

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：80122

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04745

研究課題名（和文）同時使用率の確率論的算出手法の構築による中央熱源方式の熱源機器容量の最適化

研究課題名（英文）Optimization on Heat Source Equipment Capacity of Central Heat Source System by Constructing a Probabilistic Calculation Method for Simultaneous Use Rate

研究代表者

阿部 佑平（Abe, Yuhei）

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・建築研究本部 北方建築総合研究所・研究主任

研究者番号：70614147

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、中央熱源方式の暖房システムが採用された集合住宅を対象に調査を行い、同時使用率の実態を明らかにした。また、集合住宅の住戸数や世帯構成が同時使用率に与える影響を評価するため、組合せ論に基づく同時使用率の確率論的算出手法を構築した。構築した手法を用いて同時使用率を考慮した熱源機器容量を検討したところ、一般的な設計に比べて熱源機器容量を適正化することが可能となり、これにより、熱源機器の負荷率が向上し、エネルギー消費量の削減に効果があることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で構築した同時使用率の確率論的算出手法を用いることにより、これまで十分なデータ構築がされていない同時使用率を算出することが可能となった。これにより、同時使用率を考慮した熱源機器容量の設計が可能となり、熱源機器のイニシャルコスト削減、一次エネルギー消費量及びCO2排出量の更なる削減に貢献できる。また、構築した手法は集合住宅のみならず非住宅建築物への適用も可能であるため、成果は多岐にわたることが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, a survey was conducted in an apartment house with a heating system using a central heat source system to clarify the actual situation of the simultaneous use rate. In order to evaluate the impact of the number of dwelling units and household composition on the simultaneous use rate in an apartment house, a probabilistic calculation method for the simultaneous use rate based on combinatorics was constructed. The study of heat source equipment capacity considering the simultaneous use rate using the constructed method showed that it is possible to optimize the heat source equipment capacity compared to the general design, and that this improves the load factor of the heat source equipment and reduces energy consumption.

研究分野：工学

キーワード：同時使用率 中央熱源方式 熱源機器容量 集合住宅 生活スケジュール

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

熱源機器容量は、熱負荷の設計値に各種安全率を乗じて設定される。新築時の設計では、運用実態を予測することができないため、機器容量に過大な余力を持たせる傾向がある。しかし、熱源機器が過大になると、効率の悪い低出力での運転時間が長くなるとともに、イニシャルコストが増大する。特に、集合住宅で中央熱源方式を採用する場合、居住者の生活スケジュールは世帯構成やライフスタイルにより極めて多様なため、安全を見て各住戸で同時に熱負荷が発生する想定で設計を行うと、過大な熱源機器容量になる恐れがある。

熱源機器容量の適正化を図るためには、運用実態に即した設計を行う必要がある。その方法のひとつとして、設計時に同時使用率を考慮することが挙げられる。給排水設備の分野では、既往研究において、同時使用率に関する数多くの研究があり^{1),2)}等、実務では同時使用率を考慮した設計が行われている³⁾。しかしながら、熱源設備の分野では、同時使用率に関する研究は極めて少ない^{4),5)}。このため、一般に公開されている同時使用率のデータが少なく、設計者が実務で使用するのには難しい状況にある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、未だ十分なデータ構築がされていない同時使用率を確率論的な方法に基づき算出する手法を構築し、中央熱源方式による暖房システムが採用された集合住宅を対象に、熱源機器容量の最適化を検討する。

3. 研究の方法

本研究では、以下の項目を実施した。

(1) 実建物を対象とした同時使用率の実態調査

中央熱源方式の暖房システムが導入された集合住宅を対象に、熱源機器の負荷率の実態や各住戸の時刻別エネルギー消費量を調査し同時使用率を把握する。

(2) アンケート調査による生活スケジュールの把握

同時使用率に影響する生活スケジュールを把握するため、集合住宅の居住者を対象にアンケート調査を行い、世帯構成別の生活スケジュールを整理する。

(3) 同時使用率の確率論的算出手法の構築

集合住宅の住戸数や世帯構成が同時使用率に与える影響を評価するため、確率論的な方法に基づく同時使用率の算出手法を構築する。

(4) 同時使用率を考慮した熱源機器容量の最適化検討

モデル建物を設定し、(3)の算出手法から得られた同時使用率を用いて、熱源機器容量を最適化した場合の容量を算出する。また、熱源機器容量の適正化による熱源機器の負荷率向上や省エネルギー効果を検討する。

4. 研究成果

(1) 実建物を対象とした同時使用率の実態調査

実態調査を行った建物は、2001年に札幌市内に竣工した中央熱源方式の集合住宅である。熱源機器には、ガスエンジン発電機によるコージェネレーションシステム(CGS)とガス熱源の真空式温水発生機が導入されており、製造された温水は各戸の暖房、給湯、ロードヒーティングで使用される。電力は、ガスエンジン発電機からの発電電力と集合住宅全体で高圧一括受電している商用電力を系統連系している。ガスエンジン発電機の発停は電力需要に合わせて自動で切り替えられ、電主熱従で稼働している。また、対象建物には、マンションエネルギーマネジメントシステム(MEMS)が導入されている。ここでは、MEMSで測定された2018年度の1時間毎のデータを用いて分析を行った。

図1に熱源機器の平均負荷率を示す。CGSは電力需要に合わせて概ね定格出力で運転していたため、平均負荷率は80%以上であった。一方、真空式温水発生機は冬期でも19%と低く、年間の最大負荷率も44%と低かった。

世帯構成の違いによる暖房の使用状況を把握するため、各住戸の暖房負荷を分析した。図2に世帯構成別の年間暖房負荷を示す。図中では、アンケートにより世帯構成を把握できた住戸のデータを示し、N数の少ない世帯構成については平均値のみを示している。夫婦と成人世帯は、夫婦と子世帯よりも年間暖房負荷の平均値が大きくなった。また、現役で仕事をしている世帯(有職夫婦、有職単独)よりも、仕事を引退している世帯(無職夫婦、無職単独)の方が年間暖房負荷の平均値は大きくなった。これは、仕事を引退している世帯の方が、日中の在宅時間が長くなることが影響していると考えられる。さらに、有職夫婦世帯は、他の世帯に比べて四分位範囲が大きく、住戸によって暖房の使用状況にバラツキがあると考えられる。

図3に世帯構成別の月平均時刻別暖房負荷(2019年1月)を示す。暖房の時刻別変動特性としては、朝と夜にピークが現れている。朝のピークは世帯構成による違いは見られず、7時に現れている。一方、夜のピークは仕事を引退している世帯(無職夫婦、無職単独)では19時頃、現役で仕事をしている世帯(有職夫婦、有職単独)では20時と、両者には1時間の差があることが分かった。

各住戸の暖房負荷データを用いて、同時使用率を算出した。同時使用率は、ある期間における各住戸の最大負荷の合計値(すべての住戸で同時にピークが発生すると仮定した場合の値)に対する、実際に発生した建物全体の最大負荷の割合である。同時使用率の値が小さくなると、各住戸の最大負荷が同時に発生するのが少なくなる。

図4に各住戸及び建物全体の暖房負荷の分析結果を示す。各住戸の最大負荷の合計値は2,878MJ/h、建物全体の年間最大負荷は1,457MJ/hとなり、同時使用率を算出すると、50.6%であった。

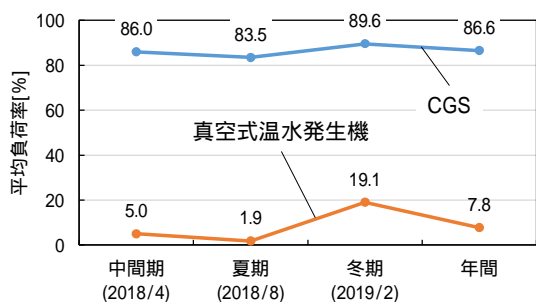


図1 熱源機器の平均負荷率

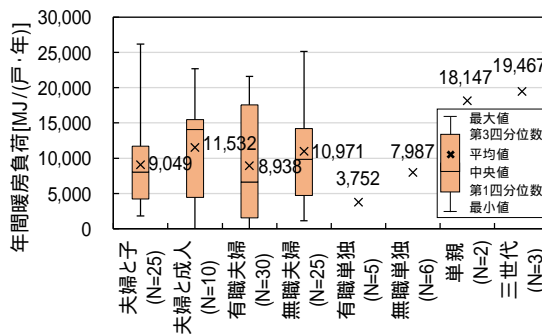


図2 年間暖房負荷 (2018年度)

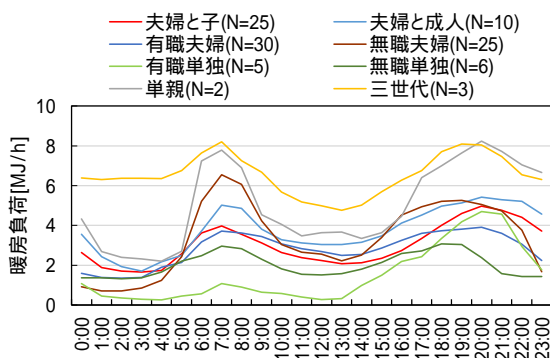


図3 月平均時刻別暖房負荷 (2019年1月)

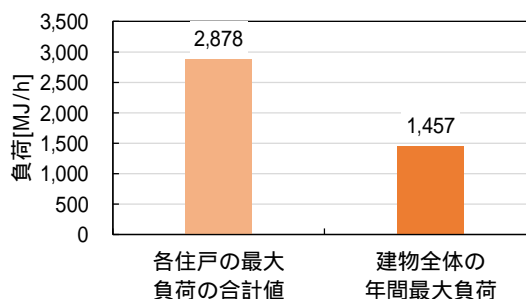


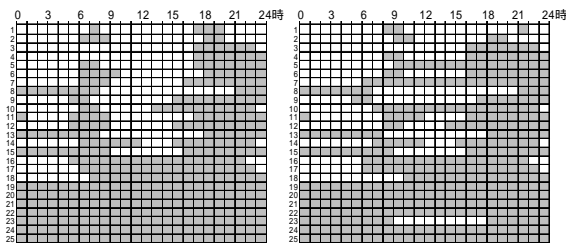
図4 各住戸及び建物全体の暖房負荷

(2) アンケート調査による生活スケジュールの把握

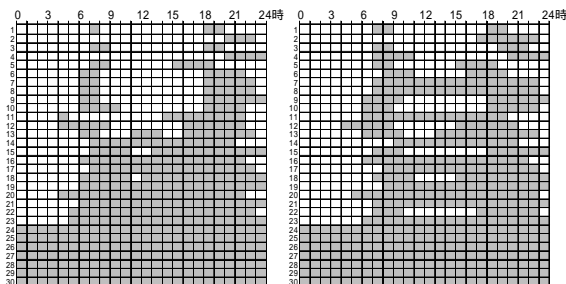
集合住宅における同時使用率は、居住者の住まい方(暖房や給湯の使用時間等)の影響を受けて変化する。このため、(1)で調査を行った集合住宅の居住者を対象にアンケート調査を行い、世帯構成、暖房・給湯の使用状況、生活スケジュールを聞いた。生活スケジュールは、冬の最も寒い時期の自宅における標準的なスケジュールを聞き、平日および休日における外出、就寝、食事、入浴、暖房使用の時間帯を1時間毎に回答してもらった。アンケート調査は2019年11月22日~12月6日の期間で実施した(回答率48%)。

調査した生活スケジュールの一例として、各住戸に設置されている暖房器(温水パネルヒーター)の使用時間を分析した。図5に回答数の多かった世帯である夫婦と子、有職夫婦、無職夫婦の暖房器の使用時間帯を示す。暖房の使用傾向としては、朝方と夜間のみ使用、朝方から夜間まで連続して使用、24時間連続して使用するケースが見られた。平日と休日の使用時間数を比較すると、ほとんど変わらないか休日の方が長くなる世帯がある一方で、外出により短くなる世帯もあった。また、世帯の傾向として、夫婦と子では育児を行っている世帯が多いため、24時間連続暖房や深夜の時間帯でも暖房を使用している世帯が多い傾向が見られた。

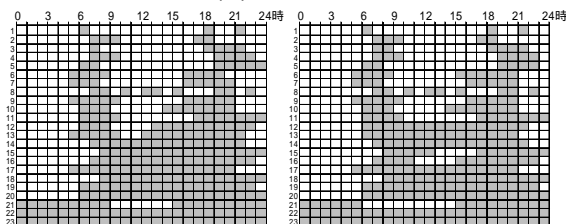
図6に世帯構成別の暖房使用時間を示す。図中では、回答数が10未満の世帯は分析の対象から除いた。平日は、夫婦と子、夫婦と成人、有職夫婦、無職夫婦の世帯において、約60%の住戸で12時間以上暖房を行っていた。そのうち、連続暖房を行っている割合が最も大きいのは、夫婦と子の世帯であった。また、休日は、夫婦と子、夫婦と成人、有職夫婦の世帯では、平日よりも休日の暖房時間が長くなる傾向が見られた。



(1) 夫婦と子

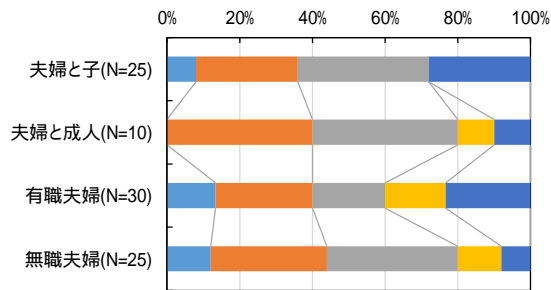


(2) 有職夫婦

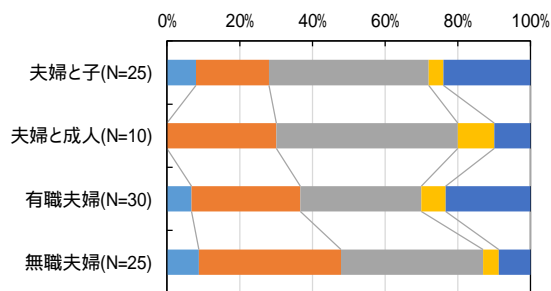


(3) 無職夫婦

図5 暖房器の使用時間帯（左図：平日、右図：休日、塗りつぶしている時間帯で暖房を使用）



(1) 平日



(2) 休日

図6 世帯構成別の暖房使用時間

(3) 同時使用率の確率論的算出手法の構築

集合住宅では、住戸数や居住者の世帯構成が変わると、住まい方により暖房の使用時間が変化するため、各住戸及び建物全体の暖房負荷が変化する。このため、集合住宅の住戸数や世帯構成が同時使用率に与える影響を評価するため、組合せ論に基づく同時使用率の確率論的算出手法を構築した。組合せ数が膨大になると、すべての組合せについて同時使用率の計算を行うことが困難であるため、無作為に組合せを抽出する手法を検討した。二乗平均平方根誤差を用いて誤差評価を行ったところ、100通りの組合せを抽出すれば誤差を小さくできることが分かった。構築した手法の詳細については、本研究に関する主な発表論文等を参照されたい。ここでは、(1)で調査を行った集合住宅の2018年度における最寒日の前後1週間を含む15日間の各住戸の暖房負荷データを用いて、同時使用率を検討した。

図7に同時使用率の算出結果を示す。図中では、各住戸の組合せから計算された同時使用率の平均値と標準偏差を示している。同時使用率は住戸数が増加すると、指数関数的に減少し、30～40戸以上の住戸数になると50%台で横ばいになった。

図8に同時使用率の変化率を示す。変化率は、住戸数が*i*戸と*i+1*戸における同時使用率の差から求めたものであり、変化率が0に近づくと値が収束していることを示す。変化率を見ると、住戸数が30戸以上になると、おおよそ0になった。つまり、住戸数が30戸以上になると、同時使用率はある一定の値に収束することが分かった。しかし、図7を見ると、30戸の場合も4.3%の標準偏差を有することから、世帯構成を変化させた場合の同時使用率を検討した。

まず、集合住宅の住戸数を30戸に設定した。入居開始当初は、全住戸で夫婦と子世帯が入居しており、子どもの独立に伴い、夫婦のみ世帯へと世帯構成が変化していくことを想定した。図9に解析結果を示す。夫婦のみ世帯が増えるにつれて、同時使用率は大きくなる傾向にあることが分かった。

次に、入居開始当初は、有職夫婦世帯が多く入居し、仕事の退職に伴い、無職夫婦世帯へと世帯構成が変化していくことを想定した。図10に解析結果を示す。無職夫婦世帯が増えるにつれて、戸数の少ない段階から同時使用率が大きくなることが分かった。30戸での同時使用率を比較すると、パターン1では52.4%であるが、パターン4では67.4%まで増加した。仕事を退職している世帯の占める割合が大きい集合住宅では、同時使用率が大きくなる傾向にあることが分かった。

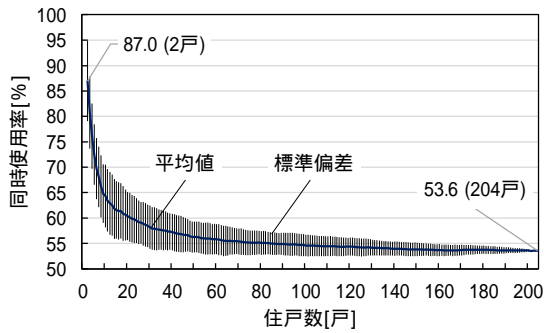


図7 同時使用率曲線

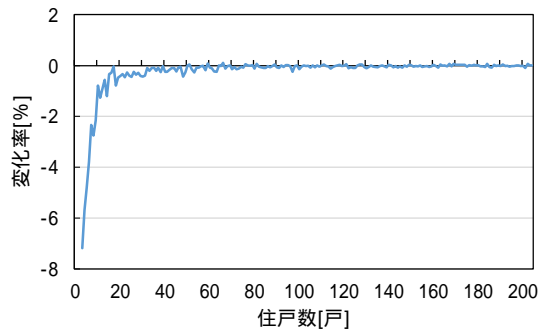


図8 同時使用率の変化率

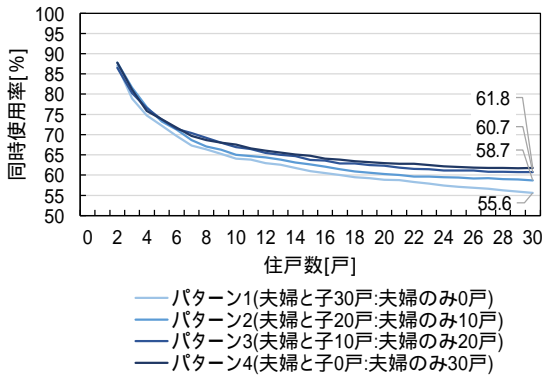


図9 同時使用率曲線

(夫婦と子世帯から夫婦のみ世帯への変化)

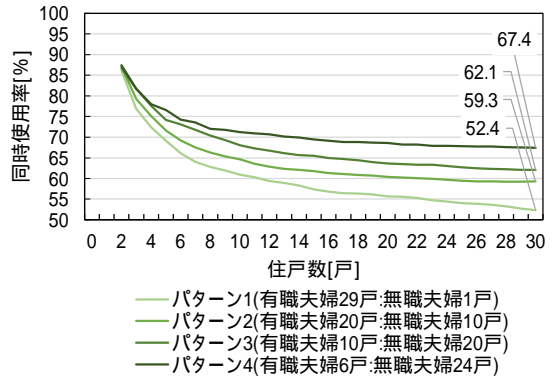


図10 同時使用率曲線

(有職夫婦世帯から無職夫婦世帯への変化)

(4) 同時使用率を考慮した熱源機器容量の最適化検討

(1) で調査を行った集合住宅の各住戸における暖房負荷データを用いて、同時使用率を考慮した熱源機器容量を検討した。表1に熱源機器容量の試算結果を示す。CASE2と3を比較すると、同時使用率を考慮することにより、実態に基づく時刻別熱負荷による設計とほぼ同程度の容量とすることができ、熱源機器容量の適正化につながることを確認した。

次に、熱源機器に真空式温水発生機を採用した場合のエネルギー消費量を試算した。試算にあたり、容量は表1の熱源機器容量をそのまま使用し、真空式温水発生機の部分負荷効率はメーカー公表値をもとに設定した。図11に熱源機器の平均負荷率とエネルギー消費量を示す。CASE1と3を比較すると、同時使用率を考慮した設計を行うことにより、一般的な設計に比べて熱源機器の負荷率が向上し、エネルギー消費量の削減に効果があることを示した。

表1 熱源機器容量の試算結果

	各住戸の最大熱負荷の集計値	建物全体の最大熱負荷	安全率	同時使用率	熱源機器容量
CASE1 一般的な設計	800kW	-	1.3	-	1,040kW
CASE2 時刻別熱負荷による設計	-	405kW	1.3	-	527kW
CASE3 同時使用率を考慮した設計	800kW	-	1.3	0.54	562kW

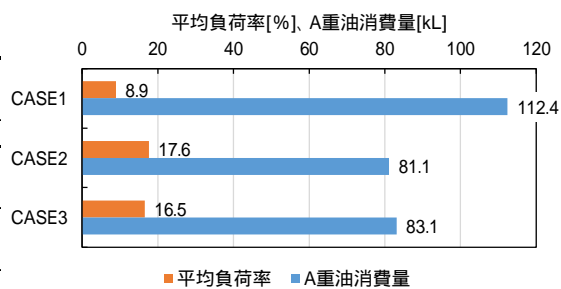


図11 平均負荷率とエネルギー消費量

<引用文献>

- 岡田光正：建築設備における同時使用問題の解法について，日本建築学会論文報告集，第65号，pp.106-112，1960.6
- 村川三郎：建築設備計画における給水負荷算定法に関する研究 その4 同時使用の解析と給水負荷の算定，日本建築学会論文報告集，第253号，pp.103-112，1977.3
- 空気調和・衛生工学会：空気調和・衛生工学便覧 4 給排水衛生設備編，第14版，2010
- 尾島俊雄，斎藤忠義，福島朝彦，佐土原聡：DHC給湯システムによる集合住宅の同時使用率に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），pp.921-922，1983.9
- 船田昌宏，森野仁夫，岡建雄：事務所ビルを対象とした冷温水の同時使用率 - ピークカットを考慮した同時使用率 - ，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp.451-452，1993.9

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 玉村壮汰, 菊田弘輝, 阿部佑平
2. 発表標題 中央熱源方式を採用した集合住宅の熱源機器容量の最適化 その5 同時使用率曲線の作成手法と世帯構成が同時使用率に与える影響
3. 学会等名 2022年度日本建築学会大会（北海道）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿部佑平, 菊田弘輝, 玉村壮汰
2. 発表標題 新型コロナウイルス感染拡大前後における集合住宅のエネルギー消費量の変化 - 札幌市内の中央熱源方式の集合住宅を事例として -
3. 学会等名 第95回日本建築学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 玉村壮汰, 菊田弘輝, 阿部佑平
2. 発表標題 中央熱源方式を採用した集合住宅の熱源機器容量の最適化 その3 住戸別MEMSデータを用いた負荷特性の把握
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会（東海）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部佑平, 菊田弘輝, 玉村壮汰
2. 発表標題 中央熱源方式を採用した集合住宅の熱源機器容量の最適化 その4 住戸別MEMSデータを用いたピーク負荷の把握
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会（東海）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉村壮汰, 菊田弘輝, 阿部佑平
2. 発表標題 中央熱源方式を用いた集合住宅における世帯構成毎の暖房・給湯の負荷特性
3. 学会等名 第94回日本建築学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉村壮汰, 菊田弘輝, 阿部佑平
2. 発表標題 中央熱源方式を採用した集合住宅の熱源機器容量の最適化 その1 MEMSデータを用いた熱源機器の運用実態の調査
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会(関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部佑平, 菊田弘輝, 玉村壮汰
2. 発表標題 中央熱源方式を採用した集合住宅の熱源機器容量の最適化 その2 冬期の生活スケジュールに関するアンケート調査結果
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会(関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 玉村壮汰, 菊田弘輝, 阿部佑平
2. 発表標題 中央熱源方式を用いた集合住宅における熱源機器容量の最適化に向けた研究
3. 学会等名 第93回日本建築学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 玉村壮汰, 菊田弘輝, 阿部佑平
2. 発表標題 中央熱源方式を導入した集合住宅の熱源機器容量の最適化に関する研究 第1報 熱源機器の運用実態と居住実態の調査
3. 学会等名 令和2年度空気調和・衛生工学会大会(福井)
4. 発表年 2020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	菊田 弘輝 (Kikuta Koki) (20431322)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	

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
---------	---------