

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 13 日現在

機関番号：27101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560618

研究課題名（和文）

実証実験に基づく地域分散型エネルギー技術のイニシアチブ及び戦略整備

研究課題名（英文）

Initiative and Strategy of District Distributed Energy Technology based on Field study

研究代表者

高 偉俊（GAO WEIJUN）

北九州市立大学・国際環境工学部・教授

研究者番号：20288004

研究成果の概要（和文）：

地域分散型エネルギー供給システムによる電気・熱供給事業のネットワーク化の実用化・事業化を目的とし、経済性・環境性のある既存地域エネルギーシステムの再構築並びに新規地域エネルギーシステムの最適化を目指すものである。さらに、気候風土と建物用途を考慮し、建物需要、電気とガス料金など諸要素に基づいた分散型エネルギーシステムの設計と評価を行い、導入容量、経済性、省エネルギー性と環境性について考察を行った。

研究成果の概要（英文）：

The research focused on purpose of practical application and commercialization of electricity and heat supply business networking by district distributed energy supply system. Aim of this research is to rebuild the existed energy system and optimize a new district energy system with an economic and environmental benefit. In addition,

Based on various factors such as demand for building gas rates, and electricity, we evaluate the distributed energy system to consider the climate and building factors, by investigating installed capacity, economic efficiency, energy saving and environment benefit.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：分散型エネルギー、地域、最適化、戦略整備、イニシアチブ

1. 研究開始当初の背景

エネルギー消費が増大する民生部門の省エネルギーを図っていくためには、排熱の有効利用が可能なオンサイト分散型電源、及び太陽光・風力などの再生可能エネルギーの導入に加えて、それらを地域エネルギーシステ

ムに適正に導入するための設計技術が期待されているが、技術情報や現行の料金システム及び政策を踏まえ、経済性を考慮した最適な導入方法や汎用的な設計・評価技術については、未だ検討が十分に進んでいないのが現状である。

近年で行った学術研究では、分散型エネルギーシステムの重要性を認識しつつあり、①都市レベルにおける導入可能性に関するランドデザイン（佐土原聡教授、下田吉之教授等）と、②建物を中心した分散型エネルギーシステムの評価（窪田英樹教授、渡邊俊行教授等）等が主流となっている。しかし、その中間で特に省エネルギー性が大きく期待される地域分散型エネルギーシステムについては、その経済効果や環境への影響評価等の研究が少なく、さらにその実用化へ向けては技術や政策面ではまだ多くの課題が残されている。

2. 研究の目的

本研究では上記の問題点を解決し、地域分散型エネルギー供給システムによる電気・熱供給事業のネットワーク化の実用化・事業化を目的とし、経済性・環境性のある既存地域エネルギーシステムの再構築並びに新規地域エネルギーシステムの最適化を目指すものである。本研究の波及効果として、地球温暖化防止、省エネルギー、環境保全性の向上、都市防災性の向上、地区ポテンシャルの促進等があげられる。

3. 研究の方法

第一段階 既存地域分散型エネルギーシステムの再構築

従来研究で開発された地域分散型エネルギーシステムの診断ツールを用いて、既存システムの管理運営に当ツールを組み込むことで、更なる省エネルギー性を生むことができる。具体的には、既存システム供給能力及びユーザサイトの需要を分析し、その地域に合った省エネルギースケジュールを提示する。

第二段階 経済性及び環境保全性を考慮した新規分散型エネルギー技術の最適化

地域分散型エネルギーシステムを導入するため、その地域の特徴（デマンドサイド需要、熱、電力負荷）、現在にある分散型技術及び投資行為を総合的に判断した上で、決めなければならない。また、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、ランニングコストと初期投資を現在価値で統合したライフサイクルコストで評価すべきであり、本研究開発はこの視点に立ち、今まで開発された評価手法を改善し、北九州学術研究都市第二期開発地域を対象とし、省エネルギー性、経済性及び環境保全性を考慮した分散型エネルギーシステム技術の最適な組み合わせを求める。

第三段階 気候風土を考慮した地域分散型エネルギー供給システムの実用化と普及の

ための技術条件、政策、実施プロセス

全国異なる地域分散型エネルギー供給システムを検討するとき、まずその気候に対する負荷特性及び適応できる分散型技術等の検討を行い、異なる地域の分散型エネルギー供給システムを模索し、それらの地域の技術問題を抽出する。本研究では、分枝限定法（Branch and Bound Method; BBM）という決定論的な最適化手法を用いて、多くの分散型技術の組み合わせから、地域に適した解を見出す。

4. 研究成果

4.1 既存地域分散型エネルギーシステムの再構築

学研都市に導入された燃料電池、ガスエンジン及び太陽光発電などを組み合わせた分散型エネルギーシステムを研究対象にし、環境エネルギーセンターの2001年-2008年データをもとにも、太陽光発電、燃料電池、ガスエンジンの発電電力量、ガス使用量などを調べ、年間発電、排熱利用量、発電効率、排熱回収率、1次エネルギー総合効率などを計算した。その結果として、現在の学研都市の地域分散型システムのエネルギー利用効率が悪く、地域分散型システムを利用していくためには排熱の利用方法を考えることが最重要課題であることが分かった。

4.2 経済性及び環境保全性を考慮した新規分散型エネルギー技術の最適化

本研究では、分枝限定法を用いて、分散型エネルギー技術の多目的最適化ツールを開発した。図1にモデルの計算フローを示す。先ず、デマンドサイドの熱・電負荷、燃料料

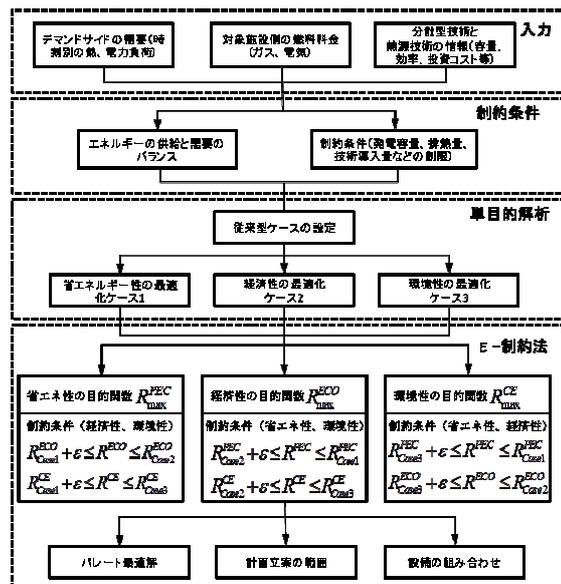


図1 計算モデルのフロー

金、分散型技術と熱源技術の情報を入力条件として、調査・整備する。その上で、限定された制約条件下に、それぞれの目的に応じて最適化ケースを求める。ここでは、省エネルギー性の最適化をケース1、経済性の最適化をケース2、環境性の最適化をケース3とする。次はパレート最適解を求めるために、 ϵ 制約法を用いる。 ϵ 制約法を用いた場合は、年間一次エネルギー削減率、コスト削減率、CO2 排出量削減率の中に、一つを目的関数として選んで、残りの二つを制約条件として扱う。制約量 ϵ を変更しながら最適化することで、変更した値域内のパレート最適解を全て求めることができる。

本研究では、多目的最適化ツールの効果を明らかにするために、北九州学研都市を対象として、分散型エネルギーシステムの導入について、ケーススタディを行う。

図2に想定する分散型エネルギーシステムを示す。分散型技術が導入された最適化システムの効果を確認するために、分散型技術未導入システムを比較システムとする。電力需要は系統電力によって供給される。冷暖房需要は吸収式冷温水発生器によって供給される。給湯需要はボイラによって供給される。

負荷データに関しては、学研都市 2011 年の各需要の実測データを参照し、各月平、休日の時刻別負荷を作成した。

機器データに関しては、メーカーのカタログや調査等を通して、各設備の容量、効率、コストを集め、分散型技術・熱源技術のデータベースを構築した。

ϵ -制約範囲を確定するために、分散型エネルギーシステム導入の単目的最適化解析を行い、比較ケースに対する、各ケースの年間一次エネルギー削減率、コスト削減率、CO2 排出量削減率を計算する。その結果、各目的の最適化ケースの効果を明らかにした。

ケース0：比較ケース。分散型技術未導入システム。
 ケース1：省エネルギー性の最適化ケース。年間一次エネルギー削減率が最も大きいシステム。

ケース2：経済性の最適化ケース。年間コスト削減率が最も大きいシステム。

ケース3：環境性の最適化ケース。年間CO2 排出量が削減率最も大きいシステム。

表1はその結果を示す。ケース1では、年間一次エネルギー消費量は30%弱減少し、年間コストは31%強増加し、年間CO2 排出量は46%強減少した。燃料電池が導入されることにより、経済性はないものの、非常に効果的な省エネルギー性向上を計ることが可能である。ケース2では、ガスエンジンが経済性上の最適発電設備となり、年間一次エネルギー消費量は10%強減少し、年間コストは12%強減少し、年間CO2 排出量は12%強減少した。

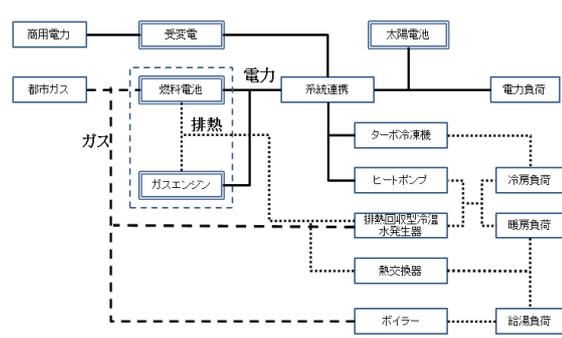


図2 分散型エネルギーシステム

表1 単目的解析結果

項目	単位	ケース0	ケース1	ケース2	ケース3
年間一次エネルギー消費量	(GJ)	83442.05	58592.48	75060.41	58758.86
年間コスト	(万円)	14147.98	18604.25	12415.97	18572.5
年間CO ₂ 排出量	(t)	5394.18	2902.21	4725.55	2899.13
年間一次エネルギー削減率	(%)	—	29.78	10.04	29.58
年間コスト削減率	(%)	—	-31.5	12.24	-31.27
年間CO ₂ 排出量削減率	(%)	—	46.2	12.4	46.25
発電設備		—	FC-4(3),PV-4(2)	GE-4(2)	FC-4(3),PV-4(2)
熱源設備	(台数)	—	ABS-4(2),HP-4(2),TC-2(1),GB-4(1)	ABS-4(3),HP-4(1),TC-1(1),GB-4(1)	4(2),HP-4(1),TC-2(1),GB-4(1)

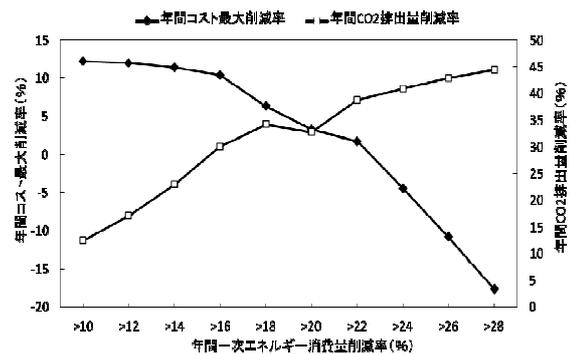


図3 省エネルギー性と経済性の最適解

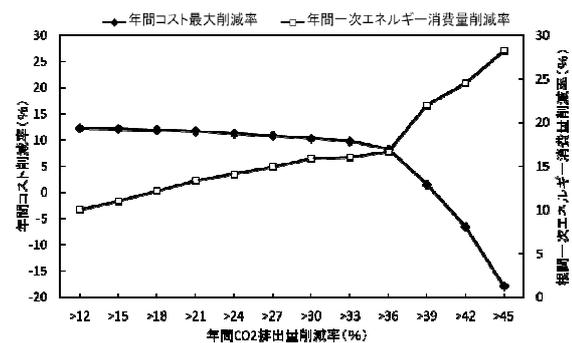


図4 環境性と経済性のパレート最適解

ケース3の設備構成及び各削減率はケース1とほぼ同じである。この二つケースは高い省エネ性と環境性の両方を持っている。エネルギー消費量の削減は環境負荷の低減に大きな影響を与えることと分かった。しかし、

このような設備の組み合わせの導入投資は高すぎて、良いとはいえない。したがって、多目的解析を用いて、省エネルギー性または環境性を保ちながら、経済性を改善することは必要だと考えられる。

図3は省エネルギー性と経済性のパレート最適解を示す。年間一次エネルギー削減率は約22.5%を超えると、年間コスト最大削減率が負になる。

図4は環境性と経済性のパレート最適解を示す。年間CO2排出量削減率が約39.6%により小さい場合は、三つの評価指標を同時に改善することができる。

図5に省エネルギー性、経済性、環境性のパレート最適解を示す。年間一次エネルギー削減の制約が一定であるとき、CO2排出量の制約が厳しくなると、年間コストの最大削減率が減少する。CO2排出量削減率は44%以上に制約すると、一次エネルギー削減制約が小さくても、年間コスト削減率は負になる。分散型エネルギーシステムを計画する際には、設計者が定量的に制約条件を設定し、パレート曲線により、省エネルギー性、経済性、環境性など指標を一定の範囲中に収める設備の組み合わせを簡単に選択することができる。

4.3 気候風土を考慮した地域分散型エネルギー供給システムの実用化と普及のための技術条件、政策、実施プロセス

本研究では日本各地域のエネルギー料金情報及び冷暖房地域係数を調査・整備の上に、導入設計支援ツールを用いて、全国に緯度差がある五つの地域（沖縄地区、九州地区、関東地区、東北地区、北海道地区）(図6)を選定して、延床面積10,000㎡の病院、商業、業務、宿泊及び住宅施設を想定し、分散型エネルギーシステム（BCHPと略す）の導入状況の比較分析を行う。

「評価手法」として、建築物のエネルギー負荷を満足できるコージェネレーションシステムの設備容量と運転戦略を決定する手法を提案した。具体的に、電気負荷の累積曲線をベースにし、定額容量で年間総発電力を最大化するという基準に基づいて、設備の容量を決定する。運転戦略について、「電主熱従」という運用方法に従って、設備の起動・停止及び運転スケジュールを確定できる。また、経済性、環境性及び省エネルギー性などの面から、年間総エネルギーコスト削減率、年間一次エネルギー消費の削減率と年間CO2排出量の削減率などの評価指標を提出した。

「実例分析」として、評価手法と計算方法に基づいて、地域別・建築別コージェネレーションシステム導入の実証研究を行った。まず、異なる気候分区に位置している五つの都

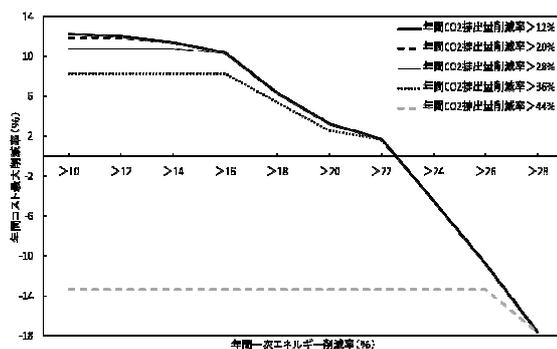


図5 省エネルギー性、経済性、環境性のパレート最適解

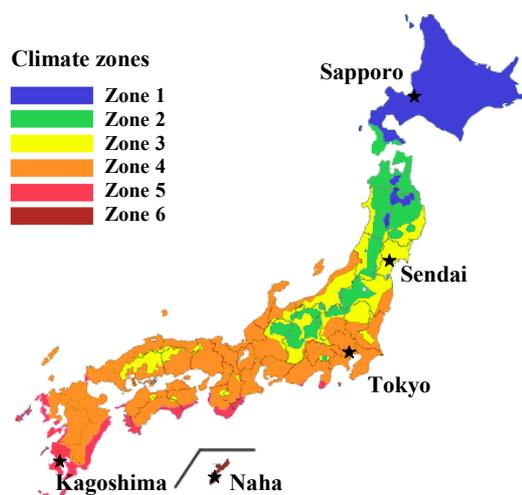


Fig.6 Geographical distribution of major climate zones and the five cities in Japan

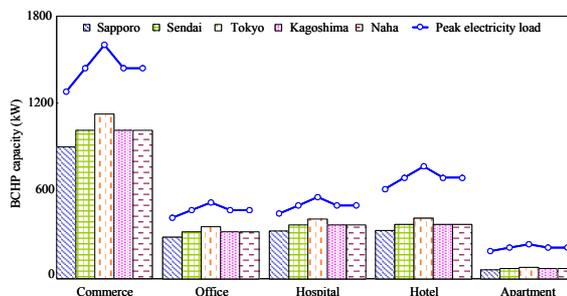


Fig. 7 Capacities of the BCHP systems in Japan

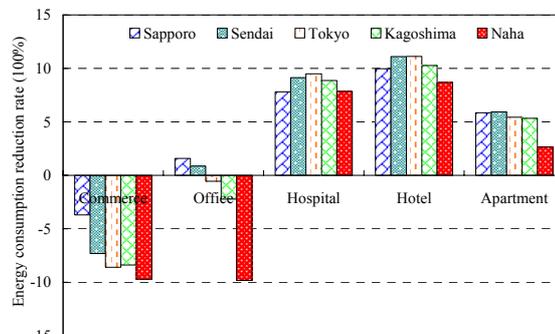


Fig. 8 Reduction rates of primary energy consumption in Japan

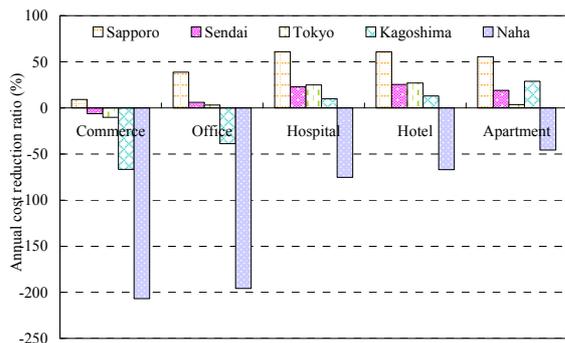


Fig. 9 Reduction rates of annual total cost in Japan

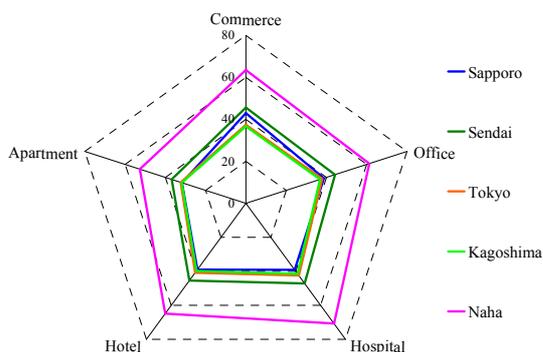


Fig. 10 Reduction rates of CO₂ emissions in Japan

市（札幌・仙台・東京・鹿児島・那覇）を選択し、建物別（商業・オフィス・病院・ホテル・集合住宅）エネルギー消費原単位を用いて地域別・建築別エネルギー消費を計算し、電気とガス料金などを整理した。その上で、地域別・建築別コージェネレーションシステム導入の経済性、環境性と省エネルギー性を検討した。

最終的に、気候風土を考慮した分散型エネルギー供給システムの実用化と普及のための技術条件、政策、実施プロセスを検討し、地域分散型エネルギー供給システムの再構築のあり方を検討した。

図7は、日本各地のさまざまな建物タイプのBCHP容量と電力負荷のピーク値を示している。BCHP容量は電力のピーク値に準拠している。言い換えれば、高いピーク電力負荷の建物は、通常より大きいBCHPシステムを導入することが可能である。同じ気候地区で考えると、商業ビルは、他の建物のタイプよりも明らかに大きいBCHP容量を導入することがわかる。同様に、ホテル、病院、オフィス、住宅の順となっている。一方、同じ種類の建物に関して、東京では最大のBCHP導入容量となり、その次、仙台、鹿児島、那覇、札幌の順に導入容量が減っていく。図8-10には日本におけるBCHPシステムのエネルギー

一、経済、環境性を示している。図8に示すように、ホテルのエネルギー消費量の削減率は最大で、病院、住宅、オフィス、商業の順となっている。商業ビルの場合、エネルギー消費量の削減率がどの都市でもマイナスとなっている。

図9は、従来のシステムに比較し、BCHPシステムの年間コスト削減率を示しています。一般に、他の3つの建物種類と比較して、商業とオフィスが最も経済性が悪い。また、すべての建物種類では那覇地区のコスト削減率が負である。

図10は環境性を示している。一般的には、BCHPシステムのCO₂排出量がすべてのケースでは削減されている。特に、那覇市は、最も高い削減率となっている。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計9件）

- ①Yingjun Ruan, Qingrong Liu, Weiguo Zhou, Ryan Firestone, Weijun Gao, Toshiyuki Watanabe, Optimal option of distributed generation technologies for various commercial buildings, Applied Energy, Volume 86, Issue 9, 1641-1653, 2009/09
doi:10.1016/j.apenergy.2009.01.016
- ②Hongbo Ren, Weijun Gao, Weisheng Zhou, Ken'ichi Nakagami, Multi-criteria evaluation for the optimal adoption of distributed residential energy systems in Japan, Energy Policy, Volume 37, Issue 12, 5484-5493, 2009/12
doi:10.1016/j.enpol.2009.08.014
- ③Hongbo Ren, Weijun Gao, A MILP model for integrated plan and evaluation of distributed energy systems, Applied Energy, Volume 87, Issue 3, March 2010, 1001-1014, 2010/03
doi:10.1016/j.apenergy.2009.09.023
- ④Hongbo Ren, Weisheng Zhou, Ken'ichi Nakagami, Weijun Gao, Integrated design and evaluation of biomass energy system taking into consideration demand side characteristics, Energy, Volume 35, Issue 5, 2210-2222, 2010/05
doi:10.1016/j.energy.2010.02.007
- ⑤Hongbo Ren, Weijun Gao, Economic and environmental evaluation of micro CHP systems with different operating modes for residential buildings in Japan, Energy and Buildings, Volume 42, Issue 6, 853-861, 2010/06

doi:10.1016/j.enbuild.2009.12.007

- ⑥ Hongbo Ren, Weisheng Zhou, Ken'ichi Nakagami, Weijun Gao, Qiong Wu. Multi-objective optimization for the operation of distributed energy systems considering economic and environmental aspects. Applied Energy, Volume 87, Issue 12, 3642-3651, 2010/12
doi:10.1016/j.apenergy.2010.06.013

- ⑦ Weijun Gao, Hongbo Ren, An Optimization Model Based Decision Support System for Distributed Energy Systems Planning, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.7, No.5, 2011 2651-2668, 2011/05

- ⑧ 高偉俊, 任洪波, 深堀秀敏, 渡辺 俊行, 蓄熱タンクと連携した家庭用コージェネレーションシステム導入の最適化に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻第 643 号, 1091-1097, 2009/09

- ⑨ 高偉俊, 楊 涌 文, 渡辺俊行, 分散型エネルギー技術の選択手法及びその利用に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 75 巻, 第 650 号, 389-97, 2010/04

[学会発表] (計 11 件)

- ① 蘇媛, 高 偉俊, 韋新東, 李海峰, 北九州学研都市における地域エネルギーシステムの経年評価に関する研究, 2009 年度 (仙台) 日本建築学会大会学術講演会, D-1 分冊, 1121-1122, 2009/09

- ② 地下嘉貴, 高 偉俊, 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 30) 北九州学術研究都市における地域エネルギーシステム 2008 年の利用状況及び経年変化, 日本建築学会研究報告九州支部 第 49 号, 環境系, 2010 年 3 月, 281-284, 2010/03

- ③ 地下 嘉貴, 高偉俊, 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 30) 北九州学研都市における地域エネルギーシステム 2008 年の利用状況及び経年評価, 2010 年度 (北陸) 日本建築学会大会学術講演会 1437, 2010/09

- ④ 施 行之, 高 偉俊, 北九州市学研都市における地域エネルギーシステム, 2009 年の利用状況及び経年評価に関する研究, 空気調和・衛生工学会九州支部研究報告, 第 18 号 (熊本), 37-40, 2011/05

- ⑤ 範理揚, 高偉俊, 低炭素先進モデル街区に

おける分散型電源の導入可能性評価, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2 分冊, p. 909, 2011/08

- ⑥ 施行之, 高偉俊, 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 31 北九州学研都市における地域エネルギーシステム 2009 年の利用状況について, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2 分冊, p. 911, 2011/08

- ⑦ 許廉平, 施行之, 高偉俊, 戸建住宅を対象とする水素燃料電池の導入に関する研究, 2011 年度 第 51 回 日本建築学会九州支部研究報告集環境系, 2012/03

- ⑧ 李振懿, 高偉俊, 施行之, 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 32 北九州学研都市におけるエネルギーシステム 10 年の利用状況及び経年変化に関する研究 2011 年度 第 51 回 日本建築学会九州支部研究報告集環境系, 2012/03

- ⑨ 施行之, 高偉俊, 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 33 省エネルギー性, 経済性, 環境保全性を考慮した分散型エネルギーシステムの多目的最適化手法の開発 2011 年度 第 51 回 日本建築学会九州支部研究報告集環境系, 2012/03

- ⑩ 範理揚, 叶茹, 深堀秀敏, 高偉俊, 循環型街区におけるオフライン熱搬送システムによる排熱エネルギーの面的利用に関する研究, 2011 年度 第 51 回 日本建築学会九州支部研究報告集環境系, 2012/03

- ⑪ 楊曉更, 範理揚, 高偉俊, ライフスタイルを考えた小規模地域給湯システムの経済性と省エネルギー性評価, 2011 年度 第 51 回 日本建築学会九州支部研究報告集環境系, 2012/03

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.gaolab.net>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高 偉俊 (GAO WEIJUN)

北九州市立大学・国際環境工学部・教授

研究者番号：20288004