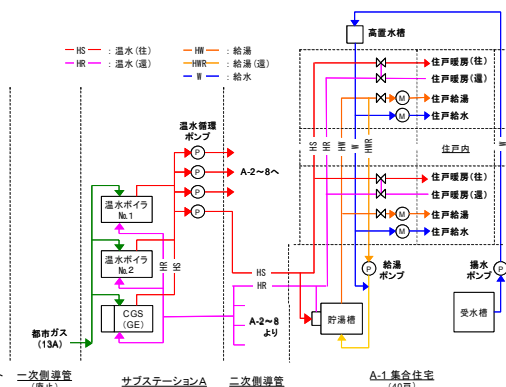


図-5 熱供給フロー (分散型エネルギー現況システム)

(3) 実モデル事業における導入効果の試算

実モデル事業における現状モデルと分散型エネルギーシステムモデルにおける年間一次エネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量を推定した。

a) 計算ケース

現状のシステムを「ケース1」、分散型エネルギーシステムを「ケース2」と設定した。なお、現状のシステムはA重油を使用しているが、分散型エネルギーシステム導入による効果を推定することが目的であるため、両ケースとも都市ガスを使用するものとして試算した。

b) 評価方法

年間一次エネルギー消費量(E)は、供給エリアの建物において電力需要と温熱需要をまかなうために消費される商用電力と都市ガスの年間消費量を一次エネルギー換算した(式(1))。年間CO<sub>2</sub>排出量(C)は、商用電力、および都市ガス消費量とエネルギー種別ごとの排出原単位の積として求めた。(式(2))

$$E = P \times \alpha_P + (G_B + G_C) \times \alpha_G \quad (1)$$

$$C = P \times \beta_P + (G_B + G_C) \times \beta_G \quad (2)$$

ここに、

E: 年間一次エネルギー消費量 [MJ/年]

P: 年間商用電力消費量 [kWh/年]

G<sub>B</sub>: 温水ボイラーの年間都市ガス消費量 [m<sup>3</sup>/年]

G<sub>C</sub>: CGSの年間都市ガス消費量 [m<sup>3</sup>/年]

α<sub>P</sub>: 商用電力一次エネルギー換算値 [MJ/kWh]

α<sub>G</sub>: 都市ガス高位発熱量 [MJ (HHV) / m<sup>3</sup>]

C: 年間CO<sub>2</sub>排出量 [t-CO<sub>2</sub>/年]

β<sub>P</sub>: 商用電力のCO<sub>2</sub>排出原単位 [t-CO<sub>2</sub>/kWh]

β<sub>G</sub>: 都市ガスのCO<sub>2</sub>排出原単位 [t-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]

c) 算定と条件

表-3および表-4に機器性能、表-5に使用した原単位の値を示す。補助ボイラーの機器性能は現状のシステムの実績値より推定し、各種ポンプは定格値より消費電力を設定し、消費電力は流量に比例するものとした。また、CGSの性能は、実機のカタログ値を参考に設定した。

表-3 機器性能 (ボイラー・ポンプ)

項目	値	単位	備考
温水ボイラー、補助ボイラー(都市ガス使用)			
効率	93.5	%[HHV]	現状のシステムの実測値より算出
内部補機動力	0.0196	kW/MJ	現状のシステムの定格値より算出
地域循環ポンプ			
消費電力	0.13	kW/m <sup>3</sup>	流量制御あり 消費電力は流量に比例するものとした 値は現状のシステムの定格値より算出
水頭損失	30	mAq	
温水循環ポンプ			
消費電力	0.19	kW/m <sup>3</sup>	流量制御あり 消費電力は流量に比例するものとした 値は現状のシステムの定格値より算出
水頭損失	30	mAq	

表-4 機器性能 (CGS)

項目	単位	値		
負荷率	%	100	75	50
発電効率	%[HHV]	28.1	27.1	24.4
排熱回収率	%[HHV]	46.2	46.9	49.3
補機動力	ジャケット冷却用水用ポンプ7.5kW			
使用燃料	都市ガス(13A)			

表-5 使用した原単位

項目	単位	値	備考
商用電力一次エネルギー換算値(昼)	MJ/kWh	9.97	エネルギー利用の合理化に関する法律 施行規則 別表3におけるデフォルト値 <sup>19)</sup>
商用電力一次エネルギー換算値(夜)	MJ/kWh	9.28	
都市ガス高位発熱量	MJ/m <sup>3</sup> [HHV]	45.00	東京ガス株式会社 <sup>20)</sup>
商用電力CO <sub>2</sub> 排出量原単位	kg-CO <sub>2</sub> /kWh	0.555	「地球温暖化対策の推進に関する法律」における「算定・報告・公表制度」における算定方法・排出係数一覧より、尚、都市ガスの発熱量は東京ガス株式会社 <sup>21)</sup> の45[MJ/m <sup>3</sup> (HHV)]を用いた。
都市ガスCO <sub>2</sub> 排出量原単位	kg-CO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup>	2.28	

d) 計算結果

図-6 に年間一次エネルギー消費量の比較結果、図-7 に年間 CO<sub>2</sub> 排出量の比較結果を示す。年間一次エネルギー消費量は、「ケース 1」で 215,432GJ (延床面積当たり 2,052MJ/ m<sup>2</sup>), 「ケース 2」で 185,820GJ (同 1,770MJ/ m<sup>2</sup>) であり、約 13.7% (282MJ/ m<sup>2</sup>) の省エネルギーが期待できる。また CO<sub>2</sub> 排出量は、「ケース 1」で 11,304t-CO<sub>2</sub> (床面積当たり 107.7kg-CO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup>), 「ケース 2」で 9,530t-CO<sub>2</sub> (同 90.8kg-CO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup>) であり、約 15.7% (16.9 kg-CO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup>) の削減効果が期待できることが分かる。

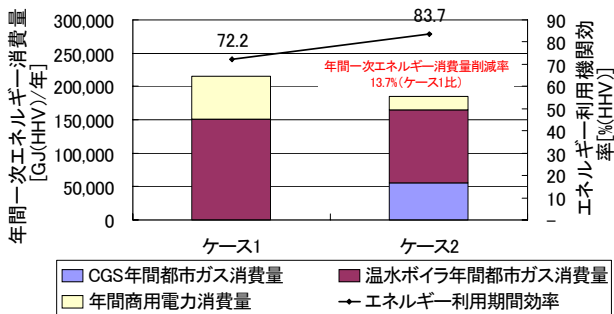


図-6 年間一次エネルギー消費量

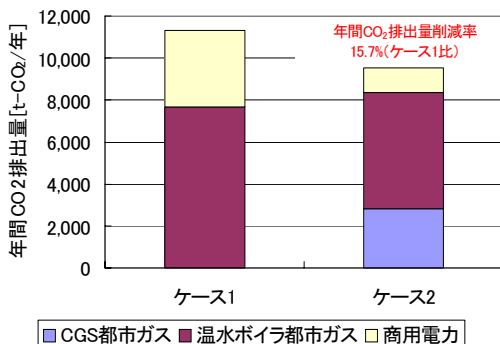


図-7 年間 CO<sub>2</sub> 排出量

3. 国内事業者全体への波及効果

(1) 対象事業者の概要

国内における同様の事業者にて記述の分散型エネルギーシステムを技術展開した場合の波及効果を試算するに当たり、対象とする事業者は北海道内における 8 事業者とした。いずれも集合住宅を中心とする熱需要家に温熱のみの供給を行う事業者であり、供給開始から 30 年以上を経過しているという共通点を有する。対象事業者の概要を表-6 に示す。

表-6 対象 8 事業者の概要<sup>5)</sup>

No.	地区名称	所在地	供給事業者	供給開始年	供給エリア (ha)	延床面積 (m <sup>2</sup> )	
1	S A 地区	札幌市	a社	1971年	142.0	495,603	
2	S M 地区	札幌市	a社	1971年	50.3	123,836	
3	S K 地区	札幌市	b社	1975年	11.5	127,635	
4	T N 地区	苫小牧市	c社	1972年	36.6	105,000	
5	T T 地区	苫小牧市	d社	1974年	74.7	112,446	
6	T S 地区	苫小牧市	e社	1976年	28.6	145,944	
7	K 地区	北広島市	f社	1972年	86.1	70,950	
8	O 地区	帯広市	g社	1978年	74.1	137,370	
					合計	503.9	1,318,784

(2) 事業スキーム

事業創出の規模を想定する前提として、需要家(顧客)とサービス提供者などの関係および資金の流れの要点(事業スキーム)は以下のとおり設定した。

事業者は顧客に対して、熱と電力を提供する。このサービス提供を実現するために事業者は、①ガス会社から都市ガスを調達する、②電力会社から不足分の電力を調達する、③他のサプライヤーから設備のメンテナンスサービスを受ける、という取引関係を構築する。これを図示すると、図-8 のとおりである。

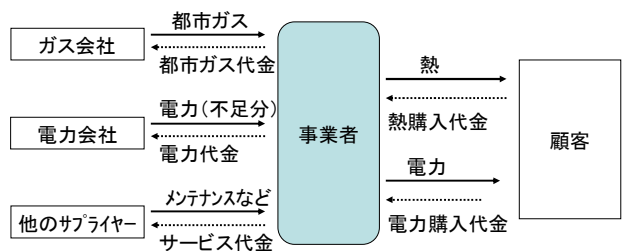


図-8 分散型への移行後の事業スキーム

(3) 試算方法

対象 8 事業者は、実モデル事業者と同様に集合住宅(公営住宅)が主たる需要家であり、実モデル事業における延床面積当たりの導入効果をそのまま流用可能であると仮定した。供給エリア面積 (ha) に対する延床面積 (m<sup>2</sup>) の比率は、最小 824m<sup>2</sup>/ha から最大 11,090m<sup>2</sup>/ha までばらつきがあり、エネルギー需要密度が異なるが、総エネルギー消費量に占める配管ロス、および搬送ロスは微少であると仮定し、試算を行った。

#### (4) 試算結果

国内事業者への波及効果として、年間一次エネルギー消費削減量は 371,913GJ であり、原油換算で 9,595 キロリットル (200L ドラム缶で約 48,000 本分) に相当する省エネルギー貢献が可能であることが分かった。また、年間 CO<sub>2</sub> 排出削減量は 22,284 t-CO<sub>2</sub> であり、CO<sub>2</sub> のクレジット価格を 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> とした場合の経済効果として、年間約 3,343 万円相当を創出可能であることが分かった。なお、分散型エネルギーシステムへの移行は、熱供給事業から「熱+電力供給事業」への転換を伴い、その市場規模増大額 (需要家からの電力代金徴収額) は、12 億円に相当 (15 円/kWh の場合) する。

#### 4. まとめ

国内の地域熱供給事業者のうち、寒冷地にて集合住宅を中心とする需要家に温熱供給のみを実施しているエリアにおいて、分散型エネルギーシステムに移行した場合の環境負荷低減に関する波及効果を検証した。

実モデル事業における詳細な検証結果を国内 8 事業者に展開した場合、年間一次エネルギー削減量として約 371,913GJ、年間 CO<sub>2</sub> 排出削減量として 22,284 t-CO<sub>2</sub> が期待できるとの試算結果を得た。

本結果が、分散型エネルギーシステムの普及による環境負荷低減に寄与することを期待する。

**謝辞**：本研究は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構の平成 19 年度民生部門等地球温暖化対策実証モデル評価事業「地域熱供給エリアにおける分散型エネルギーシステムの統合制御による省エネルギー・モデルにかかるフィージビリティ・スタディ調査事業」(三井住友建設(株) [代表者]、(株)タイセイ総合研究所、(株)日本総合研究所、(株)明電舎、合同会社 WEB POWER Service) の研究成果の一部を引用した。本研究の実施に当たり、実モデル事業の評価に多大なるご尽力をいただいた大成建設(株) (当時(株)タイセイ総合研究所) の小柳氏をはじめ、補助事業者のご担当各位ならびに静岡瓦斯(株)、松村物産(株)の関係者に対し感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 小柳秀光,西尾新一ほか：燃料電池マンションの温熱融通システムに関する省エネルギー性の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2006.9
- 2) 小柳秀光, 西尾新一ほか：寒冷地の地域暖房エリアにおける分散型エネルギーシステムの導入効果, 空気調和・衛生工学会論文集, No.154, 2010.1
- 3) 日本地域冷暖房協会：熱供給事業便覧, 2008.12
- 4) 日本地域冷暖房協会：地域冷暖房技術手引書<改訂新版>, 2002.11
- 5) 日本熱供給協会：Web サイト「あなたの街の地域熱供給事業」, <http://www.jdhc.or.jp/area/index.html>