

平成 29 年度

修士論文

高齢者福祉施設への太陽熱利用システムの
導入効果に関する研究

指導教員 北野博亮 准教授

三重大学大学院工学研究科

建築学専攻

長瀬 沙羅

目次

第1章 序論	1
1-1 研究背景	2
1-2 既往の研究	2
1-3 研究目的	2
1-4 論文の構成	3
第2章 計算対象施設の概要	4
2-1 はじめに	5
2-2 施設の概要	5
2-3 施設の給湯負荷	9
2-4 第2章のまとめ	11
第3章 TRNSYS の概要	12
3-1 はじめに	13
3-2 TRNSYS の概要	13
3-3 各種コンポーネントの計算モデル	15
3-3-1 多数室モデル	15
3-3-2 集熱器	16
3-3-3 蓄熱槽	16
3-3-4 熱交換器	18
3-4 第3章のまとめ	20
第4章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーション	21
4-1 はじめに	22
4-2 建物の冷暖房負荷	22
4-3 エネルギーシミュレーションの計算条件	23
4-3-1 給湯に太陽熱を利用する場合	25
4-3-2 給湯と床暖房に太陽熱を利用する場合	26
4-3-3 給湯と床暖房、外気の前熱に太陽熱を利用する場合	27
4-4 第4章のまとめ	28
第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察	29
5-1 はじめに	30
5-2 給湯に太陽熱を利用した場合の計算結果	30
5-2-1 集熱器面積を変化させた場合	30

5-2-2 集熱器単位面積当たりの集熱量を固定した場合	32
5-2-3 太陽熱依存率と蓄熱槽容量の関係	34
5-2-4 月別比較	37
5-3 給湯と床暖房に太陽熱を利用した場合の計算結果	46
5-3-1 集熱器面積を変化させた場合	46
5-3-2 集熱器単位面積当たりの集熱量を固定した場合	47
5-3-3 太陽熱依存率と蓄熱槽容量の関係	49
5-3-4 月別比較	52
5-4 給湯と床暖房、外気の前熱に太陽熱を利用した場の計算結果	61
5-4-1 集熱器面積を変化させた場合	61
5-4-2 集熱器単位面積当たりの集熱量を固定した場合	62
5-4-3 太陽熱依存率と蓄熱槽容量の関係	65
5-4-4 月別比較	67
5-5 太陽熱の利用用途の異なるシステム間の比較と考察	76
5-6 第5章のまとめ	90
第6章 総括	91
参考文献	94
謝辞	95

第 1 章

序論

1-1 研究背景

今日、世界中で取り上げられている深刻な地球温暖化、また 2011 年春に発生した東日本大震災の影響により、省エネルギー化が問題となっている。これまで我が国では、空調用途のエネルギー消費量を削減するため、様々な努力が為されてきている。例えば、省エネルギー基準等を通じて、建物の躯体性能を向上させ、冷暖房負荷を減らす努力が為されてきた。また、一方で、冷暖房機器が多様化し高効率化する中で、それらのエネルギー消費特性を把握し、負荷だけでなくエネルギー消費ベースで省エネを評価することが重要になってきている。

1-2 既往の研究

床暖房に関する研究はこれまで多くの蓄積があり、特に温水床暖房により形成される室内温熱環境はエアコン等の対流型暖房設備により形成されるそれとは大きく異なることから、垂直温度分布や放射環境、温冷感など、室内環境感に関しては多くの研究が為されている。また、地球温暖化問題の背景としてエネルギー消費削減が社会的に重要視され、温水床暖房については、エネルギー消費量を推定する方法や床暖房の省エネ性能を評価する研究も増えてきている。しかし、床暖房と福祉施設を対象とした研究には、施設の設備・運営や太陽熱床暖房のシステム性能や温熱環境のエネルギー消費に焦点をあてたものはみられるが、蓄熱槽容量や集熱流量に着目し、太陽熱利用や最適制御を詳細に評価されている研究はまだ数が少ない。

1-3 研究目的

給湯・暖房の温熱需要の大きい施設である老人福祉施設への太陽熱利用システムの導入効果を明らかにする。そのために、本研究では、TRNSYS を用いたシミュレーションによってエネルギー消費の削減効果について検討を行う。老人福祉施設への太陽熱利用システムの導入効果および集熱器と蓄熱槽等の容量バランスについて、年間のシミュレーション評価を行う。太陽熱給湯システム、太陽熱給湯・床暖房システム、太陽熱給湯・床暖房・外気予熱システムの 3 つのシステムにより、分析・検討を行う。

1-4 論文の構成

本論文は 6 章から構成される。論文の構成を図 1-1 に示す。本章では、既往の研究では、どのような研究が行われていたか、本研究の背景と目的について取り扱う。

第 2 章では、計算対象施設の概要を示す。シミュレーションの計算対象施設の平面図や立面図、在室者の出入りや照明の on/off の時間帯と熱量、施設の規模や特性を示す。また、計算条件とした給湯負荷の実測値とその特徴について示す。

第 3 章では、シミュレーションで使用するアプリケーション TRNSYS の概要を述べる。また、シミュレーションに実際に用いた各種構成機器、具体的には第 2 章の計算対象施設

のモデル化で使用した「多数室モデル」、システム作成で用いた各種コンポーネントである「集熱器」、「蓄熱槽」、「熱交換器」の概要について記述する。

第4章では、計算対象施設の給湯負荷と冷暖房負荷の内訳とその割合、シミュレーションのシステムの概要と計算条件について示す。

第5章では、実際に TRNSYS によってモデル化を行った老人福祉施設の太陽熱給湯システム、太陽熱給湯・床暖房システム、太陽熱給湯・床暖房・外気予熱システムの年間のシミュレーションを行い、集熱器面積あたりの蓄熱槽容量、集熱流量、太陽熱依存率との関係、容量効率の観点から適切な構成機器の容量バランスについて検討する。

第6章では、各章で得られた結論についてまとめる。

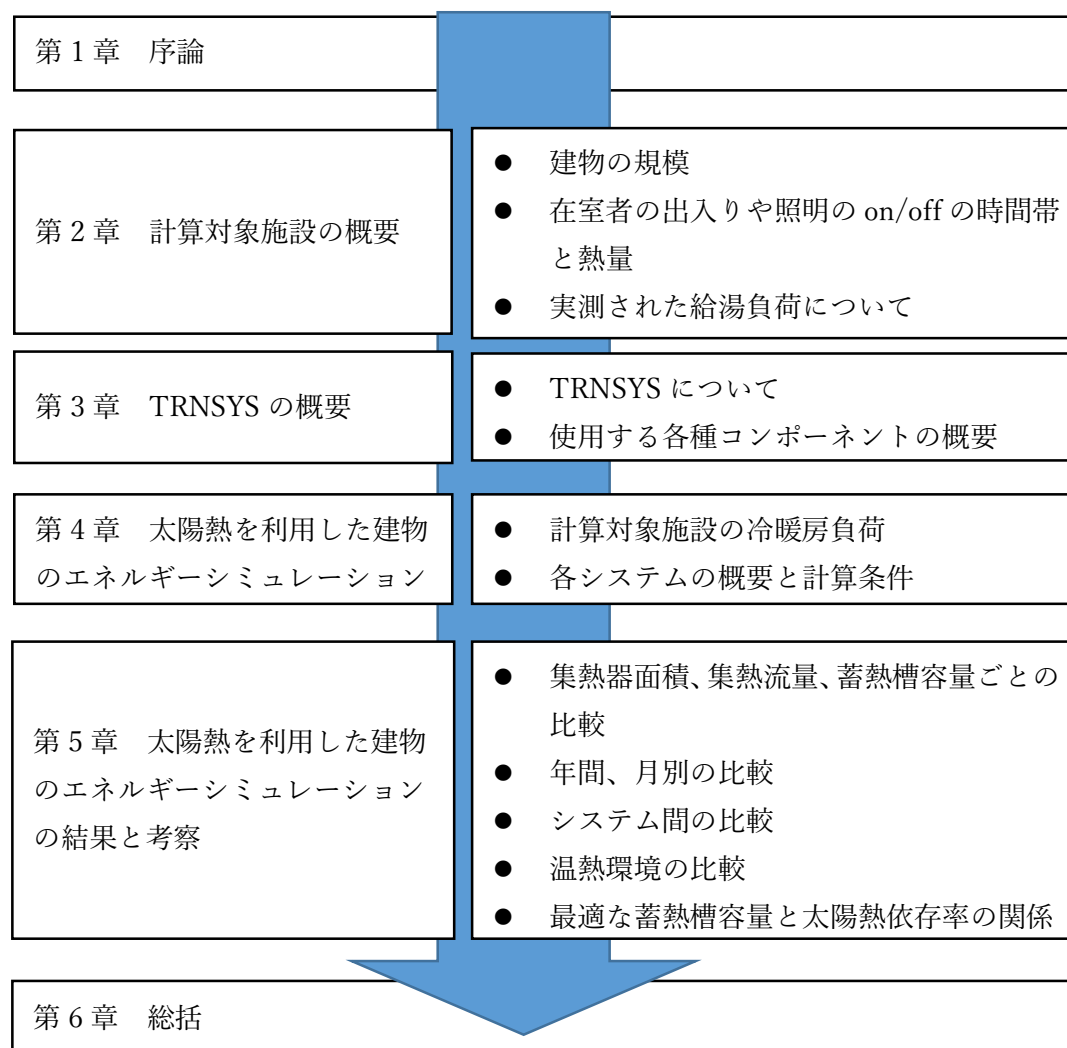


図 1-1 論文の構成

第 2 章

計算対象施設の概要

2-1 はじめに

2章では、計算対象施設の概要を示す。シミュレーションの計算対象となる施設の平面図や立面図、在室者の出入りや照明の on/off の時間帯とその熱量、施設の規模や特性を示す。また、計算条件とした給湯負荷の実測値とその特徴について示す。照明や在室者の発熱量に関しては、非住宅建物の1次エネルギー消費基準をもとに熱量を定義した。

2-2 施設の概要

表 2-1～2-8 に対象とした老人福祉施設の概要を、図 2-1 にモデルとする建物を、図 2-2～2-6 に対象施設の平面図、立面図を示す。この施設は、実際に存在する特養老人福祉施設をもとにモデル化を行っている。非空調室と空調室で構成され、空調室から一定量の新鮮外気を取り入れ、非空調室から一定量で換気を行うものとする。窓の開口率は 40%とする。(ここでの開口率は窓面積/外壁面積の割合とする。)

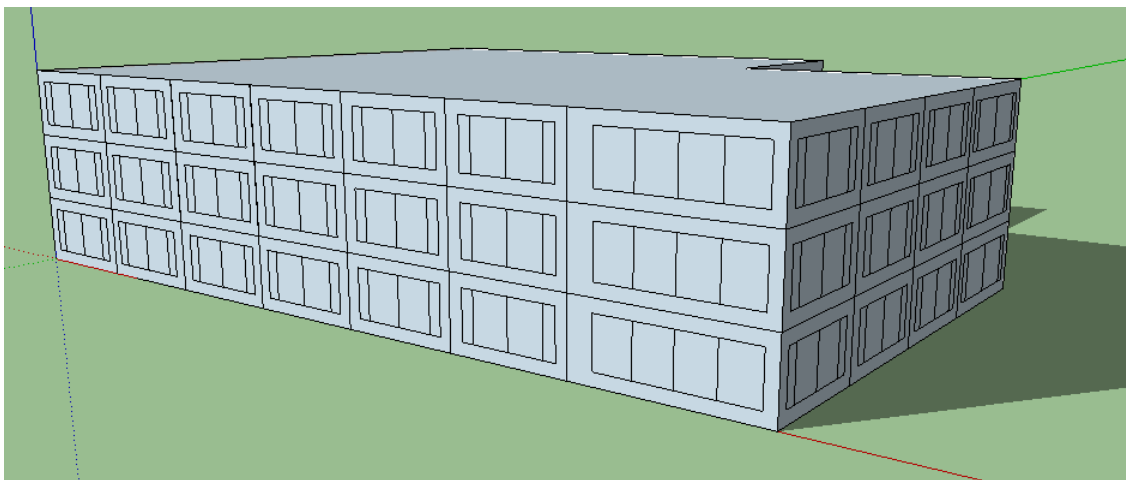


図 2-1 計算対象施設のモデル図

表 2-1 非空調室と空調室の内訳

非空調室	浴室、ロビー、WC、更衣室、 倉庫、機械室、食品庫
空調室	病室、事務室、診察室、レスト ラン、厨房、廃棄物保管所

表 2-2 床面積の内訳

	床面積(m2)
非空調全体	900
空調全体	3375
計	4275

表 2-3 計算対象施設の概要

所在地	津市
階数	3
用途	福祉施設
延床面積	4275

表 2-4 非空調、空調室の質面積と階高、容積、換気回数、導入する外気量と排気量

/1フロア		床面積 m ²	階高 m	室容積 m ³	換気回数 1/h	新鮮外気 m ³ /h	排気 m ³ /h
非空調	1フロアあたり	300.0	3.5	1050	2	9975	
空調	1フロアあたり	1125.0		3938		9975	
計	1フロアあたり	1425.0		4988		9975	9975
	建物全体	4275		14962.5		29925	29925

表 2-5 非空調室と空調室の窓面積

		LOWE			
/1フロア		窓面積 m ²			
		N	S	E	W
非空調	1フロアあたり	42.0	0.0	14.0	14.0
空調	1フロアあたり	21.0	63.0	35.0	35.0
計	1フロアあたり	63.0	63.0	49.0	49.0
	建物全体	189	189	147	147

表 2-6 在館者数

入居者	150
1床	15
2床	10
3床	1
4床	28
職員	270
デイケア	60

表 2-7 在館者の在館時間と冷暖房、照明の時間帯と熱量

		4交代制				
時間		0-6	6-10	10-16	16-22	22-24
在館者数		23	64	112	64	23
	°C					
冷房	26	← 相対湿度 60% →				
暖房	22	← 相対湿度 40% →				
換気		← →				
照明(蛍光灯)		6.5(w/m ²)	13(w/m ²)			6.5(w/m ²)

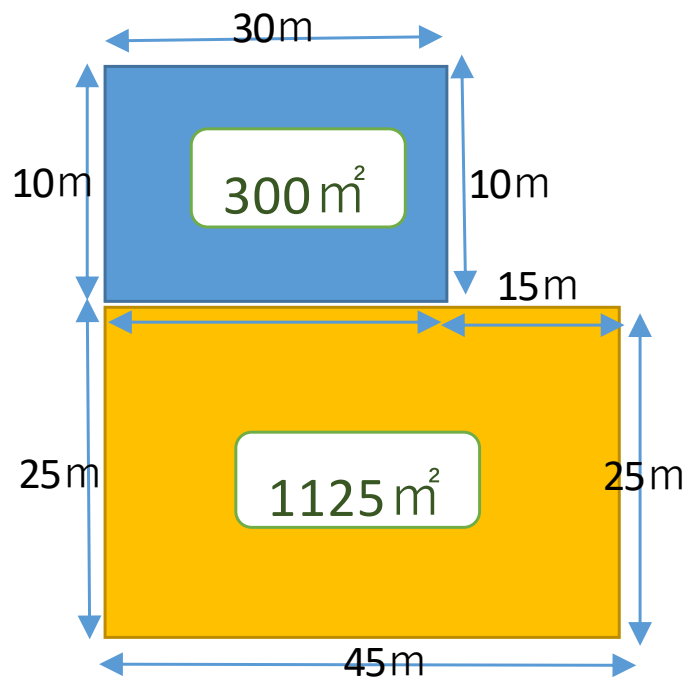


図 2-2 平面図

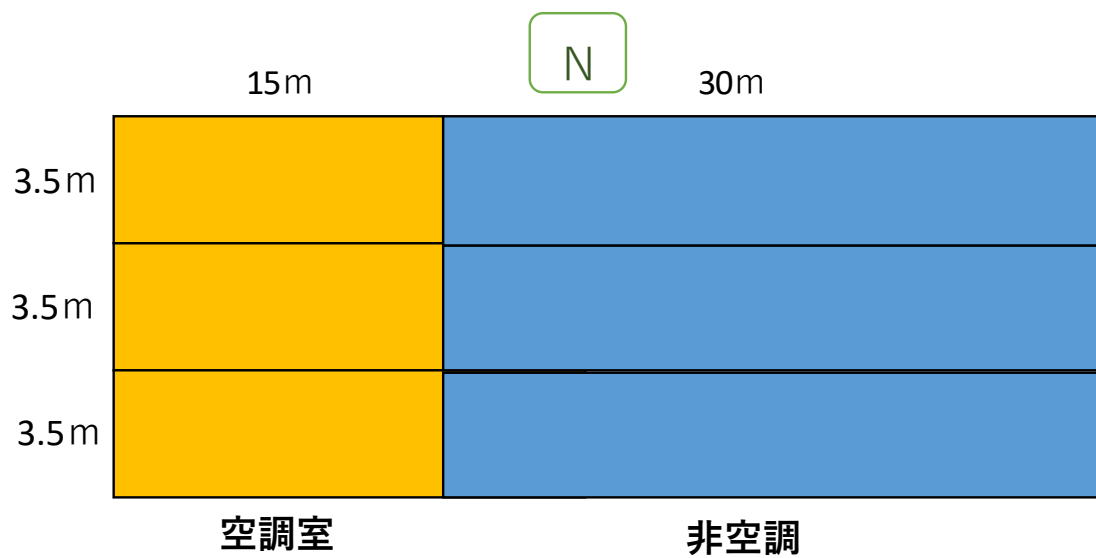


図 2-3 北立面図

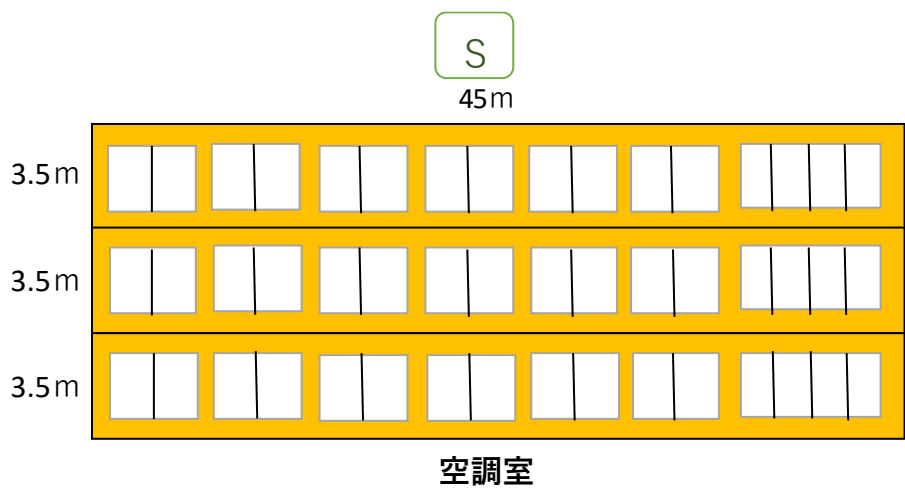


図 2-4 南立面図

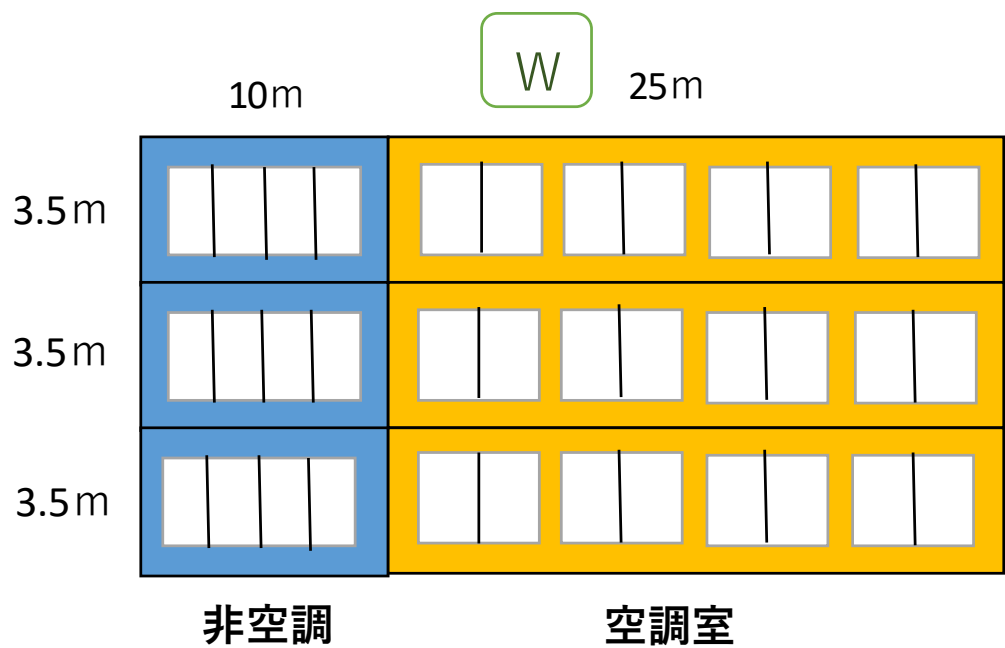


図 2-5 西立面図

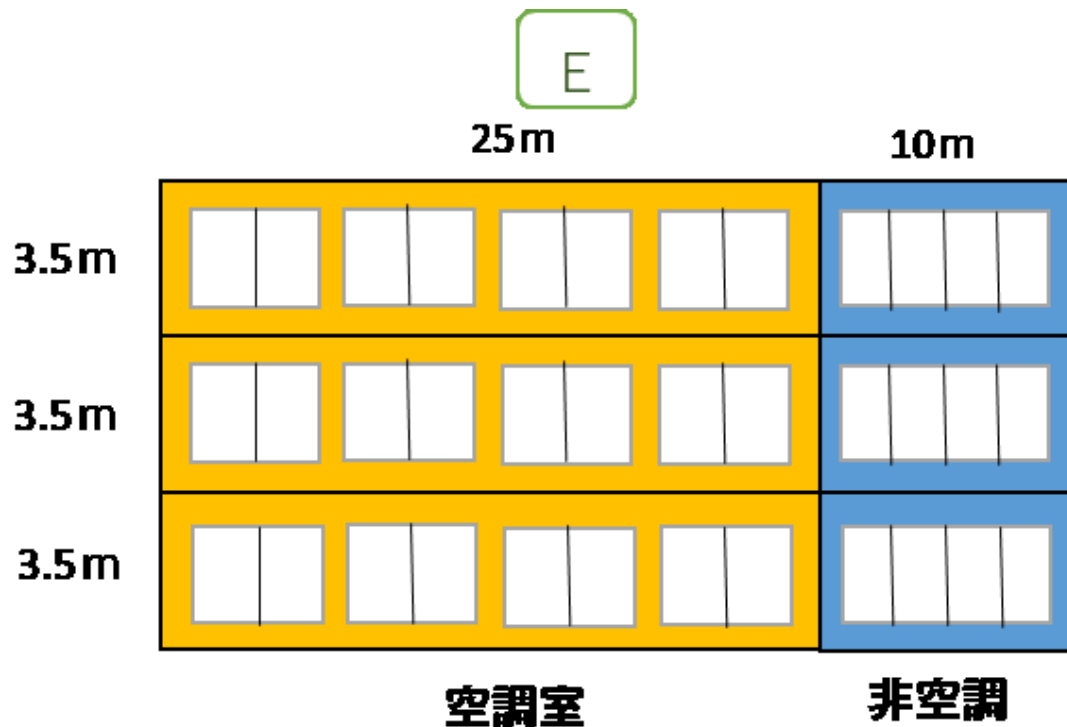


図 2-6 東立面図

2-3 施設の給湯負荷

図 2-7～2-9 に同規模の老人福祉施設で実測した給湯量から作成した給湯負荷のデータである。1 週間の給湯量の変動パターンを図 2-7、表 2-8、1 ヶ月ごとの日積算給湯負荷平均図 2-8、1 年を通した日積算給湯負荷を図 2-9 に示す。(月)～(日)に入所者、(月)～(金)にデイケア利用者の入浴がある。図より 1 日当たりの流量で比較すると、(月)～(金)に対し、(土)が約 1/2、(日)が 1/4 であった。(金)に浴槽の入れ替えを実施しているため、流量が最も多い。また、曜日に関係なく 8:00 前後の流量が最も多い。この 1 週間の給湯パターンが繰り返されるものとし、給湯温度を 55℃として、給湯負荷をシミュレーションの計算条件として与えた。

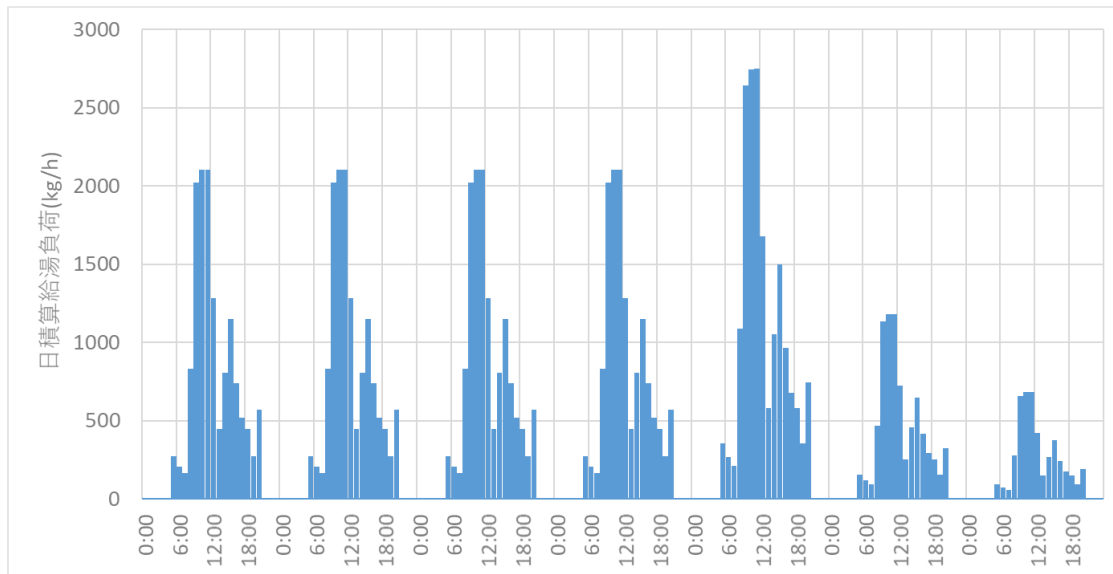


図 2-7 給湯量 1 週間変動

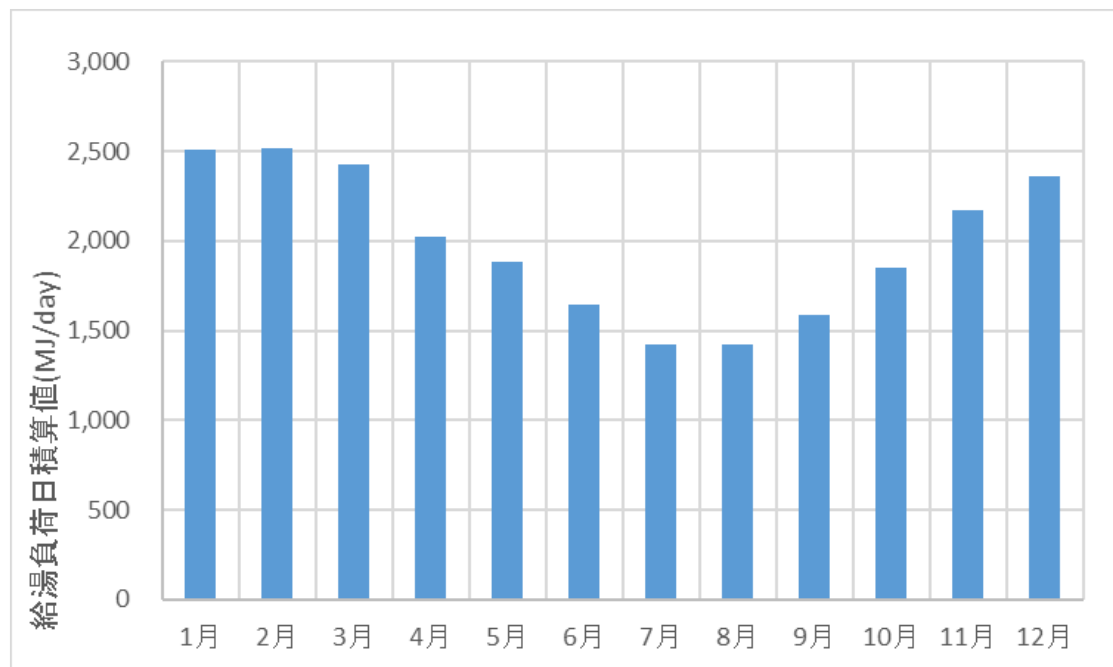


図 2-8 1 カ月ごとの給湯負荷日積算値平均

表 2-8 給湯の実測結果

	単位：L/h							
	月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日	時間別割合
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0.0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0.0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0.0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0.0
4:00	264	264	264	264	345	147	85	1.9
5:00	196	196	196	196	257	110	63	1.4
6:00	155	155	155	155	202	86	50	1.1
7:00	824	824	824	824	1,078	460	266	6.0
8:00	2,012	2,012	2,012	2,012	2,633	1,125	650	14.6
9:00	2,091	2,091	2,091	2,091	2,736	1,169	675	15.2
10:00	2,094	2,094	2,094	2,094	2,739	1,170	676	15.2
11:00	1,275	1,275	1,275	1,275	1,669	713	412	9.3
12:00	437	437	437	437	572	244	141	3.2
13:00	798	798	798	798	1,044	446	258	5.8
14:00	1,139	1,139	1,139	1,139	1,490	636	368	8.3
15:00	728	728	728	728	953	407	235	5.3
16:00	511	511	511	511	668	285	165	3.7
17:00	436	436	436	436	571	244	141	3.2
18:00	263	263	263	263	344	147	85	1.9
19:00	560	560	560	560	733	313	181	4.1
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0.0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0.0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0.0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0.0
合計	13,783	13,783	13,783	13,783	18,033	7,702	4,450	100
月曜を1とした割合	1.00	1.00	1.00	1.00	1.31	0.56	0.32	-

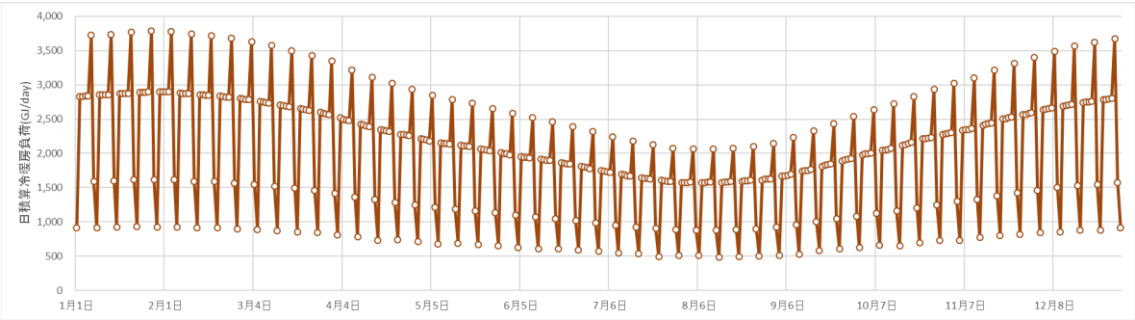


図 2-9 1 年間の給湯負荷日積算値変動

2-4 第 2 章のまとめ

本章では、シミュレーションの計算対象施設の平面図や立面図、在室者の出入りや照明の on/off の時間帯と熱量、施設の規模や特性について示した。また、計算条件とした給湯負荷の実測値とその特徴について示した。

第 3 章 TRNSYS の概要

3-1 はじめに

第3章では、第2章における計算対象施設のシミュレーションで使用するアプリケーション TRNSYS の概要を述べる。また、シミュレーションに実際に用いた各種構成機器、具体的には第2章の計算対象施設の熱負荷計算で使用する「多数室モデル」、太陽熱利用システム作成で用いた各種コンポーネントである「集熱器」、「蓄熱槽」、「熱交換器」の概要について記述する。

3-2 TRNSYS の概要

米国ウィスコンシン大学の Solar Energy Laboratory、通称 SEL が米国政府から公的な支援を得て TRNSYS*[3]の開発が為された。TRNSYS はモジュール化された構造を有する、非定常システムシミュレーションツールである。さまざまな計算に対応するため、TRNSYS ではモジュラーアプローチと呼ばれる仕組みを採用している。図 3-1 に示す。特定の目的に合わせた計算ではなく、シミュレーションに必要な機能を基本的な計算機能や、機器のレベルまで分解したものをモジュール、あるいはコンポーネントと呼ばれる部品で提供するものである。一つ一つは、例えばシンプルな単位換算機能であったり、空気線図を扱うものであったり、あるいは設備機器を表す。

モジュラーアプローチ

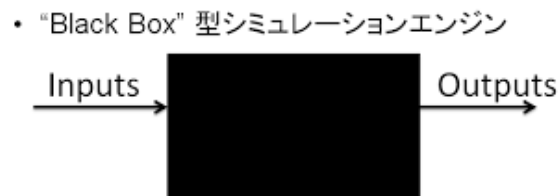


図3-1 TRNSYSのモジュラーアプローチ

出典: TRNSYS manuals*[4]

モジュール構造を持つことにより、プログラムは融通性があり、ユーザーの使用目的に応じてシステムを構築し、シミュレーションが可能となっている。モジュールは入力 (Inputs) として、データを入力することで、出力 (Outputs) として答えが返ってくる仕組みである。この Inputs/Outputs をつなぎあわせ、データ流れ、つながりを記述しシミュレーションを組み立てていく。一つのシステムはコンポーネント(構成要素)が集まったものであり、各コンポーネントはそれぞれ TYPE 番号が与えられ、TRNSYS 標準ライブラリに用意されている。TYPE は基本的にはユーザーが設定するものではないが、独自に開発することも可能である。ユーザーはこのコンポーネントを自由に組み合わせることにより、目的に応じたシステムを構築していく。

各 TRNSYS にはそれぞれ Parameter、Input、Output のインデックスが記載されてい

る。システム内に同じ TYPE が複数存在するときに、それらを区別するのに必要となる。Unit 番号と Input 番号もしくは Output 番号を組み合わせることができる。各 TYPE はこの番号の組み合わせを通して相互に連結される。このようにしてユーザーが作成し、できあがるファイルを TRNSYS 入力ファイルと呼び、これを TRNSYS に読み込ませ実行することによってシミュレーションが実行される。

TRNSYS には計算を行うためのアプリケーションが複数提供されている。それぞれ計算の目的や内容に応じて使い分ける。本研究で使用したアプリケーションは、「Simulation Studio」、「TRNBuild」である。「Simulation Studio」は、コンポーネントの配置、接続、そしてシミュレーションの実行を行うアプリケーションであり、TRNSYS の計算の組立から実行まで行うことができる。「TRNBuild」は、多数室モデルを扱うコンポーネントである。住宅やオフィスなど、建物を扱う場合に、TRNSYS では Type56(Multi-Zone Building)というコンポーネントを使用する。いわゆる多数室を構成する部屋や壁の材料など物理的な条件、在室者や照明など発熱体や換気など時間によって変化する条件など、計算に必要な設定を行う。このアプリケーションで建物データの作成、編集を行う。多数室モデル Type56(Multi-Zone Building)については次の節で記述する。

3-3 各種コンポーネントの計算モデル

3-3-1 多数室モデル

このコンポーネントは、多数室モデルで構成される建物の熱の動きをモデル化することができる。このコンポーネントを使用するには、まず別の前処理プログラム TRNbuild を実行する必要がある。TRNBuild では建物の物性値や計算条件を各種 Type Manager で扱う。図 3-2 に示す。TRNbuild は、入力した建物の情報を読み込んで処理し、TRNSYS シミュレーション中に多数室モデルのコンポーネントが使用する 2 つのファイル、多数室モデルの出力と必要な入力を記述する情報ファイルを生成する。

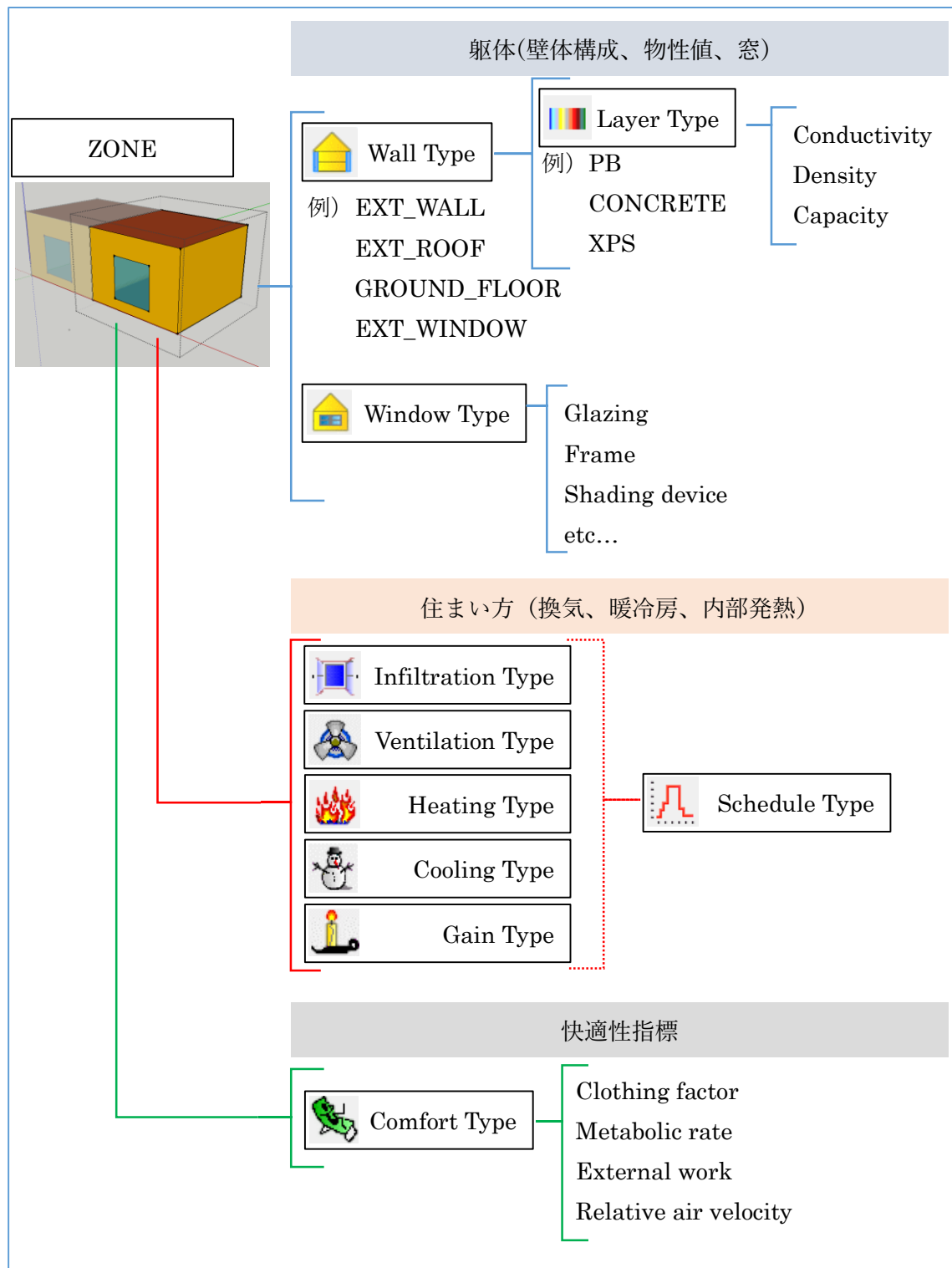


図 3-2 TRNBuild で設定できる多数室モデルの物性値や計算条件

3-3-2 集熱器

平板型集熱器を使用する。ガラスを透過した日射が集熱板に入射し、ここで熱に変換され、高温度となった集熱板に接する熱媒が加熱され集熱される。集熱器に入射した太陽エネルギーの一部は最も高温となる集熱板から放射や対流、伝導により透過ガラスや断熱材を通過して外気に熱損失として放熱されることになる。

Hottel-whillier & Bliss の集熱器熱回路モデルによれば、熱的定常状態における集熱効率 η は、熱媒の平均温度 T_i を用いた式で与えられる。

$$\eta = \frac{Q_u}{A I_T} = \frac{m C_{pf} (T_o - T_i)}{A I_T} = F(\tau \alpha) n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_T} \quad (1,1)$$

Q_u :集熱量 A :集熱器面積 I_T :集熱器面入射全天日射量(KJ/h m²) m :集熱流量(kg/h)

C_{pf} :集熱器媒体の容積比熱(KJ/Kg K) (=4.19) T_o :集熱器出口温度(°C)

T_i : 集熱器入口温度(°C)

$(\tau \alpha)_e$:集熱器透過体の日射透過率と集熱板の日射吸収率の積の有効値

F_R :集熱器効率因子 U_L :集熱板から外界への熱損失係数(KJ/h m² K) T_i :熱媒の平均温度

T_a :空気温度(°C)

損失係数 U_L は厳密に一定ではないので、 U_L 対 $(T_i - T_a)$ の線形依存性を考慮することにより、より良い表現が得られる。

$$\eta = \frac{Q_u}{A I_T} = F(\tau \alpha) n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_T} - F_R U_{L/T} \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T} \quad (1,2)$$

(1,2)は以下の式に書き直すことができる。

$$\eta = a_0 - a_1 \frac{(\Delta T)}{I_T} - a_2 \frac{(\Delta T)^2}{I_T} \quad (1,3)$$

以上が集熱器コンポーネントで使用されている熱効率式である。効率は 3 つのパラメータ a_0 、 a_1 、 a_2 によって定義される。これらの 3 つのパラメータは、ASHRAE 基準に従って試験され、SRCC によって評価された。

3-3-3 蓄熱槽

内部に熱交換器のある温度成層型蓄熱槽 Type60 を使用する。温水が貯蔵された蓄熱槽の熱性能の層別化は、蓄熱槽タンク内を完全混合の等価であると仮定することによって、モデル化することができる。蓄熱槽タンクの計算分割数を N ($N \leq 100$) とする。今回の検証においては $N=21$ とした。

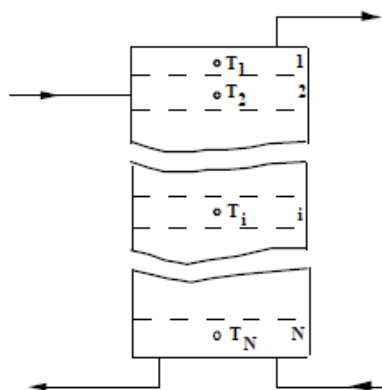


図3-3 温度成層型蓄熱槽タンク 出典: TRNSYS manuals*[4]

蓄熱槽の高さは、床から蓄熱槽の上部までの 2.5m である。蓄熱槽タンクの容積は第 5 章で説明する。温水の比熱は 4.19KJ/kgK、密度は 1000kg/m³。熱伝導率は 1.4 KJ/hmK である。また、このモデルは温度や時間を制御することができる。給湯においては、55℃で送水されるように温度設定を行い、太陽熱の出湯温度 Th が 52℃以上の場合には出湯し、出湯中に 50℃以下になった場合には出湯が停止するように設定する。床暖房においては、30℃で送水が行えるように、蓄熱槽温水の温度 Tw が 32℃以上の場合には床暖房への送水を行い、Tw が 30℃以下の場合には蓄熱槽からの送水を停止するように設定する。

Tw、Th が所定の温度に到達しない場合、80℃の温水を蓄えたヒートポンプ式補助ヒーターによって熱を賄う。

蓄熱槽タンク内は均一に絶縁されていない。蓄熱槽の表面積からの熱損失を考慮する。n 番目の蓄熱槽の熱損失係数は以下の式で定義される。

$$U_i = U_{\text{tank}} + \Delta U_i \quad (\Delta U_i \text{ は、} U_i > 0 \text{ である限り、正または負になり得る}) \quad (1,4)$$

エラーを最小限に抑えるために、このコンポーネントは、独自の時間の刻みを使用しており、臨界オイラー時間ステップを使用している。Fraction of critical timestep は 1/6 とした。これはモデルのシミュレーション計算速度または精度のいずれかを増加させる効果を有する。表に示す。

表 3-1 臨界オイラー時間ステップ 出典: TRNSYS manuals*[4]

Fraction of critical time step	Iterations / time step	Total iterations required	%error
1/1*10 ⁷	1.0	10,000,000	0.000
1/100	3.0	300	0.002
1/50	3.0	150	0.007
1/20	4.0	80	0.048
1/10	4.8	48	0.192
1/6	5.5	33	0.536
1/4	6.5	26	1.221
1/3	7.7	23	2.199
1/2	10.0	20	5.154
1	21.0	21	26.622

i 番目の節点について書かれたエネルギー収支は、以下の式となる。

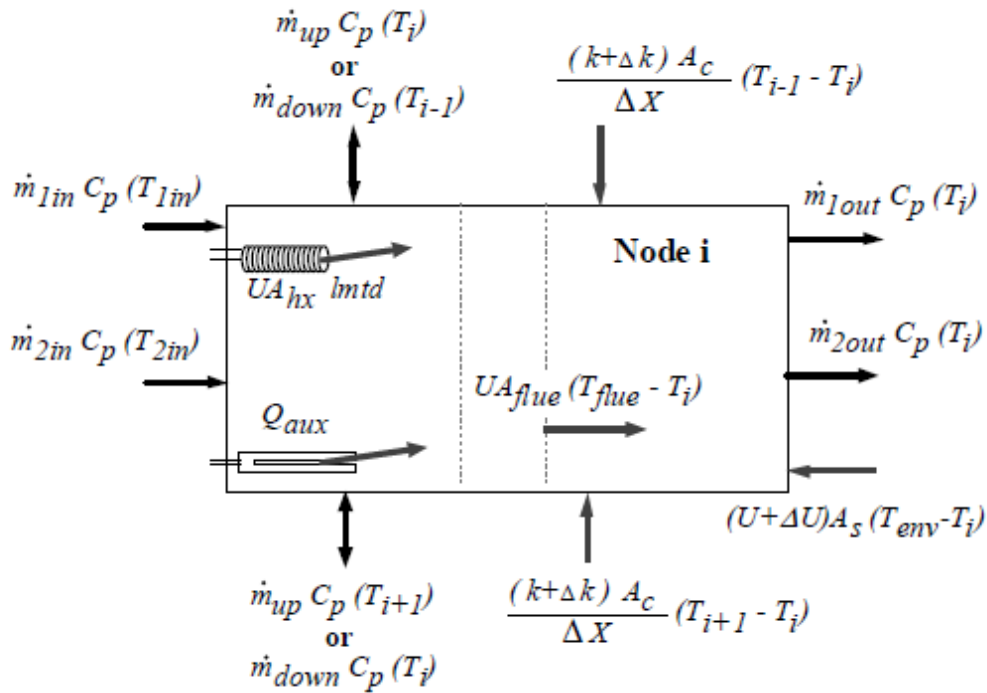


図 3-4 蓄熱槽の i 番目の節点について書かれたエネルギー収支

出典: TRNSYS manuals*[4]

すべてのエネルギーの流れを 1 つの方程式にまとめると、節点 i は、以下のように表される。

$$\begin{aligned}
 (M_i C_p) \frac{dT_i}{dt} = & \frac{(k + \Delta k) A_{c,i}}{\Delta x_{i+1 \rightarrow i}} (T_{i+1} - T_i) \\
 & + \frac{(k + \Delta k) A_{c,i}}{\Delta x_{i-1 \rightarrow i}} (T_{i-1} - T_i) + (U_{\text{tank}} + \Delta U_i) A_{s,i} (T_{\text{env}} - T_i) \\
 & + UA_{\text{flue},i} (T_{\text{flue}} - T_i) + \dot{m}_{\text{down}} C_p (T_{i-1}) - \dot{m}_{\text{up}} C_p (T_i) \\
 & - \dot{m}_{\text{down}} C_p (T_i) - \dot{m}_{\text{up}} C_p (T_{i+1}) + \gamma_{\text{htr1}} \dot{Q}_{\text{aux1}} + \gamma_{\text{htr2}} \dot{Q}_{\text{aux2}} \\
 & + UA_{\text{hx1}} (\text{lmtd}_1) + UA_{\text{hx2}} (\text{lmtd}_2) + UA_{\text{hx3}} (\text{lmtd}_3) \\
 & + \dot{m}_{1\text{in}} C_p T_{1\text{in}} - \dot{m}_{1\text{out}} C_p T_i + \dot{m}_{2\text{in}} T_{2\text{in}} - \dot{m}_{2\text{out}} C_p T_i
 \end{aligned}
 \tag{1.5}$$

3-3-4 熱交換器

可能な最大熱伝達率は、最小容量率の流体および低温側および高温側の流体入口温度に基

づいて計算される。熱交換器の寸法、ならびに内部流体の温度および流量を設定することができる。2つの壁の導電性パラメータ、すなわち熱交換器材料自体の導電率のためのものと、接触抵抗を可能にする熱交換器壁の導電率のものとが使用される。

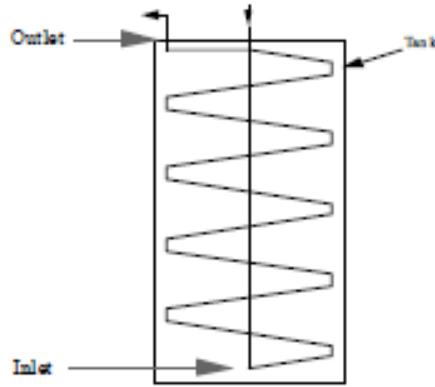


図 3-5、熱交換器 出典: TRNSYS manuals*[4]

モデルは、以下の式に基づいて熱伝達を計算する。

$$C_c = m_c C_{pc} \quad (1.6)$$

$$C_h = m_h C_{ph} \quad (1.7)$$

$$C_{\max} = C_c \text{ と } C_h \text{ の最大値} \quad (1.8)$$

$$C_{\min} = C_c \text{ と } C_h \text{ の最小値} \quad (1.9)$$

C_c : 熱交換器低温側の熱容量 C_h : 熱交換器高温側の熱容量

m_c : 流体質量流量 C_{pc} : 熱交換器低温側の比熱 C_{ph} : 熱交換器高温側の比熱

以下の式は、可能な最大熱伝達量を決定するために使用される。

$$C_{\min} = C_c \text{ なら } Q_{\max} = C_c (T_{hi} - T_{ci}) \quad (1.10)$$

$$C_{\min} = C_h \text{ なら } Q_{\max} = C_h (T_{hi} - T_{ci}) \quad (1.11)$$

Q_{\max} : 熱交換器の最大熱伝達率 T_{hi} : 熱交換器高温側の流入温度

T_{ho} : 熱交換器高温側の流出温度

熱伝達率を以下の式に示す。熱交換器の熱通過有効度 ε は 0.6 とした。

$$Q_T = \varepsilon Q_{\max} \quad (1.12)$$

ε : 熱交換器の熱通過有効度(-)(=0.6) Q_T : 熱交換器全体の総合熱伝達率(w)

熱交換器の出口条件は以下のとおりである。

$$T_{ho} = T_{hi} - \frac{Q_T}{\dot{m}_h c_h} \quad (1.13)$$

$$T_{co} = T_{ci} - \frac{Q_T}{\dot{m}_c c_c} \quad (1.14)$$

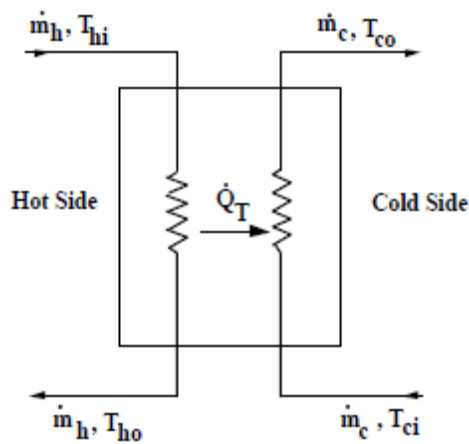


図 3-6 熱交換器の概要図 出典: TRNSYS manuals*[4]

3-4 第3章のまとめ

本章では、第2章における計算対象施設で使用する非定常システムシミュレーションソフト TRNSYS の概要を述べた。また、シミュレーションに実際に用いた各種構成機器、具体的には第2章の計算対象施設のモデル化で使用した「多数室モデル」、システム作成で用いた各種コンポーネントである「集熱器」、「蓄熱槽」、「熱交換器」の特性や基礎式について示した。これらを用いて、実際に太陽熱システムのシミュレーションを行っていく。

第4章

太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーション

4-1 はじめに

第4章では、実際に計算シミュレーションを行うために、第3章で述べた非定常シミュレーションソフト TRNSYS によって、各種コンポーネント（集熱器、蓄熱槽、熱交換器）と第2章で述べた計算対象施設を組み合わせ、構築した太陽熱システムを示す。本章では、太陽熱を使用していない条件下での施設の冷暖房負荷と太陽熱給湯システム、太陽熱給湯・床暖房システム、太陽熱給湯・床暖房・外気予熱システムについて示す。

4-2 建物の冷暖房負荷

建物全体の負荷、それぞれの負荷の年間積算値について図4-1～4-2に示す。冷暖房負荷は2章で示した条件の下でシミュレーションすることで算出し、給湯負荷に関しては、第2章に示した同規模の老人福祉施設で実測した給湯量から作成した給湯量の1週間の変動パターンを用いる。この給湯パターンが繰り返されるものとし、給湯温度を55℃として、給湯負荷をシミュレーションの計算条件として与えた。

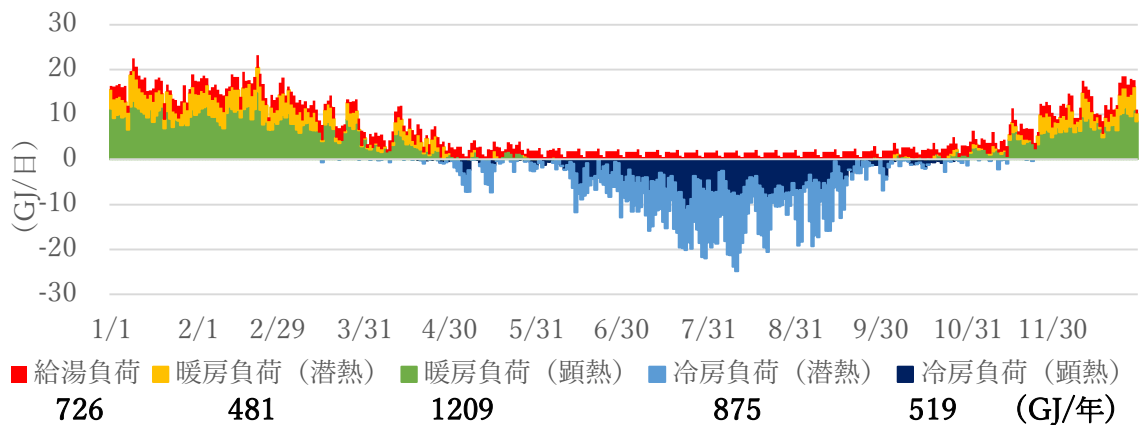


図4-1. 計算対象施設の年間負荷

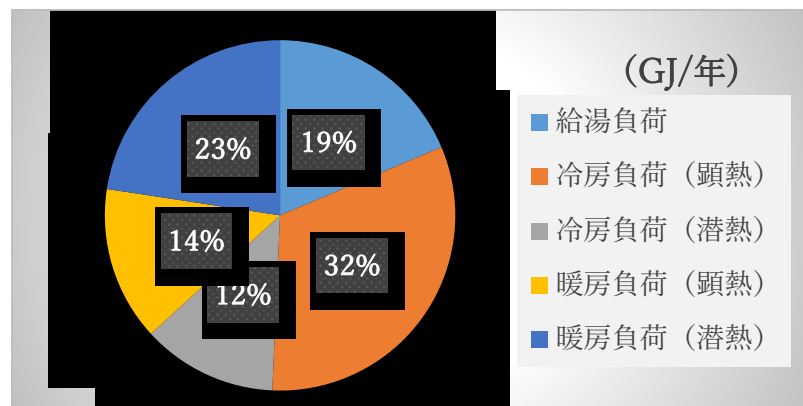


図4-2 計算対象施設の年間暖房負荷の内訳

4-3 エネルギーシミュレーションの計算条件

太陽熱利用システムのシミュレーションにおける計算条件を示す。給湯負荷に関しては第2章に示した実測によって得られた結果を用いており、本シミュレーションでは、送水温度 55°C で出湯されるように調整されている。外気温、日射量、相対湿度の気象条件については、気象アメダスデータの三重県津市の観測データを用いる。本シミュレーションで使用する太陽熱集熱器、蓄熱槽の仕様を表 4-1、図 4-3、4-4 に示す。集熱器は周辺設備機器も考慮し、建物の端から 1m 離すことにする。集熱器面積は 100~600 m² の 100 m² 刻みで検討する。また、集熱器面積に応じて集熱流量や蓄熱槽容量を決定する。

表 4-1 集熱器、蓄熱槽、熱交換器の仕様

集熱器	
日射透過吸収率	0.6
熱損失係数	15(kJ/hm ² K)
蓄熱槽	
蓄熱槽の高さ	2.5(m)
蓄熱槽壁の熱貫流率	3(kJ/hm ² K)
蓄熱槽タンクの 計算分割数	21
熱交換器	
高さ	2.5(m)
内径	0.05(m)
直径	0.052(m)
フィン直径	0.052(m)
総表面積	8.16(m ²)
熱交換器の壁の 熱伝導率	60.12(kJ/hmK)

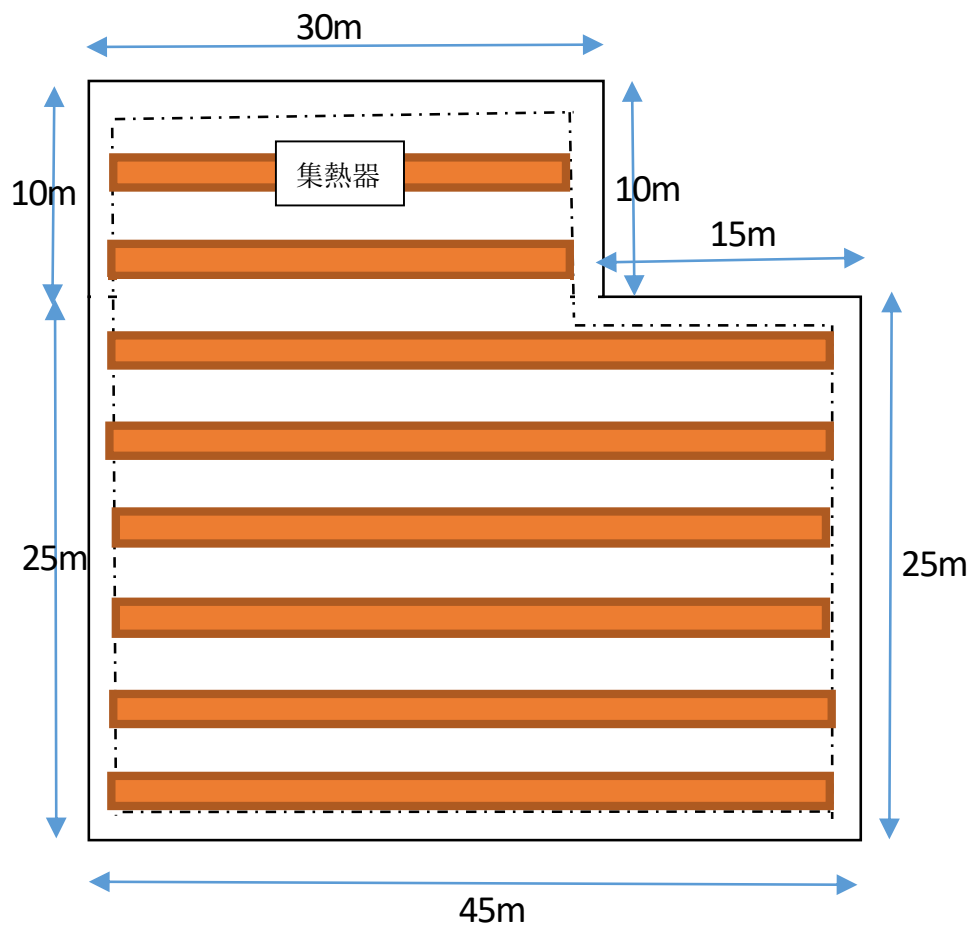


図 4-3 集熱器面積の設置範囲

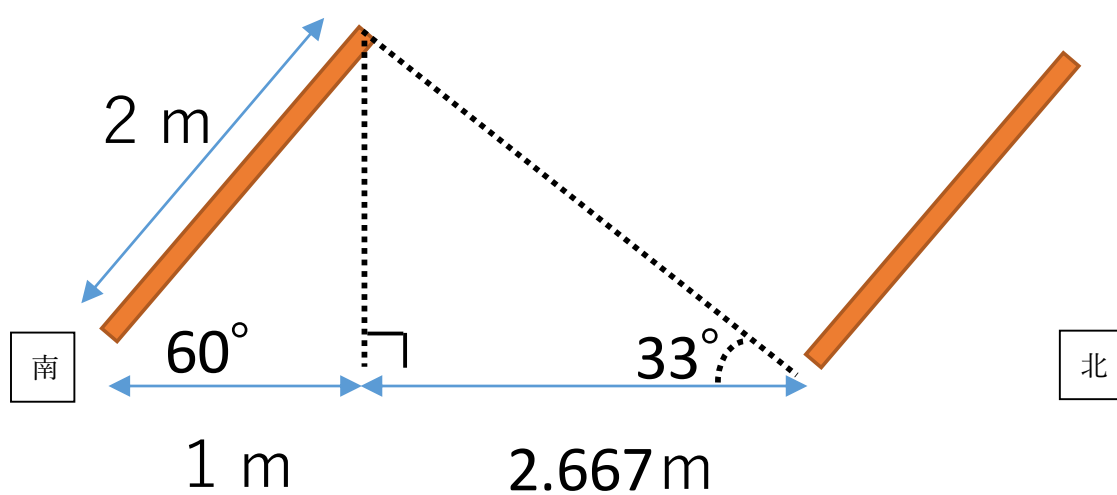


図 4-4 集熱器面積を設置した際の立面図

4-3-1 給湯に太陽熱を利用する場合

システム概要図を図4-5に示す。このシステムは、太陽の熱を集める集熱器、集熱器で集熱した熱を蓄える蓄熱槽、補助熱源機のヒートポンプで構成されるシステムである。本研究では太陽熱の暖房への利用も考えているため、蓄熱槽内の蓄熱媒体を集熱器に循環させて蓄熱する方式としている。流入してきた市水はまず蓄熱槽内のコイルによって温められ、所定の温度の55℃に調整され、温水が供給される。例えば、槽内から出湯される温度が55℃より高い場合は、市水と混合し55℃に調整される。また、温度が低い場合には、ヒートポンプ給湯機の貯湯槽の温水(80℃)と混合し所定の温度である55℃に調整され、温水が供給される。他の計算条件については表4-4に示す。

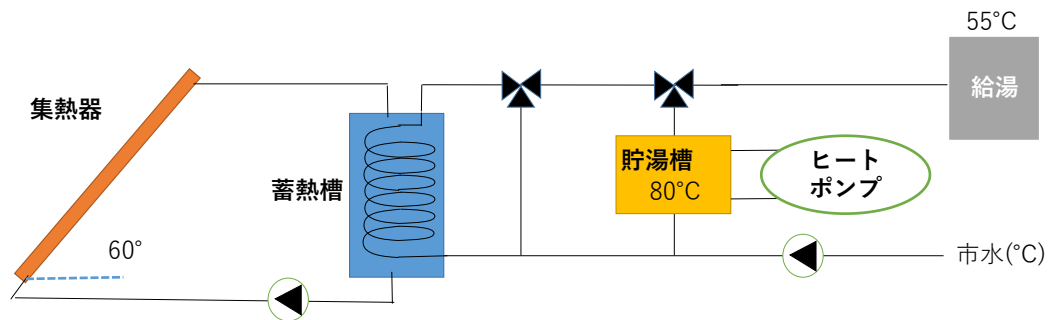


図4-5 太陽熱給湯システム

表4-4 太陽熱給湯システムの計算条件

	太陽熱給湯システム
集熱器面積(m ²)	100~600
蓄熱槽容量(m ³)	2~120
集熱流量(kg/h)	500~12000
給湯温度設定値(℃)	55
給湯補助熱源の出湯温度（貯湯式）(℃)	80
出湯開始温度Th(℃)	Th ≥ 52
出湯停止温度Th(℃)	Th ≤ 50
空調室の設定室温（暖房）(℃)	22
空調室の設定室温（冷房）(℃)	26
集熱運転を開始する集熱器出入り口温度差ΔTc(℃)	ΔTc ≥ 3
集熱運転を停止する集熱器出入り口温度差ΔTc(℃)	ΔTc ≤ 1

4-3-2 給湯と床暖房に太陽熱を利用する場合

システム概要図を図4-6に示す。このシステムは、先ほどの太陽熱給湯システムである、太陽の熱を集める集熱器、集熱器で集熱した熱を蓄える蓄熱槽、補助熱源機のヒートポンプに加え、太陽熱床暖房を導入したシステムである。その他の計算条件については表4-5に示す。

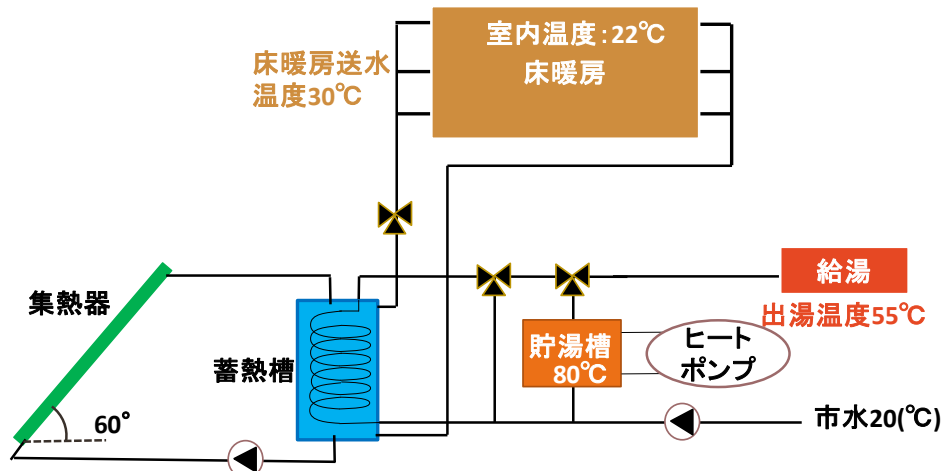


表4-5 太陽熱給湯・床暖房システムの計算条件

	太陽熱給湯 暖房システム
集熱器面積(m ²)	100~600
蓄熱槽容量(m ³)	2~120
集熱流量(kg/h)	500~12000
床暖房流量(kg/h)	50625
床暖房送水温度設定値(°C)	30
給湯温度設定値(°C)	55
給湯補助熱源の出湯温度（貯湯式）(°C)	80
床暖房への送水開始温度Tw(°C)	Tw ≥ 32
床暖房への送水停止温度Tw(°C)	Tw ≤ 30
出湯開始温度Th(°C)	Th ≥ 52
出湯停止温度Th(°C)	Th ≤ 50
空調室の設定室温（暖房）(°C)	22
空調室の設定室温（冷房）(°C)	26
床暖房運転を停止する室温Tr(°C)	Tr ≥ 22.1
床暖房運転を開始する室温Tr(°C)	Tr ≤ 22.0
集熱運転を開始する集熱器出入り口温度差ΔTc(°C)	ΔTc ≥ 3
集熱運転を停止する集熱器出入り口温度差ΔTc(°C)	ΔTc ≤ 1

4-3-3 給湯と床暖房、外気の予熱に太陽熱を利用する場合

システム概要図を図4-7に示す。このシステムは、先ほどの太陽熱給湯システムである、太陽の熱を集める集熱器、集熱器で集熱した熱を蓄える蓄熱槽、補助熱源機のヒートポンプに加え、太陽熱床暖房、熱交換器を導入したシステムである。その他の計算条件については表4-6に示す。

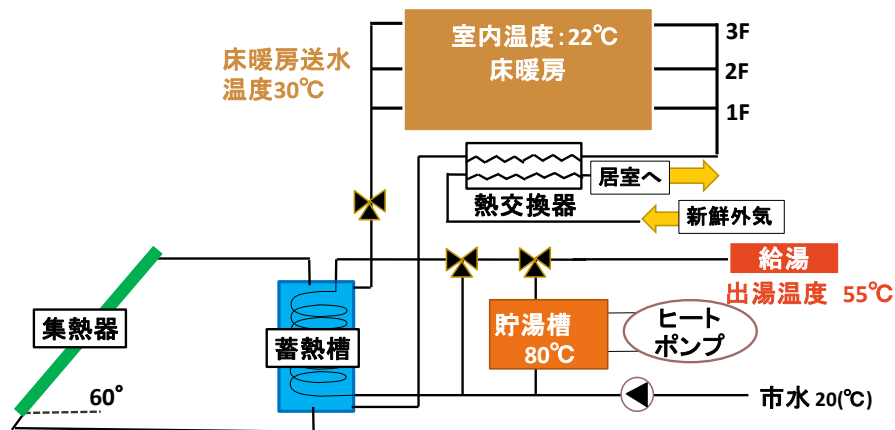


図4-7 太陽熱給湯・床暖房・外気予熱システム

表4-6 太陽熱給湯・床暖房・外気予熱システムの計算条件

	太陽熱給湯 暖房外気予熱
集熱器面積(m ²)	100~600
蓄熱槽容量(m ³)	2~120
集熱流量(kg/h)	500~12000
床暖房流量(kg/h)	50625
床暖房送水温度設定値(℃)	30
給湯温度設定値(℃)	55
給湯補助熱源の出湯温度（貯湯式）(℃)	80
床暖房への送水開始温度Tw(℃)	$T_w \geq 32$
床暖房への送水停止温度Tw(℃)	$T_w \leq 30$
出湯開始温度Th(℃)	$T_h \geq 52$
出湯停止温度Th(℃)	$T_h \leq 50$
空調室の設定室温（暖房）(℃)	22
空調室の設定室温（冷房）(℃)	26
床暖房運転を停止する室温度Tr(℃)	$T_r \geq 22.1$
床暖房運転を開始する室温度Tr(℃)	$T_r \leq 22.0$
集熱運転を開始する集熱器出入り口温度差 ΔT_c (℃)	$\Delta T_c \geq 3$
集熱運転を停止する集熱器出入り口温度差 ΔT_c (℃)	$\Delta T_c \leq 1$
外気予熱の熱交換率	0.6

4-4 第4章のまとめ

本章では、計算対象施設の給湯負荷と冷暖房負荷の内訳とその割合、シミュレーションのシステムの概要と計算条件について示した。これらを基に、第3章で記述した TRNSYS によるシミュレーションで、次章では、集熱器面積あたりの蓄熱槽容量、集熱流量、太陽熱依存率との関係、容量効率の観点から適切な構成機器の容量バランスについて検討を行う。

第 5 章

太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの 結果と考察

5-1 はじめに

第5章では、TRNSYSによってモデル化した老人福祉施設の太陽熱給湯システム、太陽熱給湯・床暖房システム、太陽熱給湯・床暖房・外気予熱システムの年間のシミュレーションを行い、集熱器面積あたりの蓄熱槽容量、集熱流量、太陽熱依存率との関係、容量効率の観点から適切な構成機器の容量バランスについて検討する。

5-2 給湯に太陽熱を利用した場合の計算結果と考察

5-2-1 集熱器面積を変化させた場合

図5-1に、集熱器面積が300 m²の場合の集熱流量と給湯負荷に対する年間の太陽熱依存率との関係を蓄熱槽容量ごとに示す。集熱器単位面積当たりの集熱流量が最も小さい5 ((kg/h)/m²)では、蓄熱槽容量によらず太陽熱依存率は0.40程度であり、集熱流量の増加に伴い集熱効率が高くなるために、太陽熱依存率は上昇し、集熱器単位面積当たりの集熱流量が10～15 ((kg/h)/m²)程度で頭打ちとなる。その時の太陽熱依存率は、蓄熱槽容量6 m³で約0.60、蓄熱槽容量12 m³で約0.65、蓄熱槽容量18 m³で約0.67、蓄熱槽容量が30 m³以上で約0.7であった。

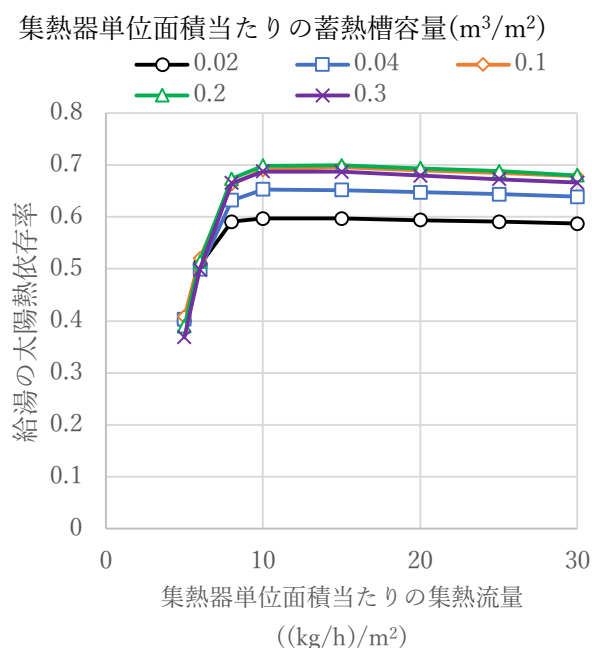


図5-1 集熱器面積300 m²の蓄熱槽容量ごとの
給湯の太陽熱依存率との関係

図5-2に、集熱器面積が100、300、600 m²の場合の、集熱器単位面積当たりの集熱流量と太陽熱依存率の関係を示す。どの集熱器面積においても、集熱流量が小さい場合では、蓄熱槽容量によらず、太陽熱依存率はほぼ同値であった。また、集熱流量の増加に伴い集熱効率が高くなるために、太陽熱依存率は上昇し、ある集熱器単位面積あたりの集熱流量で頭打

ちとなる。集熱器面積 100 m^2 においては蓄熱槽容量に関わらず、太陽熱依存率はほぼ一定値となった。集熱器面積 600 m^2 の場合は、集熱器面積 300 m^2 の時と同様、蓄熱槽容量を大きくすると太陽熱依存率が上昇した。これは、蓄えることができる熱量が増加するため、集熱量と集熱効率が上昇し、太陽熱依存率も上昇するからである。集熱流量が増加しても太陽熱依存率が頭打ちとなる集熱器単位面積当たりの集熱流量は、集熱器面積 100 m^2 の場合は $10 ((\text{kg/h})/\text{m}^2)$ 、 300 m^2 の場合は $10 \sim 15 ((\text{kg/h})/\text{m}^2)$ 、 600 m^2 の場合は $15 \sim 20 ((\text{kg/h})/\text{m}^2)$ であり、集熱器面積が大きいほど、集熱器単位面積当たりの値が大きくなることがわかる。それぞれの集熱器面積における太陽熱依存率の最大値については表 5-1～5-3 に示す。また、各集熱器面積において、集熱器単位面積当たりの集熱流量 $15 ((\text{kg/h})/\text{m}^2)$ 程度よりも大きくしても太陽熱依存率が増加しないことから以降では、集熱流量を $15 ((\text{kg/h})/\text{m}^2)$ で固定し、集熱器面積と蓄熱槽容量の容量バランスについて検討する。

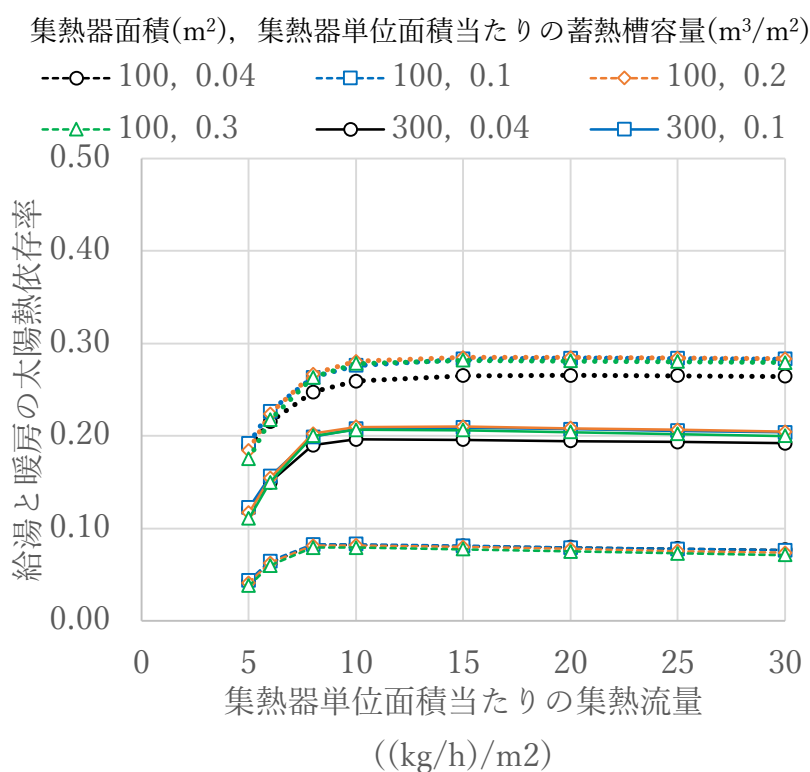


図 5-2 集熱器面積が 100、300、600 m^2 の場合の、集熱器単位面積当たりの集熱流量と太陽熱依存率の関係

表 5-1 集熱器面積 100 m²における太陽熱依存率

M/A ((kg/h)/m ²)	V/A(m ³ /m ²)			
	0.04	0.1	0.2	0.3
5	0.043	0.043	0.041	0.038
6	0.063	0.064	0.062	0.060
8	0.082	0.083	0.081	0.079
10	0.082	0.083	0.081	0.079
15	0.081	0.081	0.080	0.077
20	0.079	0.079	0.078	0.075
25	0.078	0.078	0.075	0.073
30	0.077	0.076	0.073	0.071

表 5-2 集熱器面積 300 m²における太陽熱依存率

M/A ((kg/h)/m ²)	V/A(m ³ /m ²)			
	0.04	0.1	0.2	0.3
5	0.121	0.122	0.117	0.111
6	0.150	0.156	0.154	0.150
8	0.190	0.199	0.202	0.200
10	0.196	0.207	0.210	0.207
15	0.196	0.209	0.210	0.206
20	0.194	0.207	0.208	0.204
25	0.193	0.206	0.207	0.202
30	0.192	0.204	0.204	0.200

表 5-3 集熱器面積 600 m²における太陽熱依存率

M/A ((kg/h)/m ²)	V/A(m ³ /m ²)			
	0.04	0.1	0.2	0.3
5	0.188	0.192	0.185	0.175
6	0.215	0.226	0.224	0.217
8	0.247	0.263	0.267	0.263
10	0.259	0.276	0.281	0.278
15	0.265	0.283	0.285	0.282
20	0.265	0.284	0.285	0.281
25	0.265	0.284	0.284	0.280
30	0.264	0.283	0.283	0.279

5-2-2 集熱器単位面積当たりの集熱量を固定した場合

次に、集熱器単位面積当たりの集熱流量を15(kg/h)/m²に固定し、集熱器面積100～600 m²の集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の太陽熱依存率の関係を図5-4に、集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と給湯の太陽熱依存率との関係を図5-5に、集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と集熱効率については図5-6に示す。集熱器面積600m²は、計算対象建物の屋根上に設置することのできる最大の集熱器面積である。太陽熱依存率は、蓄熱槽容量が増加するに従って、集熱量が増加するため、太陽熱依存率が上昇するが、一方で、蓄熱槽の表面積が増大し熱損失が増えるため、集熱器面積が300m²の場合は0.14m³/m²をピーク

クに、太陽熱依存率が低下することになる。また、太陽熱依存率が最大となる集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量は（図中に白塗りつぶしのマーカーで表示）、集熱器面積が400m²未満では、面積が小さいほど、小さくなる傾向にあり、400 m²以上ではほぼ一定値となる。また、集熱器面積100m²の場合、槽容量を増加させても、太陽熱依存率は増加しなかった。これは、集熱器面積が小さいために、集熱した太陽熱をその時の給湯負荷を賄うために使用し、蓄熱する余剰の熱が少なくなることが原因と考えられる。

集熱効率については、どの集熱器面積の場合においても、蓄熱槽容量が大きくなるにつれて、集熱効率が上昇した。集熱器面積については、面積が小さいほうが、集熱効率が優れていた。集熱器面積が大きくなると、蓄熱槽内温度が高くなるために集熱効率が下がるからである。また、太陽熱依存率が最大値となる蓄熱槽容量から、蓄熱槽容量を若干減少させても、太陽熱依存率の低下量はわずかであることが分かる。なお、蓄熱槽の初期コストと節約できるエネルギー費等との関係から、経済的な蓄熱槽容量の最適値は、太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量よりも小さい値となる。

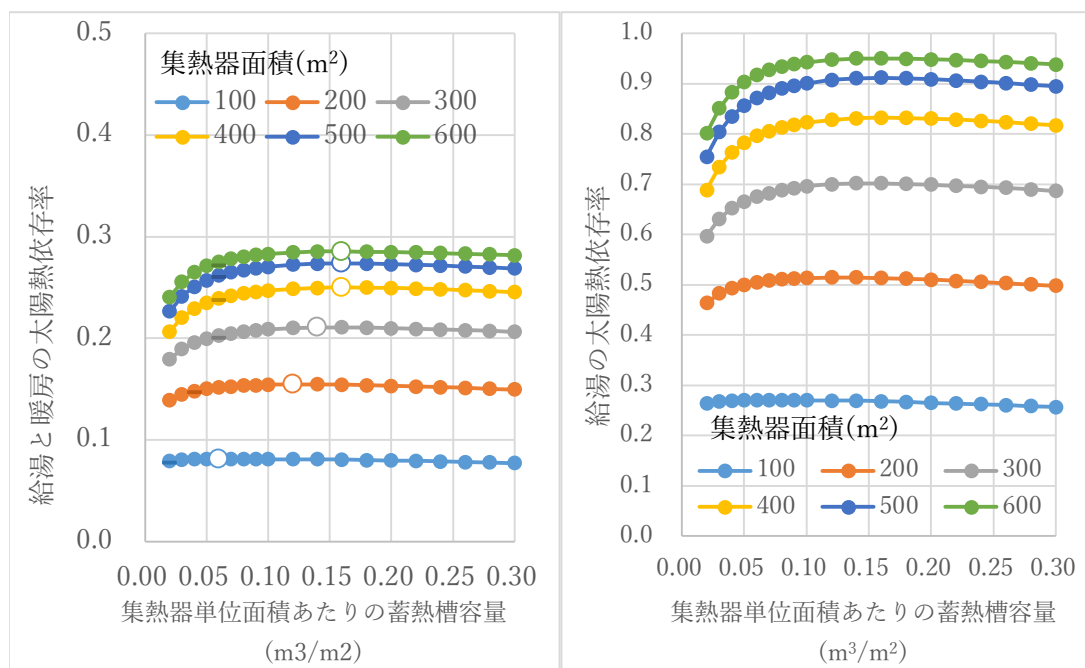


図 5-4 集熱器単位面積あたりの蓄熱槽

容量と年間の太陽熱依存率の関係

図 5-5 集熱器単位面積あたりの蓄熱槽

容量と給湯の太陽熱依存率の関係

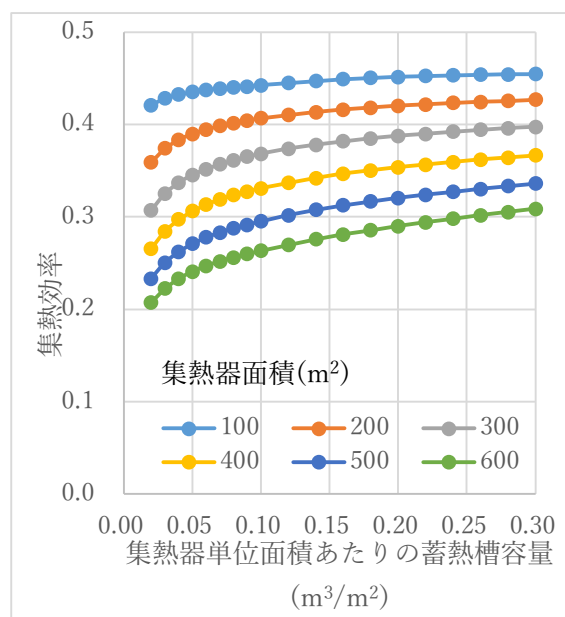


図 5-6 集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量と集熱効率の関係

5-2-3 太陽熱依存率と蓄熱槽容量の関係

図5-7に、太陽熱依存率の最大値とその最大値の95%の太陽熱依存率、その時の蓄熱槽容量を、図5-8に太陽熱依存率の最大値とその最大値の95%の集熱量、給湯用放熱量を示す。集熱器面積300 m^2 程度までは、集熱器面積が大きくなるにつれて、太陽熱依存率がほぼ比例して増加していることがわかる。300 m^2 程度以上では、太陽熱依存率の増加割合が

低下し、集熱器単位面積当たりのエネルギー削減効果が減少している。表5-4～5-5に集熱器単位面積当たりの集熱流量を15 (kg/h)/m²に固定した場合の、各集熱器面積における集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の太陽熱依存率の値を示す。太陽熱依存率が最大となる値は色が反転している。太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量の約30～40%に低減できる。また、集熱量、給湯用放熱量については、集熱器面積が大きくなるほど、集熱器単位面積あたりの値が小さくなっており、集熱器面積が小さいほど熱効率が良いことが分かる。集熱器面積100m²の場合は、最大値と最大値の95%に差異はほぼなかった。最大値の95%の時は最大値と比べて、集熱量は5%、給湯用放熱量は2%小さかった。

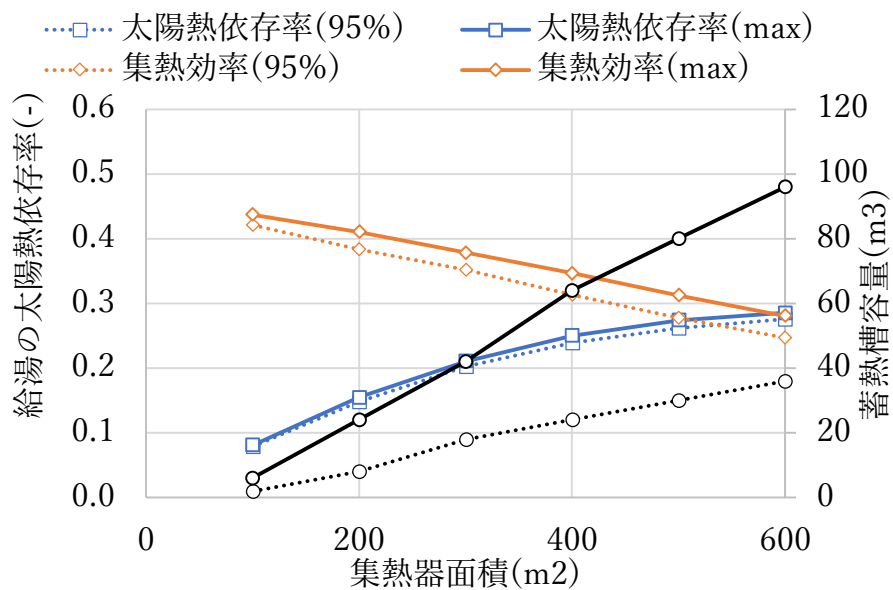


図 5-7 太陽熱給湯システムの太陽熱依存率の最大値とその最大値の 95% の太陽熱依存率、その時の蓄熱槽容量

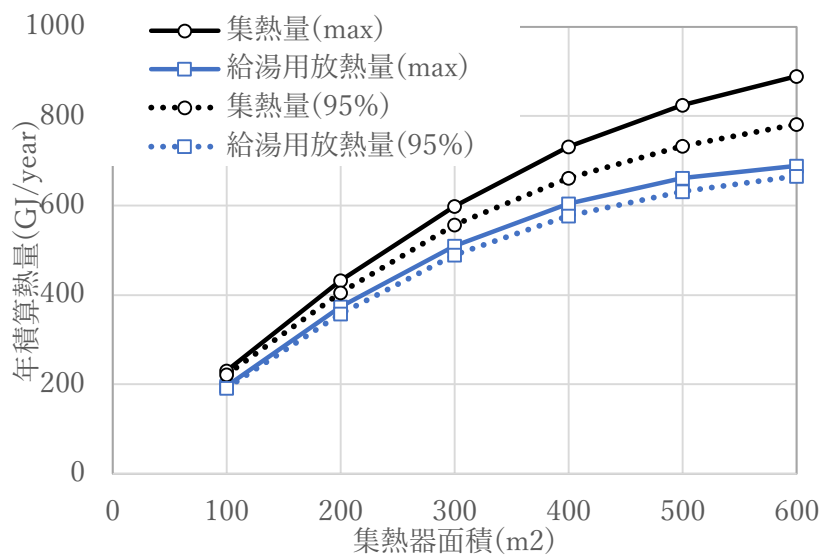


図 5-8 太陽熱給湯システムの太陽熱依存率の最大値と
その最大値の 95% の集熱量、給湯用放熱量

表 5-4 太陽熱給湯システムの各集熱器面積における集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の太陽熱依存率の値

集熱器面積(m ²)	集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量(m ³ /m ²)								
	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
100	0.079	0.080	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081	0.081
200	0.139	0.145	0.148	0.150	0.152	0.153	0.153	0.154	0.154
300	0.179	0.190	0.196	0.200	0.203	0.205	0.207	0.208	0.209
400	0.207	0.220	0.229	0.235	0.239	0.242	0.244	0.246	0.247
500	0.227	0.241	0.251	0.257	0.262	0.265	0.267	0.269	0.270
600	0.241	0.256	0.265	0.271	0.275	0.279	0.280	0.282	0.283

	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.24	0.26	0.28	0.3
0.081	0.081	0.081	0.080	0.080	0.079	0.079	0.078	0.078	0.077	
0.155	0.155	0.154	0.154	0.153	0.152	0.152	0.151	0.150	0.150	
0.210	0.211	0.211	0.210	0.210	0.209	0.209	0.208	0.207	0.206	
0.249	0.250	0.250	0.250	0.249	0.249	0.248	0.247	0.246	0.245	
0.273	0.274	0.274	0.274	0.273	0.272	0.271	0.271	0.270	0.269	
0.285	0.285	0.285	0.285	0.285	0.284	0.284	0.283	0.283	0.282	

表 5-6 太陽熱給湯システムの各集熱器面積における集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の給湯の太陽熱依存率の値

集熱器面積(m ²)	集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量(m ³ /m ²)								
	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
100	0.264	0.268	0.269	0.270	0.271	0.270	0.270	0.270	0.270
200	0.464	0.483	0.494	0.500	0.505	0.508	0.511	0.512	0.514
300	0.597	0.632	0.652	0.665	0.675	0.682	0.688	0.693	0.696
400	0.688	0.734	0.763	0.782	0.796	0.806	0.813	0.818	0.823
500	0.755	0.804	0.835	0.856	0.872	0.882	0.890	0.896	0.900
600	0.802	0.851	0.883	0.903	0.918	0.928	0.934	0.939	0.942

	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.24	0.26	0.28	0.3
0.270	0.269	0.268	0.267	0.265	0.264	0.262	0.261	0.259	0.257	
0.515	0.515	0.514	0.512	0.510	0.508	0.506	0.503	0.500	0.498	
0.700	0.702	0.702	0.701	0.699	0.697	0.695	0.693	0.690	0.687	
0.828	0.831	0.833	0.832	0.831	0.829	0.826	0.824	0.820	0.817	
0.908	0.911	0.912	0.911	0.909	0.907	0.904	0.901	0.898	0.895	
0.948	0.950	0.950	0.950	0.948	0.947	0.945	0.943	0.941	0.938	

5-2-4 月別比較

次に、太陽熱依存率の最大値の95%における各集熱器面積の月別の太陽熱依存率、集熱効率、蓄熱槽内温度、熱損失を図 5-9～13 に、各集熱器面積の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合を図 5-14～19 に示す。最も日射量の大きい8月の太陽熱依存率が最も高いが、集熱効率については、集熱器面積 400 m²以上の場合、全ての月の中で最も低く、集熱器面積 100 m²の時は最も効率が良かった。日射量が大きいと、集熱量が大きくなり、太陽熱依存率は増加するが、集熱器面積が大きくなると、集熱器入口温度が高くなるために集熱

効率が下がるからである。集熱器面積 300 m²の時点で、太陽熱によって給湯を 89%賄うことができている。400 m²以上では 90%以上賄うことができおり、集熱器面積 600 m²では太陽熱により 100%賄うことができた。また、集熱器面積 400 m²以上の時は給湯と暖房の太陽熱依存率が 90%を超えており、蓄熱槽内平温度が 70℃を超えていた。太陽熱依存率は上昇するが、配管や蓄熱槽からの熱損失の影響が大きいため、集熱効率が低下すると考えられる。最も太陽熱依存率が低いのは 1 月であり、集熱器面積 400 m²以上では集熱効率が最も良かった。この時、太陽熱で賄うことができていた給湯は暖房負荷全体の 10%であった。

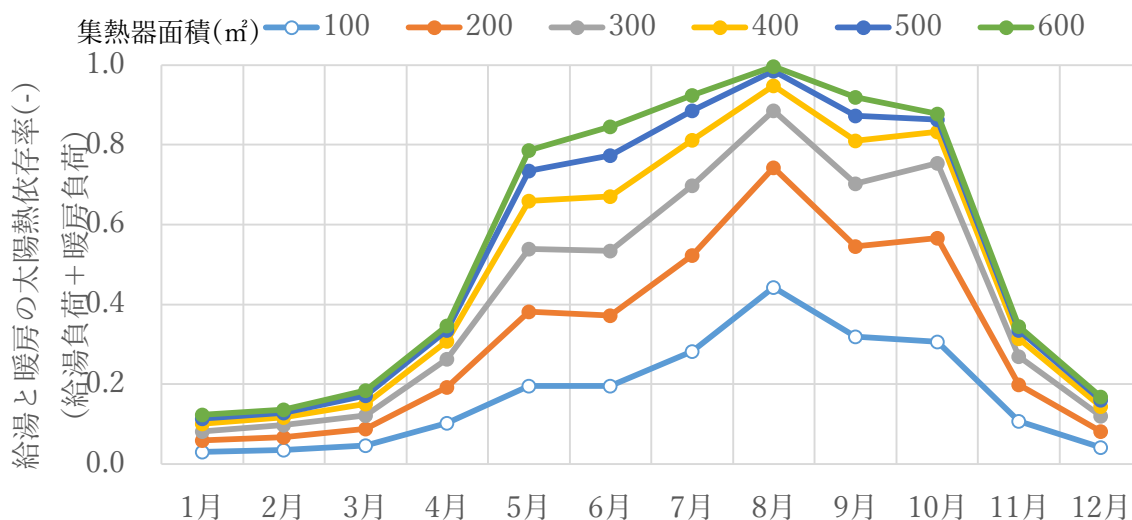


図 5-9 太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の太陽熱依存率

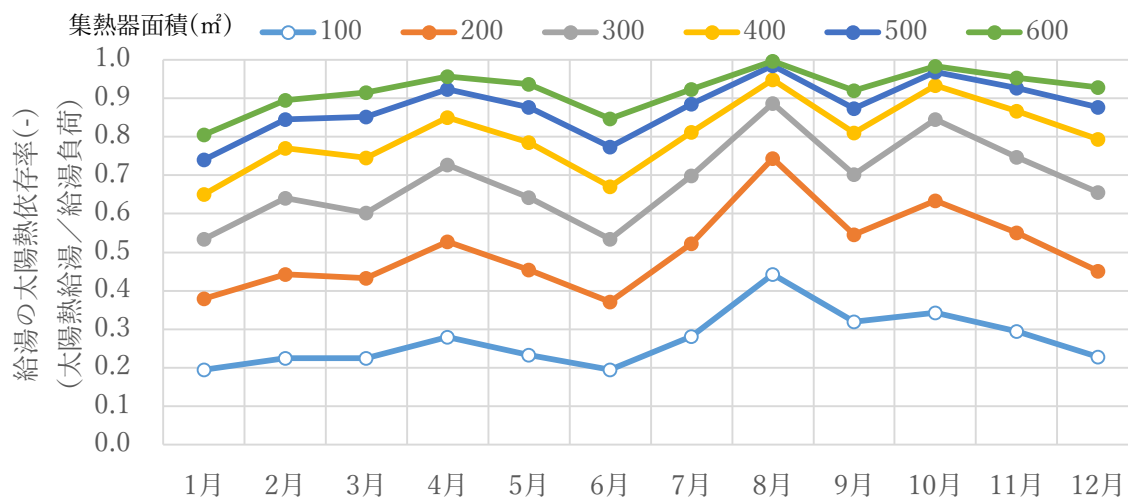


図 5-10 太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の給湯の太陽熱依存率

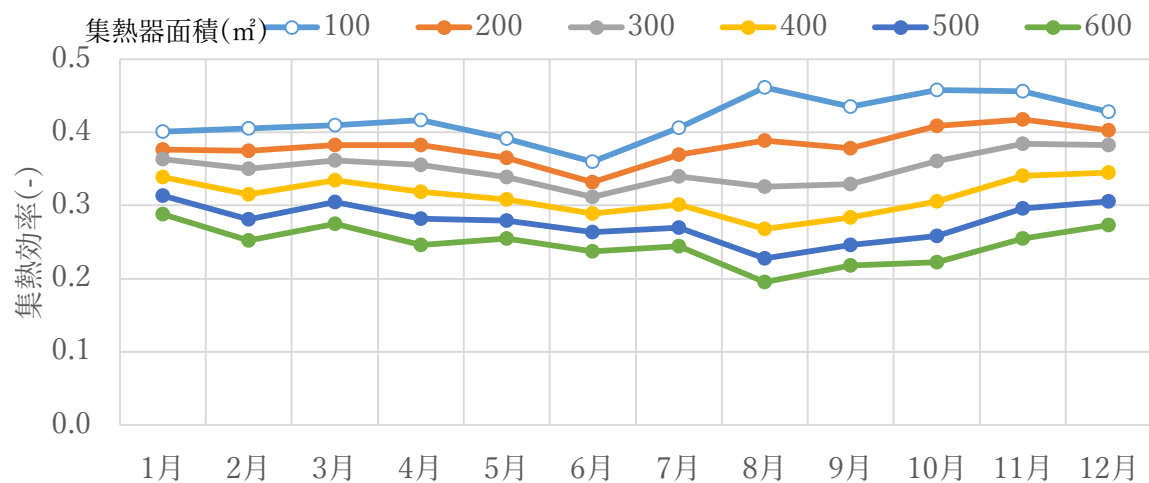


図 5-11 太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の集熱効率

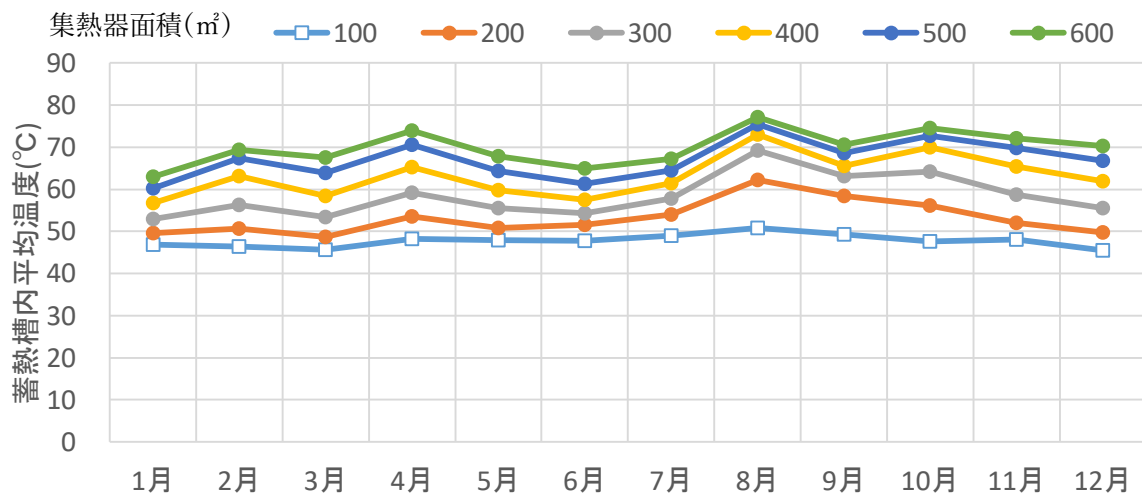


図 5-12 太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の蓄熱槽内平均温度

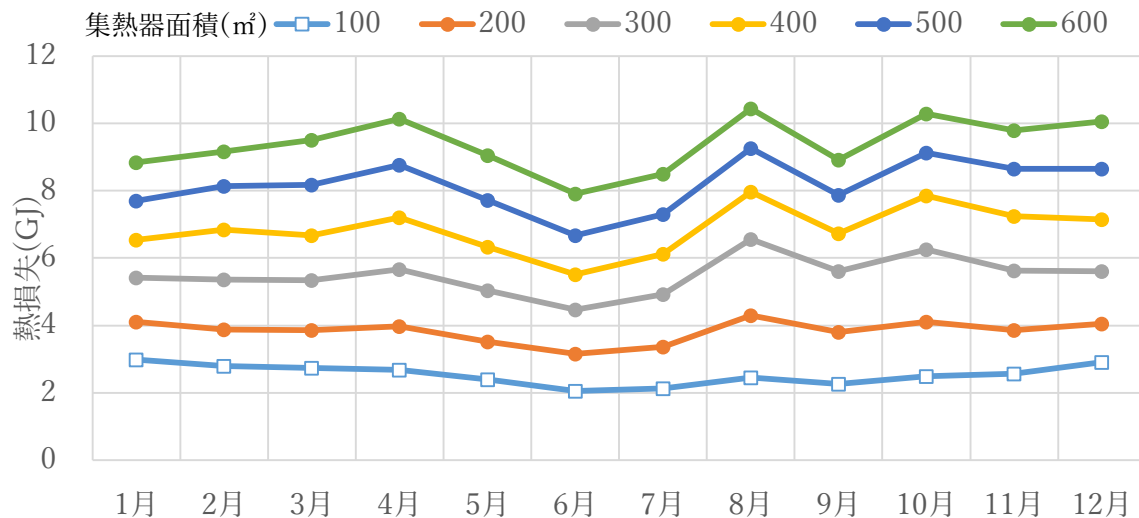


図 5-13 太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の熱損失

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

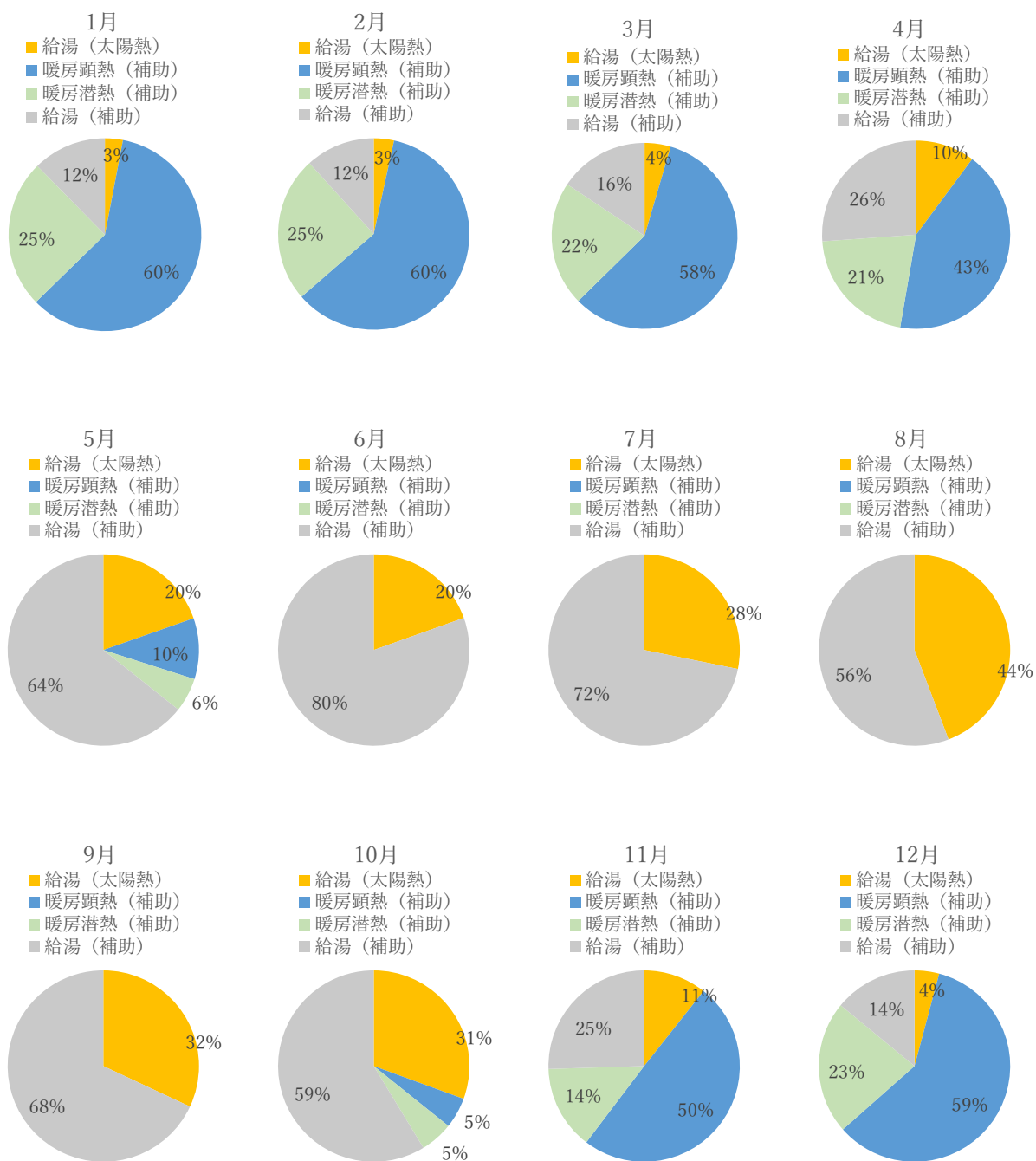


図 5-14 太陽熱給湯システムの集熱器面積 100 m²の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

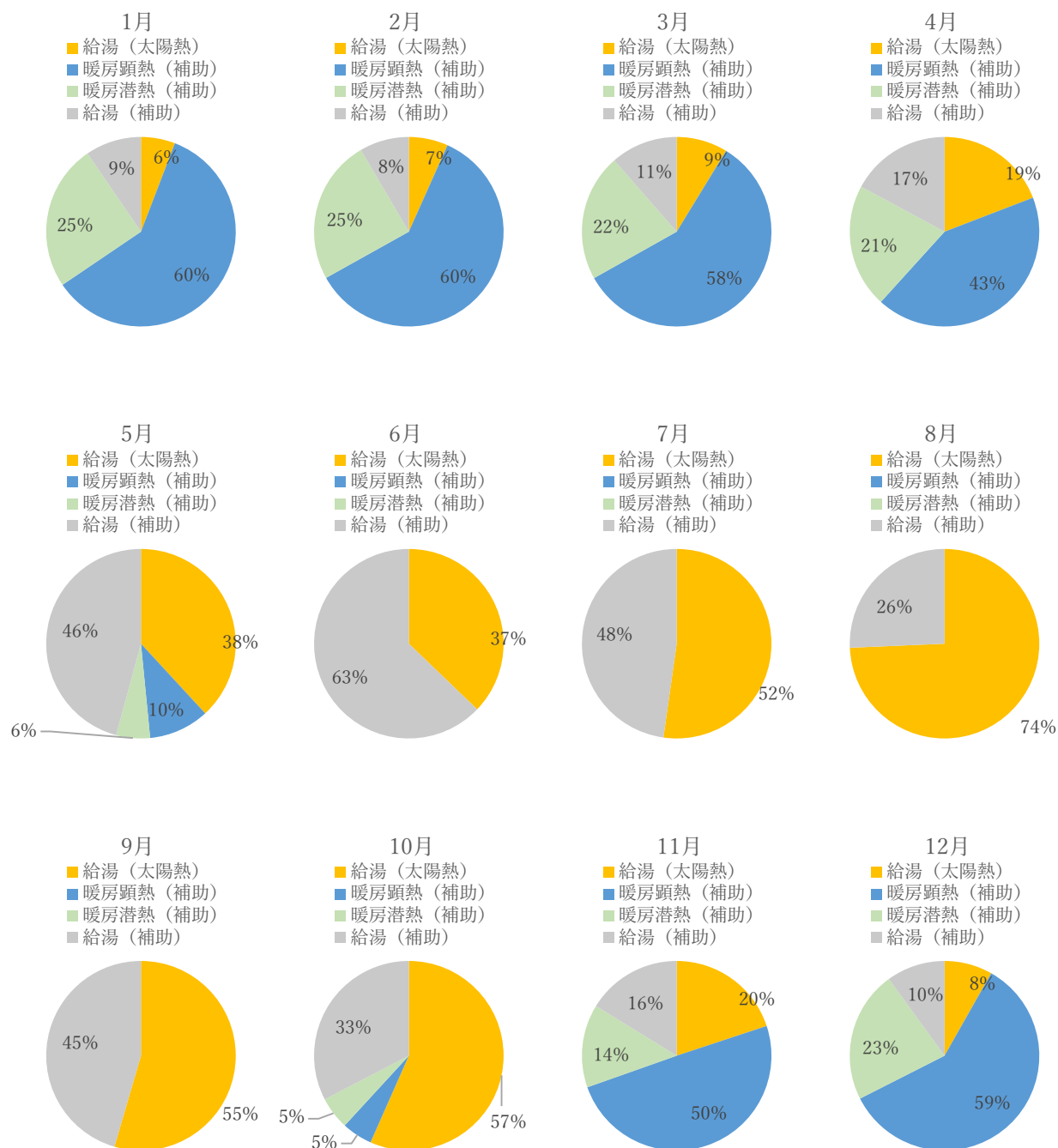


図 5-15 太陽熱給湯システムの集熱器面積 200 m²の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

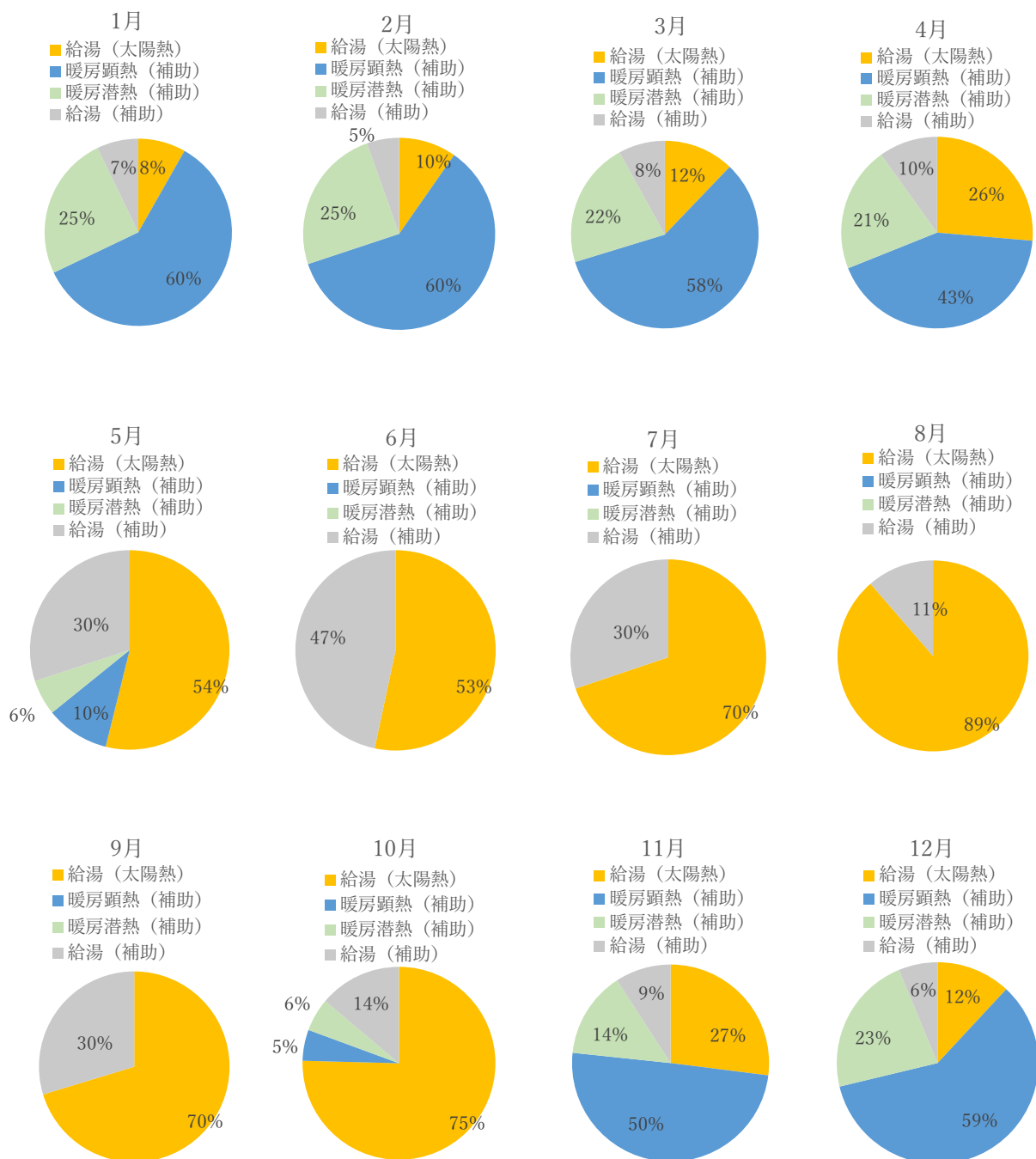


図 5-16 太陽熱給湯システムの集熱器面積 300 m²の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

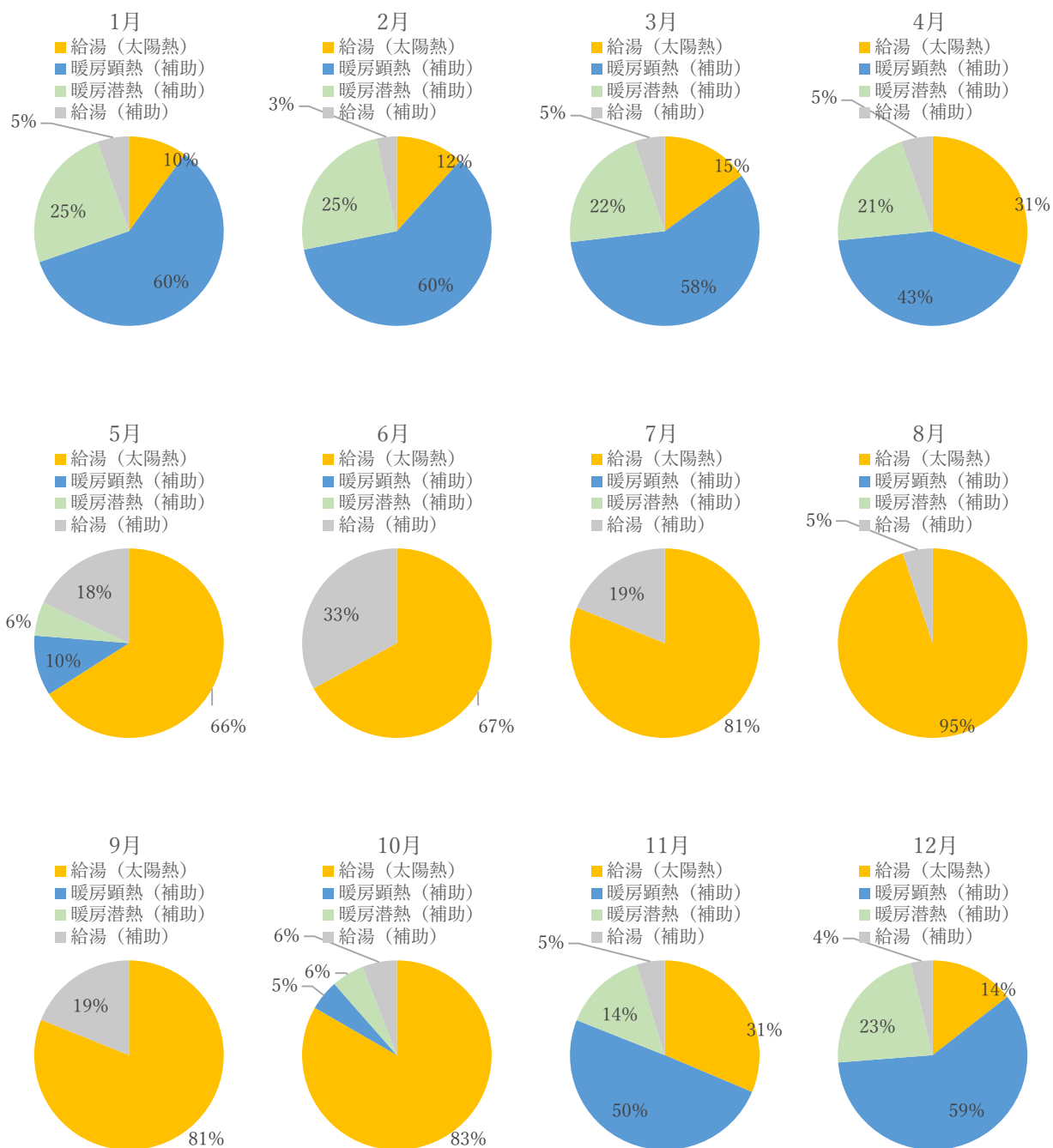


図 5-17 太陽熱給湯システムの集熱器面積 400 m²の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

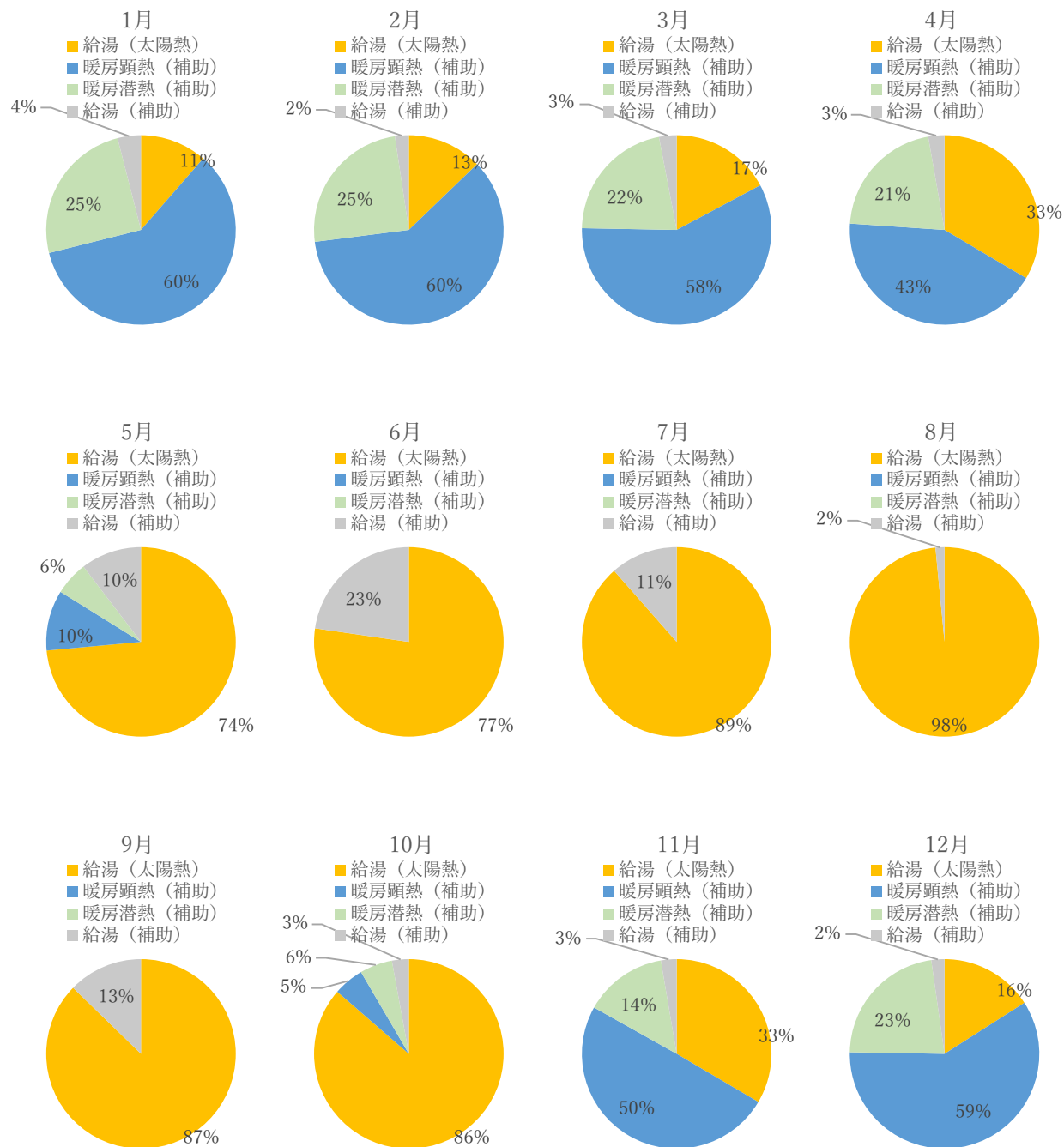


図 5-18 太陽熱給湯システムの集熱器面積 500 m²の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

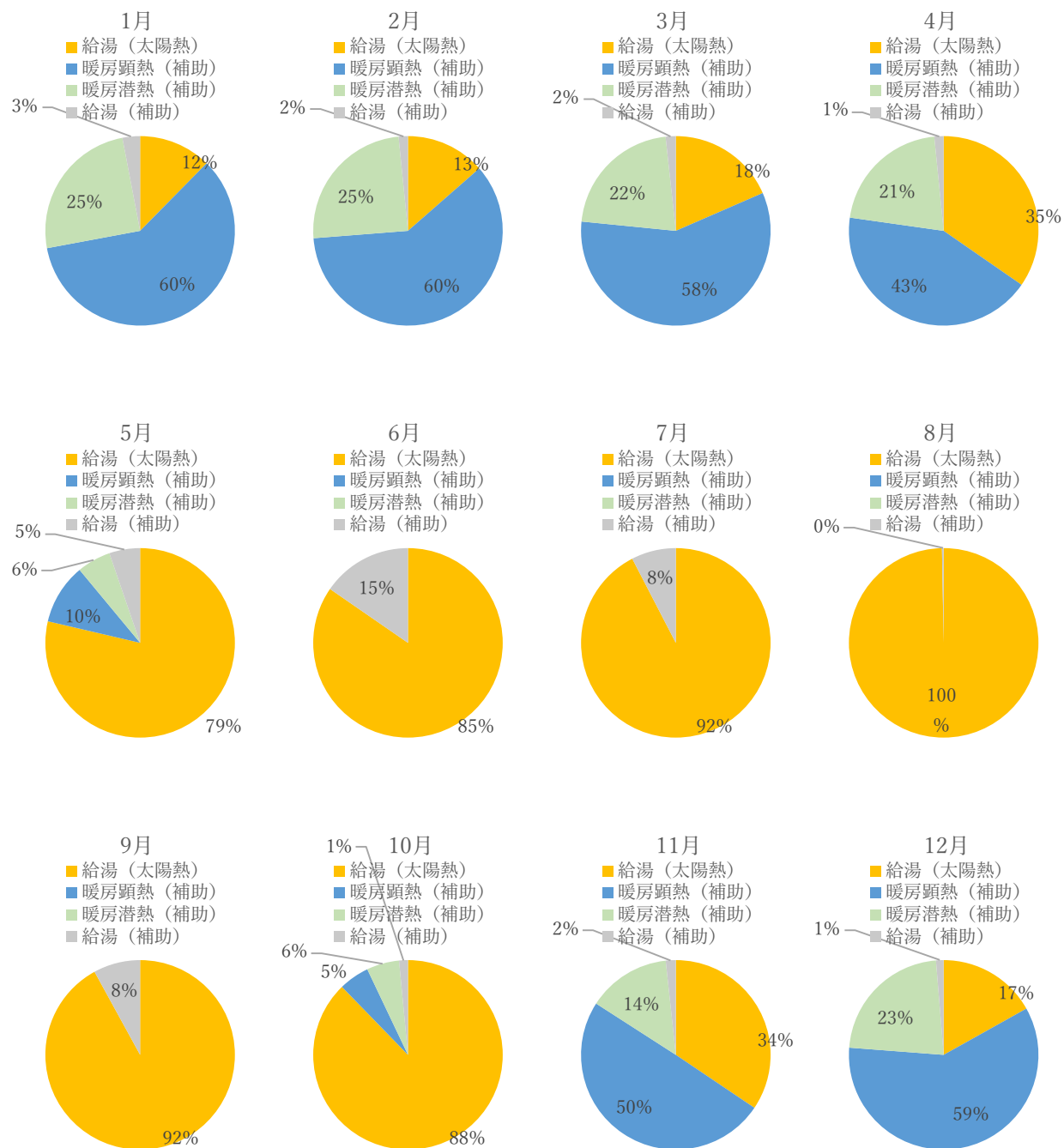


図 5-19 太陽熱給湯システムの集熱器面積 600 m²の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

5-3 給湯と床暖房に太陽熱を利用した場合の計算結果

5-3-1 集熱器面積を変化させた場合

図 5-20 に、集熱器面積が 100、300、600 m² の場合の、集熱器単位面積当たりの集熱流量と太陽熱依存率の関係を示す。集熱流量の増加に伴い集熱効率が高くなるために、太陽熱依存率は上昇し、ある集熱器単位面積あたりの集熱流量で頭打ちとなる。集熱器面積 100 m² においては蓄熱槽容量に関わらず、太陽熱依存率はほぼ一定値となった。集熱器面積 300、600 m² の場合は、蓄熱槽容量を大きくすると太陽熱依存率が上昇した。これは、蓄えることができる熱量が増加するため、集熱量と集熱効率が上昇し、太陽熱依存率も上昇するからである。集熱流量が増加しても太陽熱依存率が頭打ちとなる集熱器単位面積当たりの集熱流量は、集熱器面積 100 m² の場合は 15～20 ((kg/h)/m²)、300 m² の場合は 15～25 ((kg/h)/m²)、600 m² の場合は 15～20 ((kg/h)/m²) であり、集熱器面積が大きいほど、集熱器単位面積当たりの値が大きくなることからわかる。それぞれの集熱器面積における太陽熱依存率の最大値については表 5-8～10 に示す。また、各集熱器面積において、集熱器単位面積当たりの集熱流量 15 ((kg/h)/m²) 程度よりも大きくしても太陽熱依存率が増加しないことから以降では、集熱流量を 15 ((kg/h)/m²) で固定し、集熱器面積と蓄熱槽容量の容量バランスについて検討する。

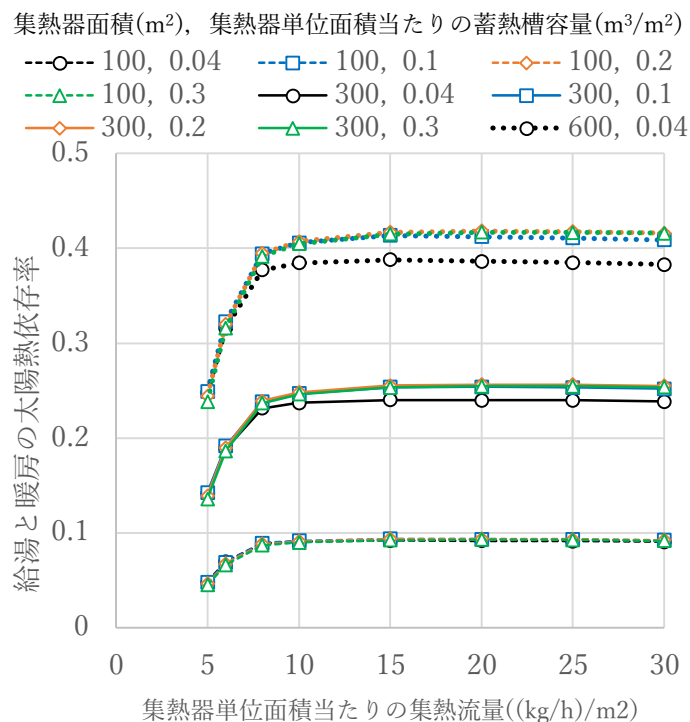


図 5-20 集熱器面積が 100、300、600 m² の場合の、集熱器単位面積当たりの集熱流量と太陽熱依存率の関係

表 5-8 集熱器面積 100 m²における太陽熱依存率

M/A ((kg/h)/m ²)	V/A(m ³ /m ²)			
	0.04	0.1	0.2	0.3
5	0.048	0.047	0.046	0.045
6	0.069	0.069	0.068	0.066
8	0.089	0.089	0.088	0.087
10	0.091	0.092	0.091	0.090
15	0.092	0.093	0.093	0.092
20	0.092	0.093	0.094	0.093
25	0.091	0.093	0.093	0.092
30	0.090	0.092	0.092	0.092

表 5-9 集熱器面積 300 m²における太陽熱依存率

M/A ((kg/h)/m ²)	V/A(m ³ /m ²)			
	0.04	0.1	0.2	0.3
5	0.141	0.142	0.139	0.136
6	0.189	0.192	0.190	0.186
8	0.231	0.238	0.239	0.237
10	0.237	0.247	0.248	0.246
15	0.240	0.254	0.255	0.253
20	0.240	0.254	0.256	0.255
25	0.240	0.253	0.256	0.255
30	0.239	0.252	0.255	0.254

表 5-10 集熱器面積 600 m²における太陽熱依存率

M/A ((kg/h)/m ²)	V/A(m ³ /m ²)			
	0.04	0.1	0.2	0.3
5	0.248	0.249	0.244	0.239
6	0.316	0.323	0.320	0.316
8	0.377	0.394	0.395	0.392
10	0.384	0.406	0.407	0.405
15	0.388	0.414	0.417	0.415
20	0.386	0.412	0.418	0.417
25	0.385	0.411	0.418	0.417
30	0.383	0.409	0.416	0.416

5-2-2 集熱器単位面積当たりの集熱量を固定した場合

次に、集熱器単位面積当たりの集熱流量を15(kg/h)/m²に固定し、集熱器面積100～600 m²の集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の太陽熱依存率の関係を図5-21に、給湯の太陽熱依存率との関係を図5-22に、暖房の太陽熱依存率との関係を図5-23に、集熱効率については図5-24に示す。集熱器面積600m²は、計算対象建物の屋根上に設置することのできる最大の集熱器面積である。太陽熱依存率は、蓄熱槽容量が増加するに従って、集熱量が増加するため、太陽熱依存率が上昇するが、一方で、蓄熱槽の表面積が増大し熱損失が増えるため、集熱器面積が300m²の場合は0.14m³/m²をピークに、太陽熱依存率が低下する

ことになる。また、太陽熱依存率が最大となる集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量は（図中に白塗りつぶしのマーカーで表示）、集熱器面積が400m²未満では、面積が小さいほど、小さくなる傾向にあり、400 m²以上ではほぼ一定値となる。また、集熱器面積100m²の場合、槽容量を増加させても、太陽熱依存率は増加しなかった。これは、集熱器面積が小さいために、集熱した太陽熱をその時の給湯・暖房負荷を賄うために使用し、蓄熱する余剰の熱が少なくなることが原因と考えられる。

集熱効率については、どの集熱器面積の場合においても、蓄熱槽容量が大きくなるにつれて、集熱効率が上昇した。集熱器面積については、面積が小さいほうが集熱効率が優れていた。集熱器面積が大きくなると、集熱器入り口温度が高くなるために集熱効率が下がるからである。また、太陽熱依存率が最大値となる蓄熱槽容量から、蓄熱槽容量を若干減少させても、太陽熱依存率の低下量はわずかであることが分かる。なお、蓄熱槽の初期コストと節約できるエネルギー費等との関係から、経済的な蓄熱槽容量の最適値は、太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量よりも小さい値となる。

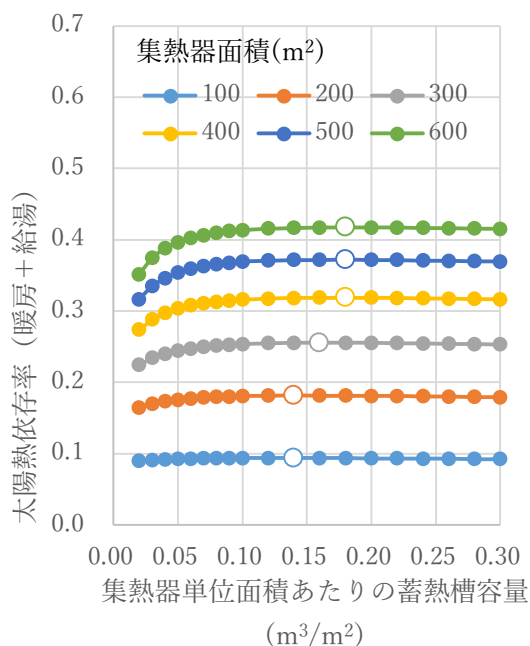


図 5-21 集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の太陽熱依存率の関係

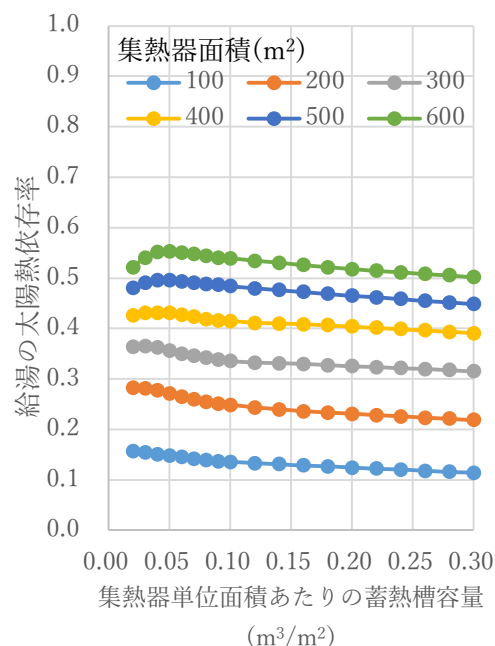


図 5-22 集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と給湯の太陽熱依存率の関係

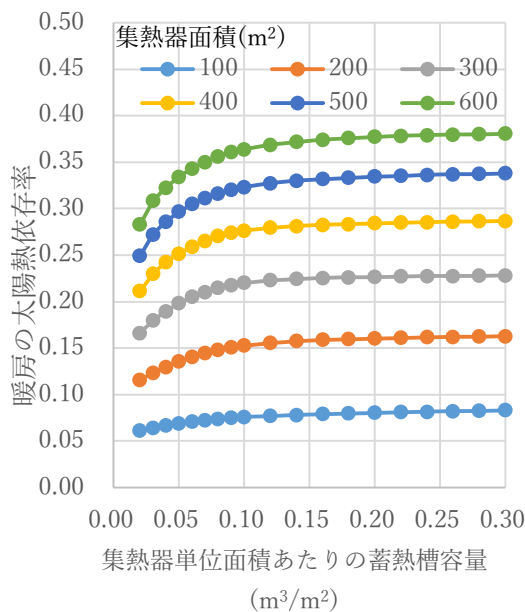


図 5-23 集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と暖房の太陽熱依存率の関係

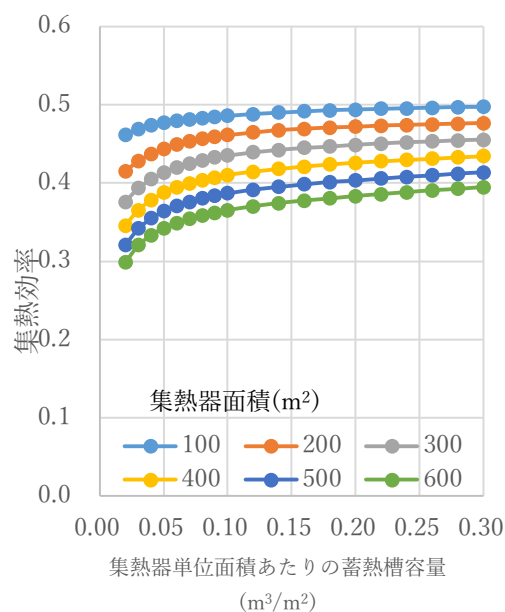


図 5-24 集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と集熱効率の関係

5-2-3 太陽熱依存率と蓄熱槽容量の関係

図5-25には、太陽熱依存率の最大値とその最大値の95%の太陽熱依存率、その時の蓄熱槽容量を、図5-26に太陽熱依存率の最大値とその最大値の95%の集熱量、給湯用放熱量を示す。表に集熱器単位面積当たりの集熱流量を15(kg/h)/m²に固定した場合の、各集熱器

面積における集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の太陽熱依存率の値を示す。太陽熱依存率が最大となる値は色が反転している。太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量の約30～40%に低減できる。また、集熱量、給湯用放熱量については、集熱器面積が大きくなるほど、集熱器単位面積あたりの値が小さくなっており、集熱器面積が小さいほど熱効率が良いことが分かる。集熱器面積100m²の場合は、最大値と最大値の95%に差異はほぼなかった。最大値の95%の時は最大値と比べて、集熱量は5%、給湯用放熱量は6%小さかった。

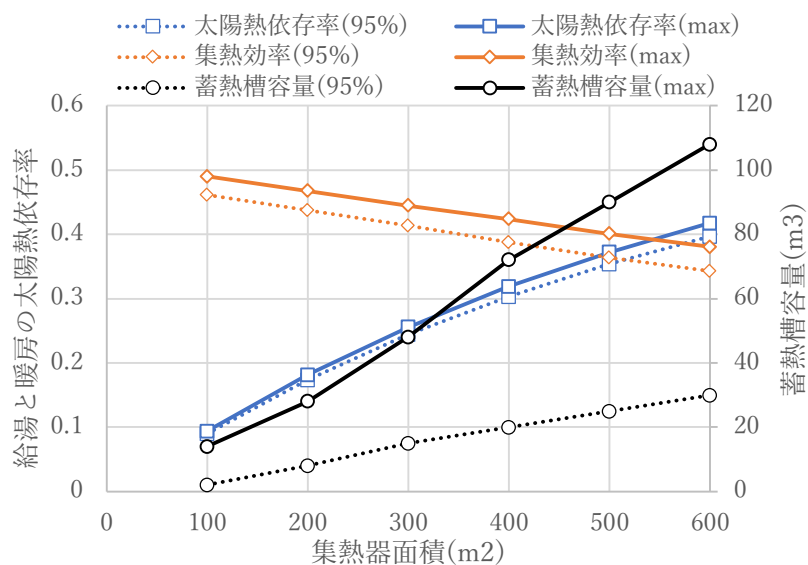


図 5-25 太陽熱給湯・床暖房システムの太陽熱依存率の最大値とその最大値の 95%の太陽熱依存率、その時の蓄熱槽容量

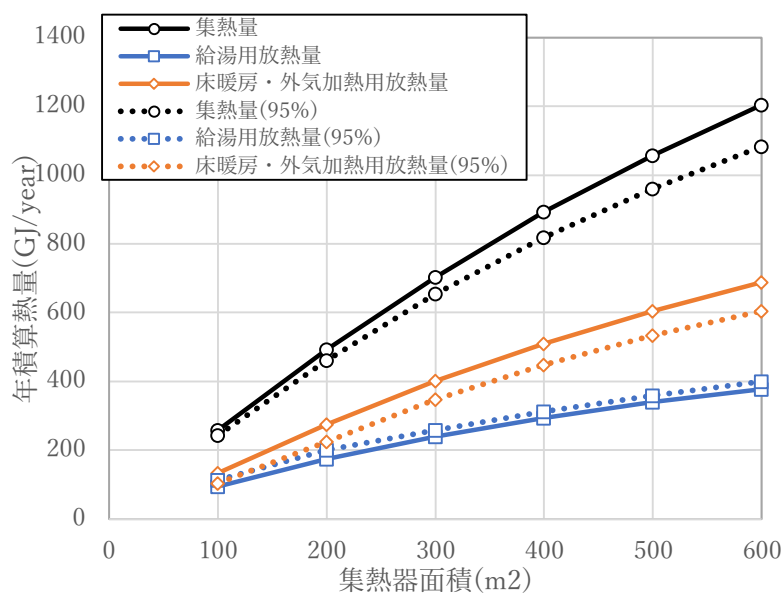


図 5-26 太陽熱給湯・床暖房システムの太陽熱依存率の最大値とその最大値の 95%の集熱量、給湯用放熱量、床暖房外気加熱用放熱量

表 5-11 太陽熱給湯・床暖房システムの各集熱器面積における集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の太陽熱依存率の値

集熱器面積(m ²)	集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量(m ³ /m ²)								
	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
100	0.090	0.091	0.092	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.094
200	0.165	0.170	0.173	0.176	0.177	0.179	0.179	0.180	0.181
300	0.224	0.234	0.240	0.244	0.247	0.250	0.251	0.253	0.254
400	0.274	0.288	0.297	0.304	0.308	0.311	0.313	0.315	0.316
500	0.316	0.335	0.346	0.354	0.359	0.362	0.366	0.368	0.369
600	0.352	0.375	0.388	0.396	0.402	0.406	0.409	0.412	0.414
	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.24	0.26	0.28
0.094	0.094	0.094	0.094	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.092
0.181	0.182	0.181	0.181	0.181	0.181	0.180	0.180	0.179	0.179
0.255	0.255	0.256	0.255	0.255	0.255	0.255	0.254	0.254	0.253
0.317	0.318	0.319	0.319	0.319	0.318	0.318	0.317	0.317	0.317
0.371	0.372	0.372	0.372	0.372	0.371	0.371	0.370	0.370	0.369
0.416	0.417	0.417	0.417	0.417	0.417	0.417	0.416	0.416	0.415

表 5-12 太陽熱給湯・床暖房システムの各集熱器面積における集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の給湯の太陽熱依存率の値

集熱器面積(m ²)	集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量(m ³ /m ²)								
	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
100	0.157	0.155	0.151	0.148	0.145	0.141	0.139	0.137	0.135
200	0.282	0.281	0.277	0.270	0.265	0.260	0.254	0.251	0.248
300	0.363	0.365	0.363	0.356	0.349	0.346	0.341	0.338	0.335
400	0.426	0.430	0.431	0.431	0.427	0.423	0.419	0.415	0.414
500	0.480	0.491	0.495	0.495	0.493	0.490	0.488	0.486	0.484
600	0.521	0.540	0.551	0.552	0.550	0.548	0.544	0.541	0.539
	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.24	0.26	0.28
0.133	0.131	0.129	0.126	0.124	0.122	0.120	0.118	0.116	0.114
0.243	0.239	0.236	0.233	0.230	0.228	0.226	0.223	0.221	0.219
0.332	0.331	0.329	0.327	0.325	0.323	0.321	0.319	0.317	0.315
0.411	0.409	0.408	0.406	0.404	0.402	0.399	0.396	0.393	0.390
0.480	0.476	0.473	0.469	0.465	0.462	0.458	0.455	0.451	0.449
0.534	0.530	0.526	0.522	0.518	0.514	0.511	0.508	0.505	0.502

5-3-4 月別比較

次に、太陽熱依存率の最大値の95%における各集熱器面積の月別の太陽熱依存率、集熱効率、蓄熱槽内温度、熱損失を図5-27～31に、各集熱器面積の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合を図5-32～37に示す。最も日射量の大きい8月の太陽熱依存率が最も高いが、集熱効率については、集熱器面積400 m²以上の場合、全ての月の中で最も低く、集熱器面積100 m²の時は最も効率が良かった。日射量が大きいと、集熱量が大きくなり、太陽熱依存率は増加するが、集熱器面積が大きくなると、集熱器入口温度が高くなるために集熱

効率が下がるからである。集熱器面積 300 m²の時点で、太陽熱によって給湯を 89%賄うことができている。400 m²以上では 90%以上賄うことができおり、集熱器面積 600 m²では太陽熱によりほぼ 100%賄うことができた。また、8月においては、集熱器面積 400 m²以上の時は給湯と暖房の太陽熱依存率が 90%を超えており、蓄熱槽内平温度が 70℃を超えていた。太陽熱依存率は上昇するが、配管や蓄熱槽からの熱損失の影響が大きいため、集熱効率が低下すると考えられる。最も太陽熱依存率が低いのは 1 月であり、集熱器面積 400 m²以上では集熱効率が最も良かった。

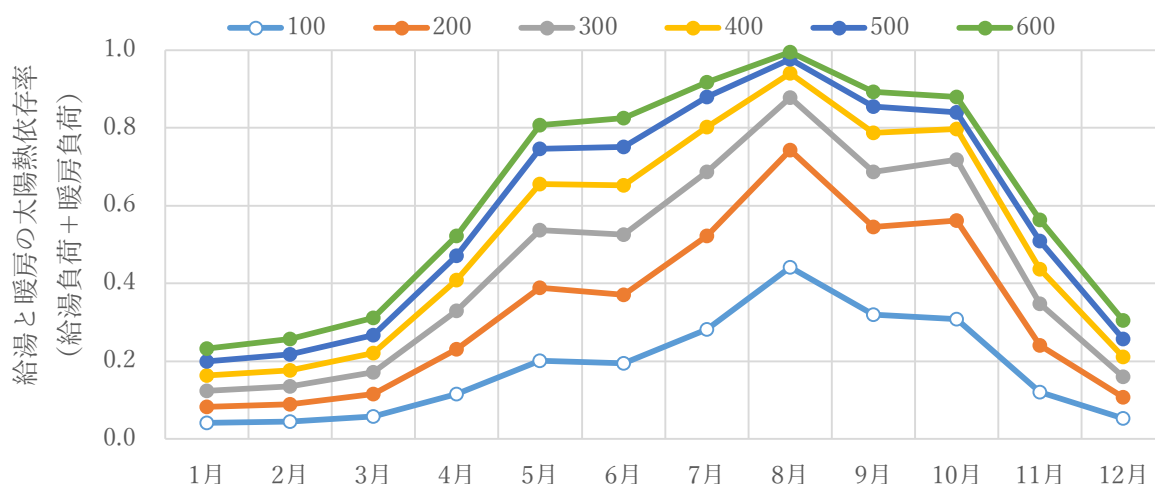


図 5-27 太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の太陽熱依存率

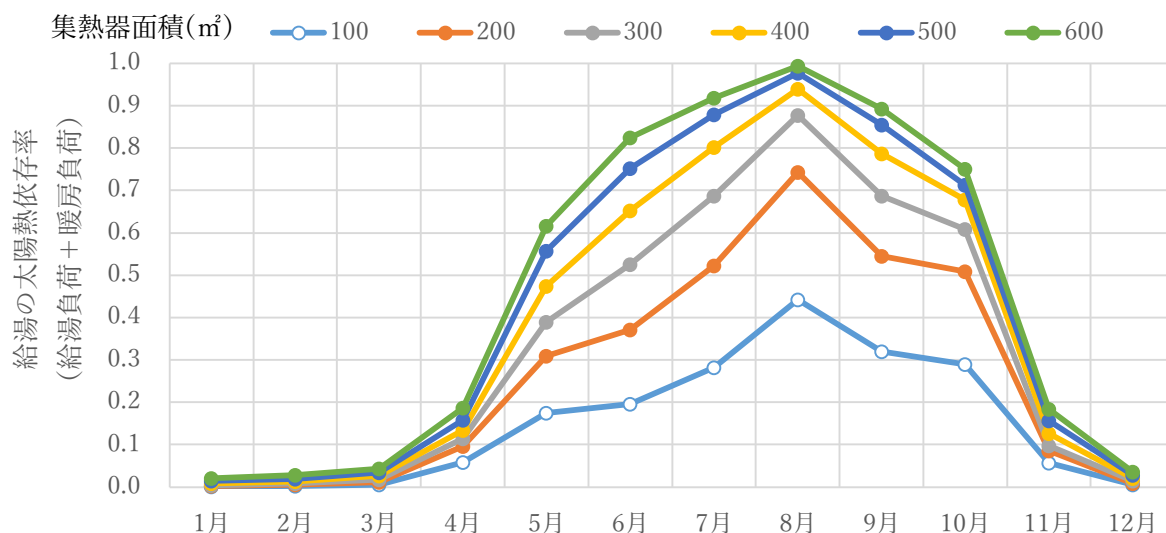


図 5-28 太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の給湯の太陽熱依存率

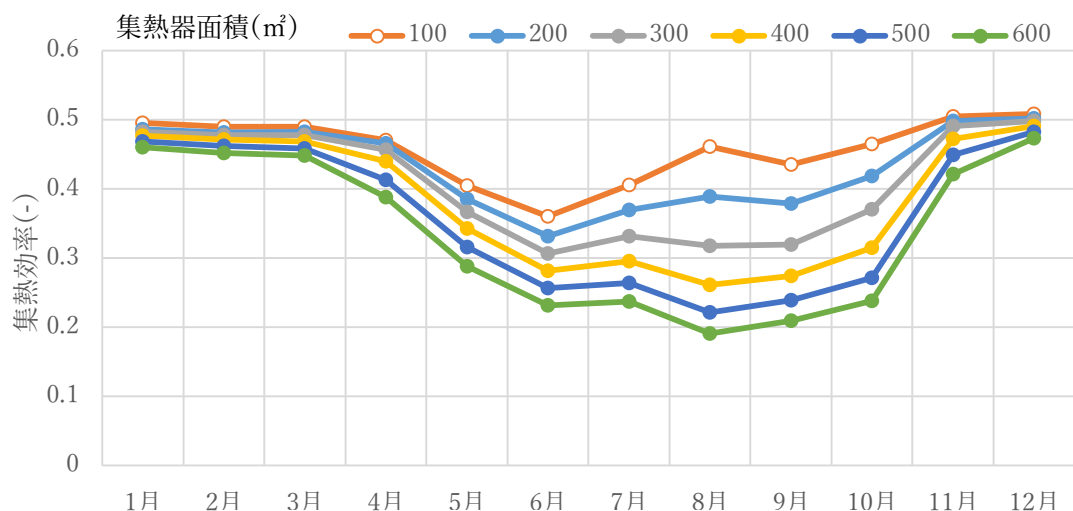


図 5-29 太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の集熱効率

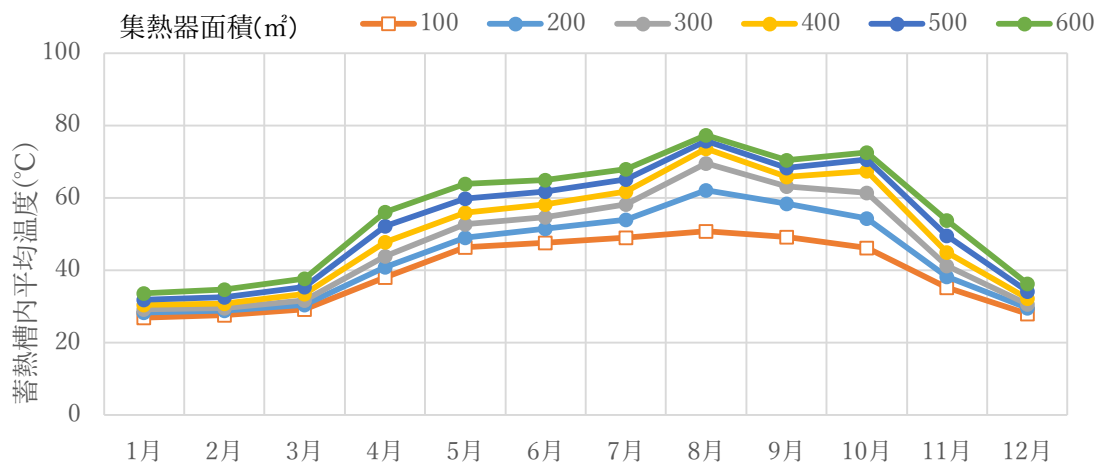


図 5-30 太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の蓄熱槽内平均温度

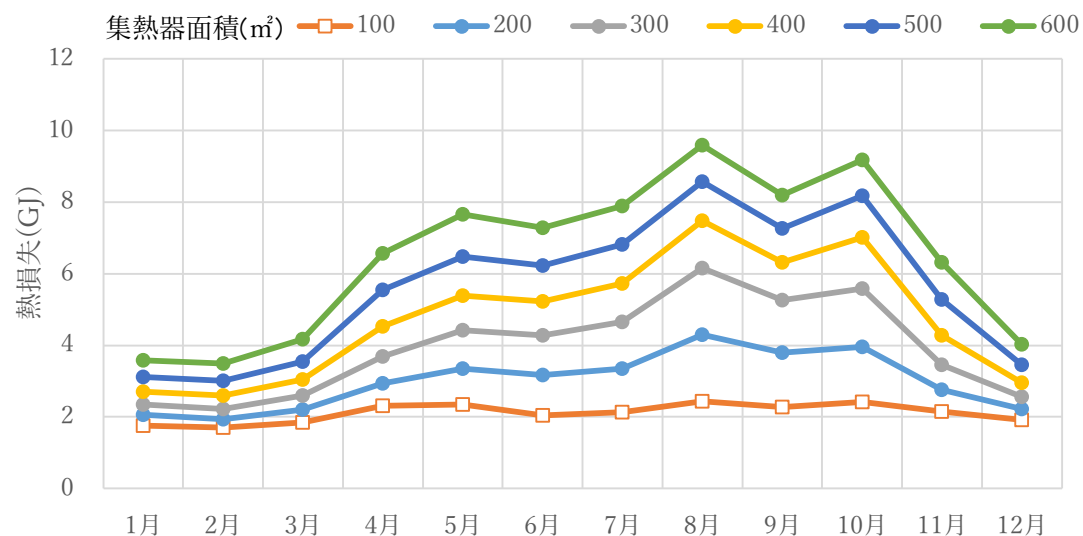


図 5-31 太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の熱損失

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

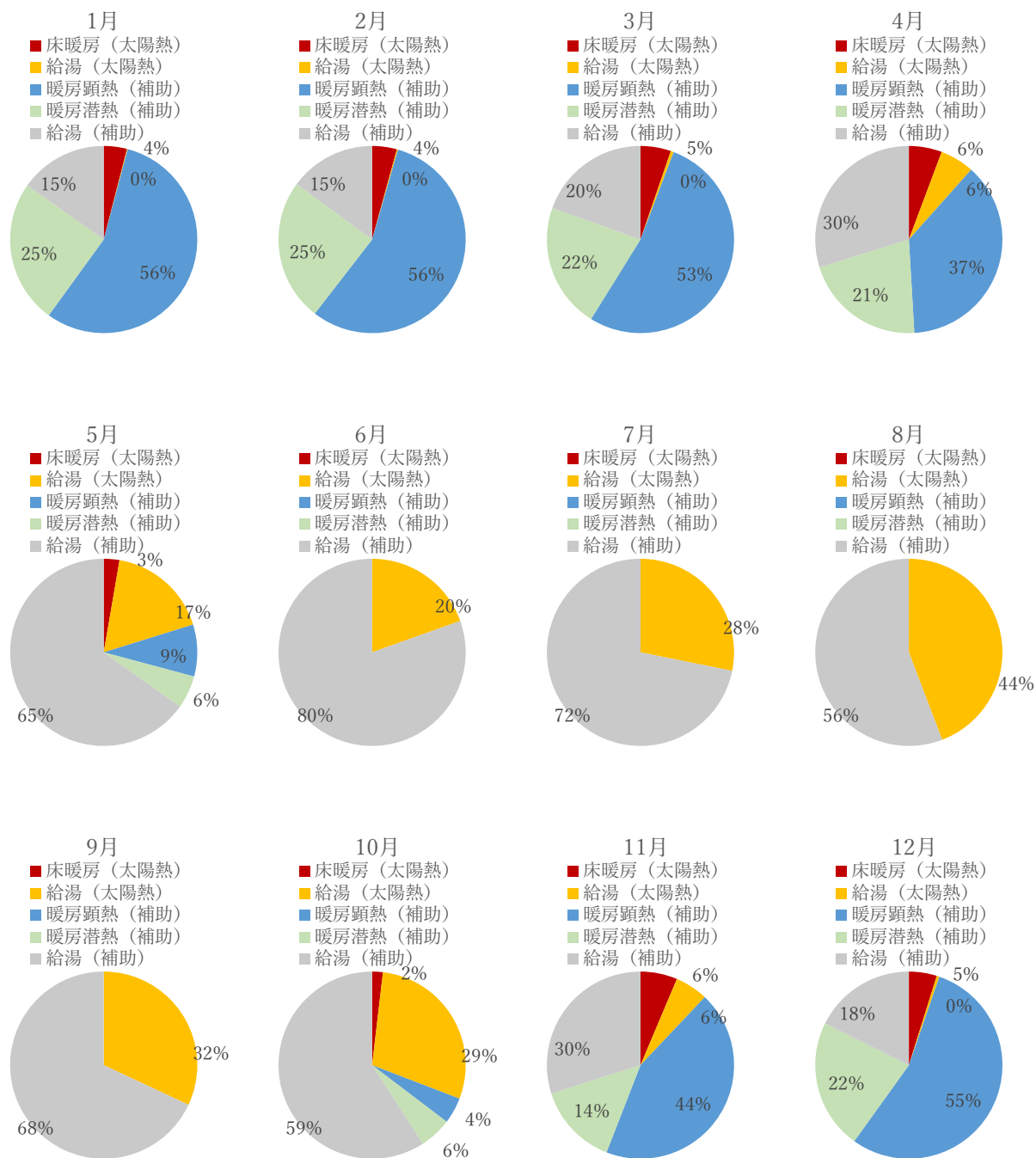


図 5-32 太陽熱給湯・暖房システムの集熱器面積 100 m²の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

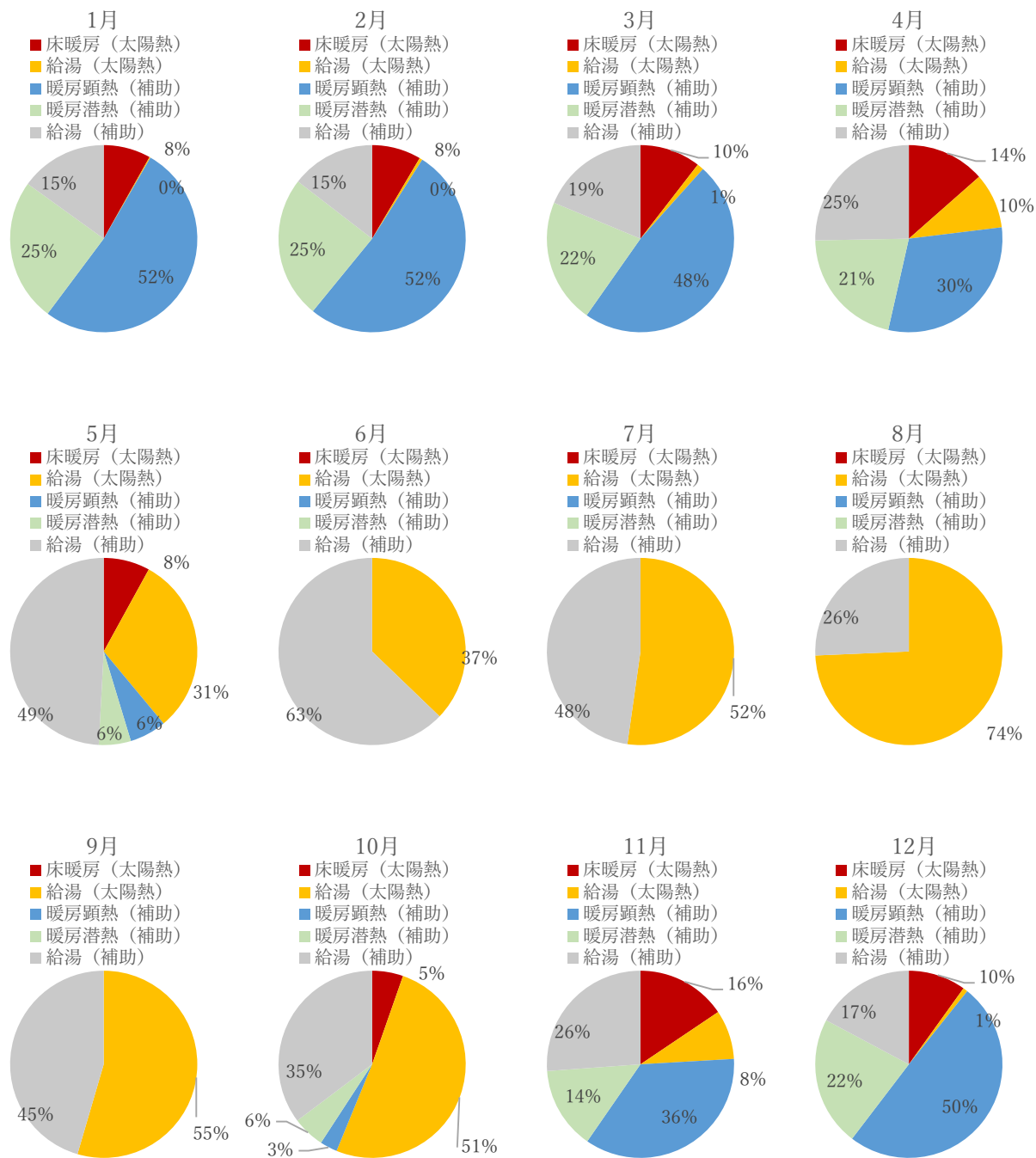


図 5-33 太陽熱給湯・暖房システムの集熱器面積 200 m²の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

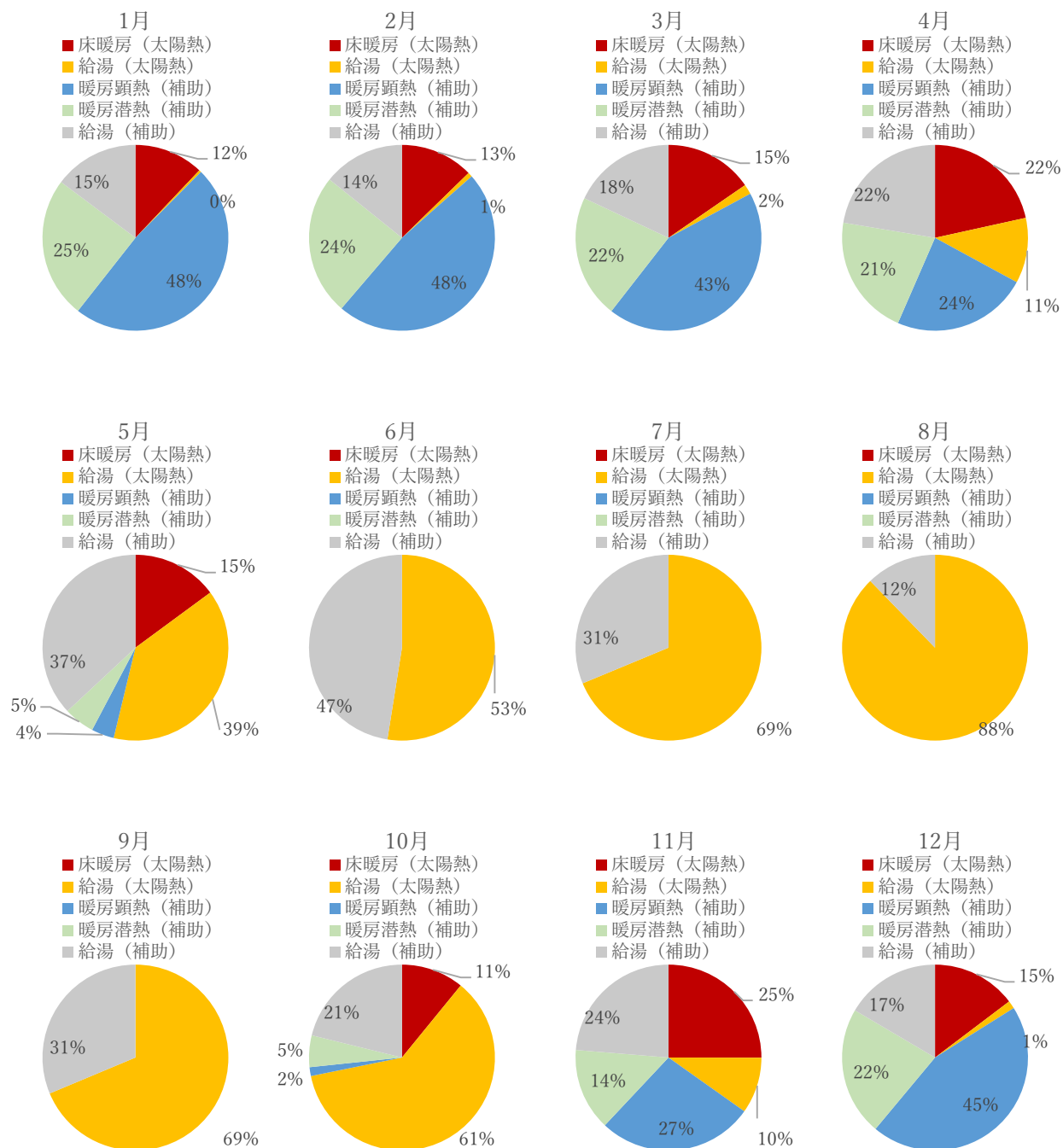


図 5-34 太陽熱給湯・暖房システムの集熱器面積 300 m²の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

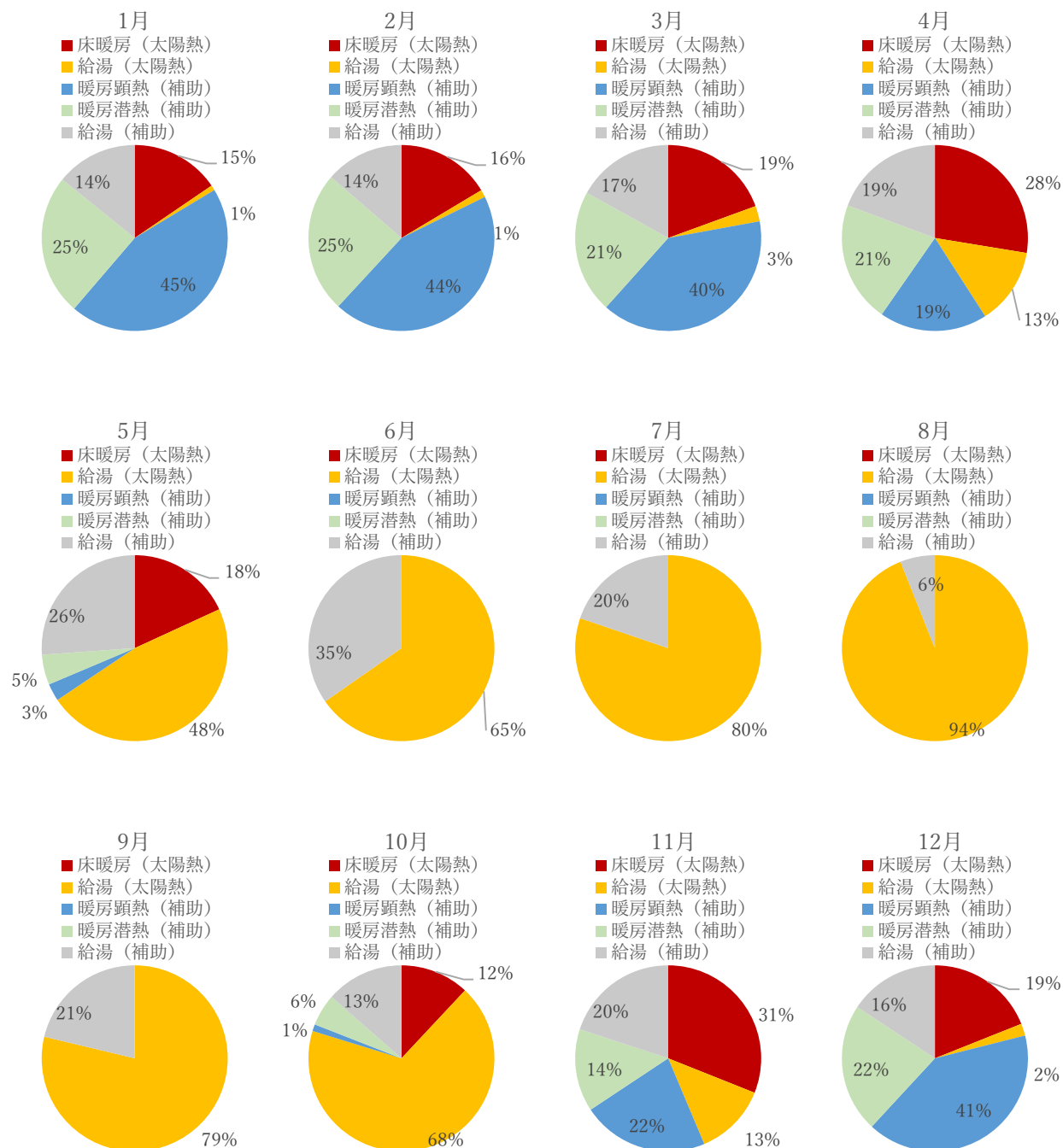


図 5-35 太陽熱給湯・暖房システムの集熱器面積 400 m²の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

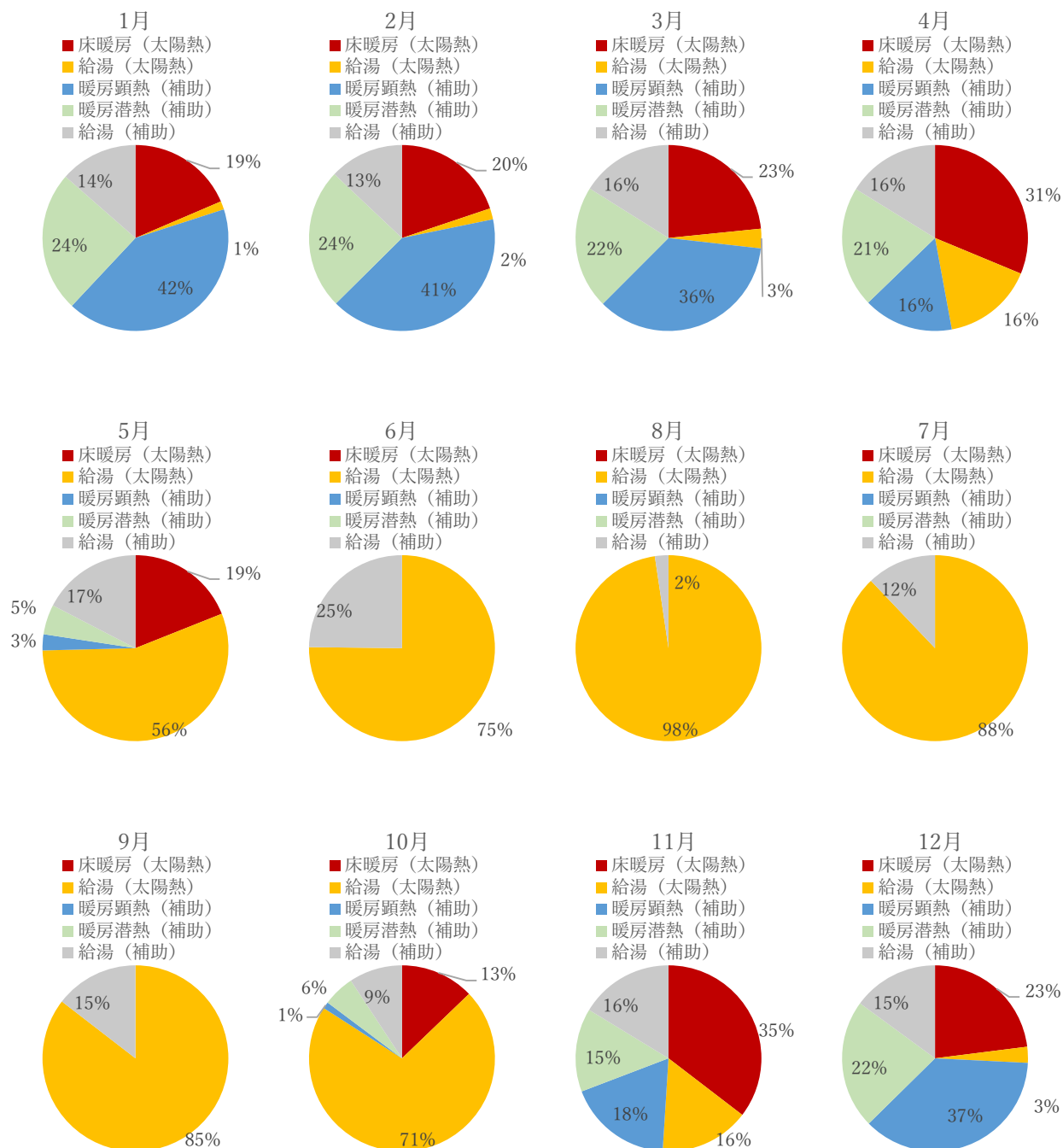


図 5-36 太陽熱給湯・暖房システムの集熱器面積 500 m²の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

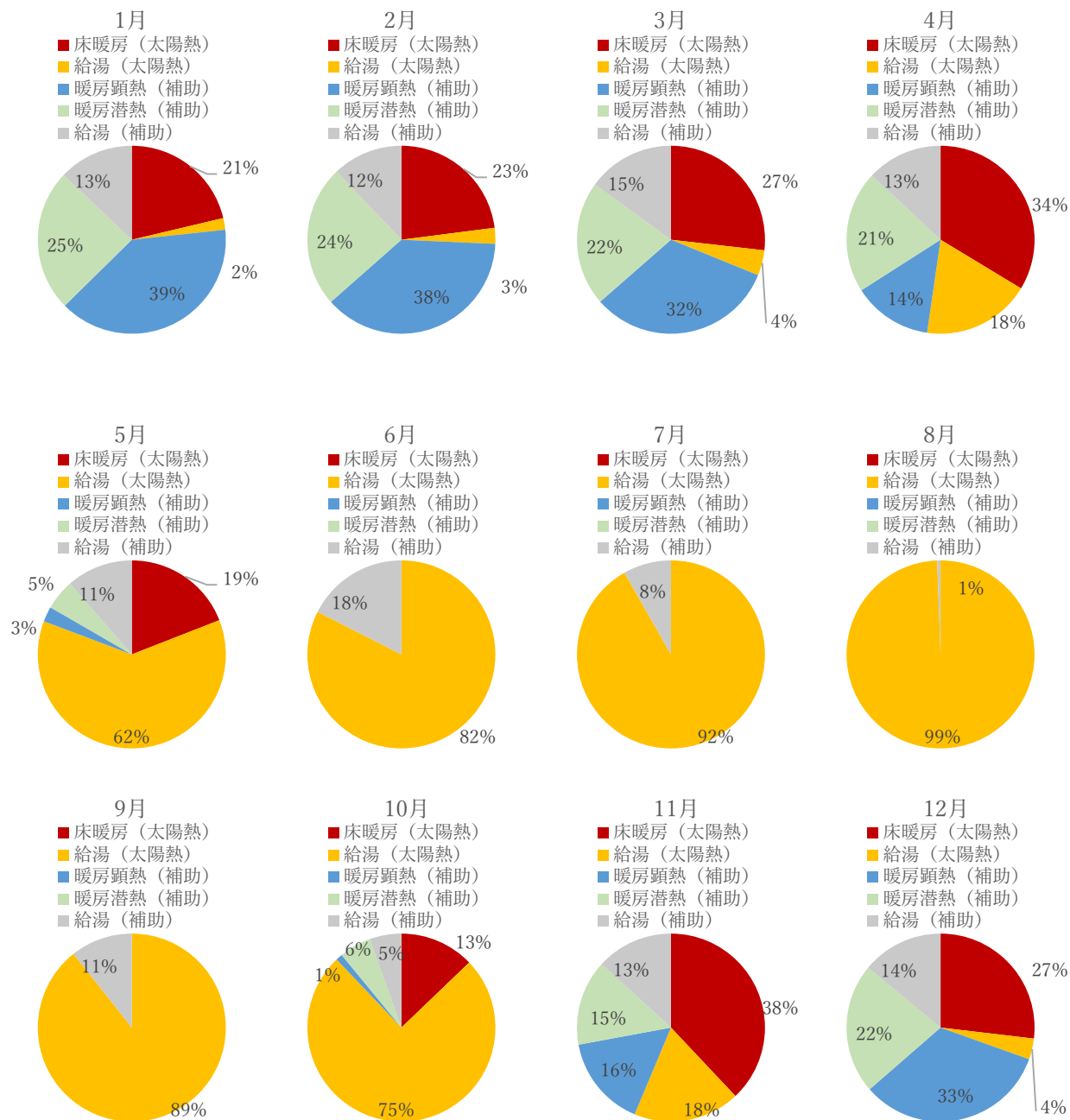


図 5-37 太陽熱給湯・暖房システムの集熱器面積 600 m²の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

表 5-13 太陽熱給湯・暖房システムの集熱器面積 100 m²における太陽熱依存率

M/A ((kg/h)/m ²)	V/A(m ³ /m ²)			
	0.04	0.1	0.2	0.3
5	0.050	0.050	0.049	0.048
6	0.072	0.072	0.071	0.070
8	0.090	0.091	0.091	0.090
10	0.092	0.094	0.093	0.092
15	0.093	0.096	0.096	0.095
20	0.093	0.095	0.096	0.095
25	0.092	0.094	0.095	0.095
30	0.091	0.094	0.094	0.094

表 5-14 太陽熱給湯・暖房システムの集熱器面積 300 m²における太陽熱依存率

M/A ((kg/h)/m ²)	V/A(m ³ /m ²)			
	0.04	0.1	0.2	0.3
5	0.148	0.150	0.147	0.144
6	0.198	0.202	0.202	0.199
8	0.237	0.246	0.248	0.247
10	0.242	0.256	0.258	0.257
15	0.244	0.262	0.266	0.264
20	0.242	0.261	0.267	0.266
25	0.241	0.259	0.266	0.265
30	0.239	0.257	0.264	0.263

表 5-15 太陽熱給湯・暖房システムの集熱器面積 600 m²における太陽熱依存率

M/A ((kg/h)/m ²)	V/A(m ³ /m ²)			
	0.04	0.1	0.2	0.3
5	0.263	0.267	0.264	0.260
6	0.339	0.352	0.353	0.352
8	0.391	0.416	0.420	0.419
10	0.396	0.428	0.434	0.433
15	0.397	0.435	0.445	0.445
20	0.394	0.434	0.446	0.448
25	0.392	0.431	0.446	0.447
30	0.390	0.429	0.443	0.445

5-4-2 集熱器単位面積当たりの集熱量を固定した場合

次に、集熱器単位面積当たりの集熱流量を15(kg/h)/m²に固定し、集熱器面積100～600 m²の集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の太陽熱依存率の関係を図5-39に、給湯の太陽熱依存率との関係を図5-40に、暖房の太陽熱依存率との関係を図5-41に、集熱効率については図5-42に示す。集熱器面積600m²は、計算対象建物の屋根上に設置することのできる最大の集熱器面積である。太陽熱依存率は、蓄熱槽容量が増加するに従って、集熱量が増加するため、太陽熱依存率が上昇するが、一方で、蓄熱槽の表面積が増大し熱損失が増えるため、集熱器面積が300m²の場合は0.14m³/m²をピークに、太陽熱依存率が低下する

ことになる。また、太陽熱依存率が最大となる集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量は（図中に白塗りつぶしのマーカーで表示）、集熱器面積が400m²未満では、面積が小さいほど、小さくなる傾向にあり、400 m²以上ではほぼ一定値となる。また、集熱器面積100m²の場合、槽容量を増加させても、太陽熱依存率は増加しなかった。これは、集熱器面積が小さいために、集熱した太陽熱をその時の給湯・暖房負荷を賄うために使用し、蓄熱する余剰の熱が少なくなることが原因と考えられる。

集熱効率については、どの集熱器面積の場合においても、蓄熱槽容量が大きくなるにつれて、集熱効率が上昇した。集熱器面積については、面積が小さいほうが、集熱効率が優れていた。集熱器面積が大きくなると、蓄熱槽内温度が高くなるために集熱効率が下がるからである。また、太陽熱依存率が最大値となる蓄熱槽容量から、蓄熱槽容量を若干減少させても、太陽熱依存率の低下量はわずかであることが分かる。なお、蓄熱槽の初期コストと節約できるエネルギー費等との関係から、経済的な蓄熱槽容量の最適値は、太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量よりも小さい値となる。

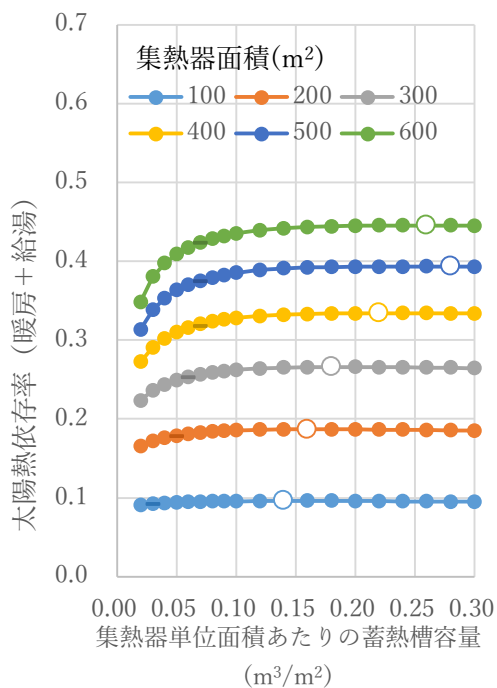


図 5-39 集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量と年間の太陽熱依存率の関係

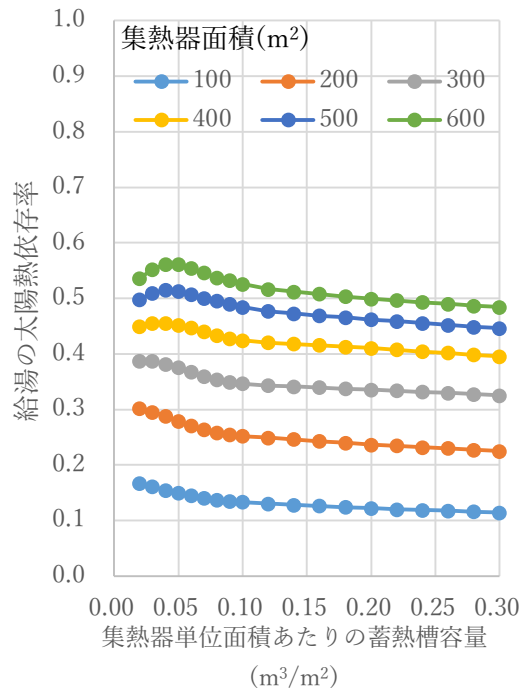


図 5-40 集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量と年間の給湯の太陽熱依存率の関係

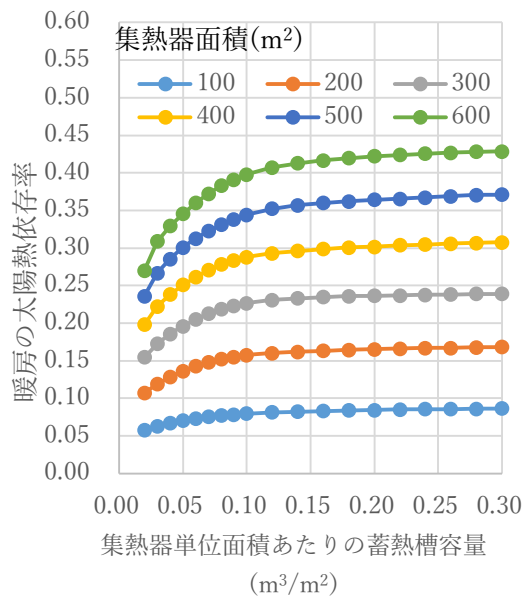


図 5-41 集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量と年間の暖房の太陽熱依存率の関係

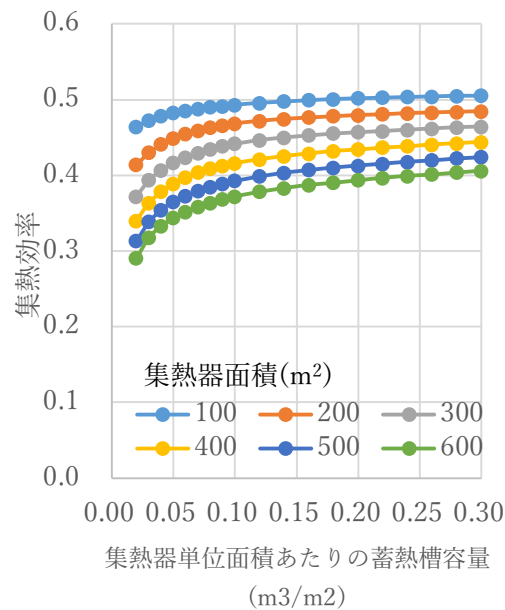


図 5-42 集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量と年間の集熱効率の関係

5-4-4 太陽熱依存率と蓄熱槽容量の関係

図5-43には、太陽熱依存率の最大値とその最大値の95%の太陽熱依存率、その時の蓄熱槽容量を、図5-44に太陽熱依存率の最大値とその最大値の95%の集熱量、給湯用放熱量を示す。表5-16～17に、集熱器単位面積当たりの集熱流量を $15(\text{kg/h})/\text{m}^2$ に固定した場合の、各集熱器面積における集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の太陽熱依存率の値を示す。太陽熱依存率が最大となる値は色が反転している。太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量の約30～40%に低減できる。また、集熱量、給湯用放熱量については、集熱器面積が大きくなるほど、集熱器単位面積あたりの値が小さくなっており、集熱器面積が小さいほど熱効率が良いことが分かる。集熱器面積 100m^2 の場合は、最大値と最大値の95%に差異はほぼなかった。最大値の95%の時は最大値と比べて、集熱量は5%、給湯用放熱量は6%小さかった。

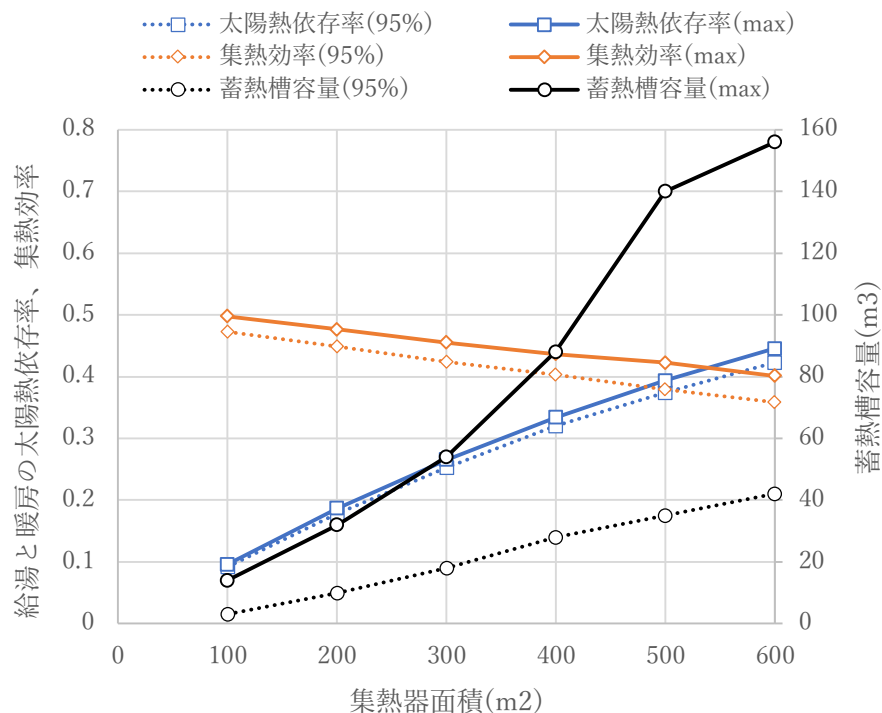


図 5-43 太陽熱給湯・暖房システムの太陽熱依存率の最大値とその最大値の 95%の太陽熱依存率、その時の蓄熱槽容量

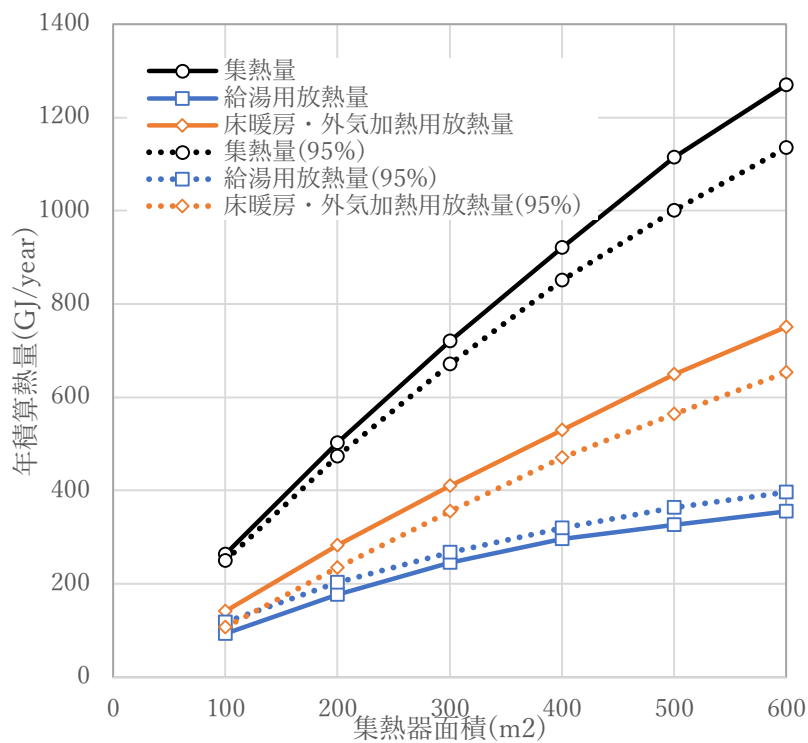


図 5-44 太陽熱給湯・暖房システムの太陽熱依存率の最大値とその最大値の 95%の集熱量、給湯用放熱量、床暖房外気加熱用放熱量

表 5-16 太陽熱給湯・床暖房・外気予熱システムの集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の太陽熱依存率の値

集熱器面積(m ²)	集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量(m ³ /m ²)								
	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
100	0.091	0.092	0.093	0.094	0.095	0.095	0.095	0.095	0.096
200	0.165	0.172	0.176	0.179	0.181	0.182	0.184	0.185	0.185
300	0.223	0.236	0.244	0.249	0.253	0.256	0.259	0.261	0.262
400	0.272	0.291	0.302	0.310	0.316	0.320	0.324	0.326	0.328
500	0.313	0.338	0.353	0.363	0.370	0.375	0.379	0.382	0.385
600	0.348	0.380	0.397	0.409	0.417	0.423	0.428	0.432	0.435

集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量(m ³ /m ²)									
0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.24	0.26	0.28	0.3
0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.095	0.095	0.095	0.095
0.186	0.187	0.187	0.187	0.187	0.186	0.186	0.186	0.185	0.185
0.264	0.265	0.266	0.266	0.266	0.265	0.265	0.265	0.265	0.264
0.331	0.332	0.333	0.334	0.334	0.334	0.334	0.334	0.334	0.334
0.389	0.391	0.392	0.393	0.393	0.393	0.393	0.393	0.393	0.393
0.439	0.442	0.443	0.444	0.445	0.445	0.445	0.445	0.445	0.445

表 5-17 太陽熱給湯・床暖房・外気予熱システムの集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量と年間の給湯の太陽熱依存率の値

集熱器面積(m ²)	集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量(m ³ /m ²)								
	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
100	0.167	0.161	0.155	0.149	0.145	0.141	0.137	0.135	0.133
200	0.302	0.295	0.288	0.279	0.271	0.264	0.258	0.255	0.252
300	0.387	0.387	0.382	0.376	0.368	0.359	0.354	0.350	0.347
400	0.449	0.455	0.456	0.451	0.447	0.440	0.433	0.428	0.425
500	0.498	0.510	0.515	0.513	0.507	0.500	0.495	0.489	0.484
600	0.536	0.552	0.561	0.561	0.554	0.546	0.538	0.532	0.526

集熱器単位面積あたりの蓄熱槽容量(m ³ /m ²)									
0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22	0.24	0.26	0.28	0.3
0.130	0.128	0.126	0.124	0.122	0.120	0.119	0.118	0.116	0.114
0.249	0.246	0.243	0.240	0.237	0.235	0.232	0.230	0.228	0.225
0.343	0.342	0.340	0.337	0.336	0.334	0.332	0.330	0.328	0.325
0.421	0.418	0.416	0.413	0.411	0.408	0.405	0.402	0.399	0.396
0.477	0.473	0.469	0.466	0.462	0.459	0.456	0.452	0.449	0.446
0.517	0.512	0.508	0.504	0.500	0.496	0.493	0.490	0.487	0.485

5-4-4 月別比較

次に、太陽熱依存率の最大値の95%における各集熱器面積の月別の太陽熱依存率、集熱効率、蓄熱槽内温度、熱損失を図5-45～49に、各集熱器面積の月別の太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合を図5-50～55に示す。最も日射量の大きい8月の太陽熱依存率が最も高いが、集熱効率については、集熱器面積400 m²以上の場合、全ての月の中で最も低く、集熱器面積100 m²の時は最も効率が良かった。日射量が大きいと、集熱量が大きくなり、太陽熱依存率は増加するが、集熱器面積が大きくなると、集熱器入口温度が高くなるために集熱

効率が下がるからである。集熱器面積 300 m²の時点で、太陽熱によって給湯を 89%賄うことができている。400 m²以上では 90%以上賄うことができおり、集熱器面積 600 m²では太陽熱によりほぼ 100%賄うことができた。また、8月について、集熱器面積 400 m²以上の時は給湯と暖房の太陽熱依存率が 90%を超えており、蓄熱槽内平温度が 70℃を超えていた。太陽熱依存率は上昇するが、配管や蓄熱槽からの熱損失の影響が大きいため、集熱効率が低下すると考えられる。最も太陽熱依存率が低いのは 1 月であり、集熱器面積 400 m²以上では集熱効率が最も良かった。

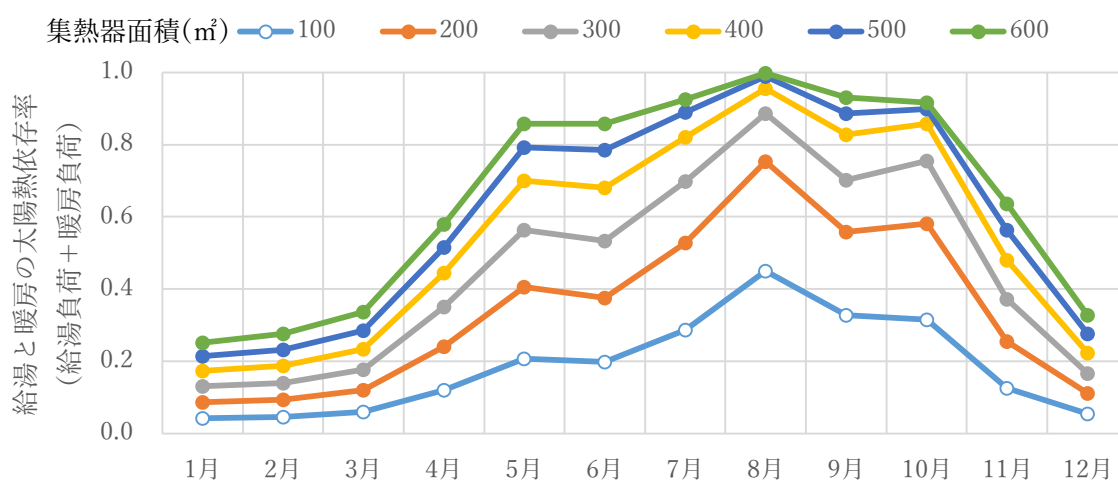


図 5-45 太陽熱給湯・暖房・外気予熱システムの太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の太陽熱依存率

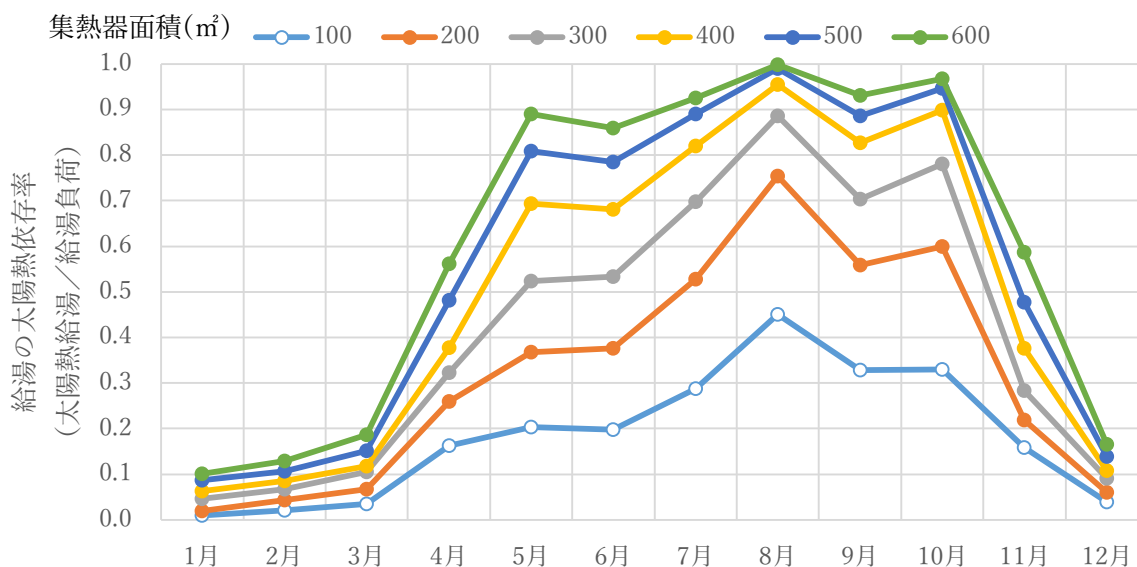


図 5-46 太陽熱給湯・暖房・外気予熱システムの太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の給湯の太陽熱依存率

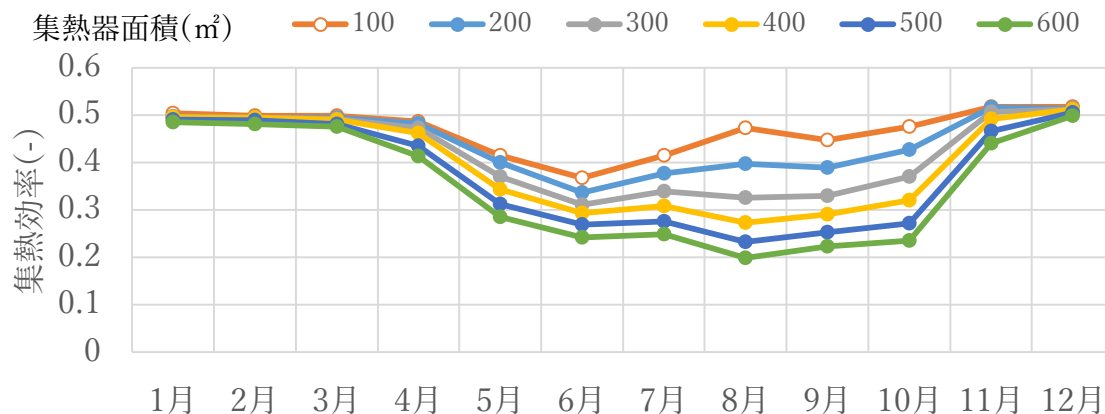


図 5-47 太陽熱給湯・暖房・外気予熱システムの太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の集熱効率

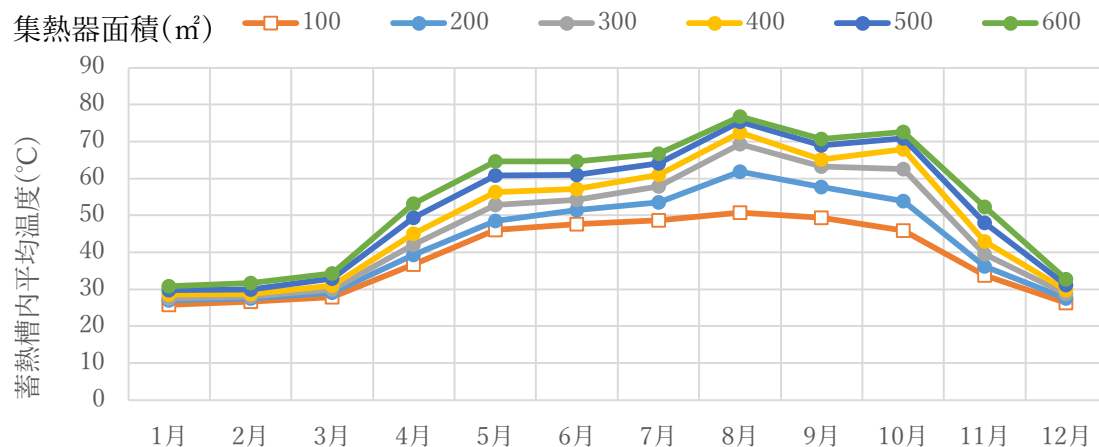


図 5-48 太陽熱給湯・暖房・外気予熱システムの太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の蓄熱槽内温度

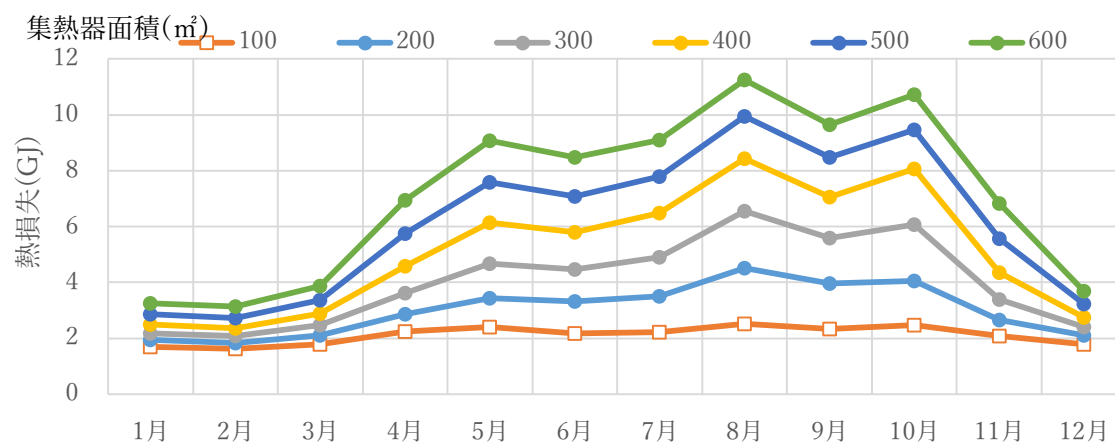


図 5-49 太陽熱給湯・暖房・外気予熱システムの太陽熱依存率の最大値の 95%における各集熱器面積の月別の熱損失

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

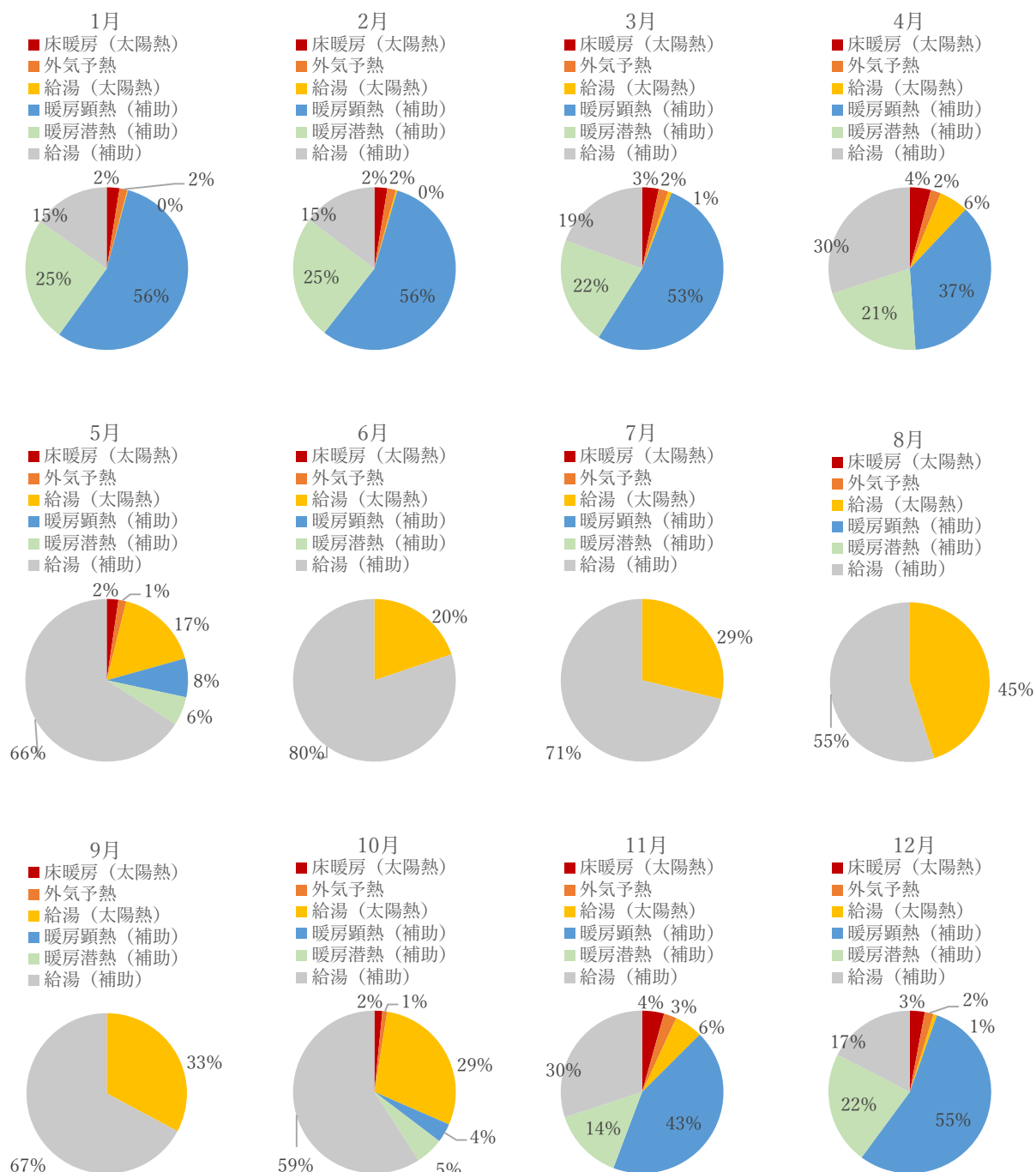


図 5-50 太陽熱給湯・暖房・外気予熱システムの集熱器面積 100 m²の月別太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

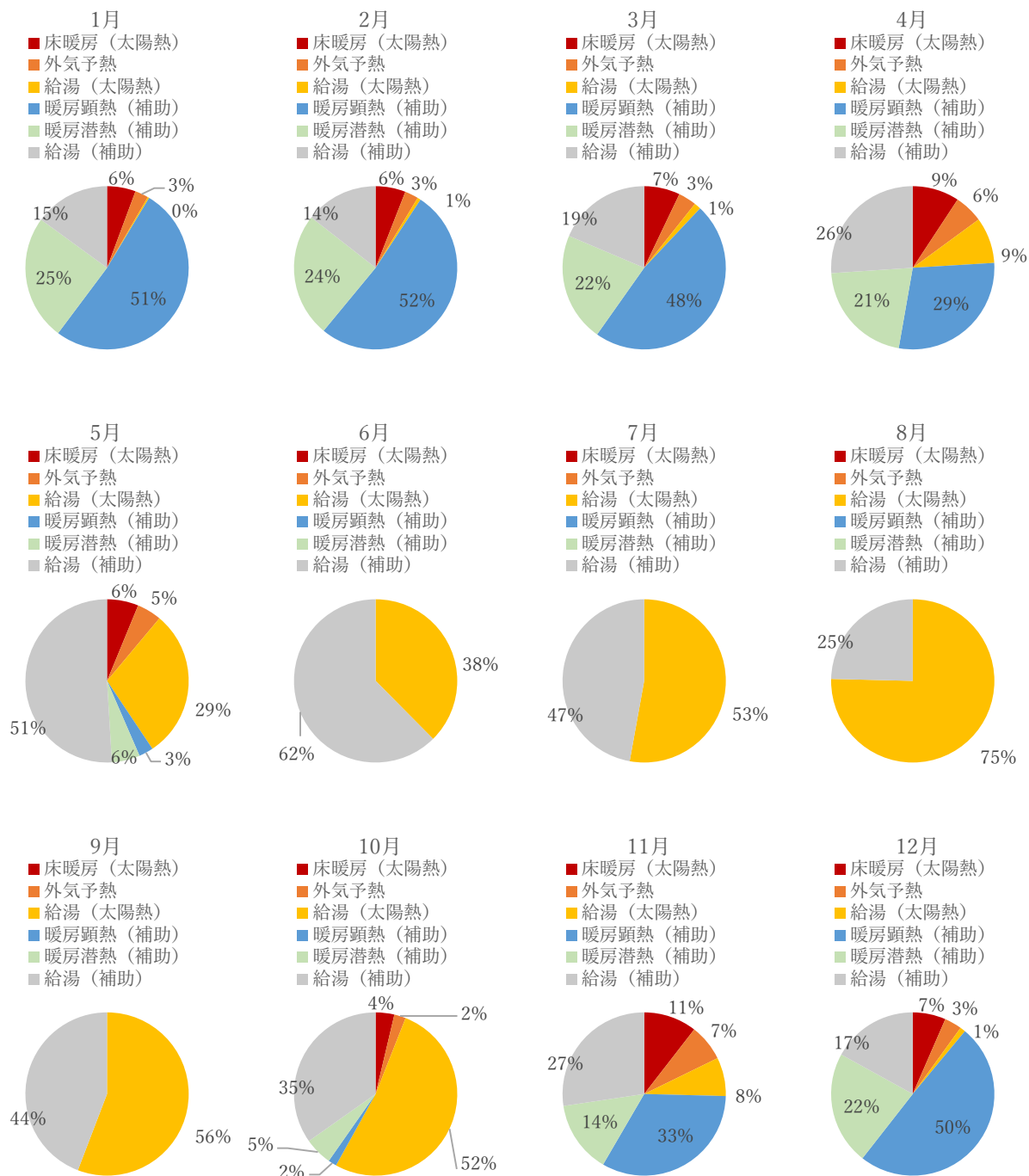


図 5-51 太陽熱給湯・暖房・外気予熱システムの集熱器面積 200 m²の月別太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

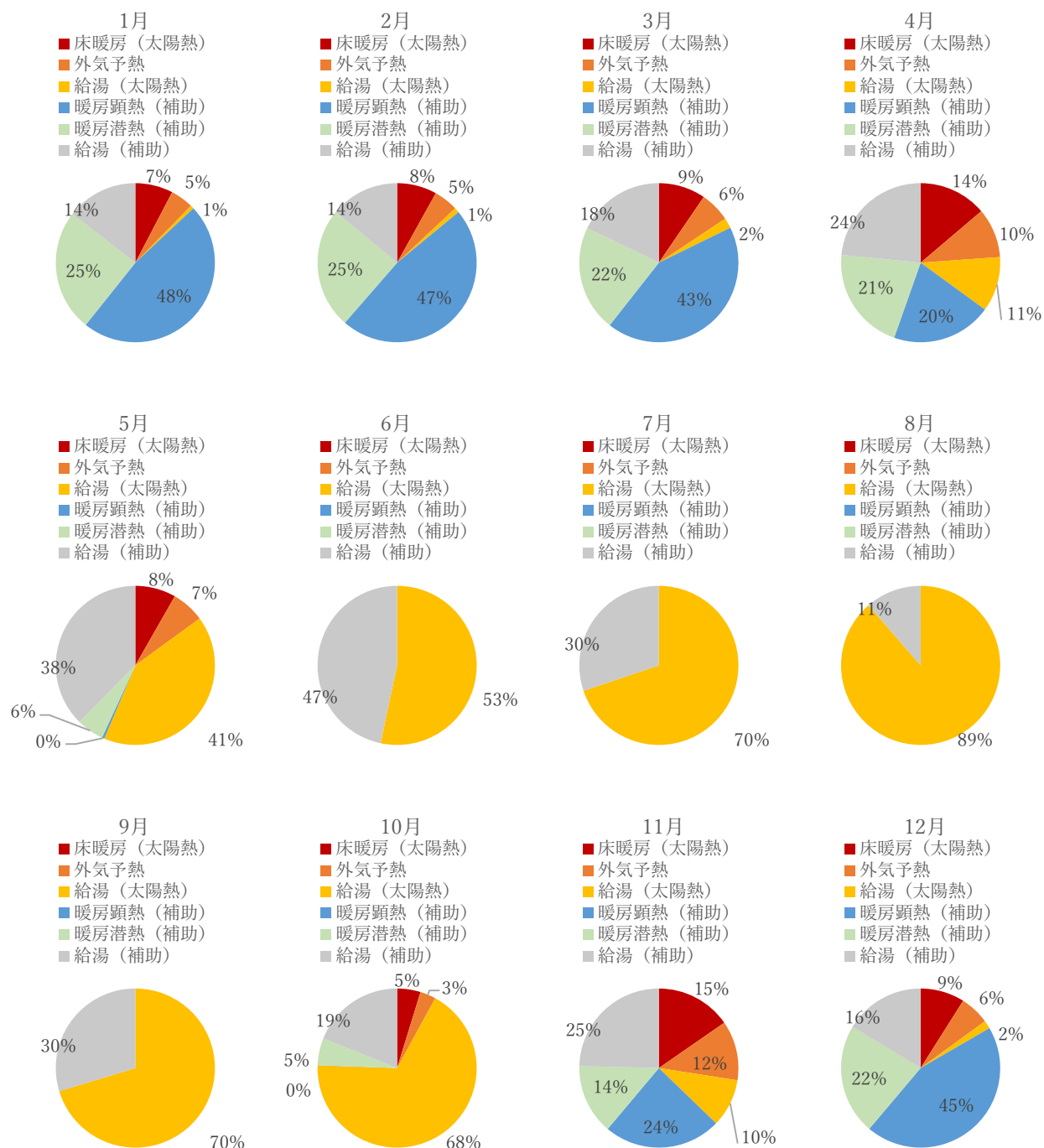


図 5-52 太陽熱給湯・暖房・外気予熱システムの集熱器面積 300 m²の月別太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

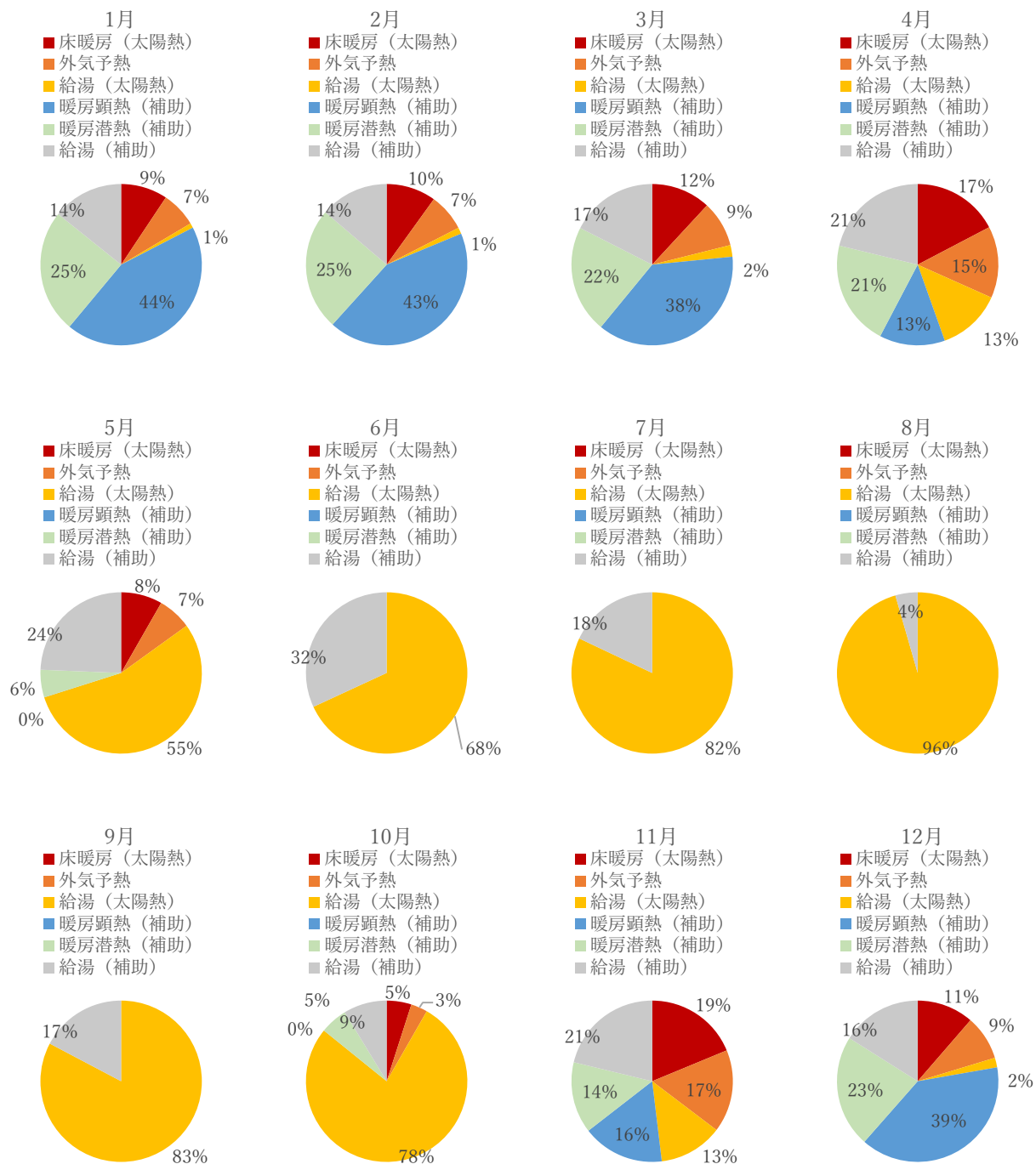


図 5-53 太陽熱給湯・暖房・外気予熱システムの集熱器面積 400 m²の月別太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

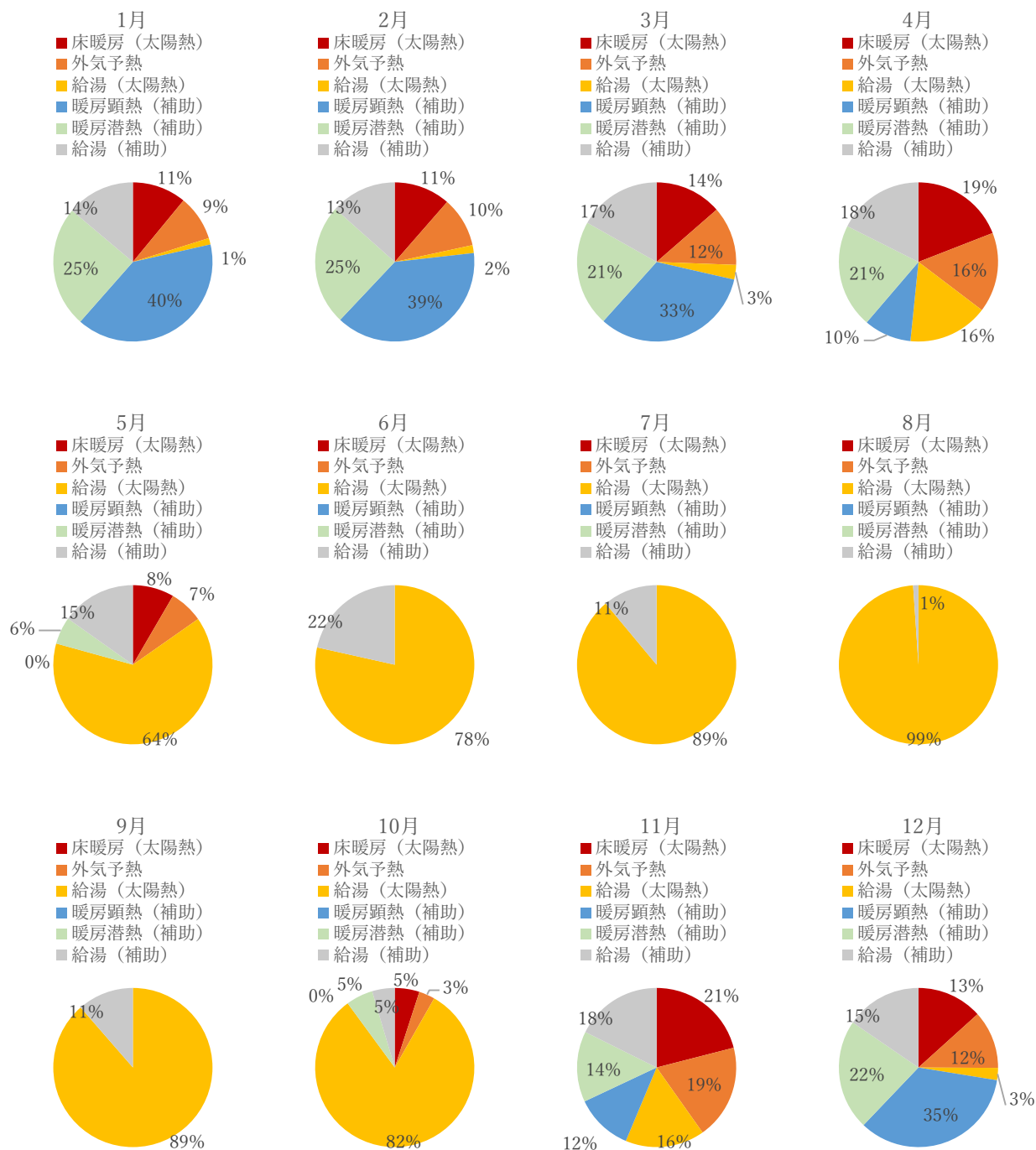


図 5-54 太陽熱給湯・暖房・外気予熱システムの集熱器面積 500 m²の月別太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

第5章 太陽熱を利用した建物のエネルギーシミュレーションの結果と考察

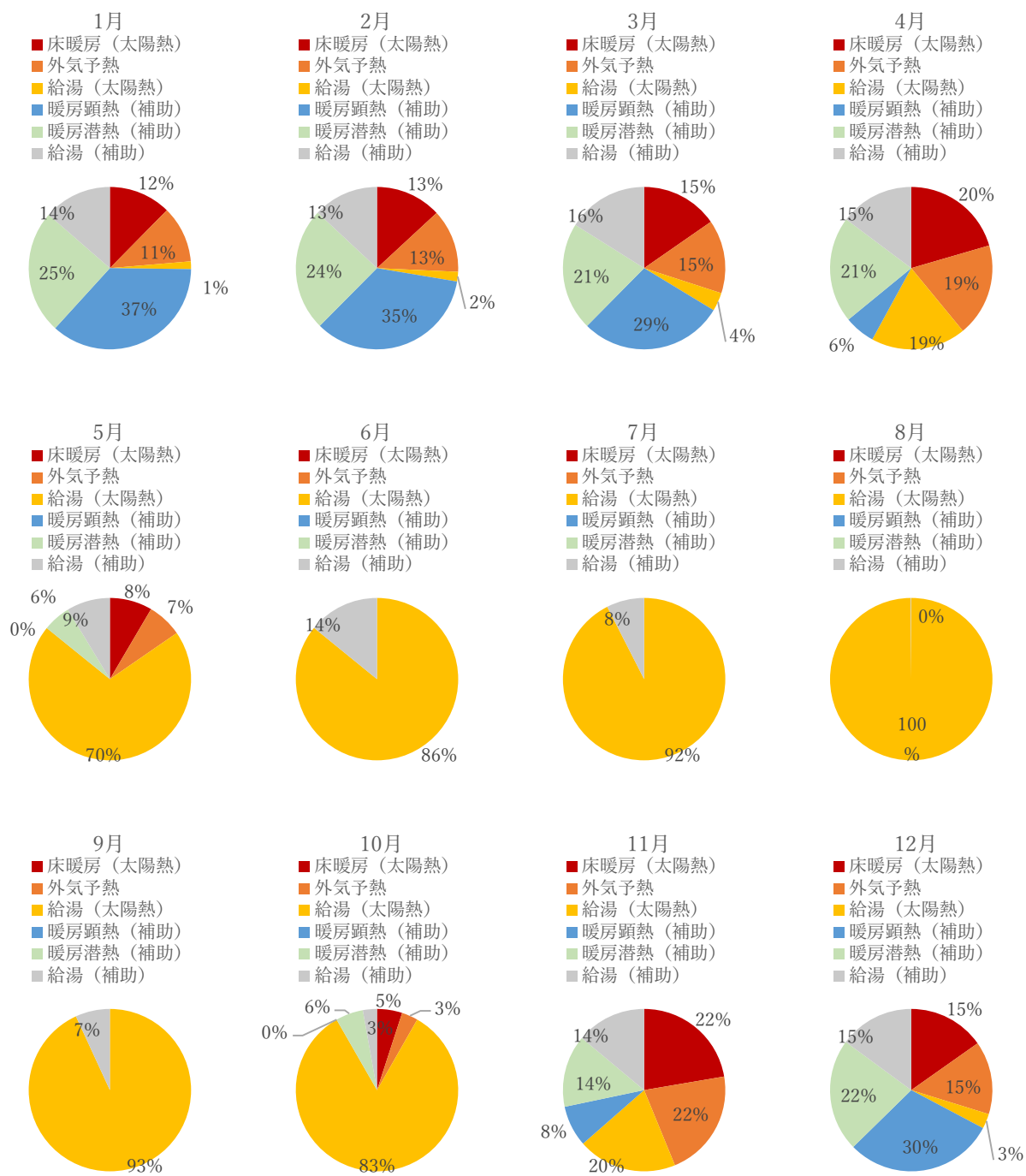


図 5-55 太陽熱給湯・暖房・外気予熱システムの集熱器面積 600 m²の月別太陽熱利用率と暖房負荷、給湯量の割合

5-5 太陽熱の利用用途の異なるシステム間の比較と考察

図 5-56 に、各システムの太陽熱依存率の最大値とその最大値の 95%の太陽熱依存率を示し、図 5-57 に、そのときの蓄熱槽容量と集熱器面積の関係、図 5-58 に、各システムの各集熱器面積での太陽熱依存率の最大値とその 95%の給湯の太陽熱依存率の値、図 5-59 に各システムの太陽熱依存率が最大となる床暖房・外気予熱の太陽熱利用量とその 95%時の値を示す。給湯のみに太陽熱を使用した場合、集熱器面積 300 m²程度までは、集熱器面積が大きくなるにつれて、太陽熱依存率がほぼ比例して増加していることが分かる。300 m²程度以上では、太陽熱依存率の割合が低下し、集熱器単位面積当たりのエネルギー削減効果が減少している。給湯と床暖房に太陽熱を使用した場合は、集熱器面積 600 m²まで、集熱器面積が大きくなるにつれてほぼ比例して太陽熱依存率は増加した。また、外気予熱を使用するとわずかに太陽熱依存率が上昇し、外気予熱を使用していないシステムよりも 2~7%高かった。

太陽熱給湯・床暖房システムの方が、太陽熱給湯システムよりも太陽熱依存率が最大値となる蓄熱槽容量は大きい、最大値の 95%となる蓄熱槽容量は、太陽熱給湯システムよりも、蓄熱槽容量の削減割合が大きく、最大値の約 14~31%に削減できることが分かった。また、太陽熱に給湯のみを使用したときは約 33~42%、外気予熱を使用した場合は約 21~33%に削減できる。最も蓄熱槽容量の削減効果が大きかった集熱器面積は 300 m²であり、太陽熱に給湯のみを使用したときは蓄熱槽容量を太陽熱依存率の最大となる容量の 42.9%に削減でき、給湯と床暖房に使用した場合は 31.3%、外気予熱を使用した場合は 33.3%に削減が可能だった。

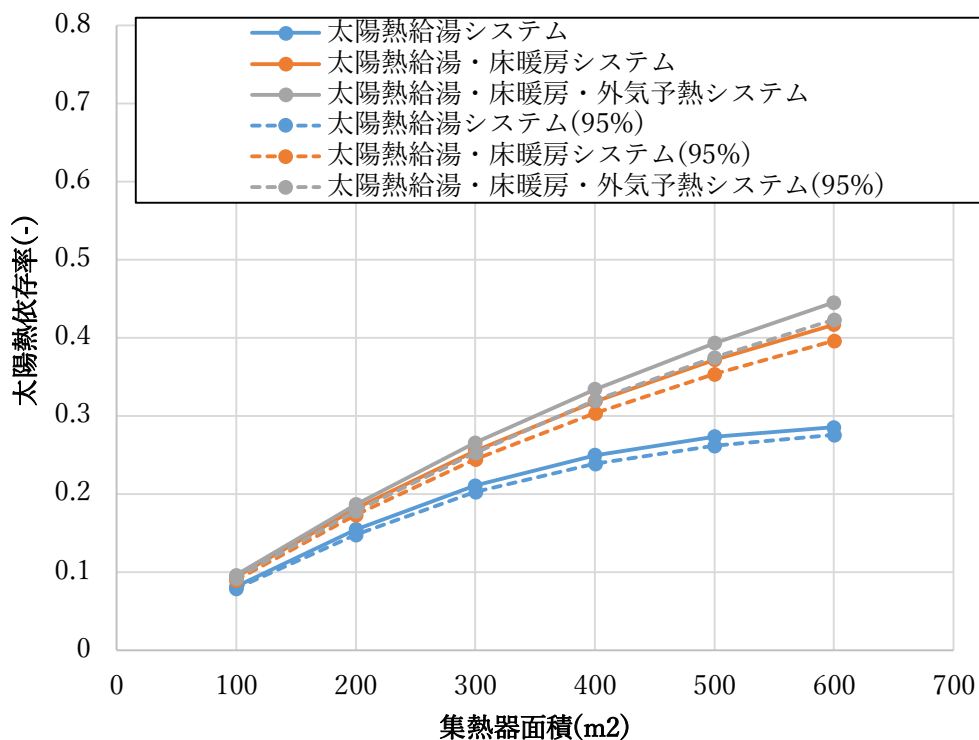


図 5-56 各システムの年間太陽熱依存率の最大値とその 95%の太陽熱依存率の値

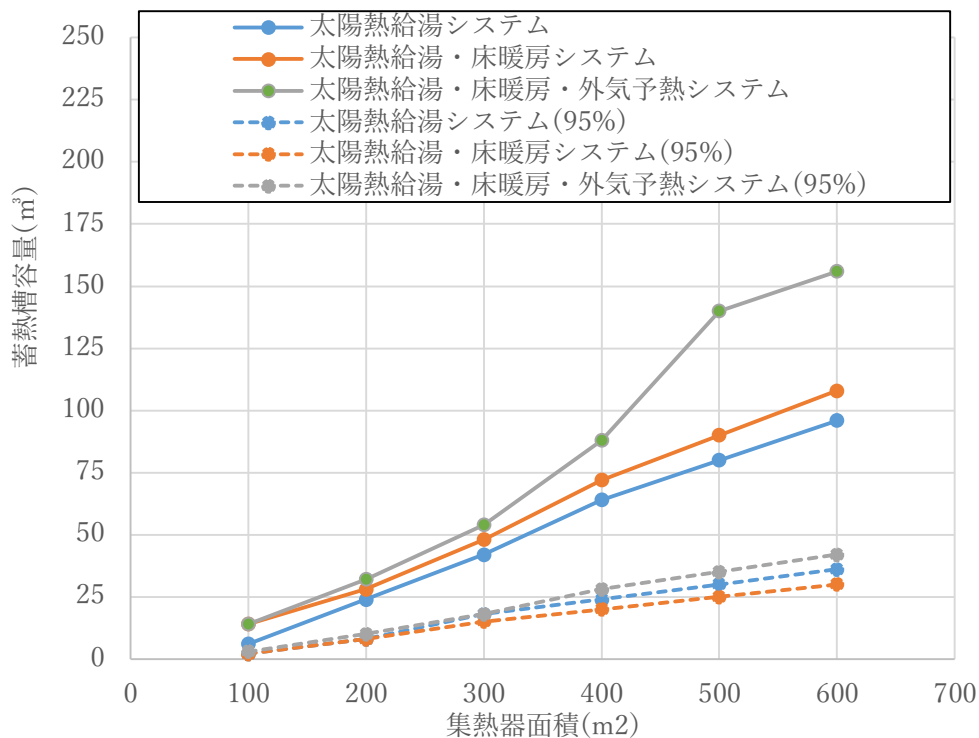


図 5-57 各システムの太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量とその 95%時の蓄熱槽容量

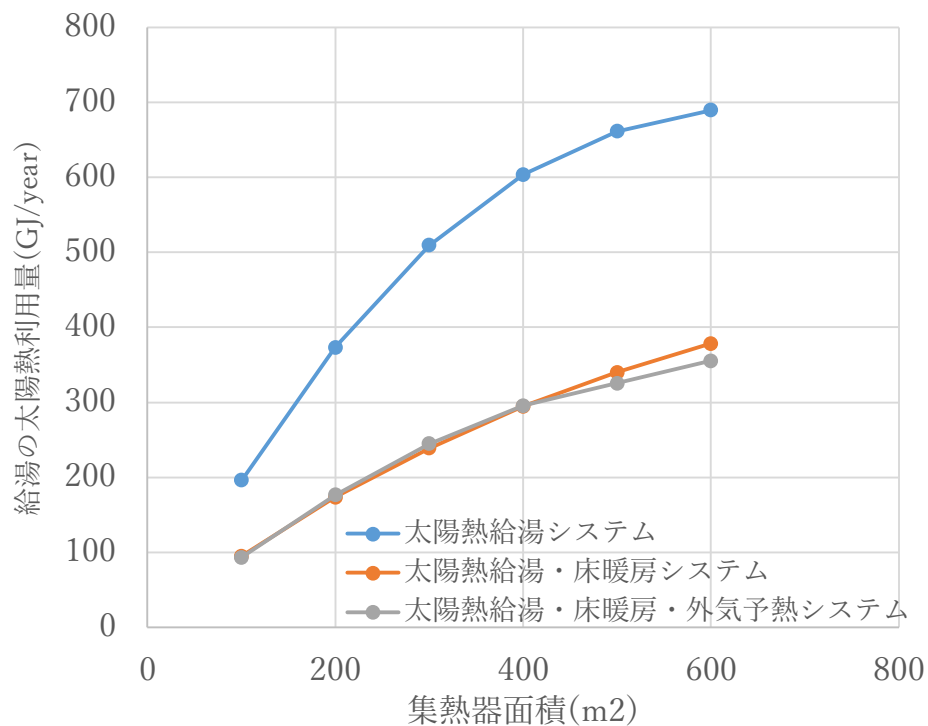


図 5-58 各システムの年間太陽熱依存率の最大値とその 95%の給湯の太陽熱依存率の値

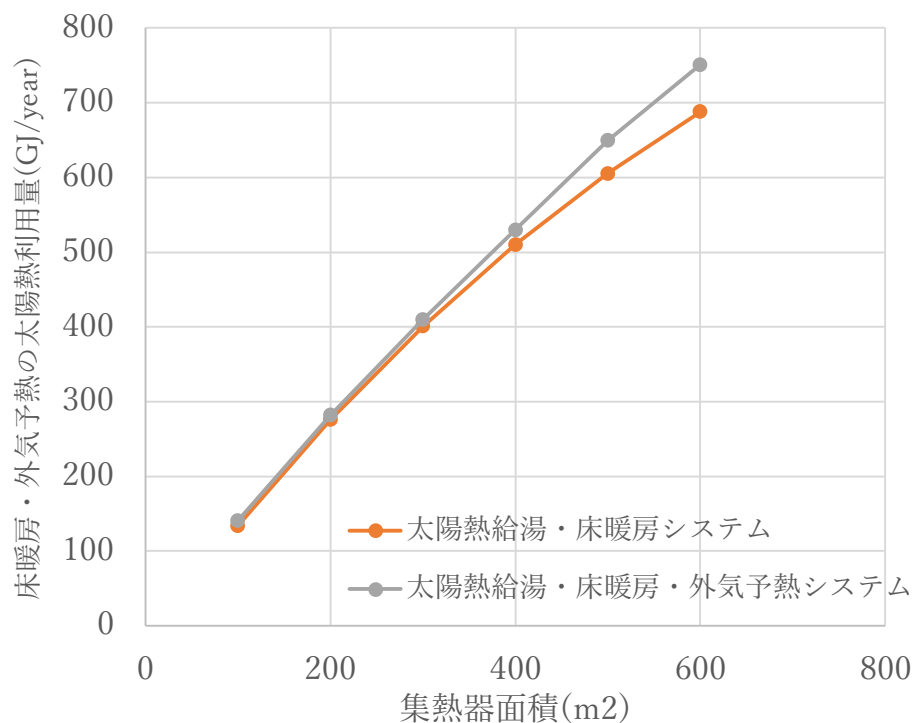


図 5-59 各システムの太陽熱依存率が最大となる床暖房・外気予熱の太陽熱利用量とその 95%時の値

次に、システム間にあまり差異が見られなかった集熱器面積 200 m²と、システム間に比較的大きな差異が見られた集熱器面積 500 m²の場合について、比較を行う。図 5-60、61 に、集熱器面積 200、500 m²の、各システムの月別の太陽熱依存率、図 5-62、63 に、集熱器面積 200、500 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の給湯の太陽熱依存率を示す。8 月においては、太陽熱のみで給湯負荷の 90%以上を賄うことができた。太陽熱を給湯のみに使用した場合では月平均で約 80%、床暖房や外気予熱を使用した場合では約 50%賄うことができた。太陽熱に床暖房を使用する場合、秋季から春季（10～5 月）にかけて、床暖房に賄った太陽熱の余剰分を給湯に有効に利用し、太陽熱依存率が上昇したと考えられる。冬季（12～3 月）において、太陽熱の余剰分で賄うことができた給湯量は約 10%であった。また、外気予熱を使用したシステムでは、春季と秋季の中間期にかけて、外気予熱の効果が得られたため、年間の太陽熱依存率が増加したと考えられる。他の集熱器面積についても、特に 4 月、11 月の外気予熱による効果が大きく、集熱器面積が 400 m²以上では、外気予熱を使用していないシステムよりも太陽熱依存率が約 10%高かった。太陽熱を給湯だけでなく、暖房や外気予熱と組み合わせて使用した方が、集熱器単位面積あたりのエネルギー削減効果を向上させることができる。

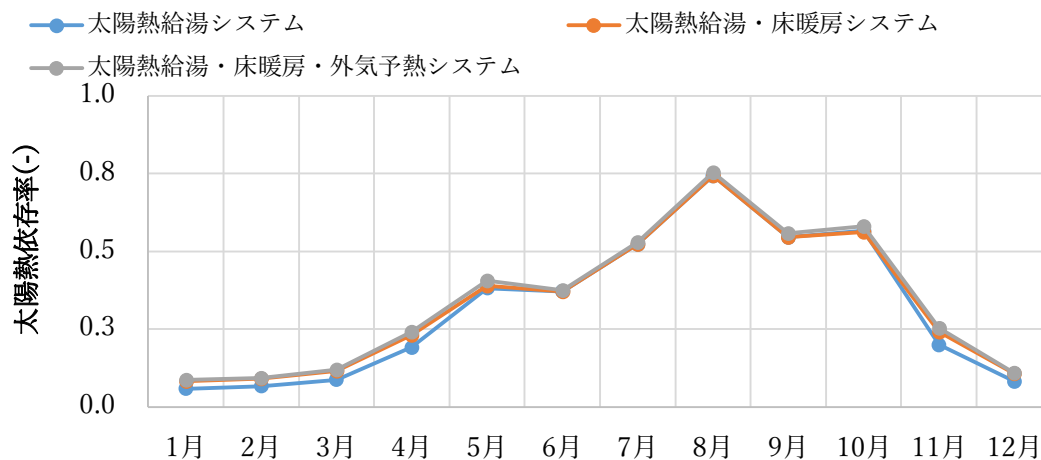


図 5-60 集熱器面積 200 m²、最大値 95%の各システムの月別太陽熱依存率(=太陽熱で賄った給湯量と床暖房/給湯負荷+暖房負荷)

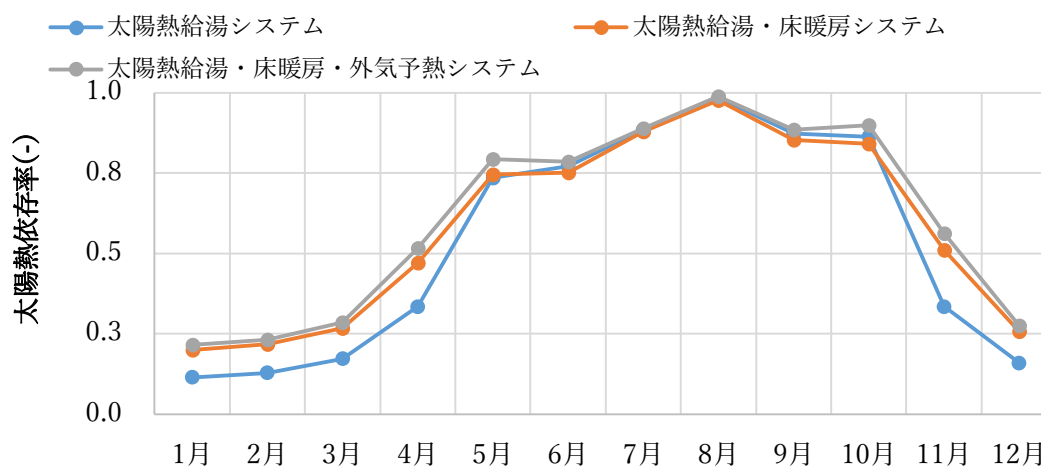


図 5-61 集熱器面積 500 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の太陽熱依存率(=太陽熱で賄った給湯量と床暖房/給湯負荷+暖房負荷)

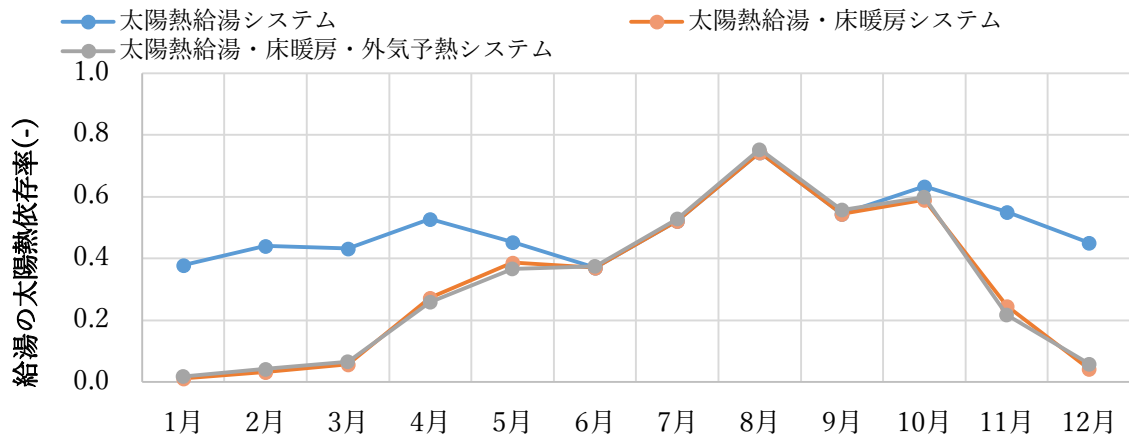


図 5-62 集熱器面積 200 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の給湯の太陽熱依存率(=太陽熱で賄った給湯量/給湯負荷)

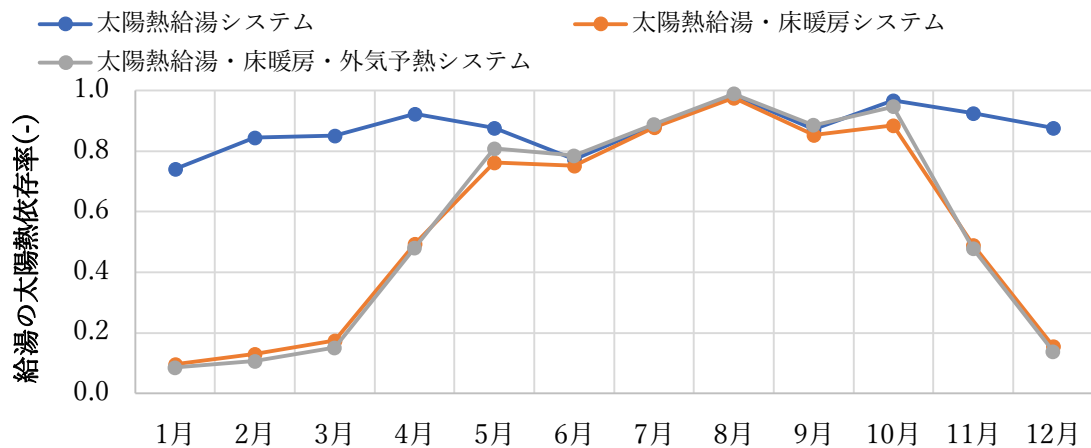


図 5-63 集熱器面積 500 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の給湯の太陽熱依存率(=太陽熱で賄った給湯量/給湯負荷)

図 5-64 に、各システムの年間熱損失、図 5-65 に、各システムの年間の集熱器の集熱効率を示す。どのシステムにおいても、集熱器面積が大きくなると、集熱器入り口温度が高くなるために集熱効率が下がっていることが分かる。また、太陽熱依存率の最大値の 95%の時は、集熱効率は下がるが、熱損失は抑えられている。蓄熱槽からの熱損失は、どのシステムにおいても、太陽熱依存率が最大値となる蓄熱槽容量の 10～48%削減できた。給湯のみに太陽熱を使用した場合は、熱損失が最も大きく、集熱効率も最も悪かった。外気予熱を使用した場合、集熱器面積 300 m²を超えると、外気予熱を使用しないシステムよりも熱損失が大きくなるが、どの集熱器面積においても外気予熱を使用した方が熱効率は良く、外気予熱を使用していないシステムより 2～5%効率が良かった。

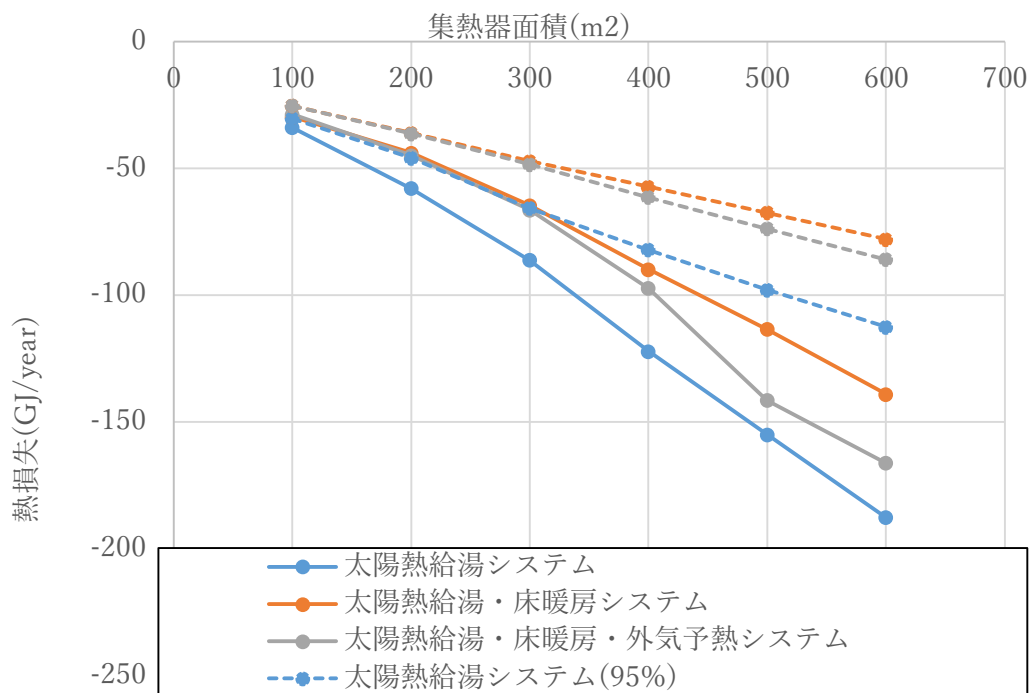


図 5-64 各システムの太陽熱依存率が最大となる熱損失とその 95%時の熱損失

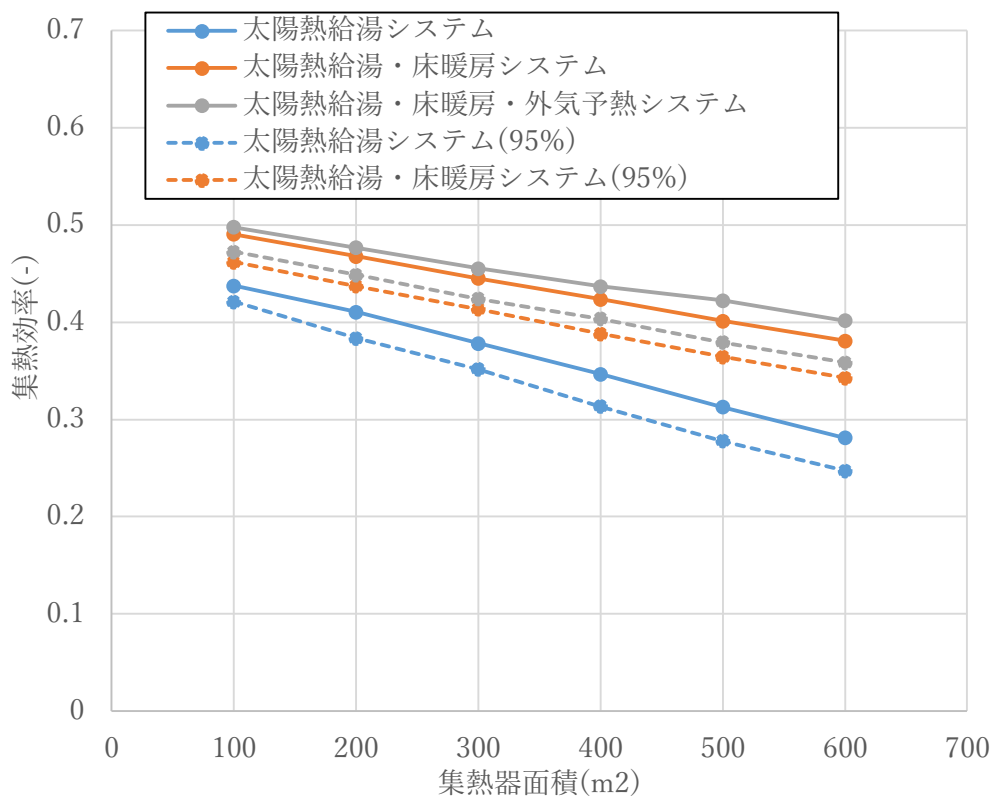


図 5-65 各システムの太陽熱依存率が最大となる集熱効率とその 95%時の集熱効率

図 5-66、67 に、集熱器面積 200、500 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の集熱効率、図 5-68、69 に、蓄熱槽内温度を示す。床暖房が稼働している冬季(10～5 月)を見ると、外気予熱を使用している時の方が、集熱効率が良いことが分かる。これは、蓄熱槽内温度が低く、外気予熱を使用しない時よりも低温で床暖房へ送水できるからである。

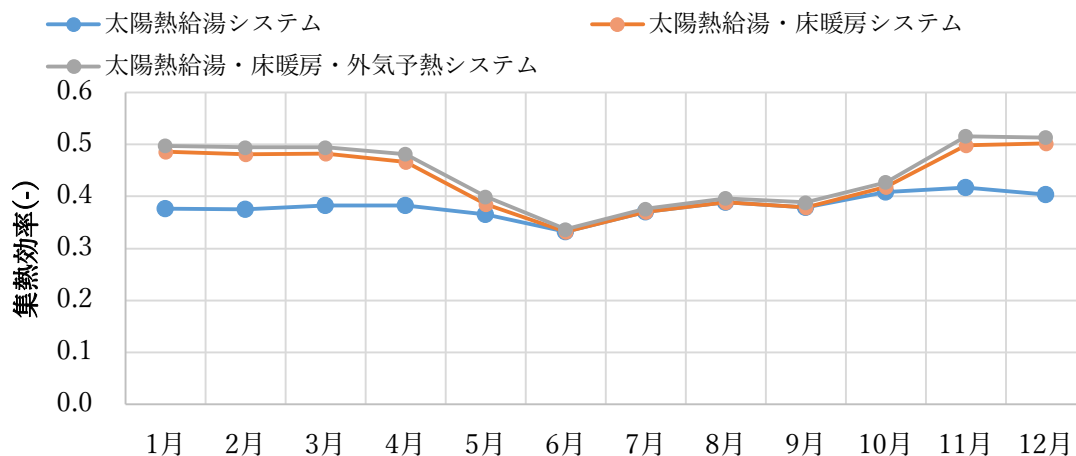


図 5-66 集熱器面積 200 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の集熱効率

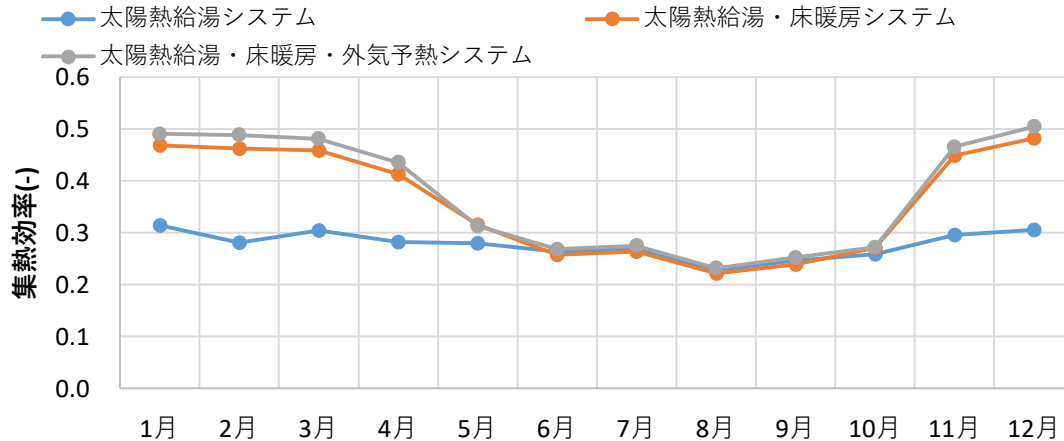


図 5-67 集熱器面積 500 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の集熱効率

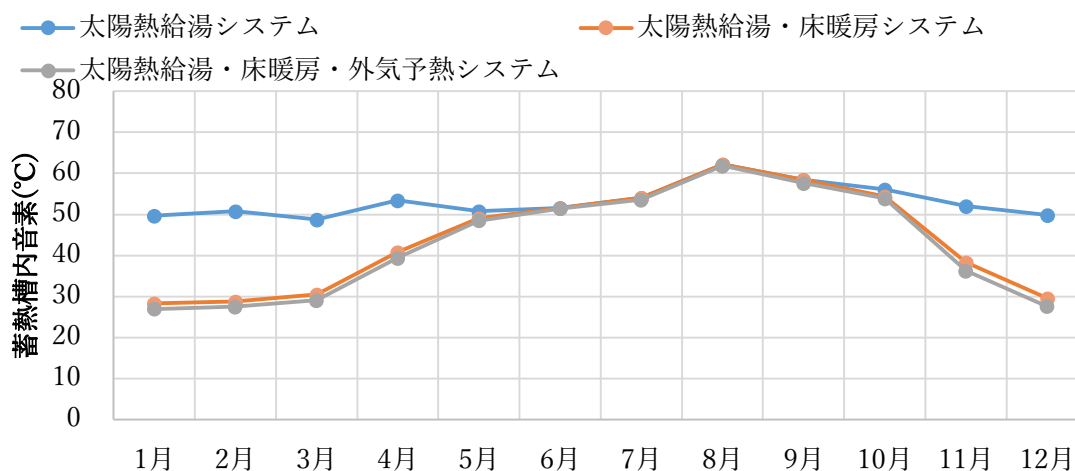


図 5-68 集熱器面積 200 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の蓄熱槽内温度

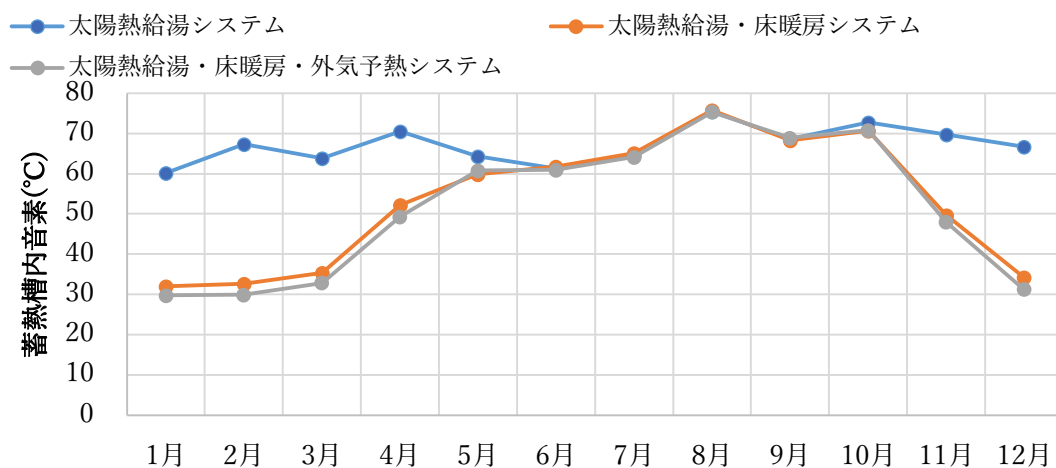


図 5-69 集熱器面積 500 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の蓄熱槽内温度

また、集熱器面積200、500m²以外の集熱器面積100、300、400、600m²のシステム間の月別の結果については以下の図5-70～85に示す。

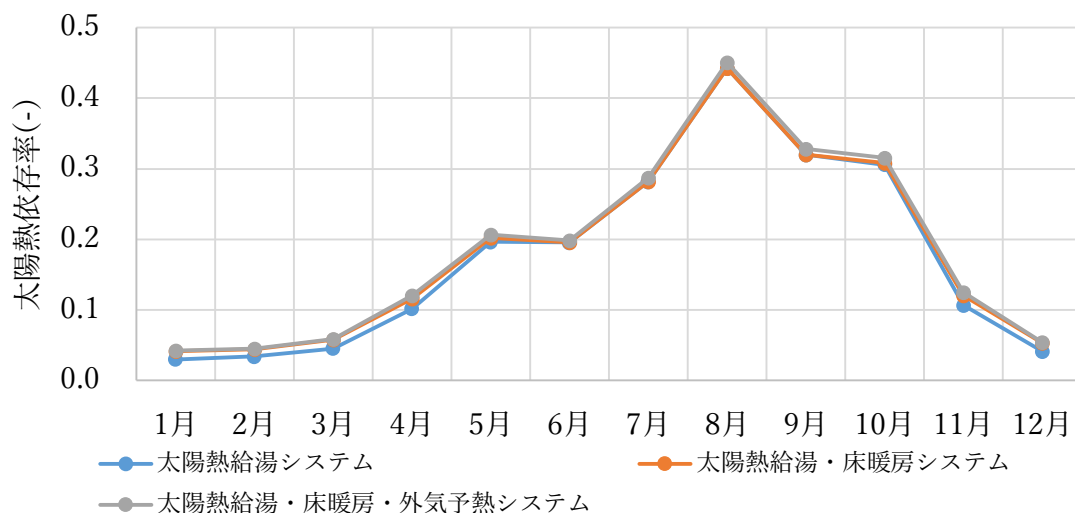


図 5-70 集熱器面積 100 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の太陽熱依存率

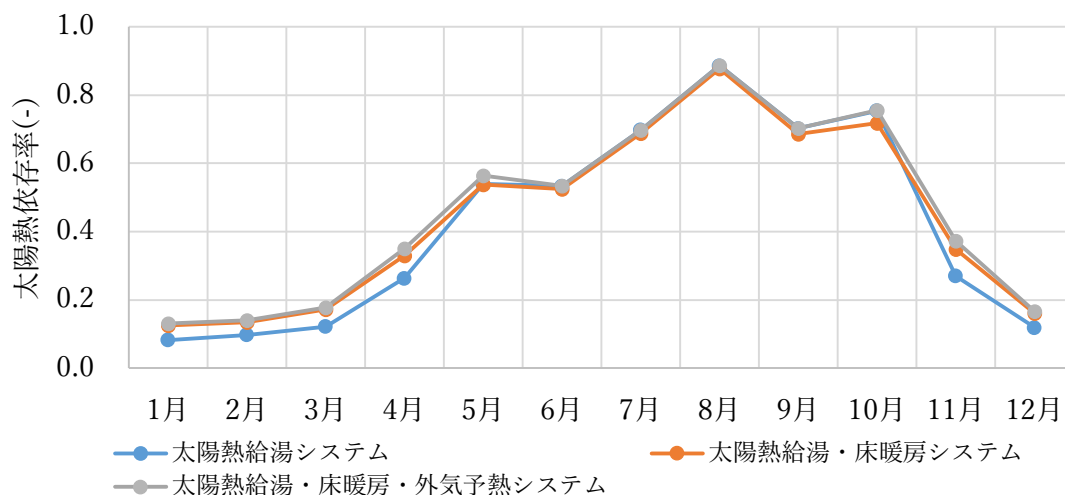


図 5-71 集熱器面積 300 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の太陽熱依存率

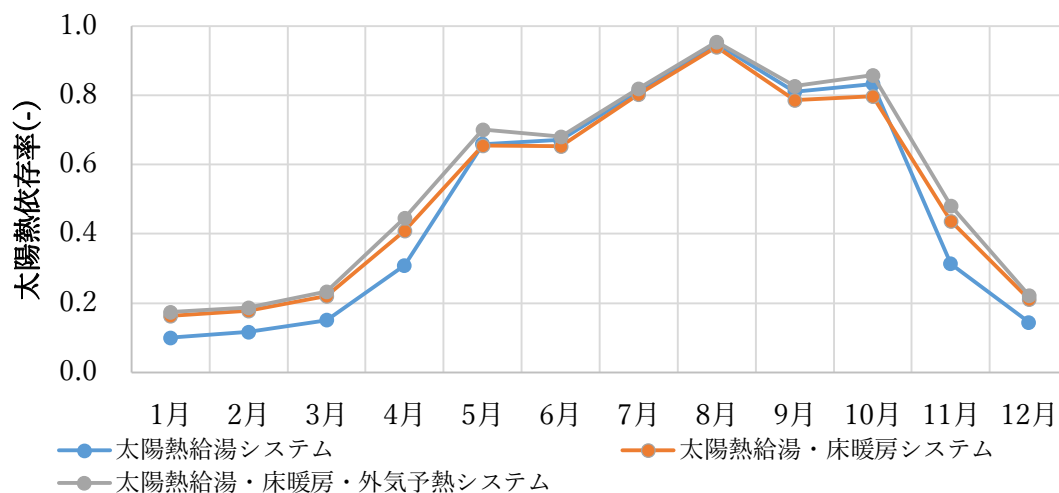


図 5-72 集熱器面積 400 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の太陽熱依存率

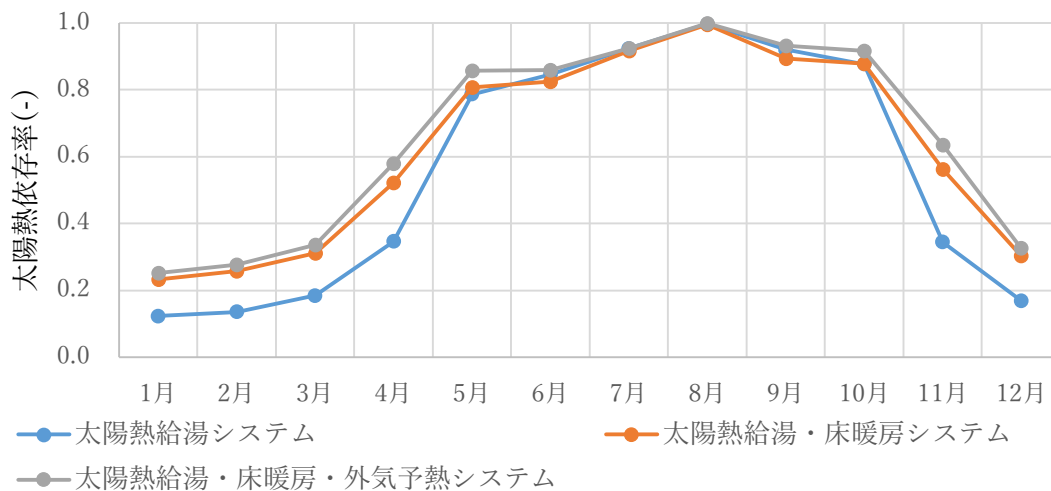


図 5-73 集熱器面積 600 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の太陽熱依存率

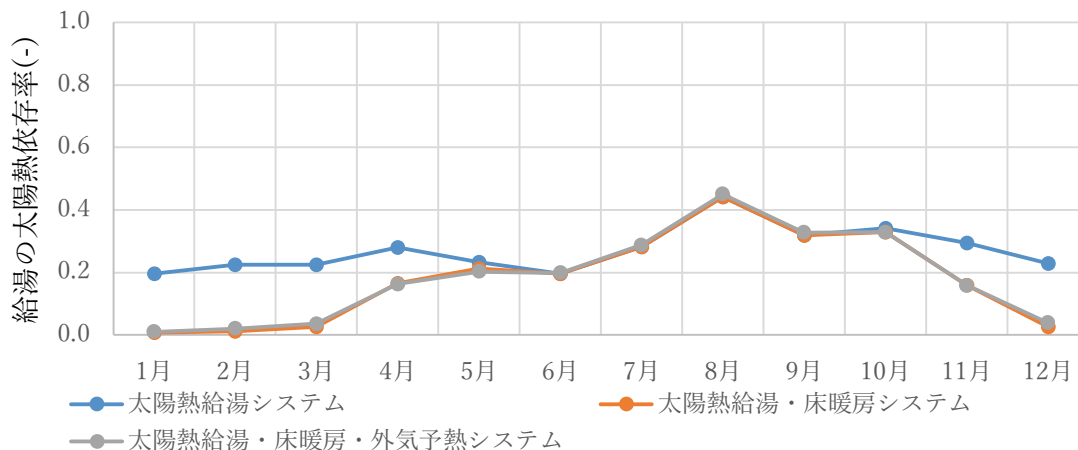


図 5-74 集熱器面積 100 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の給湯の太陽熱依存率

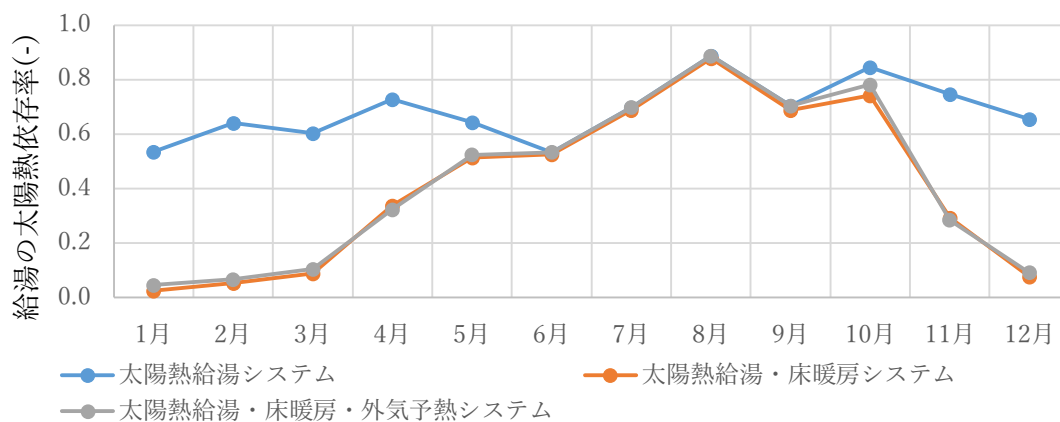


図 5-75 集熱器面積 300 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の給湯の太陽熱依存率

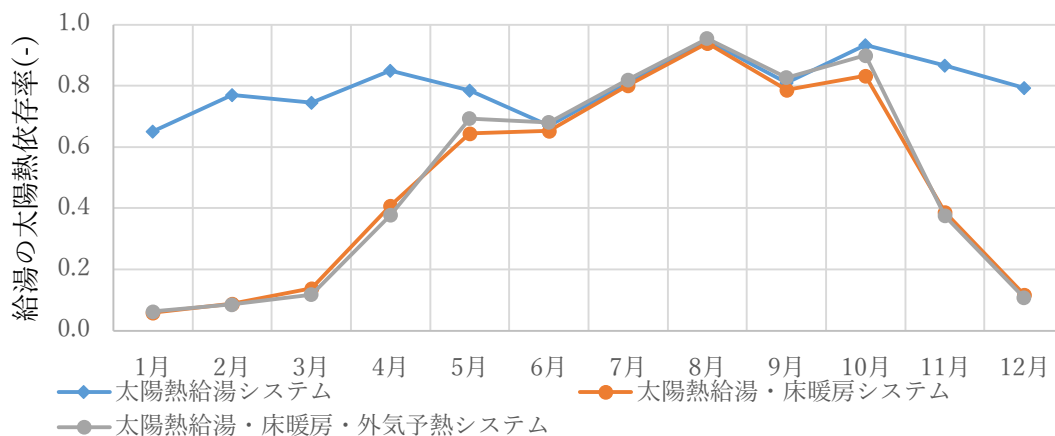


図 5-76 集熱器面積 400 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の給湯の太陽熱依存率

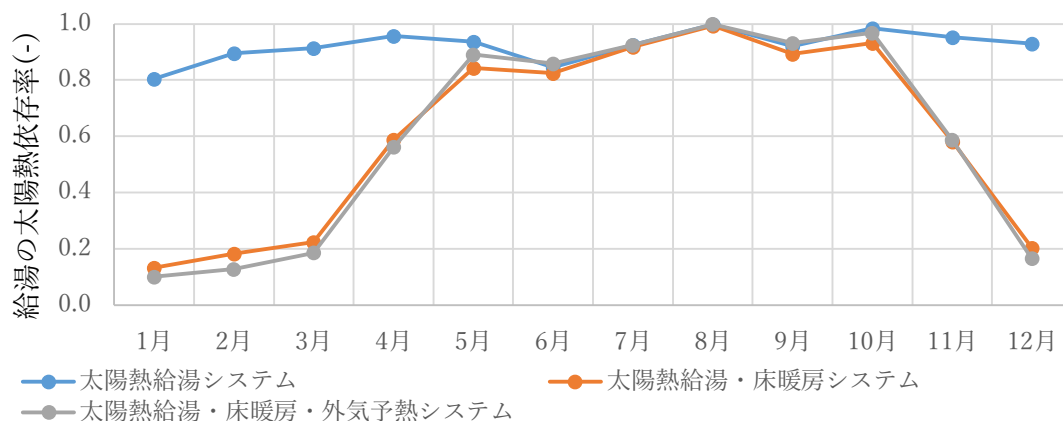


図 5-77 集熱器面積 600 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の給湯の太陽熱依存率

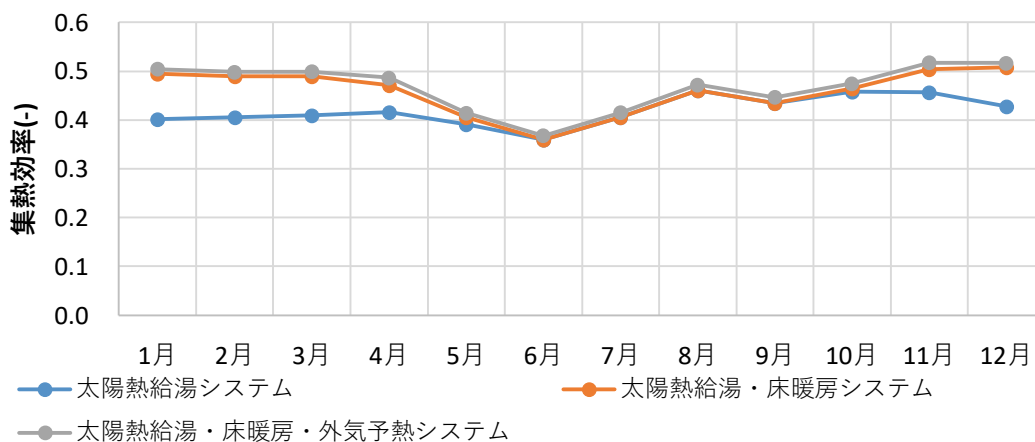


図 5-78 集熱器面積 100 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の集熱効率

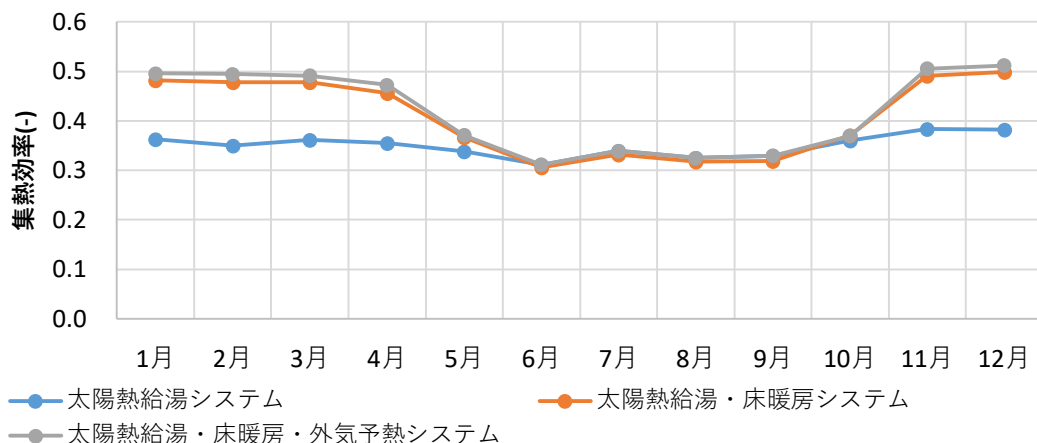


図 5-79 集熱器面積 300 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の集熱効率

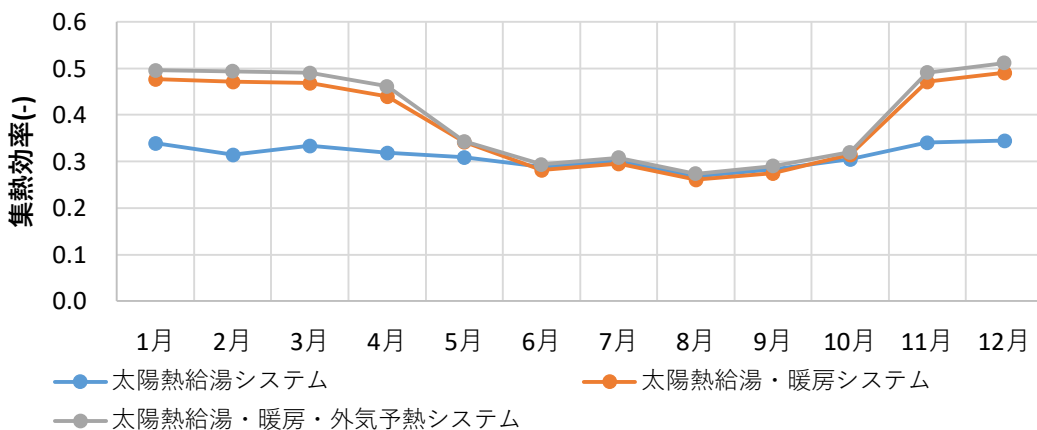


図 5-80 集熱器面積 400 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の集熱効率

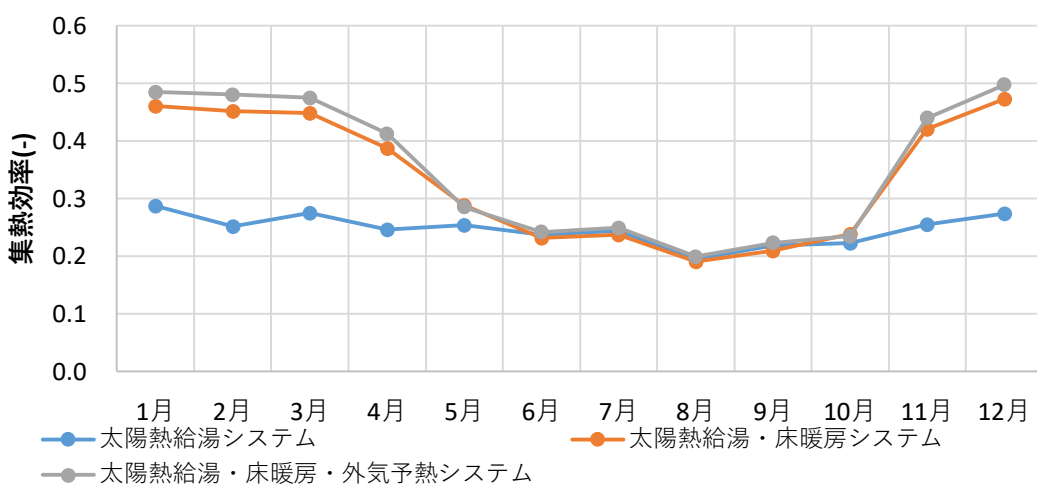


図 5-81 集熱器面積 600 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の集熱効率

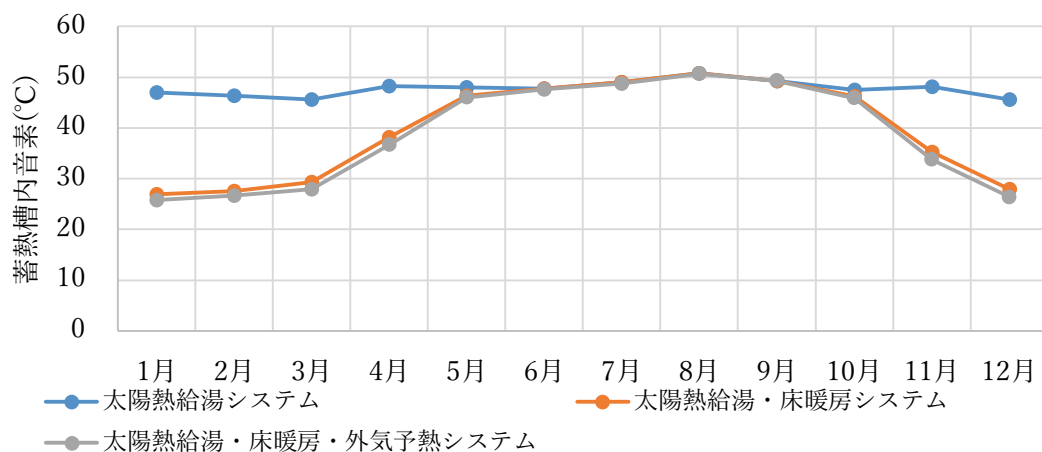


図 5-82 集熱器面積 100 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の蓄熱槽内温度

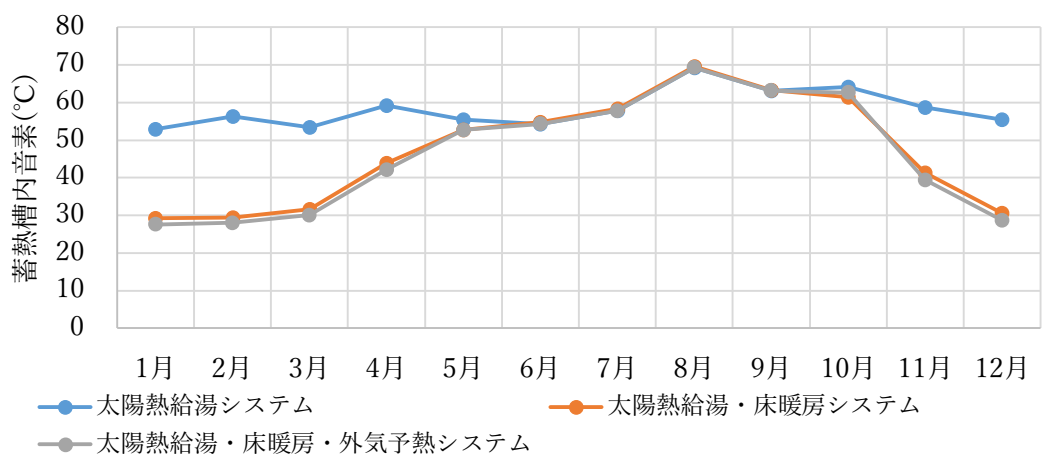


図 5-83 集熱器面積 300 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の蓄熱槽内温度

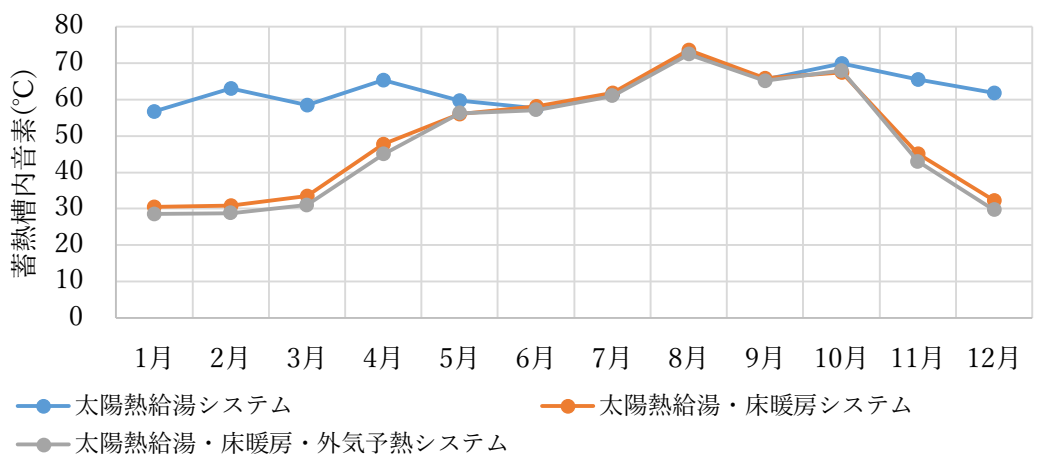


図 5-84 集熱器面積 400 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の蓄熱槽内温度

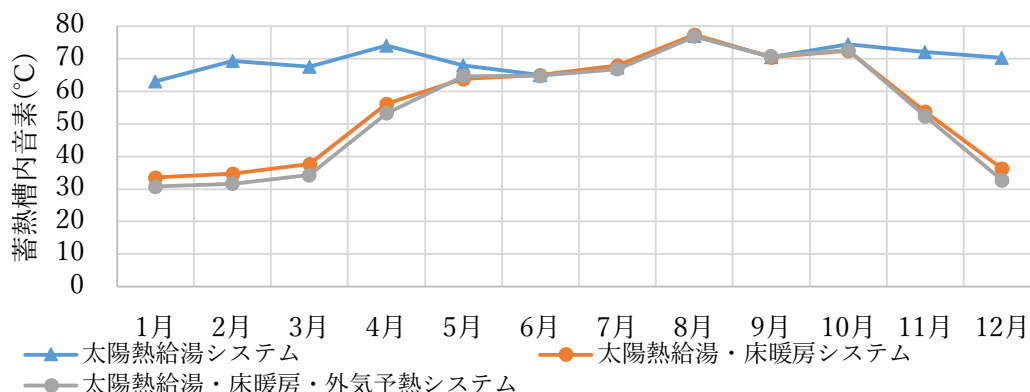


図 5-85 集熱器面積 600 m²、太陽熱依存率 95%時の各システムの月別の蓄熱槽内温度

5-6 第5章のまとめ

給湯・暖房の温熱需要の大きい施設である老人福祉施設に、太陽熱給湯システムを導入した際の給湯負荷削減効果について、TRNSYS を用いたシミュレーションによる検討を行い、以下の知見を得た。

1. 蓄熱槽容量が大きいほど、集熱量が増加するが、蓄熱槽の表面積が大きくなるために蓄熱槽からの熱損失が大きくなる。したがって、太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量が存在する。
2. 太陽熱依存率が最大となる集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量は、集熱器面積が大きいほど大きい値となる。
3. 集熱器面積が大きくなり、蓄熱槽容量が大きくなると熱損失分の影響により、集熱効率が低くなる。
4. 太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量から槽容量を若干縮小しても、太陽熱依存率の低下量は非常に小さく、太陽熱依存率が最大値の95%となる蓄熱槽容量は、太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量を大幅に低減できる。
5. 床暖房に太陽熱を使用する場合、秋季～春季（10～5月）において太陽熱依存率が上昇する。また、冬季（12～3月）は太陽熱の余剰熱によって、給湯負荷の約10%の給湯量を賄うことができる。
6. 太陽熱に外気予熱をすると、中間期において太陽熱依存率が大きくなる。また、冬季はより低温水で床暖房へ送水することができるため、外気予熱を使用しない時に比べて、わずかに効率が良くなる。

第 6 章

総括

本研究では、老人福祉施設への太陽熱利用システムの導入効果について、TRNSYS を用いたシミュレーションによる検討を行う。また、集熱器面積あたりの蓄熱槽容量、集熱流量、太陽熱依存率との関係、容量効率の観点から適切な構成機器の容量バランスについて検討した。以下に得られた主な結果をまとめる。

1. 集熱流量の増加に伴い集熱効率が高くなるため、太陽熱依存率は上昇し、ある集熱器単位面積あたりの集熱流量で頭打ちとなる。太陽熱給湯システムの場合、約10～15((kg/h)/m²)、太陽熱給湯・床暖房システムの場合、は約15～20((kg/h)/m²)、太陽熱給湯・床暖房・外気予熱システムの場合、約15～20((kg/h)/m²)であった。どのシステムにおいても、集熱器単位面積当たりの集熱流量は約15((kg/h)/m²)であった。
2. どのシステムにおいても、蓄熱槽容量が大きいほど、集熱量が増加するが、蓄熱槽の表面積が大きくなるために蓄熱槽からの熱損失が大きくなる。したがって、太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量が存在する。
3. 太陽熱依存率が最大となる集熱器単位面積当たりの蓄熱槽容量は、集熱器面積が大きいほど大きい値となる。しかし、集熱器面積が大きくなり、蓄熱槽容量が大きくなると、集熱効率が低くなる。集熱器面積が大きくなると、集熱器入口温度が高くなり、熱損失が大きくなるからである。また、蓄熱槽容量が大きくなると、蓄熱槽の表面積が大きくなるために、蓄熱槽からの熱損失が大きくなるからである。
4. 太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量から槽容量を若干縮小しても、太陽熱依存率の低下量は非常に小さく、太陽熱依存率が最大値の95%となる蓄熱槽容量は、太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量を大幅に低減できる。太陽熱依存率の最大値からその95%となる容量まで、蓄熱槽容量を縮減すると、太陽熱給湯システムでは約33～42%、太陽熱給湯・床暖房システムでは約14～31%、太陽熱給湯・床暖房・外気予熱システムでは約21～33%削減できる。特に集熱器面積300m²の時に、槽容量を大きく削減可能である。(蓄熱槽の初期コストと節約できるエネルギー費等との関係から、経済的な蓄熱槽容量の最適値は、太陽熱依存率が最大となる蓄熱槽容量よりも小さい値となる。)
5. 床暖房に太陽熱を使用する秋季～春季(10～5月)においては、太陽熱に床暖房を使用したシステムの方が、給湯のみを使用したシステムより太陽熱依存率が高い。

6. 冬季(12～3月)は、給湯負荷の約10%の給湯量を賄うことができる。
7. 外気予熱を使用すると、春季と秋季の中間期において太陽熱依存率が大きくなる。
8. 太陽熱給湯・床暖房・外気予熱システムの場合、蓄熱槽内温度が低くなり、冬季により低温水で床暖房へ使用することができるため、外気予熱を使用しない時に比べて、わずかに効率が良くなる。
9. 集熱器面積が大きくなると、暖房負荷の削減量は大きくなるが、集熱効率は低くなる。

【参考文献】

- [1]長瀬沙羅、北野博亮、佐潟 輝洋、佐々木 剛、岩田 剛、永井 久也：高齢者福祉施設への太陽熱利用システムの導入効果に関するシミュレーション、太陽/風力エネルギー講演論文集2017、pp.121-124、2017.10
- [2] 在宅強化型 介護老人保健施設 ウェルケア新吉田 ～医療法人社団 裕正会～ 、
<http://www.welcare.or.jp/>
- [3] TRNSYS - Official Website - UW-Madison、
<https://sel.me.wisc.edu/trnsys/>
- [4] TRNSYS manuals
<http://sel.me.wisc.edu/trnsys/user17-resources/index.html>
- [5]国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所：平成25年省エネルギー基準(非住宅建築物) 一次エネルギー消費量算定用WEBプログラムの解説、pp126、2014.9
- [6]三木僚子、西名大作、村川三郎、金田一清香：中国・四国地方における居住系高齢者福祉施設のエネルギー消費特性に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第79巻 第699号、pp459-467、2014.5
- [7]李小平、奥宮正哉：太陽熱利用暖房システムに関する研究、日本建築学会計画系論文集、第539巻 pp29-36、2001.1
- [8]301 介護福祉施設サービス、<http://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/160255.pdf>

謝辞

筆者の指導教員である北野博亮准教授には本研究課題を与えてくださったことに加え、本論文を完成させるに至るまで絶えず適切なご助言とご指導、ご鞭撻を頂きましたことに深く感謝申し上げます。

環境設備系の永井久也教授、寺島貴根教授、岩田剛技官には研究活動を遂行する上で様々なご指導とご助言を頂きましたことに深く感謝申し上げます。

最後に環境設備系研究室の学生の皆様には日頃より温かい励ましとご配慮を賜りました。心より感謝申し上げます。