

新潟市の全電化住宅におけるエネルギー消費量に関する研究

用途別エネルギーと室温の長期実測

高橋 諒太 指導教員 赤林 伸一 教授

1 研究目的

2015年12月、第21回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP21）においてパリ協定が採択された。全ての国が参加する2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための合意が実現し、環境問題に対する関心は国際的に高まっている。

我が国は世界第5位のエネルギー消費国^{文1)}であるが、原子力発電を含むエネルギー自給率は8[%]^{文2)}と低く、エネルギーの殆どを化石燃料の輸入に依存している。エネルギー自給率の低い我が国において、環境問題、エネルギー問題への対策は喫緊の課題である。

家庭部門のエネルギー消費量は、家電製品の普及等に伴い、2000年度は1973年度に比較して約2.2倍に増加した。その後省エネルギー技術の普及等により、2019年度の家庭部門のエネルギー消費量は、2000年度の約0.85倍にまで減少しているが、日本全体のエネルギー消費量の約14[%]を占めている^{文3)}。住宅における省エネルギーは重要であるが、そのためにはエネルギー消費実態の詳細な把握が必要である。

既往の研究^{文4)}では、新潟市における全電化住宅を対象に、1年間の用途別電力消費量や温湿度の実測を行い、報告している。しかし、住宅における電力消費量やその用途は、経済環境や社会情勢で変化すると考えられ、エネルギー消費量の詳細な把握にはより長期間の実測が必要と考えられる。

また省エネルギーを推進するには、エネルギー消費量の分析だけでは不十分であり、エネルギーの使用状況に伴う経済性も考慮する必要がある。

本研究では、文献4で対象とした1996年に新潟市に建設された住宅（2人住まい）で、用途別電力消費量と室内温湿度に関する長期間の実測を行い、エネルギー消費実態及び経済性の分析を行うことを目的とする。

2 研究概要

2.1 対象住宅：図1に対象住宅の平面^{※1}、表1に対象住宅の概要を示す。暖房には、床暖房、エアコン、蓄暖器が設置されている。冷房は各居室のエアコンで行う。床暖房及び、蓄暖器は夜間電力を用いてレンガに蓄熱し、日中に放熱する。

2.2 実測方法：実測期間は2015年1月1日～2020年12月31日の6年間^{※2}とする。住宅全体の電力消費は10秒間隔^{※3}で、温湿度及びグローブ温度はリビングと個室①で15分間隔で測定する。

2.3 電力消費の測定方法：表2に配電系統を示す。対象住宅では、分電盤で10系統別に電力消費を計測している。系統3、7のように一つの系統に複数の機器が接続されている場合があり、これらの系統では電力消費の分離をする必要がある。

(1) 配電系統3（エアコン3F個室①～③、洗濯機）の電力消費の分離：洗濯機の定格消費電力や、時系列電力消費特性から、使用有無の判定をする。洗濯機を使用していた場合は、系統3から同系統で、非空調期間に洗濯機を使用した場合の日積算電力消費量の平均値である0.091[kWh]との差を求め、エアコン（3F個室）の電力消費とする。

(2) 配電系統7（コンセント）の電力消費の分離：コンセント系統は、テレビ、電子レンジ、温水トイレなど様々な機器が接続されており、これらを可能な限り分離する。図2に電力消費分離のイメージを示す。各機器の定格消費電力、実測対象住宅の使用者が各機器

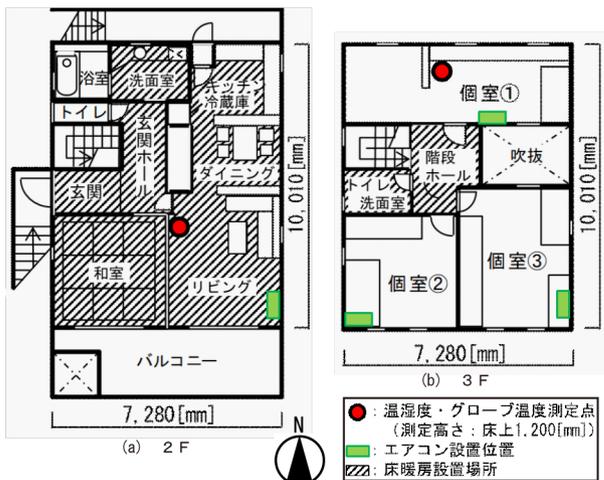


図1 対象住宅の平面^{※1}

表1 対象住宅の概要

延床面積：190[m ²]（居住面積：150[m ²]）
建設時期：1996年9月
建築場所：新潟市 居住人数：2人
工法：2×4外断熱工法
断熱材：外壁・屋根 押し出し発砲ポリスチレンフォーム80[mm] 基礎・土間 押し出し発砲ポリスチレンフォーム100[mm]
熱損失係数：1.40[W/(m ² ・K)]
気密性能：隙間の有効開口面積（αA'）0.77[cm ² /m ²]
サッシ性能：木製サッシとLow-eペアガラス
空調設備：セントラル冷暖房
暖房設備：潜熱式電気床暖房11[kW]、蓄熱式暖房機2[kW]×3
換気設備：全熱交換型換気扇2台（各風量 強120[m ³ /h] 弱80[m ³ /h]）
供給エネルギー：電気（全電化住宅）

表2 配電系統

系統	電気機器	備考
1	床暖房	潜熱蓄熱式電気床暖房
2	セントラルエアコン	測定期間での使用はない。
2	エアコン(2Fリビング)	リビング(2F)に1台
3	エアコン(3F個室)	各個室(3F)に1台(3台)
3	洗濯機	電力消費量0.091[kWh/回]
4	蓄暖器	顕熱蓄熱式電気暖房
5	換気扇	全熱交換型換気扇
6	温水器	温水容量460[L]
7	コンセント	電子レンジ、テレビ他
8	冷蔵庫	内容積470[L]
9	IH調理機器	2[kW]×2台
10	照明	LED

の使用状況を記入した日記^{※4}をもとにコンセント系統の電力消費から各機器の電力消費の分離を行うプログラムを作成する。測定された電力消費の10秒間隔毎の差が、機器毎の定格消費電力範囲に入れば、分離前の電力消費から機器毎の電力消費を差し引く。その後、電力消費の10秒間隔毎の差が範囲内に入れば、機器毎の電力消費を差し引くことを終了する。

図3にコンセント系統の分離の一例、表3にコンセント系統の分離機器用途^{※5}を示す。機器毎に電力消費を分離したものを機器分離、複数の機器が含まれているが、用途毎に電力消費を分離したものを用途分離とする。分離機器は、定格消費電力や電力消費の波形特性及び稼働時間に特徴のある機器7種とする。また、コンセント系統における1日の電力消費の最小値を

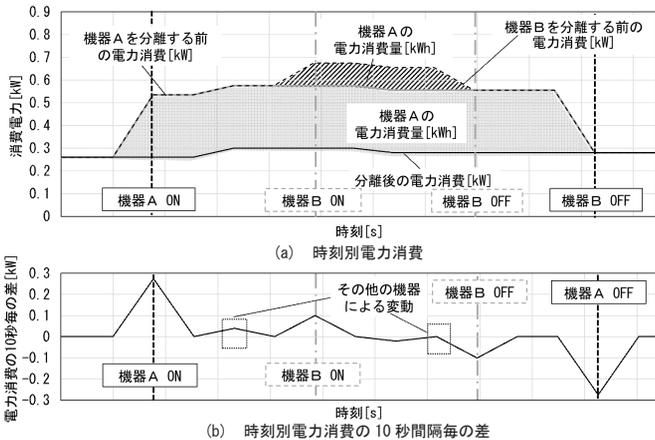


図2 電力消費分離のイメージ

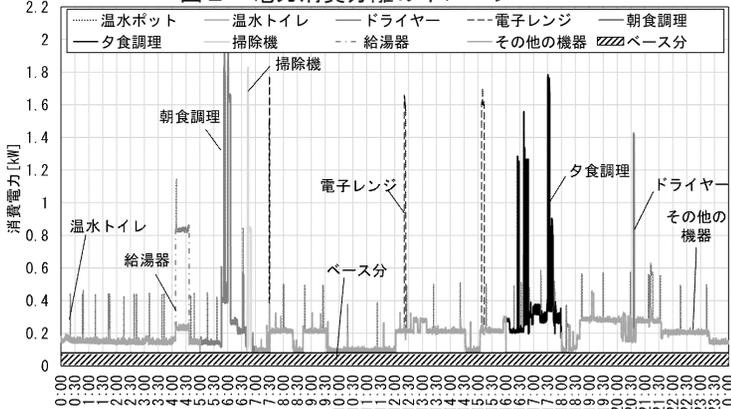


図3 コンセント系統の分離の一例 (2020年5月23日)

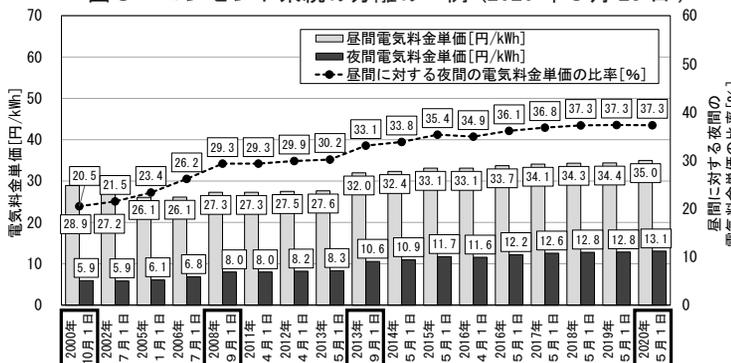


図4 電気料金単価の推移 (東北電力・時間帯別電灯契約A) ^{※6}

ベース分と定義する。コンセント系統の電力消費から、分離機器7種とベース分の電力消費を差し引き、5時から7時までの電力消費を朝食調理、16時から18時までの電力消費を夕食調理と仮定する。また、残りの電力消費をその他の機器とする。その他の機器には、テレビやVTR、各種充電機器など消費電力150[W]以下で長時間稼働する機器が含まれていると考えられる。コンセント系統から、機器7種、用途4種の計11種に分離する。

2.4 電気料金: 図4に電気料金単価の推移 (東北電力・時間帯別電灯契約A) ^{※6}を示す。対象住宅は東北電力の時間帯別電灯契約Aを契約しており、現在の電気料金単価は昼間35.0[円/kWh]、夜間13.1[円/kWh]である。本研究では、23時から翌日7時までは夜間電気料金単価、7時から23時までは昼間電気料金単価を用いて電気料金の算出を行う。

電気料金単価は年々上昇しており、特に夜間電気料金の値上げ幅が大きい。2020年5月の昼間に対する夜間の電気料金単価は37.5[%]であり、2000年10月に比較して1.8倍である。2019年の電力消費量に基づき、2010年10月の単価 (昼間28.9[円/kWh]、夜間5.9[円/kWh])、2008年9月の単価 (昼間27.3[円/kWh]、夜間8.0[円/kWh])、2013年9月の単価 (昼間32.0[円/kWh]、夜間10.6[円/kWh])、2020年5月の単価 (昼間35.0[円/kWh]、夜間13.1[円/kWh])を用いて電気

表3 コンセント系統の分離機器用途^{※5}

(a) 機器分離		
分離機器	時間区切り	機器ごとの電力消費
温水ポット	—	100[W]
温水トイレ	—	275[W]
電気ストーブ	—	450[W]、750[W]
ドライヤー	20:00:01~22:59:59	1,200[W]
電子レンジ	調理時間以外	1,400[W]
掃除機	6:40:01~6:59:59	600[W]以上
給湯器	4:00:01~4:59:59	600[W]
(b) 用途分離		
分離区分	分離に用いる式	時間区切り
ベース分	—	—
朝食調理	コンセント系統[W] - (分離機器の電力消費の合計[W] + ベース分の電力消費[W])	5:00:01~6:59:59
夕食調理		16:00:01~17:59:59
その他の機器	—	調理時間以外

表4 変更前後の冷蔵庫の概要

	冷蔵庫A: 変更前 (P社製NR-E381U: 2003年製)		冷蔵庫B: 変更後 (ME社製MR-JX48LZ-N: 2016年製)	
	定格内容積 [L]	375	470	
外形寸法 [mm]	1700 × 599 × 673		1696 × 650 × 699	
カタログ年間電力消費量 [kWh/年]	190 (JIS C 9801:1999により測定)		269 (JIS C 9801:2015により測定)	
単位容積当たりの年間電力消費量 [kWh/年・L]	0.51		0.57	

表5 変更前後の照明器具の概要

設置箇所	変更前 (白熱灯)		変更後 (LED)	
	定格消費電力 [W]	個数	定格消費電力 [W]	個数
玄関・玄関ホール・ポーチ	60	4	240	7.8
階段室・階段ホール	60	4	240	7.8
リビング・キッチン	60	2	120	7.8
ダイニング	40	2	80	6.6
3階個室	60	4	240	7.8
トイレ・洗面室・浴室	60	4	240	7.8
和室	40	4	160	6.6
その他	40	1	40	1.6
合計	25	1,360	25	196

料金の算出を行うことで、電気料金の経年変化を明らかにする。

2.5 用途別電力消費の分析：用途別の電力消費量・電気料金を算出し、月毎、年毎の分析を行う。

2.6 照明及び冷蔵庫変更前後の電力消費量：対象住宅では、2016年7月23日に冷蔵庫の変更を、2016年11月18日に照明を白熱灯からLEDへの変更を行っている。表4に変更前後の冷蔵庫の概要、表5に変更前後の照明器具の概要を示す。冷蔵庫のカタログ値から算出した単位容積当たりの電力消費量は、変更後は変更前の1.2倍に増加している。照明は白熱灯からLEDへの変更により、照明器具の総定格消費電力が0.14倍に減少している。2015年と2017年の年積算電力消費量を比較することで、冷蔵庫、照明器具の変更前後による電力消費量の変化を分析する。

2.7 電力消費量と外部環境の関係：用途別電力消費量と外気温、室温等の外部環境の関係を分析する。また、冷暖房用電力消費量・電気料金と室内外温度差の関係を明らかにする。

2.8 最高・最低血圧と室温の関係：対象住宅の居住者が測定した朝（5時～6時）と夕方（17時～18時）の血圧データを用い、血圧と室温の関係を分析を行う。

3 エネルギー消費量の測定結果

3.1 用途別電力消費量：図5に用途毎の月別平均日積算電力消費量を示す。暖房に使用する機器は、2015年1月～4月、2015年11月～2016年4月は床暖房、エ

アコン、蓄暖器、2016年11月～2017年4月、2017年11月、2018年10月～2019年4月、2019年11月～2020年4月、2020年11月、12月は床暖房とエアコン、2017年12月～2018年4月は床暖房である。暖房期間の夜間電力使用率は他の期間に比較して高く、特にリビングを床暖房のみで暖房をしていた2017年12月～2018年4月の夜間電力使用率は80[%]以上である。7月～9月は、各個室でエアコンによる冷房がされている。図6に用途毎の年積算電力消費量、図7に用途毎の年積算電気料金を示す。住宅全体の年積算電力消費量は、15～19[MWh/年]程度、年積算電気料金は29～33[万円/年]程度である。蓄暖器を使用していた2016年、リビングを床暖房のみで暖房をしていた2018年は、他の年に比較して電力消費量が多い。年積算電力消費量のうち、空調分が50[%]程度、給湯分が30[%]程度であり、空調分と給湯分の電力消費量が全体の約80[%]を占める。電気料金では、空調分が45[%]程度、給湯分が25[%]程度であり、空調分と給湯分の電気料金が全体の約70[%]を占める。蓄暖器や床暖房は、夜間電気料金単価により相対的に電気料金は少なくなり、各年の年積算電気料金の差は年積算電力消費量に比較して小さくなる。

3.2 コンセントシステムの電力消費量：図8にコンセントシステムの年積算電力消費量とその割合、図9にコンセントシステムの年積算電気料金とその割合を示す。コンセントシステムの年積算電力消費量は、2,000～2,800[kWh/年]

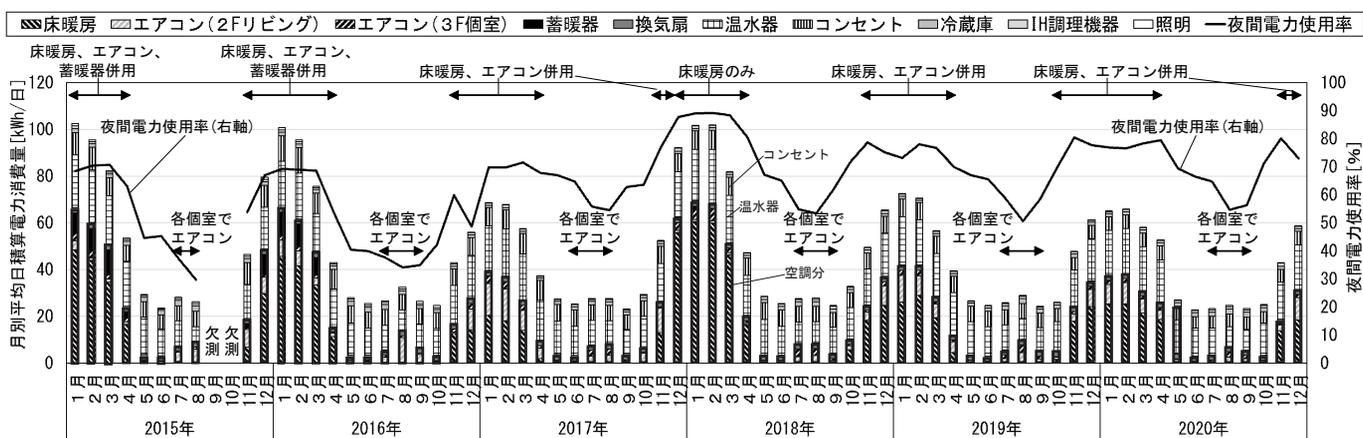


図5 用途毎の月別平均日積算電力消費量

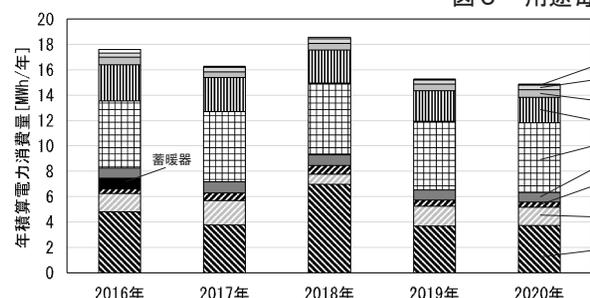


図6 用途毎の年積算電力消費量

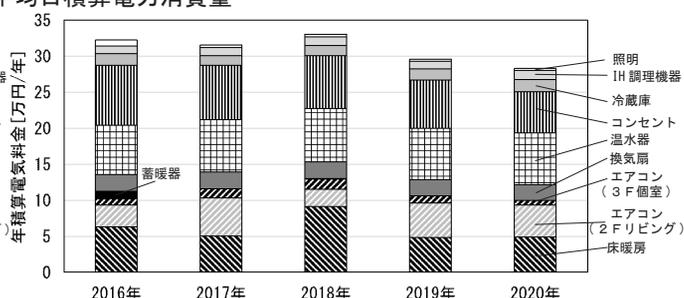


図7 用途毎の年積算電気料金

程度、年積算電気量金は5.8～8.2[万円/年]程度であり、そのうちベース分、その他の機器がそれぞれ約40[%]を占める。電子レンジや、ドライヤーのような消費電力は多いが、短時間で使用する機器の電力消費量は小さく、それぞれコンセント系統全体の電力消費量の1～2[%]程度である。住宅全体の電力消費量・電気料金のうち、コンセント系統の電力消費量は13～16[%]程度、電気料金は19～26[%]程度である。

3.3 調理用電力消費量：図10に調理用年積算電力消費量とその割合、図11に調理用年積算電気料金とその割合を示す。調理用年積算電力消費量は、1,300～1,500[kWh/年]程度であり、調理用年積算電力消費量のうち、冷蔵庫が約40[%]、IH調理機器が約20[%]を占める。調理用年積算電気料金は3.7～4.3[万円/年]であり、冷蔵庫が約40[%]、IH調理機器が約30[%]を占める。住宅全体の電力消費量・電気料金のうち、調理用電力消費量は8～10[%]程度、電気料金は12～14[%]程度である。

3.4 電気料金単価の変化に対応した電気料金：図12に電気料金単価の変化に対応した電気料金(2019年)を

示す。2000年の電気料金単価を用いた場合の電気料金に比較して、2020年の電気料金単価を用いた場合の電気料金は、昼間で1.2倍、夜間で2.2倍、全体では1.6倍となる。昼間電気料金単価に比較して、夜間電気料金単価の増加が大きいため、床暖房や温水器等で夜間電力消費量の割合が大きい対象住宅では、影響が大きい。

3.5 照明及び冷蔵庫変更前後の電力消費量：図13に照明及び冷蔵庫変更前後の年積算電力消費量^{*7}を示す。照明では、白熱灯の年積算電力消費量は289[kWh/年]、LEDの年積算電力消費量は103[kWh/年]であり、変更前後で0.36倍となる。総定格消費電力は変更前後で0.14倍となるが、実使用時は総定格消費電力の減少ほど電力消費量は減少しない。これは玄関や階段室の照明が点灯頻度は低いが、相対的に定格消費電力が大きいためと考えられる。冷蔵庫では、単位容積あたりの年積算電力消費量は、変更前が1.2[kWh/年・L]、変更後が0.68[kWh/年・L]となり、変更前後で0.53倍となる。実使用時の電力消費量はカタログ値に比較して、冷蔵庫Aでは3.6倍、冷蔵庫Bで1.7倍となり、どちらの冷蔵庫でもカタログ値と実使用時の電力消費量は大きく乖離している。

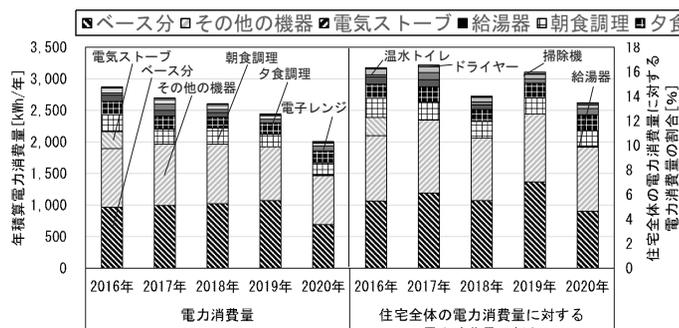


図8 コンセント系統の年積算電力消費量とその割合

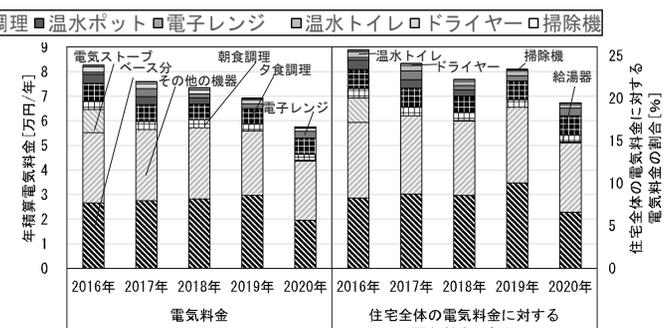


図9 コンセント系統の年積算電気料金とその割合

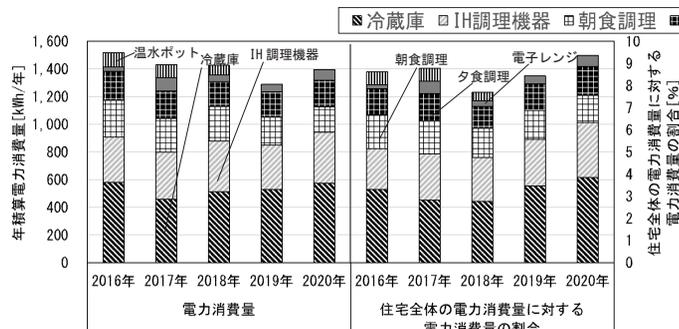


図10 調理用年積算電力消費量とその割合

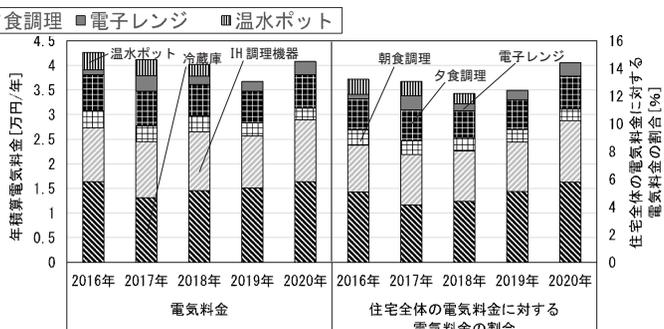


図11 調理用年積算電気料金とその割合

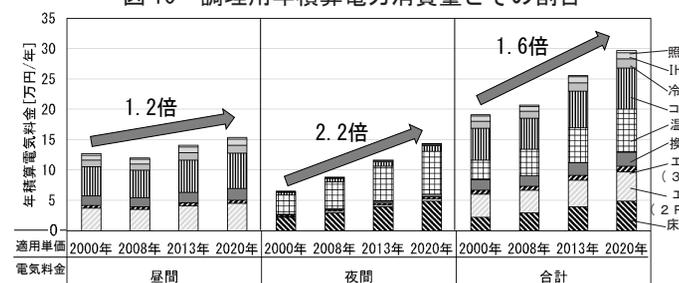


図12 電気料金単価の変化に対応した電気料金(2019年)

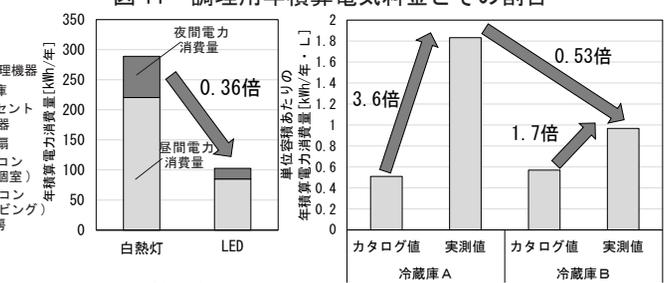


図13 照明及び冷蔵庫変更前後の年積算電力消費量^{*7}

4 エネルギー消費量と外部環境の関係

4.1 電力消費量と外部環境の関係：図14に各用途の日積算電力消費量と外部環境の関係を示す。外気温、室温、給水温度、可照時間のうち、各用途の電力消費量と最も相関の高いものを示す。エアコン（2Fリビング）、エアコン（3F個室）の電力消費量と最も相関が高いのは外気温である。エアコン（2Fリビング）、エアコン（3F個室）では、日平均外気温が15～20[℃/日]で電力消費量は最小となり、日平均外気温がそれ以上及びそれ以下では日積算電力消費量が増加する傾向がある。冷蔵庫の電力消費量と最も相関が高いのは室温である。日平均室温が1[℃/日]上昇することで、日積算電力消費量は0.12[kWh/日]増加する。温水器の電力消費量と最も相関が高いのは給水温度である。日平均給水温度が1[℃/日]上昇することで、日積算電力消費量は0.56[kWh/日]減少する。照明の電力消費量と

最も相関が高いのは可照時間である。可照時間が1[h]増加することで、日積算電力消費量が白熱灯では0.11[kWh/日]、LEDでは0.06[kWh/日]減少する。床暖房、蓄暖器、換気扇、コンセント、IH調理機器の電力消費量はどの要素とも高い相関は見られない。

4.2 冷暖房用電力消費量と室内外温度差の関係：7、8、9月のうちエアコンを使用している期間を冷房期間、その他の期間で、床暖房もしくはエアコンを使用している期間を暖房期間とする。

(1) 冷房用電力消費量・電気料金と室内外温度差の関係：図15に冷房用電力消費量・電気料金と室内外温度差の関係（2Fリビング）^{※8}を示す。日平均室内外温度差が1[℃/日]減少すると、日積算冷房用電力消費量は約0.77[kWh/日]、日積算冷房用電気料金は約21[円/日]増加する。

(2) 暖房用電力消費量・電気料金と室内外温度差の関係：図16に暖房用電力消費量・電気料金と日平均室内外温度差の関係（2Fリビング）^{※8※9}を示す。日平均室内外温度差が1[℃/日]上昇すると、日積算暖房用電力消費量は、床暖房とエアコンの併用で約2.1[kWh/日]、床暖房のみで約3.6[kWh/日]増加する。日平均室内外温度差が1[℃/日]上昇すると、日積算暖房用

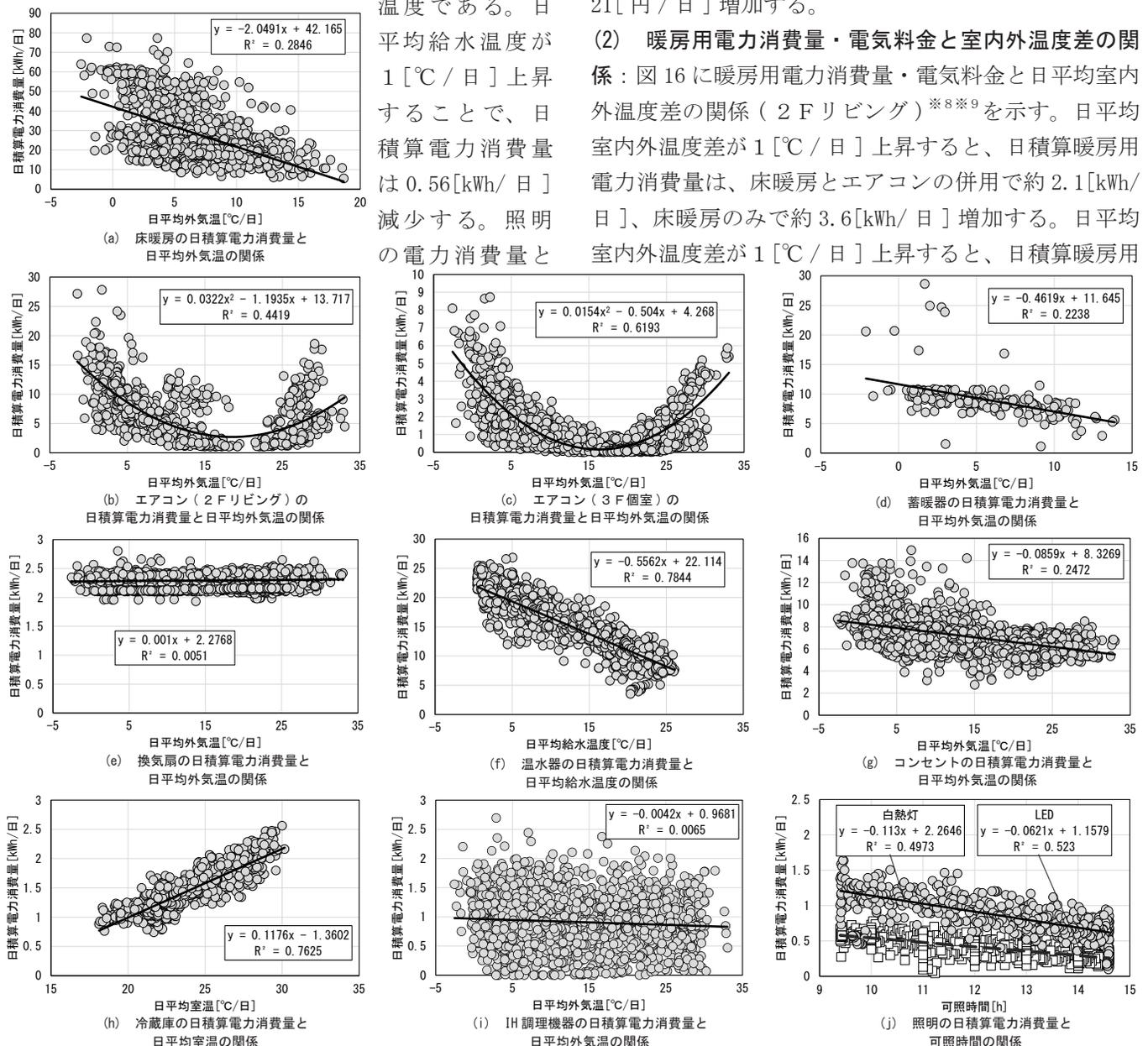


図14 各用途の日積算電力消費量と外部環境の関係

電気料金は床暖房とエアコンの併用で約47[円/日]、床暖房のみで約49[円/日]増加する。室内外温度差に対する暖房用電力消費量の変化、室内外温度差に対する暖房用電気料金の変化を比較すると、どちらも床暖房とエアコンの併用が小さくなり、床暖房とエアコンの併用が、床暖房のみに比較して、省エネルギー・省コストであると考えられる。

5 健康指標と室内環境の関係

5.1 最高・最低血圧と室温の関係：図17に最高・最低血圧と室温の関係を示す。朝、夕方ともに血圧と室温の間に相関はほとんどみられない。血圧には、測定直前の運動量など室温以外の要素が影響している可能性があり、室温以外の要素を加味する必要があると考えられる。

6 まとめ

エネルギー消費量の測定結果

- ①全体の年積算電力消費量は、15～19[MWh/年]程度であり、空調分が約50[%]、給湯分が約30[%]である。
- ②コンセントシステムの電力消費量は、全体の13～16[%]を占め、そのうちベース分、その他の機器がそれぞれ約40[%]を占める。
- ③調理用電力消費量は、全体の8～10[%]を占め、そのうち冷蔵庫が約40[%]、IH調理機器が約20[%]を占める。
- ④2000年の電気料金単価を用いた場合の電気料金に比較して、2020年の電気料金単価を用いた場合の電気料金は、昼間で1.2倍、夜間で2.2倍、全体では1.6倍となる。
- ⑤白熱灯とLEDの年積算電力消費量はそれぞれ289[kWh/年]、103[kWh/年]であり、変更前後で0.36倍となる。

⑥冷蔵庫では、単位容積あたりの年積算電力消費量は、変更前が1.2[kWh/年・L]、変更後が0.68[kWh/年・L]となり、変更前後で0.53倍となるが、どちらもカタログ値と大きく乖離がある。

エネルギー消費量と外部環境の関係

- ①エアコンは外気温と、冷蔵庫は室温と、温水器は給水温度と、照明は可照時間との相関が最も高く、その他の用途はどの要素とも相関はほぼみられない。
- ②日平均室内外温度差が1[°C/日]減少すると、日積算冷房用電力消費量は約0.77[kWh/日]、日積算冷房用電気料金は約21[円/日]増加する。
- ③日平均室内外温度差が1[°C/日]上昇すると、日積算暖房用電力消費量・電気料金はそれぞれ、床暖房とエアコンの併用で約2.1[kWh/日]、約47[円/日]、床暖房のみで約3.6[kWh/日]、約49[円/日]増加する。

健康指標と室内環境の関係

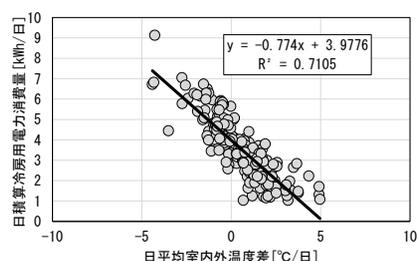
朝、夕方ともに血圧と室温の相関はほとんどみられない。血圧測定直前の運動量など室温以外の要素が影響している可能性がある。

注釈

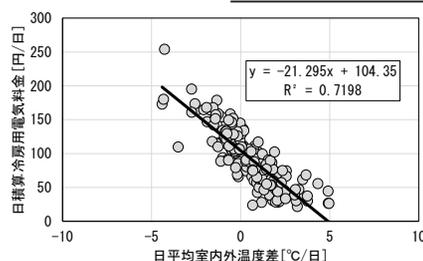
- ※1 対象住宅の1階はビルトインタイプのガレージである。
- ※2 電力消費は、2015年9月5日～10月30日が測定装置の故障のため、欠測である。室温は、リビングでは2016年12月2日から、個室①では2018年1月8日から計測している。
- ※3 2016年1月1日～2月2日は1分毎に電力消費を計測している。
- ※4 日記には、機器毎に使用した時刻及び使用を終えた時刻が記載されている。
- ※5 IH調理機器は別系統で直接計測しているため、朝食調理、夕食調理の電力消費量に含まれていない。
- ※6 電気料金単価は、再生可能エネルギー発電促進賦課金単価を含み、税金、基本料金は考慮していない。
- ※7 2015年9月5日～10月25日の電力消費量は欠測のため、冷蔵庫では日平均外気温と日積算電力消費量の関係から、照明では可照時間と日積算電力消費量の関係から補完を行った。
- ※8 室内外温度差は、リビングの作用温度-外気温とする。
- ※9 住宅で消費されるエネルギーは最終的に熱に変換されると考え、給湯用以外は暖房に寄与すると仮定し、電気温水器以外の電力消費量の合計値を暖房用電力消費量とする。

参考文献

- 文1) BP「BP世界エネルギー統計2019」、2019年
- 文2) IEA「Energy Balance of OECD Countries 2017」、2017年
- 文3) 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」、2019年
- 文4) 坂口・赤林・山口「新潟市に建設された住宅における室内環境とエネルギー消費量に関する実測調査 -全電化・高気密・高断熱住宅を対象として-」日本建築学会計画系論文集、2001年

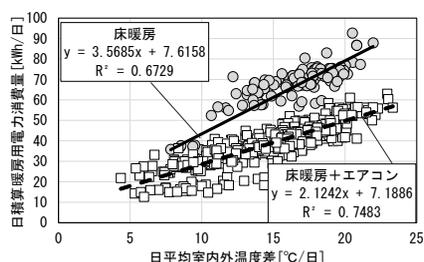


(a) 日積算冷房用電力消費量と日平均室内外温度差の関係

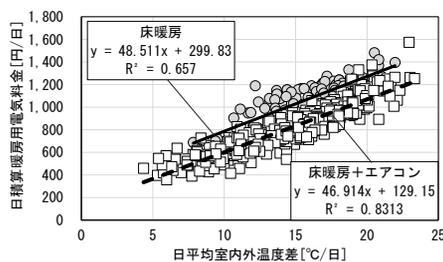


(b) 日積算冷房用電気料金と日平均室内外温度差の関係

図15 冷房用電力消費量・電気料金と室内外温度差の関係(2Fリビング)※8

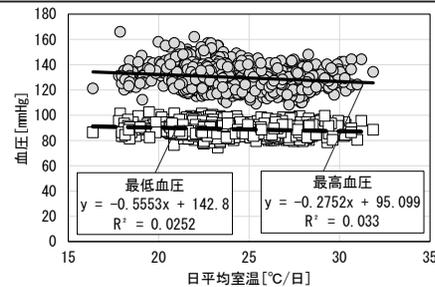


(a) 日積算暖房用電力消費量と日平均室内外温度差の関係

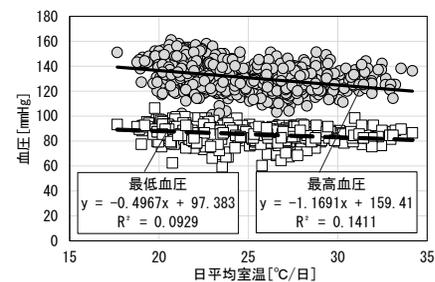


(b) 日積算暖房用電気料金と日平均室内外温度差の関係

図16 暖房用電力消費量・電気料金と室内外温度差の関係(2Fリビング)※8※9



(a) 朝における最高・最低血圧と日平均室温の関係



(b) 夕方における最高・最低血圧と日平均室温の関係

図17 最高・最低血圧と室温の関係