

様 式 C - 1 9、F - 1 9 - 1、Z - 1 9 （共通）

科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 4 年 4 月 2 7 日現在

機関番号：3 4 4 2 8

研究種目：若手研究

研究期間：2019 ~ 2021

課題番号：1 9 K 1 5 1 5 5

研究課題名（和文）エネルギーの面的利用を促進する新たなサービサイジングの可能性評価

研究課題名（英文）Assessment of the potential for new services to promote the areal use of energy

研究代表者

大橋 巧（OHASHI, Takumi）

摂南大学・理工学部・准教授

研究者番号：8 0 6 2 5 9 2 1

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000 円

研究成果の概要（和文）：昨今注目されているエネルギーの面的利用を推進する上で、地域冷暖房は有用な手法の一つであるが、地区全体の省エネルギー化推進にはビジネスモデル上の課題もあった。そこで本研究では、これまでの販売対象であった「熱量」でなく、利用者が最終的に求める「熱環境」や「光環境」をビジネス上の提供対象とする室内環境保証型サービスモデルを提案しその実現可能性を検証した。結果、現状の熱供給モデルと比較し、供給側、需要側双方がメリットを享受できる可能性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2050年カーボンニュートラルの実現、2030年度温室効果ガス46%削減目標に向け、業務その他部門では2030年度51%削減の目標が課されているが、特に再生可能エネルギーの設置が難しい都心部においては、更なるエネルギー利用の効率化を図ることが喫緊の課題となる。都心部で採用事例の多い地域冷暖房の営業地域で省エネルギー化を推進するにあたり、今回提案した新たなサービサイジングモデルを適用することで、現状の熱供給モデルと比較し経済・環境の両面での優位性が示された。

研究成果の概要（英文）：District heating and cooling is one of the useful methods for promoting the areal use of energy, but there are business model challenges in promoting energy conservation throughout the region. In this study, we proposed a service model that does not sell "heat" but provides the "thermal environment" and "light environment" ultimately needed by building users, and verified the feasibility of this model. The results of the verification confirmed the potential for both the supply and demand sides to benefit from the new model compared to the current model.

研究分野：建築環境工学

キーワード：地域冷暖房 エネルギーサービス 面的利用

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

昨今注目されているエネルギーの面的利用を推進する上で、地域冷暖房は有用な手法のひとつである。一方で地域冷暖房地区での省エネルギー性能の評価は、一般的にプラント側(供給側)の COP 向上に重きが置かれ、本来の目的である地区全体の一次エネルギー消費量削減は見逃されがちの状況にある。また、一部の先進地区では需要側との連携により最適な制御を行う事例もあるものの、地域冷暖房は一般に販売した熱量により対価を得るビジネスモデルであるため、販売熱量の減少に繋がる需要側の省エネルギーには消極的にならざるを得ない構造となっている。この状況を打開する新たなスキームやその実現可能性を検討する必要があると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、既存の地域冷暖房地区の実態調査により、現状の課題抽出、整理を行った上で、これまで販売対象であった「熱量」でなく、利用者が最終的に求める「熱環境」や「光環境」をビジネス上の提供対象とする室内環境保証型サービスモデルの実現可能性を検証する。これまで供給側と需要側はそれぞれ独立した制御を行うのが一般的であったが、一つの事業主体が二次側設備を含め統合的に制御・運用管理することで得られるエネルギー削減効果や、各種の省エネルギー対策によるコスト削減効果を算出し、供給側・需要側の双方がメリットを享受できる仕組みの構築が可能か検証を行うこととしている。

3. 研究の方法

(1) 既存の地域冷暖房地区の運用に関する実態を把握するため、全国 136 営業地域の事業者に対してアンケート調査を実施した。本調査では、供給側・需要側の設備システム、設備オペレーションの実施主体、エネルギー消費関連データの収集状況、最適運転制御の実施有無、省エネルギー化を目的とした会議体の運営状況などについて、その経年的な動向変化や、これらが総合効率に与える影響を明らかにした。また、熱搬送距離が長くなる地域冷暖房システムでは、エネルギーを多消費する搬送動力の低減が課題とされており、往還温度差の確保が重要となるが、その実態や、往還温度差が確保されている地域の特徴などを分析した。

(2) 新たなサービスモデルによる省エネルギー効果を定量的に評価するため、シミュレーションツール LCEM を用いた分析を行った。具体的には平均的規模の地域冷暖房地区を想定し、供給側と需要側の統合的な制御の導入や、室内環境保証型サービスを想定した負荷減によるエネルギーの削減効果を試算した。

(3) 新たなサービスモデルの実現可能性を検証する上では、エネルギー費だけでなく、ライフサイクルコストの中で多くの割合を占める設備保全費も無視できない。本研究では、全国の平均的規模の地域冷暖房地区を想定し、エネルギー費(熱料金、光熱水費)のほか設備保全費も加味した上で、はじめに現状の地域冷暖房ビジネスモデルにおける供給側、需要側それぞれのコスト収支を試算した。これを基準として、新たなサービスモデルでは、統合的な設備の運用・制御によりエネルギー消費や設備保全費の一定の縮減が可能と仮定し、現状モデルとの比較や感度分析により、その成立可能性を評価した。

4. 研究成果

(1) 全国 136 営業地域の事業者に対して実施したアンケート調査から得られた主な結果を以下に示す。

- ・地域冷暖房の核となる熱源の制御方法(各熱源の台数制御時の ON/OFF の判断)の問いでは、約 7 割の営業地域において「全て手動運転」と答えており、その理由も「台数制御機能がない」が最も多く、次いで運用上の問題や省エネルギー性を理由に挙げており、熱源の発停の大半は運転員による判断で行われている実態が明らかとなった。
- ・熱源運転の最適化には、プラント内でのデジタルデータの計測が必要不可欠だが、これらの収集実態を把握するため、熱源の COP、冷水・温水ポンプの WPF や総合効率の各項目の演算に必要な温度、流量、エネルギー消費量等のデータの収集有無について確認した。結果、これらのデータを時刻別で収集している営業地域は、半数程度に過ぎなかった。またこれらの収集データを活用し、データ分析や不具合検知、省エネルギー対策の実施を日常的に行っている事業者と行っていない事業者とではプラント COP の差が 1.4 倍以上あることがわかった。
- ・地域冷暖房地区でのエネルギー消費量削減には、供給側と需要側の連携が欠かせないが、供給側と需要側関係者が揃って参加する省エネルギー化を目的とした会議体の有無や開催頻度を確認したところ、この開催方法による会議体があるのは 19%の営業地域に過ぎず、その頻度も年間 1~2 回が大多数であった。この会議体がある営業地域では、他の営業地域に比べプラント COP が約 1.2 倍高く、積極的な情報交換や連携の重要性が示唆された。
- ・搬送動力を低減する上で課題となる往還温度差の確保状況の実態を把握するため、代表日にお

ける乖離温度(供給規定上の標準往還温度差とその実績値との差)を調査した。図1にその結果(回答のあった営業地域の平均)を示すが、ピーク日ピーク時間帯以外では温度の乖離が大きく、年間を通すと規定の温度差が確保できていない時間帯が多く存在すると推察された。また、2008 年に行われた同様の調査と比較しても、全国平均では改善が見られなかった。

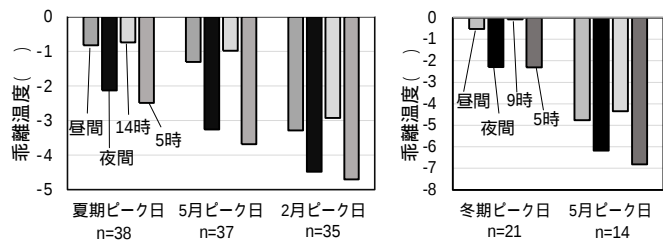


図1 代表日における乖離温度(左: 冷水、右: 温水)

往還温度差が比較的確保できている地域の特性を分析したところ、事業開始年代が新しい、不具合検知を日常的に実施している、などの特徴が見られたが、往還温度差が確保できない理由は、需要側の空調機・FCU 等の機器仕様や制御方法の影響が大きいと考えられ、この抜本的な改善が課題となる。

以上の結果などから、地域冷暖房地区の運用最適化を図るには、システムの老朽化に起因する技術的な問題のほか、供給側と需要側の連携不足に起因する課題も多く見受けられた。

(2) 新たなサービスモデルでは需要側と供給側を一体的に制御・運用管理することになるが、これによる省エネルギー効果を定量的に評価するため、供給側のみの改善策に加え、需要側との協調によって得られる削減効果を、シミュレーションツール LCEM を用いて試算した。表1に試算ケース、図2に試算結果を示す。図2より、供給側のみの改善のケース1～3では約16%、需要側との協調を行うケース1～7では約20%の削減効果があり、連携による一定のエネルギー削減効果が確認できた。

なお本試算は現在の平均的な地域冷暖房地区を想定した試算(基準システム)であるが、より古いシステム(旧システム)を想定した試算も行っている。図3では熱供給事業便覧¹⁾に記載の情報から、既存地域冷暖房地区の電化比率(一次エネルギー消費量に占める電力消費量分の割合)別の総合効率を算出した上で、本試算で得られた結果と比較した。図3より、協調を行うケース1～7は既存の地域冷暖房地区の中でも高い効率を示すことが明らかとなった。

表1 試算ケース

		基準システム	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース1～3	ケース1～7
供給側の改善	熱源機器の高効率化	ターボ冷凍機定格COP	6.40	6.97						6.97	6.97
		吸収式冷凍機定格COP	1.30	1.43						1.43	1.43
	冷却水制御の最適化	冷却水下限温度	25	12						12	12
		変流量制御	無(100%)	50～100%						50～100%	50～100%
需要側との協調	二次ポンプ制御の最適化	二次ポンプ制御	送水圧一定可変速ポンプ		最小吐出圧可変速ポンプ	最小吐出圧可変速ポンプ	最小吐出圧可変速ポンプ			最小吐出圧可変速ポンプ	最小吐出圧可変速ポンプ
	大温度差送水	冷水設定温度差	7		10	10					10
		温水設定温度差	10℃								10
	還り温度の改善	往還温度差	別途算出				全時間48%改善				全時間48%改善
需要側の省エネ対策	中間期の冷水変温度送水制御	往き温度	無(6)					9			9
	需要側の省エネ対策	熱負荷	基準						5%削減		5%削減

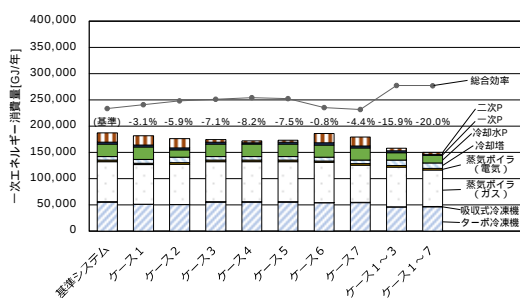


図2 省エネルギー効果の試算結果

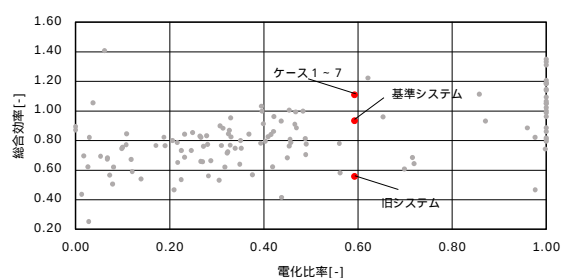


図3 既存 DHC 地区の総合効率と試算結果の比較

(3) 新たなサービスモデルの実現可能性を検証するため、全国の地域冷暖房の平均的な規模を想定し、一定の条件下において現状の熱供給モデル、および室内環境保証型サービスモデルの供給延床面積あたりの支出および収入を、供給側・需要側それぞれの立場で試算した。試算の結果、室内環境保証型サービスモデルにおいては、現状の熱供給モデルより需要側は272 円/㎡・年(-3%) 支出を抑制できると同時に、供給側は308 円/㎡・年の増益という結果が得られ、供給側・需要側の双方がメリットを享受できる可能性が確認できた(図4)。さらにその収益構造の詳細を把握するため、各種の感度分析を行ったところ、特に建物側設備保全費の削減は、他の項目と比較して利幅を大きく確保する可能性が示唆され、本サービスの実現可能性を評価する上で、特に重要な項目であることがわかった。

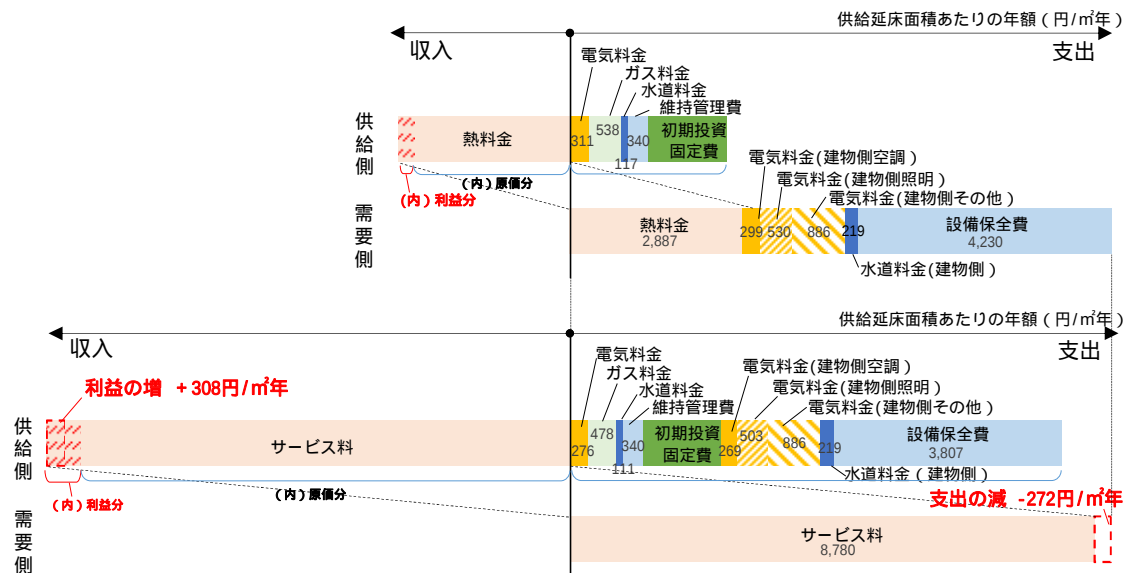


図4 各モデルの収支試算結果
(上：現状の熱供給モデル、下：室内環境保証型サービスモデル)

(2) で試算したとおり、新たなサービスモデルは、供給側と需要側の協調制御による技術的改善策による削減効果のみならず、一定の環境を提供することで対価を得る仕組みであるため、これまでの熱供給モデルでは関与が難しかった「空調負荷の減」も積極的に追及することが可能となる。エネルギー削減量は「空調負荷の減」×「効率向上」により決まるため、これまでの熱供給事業では得られない相乗的な効果も期待できることになる。さらに供給側、需要側設備の管理の統合化・合理化により、迅速な意思決定の面でも有利に働くことが期待でき、今後必要となる脱炭素時代を見据え、このようなサービサイジング事業の出現を期待したい。

<参考文献>

- 1) 資源エネルギー庁電力・ガス事業部政策課熱供給産業室：熱供給事業便覧 平成30年度版，一般財団法人日本熱供給事業協会，2019.3

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 OHASHI Takumi、MORIMOTO Kazuha	4. 巻 27
2. 論文標題 INVESTIGATION OF SUPPLY AND RETURN WATER TEMPERATURE IN DISTRICT HEATING AND COOLING SERVICES	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIJ Journal of Technology and Design	6. 最初と最後の頁 785～789
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aijt.27.785	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 OHASHI Takumi、KISHI Hiyori	4. 巻 27
2. 論文標題 QUESTIONNAIRE SURVEY ON CONTROL AND OPERATION METHOD OF DISTRICT HEATING AND COOLING SERVICES	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIJ Journal of Technology and Design	6. 最初と最後の頁 293～296
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aijt.27.293	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大橋巧，七見平良
2. 発表標題 地域冷暖房地区の運用最適化に関する実態調査研究 第5報 往還温度差の実態に基づくDHC分類とその特性分析
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 七見平良，大橋巧
2. 発表標題 地域冷暖房地区の運用最適化に関する実態調査研究 第6報 運用最適化によるエネルギー消費性能の評価
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1．発表者名 森本万葉，大橋巧
2．発表標題 地域冷暖房地区の運用最適化に関する実態調査研究 第3報 往還温度の調査結果
3．学会等名 日本建築学会大会
4．発表年 2020年

1．発表者名 森本万葉，大橋巧
2．発表標題 地域冷暖房地区の運用最適化に関する実態調査研究 第4報 往還温度の実態及び既往調査との比較
3．学会等名 日本建築学会大会
4．発表年 2021年

1．発表者名 大橋巧
2．発表標題 室内環境保証型サービスの可能性検討 第3報 DHC地区におけるコスト収支の感度分析
3．学会等名 日本建築学会大会
4．発表年 2021年

1．発表者名 大橋巧，高橋直樹，丹羽英治，下田吉之
2．発表標題 室内環境保証型サービスの可能性検討 第1報 地域冷暖房エリアにおける検討
3．学会等名 日本建築学会大会
4．発表年 2019年

1．発表者名 大橋 巧
2．発表標題 都市・街区・キャンパスの低炭素化・省エネルギー化に向けて
3．学会等名 空気調和・衛生工学会近畿支部環境工学研究会（招待講演）
4．発表年 2019年

1．発表者名 大橋 巧
2．発表標題 地域冷暖房地区の運用最適化に関する実態調査研究 第1報 アンケート調査概要と供給側システムの調査結果
3．学会等名 日本建築学会大会
4．発表年 2020年

1．発表者名 岸日和，大橋 巧
2．発表標題 地域冷暖房地区の運用最適化に関する実態調査研究 第2報 省エネルギー化の実態等に関する調査結果
3．学会等名 日本建築学会大会
4．発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究成果の一部を、下記の協会紙で発表した。 ・大橋 巧：地域冷暖房の制御手法・運用状況に関する実態調査，一般社団法人都市環境エネルギー協会機関紙「都市環境エネルギー」VOL.129,14-19,2021年7月 ・大橋 巧：脱炭素時代の都市構造と地域エネルギービジネスの展望 脱炭素時代における地域熱供給を取り巻く課題，一般社団法人日本熱供給事業協会協会紙「熱供給」VOL.118,8-11,2022年03月

6．研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------