

令和 2 年 9 月 9 日現在

機関番号：27101
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2017～2019
課題番号：17K06719
研究課題名(和文) スマートコミュニティにおける住宅の節電省エネ型ライフスタイルデザインの実証研究

研究課題名(英文) Field Study of Lifestyle Design with Energy Conservation in Smart Community

研究代表者
福田 展淳 (Fukuda, Hiroatsu)
北九州市立大学・国際環境工学部・教授

研究者番号：00267478
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：今後も増加すると予測される全電化住宅のエネルギー消費量に関するデータベース構築し、世帯電力消費量に及ぼす影響要因を明らかにすることを目的に、北九州市八幡東区に所在する全電化集合住宅の13世帯を対象として、夏期、中間期、冬期に分けて、世帯における電力消費量に関する実測調査を行った。この実測調査によって得られた測定データに基づき、各世帯の電力消費の特徴を明らかにし、世帯属性・季節による変動・各用途の電力消費・在宅率が世帯における電力消費量に与える影響についての分析を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的な特色・独創的な点はエネルギーモニターシステムをオール電化世帯の家電製品を計測した上で、生活パターン、ライフスタイルの分析を行う点である。また分析結果のみを住民に提供する場合と節電、省エネのアドバイスを行う場合で節電、省エネ効果にどれだけ差があるかを統計的な手法を用いて検証する点である。また本研究の意義としては、省エネ製品購入によるエネルギー削減だけでなく、スマートな家電製品の利用方法を普及させるための基礎的な研究になると思われる。

研究成果の概要(英文)：The energy consumption of the consumer class in Japan is increased every year. The CO2 discharges from the home section increased rapidly in particular, by household electrical appliance spread at the home, and, by the change of the lifestyle for convenience, the comfort of the life, increase of the number of the households. We measured survey of the questionnaire survey and the electricity consumption in the smart community housing complex object which is in Kitakyushu Yahata Higashi. The purpose of this research is to establish a database on the energy consumption of all-electric apartments, which is expected to increase in the future, and to clarify influence factors of household electricity consumption.

研究分野：建築設計

キーワード：スマートコミュニティ 省エネルギー ライフスタイル 全電化住宅 実測調査

様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

家庭では家電製品が普及し、生活の利便性・快適性を求めるライフスタイルの変化、世帯数の増加によって、家庭部門からの **CO2** 排出量は急増している。さらに、**2011** 年に起きた東日本大震災によって原子力発電の運転が停止し、電力エネルギーによる **CO2** 排出量の増加が問題となっている **1)**。さらに、近年、住宅のエネルギー消費の全てを電気でもかなう全電化住宅が、安全性や快適性といった観点から急速に普及しており、電力小売全面自由化などの電力事情を背景に、今後もさらに普及率が上がる見込みである。

住宅のエネルギー消費量及び **CO2** 排出量に関する既往の研究では、全国地域を対象として、多くの知見が得られている。しかしながら、全電化集合住宅を対象にしている研究はなく、また、東日本大震災以降、全電化住宅における電力の使い方の評価については明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究では、今後も増加すると予測される全電化住宅のエネルギー消費量に関するデータベース構築し、世帯電力消費量に及ぼす影響要因を明らかにすることを目的に、北九州市八幡東区に所在する全電化集合住宅の **13** 世帯を対象として、夏期、中間期、冬期に分けて、世帯における電力消費量に関する実測調査を行った。この実測調査によって得られた測定データに基づき、各世帯の電力消費の特徴を明らかにし、世帯属性・季節による変動・各用途の電力消費・在宅率が世帯における電力消費量に与える影響についての分析を行った。このような電力消費に関する詳細な実測、分析、住民への情報提供、節電、省エネルギーのアドバイスという一連のプロセスが家庭部門における節電、省エネルギー政策にどれだけ有効な方策を検証する。

3. 研究の方法

本研究で対象としたのは、福岡県北九州市八幡東区にスマートコミュニティ事業の一環として「環境共生」をテーマに建築された次世代省エネ基準対応の全電化集合住宅である **5)**。本研究の実測調査には、**13** 世帯の協力を得ることができた。この実測調査を行った世帯をそれぞれ **A~M** 世帯とする。世帯それぞれの概要を表 **1** に示す。居住人数をみると、**A** 世帯と **L** 世帯が **2** 人と最も少なく、**E** 世帯が **6** 人で最も多い事が分かる。また、**K** 世帯と **L** 世帯の世帯主は **60** 代であり、高齢者世帯であった。



図 1 計測対象及びエネルギーモニター設置状況

世帯のエネルギー消費量測定のため、図 **1** に示すエネルギーモニターシステムを各世帯の分電盤に取り付け、各設備機器の電力消費量を **1** 分毎の積算電力量(**kWh**)を測定し、記録した。また、エネルギーモニターを **2** 台用いて、**2** つの世帯を同時に実測し

表 1 実測世帯の概要

部屋番号	A 世帯	B 世帯	C 世帯	D 世帯	E 世帯	F 世帯	G 世帯	H 世帯	I 世帯	J 世帯	K 世帯	L 世帯	M 世帯
部屋数	3	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3	4
延べ床面積 (m ²)	75.26	98.98	104.78	98.98	80.46	83.12	87.98	86.68	107.77	98.98	80.17	83.46	98.98
方向	s	sw	sse	sw	sse	sse	sse	sse	sse	sw	s	s	sw
階数	8	2	4	10	2	4	4	4	5	11	2	3	1
世帯主の職業	会社員	経営者	会社員	会社員	会社員	会社員	会社員	公務員	会社員	会社員	無職	会社員	公務員
年収 (万円)	300-500	700-1,000	500-700	500-700	500-700	500-700	300-500	500-700	700-1,000	500-700	-300	700-1,000	500-700
居住人数 (人)	2	3	4	4	6	3	4	3	4	4	3	2	3
世帯構成	大人	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2
	子ども	1	1	2	2	4	1	2	1	2	1	1	1
設備機器 (台)	エアコン	1	4	2	2	2	2	3	2	4	2	1	3
	冷蔵庫	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
	テレビ	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2
	洗濯機	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	乾燥機	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
	IH	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	食洗機	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	エコキュート	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
実測期間	夏期	8/5-8/10	8/5-8/10	8/12-8/17	8/12-8/17	8/25-8/30	8/25-8/30	9/3-9/8	9/3-9/8				
	中間期			12/2-12/7	11/4-11/9	11/25-11/30	12/9-12/14	11/11-11/16	11/11-11/16	10/21-10/26	11/4-11/9	11/25-11/30	12/9-12/14
	冬期	1/20-1/25	1/6-1/11	1/27-2/1	1/6-1/11	1/13-1/18		1/13-1/18	1/20-1/25	12/16-12/21	12/23-12/28		1/27-2/1
実測期間平均気温 (°C)	夏期	29.6	29.6	26.3	26.3	24.3	24.3	23.6	23.6				
	中間期			10.5	18.3	10	11.9	17	17	18.6	18.3	10	11.9
	冬期	2	7.5	8.4	7.5	6.2		6.2	2	7.8	6.8		8.4

た。実測期間は、1つの世帯を6日間とし、毎週火曜日にエネルギーモニターの設定、撤去を行ったため、火曜日のデータを削除している。測定項目は表2に示す。

4. 研究成果

(1) 世帯属性と電力消費量の関係

表3に実測期間別の日電力消費量の平均値を示す。世帯属性と電力消費量の関係性を明らかにするため、アンケート調査によって得た「居住人数」「延べ床面積」「世帯年収」の3つの項目と電力消費量の関係を分析した。その中で最も関係性がみられた「冬期における延べ床面積と日電力消費量」についてのグラフを図2に示す。延べ床面積が大きい世帯になるにつれて、日電力消費量が増加する傾向があることがわかる。

(2) 季節による電力消費量の変化

季節、気温変動によって、電力需要がどのように変化するかを明らかにした。図3は、実測調査した全世帯の各用途の平均日電力消費量を季節別に表したグラフである。エアコンの項目をみると、冬期の方が夏期に比べて、日平均電力消費量は約1.5(kWh/世帯・日)増加している。また、実測期間による電力消費量の変化が顕著な項目はエコキュートであり、夏期に比べて冬期のエコキュートの日平均電力消費量は約5.2(kWh/世帯・日)増加している。一方で、気温が低くなる季節の方がより電力消費量が減少する用途は、「冷蔵庫」であった。そこで、実測期間による電力消費量の変化が顕著に表れた「エアコン」「エコキュート」「冷蔵庫」の電力消費量と外気温との関係性を図4に示す。エアコンは、2次曲線に近似され、暖房用途での使用の方が、より高い電力を消費していることが分かる。エコキュートは、回帰直線の決定係数は0.5942と比較的に高く、外気温の低下によるエコキュートの機器効率の低下という特徴と、冬期の方が湯を使う回数が増えるというライフスタイルの変化から、気温が低くなると電力消費量が増加する強い関係がみられたと考える。冷蔵庫は、平均外気温が上がると電力消費も増加す

表2 測定項目

測定項目	照明
	エアコン
	電気温水器
	冷蔵庫コンセント
	I Hクッキングヒーター
	台所用コンセント
	リビングコンセント
	トイレ用コンセント
	洗濯機用コンセント
	浴室乾燥機

表3 実測期間別の日電力消費量の平均値

	日電力消費量の平均値
夏期実測世帯	14.17 (kWh/世帯・日)
中間期実測世帯	17.37 (kWh/世帯・日)
冬期実測世帯	25.74 (kWh/世帯・日)

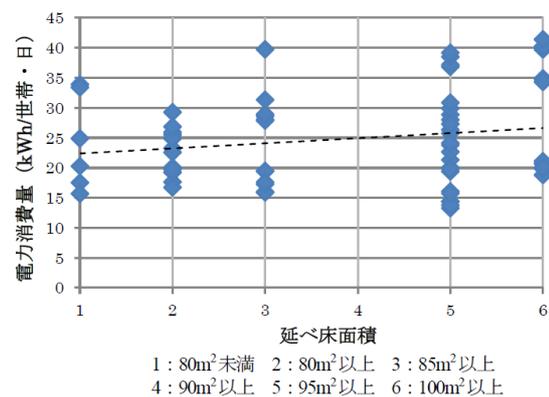


図2 延べ床面積と電力消費量の関係性 (冬期)

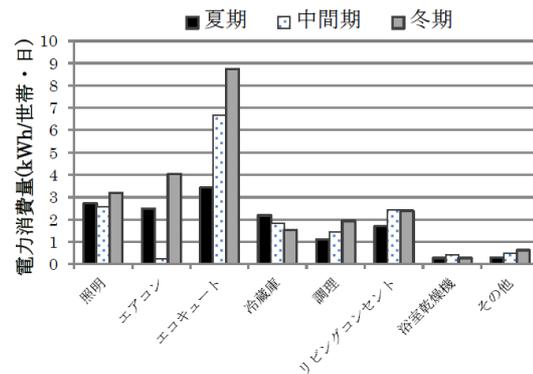


図3 用途ごとの季節変動

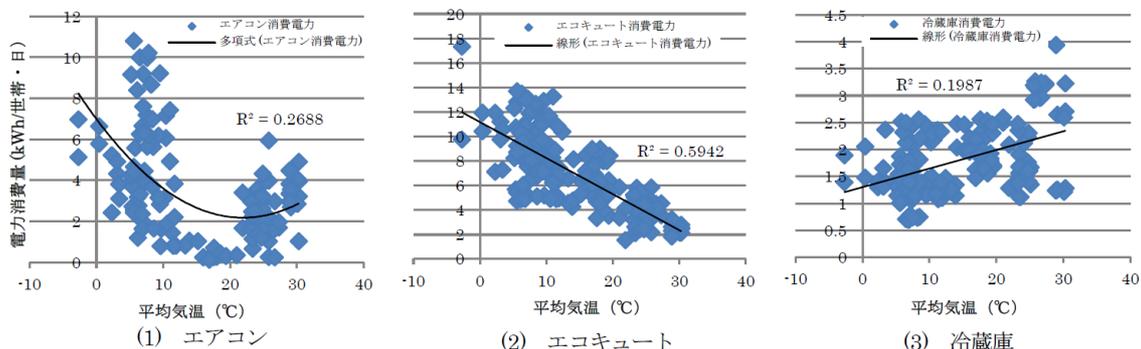


図4 外気温と電力消費量の関連性

る傾向がみられるが、回帰直線の決定係数は0.1987と比較的に低い結果となった。

全電化集合住宅の世帯における電力消費のピーク時間帯を明らかにするために、1分ごとで測定した電力消費量を1時間単位で積算し、世帯全体の夏期・中間期・冬期における時刻推移による平均電力消費量を図5に示す。世帯全体の電力消費ピーク時間帯は、主にエコキュートの稼働時間帯と重なった(夏期:4時、中間期:3時、冬期:2時)。

(3) 各家電が世帯総電力消費に与える影響

世帯の総日電力消費量を目的変数とし、各用途の日電力消費量を説明変数として、各用途の日電力消費量が世帯の日電力消費量に及ぼす影響について季節別に検討した。その結果を図6に示す。夏期、中間期、冬期ともに世帯全体の日電力消費量に及ぼす影響が最も強い用途は、エコキュート(夏期; $r=0.58$ 、中間期; $r=0.74$ 、冬期; $r=0.78$)であった。冬期実測において、相関係数が高い項目は、外気温、浴室乾燥機、その他、エコキュート、エアコンであり、他の期間と比較すると多く、冬期は日電力消費量に与える影響が強い項目が多いといえる。よって、冬期の世帯による日電力消費量のばらつきが大きくなったと推測する。

(4) 在宅率と電力消費量の関係性

エネルギーモニターから得られた各世帯の1分単位の消費電力量のデータを1時間単位に積算し、このデータを用いて、各世帯の外出を判定した。「早稲田大学アカデミックソリューションの発表資料」を参考に、本研究では1時間当たりの電力消費量が0.23kWh/h以下の時間帯を不在宅とし、1日の在宅率の検討を行った。なお、睡眠時間と考えられる0時から7時の間に0.23kWh/h以下であった場合は、在宅していると仮定した。上述した検討によって明らかにした在宅率と日電力消費量の関係性を図7に示す。在宅率以外の日電力消費量に与える影響因子を少なくするため、夏期実測、中間期実測、冬期実測の結果を分けて、分析を行った。全ての実測期間において、在宅率が高い日であるほど、世帯日電力消費量も高くなる傾向を示した(夏期: $r_2 = 0.323$ 中間期: $r_2 = 0.215$ 冬期: $r_2 = 0.186$)。また、冬期は、世帯による日電力消費量のばらつきが大きくなるため、夏期、中間期と比較すると冬期の決定係数は低い値となったと考えられる。

(5) 電力消費パターンによる世帯分類

本研究では、今回の実測に参加する世帯を対象に、実測を実施した6日間のデータを平均化し、各用途の平均日電力消費量を変数として、SPSS ver.16を用いて、ワード法の

ユークリッド平方距離により、階層的クラスター分析を行った。なお、I世帯とM世帯の分電盤は照明と乾燥機が繋がっていたため、それぞれの項目を分離して実測できなかった。よって、この2つの世帯は、他の世帯と各用途での電力消費量の比較できないことから、クラスター分析では、I世帯とM世帯は考慮していない。

実測期間による分類をせずに、今回の実測に参加した世帯を対象に、実測を実施した6日間のデータを平均化し、各用途の日電力消費量を変数として、SPSS ver.16を用いてワード法のユークリッド平方距離により、階層的クラスター分析を行った。その結果を図8に示す。

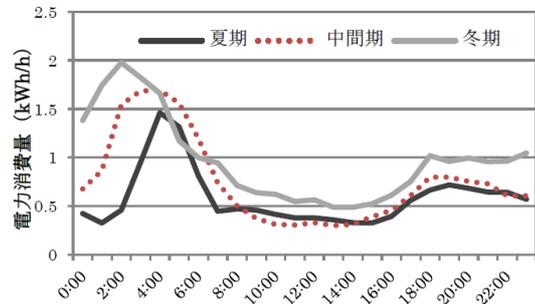


図5 電力消費量ピーク時間帯

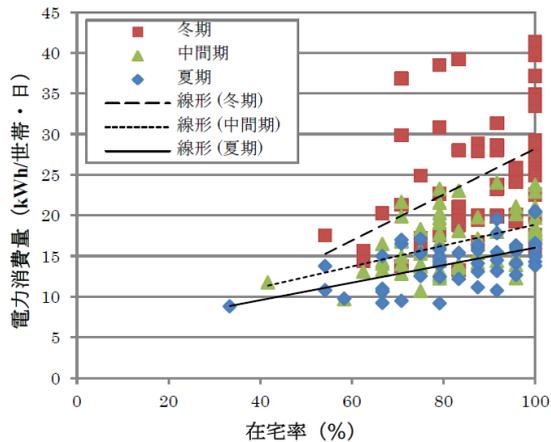


図6 在宅率と電力消費量の関係

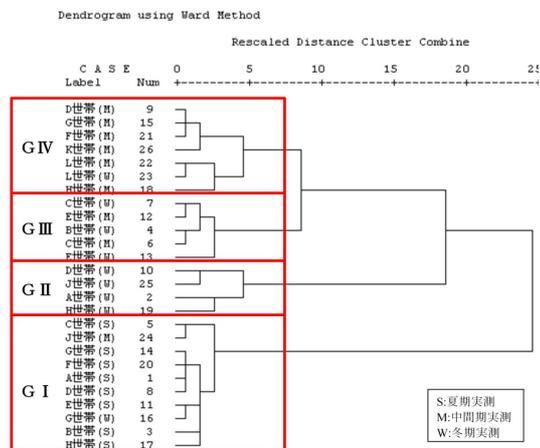


図7 階層的クラスター分析の樹形図

図8より、樹形図は結合レベル7で切断し、4つのクラスターの分類ができた。つまり、変数属性の類似性と相違性に基づいて、各用途の電力消費量によって実測世帯を4種類に分けられた。また、図8から同じ世帯による各用途の電力消費の類似性よりも、実測期間による各用途の電力消費の類似性があることが分かる。この4つのグループをそれぞれG1、G2、G3、G4とし、各グループの特徴を図9に示し、表4にその特徴をまとめた。

(6) 総括

本研究では、北九州市八幡東区に所在する全電化集合住宅13世帯を対象として、夏期、中間期、冬期に分けて、世帯における電力消費量の実測調査を行った。この実測調査によって得られた測定データに基づき、各世帯の電力消費の特徴を明らかにし、世帯属性・季節・各用途の電力消費・在宅率が世帯における電力消費量に与える影響についての分析を行った。本研究によって、得られた知見を以下にまとめる。

実測世帯の日電力消費量の平均値は、夏期14.2(kWh/世帯・日)、中間期17.4(kWh/世帯・日)、冬期25.7(kWh/世帯・日)であり、冬期における日電力消費量の平均値が最も大きいことが確認できた。

実測期間による分類をせずに行ったクラスター分析の結果から、同じ世帯による各用途の電力消費の類似性よりも、実測期間による各用途の電力消費の類似性があることが分かった。

世帯属性と電力消費量の関係性の分析を行った結果、居住人数が多い世帯になるにつれて日電力消費量も大きいことが確認できた。実測期間による電力消費量の変化が顕著な項目はエコキュートであった。夏期に比べて冬期のエコキュートの日平均電力消費量は世帯当たり約5.2(kWh/世帯・日)増加している。

世帯における電力消費量のピーク時間帯についての分析を行い、世帯全体、各用途、それぞれの電力消費量のピーク時間帯を明らかにした。その結果、世帯全体の電力消費ピーク時間帯は、主にエコキュートの稼働時間帯と重なる結果(夏期:4時、中間期:3時、冬期:2時)となった。

各用途の日電力消費量と世帯総日電力消費量における相関分析を行った結果、エコキュートの相関係数が0.81($P < 0.01$)と最も高く、それに次いで、エアコン($r = 0.554, p < 0.01$)、その他($r = 0.500, p < 0.01$)、浴室乾燥機($r = 0.475, p < 0.01$)、リビングコンセント($r = 0.390, p < 0.01$)、調理($r = 0.370, p < 0.01$)の順になり、エコキュートによる電力消費が世帯の電力消費量に最も影響を与えている。また各世帯の総日電力消費量と平均外気温は強い負の相関関係($r = -0.629, p < 0.01$)であった。以上のことから、気温が低くなる期間の給湯の使い方について考えていくことが、家庭部門の省エネルギーに貢献すると示した。

在宅率の検討を行い、在宅率と電力消費量の関連性について季節別に分析した結果、それぞれの在宅率と日電力消費量の回帰直線の決定係数は、夏期0.3056、中間期0.2145、冬期0.1864となった。

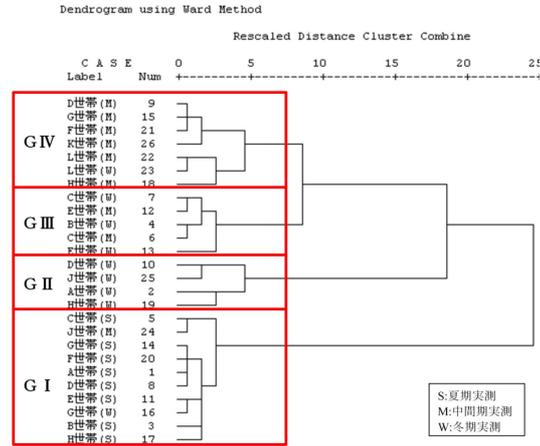


図8 階層的クラスター分析の樹形図

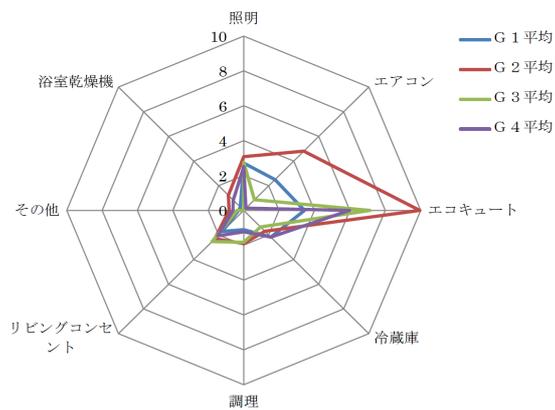


図9 各グループの特徴

表4 各グループの特徴と分類名

分類世帯数	分類世帯の特徴	電力消費の特徴
G1 10世帯	夏期に実測された世帯が多い 夏期実測世帯: 8世帯	・冷蔵庫が高い ・エアコンが中間 ・エコキュートが低い ・調理が低い
G2 4世帯	冬期に実測された世帯が多い 冬期実測世帯: 4世帯	・エコキュートが高い ・エアコンが高い ・浴室乾燥機が高い
G3 5世帯	中間期実測世帯: 2世帯 冬期実測世帯: 3世帯	・エコキュートが高い ・照明が高い ・エアコンが低い
G4 7世帯	中間期に実測された世帯が多い 中間期実測世帯: 6世帯	・リビングコンセントが高い ・エコキュートが中間 ・エアコンが低い

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Li Yanxue, Gao Weijun, Ruan Yingjun, Ushifusa Yoshiaki	4. 巻 168
2. 論文標題 Demand response of customers in Kitakyushu smart community project to critical peak pricing of electricity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Energy and Buildings	6. 最初と最後の頁 251 ~ 260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.029	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 該当する
1. 著者名 Yanxue Li, Weijun Gao, Yingjun Ruan	4. 巻 127
2. 論文標題 Performance investigation of grid-connected residential PV-battery system focusing on enhancing self-consumption and peak shaving in Kyushu, Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Renewable Energy	6. 最初と最後の頁 514-523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.04.074	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 該当する
1. 著者名 Yanxue Li, Weijun Gao, Xiaoyi Zhang, Yingjun Ruan, Yoshiaki Ushifus, Fukuda Hiroatsu	4. 巻 214
2. 論文標題 Techno-economic performance analysis of zero energy house applications with home energy management system in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Energy and Buildings	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109862	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 該当する
1. 著者名 Li Yanxue, Gao Weijun, Ruan Yingjun, Yoshiaki Ushifusa	4. 巻 10
2. 論文標題 Grid Load Shifting and Performance Assessments of Residential Efficient Energy Technologies, a Case Study in Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3390/su10072117	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Zhao Xueyuan, Gao Weijun, Li Yanxue, Yoshiaki Ushifusa
2. 発表標題 Performance Assessments of Residential Fuel Cell System, a Case Study in Jono
3. 学会等名 日本建築学会九州支部
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xueyuan Zhao, Weijun Gao, Yanxue Li, Yoshiaki Ushifusa
2. 発表標題 Load shifting assessment of residential heat pump system in Japan
3. 学会等名 The 2nd International Conference “Green Urbanism (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yanxue Li, Weijun Gao, Yoshiaki Ushifusa
2. 発表標題 Residential customer participation performance in low carbon district under HEMS environment: a case study in Kitakyushu, Japan
3. 学会等名 第 61 回自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牛房 義明 / 高 偉俊 / ノヴィアント ディディット / 黒木 荘一郎 / 瞿 能
2. 発表標題 北九州スマートコミュニティにおける集合住宅のライフスタイルと電力消費 の関連性に関する研究 その1 実測概要・対象建物・実測方法
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 瞿 能 / ノヴィアント ディディット / 高 偉俊 / 黒木 荘一郎 / 牛房 義明
2. 発表標題 北九州スマートコミュニティにおける集合住宅のライフスタイルと電力消費 の関連性に関する研究 その2 実測結果
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 ノヴィアント ディディット / 高 偉俊 / 牛房 義明 / 黒木 荘一郎 / 瞿 能
2. 発表標題 北九州スマートコミュニティにおける集合住宅のライフスタイルと電力消費 の関連性に関する研究 その3 電力消費量に及ぼす影響要因の分析
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Na, Tran Le, Weijun Gao, Didit Novianto
2. 発表標題 Application of Open Studio on Energy Management System in Residential Houses
3. 学会等名 International Conference on the Future of Coastal Cities (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hao Shen, Fanyue Qian, Weijun Gao
2. 発表標題 Research on the Ways of Improving Space Utilization Efficiency in Japanese Modern Small-sized Residences
3. 学会等名 International Conference on the Future of Coastal Cities (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田桃子/福田展淳/小畑拓未/李明香/尾崎明仁
2. 発表標題 戸建て住宅の夏季における床下高湿化改善手法に関する研究 外気湿度に応じた運転を行う床下換気扇の効果検証
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 潤居優希/竹安信二/福田展淳/尾崎明仁/李明香/小畑拓未
2. 発表標題 熱負荷シミュレーション解析による木造住宅における断熱改修の効果に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹安信二/潤居優希/福田展淳/尾崎明仁/李明香/小畑拓未
2. 発表標題 最小限住宅をモデルとした容積及び形状の違いによる省エネルギー効果に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会九州支部研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	高 偉俊 (Gao Weijun) (20288004)	北九州市立大学・国際環境工学部・教授 (27101)	

