住宅における効率的なハイブリッド空調に関する研究

羽生 恭子

指導教官 赤林 伸一助教授

1 研究目的

現在、温室効果ガス(二酸化炭素等)の増大による地球温暖化が深刻化している。二酸化炭素は、経済活動の基礎となっているエネルギー源である化石燃料の燃焼によって主に排出される。また、化石燃料の大量消費により、資源の枯渇も問題となっている。このため、一層の省エネルギー化が求められ、あらためて自然エネルギーの有効利用を考慮した居住環境調整手法が注目されてきている。そこで住宅において室内温熱環境を快適な状態に保ち、また冷房負荷の低減による省エネルギー化を図るため、建物の地理的環境、日射遮蔽の効果、夜間通風の利用、蓄熱体の設置による省エネルギー効果を検討することは重要であると考えられる。

本研究では、日本各都市における戸建住宅・集合住宅を対象に夏季に日射遮蔽・夜間通風・蓄熱体を設置したハイブリッド空調を行った場合の室内温湿度、冷房負荷を熱負荷シミュレーション及び換気回路網シミュレーションを用いて解析する。解析結果から快適で省エネルギー性に優れた冷房・通風計画手法を明らかとする。また冷房負荷が低減することによる経済効果、二酸化炭素の排出低減量など環境負荷評価を行い、その有効性を検討することを目的と



図1 標準住宅モデルの平面 表1 対象住字の断執構告

	我 「
外壁	合板(10mm)+モルタル(30mm)+空気層+断熱材(40mm)+石膏ボード(12mm) 石膏ボード(12mm)+空気層+石膏ボード(12mm) スレート(12mm)+合板(12mm)+断熱材+石膏ボード(12mm) 床板(10mm)+合板(12mm)+断熱材(40mm)
内壁	石膏ボード(12mm)+空気層+石膏ボード(12mm)
屋根	スレート(12mm)+合板(12mm)+断熱材+石膏ボード(12mm)
1階床	床板(10mm)+合板(12mm)+断熱材(40mm)
2階床	カーペット(15mm)+合板(12mm)+空気層+石膏ボード(12mm)
	シングルガラス

·熱損失係数:2.8[W/m・K] (=2.4[kcal/m・h・°C])

2 戸建住宅を対象とした数値解析

2.1対象の概要

- (1)解析対象住宅:日本建築学会住宅用標準問題モデルを対象とする。図1に対象住宅の平面を、表1に断熱構造を示す。家族構成は夫婦と子供2人である。
- (2)対象地域:東京、新潟等の日本の10都市(表4参照) を対象とする。気象データには日本建築学会の拡張アメダ ス気象データを用いる。
- (3)解析方法:1F居間(LDK)における冷房負荷及び室内温熱環境に関する数値解析を行う。熱負荷シミュレーションにはフランス国立建築研究所が開発した多数室熱負荷計算プログラムTRNSYSを用い、換気回路網計算にはCOMISモデルを用いる。表2に解析CASE番号と窓の開閉条件、日射遮蔽条件、蓄熱体の有無を示す。
- (4)解析条件:計算期間は7~9月とし、5、6月を計算

表2 解析 CASE

CASE	窓の開閉条件	日射遮蔽	蓄熱体(※1)
1	終日窓全閉	なし	なし
2	終日窓全閉	あり(遮蔽係数0.5)	なし
3	夜間窓開放(※2)AM.23:00~PM.7:00	なし	なし
4	夜間窓開放(※2)AM.23:00~PM.7:00	あり(遮蔽係数0.5)	なし
<u> </u>	夜間窓開放(※2)AM.23:00~PM.7:00	あり(遮蔽係数0.5)	あり

- (※1) 蓄熱体: レンガを1F床及び壁面積の1/2(下方)に設置
- (※2)窓の開放率は0.5とし、図1に通風時に開放する窓を*で示す
- (※3)漏気は常時0.5回/hと設定

表3 内部発熱・空調スケジュール

冷房		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
LDK	温度(℃)											26									26				
北側子供部屋	温度(℃)			2	8			26															26		26
南側子供部屋	温度(℃)				28																	2	6		26
寝室	温度(℃)				28																				26
換気量																									
厨房換気	(m³/h)							400						200					4	00					
夜間通風	開放率				0.5																				0.5
照明•機器																									
LD	照明(W)								120												170				
LD	機器(W)															100									
	照明(W)								35											35					
K	調理(W)							600						300					6	00					
	冷蔵庫(W												,	15											
各子供部屋	照明(W)								50													5	0		
寝室	照明(W)							100															1(00	
玄関	照明(W)								50												50				
2階ホール	照明(W)								40												40				
在室人数																									
	(1)							100000	2000000	1000		9999	2000					0000000	0000000	0000000	-0000000	999999	200000	10101010	_

在室人数			
LDK	(人)	1 4 I	3 1
各子供部屋	(人)	1 1	
寝室	(人)	2 1	1 2

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23

の助走期間とする。表 3 に冷房、換気量、人体、照明等の内部発熱スケジュールを示す。各スケジュールは空気調和・衛生工学会の「住宅の消費エネルギー計算用設定条件のモデル化(文献 2)」を参考に作成した。

2.2数值解析結果

(1)室内温度、冷房負荷の時間変化

図 2 に東京の最高気温日(8/21)の室内温度、冷房負荷の時間変化を示す。日射遮蔽(CASE 遮蔽なしと CASE 遮蔽ありを比較)による日中の冷房負荷低減効果は大きい。日中の冷房停止時においては急激な室内温度上昇が見られ

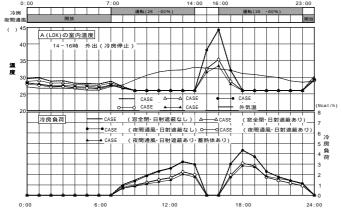


図2 室内温度と冷房負荷の時間変化(東京)

るが、日射遮蔽により最高で、室温は45 から約10 低下する。更に蓄熱体の使用により、日中の冷房停止時の室内温度は最高で、35 から約2 低下している。また、夜間通風(CASE 夜間通風なしとCASE 夜間通風ありを比較)を行った場合、夜間の室内温度低下に若干の効果が見られるが、冷房負荷低減効果は相対的に小さい。

(2) 各解析 CASE の比較

図3に東京の8月の各解析CASEの日積算冷房負荷の比較を示す。

- (a)日射遮蔽:図3-(a)に日射遮蔽の有無による日積算冷房負荷の比較を示す。日射を遮蔽することで冷房負荷を約30%低減することができ、冷房負荷低減に効果的である。(b)夜間通風:図3-(b)に夜間通風の有無による日積算冷房負荷の比較を示す。冷房負荷低減率は約2%であり、夜間通風の効果は小さい。
- (c)蓄熱体:図3-(c)に蓄熱体の有無による日積算冷房負荷の比較を示す。冷房負荷の低減率は約6%であり、蓄熱体の効果は小さい。

(3)日本各都市の比較

表4に各都市における夏季(7月~9月)の冷房負荷低減量とCASE に対する各解析CASEの低減率を示す。日射遮蔽の効果は大きく、どの都市においても冷房負荷低減

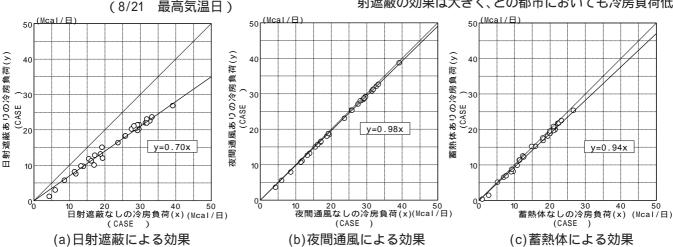


図3 8月の日積算冷房負荷の比較(東京)

表4 各都市における冷房負荷低減量と冷房負荷低減率(LDK)

	0.46	\F	0.46	\F	0.4.6	\F	0.47	SE
	CAS		CAS		CAS		CAS	
±n —	(日射遮	蔽あり)	(夜間通	[風あり)	(日射遮蔽,夜	を間通風あり)	(日射遮蔽,夜間)	通風,蓄熱体あり)
都市	冷房負荷低減量	冷房負荷低減率	冷房負荷低減量	冷房負荷低減率	冷房負荷低減量	冷房負荷低減率	冷房負荷低減量	冷房負荷低減率
	(Mcal)	(%)	(Mcal)	(%)	(Mcal)	(%)	(Mcal)	(%)
札幌	530	55	51	5	560	58	674	70
仙台	473	44	48	5	508	47	595	56
新潟	536	39	43	3	570	42	637	48
東京	692	31	56	3	734	33	844	37
名古屋	690	35	62	3	740	37	845	43
大阪	691	33	55	3	734	36	823	40
高松	735	36	62	3	784	38	884	43
広島	736	35	66	3	789	37	897	42
高松	742	34	53	2	784	35	867	39
那覇	858	31	35	1	884	32	945	34

率は30%以上であり、500~900Mcal程度の低減量となっている。また、夜間通風の効果は小さくどの都市でも冷房負荷低減率は5%以下である。また、日射遮蔽・夜間通風・蓄熱体の設置を組み合わせたCASE は全ての都市において最も冷房負荷低減量が大きく、特に札幌、仙台では冷房負荷低減率が50%以上となる。

(4)経済効果

表5に各都市の電力料金低減額を示す。電力料金低減額は、エアコンの成績係数 COP=3、電力量1 kWh 当たりの料金を25円として算出する。日射遮蔽の効果による電力料金低減額は多く、各都市において5,000~8,000 円程度の電力料金が低減できる。夜間通風の効果による電力料金低減額は少なく、300~600 円程度である。

(5)環境負荷低減効果

表6に各都市の冷房負荷低減によるCO₂の排出低減量を示す。低減量はCO₂の排出原単位に冷房負荷低減量を乗じて算出する。また、ここでの値はCO₂換算^{*1}を利用する。

表5 各都市の電力料金低減額(7~9月)

	電力料金低減額(円)										
±7 1	CASE	CASE	CASE	CASE							
都市	日射遮蔽	夜間通風	日射遮蔽 夜間通風	日射遮蔽 夜間通風 <u>蓄熱体</u>							
札幌	5120	492	5409	6514							
仙台	4570	468	4911	5753							
新潟	5184	415	5514	6157							
東京	6687	537	7095	8159							
名古屋	6674	595	7149	8173							
大阪	6683	530	7099	7957							
広島	7113	636	7625	8671							
高松	7107	597	7581	8545							
福岡	7173	508	7577	8383							
那覇	8292	342	8549	9139							

表 6 各都市のCO。排出低減量(7~9月)

			-	2		`	/			
	CAS	SE	CAS	SE	CAS	SE	CAS	SE		
都市	日射	地蔽	夜間	通風		l遮蔽]通風	日射遮蔽 夜間通風 蓄熱体			
	火力	総電力	火力	総電力	火力	総電力	火力	総電力		
札幌	119	68	11	6	125	71	151	86		
仙台	106	60	11	6	114	65	133	76		
新潟	120	68	10	5	128	73	143	81		
東京	155	88	12	7	165	94	189	108		
名古屋	155	88	14	8	166	94	190	108		
大阪	155	88	12	7	165	94	185	105		
高松	165	94	14	8	176	100	198	113		
広島	165	94	15	8	177	101	201	114		
福岡	166	95	12	7	176	100	194	111		
那覇	192	109	8	5	198	113	212	121		

注 *1) CO_2 換算:排出される二酸化炭素そのものの重量であり、 国連機関で使用される単位。

*2)火力:最もCO₂の排出量の多い火力発電所の平均値 総電力:全発電所の平均値 CO₂の排出低減量は冷房負荷低減量に比例しており、CASE が最も低減が大きい。

3 集合住宅を対象とした数値解析

3.1対象の概要

- (1)解析対象住宅:住宅・都市整備公団の汎用設計モデルより中間階中間住戸であり連続した建物の一部を切り取ったモデルとする。図4に集合住宅モデルの平面図と解析用のZONE割³を、表7に断熱構造を示す。家族構成は戸建住宅と同様とする。
- (2)対象地域:戸建住宅と同様とする。
- (3)解析方法:LDK(居間)と和室(ZONE-A)における冷房負荷及び室内温熱環境に関する数値解析を行う。熱負荷シミュレーションは戸建住宅と同様とする。換気量は集合住宅における南北通風時の換気回数(文献4)を参考に基準換気回数、窓開放率、室容積、空気比重量、風速から通風量を算出した。表8に解析CASE番号と窓の開閉条件、日射遮蔽条件、外出時の冷房の運転有無を示す。
- (4)解析条件:計算期間は戸建住宅と同様とする。表9に冷房、換気量のスケジュールを示す。人体、照明等の内部



注 *3) ZONE 割:解析を行う際に、ZONE - A、B をそれぞれ 1 室と みなして解析を行う

図4 集合住宅モデルの平面とZONE

表 7 集合住宅の断熱構造

外壁	石膏ボード(10mm)+空気層+発泡ウレタン(20mm)+ALC(100mm)
戸境壁	石膏ボード(10mm)+空気層+RC(180mm)+空気層+石膏ボード(10mm)
間仕切り	石膏ボード(10mm)+空気層+石膏ボード(10mm)
床	フローリング(15mm)+モルタル(45mm)+RC(200mm)
窓ガラス	シングルガラス
·熱損失係数	[:1.4[W/m²·K] (=1.2[kcal/m²·h·])

車 9 一般标 ↑ ↑ ♀ □

	120 胜	171 CAGE	
CASE	窓の開閉条件	日射遮蔽	外出時の冷房運転
	終日窓全閉	なし	なし
	終日窓全閉	あり(遮蔽係数0.5)	なし
	外出時、夜間窓開放(1)	なし	なし
	外出時、夜間窓開放(1)	あり(遮蔽係数0.5)	なし
	夜間窓開放(1)	なし	なし
	夜間窓開放(1)	あり(遮蔽係数0.5)	なし
	夜間窓開放(1)	なし	あり
	夜間窓開放(1)	あり(遮蔽係数0.5)	あり

- 1) 窓の開放率は0.5とし、図4に通風時に開放する窓を*で示す
- 2) 漏気は常時 0.5 回 /h と設定

発熱スケジュールは戸建住宅と同様とする。

3.2数值解析結果

(1)室内温度、冷房負荷の時間変化

図5に東京の最高気温日(8/21)の室内温度、冷房負荷の時間変化を示す。外出時において急激な室内温度上昇が見られるが、窓を開放することにより室温は34 から30まで約4 低下する(CASE 外出時・夜間通風ありとCASE 通風なしを比較)。しかし、冷房運転再開時の冷房負荷は外出時に窓を開放しないCASEに比較して極めて大きい。これは外気の流入による潜熱負荷の増大が原因と考えられる。

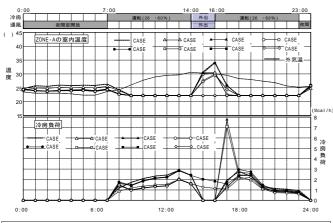
(2)各解析 CASE の比較

図6に東京の8月の各解析CASEの日積算冷房負荷の比較を示す。

- (a) 日射遮蔽: 図 6 (a) に日射遮蔽の有無による日積算冷房負荷の比較を示す。日射を遮蔽することで冷房負荷を約27%低減することができ、冷房負荷低減に効果的である。(b) 夜間通風: 図 6 (b) に夜間通風の有無による日積算冷房負荷の比較を示す。冷房負荷低減率は約1%であり、夜間通風の効果は小さい。
- (c)外出時の通風:図6-(c)に外出時の通風の有無による 日積算冷房負荷の比較を示す。外出時に通風することで冷 房負荷は増加し、その効果はマイナスに作用する。
- (d)外出時の冷房:図6-(d)に外出時の冷房の有無による 日積算冷房負荷の比較を示す。外出時に冷房することで冷 表9 内部発熱・空調スケジュール

	-			٠.	-			/	`	_	- H/	,,	•	-				•	•					((寺
冷房		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
通常運転	温度()											26									26				
Al ilint\@a=	'e et /	$\overline{}$	$\overline{}$	T	$\overline{}$		$\overline{}$	1	$\overline{}$									$\overline{}$			_				=

換気量												
厨房換気	(m³/h)			400		200		400				
外出時換気	開放率						0.5					
夜間換気	開放率		0.5							П	П	0.5



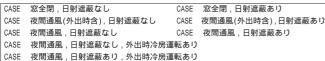
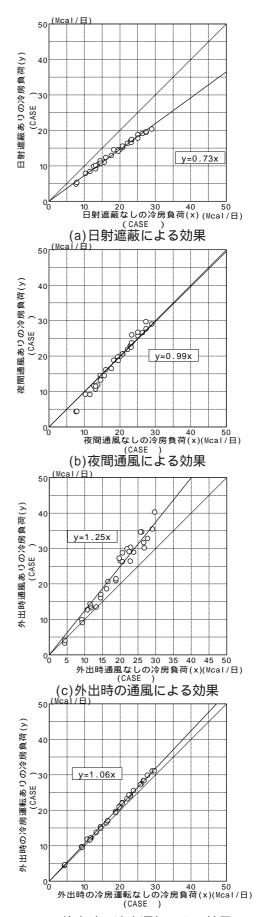


図5 室内温度と冷房負荷の時間変化(東京) (8/21 最高気温日)



(d)外出時の冷房運転による効果 図6 8月の日積算冷房負荷の比較(東京)

房負荷は増加し、その効果はマイナスに作用する。

(3)日本各都市の比較

表10に各都市における夏季(7月~9月)の冷房負荷低 減量と CASE に対する各解析 CASE の低減率を示す。日 射遮蔽による効果は大きく、広島、高松、福岡、那覇では 冷房負荷低減量が500Mcal以上である。また、夜間通風 (外出時を含む)の効果は、札幌で353Mcal、仙台で 237Mcal、新潟で42Mcalの冷房負荷を低減しているが、他 の都市においては、マイナスに作用する。夜間通風の効果 は、那覇ではマイナスに作用するが、他の地域では、冷房 負荷低減に効果的で、札幌、仙台での冷房負荷低減量は 200Mcal以上である。平均外気温の低い札幌では、日射遮 蔽、外出時・夜間通風を組み合わせた CASE 、平均外気 温の高い那覇では、日射遮蔽、終日窓全閉を組み合わせた CASE 、他の都市では日射遮蔽、夜間通風を組み合わせ たCASE が最も冷房負荷低減に効果的である。冷房負荷 低減効果は地域によって異なり、外気温、湿度などの気候 条件が影響していると考えられる。

(4)経済効果

表11に各都市の電力料金低減額を示す。日射遮蔽と夜 間通風を組み合わせたCASE は、札幌、新潟、名古屋、広

島、高松で電力料金低減額が6,000円以上であり、経済 効果は大きい。しかし、都市によっては効果がマイナスに 作用し、CASE 、CASE では都市により電力料金が増加 する場合もある。

(5)環境負荷低減効果

表12に各都市の00,の排出低減量を示す。日射遮蔽と夜 間通風を組み合わせたCASE は各都市において大幅なCO。 排出低減が可能であり、環境負荷低減への効果が大きい。

表11 各都市の電力料金低減額(7~9月)

	2011	עניים דו	- 0,51	1 101077	MHM (2/1	,
			電力料	全低減	額(円)		
+ □→	CASE	CASE	CASE	CASE	CASE	CASE	CASE
都市	日遮	外·夜換	日遮 夜換 ^(外出時含)	夜換	日遮 夜換	夜換 外冷	日遮 夜換 外冷
札幌	4233	3411	6108	2824	6083	2150	5815
仙台	3844	2293	5149	2205	5464	1550	5146
新潟	4787	403	4353	1846	6180	969	5695
東京	3825	-1814	1463	870	4379	94	3906
名古屋	4767	-1575	2553	1655	6037	713	5489
大阪	4561	-1549	2373	1153	5378	215	4812
広島	5013	-675	3657	1489	6165	511	5593
高松	5148	-1290	3114	1396	6163	364	5555
福岡	5071	-2903	1430	650	5385	-397	4754
那覇	5787	-5760	-617	-1262	4234	-2522	3452

表10 各都市における冷房負荷低減量と冷房負荷低減率(ZONE-A)

都市	CASE		CASE		CASE		CASE		CASE		CASE		CASE	
	日遮		夜換(外出時含)		日遮,夜換(外出時含)		夜換		日遮,夜換		夜換,外冷房		日遮,夜換,外冷	
	低減量	低減率	低減量	低減率	低減量	低減率	低減量	低減率	低減量	低減率	低減量	低減率	低減量	低減率
札幌	438	54	353	43	632	77	292	36	629	77	222	27	602	74
仙台	398	41	237	24	533	55	228	23	565	58	160	16	532	55
新潟	495	35	42	3	450	32	191	13	639	45	100	7	589	41
東京	396	28	-188	-13	151	11	90	6	453	32	10	1	404	29
名古屋	493	31	-163	-10	264	17	171	11	625	40	74	5	568	36
大阪	472	29	-160	-10	245	15	119	7	556	34	22	1	498	31
広島	519	31	-70	-8	378	19	154	8	638	37	53	2	579	33
高松	533	32	-133	-4	322	23	144	9	638	39	38	3	575	35
福岡	525	30	-300	-17	148	9	67	4	557	32	-41	-2	492	28
那覇	599	28	-596	-28	-64	-3	-131	-6	438	21	-261	-12	357	17

日遮:日射遮蔽あり,夜換:夜間通風あり,外冷:外出時冷房あり 冷房負荷低減量と冷房負荷低減率の単位はそれぞれ(Mcal)(%)

表12 各都市のCO 排出低減量(7~9日)

都市	CASE		CASE		CASE		CASE		CASE		CASE		CASE	
	日遮		夜換(外出時含)		日遮,夜換(外出時含)		夜換		日遮,夜換		夜換,外冷房		日遮,夜換,外冷	
	火力	総電力	火力	総電力	火力	総電力	火力	総電力	火力	総電力	火力	総電力	火力	総電力
札幌	98	56	79	45	142	81	66	37	141	80	50	28	135	77
仙台	89	51	53	30	119	68	51	29	127	72	36	20	119	68
新潟	111	63	9	5	101	57	43	24	143	82	22	13	132	75
東京	89	50	-42	-24	34	19	20	11	102	58	2	1	91	52
名古屋	111	63	-37	-21	59	34	38	22	140	80	17	9	127	72
大阪	106	60	-36	-20	55	31	27	15	125	71	5	3	112	64
高松	116	66	-16	-9	85	48	35	20	143	81	12	7	130	74
広島	119	68	-30	-17	72	41	32	18	143	81	8	5	129	73
福岡	118	67	-67	-38	33	19	15	9	125	71	-9	-5	110	63
那覇	134	76	-134	-76	-14	-8	-29	-17	98	56	-59	-33	80	46

日遮:日射遮蔽あり,夜換:夜間通風あり,外冷:外出時冷房あり

4 戸建住宅と集合住宅の比較

冷房負荷低減量を冷房面積あたりの数値に換算し、戸建 住宅と集合住宅の冷房負荷低減効果の特徴と地域性を比 較・検討する。

4.1日射遮蔽の効果

図7に日射遮蔽の効果の比較を示す。冷房負荷低減量、 冷房負荷低減率ともに全ての都市において戸建住宅の方 が、日射遮蔽の効果は大きい。

4.2夜間通風の効果

図8に夜間通風の効果の比較を示す。福岡、那覇以外の 都市では集合住宅の方が夜間通風による冷房負荷低減効果 は高い。

4.3日射遮蔽と夜間通風を組み合わせた効果

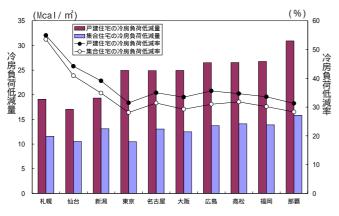


図7 日射遮蔽の効果の比較

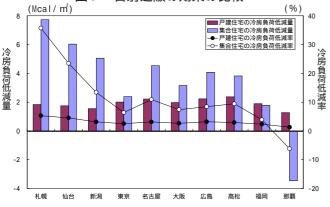


図8 夜間通風の効果の比較

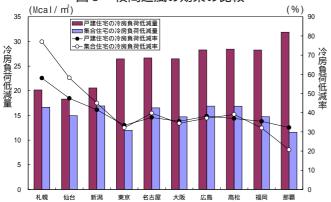


図9 日射遮蔽と夜間通風を組み合わせた効果の比較

図9に日射遮蔽と夜間通風を組み合わせた効果の比較を示す。冷房負荷低減量は、全ての都市において戸建住宅の方が多くなる。冷房負荷低減率は平均外気温の低い札幌、仙台では集合住宅の方が高く、平均外気温の高い那覇では、戸建住宅の方が高くなる。

5 まとめ

戸建住宅では、全ての都市において日射遮蔽により冷房 負荷を30%以上低減することが可能であり、冷房負荷低 減に効果的である。夜間通風による冷房負荷低減率は各都 市で5%以下であり、その効果は日射遮蔽に比べ小さい。

集合住宅では、どの都市においても日射遮蔽による冷房 負荷低減効果は大きい。夜間通風による冷房負荷低減率 は、札幌、仙台において36%、23%とその効果は大きいが、 那覇においてはその効果はマイナスに作用し、冷房負荷を 増大させる結果となった。7~9月は日平均外気温が高 く、1日を通して気温が高いことが原因と考えられる。

外出時の冷房停止による急激な室内の温度上昇と冷房負荷の増大を防ぐことを期待して、外出時に窓を開放する CASE のシミュレーションを行った。外出時の窓開放により、室内の温度上昇は防げたが、札幌、仙台,新潟以外の都市で冷房負荷は増大しており、その効果はマイナスに作用した。潜熱負荷の影響が大きいことが原因と考えられる。

潜熱負荷の影響を防ぐため、外出時に冷房運転をする CASEのシミュレーションを行った。外出時の冷房運転により、外出時の急激な室内の温度上昇と、潜熱負荷の影響による冷房負荷の増大は防ぐことができた。外出時に窓を閉鎖し、夜間通風を行うCASE やCASE に比べると、冷房負荷は若干増加するが、その差は小さい。

戸建住宅と集合住宅を比較すると、日射遮蔽の効果は戸建住宅の方が大きい。戸建住宅の方が窓面積が大きく、日射の影響による室内温度上昇が大きいことが原因と考えられる。夜間通風の効果は集合住宅の方が大きい。集合住宅の方が、熱損失係数が小さく、建物構成部材の熱容量が大きいので、夜間通風による蓄熱効果が有効的であるためと考えられる。日射遮蔽による冷房負荷低減量が、夜間通風による効果に比べ極めて大きいため、日射遮蔽と夜間通風の組合せにおいても、日射遮蔽の効果が大きく見られた戸建住宅の方が冷房負荷低減量は大きい。

【参考文献】

- 1) 宇田川光弘: 『標準問題の提案』(住宅用標準問題)
- 2) 空気調和・衛生工学会:
 - 『住宅の消費エネルギー計算用設定条件のモデル化』
- 3) 住宅・都市整備公団: 『汎用設計モデル』
- 4)村上周三、赤林伸一:
 - 『トレーサーガス法を利用した住宅の自然通風に関する風洞実験ガイドベーン、バルコニー、室内外障害物等が通風に及ぼす影響に関する検討』