

# 高層集合住宅における空調負荷特性に関する研究

## センターコア型及び板状型集合住宅を対象とした日影を考慮した熱負荷解析

大塚 航 指導教員 有波 裕貴 助教

### 1 研究目的

近年、首都圏だけでなく地方の都市部においても高層集合住宅の建設が増加している。高層集合住宅の平面形式は大きく分けてセンターコア型と板状型がある。センターコア型の場合、板状型と比較して外壁面積が少ないため貫流熱量が減少すると考えられる。一方で同フロア内の住戸でも面する方位が異なり、日射を受ける面積が板状型と比較して少なく、日射による熱取得量は減少すると考えられる。またどちらの平面形式でも住宅団地においては周辺建物による日影の影響で上下階で日照環境が異なり、空調負荷への影響が生じると考えられる。

本研究ではセンターコア型と板状片廊下型の集合住宅を対象に周辺建物及び底による日影を考慮した上で建物方位を変化させ熱負荷計算を行う。年間の暖冷房負荷を検討し、平面形式及び住戸における空調負荷特性の分析と空調用電力消費量・料金の比較を行う。建物方位及び平面形式による空調負荷特性や電力消費量・料金を分析することは、都市の省エネルギー化のみならず、居住者が住戸を選択する際に金銭的インセンティブを検討するために重要であると考えられる。

### 2 研究概要

2.1 解析モデルの概要：表1に解析対象モデルの概要、図1に解析モデルの1階平面、図2に団地モデル及び連続団地モデルの配置を示す。建物は1棟単体（単体モデル）、6棟を一区画とした団地単体（団地モデル）、連

続した団地（連続団地モデル）とする。団地及び連続団地モデルにおいて用途地域は商業地域とし、各種制限<sup>\*1</sup>を考慮し6棟の建物で住宅団地を構成する。構造はSRC造20階建てのラーメン構造とする。戸数は1階は9戸、2～20階は10戸とする。単体モデルでは1階（最下階）、2～19階（中間階）、20階（最上階）の3フロアを、団

表1 解析対象モデルの概要

		センターコア型(case1)	片廊下型(case2)
構造、規模		SRC造、地上20階建(62[m])	
1棟	延床面積[m <sup>2</sup> ]	18,620	18,616
	総外皮面積[m <sup>2</sup> ]	7,860	9,940
	総外皮面積/延床面積[-]	0.422	0.534
階高、天井高[m]		3.0、2.5	
1棟あたりの総戸数[戸]		199	
バルコニー(庇)の幅[m]		1.25	
開口部仕様	熱貫流率[W/(m <sup>2</sup> ・K)]	1.55	
	日射熱取得率[-]	0.62	
	ガラス	Low-E複層ガラス	
	サッシ	樹脂サッシ	

表2 各住戸の概要

	住戸	センターコア型(case1)			片廊下型(case2)		
		A, C, F, H	B, G	D, E, I, J	A, J	B, C, D, E, F, G, H, I	
1、20階	U <sub>a</sub> 値[W/(m <sup>2</sup> ・K)]	0.8 <sup>**2</sup>					
	床面積[m <sup>2</sup> ]	69.9	70.0	71.2	70.0		
	外皮面積[m <sup>2</sup> ]	123.8	96.9	102.1	125.4	95.0	
	開口面積[m <sup>2</sup> ]	16.4	8.2	9.4	17.6	8.3	
	開口割合(開口面積/外皮面積)[-]	0.31			0.32	0.33	
2～19階	U <sub>a</sub> 値[W/(m <sup>2</sup> ・K)]	0.8 <sup>**2</sup>			0.82 <sup>**2</sup>	0.83 <sup>**2</sup>	
	床面積[m <sup>2</sup> ]	69.9	70.0	71.2	70.0		
	外皮面積[m <sup>2</sup> ]	53.9	26.9	30.9	55.4	25.0	
	開口面積[m <sup>2</sup> ]	16.4	8.2	9.4	17.6	8.3	
	開口割合(開口面積/外皮面積)[-]	0.31			0.32	0.33	

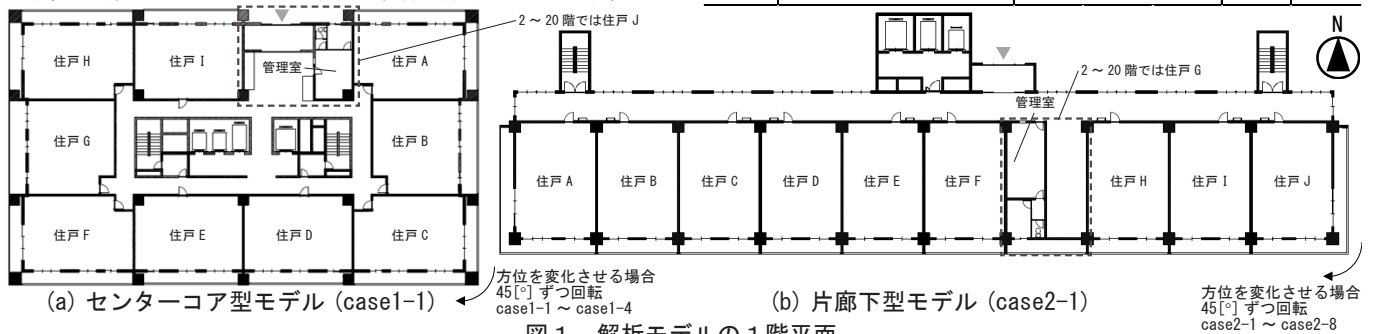


図1 解析モデルの1階平面



図2 団地モデル及び連続団地モデルの配置

地及び連続団地モデルでは1～20階の各フロアを解析対象とする。解析対象地域は東京（省エネ基準の地域区分6<sup>※1</sup>）とする。表2に各住戸の概要を示す。省エネ基準を満たすよう各棟の $U_A$ 値は $0.8[W/(m^2 \cdot K)]^{※2}$ とする。

解析は日本建築学会拡張アメダス気象データ<sup>※2</sup>（標準年）を用いて熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS ver.16 により行う。室内発熱は考慮せず、空調は24時間空調とし、暖房期間は11月8日～3月29日で設定温度 $22[^\circ C]$ 、冷房期間は5月23日～10月3日で設定温度 $27[^\circ C]$ 、設定湿度 $50[\%]$ とする。換気は24時間運転とし換気回数は $0.5[回/h]$ とする。

**2.2 解析 case:** case1 をセンターコア型モデル、case2 を片廊下型モデルとする。どのモデルでも方位は $45[^\circ]$ ずつ回転させ、case1 では4方位 (case1-1～case1-4)、case2 では8方位 (case2-1～case2-8) を対象に、モデルごとに12caseの解析を行う。延床面積に対する総外皮面積の比はcase1で $0.422[-]$ 、case2で $0.534[-]$ である。

**2.3 庇及び周辺建物を考慮した直達・天空日射量:** 本研究では、周辺建物と庇による日影を考慮し鉛直面直達・天空日射量<sup>※3</sup>を求め、解析を行う。

**2.3.1 庇及び周辺建物による複合日影:** 図3に日影計算のフローチャート、図4に壁面及び窓に生じる日影を示す。各時刻の太陽方位角より各面に日影を生じさせる周辺建物を選定し、対象住戸の床面と周辺建物の軒との仰角 $\theta_i$ を求める。仰角 $\theta_i$ と太陽高度 $\alpha(t)$ を比較し、周辺建物による日影の有無を判定する。対象面に日影が生じる場合、図3の(4)式より周辺建物による日影率 $S_1^{※4}$ を求める。日影率は壁・窓面積に対する日影の面積の比である。次に庇による日影率 $S_2$ を求める。さらに庇と周辺建物による複合日影率 $S$ を求め、各住戸の各方位において日影を考慮した鉛直面直達日射量<sup>※3</sup>を(2)式より算出する。

**2.3.2 壁面における天空に対する形態係数:** 図5に連続団地モデルのB棟南面における天空に対する平均形態係数（以下 $F_o$ ）を示す。壁面に対する天空の形態係数の算出には汎用数値流体解析ソフト STREAM ver.2020 を使用し、モンテカルロ・レイ・トレーシング法により $F_o$ を求める。単体モデル（周辺に建物がない）の場合、

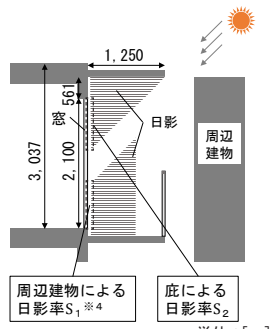
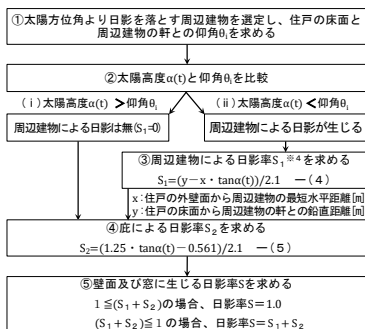


図3 日影計算のフローチャート 図4 壁面及び窓に生じる日影

庇によりどの住戸でも $F_o=0.34[-]$ となる。連続団地モデルの場合、センターコア型の2階では $F_o=0.03[-]$ 、20階では $F_o=0.30[-]$ 程度となる。また片廊下型の2階では $F_o=0.02[-]$ 、20階では $F_o=0.27[-]$ 程度となる。 $F_o$ を用いて(3)式により鉛直面天空日射量<sup>※3</sup>を求める。

### 3 解析結果

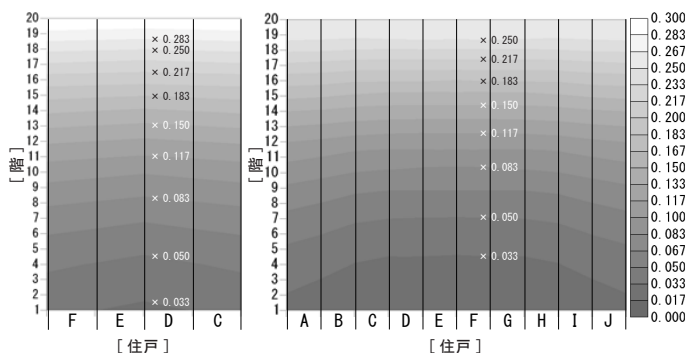
年積算暖冷房負荷の解析結果は、各平面の床面積<sup>※5</sup>で除すことで単位床面積あたりの負荷として示す。

**3.1 日影を考慮した日射熱取得量と暖冷房負荷:** 図6に一例として冬季代表日におけるセンターコア型の日射熱取得量と暖房負荷を示す。連続団地モデルでは太陽高度が低い日の出・日没付近の時間において日影の影響により日射熱取得量が減少し、単体モデルに比べて暖房負荷が増加する。

図7に一例として夏季代表日におけるセンターコア型の日射熱取得量と冷房負荷を示す。単体モデルのcase1-1（平面の長辺が南北向き）では住戸G（リビングが西向き）においてピーク時の冷房負荷は $2.2[kW]$ となり、住戸D（リビングが南向き）の $1.4[kW]$ に比べて約 $57[\%]$ 増加する。一方で連続団地モデルの西向き住戸（19階）では同時刻において周辺建物による日影で直達日射による日射熱取得量は生じない。

**3.2 センターコア型単体モデルにおける各住戸の年積算暖冷房負荷の比較:** 図8にセンターコア型単体モデルにおける各住戸の年積算暖冷房負荷 (case1-1) を示す。case1-1では中間階において住戸D、E（南向き中部屋）で年積算暖冷房負荷が最小となるのに対し、住戸B（東向きの中部屋）では約 $21[\%]$ 、住戸G（西向き中部屋）では約 $19[\%]$ 、住戸I、J（北向き中部屋）では約 $35[\%]$ 、住戸H（北・西向きの角部屋）では約 $50[\%]$ 増加する。

**3.3 連続団地モデルの各階南向き住戸における年積算暖冷房負荷の比較:** 図9にセンターコア型連続団地モデルにおける各階の年積算暖冷房負荷 (B（南棟）、E棟（北棟）の住戸D（リビングが南向き）) を示す。周辺建物による日影の影響で低層階において日射が減少し、暖房負荷が増加する。中間階で比較するとB、E棟ともに2階に対して19階では暖冷房負荷が約 $28[\%]$ 減少する。



(a) センターコア型モデル (b) 片廊下型モデル  
図5 連続団地モデルのB棟南面における天空に対する平均形態係数

3.4 平面形式及び建物方位を変化させた場合の年積算暖冷房負荷：図10に住棟及び団地全体の年積算暖冷房負荷を示す。case1(センターコア型)ではcase1-1(平面の長辺が南北向き)、case2(片廊下型)ではcase2-1(リビングが南向き)の暖冷房負荷が最も少ない。またcase2-1の場合、case1-1に対して暖房負荷が単体モデルでは約25[%]、団地モデルでは約16[%]、連続団地モデルでは約10[%]減少し、冷房負荷は概ね同様となる。団地及び連続団地モデルは周辺建物による日影が生じることと、天空に対する形態係数が減少することにより日射熱取得量が減少するため、case1とcase2の暖房負荷の差が建物単体モデルと比べて減少すると考えられる。本研究のモデルでは年積算暖冷房負荷への影響としては熱貫流量の変化よりも日射熱取得量の方が大きいと考えられる。

3.5 各モデルにおける1棟全体の年積算暖冷房負荷順位：表3及び図11にセンターコア型と片廊下型の1棟全体の年積算暖冷房負荷順位<sup>\*6</sup>を示す。片廊下型単体モデルcase2-1(リビングが南向き)の年積算暖冷房負荷が最も少ない。一方で連続団地モデルでは1棟あたりの年積算暖冷房負荷がセンターコア型で44.8~47.4[kWh/m<sup>2</sup>]、片廊下型で40.7~46.1[kWh/m<sup>2</sup>]程度となり、概ね同様である。

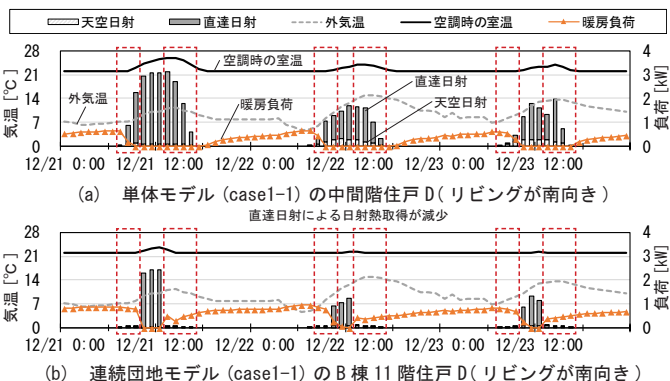


図6 冬季代表日におけるセンターコア型の日射熱取得量と暖房負荷

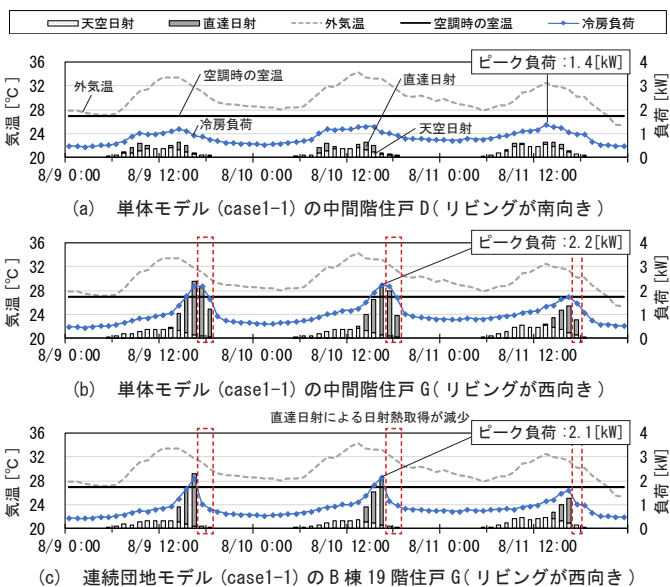


図7 夏季代表日におけるセンターコア型の日射熱取得量と冷房負荷

3.6 各平面形式の単体モデルにおける住戸単位の年積算暖冷房負荷順位：表4に単体モデルにおける住戸単位<sup>\*7</sup>の年積算暖冷房負荷順位を、図12にセンターコア型単体モデルにおける住戸単位の年積算暖冷房負荷順位を示す。センターコア型では中間階の南向きの住戸で暖冷房負荷が最少となり、最上階の北西・北東向きの住戸<sup>\*8</sup>で暖冷房負荷が最大となる。両者を比較すると暖冷房負荷が約148[%]増加する。片廊下型では暖冷房負荷が最少の住戸と比較して最大の住戸で約159[%]増加する。

3.7 代表棟における年間空調用電気料金の比較：図13に各モデルの代表棟における年間空調用電気料金<sup>\*9</sup>を示す。平面形式で比較をすると単体モデルの場合、case2-1と比較してcase1-1では電気料金が約137[万円/年・棟] (約21[%])増加する。連続団地モデルの場合、case2-1の

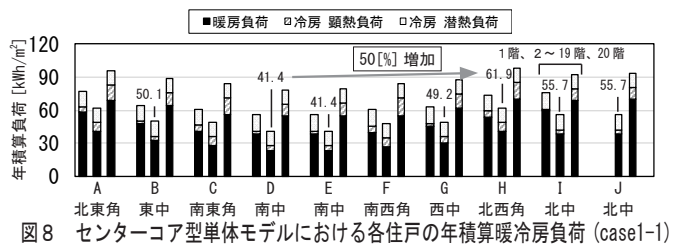


図8 センターコア型単体モデルにおける各住戸の年積算暖冷房負荷 (case1-1)

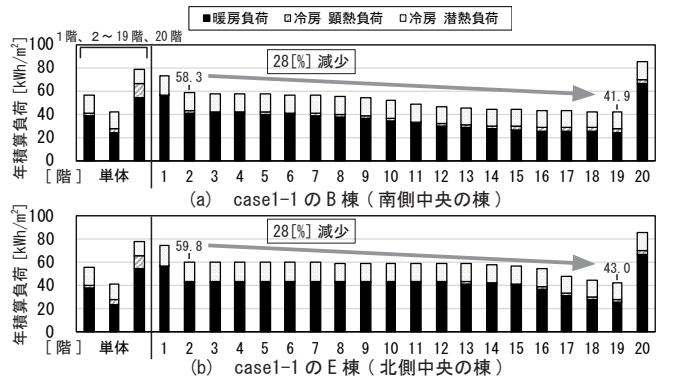


図9 センターコア型連続団地モデルにおける各階の年積算暖冷房負荷 (B(南棟)、E棟(北棟)の住戸D(リビングが南向き))

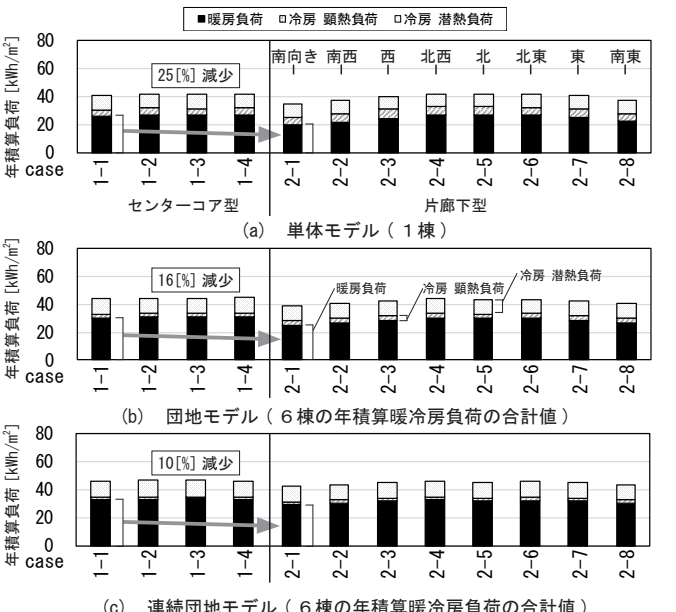


図10 住棟及び団地全体の年積算暖冷房負荷

B棟と比較して case1-1 の B棟では電気料金が約 88[万円/年・棟](約 11[%]) 増加する。また case2-1 の E棟と比較して case1-1 の E棟では約 60[万円/年・棟](約 7[%]) 増加する。どちらの平面形式においても連続団地モデルでは、B棟と E棟の電気料金の差は約 5～9 [%] 程度となる。

**3.8 単体モデルの代表住戸の年間空調用電気料金の比較：**図 14 に単体モデルの代表住戸における年間空調用電気料金を示す。センターコア型の間中階において、南向き中部屋に対して東、西向き中部屋では年間空調用電気料金が約 25[%] 程度、北向き中部屋では約 37[%]、北西・北東向き角部屋では約 71[%] 増加する。片廊下型の間中階では南向き中部屋に対して東、西、北向き中部屋では年間空調用電気料金が約 24[%] 程度、北西・北東向き角部屋では約 82[%] 増加する。

**4 まとめ**

**4.1 棟による比較**

①単体モデルにおいて、センターコア型(平面の長辺が南北向き)は片廊下型(リビングが南向き)に対して 1棟分の年間空調用電気料金が約 21[%] 増加する。

②連続団地モデルにおいては、南向きのセンターコア型と片廊下型の 1棟分の年間空調用電気料金の差は表 3 センターコア型と片廊下型の 1棟全体の年積算暖冷房負荷順位<sup>※6</sup>

順位	(単体、団地、連続団地) caseO-O棟	年積算暖冷房負荷[kWh/m <sup>2</sup> ]				1位との差
		暖房	冷房(顕熱)	冷房(潜熱)	合計	
1	単体 case2-1	19.6	5.1	9.6	34.3	0%
2	団地 case2-1 A棟	20.5	3.9	10.1	34.5	1%
3	団地 case2-1 B棟	20.8	3.5	10.3	34.6	1%
4	団地 case2-1 C棟	20.6	3.8	10.2	34.6	1%
5	単体 case2-2	21.3	6.1	9.4	36.8	7%
152	連続団地 case1-4 A棟	34.1	1.7	11.5	47.2	38%
153	連続団地 case1-2 D棟	34.1	1.7	11.5	47.3	38%
154	連続団地 case1-4 B棟	34.3	1.4	11.7	47.4	38%
155	連続団地 case1-1 E棟	34.4	1.3	11.7	47.4	38%
156	連続団地 case1-2 E棟	34.4	1.4	11.7	47.4	38%

表 4 単体モデルにおける住戸単位<sup>※7</sup>の年積算暖冷房負荷順位

(a) センターコア型

順位	(1階、中間階、20階) (中部屋、角部屋)	面する方位	年積算暖冷房負荷[kWh/m <sup>2</sup> ]				1位との差
			暖房	冷房(顕熱)	冷房(潜熱)	合計	
1	中間階 中部屋	南	23.5	3.9	13.4	40.8	0%
2	中間階 中部屋	南西	25.8	5.0	13.2	44.0	8%
3	中間階 中部屋	南東	27.2	4.3	13.3	44.8	10%
4	中間階 中部屋	南東・南西	26.0	9.0	12.8	47.8	17%
5	中間階 中部屋	南・西	26.5	9.0	12.9	48.3	18%
68	20階 角部屋	西・北	68.2	16.1	12.5	96.8	137%
69	20階 角部屋	東・北	69.7	15.0	12.6	97.4	139%
70	20階 角部屋	北・西	70.0	15.3	12.6	97.9	140%
71	20階 角部屋	北東・北西	73.3	15.4	12.6	101.2	148%
72	20階 角部屋	北西・北東	73.2	15.5	12.5	101.2	148%

(b) 片廊下型

順位	(1階、中間階、20階) (中部屋、角部屋)	面する方位	年積算暖冷房負荷[kWh/m <sup>2</sup> ]				1位との差
			暖房	冷房(顕熱)	冷房(潜熱)	合計	
1	中間階 中部屋	南	22.3	5.2	12.9	40.3	0%
2	中間階 中部屋	南西	24.6	6.5	12.6	43.7	8%
3	中間階 中部屋	南東	25.8	6.1	12.6	44.5	10%
4	中間階 中部屋	西	28.0	7.7	12.4	48.1	19%
5	中間階 中部屋	東	29.4	6.7	12.4	48.5	20%
68	20階 角部屋	北・東	69.2	17.7	12.3	99.2	146%
69	20階 角部屋	東・北	69.4	17.8	12.4	99.6	147%
70	20階 角部屋	西・北	70.5	18.2	12.3	101.1	151%
71	20階 角部屋	北東・北西	69.8	19.8	12.3	102.0	153%
72	20階 角部屋	北西・北東	73.2	19.0	12.3	104.6	159%

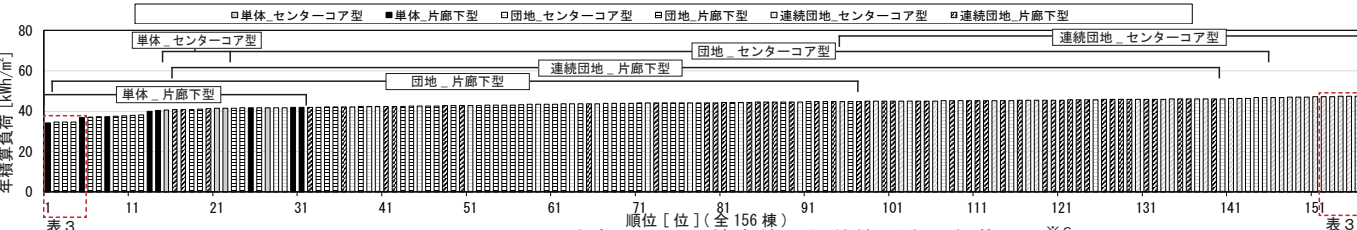


図 11 センターコア型と片廊下型の 1棟全体の年積算暖冷房負荷順位<sup>※6</sup>

約 7～11[%] 程度となり、概ね同様である。

**4.2 住戸による比較**

①どちらの平面形式でも単体モデルの間中階において、南向き中部屋に対して東、西、北向き中部屋では年間空調用電気料金が約 22～37[%]、北西・北東向き角部屋では約 71～82[%] 増加する。

- 注釈
- ※1 解析モデルの建物高さ 62[m] による道路斜線制限と隣地斜線制限に加えて建蔽率(商業地域で 80[%] 以下)、容積率(前面道路の幅員が 8[m] で 8×6/10×100=480[%] 以下)の制限を考慮した。
  - ※2 各部の熱貫流率としては、外壁は 0.47[W/(m<sup>2</sup>・K)]、戸壁壁は 0.90[W/(m<sup>2</sup>・K)]、1階の床は 0.78[W/(m<sup>2</sup>・K)]、20階の屋根は 0.71[W/(m<sup>2</sup>・K)] となる。
  - ※3 各住戸の鉛直面日射量は下記の式で求める。  
鉛直面全天日射量[W/m<sup>2</sup>]: J = J<sub>d</sub> + J<sub>sv</sub> —(1) J<sub>sv</sub>: 方位角αにおける壁面の直達日射量[W/m<sup>2</sup>]  
鉛直面直達日射量[W/m<sup>2</sup>]: J<sub>d</sub> = J<sub>h</sub> × (1-S) —(2) J<sub>h</sub>: 水平面天空日射量[W/m<sup>2</sup>]  
鉛直面天空日射量[W/m<sup>2</sup>]: J<sub>sv</sub> = J<sub>sh</sub> × F<sub>o</sub> —(3) S: 壁面及び窓における日影率[-]  
F<sub>o</sub>: 壁面のOの天空に対する形態係数[-]
  - ※4 各住戸の各方位の面において1面につき、水平方向に3分割し、分割された各面単位で日影の計算を行う。S<sub>i</sub>は3分割して求めた各日影率の平均である。
  - ※5 1棟分の延床面積はセンターコア型:18,611[m<sup>2</sup>]、片廊下型:18,620[m<sup>2</sup>]とする。
  - ※6 センターコア型では単体モデルは4棟、団地及び連続団地モデルはそれぞれ24棟のパターンがある。加えて片廊下型では単体モデルは8棟、団地及び連続団地モデルはそれぞれ48棟のパターンがあるため、センターコア型と片廊下型でパターンは計156棟となる。
  - ※7 単体モデルのセンターコア型と片廊下の建物方位を回転させることで、中部屋は8方位で8パターン、角部屋は16パターンあり、1フロアで合計24パターンとなる。建物1棟における住戸のパターンは、1階、中間階、20階の3フロアで計72パターンとなる。
  - ※8 北西・北東向きの住戸はセンターコア型ではcase1-4の住戸F、片廊下型ではcase2-4の住戸Aである。
  - ※9 エアコンで空調すると仮定し年平均COP=3とし東京電力の電気料金単価<sup>※10</sup>より求めた。
  - ※10 東京電力の従量電灯bプランとし、消費電力が0[kWh]～120[kWh]までは1[kWh]あたり29円80銭、120[kWh]～300[kWh]までは1[kWh]あたり36円40銭とする。また年間空調用電気料金に従量電灯bプランの基本料金は含まない。

参考文献  
文1) 国土交通省「建築物エネルギー消費性能基準等を定める省令における算出方法等を定める件における地区区分新旧表」、2020年  
文2) 日本建築学会「拡張アメダス気象データ」鹿児島TLO、2000年

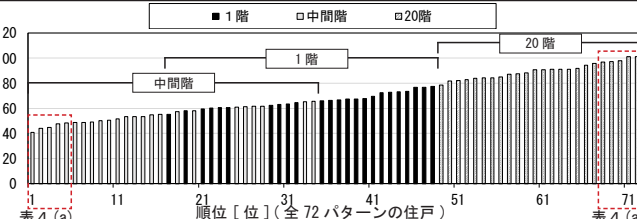


図 12 センターコア型単体モデルにおける住戸単位の年積算暖冷房負荷順位

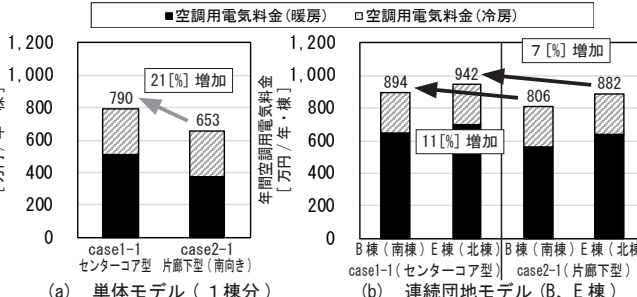


図 13 各モデルの代表棟における年間空調用電気料金<sup>※9</sup>

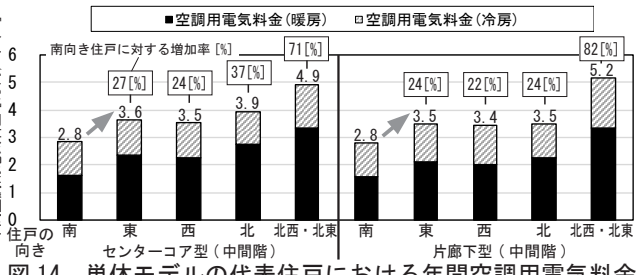


図 14 単体モデルの代表住戸における年間空調用電気料金