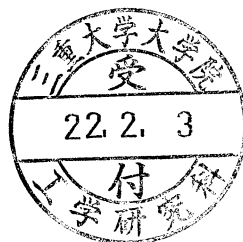


平成 21 年度

修士論文

高気密高断熱住宅における  
土壌熱源ヒートポンプ適用に関する研究



指導教員 永井 久也 准教授

三重大学大学院工学研究科

建築学専攻

中島 智章

# 目次

<b>第1章 序論</b>	<b>1</b>
1-1 はじめに	2
1-2 研究目的	2
1-3 研究概要	4
<b>第2章 システム概要</b>	<b>5</b>
2-1 はじめに	6
2-2 装置概要	7
2-3 第2章まとめ	8
<b>第3章 対象とする高気密高断熱住宅の概要</b>	<b>9</b>
3-1 はじめに	10
3-2 各地域の外界気象	10
3-3 計算に用いる住宅の概要	13
3-4 各地域における住宅の熱負荷	19
3-5 第3章まとめ	22
<b>第4章 本システムの蓄熱井戸必要最低伝熱面積の検討</b>	<b>23</b>
4-1 はじめに	24
4-2 計算理論	24
4-3 ヒートポンプ概要	27
4-4 計算条件	29
4-5 各地域における蓄熱井戸の最低必要本数の検討	29
4-6 第4章まとめ	35
<b>第5章 全日空調条件における本システムの省エネルギー性の検討</b>	<b>36</b>
5-1 はじめに	37
5-2 計算条件	37
5-3 全日空調条件における本システムの省エネルギー効果	37
5-3-1 部分負荷特性を考慮しない場合における省エネルギー効果の検討	37
5-3-2 部分負荷特性を考慮する場合における省エネルギー効果の検討	42
5-3-3 全日空調条件における経年変化の検討	46
5-4 全日空調条件における大気環境への負荷低減効果	47
5-4-1 部分負荷特性を考慮しない場合の大気環境負荷の検討	47
5-4-2 部分負荷特性を考慮する場合の大気環境負荷の検討	51
5-5 第5章まとめ	53



<b>第6章 間欠空調条件における本システムの省エネルギー性の検討</b>	<b>54</b>
6-1 はじめに	55
6-2 間欠空調条件における本システムの省エネルギー効果	55
6-2-1 部分負荷特性を考慮しない場合の省エネルギー効果の検討	55
6-2-2 部分負荷特性を考慮した場合の省エネルギー効果の検討	61
6-2-3 間欠空調条件における経年変化の検討	67
6-3 間欠空調条件における大気環境への負荷低減効果	68
6-3-1 部分負荷特性を考慮しない場合の大気環境負荷低減効果の検討	68
6-3-2 部分負荷特性を考慮した場合の大気環境負荷低減効果の検討	68
6-3-3 本システムの大気環境負荷低減効果のまとめ	71
6-4 第6章まとめ	72
<b>第7章 ヒートポンプの容量を変更した場合の本システムの有効性の検討</b>	<b>73</b>
7-1 はじめに	74
7-2 ヒートポンプの概要	74
7-3 容量 2.8kW のヒートポンプ 2 台使用した場合の COP 日変動の検討	75
7-4 標準的な敷地規模による消費電力量の検討	77
7-5 第7章まとめ	79
<b>第8章 結論</b>	<b>80</b>
参考文献	84
謝辞	85

# 第1章

## 序論

## 第1章 序論

### 1-1 はじめに

本章においては、本研究の目的を述べ、本研究で取り扱うシミュレーションのレビューを行う。

### 1-2 本研究の目的

地盤は、温度がほぼ一定であること、温度の状態、場所的、時間的な利用し易さと蓄熱能力の面で、極めて有効な熱源である。一方、地盤は固体であるため、水等の流体に比して熱の移動は非常に小さく、また蓄熱は主として顕熱であるため、必要とする容量は大きくなる。そのため利用できる蓄熱容量を大きくするためには十分な伝熱面積を確保しなければならないという欠点を持っている。したがって、地盤の有効利用を図るには、その伝熱性状の十分な把握が必須となる。また、蓄熱それ自体には、エネルギーの取得或いは生産はないから蓄熱に伴う周囲環境への熱の損失は、そのままエネルギー損失となる。この損失が蓄熱システムを導入することによるシステム全体としての省エネルギー量以下でなければ蓄熱システムを導入する価値はない。したがって、蓄熱システムとして有効に使用するためには、十分な精度の温度場、熱流場の特性把握およびその予測が必要となる。以上のような点を十分考慮すれば、地盤は有効な蓄熱媒体であり、特に変動の大きい自然エネルギーの利用には有用であると言える。

冷房と暖房が必要な場合に、それに必要な年間のエネルギーは、それぞれの和すなわち負荷の絶対値の和で与えられる。もしこれを通じて完全に時間的に平均化できれば、それに必要なエネルギーは負荷の単純和となり、その省エネルギー効果は極めて大きくなる。すなわち、熱需要が時間的に変動しそれが正、負である場合には、蓄熱は有効な省エネルギー手段となる。さらに、年平均気温が要求される室内温度に近い場合には、熱損失が小さくなり、蓄熱エネルギーの有効利用効果は更に増大する。一方、このような場合には、利用する温度と温度の差は小さく、そのために必要な熱量を建物に供給するには、建物側で非常に大きな伝熱面積が必要となる。この欠点を避けるためには、よく知られているように、ヒートポンプを用いるのが適切な方法であると言える。換言すれば、ヒートポンプの熱源として有効である。

すでに外径 190.7mm、長さ 10.5m の寸法の密閉型蓄熱井戸を用いたフィールド実験および理論数値解析により、年周期蓄熱媒体としての地盤の熱・水分性状およびその有効性が示され、また、地盤内熱および水分の移動ポテンシャルとして水分の化学ポテンシャルを用いた熱水分同時移動方程式が蓄熱井戸の設計方法として利用できることが明らかにされ

ている[1]。しかし、実用的にはかなり大きな伝熱面積が必要となることが大きな課題であった。既論の研究[2]においては、近年大幅に性能改善がなされている高気密高断熱住宅に着目し、地域を東京に設定した標準的な次世代基準レベルの高性能住宅(低負荷住宅)における、蓄熱井戸ヒートポンプ熱源の適用可能性を数値シミュレーションにより行った。その結果、直径 190mm、長さ 20m の密閉型蓄熱井戸の必要最低蓄熱井戸本数は、地域を東京と設定した場合、全日空調条件では 4 本であることを示した。さらに、対象住宅の敷地面積を標準的な 50~60 坪程度と想定し、敷地内に 6 本の蓄熱井戸を埋設した場合の本システムの省エネルギー効果を検討し、本システムは外気熱源に比して年間消費電力量を全日空調条件で約 8%程度低減できることも明らかにした。

本研究では、全国各地域において、既論の研究と同様の高気密高断熱住宅の熱損失係数を各地域の次世代省エネルギー基準値に設定し、年間全室全日空調および間欠空調条件において、本システム性能を検討し、その省エネ性を明らかにする。また、年間全室全日および間欠空調運転時における本システムと空気熱源システムとの大気環境へ与える熱負荷についての比較検討も併せて行った。さらに、既論の研究においては、ヒートポンプの部分負荷特性を考慮していなかったが、近年のヒートポンプのほとんどがインバータタイプであるため、本論では、より現実の条件に近づけるため、部分負荷特性を考慮したシステム性能を検討し、部分負荷特性を考慮していないシステム性能との比較も行い、蓄熱井戸を用いた土壌熱源ヒートポンプを使用した場合をシミュレーションにより、高気密高断熱戸建住宅における本システムの適用可能性を導くことを目的とする。

### 1-3 研究概要

第2章においては、シミュレーションに用いる、密閉型サーマルウェルを用いた年周地盤蓄熱の装置概要について述べる。

第3章ではシミュレーションに用いる各地域の外界気象、高気密高断熱住宅の詳細について述べ、SMASHにより算出した各都市における住宅の冷暖房負荷を示す。

第4章ではシミュレーションに用いる計算理論、本論で用いる水熱源ヒートポンプのCOPおよび部分負荷特性を示し、第2・3章の条件を用いて、本システムの蓄熱井戸最低必要伝熱面積を検討する。

第5章では標準的な敷地面積において、全日空調条件における本システムの省エネルギー効果および大気環境負荷低減効果を検討する。

第6章では、第5章と同様の条件で、間欠空調条件における本システムの省エネルギー効果および大気環境負荷低減効果を検討する。

第7章では、前章までは、ヒートポンプの容量を6.0kW1台としていたが、2.8kWの水熱源ヒートポンプ2台を使用した場合の本システムの有効性を比較検討する。

第8章では第7章までに得られた結果を整理し、今後の課題と展望を述べる。

## 第2章

## システム概要

## 第2章 システム概要

## 2-1 はじめに

地盤は潜在力として膨大な熱容量をもっており、それを適切に利用することができれば、有効な熱媒体とすることが出来る。その大容量性から長期の、例えば年周期のオーダーの変動の平準化が可能であり、これを有効に利用できれば、エクセルギー損失の非常に少ない冷暖房が実現できる。一方、地盤は固体であるため、水等の流体に比して熱の移動速度が非常に小さく、また蓄熱は主として顕熱であるため、必要とする容量は大きくなる。したがって、地盤の有効利用を図るには、その伝熱性状の十分な把握が必要となる。また地盤それ自体には、エネルギーの取得あるいは生産はないから蓄熱に伴う周辺環境への熱損失は、そのままエネルギー、エクセルギーの損失となる。この損失が蓄熱システムを導入することによるシステム全体としての省エネルギー量以下でなければそのシステムを導入する価値はない。したがって、蓄熱システムとして有効に使用するためには、十分な精度の温度場、熱流量の予測が必要となる。以上のような点を十分考慮すれば、地盤は有効な熱媒体であり、特に変動の大きい自然エネルギーの利用には有効であると言える。

我国の大部分がそうであるように、冷房と暖房が必要な場合には、それに必要な年間のエネルギーは、それぞれの和すなわち負荷の絶対値の和で与えられる。もしこれを年間を通じて完全に時間的に平均化できれば、それに必要なエネルギーは、負荷の単純和となり、その省エネルギー効果は極めて大きくなる。すなわち、熱需要が時間的に変動しそれが正、負である場合には、蓄熱は非常に有効な手段となる。さらに、年平均の外気温度が住環境に要求される室温に近い場合は、熱負荷が小さくなり、蓄熱によるエネルギーの有効利用効果はさらに増大する。一方、この様な場合には、利用する温度と蓄熱温度の差は小さく、そのため必要な熱量を供給するためには、一般には非常に大きな伝熱面積が必要となる。この欠点を避けるためには、よく知られているように、ヒートポンプを用いるのが適切な方法であると言える。換言すれば、ヒートポンプ熱源として有効である。

本章では、本論のシミュレーションで用いる蓄熱井戸を用いた土壌熱源ヒートポンプの装置概要を示す。



## 2-1 装置概要

地盤を年周期の長期蓄熱媒体として、地盤への熱供給を行う。すなわち、冬期は熱暖房用ヒートポンプの温熱源、夏期は冷暖房用の冷熱源として地盤の利用を考える。図3-1にシミュレーションに用いる装置概要を示す。対象とする地盤内熱源方式(熱交換器)は、直径20cm、長さ20mの最も単純な鉛直埋設型サーマルウェルを用いる。サーマルウェルは、地下水の水質汚染を防ぐため底蓋付きの密閉型とする。地盤からの採熱あるいは地盤への放熱は熱搬送媒体であるサーマルウェル内循環水を負荷側循環水と熱交換させることによって行う。

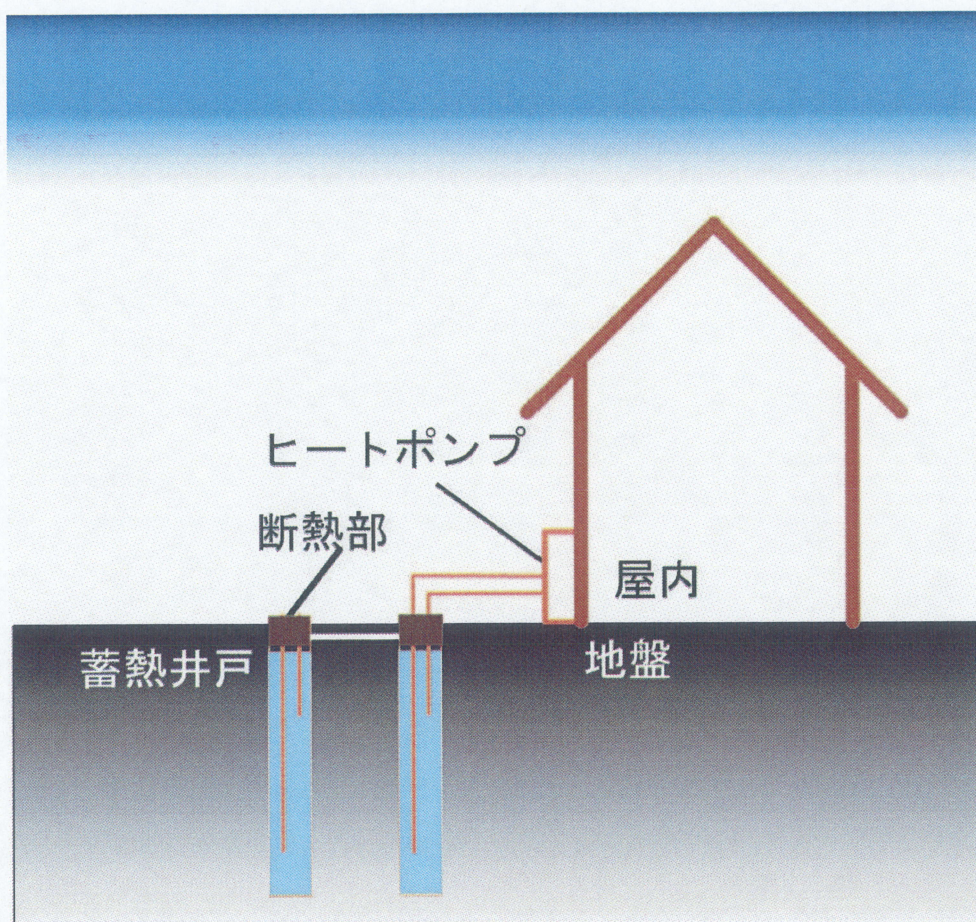


図3-1 システム概念図



次に、蓄熱井戸には以下のような性質とする。

1. 蓄熱井戸内水温は一様（完全混合）である。
2. 蓄熱井戸の熱伝導率は無限大（蓄熱井戸表面温度＝蓄熱井戸内水温）である。
3. 蓄熱井戸の肉厚は0（銅管の熱容量は0）である。

また、地表面第3境界条件とし、蓄熱井戸表面は蓄熱井戸内水温と等しいものとする。  
地盤は砂質土壌とし固体実質部の熱容量は  $1230 \text{ (kJ/m}^3 \text{ K)}$  である。

### 2-3 第2章まとめ

第2章では、本論のシミュレーションに用いる蓄熱井戸を用いた土壌熱源ヒートポンプの装置概要、蓄熱井戸の性質、境界条件を示した。このシステムの基に、第4章以降で本システムの適用可能性を検討する。

## 第3章

# 対象とする高気密高断熱住宅の概要

## 第3章 対象とする高気密高断熱住宅の概要

## 3-1 はじめに

本章では、シミュレーションに用いる、各地域の外界気象、高気密高断熱住宅の詳細、SMASHにより算出した住宅の冷暖房負荷を示す。

## 3-2 各地域の外界気象

シミュレーションに用いる各地域の気象データは拡張アメダス気象データを用い、表 3-1 に各地域の外気温度を、表 3-2 に年平均外気相対湿度・年平均全天日射量・年間降水量を示す。また、次世代省エネルギー基準の各地域区分における代表都市として、仙台・東京・鹿児島の外気温変動を図 3-1～3 に示す。表 3-1 より、年平均気温においてはⅢ地域である仙台が 12.66℃と最も低い値となり、Ⅴ地域の鹿児島が 18.57℃と最も高い値となった。なお、東京における年平均気温は 16.09℃であった。図 3-1～3 より、仙台（Ⅲ地域）の外気温度は冬季には 0℃を下回ることが多いことがわかる。また、鹿児島においては、0℃以下になることはなく、Ⅳ地域に比して温暖な地域だといえる。表 3-2 より、年間降水量が最も少ない地域は仙台であり 924mm であった。最も降水量多い地域は金沢の 2142mm であった。全天日射量は日本海側である新潟・金沢は、他の地域に比して低い値となった。これは、冬期において天候が悪い日が多いためだと考えられる。

表 3-1 各地域の外気温度

地域区分	都道府県	都市	最高温度(℃)	最低温度(℃)	年平均気温(℃)
Ⅲ	宮城	仙台	33.9	-6.1	12.66
Ⅳ	新潟	新潟	36.8	-4.6	13.96
Ⅳ	石川	金沢	36.5	-3.9	14.94
Ⅳ	東京	東京	35.3	-0.8	16.09
Ⅳ	神奈川	横浜	34.1	-1.4	16.05
Ⅳ	愛知	名古屋	35.8	-2.9	15.89
Ⅳ	三重	津	36.9	-1.9	16.13
Ⅳ	大阪	大阪	36.1	-0.3	17.08
Ⅳ	広島	広島	35.7	-2.0	16.55
Ⅳ	福岡	福岡	35.3	-0.5	17.08
Ⅴ	高知	高知	35.2	-4.0	16.96
Ⅴ	鹿児島	鹿児島	33.4	0.2	18.57



表 3-2 各地域の気象条件

地域区分	都市	年平均相対湿度(%)	降水量(mm)	日射量平均(W/m <sup>2</sup> )
Ⅲ	仙台	69.5	924	171.55
Ⅳ	新潟	70.9	1675	142.59
Ⅳ	金沢	71.2	2142	142.28
Ⅳ	東京	61.5	1550	166.79
Ⅳ	横浜	68.1	1646	151.66
Ⅳ	名古屋	68.4	1441	156.33
Ⅳ	津	67.9	1450	192.36
Ⅳ	大阪	63.8	1289	165.95
Ⅳ	広島	68.5	1456	159.08
Ⅳ	福岡	67.9	1753	172.72
Ⅴ	高知	67.6	1779	159.57
Ⅴ	鹿児島	68.1	2120	163.01

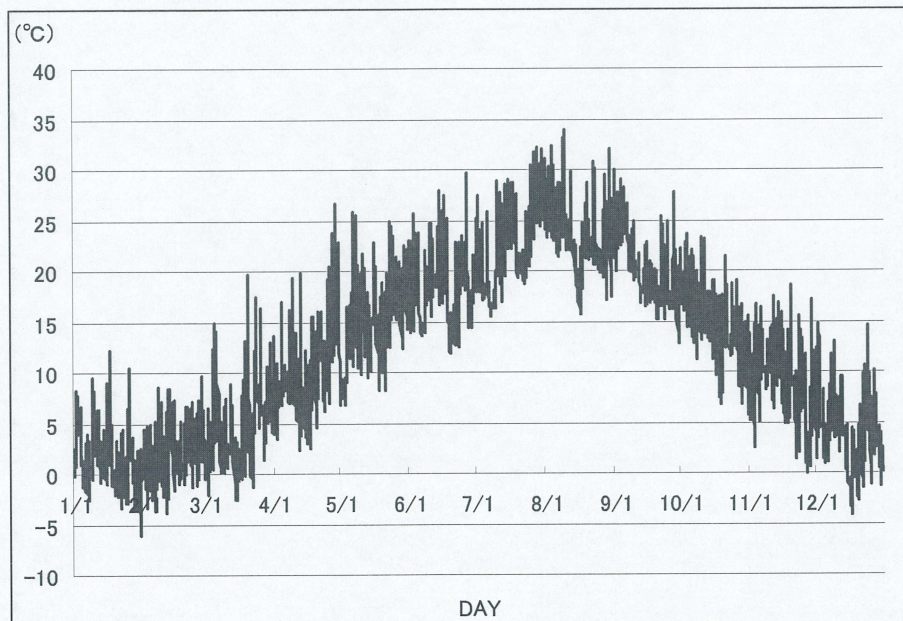


図 3-1 外気温度 (仙台)

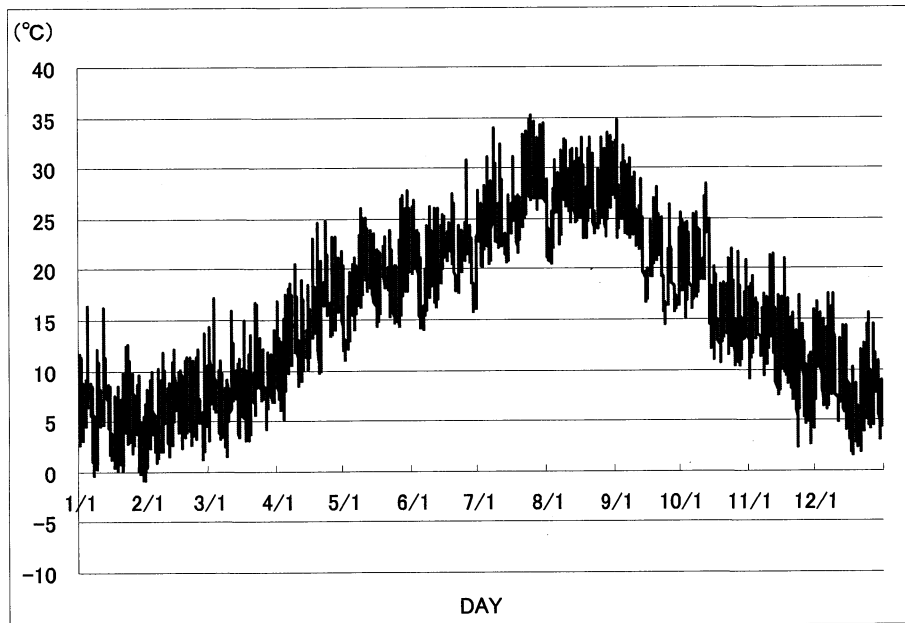


図 3-2 外気温度（東京）

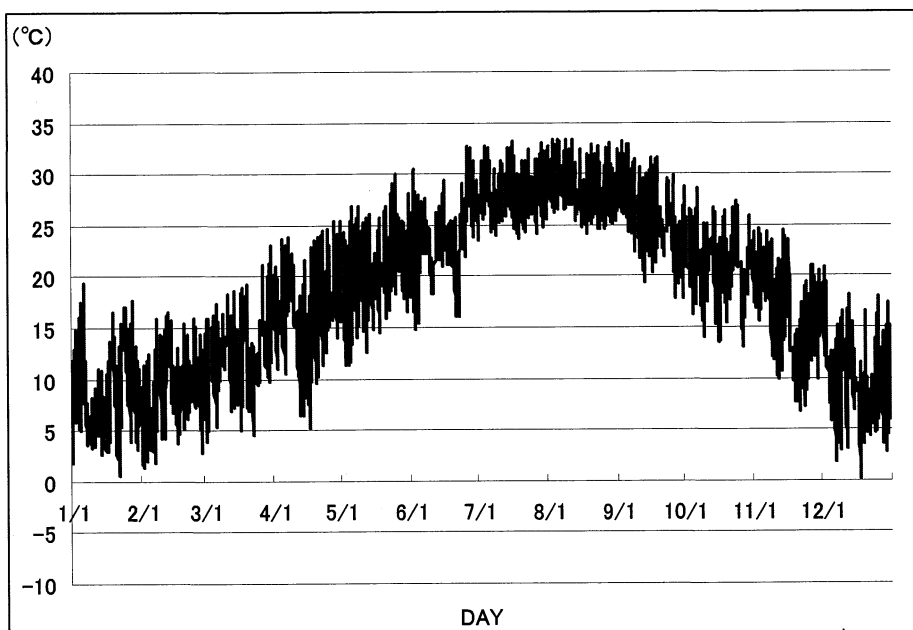


図 3-3 外気温度（鹿児島）

### 3-3 計算に用いる住宅の概要

次に対象とする高気密高断熱住宅の概要を示す。対象住宅は「住宅の省エネルギー基準の解説」のⅣ地域モデルプランとし、図3-4～9、表3-3～6に住宅の概要を示す。住宅の延床面積は各階共に60.87㎡で、合計は121.74㎡、天井高は各階共に2.425mである。また、熱損失係数は各地域の次世代省エネルギー基準値に設定し、Ⅲ地域の場合は、2.4(W/㎡K)、Ⅳ・Ⅴ地域の場合は2.7(W/㎡K)とした。

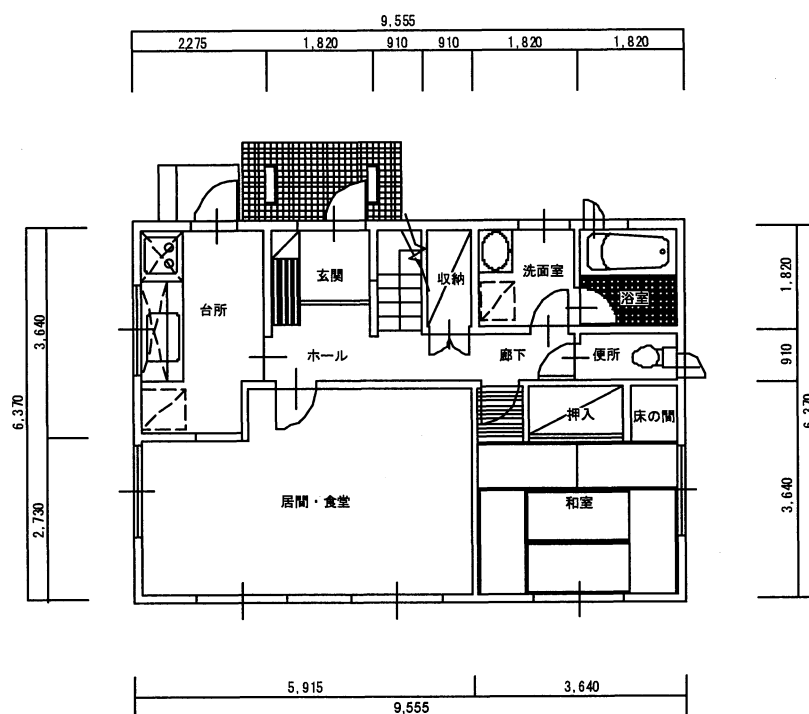


図3-4 1階平面図 (1/100)

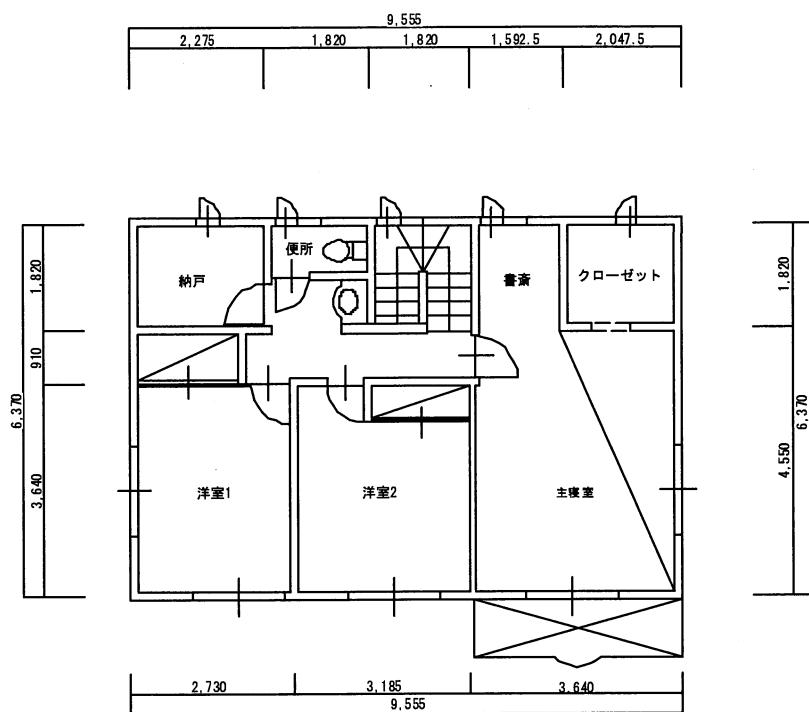


図 3-5 2階平面図(1/100)



図 3-6 南側立面図(1/100)

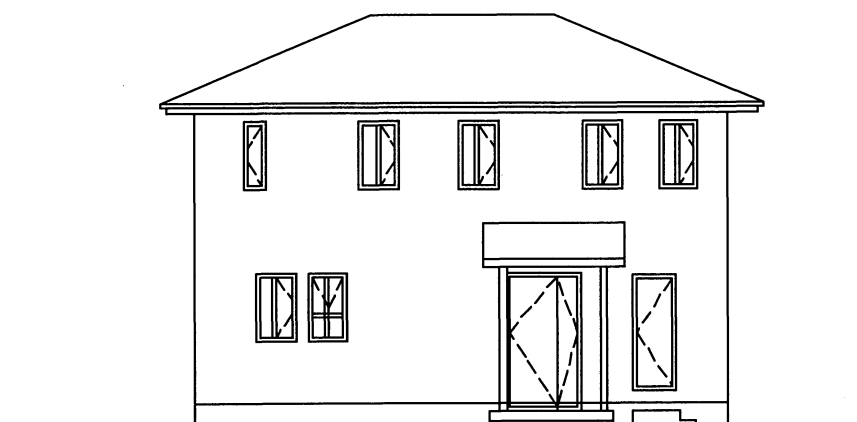


図 3-7 北側立面図(1/100)

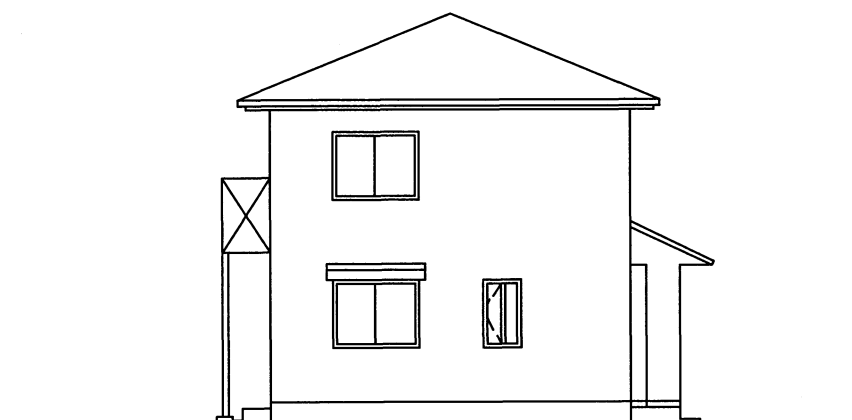


図 3-8 東側立面図(1/100)

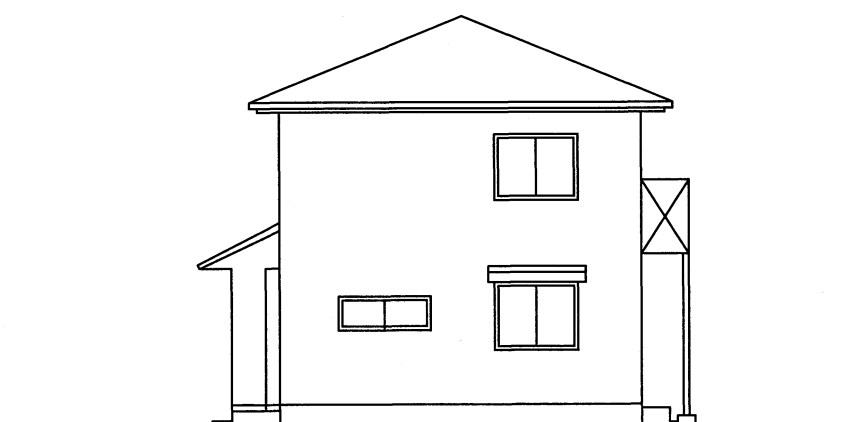


図 3-9 西側立面図



表 3-3 面積・気積の概要

	部位、室名	屋根・天井、床、土間(面積 $m^2$ )			
		寸法(m)横×縦	天井面積	床面積	気積( $m^3$ )
1階	台所	2.275×2.73	—	6.21	15.06
	〃	1.82×0.98	—	1.66	4.02
	居間・食堂	5.915×3.64	—	21.53	52.21
	〃	-1.82×0.91	—	-1.66	-4.02
	〃				
	和室6畳	3.64×2.73	—	9.94	24.10
	〃	0.91×0.91	—	0.83	2.01
	押入・床間	2.73×0.91	—	2.48	6.02
	廊下	3.64×0.91	—	3.31	8.03
	階段	0.91×1.82	—	1.66	4.02
	収納	0.91×1.82	—	1.66	4.02
	洗面室	1.82×1.82	—	3.31	8.03
	浴室	1.82×1.82	—	3.31	8.03
	〃				
	便所	1.82×0.91	—	1.66	4.02
2階	玄関	1.82×1.365	—	2.48	6.02
	ホール	1.82×1.365	—	2.48	6.02
	1階計		—	60.87	147.59
	納戸	2.275×1.82	4.14	—	10.04
	〃				
	クローク	1.82×0.91	1.66	—	4.02
	洋室1	2.73×3.64	9.94	—	24.10
	〃				
	洋室2	3.185×3.64	11.59	—	28.11
	主寝室	3.64×4.55	16.56	—	40.16
	〃				
	クローゼット	2.048×1.83	3.73	—	9.04
	〃				
	書斎	1.593×1.82	2.90	—	7.03
	階段	1.82×1.82	3.31	—	8.03
	便所	1.82×0.91	1.66	—	4.02
	洗面室	1.82×0.91	1.66	—	4.02
	ホール	4.095×0.91	3.73	—	9.04
	2階計		60.87	—	147.61
合計			60.87	60.87	295.20

表 3-4 窓・ドア面積の概要

窓(W)、ドア(D)		方位	外壁	
寸法(m)幅×高さ	面積(m <sup>2</sup> )		方位(m)幅×高さ	面積(m <sup>2</sup> )
1.60×0.60	0.96	西	3.64×2.425-W	7.87
0.70×2.00	1.40	北	2.275×2.425-D	4.12
1.60×1.20	1.92	西	2.73×2.425-W	4.70
1.60×2.00	3.20	南	5.915×2.425-W	8.90
1.60×1.40	2.24	南		
1.60×1.80	2.83	南	3.64×2.425-W	5.95
1.60×1.20	1.92	東	2.73×2.425-W	4.70
		東	0.91×2.425	2.21
		北	0.91×2.425	2.21
		北	0.91×2.425	2.21
0.70×1.20	0.84	北	1.82×2.425-W	3.57
		東	1.82×2.425	4.41
0.70×1.20	0.84	北	1.82×2.425-W	3.57
0.70×1.20	0.84	東	0.91×2.425-W	1.37
1.20×2.30	2.76	北	1.82×2.625-D	2.02
	19.80			57.81
		西	1.82×2.425	4.41
0.70×1.20	0.84	北	2.275×2.425-W	4.68
		西	0.91×2.425	2.21
1.60×1.20	1.92	西	3.64×2.425-W	6.91
1.60×1.20	1.92	南	2.73×2.425-W	4.70
1.60×1.20	1.92	南	3.185×2.425-W	5.80
1.60×2.00	3.20	南	3.64×2.425-W	5.63
1.60×1.20	1.92	東	4.55×2.425-W	9.11
		東	1.82×2.425	4.41
0.40×1.20	0.48	北	2.047×2.425-W	4.48
0.70×1.20	0.84	北	1.593×2.425-W	3.02
0.70×1.20	0.84	北	1.82×2.425-W	3.57
0.70×1.20	0.84	北	1.82×2.425-W	3.57
	14.72			62.50
	34.52			120.31

表 3-5 窓の日射取得量

方位	方位係数 $v_i$	使用 名称	窓数	面積 $A_i$ ( $m^2$ )	日射侵入率 $\eta_i$	窓 $v_i \cdot \eta_i \cdot A_i$
南	0.39	窓 1612	2	3.84	0.24	0.36
		窓 1614	1	2.24	0.53	0.46
		窓 1618	1	2.88	0.27	0.3
		窓 1620	1	3.2	0.53	0.66
		窓 1612	1	3.2	0.31	0.39
		計	6	15.36		2.17
西	0.45	窓 1606	1	0.96	0.79	0.34
		窓 1612	1	1.92	0.53	0.46
		窓 1612	1	1.92	0.36	0.31
		計	3	4.8		1.11
東	0.45	窓 0712	1	0.84	0.79	0.3
		窓 1612	1	1.92	0.53	0.46
		窓 1612	1	1.92	0.36	0.31
		計	3	4.68		1.07
北	0.24	窓 0412	1	0.48	0.61	0.07
		窓 0712	4	3.36	0.61	0.49
		窓 0712	2	1.68	0.79	0.36
		計	7	5.52		0.88
		合計	19	30.36		5.23

表 3-6 窓以外の日射取得量

方位	方位係数 $v_i$	使用 名称	面積 $A_i$ ( $m^2$ )	熱貫流率 $K_i$	窓以外 $\eta_i$ $0.034K_i$	窓以外 $v_i \cdot \eta_i \cdot A_i$
南	0.39	大壁	25.03	0.49	0.018	0.17
		真壁	5.95	0.71	0.024	0.06
		階間壁	4.3	0.67	0.023	0.04
		計	35.28			0.26
西	0.45	大壁	26.09	0.49	0.018	0.2
		階間壁	2.87	0.71	0.023	0.03
		計	28.96			0.23
東	0.45	大壁	19.31	0.49	0.018	0.15
		真壁	6.91	0.71	0.024	0.07
		階間壁	2.87	0.67	0.023	0.03
		計	29.09			0.25
北	0.24	大壁	37.03	0.49	0.018	0.15
		階間壁	4.3	0.67	0.023	0.02
		ドア	4.16	4.65	0.158	0.16
		計	45.49			0.33
1		天井	60.87	0.23	0.008	0.49
		合計				1.56



## 3-4 各地域における住宅の熱負荷

3-2, 3 で示した各地域の外界気象データ、住宅のデータを使用し、SMASH により住宅の熱負荷を算出する。以下に SMASH の計算条件を示す。なお、空調時間帯は全日空調条件および、1 日 8 時間の間欠空調条件とした。

## ・計算条件

1) 気象データ : 拡張アメダス気象データ

## 2) 暖冷房期間

表 3-7 に各地域の冷暖房期間を示す。なお、暖房期間は日平均気温が 15℃以下となる期間とし、それ以外のすべての期間を冷房期間とする。

表 3-7 各地域における冷暖房期間

地域区分	都市	暖房期間	冷房期間
Ⅲ	仙台	10月15日～5月16日	5月17日～10月14日
Ⅳ	新潟	10月22日～5月7日	5月8日～10月21日
Ⅳ	金沢	10月25日～4月29日	4月30日～10月24日
Ⅳ	東京	11月5日～4月18日	4月19日～11月4日
Ⅳ	横浜	11月2日～4月21日	4月22日～11月1日
Ⅳ	名古屋	10月31日～4月19日	4月20日～10月30日
Ⅳ	津	11月1日～4月22日	4月23日～10月31日
Ⅳ	大阪	11月7日～4月16日	4月16日～11月6日
Ⅳ	広島	10月31日～4月20日	4月21日～10月30日
Ⅳ	福岡	11月7日～4月15日	4月16日～11月6日
Ⅴ	高知	11月7日～4月12日	4月13日～11月6日
Ⅴ	鹿児島	11月16日～4月4日	4月5日～11月15日

## 3) 暖冷房温度、湿度

暖冷房は、断熱構造に囲まれた全ての空間において行う。

- ・ 暖房 22℃以上（湿度はなりゆきとする）
- ・ 冷房 26℃以下、相対湿度は 60%以下とする

4) 内部発熱：顕熱 4.56W/m<sup>2</sup>、潜熱 1.16W/m<sup>2</sup>一定

## 5) 空調時間条件

- ・ 6～9 時・18～23 時の合計 8 時間の間欠空調
- ・ 24 時間の全日空調



・対象住宅における冷暖房負荷

上記の条件を基にして、SMASHにより算出した各地域の住宅への年間冷暖房積算負荷(絶対値)を示す。図3-10に全日空調条件における熱負荷を、図3-11に間欠空調条件における熱負荷を示す。また、図3-12に全日空調条件における年間空調積算時間を、図3-13に間欠空調条件における年間空調積算時間を示す。図3-10～13より各地域において間欠空調条件は全日空調条件に対し、空調時間では35%程度となっているが、年間冷暖房積算負荷においては71～73%となっている。これは、間欠空調時における、空調立ち上がり時の蓄熱によるものであり、たとえ木造住宅のような比較的熱容量の小さな住宅においても、効率的には間欠空調は必ずしも有効ではないことを示している。なお、仙台のみⅢ地域に属しており、他地域に比して間欠、全日運転のどちらにおいても冷房負荷に比して暖房負荷が極端に大きくなっている。また、新潟・石川においても、Ⅳ地域に属しているが、暖房積算負荷が他のⅣ地域に比して大きな値となった。鹿児島以外の地域では、暖房負荷の割合が、冷房負荷に比して大きな値となったが、鹿児島の全日空調条件においては冷暖房積算負荷の比率が、ほぼ1対1となっており、他の地域に比べ温暖な地域と言える。

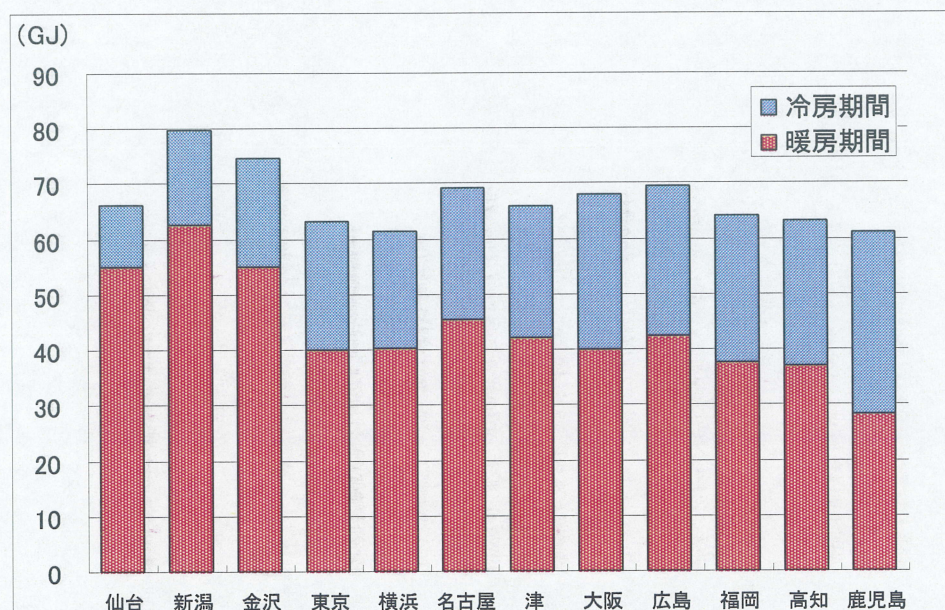


図3-10 全日空調条件における熱負荷



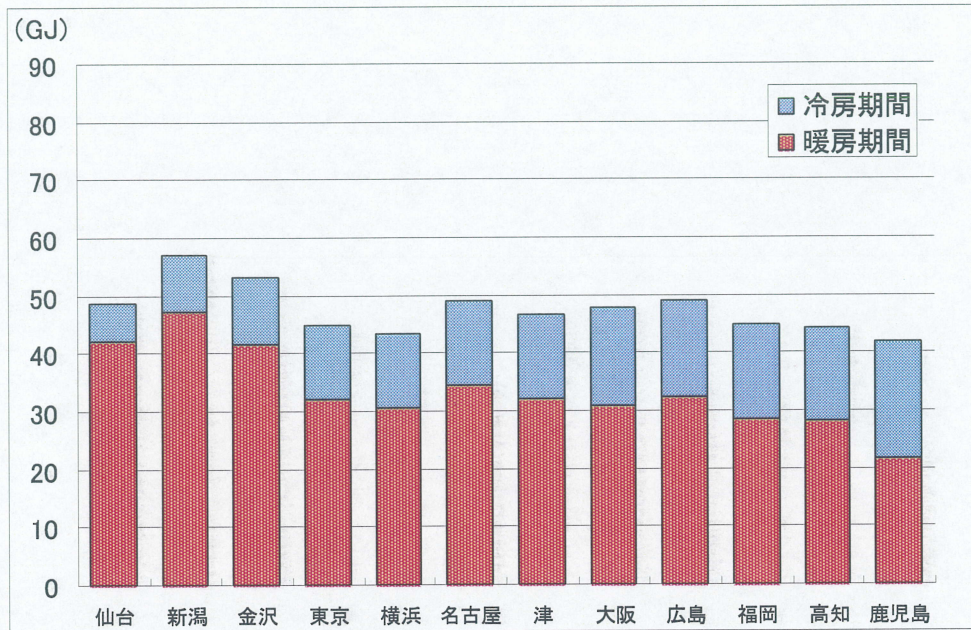


図 3-11 間欠空調条件における熱負荷

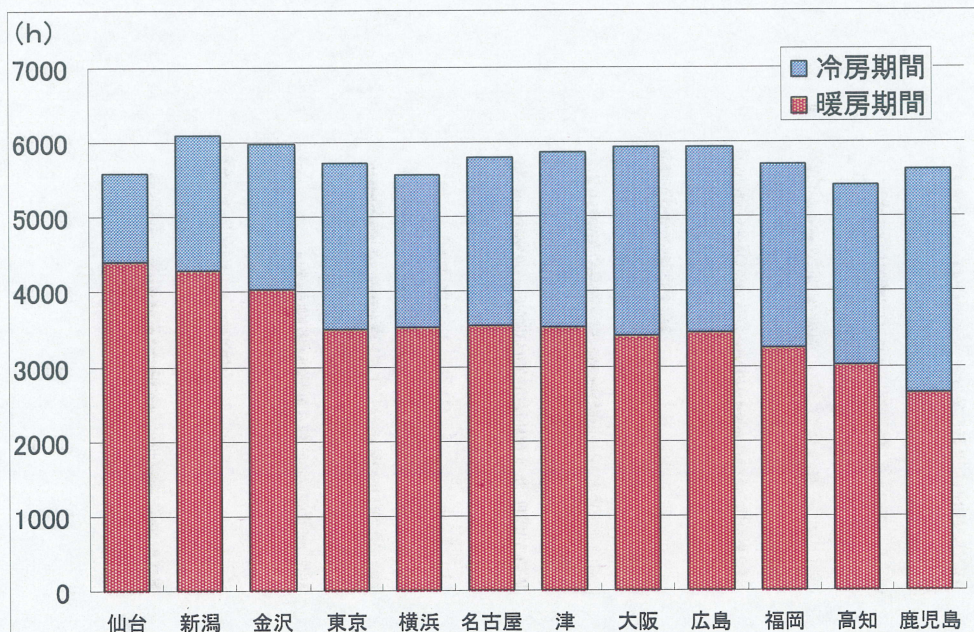


図 3-12 全日空調条件における空調積算時間





図 3-13 間欠空調条件における積算空調時間

### 3-5 3章まとめ

3章ではシミュレーションに用いる外界気象、モデル住宅、SMASHを用いて算出した住宅の熱負荷を示した。その結果、仙台・新潟・金沢においては他の地域に比して、暖房負荷の割合が大きく、鹿児島においては他の地域に比して、冷房負荷の割合が大きいことを示した。また、各地域において間欠空調条件は全日空調条件に対し、空調時間では35%程度となっているが、年間冷暖房積算負荷においては71~73%であった。第4章では、これらの外界気象データ・住宅の冷暖房負荷を用い、蓄熱井戸を用いた土壌熱源ヒートポンプにおける各地域の蓄熱井戸最低必要伝熱面積を検討する。

## 第4章

# 本システムの 蓄熱井戸最低必要伝熱面積の検討



## 第4章 本システムの蓄熱井戸最低必要伝熱面積の検討

### 4-1 はじめに

第2, 3章では、計算に用いる蓄熱井戸を用いたヒートポンプのシステム概要、外界気象、モデル住宅の概要および SMASH により算出した住宅の熱負荷を示した。本章では、これらのデータを用い、高気密高断熱住宅における蓄熱井戸を用いたヒートポンプの蓄熱井戸最低必要伝熱面積の検討を行う。

### 4-2 計算理論

この節では本論で用いる基本方程式を以下に示す。

水分の移動方程式

$$\rho_1 \left( \frac{\partial \phi}{\partial \mu} \right) \frac{\partial \mu}{\partial t} = \nabla \lambda'_\mu (\nabla \mu - F_w) + \nabla \lambda'_T \nabla T \quad (4-1)$$

熱の移動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (C \rho T) &= \nabla \lambda \nabla T + \nabla r \lambda'_{\mu g} (\nabla \mu - F_w) + \nabla r \lambda'_{Tg} \nabla T \\ &= \nabla (\lambda + r \lambda'_{Tg}) \nabla T + \nabla r \lambda'_{\mu g} (\nabla \mu - F_w) \end{aligned} \quad (4-2)$$

ここで、 $\frac{\partial(\Phi_0 - \Phi)}{\partial \mu} = \frac{\partial \phi}{\partial \mu}$  は平衡関係式より得られ、この物理的性質より  $\rho_w \frac{d\phi}{d\mu}$  は水分容量と呼ばれる。

本論では日射等の外乱の地盤内熱・水分性状に対する影響および蒸発・凝縮による相変化熱の地表面温度に与える影響を考慮して検討を行うため、地盤地表面の境界は第三種境界条件を用いる。

空気に接する固体表面では、対流による伝達層と相似な水分伝達層が生じる。気体内拡散方程式を用い、対流熱伝達と相似な取扱いを行うことにより、湿気伝達率  $\alpha'_m (kg/m^2 s Pa)$  が定義できる。空気の水蒸気圧、固体表面の水蒸気圧をそれぞれ  $p_{vo}, p_{vi} (Pa)$  とすると、伝達層を流れる水分流（水蒸気流） $J = J_s (kg/m^2 s)$  は

$$J = \alpha'_m (p_{vo} - p_{vi}) \quad (4-3)$$

となる。あるいは  $p_{vo}, p_{vi}$  のかわりに絶対湿度  $X_o, X_i$  を用いると、

$$J = \alpha'_x (X_o - X_i) \quad (4-4)$$

熱と水分の拡散の相似性より

$$\frac{\alpha_c}{\alpha'_x C_a} = Le \quad (4-5)$$

ただし、 $\alpha_c$  は対流による熱伝達率、 $C_a = C_{pa}(1 + X)$  は空気の定圧比熱、 $Le$  は Lewis 数である。無次元数である  $Le$  は  $Le \leq 1$  であり、Reynolds 数の違い等その流れ方によってもその値が変わるが、通常と  $Le \approx 1$  近似できる。この時、

$$\frac{\alpha_c}{\alpha'_x C_a} = 1 \quad (4-6)$$

この関係を Lewis 関係と呼ぶ。

水分移動ポテンシャルに化学ポテンシャル  $\mu$  を用いると式(4-3)に対応する式は、

$$J = \alpha'_\mu (\mu_o - \mu_i) + \alpha'_T (T_o - T_i) \quad (4-7)$$

式(4-3)から

$$\alpha'_\mu = \alpha'_m \frac{\partial p_v}{\partial \mu}, \quad \alpha'_T = \alpha'_m \frac{\partial p_v}{\partial T} \quad (4-8)$$

したがって、 $\mu = R_w T \ln(p_v / p_{v(T)})$  の定義式より  $\partial p_v / \partial \mu$  ,  $\partial p_v / \partial T$  の値は求まる。これ

らは、 $\mu$  および  $T$  の関数で、常数として利用することはできない。 $\alpha'_\mu, \alpha'_T$  は混乱を避ける

ために、通常、水分伝達率と呼び湿気伝達率と区別されている。

熱伝達はよく知られているように  $q = \alpha(T_o - T)$  で表現される。ただし、 $\alpha$  は総合熱伝達率 ( $W/m^2 K$ ) である。

地表面の境界条件は地表面における熱・水分の収支式より求めることが出来る。

水分収支より、

$$-\lambda'_\mu \left( \frac{\partial \mu}{\partial n} - n F_w \right) - \lambda'_T \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha'_\mu (\mu_o - \mu) + \alpha'_T (T_o - T) + J_R \quad (4-9)$$

熱収支より、

$$\begin{aligned} & -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} - r \left[ \lambda'_{\mu n} \left( \frac{\partial \mu}{\partial n} - n F_w \right) + \lambda'_{Tg} \frac{\partial T}{\partial n} \right] \\ & = (\alpha + r \alpha'_T) (T_o - T) + \alpha'_\mu (\mu_o - \mu) + q_s + q_e \end{aligned} \quad (4-10)$$

ただし、 $\mathbf{n}$  は固体表面の内向法線ベクトルの方向、 $\mu$  は外気の水分化学ポテンシャル ( $J/kg$ )、 $T_o$  は外気温 ( $K$ )、 $J_R$  は降雨量 ( $kg/m^2 s$ )、 $q_s$  は日射による熱流 ( $W/m^2$ )、 $q_e$  は低温輻射による熱流 ( $W/m^2$ ) である。

$$\text{また、} J_R > \lambda'_\mu \left( \frac{\partial \mu}{\partial n} - nF_w \right) + \lambda'_T \frac{\partial T}{\partial n}$$

の場合には、地表面に水の相が形成される。この時、水分流に対する境界条件は、

$$\mu_G = gh_i \quad (4-11)$$

$$h_i = \frac{1}{\rho_w} \int \left[ J_R + \lambda'_\mu \left( \frac{\partial \mu}{\partial n} - nF_w \right) + \lambda'_T \frac{\partial T}{\partial n} \right] dt \quad (4-12)$$

ここで、 $g$  は重力 ( $m/s^2$ )、 $h_i$  はと表面の水の層の厚さ(m)、 $\mu_G$  は境界上の水分化学ポテンシャル(J/kg)を示す。

初期条件は、 $t=0$  で、

$$T = \xi_T(x, y, z) \quad , \quad \mu = \xi_\mu(x, y, z) \quad (4-13)$$

式(4-1),(4-2)を上記の境界条件および初期条件で解けば、解すなわち多孔質体内の温度  $T$ 、水分の化学ポテンシャル  $\mu$  が得られる。上述の式は、多孔質体内含水率の範囲に無関係に、自由水を含む高含水率から低含水率の上記拡散支配領域までの全領域に対して適用することができる。 $\lambda'_\mu, \lambda'_T$ 等の伝導率や水分容量  $\rho_w \partial \phi / \partial \mu$  は  $T, \mu$  に強く依存するので、その意味で上述の方程式は、かなり強い非線形性をもつ方程式である。

## 4-3 ヒートポンプ概要

シミュレーションで用いるヒートポンプの能力は日本ピーマック[3]の 6.0kW(WTP60D)の水熱源ヒートポンプの能力[注 1]とした。なお、本論で使用する水熱源ヒートポンプの部分負荷特性が不明であるため参考文献[4]の部分負荷特性を用いることとした。図4-1・2に本論で用いる部分負荷特性を、次式にヒートポンプの能力を示す。

ヒートポンプの容量選定理由として、図4-1・2より、部分負荷特性を考慮した場合、部分負荷率 0.5 付近での COP が定格時に比して、最も効率が良いため、各都市の負荷特性を考慮し、容量を決定した。また、冷房時における部分負荷特性は、暖房時に比して部分負荷率による COP 補正の変動が大きい。

暖房期間：

$$COP_h = (-0.000006T^3 - 0.00002T^2 + 0.0403T + 2.2975) \\ \times (0.04652A^4 - 0.1395A^3 - 0.1044A^2 + 0.2476A + 0.9664)$$

$$A = Q / (-1.4286T^2 + 167.14T + 3285.7)$$

冷房期間：

$$COP_c = (-0.00002T^3 + 0.0029T^2 - 0.203T + 7.1113) \\ \times (0.8261B^3 - 2.787B^2 + 2.223B + 0.7275)$$

$$B = Q / (-0.4053T^2 + 37.862T + 7839.3)$$

$T$ ：井戸内水温 (°C)

$Q$ ：処理熱量 (W)

$A$ ：暖房時部分負荷率(-)

$B$ ：冷房時部分負荷率(-)

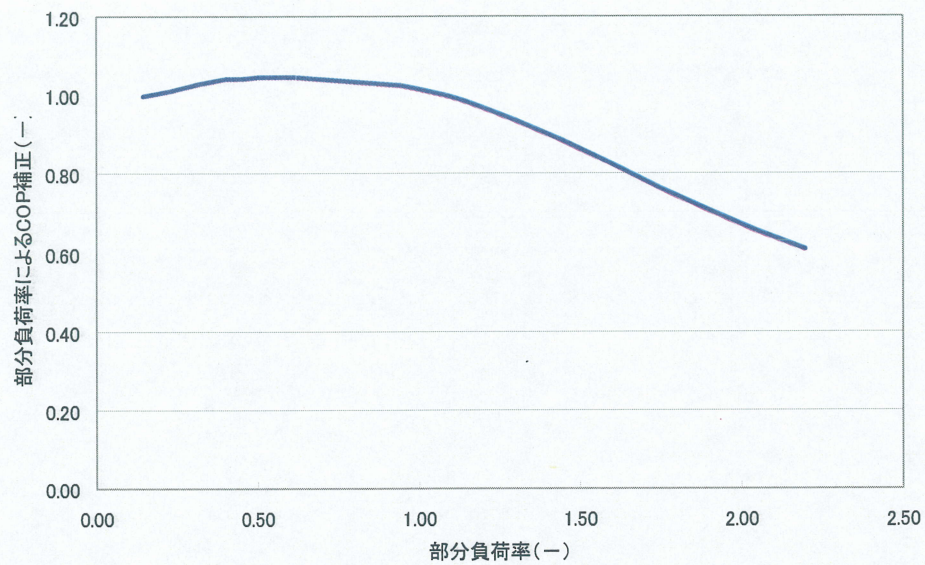


図 4-1 暖房時における部分負荷特性

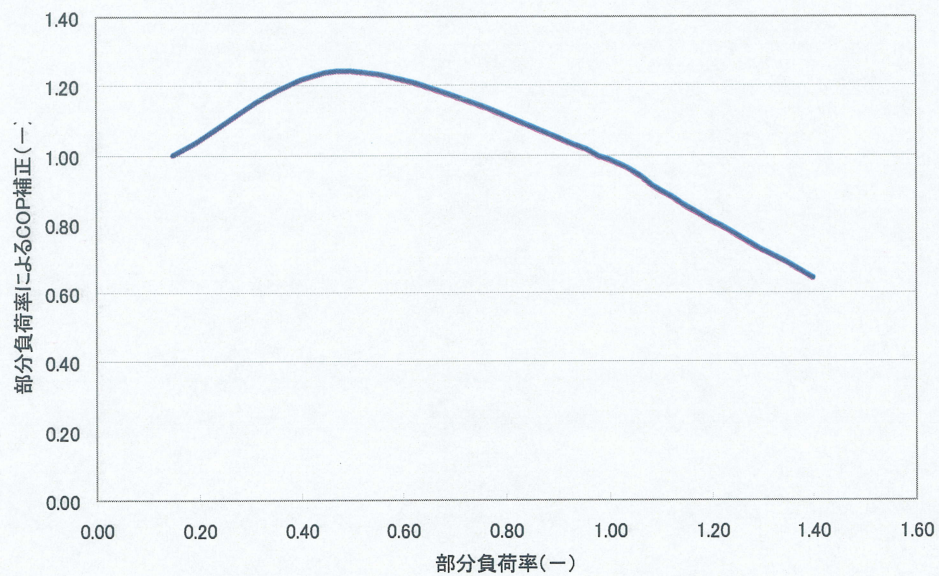


図 4-2 冷房時における部分負荷特性



## 4-4 計算条件

前章の SMASH による冷暖房負荷およびヒートポンプ COP を用いて、直径 190mm、長さ 20m(水量 0.56 m<sup>3</sup>)のヒートポンプ熱源としての各地域における蓄熱井戸最低必要本数を求める。計算に用いた蓄熱井戸周辺地盤は砂質土壌とし、蓄熱井戸一本当たりの計算領域は半径方向 7m、深さ 25.5m とした。外界条件は前章の負荷計算に用いた各地域の外気温湿度、全天日射量、降雨等を用いて、熱水分同時移動方程式および 1 質点の蓄熱井戸熱収支式によった。

## 4-5 各地域における必要最低蓄熱井戸本数の検討

次に各地域における蓄熱井戸必要最低本数を示す。なお、必要最低本数の決定条件として、熱源水の凍結危険性を考慮し、蓄熱井戸内水温が 10 年間を通して 3℃を下回らないこと、井戸内水温が 10 年間を通して、3℃を下回らない場合においても、夏期における蓄熱井戸への放熱量により井戸内水温がヒートポンプの能力の適用外の温度に上昇しないこととする。

表 4-1 に全日空調条件における各地域における蓄熱井戸の最低必要本数および年間の井戸内最低水温を、表 4-2 に間欠空調条件における各地域における蓄熱井戸の最低必要本数および年間の井戸内最低水温を示す。

表 4-1 より、Ⅲ地域の仙台および、Ⅳ地域の新潟・金沢においては、他のⅣ・Ⅴ地域に比して、夏期における冷房積算負荷が小さく、地盤への蓄熱が小さいため井戸内水温が十分に上がらず、冬期における井戸内最低水温が低くなるため、蓄熱井戸の本数が多くなる。その他のⅣ地域の各都市における井戸内水温に顕著な違いはみられなかった。

また、Ⅴ地域の鹿児島においては、最低必要本数以下の場合においても、蓄熱井戸内水温が 10 年間を通して 3℃を下回ることはないが、冷房積算負荷の割合が他の地域に比してかなり大きく、夏期における地盤への放熱量が大きいため、井戸内水温がヒートポンプの適用外の温度にまで上昇する。よって、鹿児島においては、最低必要本数の井戸内水温は他の地域に比して高くなっている。

また、部分負荷特性を考慮した場合は、考慮しない場合に比して、必要最低本数が 1 本少なくなる。これは、部分負荷特性を考慮した場合、部分負荷率が 1 以上時は COP 効率が低下するため、冬期の蓄熱井戸からの採熱量が小さくなるためだと考えられる。

新潟においては、部分負荷特性の考慮の有無に関わらず必要最低本数が 5 本であったが、他の地域と同様に部分負荷特性の有無による井戸内水温の特性に顕著な違いはみられなかった。

表4-2より、間欠空調条件においても全日空調条件と同様に、仙台・新潟・金沢においては、他の地域に比して、井戸の本数が多くなっている。間欠空調条件は全日空調条件に比して、年間の冷暖房負荷が小さいため、各地域における蓄熱井戸本数を1本へらすことができると言える。

また、仙台・金沢・新潟など、夏期における冷房負荷の割合が小さい地域では、地盤への放熱量が小さいため、経過年数と共に、井戸内水温最低温度が低くなっていく。一方、鹿児島など、地夏期における冷房負荷の割合が大きい地域では、地盤への放熱量が大きいため、経過年数と共に、井戸内最低水温が大きくなる。

部分負荷特性を考慮した場合の名古屋においては、金沢・新潟以外のIV地域と必要最低本数に違いがみられるが、他のIV地域に比して井戸内水温に顕著な違いはみられなかった。



表 4-1 全日空調条件における最低必要本数

地域	部分負荷 の有無	最低必要 井戸本数	3年目	5年目	10年目
仙台	あり	4	4.14	3.70	3.40
	なし	5	5.14	4.62	4.24
新潟	あり	5	4.88	4.55	4.39
	なし	5	3.77	3.37	3.16
金沢	あり	4	4.06	3.85	3.74
	なし	5	4.90	4.62	4.49
東京	あり	3	3.91	3.83	3.64
	なし	4	5.94	5.84	5.66
横浜	あり	3	3.75	3.72	3.72
	なし	4	5.05	4.91	4.86
名古屋	あり	3	3.58	3.55	3.54
	なし	4	4.32	4.22	4.18
津	あり	3	3.57	3.59	3.45
	なし	4	5.07	5.07	4.93
大阪	あり	3	3.72	3.72	3.58
	なし	4	5.82	5.98	5.89
広島	あり	3	3.57	3.68	3.78
	なし	4	5.33	5.40	5.47
福岡	あり	3	3.95	4.15	4.29
	なし	4	5.97	6.14	6.25
高知	あり	3	4.46	4.62	4.72
	なし	4	5.39	5.52	5.60
鹿児島	あり	3	7.27	7.83	8.13
	なし	3	7.05	7.63	7.93



表 4-2 間欠空調条件における最低必要本数

地域	部分負荷 の有無	最低必要 井戸本数	3年目	5年目	10年目
仙台	あり	3	5.14	4.77	4.51
	なし	4	5.31	4.81	4.44
新潟	あり	3	4.69	4.39	4.39
	なし	4	3.80	3.36	3.14
金沢	あり	3	5.32	5.10	4.99
	なし	4	4.80	4.48	4.33
東京	あり	2	3.67	3.56	3.38
	なし	3	4.67	4.43	4.19
横浜	あり	2	3.80	3.70	3.55
	なし	3	5.05	4.91	4.86
名古屋	あり	3	6.30	6.20	6.16
	なし	3	3.47	3.28	3.20
津	あり	2	3.72	3.72	3.56
	なし	3	4.39	4.31	4.14
大阪	あり	2	4.29	4.40	4.31
	なし	3	4.80	4.83	4.70
広島	あり	2	4.10	4.22	4.31
	なし	3	4.61	4.59	4.61
福岡	あり	2	4.25	4.42	4.54
	なし	3	5.22	5.29	5.36
高知	あり	2	3.76	3.98	4.11
	なし	3	4.52	4.56	4.60
鹿児島	あり	2	6.75	7.27	7.55
	なし	2	4.74	5.22	5.47



次に、図 4-1～4 に各地域区分の代表都市として仙台、東京、鹿児島の日全空調条件および間欠空調条件における部分負荷特性を考慮した場合および考慮しない場合の最低蓄熱井戸本数の蓄熱井戸内水温の年変動(3 年目)を示す。図 4-1 より、仙台(Ⅲ地域)においては、夏期における冷房積算負荷が小さく、地盤への蓄熱が小さいため井戸内水温が十分に上がっていないことがわかる。一方、鹿児島(Ⅴ地域)における井戸内水温の変動は東京(Ⅳ地域)に比して冷暖房負荷の割合が大きく、地盤への放熱量が大きいため、井戸内水温が高い値となっている。

また、図 4-1～4 各地域の必要最低本数の年間の井戸内水温の変動において、部分負荷特性を考慮した場合の井戸内水温の水温変動は、部分負荷特性を考慮しない場合に比して、大きくなっている。これは、部分負荷特性を考慮した場合、蓄熱井戸必要最低本数は、部分負荷特性を考慮しない場合に比して、1 本減らすことができるが、本数を減らすことにより、土壌の伝熱面積が減少するため、夏期において、地盤への放熱による井戸内水温の上昇が、部分負荷特性を考慮しない場合に比して、大きくなるためである。

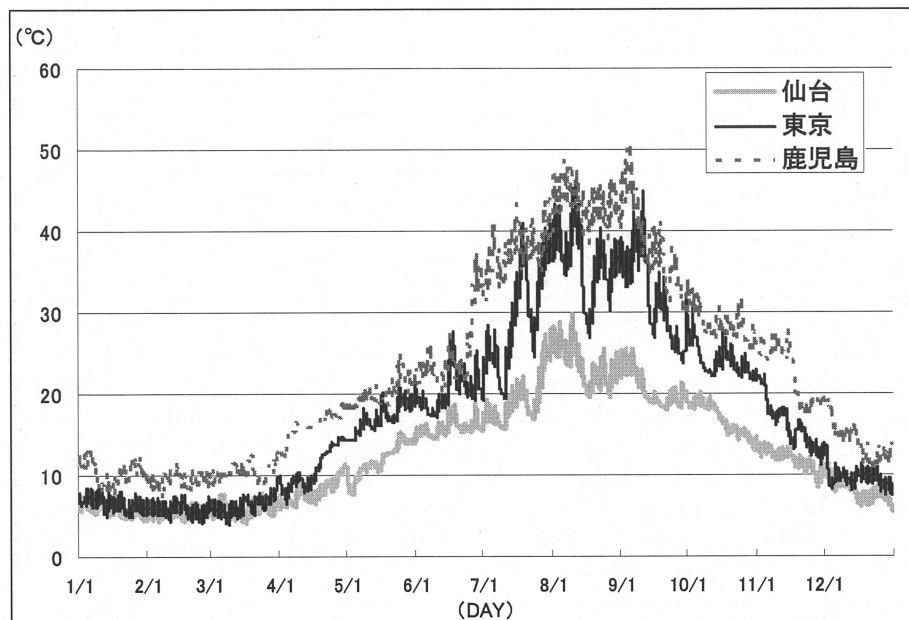


図 4-1 全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の年間井戸内水温

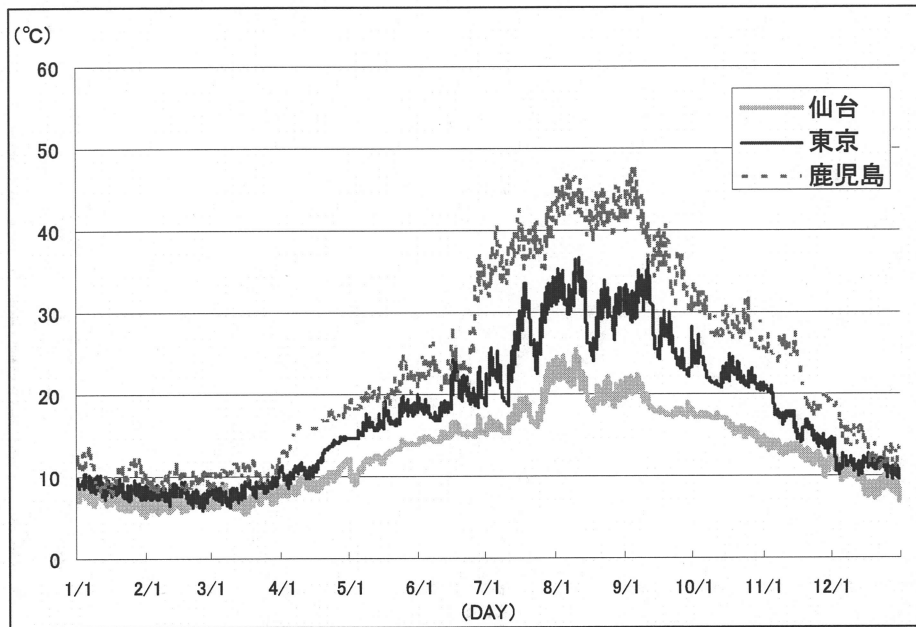


図 4-2 全日空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の年間井戸内水温

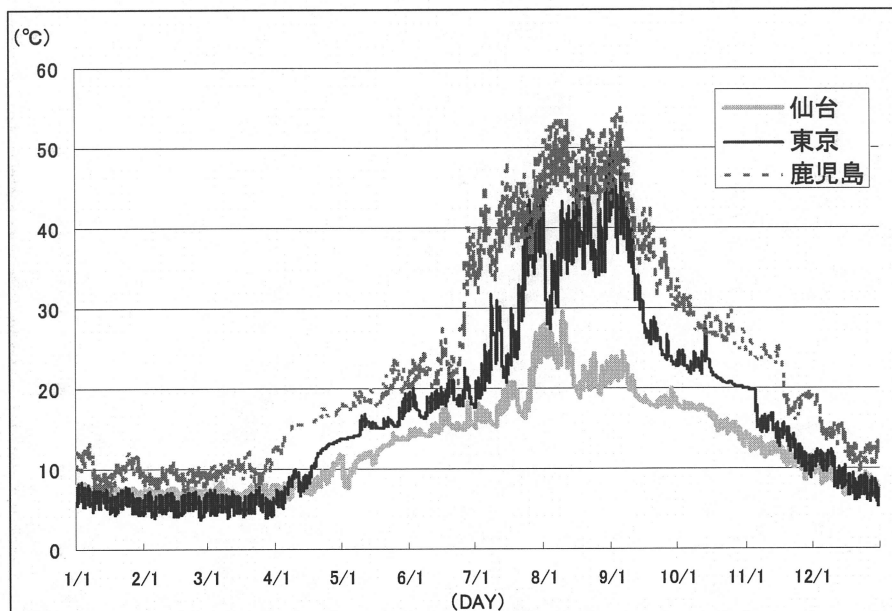


図 4-3 間欠空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の年間井戸内水温

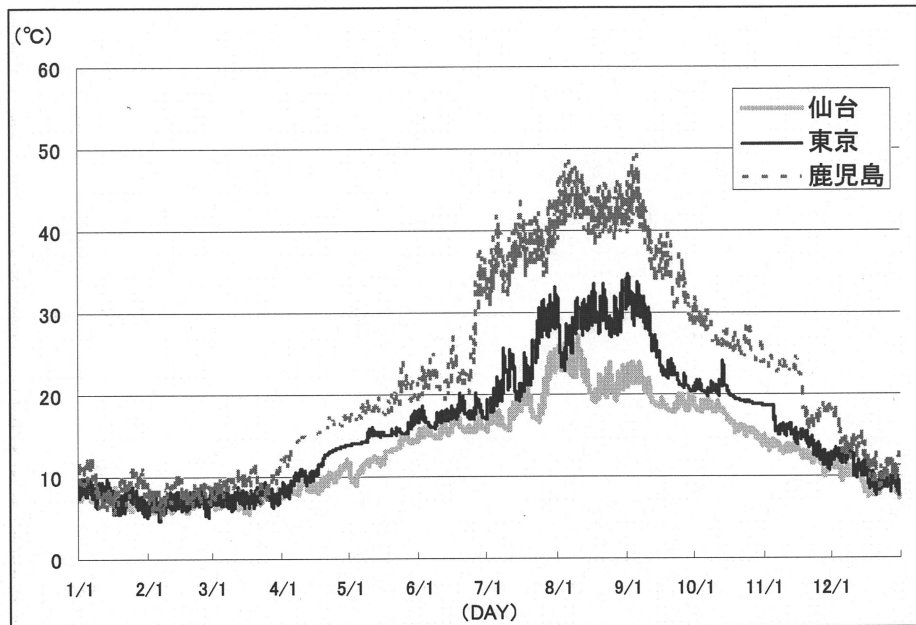


図 4-4 間欠空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の年間井戸内水温

## 4-6 第4章まとめ

第4章では第2章、3章で示した本システムの概要、各地域の外界気象、モデル住宅、および SMASH により算出した住宅の冷暖房負荷を使用し、蓄熱井戸を用いた土壌熱源ヒートポンプにおける蓄熱井戸最低必要本数を示した。

その結果、Ⅲ地域の仙台および、Ⅳ地域の新潟・金沢においては、他のⅣ・Ⅴ地域に比して夏期における冷房積算負荷が小さく、地盤への蓄熱が小さいため井戸内水温が十分に上がらず、冬期における井戸内最低水温が低くなるため、蓄熱井戸の本数が多くなる結果となった。また、Ⅴ地域の鹿児島においては、最低必要本数以下の場合においては、蓄熱井戸内水温が10年間を通して3°Cを下回ることはないが、冷房積算負荷の割合が他の地域に比してかなり大きく、夏期における地盤へ放熱量が大きく井戸内水温がかなり高い温度となり、ヒートポンプ適用外温度となる。

また、部分負荷特性を考慮した場合は、考慮しない場合に比して、必要最低本数が1本少なくなる。これは、部分負荷特性を考慮した場合、部分負荷率が1以上時はCOP効率が低下し、冬期の蓄熱井戸からの採熱量が小さくなるためだと考えられる。

間欠空調条件における各地域の蓄熱井戸必要最低本数については、地域による井戸内水温の特性は全日空調条件と大きな変化は見られなかったが、間欠空調条件は全日空調に比して、年間の冷暖房負荷が小さいため、各地域における蓄熱井戸本数を1本へらすことができると言える。

## 第5章

# 全日空調条件における 本システムの省エネルギー効果の検討



## 第5章 全日空調条件における本システムの省エネルギー効果の検討

### 5-1 はじめに

第4章では、標準的な床面積の高気密高断熱住宅において、本システムを採用した場合の各地域に対する蓄熱井戸必要最低伝熱面積を示した。また、省エネルギーの(ランニングコストの)観点からは、蓄熱井戸本数が多い程、省エネ性が高いことは明らかである。そこで本章では、標準的な敷地面積に対して設置可能な蓄熱井戸を想定し、その省エネ性および大気環境負荷低減効果の検討を行う。

### 5-2 計算条件

対象は前章までに用いた住宅と同様の住宅が50~60坪程度(165~198 m<sup>2</sup>)の敷地に建設されているものとし、蓄熱井戸一本当りの蓄熱面積を井戸の半径方向3m(28 m<sup>2</sup>)、すなわち本敷地に6本の蓄熱井戸が埋設されている場合を想定した。この井戸半径3mとは、このサイズの蓄熱井戸の蓄熱領域から決定した値である[1]。

### 5-3 全日空調条件における本システムの省エネルギー効果

前節の計算条件により、全日空調条件における本システムの省エネルギー効果を検討する。

#### 5-3-1 部分負荷特性を考慮しない場合における省エネルギー効果の検討

まず、全日空調条件における部分負荷を考慮しない場合の本システムの省エネルギー効果を検討する。

図5-1~3にシミュレーションによる各地域区分の代表都市として仙台(Ⅲ地域)・東京(Ⅳ地域)・鹿児島(Ⅴ地域)の全日空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の年間の蓄熱井戸内水温(3年目)と外気温度の変動を示す。また、表5-1に各地域の地盤への採・放熱量を示す。図5-1より、仙台において、蓄熱井戸内水温は外気温度に比して、温度の変動が小さい。また、表5-1に示すように冬期の地盤からの採熱が大きいため、夏期において井戸内水温が、外気温に比して、かなり低い温度となる。図5-3より、鹿児島においては、夏期の地盤への放熱量が、冬期の採熱量に比して大きいため、夏期の井戸内水温と外気温との差が小さくなっている。

表5-2にシミュレーションによる各地域の全日空調条件における部分負荷特性を考慮し

ない場合の消費電力量（3年目）を示す。なお、表中には本水熱源ヒートポンプと同じ能力特性を想定した空気熱源ヒートポンプによる年間消費エネルギーも示している[注2]。また、表中には、本システムを使用した場合の空気熱源ヒートポンプを使用した場合に対する省エネ効果およびAPFを示す。なお、本論で用いるAPFの定義として、冷暖房期間をおよび年間の消費電力量に対する運転効率とする。表5-2より、部分負荷を考慮しない場合において、省エネ効果は約5.7～10.1%であった。最も省エネ効果が小さい地域は部分負荷特性を考慮しない場合、鹿児島（5.7%）であり、最も省エネ効果が大きかった地域は名古屋（10.1%）であった。他の地域において、省エネ効果は6.7～10.0%であり、地域による大きな差は見られなかった。

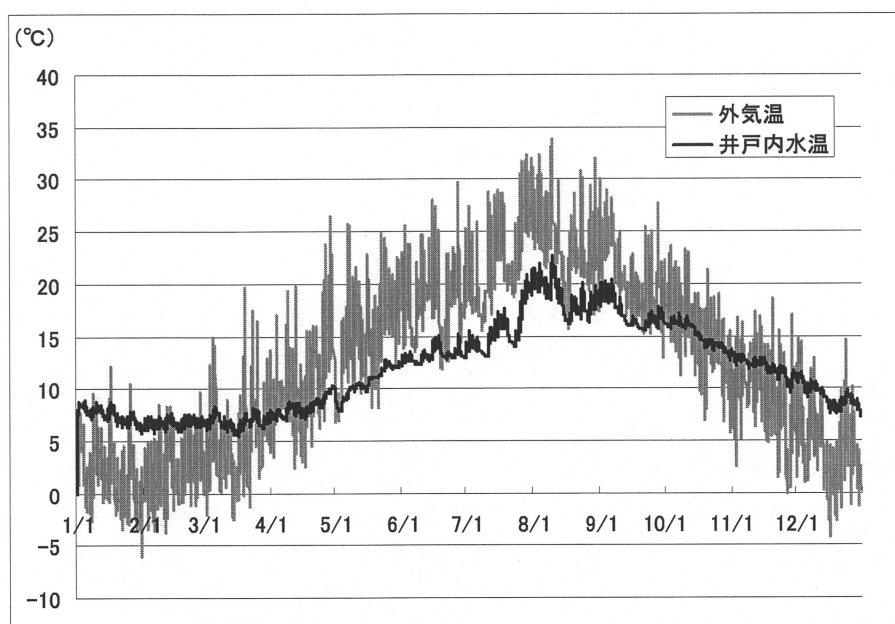


図5-1 部分負荷特性を考慮しない場合の蓄熱井戸内水温および外気温度（仙台）

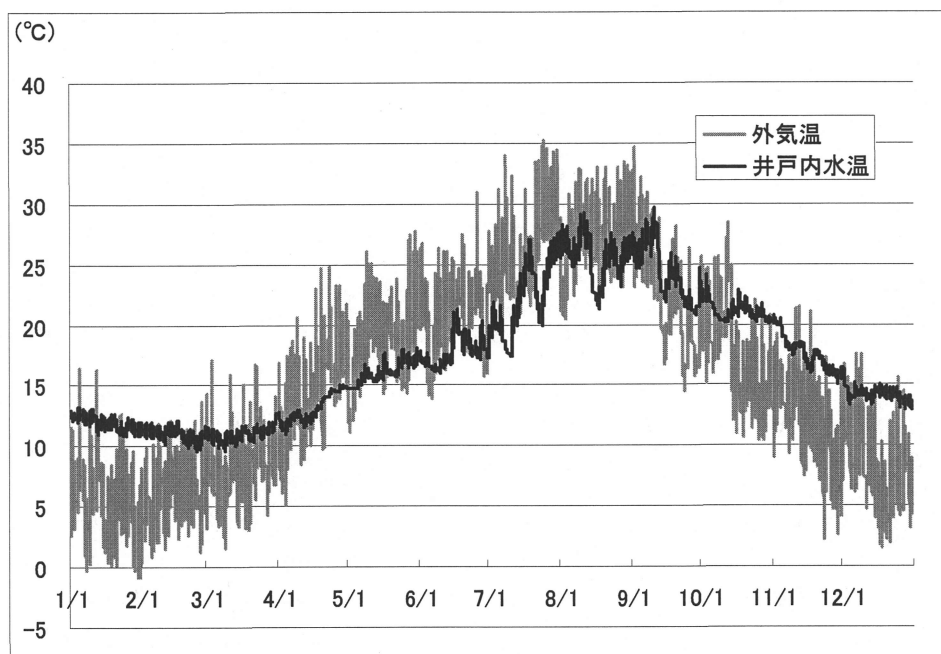


図 5-2 部分負荷特性を考慮しない場合の蓄熱井戸内水温および外気温度（東京）

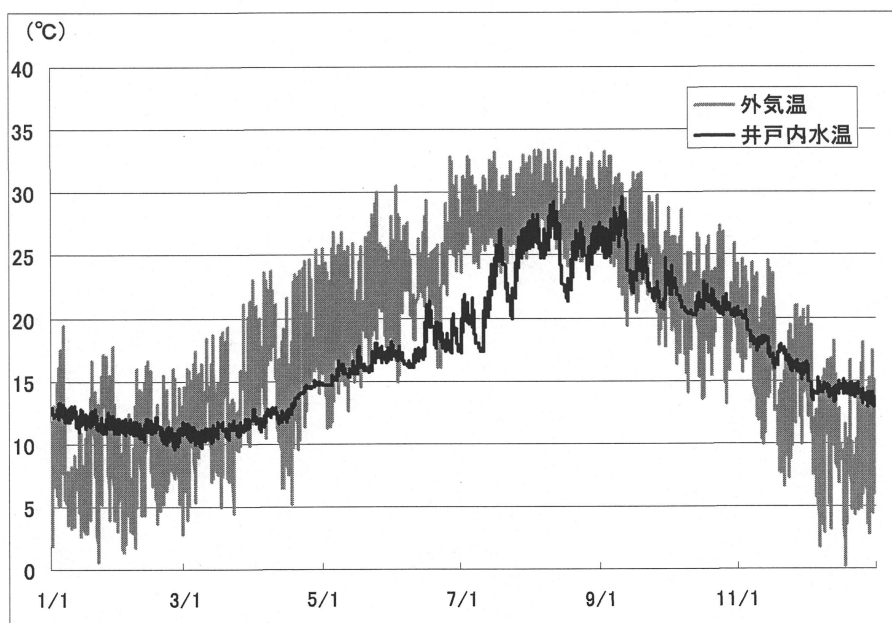


図 5-3 部分負荷特性を考慮しない場合の蓄熱井戸内水温および外気温度（鹿児島）



表 5-1 全日空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の採・放熱量

地域区分	地域	採熱量	放熱量	年間
Ⅲ	仙台	-33.99	13.95	-20.04
Ⅳ	新潟	-38.31	21.54	-16.77
Ⅳ	金沢	-34.33	24.45	-9.88
Ⅳ	東京	-25.70	29.31	3.61
Ⅳ	横浜	-25.75	26.54	0.79
Ⅳ	名古屋	-28.83	30.38	1.55
Ⅳ	津	-27.04	30.44	3.40
Ⅳ	大阪	-25.99	36.04	10.05
Ⅳ	広島	-27.21	34.86	7.65
Ⅳ	福岡	-24.26	34.09	9.83
Ⅴ	高知	-23.71	33.80	10.09
Ⅴ	鹿児島	-18.56	42.96	24.40



表 5-2 全日空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の消費電力量

地域区分	地域	期間	消費電力量(GJ)		省エネ効果	APF	
			土壌熱源	空気熱源		土壌熱源	空気熱源
Ⅲ	仙台	暖房	20.96	22.58	7.2%	2.62	2.43
		冷房	2.63	3.35	21.3%	4.29	3.38
		年間	23.59	25.93	9.0%	2.81	2.56
Ⅳ	新潟	暖房	24.20	25.34	4.5%	2.58	2.47
		冷房	4.14	5.24	20.9%	4.20	3.32
		年間	28.34	30.58	7.3%	2.82	2.61
Ⅳ	金沢	暖房	20.86	22.08	5.5%	2.65	2.50
		冷房	4.88	6.01	18.8%	4.01	3.25
		年間	25.74	28.09	8.4%	2.90	2.66
Ⅳ	東京	暖房	14.41	15.59	7.6%	2.78	2.57
		冷房	6.34	6.78	6.5%	3.63	3.39
		年間	20.75	22.37	7.3%	3.04	2.82
Ⅳ	横浜	暖房	14.65	15.72	6.8%	2.76	2.57
		冷房	5.64	6.38	11.7%	3.71	3.28
		年間	20.29	22.10	8.2%	3.02	2.77
Ⅳ	名古屋	暖房	16.48	18.14	9.2%	2.75	2.50
		冷房	6.52	7.43	12.2%	3.66	3.21
		年間	23.00	25.57	10.1%	3.01	2.71
Ⅳ	津	暖房	15.06	16.05	6.2%	2.80	2.62
		冷房	6.69	7.27	7.9%	3.55	3.27
		年間	21.75	23.32	6.7%	3.03	2.82
Ⅳ	大阪	暖房	14.17	15.71	9.8%	2.83	2.56
		冷房	8.30	8.79	5.5%	3.34	3.16
		年間	22.47	24.49	8.3%	3.02	2.77
Ⅳ	広島	暖房	15.13	16.77	9.8%	2.80	2.53
		冷房	7.81	8.44	7.5%	3.46	3.21
		年間	22.94	25.21	9.0%	3.02	2.75
Ⅳ	福岡	暖房	13.32	14.56	8.6%	2.82	2.58
		冷房	7.69	8.22	6.4%	3.43	3.21
		年間	21.01	22.78	7.8%	3.04	2.81
Ⅴ	高知	暖房	13.15	14.74	10.8%	2.81	2.51
		冷房	7.48	8.18	8.6%	3.53	3.23
		年間	20.63	22.92	10.0%	3.07	2.76
Ⅴ	鹿児島	暖房	9.65	10.82	10.8%	2.92	2.61
		冷房	10.12	10.15	0.3%	3.25	3.23
		年間	19.77	20.97	5.7%	3.09	2.91



### 5-3-2 部分負荷特性を考慮する場合における省エネルギー効果の検討

次に全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の本システムの省エネルギー効果を検討する。

図5-4に、全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合および考慮していない場合の東京における年間のCOP変動を示す。図5-4に示すように、部分負荷特性を考慮した場合は考慮しない場合に比して、COPが住宅熱負荷によって大きく変化している。冷房時における部分負荷特性は、暖房時に比して冷暖房負荷によるCOPの変動が大きくなっている。これは前章の図4-1・2に示すように、本論で用いた部分負荷特性においては、冷房時の部分負荷率によるCOP補正の変動は、暖房時の部分負荷特性に比して大きいためである。

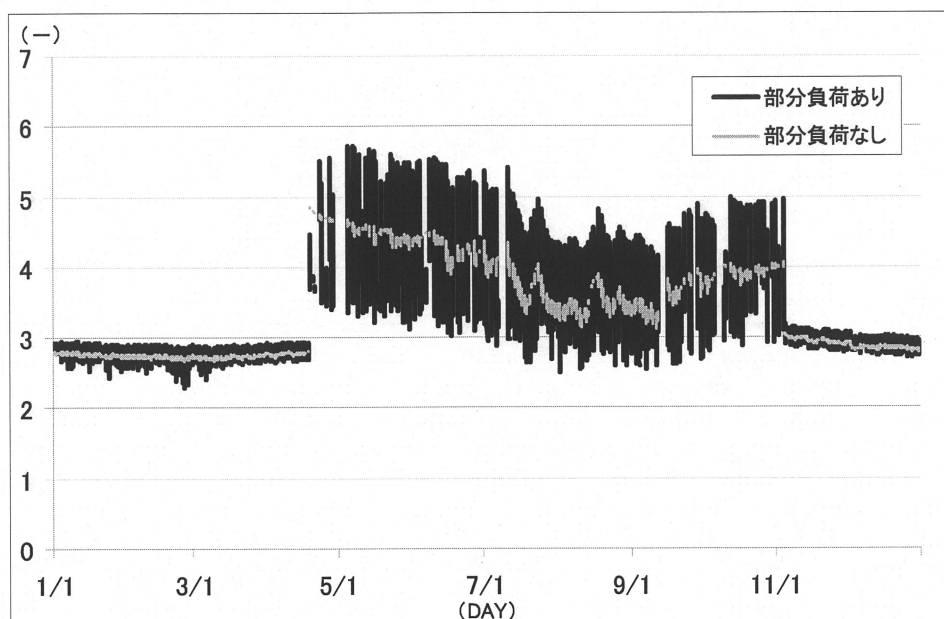


図5-4 全日空調条件における部分負荷特性の有無による年間のCOP変動（東京）

次に、図 5-5~7 に、全日空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合と同様に、仙台・東京・鹿児島における全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の年間の蓄熱井戸内水温と外気温度の変動を示す。図 5-5~7 より、井戸内水温の傾向は、部分負荷特性を考慮しない場合と大きな差はみられなかった。また、表 5-3 に全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の各地域の地盤への採・放熱量を示す。

図 5-5~7 より、部分負荷特性を考慮しない場合と同様に、各地域において、井戸内水温は、外気温に比して、温度変化が少なくなっている。

表 5-4 に全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の消費電力量および、本水熱源ヒートポンプと同じ能力特性を想定した空気熱源ヒートポンプによる年間消費エネルギー、省エネ効果および APF 示している[注 2]。表 5-4 に示すように、能力特性が等しいと仮定した場合、全日空調条件において、本システムは外気熱源に比して年間の消費電力量は部分負荷特性を考慮した場合は 8.8~19%程度低減することができる。仙台における省エネ効果が全地域の中で最も高く、19.0%となっている。これは、冬季におい、外気熱源を使用した場合、他の地域に比べ気温が低く、部分負荷を考慮した場合 COP が低い値で運転している時間が長いためである。以上のことより、本システムを使用した場合、安定した温度の熱源を得ることができる。また、省エネ効果が最も低い地域は、部分負荷特性を考慮しない場合と同様に鹿児島であり、省エネ効果は 8.8%であった。省エネ効果の内、冷房期間における省エネ効果が 1.8%となっている。これは鹿児島における住宅の冷房積算負荷が他の地域に比して大きく、地盤への放熱量が暖房期間の地盤からの採熱量に比して大きく、地盤の温度が上がるためである。

IV地域に関しては、省エネ効果は 11.2~18.7%であった。新潟・金沢においては、冷房積算負荷に比して、暖房負荷の割合がかなり大きく、地盤からの採熱量が増加するため、冷房期間の省エネ効果が高くなっている。また、表 5-2・4 より、部分負荷を考慮した場合は、考慮しない場合に比して、仙台・新潟以外においては年間の消費電力量が若干小さくなる。これは、全日空調の場合、部分負荷率が 1 以下で空調している時間帯が多く、部分負荷を考慮しない場合に比して、効率の良い運転をしているためである。一方、仙台と新潟の暖房期間においては、部分負荷率が 1 以上で運転している時間が多いため、部分負荷特性を考慮した場合の消費電力量が、部分負荷率を考慮しない場合に比して、若干大きくなる。

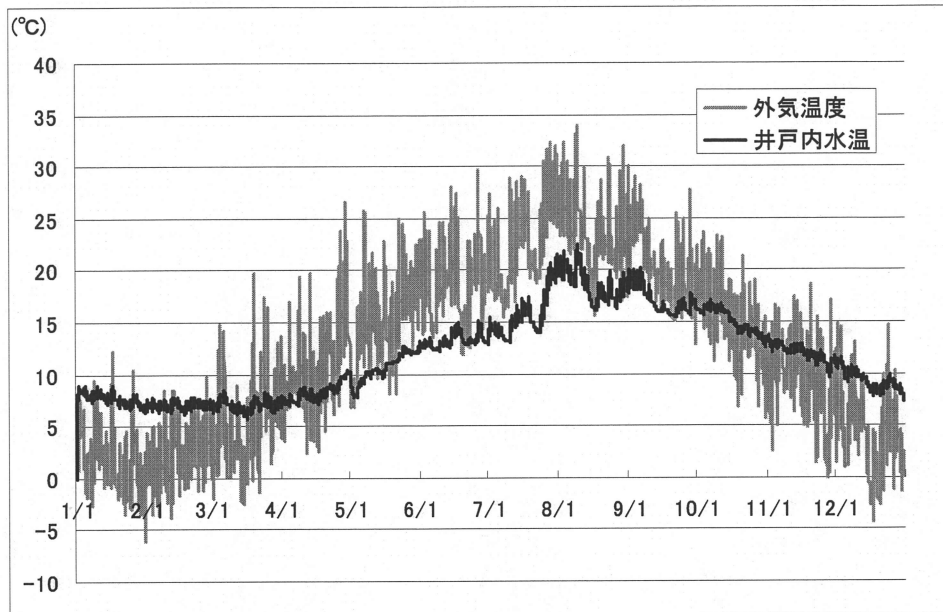


図 5-5 部分負荷特性を考慮した場合の蓄熱井戸内水温および外気温度（仙台）

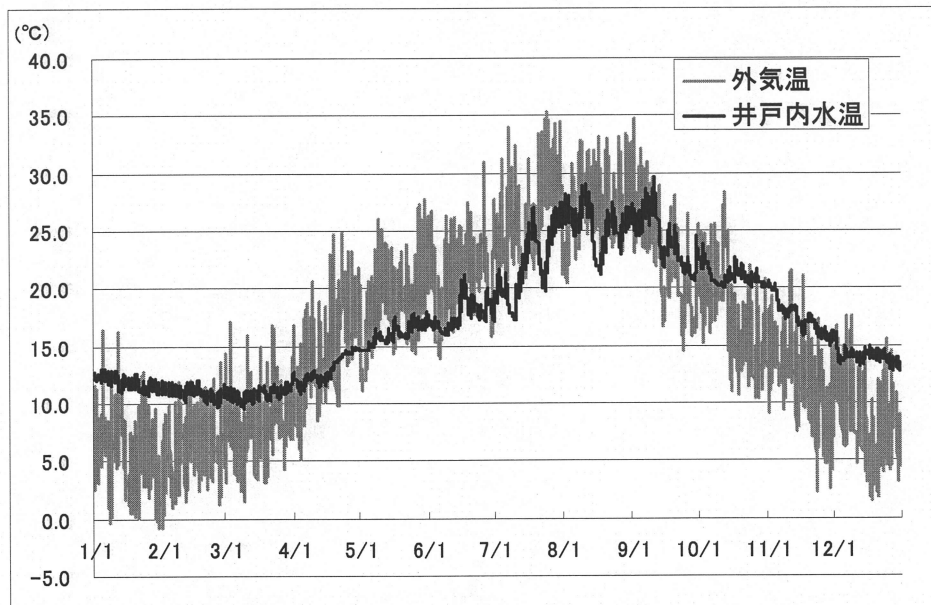


図 5-6 部分負荷特性を考慮した場合の蓄熱井戸内水温および外気温度（東京）



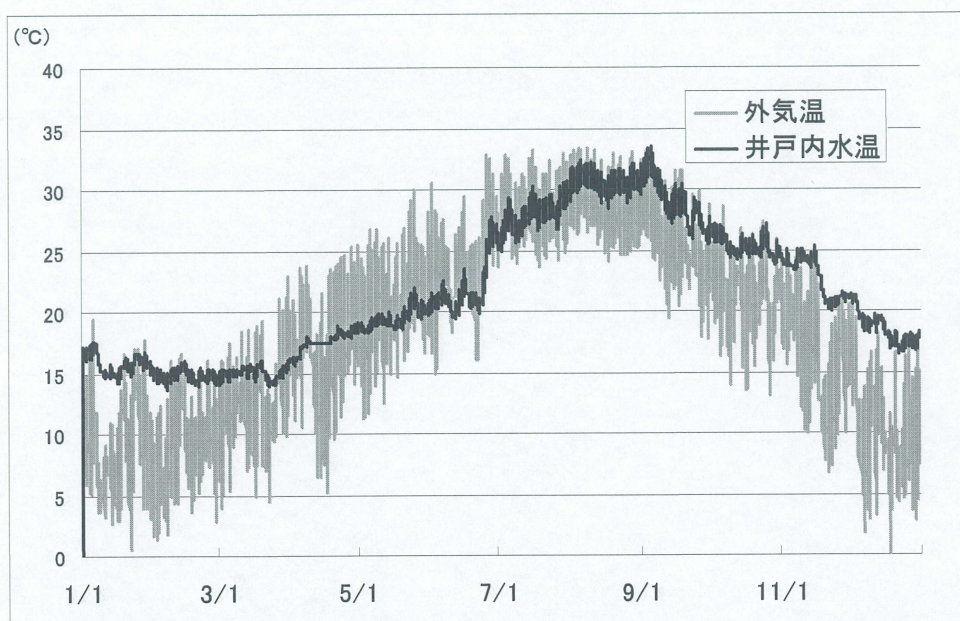


図 5-7 部分負荷特性を考慮した場合の蓄熱井戸内水温および外気温度（鹿児島）

表 5-3 全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の採・放熱量

地域区分	地域	採熱量	放熱量	年間
Ⅲ	仙台	-33.99	13.95	-20.04
Ⅳ	新潟	-38.31	21.54	-16.77
Ⅳ	金沢	-34.33	24.45	-9.88
Ⅳ	東京	-25.70	29.31	3.61
Ⅳ	横浜	-25.75	26.54	0.79
Ⅳ	名古屋	-28.83	30.38	1.55
Ⅳ	津	-27.04	30.44	3.40
Ⅳ	大阪	-25.99	36.04	10.05
Ⅳ	広島	-27.21	34.86	7.65
Ⅳ	福岡	-24.26	34.09	9.83
Ⅴ	高知	-23.71	33.80	10.09
Ⅴ	鹿児島	-18.56	42.96	24.40



表 5-4 全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の消費電力量

地域区分	地域	期間	消費電力量(GJ)		省エネ効果	APF	
			土壌熱源	空気熱源		土壌熱源	空気熱源
Ⅲ	仙台	暖房	21.53	26.43	18.5%	2.55	2.08
		冷房	2.30	3.00	23.4%	4.92	3.77
		年間	23.83	29.44	19.0%	2.78	2.25
Ⅳ	新潟	暖房	25.46	29.66	14.1%	2.45	2.11
		冷房	3.69	4.83	23.5%	4.71	3.60
		年間	29.16	34.49	15.5%	2.74	2.32
Ⅳ	金沢	暖房	21.35	24.79	13.9%	2.59	2.23
		冷房	4.38	5.62	22.0%	4.46	3.48
		年間	25.73	30.41	15.4%	2.91	2.46
Ⅳ	東京	暖房	14.23	16.24	12.4%	2.82	2.47
		冷房	5.82	6.34	8.2%	3.95	3.62
		年間	20.04	22.58	11.2%	3.15	2.79
Ⅳ	横浜	暖房	14.55	16.87	13.8%	2.78	2.39
		冷房	5.17	6.02	14.2%	4.04	3.47
		年間	19.72	22.89	13.9%	3.11	2.68
Ⅳ	名古屋	暖房	16.68	20.75	19.6%	2.72	2.18
		冷房	5.98	7.05	15.2%	3.99	3.38
		年間	22.66	27.80	18.5%	3.05	2.49
Ⅳ	津	暖房	14.98	17.67	15.2%	2.81	2.38
		冷房	6.11	6.57	7.0%	3.88	3.61
		年間	21.09	24.24	13.0%	3.12	2.72
Ⅳ	大阪	暖房	13.93	16.63	16.2%	2.88	2.42
		冷房	7.93	8.58	7.6%	3.50	3.23
		年間	21.85	25.21	13.3%	3.11	2.69
Ⅳ	広島	暖房	15.08	18.10	16.7%	2.81	2.34
		冷房	7.24	8.04	9.9%	3.73	3.36
		年間	22.32	26.14	14.6%	3.11	2.65
Ⅳ	福岡	暖房	13.04	15.11	13.7%	2.88	2.49
		冷房	7.18	7.85	8.5%	3.68	3.36
		年間	20.22	22.96	11.9%	3.16	2.79
Ⅴ	高知	暖房	13.18	16.90	22.0%	2.80	2.19
		冷房	6.93	7.79	11.0%	3.81	3.39
		年間	20.11	24.68	18.5%	3.15	2.57
Ⅴ	鹿児島	暖房	9.34	10.98	14.9%	3.02	2.57
		冷房	9.40	9.57	1.8%	3.49	3.43
		年間	18.74	20.55	8.8%	3.26	2.97



### 5-3-3 全日空調条件における経年変化の検討

次に、各地域の本システムにおける経年変化を示す。各地域区分の代表都市として仙台（Ⅲ地域）・東京（Ⅳ地域）・鹿児島（Ⅴ地域）のみ経年結果を比較するものとする。表5-5に全日空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の、表5-6に部分負荷特性を考慮する場合の仙台・東京・鹿児島における3・5・10年目の消費電力量および年間APFの経年変化を示す。表5-5・6より東京および鹿児島においては、地盤への冬期夏期の負荷のアンバランスは、仙台に比して小さいため、10年目のAPFは3年目に対して、約1.0%以下の低下であった。一方、仙台においては、冬季の地盤からの採熱量が、夏期の地盤への放熱量に比して、かなり大きいため、経過年数と共に、地盤温度の低下率が大きい、10年目のAPFは3年目に対しても、部分負荷特性を考慮した場合は約2.1%、部分負荷特性を考慮しない場合は1.4%の低下であった。よって、仮に同じ冷暖房負荷が続いた場合、全日空調条件時において、10年経過後でも、本システムの能力の低下はわずかである。

表5-5 部分負荷特性を考慮しない場合の仙台・東京・鹿児島における経年変化

		3年目	5年目	10年目
仙台	暖房期間	20.96	21.19	21.31
	冷房期間	2.63	2.60	2.58
	年間	23.59	23.78	23.89
	APF	2.81	2.79	2.77
東京	暖房期間	14.41	14.39	14.39
	冷房期間	6.34	6.38	6.42
	年間	20.75	20.78	20.82
	APF	3.04	3.04	3.03
鹿児島	暖房期間	9.65	9.55	9.52
	冷房期間	10.12	10.32	10.41
	年間	19.77	19.88	19.92
	APF	3.09	3.07	3.06

表5-6 部分負荷特性を考慮した場合の仙台・東京・鹿児島における経年変化

		3年目	5年目	10年目
仙台	暖房期間	21.53	21.91	22.10
	冷房期間	2.30	2.27	2.26
	年間	23.83	24.18	24.36
	APF	2.78	2.74	2.72
東京	暖房期間	14.23	14.21	14.21
	冷房期間	5.82	5.87	5.91
	年間	20.04	20.07	20.12
	APF	3.15	3.14	3.14
鹿児島	暖房期間	9.34	9.24	9.20
	冷房期間	9.40	9.62	9.71
	年間	18.74	18.86	18.91
	APF	3.26	3.24	3.23



#### 5-4 全日空調条件における大気環境への負荷低減効果

この節では、年間全室全日条件時に、蓄熱井戸の本数を6本とした場合を想定した大気環境への熱負荷低減効果を検討する。

##### 5-4-1 部分負荷特性を考慮しない場合の大気環境負荷の検討

まず、全日空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の大気への環境負荷の検討を行う。図5-8に地域を東京と設定した場合の全日空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の大気への環境負荷(3年目)を示す。

図5-8より、外気を熱源とするヒートポンプの場合、年間の大気への環境負荷は消費電力量となり、年間の大気への環境負荷は約22.37GJとなる。一方、蓄熱井戸型土壌熱源ヒートポンプを使用した場合は、外気を熱源とした場合と異なり、排熱を蓄熱井戸に蓄熱することとなる。すなわち、年間の大気への熱負荷は年間の住宅の積算熱負荷(絶対和ではなく単純和)と排熱を投入した地盤の表面から大気への熱流の和に等しくなる。

地域を東京と設定した場合、地盤への冬期夏期の負荷のアンバランスによる地表面から大気への熱流は極めて小さい。よって、本システムを用いた場合の年間の大気環境負荷は17.14GJとなり、本システムは外気熱源ヒートポンプを使用した場合に対して、23.4%大気環境負荷を低減できる。なお、年間の冷暖房負荷の内、暖房負荷の割合が大きい地域である仙台(Ⅲ地域)・新潟(Ⅳ地域)・金沢(Ⅳ地域)においては、冬期における地盤からの採熱量の割合が、夏期の地盤への放熱量に比して、かなり大きな値となっているため、本システムを使用した場合の蓄熱井戸周辺地表面温度が自然地表面温度に比して低くなる。一方、鹿児島(Ⅴ地域)においては、他の地域に比して冷暖房積算負荷における冷房負荷の割合が大きい、夏期における地盤への放熱量が冬期の地盤からの採熱量に比して大きい、本システムを使用した場合の蓄熱井戸周辺地表面温度が自然地表面温度に比して高くなる。よって、仙台・新潟・金沢・鹿児島の4つの地域においては、地表面からの熱量を含め、検討を行う。それ以外の地域においては、地表面からの熱流は極めて小さいものであった。

次に、表5-7に全日空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の各地域の大気環境への負荷を示す。なお、表中には外気熱源を利用した時の大気環境への負荷、および外気熱源を利用した時の大気環境負荷に対する本システムの大気環境への負荷削減率を示す。なお、削減率の値が負の場合は外気熱源を使用した場合に対する増加率、正の場合は削減率とする。年間の蓄熱井戸へ放熱・採熱量の内、採熱量の方が大きくなると、大気への環境負荷は低減する。一方、蓄熱井戸からの採熱量の方が大きくなると、大気への環境負荷は大きくなる。表5-7より、仙台の全日空調条件の部分負荷特性を考慮しない場合において、蓄熱井戸への年間積算採・放熱量の内、放熱量より採熱量の方が、かなり大きい値となり、大気への環境負荷が外気熱源に対して約1.5倍となる。また、暖房積算負荷の大きい

新潟・金沢においても外気熱源に比して、大気環境負荷が大きくなる。一方、鹿児島の日全空調条件においては、蓄熱井戸への年間積算放採熱量の内、夏期の放熱量が冬期の採熱量に比して、かなり大きな値となり、大気への環境負荷が外気熱源に比して部分負荷特性の考慮しない場合約9割低減することができ、大幅に大気への環境負荷を低減できる。

よって、新潟・金沢以外のIV地域およびV地域においては、全日空調条件の部分負荷特性を考慮しない場合、大気環境負荷を低減することができる。

#### 5-4-2 部分負荷特性を考慮する場合の大気環境負荷の検討

次に、全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の大気環境負荷低減効果について検討する。表5-8に全日空調条件における部分負荷特性を考慮する場合の本システムと外気熱源ヒートポンプを使用した場合の大気環境負荷を示す。なお、部分負荷特性を考慮しない場合と同様に、仙台・新潟・金沢・鹿児島においては、地表面からの熱流についても、検討を行う。

仙台・新潟・金沢においては、部分負荷特性を考慮しない場合と同様に、蓄熱井戸への年間積算放採熱量の内、放熱量より採熱量の方が大きい値となり、外気熱源に比して、大気環境負荷が大きくなる。仙台においては、大気への環境負荷が外気熱源の約1.2倍となる。一方、鹿児島の日全空調条件においては、蓄熱井戸への年間積算放採熱量の内、夏期の放熱量が冬期の採熱量に比して、かなり大きな値となり、大気への環境負荷が外気熱源に比して部分負荷特性の考慮の有無に関らず約9割低減することができ、大幅に大気への環境負荷を低減できる。

よって、新潟・金沢以外のIV地域およびV地域においては、全日空調条件の場合、部分負荷特性の考慮の有無に関らず、大気環境負荷を低減することができる。



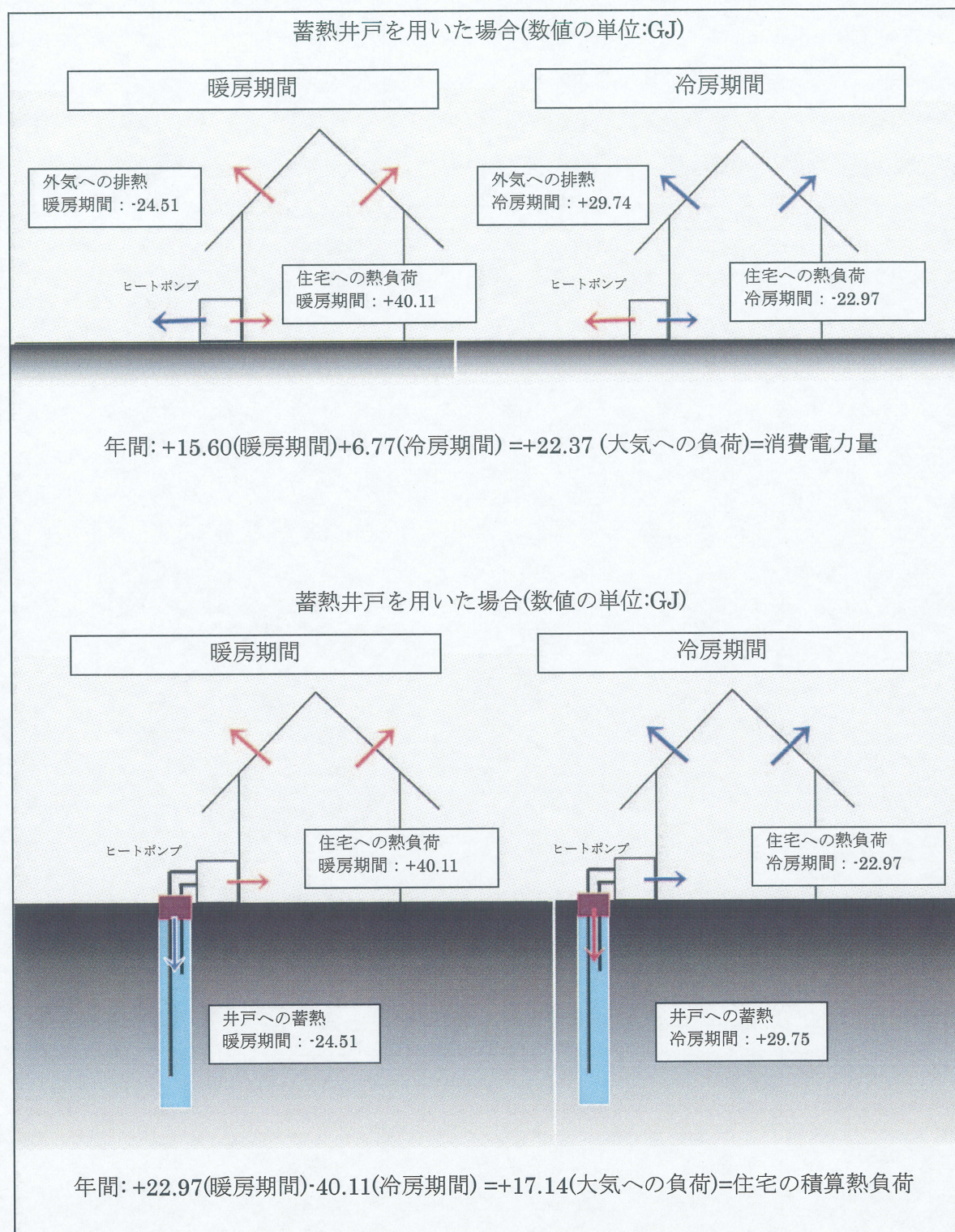


図 5-8 全日空調条件における部分負荷を考慮した場合の蓄熱井戸を用いた場合の大気環境負荷(東京)



表 5-7 全日空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の大気環境負荷

地域区分	地域	大気環境負荷(GJ)				空気熱源に 対する削減率
		土壌熱源の場合			空気熱源の 場合	
		土壌熱源	地表面	TOTAL		
Ⅲ	仙台	43.63	-5.99	37.64	25.93	-45.1%
Ⅳ	新潟	45.11	-6.01	39.10	30.58	-27.9%
Ⅳ	金沢	35.62	-2.62	33.00	28.09	-17.5%
Ⅳ	東京	17.14	—	17.14	22.37	23.4%
Ⅳ	横浜	19.50	—	19.50	26.80	27.2%
Ⅳ	名古屋	21.44	—	21.44	25.57	16.1%
Ⅳ	津	18.36	—	18.36	23.32	21.3%
Ⅳ	大阪	12.42	—	12.42	24.49	49.3%
Ⅳ	広島	15.29	—	15.29	25.21	39.4%
Ⅳ	福岡	11.18	—	11.18	22.78	50.9%
Ⅴ	高知	10.53	—	10.53	22.92	54.0%
Ⅴ	鹿児島	-4.63	6.99	2.36	20.97	88.7%



表 5-8 全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の大気環境負荷

地域区分	地域	大気環境負荷(GJ)				空気熱源に 対する削減率
		土壌熱源の場合			空気熱源の 場合	
		土壌熱源	地表面	TOTAL		
Ⅲ	仙台	43.63	-7.82	35.81	29.44	-21.7%
Ⅳ	新潟	45.11	-5.75	39.36	30.44	-29.3%
Ⅳ	金沢	35.62	-2.64	32.98	30.41	-8.4%
Ⅳ	東京	17.14	—	17.14	22.58	24.1%
Ⅳ	横浜	19.50	—	19.50	22.89	14.8%
Ⅳ	名古屋	21.44	—	21.44	27.80	22.9%
Ⅳ	津	18.36	—	18.36	24.24	24.3%
Ⅳ	大阪	12.42	—	12.42	25.21	50.7%
Ⅳ	広島	15.29	—	15.29	26.14	41.5%
Ⅳ	福岡	11.18	—	11.18	22.96	51.3%
Ⅴ	高知	10.53	—	10.53	24.68	57.3%
Ⅴ	鹿児島	-4.63	6.65	2.02	20.55	90.2%



5-5 第5章まとめ

第5章では、標準的な敷地面積に対して設置可能な蓄熱井戸を想定し、その省エネ性および大気環境負荷低減効果の検討を行った。その結果、本システムは外気熱源に比して年間の省エネ効果は、部分負荷を考慮しない場合は約5.7～10.1%であった。また、部分負荷特性を考慮する場合の省エネ効果は8.8～19%であった。

部分負荷を考慮した場合は、考慮しない場合に比して、年間の消費電力量が若干小さくなる。これは、全日空調の場合、部分負荷率が1以下で空調している時間帯が多く、部分負荷を考慮しない場合に比して、効率の良い運転をしているためである。大気環境への熱負荷低減効果については、仙台・新潟・金沢においては、蓄熱井戸への年間積算放熱量の内、放熱量より採熱量の方が、かなり大きい値となり、大気への環境負荷が外気熱源に比して大きくなった。一方、鹿児島全日空調条件においては、蓄熱井戸への年間積算放熱量の内、夏期の放熱量が冬期の採熱量に比して、かなり大きな値となり、大気への環境負荷が外気熱源に比して部分負荷特性の考慮の有無に関らず約9割低減することができ、大幅に大気への環境負荷を低減できる。よって、新潟・金沢以外のIV地域およびV地域においては、全日空調条件の場合、部分負荷特性の考慮の有無に関らず、大気環境負荷を低減することができるといえよう。

第6章では、同様の標準規模の高気密高断熱住宅において、間欠空調が行われる場合のシステム効率の検討を行い、より現実的な空調パターンでのシステム性能を検討する。



## 第6章

# 間欠空調における 本システムの省エネルギー効果の検討

## 第6章 間欠空調条件における本システムの省エネルギー効果の検討

### 6-1 はじめに

第5章では、全日空調条件における本システムの省エネルギー効果および大気環境負荷低減効果の検討を行った。本章では、同様の標準規模の高気密高断熱住宅において、間欠空調が行われる場合のシステム効率の検討を行う。IV地域以西の比較的温暖な地域では、高気密高断熱住宅のような高い性能を有する住宅に居住する場合でも、全館全日空調は一般的であるとは言えず、より現実的な空調パターンでのシステム性能を検討し、その省エネ性を明らかにする。また、年間全室全日および間欠空調運転時における本システムと空気熱源システムとの大気環境へ与える熱負荷についても比較検討も併せて行った。なお、計算条件は前章と同様に蓄熱面積を井戸の半径方向 3m(28 m<sup>2</sup>)、6本の蓄熱井戸が埋設されている場合を想定した。

### 6-2 間欠空調条件における本システムの省エネルギー効果

この節では、間欠空調条件における本システムの省エネルギー効果についての検討を行う。

#### 6-2-1 部分負荷特性を考慮しない場合の省エネルギー効果の検討

まず、間欠空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合について検討する。

図6-1～3に間欠空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の各地域区分の代表都市として、仙台(Ⅲ地域)・東京(Ⅳ地域)・鹿児島(Ⅴ地域)の井戸内水温(3年目)および外気温を示す。図6-4～6に仙台・東京・鹿児島における部分負荷特性を考慮しない場合の間欠空調条件および全日空調条件における蓄熱井戸内水温を示す。

各地域において、井戸内水温は全日空調条件と同様に外気温に対して、日変動および年変動が少なく、安定した熱源であるといえる。また、間欠空調条件は全日空調条件に対して、住宅の冷暖房積算負荷が7割程度になるため、地盤からの採・放熱量が小さくなる。そのため、間欠空調条件における井戸内水温は、全日空調条件に比して、年間の水温変動が小さくなっている。例えば、仙台においては、間欠空調条件における井戸内水温の最低水温は約7.65℃であり、最高水温は20.20℃であったのに対し、全日空調条件の場合は、最低水温は約5.41℃であり、最高水温22.65℃であった。また、鹿児島においては、間欠空調条件では、全日空調条件に対し、冷房負荷がかなり小さくなっており、井戸への放熱量が少なくなる。井戸内最低水温については、間欠・全日空調において、差はほとんどみられなかったが、最高水温については、間欠空調条件においては、約28.17℃であり、全日空調条件においては33.62℃であった。なお、東京においては、間欠空調条件における井戸内最

低水温は、全日空調条件に比して、高くなり、井戸内最高水温は低くなる。

表6-1に、間欠空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の地盤への採・放熱量を、表6-2に間欠空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の各地域における消費電力量（3年目）を示す。なお、表中には前章と同様に本水熱源ヒートポンプと同じ能力特性を想定した空気熱源ヒートポンプによる年間消費エネルギー[注2]、本システムを使用した場合の空気熱源ヒートポンプを使用した場合に対する省エネ効果およびAPFを示す。表6-2より、本システムは外気熱源に比して年間の消費電力量において、部分負荷特性を考慮しない場合は約8.5～11.5%であった。最も省エネ効果が小さかった地域はIV地域の新潟と津であり、最も省エネ効果が大きかった地域はV地域の高知であった。しかしながら、各地域の省エネ効果の差異は大きくなかった。

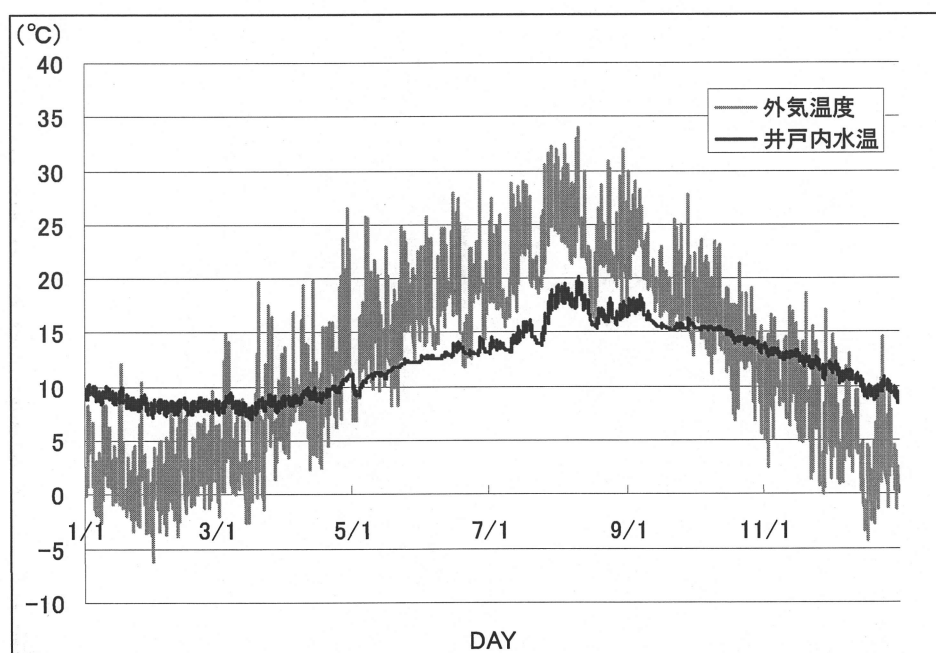


図6-1 部分負荷特性を考慮しない場合の蓄熱井戸内水温および外気温度（仙台）



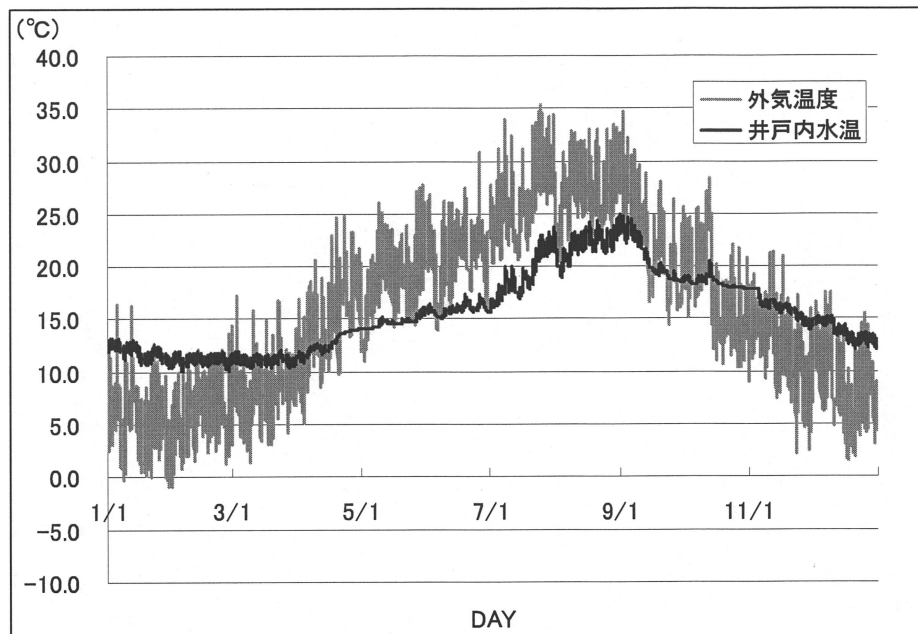


図 6-2 部分負荷特性を考慮しない場合の蓄熱井戸内水温および外気温度（東京）

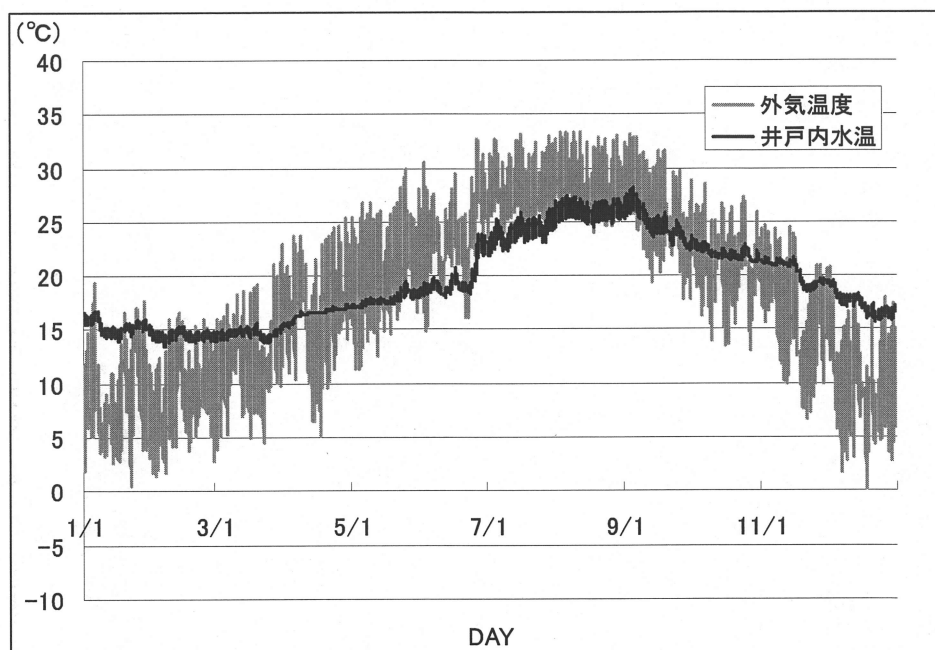


図 6-3 部分負荷特性を考慮しない場合の蓄熱井戸内水温および外気温度（鹿児島）

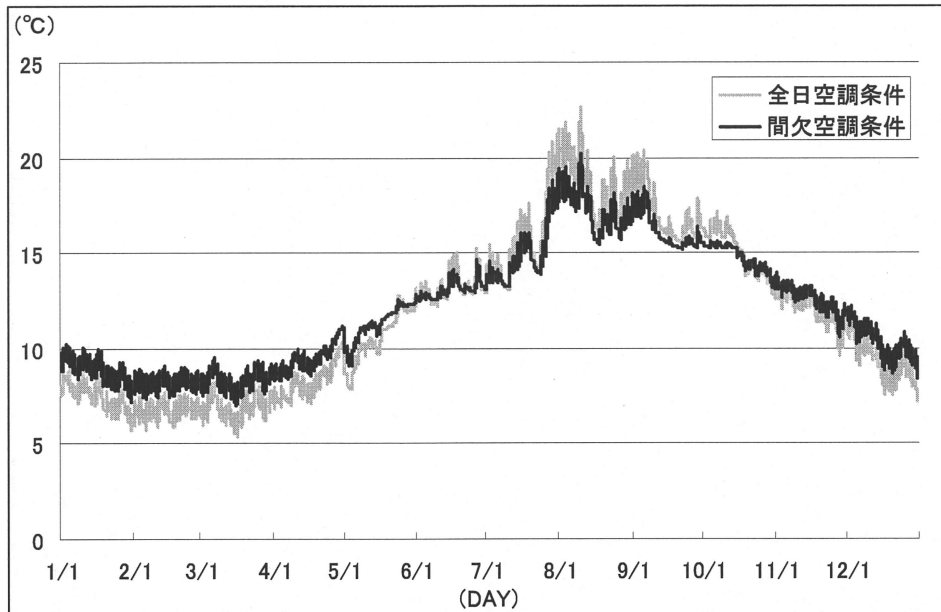


図 6-4 部分負荷特性を考慮しない場合の間欠空調条件および全日空調条件における蓄熱井戸内水温（仙台）

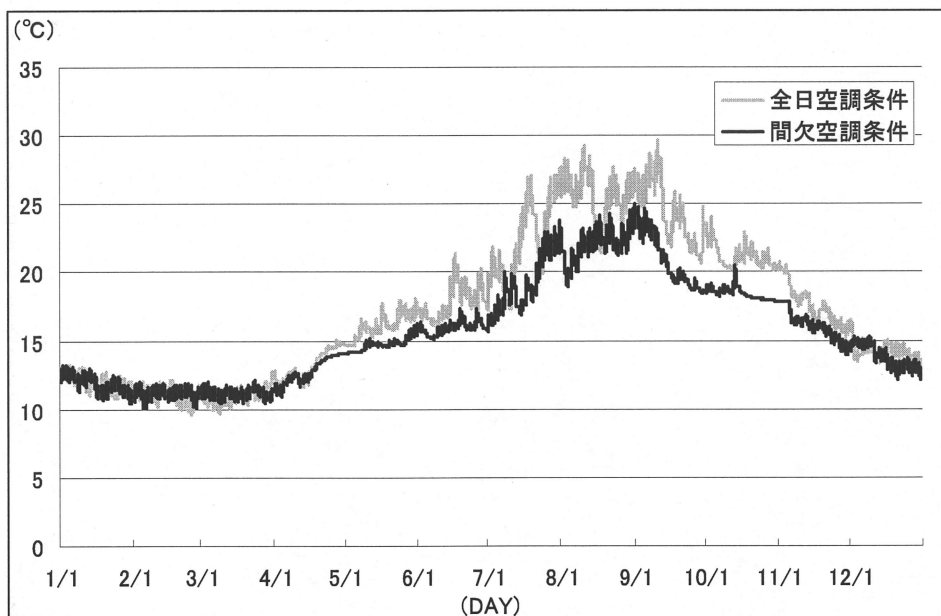


図 6-5 部分負荷特性を考慮しない場合の間欠空調条件および全日空調条件における蓄熱井戸内水温（東京）



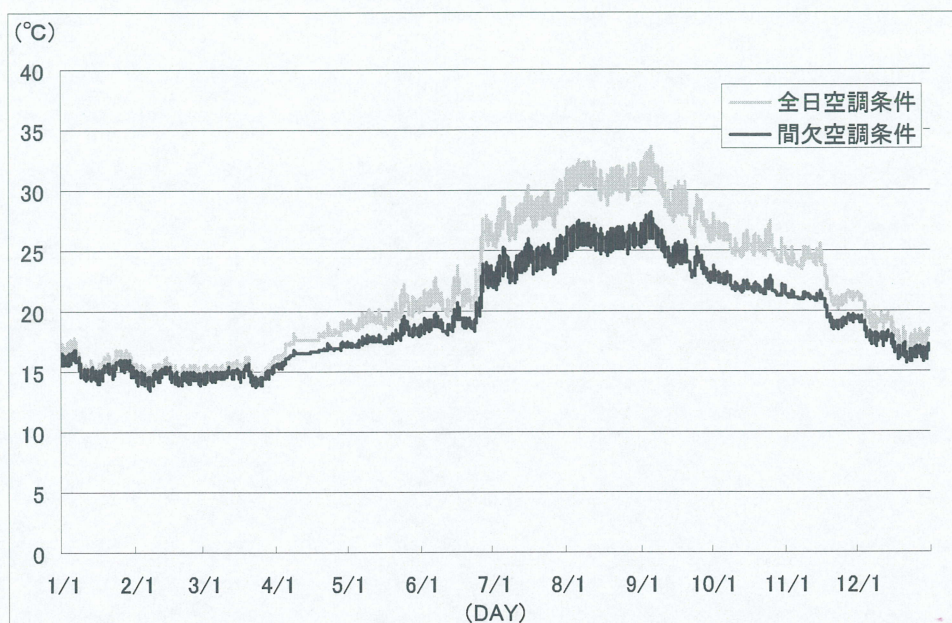


図 6-6 部分負荷特性を考慮しない場合の間欠空調条件および  
全日空調条件における蓄熱井戸内水温（鹿児島）

表 6-1 間欠空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の採・放熱量

地域区分	地域	採熱量	放熱量	年間
Ⅲ	仙台	-26.39	7.88	-18.51
Ⅳ	新潟	-29.19	12.29	-16.90
Ⅳ	金沢	-26.07	14.26	-11.81
Ⅳ	東京	-20.43	16.18	-4.25
Ⅳ	横浜	-19.61	15.98	-3.62
Ⅳ	名古屋	-22.04	17.94	-4.10
Ⅳ	津	-20.64	18.33	-2.31
Ⅳ	大阪	-19.99	21.65	1.66
Ⅳ	広島	-20.74	21.31	0.57
Ⅳ	福岡	-18.45	20.71	2.26
Ⅴ	高知	-18.20	20.30	2.10
Ⅴ	鹿児島	-14.11	26.13	12.02



表 6-2 間欠空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の消費電力量

地域区分	地域	期間	消費電力量 (GJ)		省エネ効果	APF	
			土壌熱源	空気熱源		土壌熱源	空気熱源
Ⅲ	仙台	暖房	15.81	17.39	9.1%	2.67	2.43
		冷房	1.46	1.84	20.7%	4.41	3.50
		年間	17.27	19.23	10.2%	2.82	2.53
Ⅳ	新潟	暖房	17.90	19.12	6.3%	2.63	2.46
		冷房	2.28	2.94	22.2%	4.38	3.41
		年間	20.19	22.05	8.5%	2.83	2.59
Ⅳ	金沢	暖房	15.50	16.64	6.9%	2.68	2.50
		冷房	2.73	3.46	21.1%	4.22	3.33
		年間	18.23	20.10	9.3%	2.91	2.64
Ⅳ	東京	暖房	11.50	12.54	8.3%	2.78	2.55
		冷房	3.29	3.91	15.9%	3.92	3.30
		年間	14.79	16.45	10.1%	3.03	2.73
Ⅳ	横浜	暖房	11.07	11.98	7.6%	2.77	2.56
		冷房	3.22	3.77	14.6%	3.97	3.39
		年間	14.29	15.74	9.3%	3.04	2.76
Ⅳ	名古屋	暖房	12.51	13.87	9.8%	2.76	2.49
		冷房	3.63	4.29	15.4%	3.94	3.33
		年間	16.14	18.16	11.1%	3.03	2.69
Ⅳ	津	暖房	11.44	12.28	6.9%	2.80	2.61
		冷房	3.80	4.38	13.2%	3.82	3.32
		年間	15.24	16.67	8.5%	3.06	2.80
Ⅳ	大阪	暖房	10.92	12.11	9.9%	2.83	2.55
		冷房	4.63	5.25	11.7%	3.67	3.24
		年間	15.55	17.36	10.4%	3.08	2.76
Ⅳ	広島	暖房	11.51	12.81	10.1%	2.80	2.52
		冷房	4.47	5.14	13.1%	3.77	3.27
		年間	15.98	17.95	11.0%	3.07	2.73
Ⅳ	福岡	暖房	10.12	11.09	8.7%	2.82	2.58
		冷房	4.37	4.98	12.2%	3.74	3.28
		年間	14.50	16.07	9.8%	3.10	2.79
Ⅴ	高知	暖房	10.06	11.30	11.0%	2.81	2.50
		冷房	4.20	4.83	12.9%	3.83	3.33
		年間	14.26	16.13	11.5%	3.11	2.75
Ⅴ	鹿児島	暖房	7.43	8.28	10.2%	2.90	2.60
		冷房	5.69	6.18	8.0%	3.60	3.31
		年間	13.12	14.46	9.2%	3.20	2.90



## 6-2-2 部分負荷特性を考慮した場合の省エネルギー効果の検討

次に、部分負荷特性を考慮した場合の省エネ効果を検討する。図 6-7～9 に間欠空調条件における部分負荷特性を考慮する場合の仙台・東京・鹿児島の井戸内水温（3 年目）および外気温度を示す。図 6-10～12 に仙台・東京・鹿児島における部分負荷特性を考慮しない場合の間欠空調条件および全日空調条件における蓄熱井戸内水温を示す。図 6-7～9 より、前節までと同様に、蓄熱井戸内水温は外気温度に比して、日変動および年変動が小さくなっている。図 6-10～12 より、部分負荷特性を考慮しない場合と同様に、仙台においては、全日空調条件に比して、冬期の井戸内水温が上昇し、鹿児島においては、夏期の井戸内水温が低下する。

表 6-3 に間欠空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の各地域における地盤への採・放熱量を、表 6-4 に各地域の消費電力量（3 年目）・空気熱源ヒートポンプによる年間消費エネルギー・省エネ効果および APF を示す。表 6-4 より、部分負荷を考慮した場合の省エネルギー効果は、15.5～19.1%であった。最も省エネ効果が小さかった地域はV地域の高知であり、最も省エネ効果が大きかった地域はIV地域である東京であった。また、全日空調条件と間欠空調条件において、省エネ効果が地域によって変化している。これは、間欠空調条件は全日空調条件に対し、冷暖房負荷および冷房負荷と暖房負荷の割合が変化しているためである。例えば、高知において全日空調条件における住宅の熱負荷は、冷房積算負荷が暖房積算負荷に対して、約 7.1 割の熱負荷であったが、間欠空調条件においては、冷房積算負荷は暖房積算負荷に対して、約 5.7 割の熱負荷である。仙台・新潟・金沢においては間欠空調条件の場合、全日空調条件に比して、冷暖房負荷の内、冷房負荷の割合が小さく、地盤への放熱量が少なくなり、冬期の井戸内水温が低くなるため、省エネ効果が小さくなる。また、その他のIV地域においては、地盤の採・放熱量のバランスが良いため、省エネ効果が大きくなっている。V地域に関しては、間欠空調条件においても、冷房積算負荷が大きく、地盤への放熱量が大きいため、冷房期間の省エネルギー効果が小さい。

また、高知・名古屋・仙台および新潟の間欠空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の省エネ効果は、全日空調条件における部分負荷率を考慮した場合に比して、低くなっている。これは、全日空調条件において、これらの 4 つの地域は、住宅の暖房積算負荷がほぼ同じ地域に比して、1 時間当たりの暖房負荷が大きい時間帯が多く、外気熱源の場合は外気温度により部分負荷率が 1 以上になることが多く、部分負荷特性を考慮した場合の COP が、部分負荷を考慮しない場合に比して、低くなるためである。すなわち、外気熱源の全日空調条件において、他のほぼ同じ暖房積算負荷の地域に比して、消費電力量が高くなり、全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の省エネ効果が大きくなるためである。

それ以外の地域では、部分負荷を考慮した場合の間欠空調条件における省エネ効果は、全日空調条件に比して大きくなる。これは、間欠空調条件において、全日空調条件に比して、住宅の冷暖房負荷が小さくなり、地盤への採・放熱量が減少するためである。

以上のことから、より現実的な条件である部分負荷特性を考慮した場合の本システム性能は、全日空調条件と同様に、部分負荷特性を考慮した場合の省エネ効果は、部分負荷特性を考慮しない場合に比して、高くなることが判る。これは外気熱源の場合は外気温度により部分負荷率が1以上になることが多く、部分負荷特性を考慮した場合のCOPが、部分負荷を考慮しない場合に比して、低くなるためである。

しかしながら、部分負荷を考慮した場合の間欠空調条件下の年間消費電力量は、例えば東京においては16.1GJと部分負荷を考慮しない場合の14.8GJよりも大きな値となり、全日空調条件の場合とは逆の結果となった。(全日空調で部分負荷考慮した場合：20.0GJ、全日空調で部分負荷考慮しない場合：20.8GJ)。これは間欠空調条件では、立ち上がりおよび単位時間当たりの空調負荷が全日空調に比して大きくなり、結果として効率の比較的低い部分負荷率の運転時間が増えるためである。

以上のことから、より現実的なヒートポンプ能力を考慮した場合には、部分負荷特性を考慮しない場合に比してより効率が上がるが、空調運転方式の違いに起因する熱源容量の選定にも注意を払う必要があると言えよう。

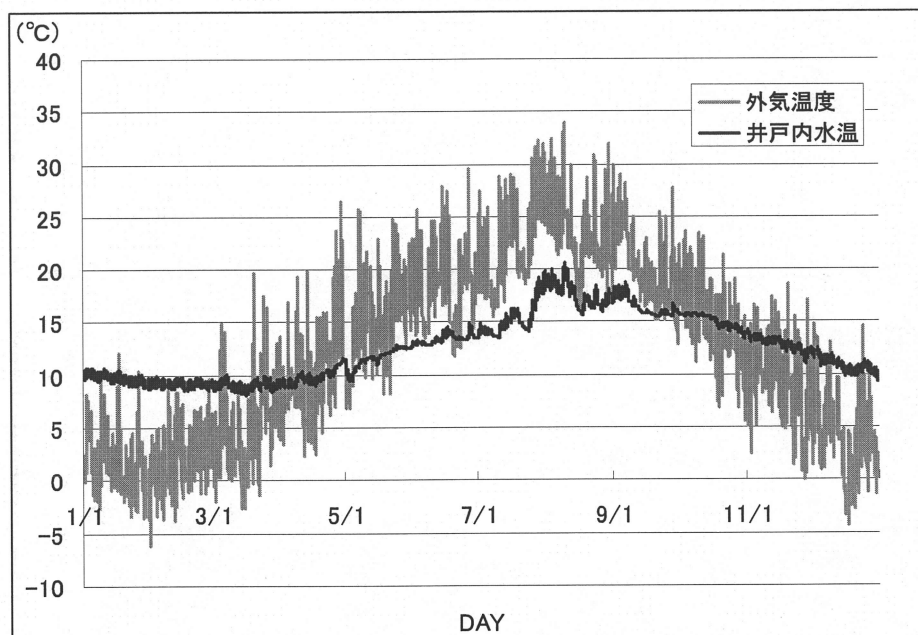


図 6-7 部分負荷特性を考慮した場合の蓄熱井戸内水温および外気温度（仙台）



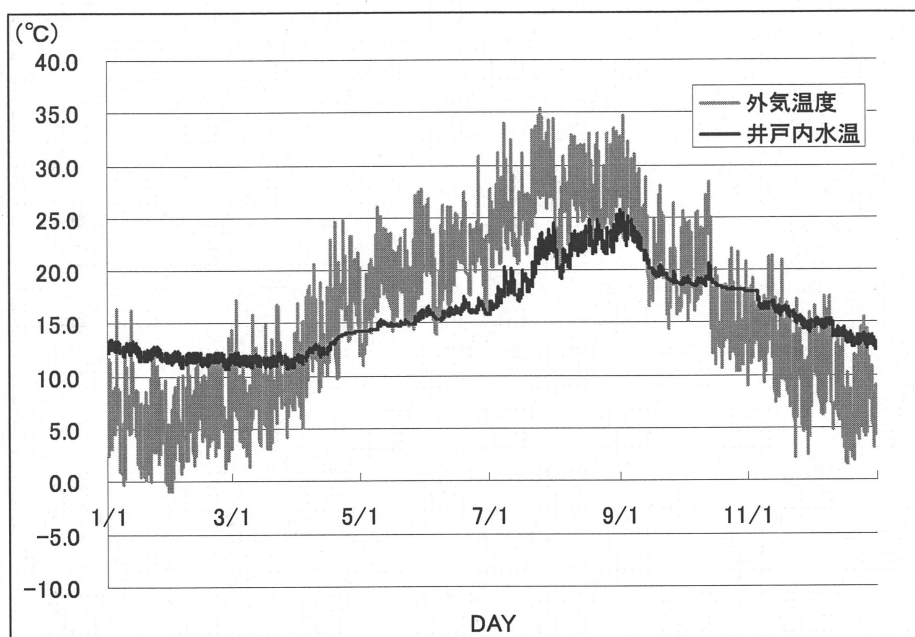


図 6-8 部分負荷特性を考慮した場合の蓄熱井戸内水温および外気温度（東京）

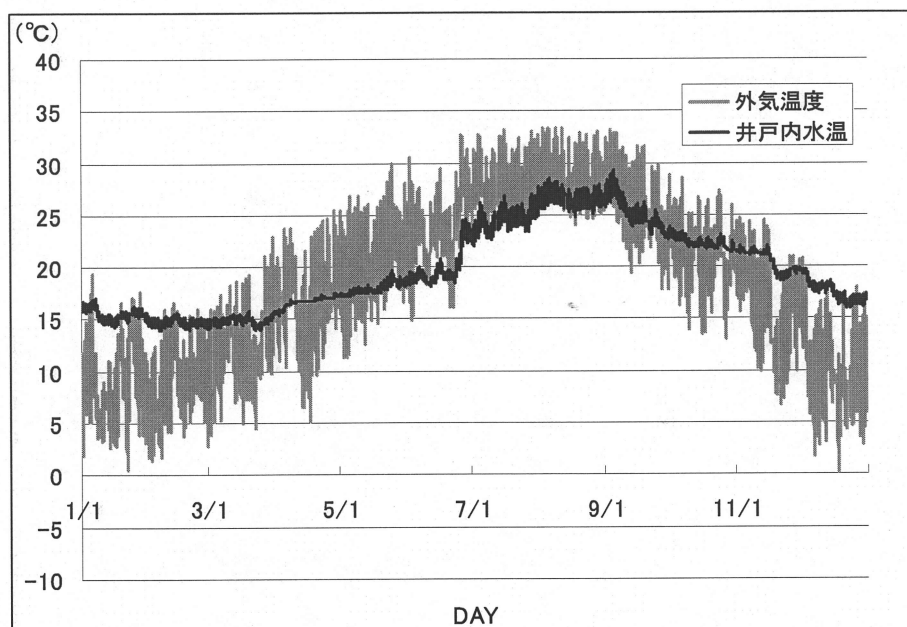


図 6-9 部分負荷特性を考慮した場合の蓄熱井戸内水温および外気温度（鹿児島）

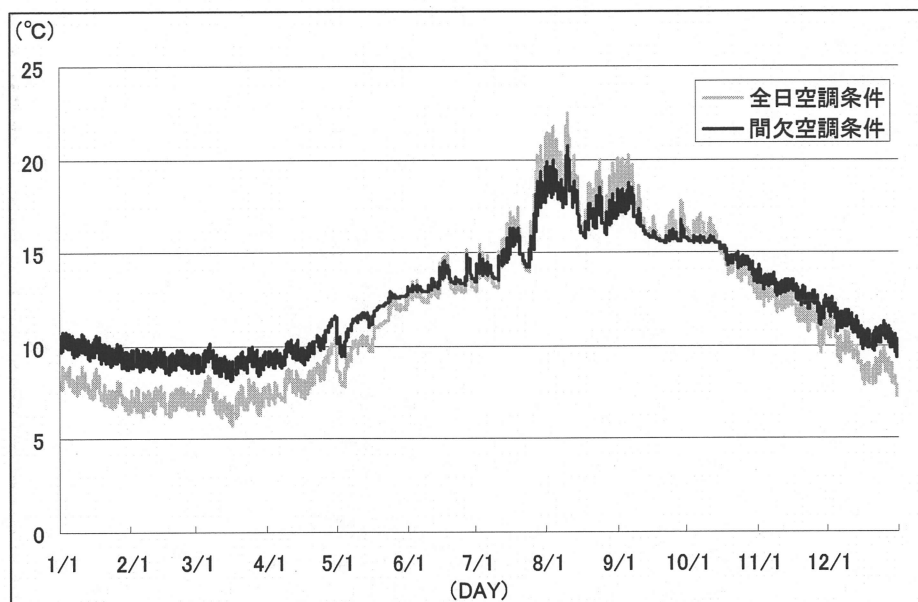


図 6-10 部分負荷特性を考慮した場合の間欠空調条件および全日空調条件における蓄熱井戸内水温（仙台）

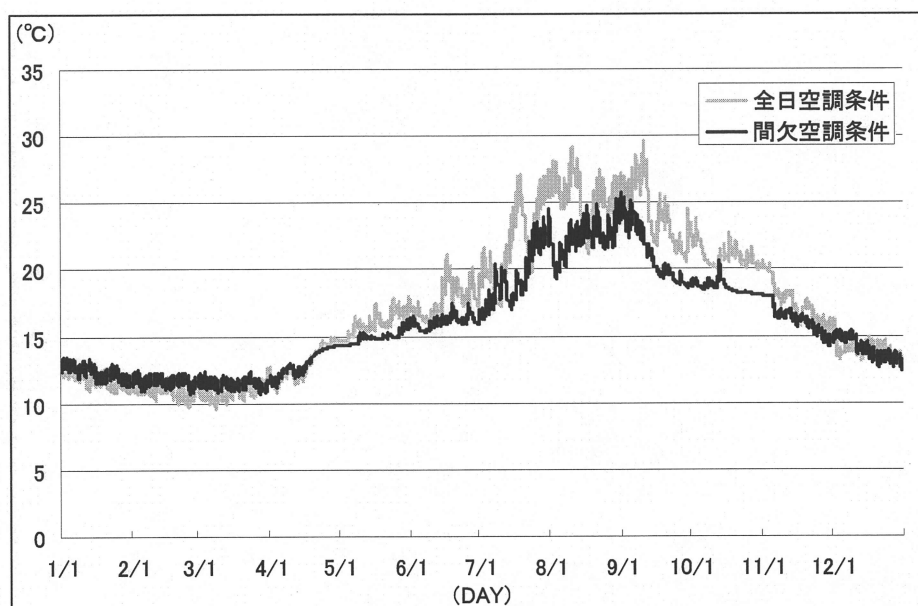


図 6-11 部分負荷特性を考慮した場合の間欠空調条件および全日空調条件における蓄熱井戸内水温（東京）



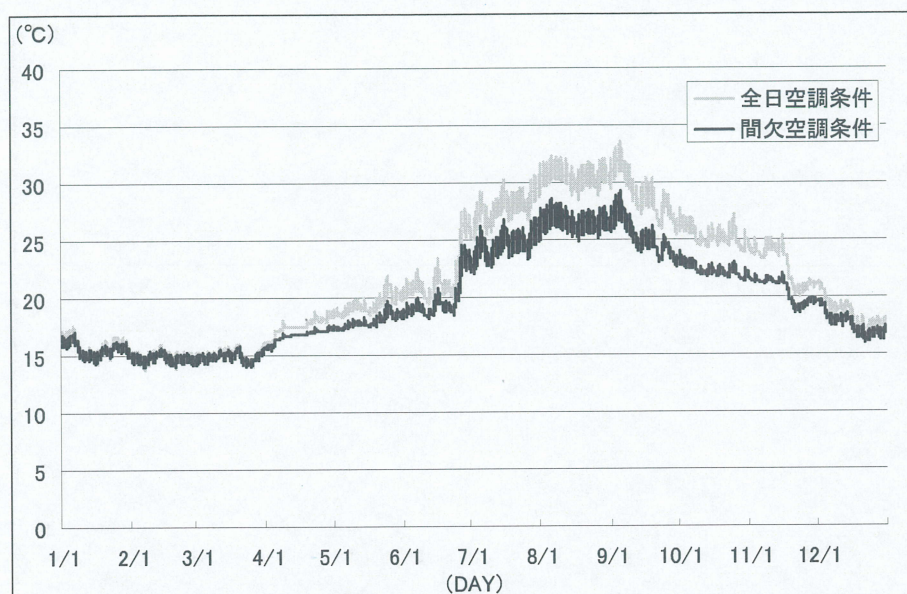


図 6-12 部分負荷特性を考慮した場合の間欠空調条件および  
全日空調条件における蓄熱井戸内水温（鹿児島）

表 6-3 間欠空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の採・放熱量

地域区分	地域	採熱量	放熱量	年間
Ⅲ	仙台	-23.84	7.89	-15.94
Ⅳ	新潟	-25.35	12.37	-12.98
Ⅳ	金沢	-23.47	14.57	-8.90
Ⅳ	東京	-19.47	16.56	-2.90
Ⅳ	横浜	-18.52	16.33	-2.19
Ⅳ	名古屋	-20.34	18.33	-2.00
Ⅳ	津	-19.61	18.85	-0.76
Ⅳ	大阪	-19.22	22.56	3.34
Ⅳ	広島	-19.49	22.25	2.76
Ⅳ	福岡	-17.77	21.81	4.05
Ⅴ	高知	-16.98	20.91	3.93
Ⅴ	鹿児島	-13.85	27.38	13.53



表 6-4 間欠空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の消費電力量

地域区分	地域	期間	消費電力量(GJ)		省エネ効果	APF	
			土壌熱源	空気熱源		土壌熱源	空気熱源
Ⅲ	仙台	暖房	18.36	21.90	16.1%	2.30	1.93
		冷房	1.47	1.93	23.9%	4.36	3.32
		年間	19.84	23.83	16.8%	2.45	2.04
Ⅳ	新潟	暖房	21.75	24.46	11.1%	2.17	1.93
		冷房	2.36	3.19	25.9%	4.23	3.14
		年間	24.11	27.65	12.8%	2.37	2.07
Ⅳ	金沢	暖房	18.11	21.30	15.0%	2.30	1.95
		冷房	3.04	4.09	25.6%	3.79	2.82
		年間	21.15	25.39	16.7%	2.51	2.09
Ⅳ	東京	暖房	12.47	15.36	18.8%	2.56	2.08
		冷房	3.67	4.58	19.9%	3.51	2.81
		年間	16.14	19.94	19.1%	2.78	2.25
Ⅳ	横浜	暖房	12.15	14.95	18.7%	2.52	2.05
		冷房	3.57	4.35	17.9%	3.57	2.93
		年間	15.72	19.30	18.5%	2.76	2.25
Ⅳ	名古屋	暖房	14.21	17.22	17.5%	2.43	2.01
		冷房	4.02	4.96	18.9%	3.56	2.89
		年間	18.23	22.18	17.8%	2.68	2.20
Ⅳ	津	暖房	12.47	15.42	19.1%	2.57	2.08
		冷房	4.31	5.29	18.5%	3.37	2.75
		年間	16.79	20.71	19.0%	2.78	2.25
Ⅳ	大阪	暖房	11.69	14.82	21.1%	2.64	2.09
		冷房	5.55	6.44	14.0%	3.07	2.64
		年間	17.23	21.26	18.9%	2.78	2.25
Ⅳ	広島	暖房	12.75	15.73	18.9%	2.53	2.05
		冷房	5.41	6.39	15.4%	3.11	2.63
		年間	18.16	22.12	17.9%	2.70	2.22
Ⅳ	福岡	暖房	10.81	13.32	18.9%	2.64	2.14
		冷房	5.47	6.34	13.7%	2.99	2.58
		年間	16.28	19.67	17.2%	2.76	2.28
Ⅴ	高知	暖房	11.28	13.32	15.3%	2.51	2.12
		冷房	4.82	5.74	16.0%	3.34	2.81
		年間	16.10	19.05	15.5%	2.76	2.33
Ⅴ	鹿児島	暖房	7.69	9.69	20.6%	2.80	2.22
		冷房	6.94	7.67	9.5%	2.94	2.67
		年間	14.63	17.36	15.7%	2.87	2.42



### 6-2-3 間欠空調条件における経年変化の検討

次に、間欠空調条件における各地域の経年変化を示す。前章と同様に各地域区分の代表都市として仙台（Ⅲ地域）・東京（Ⅳ地域）・鹿児島（Ⅴ地域）のみ経年結果を比較するものとする。表 6-5・6 に仙台・東京・鹿児島において、間欠空調条件の部分負荷特性を考慮しない場合および考慮する場合の、仮に同じ冷暖房負荷が 10 年間続いた場合における 3・5・10 年目の消費電力量および年間 APF の経年変化を示す。表 6-5・6 より、全日空調条件と同様に間欠空調条件においても東京および鹿児島は、10 年目の APF は 3 年目に対して、約 1.0%以下の低下であった。一方、仙台においては、冬季の地盤からの採熱量が、夏期の地盤への放熱量に比して、かなり大きいため、経過年数と共に、地盤温度の低下率が大きい、10 年目の APF においても 3 年目に対して、約 2.4%の低下であった。よって、仮に同じ冷暖房負荷が続いた場合、間欠空調条件時においても、10 年経過後、本システムの能力の低下はわずかであった。

表 6-5 部分負荷特性を考慮しない場合の仙台・東京・鹿児島における経年変化

		3年目	5年目	10年目
仙台	暖房期間	15.81	15.98	16.07
	冷房期間	1.46	1.44	1.43
	年間	17.27	17.41	17.50
	APF	2.82	2.79	2.78
東京	暖房期間	11.50	11.52	11.54
	冷房期間	3.29	3.29	3.30
	年間	14.79	14.81	14.84
	APF	3.03	3.03	3.02
鹿児島	暖房期間	7.43	7.39	7.38
	冷房期間	5.69	5.75	5.77
	年間	13.12	13.14	13.15
	APF	3.20	3.19	3.19

表 6-6 部分負荷特性を考慮した場合の仙台・東京・鹿児島における経年変化

		3年目	5年目	10年目
仙台	暖房期間	18.36	18.70	18.87
	冷房期間	1.47	1.45	1.45
	年間	19.84	20.15	20.32
	APF	2.45	2.41	2.39
東京	暖房期間	12.47	12.50	12.53
	冷房期間	3.67	3.68	3.69
	年間	16.14	16.18	16.22
	APF	2.78	2.77	2.76
鹿児島	暖房期間	7.69	7.62	7.59
	冷房期間	6.94	7.05	7.10
	年間	14.63	14.67	14.69
	APF	2.87	2.86	2.86



### 6-3 間欠空調条件における大気環境負荷低減効果の検討

前節と同様に、蓄熱井戸の本数を6本とした場合の年間全室間欠空調条件時に、大気環境への熱負荷低減効果を検討する。

#### 6-3-1 部分負荷特性を考慮しない場合の大気環境負荷低減効果の検討

まず、部分負荷特性を考慮しない場合について検討を行う。

表6-7に間欠空調条件における部分負荷を考慮しない場合の各地域の大気環境負荷を示す。なお、表中には外気熱源を利用した時の大気環境への負荷、および外気熱源を利用した時の大気環境負荷に対する本システムの大気環境への負荷削減率を示す。表6-7より、全日空調条件の場合と同様に、仙台においては、蓄熱井戸への年間積算放採熱量の内、放熱量より採熱量の方が、かなり大きい値となり、部分負荷特性を考慮しない場合には、大気への環境負荷が外気熱源の約1.6倍となる。一方、鹿児島の間欠空調条件においては、蓄熱井戸への年間積算放採熱量の内、夏期の放熱量が冬期の採熱量に比して、かなり大きな値となり、大気への環境負荷が外気熱源に比して、約7割低減することができる。また、部分負荷特性を考慮しない場合、IV地域の東京・横浜・名古屋・津の4つの地域においては、放採熱量の内、採熱量の割合が若干大きくなるため、大気環境負荷が外気熱源に比してわずかに大きくなる。

#### 6-3-2 部分負荷特性を考慮した場合の大気環境負荷低減効果の検討

表6-8に部分負荷を考慮した場合の各地域の大気環境負荷、外気熱源を利用した時の大気環境への負荷、および外気熱源を利用した時の大気環境負荷に対する本システムの大気環境への負荷削減率を示す。表6-8より、全日空調条件の場合と同様に、仙台においては、蓄熱井戸への年間積算放採熱量の内、放熱量より採熱量の方が、かなり大きい値となり、部分負荷を考慮した場合、大気への環境負荷が外気熱源の約1.24倍となる。部分負荷特性を考慮した場合、全日空調条件と同様に暖房積算負荷の大きい仙台・新潟・金沢においては外気熱源に比して、大気環境負荷が大きくなる。一方、鹿児島の間欠空調条件においては、蓄熱井戸への年間積算放採熱量の内、夏期の放熱量が冬期の採熱量に比して、かなり大きな値となり、大気への環境負荷が外気熱源に比して部分負荷特性の考慮の有無に関らず約7割低減し、大幅に大気への環境負荷を低減できる。また、部分負荷特性を考慮しない場合、東京・横浜・名古屋・津においては、大気環境負荷が外気熱源に比して大きくなっていたが、部分負荷特性を考慮した場合は外気熱源に比して小さくなっている。すなわち、外気熱源を使用する場合、部分負荷特性を考慮すると、外気温度の影響により、部分負荷率が高い状態で運転するため、部分負荷を考慮しない場合に比して、消費電力量が大きくなり、大気環境負荷が増大する。



表 6-7 間欠空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合の消費電力量

地域区分	地域	大気環境負荷(GJ)				空気熱源に 対する削減率
		土壌熱源の場合			空気熱源の 場合	
		土壌熱源	地表面	TOTAL		
Ⅲ	仙台	35.78	-5.46	30.32	19.23	-57.7%
Ⅳ	新潟	37.09	-6.18	30.91	22.05	-40.2%
Ⅳ	金沢	30.04	-3.15	26.89	20.10	-33.8%
Ⅳ	東京	19.04	-	19.04	16.45	-15.8%
Ⅳ	横浜	17.91	-	17.91	15.74	-13.8%
Ⅳ	名古屋	20.24	-	20.24	18.16	-11.4%
Ⅳ	津	17.55	-	17.55	16.67	-5.3%
Ⅳ	大阪	13.89	-	13.89	17.36	20.0%
Ⅳ	広島	15.40	-	15.40	17.95	14.2%
Ⅳ	福岡	12.24	-	12.24	16.07	23.8%
Ⅴ	高知	12.17	-	12.17	16.13	24.6%
Ⅴ	鹿児島	1.10	2.78	3.88	14.46	73.2%



表 6-8 間欠空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の消費電力量

地域区分	地域	大気環境負荷(GJ)				空気熱源に 対する削減率
		土壌熱源の場合			空気熱源の 場合	
		土壌熱源	地表面	TOTAL		
Ⅲ	仙台	35.78	-6.22	29.56	23.83	-24.0%
Ⅳ	新潟	37.09	-4.75	32.33	27.65	-16.9%
Ⅳ	金沢	30.04	-2.38	27.67	25.39	-9.0%
Ⅳ	東京	19.04	-	19.04	19.94	4.5%
Ⅳ	横浜	17.91	-	17.91	19.30	7.2%
Ⅳ	名古屋	20.24	-	20.24	22.18	8.8%
Ⅳ	津	17.55	-	17.55	20.71	15.3%
Ⅳ	大阪	13.89	-	13.89	21.26	34.7%
Ⅳ	広島	15.40	-	15.40	22.12	30.4%
Ⅳ	福岡	12.24	-	12.24	19.67	37.8%
Ⅴ	高知	12.17	-	12.17	19.05	36.2%
Ⅴ	鹿児島	1.10	3.33	4.43	17.36	74.4%



## 6-3-3 本システムの大気環境負荷低減効果のまとめ

次に、前章の結果と共に大気環境負荷低減効果をまとめる。なお、省エネ効果は、全日・間欠空調の有無、部分負荷特性の考慮の有無に関らず、各地域において効果的であったため、表6-9に全日および間欠空調条件における、部分負荷特性を考慮する場合およびしない場合の各地域の大気環境負荷低減効果の有無を示す。表6-9より、仙台・新潟・金沢の3つの地域は他の地域に比して寒冷な地域であり、いずれの条件においても、大気環境負荷が外気熱源ヒートポンプを使用した場合に比して、大きくなる。また、間欠空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合は、上記の3つの地域に加え、東京・横浜・名古屋・津（すべてIV地域）の4つの地域においても、土壌熱源の大気環境負荷が外気熱源に比して、大きくなる。これは、間欠空調条件における部分負荷特性を考慮しない場合、外気熱源を使用すると、外気温度の影響により、部分負荷率が高い状態で運転し、部分負荷特性を考慮しない場合に比して、消費電力量が大きくなるためである。その他の温暖なIV地域およびV地域においては、いずれの条件においても、本システムを利用した場合の大気環境負荷が、外気熱源を使用した場合に比して、小さくなる。なお、最も大気環境負荷低減効果が大きかった地域は、蓄熱井戸への放熱量が採熱量に比してかなり大きい鹿児島であり、全日空調条件においては約9割、間欠空調条件においても約7割削減することができる。

以上のことから、本システム利用に当たっては、地域負荷特性を見極めることが重要であることが判る。また、部分負荷特性の考慮の有無によっても本システムの有効性が変化する。

表6-9 全日および間欠空調条件における、部分負荷特性を考慮する場合および考慮しない場合の各地域の大気環境負荷低減効果の有無

地域区分	地域	全日空調条件		間欠空調条件	
		部分負荷特性の有無		部分負荷特性の有無	
		有	無	有	無
Ⅲ	仙台	×	×	×	×
Ⅳ	新潟	×	×	×	×
Ⅳ	金沢	×	×	×	×
Ⅳ	東京	○	○	○	×
Ⅳ	横浜	○	○	○	×
Ⅳ	名古屋	○	○	○	×
Ⅳ	津	○	○	○	×
Ⅳ	大阪	○	○	○	○
Ⅳ	広島	○	○	○	○
Ⅳ	福岡	○	○	○	○
V	高知	○	○	○	○
V	鹿児島	○	○	○	○



#### 6-4 第6章まとめ

第6章では、間欠空調条件における標準的な敷地面積に対して設置可能な蓄熱井戸を想定し、その省エネ性および大気環境負荷低減効果の検討を行った。

その結果、間欠空調条件において部分負荷特性を考慮しない場合は約8.5～11.5%であった。また、部分負荷特性を考慮した場合は、15.5～19.1%の省エネ効果となった。

高知・名古屋・仙台の間欠空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の省エネ効果は、全日空調条件における部分負荷率を考慮した場合に比して、低くなっている。それ以外の地域では、部分負荷特性を考慮した場合、間欠空調条件における省エネ効果は、全日空調条件に比して、大きくなる。以上のことから、より現実的なヒートポンプ能力を考慮した場合には、部分負荷特性を考慮しない場合に比してより効率が高くなるが、空調運転方式の違いに起因する熱源容量の選定にも注意を払う必要があると言えよう。

大気環境への熱負荷低減効果については、仙台・新潟・金沢においては、蓄熱井戸への年間積算放熱量の内、放熱量より採熱量の方が、かなり大きい値となり、大気への環境負荷が外気熱源に比して大きくなる。一方、鹿児島においては、蓄熱井戸への年間積算放熱量の内、夏期の放熱量が冬期の採熱量に比して、かなり大きな値となり、大気への環境負荷が外気熱源に比して部分負荷特性の考慮の有無に関らず約7割程度低減することができ、全日空調条件と同様に大幅に大気への環境負荷を低減できる。また、間欠空調において部分負荷特性を考慮しない場合、IV地域の東京・横浜・名古屋・津においては、大気環境負荷が外気熱源に比して大きくなる。

第7章では、水熱源ヒートポンプの容量を変更した場合について、本章まで使用したヒートポンプとの比較検討を行う。

## 第7章

# ヒートポンプの 容量変更した場合の検討



## 第7章 ヒートポンプの容量変更した場合の検討

## 7-1 はじめに

前章までは、水熱源ヒートポンプの容量を、6.0kW のヒートポンプを使用してきたが、本章では、2.8kW の水熱源ヒートポンプを2台使用し、低負荷時には2.8kW の水熱源ヒートポンプを1台のみの運転、部分負荷率が1以上の場合は2台で運転する方式の本システムの特性を示す。なお、この章では、代表都市として東京のみで検討する。

## 7-2 ヒートポンプの概要

本章で使用するヒートポンプは 日本ピーマック容量 2.8kW (WTP28DA) を使用し、以下にヒートポンプの能力を示す。なお、部分負荷特性については、前章までと同様の特性とし、第4章の図4-1・2に示す。

暖房期間：

$$\begin{aligned} COP_h &= (-0.00002T^3 - 0.0023T^2 + 0.0995T + 2.0171) \\ &\times (0.04652A^4 - 0.1395A^3 - 0.1044A^2 + 0.2476A + 0.9664) \\ A &= Q / (-1.4286T^2 + 167.14T + 3285.7) \end{aligned}$$

冷房期間：

$$\begin{aligned} COP_c &= (-0.0000005T^3 + 0.0003T^2 - 0.0991T + 5.9465) \\ &\times (0.8261B^3 - 2.787B^2 + 2.223B + 0.7275) \\ B &= Q / (-0.4053T^2 + 37.862T + 7839.3) \end{aligned}$$

$T$ : 井戸内水温 (°C)

$Q$ : 処理熱量 (W)

$A$ : 暖房時部分負荷率(-)

$B$ : 冷房時部分負荷率(-)

## 7-3 容量 2.8kW のヒートポンプ 2 台使用した場合の COP 日変動の検討

本章では、第 5・6 章と同様に、住宅が 50~60 坪程度(165~198 m<sup>2</sup>)の敷地に建設されているものとし、本敷地に 6 本の蓄熱井戸が埋設されている場合を想定した。本章では地域を東京に設定し、全日空調条件および間欠空調条件における部分負荷特性を考慮した場合について検討を行う。

図 7-1 に容量 2.8kW のヒートポンプを 2 台使用した場合の全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の暖房 COP 日変動(3 月 1 日)を、図 7-2 に冷房 COP 日変動(8 月 1 日)を示す。なお、図中には、容量 6.0kW のヒートポンプを 1 台使用した場合の COP、および住宅の熱負荷(絶対値)を示す。

図 7-1 より、3 月 1 日において、14 時前後の住宅熱負荷が小さい時間帯は、2.8kW のヒートポンプ 1 台のみで運転しており、6.0 kW 1 台で運転している場合に比して、COP が高くなっている。一方、夜間の住宅熱負荷が大きく、容量 2.8kW のヒートポンプ 2 台で運転している場合においても、6.0 kW 1 台で運転している場合に比して、COP が大きな値となっている。これは、ヒートポンプの容量においては容量 2.8kW を 2 台使用する場合は、6.0kW のヒートポンプ 1 台を使用した場合に比して小さくなるが、同じ水温の場合は、容量の小さな 2.8kW 2 台のヒートポンプは 6.0kW 1 台に比して、COP が高くなるためである。また、低負荷時には 2.8 kW のヒートポンプ 1 台で運転することにより、容量 6.0kW を使用した場合に比して、高い COP で運転している。

一方、図 7-2 より、冷房期間である 8 月 1 日において、夜間の住宅熱負荷が小さな時間帯では、容量 2.8kW のヒートポンプ 1 台のみで運転しており、容量 6.0 kW のヒートポンプ 1 台で運転している場合に比して、COP が大きな値となっている。しかしながら、日中の冷房負荷が大きな時間帯においては、容量 6.0 kW のヒートポンプ 1 台で運転している場合が、2.8kW 2 台で運転している場合に比して、COP が大きな値となっている。これは、低負荷時には、容量 2.8 kW のヒートポンプ 1 台で運転することにより、高い COP で運転しているが、容量 6.0 kW のヒートポンプ 1 台は、容量 2.8kW のヒートポンプ 2 台に比して容量が大きいためである。また、本章および第 4 章の冷房時のヒートポンプの能力より、容量 6.0 kW のヒートポンプは、容量 2.8 kW のヒートポンプに比して、水温による COP の変動が大きくなる。



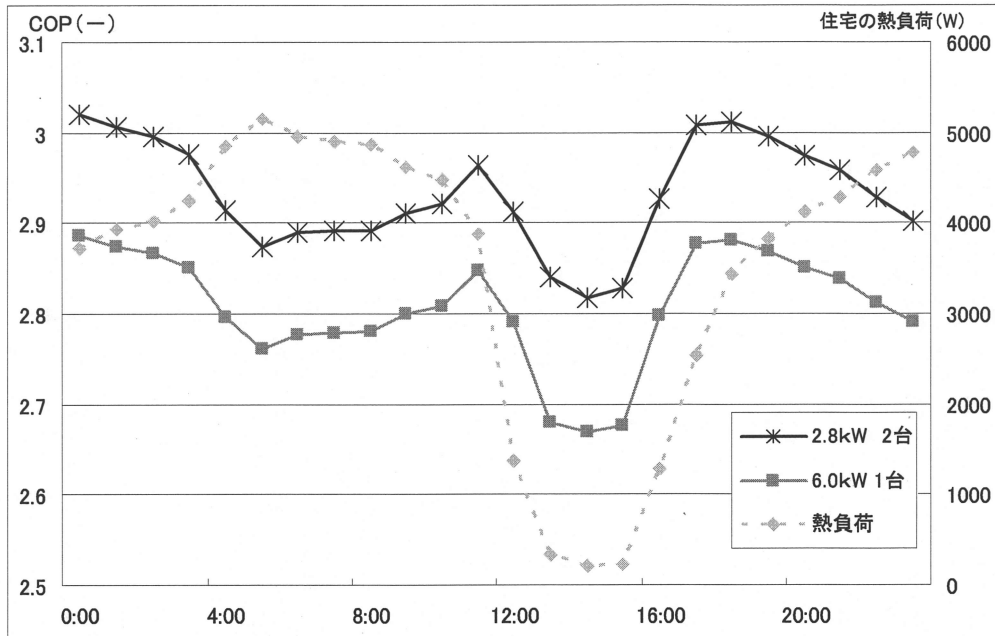


図 7-1 全日空調条件における暖房期間の COP 日変動 (3 月 1 日)

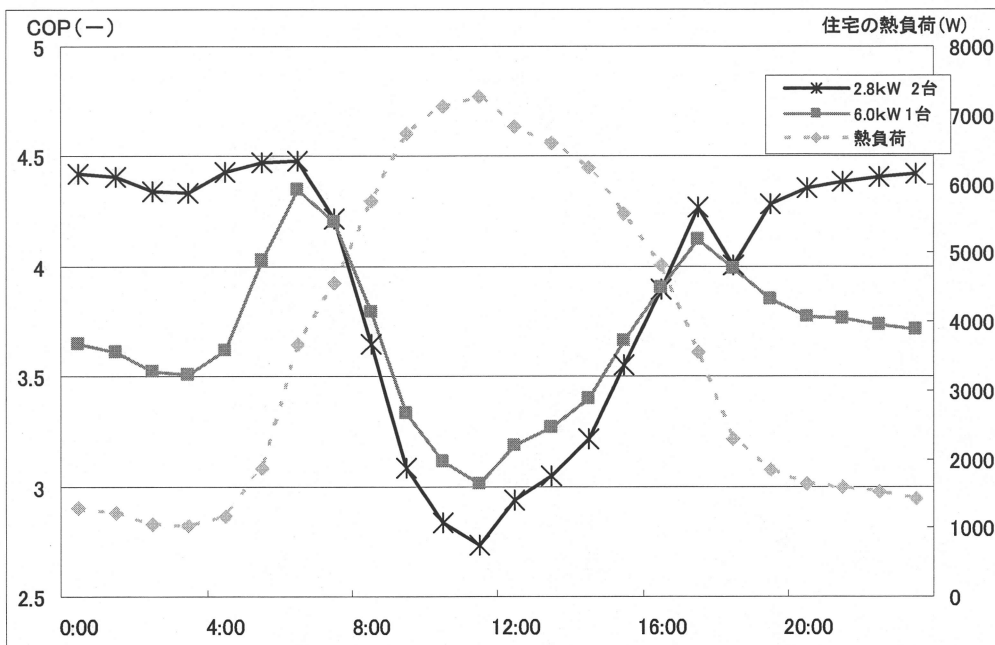


図 7-2 全日空調条件における冷房期間の COP 日変動 (8 月 1 日)

## 7-4 標準的な敷地規模による消費電力量の検討

次に、表 7-1 に地域を東京に設定した場合の全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の容量 2.8kW 水熱源ヒートポンプを 2 台使用した場合の蓄熱井戸への採・放熱量・消費電力量および本水熱源ヒートポンプと同じ能力特性を想定した空気熱源ヒートポンプによる年間消費電力を示す。なお、表中には、前章までに使用した機器容量 6.0kW のヒートポンプを 1 台使用した場合についても同様の項目を示す。

表 7-1 より、機器容量 2.8kW のヒートポンプを 2 台使用した場合は、年間の省エネルギー量が 19.51GJ であり、機器容量 6.0kW のヒートポンプを使用した場合に比して、約 0.53GJ 小さくなっている。暖房期間の消費電力は、容量 2.8kW のヒートポンプを使用した場合には、13.59GJ であり、容量 6.0kW のヒートポンプを使用した場合に比して、0.64GJ 小さくなっている。これは、容量 2.8kW のヒートポンプを 2 台使用した場合のヒートポンプの容量は、6.0kW のヒートポンプ 1 台を使用した場合に比して小さいが、前節で示した様に、容量が小さい 2.8kW のヒートポンプは、容量の大きい 6.0kW のヒートポンプに比して、COP が高いため、部分負荷率が 1 以上の時間帯においても、容量 6.0kW のヒートポンプに比して COP が高くなるためである。また、低負荷時には 2.8kW 1 台で運転することにより、高効率で運転することができる。

一方、冷房積算消費電力量においては、容量 2.8kW のヒートポンプを使用した場合は 5.93GJ であり、容量 6.0kW のヒートポンプを使用した場合に比して、0.11GJ 大きくなっている。前節に示す様に、低負荷時には、容量 2.8kW のヒートポンプは容量 6.0kW のヒートポンプを使用した場合に比して COP が高くなっているが、熱負荷が大きな時間帯には容量 6.0kW のヒートポンプ 1 台は容量 2.8kW のヒートポンプ 2 台を使用した場合に比して COP が大きくなっている。以上のことから、熱負荷が大きな時間帯において、容量 2.8kW のヒートポンプを使用した場合は容量 6.0kW のヒートポンプを使用した場合に比して COP が低くなってしまうため、冷房期間においては、容量 2.8kW のヒートポンプで運転した場合は、容量 6.0kW のヒートポンプを使用した場合に比して、若干ではあるが消費電力量が大きくなる。

したがって、機器容量 2.8kW のヒートポンプを 2 台使用した場合は、年間の消費電力量が若干ではあるが小さくなる。しかしながら、機器容量 2.8kW のヒートポンプを 2 台使用した場合においても、容量 6.0kW のヒートポンプを使用した場合に比して、本システムの有効性に大きな差はみられなかった。

次に、表 7-2 に間欠空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の容量 2.8kW の水熱源ヒートポンプを 2 台使用した場合の蓄熱井戸への採・放熱量および消費電力量を示す。なお、表中には、全日空調条件と同様に容量 6.0kW のヒートポンプを 1 台使用した場合についても同様の項目を示す。

暖房期間の消費電力は、2.8kW のヒートポンプを使用した場合には、11.93GJ であり、6.0kW のヒートポンプを使用した場合に比して、0.54GJ 小さくなっている。一方、冷房期



間においては、2.8kW のヒートポンプを使用した場合は 3.99GJ であり、6.0kW のヒートポンプを使用した場合に比して、0.32GJ 大きくなっている。年間の消費電力量は、2.8kW のヒートポンプを使用した場合には、15.92GJ であり、6.0kW のヒートポンプを使用した場合に比して、0.22GJ 小さくなっている。したがって、間欠空調条件においても、全日空調条件と同様に、機器容量 2.8kW のヒートポンプを 2 台使用した場合は、年間の消費電力量が若干ではあるが小さくなるが、容量 6.0kW のヒートポンプを使用した場合に対して本システムの有効性に大きな差はみられなかった。

表 7-1 全日空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の容量 2.8kW のヒートポンプ 2 台および 6.0kW のヒートポンプ 1 台を使用した場合の消費電力量

	2.8kW 2台 (GJ)			6.0kW 1台 (GJ)		
	土壌熱源	外気熱源	省エネ効果	土壌熱源	外気熱源	省エネ効果
暖房期間	13.59	16.32	16.74%	14.23	16.24	12.38%
冷房期間	5.93	6.43	7.77%	5.82	6.34	8.25%
合計	19.51	22.75	14.21%	20.04	22.58	11.22%
APF	3.23	2.77	—	3.15	2.79	—

表 7-2 間欠空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の容量 2.8kW のヒートポンプ 2 台および 6.0kW のヒートポンプ 1 台を使用した場合の消費電力量

	2.8kW 2台 (GJ)			6.0kW 1台 (GJ)		
	土壌熱源	外気熱源	省エネ率	土壌熱源	外気熱源	省エネ率
暖房期間	11.93	15.67	23.90%	12.47	15.36	18.82%
冷房期間	3.99	4.74	15.80%	3.67	4.58	19.90%
合計	15.92	20.41	22.02%	16.14	19.94	19.07%
APF	2.82	2.20	—	2.78	2.25	—

### 7-5 第7章まとめ

第7章では、東京において容量 **2.8kW** の水熱源ヒートポンプを **2** 台使用し、低負荷時には **2.8kW** の水熱源ヒートポンプを **1** 台のみ使用し、部分負荷率が **1** 以上の場合は **2** 台で運転する方式とした場合の本システムの特性を示した。その結果、全日および間欠空調条件において、暖房期間においての **2.8kW** の水熱源ヒートポンプ **2** 台使用した場合の消費電力量は、**6.0kW** のヒートポンプを使用した場合に比して小さくなるが、冷房期間においては、**2.8kW** の水熱源ヒートポンプ **2** 台使用した場合の消費電力量は、**6.0kW** のヒートポンプを使用した場合に比して若干大きくなる。年間の消費電力量は機器容量 **2.8kW** を **2** 台使用した場合は、若干ではあるが消費電力量は小さくなるが、容量 **6.0kW** のヒートポンプを使用した場合に対して本システムの有効性に大きな差はみられなかった。



## 第8章

## 結論

## 第8章 結論

本研究では、全国各地域において、高気密高断熱住宅の熱損失係数を各地域の次世代省エネルギー基準値に設定し、年間全室全日空調および間欠空調条件において、蓄熱井戸を用いた土壌熱源ヒートポンプを使用した場合をシミュレーションによりシステム性能、省エネ性および大気環境負荷低減効果を検討し、高気密高断熱戸建住宅における本システムの適用可能性の検討を行った。以下にその結果をまとめる。

第1章では、本章においては、本研究の目的を述べ、本研究で取り扱うシミュレーションのレビューを行った。

第2章では、本論のシミュレーションに用いる蓄熱井戸を用いた土壌熱源ヒートポンプの装置概要、蓄熱井戸の性質、境界条件を示した。

第3章では、シミュレーションに用いる外界気象、モデル住宅、SMASHを用いて算出した住宅の熱負荷を示した。その結果、仙台・新潟・金沢においては他の地域に比して、暖房負荷の割合が大きく、鹿児島においては他の地域に比して、冷房負荷の割合が大きいことを示した。また、各地域において間欠空調条件は全日空調条件に対し、空調時間では35%程度となっているが、年間冷暖房積算負荷においては71~73%であった。

第4章では、第2章、3章で示した本システムの概要、各地域の外界気象、モデル住宅、およびSMASHにより算出した住宅の冷暖房負荷を使用し、蓄熱井戸を用いた土壌熱源ヒートポンプにおける蓄熱井戸最低必要本数を示した。その結果、Ⅲ地域の仙台および、Ⅳ地域の新潟・金沢においては、他のⅣ・Ⅴ地域に比して夏期における冷房積算負荷が小さく、地盤への蓄熱が小さいため井戸内水温が十分に上がらず、冬期における井戸内最低水温が低くなるため、蓄熱井戸の本数が多くなる結果となった。また、Ⅴ地域の鹿児島においては、最低必要本数以下の場合においては、蓄熱井戸内水温が10年間を通して3℃を下回ることはないが、冷房積算負荷の割合が他の地域に比してかなり大きく、夏期における地盤への放熱量が大きく、井戸内水温がかなり高い温度となり、ヒートポンプ適用外温度となる。また、部分負荷特性を考慮した場合は、考慮しない場合に比して、必要最低本数が1本少なくなる。これは、部分負荷特性を考慮した場合、部分負荷率が1以上時はCOP効率が低下するため、冬期の蓄熱井戸からの採熱量が小さくなるためだと考えられる。

間欠空調条件における各地域の蓄熱井戸必要最低本数の地域による井戸内水温特性は全日空調条件と大きな変化は見られなかったが、間欠空調条件は全日空調に比して、年間の冷暖房負荷が小さいため、各地域における蓄熱井戸本数を1本へらすことができると言える。

第5章では、標準的な敷地面積に対して設置可能な蓄熱井戸を想定し、全日空調条件においてその省エネ性および大気環境負荷低減効果の検討を行った。その結果、本システムは外気熱源に比して年間の消費電力量は部分負荷を考慮しない場合の省エネ効果は、約5.7



～10.1%であった。また、部分負荷特性を考慮する場合の省エネ効果は8.8～19%であった。

部分負荷を考慮した場合は、考慮しない場合に比して、年間の消費電力量が若干小さくなる。これは、全日空調の場合、部分負荷率が1以下で空調している時間帯が多く、部分負荷を考慮しない場合に比して、効率の良い運転をしているためである。大気環境への熱負荷低減効果については、仙台・新潟・金沢においては、蓄熱井戸への年間積算放熱量の内、放熱量より採熱量の方が、かなり大きい値となり、大気への環境負荷が外気熱源に比して大きくなった。一方、鹿児島県全日空調条件においては、蓄熱井戸への年間積算放熱量の内、夏期の放熱量が冬期の採熱量に比して、かなり大きな値となり、大気への環境負荷が外気熱源に比して部分負荷特性の考慮の有無に関らず約9割低減することができ、大幅に大気への環境負荷を低減できる。よって、新潟・金沢以外のIV地域およびV地域においては、全日空調条件の場合、部分負荷特性の考慮の有無に関らず、大気環境負荷を低減することができるといえよう。

第6章では、間欠空調条件における標準的な敷地面積に対して設置可能な蓄熱井戸を想定し、その省エネ性および大気環境負荷低減効果の検討を行った。

その結果、間欠空調条件において部分負荷を考慮しない場合は約8.5～11.5%であった。また、部分負荷を考慮した場合は、15.5～19.1%の省エネ効果となった。

高知・名古屋・仙台の間欠空調条件における部分負荷特性を考慮した場合の省エネ効果は、全日空調条件における部分負荷率を考慮した場合に比して、低くなっている。それ以外の地域では、部分負荷特性を考慮した場合、間欠空調条件における省エネ効果は、全日空調条件に比して、大きくなる。以上のことから、より現実的なヒートポンプ能力を考慮した場合には、部分負荷特性を考慮しない場合に比してより効率が高くなるが、空調運転方式の違いに起因する熱源容量の選定にも注意を払う必要があると言えよう。

大気環境への熱負荷低減効果については、仙台・新潟・金沢においては、蓄熱井戸への年間積算放熱量の内、放熱量より採熱量の方が、かなり大きい値となり、大気への環境負荷が外気熱源に比して大きくなる。一方、鹿児島県においては、蓄熱井戸への年間積算放熱量の内、夏期の放熱量が冬期の採熱量に比して、かなり大きな値となり、大気への環境負荷が外気熱源に比して部分負荷特性の考慮の有無に関らず約7割程度低減することができ、全日空調条件と同様に大幅に大気への環境負荷を低減できる。また、間欠空調において部分負荷特性を考慮しない場合、IV地域の東京・横浜・名古屋・津においては、大気環境負荷が外気熱源に比して大きくなる。

第7章では、東京において容量2.8kWの水熱源ヒートポンプを2台使用し、低負荷時には2.8kWの水熱源ヒートポンプを1台のみの運転、部分負荷率が1以上の場合は2台で運転する方式とした場合の本システムの特性を示した。その結果、全日および間欠空調条件において、暖房期間においての2.8kWの水熱源ヒートポンプ2台使用した場合の消費電力量は、6.0kWのヒートポンプを使用した場合に比して小さくなるが、冷房期間においては、2.8kWの水熱源ヒートポンプ2台使用した場合の消費電力量は、6.0kWのヒートポンプを使

用した場合に比して若干大きくなる。年間の消費電力量は機器容量 2.8kW を 2 台使用した場合は、若干ではあるが消費電力量は小さくなるが、容量 6.0kW のヒートポンプを使用した場合に対して本システムの有効性に大きな差はみられなかった。

本研究では、地域を全国 12 都市に設定し、高気密高断熱戸建モデル住宅の熱損失係数を各地域の次世代省エネルギー基準値に設定し、SMASH により、各地域における住宅の冷暖房負荷を算出し、蓄熱井戸を用いた土壌熱源ヒートポンプの高気密高断熱戸建住宅への適用可能性を検討した。本研究で用いた水熱源ヒートポンプは、現在使われている空気熱源ヒートポンプに比して、性能が低くなっている。本システムはヒートポンプの性能により、住宅の冷暖房負荷が同じ場合においても、地盤からの採熱量および地盤への放熱量が変化するため、ヒートポンプの能力によっても本システムの有効性が変化する。よって、今後は、より高いヒートポンプの能力を想定した場合においても、本システムの有効性を検討する必要がある。



参考文献

- [1]永井 久也、長期蓄熱媒体としての地盤の有効利用法に関する研究、博士論文（1996）
- [2]中島 智章 蓄熱井戸を用いた土壌熱源ヒートポンプに関する研究 卒業論文（2008）
- [3] 日本ピーマック <http://www.pmac.co.jp/>
- [4] 財団法人電力中央研究所 研究報告 R06024 （2007.8 月）
- [5] 次世代省エネルギー基準の解説、財団法人 建築環境・省エネルギー機構（2004.6 月）

〔 注 〕

- [注 1] 近年、水熱源ヒートポンプの製造を中止しているメーカーも多く、一般の空気熱源ヒートポンプに比して、性能は低い。
- [注 2] 近年、空気熱源ヒートポンプの性能は極めて向上しているが、ここでは、水熱源ヒートポンプと同等の性能とした。

## 謝辞

この場を借りて、永井研究室において修士論文を執筆するにあたりお世話になった方々に感謝の意を示したいと思います。

学部生、そして大学院生としての三年間、私の指導教員として御指導、御鞭撻賜りました永井久也准教授に厚く御礼申し上げます。論文の進捗状況が遅くご心配をおかけする機会も多かったと思いますが、最後まで辛抱強く見守り、ご指導して下さった事に深く感謝致します。

永井研究室の同期として、三年間を共に過ごした青氏には大変お世話になりました。特に大学院生としての二年間は、研究活動だけに留まらず様々な面でお互い励ましあいながら楽しく過ごす事が出来ました。ここに厚く御礼申し上げます。

最後に、長年にわたり経済的な援助と、暖かい励まし、そして私の学業への理解をくれた家族に深く感謝致します。