

在宅勤務によるエネルギー消費の変化

大阪大学大学院工学研究科

山口容平・下田吉之

1. 研究の背景・目的

テレワークの普及はエネルギー需要を変化させうる社会的変化である。オフィスビル勤務者がテレワークを実施することを想定した場合、オフィスビルでは個人使用の機器のエネルギー消費量が減少し、そのエネルギー消費は自宅に移る。同じエネルギー性能を持つ PC で業務を行った場合、エネルギー消費量の合計値は変化しないが、オフィス、自宅ともに照明や空調などのエネルギー消費が変化すると考えられる。したがって、テレワークの実施によるエネルギー消費量の増減を評価する場合、事務所におけるエネルギー消費の減少量と、自宅におけるエネルギー消費の増加量の和がどのように変化するか明らかにする必要がある。

オフィスビルにおける照明や空調などのエネルギー消費は、執務者個人が使用している照明器具を除いて、空間を単位として稼働が決定される。そのため、一人の執務者がテレワークを行ったとしても、その稼働状況、エネルギー消費量は大きく変わらないことも考えられる。一方、フリーアドレス化等を活用し、稼働するフロアの床面積を減少させることができれば、大きなエネルギー消費量の削減が可能であると考えられる。

自宅における照明、空調のエネルギー消費の変化は、住宅仕様やテレワークで使用する部屋によって異なると考えられる。その理由は、照明、空調のエネルギー消費は住宅戸建・集合の別、規模、断熱性能等によって異なるためである。加えて、同居者が昼間に在宅していて（専業主婦など）、執務者が使用する室を同居者と共有する場合、エネルギー消費量の増加は限定的であると考えられる。

このようにテレワークの普及によるオフィスビル、自宅のエネルギー消費の増減は様々な条件に影響を受ける。このような背景から、Shimoda ら¹⁾は上記の条件を考慮可能なボトムアップ型のエネルギー需要シミュレーションモデルを用いて住宅、オフィスビルのエネルギー消費の変化を定量化し、大阪市においてテレワークが普及することによってもたらされるエネルギー消費量の変化を定量化した。加えて、テレワークの普及を機会としてとらえ、フリーアドレス化などによるオフィスビルの減床によりもたらされるエネルギー消費削減効果を定量化した。この結果、大阪市全体では、テレワークの普及により、住宅のエネルギー消費増、オフィスビルのエネルギー消費減が相殺され、合

計値では1%未満の増加となること、オフィスの稼働面積を削減することによりエネルギー消費量を1%減少可能であることを明らかにした。本報告はその検討を踏襲しているものであるが、Shimoda ら¹⁾が発表された2007年以降に加えられた以下の改良を含め、再度テレワークの効果を定量化した結果を報告する。

- 住宅における住宅、世帯、機器・設備ストックの多様性の考慮と年間エネルギー需要推計、時刻別エネルギー需要の推計精度の向上²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾
- 住宅居住者の生活行為シミュレーションの高度化（精度向上及び世帯構成員の属性に応じた時間の使い方の差異の考慮）¹⁰⁾¹¹⁾
- オフィスビル滞在者の滞在スケジュールの生成モデルの開発等による年間及び時刻別エネルギー需要推計精度の向上¹²⁾¹³⁾

ただし、本検討では初期的な検討にとどめており、東京に立地する住宅、オフィスビルを想定し、住宅ではオフィス勤務者1名が居住する2人世帯のみを対象とした。また、テレワークの形態として「在宅勤務」を想定し、その他の形態は考慮しなかった。移動に係るエネルギー消費量は含めていない。

以下では、2章に方法の概要を説明し、3章に結果を示す。4章に主な結論をまとめる。

2. 方法

評価方法として Shimoda ら¹⁾と同様にシミュレーションを用い、自宅における在宅勤務、オフィスにおけるフリーアドレス化の実施方法に関するケースを複数想定し、住宅、オフィスのエネルギー消費量を推計し、その合計値の差異を定量化した。なお、推計においては次の前提を置いた。

- 評価の性質上、自営型の在宅勤務は評価の対象外とする。
- 勤務先はオフィスビルを想定する。
- テレワークの実施については、7日の勤務に対して2日の比率で実施するものとした。

以下では、オフィスビルと自宅における在宅勤務の想定と、エネルギー需要の推計方法を説明する。

2. 1 オフィスビル

標準的なオフィスの場合、執務室のスペースは延床面積の7割程度であり、延床面積1万㎡のオフィスビルを想定すると、1万㎡の延床面積に対して7千㎡が執務室となる。また、執務室の使用人数は、0.1人/㎡程度であり¹⁾、執務者数は700人となる。ここで、テレワーク実施者が200人程度であることを想定すると、オフィス執務室における執務者滞在密度は0.1人/㎡×5/7で0.07人/㎡程度となる。この程度の密度の減少に伴う照明、空調用エネルギー消費の減少は限定的であると考えられる。

そこで、フリーアドレスの導入を考慮し、執務者の減少に対して稼働する床面積を減少させることを検討する。テレワーク実施前の執務室人員密度0.1人/㎡を上限とした場合、200人の減少により減少させることができる床面積は200[人] × 0.1[人/㎡]=2千㎡となる。このような減床が実現された場合、オフィス執務者ひとりの滞在による住宅、オフィスビルのエネルギー消費の差異によりエネルギー消費が変化することになる。

(1) 計算ケース

表1に示す3ケースを想定する。ケースはテレワークの有無とフリーアドレス化の有無で条件が分かれている。Case1はテレワークを想定していない。Case2はテレワークを想定するが、フリーアドレス化は考慮しない。Case3ではフリーアドレス化の導入を考慮する。なお、Case3では後述するオフィスビルモデルの都合上、8階建てのオフィスフロアのうち、中間階2フロアを使用しないものとし、使用しているフロアではCase1と同じエネルギー使用が行われるものとした。そのため、厳密には、Case2とCase3では同じ人数のテレワーク実施者を想定できていない。Case3では、テレワーク実施者数によって利用するフロアの床面積が減少し、稼働しているフロアでは同じエネルギー消費が維持されるため、この関係を利用して、Case2と同じ人数がテレワークを実施した場合のエネルギー消費量を算出した。具体的には、(Case1からCase3のエネルギー消費量削減量) / Case3のテレワーク実施者比率(25%) × Case2テレワーク実施者比率(29%)を算出し、これをCase3補正とした。

表1 オフィスビルの計算ケース

ケース	テレワークの有無	フリーアドレス化の有無
Case1	なし	なし
Case2	あり	なし
Case3	あり	あり
Case3 補正	あり	あり Case2とテレワーク実施者数を合わせたケース

表2 対象としたオフィスビルの概要

項目	概要
延床面積・階数	13,873 ㎡, 地上8階
立地	東京
オフィス執務者数, 執務室人員密度	1,040人, 0.1人/㎡
テレワーク実施時の執務者数(最大人数)	Case2 743人(1,040人×5/7) Case3 780人(1,040人×6/8)
執務室在室時消費電力量	90W/人
フロア平面図・外観	図1の通り
空調設備	ビル用マルチエアコン

今回の検討に用いたオフィスビルの計算条件を表2に示す。今回の検討では、オフィスビルの在室1名当たりの電力消費は90Wとした。この電力消費はPC、モニタ、手元照明などを含むものであるが、この電力消費がオフィスにおいて減少し、自宅に移ることを想定する。複数人で共有されていると考えられるプリンター、モデル・ルータ、オフィスサーバ、ディスプレイなどの変化は想定していない。

(2) エネルギー需要推計の方法

エネルギー需要推計にはアメリカ Department of Energy が開発している EnergyPlus 8.6¹⁵⁾を用いた。なお、気象条件は前述の地域区分に対応して東京の気象台で観測された2013年アメダスデータ¹⁶⁾から作成した。オフィスビルの仕様はKimら¹³⁾の方法により設計したものである。また、本モデルでは、施設利用者の滞りに起因するエネルギー需要を施設利用者の滞在スケジュールに基づいて決定した。滞在スケジュールはKoら¹²⁾が開発したモデルを用い、施設利用者別に乱数生成する。このモデルでは到着時刻と滞在時間数の頻度分布を用いるが、これらの分布は都市圏単位で人の移動を調査したデータベースである第5回近畿圏パーソントリップ調査¹⁷⁾を用いて作成しており、滞在時間のばらつきを考慮してエネルギー需要を推計することができる。

照明・コンセント機器・空調・熱源の稼働スケジュールは表3に示す条件により、施設利用者の滞在スケジュールに基づいて決定した。これにより、現実的な電力需要の変化パターンを設定することができる。

2. 2 住宅

テレワークの実施による住宅の照明、空調のエネルギー消費の変化は大きく次に説明する3つの条件に影響を受けると考えられる。テレワークの影響の評価においてはこれらの条件を考慮する必要がある。

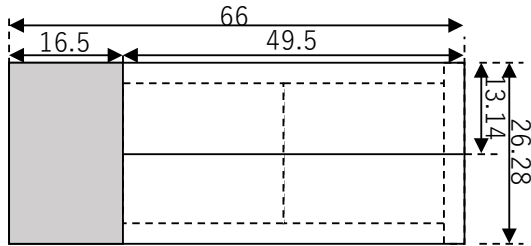
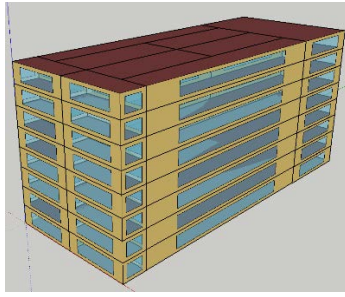


図 1 オフィスビルの外観・平面図

表 3 機器稼働条件

用途	稼働条件
照明	ゾーン内に1人でも人がいたら稼働
機器	機器容量を最大値とし、在室率に比例して稼働
空調機	ゾーン内の在室率が10%を越えたら稼働

住宅の条件 照明、空調の電力消費は稼働状況と稼働時消費電力に分解することができる。住宅の条件は稼働時消費電力に大きな影響を及ぼす。テレワーク実施者が広い部屋で仕事を行う場合、その面積に比例して照明の稼働時消費電力は大きくなると考えられる。空調の稼働時消費電力は熱負荷とエアコンのエネルギー性能により決定されるが、熱負荷は気象条件、住宅の断熱性能、住宅の集合・戸建ての別、規模、形状、住宅の隣接条件などに影響を受ける。

世帯の条件 テレワークに起因する照明、空調の稼働状況の変化は世帯の条件に依存する。テレワーク実施時に同居者がいない場合、照明、空調は非稼働状態から稼働状態になり、テレワーク実施時間数が稼働時間数の変化分となる。一方、テレワーク実施時間中に同居者が在宅の場合、その時間数は稼働時間が変化しない。このように世帯の同居者の在宅状況により稼働時間の変化に伴う照明、空調のエネルギー消費量の変化は異なることになる。

テレワークの実施部屋 照明、空調の稼働状況、稼働時消費電力は、テレワークを実施する部屋で異なる。リビング、個室では稼働時消費電力が異なり、同居者がいる世帯でテレワークを実施する場合、リビングなどの共用室では前述の世帯条件と同じ理由で照明、空調の稼働時間数の変化が異なる。

(1) 計算ケース

これらを考慮するため、これらの条件の下で、男性のテレワークの実施を想定した。テレワークの実施場所としてリビング、個室を考慮する。想定したケースを表 4 に示す。また、表 5 に示す 4 つの世帯の条件を考慮した。簡易化のため、世帯は 2 人世帯とし、男性は事務職でオフィスに勤務しているものとする。世帯構成として共働き、片働きを考慮し、共働きの場合、女性はフルタイムで勤務、片働きの場合は専業主婦であるとした。住宅仕様として集合・戸建ての別のみを考え、住宅は共通で 2LDK とし、断熱性能は次世代基準を満たす水準とした。

表 4 住宅の計算ケース

ケース	テレワークの実施	テレワークの実施場所
Case1	なし	考慮なし
Case2	あり	リビング
Case3	あり	個室

表 5 想定した世帯の条件

世帯番号	世帯構成	集合戸建ての別	共通事項
Household_1	共働き	集合住宅	2LDK、二人世帯（共に 30 代）
Household_2	共働き	戸建住宅	
Household_3	片働き	集合住宅	男性：事務職、女性：販売業（フルタイム） 居住地域：都市部 住宅所有：持ち家
Household_4	片働き	戸建住宅	

本推計においては表 6 の条件を想定した。男性、女性の行動に関する想定は以下のとおりである。

- 女性の行動や実施場所は男性のテレワークの実施に伴って変化しないものとした。
- 男性がテレワークを実施する場合、通勤時間をゼロとし、Case1 における仕事の時間と同じ時間数仕事を行うものとする。なお、Case1 においては、通勤時間は都市部に住む 30 代のオフィス勤務男性の平均的な時間の使い方（詳細は次節に説明する）を想定した。
- Case2、Case3 では、通勤時間の減少により在宅時間が増加する。在宅時間中の生活行為はその時間帯に自宅行われる平均的な生活行為が実施される¹⁰⁾。

表 6 住宅計算条件

項目	設定
住宅規模・間取り	延床面積 集合住宅 49.7 m ² 図 2 上 戸建住宅 66.3 m ² 図 2 下
断熱	次世代基準を満たす断熱仕様とする
エアコン容量・性能	リビング：設置あり。容量 2.2 kW 個室：設置あり。容量 2.2 kW リビング、個室エアコン定格 COP：冷房 5.1、暖房 5.7

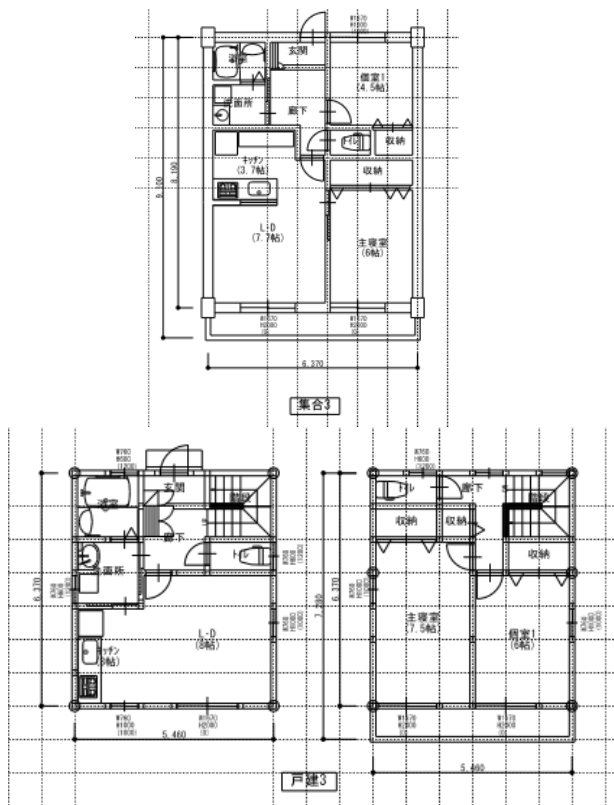


図 2 考慮した住宅の間取り（上：集合、下：戸建）

(2) エネルギー需要推計方法

エネルギー需要の推計には Total Residential End-use Energy Simulation (TREES) モデル⁸⁾⁹⁾を用いた。モデルの概略図を図 3 に示す。モデルではまず推計対象の住宅に居住する世帯構成と各世帯員の属性を決定する。各世帯では、世帯構成員の生活行為を 5 分間隔で確率生成し、生活行為生成結果に基づいて機器の稼働を決定し、各機器のエネルギー消費量を定量化する。最後にその合計値として世帯のエネルギー需要を定量化する。

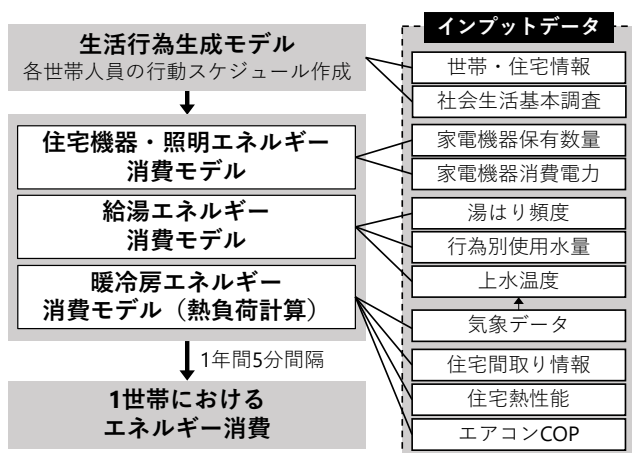


図 3 TREES の概要

世帯員別の生活行為は Yamaguchi ら¹⁰⁾の生活行為生成モデルを用いて生成した。生活行為は睡眠、仕事、外出、テ

レビ視聴など約 40 種別に分類されている。本モデルでは時刻別の行為種別実施確率などの生活行為生成パラメータを入力条件として用いるが、各パラメータは総務省社会生活基本調査の個票データに基づいて構築されたロジスティック帰帰モデル¹¹⁾により与えられる。当帰帰モデルは居住者属性・世帯属性・居住地域を説明変数としており、計算対象世帯の特徴を反映して生活行為を生成することができる。機器稼働は行為実施時の機器操作確率 P_o 、機器稼働が行為に依存しないプログラム稼働機器（洗濯機、乾燥機、炊飯器、食器洗い乾燥機）については機器操作開始確率 P_s の帰帰モデルを用い、ランダムに機器稼働の有無を決定する¹⁸⁾。行為関連稼働機器については行為実施時の全タイムステップで P_o を用いて乱数で機器稼働を決定する。プログラム稼働機器については全タイムステップにおいて P_s を用いて乱数で機器稼働の開始を決定し、稼働継続時間を洗濯機 45 分、乾燥機 90 分、炊飯器 45 分、食器洗い乾燥機 70 分としてタイムライン上に配置する。各個人での機器使用を判定し、その結果を世帯の居住者全員で集約し、当該タイムステップにおける機器の稼働を判定する。ただし、電気トースターと炊飯器の稼働は同時には稼働しないと考え、両機の同時稼働はないものと想定した。機器の消費電力、保有台数等は世帯別に想定している。詳細は杉山ら⁷⁾に詳しい。また、エアコン、照明の稼働は在室時のみに利用するものと誌、自然室温、自然照度を算出し、稼働の有無を判定している。

3. 結果

3.1 オフィスビルのエネルギー消費

図 4 に計算対象としたオフィスビルの年間一次エネルギー消費量を示す。延床面積により原単位化して表示している。Case1 の年間一次エネルギー消費量は $1,155 \text{ MJ/m}^2$ である。Case2 により 90 MJ/m^2 が削減されている。主な削減は機器と照明であり、それぞれ 45 MJ/m^2 程度が削減された。一方、暖冷房では暖房が 22 MJ/m^2 増加し、冷房が 26 MJ/m^2 減少した。これは、内部発熱の減少に起因する。

2. 1 節に説明したように、Case2 と Case3 では同じ人数のテレワーク実施者を想定できていない。Case3（補正）ではテレワーク実施人数を Case2 と合わせている。Case3（補正）では 258 MJ/m^2 が削減され、削減量は 3 倍弱増加した。機器の削減量は Case2 と同じであるが、照明は 2 倍で Case1 よりも 96 MJ/m^2 の削減、暖房、冷房では Case1 から 119 MJ/m^2 減少した。この結果より、Case2 と Case3 の差異は照明、暖冷房に生じるといえる。

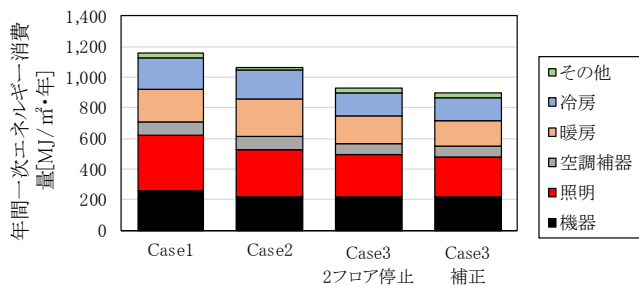


図 4 オフィスビル年間一次エネルギー消費量原単位

3. 2 住宅のエネルギー消費

図 5 に住宅の年間一次エネルギー消費量推計結果を示す。図では燃料種別に推計結果を表示している。Case1 はテレワークを想定しないケースであり、最もエネルギー消費量が小さい。いずれの条件においても Case2、Case3 の順でエネルギー消費量が大きく、個室よりもリビングのエネルギー消費量が大きいと推計された。ただし、テレワークの実施自体のエネルギー消費量の増加に比較するとその変化量は小さい。

この要因を明らかにするため、一次エネルギー消費量の用途別の内訳を図 6 に示す。図からわかるように、Case1 から Case2 の変化の最も大きな要因は、凡例の「家電」に含まれる、テレワークの実施による直接的な電力消費 (PC 等) である。家電用途が世帯全体のエネルギー消費に占める割合は 20%程度であり、Case1 から Case2 による変化は全体の 10%程度となった。Case2、Case3 の差異は照明、暖冷房の差異によるものである。そのほかのポイントは以下のとおりである。

- リビングの床面積は個室よりも大きく (図 2)、照明の稼働時消費電力はリビングのほうが大きい。また、集合住宅よりも戸建住宅の電力消費の増加が大きい。そのため、全ケースにおいて Case2 のほうが Case3 よりも照明の電力消費が大きくなった。また、共働きと片働きでは Case1 の電力消費量に差異があり、共働きのほうが Case1 から Case2 への増加量が大きい。
- 暖冷房の変化は Case2、Case3 で同程度となった。基本的に戸建住宅のほうが集合住宅よりも暖冷房のエネルギー消費が大きく、テレワークの実施による増加量も大きい。Case1 からの増加量が最大となったのは片働き、戸建住宅、Case3 の組み合わせであり、704 MJ/世帯の増加であった。増加量は世帯構成、集合・戸建の別で若干異なるが、照明ほど大きな差異は見られなかった。この理由は、暖冷房の熱負荷は蓄熱され、期間の積算負荷により暖冷房用のエネルギー消費が決まっているためであると考えられる。つまり、共働きでも片働きであっても、一日のうちにエアコンが稼働

するのであれば、そこで蓄熱が処理されるため、エネルギー消費に大きな差異が表れないと考えられる。

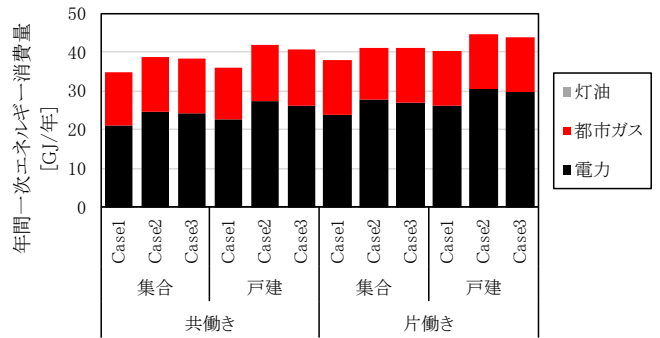


図 5 住宅の年間一次エネルギー消費量 (燃料種別)

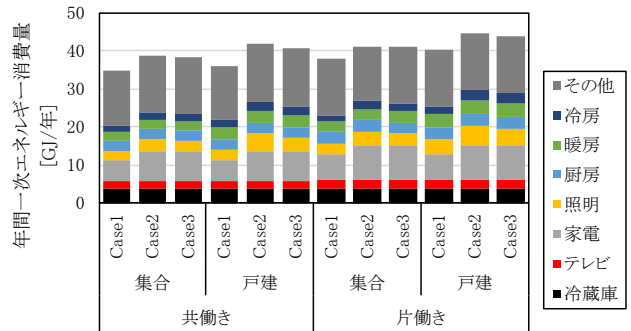


図 6 住宅の年間一次エネルギー消費量 (用途別)

3. 3 オフィス・住宅のエネルギー消費量合計

図 7 に対象としたオフィスビル利用者のオフィスビル、住宅の年間一次エネルギー消費量合計値を示す。上の図は消費先別、下の図は使用用途別の結果である。ここでは、オフィスビルは 1 棟分の総エネルギー消費量、住宅についてはオフィス利用者 1,040 人の全世帯のエネルギー消費量を示している。住宅については全世帯が 2.2 節に説明した世帯構成であり、同住宅に居住していることを想定した。また、表 5 に示した Household_1、Household_2、Household_3、Household_4 は同数であることを想定した。つまり、集合・戸建の別、共働き・片働きの世帯数はそれぞれ同数であることを想定した。図の横軸はオフィスビルと家庭部門のテレワークのケースを表す。結果の概要は以下の通りである。

- オフィスビルの Case2 (テレワークによりオフィス執務室の人員密度が減少するケース) の場合、オフィスビル、住宅のエネルギー消費量の合計値はテレワークがないケース (オフィス、住宅ともに Case1) と比較してエネルギー消費量は大きく変化しない。つまり、オフィスにおけるエネルギー消費量の増加分と住宅における減少分は同程度である。
- テレワークの実施に伴うオフィスビルの執務室人員密度の減少に合わせて減床を行った場合 (オフィスの

Case3)、一次エネルギー消費量は大きく減少している。省エネルギー効果は Case1 に対して住宅の Case2 で 4.2%、Case3 で 4.5%である。

- 本結果は、テレワークの実施に伴い、執務スペースの床面積を適切に管理することによりエネルギー消費を削減可能であることを示唆する。この理由は、3.1節に示したとおりであるが、減床による効果は特に暖冷房のエネルギー消費に表れる。暖冷房の熱負荷は蓄熱され、また、内部発熱の変化は冷暖房負荷のバランスを変化させるものの、合計値を大きく変化させない。そのため、住宅、オフィスビルで稼働する空間が同じであればエネルギー消費は同程度となる。そのため、暖冷房が実施される空間を減少させる減床が効果をもたらしたと考えられる。

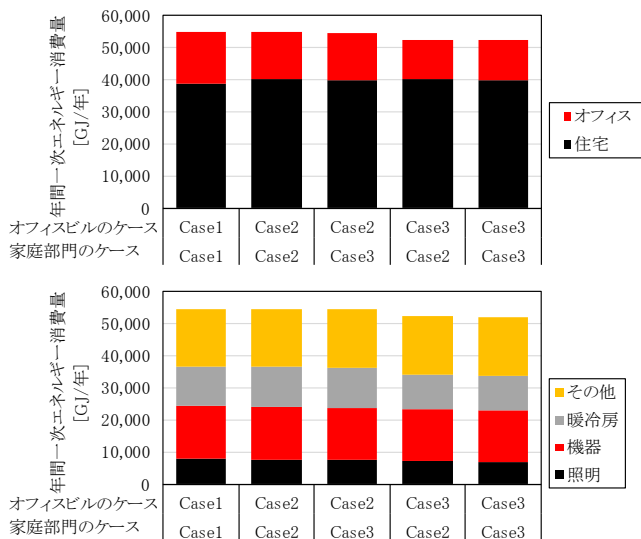


図7 オフィスビル、住宅の年間一次エネルギー消費量合計値 (上:消費先別、下:使用用途別)

4. まとめ

本研究では、テレワークの普及によるオフィスビルおよび住宅のエネルギー消費がどのように変化するかシミュレーションにより評価した。得られた知見は以下の通りである。

- テレワークの普及は住宅におけるエネルギー消費を増加させ、オフィスビルにおけるエネルギー消費を減少させる。テレワークの実施によりオフィスにおける執務室の人員密度が減少する場合、住宅におけるエネルギー消費の増加量とオフィスにおけるエネルギー消費の減少量は同程度である。この結果として、エネルギー消費量の合計値は大きく変化しないと考えられる。
- オフィスにおける執務室の人員密度の減少に合わせ

て稼働するオフィス執務室床面積を減少させられる場合、エネルギー消費量の合計値を削減することができる。今回のテレワークの実施人数の想定 (2/7) では省エネルギー効果は 4.2%~4.5%であり、テレワークの実施率 10%当たりに換算すると 1.4%~1.6%程度となる。この結果は、テレワークの実施に伴って生じる人員密度の減少に合わせて稼働する床面積を管理することにより、エネルギー消費量を削減可能であることを示唆する。

なお、一つ目の知見は 2007 年の Shimoda ら¹⁾における推計と同じものであるが、二つ目の知見で述べたオフィス執務室床面積の減少による省エネルギー効果は Shimoda ら¹⁾の推計よりも若干大きな数字であった。この差異は、Shimoda ら¹⁾の推計では大阪市に立地するすべての住宅、オフィスビルを対象にしており、また、比較的大型のオフィスビルを含み個別熱源方式と中央熱源方式の両方を考慮していたのに対して、本推計ではオフィスでの執務者数と住宅のオフィス執務者数を合致させて推計しており、また、執務者の滞在状況によりエネルギー消費が変化を受けやすい個別空調方式のみを考慮したことなどに起因する。このことから、本推計による省エネルギー効果はやや過大である可能性がある。この点を位置づけるためには、オフィス利用者、住宅居住者がある程度全体をカバーできるように都市圏スケールでの分析を行うことが有効であると考えられる。この確認を今後の課題とする。

謝辞

本研究は環境省「令和元年度民生部門における脱炭素化対策・施策検討委託業務」の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) Shimoda Y. et al. Effect of telecommuting on energy consumption in residential and non-residential sectors, Proceedings of Building Simulation 2007. (2007)
- 2) Shimoda Y, Okamura T, Yamaguchi Y, Yamaguchi Y, Taniguchi A, Morikawa T. City-level energy and CO₂ reduction effect by introducing new residential water heaters. Energy 2010;35:4880-91. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.043>.
- 3) Taniguchi A, Inoue T, Otsuki M, Yamaguchi Y, Shimoda Y, Takami A, et al. Estimation of the contribution of the residential sector to summer peak demand reduction in Japan using an energy end-use simulation model. Energy Build 2016;112:80-92. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.11.064>.
- 4) Shimoda Y, Taniguchi-Matsuoka A, Inoue T, Otsuki M, Yamaguchi Y. Residential energy end-use model as evaluation tool for residential micro-generation. Appl Therm Eng 2017;114:1433-42. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.066>.
- 5) 松岡綾子, 山口容平, 上林由果, 下田吉之 (2019). 世帯属性情報に基づく湯はり頻度予測モデルの構築, 空調調和・衛生工学

会論文集, No. 264, pp. 35-44

- 6) 松岡綾子, 杉山みなみ, 桃木貴志, 下田吉之: 長期エネルギー需給見通しにおける家庭部門 CO2 排出削減見込み量の検証, 日本建築学会環境系論文集, 84 巻 757 号(2019-3), pp323-333
- 7) 杉山みなみ, 下田吉之, 山口容平: 家庭部門エネルギー需要シミュレーションによる 2050 年ゼロエミッション実現可能性の検討, 日本建築学会環境系論文集 85 (2020) pp. 289-98. <https://doi.org/10.3130/aije.85.289>.
- 8) 的場晴香, 杉山みなみ, 松岡綾子, 下田吉之, 山口容平: 家庭 CO₂ 統計とエネルギー最終需要モデルを用いた世帯間エネルギー消費差異の成因に関する研究, エネルギー・資源学会論文誌 41, (2020) pp. 209-218, https://doi.org/10.24778/JJSER.41.5_209.
- 9) Taniguchi-Matsuoka A, Shimoda Y, Sugiyama M, Kurokawa Y, Matoba H, Yamasaki T, et al. Evaluating Japan's national greenhouse gas reduction policy using a bottom-up residential end-use energy simulation model. *Appl Energy* 2020;279:115792. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115792>.
- 10) Yamaguchi, Y., & Shimoda, Y. (2017). A stochastic model to predict occupants' activities at home for community-/urban-scale energy demand modelling. *Journal of Building Performance Simulation* 10, 565-581. <http://doi.org/10.1080/19401493.2017.1336255>
- 11) Okada, T., Shoda, Y., Yamaguchi, Y., Shimoda, Y. 2019, Data Preparation to Address Heterogeneity in Time Use Data Based Activity Modelling, Proceedings of BS2019.
- 12) Ko, Y., Yamaguchi, Y., Miyachi, Y., Kim, B., Kimura, S., Ikeda, K., Shimoda, Y. Simulation based analysis on the influence of occupants' presence of energy consumption of office buildings, in: Proc. ASim2016 3rd Aisa Conf. Int. Build. Perform. Simul. Assoc., 2016.
- 13) Kim, B. et. al.: Urban building energy modeling considering the heterogeneity of HVAC system stock: A case study on Japanese office building stock, *Energy and Buildings*, 199 (2019), pp.547-561
- 14) 山口容平, 下田吉之, 水野稔. 居住者の行動を基準としたオフィスビルの熱・電力需要シミュレーションモデルの開発, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 93, pp. 37-47, 2004 年 4 月
- 15) EnergyPlus, EnergyPlus 8.6.0, September 2016, <https://energyplus.net/>, 最終アクセス日 2017 年 4 月 12 日
- 16) 気象業務支援センター: 気象データベース・アメダス, ウェザートリー, 2014
- 17) 京阪神都市圏交通協議会: 近畿圏パーソントリップ調査, 2010, <http://www.kkr.mlit.go.jp/plan/pt/index.html> (最終アクセス日: 2018.11.28)
- 18) 岡田健志, 今井達也, 正田悠人, 山口容平, 下田吉之: 生活行為と機器操作による世帯間機器使用の傾向分析. 第 36 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集(2020)