

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04088

研究課題名(和文)電気・ガス・水道消費量の大规模HEMSデータによる用途分解手法構築と省エネ提案

研究課題名(英文) Analysis of energy consumption in each use by electricity, gas and water consumption data and effects of Energy-saving advice

研究代表者

井上 隆 (Inoue, Takashi)

東京理科大学・理工学部建築学科・教授

研究者番号：30151608

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,000,000円

研究成果の概要(和文)：電力・ガス・水道の総消費量データを基にしたエネルギー消費用途分離手法を提案し、集合住宅・戸建住宅において精度検証を行い、その妥当性を確認した。さらに、調査対象とした集合住宅にて、世帯構成ごとのエネルギー消費構造を分析し、世帯人数が少ないほど一人当たりのエネルギー消費量が大きくなるとともに、世帯ごとのばらつきも大きくなることを示した。また、数十世帯を対象に、前年度の各世帯の用途別エネルギー消費実態を提示するとともに冬期の省エネ提案を行い、居住者の省エネ行動実施状況や省エネ意識とエネルギー消費量との関係について検討を行った。

研究成果の概要(英文)：We studied the estimation method of each usage of energy consumption. In the method, we used three measured data of principal electric power, gas and water consumption logged at a certain time interval and could estimate the energy consumption of hot water, heating, and other usage within a practical level of accuracy. By using the data logged in every 10 minutes in more than 200 households and the data logged in every minute in 16 households, we studied the accuracy of the estimation method of energy consumption in each usage. Furthermore, we showed the amount of energy consumption per capita in the houses became larger and varied greatly if the size of household was small.

Finally, we made the energy-saving advice based on energy consumption of each household in apartment houses and researched the relationship between energy consumption and the occupants' energy-saving behavior and consciousness.

研究分野：建築環境工学

キーワード：住宅 エネルギー消費 用途分解 省エネルギー行動 省エネルギー提案 電力 ガス 水道

### 1. 研究開始当初の背景

我が国では都市部を中心に集合住宅が増加しており、そのエネルギー消費構造の評価が不可欠となっている。また住宅のエネルギー消費では、給湯が最も大きな割合を占めるものの、ここ数年でのガス温水式暖房の普及による暖房エネルギー消費量の増加も懸念される。一方、近年の住宅では複層ガラス入り高断熱サッシが採用される等の外皮性能の向上や高効率設備機器の導入も認められるため、快適性の向上がそのまま消費エネルギーの大幅な増加に結びつくわけではない。上記の日本の住宅事情において、具体性のある省エネ方策の提案のためには、電力やガスの総消費量データではなく、給湯・暖房など用途別のエネルギー消費実態を明らかにした上で削減策を検討することが欠かせない。また、汎用的でかつ具体的な省エネルギー方策を提案するためには統計的分析に十分な世帯数のデータが必要である。また、近年は HEMS の採用が増えつつあるが、収集されたデータの有効活用方法についても検討する必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究では電力・ガスのみならず水道も短い時間間隔で同時計測することで、ガスと水道が同時に消費された際に給湯と判定することを基本とする手法を構築し、給湯・調理・温水暖房といった用途ごとの使用実態の把握を行う。首都圏の集合住宅の数百世帯を対象とした大規模な HEMS データを用いた実測やアンケート調査等により、詳細な用途別エネルギー使用実態を明らかにする。これらの大規模なデータ分析に基づき、居住者にとって快適性を損なうことのない有効かつ普遍的な省エネ方策を提案することで、我が国の省エネに貢献することを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 調査概要

本研究では、図 1 のような水栓・湯はりといった水道消費を伴うガス消費と、床暖房や追い炊き・調理等の水道消費を伴わないガス消費がある住宅を主対象とし、電力・ガス・水道の総消費量データを基にした用途推計手法の構築を行うとともに、その推定精度の検証を行った。さらに、調査対象集合住宅における世帯ごとのエネルギー消費構造を明らかにし、数十世帯に対して省エネ提案を行った。

表 1 に調査対象集合住宅の概要を示す。集合住宅 K は東京近郊にある RC 造の大規模集合住宅群である。使用エネルギーは電力とガスの併用であり、潜熱回収型ガス給湯器を採用している。主な給湯器利用設備としてガス温水式床暖房、浴室暖房乾燥機を導入している。電力・ガス・水道消費量を 10 分間隔で計測し、一部世帯では 1 分間隔での計測を行った (以下、10 分データ、1 分データとする)。さらに、全電化集合住宅 S においても 10 分間隔の電力データを別途取得しており、その概

要については表 1 に記した通りである。

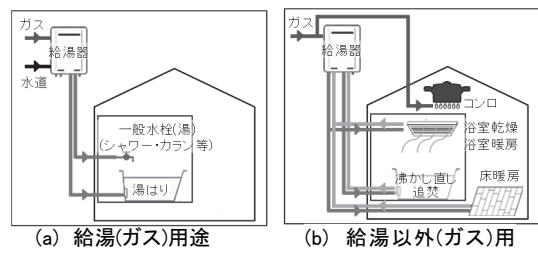


図 1 調査対象住宅内のガス用途分類図  
表 1 調査対象集合住宅の物件・計測概要

	集合住宅K	集合住宅S
所在地	東京近郊	都内
竣工年	2010年	2014年
規模	RC造、7~25階建の住棟6棟	RC造、43階建
住戸面積	約64~132㎡	約55~90㎡
使用エネルギー種別	電力・ガス	電力
給湯器	潜熱回収型ガス給湯器	自然冷媒CO2ヒートポンプ給湯器
給湯器利用設備	ガス温水式床暖房、浴室暖房乾燥機、水栓・浴槽	温水式床暖房、水栓・浴槽
主な世帯人数(平均)	2~3人世帯(約2.7人)	2~3人世帯(約2.6人)
計測項目	電力・ガス・水道消費量	電力・水道消費量
計測器	電力:CT(電流計測器) 水道:流量計 ガス:パルス発信機能付きメータ	電力:CT(電流計測器) 水道:流量計
計測間隔	10分毎 電力:1Wh	10分毎
計測最小単位(Pulse)	電力:1Wh ガス:5L 水道:6.2ml	電力:1Wh 水道:12.4ml
計測期間	2010/9~ 2014/1~	2014/4~

※集合住宅 S の電力用途推計については学会発表⑤⑥に詳細を示したが、ここでは割愛した。

また、集合住宅 K では、世帯毎に 2016 年度の用途別エネルギー消費量データを載せたレポート(以下、省エネレポート)を 2017 年 12 月上旬に送付し、省エネアドバイス等レポート内容を参考に各自で省エネ行動を実践してもらう手法をとった。図 2 に省エネレポート内容の具体例を示す。省エネレポートには①消費タイプ、②消費量が大きい用途上位 3 つ(年間・冬期)、③省エネアドバイス、④年間用途別エネルギー消費量、⑤環境省統計(家庭からの二酸化炭素排出量の推計に係る実態調査 試験調査)との比較、⑥月毎の用途別エネルギー消費量・水道消費量、⑦集合住宅 K 内での各用途の消費量順位、⑧他世帯との消費量の比較、⑨用途別省エネ行動一覧を掲載した。

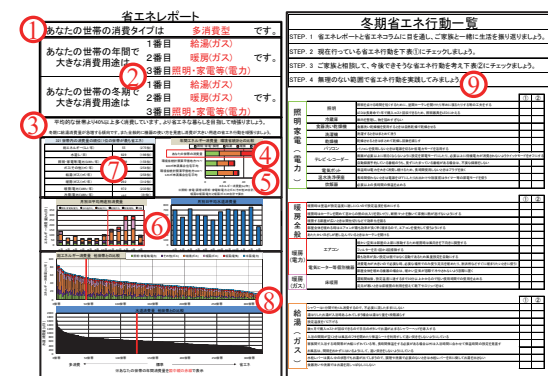


図 2 省エネレポート内容の具体例

さらに、省エネレポートの送付による居住者の省エネ行動や省エネ意識の変化がエネルギー消費に与える影響を把握するためアンケート調査を行った。表 2 に紙面アンケート調査概要を示す。省エネレポート閲覧状況、世帯情報、ライフスタイル、設備機器、省エネ提案前後の省エネ意識や実施した省エネ行動を調査した。

表 2 紙面アンケート調査概要

調査方式	紙面
調査内容	世帯情報(人数、年齢)
	ライフスタイル(在宅状況)
	省エネレポートの閲覧状況
	給湯機器使用状況(入浴形態、保温時間設定)
	暖房機器使用状況(機器、設定、台数、場所)
	省エネ提案前後の省エネ意識
配布時期	2017/12/22
回収時期	2017/12/26
有効回答数	45世帯
うち2017年度有効サンプル数	32世帯

#### 4. 研究成果

##### (1) ガス用途推計手法の構築と精度検証

図 3 に集合住宅 K の代表住戸における夏期(2014年8月)と冬期(2015年2月)の10分毎のガス・水道消費量の関係を示す。ここでは、ガス・水道ともに消費量0のデータを除いている。冬期は夏期に比べ、給湯温度が低くなり給湯負荷が大きくなることや温水暖房の利用があることから、水道消費量が同じでもガス消費量が大きく、約2.6倍となっていた。全体的な傾向としてはガス・水道消費量には比例関係となることが見うけられる。一方、ガス消費や水道消費がごく少量の時、ばらつきが見られた。シャワーや一般水栓の短時間使用や、また、10分間隔の計測では、給湯用途以外の水道消費とガス消費が同じ10分間に行われ、給湯用途ではないガスあるいは水道消費が含まれている可能性が高いものと考えられる。とりわけ、冬期は床暖房等、ガス消費を伴う機器の利用が増加するため、消費のばらつきが大きい。これらの外れ値を除外するため10分間隔の計測による用途推計手法では補正を行った。

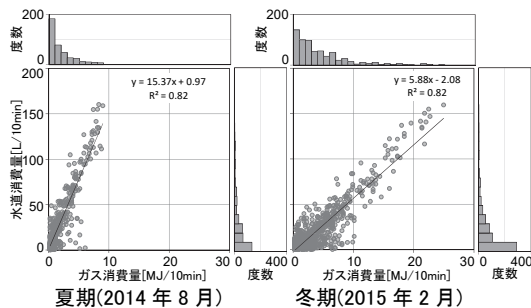


図 3 代表住戸のガス・水道消費量の関係

図 4 に計測時間間隔別のガス用途推計手法のフローを示す。1分間隔で計測している消費量データ(以下1分データ)では、同一時間帯に水道消費を伴うガス消費量を給湯(ガス)、それ以外を給湯以外(ガス)とした。10分間隔で計測している消費量データ(以下10分データ)では、同一時間帯に水道消費を伴うガス消費量のうち、世帯毎・月毎に0を除く10分間隔の各消費量を降順に並べた際の累積相対度数を閾値とし、ガス・水道消費量が閾値によって定められる値以上となるガス消費量を給湯(ガス)、それ以外を給湯以外(ガス)として分類した。両手法とも、実際には同時に給湯(ガス)と給湯以外(ガス)の両用途でガス消費が行われていた場合でも、その時間帯のガス消費量は按分されず全てどちらか一方の用途に分類される。また、10分データに比べ正值に近いと考えられる1分データによる用途

推計結果との比較を行い、推計結果の差異が最も小さくなる用途推計手法の閾値を検討した。図 5 に誤差率の定義を示す。1分データと10分データの推計結果の差異が全ガス消費量に占める割合を誤差率とした。

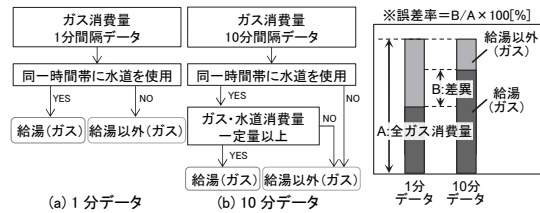


図 4 ガス用途推計手法フロー図 図 5 誤差率の定義

図 6 にて、1分データを取得した全世帯における閾値別誤差率を示す。夏期は、閾値94%を底に誤差率が推移しており、冬期は、閾値93%を底に誤差率が大きくなる結果となった。閾値が90~95%では誤差率の分布に大きな違いは見られず、概ねどの世帯も誤差率5%以下であったため、以降では閾値95%を暫定値として分析を行った。図 7 に冬期(2015年2月)の世帯毎の1分・10分間隔用途推計手法の結果を示す。世帯毎に1分データと10分データ(閾値95%)を用いた場合の差異の大きさに違いはあるが、誤差率は数%以下となった。図 8 に月別の世帯平均誤差率と差異の消費量を示す。夏期に比べ冬期は差異・誤差率ともに大きくなる傾向にあるが、1年を通して誤差率は平均5%以下であった。月毎の総消費量での分析であれば、10分データでも1分データを用いた場合に近い精度で用途推計が可能であることを確認した。

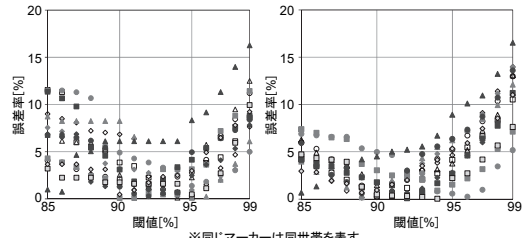


図 6 1分データを取得した全世帯の閾値別誤差率の分布

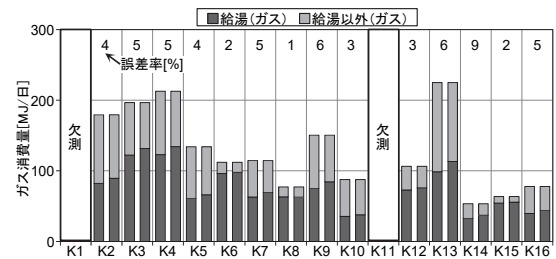


図 7 世帯別1分・10分間隔用途推計手法の結果(2015年2月)

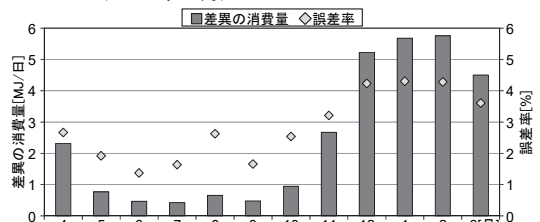


図 8 月毎の世帯平均差異の消費量と誤差率(2014年度)

## (2) 月別エネルギー消費用途推計手法

住宅内のエネルギー消費量の過半を占める給湯・暖房用途の大部分が、研究対象集合住宅Kではガス消費によることから、ここまでは時系列のガス消費を給湯とそれ以外の用途に分類した。今回構築した用途推計手法を用い、電力・ガス併用住宅におけるエネルギー消費実態を用途別に把握した。把握したエネルギー消費実態を省エネ方策の策定に活かすためには、消費量をより細かい用途に分類する必要があるが、時系列ガス消費量のみではガス消費が伴う用途内訳を詳細に推計することは困難であることから、月積算ガス消費量を用い、給湯(ガス)、暖房その他(ガス)、調理(ガス)の3つの用途に分類する月別用途推計手法を構築し、用途別エネルギー消費実態の考察を行った。

図9に月別ガス用途推計手法を示す。時刻別ガス用途推計手法により推計した給湯以外(ガス)消費量の月積算値を用いる。年間で最も消費量が小さくなる月の給湯以外(ガス)消費量を調理用途とし、各月の給湯以外(ガス)消費量との差分を暖房・その他(ガス)とした。また電力消費の用途を把握するため、一連の研究では電力消費量の月積算データを用いた電力用途推計手法の検討を行っている。図10に月別電力用途推計手法を示す。年間で最も消費量が小さくなる月の電力消費量を照明家電・その他(電力)用途とし、各月の電力消費量との差分を、夏期は冷房、冬期は暖房(電力)、中間期はその他(電力)とした。

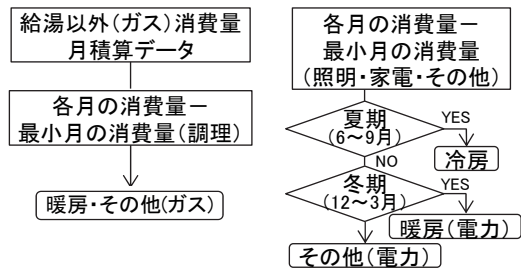


図9 月別ガス用途推計手法 図10 月別電力用途推計手法

図11に世帯・日平均用途別エネルギー消費量の月推移を示す。給湯(ガス)消費量は日平均約19~75MJ/日で推移しており、夏期と冬期では約4倍の差が生じていた。冬期は全ガス消費に占める暖房・その他(ガス)消費量の割合が約4割と大きく、床暖房による暖房を行う世帯が多いことが考えられる。照明家電・その他(電力)消費量は日平均約25MJ/日であった。月平均外気温が最も高くなる8月に冷房消費量が最も大きくなっていった。電力による暖房消費量も大きいことから、対象物件においてはエアコン等の電力による暖房機器とガス温水式床暖房を併用している世帯が多いことが考えられる。

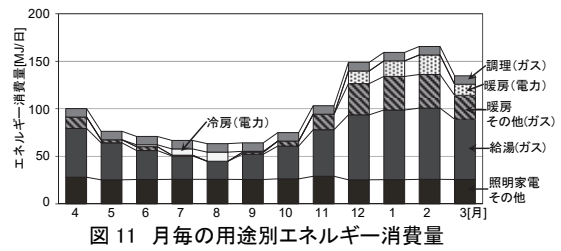


図11 月毎の用途別エネルギー消費量

## (3) 集合住宅におけるエネルギー消費実態

図12に月毎の日平均用途別エネルギー消費量を示す。冬期の暖房(電力)と暖房・その他・調理(ガス)消費量から、集合住宅Kは電気式とガス式の暖房機器を併用していると推測できる。両物件とも夏期・中間期における総エネルギー消費量に大きな差は無く、冬期における給湯・暖房消費量は照明家電その他と共に大きな割合を占めた。図13に世帯人数別年間合計用途別エネルギー消費量と水道消費量を示す。世帯人数が多い世帯ほどエネルギー消費量、水道消費量が大きい。集合住宅Kでは集合住宅Sと比較して給湯消費量に対し世帯人数の影響が大きい。集合住宅Sでは世帯人数に適した給湯器が導入されておらず効率低下している可能性や給湯器の沸き増しによる消費量を考慮できていないことが原因と考えられる。図14に世帯人数別1人当たりのエネルギー消費量度数分布を示す。1人当たりのエネルギー消費量は世帯人数の減少とともに増加し、ばらつきが大きいことを示した。

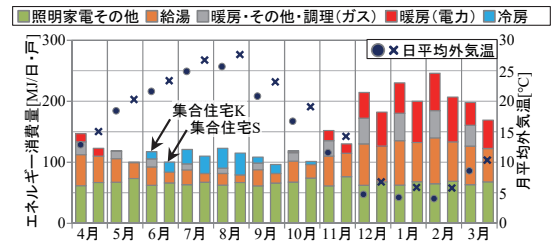


図12 月毎の日平均用途別エネルギー消費量(2014年度)

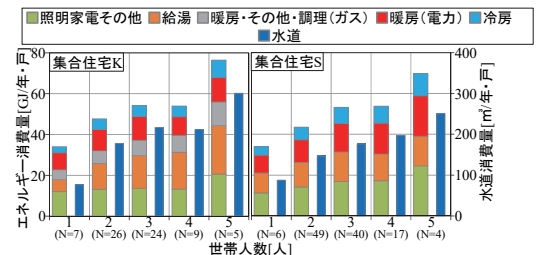


図13 世帯人数別年間合計用途別エネルギー消費量と水道消費量(2014年度)

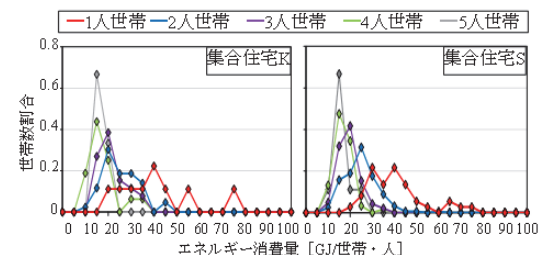


図14 世帯人数別1人当たりのエネルギー消費量度数分布(2015年度)

### (5) 集合住宅 K での省エネ提案とその効果

集合住宅 K において、冬期の省エネ提案から約 2 週間後に実施したアンケートの結果から、省エネレポート閲覧度について「レポート全体に目を通した」と回答した世帯は約 9 割に達した。また、省エネレポート役立ち度について「とても役立った」「やや役立った」と回答した世帯は 9 割を超えた。なお、今後もこの水準を維持するかについては、他季節に省エネ提案をし、経過を追う予定である。

図 15 に各年度における世帯毎の各種日平均消費量を示す。世帯毎にみると、総エネルギー消費量が減少したのは対象世帯の約 3 分の 1 の 16 世帯であった。消費量が減少した世帯について、人数や年齢といった属性の偏りは見られなかった。エネルギー種別では、電力よりもガスの消費量が減少した世帯の方が多く見られた。

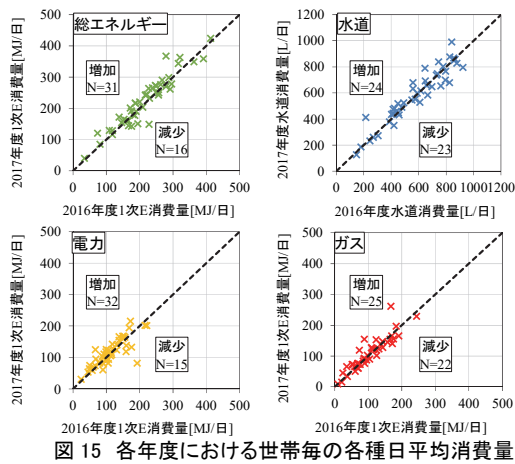


図 15 各年度における世帯毎の各種日平均消費量

図 16 に各年度の時刻別平均消費電力を示す。消費量減少世帯については、朝の立ち上がりを除くと、深夜も含めてほとんどの時間帯において前年度より消費量が少ないことを確認した。消費量増加世帯では一日を通して前年度よりも消費量が大きい様子であった。また、図 17 に各年度の時刻別平均ガス消費を示す。ガスについては、消費量減少世帯において朝と夜のピーク時に、前年度よりも消費量が少ない時間帯が見られることから、暖房時間が短い場合に居住者が床暖房の使用を控えた可能性も考えられる。

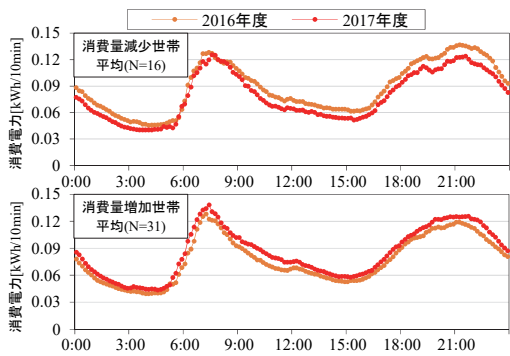


図 16 各年度の時刻別平均消費電力

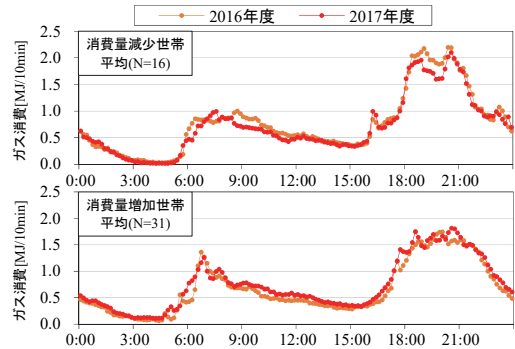


図 17 各年度の時刻別平均ガス消費

最後に、省エネ提案による省エネ行動や省エネ意識の変化がエネルギー消費量に及ぼす影響を分析した。図 18 に各年度における省エネ行動・省エネ意識の変化とエネルギー消費量の関係を示す。前年度と比較すると、省エネ行動実施数増加世帯において総エネルギー消費量が微減し、非増加世帯と比較すると消費量の増加が抑えられる傾向が見られた。また、省エネ意識向上世帯でも前年度と比較すると総エネルギー消費量が微減し、非向上世帯と比較すると消費量の増加が抑えられる傾向が見られた。

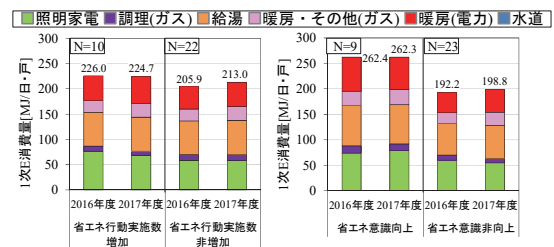


図 18 各年度における省エネ行動・省エネ意識の変化とエネルギー消費量の関係

### (6) まとめ

本研究では、電力・ガス・水道の総消費量データを基にしたエネルギー消費用途分離手法を提案し、集合住宅 K・戸建住宅において精度検証を行い、その妥当性を確認した。また、調査対象とした集合住宅にて、世帯構成ごとのエネルギー消費構造を分析し、世帯人数が少ないほど一人当たりのエネルギー消費量が大きくなるとともに、世帯ごとのばらつきも大きくなることを示した。さらに、2017 年度冬期には、集合住宅 K の数十世帯を対象に、前年度の各世帯の用途別エネルギー消費実態を提示するとともに省エネ提案を行った。その結果、全世帯平均では消費量の削減は見られなかったものの、世帯ごとでは約 3 分の 1 の世帯で総エネルギー消費量が減少した。また、全体に省エネ意識が向上した世帯においては前年度よりもエネルギー消費量の増加が抑制される傾向も伺われたため、今後も継続的な省エネ行動を実践するための工夫を行い、その効果を検証することが必要といえる。

## 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 1 件)

- ①細井里紗、井上隆、高瀬幸造、菅原清峻、松木義也、山浦賢、小林謙介：  
集合住宅の電力・ガス・水道消費量データを用いた用途別エネルギー消費量分析 首都圏の住宅を対象とした電力・ガス・用途推計と実態把握 (その 1)、日本建築学会環境系論文集、査読有、81 巻 730 号、2016 年 12 月、pp. 1155-1162  
DOI:10.3130/aije.81.1155

[学会発表] (計 9 件)

- ①清原勇樹、井上隆、高瀬幸造、栗誠悟：  
集合住宅を対象とした用途別エネルギー消費量分析に基づく省エネ提案及びその効果 2017 年度冬期の分析結果、空気調和・衛生工学会大会、2018 年 (投稿中)
- ②清原勇樹、井上隆、高瀬幸造、栗誠悟：  
集合住宅における用途別エネルギー消費実態 その 5 各世帯の用途別消費量分析に基づく省エネ提案及びその効果の検討、日本建築学会大会、2018 年 (投稿中)
- ③栗誠悟、井上隆、高瀬幸造：  
戸建住宅における用途別エネルギー消費実態把握 ～配管系統別 1 秒計測データに基づく詳細な給湯・暖房消費の考察～、空気調和・衛生工学会大会、2017 年
- ④栗誠悟、井上隆、松木義也、高瀬幸造、菅原清峻：  
集合住宅における用途別エネルギー消費実態 その 4 世帯属性に着目したエネルギー・水道の消費量分析、日本建築学会大会、2017 年
- ⑤栗誠悟、井上隆、高瀬幸造、松木義也、菅原清峻、丹羽亮太、細井里紗：  
集合住宅の用途別エネルギー消費実態把握～居住者属性による消費の違いと省エネ行動の分析～、空気調和・衛生工学会大会、2016 年
- ⑥栗誠悟、井上隆、松木義也、高瀬幸造、細井里紗、菅原清峻、丹羽亮太：  
集合住宅における用途別エネルギー消費実態 その 3 全電化住宅のエネルギー消費実態とアンケート調査に基づく居住者の省エネ意識把握、日本建築学会大会、2016 年
- ⑦菅原清峻、井上隆、高瀬幸造、松木義也、細井里紗：  
集合住宅における用途別エネルギー消費実態の把握 ～ライフスタイルの違いによるエネルギー消費傾向の分析～、空気調和・衛生工学会大会、2015 年
- ⑧菅原清峻、井上隆、松木義也、高瀬幸造、山浦賢、細井里紗  
集合住宅における用途別エネルギー消費実態 その 2 暖房機器の使用実態の把握とエネルギー消費時間の推計による削減可能

性の検討、日本建築学会大会、2015 年

- ⑨細井里紗、井上隆、松木義也、高瀬幸造、山浦賢、菅原清峻：  
集合住宅における用途別エネルギー消費実態 その 1 実測調査による給湯・暖房消費に関する検討、日本建築学会大会、2015 年

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

井上 隆 (INOUE, Takashi)  
東京理科大学理工学部建築学科・教授  
研究者番号：30151608

### (2) 研究分担者

高瀬 幸造 (TAKASE, Kozo)  
東京理科大学理工学部建築学科・助教  
研究者番号：20739148