

第6章 集熱量計算

前述のとおり、集熱量計算には簡易計算と詳細計算がある。ここでは、全日集熱効率線図を用いた簡易計算例と数値シミュレーションによる計算例を示す。

6.1 全日集熱効率線図を用いた簡易計算例

太陽熱利用システムの設置場所や設置条件を設定し、図6.1.2の手順で全日集熱効率 η_{cd} を求め、集熱面積、太陽依存率を求める。

1) 簡易計算の手順

【計算条件】

- ・集熱器受熱面傾斜角度： γ (度)
- ・集熱器受熱面方位角度： α (度)
- ・蓄熱槽の集熱開始時水温： t_{st} (°C)
- ・蓄熱槽の集熱終了時水温： t_{end} (°C)
- ・太陽依存率 (太陽で賄われた熱量/必要熱量)： σ

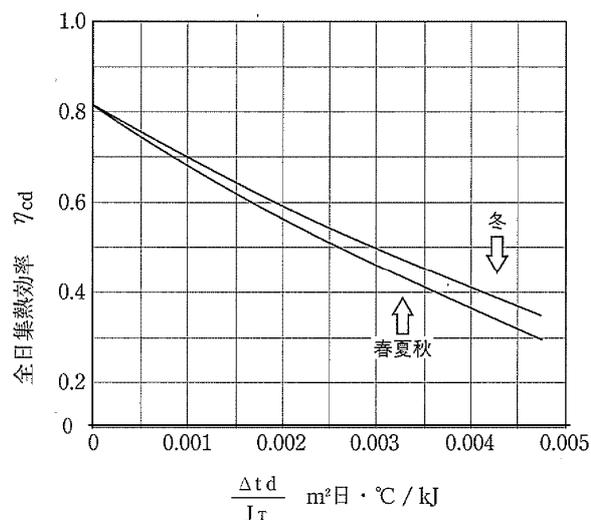


図 6.1.1 全日集熱効率線図 (Y社)

出所) 設計用資料「太陽熱利用システム」[2009年11月] 矢崎総業 (株)

●手順1) 受熱面日射量 J_T の求め方

または、 $J_T = J_T' \cdot (1 - \eta_D)$ 傾斜面日射量 J_T' は他の気象データより求めても良い。

$$J_T = J_{HT} \cdot K_\gamma \cdot K_\alpha \cdot (1 - \eta_D)$$

J_{HT} : 水平面日射量：(MJ/m²日)

K_γ : 傾斜角による日射量倍率

K_α : 方位角による日射量倍率

(K_γ は参考図6.1.1、 K_α は参考図6.1.2より読み取って求める)

η_D : 集熱器ガラスの汚れ係数

※月平均日積算集熱面日射量 (方位角、傾斜角別傾斜面日射量)、月平均気温、給水温度はソーラーシステム振興協会の「ソーラーシステム標準気象データ及び給水温度」SSS1001 (改) に拠ることができる。

●手順2) 全日集熱効率 η_{cd} の求め方

集熱開始時蓄熱槽温度 t_{st} と集熱終了時蓄熱槽温度 t_{end} を設定する。

平均集熱温度 t_{md} を次式より近似的に求める。

$$t_{md} = (t_{st} + 2 t_{end}) / 3 \quad (^\circ\text{C})$$

平均集熱温度 t_{md} と日中平均外気温度 t_{aird} との温度差 Δt_d を求める。

$$\Delta t_d = t_{md} - t_{aird} \quad (\text{K})$$

手順1)の受熱面日射量 J_T と平均集熱温度 Δt_d から図6.1.1を使って全日集熱効率 η_{cd} を求める。

●手順3) 集熱量 Q_{cd} の求め方

受熱面日射量 J_T と全日集熱効率 η_{cd} より単位面積当たりの集熱量 Q_{cd} を求める。

$$Q_{cd} = J_T \cdot \eta_{cd} \quad (\text{MJ}/\text{m}^2\text{日})$$

●手順4) 必要熱量(熱負荷) Q_L の求め方

$$Q_L = q_{L1} + q_{L2} \quad (\text{MJ}/\text{日})$$

一日の給湯負荷 q_{L1} 及び暖房負荷 q_{L2} を求め合計する。

$$\text{給湯負荷 } q_{L1} = q_L \cdot (t_{hw} - t_s) \cdot 4.186 \quad (\text{MJ}/\text{日})$$

t_{hw} : 給湯温度 (°C)

t_s : 給水温度 (°C)

q_L : 給湯量 (L/日)

●手順5) 集熱面積の求め方

単位面積当たりの集熱量 Q_{cd} 、必要熱量 Q_L 、太陽依存率 σ 、熱損失率 η_L より次式で集熱面積 A_c を求める。

$$A_c = \sigma \cdot Q_L / Q_{cd} \cdot (1 - \eta_L) \quad (\text{m}^2)$$

一日の利用可能熱量 Q_{ct} (MJ/日) は $Q_{ct} = A_c \cdot Q_{cd} \cdot (1 - \eta_L)$ で表される。

A_c : 集熱面積 : (m²)

Q_L : 必要熱量(熱負荷) : (MJ/日)

η_L : 蓄熱槽、配管などの熱損失率 :

集熱面積 A_c が決まっていれば太陽依存率 σ を求めるときは式を変形して計算できる。

$$\sigma = A_c \cdot Q_{cd} \cdot (1 - \eta_L) / Q_L$$

●手順6) 蓄熱槽容量の求め方

集熱した熱は翌日の集熱開始時までには使用するとすれば蓄熱槽容量 V は利用可能熱量 Q_{ct} から集熱時間内の使用熱量 Q_{Lt} を差し引いた値が集熱時間外(夜間など)負荷にそなえた熱量になる。従って、蓄熱槽容量 V は次式になる。

$$V = (Q_{ct} - Q_{Lt}) / \rho_w \cdot C_w (t_{end} - t_{st}) \quad (\text{m}^3)$$

V : 蓄熱槽容量 (m³)

Q_{Lt} : 集熱時間内の総必要熱量 : (MJ/日) = (必要熱量 Q_L × 日中負荷割合 Q_{Lt}')

ρ_w : 水の密度 (t/m³)

C_w : 水の比熱 (MJ/tK)

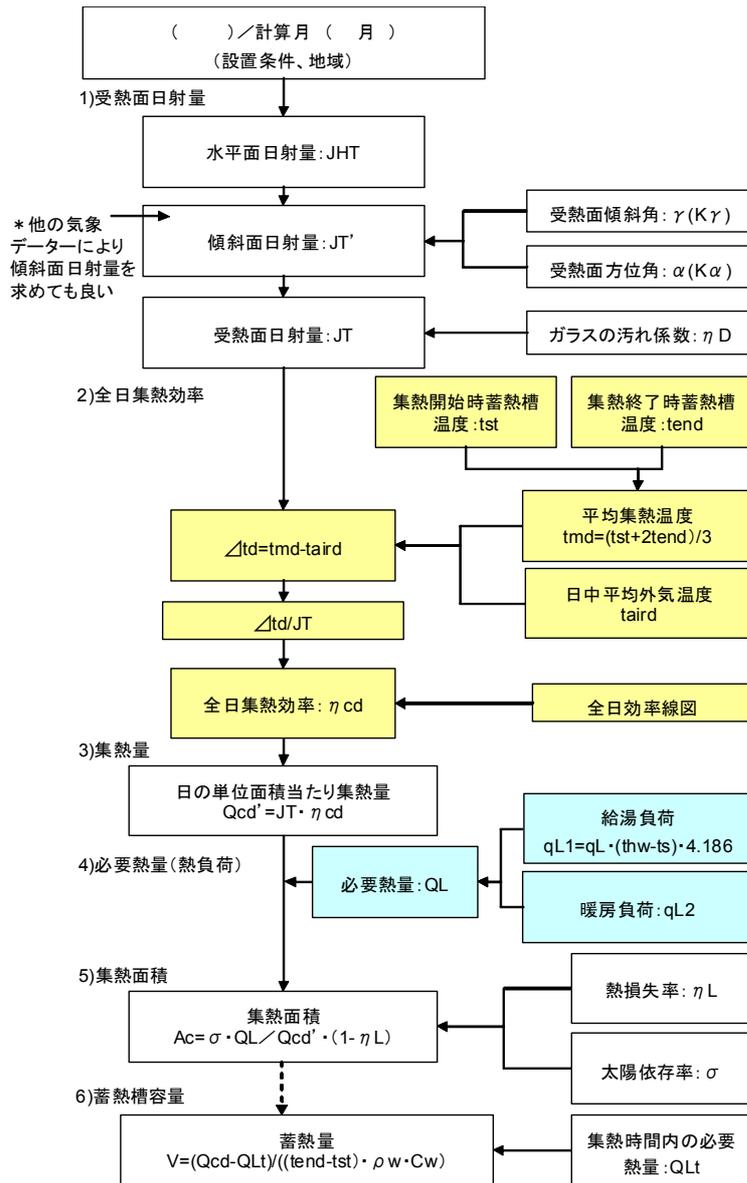
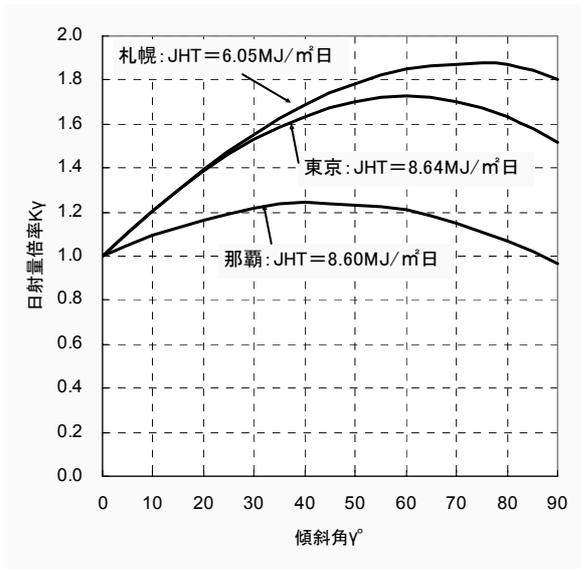


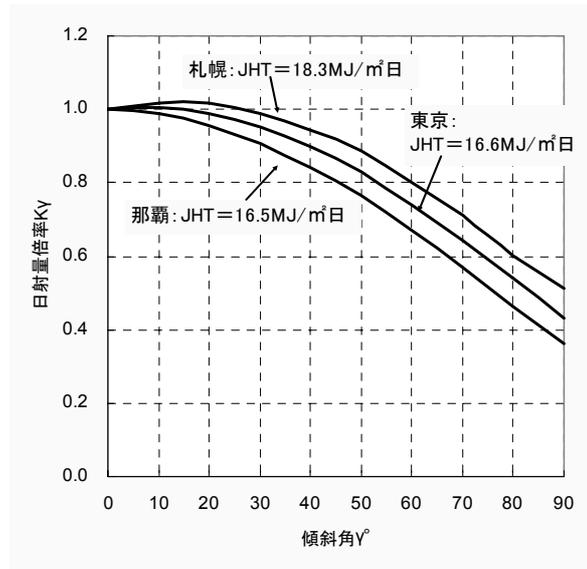
表 6.1.1 記号と単位

記号	項目	単位
JHT	水平面日射量	MJ/m ² ・日
JT'	傾斜面日射量	MJ/m ² ・日
JT	受熱面日射量	MJ/m ² ・日
$K\gamma$	傾斜角による日射量倍率	-
$K\alpha$	方位角による日射量倍率	-
ηD	集熱器ガラスの汚れ係数	-
t_s	給水温度	°C
t_{st}	蓄熱槽の集熱開始時水温	°C
t_{end}	蓄熱槽の集熱終了時水温	°C
t_{md}	平均集熱温度	°C
Δt_d	温度差	K
t_{aird}	日中平均外気温度	°C
Q_{cd}'	日の単位面積当たり集熱量	MJ/m ² ・日
η_{cd}	全日集熱効率	-
Q_L	必要熱量	MJ/日
q_{L1}	給湯負荷	MJ/日
q_{L2}	暖房負荷	MJ/日
q_V	給湯量	L/日
t_{hw}	給湯温度	°C
σ	太陽依存率	-
A_c	集熱面積	m ²
η_L	熱損失率	-
Q_{cd}	一日の集熱量	MJ/日
Q_{Lt}	集熱時間内の総必要熱量	MJ/日
V	蓄熱槽容量	m ³
ρ_w	水の密度	t/m ³
C_w	水の比熱	MJ/t・K

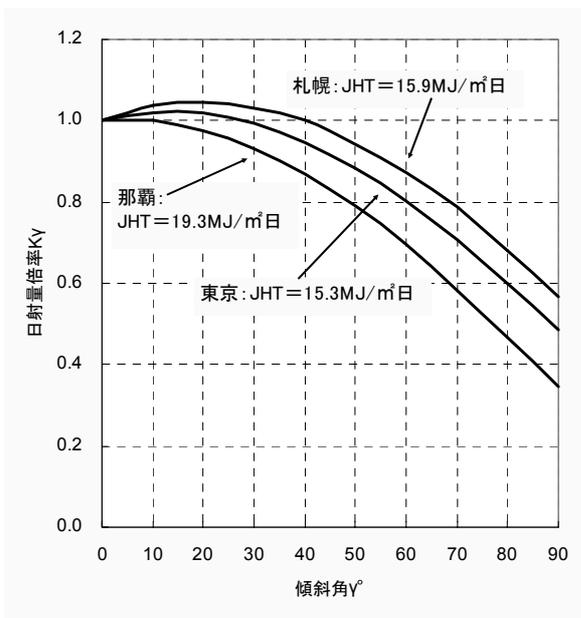
図 6.1.2 簡易計算フロー



(a) 1月



(b) 5月



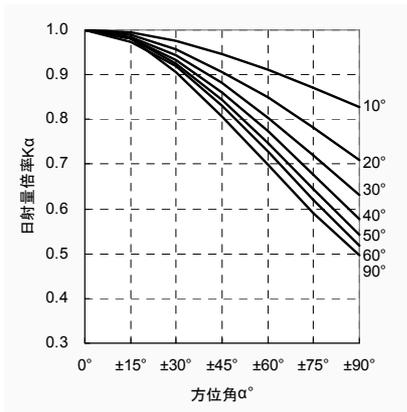
(c) 8月

JHT=水平面日射量 [MJ/m²日]、方位角 0°

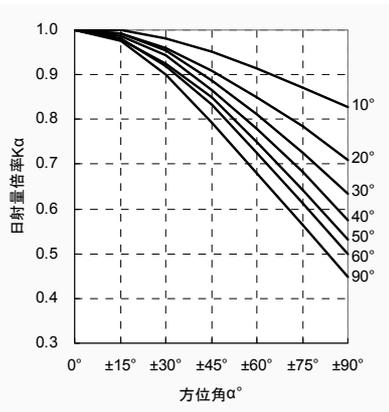
参考図 6.1.1 傾斜面の水平面に対する日射量倍率 $K\gamma$

出所)「ソーラーシステム標準気象データ及び給水温度 SSS-1001 (改)」(社)ソーラーシステム振興協会より作成

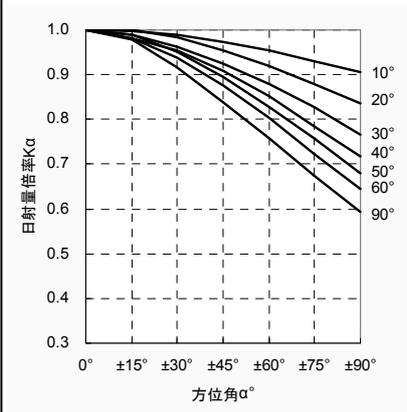
<1月>



(a) 札幌

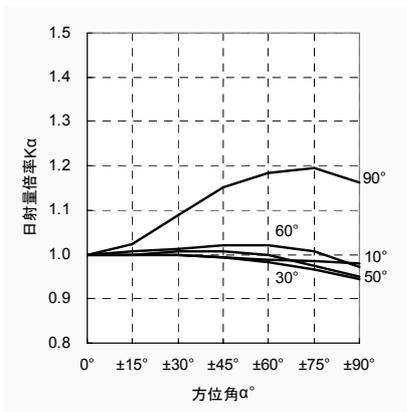


(b) 東京

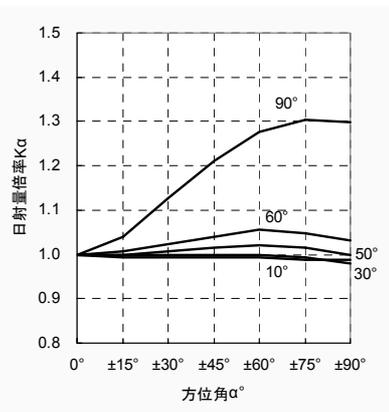


(c) 那覇

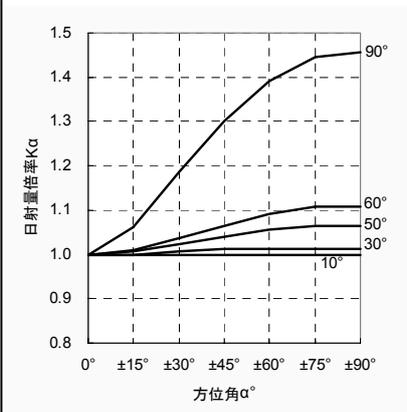
<5月>



(a) 札幌

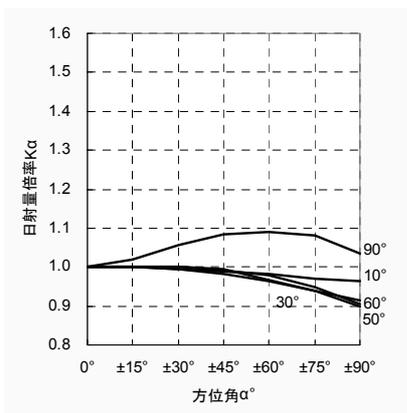


(b) 東京

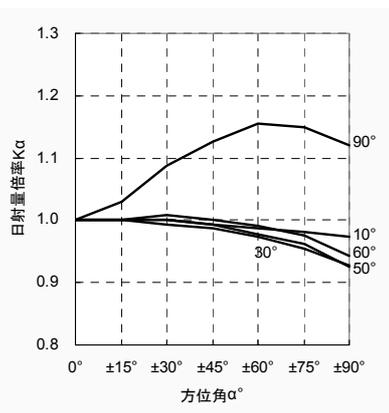


(c) 那覇

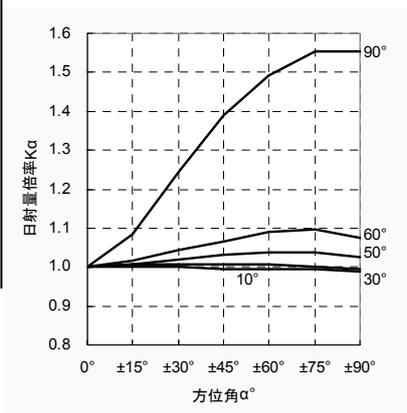
<8月>



(a) 札幌



(b) 東京



(c) 那覇

参考図 6.1.2 傾斜角別の方位角に対する日射量倍率 $K\alpha$

出所)「ソーラーシステム標準気象データ及び給水温度 SSS-1001 (改)」(社)ソーラーシステム振興協会より作成

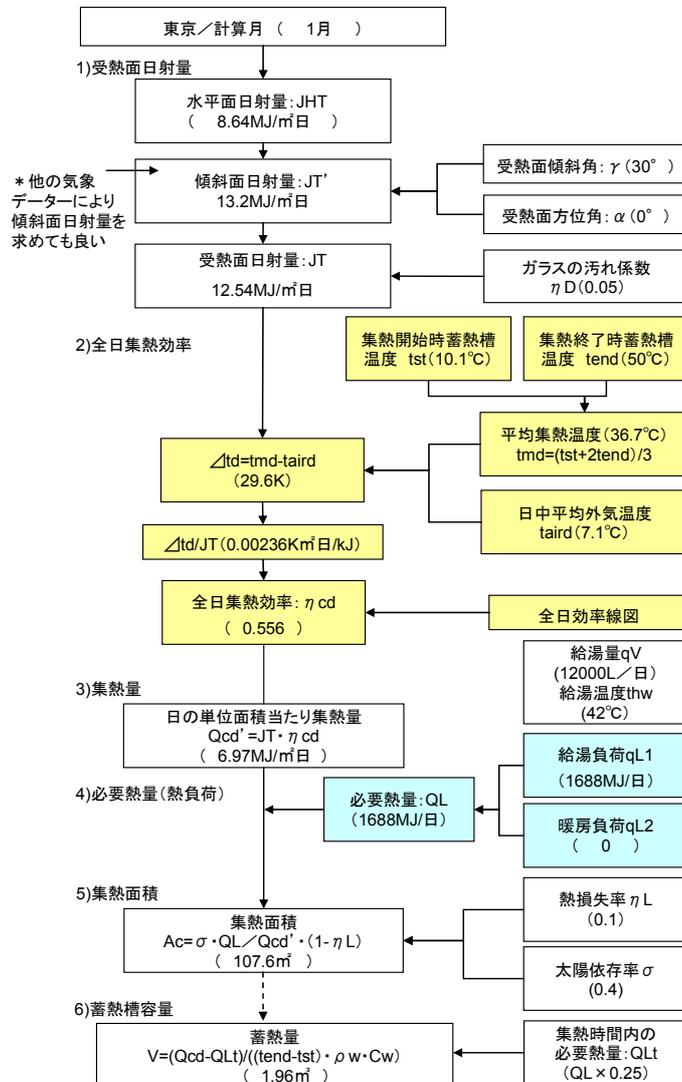
2) 建築用太陽熱利用給湯システムの簡易計算例

以下の条件で、太陽依存率 40%を得ること想定した簡易計算を行う。

表 6.1.2 設置条件の例

設置場所	東京（北緯 35 度）
方位角 α	0°（方位：南）
傾斜角 γ	30 度
集熱器ガラスの汚れ係数 ηD	5%（ガラスの汚れにより集熱量が 5%低下すると想定する）
蓄熱槽、配管などの熱損失率 ηL	10%（熱損失により集熱量が 10%低下すると想定する）
給湯負荷 QL （42°C換算）	12,000 L/日（冬季 1 月）

水平面日射量 JHT 、傾斜面日射量 JT' 、給水温度 t_s などは「ソーラーシステム標準気象データ及び給水温度」（ソーラーシステム振興協会編）を用いた（9.2 に抜粋）。簡易計算の手順で計算した結果を図 6.1.3 に示す。1 月の太陽依存率の目標を 40%として、表 6.1.1 の条件を仮定したとき、必要となる集熱面積は 107.6 m^2 となった。なお、このとき集熱開始時蓄熱槽温度 t_{st} は使われない熱量が若干残るとして（給水温度 \times 1.2）とした。必要熱量の内、日中負荷の割合は 25%として蓄熱槽容量を計算した。



注：（ ）内は計算条件または係数、【 】内は算出式による計算結果

図 6.1.3 計算結果

6.2 シミュレーションによる計算例

簡易計算の結果を参考に、Y社のシミュレーションプログラムを使って詳細計算を行う。

1) インプット条件

- ① 場所：東京（気象データ：METPV2）
- ② 用途：ホテル（給湯システム）
- ③ 給湯量：12000L/日(42℃)
- ④ 集熱器 Y社 SC-V1020・・・55枚:集熱面積 110m²(有効集熱面積 105 m²)

その他、システムのインプット条件は表 6.2.1 に示す。

給湯負荷は給湯量 12000L/日、給湯温度 42℃、冬期の熱負荷は約 1700MJ/日となる。簡易計算で求めた蓄熱槽容量は 1.96m³（1月）であったが、中間期、夏期に翌日に熱量を持ち越すことを考慮して 3m³として試算した。集熱制御は差温サーモスタットを使用し 3℃：ON-0.5℃：OFF とした。

表 6.2.2 に計算で使った給水温度及び表 6.2.3 に給湯負荷パターンを示す。ホテル給湯負荷であるため 24 時間連続的に負荷がある。

表 6.2.1 太陽熱システムの設計条件と仕様

項目		値
集熱器 (50 枚)	方位角[°]	0.0
	傾斜角[°]	30.0
	集熱面積[m ²]	95.5
	集熱器熱通過率[W/m ² ・°C]	3.84
集熱制御	サーモON温度差[°C]	3.0
	サーモOFF温度差[°C]	0.5
	集熱系配管流量[L/m ² ・h]	25
集熱配管	長さ[m]	250
	熱伝導率[W/m・°C]	0.0349
	内径[mm]	32
	保温厚[mm]	50
蓄熱槽	蓄熱槽_開始温度[°C]	6.5
	蓄熱槽 No1_容量[m ³]	3.000
	熱伝導率[W/m・°C]	0.0349
	保温厚[mm]	100
給湯配管	長さ[m]	50
	熱伝導率[W/m・°C]	0.0349
	内径[mm]	50
	保温厚[mm]	50

表 6.2.2 給水温度

月	給水 (°C)	給湯 (°C)
1月	8.4	42.0
2月	7.8	42.0
3月	10.4	42.0
4月	15.3	42.0
5月	20.4	42.0
6月	23.0	42.0
7月	26.2	42.0
8月	28.8	42.0
9月	26.4	42.0
10月	21.4	42.0
11月	16.2	42.0
12月	11.2	42.0

出所) 給水温度はソーラーシステム振興協会「ソーラーシステム標準気象データ及び給水温度」東京による。

表 6.2.3 給湯負荷パターン

時刻	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時
負荷 (%)	1.4	0.6	0.4	0.7	2.4	4.6	4.5	4.0	3.8	4.5	3.3	3.6
時刻	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	24時
負荷 (%)	4.1	3.8	4.0	4.2	4.7	5.4	7.5	8.6	9.0	7.7	5.0	2.4

出所) 給湯負荷パターンは日本建築学会編「ソーラー建築設計データブック」ホテルの給湯負荷による。

2) シミュレーション結果

ソーラーシミュレーションの主な計算結果を表 6.2.4 に示す。表で分かるように夏期の熱負荷は冬期の 1/2 ~ 1/3 となっている。太陽依存率は冬期（12月）35%、夏期（8月）79%の結果になった。

表 6.2.4 熱収支計算結果(東京)

項目	水平面全 天日射量	傾斜面全 天日射量	乾球 温度	集熱量	集熱 効率	給湯負荷	太陽熱 利用効 率	太陽熱利 用熱量	補助熱源 利用熱量	太陽 熱依 存率	蓄熱槽最 高到達温 度	集熱ポン プ稼動時 間
月	[MJ/m ² ・月]	[MJ/m ² ・月]	[°C]	[MJ/月]	[%]	[MJ/月]	[%]	[MJ/月]	[MJ/月]	[%]	[°C]	[h]
1	286	425	6.6	23,215	52.0%	51,986	48.6%	21,715	30,271	41.8%	67.2	211.8
2	309	405	5.3	21,304	50.1%	47,794	46.8%	19,922	27,871	41.7%	73.9	187.1
3	385	424	8.1	21,150	47.5%	48,892	44.1%	19,622	29,269	40.1%	86.1	207.4
4	430	437	15.0	21,269	46.3%	39,978	42.9%	19,702	20,276	49.3%	90.1	206.1
5	505	478	19.2	21,923	43.6%	33,420	40.6%	20,405	13,014	61.1%	92.1	224.2
6	418	389	23.7	17,355	42.5%	28,449	39.5%	16,156	12,292	56.8%	91.3	210.5
7	420	395	25.6	17,217	41.5%	24,446	37.6%	15,628	8,818	63.9%	91.0	226.6
8	468	460	27.1	18,045	37.4%	20,423	33.3%	16,078	4,345	78.7%	94.7	207.6
9	330	339	24.3	14,529	40.8%	23,358	38.5%	13,697	9,661	58.6%	92.6	167.3
10	303	349	17.9	16,602	45.2%	31,872	41.9%	15,368	16,505	48.2%	82.9	200.1
11	252	337	14.2	17,564	49.6%	38,630	46.4%	16,447	22,183	42.6%	75.0	182.9
12	229	333	9.0	17,762	50.8%	47,654	47.8%	16,701	30,953	35.0%	65.4	175.8
合計	4,336	4,772	16.3	227,934	45.5%	436,900	42.2%	211,442	225,458	48.4%	94.7	2,407.0

(1) 太陽熱利用熱量と太陽依存率

シミュレーション結果の月毎の太陽熱利用熱量、補助熱源利用熱量、太陽依存率を図 6.2.1 にまとめた。太陽熱利用熱量は冬期、夏期を通してそれほど大きな変化はなく年間を通じて利用ができることがわかる。給湯負荷に対して冬期の太陽依存率を低めに設定したため比較的高い集熱効率、太陽熱利用効率となっている。それでも、8月の集熱温度は高く、夏期の最高到達温度が 94°C となり集熱効率が悪い。冬期や夏期の太陽依存率は熱負荷の増減で大きく変化するがこの計算で年間の太陽依存率は約 48% であった。

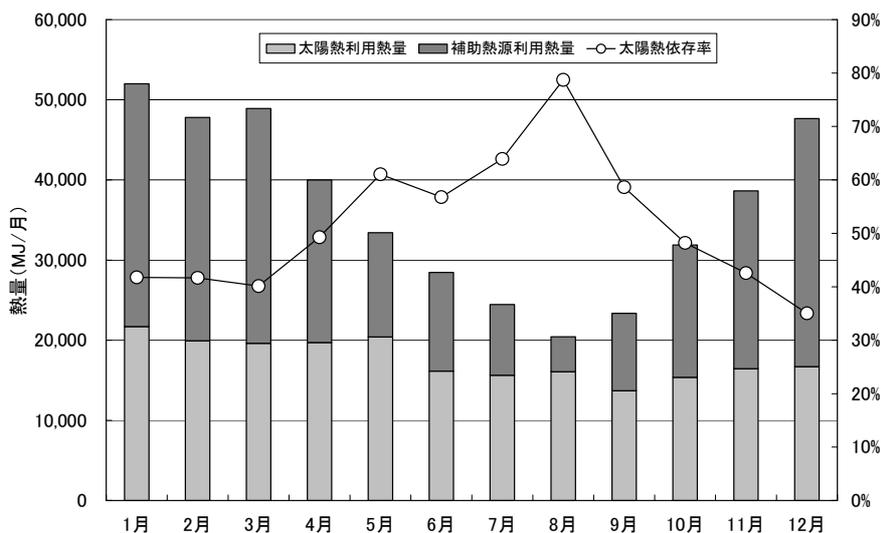


図 6.2.1 太陽熱利用熱量と太陽依存率

(2) 1月の晴天日の熱収支

1月の晴天日（1月6日）の計算結果を図 6.2.2 に示す。日射量は 17604KJ/m²・日、集熱量が 9895kJ/日、平均外気温度が 8.3°C、給湯負荷は 1~4 時は少ないが 24 時間負荷がある。

すべての時刻で24時間にわたって太陽熱は寄与しているが11~19時はまったく補助熱源を使わず時間毎の太陽依存率が100%となっている。この日、1日の太陽依存率は61%になる。

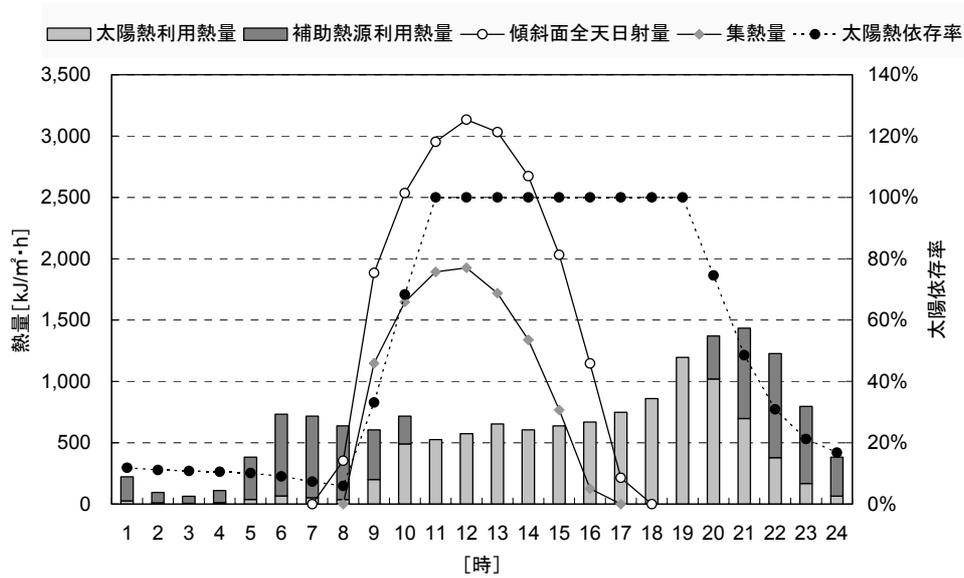


図 6.2.2 1月の晴天日の熱収支

(3) 各月の太陽依存率

1月、5月、8月の太陽依存率は41.8%、61.1%、78.7%になっている。各月の毎日の太陽依存率をプロットしたものを図6.2.3に示す。1月は低く、8月は高い値となる。特に8月は負荷が少ないため太陽依存率100%の日(太陽熱を使い切れない日)が月の半数近くある。負荷100%以上はその日に使うことが出来ないため、余分の熱量は次の日に持ち越されることになる。

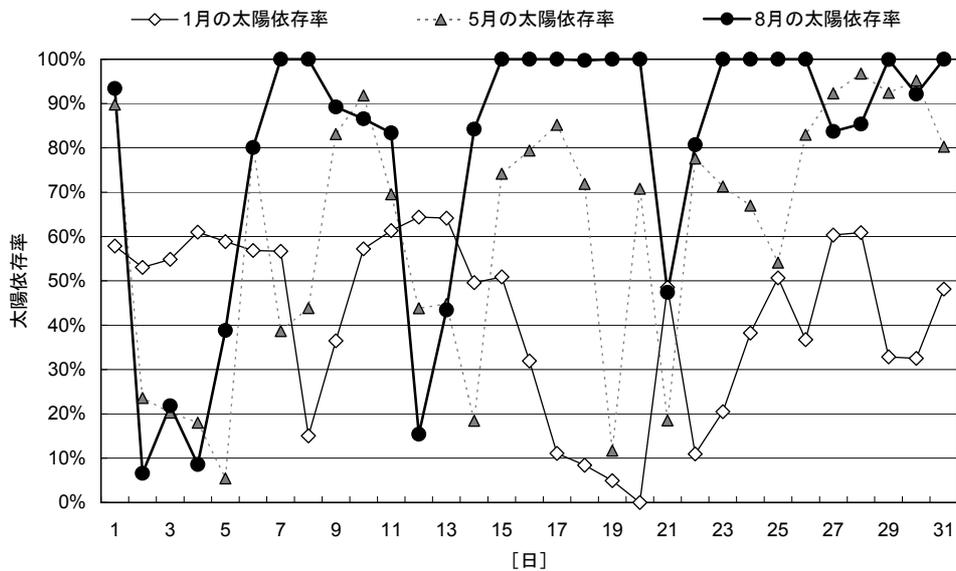


図 6.2.3 各月、日毎の太陽依存率