九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

空気循環式全館空調システムによる太陽熱利用に関する研究 ： その1 全国6地域における建築計画とシステム概要

隅，裕子
湘南工科大学工学部情報工学科

尾崎，明仁
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門 ： 教授

住吉，大輔
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門 ： 教授

原口，紘一
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻 ： 修士課程

他

https://doi.org/10.15017/1805814

出版情報：都市・建築学研究. 29, pp.65-72, 2016-01-15. Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu University
バージョン：
権利関係：

都市・建築学研究　九州大学大学院人間環境学研究院紀要　第29号，2016年1月
J. of Architecture and Urban Design, Kyushu University, No.29, pp.65～72, January. 2016

空気循環式全館空調システムによる太陽熱利用に関する研究
－その1　全国6地域における建築計画とシステム概要－

Study on Utilization of Solar Heat Energy in Detached House with Central Air Conditioning and Circulation System
－ Part1 Outline of Air Circulation Systems and Plans in Six Regions －

隈　裕子 *1，尾崎明仁 *2，住吉大輔 *2，原口紘一 *3，中池和輝 *4
Yuko KUMA, Akihito OZAKI, Daisuke SUMIYOSHI,
Koichi HARAGUCHI, Kazuki NAKAIKE

In recent years, high insulation and airtightness are in demand for detached houses. Therefore, central air conditioning and circulation systems have been introduced. The utilization of solar heat, as one of the methods to reduce heating and hot water supply load, has attracted attention. In this study, we propose collecting and providing solar heat systems, which combine passive and active heating techniques with central air conditioning and circulation systems. Based on numerical simulation using "THERB for HAM," we clarified the energy-saving effect of this system in six areas whose climate characteristics differ from each other.

Keywords: *Central Air Conditioning System, Air Circulation, Solar Heat Utilization, Passive Method, Heat Load*
全館空調システム，空気循環，太陽熱利用，パッシブ手法，空調負荷

1.　はじめに

住宅の消費エネルギー量削減のためには，エネルギー消費量の約60%を占める[1]暖房・給湯エネルギーの削減が不可欠である。本研究では，太陽熱を利用し暖房・給湯消費エネルギーの50%以上（一次エネルギー換算）を補う太陽熱利用型住宅の開発を目的とし，新たな空調システムの開発とパッシブ・アクティブ手法の組み合わせ，それらの効果的な運用方法の提案を行う。地域を問わず導入可能なシステム構築のため，平成25年1月に公布された住宅・建築物の省エネルギー基準で定められた地域区分から気候特性の異なる6地域を対象として実証実験による検証を行っている。2014年7月から2015年1月にかけては，システムの開発，パッシブ・アクティブ手法の検討，実証住宅の計画・建設を行い，2015年2月からは，各種データの測定を開始している。実測実験で得られるデータおよび数値シミュレーションによる解析を基に，実証住宅の建物性能や暖房・給湯消費エネルギー削減の効果，システムの最適な運用法を明らかにし，本システムが6地域全てで有効に機能するか検証を行うものである。

本報告では，太陽熱利用型住宅の概要として，空気循環式全館空調システム，地域別の建物の計画・性能，採用したパッシブ・アクティブ手法，数値シミュレーションによる暖房・給湯負荷削減効果の検討結果を述べる。

2.　太陽熱利用型住宅

2.1　太陽熱利用型住宅の概要

本研究で提案する太陽熱利用型住宅は，太陽熱集熱システム（部位）を有し，空気循環システムと空調機を併用できる空気循環式全館空調システム住宅である。集熱部位で得られた熱あるいは空調機で温湿度調整された空気を，空気循環システムで建物全体に配分する。冬季は日射取得熱で暖められた空気，夏季は十分な日射遮蔽の確保と放射冷却などで冷やされた空気を建物全体に配分し，暖冷房負荷の低減を図る。次に空気循環式全館空調システムおよび太陽熱集熱システム（実証住宅で採用したパッシブ・アクティブ手法）について述べる。

2.2　空気循環式全館空調システム

図1に，建物断面およびシステムのイメージを示す。小屋裏や居室の一部に空調室を設け，家庭用の

*1 湘南工科大学工学部情報工学科
*2 都市・建築学部門
*3 空間システム専攻修士課程
*4 工学部建築学科

ヒートポンプエアコンを設置する。空調室は建物外皮とは別に断熱したユニットで，換気は全熱交換器とエアフィルターを介して行う。空調室の空気はエアコンで温湿度調整された後，DC モーターファンにより断熱ダクトで各室へ送られる。各室の空気は，押し出される形で廊下や二重壁の通気層を通って空調室に戻り，新鮮空気とミキシングされる。この空気循環システムで，家庭用のエアコン 1 台での全館空調が可能となるだけでなく，大風量の空気循環で建物内の温湿度環境を一様に保つことができる。また，給気・排気を一箇所で行うため，空気質のコントロールも容易になる。送風量は可変（ダクト 1 本あたりの最大風量は 250m3/h，ダクトは 1 棟あたり 10 本程度使用）であり，DC モーターファンを使用することで動力を低く（弱運転で 5W，強運転で 12W 程度）抑えている。

2.3　太陽熱集熱システム

2.3.1　パッシブ手法

実証住宅では，ダイレクトゲイン，ダブルスキン，トロンブウォールの 3 種類のパッシブヒーティング手法を採用している。図 2 にダイレクトゲイン，図 3 にダブルスキン，図 4 にトロンブウォールのイメージを示す。

ダイレクトゲイン

ダイレクトゲインは，日射の期待できる南面の開口を大きく取り，太陽熱を直接，室内に取り入れる手法である。晴天時には多くの熱取得が期待できる反面，取得熱量のコントロールは容易でないため，室温を一定に保つことが難しくオーバーヒートの懸念もある。しかし実証住宅では，ダイレクトゲインで暖められた室内空気を，空気循環システムで他室に循環させることができるため，全取得熱をオーバーヒートさせることなく暖房に使うことができる。

ダブルスキン

ダブルスキンは，一般的には，2 重の外皮（開口）から形成される空間を設け外乱の影響を緩和する手法である。実証住宅では，バルコニーや居室の一部をダブルスキン空間とし，外乱の影響を緩和させるだけでなく，冬季には太陽熱の集熱部位，夏季には放熱部位や日射遮蔽（外気側を解放することで庇や袖壁となる）として使用する。本システムでは，ダブルスキン部の空気循環は独立させ，空気温度による ON/OFF 自動制御を可能としている。そのため，例えばダブルスキン空間の空気温度が任意の設定温度を上回る時間帯のみ空気循環をし，太陽熱で暖められた空気を室内に取り入れる運転ができる。ダブルスキン空間もダイレクトゲイン同様，冬季にオーバーヒートの懸念があるが，空気循環システムと併用することでこれを抑制し全取得熱を暖房に使うことができる。

トロンブウォール

トロンブウォールは，一般的には，ガラスとその室内側に置いた熱容量の大きな壁の間で集熱を行う手法である。実証住宅では，構造上の制限などで開口を設けることのできない壁面を利用しトロンブウォールを設けている。冬季は，日中，日射を受け高温となった蓄熱壁からの放射熱や，ガラスと蓄

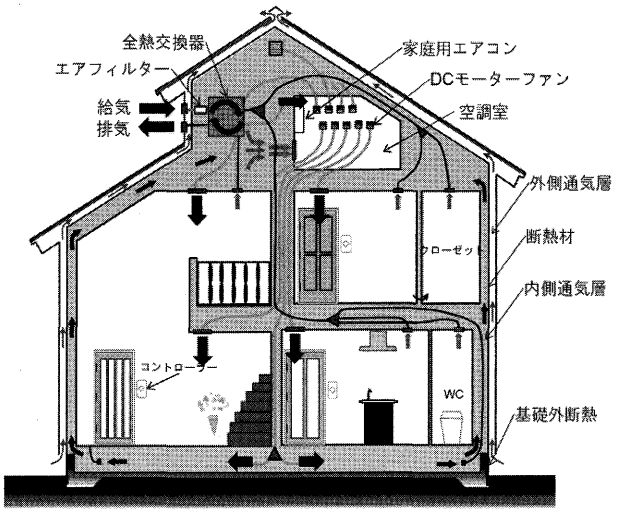


図 1　空気循環式全館空調システムのイメージ

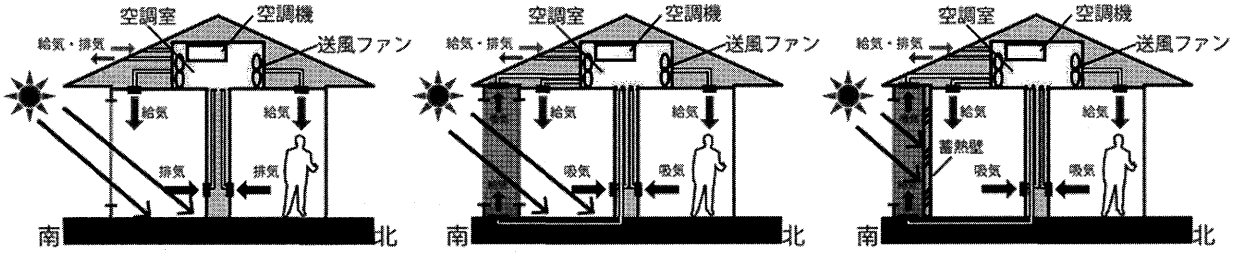


図 2　ダイレクトゲイン　　図 3　ダブルスキン　　図 4　トロンブウォール

図 2～4　パッシブヒーティング手法のイメージ

熱壁間で暖められた空気を利用する。トロンブウォールの上下部は外気に解放せず，下部は床下，上部は空調室あるいは 1 階と 2 階の階間にダクトで繋がっている。ダブルスキン同様，独立した空気循環の制御を行うが，トロンブウォールの出入り口（ダクトの口）は電動ダンパがあり，空気循環の ON/OFF に応じて開閉することで冬季には太陽熱で暖められた空気を，夏季には夜間から早朝にかけ放射冷却で冷やされた空気を室内に取り入れる。

2.3.2 アクティブ手法

実証住宅では，太陽熱温水システム，地盤蓄熱システムの 2 種類のアクティブヒーティング手法を採用している。

太陽熱温水システム

太陽熱温水システムは，屋根上に設置されたソーラーコレクタで集熱し，貯湯タンク内の水と熱交換することで湯を作るシステムである。本システムでは，さらに，給湯に使用した残りの湯を，空調室やリビングに設置されたファンコイルユニットの熱源として利用する。

地盤蓄熱システム

地盤蓄熱システムは，地盤の熱容量を利用し蓄熱させる方法である。本システムでは，屋根上のソーラーコレクタで集熱，床下空間に循環させることで放熱させる。

3. 実証実験

3.1 対象地域

図 5 に省エネルギー基準における地域区分と対象地域を示す。本研究では，気候特性の異なる 6 地域を対象とし，外界気象条件および敷地条件に応じた建物計画，空気循環式全館空調システム，パッシブ・アクティブ手法の導入と，実証住宅の建設，本提案の有効性の検証を行っている。対象とした 6 地域は，北海道旭川市（地域区分：1），北海道札幌市（地域区分：2），岩手県花巻市（地域区分：3），福井県坂井市（地域区分：5），愛知県春日井市（地域区分：6），宮崎県宮崎市（地域区分：7）である。

3.2 実証住宅の概要

表 1 に実証住宅の建築概要，図 6 に外観写真，図 7 に 6 地域分の 1 階，2 階平面図を示す。いずれの住宅も，太陽熱利用のために南面を重視した平面計画となっており，ダイレクトゲインとダブルスキンを有する。旭川市，岩手県，福井県の 3 住宅はさらにトロンブウォールを設けている。夏季にはこれらが空調負荷の増大に繋がらないよう，日射遮蔽となる十分な軒（庇）深を確保する計画としている。建物の各種性能や集熱部位の面積等は，数値シミュレーション（次章）により算出した必要性能（暖房・給湯エネルギーの 50%以上を賄う熱取得が見込めるプランおよび仕様）を満たす。次に地域毎の検討事項等を述べる。

北海道旭川市

寒冷地域のため，高い断熱性能を確保し，集熱のための十分なダブルスキン，ダイレクトゲインの面積に加え，トロンブウォールを採用した。

北海道札幌市

雪の多い地域であり，積雪を考慮すると，ソーラーコレクタは 80 度の設置角度が必要になることから，開口部との取り合いを工夫しながら鉛直面（外壁面）へ設置した。

岩手県花巻市

12～3 月頃の日積算水平面全天日射量の平均は 4,150[W/㎡・day]程度，また，積雪によるソーラーコレクタの効率低下が懸念されることから，集熱のためにダブルスキン，ダイレクトゲインには十分な面積を確保し，加えてトロンブウォールを採用した。

福井県坂井市

冬季の日積算水平面全天日射量の平均は 3,250[W/㎡・day]程度と少ないことから，集熱のためにダブルスキン，ダイレクトゲインは構造上可能な限り広く取り，加えてトロンブウォールを採用した。また，屋根は片流れとしてソーラーコレクタの面積を確保した。降雪はあるが，重く湿った雪でありすぐに落ちることから屋根面への積雪はあまり問題にならない。

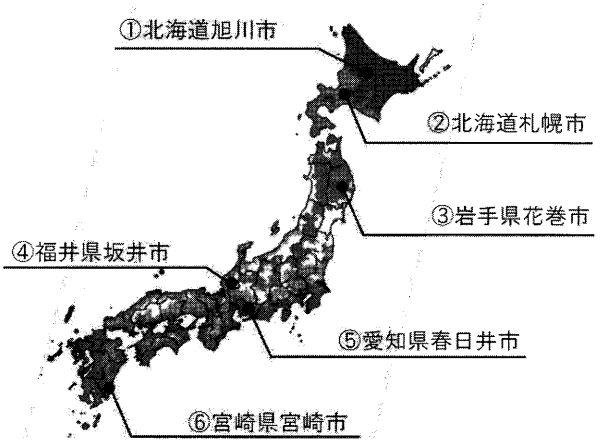


図 5 省エネルギー基準における地域区分と対象地域

愛知県春日井市

建設地は工場が多く立地する地域に囲まれた人口密集地のため，空気質を保つ本換気システムが最適である。

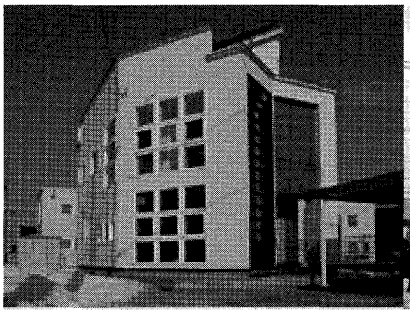
宮崎県宮崎市

晴天率が高く，十分に日射が確保できるため，冬季は効率的な太陽熱利用が見込まれる。一方，夏季は日差しへの対策が重要になることから可動式のオーニングを付設した。

表 1　建築概要

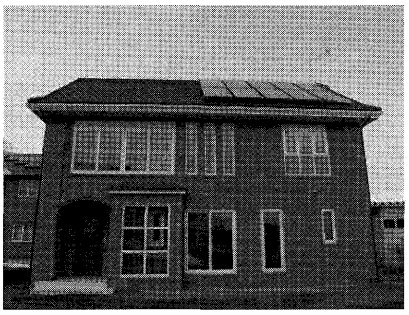
		旭川	札幌	岩手	福井	愛知	宮崎
気候条件※	地域区分	1地域	2地域	3地域	5地域	6地域	7地域
	冬期日射量区分	H2	H2	H3	H1	H5	H3
	年間日射量区分	A2	A2	A2	A3	A4	A4
建物条件	延べ床面積[㎡]	121.3	118.7	127.02	149.4	118.4	115.5
	ダブルスキン面積 トロンブウォール面積 ダイレクトゲイン面積 開口面積　合計 [㎡]	5.4 9.0 15.2 29.6	11.0 0.0 13.9 24.9	6.5 2.6 16.3 25.4	13.5 3.0 6.3 22.8	11.6 0.0 8.4 20.0	9.0 0.0 8.1 17.1
	外皮等面積合計[㎡]	320.0	344.0	393.4	461.1	360.5	350.9
	Q値 （基準値）	1.26 (1.60)	0.93 (1.90)	1.01 (2.40)	1.12 (2.70)	1.07 (2.70)	1.08 (2.70)
	UA値 （基準値）	0.36 (0.46)	0.21 (0.46)	0.27 (0.56)	0.28 (0.84)	0.27 (0.87)	0.26 (0.87)
	ηA値 （基準値）	2.56 (−)	2.07 (−)	2.02 (−)	2.61 (3.0)	2.13 (2.8)	1.72 (2.7)
太陽熱温水システム	集熱面積[㎡]	16.0	16.0	20.4	20.0	12.0	16.0
	貯湯量[L]	460	460	370x2	370x2	300x2	370x2

※省エネルギー基準（平成 25 年）における地域区分による



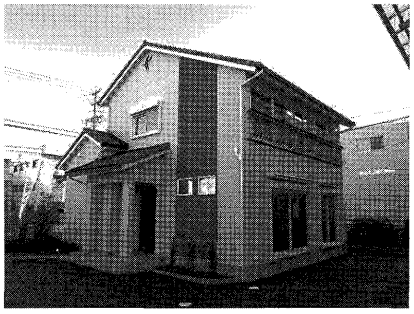
旭川

札幌



岩手

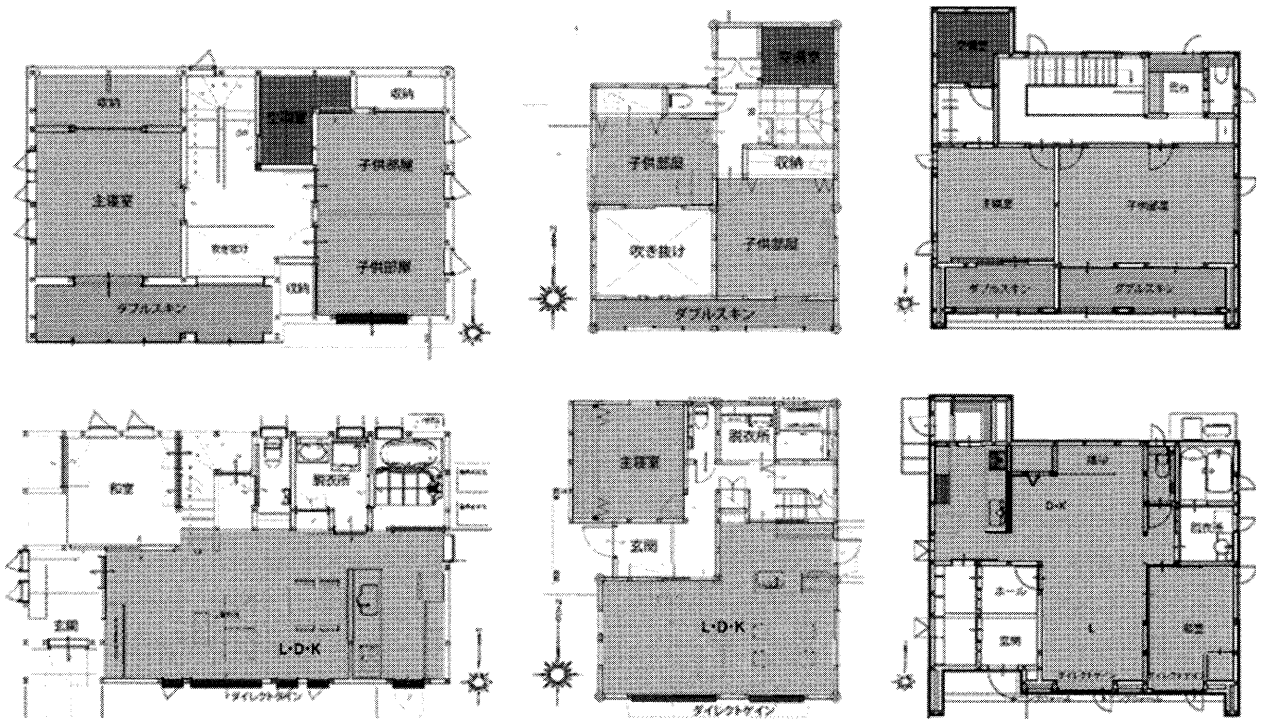
福井



愛知

宮崎

図 6　実証住宅の外観写真



宮崎　　愛知　　福井

岩手　　札幌　　旭川

図 7　実証住宅平面図（いずれも下が「1 階平面図」上が「2 階平面図」）

4. 数値シミュレーションによる負荷削減効果の検討

4.1 温湿度・熱負荷予測ツール THERB

数値シミュレーションには THERB(Simulation Software of the Hygrothermal Environment of the Residental Buildings)を使用した。THERB は,建築入力モデルに応じて,空間を居室(小屋裏,床下,階間懐,階段室を含む)あるいは空気層(並行平板に挟まれたスペース)として任意に分割できるマルチゾーンモデルで，建築全体の熱・水分・空気の連成計算が可能である。THERB には，①対流による熱・水分伝達の時変性，②無次元整理式を用いた部位ごとの熱・水分伝達率（自然・強制対流）の計算，③内外表面における厳密な日照・日影部位の幾何学計算，④Multi-layer window model による窓面透過日射の計算，⑤室内表面における透過日射の多重反射，⑥放射熱伝達の非線形性，⑦室内表面間の長波放射熱授受，⑧Network airflow model による自然・強制換気の計算，などの特徴がある[2,3,4,5]。

4.2 計算概要

平成 25 年の省エネルギー基準相当性能の住宅を基準（ケース：「省エネ基準」）とし，空気循環式全館空調システムの導入を行った場合（ケース：「標準システム」），加えて太陽熱利用を行った場合（ケース：「太陽熱利用」）の 3 ケースについて，室温，暖房負荷，冷房負荷，給湯負荷を数値シミュレーションにより算出した。空調条件はケース「省エネ基準」は間欠各室空調，ケース「標準システム」および「太陽熱利用」は終日全館空調とし，空調設定温度は暖房時 27℃，冷房時 20℃とした。家族構成は 4 人家族，気象データは拡張アメダス気象データの標準年を使用した。なお，ケース「太陽熱利用」では，昼間，ダブルスキン空間の空気温度が高い間に暖気を室内に取り入れている。

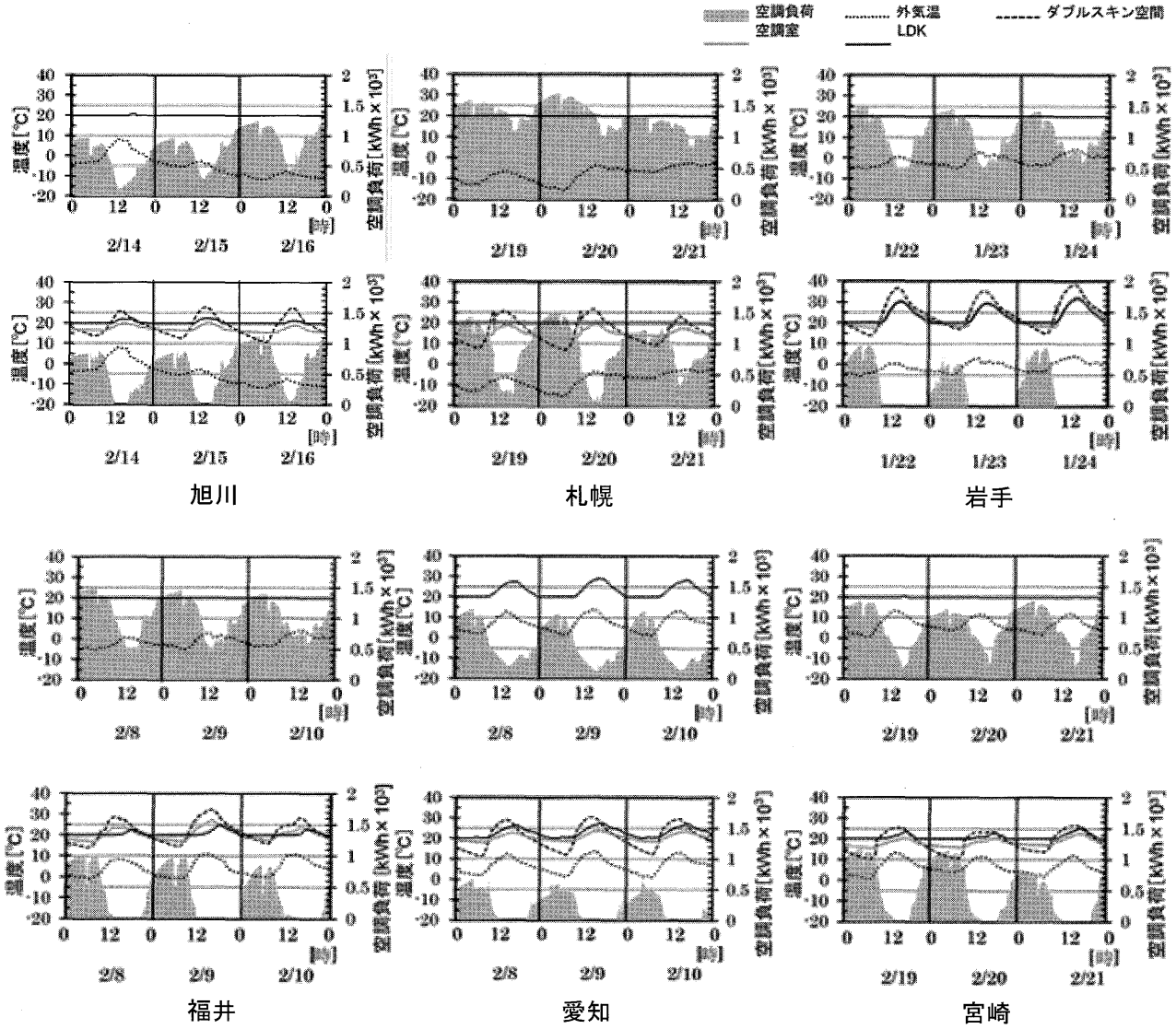


図 8 冬季における室温および空調負荷の経時変化（いずれも上が「標準システム」下が「太陽熱利用」）

4.3 計算概要

図8に，ケース「標準システム」と「太陽熱利用」の，冬季における室温および空調負荷の経時変化（代表的な3日間）を，図9，表2に地域別の期間熱負荷積算を示す。図8の，ケース「標準システム」と，さらに太陽熱利用を加えたケース「太陽熱利用」を比較すると，いずれの地域でも，昼間にダブルスキンの温度上昇が起こるとそれに伴い空調室，LDKの温度が上昇し空調負荷が低減している。このことから，集熱部位で暖められた空気が空気循環システムにより室内に取り入れられることで暖房負荷の低減に寄与していることは明らかである。また，空調室の温度が暖房設定温度を超えている時間帯があることから，余剰熱がありさらに暖房負荷低減の余地があることが分かる。図9，表2の，ケース「省エネ基準」と空気循環システムを導入したケース「標準システム」を比較すると，旭川では-1.4%，札幌では-2.8%，岩手では-11.0%，福井では-9.5%，愛知では-8.2%，宮崎では-4.9%であり，間欠各室空調から終日全館に変わり空調時間および空間が広くなったにもかかわらず，空気循環により建物内で一様の温湿度環境が保たれ空調機の低負荷運転時間が長くなることなどが確認できる。また，ケース「標準システム」と，さらに太陽熱利用を加えたケース「太陽熱利用」を比較すると，旭川では-54.4%，札幌では-52.1%，岩手では-52.7%，福井では-50.8%，愛知では-54.1%，宮崎では-54.2%と，全地域で太陽熱の利用による負荷削減率が 50%を超えることが明らかとなった。

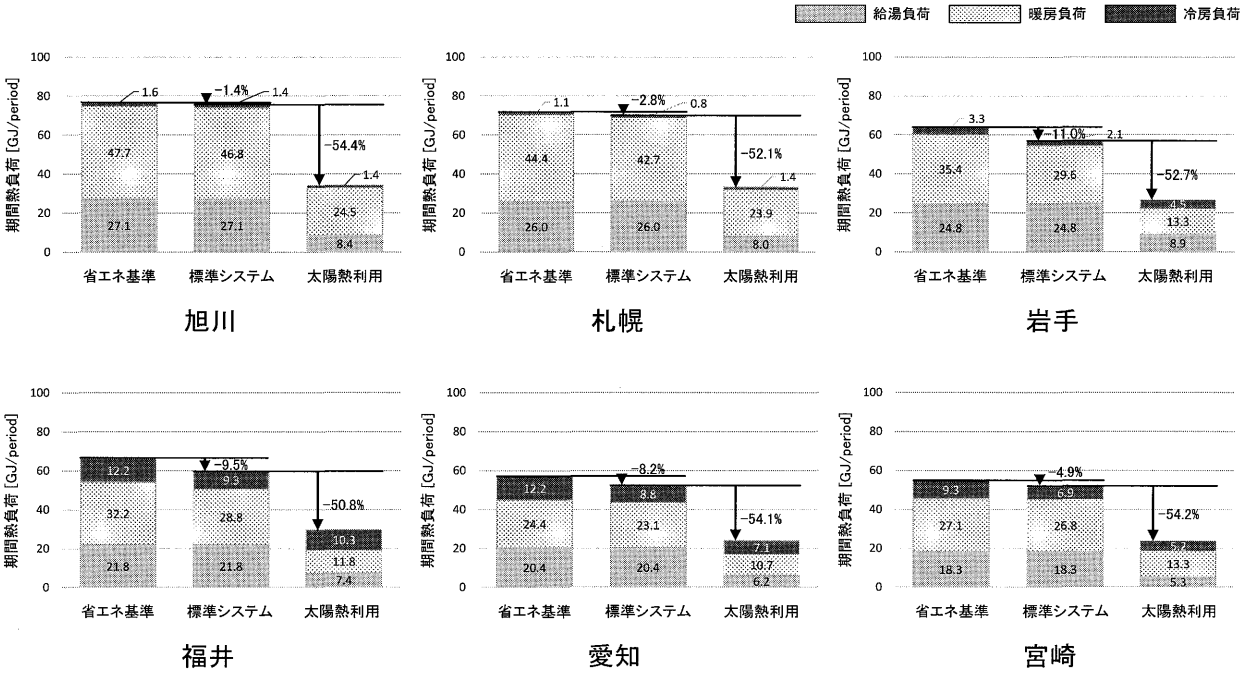


図9　地域別の期間熱負荷積算

表2　地域別の期間熱負荷積算

旭川

	省エネ基準	標準システム	太陽熱利用
暖房負荷	47.7	46.8	24.5
冷房負荷	1.6	1.4	1.4
給湯負荷	27.1	27.1	8.4
計	76.4	75.3	34.3

札幌

	省エネ基準	標準システム	太陽熱利用
暖房負荷	44.4	42.7	23.9
冷房負荷	1.1	0.8	1.4
給湯負荷	26.0	26.0	8.0
計	71.5	69.5	33.3

岩手

	省エネ基準	標準システム	太陽熱利用
暖房負荷	35.4	29.6	13.3
冷房負荷	3.3	2.1	4.5
給湯負荷	24.8	24.8	8.9
計	63.5	56.5	26.7

福井

	省エネ基準	標準システム	太陽熱利用
暖房負荷	32.2	28.8	11.8
冷房負荷	12.2	9.3	10.3
給湯負荷	21.8	21.8	7.4
計	66.2	59.9	29.5

愛知

	省エネ基準	標準システム	太陽熱利用
暖房負荷	24.4	23.1	10.7
冷房負荷	12.2	8.8	7.1
給湯負荷	20.4	20.4	6.2
計	57.0	52.3	24.0

宮崎

	省エネ基準	標準システム	太陽熱利用
暖房負荷	27.1	26.8	13.3
冷房負荷	9.3	6.9	5.2
給湯負荷	18.3	18.3	5.3
計	54.7	52.0	23.8

5. まとめ

本報告では，太陽熱利用型の空気循環式全館空調システム住宅の概要と地域毎の性能・仕様を述べた。また，太陽熱利用とパッシブ・アクティブ手法の導入による空調・給湯負荷の削減効果を，THERB for HAM を用いた数値シミュレーションにより検討し，気候特性の異なる 6 地域全てにおいて空調・給湯負荷の期間積算で 50%を超える削減が可能であることを示した。次報では，2015 年 2 月より開始した実証実験の実測データおよび数値解析の結果から，数値シミュレーションの精度検証および本システムの負荷削減効果，最適制御方法などを検討する。

謝辞

本研究の一部は，独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO 「太陽熱エネルギー活用型住宅の技術開発」によるものである。FH-アライアンスの皆様には多大な協力を頂きました。深く感感謝いたします。

参考文献

1. 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO 再生可能エネルギー技術白書
2. 尾崎明仁，他：水分ポテンシャルによる湿気移動解析，日本建築学会計画系論文集 第 488 号，pp.17-24，1996 年 10 月
3. 尾崎明仁，他：熱・水分・空気連成を考慮した建築の温湿度・熱負荷計算，Technical Papers of Annual Meeting of IBPSA-Japan，pp.19-26，2005
4. Ozaki A., et al.,：Prediction of Hygrothermal Environment of Buildings Based upon Combined Simulation of Heat and Moisture Transfer and Airflow, Journal of the International Building Performance Simulation Association, Vol.16, No.2, pp.30-37, 2006
5. 尾崎明仁，他：多孔質材料の熱・物質移動の駆動力と拡散係数の関係について，Technical Papers of Annual Meeting of IBPSA-Japan, International Building Performance Simulation Association, pp.10-16, 2007

（受理：平成27年11月12日）