

# 街区群の低炭素性能向上に向けた住宅ストック形成に関する研究

藤崎 浩太<sup>1</sup>・伊香賀 俊治<sup>2</sup>・富越 大介<sup>3</sup>・川久保 俊<sup>4</sup>

<sup>1</sup>非会員 慶應義塾大学大学院理工学研究科 修士課程学生

(〒223-8522神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)

E-mail: poppu@a6.keio.jp

<sup>2</sup>非会員 慶應義塾大学理工学部 教授・博士(工学)

(〒223-8522神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)

E-mail: ikaga@sd.keio.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 慶應義塾大学大学院理工学研究科 修士課程学生

(〒223-8522神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)

E-mail: tomi-dai@z5.keio.jp

<sup>4</sup>非会員 慶應義塾大学大学院理工学研究科 博士課程学生

(〒223-8522神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)

E-mail: s-kawakubo@kiu.biglobe.ne.jp

本研究では、都市と建築物単体の間のスケールである街区群に注目し、低炭素な街区群の実現に向けた住宅ストック形成の検討を行うための住宅起因CO<sub>2</sub>排出量の推計モデルの構築を目的とする。

ケーススタディの対象である名古屋市においてアンケート調査を実施し、その結果から住宅ストックの形成ケースとして現状・非集約・集約の3つを設定した。また、シミュレーションにより、各ケースの住宅起因CO<sub>2</sub>排出量および温熱環境快適性指標であるPMVを推計した。推計結果から、集約ケースの方が非集約ケースに比べ、5.5%のCO<sub>2</sub>の追加削減効果があることがわかった。またPMVの日変動は、集約ケースが非集約ケースに比べ小さいことがわかった。本モデルの構築により住宅ストック形成による影響をCO<sub>2</sub>排出量と室内の快適性の両側面から考察することが可能となった。

**Key Words :** CO<sub>2</sub> emissions prediction, online questionnaire survey, housing stock formation, low carbon neighborhoods

## 1. はじめに

我が国では、温室効果ガスの大幅な削減目標（福田首相（当時）：2050年までに1990年比60-80%削減、鳩山首相（当時）：2020年までに1990年比25%削減）を公表している。これに応じて産業・運輸・民生業務・民生家庭の各部門における低炭素化が求められており、中でも民生家庭部門は、世帯構成やライフスタイルが多様であることや、生活の快適性・利便性が求められる等の理由から、遅々として対策が進まず、同部門における低炭素化が喫緊の課題となっている<sup>1)</sup>。住宅単体の低炭素化については様々な研究や実証がされつつあるが<sup>2) 3)</sup>、それが実際に普及し、住宅ストックが形成された場合に、低炭素化が実際に達成されるか否かは、いまだ不明瞭で

ある。

そこで本研究では、都市と住宅単体の間のスケールである街区群に注目し、低炭素な街区群の実現に向けた住宅ストック形成の検討を行うために、街区群設計の基盤となる住宅内の様々な活動に起因するCO<sub>2</sub>排出量（以下、住宅起因CO<sub>2</sub>排出量と略記）の推計モデルの構築を目的とする。

## 2. 研究概要

低炭素な街区群の実現に向けた住宅ストック形成の検討および街区群設計のベースとなる住宅起因CO<sub>2</sub>排出量の推計モデルの構築を行うにあたり、本研究では名古屋

市におけるケーススタディによって検討を行った。

図1に研究フローを示す。まず、名古屋市における住宅ストックの現状を把握するために、名古屋市在住者を対象にインターネットアンケートを実施した。アンケート調査の結果を踏まえ、現状の住宅ストックから将来の街区群における住宅ストックの形成ケースを現状・非集約・集約の3つを設定した。

続いて、名古屋市の現状の住宅ストックに対して、設定したケースの低炭素効果を検証するために、AE-CAD・AE-Sim/Heat<sup>4) 5)</sup>という建築の温熱環境シミュレーションを行うことで暖冷房負荷が算出可能なソフトウェアを用いて、住宅の暖冷房起因CO<sub>2</sub>排出量を算出した。また、低炭素化のために街区群における居住者の室内の快適性が損なわれていないか評価するために、温度環境に関する6要素（空気温度、平均輻射温度、風速、相対湿度、着衣量、代謝量）から導かれる温熱環境快適指標であるPMV（Predicted Mean Vote）も併せて算出した。

さらに伊香賀らの開発した住宅内のエネルギー消費推計マクロモデル<sup>6)</sup>を用いて、暖冷房を除く、給湯・厨房・冷蔵庫・娯楽情報・家事衛生・照明起因CO<sub>2</sub>排出量をそれぞれ推計した。

この推計結果とソフトウェアを用いて算出した暖冷房起因CO<sub>2</sub>排出量を足し合わせることで、住宅起因CO<sub>2</sub>排出量を算出した。これら結果より、住宅性能・住宅ストックの違いによる低炭素効果・快適性について比較、検討を行った。

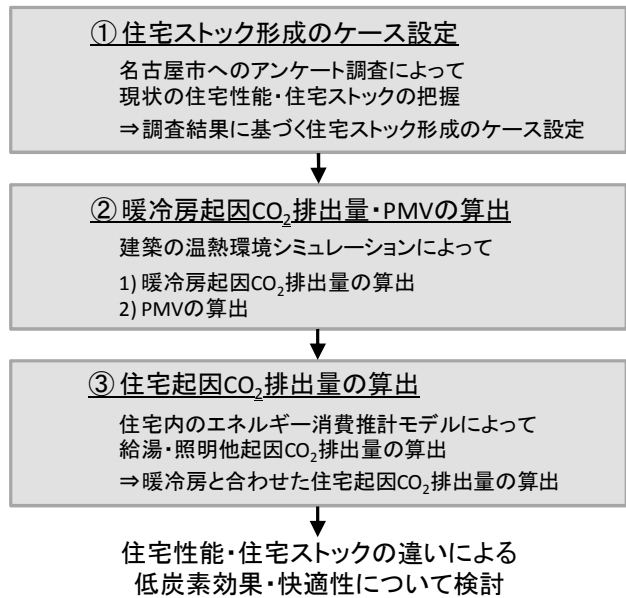


図1 研究フロー

表1 名古屋市の現状把握に向けたアンケート調査概要

実施期間	2011年12月9日～12日
調査方法	インターネットアンケート調査
調査対象	名古屋市在住の20代以上の男女
調査内容	① 転居前後・リフォーム前後における住宅性能（築年数、延床面積、構造等） ② 省エネ設備導入の有無（太陽光発電器等） ③ 個人の環境意識・社会規範等 ④ 住み替え時の住宅・都市における重要度および現在の住宅・都市の満足度（全67問）
サンプル	回収数：274 s

### 3. 名古屋市の現状把握に向けたアンケート調査

名古屋市在住者を対象に、転居またはリフォーム前における住宅性能・住宅ストックの把握を目的としたアンケート調査を実施した。転居・リフォーム前を調査することで、現状の名古屋市における住宅性能・住宅ストックの断熱性能を把握する。

表1にアンケート調査の概要を示す。回答者の条件として、①5年以内に転居し現在戸建住宅（新築注文住宅のみ）に居住している、または転居により現在戸建住宅に居住し5年以内にリフォームを行い、②住宅の購入・リフォームの決定権を持ち、③住宅に関わる専門知識を持たない回答者を抽出し、調査を行った。条件はそれぞれ①②転居・リフォーム前のより正確な実態・意識調査、③一般家庭の意識調査、を目的としている。このとき、①の条件で対象を戸建住宅居住者に絞った理由として、省エネ法で定められている住宅・建築物に係る措置において、集合住宅は省エネ措置の届出が義務化されている一方で、戸建住宅は省エネ措置の届出が未だ義務化されておらず、省エネ対策が十分ではないためである<sup>7)</sup>。

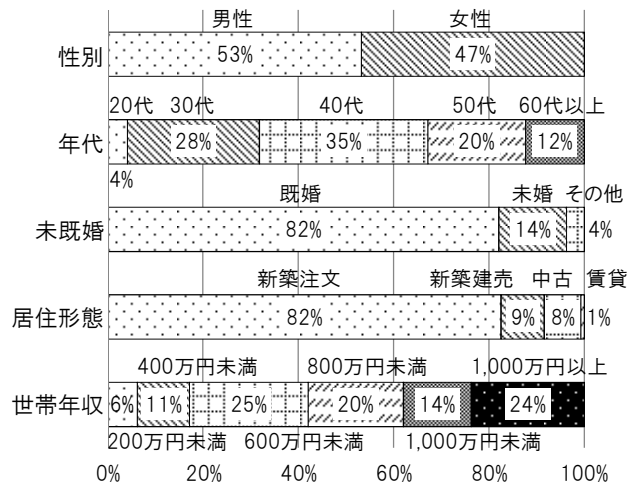


図2 アンケート回答者の属性（N=274）

図2に回答者の属性である性別・年代・未既婚・居住形態・世帯年収の割合を示す。性別・年代・世帯年収は大きな偏りがないようサンプリングを行った。

住宅性能・住宅ストックの現状を把握するために、既往研究を参考に、居間等の主要な部屋における窓サッシ

の材質及び窓ガラスの枚数を基に、現行の基準で定められている住宅の断熱性能を推定した<sup>8)</sup>。図3に示すように加算式として、合計点に応じて2点をS55年基準以前(旧基準以前)、3・4点をS55年基準(旧基準)、5点をH4年基準(新基準)、6・7点をH11年基準(次世代基準)とした。ただし例外として、築20~30年の窓が古い木製の建具または普通のアルミサッシで、かつ窓ガラスが1枚の住宅はすべてS55基準以前に分類した。

図4に転居・リフォーム前における住宅の断熱性能の推定結果を示す。転居前は、S55年基準以前・S55年基準を足し合わせた割合が80%、リフォーム前は92%と断熱性能が低いことがわかる。5年以内に転居またはリフォームをしたことを考慮すると、現状の名古屋市における住宅性能・住宅ストックは、H11年基準を満たす住宅は少なく、依然として断熱性能が低い住宅性能であると考察できる。そのため、現状の名古屋市における住宅性能・住宅ストックの断熱性能が低いということは、今後の転居やリフォームが行われる住宅も特段の対策を講じなければ断熱性能が低い住宅である可能性が高い。

#### 4. 住宅ストック形成ケースの設定

前章のアンケート調査結果より得られた、現状の名古屋市における住宅性能・住宅ストックを踏まえ、表2に本研究において設定した将来における住宅ストックの想定ケースを示す。①住宅性能が悪い戸建住宅(S55年基準以前)がストックされている現状ケース、②住宅性能が向上した戸建住宅(H11年基準)への更新を想定した非集約ケース、③現状ケースから住宅性能が向上した集合住宅(H11年基準)へ転居を想定した集約ケースである。全ケース共通で20世帯を想定した。非集約ケースは、街区郡内に低層住宅建築物が、集約ケースは、街区郡内に中高層住宅建築物が建設されたケースとして想定し、同世帯数の居住者が街区郡内で生活する際の住宅ストック形成の比較検討を行うことを目的としたケース設定である。

#### 5. 住宅起因CO<sub>2</sub>排出量の計算条件

前章で設定した各ケースにおける暖冷房起因CO<sub>2</sub>排出量を算出するために、AE-CAD・AE-Sim/Heatという建築の温熱環境シミュレーションを行うことで暖冷房負荷が算出可能なソフトウェアを用いた。図5にAE-CAD・AE-Sim/Heatの流れを示す。部位の材料・機器性能・在室者のライフスタイル等を設定した上で、1時間ごとの計算が可能である。部位の材料はケース別の断熱性能を満た

窓サッシの種類	得点	窓ガラスの枚数	得点
古い木製の建具	1点	単層(1枚ガラス)	1点
普通のアルミサッシ	2点	複層(ペアガラス)	2点
アルミの二重サッシ	3点	三層(トリプルガラス)	3点
断熱サッシ	4点	その他	-
その他	-	わからない	-
わからない	-		

断熱性能	得点
H11基準(次世代基準)	6点~7点
H4基準(新基準)	5点
S55基準(旧基準)	3点~4点
S55基準以前(旧基準以前)	2点

図3 断熱性能の推定方法

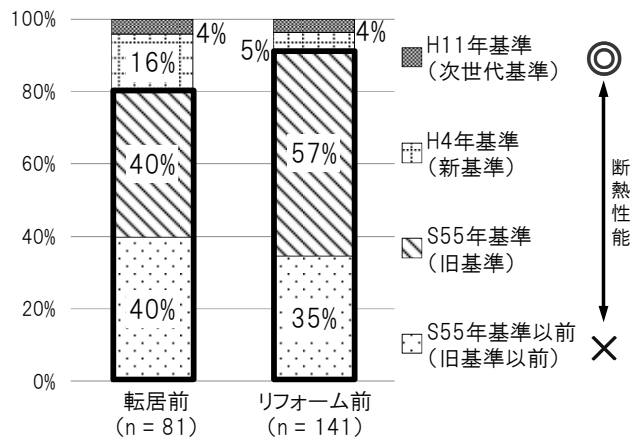


図4 転居・リフォーム前における住宅の断熱性能

表2 ケース設定

	現状ケース	非集約ケース	集約ケース
居住形態	戸建住宅(120m <sup>2</sup> )		集合住宅(80m <sup>2</sup> )
断熱性能	S55年基準以前	H11年基準	
世帯数	20世帯(集合住宅:1フロア4戸5階建て片廊下型)		
世帯人数	4人(夫婦+子供2人)		
気候条件	愛知県名古屋市		
冷暖房期間	冷房期間: 5月28日~9月26日 暖房期間: 11月7日~4月19日		
その他	機器性能・在室時間・人体(着衣量・代謝量)等 統一		

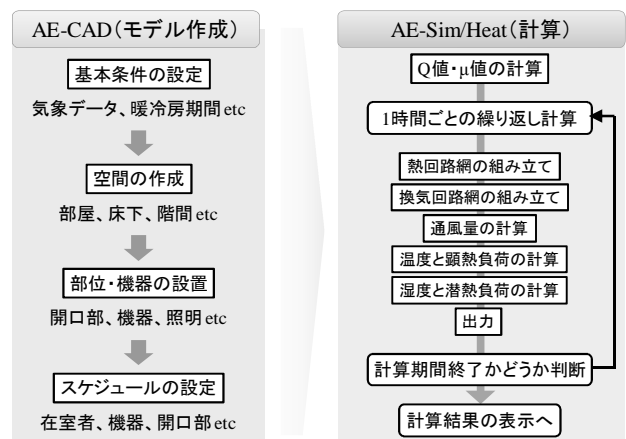


図5 AE-CAD・AE-Sim/Heatの流れ

すもの、機器性能は各ケースで統一し標準のエアコンを想定した。各部屋における時刻別の在室者数はNHK放送文化研究所の国民生活時間調査を参考に設定した<sup>9)</sup>。

計算対象の住戸モデルとして、図6に示すように戸建住宅には「建築学会標準問題モデル」の住戸モデル<sup>10)</sup>、集合住宅には「住宅の新省エネルギー基準と指針」の住戸モデル<sup>11)</sup>を用いて、モデル作成および計算を行い、暖冷房起因CO<sub>2</sub>排出量を算出した。

続いて、伊香賀らの開発した住宅内のエネルギー消費推計マクロモデルを用いて、暖冷房を除く、給湯・厨房・冷蔵庫・娯楽情報・家事衛生・照明起因CO<sub>2</sub>排出量を図7に示すフローでそれぞれ推計した。給湯は、使用水量原単位・給湯温度をシャワー・入浴等の行為別に設定し、世帯人数や行為頻度をインプットすることで、最終的にCO<sub>2</sub>排出量を推計する。照明他は各機器の定格消費電力に使用時間等をインプットすることで最終的にCO<sub>2</sub>排出量を推計する。マクロモデルにおけるライフスタイルは、空気調和・衛生工学会のSCHEDULE Ver.2を参考にしている<sup>12)</sup>。

ソフトウェアおよび既往研究のモデルを用いる際に、住宅性能の違いによって、住宅内の温熱環境が大きく変化することで、暖冷房の使用方法や給湯温度の設定などのライフスタイルに違いが生じる結果が明らかとなっているため、各ケースにおける暖冷房・給湯設定温度は表3のように設定した<sup>13)</sup>。なお、エネルギー源別CO<sub>2</sub>排出原単位は表4に示す値とした<sup>14)</sup> <sup>15)</sup>。電力のCO<sub>2</sub>排出原単位は、2010年度の値となるため、東日本大震災の影響は加味していない。

## 6. 住宅起因CO<sub>2</sub>排出量の算出結果

図8にソフトウェアを用いて算出した暖冷房起因CO<sub>2</sub>排出量と既往研究のモデルの推計結果を足し合わせた住宅起因CO<sub>2</sub>排出量を各ケース（20世帯の合計値）で比較したものを示す。現状ケースに比べ、住宅性能が向上した戸建住宅への更新を想定した非集約ケースについて、18.7%のCO<sub>2</sub>排出削減が確認された。また、現状ケースから住宅性能が向上した集合住宅へ転居を想定した集約ケースの場合、24.2%のCO<sub>2</sub>排出削減があり、これは非集約ケースの比べ、さらに5.5%のCO<sub>2</sub>の削減効果があることが確認された。

この削減効果は、集合住宅となることで、住戸が隣り合うため、住戸の熱損失が戸建住宅に比べ、減少した影響であると考えられる。以上の結果より、住宅性能の向上によるCO<sub>2</sub>排出削減に加え、集約させることでさらなるCO<sub>2</sub>排出削減となることがわかった。

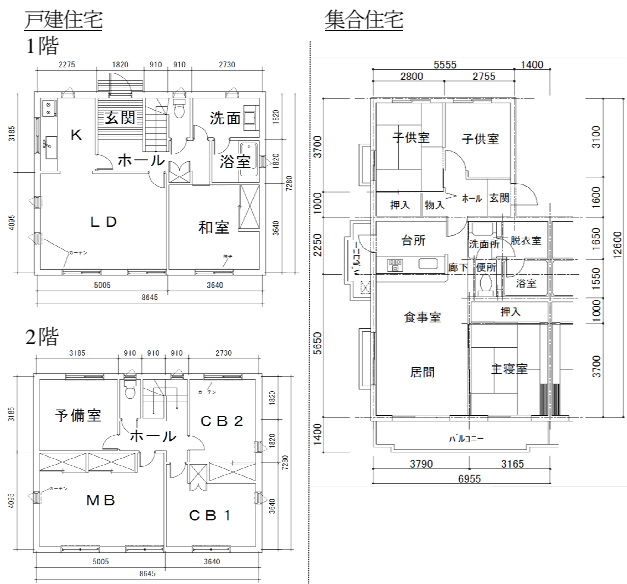


図6 住戸モデルの平面図 (左:戸建住宅 右:集合住宅)

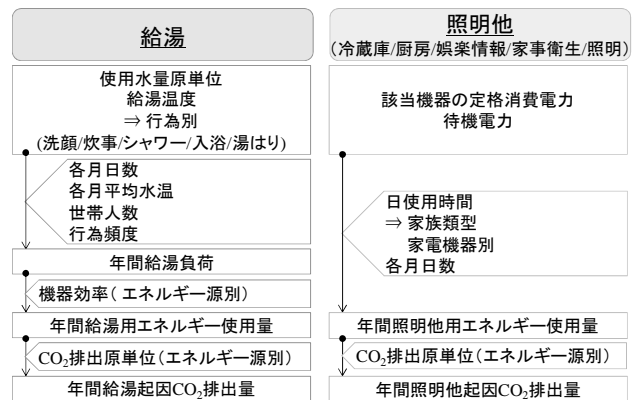


図7 CO<sub>2</sub>排出量の推計フロー

表3 各ケースのライフスタイル

	現状ケース	非集約・集約ケース
暖房設定温度[°C]	23.7	23.0
冷房設定温度[°C]	25.3	26.5
シャワー設定温度(夏/冬)[°C]	39.7/41.0	39.6/40.9
浴槽湯はり設定温度(夏/冬)[°C]	40.0/41.4	39.8/41.2

表4 エネルギー源別 CO<sub>2</sub>排出原単位

電力[kg-CO <sub>2</sub> /kWh]	0.473
都市ガス[kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ]	2.23
LPG[kg-CO <sub>2</sub> /kg]	3.00
灯油[kg-CO <sub>2</sub> /l]	2.49

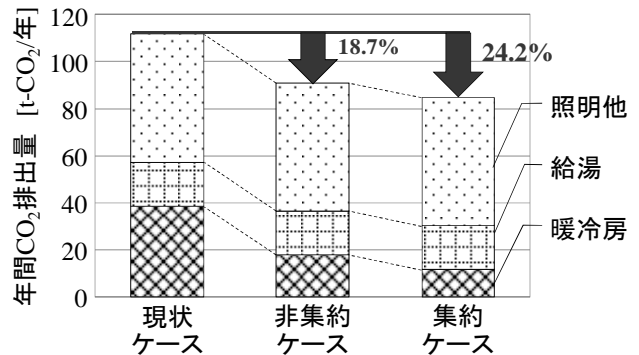


図8 ケース別の住宅起因CO<sub>2</sub>排出量の比較 (20世帯の合計値)

## 7. PMVの算出結果

温熱環境快適指標である PMV の算出結果を図 9 に示す。この結果は、ソフトウェアにおいてリビングダイニングに居住者がいる時間について、PMV の日変動を冷房期間（冷房を使用している期間）と暖房期間（暖房を使用している期間）でそれぞれ時刻ごとに平均し、ケース別に比較した結果である。この指標において快適域は -0.5~0.5 とされており、暑くなく寒くない適度な温熱環境であることを示す。冷房期間に関しては現状ケースが、暖房期間に関しては集約ケースが最も快適に近い環境となった。冷房期間に現状ケースが快適となった理由として、断熱性能が低い住宅のため、住戸の熱損失が大きい状態であり、夏場の熱を住宅内から逃がしていたと考えられる。暖房期間に集約ケースが快適となった理由として、集合住宅であるため、住戸が隣り合い、熱損失が少ない状態であったためであると考えられる。また、時間変化を見ると、戸建住宅を想定した現状ケースと非集約ケースに比べ、集合住宅を想定した集約ケースについては冷房期・暖房期ともに 1 日を通して変動が小さく、安定した室内環境が実現されていると考えることができる。これは、暖房期間に集合住宅が快適である理由と同様で、戸建住宅に比べて集合住宅は住戸が隣り合うため、熱損失が少なく、PMV が安定していると考えられる。

## 8. まとめ

本研究では住宅建築物から排出される CO<sub>2</sub> 排出量の予測モデルの構築を行い、開発したモデルによってケーススタディを行ったところ、住宅建築物単体の評価では、低炭素・快適性向上効果の双方の評価結果を総合的に判断すると、現状ケースから住宅性能が向上した集合住宅へ転居を想定した集約ケースが大きな効果を持つといえる結果となった。本モデルによって住宅形態に合わせた CO<sub>2</sub> 排出量の予測が可能となり、様々な住宅が混在する街区群における住宅起因 CO<sub>2</sub> 排出量を予測する際の基盤となるモデルを開発した。低炭素街区群の実現に向けて、建築物への設備投資という視点から太陽光発電器等の導入による低炭素効果などを考慮することで、より低炭素な街区群を実現するために必要な住宅ストックの評価を行うことが可能になると考えられる。

**謝辞:** 本研究は、環境省地球環境研究推進費 E-1105 「低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス（研究代表者：加藤博和）」の研究成果の一部であり、関係者の方々に多大なるご助言を頂いた。ここに記して謝意を表す。

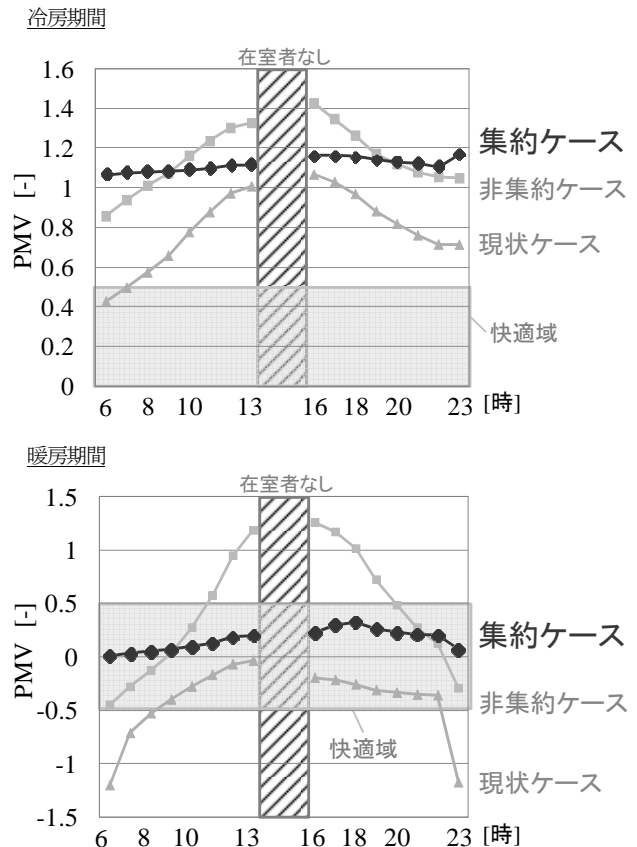


図9 ケース別のリビングダイニングにおける時刻別 PMV の比較  
(上: 冷房期間 下: 暖房期間)

## 参考文献

- 1) 国土交通省, 「低炭素社会に向けた住まいと住まい方」の推進方策について中間とりまとめ(案), 2012.4
- 2) 田中美穂, 李時桓, 加藤信介, 住宅開口部サッシ部へのダイナミックインシュレーションの適用とその省エネルギー効果, 日本建築学会環境系論文集 76(666), pp.689-696, 2011.8
- 3) 岩船由美子, 西尾健一郎, 住宅における暖房水準とエネルギー消費量の分析, 日本建築学会環境系論文集 75(650), pp.371-379, 2010.4
- 4) 株式会社 山内設計室, AE-CAD 操作マニュアル, 2006.9
- 5) 株式会社 山内設計室, AE-Sim/Heat 操作マニュアル, 2006.12
- 6) 伊香賀俊治, 三浦秀一他, 住宅のエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法の開発, 日本建築学会技術報告集, 第 22 号, pp.263-268, 2005.12
- 7) 財団法人省エネルギーセンター, エネルギー使用の合理化に関する法律 省エネ法 2010/2011, 2010
- 8) 一般社団法人 日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアム, 第一フェーズ(平成 19~21 年度)健康維持増進住宅研究報告書, pp.751-766, 2010

- |  |   |
|--|---|
| <p>9) NHK 放送文化研究所, 国民生活時間調査, 1990</p> <p>10) 宇田川光弘, 標準問題の提案—住宅用標準問題—, 日本建築学会第 15 回熱シンポジウムテキスト, pp23-33, 1985</p> <p>11) 住宅の新省エネルギー基準と指針, (財)建築環境・省エネルギー機構, 1997</p> <p>12) 空気調和衛生工学会, SCHEDULE Ver.2.0 —生活スケジュール自動生成プログラム—, 2000.3</p> | <p>13) 藤崎浩太, 伊香賀俊治他, 新築住宅購入者への費用便益提示による高断熱住宅普及率予測モデルの開発, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2012.2</p> <p>14) 環境省・経済産業省, 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver.3.2, 2012.4</p> <p>15) 環境省, 平成 22 年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表について, 2012.1</p> |
|--|---|

(2012. ?? 受付)

## STUDY ON HOUSING STOCK FORMATION TOWARDS LOW CARBON NEIGHBORHOODS

Kota FUJISAKI, Toshiharu IKAGA, Daisuke TOMIKOSHI and Shun KAWAKUBO

In this study, CO<sub>2</sub> emission prediction model for residential houses are developed to consider and design low carbon neighborhoods focusing on town block scale between city scale and individual building scale.

CO<sub>2</sub> emissions due to the activities inside a house and PMV (Predicted Mean Vote), an indicator of comfortable thermal environment are estimated through conducting a simulation with the model. 1) BAU (Business as usual) case; a case which residents keep living in a current detached house, 2) Decentralized case; a case which residents live in a better thermal insulated house and 3) Centralized case; a case which residents live in a well insulated condominium building are set for the aforementioned simulation based on the results of the questionnaire survey in Nagoya City. Estimation results show that CO<sub>2</sub> emissions in the centralized case are 5.5% lower than that of in the decentralized case. In addition, daily range of PMV was smaller in the centralized case than the decentralized case. It is now possible to consider the effects of forming housing stock from the following two aspects, 1) CO<sub>2</sub> emissions and 2) indoor thermal comfort.