

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：27101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560724

研究課題名(和文)水素パイプラインによる住宅分散型電源と電池連系システムの導入効果に関する実証研究

研究課題名(英文)Field Study to validate the effect of distributed energy resource and battery system in residential house with hydrogen pipeline

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：北九州水素タウンにおける住宅用純水素型燃料電池、太陽光発電の連系システムの実証研究を行い、例の少ない、その自立型エネルギーシステムの運転実績から、技術的課題と政策的課題を抽出・評価することを目的とした。3000以上の家族へのライフスタイルと住宅のエネルギー消費量に関するアンケート調査をもとに、北九州エコハウスにおける空調設備や発電設備、家電を含む住宅設備のエネルギー消費量とエネルギー供給量を明らかにする。また、住宅に太陽光電池、ガス燃料電池、水素燃料電池の発電設備を導入した場合の各々の経済性に関する解析を行った。

研究成果の概要(英文)：The research focused on purpose to perform empirical studies of the interconnection system of solar power generation with hydrogen fuel cells in residential house in Kitakyushu Hydrogen Town and try to extract and evaluate the technical problems and policy issues from the operation performance of the self-energy system. Firstly, we have a survey on energy consumption and lifestyle for more than 3000 families. Then we investigated the energy consumption and energy supply of housing facilities including air conditioning equipment and power generation equipment, consumer electronics in Kitakyushu Eco House. Lastly, the analysis of the economics of introducing the power generation facility was carried out with the photovoltaic cell, gas fuel cell and hydrogen fuel cells

研究分野：都市環境工学

キーワード：住宅 分散型電源 水素燃料電池 ライフスタイル エネルギー消費

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化が問題視され、CO2 削減が叫ばれている。社会全体で CO2 を削減していくのであれば、家庭で消費するエネルギーについても考えないといけない。

住宅エネルギーは地球温暖化に関わるエネルギーの中でもかなり多くの割合を示している。そこで、環境省は 21 世紀環境共生型住宅のモデル整備による建設促進事業の一環で応募の中で選ばれた全国 20 の自治体が、環境省の補助金を受け、それぞれの地域の気候風土や特色を生かしたエコハウスの実現と普及に取り組んでいる。地球温暖化を防止するためには、世界全体で、CO2 の排出量を中長期的に削減していくことが必要である。平成 20 年 7 月の北海道洞爺湖サミットでは、2050 年までに少なくとも 50%削減を達成するという目標が共有された。また、我が国でも、2050 年までに 60~80%の CO2 排出削減を目指す「低炭素社会づくり行動計画」が平成 20 年 7 月 29 日に閣議決定されるなど、CO2 排出量の少ない低炭素社会の実現に向けた動きが本格化している。

しかし、日本の家庭部門からの CO2 排出量を見てみると、1990 年度に比べて、2007 年度には 4 割以上も増加している。これは、家電保有台数の増加などによって、家庭でのエネルギー消費量が増加していることが原因だと考えられる。家庭からの CO2 排出量を抑えるためには、住宅建設、住まい方、改修、建替えのライフサイクル全体において、省エネルギーで環境負荷が少なく、かつ快適な暮らしを実現するエコハウスを全国的に普及していかなければならない。

現在、北九州市では日本初で新日本製鐵八幡製鉄所から発生する副生水素をパイプラインより直接供給するオフサイト型水素ステーションを設置している。また、水素ステーションから、近郊の集合住宅や戸建住宅、商業店舗、公共施設などへパイプラインで水素を供給し定置型燃料電池の燃料として利用する。しかし、水素パイプラインによる純水素型燃料電池の導入が期待されているが、その有効性、実用性が必ずしも十分に評価されているとは言えない。また、住宅における電池（燃料電池・太陽電池）を連動して利用する「自立型エネルギーシステム」については、まだ検討が十分に進んでいないのが現状である。

2. 研究の目的

北九州東田スマートコミュニティにおける住宅用純水素型燃料電池、太陽光発電等の実証研究を行い、例の少ないその自立型エネルギーシステムの運転実績から、技術的課題と政策的課題を抽出・評価し、水素パイプラインによる水素エネルギーシステムの実用化・事業化のための基礎データの整備及び電池連系システムの設計・評価基準の構築を目的とする。

3. 研究の方法

研究では、アンケート調査や現地調査などを実施し、基礎情報を収集し、データベース化したうえで、これを分析する。また、北九州水素タウンにおいて、燃料電池、太陽電池と蓄電池の実機と実際の住宅で計測した需要データを用いて実証実験を行う。得た情報を元に、水素パイプラインによる燃料電池の分析システムと電池連系システムの設計と評価モデルを構築する。構築したモデルによるシミュレーションの実施を踏まえ、北九州水素タウンの水素燃料電池実証住宅に対するケーススタディを行う。あわせて水素パイプラインによる電池連系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する。

本研究では、現状にある計測ポイントにさらに電気・熱の供給と需要の状況を把握するために計測計を追加し、電力量計測とともに、燃料電池、太陽光発電等の電力バランスを計測する。

調査では、2013 年に行った北九州市における 3000 以上の家族へのライフスタイルと住宅のエネルギー消費量に関するアンケート調査をもとに、北九州エコハウスにおける空調設備や発電設備、家電を含む住宅設備のエネルギー消費量とエネルギー供給量を明らかにする。北九州エコハウスのエネルギー消費量とエネルギー供給量の実態を明確する。

4. 研究成果

(1) 北九州市地区別の住宅のライフスタイルとエネルギー消費との関連性に関する研究

住宅におけるライフスタイルおよびエネルギー消費量の関係を明らかにするために、北九州地区別で所定した 8 つの小学校でアンケート配布を行い、分析を行った。研究に関する調査項目は主に 3 つの部分から構成されており、内容については以下の表 1 に示す。調査したアンケート総数は 1835 件で、有効件数は 968 件、全体の 52.75%となった。

表 1 アンケート調査項目

家族構成,住まい、電気機器について	
家族構成の特徴、住まいの特徴及び電気機器所有に関する項目	家族数、住宅延床面積 住まいのタイプ 滞在の世帯期間 契約電気容量 住宅エネルギータイプ 電気機器所有
ライフスタイルについて	
睡眠時間、電気利用状態、調理・入浴活動に関する項目	睡眠時間 調理活動 入浴活動 照明活動
エネルギー消費について	
年間電気・ガス・水道の消費量に関する項目	コスト 消費量

延べ床面積、住宅タイプ、家族数、住宅のエネルギータイプ、照明活動（電気のコマめ消し）を加え、影響因子の分析を行った結果は表2に示す。

表2 エネルギー消費に影響因子とそのランキング

ランク	コード	因子	t	Part.
1	S	延べ床面積	12.15	0.690
2	HT	住宅タイプ	6.741	0.467
3	ON	電気のコマめ消し	-6.404	-0.44
4	AMP	契約電気容量	5.284	0.382
5	FS	家族数	4.930	0.360
6	ET	エネルギータイプ	4.781	0.351
	Const.		-1.745	

住宅年間エネルギー消費量は延べ床面積、住宅タイプ、家族数、住宅のエネルギータイプ、照明活動とは高い関連性を示している。1ランクは影響度が最も高く、6ランクまで影響度は下がっていく。その中、最も影響度の高いのは延べ床面積である。次は住宅タイプである。その6つの因子を用いて、重回帰分析を行い、下記の式のように、年間エネルギー消費量予測式が得られた。

$$y = -9.287 + 12.253S + 3.993HT - 2.260ON + 3.239AMP + 3.920FS + 1.507ET$$

(2) 北九州エコハウスの実測調査

2013年に行った北九州市における3000以上の家族へのライフスタイルと住宅のエネルギー消費量に関するアンケート調査をもとに、本研究における北九州エコハウスの実測調査を行った。実測調査を行うことで、北九州エコハウスにおける空調設備や発電設備、家電を含む住宅設備のエネルギー消費量とエネルギー供給量を明らかにする。その実測調査で明らかになった北九州エコハウスのエネルギー消費量とエネルギー供給量の実測値を後のシミュレーションで使用するため本実測調査を行った。

実測調査は冬季に2回、中間期に1回、夏季に1回と計4回行った。北九州エコハウスの電力に関しては、全ての電気が分電盤に集中している。そのため、どの電気が使われているのかということが分電盤を見ると、即座に分かるようになっている。ガスの使用量はガスメーターをビデオカメラで撮影することで、使用量をまとめた。実測調査で使用した計測器具は、アメニティメーター、アネモマスター、温度計、環境測定器、ワットチェッカー、日射計、サーモカメラ、データコレクター等である。実測調査で計測したものは温度、湿度、風速、日射強度、PMV、電気、ガス、水素燃料電池である。

夏期の一例を図1に示す。実測調査で行ったライフスタイルを説明する。空調設定は24にして、運転を行った。空調は夏の気温がピークに達する11時ごろから14時くらいまで運転し、子供たちが帰ってくる16時ごろから17時くらいまで運転する。余り空調運転をせず、

自然換気をさせて、過ごすというライフスタイルにした。この日は5時半くらいから、朝食を作るためにガスを使用した。その後、朝食を作るため、5時半からガスを使用し始めた。そして、昼食を作るため、12時過ぎからガスを使用した。この日、午前中は晴れていたが午後から雨が降り出したので、午前中しか発電することができなかった。なので、10時ごろに発電量がピークに達した。その後、17時半ごろから夕食を作るため、ガスを使用した。そして、20時くらいからお風呂のお湯をため始めた。お風呂の使い方として、夏なので、風呂にお湯を溜めず、シャワーのみで、家族一緒にお風呂に入るといったライフスタイルにした。就寝時には、空調を付けないという設定にした。この日の実測調査のライフスタイルは空調も必要最低限しか使用せず、ガスの使用量も節約するかなりの省エネ家庭のライフスタイルの設定にした。

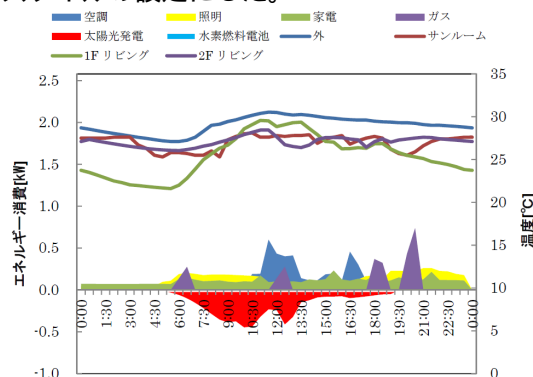


図1 実測調査の例（夏期）

(3) ライフスタイルにおけるエネルギー消費量と供給量の比較

北九州エコハウスにおける実測調査と2013年に行ったアンケート調査から3つのライフスタイルを設定した。本研究では4人家族の家庭とし、ライフスタイルの設定をCASE1、CASE2、CASE3という設定を作った。CASE1は住宅エネルギーを最小限にしか使用しない超省エネルギータイプ。CASE2はある程度住宅エネルギーを使うが使いすぎない普通の省エネルギータイプ。CASE3は住宅エネルギーを無駄に使用するエネルギー浪費タイプの3つに分けた。結果は図2に示す。

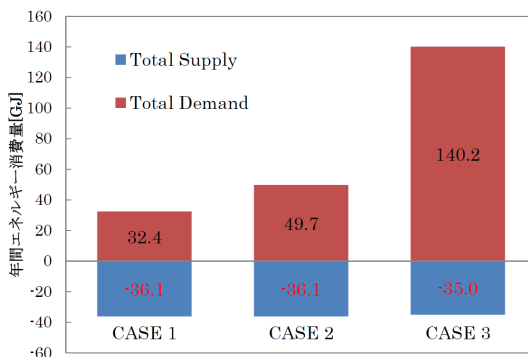


図2 ライフスタイルのエネルギー消費量と供給量の関係

CASE 1 はエネルギー消費量が 32.4GJ、供給量が 36.1GJ でエネルギー消費量より供給量の方が大きくなったため、エネルギーがプラスになる住宅、つまり売電する電力の余裕がある住宅であると言える。

CASE2 はエネルギー消費量 49.7GJ で供給量が 36.1GJ でエネルギー消費量が供給量を上回っている。しかし、そこまで大きな差はないため、もう少しライフスタイルを見直すことで、エネルギー消費量と供給量がプラスマイナスゼロの住宅、つまりゼロエネルギー住宅になり得る住宅であると言える。

CASE3 はエネルギー消費量 140.2GJ、供給量が 35GJ でエネルギー消費量が供給量を大きく上回っている。CASE3 の場合は大幅にライフスタイルを見直さなければいけないことが分かった。CASE3 はエネルギー消費量の 25% を供給量で賄えている住宅であると言える。これらの結果から、住宅のエネルギー消費量には、ライフスタイルが大きく影響を与えていることが分かる。

(4) 住宅における分散型エネルギーシステムの導入効果及び経済性の要因分析

本研究では北九州市東田にあるエコハウス（延べ床面積 183.43 m²）に太陽光電池、ガス燃料電池、水素燃料電池の分散型エネルギーシステムが導入された場合のそれぞれの経済性を考慮した最適容量又は年間コストを算出する。

図 3 に示すようにデマンドサイドの需要、対象住宅の燃料料金、分散型電源・熱源技術の情報を調査・整備する必要がある。その上で解析ツールである GAMS を使って、モデルを実行して最適化を行い、最適な設備容量を求める。発電設備のランニングコストとインシヤルコストを含んだ年間コストが最小になるように、運転パターン及び発電設備容量を最適化する。

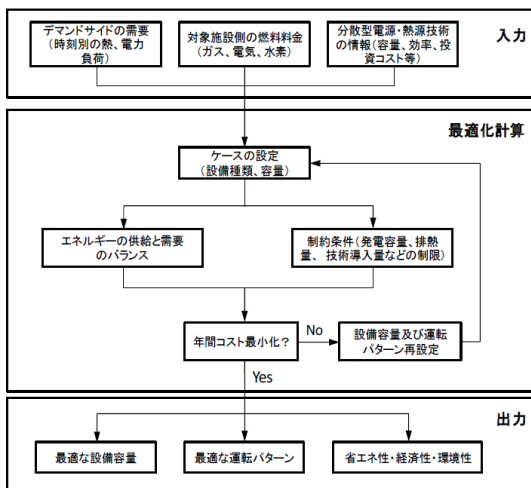


図 3 モデルの計算フロー

エネルギーシステムのモデルを図 4 に示す。電力、エアコンは系統電力から購入し、太陽光電池 (PV) は系統電力に売電する。ガス燃料電池 (FC)、水素燃料電池 (FH)、ガス

ボイラ (GB) は都市ガスから購入し、FC、FH は系統電力に売電するものとする。各ケースのモデルを以下の様に設定する。
 ケース 1: PV を導入した場合のモデル
 ケース 2: FC を導入した場合のモデル
 ケース 3: FH を導入した場合のモデル

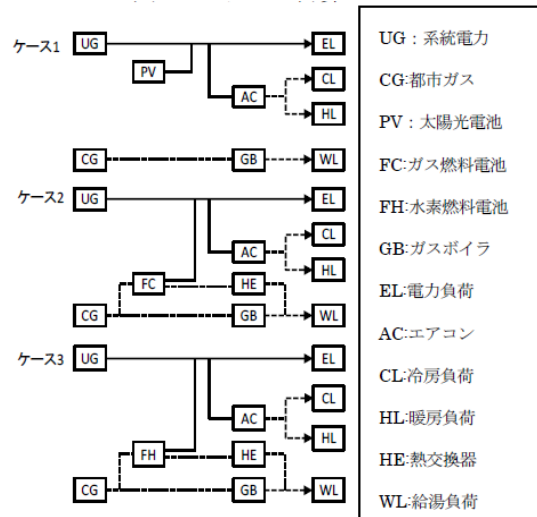


図 4 ケースの設定

研究では感度分析によって最適な発電容量を決定した。感度分析は、各発電設備の最適導入容量に対して電力料金、売電価格、炭素税、ガス料金、水素価格が変動した時にどの程度の影響を与えるか調べた。経済性に関わる要因として、電力料金、ガス料金、売電価格、初期投資、炭素税、水素価格を取り上げ、それらの要素が各発電設備にどのような経済的影響が与えられるのかを検証した。

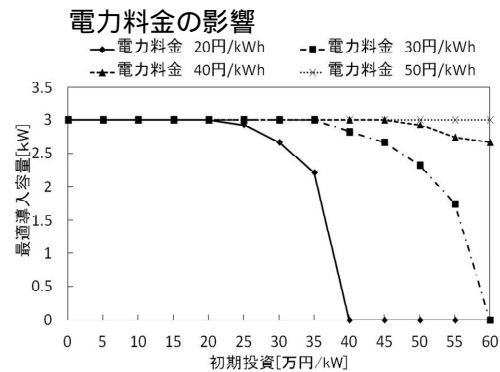


図 5 電気料金と太陽電池

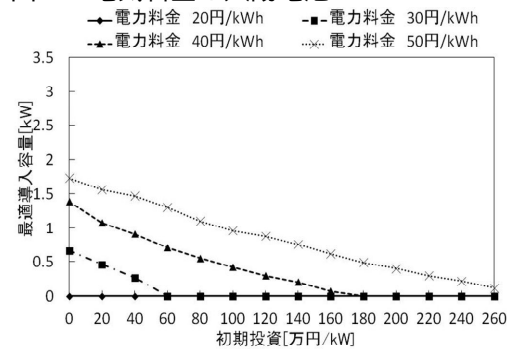


図 6 電気料金とガス燃料電池

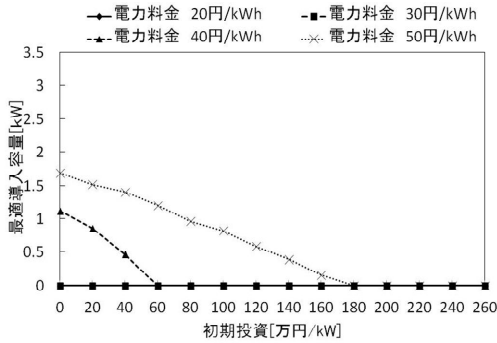


図7 電気料金と水素燃料電池

図5のPVの場合、電力料金が40円/kWhになれば、初期投資60万円/kWのままでも導入効果がある。図6のガス燃料電池の場合、電力料金が50円/kWhになれば、初期投資260万円/kWのままでも導入効果がある。図7水素燃料電池の場合、は電力料金が50円/kWhになれば、初期投資180万円/kWまで下げれば、導入効果がある。

売電料金の影響

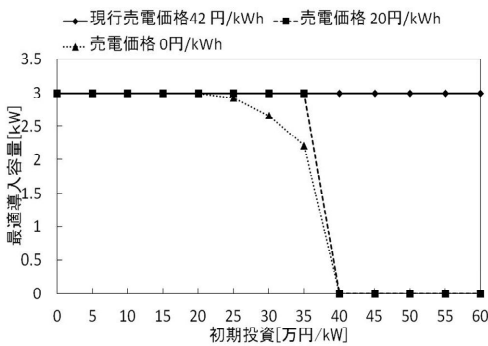


図8 売電料金と太陽電池

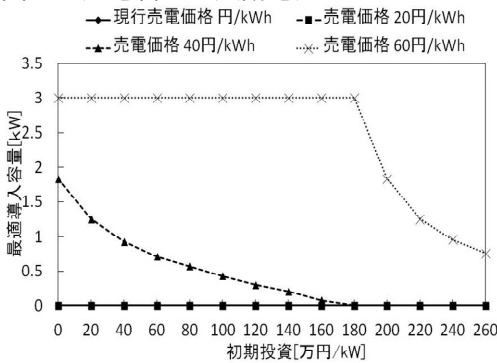


図9 売電料金とガス燃料電池

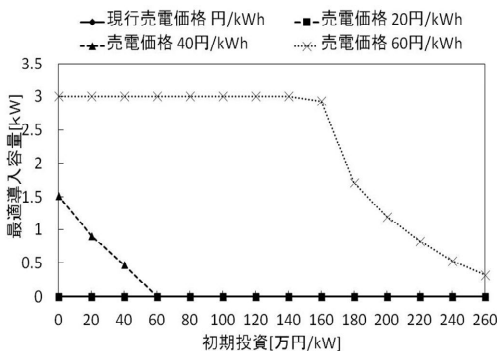


図10 売電料金と水素燃料電池

図8のPVの場合、売電価格が0/kWhでも、初期投資35万円/kWまで下がるとう導入効果がある。図9のガス燃料電池の場合、売電価格が60円/kWhになれば、初期投資260万円/kWのままでも導入効果がある。図10の水素燃料電池の場合、売電価格が60円/kWhになれば、初期投資260万円/kWのままでも導入効果がある。

炭素税の影響

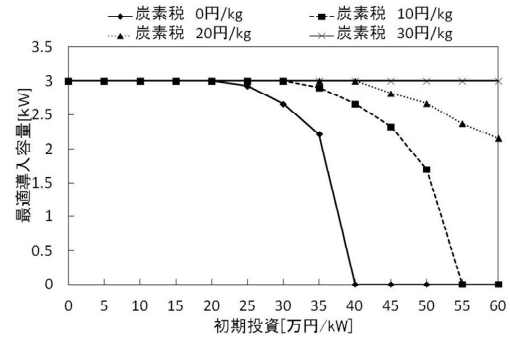


図11 炭素税と太陽電池

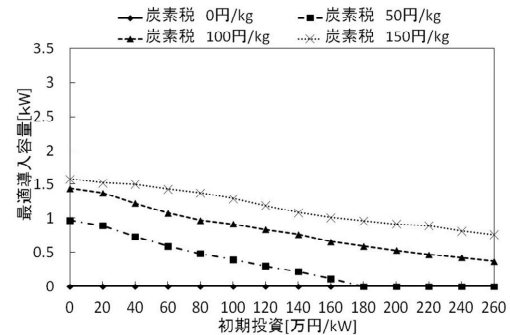


図12 炭素税とガス燃料電池

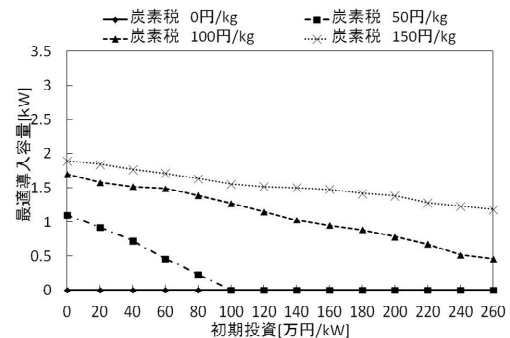


図13 炭素税と水素燃料電池

図11のPVの場合、炭素税が20円/kgになれば、初期投資60万円/kWのままでも導入効果がある。図12のガス燃料電池の場合、炭素税が50円/kgになれば、初期投資180万円/kWまで下がるとう導入効果がある。図13の水素燃料電池の場合、炭素税が50円/kgになれば、初期投資100万円/kWまで下がるとう導入効果がある。

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3件)

1). Made HarrisKuncara, Taku Michisita, Dudit

Novianto, Weijun Gao, Research on Passive Design Features in Relation to Human Comfort in Kitakyushu Eco House, Japan, Journal of Asian Institute of Low Carbon Design, Vol2015, pp125-130,2015(査読付き)

2). Shenglan Huang, Meiyang Wang, Weijun Gao, Didit Novianto, Michisita Taku, Research on Eco-House Characteristics between China and Japan, Case study of Anjou Eco-House and Kitakyushu Eco-House, Journal of Asian Institute of Low Carbon Design, Vol2015, pp93-98,2015(査読付き)

3). Yongwen Yang, Renfei Yang, Jianxing Ren, Weijun Gao, Analysis of Influences of Energy Prices Change on Development of Residential Distributed Energy System, Applied Mechanics and Materials, Vols. 209-211, pp 1852-1857,2012

doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.209-211.1852(査読付き)

[学会発表](計14件)

1). 蔣金明、高偉俊、牛房義明、張瑤、阮群、北九州スマートコミュニティにおける住宅のエネルギー消費に関する研究 その2:住宅Aグループのエネルギー消費状況について、日本建築学会九州支部研究報告、熊本、崇城大学、2015年3月1日~3月2日

2). 阮群、高偉俊、張瑤、牛房義明、蔣金明、北九州スマートコミュニティにおける住宅のエネルギー消費に関する研究 その3:住宅Bグループのエネルギー消費状況について、日本建築学会九州支部研究報告、熊本、崇城大学、2015年3月1日~3月2日

3). 鄭妍、ウァットデイト、張瑤、牛房義明、高偉俊、北九州スマートコミュニティにおける住宅のエネルギー消費に関する研究その4:住宅Cグループのライフスタイルとエネルギー消費状況について、日本建築学会九州支部研究報告、熊本、崇城大学、2015年3月1日~3月2日

4). 張瑤、高偉俊、牛房義明、阮群、蔣金明、北九州スマートコミュニティにおける住宅のエネルギー消費に関する研究 その5:住宅全体のエネルギー消費状況について、日本建築学会九州支部研究報告、熊本、崇城大学、2015年3月1日~3月2日

5). ウァットデイト、高偉俊、ライフスタイルと戸建住宅のエネルギー消費量に関する研究、日本建築学会大会、近畿、神戸大学、2014年9月12日~9月14日

6). 道下巧、高偉俊、ウァットデイト、北九州市のエコハウスにおけるライフスタイルとエネルギー消費量に関する研究、日本建築学会九州支部研究報告第53号、佐賀、佐賀大学、2014年3月1日~3月2日

7). 範理揚、デイトウァット、高偉俊、北九州市における地域別のライフスタイルとエネルギー消費との関連性に関する研究、日本建築学会九州支部研究報告第53号、佐賀、佐賀大学、2014年3月1日~3月2日

8). Didit Novianto, Weijun Gao, Analysis on

Residential Lifestyle and Energy Consumption of Japanese Family Group in Kitakyushu City, Japan, the 10th International Symposium of Asia Institute of Urban Environment, Chino, Japan, 白樺湖池の平ホテル、2013年9月29日-10月1日

9). Taku Michishita, Xingzhi Shi, Weijun Gao, Studies on the factor analysis of economic efficiency and benefits of introducing distributed energy system in a residential house, the 10th International Symposium of Asia Institute of Urban Environment, Chino, Japan, 白樺湖池の平ホテル、2013年9月29日~10月1日

10). Yao Zhang, Xingzhi Shi, Weijun Gao, ダイナミックプライシング及び蓄電池技術による住宅のコストパフォーマンスへの影響、日本建築学会大会、北海道、北海道大学、2013年8月29日~9月2日

11). Xingzhi Shi, Taku Michishita, Weijun Gao, Economic Optimization and Sensitivity Analysis of Distributed Energy Resource Systems in the Residential Building, Natural Science Symposium on Regional Cooperation in Environmental and Energy Technologies, Bangkok, Thailand, 2013年3月8日~3月10日

12). 道下巧、高偉俊、施行之、住宅における分散型エネルギーシステムの導入効果及び経済性の要因分析に関する研究、日本建築学会九州支部研究報告第52号、大分、大分大学、2013年3月2日~3月3日

13). デイトウァット、高偉俊、住宅における分散型エネルギーシステムの導入効果及び経済性の要因分析に関する研究、日本建築学会九州支部研究報告第52号、大分、大分大学、2013年3月2日~3月3日

14). Lianping XU, Weijun Gao, Xingzhi SHI, Evaluation of Energy Saving Performance of Hydrogen Co-Generation System In the Detached Houses, The 8th Yellow Sea Rim International Exchange Meeting on Building Environmental and Energy, Suzhou, China, 2013年1月25日~1月28日

[図書](計1件)

1). 編集 今西淳子 著者 Yao Zhang, Xingzhi Shi, Weijun Gao, Soichiro Kuroki, アジアの未来へ - 私の提案 Vol.2 The Effects of Dynamic Pricing and Photovoltaic Technology on Cost Performance in a Residential house, ジャパンブック出版、2015、214(分担執筆ページ:6)

[産業財産権]

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

[その他]

<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