

エアコンを連続・間欠運転した場合の電力消費量に関する研究

本間 智堯 指導教員 赤林 伸一 教授

1 研究目的

我が国において住宅の暖冷房に用いられるエネルギーは家庭部門の約1/4^{文1)}を占めている。家庭用エアコンの普及台数は一世帯当りで約2.5台^{文2)}であり、家庭用エアコンの適切な使用は、省エネルギーの観点から重要である。

一般に、節電及び省エネの手法として、家電や照明等のこまめな運転停止が推奨されている^{文3)}。しかしながら、家庭用エアコンは、運転開始時に相対的に多くの電力が消費されるとされ、暖冷房出力・外気温によって成績係数(COP)が大きく変化することから、短時間の運転停止は連続運転に比較して総電力消費量が増加すると言われている。

本研究では居住者が外出する際にエアコンを停止する場合(間欠運転)と、運転したままの場合(連続運転)の電力消費量を検討する。既報^{文4)}で測定した家庭用エアコンの機器特性(COPマトリクス：外気温・暖冷房出力とCOPの関係)から、外気温、住宅の断熱性能、停止時間を変化させて電力消費量を算出し、エアコンの効率的な使用方法を明らかにすることを目的とする。

2 研究概要

2.1 解析対象：図1に解析対象住宅を、表1に解析条件を示す。解析対象住宅は日本建築学会標準住宅モデル^{文5)}とし、LDK(床面積：27.7[m²])に家庭用エアコンを1台設置した場合を対象とする。

2.2 解析条件：住宅の断熱性能はU_A値を0.6、1.2、3.6[W/(m²・K)]とする。外気温は一定とし、暖房時で-5、0、5、10、15[℃]、冷房時は28、30、32、35、38[℃]とする。

エアコンのCOPマトリクスは2パターンとし、計60caseで検討を行う。

2.3 解析方法：暖冷房負荷と室温の計算には熱負荷シミュレーションソフトTRNSYS ver.15を使用し、5分間隔の解析を行う。設定室温は暖房時20[℃]、冷房時27[℃]とし、換気回数は0.5[回/h]、日射・内部発熱は無視する。

2.4 連続運転と間欠運転：24時間エアコンを稼働する場合を連続運転、1日1回停止し一定時間後に運転を再開する場合を間欠運転とする。間欠運転では、運転を停止してから再開するまでの時間(エアコン停止時間)を5分から5分刻みで10時間まで設定する。

2.5 COPマトリクスモデル：図2にCOPマトリクスモデルを示す。既報^{文4)}で測定したCOPマトリクスを参考にCOPマトリクスモデルの作成を行う。

まず、それぞれの断熱性能で、暖房時は外気温0[℃]、冷房時は外気温35[℃]での連続運転時の暖冷房負荷を求める。COPマトリクス①は、計算した連続運転時の暖冷房負荷の5割の負荷時で最も高効率とする。暖冷房時は約10[℃]程度、冷房時は31[℃]程度で連続運転した場合に最も高効率となる。

COPマトリクス②はCOPマトリクス①の特性に加えて、暖房

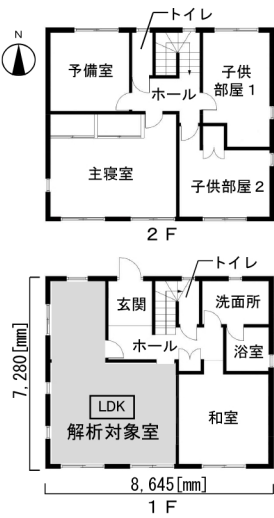


図1 解析対象住宅

表1 解析条件

解析case	U _A 値 [W/(m ² ・K)]	エアコン 運転状況	外気温 [℃]	COP マトリクス	解析case	U _A 値 [W/(m ² ・K)]	エアコン 運転状況	外気温 [℃]	COP マトリクス	解析case	U _A 値 [W/(m ² ・K)]	エアコン 運転状況	外気温 [℃]	COP マトリクス
caseA	0.6	暖房 設定室温： 20[℃]	-5	①	caseC	1.2	暖房 設定室温： 20[℃]	-5	①	caseE	3.6	暖房 設定室温： 20[℃]	-5	①
				②					②					②
			0	①				0	①				0	①
				②					②					②
			5	①				5	①				5	①
				②					②					②
			10	①				10	①				10	①
				②					②					②
			15	①				15	①				15	①
				②					②					②
caseB	0.6	冷房 設定室温： 27[℃]	28	①	caseD	1.2	冷房 設定室温： 27[℃]	28	①	caseF	3.6	冷房 設定室温： 27[℃]	28	①
				②					②					②
			30	①				30	①				30	①
				②					②					②
			32	①				32	①				32	①
				②					②					②
			35	①				35	①				35	①
				②					②					②
			38	①				38	①				38	①
				②					②					②

時は外気温 0 [°C] での暖房負荷の 2 倍、冷房時は外気温 35 [°C] での冷房負荷の 3 倍の時にも COP のピークが生じるモデルとする。COP マトリクス内の最大 COP は 6 とする。また、外気温による COP の変化は、それぞれ COP が最大となる外気温 15 [°C] (暖房時)、24 [°C] (冷房時) の COP から、それぞれ 1 [°C] 毎に 2 [%]^{*2} 低下するものとする。また低負荷時に発生する ON-OFF 運転の COP は、各外気温ごとの最大 COP の 1/2 とする。

2.6 日積算電力消費量・日積算電気料金：暖冷房負荷と外気温、COP マトリクスから消費電力を算出し、日積算電力消費量を求める。また、電気料金単価を 30 [円 / kWh] とし、日積算電気料金の算出を行う。

2.7 連続運転有効停止時間：連続運転及び間欠運転時の日積算電力消費量の比較を行う。間欠運転と比較して連続運転の日積算電力消費量が少なくなる場合で、最大のエアコン停止時間を連続運転有効停止時間と定義する。

3 暖冷房負荷・消費電力の計算結果

図 3 に室内温度、暖冷房負荷、暖冷房消費電力の日変化 (エ

アコン停止時間 : 10 [h]) を示す。

3.1 暖房時において外気温を変化させた場合の比較 (U_A 値 : 0.6 [W/(m²・K)]) : U_A 値 が 0.6 [W/(m²・K)] の場合、エアコン運転停止から 30 分後の室内温度は、外気温 10 [°C] では冷房設定温度から約 5 [°C]、外気温 0 [°C] では約 8 [°C] 低下する (図 3 (1) (2))。

COP マトリクス①の場合、連続運転時の COP は外気温 10 [°C] で約 5.4、外気温 0 [°C] で約 4.2 となり、暖房消費電力はそれぞれ 0.2 [kW]、0.5 [kW] となる。間欠運転時のエアコン運転再開時の COP は外気温 10 [°C] で約 4.9、外気温 0 [°C] で約 3.5 となり、どちらも連続運転時の COP と比較して低い。特に室内外温度差が大きい外気温 0 [°C] の場合に、運転再開時の COP が大きく低下する。

COP マトリクス②の場合、連続運転時の COP は外気温 10 [°C] で約 5.3、外気温 0 [°C] で約 3.2 となり、暖房電力消費量はそれぞれ約 0.3 [kW]、約 0.7 [kW] となる。エアコン運転再開時の COP は、外気温 10 [°C] で約 4.0、外気温 0 [°C] で約 3.4 となり、外気温 0 [°C] は、比較的高出

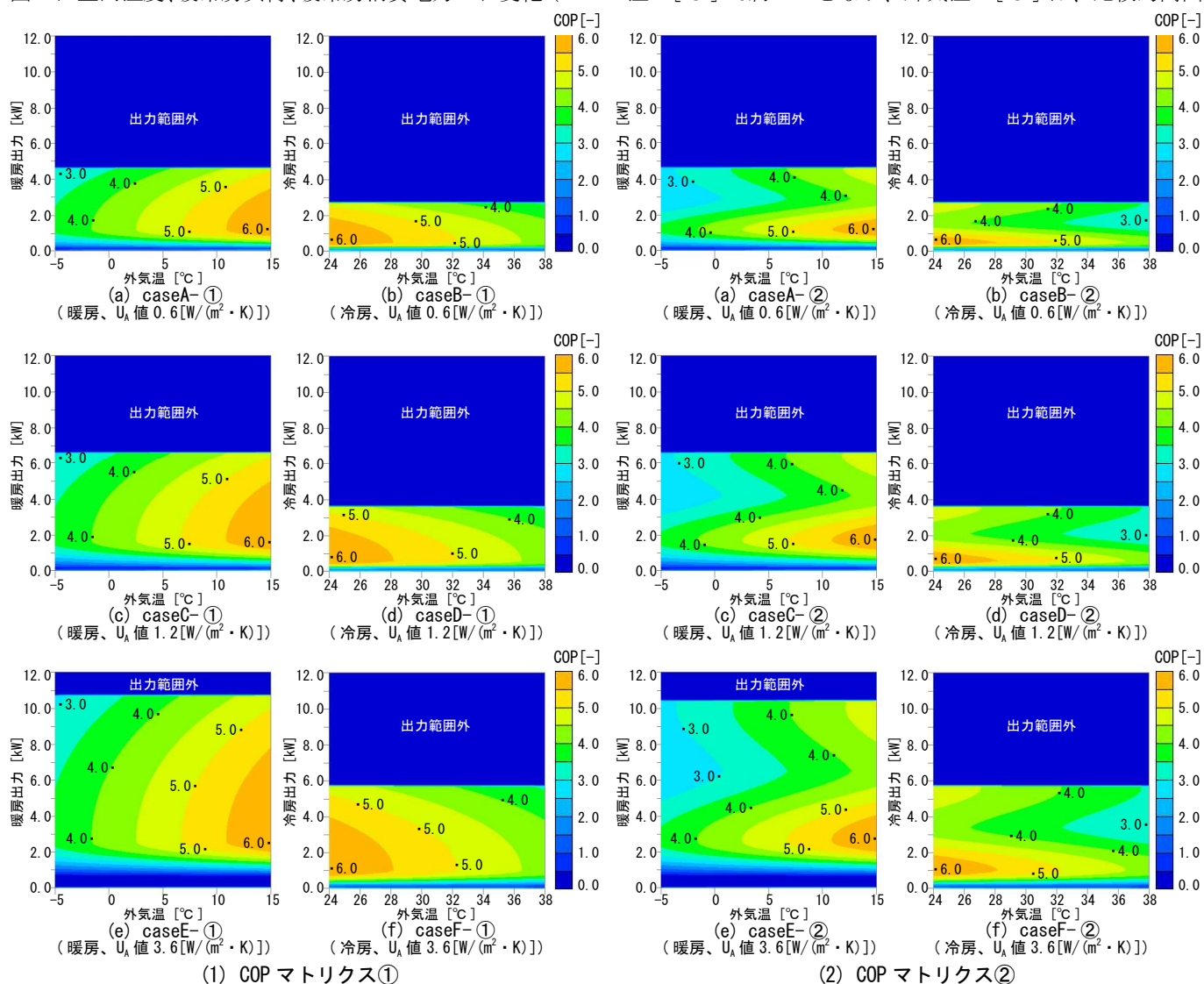
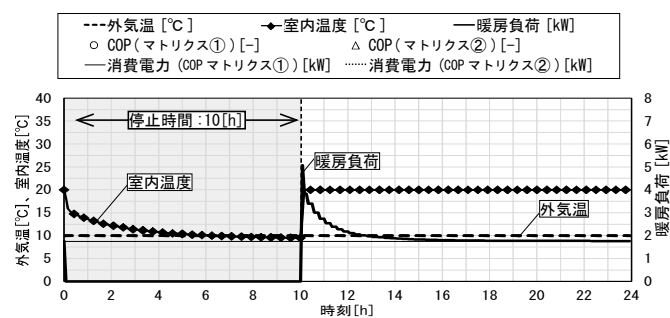
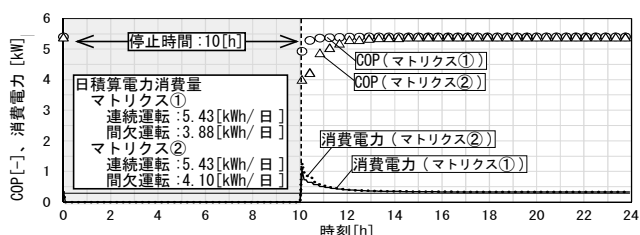


図 2 COP マトリクスモデル

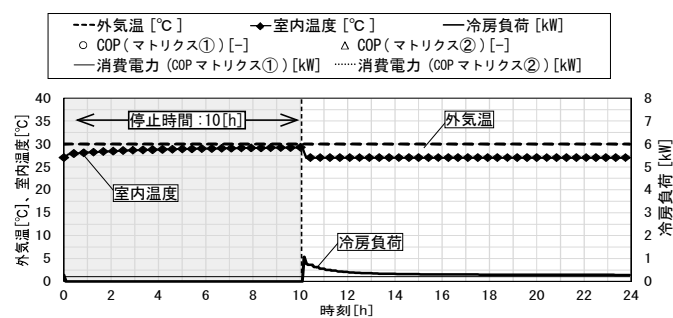


(a) 外気温、室内温度、暖房負荷

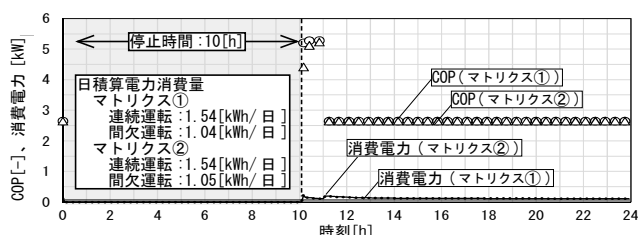


(b) COP、消費電力

(1) 暖房時、 U_A 値: $0.6 [W/(m^2 \cdot K)]$ 、外気温: $10 [^{\circ}C]$

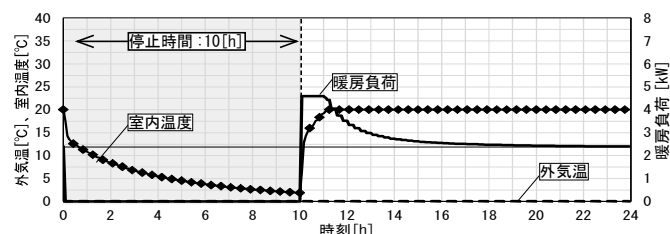


(a) 外気温、室内温度、冷房負荷

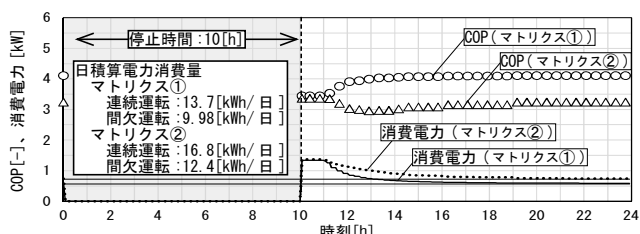


(b) COP、消費電力

(4) 冷房時、 U_A 値: $0.6 [W/(m^2 \cdot K)]$ 、外気温: $30 [^{\circ}C]$

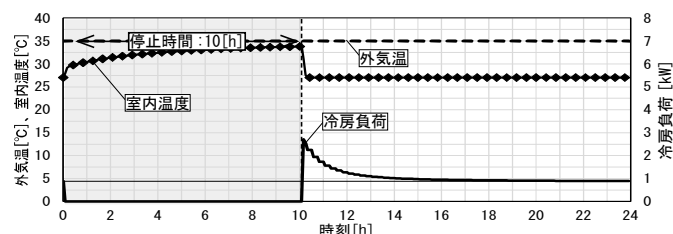


(a) 外気温、室内温度、暖房負荷

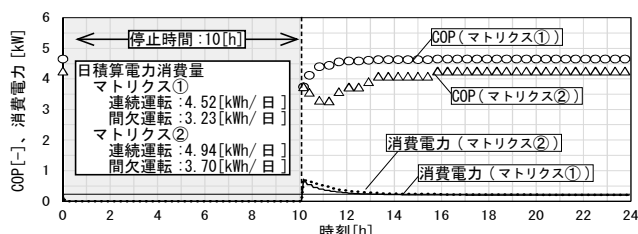


(b) COP、消費電力

(2) 暖房時、 U_A 値: $0.6 [W/(m^2 \cdot K)]$ 、外気温: $0 [^{\circ}C]$

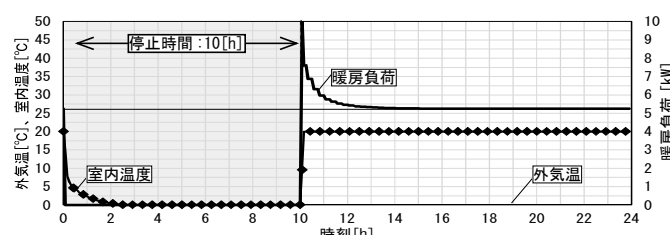


(a) 外気温、室内温度、冷房負荷

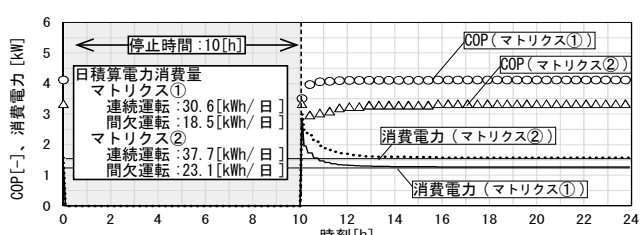


(b) COP、消費電力

(5) 冷房時、 U_A 値: $0.6 [W/(m^2 \cdot K)]$ 、外気温: $35 [^{\circ}C]$

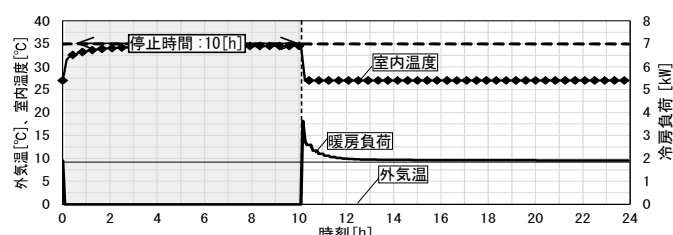


(a) 外気温、室内温度、暖房負荷

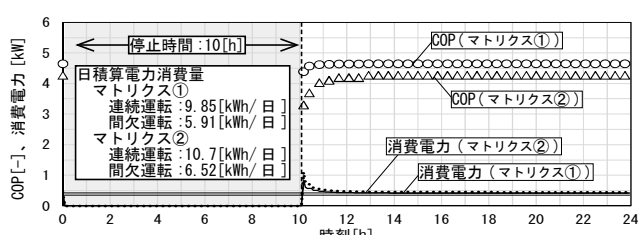


(b) COP、消費電力

(3) 暖房時、 U_A 値: $3.6 [W/(m^2 \cdot K)]$ 、外気温: $0 [^{\circ}C]$



(a) 外気温、室内温度、冷房負荷



(b) COP、消費電力

(6) 冷房時、 U_A 値: $3.6 [W/(m^2 \cdot K)]$ 、外気温: $35 [^{\circ}C]$

図3 室内温度、暖冷房負荷、暖冷房消費電力の日変化 (エアコン停止時間: 10[h])

力の場合でも COP が高くなる為である。

3.2 暖房時において断熱性能を変化させた場合の比較
(外気温: 0 [°C]): 外気温が 0 [°C] の場合、 U_A 値 0.6、 $3.6[W/(m^2 \cdot K)]$ では、エアコン運転停止から 30 分後の室内温度は、 U_A 値 0.6 [W/($m^2 \cdot K$)] では、暖房設定温度から約 8 [°C]、 U_A 値 3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] では、約 16 [°C] 低下する (図 3 (2) (3))。また、 U_A 値が 3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] では約 2 時間後に室温は外気温となる。連続運転時の暖房負荷は、 U_A 値 0.6、3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] で、それぞれ約 2.4 [kW]、約 5.2 [kW] となる。エアコン運転再開時の暖房負荷は、それぞれ最大で約 4.6 [kW]、10.0 [kW] となる。

COP マトリクス①の場合、連続運転時の COP は約 4.2 となり、暖房消費電力は U_A 値 0.6、3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] で、それぞれ約 0.6 [kW]、約 1.2 [kW] となる。エアコン運転再開時の COP は、 U_A 値 0.6 では約 3.5、 U_A 値 3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] では約 3.5 程度となり、どの断熱性能でも連続運転時の COP と比較して低い。

COP マトリクス②の場合、連続運転時の COP は約 3.3 となり、暖房消費電力は U_A 値 0.6、3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] で、それぞれ約 0.7、約 1.5 [kW] となる。運転再開時の COP は U_A 値 0.6、3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] で、それぞれ約 3.4、約 2.9 となる。 U_A 値 0.6 [W/($m^2 \cdot K$)]、では、エアコン運転再開時の COP は連続運転時の COP と比較して若干高いが、運転再開から 2 ～ 6 時間程度の COP は連続運転と比較して相対的に低い傾向がある。

3.3 冷房時において外気温を変化させた場合の比較
(U_A 値 : 0.6 [W/($m^2 \cdot K$)) : U_A 値 が 0.6 [W/($m^2 \cdot K$)] の場合、エアコン運転停止から 30 分後の室内温度は、外気温 30 [°C] では冷房設定温度から約 1 [°C]、外気温 35 [°C] では約 3 [°C] 上昇する (図 3 (4) (5))。また、連続運転時の冷房負荷は外気温 30 [°C] で約 0.4 [kW]、外気温 35 [°C] で約 1.0 [kW] であり、エアコン運転再開時の冷房負荷は、それぞれ約 1.1 [kW]、2.7 [kW] となる。

COP マトリクス①の場合、連続運転時の COP は、外気温 30 [°C] で約 2.7 (ON-OFF 運転)、外気温 35 [°C] で約 4.7 となり、冷房消費電力はそれぞれ約 0.1 [kW]、約 0.2 [kW] となる。エアコン運転再開時の COP は、外気温 30 [°C] で約 5.1、外気温 35 [°C] で約 4.2 となり、外気温 30 [°C] では連続運転と比較して高く、外気温 35 [°C] では連続運転と比較して低くなる。

COP マトリクス②の場合、連続運転時の COP は、外気温 30 [°C] で約 2.7 (ON-OFF 運転)、外気温 35 [°C] で約 4.2 となり、冷房消費電力は外気温 30 [°C] で約 0.1 [kW]、外気温 35 [°C] で約 0.2 [kW] となる。エアコン運転再開時の COP は、外気温 30 [°C] で約 4.4、外気温 35 [°C] で約 3.7

となり、外気温 30 [°C] では連続運転と比較して高く、外気温 35 [°C] では連続運転と比較して低くなる。

3.4 冷房時において断熱性能を変化させた場合の比較
(外気温 : 35 [°C]): 外気温が 35 [°C] の場合、 U_A 値 0.6、 $3.6[W/(m^2 \cdot K)]$ では、エアコン運転停止から 30 分後の室内温度は、 U_A 値 0.6 [W/($m^2 \cdot K$)] では、冷房設定温度から約 3 [°C]、 U_A 値 3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] では、約 6 [°C] 上昇する (図 3 (2) (3))。 U_A 値が 3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] の場合、約 4 時間後に室温は外気温となる。連続運転時の冷房負荷は、 U_A 値 0.6、3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] で、それぞれ約 0.9 [kW]、約 1.9 [kW] となる。エアコン運転再開後の暖房負荷は、それぞれ最大で約 2.7、3.6 [kW] となる。

COP マトリクス①の場合、連続運転時の COP は約 4.7 となり、冷房消費電力は、 U_A 値 0.6、3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] でそれぞれ約 0.2 [kW]、約 0.5 [kW] となる。エアコン運転再開時の COP は、 U_A 値 0.6、3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] で、それぞれ約 3.7、4.4 となり、連続運転時の COP と比較して低くなる。

COP マトリクス②の場合、エアコン運転再開時の COP は U_A 値 0.6、3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] で、それぞれ約 3.7、約 3.3 程度となり、運転再開時の COP は連続運転時の COP と比較して低い。

4 日積算電力消費量・日積算電気料金

図 4 にエアコン停止時間ごとの日積算電力消費量、日積算電気料金を示す。エアコン停止時間 0 は連続運転を示している。

4.1 暖房運転時 : U_A 値 0.6 [W/($m^2 \cdot K$)] でエアコンを連続運転させた場合、外気温が 10 [°C]、0 [°C] での日積算電力消費量はそれぞれ約 5、13 ～ 17 [kWh/日] となり、日積算電気料金はそれぞれ約 150、390 ～ 510 [円/日] 程度となる。ほとんどの場合で連続運転の方が間欠運転と比較して日積算電力消費量が多く、一部を除き、間欠運転が省エネルギーに有効であると考えられる。しかし、 U_A 値 0.6 [W/($m^2 \cdot K$)]、外気温 0 [°C] の caseA-2 では、マトリクス①で停止時間が 70 分を超えた場合に、日積算電力消費量が連続運転した場合よりも少なくなる為、連続運転有効停止時間は 70 分となり (図 4 (1))、外出時間が 70 分以下では、連続運転が省エネルギーとなる。これは、エアコン運転停止による電力消費の削減分を、運転再開後の電力消費が上回る為である。この原因として、運転再開時の COP が連続運転と比較して低くなることが考えられる。

4.2 冷房運転時 : U_A 値 0.6 [W/($m^2 \cdot K$)] でエアコンを連続運転させた場合、外気温が 30、35 [°C] の場合に、日積算電力消費量はそれぞれ 1.5、4.5 ～ 5.0 [kWh/日] となり、日積算電気料金はそれぞれ約 45、14 ～ 15 [円/日] となる。 U_A 値が 0.6、3.6 [W/($m^2 \cdot K$)] で、外気温 35 [°C] 以下で

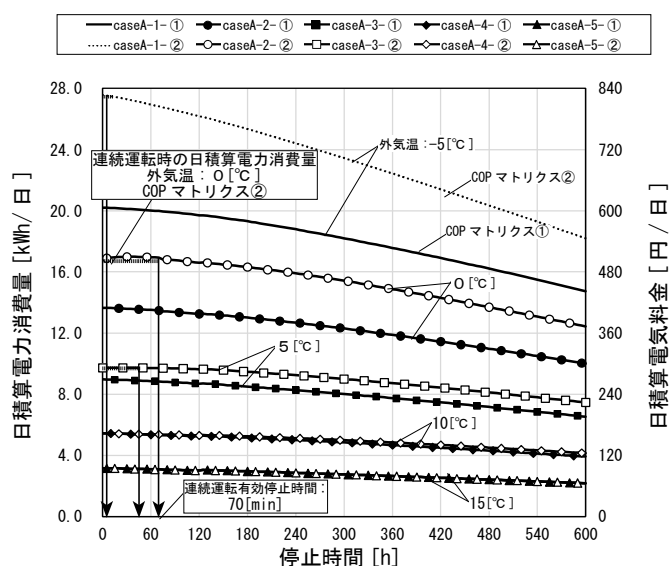
は、どの COP マトリクスにおいても、連続運転（停止時間：0 [min]）の場合に日積算電力消費量が最も多くなる。外気温 38[℃] では、 U_A 値が 0.6[W/(m²・K)] の場合に、間欠運転時で停止時間：5～60[min] の日積算電力消費量が連続運転と比較して多くなる。これは、冷房運転時の COP マトリクス②で、外気温 38[℃] 程度の場合、冷房負荷が連続運転時よりも多く、COP の比較的低い部分で運転される為であると考えられる。

暖冷房全体では、連続運転有効停止時間が生じる場合に、エアコンを連続運転することによって削減される電力消費量は最大で約 0.15[kWh]、電気料金は約 5 円程度である（caseA-2-②）。

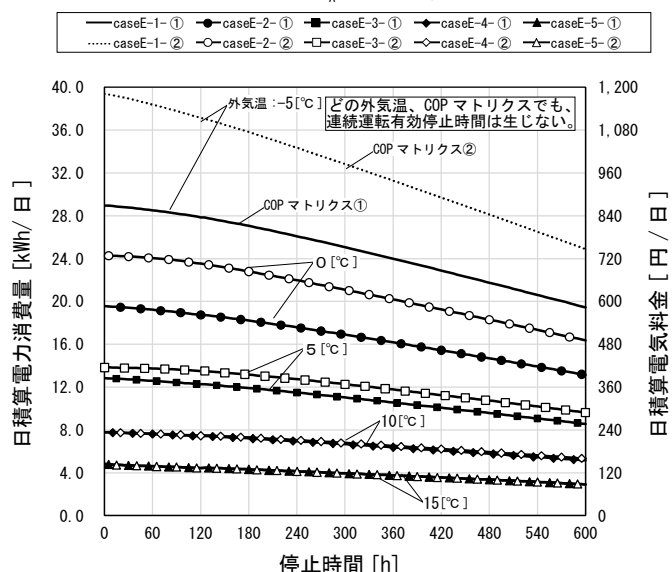
5 連続運転有効停止時間

図 5 に連続運転有効停止時間を示す。

5.1 COP マトリクス①：COP マトリクス①では、暖冷房時



(1) caseA（暖房、 U_A 値：3.6[W/(m²・K)]）

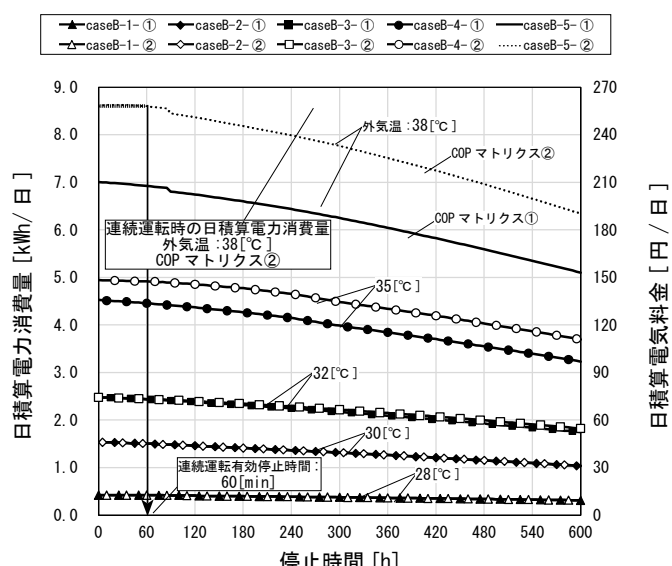


(2) caseE（暖房、 U_A 値：3.6[W/(m²・K)]）

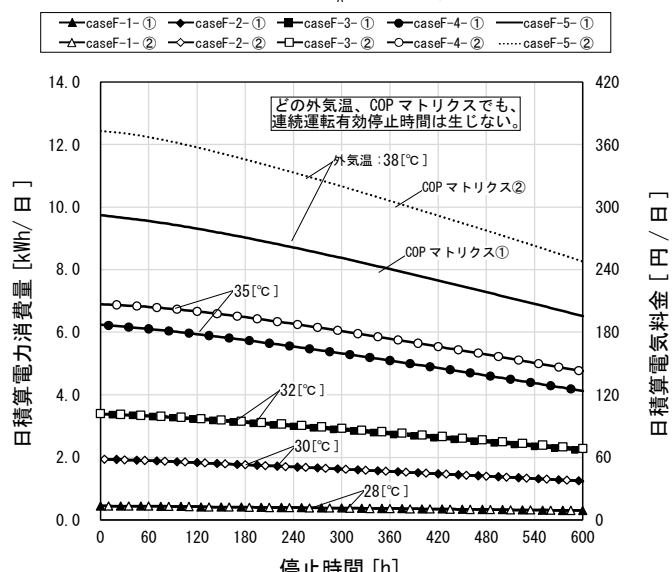
ともに、どの断熱性能、外気温でも間欠運転の方が連続運転よりも日積算電力消費量が少なくなる為、連続運転有効停止時間は存在しない。5分以上の外出をする場合はエアコンを停止させた方が省エネルギーとなる。これは、マトリクス①では、マトリクス②と比較して暖冷房出力による COP の変化が小さく、エアコン運転再開時の COP が大きく低下しない為と考えられる。

5.2 COP マトリクス②：COP マトリクス②では多くの case で、間欠運転の方が連続運転よりも日積算電力消費量が少なくなるが、 U_A 値が 0.6[W/(m²・K)] の場合に連続運転有効停止時間が生じる。これは U_A 値が 0.6[W/(m²・K)] の場合では、 U_A 値 1.2、3.6[W/(m²・K)] と比較して、COP が低い状態での運転状態が長くなることが原因と考えられる。

外気温、住宅の断熱性能、エアコンの特性によって連続運転有効停止時間は約 0～70 分と大きく変化するが、居



(3) caseB（冷房、 U_A 値：3.6[W/(m²・K)]）



(4) caseF（冷房、 U_A 値：3.6[W/(m²・K)]）

図 4 エアコン停止時間ごとの日積算電力消費量、日積算電気料金

住者が連続運転有効停止時間を判断することは極めて困難と考えられる。断熱性能が高い住宅で一部の条件を除いては、暖房・冷房時ともに5分以上外出する場合には常にエアコンを停止させた方が省エネルギーとなる可能性が高いと考えられる。

5.3 連続運転と間欠運転の電気料金差：図6に連続運転と間欠運転の電気料金差を示す。5.1、5.2より、ほとんどの場合でエアコンを停止させた方が省エネルギーとなるが、一方で連続運転には室内温度が一定に保たれるメリットがある。

U_A 値が $0.6[W/(m^2 \cdot K)]$ で、30分の外出をする際にエアコンを連続運転させる場合、暖房時（外気温 $0[^\circ C]$ ）で約2円、冷房時（外気温 $35[^\circ C]$ ）で約1円程度電気料金が高くなる。また、1時間の外出をする際にエアコンを連続運転させる場合では、暖房時（外気温 $0[^\circ C]$ ）で約4円、冷房時（外気温 $35[^\circ C]$ ）で約2円程度電気料金が高くなる。

U_A 値が $0.6[W/(m^2 \cdot K)]$ で外出時間が2、3、5、10[h]の場合では、暖房時でそれぞれ約10、20、40、120[円]、冷房時でそれぞれ約5、8、16、40[円]程度、日積算電力消費量が多くなる。

U_A 値が $3.6[W/(m^2 \cdot K)]$ で、30分の外出をする際にエアコンを連続運転させる場合、暖房時（外気温 $0[^\circ C]$ ）で約10円、冷房時（外気温 $35[^\circ C]$ ）で約5円程度電気料金が高くなる。また、1時間の外出をする際にエアコンを連続運転させる場合では、暖房時（外気温 $0[^\circ C]$ ）で約30円、冷房時（外気温 $35[^\circ C]$ ）で約10円程度電気料金が高くなる。

U_A 値が $3.6[W/(m^2 \cdot K)]$ で外出時間が2、3、5、10[h]の場合では、暖房時でそれぞれ約70、110、200、440[円]、冷房時でそれぞれ約20、35、60、125[円]程度、日積算電力消費量が多くなる。

6 まとめ

①外気温が $0[^\circ C]$ で、暖房・連続運転させた場合の日積算電力消費量は、 U_A 値が $0.6、1.2、3.6[W/(m^2 \cdot K)]$ の住宅で、それぞれ約15[kWh/日]、約22[kWh/日]、

約36[kWh/日]となり、日積算電気料金はそれぞれ約150[円/日]、約180[円/日]、約360[円/日]となる。

②外気温が $35[^\circ C]$ で冷房・連続運転させた場合の日積算電力消費量は、 U_A 値が $0.6、1.2、3.6[W/(m^2 \cdot K)]$ の住宅で、それぞれ約4.6[kWh/日]、約6.5[kWh/日]、約10.5[kWh/日]となり、日積算電気料金はそれぞれ約138[円/日]、約195[円/日]、約315[円/日]となる。

③COPマトリクス①では、どの断熱性能、外気温でも5分以上外出する場合には、エアコンを停止させた方が省エネルギーとなる可能性が高い。

④COPマトリクス②では、高断熱な住宅を除き、5分以上外出する場合には、エアコンを停止させた方が省エネルギーとなる可能性が高い。

⑤ U_A 値が $0.6[W/(m^2 \cdot K)]$ において、外出時間が30分、1時間でエアコンを連続運転させた場合、エアコンを停止させた場合と比較して暖房時（外気温 $0[^\circ C]$ ）でそれぞれ約10円、約30円程度電気料金が高くなり、冷房時（外気温 $35[^\circ C]$ ）で約5円、約10円程度電気料金が高くなる。

⑦ U_A 値が $3.6[W/(m^2 \cdot K)]$ において、外出時間が30分、1時間でエアコンを連続運転させた場合、エアコンを停止させた場合と比較して暖房時（外気温 $0[^\circ C]$ ）で約10円、約30円程度電気料金が高くなり、冷房時（外気温 $35[^\circ C]$ ）で約5円、約10円程度程度電気料金が高くなる。

⑨エアコンを連続運転させることによる省エネルギー性は少ないと考えられるが、室温が一定に保たれることによる健康性・快適性などのメリットと電気料金を考慮した上で、居住者にはエアコンを使用すべきであると考えられる。

注釈
※1 既往の研究で測定したCOPマトリクスを参考とし、外気温が $10[^\circ C]$ 変化した場合に、COPが2割程度低くなることを考慮した。
参考文献
文1) 経済産業省資源エネルギー庁「エネルギー白書2020」、2020年
文2) 内閣府「消費動向調査」、2020年3月
文3) 経済産業省資源エネルギー庁「家庭の省エネ徹底ガイド」、2017年
文4) 赤林ら「家庭用エアコンを対象とした実使用時のCOPに着目した最適機種選定方法に関する研究 その3～11」日本建築学会大会、2015年
文5) 宇田川光弘他「標準問題の提案 住宅用標準問題」日本建築学会環境工学委員会熱分科会第15回シンポジウムテキスト、1985年

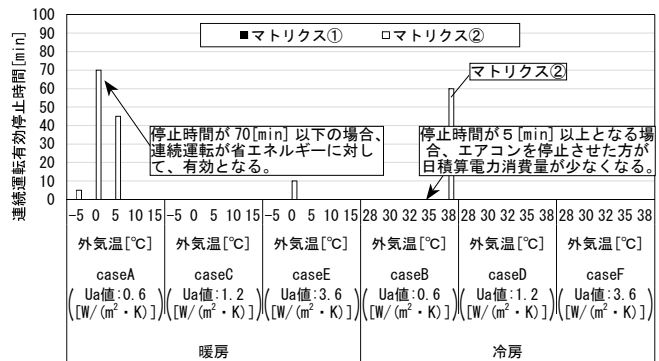


図5 連続運転有効停止時間
（日積算電力消費量が少なくなる最大のエアコン停止時間）

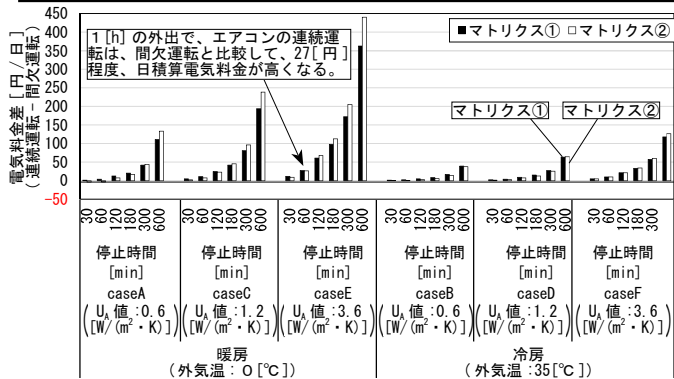


図6 連続運転と間欠運転の電気料金差
（連続運転 - 間欠運転）