

外出時に家庭用エアコンを運転・停止した場合の電力消費量に関する研究

指導教員

成田 みのり
赤林 伸一 教授



研究目的

一般に家電や照明等の小まめな停止は省エネルギーの手法として推奨されている^{文1)}。

文1) 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

しかし、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と言われていたり、成績係数(COP)が暖冷房出力によって大きく変化することから、短時間での運転停止・稼働は連続運転と比較して積算された電力消費量が増加する可能性がある^{と指摘されている}。



研究目的

本研究では居住者が外出する際にエアコンを停止させる場合(間欠運転)と、停止させない場合(連続運転)の電力消費シミュレーションを行う。

家庭用エアコンの機器特性(COPマトリクス)と実測した種々の条件での運転開始時の電力消費量から、エアコンの特性、外気温、住宅の断熱性能、停止時間を変化させた場合の積算電力消費量を算出し、エアコンの効果的な使用方法を明らかにすることを目的とする。



研究概要：解析概要

表 1 解析条件※

解析条件		エアコン 運転方法	Ua値 [W/(m ² ・K)]	外気温 [℃]	解析条件		エアコン 運転方法	Ua値 [W/(m ² ・K)]	外気温 [℃]
case1	case1-1	暖房 （エアコン 設定温度 20[℃]）	0.6	-5	case4	case4-1	冷房 （エアコン 設定温度 27[℃]）	0.6	28
	case1-2			0		case4-2			30
	case1-3			5		case4-3			33
	case1-4			10		case4-4			35
	case1-5			15	case5	case5-1		1.2	28
case2	case2-1		1.2	-5		case5-2			30
	case2-2			0		case5-3			33
	case2-3			5		case5-4			35
	case2-4			10	case6	case6-1		3.6	28
	case2-5			15		case6-2			30
case3	case3-1		3.6	-5		case6-3			33
	case3-2			0		case6-4			35
	case3-3			5					
	case3-4			10					
	case3-5			15					

※ U_A値0.6、1.2[W/(m²・K)]ではエアコンの冷房定格出力2.8、4.0、6.3[kW]を対象に解析を行い、U_A値3.6[W/(m²・K)]ではエアコンの冷房定格出力4.0、6.3[kW]を対象に解析を行う。



表 2 解析対象エアコンの概要

	エアコンの COPマトリクス	冷房定格 出力[kW]	最大 COP[-]		エアコンの COPマトリクス	冷房定格 出力[kW]	最大 COP[-]
エアコンA	①	2.8	4	エアコンD	②	2.8	4
			6				6
			8				8
エアコンB		4.0	4	エアコンE		4.0	4
			6				6
			8				8
エアコンC		6.3	4	エアコンF		6.3	4
			6				6
			8				8

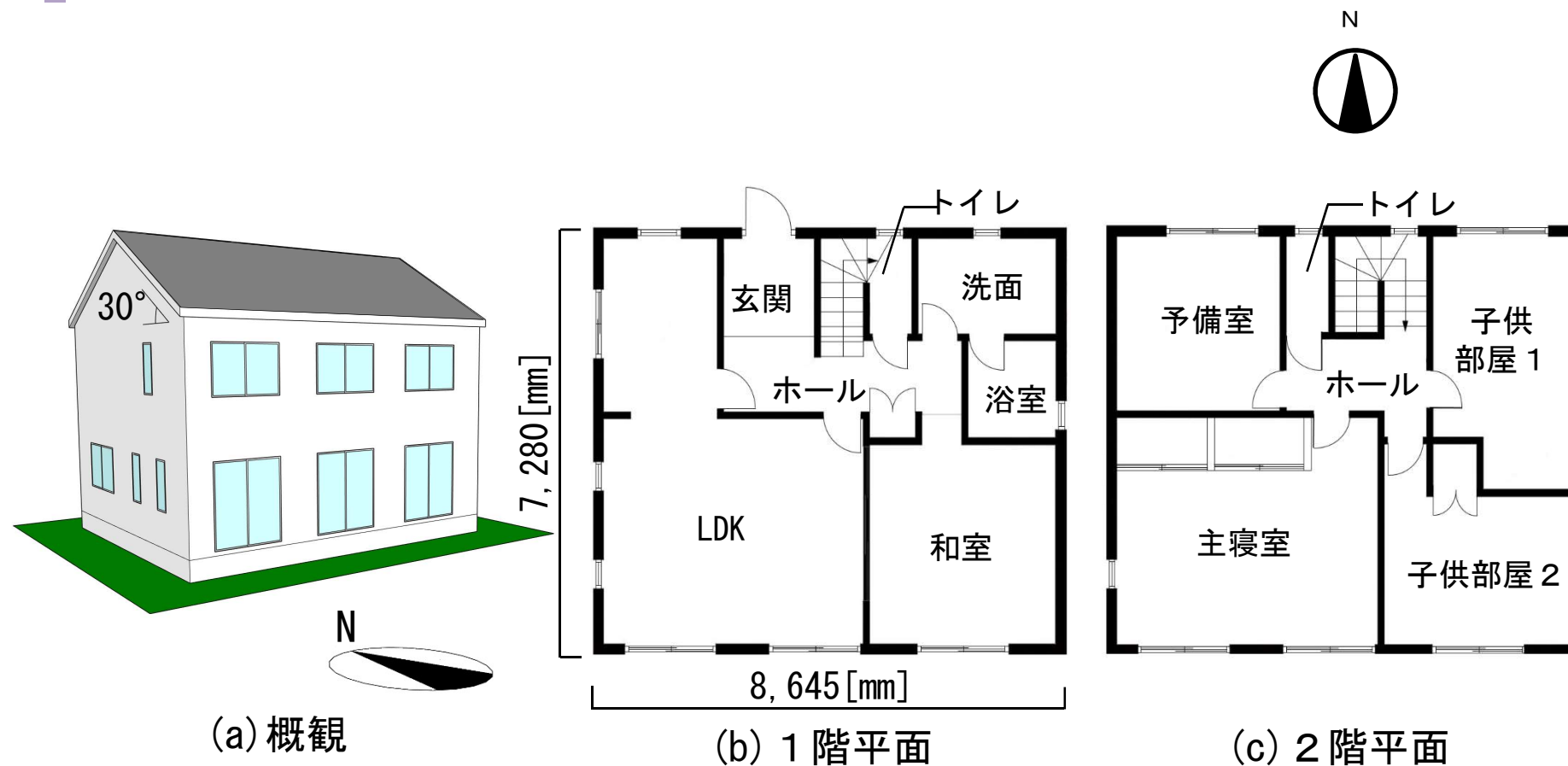


図 解析対象住宅

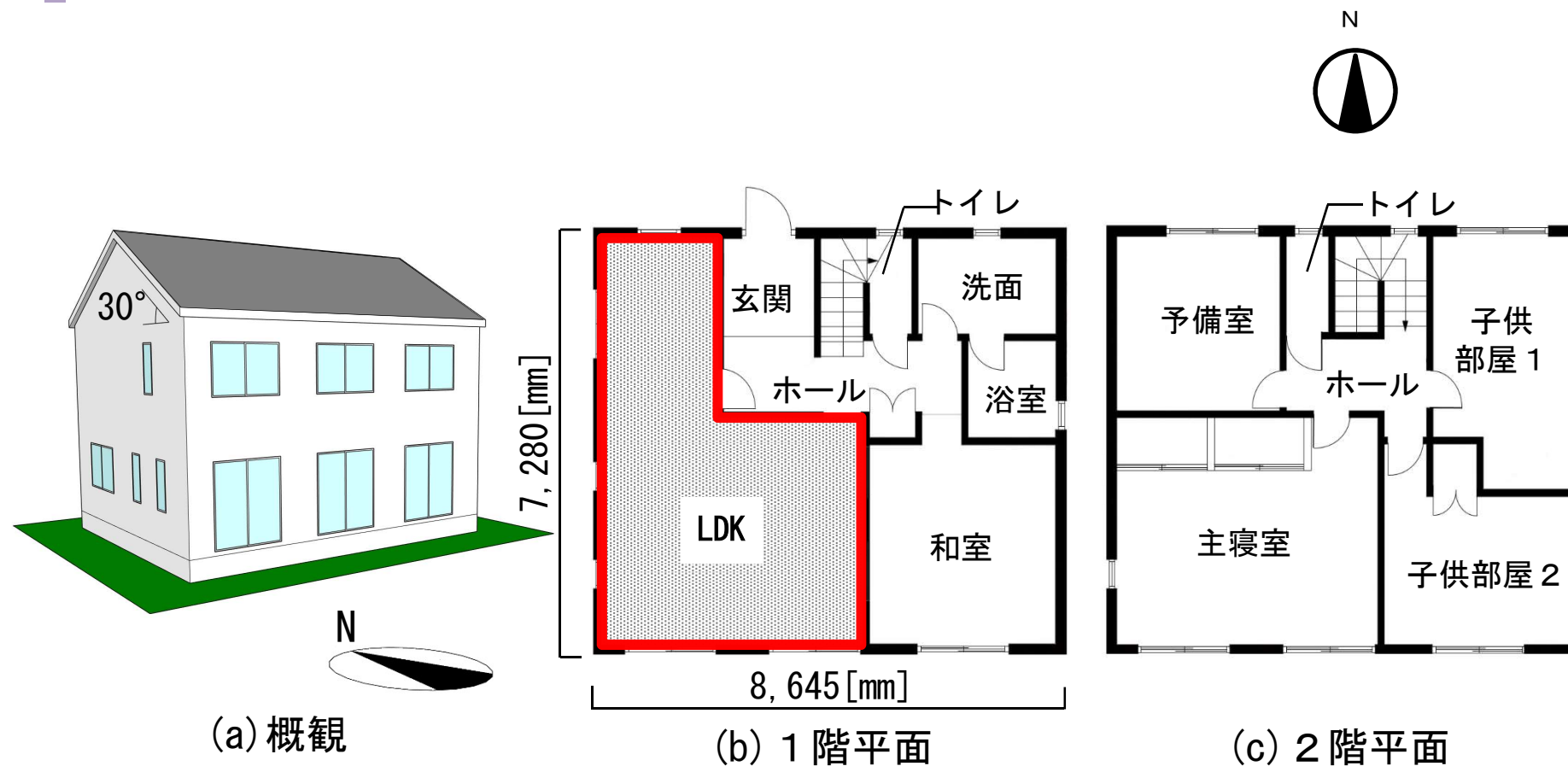


図 解析対象住宅

解析対象住宅は日本建築学会標準住宅モデルとし、LDKを対象とする。

解析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**で解析を行う。

連続運転しているエアコンと、1日1回停止し再度運転するエアコンの積算電力消費量の比較を行う。

停止時刻は午前8時とし、次の運転開始までの時間を10分後から**10分刻みで10時間後まで設定する。**

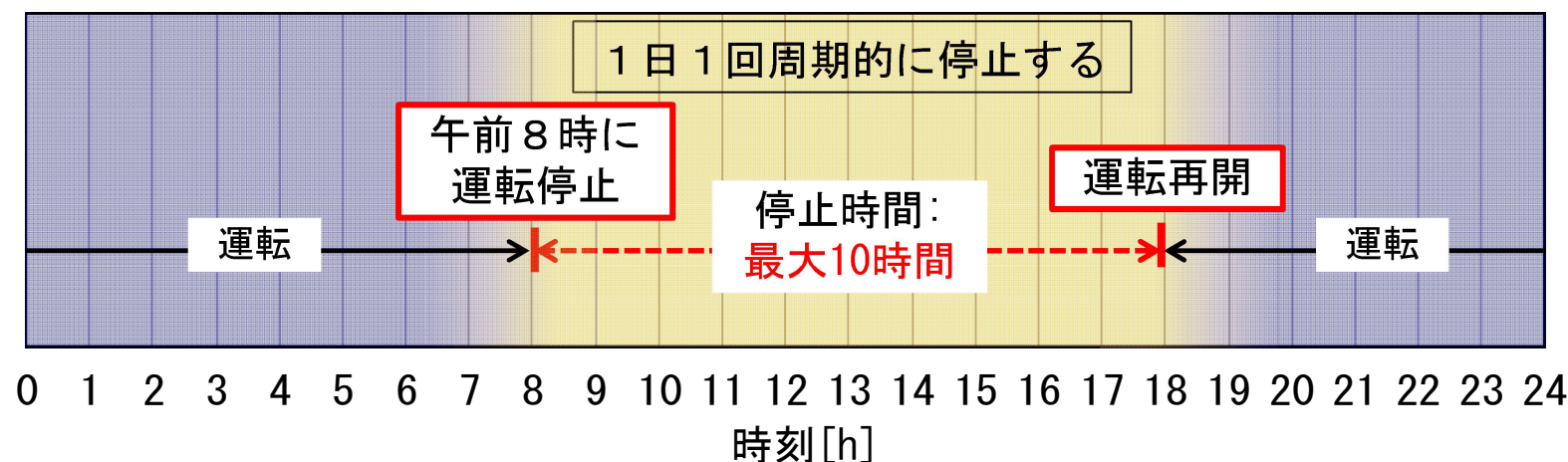


図 1日1回停止するエアコンの運転スケジュール



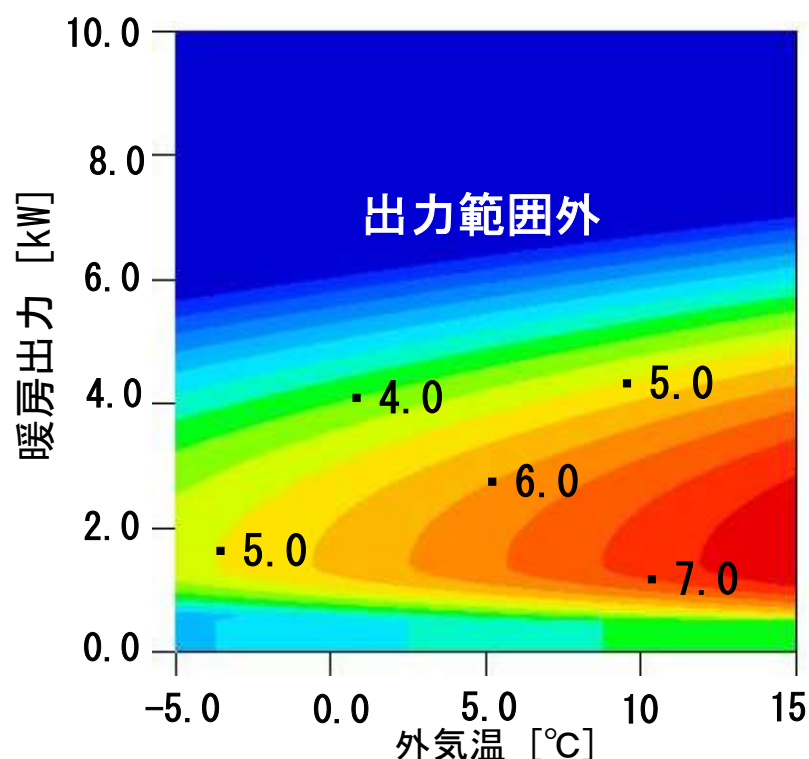
消費電力を算出する際は、既往の研究^{文2)}で測定したCOPマトリクスを参考に、表2に示す冷房定格出力が2.8、4.0、6.3[kW]のエアコンを対象とし、最大COPを4、6、8としてモデル化したCOPマトリクスを作成する。

表2 解析対象エアコンの概要

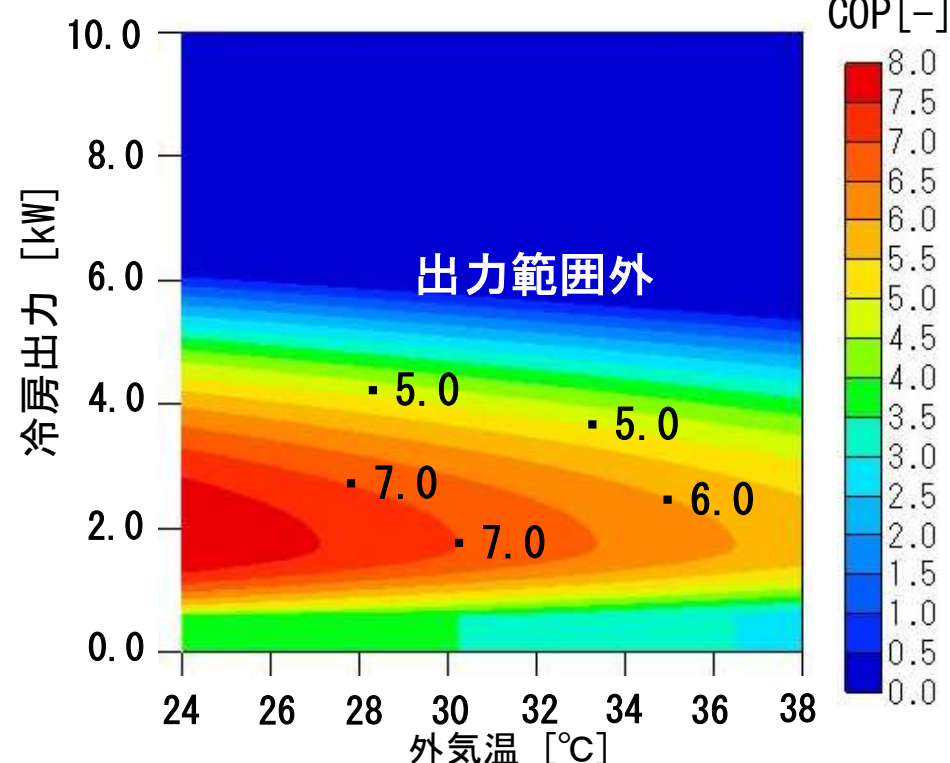
	エアコンの COPマトリクス	冷房定格 出力[kW]	最大 COP[-]		エアコンの COPマトリクス	冷房定格 出力[kW]	最大 COP[-]
エアコンA	①	2.8	4	エアコンD	②	2.8	4
			6				6
			8				8
エアコンB		4.0	4	エアコンE		4.0	4
			6				6
			8				8
エアコンC		6.3	4	エアコンF		6.3	4
			6				6
			8				8

文2) 文「家庭用エアコンを対象とした実使用時のCOPに着目した適機種選定方法に関する研究」新潟大学大学院自然科学研究科環境科学専攻社会基盤・建築学コース(建築系)博士論文、2017年

研究概要: 解析概要



(a) エアコンA (COPマトリクス①、
暖房、定格出力3.6[kW])

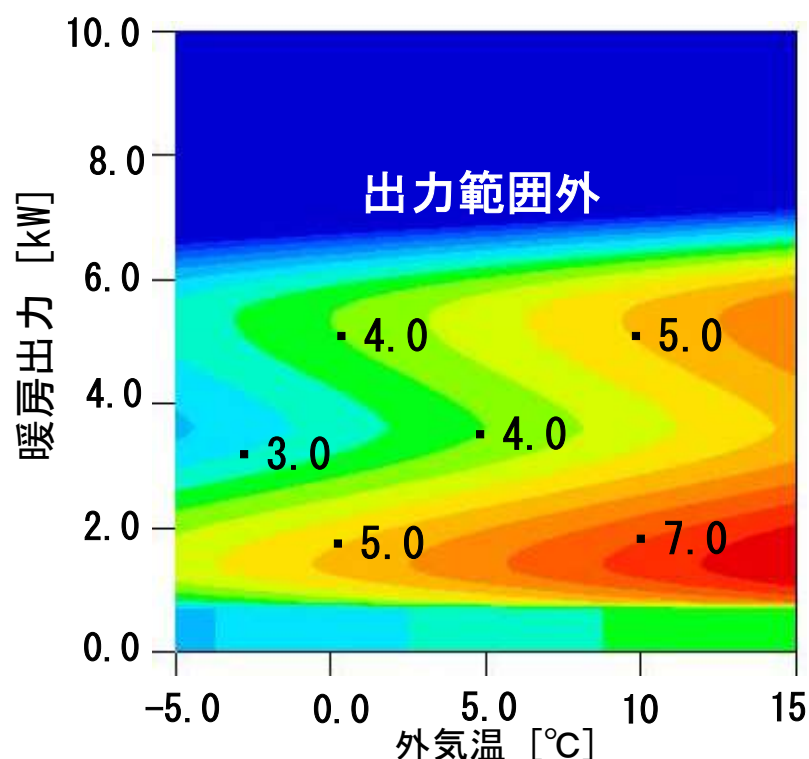


(b) エアコンA (COPマトリクス①、
冷房、定格出力2.8[kW])

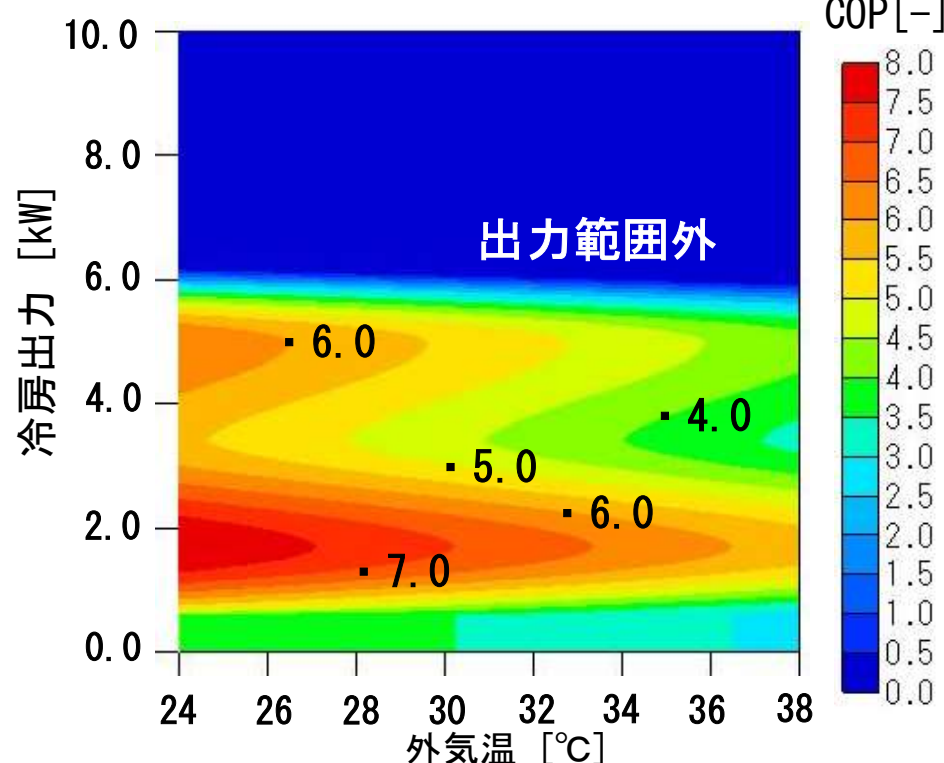
図2 モデル化したCOPマトリクス※¹ (最大COP 8 [-])

※¹ COPマトリクスのモデル化では既往の実験結果をもとに作成する。なお外気温によるCOPの変化は、外気温15[°C] (暖房) 及び24[°C] (冷房) の最大COPに対して2 [%/°C] としている。また定格出力の2割以下では、最大COPの0.5倍でON-OFF運転するものとしている。

研究概要: 解析概要



(c) エアコンD (COPマトリクス②、
暖房、定格出力3.6[kW])

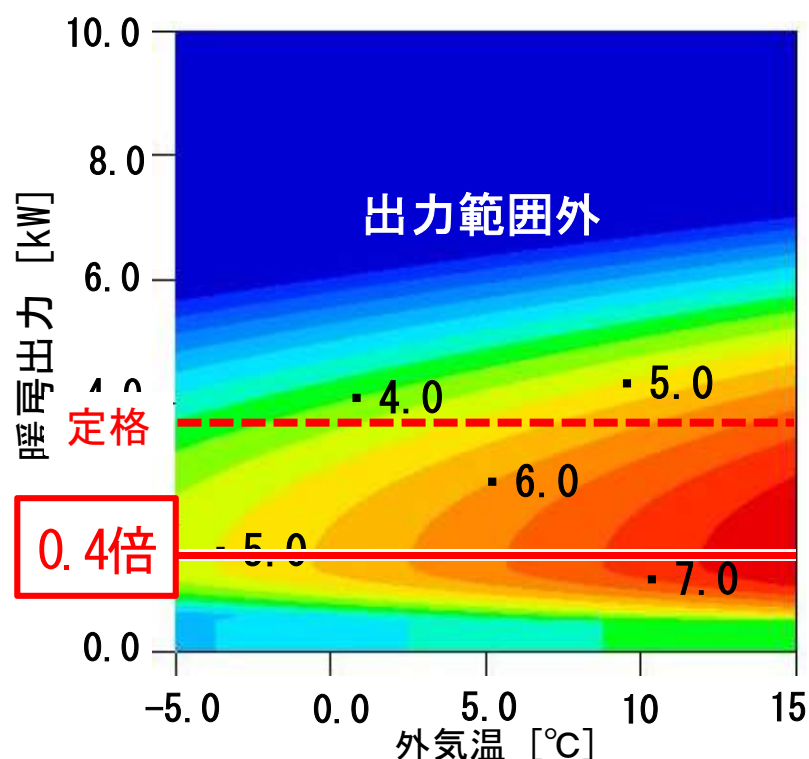


(d) エアコンD (COPマトリクス②、
冷房、定格出力2.8[kW])

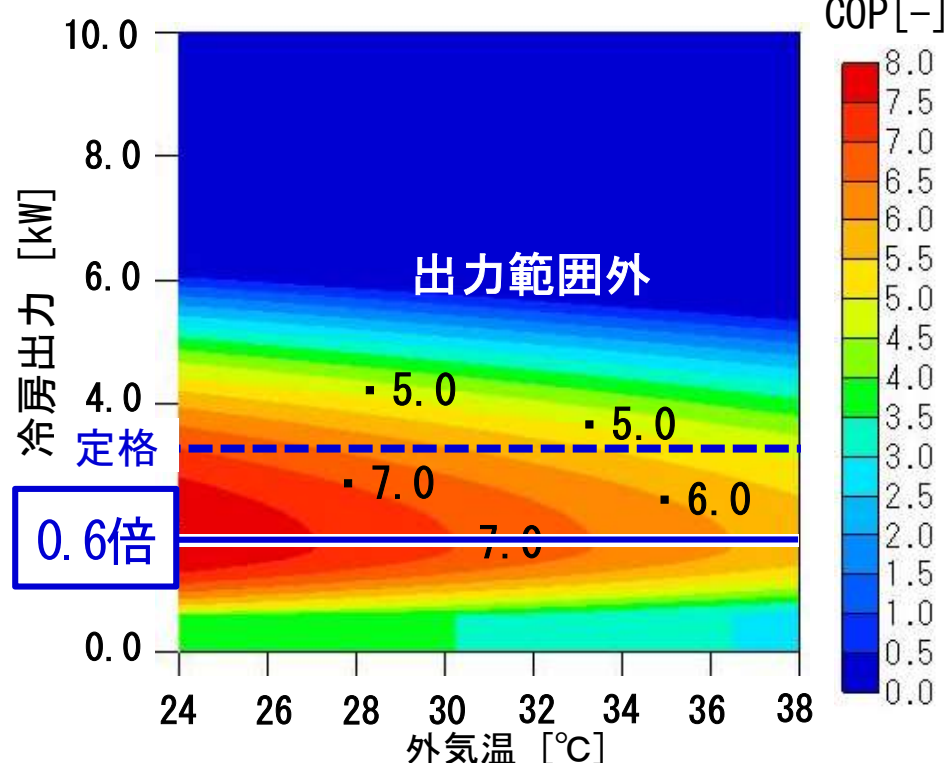
図2 モデル化したCOPマトリクス※¹ (最大COP 8 [-])

※¹ COPマトリクスのモデル化では既往の実験結果をもとに作成する。なお外気温によるCOPの変化は、外気温15[°C] (暖房) 及び24[°C] (冷房) の最大COPに対して2 [%/°C] としている。また定格出力の2割以下では、最大COPの0.5倍でON-OFF運転するものとしている。

研究概要：解析概要



(a) エアコンA (COPマトリクス①、
暖房、定格出力3.6[kW])



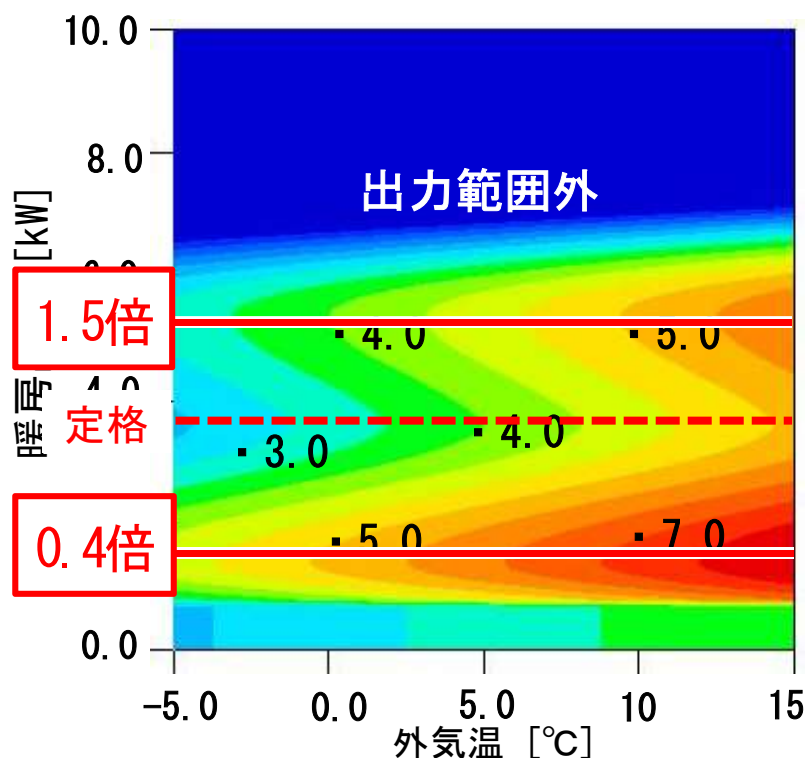
(b) エアコンA (COPマトリクス①、
冷房、定格出力2.8[kW])

図2 モデル化したCOPマトリクス※1 (最大COP 8 [-])

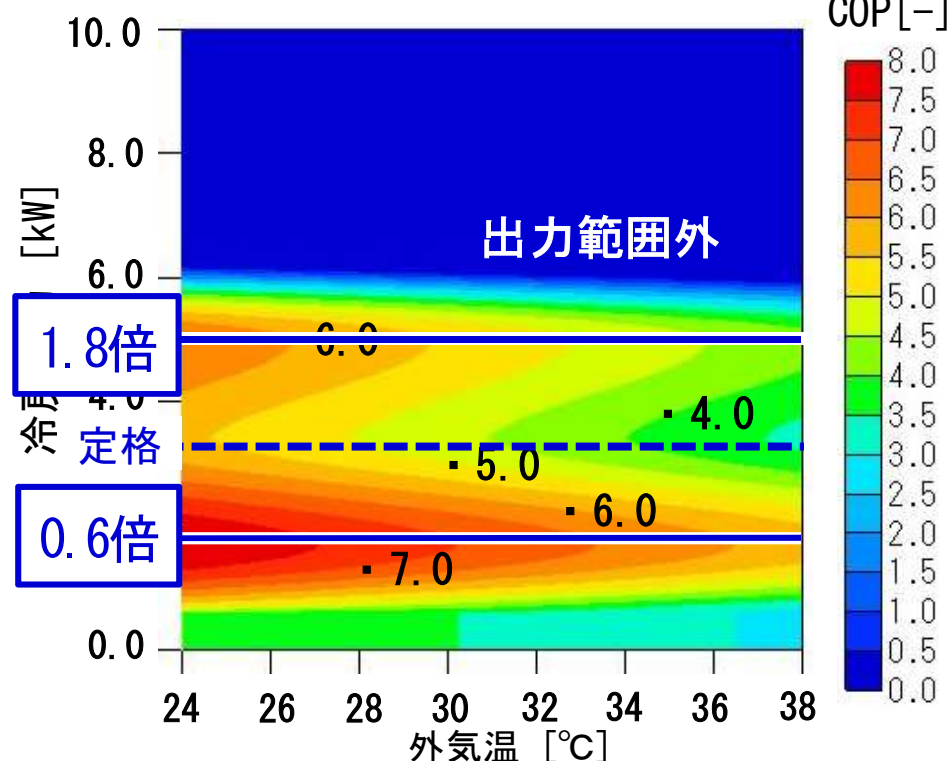
※1 COPマトリクスのモデル化では既往の実験結果をもとに作成する。なお外気温によるCOPの変化は、外気温15[°C] (暖房) 及び24[°C] (冷房) の最大COPに対して2 [%/°C]としている。また定格出力の2割以下では、最大COPの0.5倍でON-OFF運転するものとしている。

マトリクス①は、定格出力の0.4倍 (暖房時)、0.6倍 (冷房時) の時にCOPのピークが生じるモデルとする。

研究概要: 解析概要



(c) エアコンD (COPマトリクス②、
暖房、定格出力3.6[kW])



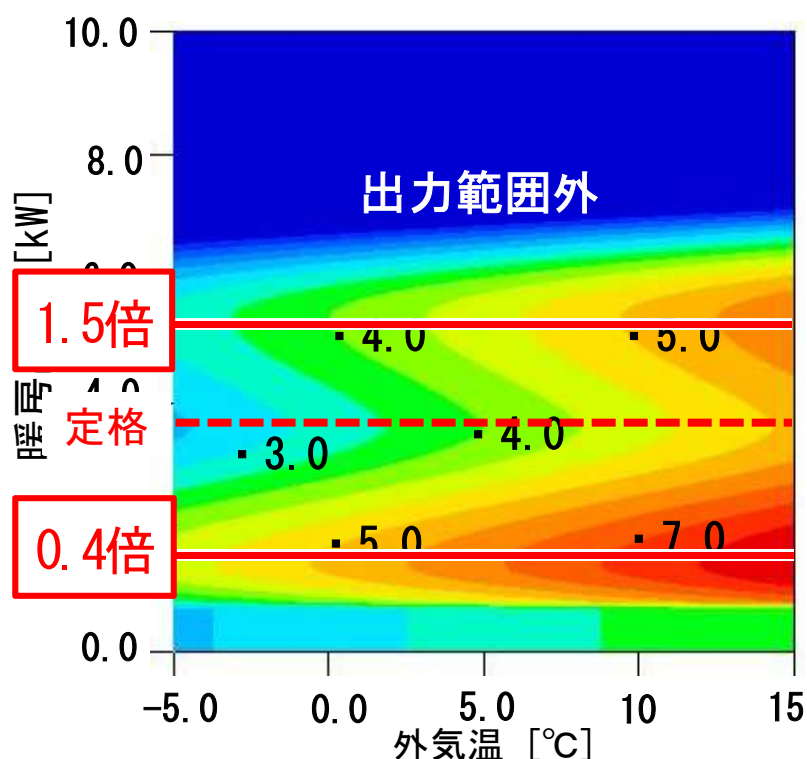
(d) エアコンD (COPマトリクス②、
冷房、定格出力2.8[kW])

図2 モデル化したCOPマトリクス※1 (最大COP 8 [-])

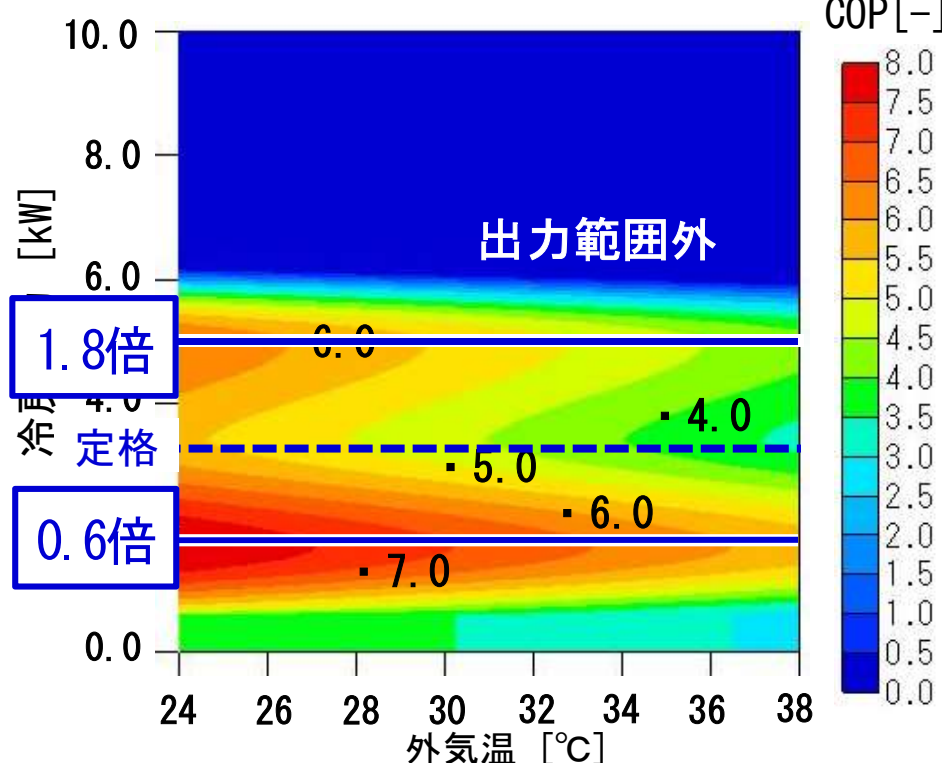
※1 COPマトリクスのモデル化では既往の実験結果をもとに作成する。なお外気温によるCOPの変化は、外気温15[°C] (暖房) 及び24[°C] (冷房) の最大COPに対して2 [%/°C] としている。また定格出力の2割以下では、最大COPの0.5倍でON-OFF運転するものとしている。

マトリクス②は定格出力の上下にCOPのピークが生じるモデルとし、

研究概要：解析概要



(c) エアコンD (COPマトリクス②、
暖房、定格出力3.6[kW])



(d) エアコンD (COPマトリクス②、
冷房、定格出力2.8[kW])

図2 モデル化したCOPマトリクス※1 (最大COP 8 [-])

※1 COPマトリクスのモデル化では既往の実験結果をもとに作成する。なお外気温によるCOPの変化は、外気温15[°C] (暖房) 及び24[°C] (冷房) の最大COPに対して2 [%/°C]としている。また定格出力の2割以下では、最大COPの0.5倍でON-OFF運転するものとしている。

暖房で定格出力の0.4倍、1.5倍、冷房で0.6倍、1.8倍の時にCOPのピークが生じるものとする。

研究概要：実験概要

既往の研究^{文2)}で作成した簡易カロリメータを用いて、**運転開始時に消費電力が定常状態となるまでの電力消費量の測定を行う。**

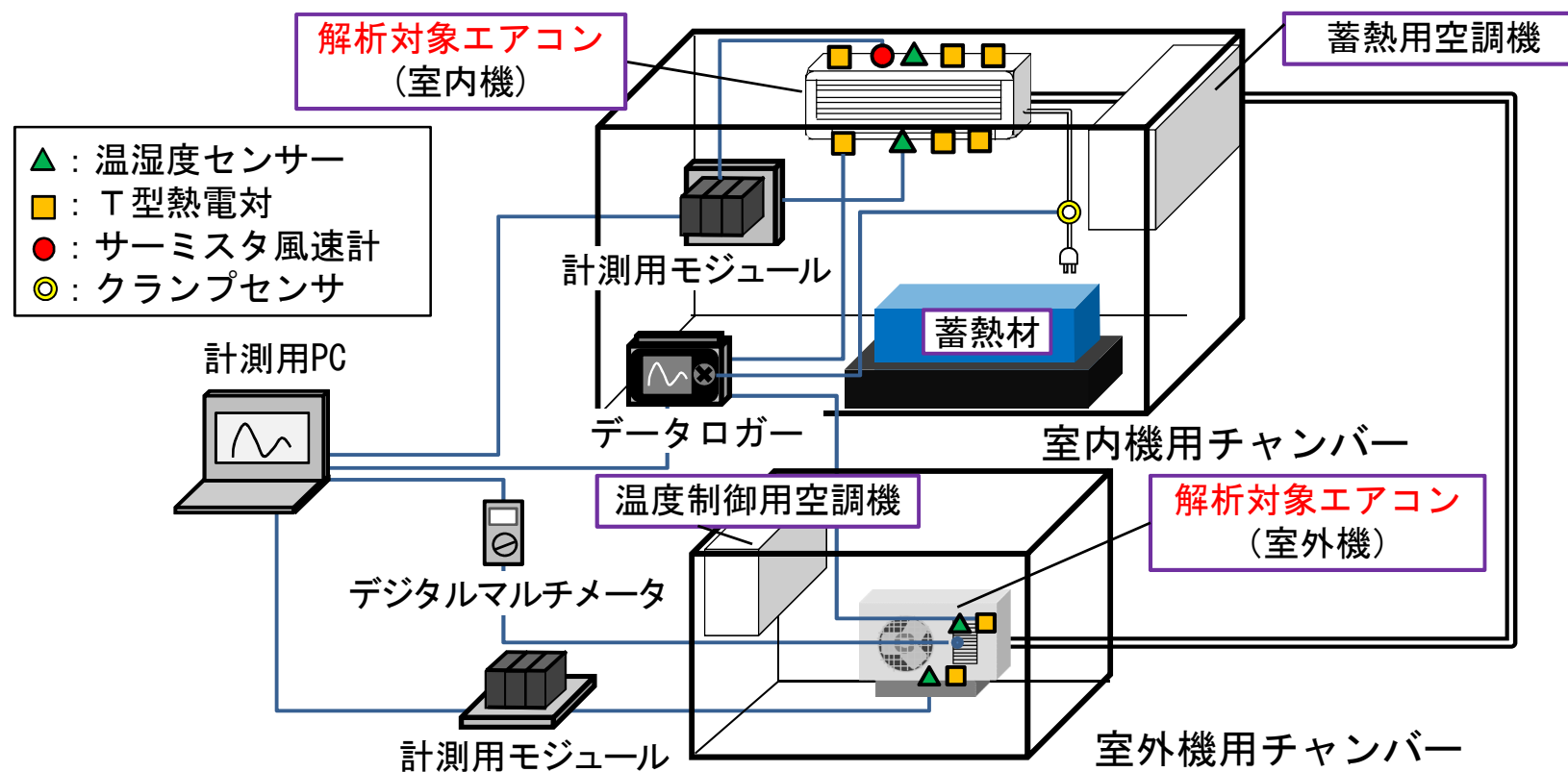


図 蓄熱式簡易カロリメータ

文2) 文「家庭用エアコンを対象とした実使用時のCOPに着目した適機種選定方法に関する研究」新潟大学大学院自然科学研究科環境科学専攻社会基盤・建築学コース(建築系)博士論文、2017年

研究概要：実験概要

外気温、室内温度を変化させた場合の運転開始時の出力及び電力消費量を測定する。出力は家庭用エアコンCOP簡易測定法^{文3)}により測定する。

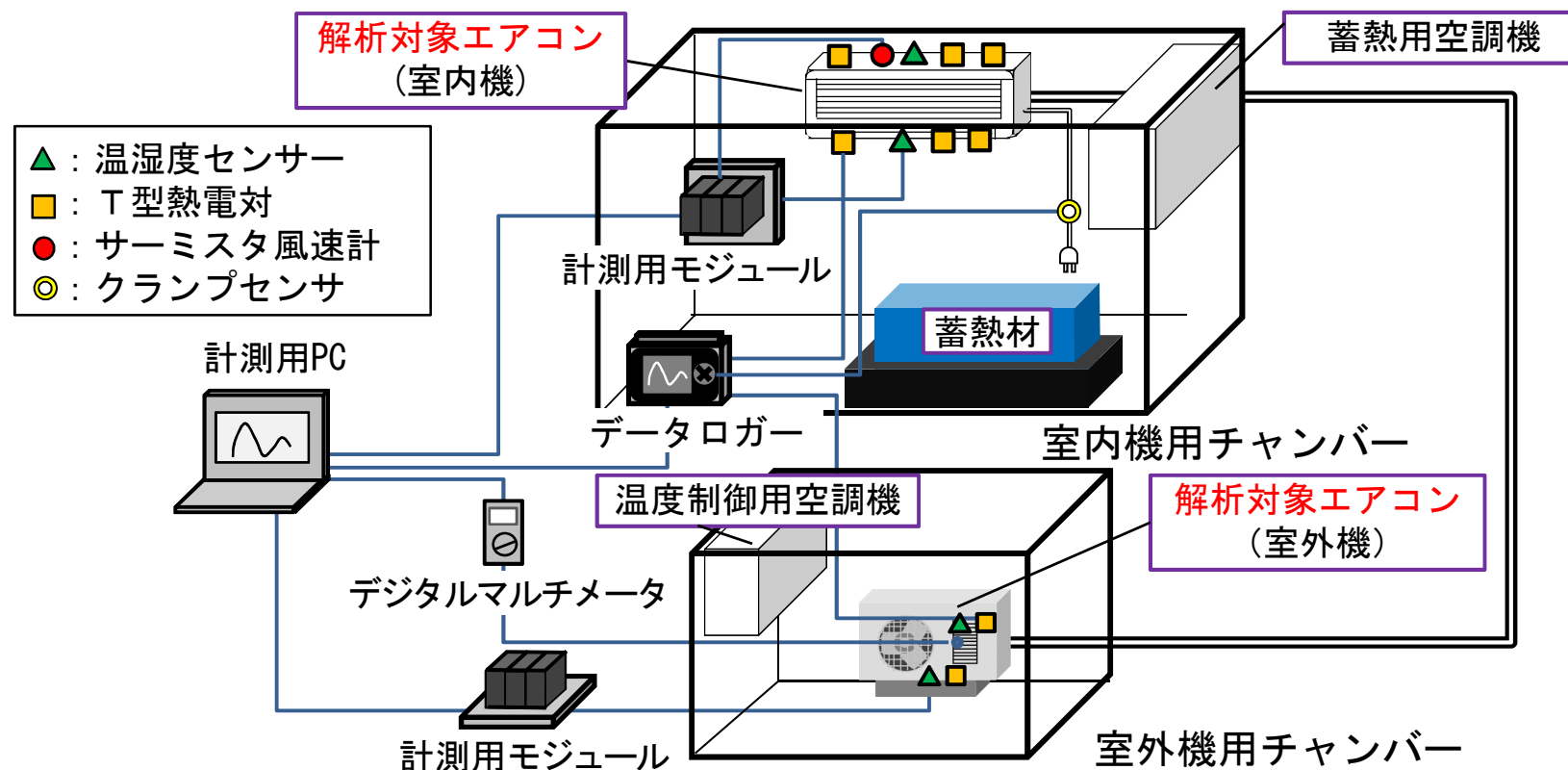


図 蓄熱式簡易カロリーメータ

文3) 赤林・坂口・佐藤・浅間「家庭用エアコンCOP簡易測定法の開発研究」日本建築学会技術報告集 第22号、2005年

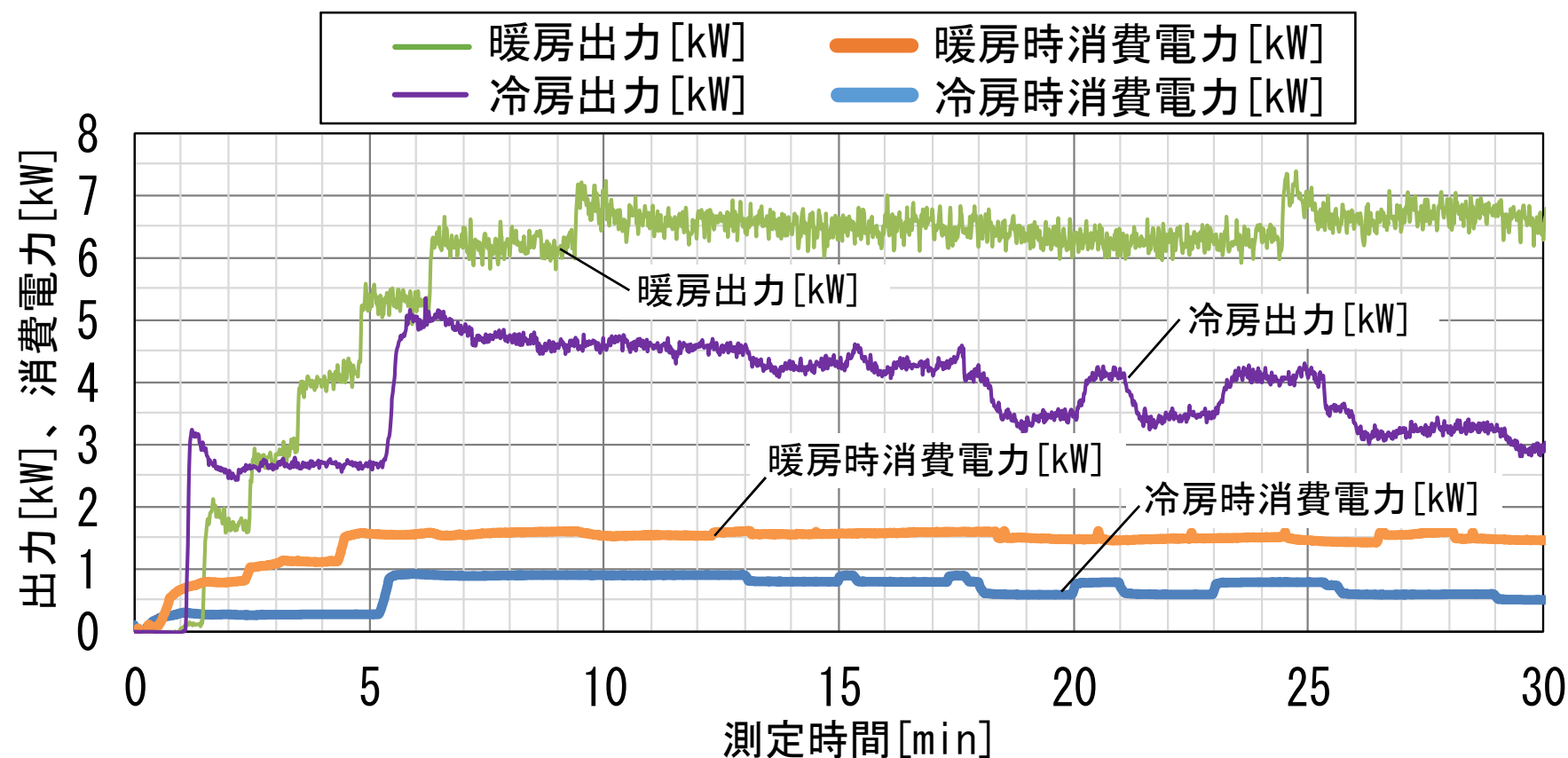


図3 運転開始時のエアコンの電力消費量

〔 暖房: 外気温 0 [°C]、室内温度 0 [°C]
冷房: 外気温 35 [°C]、室内温度 35 [°C] 〕



研究結果：実験結果

表 3 各外気温、室内温度における運転開始時の電力消費量(単位:[Wh])

(a) 暖房運転時(定常時までの5分間)

		室内温度[°C]			
		0	5	10	15
外気温 「°C」	0	73.7	78.2	87.7	89.5
	5	—	79.4	78.4	89.5
	10	—	—	87.9	83.8
	15	—	—	—	55.3

(b) 冷房運転時(定常時までの6分間)

		室内温度[°C]			
		28	30	33	35
外気温 「°C」	28	16.6	17.6	24.6	—
	30	18.8	19.1	24.7	25.9
	33	19.9	23.5	30.2	29.7
	35	23.5	27.5	32.4	31.5

研究結果：実験結果

消費電力は暖房はエアコン運転開始からおよそ 5 分後に約 1.5[kW]、冷房はおよそ 6 分後に約 1.0[kW] で定常状態となる。

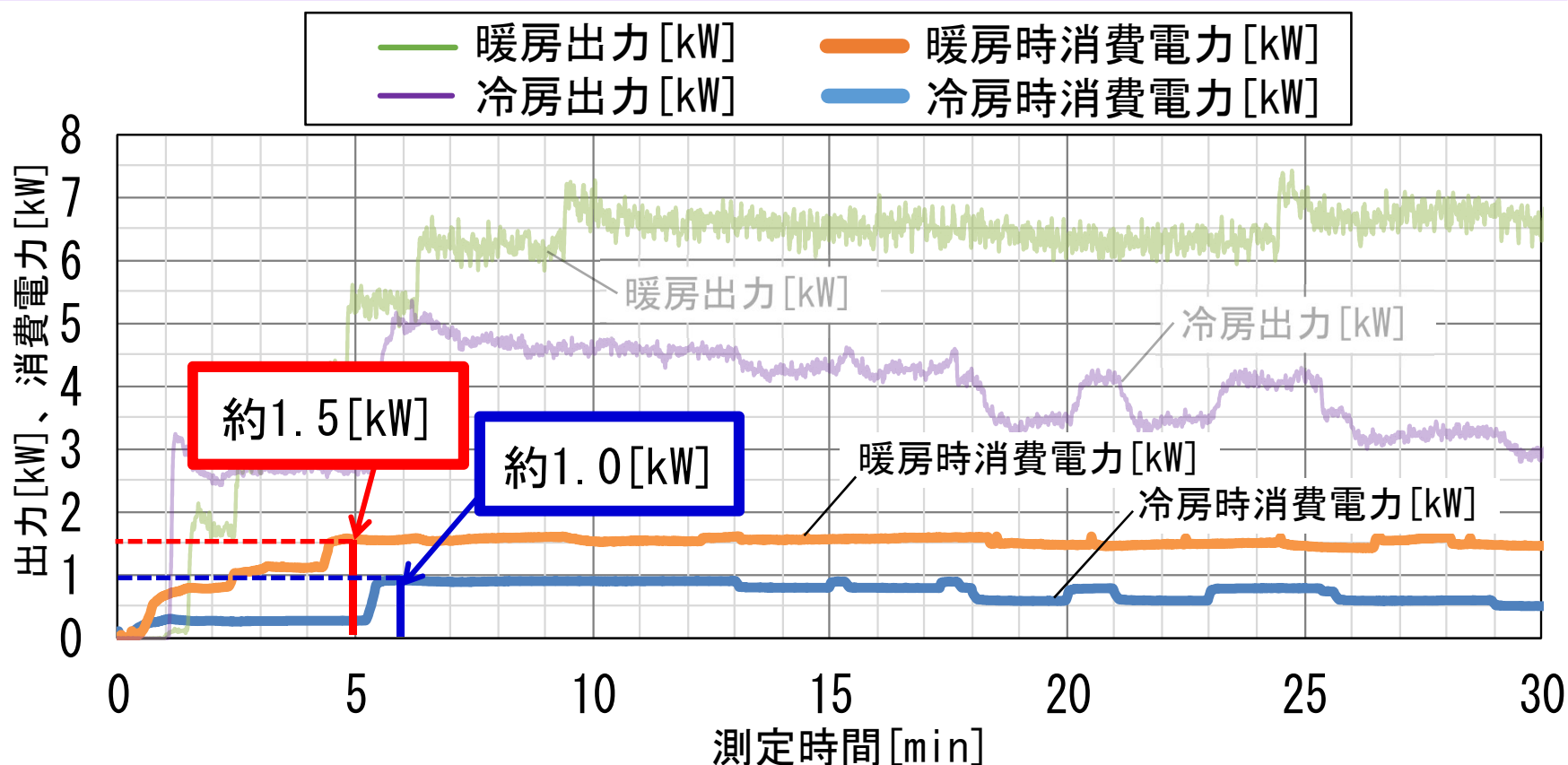


図3 運転開始時のエアコンの電力消費量

〔 暖房：外気温 0 [°C]、室内温度 0 [°C]
冷房：外気温 35 [°C]、室内温度 35 [°C] 〕

研究結果:実験結果

運転開始時の電力消費量は暖房は運転開始 5 分間で平均
約83 [Wh]、冷房は運転開始 6 分間で平均**約22 [Wh]**となる。

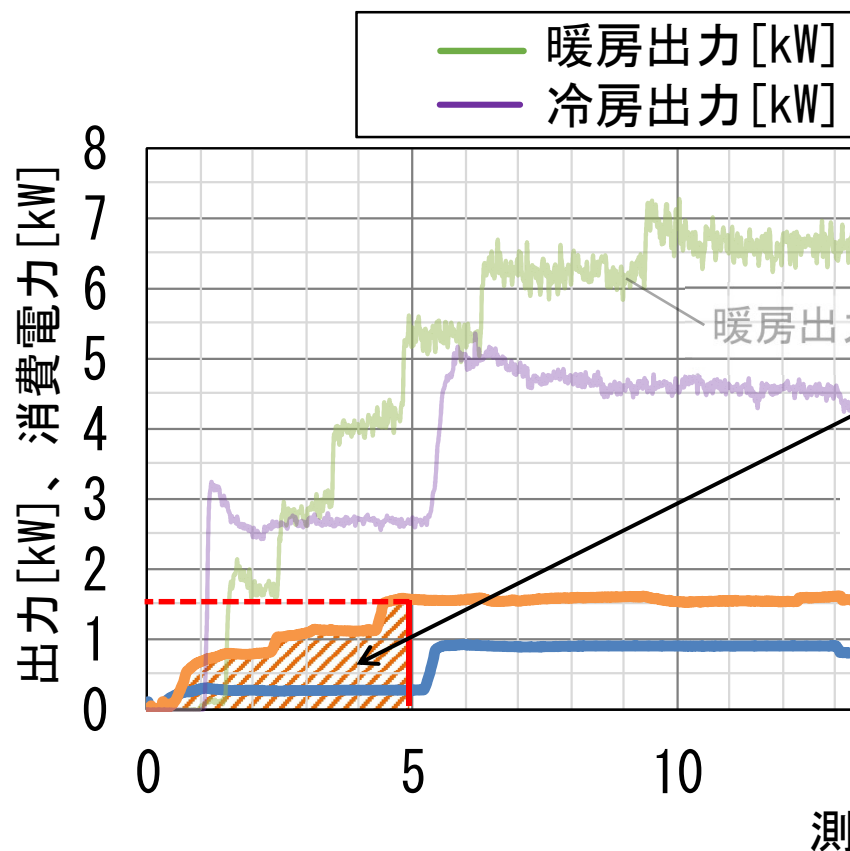


表 3 各外気温、室内温度における
運転開始時の電力消費量 (単位: [Wh])

(a) 暖房運転時 (定常時までの 5 分間)

		室内温度 [°C]			
		0	5	10	15
外気温 [°C]	0	73.7	78.2	87.7	89.5
	5	—	79.4	78.4	89.5
	10	—	—	87.9	83.8
	15	—	—	—	55.3

平均電力消費量
(運転開始 5 分間)
: 約83 [Wh]

図 3 運転開始時のエアコンの電力消費量

〔 暖房: 外気温 0 [°C]、室内温度 0 [°C]
冷房: 外気温 35 [°C]、室内温度 35 [°C] 〕

研究結果：実験結果

運転開始時の電力消費量は暖房は運転開始 5 分間で平均約83 [Wh]、冷房は運転開始 6 分間で平均約22 [Wh]となる。

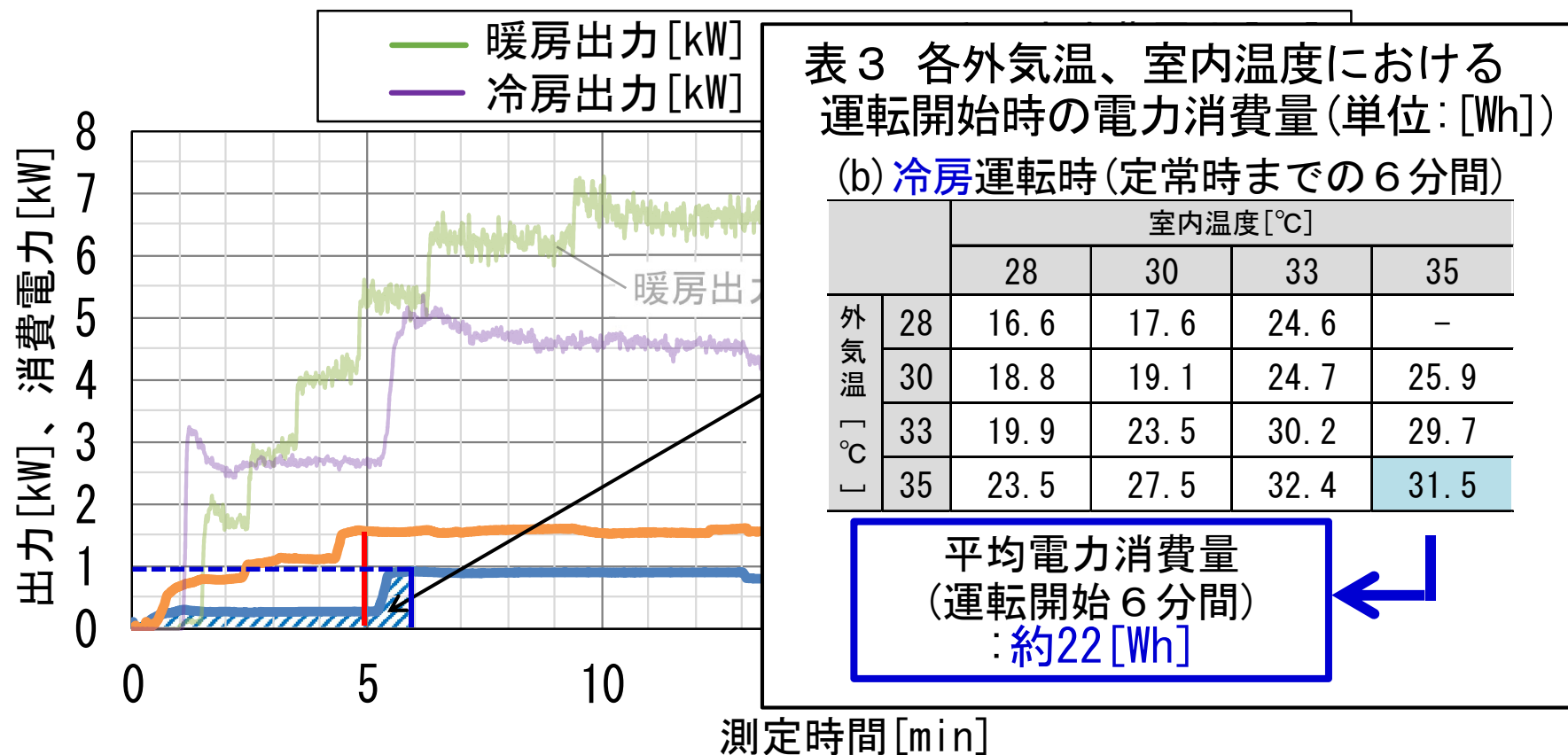


図 3 運転開始時のエアコンの電力消費量
〔 暖房: 外気温 0 [°C]、室内温度 0 [°C] 〕
〔 冷房: 外気温 35 [°C]、室内温度 35 [°C] 〕

研究結果：解析結果

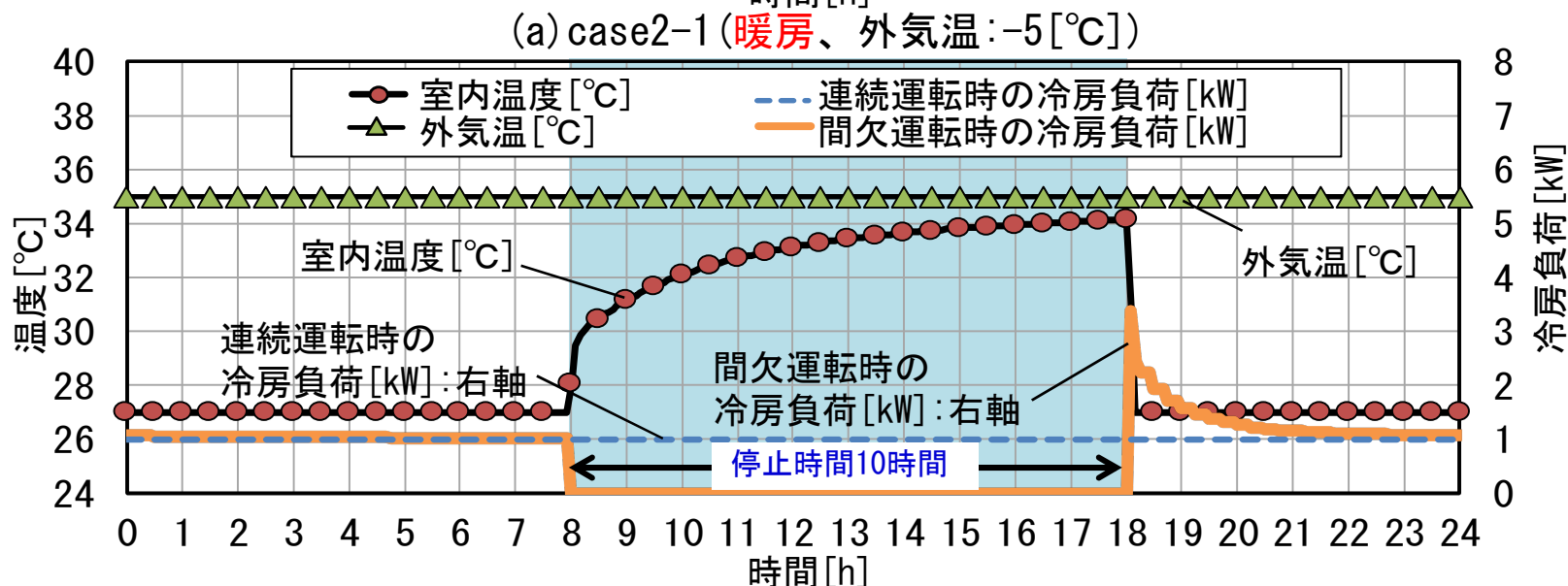
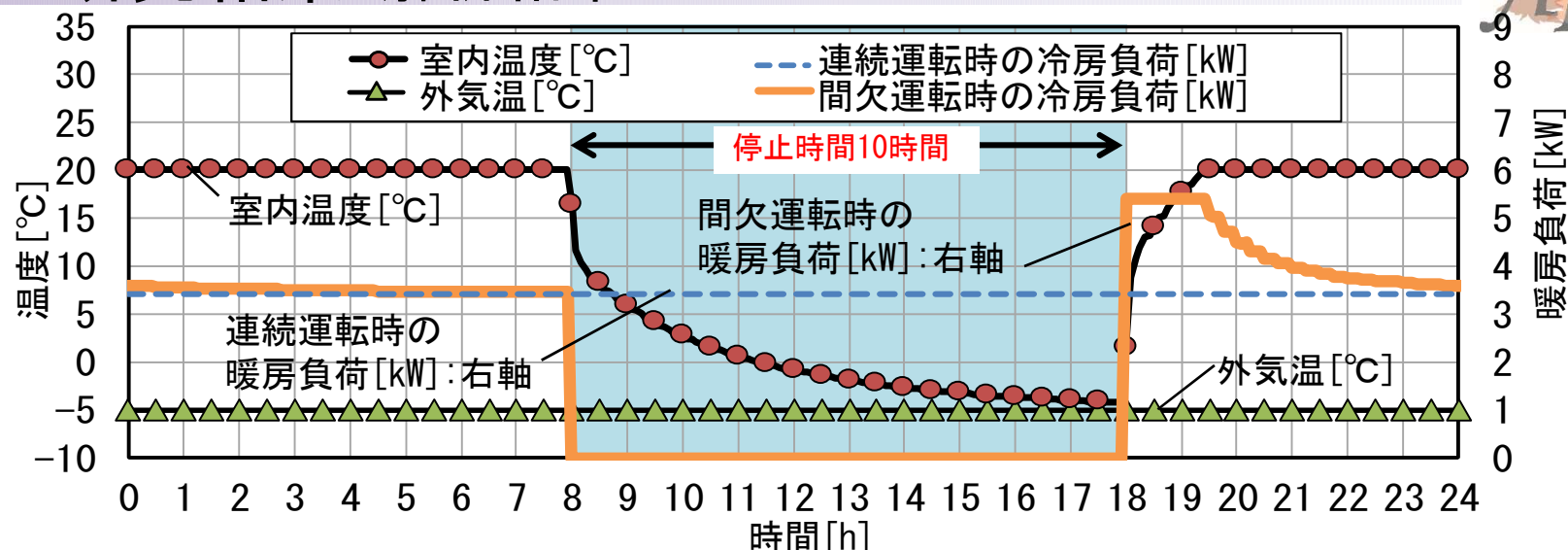
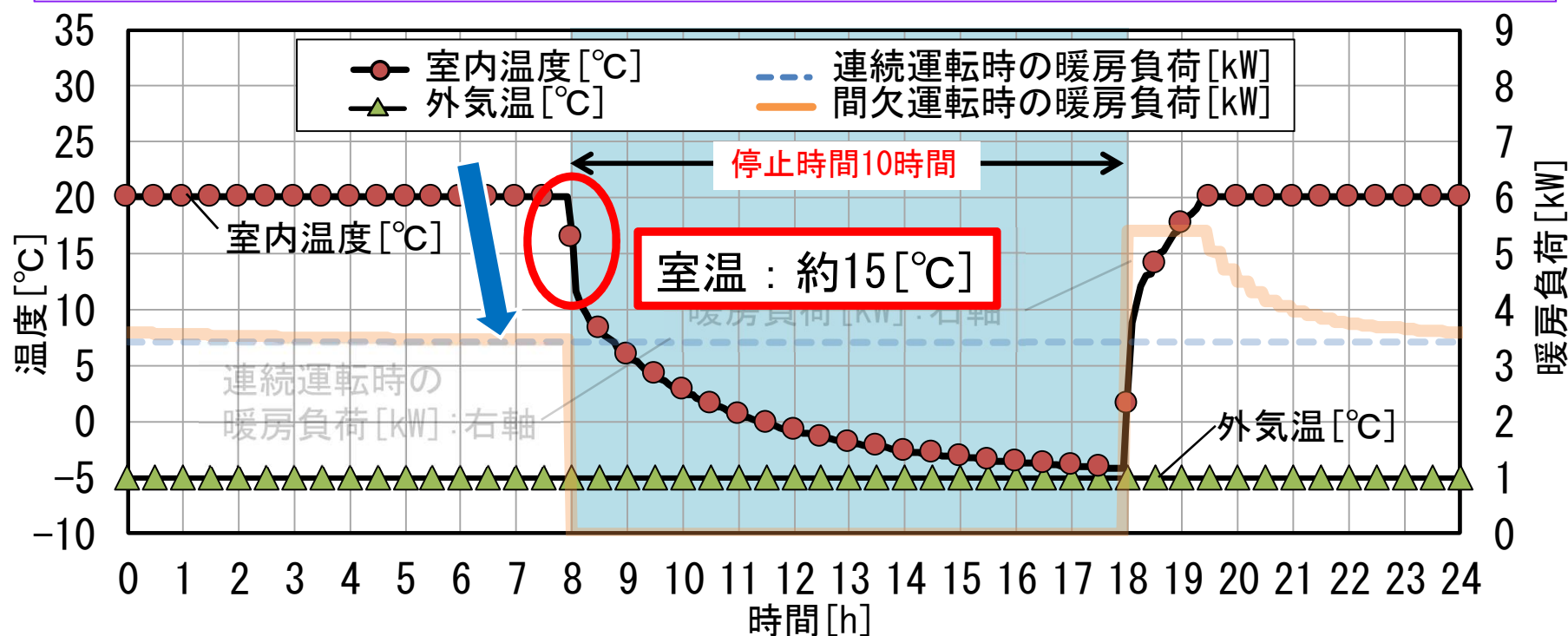


図4 case2-1、case5-4における室内温度、暖冷房負荷の計算結果
(U_A 値: $1.2 [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 、エアコン停止時間: 10時間)

研究結果：解析結果

case2-1 (暖房、外気温 $-5[^\circ\text{C}]$) では室内温度は停止後10分で約 $15[^\circ\text{C}]$ まで急激に低下し、10時間後には外気温と同様の約 $-5[^\circ\text{C}]$ となる。

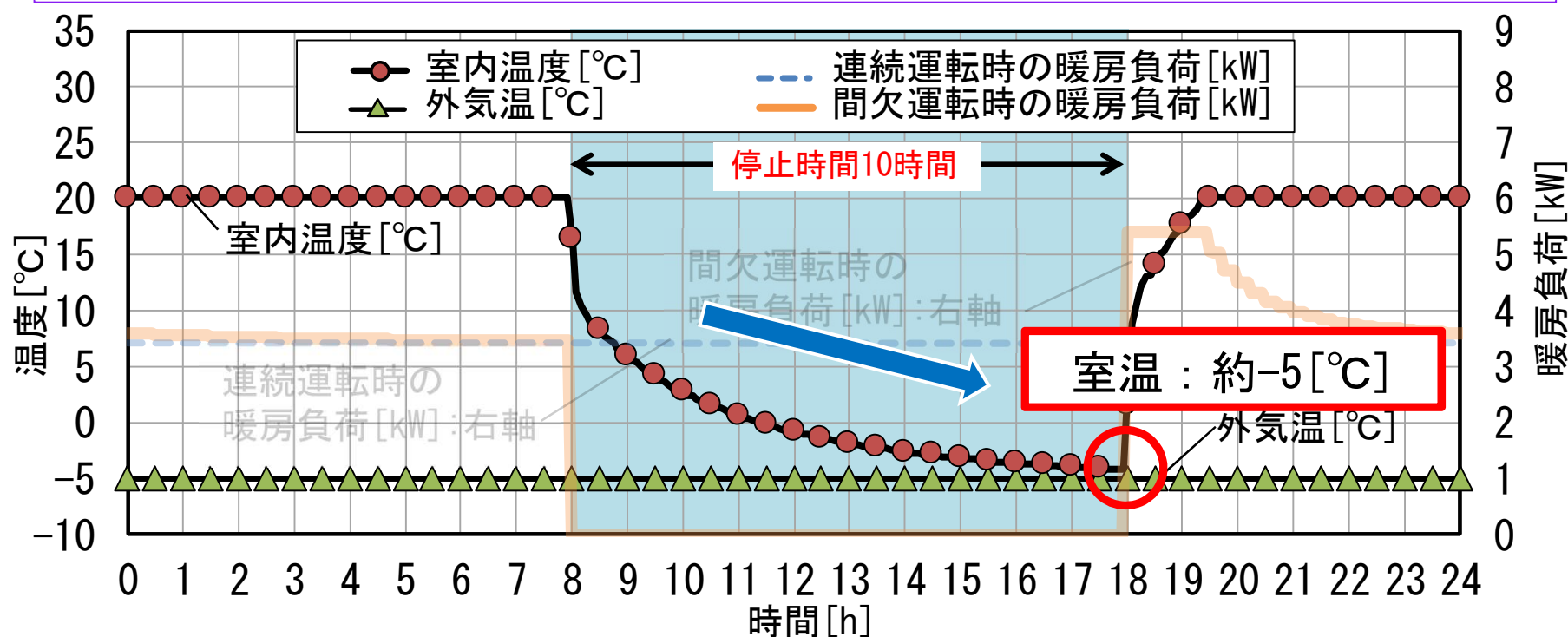


(a) case2-1 (暖房、外気温： $-5[^\circ\text{C}]$)

図4 case2-1、case5-4における室内温度、暖冷房負荷の計算結果
(U_A 値： $1.2[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 、エアコン停止時間： 10 時間)

研究結果：解析結果

case2-1 (暖房、外気温 $-5[^\circ\text{C}]$) では室内温度は停止後10分で約 $15[^\circ\text{C}]$ まで急激に低下し、10時間後には外気温と同様の約 $-5[^\circ\text{C}]$ となる。

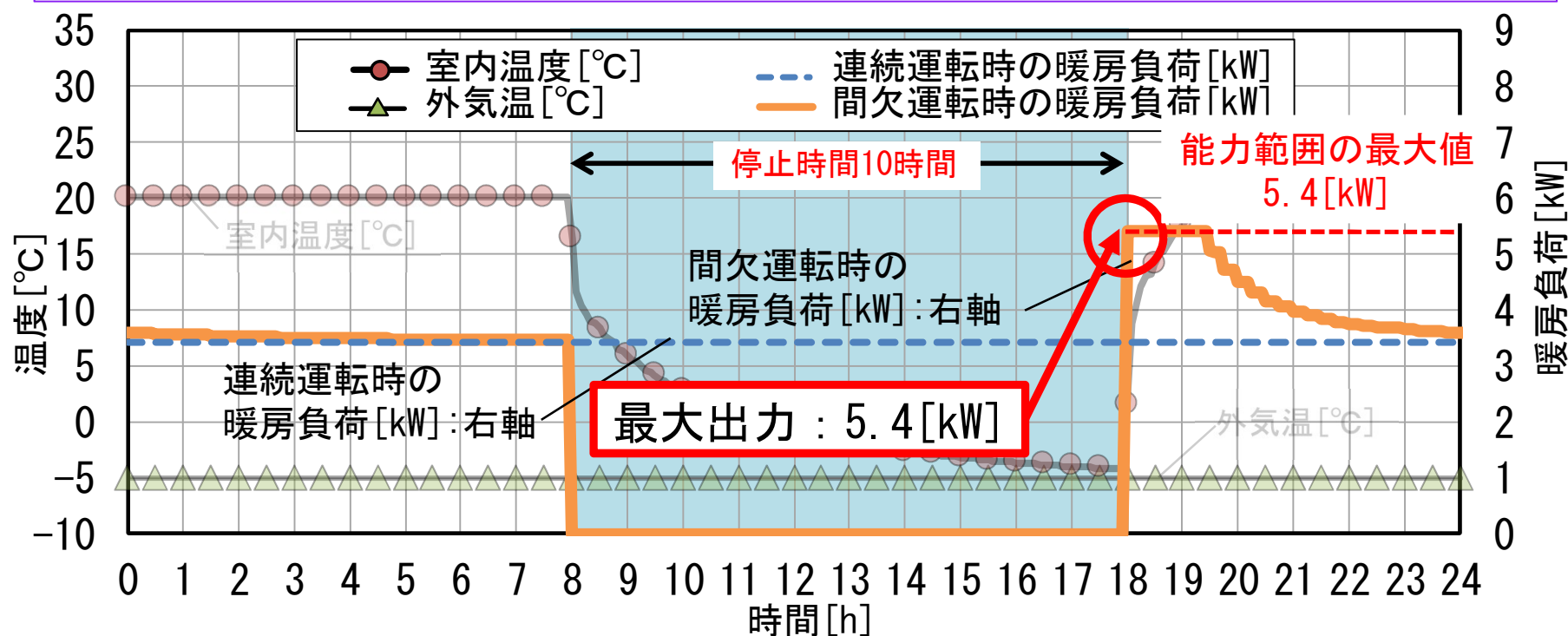


(a) case2-1 (暖房、外気温： $-5[^\circ\text{C}]$)

図4 case2-1、case5-4における室内温度、暖冷房負荷の計算結果
(U_A 値： $1.2[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 、エアコン停止時間：10時間)

研究結果：解析結果

運転開始後は5分で能力範囲の最大値である出力5.4[kW]に達し、約6時間後には連続運転時と同等の出力約3.5[kW]程度で安定する。

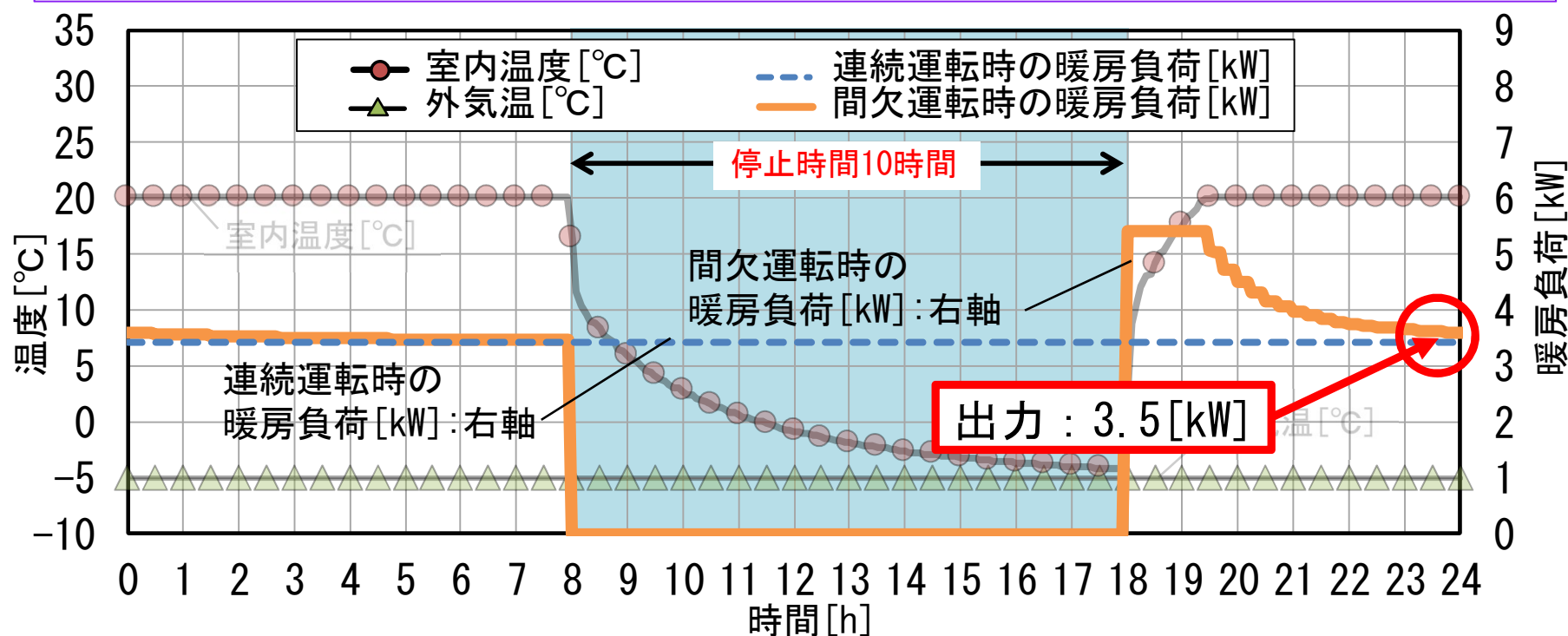


(a) case2-1 (暖房、外気温: -5[°C])

図4 case2-1、case5-4における室内温度、暖冷房負荷の計算結果
(U_A 値: 1.2[W/(m²・K)]、エアコン停止時間: 10時間)

研究結果：解析結果

運転開始後は5分で能力範囲の最大値である出力5.4[kW]に達し、約6時間後には連続運転時と同等の出力約3.5[kW]程度で安定する。

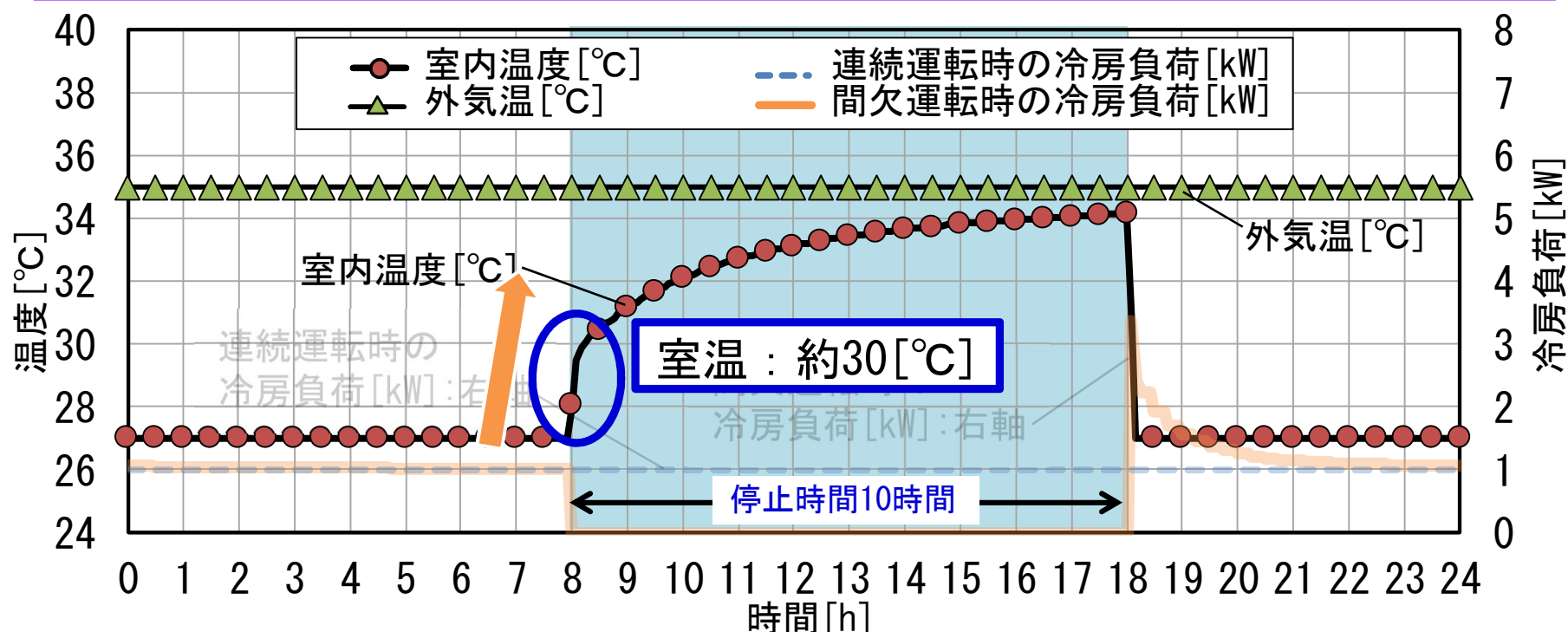


(a) case2-1 (暖房、外気温: -5[°C])

図4 case2-1、case5-4における室内温度、暖冷房負荷の計算結果
(U_A 値: 1.2 [W/(m² · K)]、エアコン停止時間: 10時間)

研究結果：解析結果

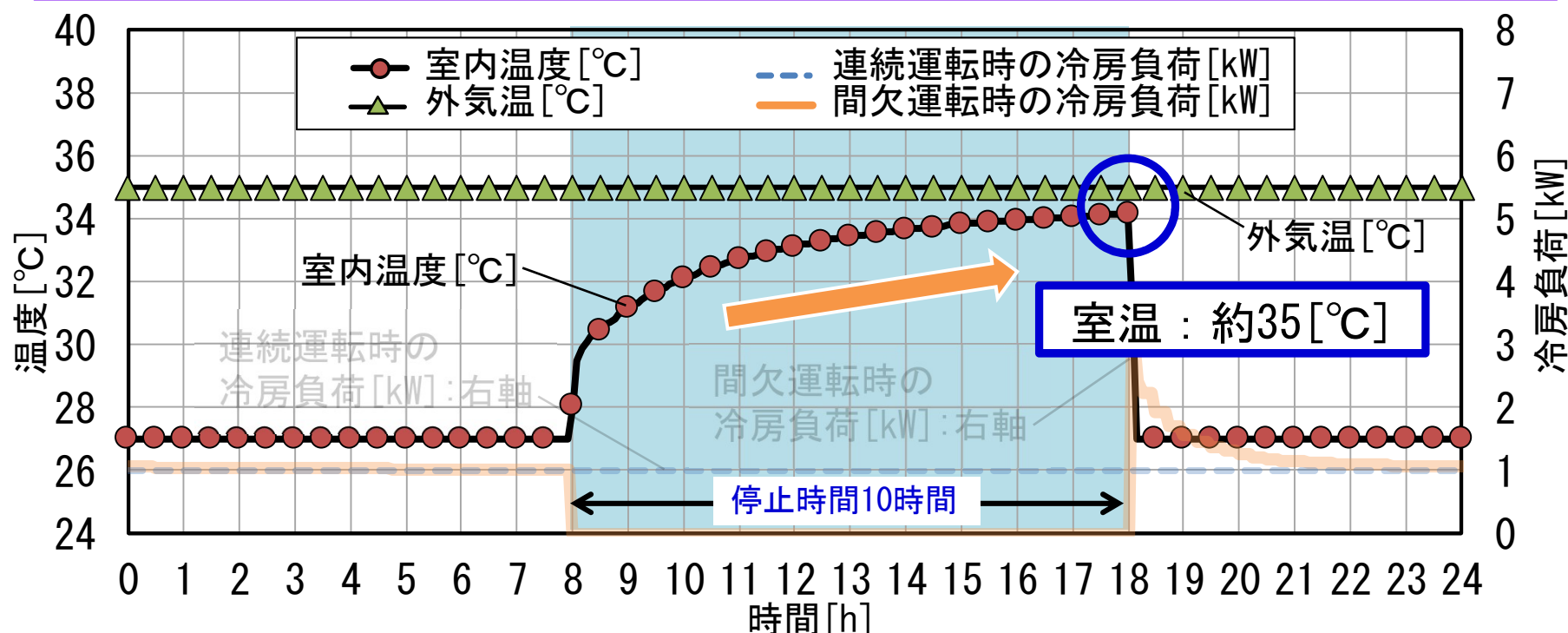
case5-4 (冷房、外気温35[°C]) では室内温度は停止後10分で約30[°C]まで上昇し、10時間後に外気温と同様の約35[°C]となる。



(b) case5-4 (冷房、外気温:35[°C])

図4 case2-1、case5-4における室内温度、暖冷房負荷の計算結果
(U_A 値:1.2[W/(m²・K)]、エアコン停止時間:10時間)

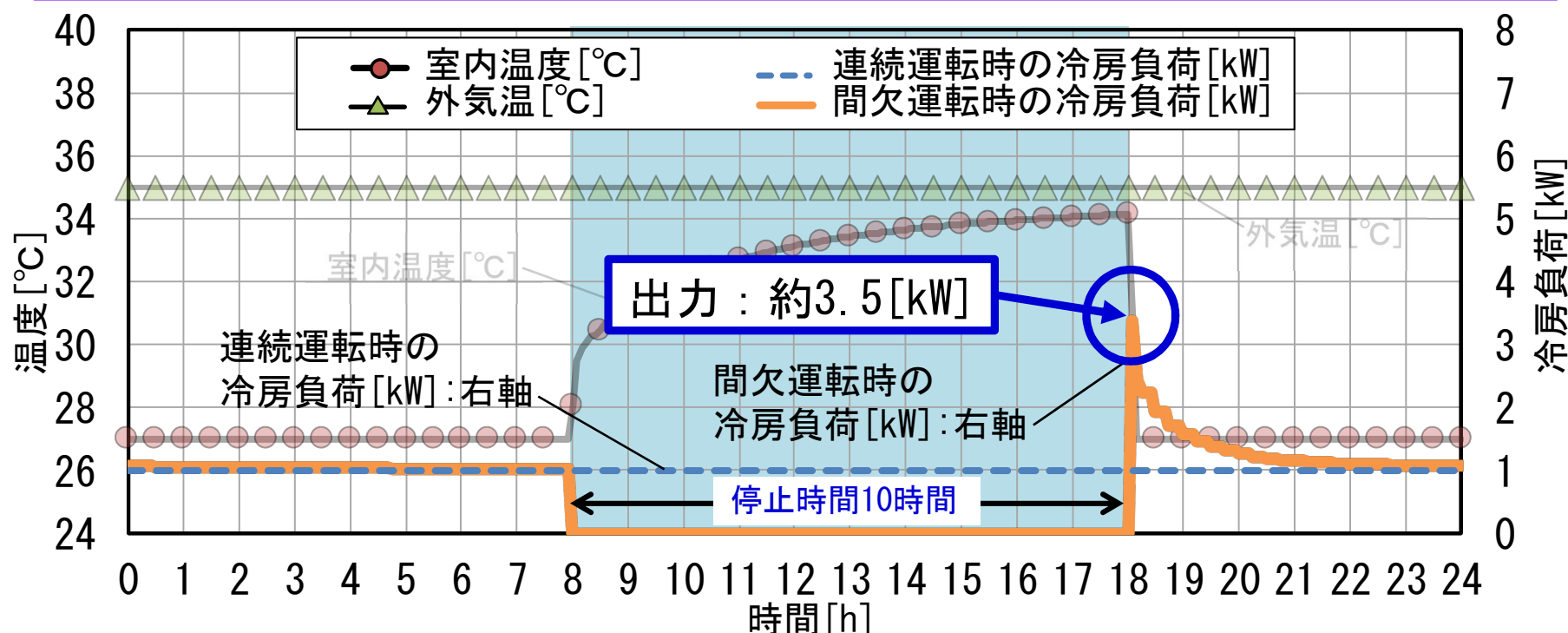
case5-4 (冷房、外気温35[°C]) では室内温度は停止後10分で約30[°C]まで上昇し、10時間後に外気温と同様の約35[°C]となる。



(b) case5-4 (冷房、外気温:35[°C])

図4 case2-1、case5-4における室内温度、暖冷房負荷の計算結果
(U_A 値:1.2[W/(m²・K)]、エアコン停止時間:10時間)

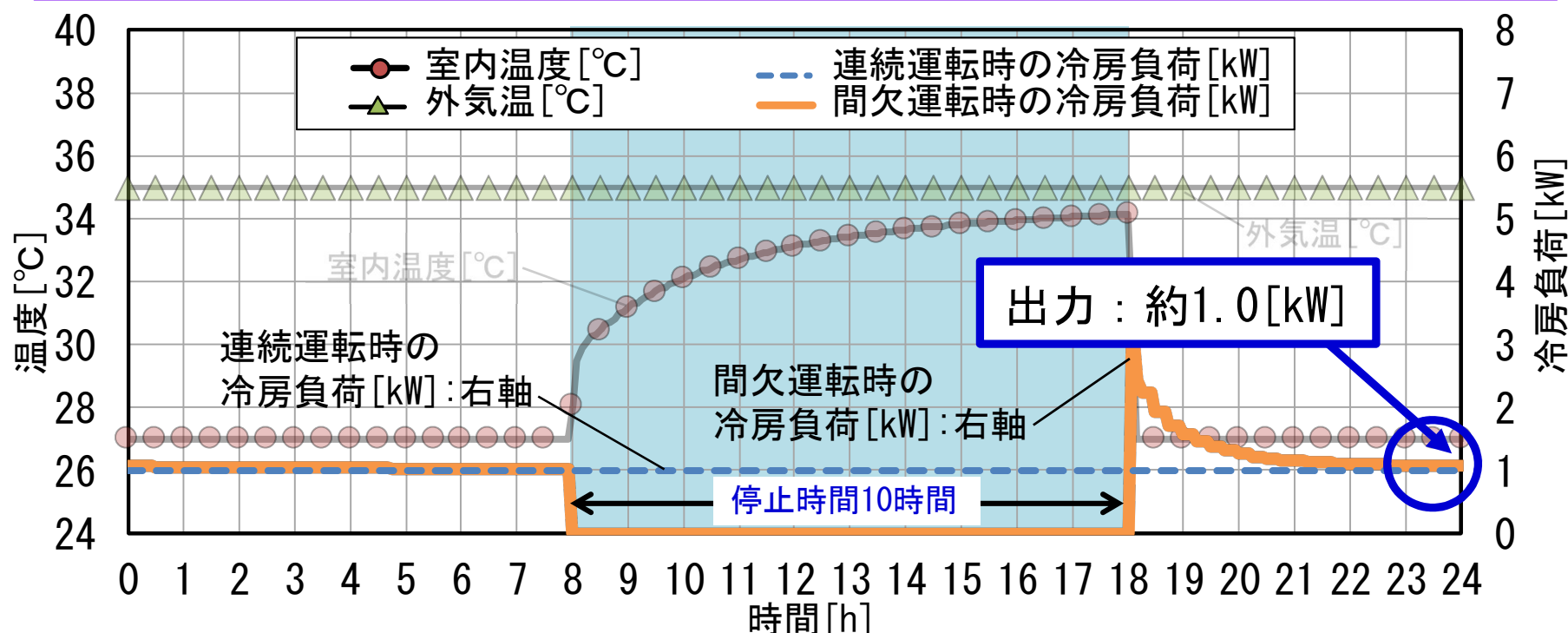
運転開始後は5分で出力約3.5[kW]に達するが、能力範囲の最大値である出力5.0[kW]に達することではなく約3時間後に連続運転時と同等の出力約1.0[kW]となる。



(b) case5-4 (冷房、外気温：35[°C])

図4 case2-1、case5-4における室内温度、暖冷房負荷の計算結果
(U_A 値：1.2[W/(m²・K)]、エアコン停止時間：10時間)

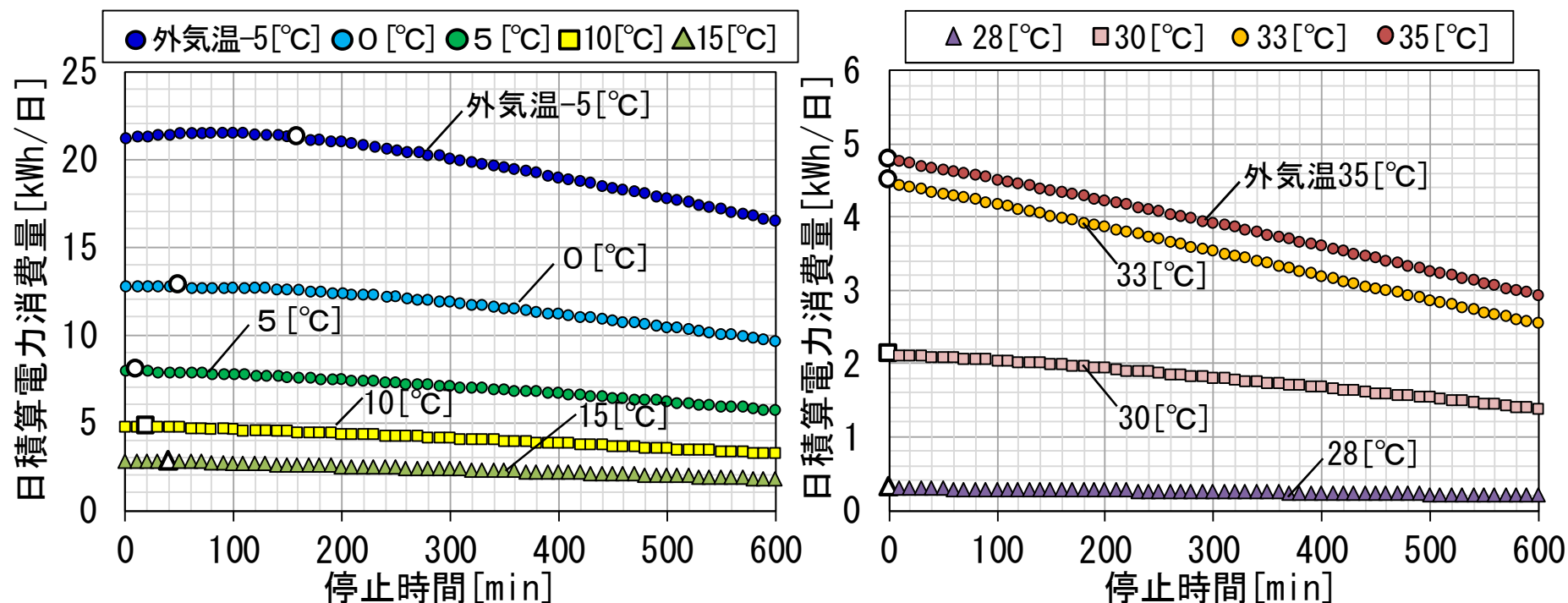
運転開始後は5分で出力約3.5[kW]に達するが、能力範囲の最大値である出力5.0[kW]に達することはなく約3時間後に連続運転時と同等の出力約1.0[kW]となる。



(b) case5-4 (冷房、外気温:35[°C])

図4 case2-1、case5-4における室内温度、暖冷房負荷の計算結果
(U_A 値:1.2[W/(m²・K)]、エアコン停止時間:10時間)

研究結果：解析結果



(a) case2 (暖房)

(b) case5 (冷房)

図5 case2、case5においてエアコンAとした場合の
停止時間別の日積算電力消費量※2

〔 U_A 値: $1.2 [W/(m^2 \cdot K)]$ 、COPマトリクス①、最大COP: $8 [-]$ 、
冷房定格出力: $2.8 [kW]$ 、暖房定格出力: $3.6 [kW]$ 〕

※2 間欠運転時の電力消費量は、暖冷房負荷と外気温、COPマトリクスから算出した電力消費量に実験で測定した運転開始時の電力消費量を加算して算出する。

研究結果：解析結果

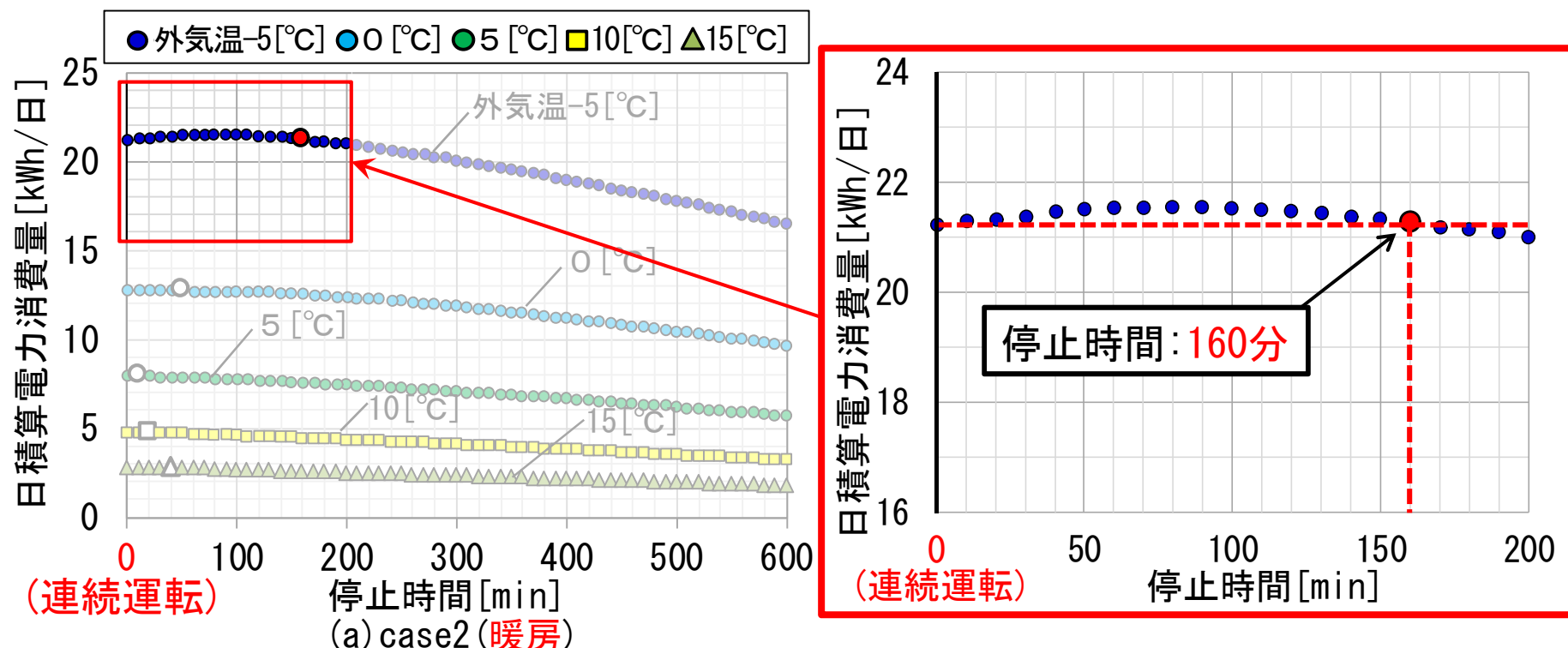


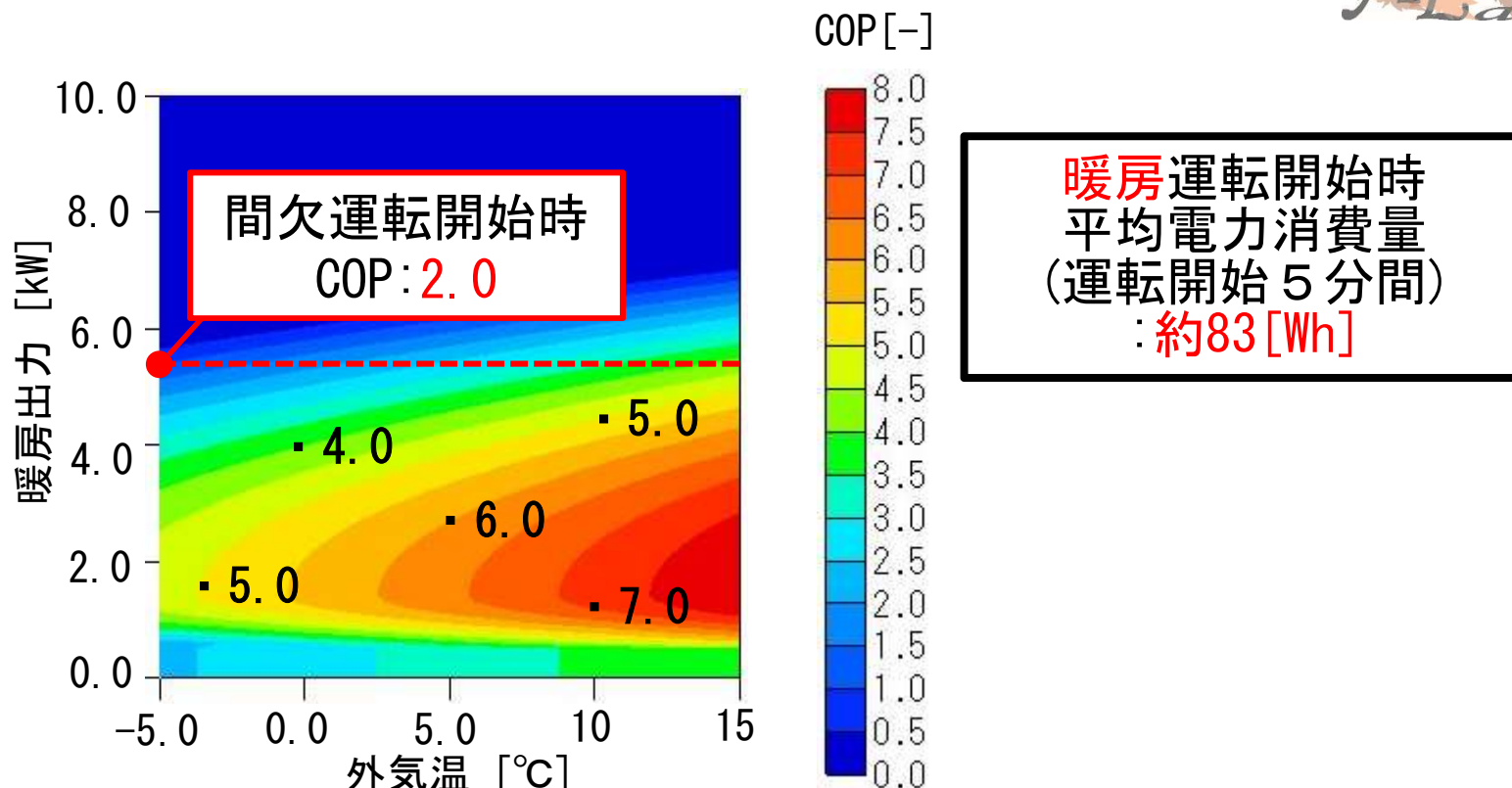
図5 case2、case5においてエアコンAとした場合の
停止時間別の日積算電力消費量※2

(U_A 値: $1.2 [W/(m^2 \cdot K)]$ 、COPマトリクス①、最大COP: $8 [-]$ 、暖房定格出力: $3.6 [kW]$)

※2 間欠運転時の電力消費量は、暖冷房負荷と外気温、COPマトリクスから算出した電力消費量に実験で測定した運転開始時の電力消費量を加算して算出する。

case2 (暖房) で外気温が $-5 [^{\circ}C]$ の場合、停止時間160分を超えると連続運転 (停止時間0分) と比較して日積算電力消費量は少なくなる。

研究結果：解析結果

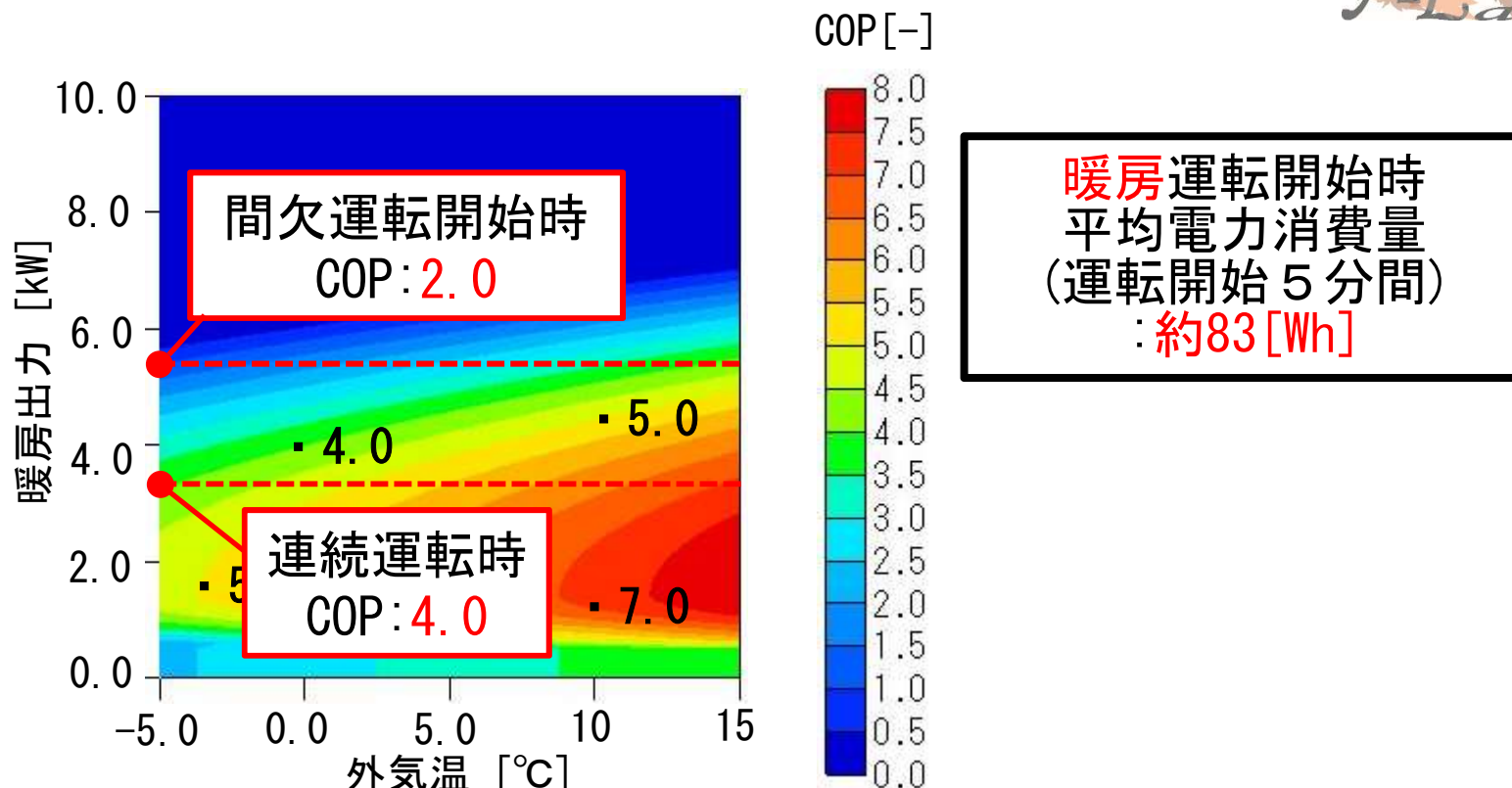


(a) エアコンA(暖房定格出力: 3.6[kW]、
COPマトリクス①、最大COP: 8 [-])

図2 モデル化したCOPマトリクス

これは間欠運転では運転開始時に能力範囲の最大出力5.4[kW]に達し、COPが2.0程度となるのに加えて運転開始時の電力消費量が生じることに對し、

研究結果：解析結果



(a) エアコンA(暖房定格出力: 3.6[kW]、
COPマトリクス①、最大COP: 8 [-])

図2 モデル化したCOPマトリクス

連続運転では出力約3.4[kW]でCOPが4.0程度になり、日積算電力消費量が相対的に少なくなるためと考えられる。

研究結果：解析結果

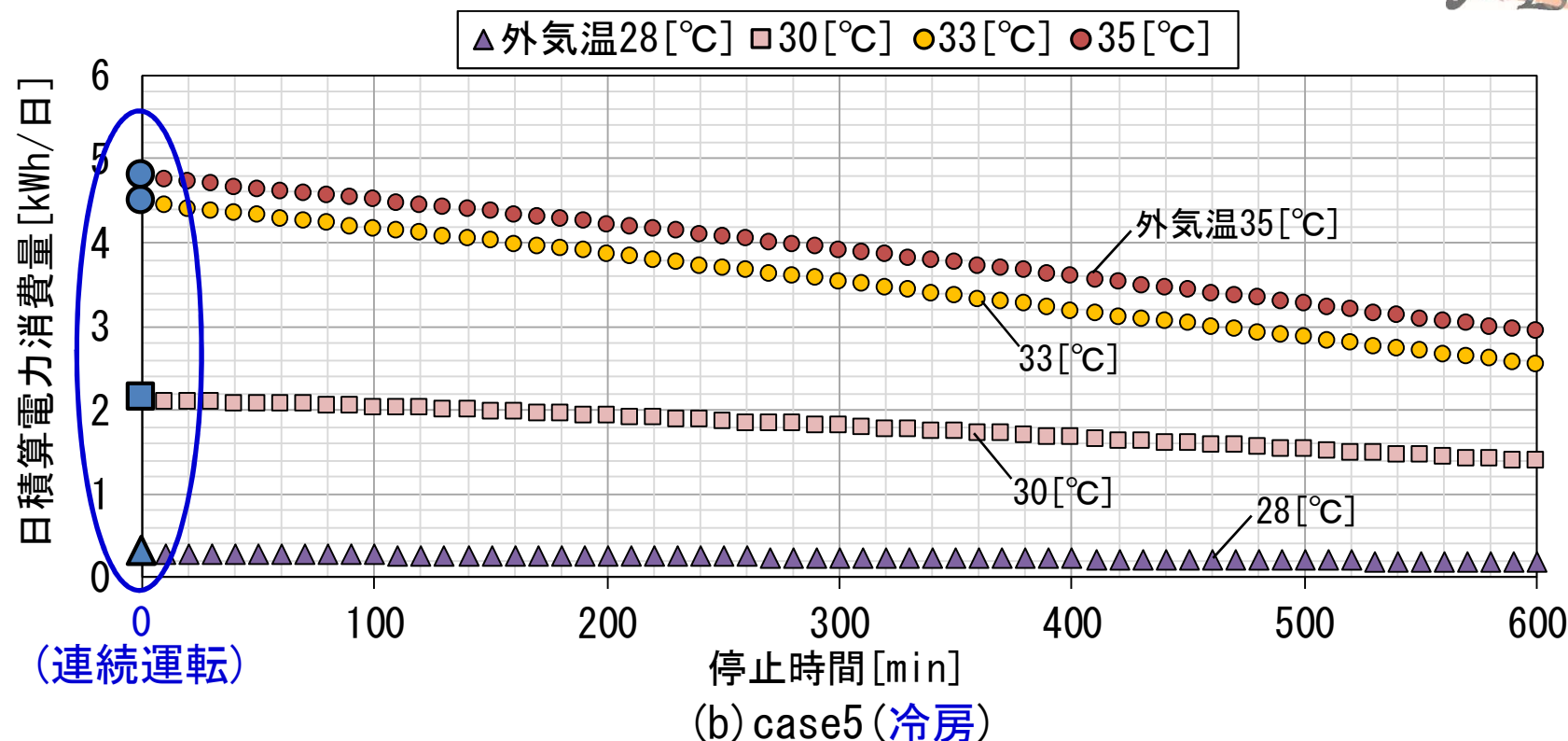


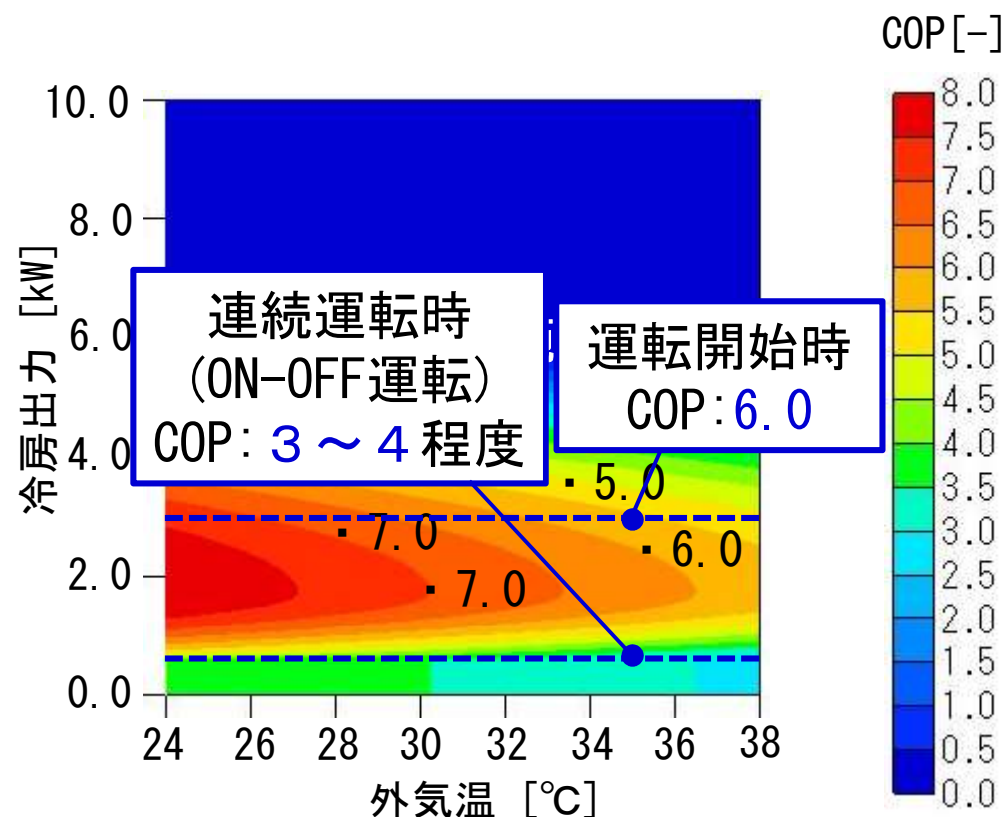
図5 case2、case5においてエアコンAとした場合の
停止時間別の日積算電力消費量※2

(U_A 値: $1.2 [W/(m^2 \cdot K)]$ 、COPマトリクス①、最大COP: $8 [-]$ 、冷房定格出力: $2.8 [kW]$)

※2 間欠運転時の電力消費量は、暖冷房負荷と外気温、COPマトリクスから算出した電力消費量に実験で測定した運転開始時の電力消費量を加算して算出する。

case5(冷房)ではどの外気温、停止時間でも間欠運転の日積算電力消費量が連続運転より増加する場合は見られない。

研究結果：解析結果

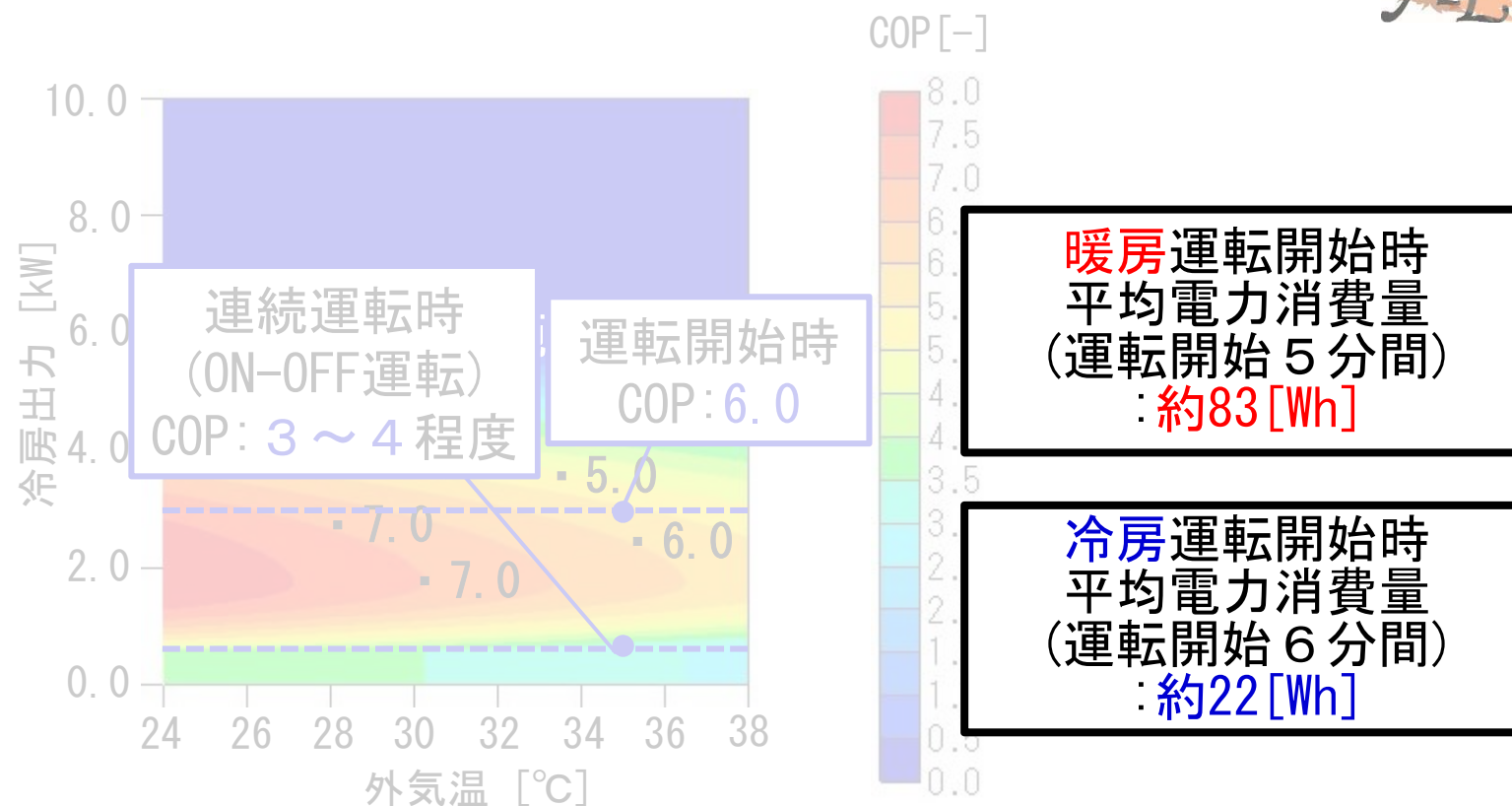


(b) エアコンA (冷房定格出力: 2.8 [kW]、
COPマトリクス①、最大COP: 8 [-])

図2 モデル化したCOPマトリクス

これは間欠運転では運転開始時に出力約3.0 [kW]でCOPが6.0程度となり、ON-OFF運転する連続運転時よりもCOPが高くなることに加え、

研究結果：解析結果



(b) エアコンA

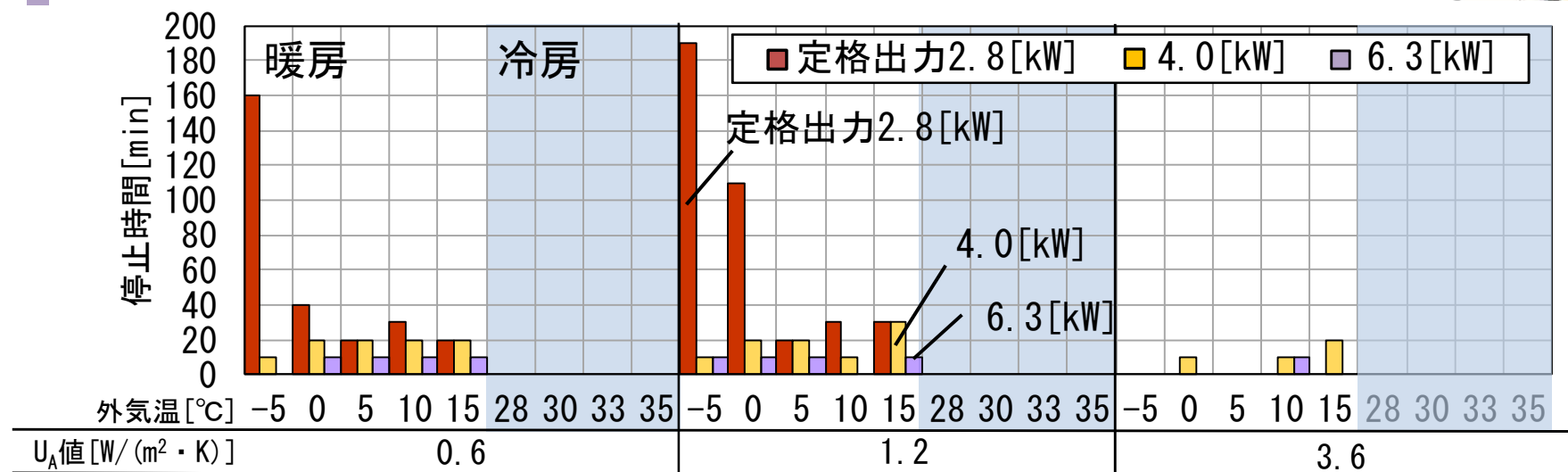
(COPマトリクス①、最大COP: 8 [-]、冷房定格出力: 2.8 [kW])

図2 モデル化したCOPマトリクス

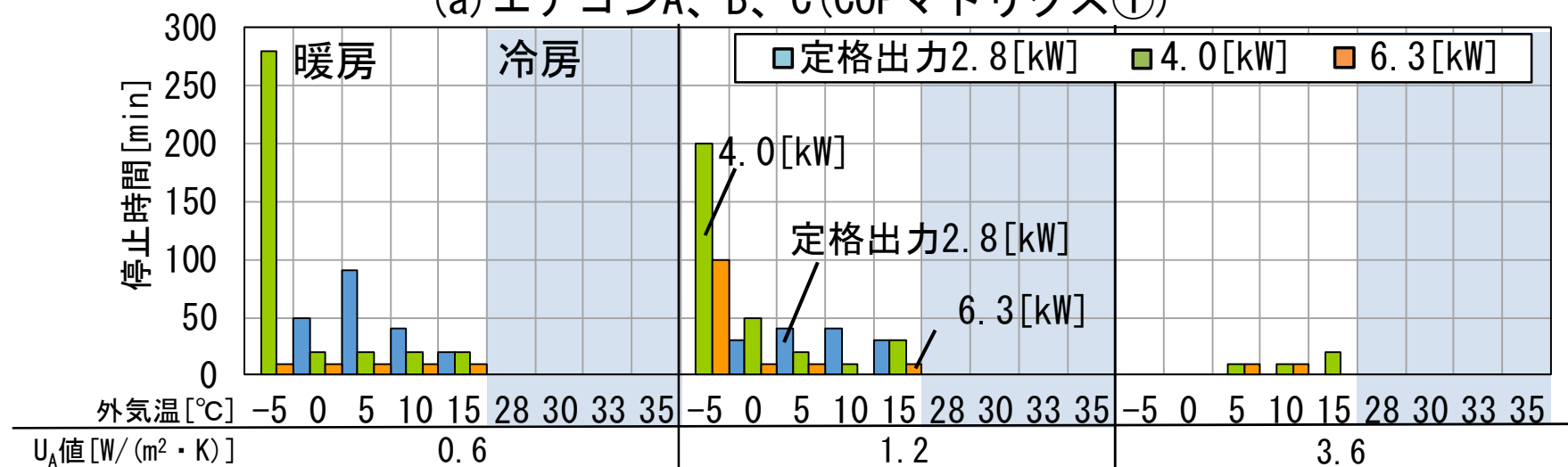
運転開始時の電力消費量が暖房と比較し少ないことから、エアコンの再起動による日積算電力消費量の大幅な増加がないためと考えられる。



研究結果：解析結果



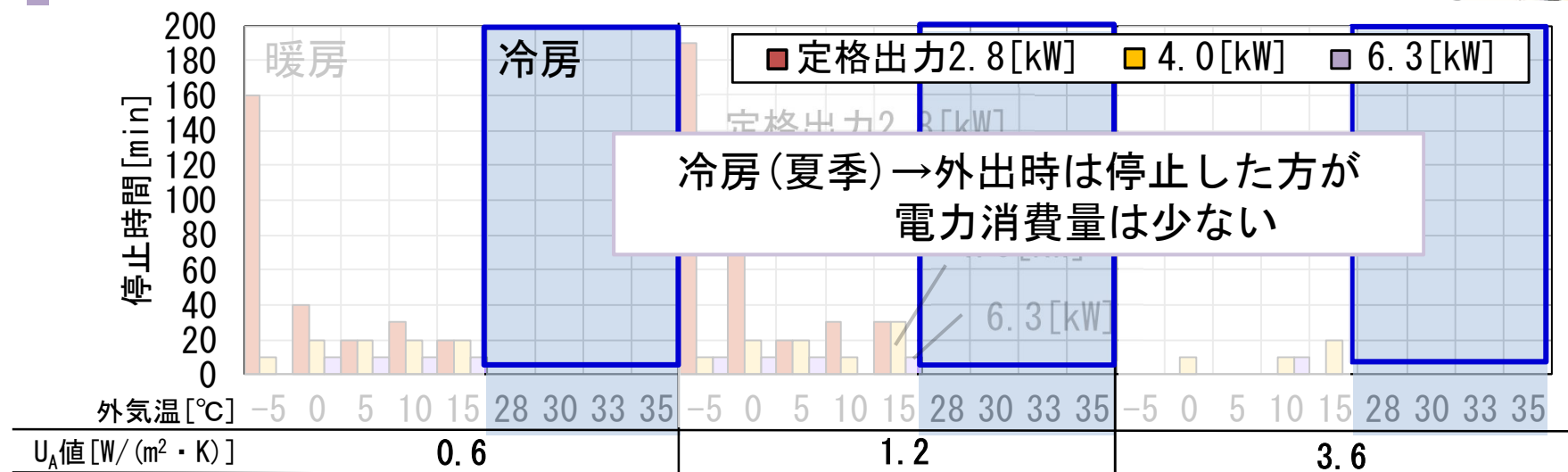
(a) エアコンA、B、C(COPマトリクス①)



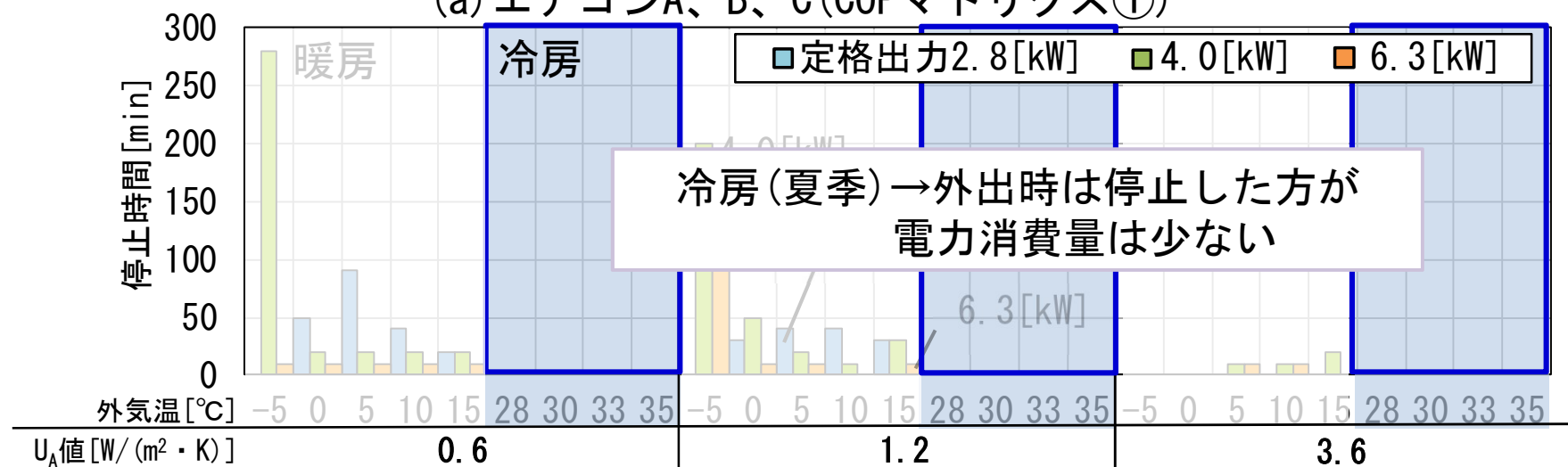
(b) エアコンD、E、F(COPマトリクス②)

図6 日積算電力消費量が連続運転より多くなる停止時間
(定格出力:2.8、4.0、6.3[kW]、最大COP:8[-])

研究結果：解析結果

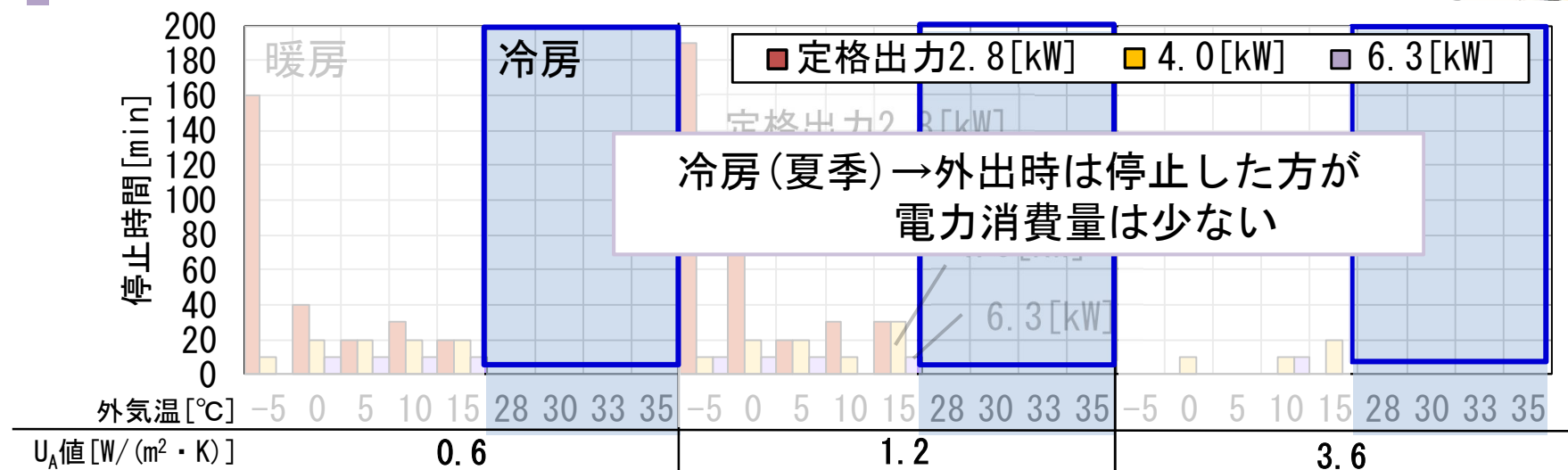


(a) エアコンA、B、C(COPマトリクス①)

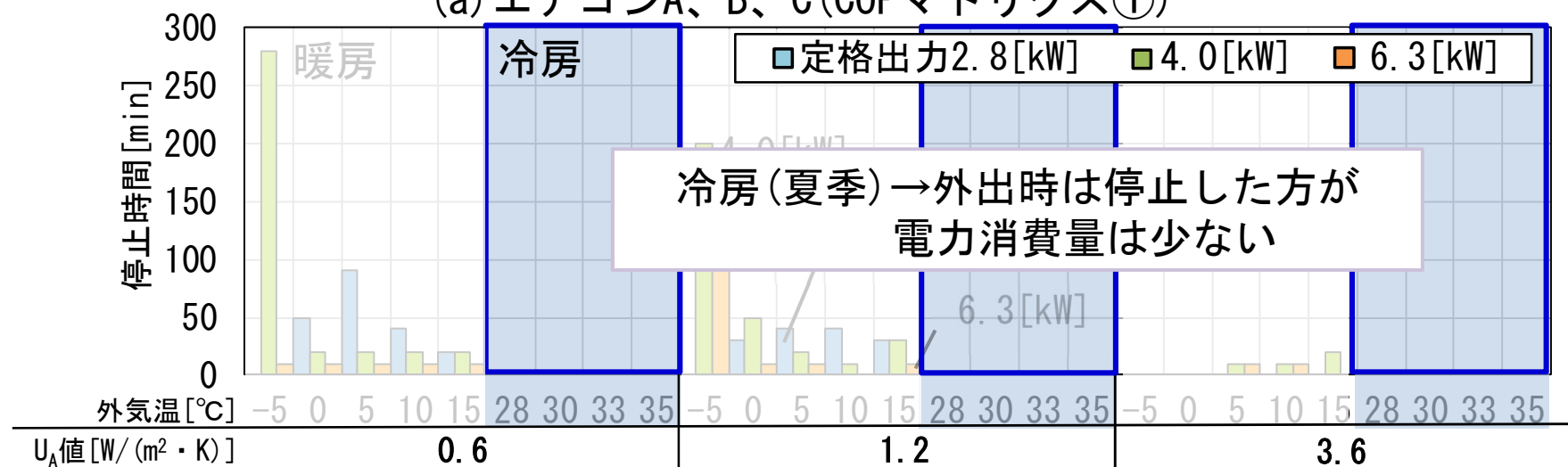


冷房時ではどの外気温、断熱性能、どのエアコンでも間欠運転の方が電力消費量が少なくなる。

研究結果：解析結果

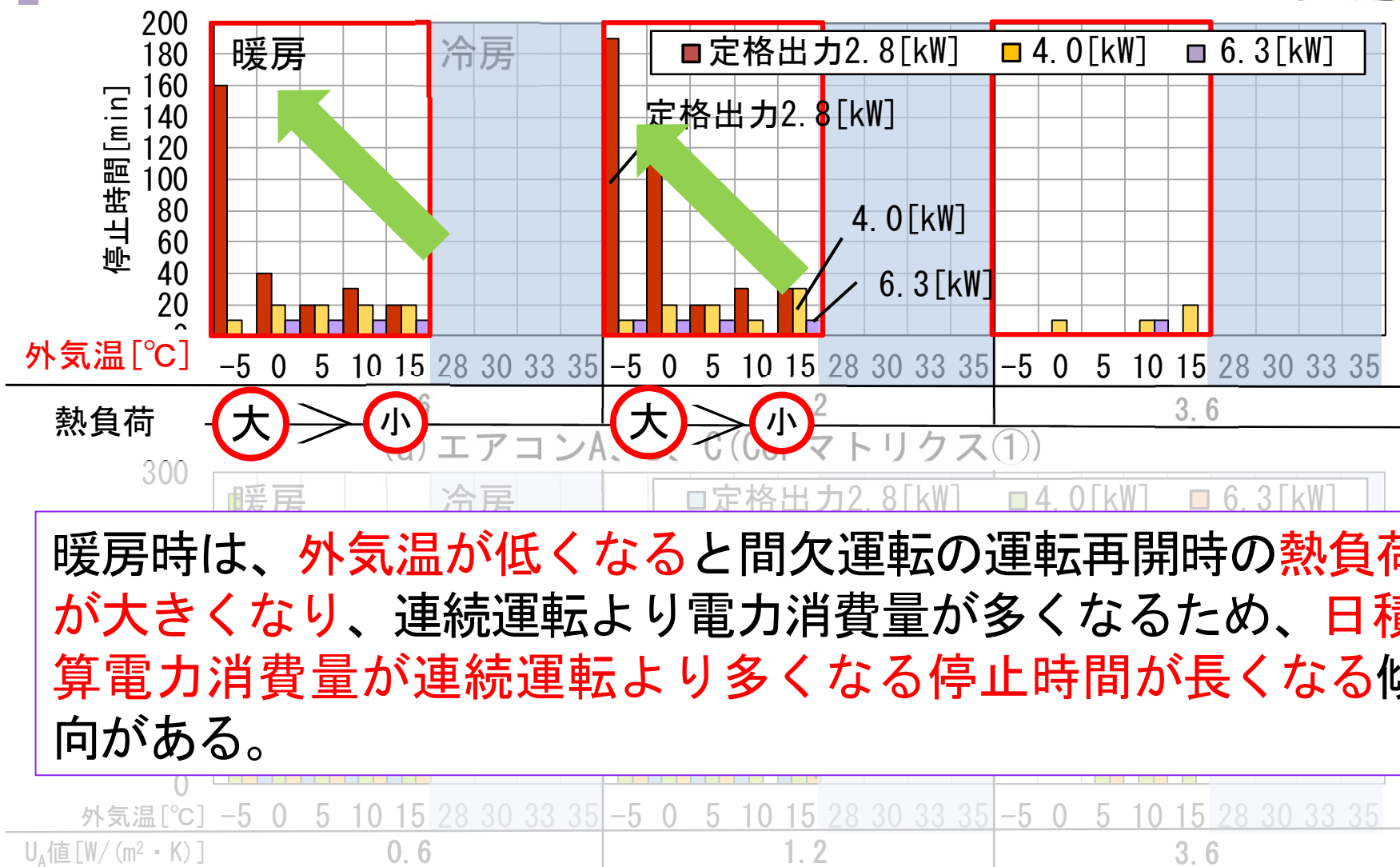


(a) エアコンA、B、C(COPマトリクス①)



冷房では外出時にエアコンを停止した方が連続運転より省エネルギーとなる。

研究結果：解析結果



(b) エアコンD、E、F (COPマトリクス②)

図6 日積算電力消費量が連続運転より多くなる停止時間
(定格出力: 2.8、4.0、6.3 [kW]、最大COP: 8 [-])

研究結果：解析結果



断熱性能を変化させると、断熱性能が高い場合では間欠運転の運転再開時の熱負荷が比較的少なく、電力消費量が少なくなるが、

図6 日積算電力消費量が連続運転より多くなる停止時間
(定格出力:2.8、4.0、6.3[kW]、最大COP:8[-])

研究結果：解析結果

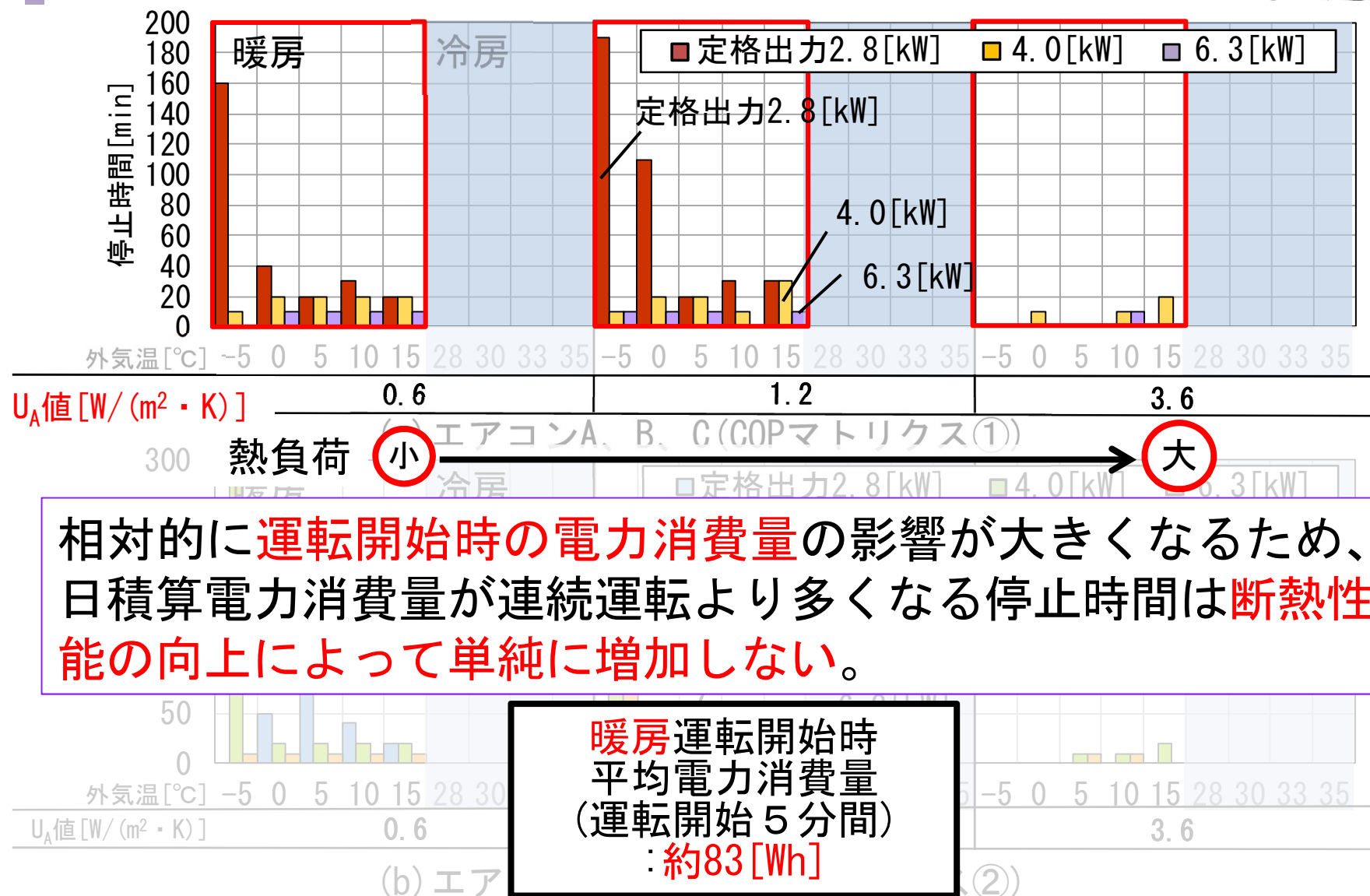
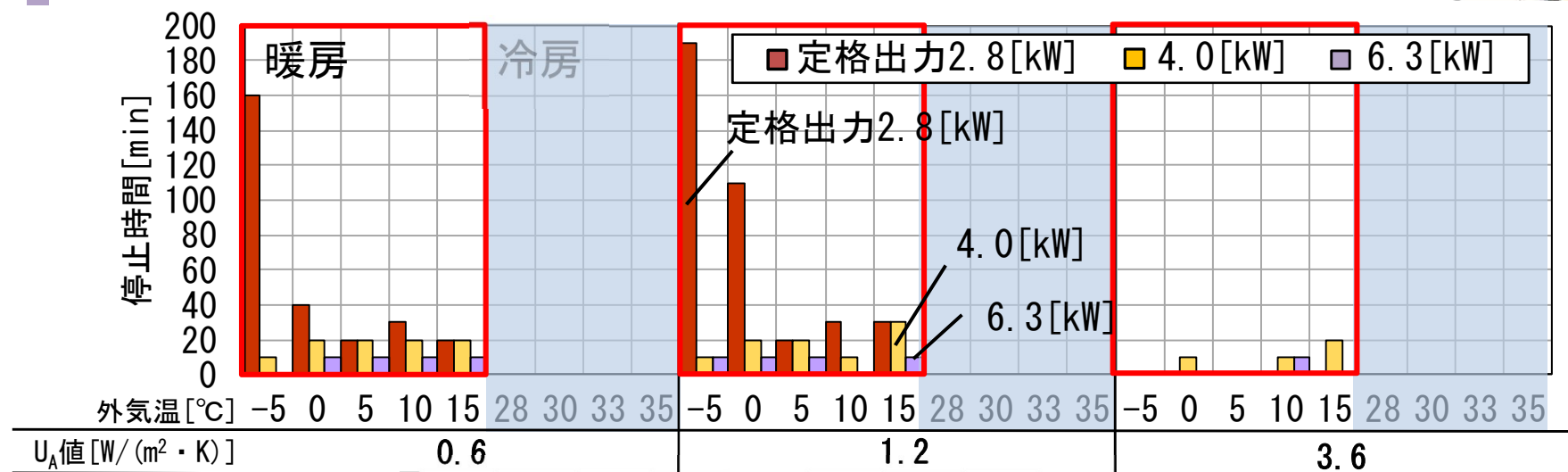


図6 日積算電力消費量が連続運転より多くなる停止時間
(定格出力:2.8、4.0、6.3[kW]、最大COP:8[-])

研究結果：解析結果



(a) エアコンA、B、C (COPマトリクス①)

暖房時には、外気温、住宅の断熱性能、定格出力、COPマトリクスの形態によって連続運転より電力消費量が多くなる停止時間は約10分～240分と大きく変化し、外出時のエアコン停止は必ずしも省エネルギーとならない可能性があるが、実際に居住者が条件に応じて最適な運転方法を選択することは困難であると考えられる。

(b) エアコンD、E、F (COPマトリクス②)

図6 日積算電力消費量が連続運転より多くなる停止時間
(定格出力: 2.8、4.0、6.3 [kW]、最大COP: 8 [-])

- ①運転開始時のエアコンの電力消費量は室内温度、外気温による差は少なく、暖房時は平均83 [Wh]、冷房時は平均22 [Wh]程度となる。
- ②冷房時では外出時にエアコンを停止した方が連続運転より省エネルギーとなる。
- ③暖房時では外出時のエアコン停止は電力消費量の削減にならない場合が多いが、実際に居住者が最適な運転方法を選択することは困難であると考えられる。