

「再生可能エネルギー熱利用技術開発/  
その他再生可能エネルギー熱利用トータルシステム  
の高効率化・規格化/  
太陽熱集熱システム最適化手法の研究開発」

城出浩作(ソ振協)

(一社)ソーラーシステム振興協会  
名城大学

(国研)建築研究所  
2019年10月17日

問い合わせ先  
(一社)ソーラーシステム振興協会  
E-mail : shirode@ssda.or.jp  
TEL : 03-5203-9111

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2016年 1月

終了 : 2019年 2月

## 2. 最終目標

太陽熱利用システムの性能及び省エネ性能を適正に判断するためのシミュレーションツールの開発を完了

①実証試験データを用いて、詳細シミュレーションの精度検証を実施し、詳細シミュレーションツールの開発完了

②同上ツールを応用し、導入検討者や設計者等が利用可能な設計ツールの開発完了

【ツール内容】 導入検討機器の性能データ、設置場所等の情報 ⇒省エネ効果等を判断

③簡易シミュレーションツールの開発完了

同上ツールを使用することで、省エネ性を適正に判断し、設備容量を適正化し

イニシャルコスト20%削減(従来の設備容量設計手法比)

## 3.成果・進捗概要

- 給湯3システムの実証試験結果を基に詳細シミュレーションツールの精度検証を行い適正なモデル構築を完了した
- 同上ツールを応用し、導入検討者や設計者等が利用可能な設計ツールの開発を完了した
- 給湯3システムの実証試験結果を基に簡易シミュレーションツールの開発を完了した

同上ツールにより設備容量を適正化し イニシャルコスト20%削減の目標値を上回ることを確認した

# 背景と目的

## 4. 背景

現在、住宅等の太陽熱利用の導入検討に当たって、省エネ法で適用される簡易評価手法としての判定プログラムがあり、各方面で利用されており今後も利用拡大が見込まれている。この判定プログラムでの太陽熱給湯の省エネ評価が必ずしも最適化されたものではなく、比較的過小に見積もられるプログラムになっていることから、必要な省エネ性能を得るために算出された太陽熱設備が大きめの規模となり、イニシャルコストが高くなる傾向がある。

また一方、導入設計時等に必要となる太陽熱の詳細評価手法として、使用実態に沿ったシミュレーションの手法が確立されていないため適切な設計がされているとは必ずしも言えない実状がある。

## 5. 目的

再生可能エネルギー熱利用をより効果的に活用するため、太陽熱利用分野において、省エネ性能判定プログラムの最適化を行うことにより、トータルシステムのコストダウンを図ると共に、産学協調して基盤的技術である最適化手法(詳細シミュレーション技術)開発によって評価方法を確立し、適切な設備選定ができるようにすることを目的とする。

# 事業スケジュール

項目	内容	機関	2015	2016	2017	2018
省エネ判定プログラムの最適化			JIS予備試験			
実証試験	3システム 日々取得	建研 ソ振協				
データ整理	ルールに従い整理 日別・期別にまとめ	建研 ソ振協				
分析・解析	パラメータ分析	建研 ソ振協				
算定式	検討・導出	同上 東大				
アルゴリズム構築	整合性・統合等	IBEC				
最適化手法(シミュレーション技術)開発						
技術開発	与条件抽出 基本構造設計 整合性・構築	名城大				
設計ツール	ツール構築	ソ振協				
委員会	事業進捗、情報交換等	ソ振協	●	● ●	● ●	● ●

# 事業実施体制

再委託

ソーラーシステム  
振興協会

技術評価委員会

技術検討WG

＜エコキュートソーラー＞

- ・実証試験実施
- ・パラメータの抽出・算定式導出

＜3システム＞

- ・設計ツール構築

建築研究所

＜太陽熱温水器・ソーラーシステム＞

- ・実証試験実施
- ・パラメータの抽出
- ・算定式導出

名城大学

＜3システム＞

- ・シミュレーション技術開発
- ・設計ツール構築

建築環境・省エネルギー機構  
(IBEC)

＜省エネ性能判定プログラム＞

- ・アルゴリズム構築

東京大学

＜エコキュートソーラー＞

- ・パラメータの抽出
- ・算定式導出

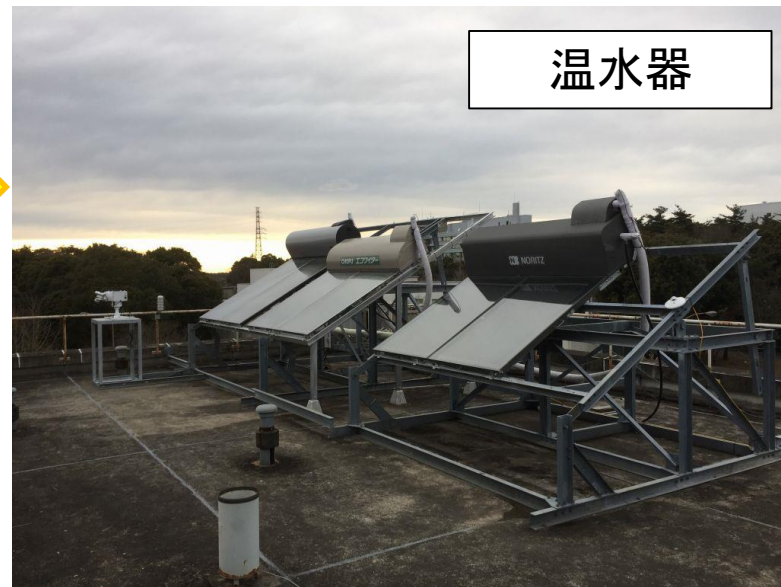
# 実証試験概要

茨城県つくば市(地域区分5)

建築研究所(集合住宅:太陽熱温水器 3機種)

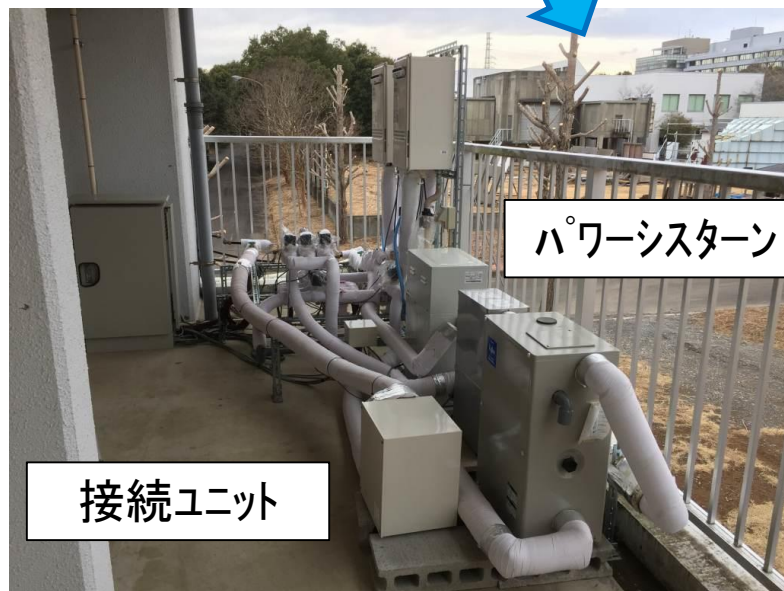


温水器



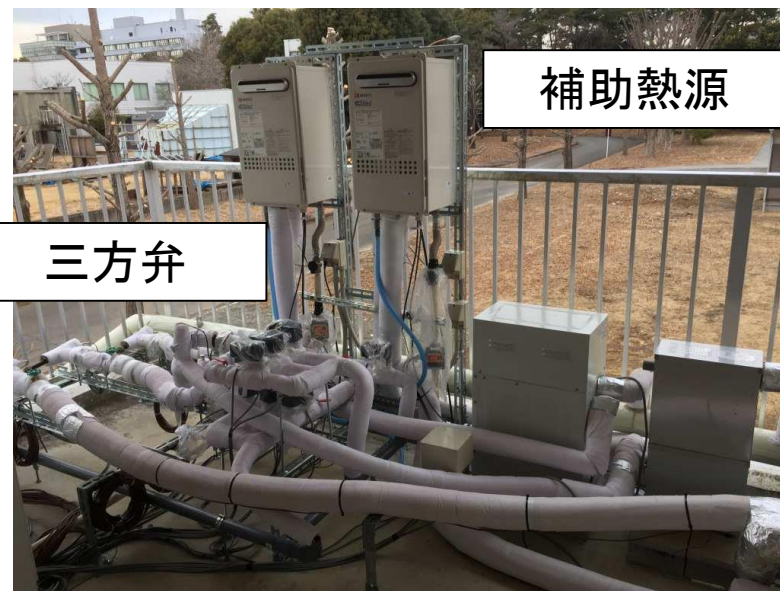
パワーシスターン

接続ユニット



三方弁

補助熱源









# ソーラーシステム振興協会(エコキュートソーラー 2機種: 建材試験センター)

埼玉県草加市(地域区分6)





# 各試験装置の概要

表1 太陽熱温水器 仕様

	SWH1	SWH2	SWH3
場所	茨城県つくば市		
集熱器タイプ	平板形		
集熱総面積(m <sup>2</sup> )	3.0	3.0	4.02
集熱器設置 方位／角度(°)	0/30	0/30	0/30
タンク区分	開放形		
貯湯タンク容量(L)	188	210	200

表2 ソーラーシステム 仕様

	SS1	SS2
場所	茨城県つくば市	
給湯方式	接続ユニット	1)接続ユニット 2)三方弁 3)給水予熱
集熱器形式	平板形	
集熱面積(m <sup>2</sup> )	6.03	8.36
設置角度方位角(°)/傾斜角(°)	0/24	0/53
貯湯量(ℓ)	300	370
集熱制御	差温制御 ON:7℃-OFF:4℃	差温制御 ON:7℃-OFF:3℃
集熱ポンプ消費電力(W)	65(DC)	110W(AC50Hz)

表3 エコキュートソーラー 仕様

項目		ES1	ES2
設置場所		埼玉県草加市(緯度35.8、経度139.8)	
集熱器形式		平板形	平板形
集熱面積(m <sup>2</sup> )		4.02	3.9
集熱器方位角(°)		0	0
集熱器傾斜角(°)		30	30
貯湯量1(ℓ)		420	200
貯湯量2(ℓ)			230
集熱制御		差温制御	熱媒戻り温度差温制御
集熱ポンプ消費電力(W)		24～73	50(13～100)
ヒートポンプ	出力(W)	4,500	4,500
	消費電力(W) (中間期／冬期)	1,025／1,500	990/1,500
天候予測機能		自動	手動
給湯使用量学習機能		有	有

# 直圧式太陽熱温水器(間接集熱式)

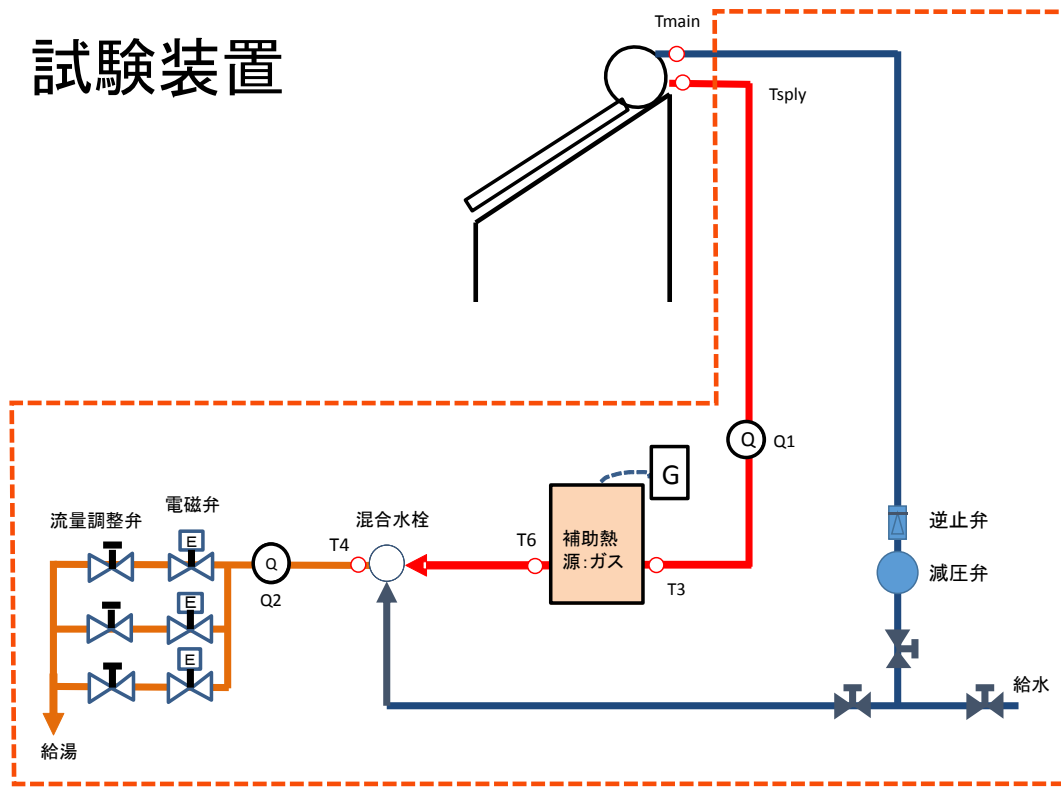
平成30(2018)年度よりSWH3を取り外し、直圧式太陽熱温水器SWH4を設置し、同様に実証試験を実施した。(2018年6月20日 ～ 2019年2月28日)



直圧式太陽熱温水器の設置状況(左側)

## 直圧式太陽熱温水器(SWH4)および給湯方式の概要

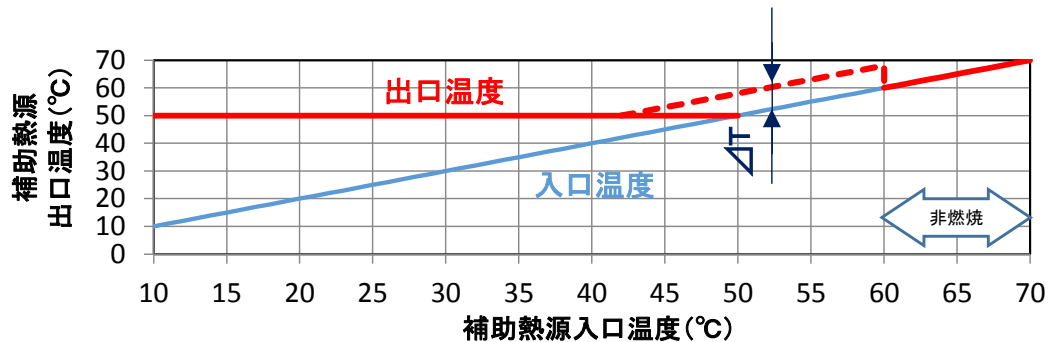
# 試験装置



## 機器仕様

	SWH4
場所	茨城県つくば市
集熱器タイプ	平板形
集熱総面積(m <sup>2</sup> )	3.5
集熱器設置 方位／角度(°)	0/30
タンク区分	密閉形
貯湯タンク容量(L)	174

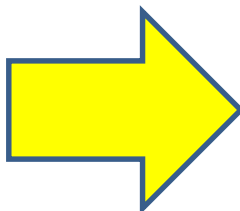
## 給水予熱方式



# 簡易算定式の検討方針

## 現行Webプログラム

- 集熱量(集熱効率一律)
- 放熱量(放熱係数一律)
- 分担率(一律もしくはほぼゼロ)



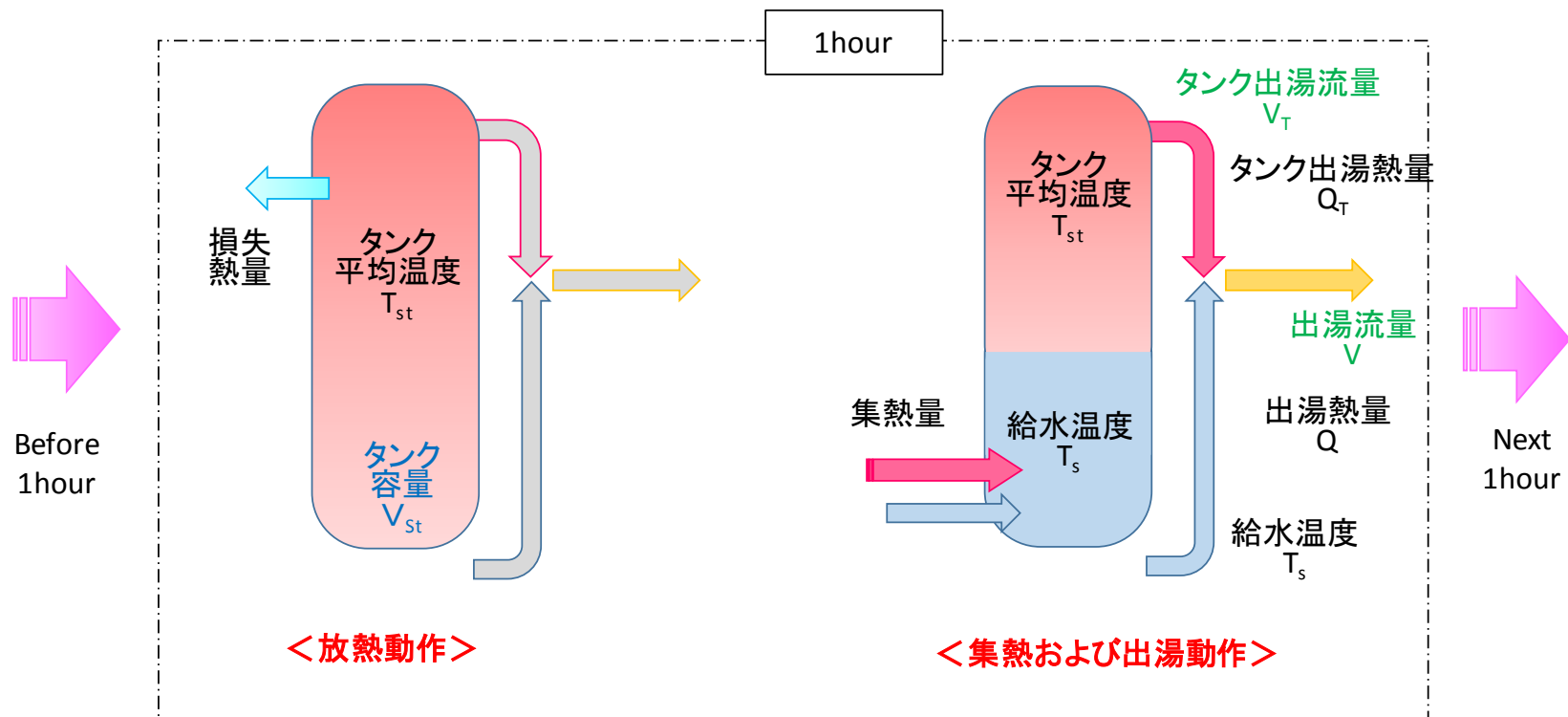
## 新たな計算方法(提案方式)

- $b_0$ ,  $b_1$ および外気温、水温による精緻な集熱量計算
- 給湯時の集熱への影響
- 放熱量算出の精緻化(集熱時、給湯時、給湯方式等)
- 集熱ポンプ消費電力算出の精緻化(ソーラーシステムのみ)
- 自然循環量の推定(温水器のみ)

- 自然循環の太陽熱温水器へ強制循環方式にて測定した瞬時集熱効率係数 $b_0$ ,  $b_1$ の導入
- 給湯計算 1日単位  $\Rightarrow$  1時間単位への対応
- 貯湯タンクのモデル化(1時間単位の集熱計算のため)



# 貯湯モデル(完全混合1層モデル)の概要



タンク損失  $Q_{Tloss}$

$$Q_{Tloss} = -KA(T_{st2}' - T_a)$$

集熱前タンク保有熱量  $Q_{st1}$

$$Q_{st1} = Q_{st2}' + Q_{Tloss}$$

集熱前タンク温度  $T_{st1}$

$$T_{st1} = T_k + Q_{st1} / (V_{st} \cdot Cp)$$

出湯後タンク保有熱量  $Q_{st2}$

$$Q_{st2} = Q_{st1} + Q_c' - Q_T$$

出湯後タンク温度  $T_{st2}$

$$T_{st2} = T_k + Q_{st2} / (V_{st} \cdot Cp)$$

$Q_{st2}'$  : 1hour前出湯後タンク保有熱量 [kJ]

KA : タンク損失係数 [W/K] (JISによる)

$T_k$  : 基準温度(=0) [°C]

# 集熱計算モデル

直接集熱方式 :  $E_c$ (集熱器熱交換効率)を用いて計算  
太陽熱温水器

間接集熱方式 :  $(KA) \times$ (熱交換器伝熱係数)を用いて計算  
ソーラーシステム、直圧式太陽熱温水器

SWH(太陽熱温水器)とSS(ソーラーシステム)の違いは集熱配管損失の有無がある

# 直接集熱方式

$$Q_c = m \cdot Cp \cdot E_c (T_e - T_{in}) \quad \dots \textcircled{1}$$

$$E_c = 1 - \exp \left( - \frac{A \cdot b_1}{m \cdot Cp} \right) \quad \dots \textcircled{2}$$

$$T_e = \frac{b_0}{b_1} I + T_a \quad \dots \textcircled{3}$$

$$T_{out} = T_e - (T_e - T_{in}) \exp \left( - \frac{A \cdot b_1}{m \cdot Cp} \right) \quad \dots \textcircled{2}'$$

集熱器入口温度 $T_{in}$ の算出

$$\text{SWH} : T_{in} = T_{st}$$

$$\text{SS} : T_{in} = \frac{m \cdot Cp \cdot T_{st} - KA_p \cdot L (T_{st} - T_a)}{m \cdot Cp}$$

$E_c$  : 集熱器熱交換効率 [-]

$T_e$  : 集熱器相当外気温度 [°C]

$T_a$  : 周囲空気温度 [°C]

$T_{in}$  : 集熱器入口温度 [°C]

$T_{out}$  : 集熱器出口温度 [°C]

$Q_c$  : 集熱量 [W]

$A$  : 集熱面積 [m<sup>2</sup>]

$Cp$  : 液体の比熱 [J/(kg·K)]

$m$  : 集熱器流量 [kg/s]

$I$  : 集熱面日射量 [w/m<sup>2</sup>]

$T_{st}$  : 貯湯タンク平均温度 [°C]

$KA_p$  : 集熱配管損失係数 [-]

$L$  : 集熱配管長さ(片道) [m]

## 間接集熱方式

以下の連立式より $T_m$ を直接求める

$$Q_c = \underbrace{(T_m - T_{st})KA_x}_{\text{タンク内熱交換量}} + \underbrace{2 \cdot KA_p \cdot L \cdot (T_m - T_a)}_{\text{行き・戻り配管の損失}} \quad \dots \quad \textcircled{4}$$

$$Q_c = A \cdot I \cdot \eta = A \cdot I \cdot (b_0 - b_1(T_m - T_a) / I) \quad \dots \quad \textcircled{5}$$

ここで、 $Q_c$  : 集熱器集熱量     $KA_p$  : 集熱配管損失係数  
 $L$  : 集熱配管長さ(片道)     $T_a$  : 外気温

④式に⑤を代入し整理すると以下となる

$$T_m = \frac{A \cdot I \cdot b_0 + T_{st} \cdot KA_x + (2 \cdot KA_p \cdot L + A \cdot b_1)T_a}{KA_x + 2 \cdot KA_p \cdot L + A \cdot b_1}$$

SWH4では $L=0$ とし

$$T_m = \frac{A \cdot I \cdot b_0 + T_{st} \cdot KA_x + A \cdot b_1 T_a}{KA_x + A \cdot b_1}$$



# 配管損失の考え方

## 一例として接続ユニットの場合

- 接続ユニット出口で出湯温度が制御される。屋根上配管からの損失(配管損失1)分はタンク出湯流量を増やすことで補正されているので計算に反映
- 補助熱源手前までの損失(総配管損失)は温水器出口温度と給湯器入口温度の温度低下より算出

$P_{lossT}$  : 総配管損失 [%]

$P_{loss1}$  : 配管損失1 [%]

タンク出湯流量  $V_T$

$$T_{st} \geq 40^\circ\text{C}$$

$$V_T = V \frac{40 - T_s}{T_{st1}(1 - P_{loss1}) - T_s}$$

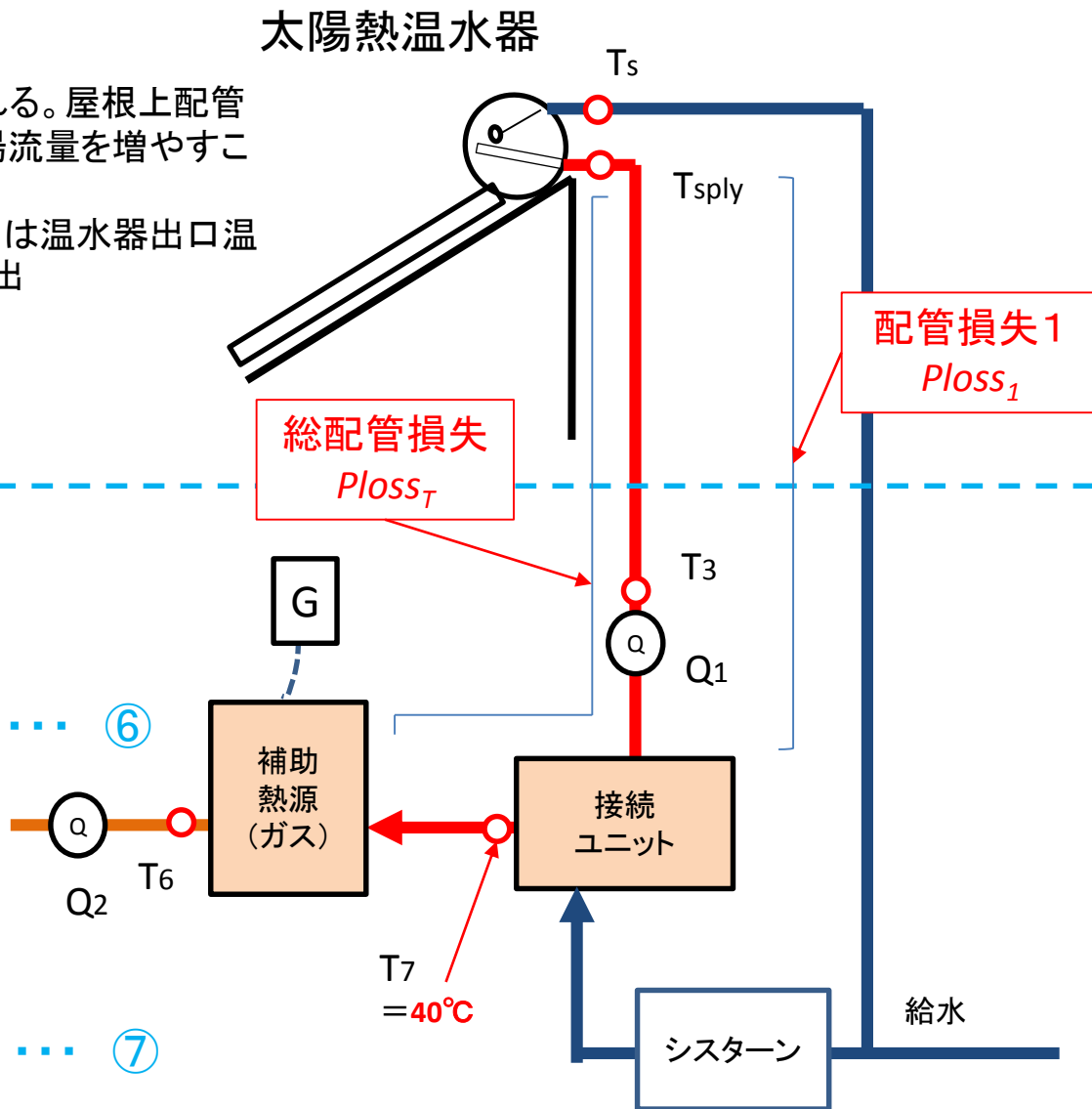
$T_{st1}$ : 集熱前タンク平均温度  $T_s$ : 給水温度

$V$ : 出湯流量

太陽熱利用量  $Q_s$

$$Q_s = Q_T(1 - P_{lossT})$$

$Q_T$ : タンク出湯熱量



# 給湯方式別出湯熱量計算

## ●出湯計算1

タンク平均温度  $T_{st} \geq 40^{\circ}\text{C}$  の時には  $40^{\circ}\text{C}$  に調整して出湯

タンク出湯量  $V_t$  は⑥式で算出

$T_{st} < 40^{\circ}\text{C}$  の時はそのまま補助熱源に引き渡され  $40^{\circ}\text{C}$  に加熱されて出湯 ( $V_t = V$   $V$ : 出湯流量)

タンク出湯熱量  $Q_t$  は

$$Q_t = (T_{st1} - T_s) V_t \cdot C_p$$

太陽熱利用量  $Q_s$  は⑦式にて計算

補助熱源利用熱量  $Q_g$  は ( $Q$ : 出湯熱量(給湯負荷))

$$Q_g = Q - Q_s \quad \text{ここで } Q = (40 - T_s) V \cdot C_p$$

**【適応給湯方式】** 接続ユニット、浴槽落とし込みのみ、専用混合栓(19時)、給水予熱(直圧式SWH)

## ●出湯計算2

タンク平均温度 $T_{st} \geq 40^{\circ}\text{C}$ の時には $40^{\circ}\text{C}$ に調整して出湯  
タンク出湯量 $V_t$ は⑥式で算出

(A)  $T_{st} < 40^{\circ}\text{C}$ の時は補助熱源に切り替え、 $V_t = 0$ とする

【適応給湯方式】三方弁(SWH用)、専用混合栓(20時以降)

(B)  $T_{st} < 40^{\circ}\text{C}$ の時はタンク出湯量 $V_t$ は

$$V_t = V \frac{32 - T_s}{T_{st1}(1 - P_{loss1}) - T_s}$$

$T_{st} < 32^{\circ}\text{C}$ の時はそのまま補助熱源に引き渡され $40^{\circ}\text{C}$ に  
加熱されて出湯( $V_t = V$ )

【適応給湯方式】三方弁2(SS用)

## ＜三方弁方式の精度問題＞

三方弁切替判断(40℃を境にクリティカルに変化)をタンク平均温度で実施すると実際には上部に高温のお湯が残っている場合があり、1hr単位の計算では誤差要因となる

これを避けるため、**集熱終了後に最初に出湯される際のタンク保有熱量を別に記憶しておき蓄熱損失による温度低下のみ計算することで上部に残る高温のお湯の温度を推定する方式とした**

三方弁切替で給湯器側に切り替える際の判断のみにこの温度を使用し、熱量計算は従来のままタンク平均温度を使用する

**【適応給湯方式】三方弁(SWH用)、専用混合栓(20時以降)、三方弁2(SS用)**



## ●出湯計算3

タンク平均温度 $T_{st} \geq 32^{\circ}\text{C}$ の時には $32^{\circ}\text{C}$ に調整して出湯

タンク出湯量 $V_t$ は⑥式で $40 \Rightarrow 32$ に置換して算出

$T_{st} < 32^{\circ}\text{C}$ の時は $V_t = V$ とする

温度に関わらず補助熱源に引き渡され $40^{\circ}\text{C}$ に加熱されて出湯

【適応給湯方式】給水予熱2(SS用)

## 太陽熱温水器の凍結時の利用制限

<現状計算ロジック> ... 機器の水抜きを想定

日付dを基準とした期間平均太陽熱外気温度が $5^{\circ}\text{C}$ 以上の場合に太陽熱温水器を使用できるとして計算(1日単位)

<変更案> ... 屋上からの給湯配管(無断熱)の凍結を想定

低温による温水器からの給湯配管の凍結の影響は実証試験のデータから

- ・凍結する外気温度:

朝(4:00~6:00)に1時間の平均温度が $-2^{\circ}\text{C}$ 以下に達した時

- ・凍結した配管が解凍する外気温度:

1時間の平均温度が $5.5^{\circ}\text{C}$ 以上になった時

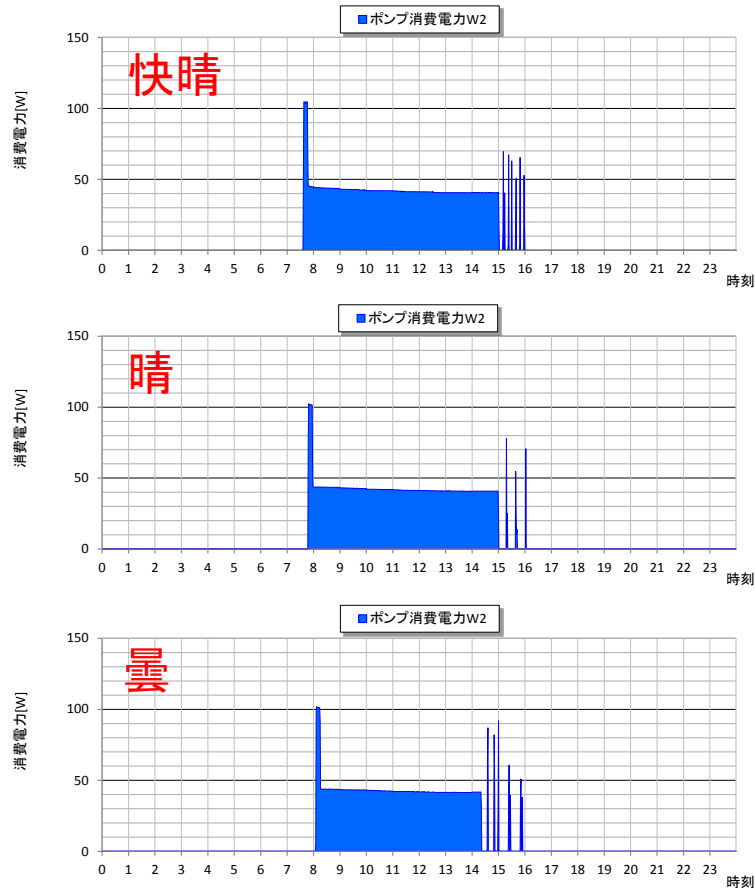
となる

即ち6時から外気温度が $5.5^{\circ}\text{C}$ 未満の時間帯は利用できない(1時間単位) ※集熱部は凍結に耐える構造となっている

# 循環ポンプ消費電力の算定

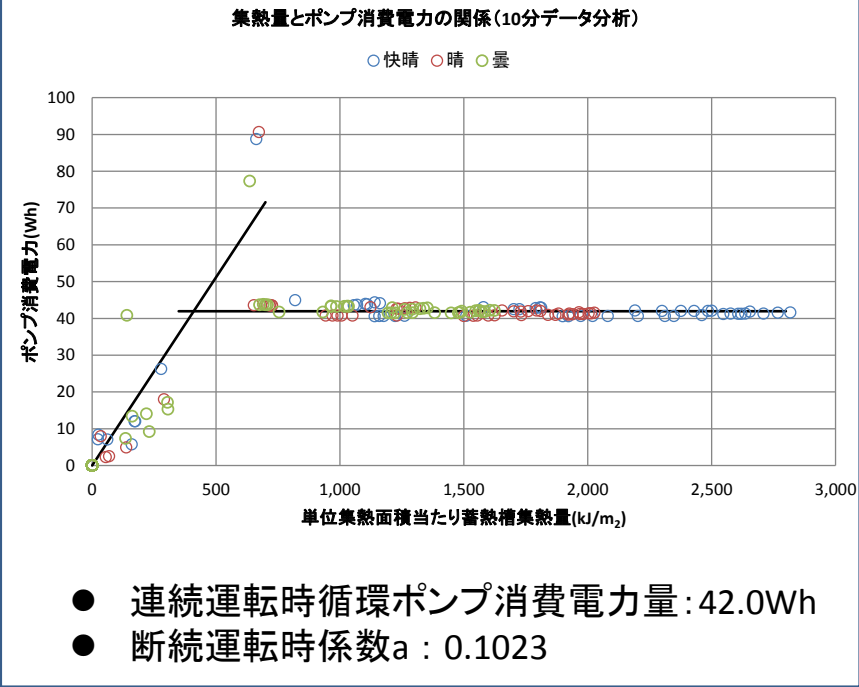
給湯モード: JIS S2075

日射量 : JIS A4112



人工太陽光による屋内試験結果

## 検討中のパラメータ算出案と計算例(一例)



### 計算例(1時間単位)

IF  $0.1023 \times \text{蓄熱槽集熱量} > 42.0$  then

ポンプ消費電力 = 42.0 Wh

Else

ポンプ消費電力 =  $0.1023 \times \text{蓄熱槽集熱量} (=250\text{kJ/m}^2)$   
= 25.6 Wh

End IF

※試験費用の高騰を抑えたい場合、連続運転時データのみ使うことを許容することも検討

## Webプログラム計算の取扱い方（全体）

1時間計算ロジックにより太陽熱補正負荷を毎時計算する（＝給湯負荷－太陽熱利用量）

- ・タンクへのインプット

蓄熱槽集熱量（または集熱器集熱量）

※新計算方式

- ・タンクからのアウトプット

タンク損失

給湯方式に従いタンク出湯熱量を計算

方式別に定めた配管放熱率を適応

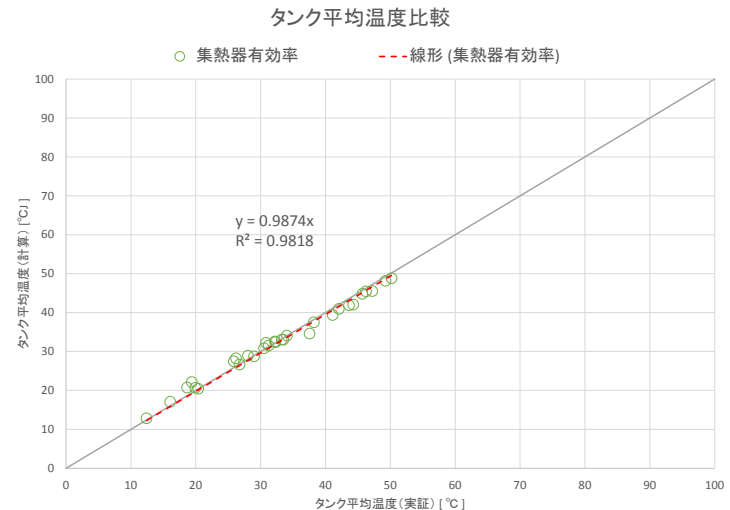
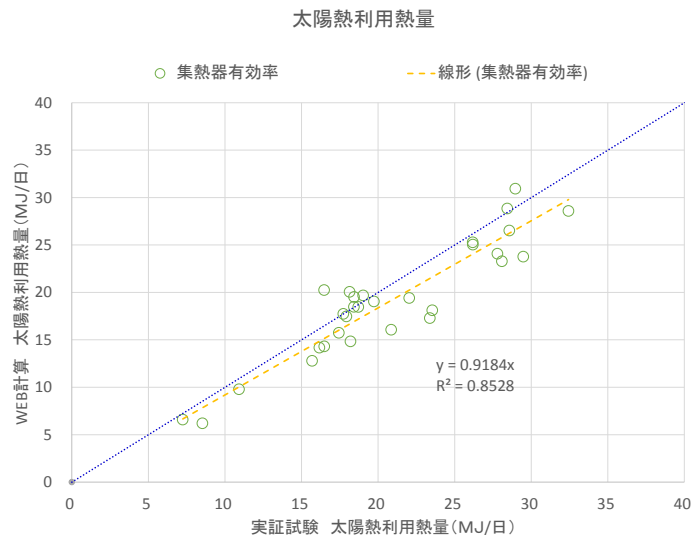
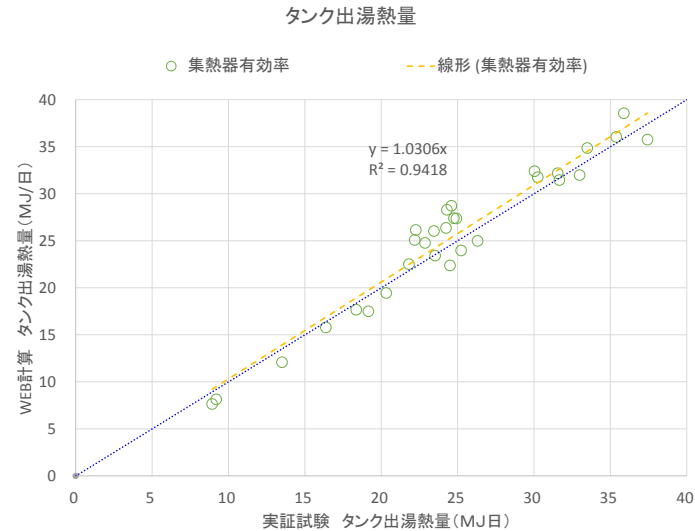
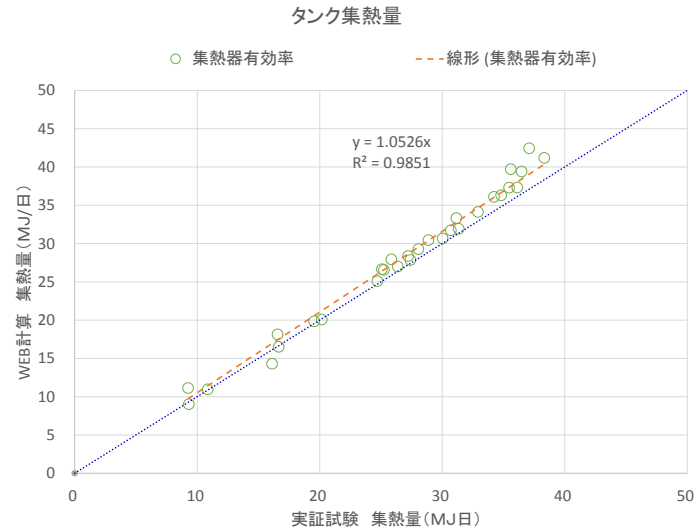
⇒太陽熱利用量算出



# Webプログラム計算結果と実証試験の比較（太陽熱温水器）

TRNSYSと実証データ(1日単位で整理)で比較を行った条件と合わせた。

比較結果の詳細の一例を示す。 **SWH2 接続ユニット方式**



# 太陽熱温水器 精度検証結果まとめ

種類	機種	給湯方式								
		落とし込み			三方弁			接続ユニット		
		タンク 集熱量	タンク 出湯熱量	太陽熱 利用量	タンク 集熱量	タンク 出湯熱量	太陽熱 利用量	タンク 集熱量	タンク 出湯熱量	太陽熱 利用量
1Day	SWH1	1.06	1.11	1.02	0.98	0.99	0.96	1.05	1.13	1.04
	SWH2	1.07	0.92	0.88	0.94	0.75	0.70	1.05	1.03	0.92
	SWH3	0.96	0.99	0.95	0.92	0.94	0.89	0.97	1.07	1.03
31Days	SWH1	1.00	1.02	0.98	1.03	1.05	0.97	1.05	1.17	1.23
		1.02	1.23	1.15	1.00	1.26	1.35	0.98	1.20	1.28
	SWH2	1.00	0.89	0.90	1.06	0.93	0.88	1.11	1.07	1.13
		0.99	0.98	0.98	1.01	0.94	1.06	1.03	1.00	0.96

中間期

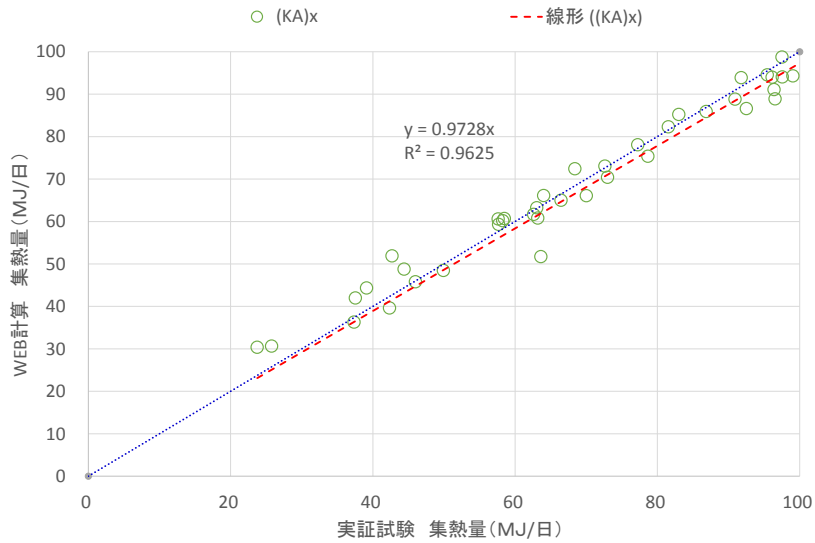
夏期

冬期

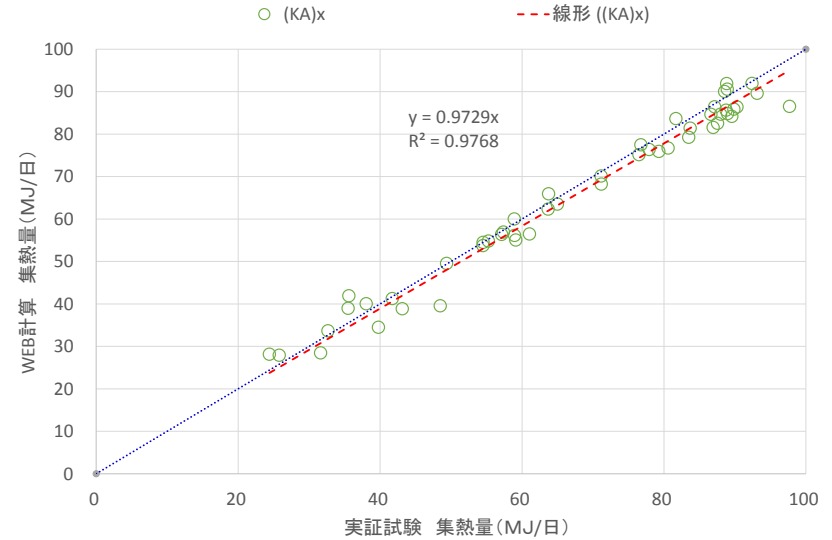
- 1Dayデータは中間期、夏期、冬期に渡って計算されているが各期別でデータ数に偏りがある。
- 31Daysは設備の不具合、点検等でデータ欠損等があるが期別で連続した日を計算している。なお季節が2期に跨る場合は日数の多い方を代表期とした。
- 給湯方式の三方弁方式は40℃で厳密に出湯する、できないを区別しており1時間単位でタンクモデルも単純なためバラツキが大きくなっている。それ以外の方式は各評価項目共に概ね±10%以内に収まっていることが確認できた。

# Webプログラム計算結果と実証試験の比較（ソーラーシステム）

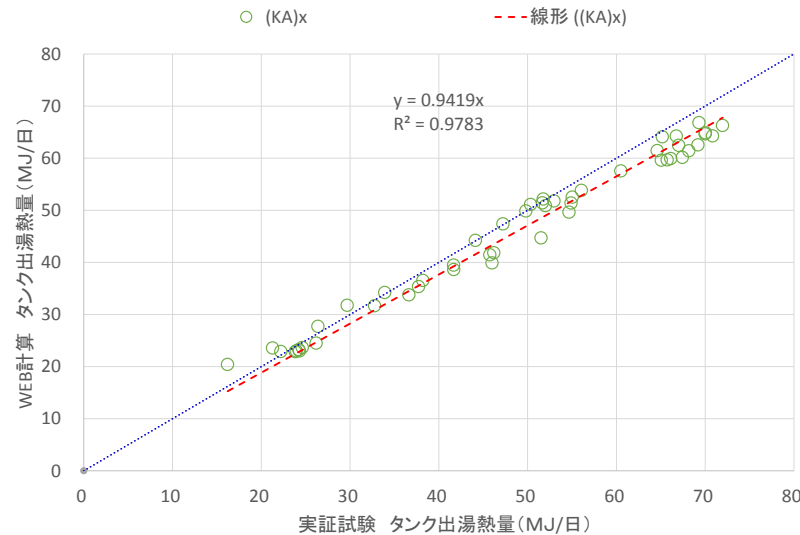
集熱器集熱量



蓄熱槽集熱量



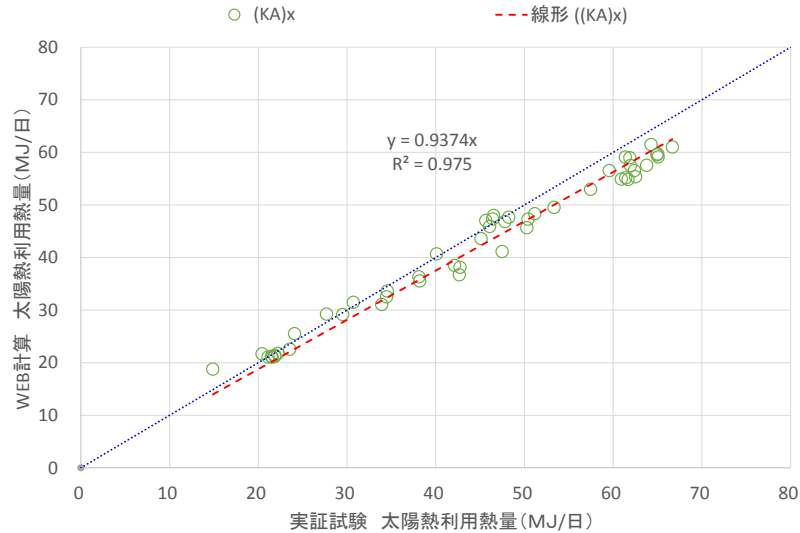
タンク出湯熱量



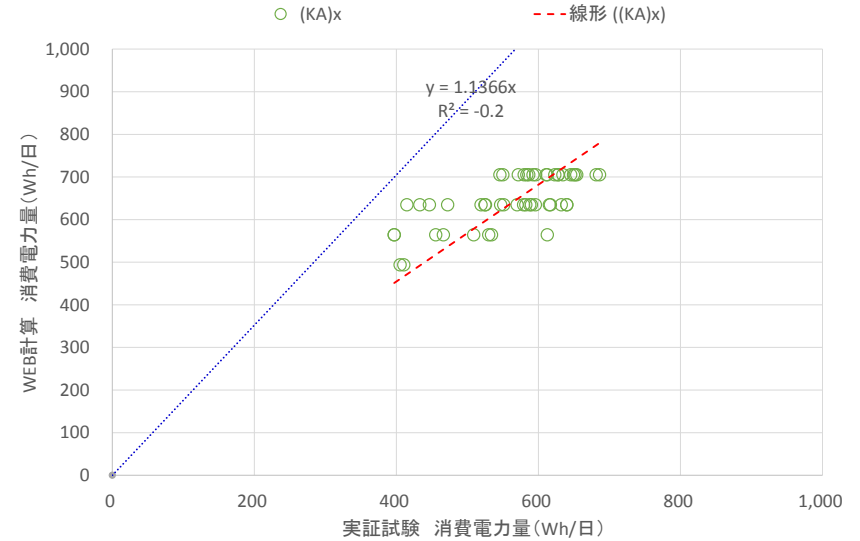
SS2 接続ユニット方式

# Webプログラム計算結果と実証試験の比較（ソーラーシステム）

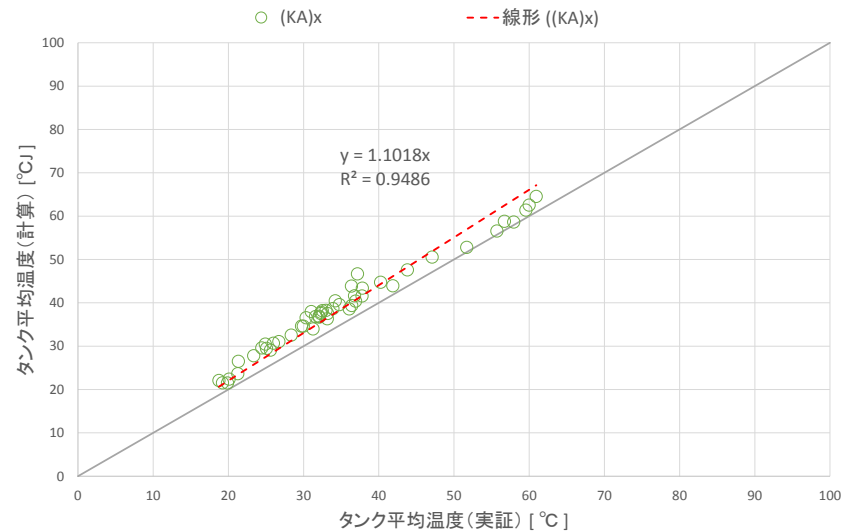
太陽熱利用熱量



循環ポンプ消費電力



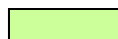
タンク平均温度比較



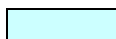
SS2 接続ユニット方式

# ソーラーシステム 精度検証結果まとめ

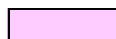
種類	機種	給湯方式														
		接続ユニット					三方弁					給水予熱				
		集熱器 集熱量	蓄熱槽 集熱量	タンク 出湯熱量	太陽熱 利用量	ポンプ 消費電力	集熱器 集熱量	蓄熱槽 集熱量	タンク 出湯熱量	太陽熱 利用量	ポンプ 消費電力	集熱器 集熱量	蓄熱槽 集熱量	タンク 出湯熱量	太陽熱 利用量	ポンプ 消費電力
1Day	SS1	1.11	1.07	0.99	0.97	1.15										
	SS2	0.97	0.97	0.94	0.94	1.14	0.91	0.87	0.97	0.88	1.13	0.93	0.89	0.94	0.96	1.10
31Days	SS1	0.96	0.85	0.93	0.95	1.09										
		1.02	0.92	0.93	0.93	1.18										
		1.15	1.12	1.01	0.99	1.30										
		1.17	1.16	1.07	1.06	1.26										
		1.30	1.34	1.29	1.28	1.34										
	SS2	0.89	0.86	0.97	0.96	1.15	0.88	0.88	1.00	0.97	1.11	0.85	0.86	1.06	1.08	1.04
		0.85	0.89	1.06	1.06	1.01										



中間期



夏期



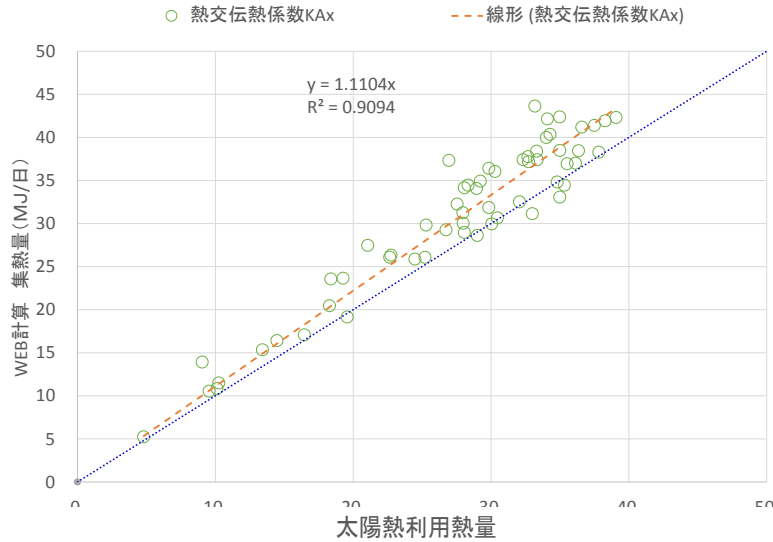
冬期

- 1Dayデータは中間期、夏期、冬期に渡って計算されているが各期別でデータ数に偏りがある。
- 31Daysは設備の不具合、点検等でデータ欠損等があるが期別で連続した日を計算している。なお季節が2期に跨る場合は日数の多い方を代表期とした。
- 給湯方式の三方弁方式は42℃以下で太陽熱のみで賄うことから給水予熱方式へ切り替える区別をしておき太陽熱温水器の様に設定温度以下は使用しないという極端な切替ではないのでバラツキは減る方向である。
- 循環ポンプの消費電力は単位集熱量辺りの消費電力で整理すると合う方向になることは確認済みであるが、今後開発する新製品では容易に取得できないデータとなる。(長期の実証試験を毎回実施するのは合理的ではないと判断した)

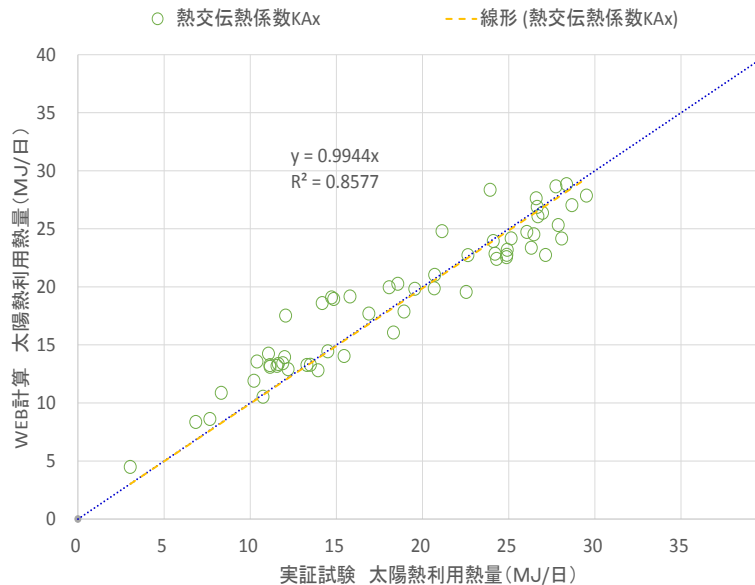
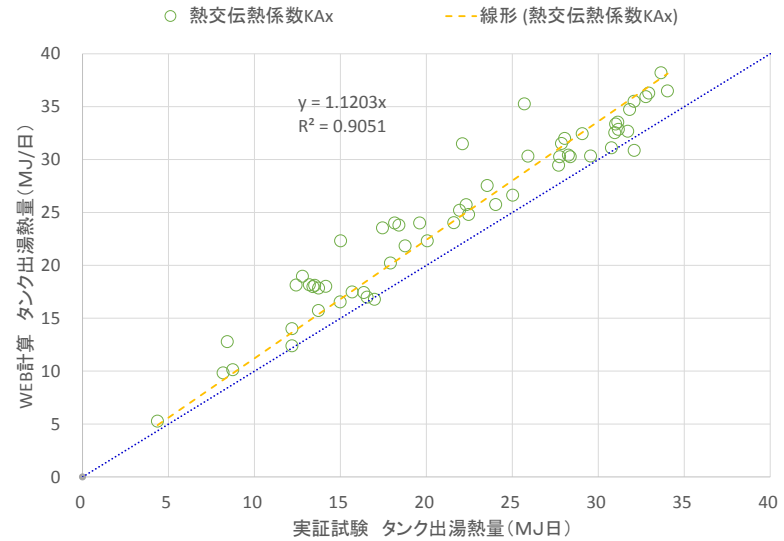
# Webプログラム計算結果と実証試験の比較（直圧式太陽熱温水器）

## SWH4 給水予熱方式

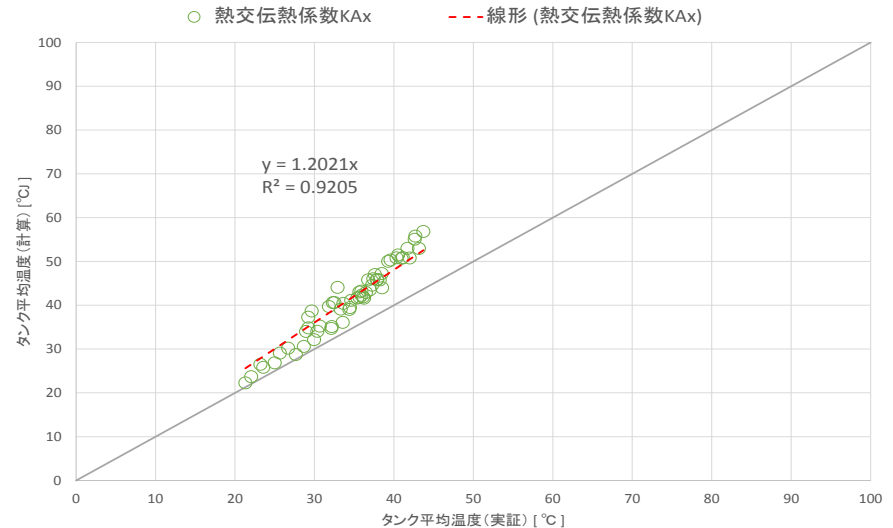
タンク集熱量



タンク出湯熱量




タンク平均温度比較






# 直圧式太陽熱温水器 精度検証結果まとめ

種類	機種	給湯方式		
		給水予熱		
		タンク 集熱量	タンク 出湯熱量	太陽熱 利用量
1Day	SWH4	1.11	1.12	0.99
31Days	SWH4	1.09	1.10	1.08
		1.01	1.11	1.11
		1.00	0.94	0.93
		1.04	0.91	0.87

 中間期

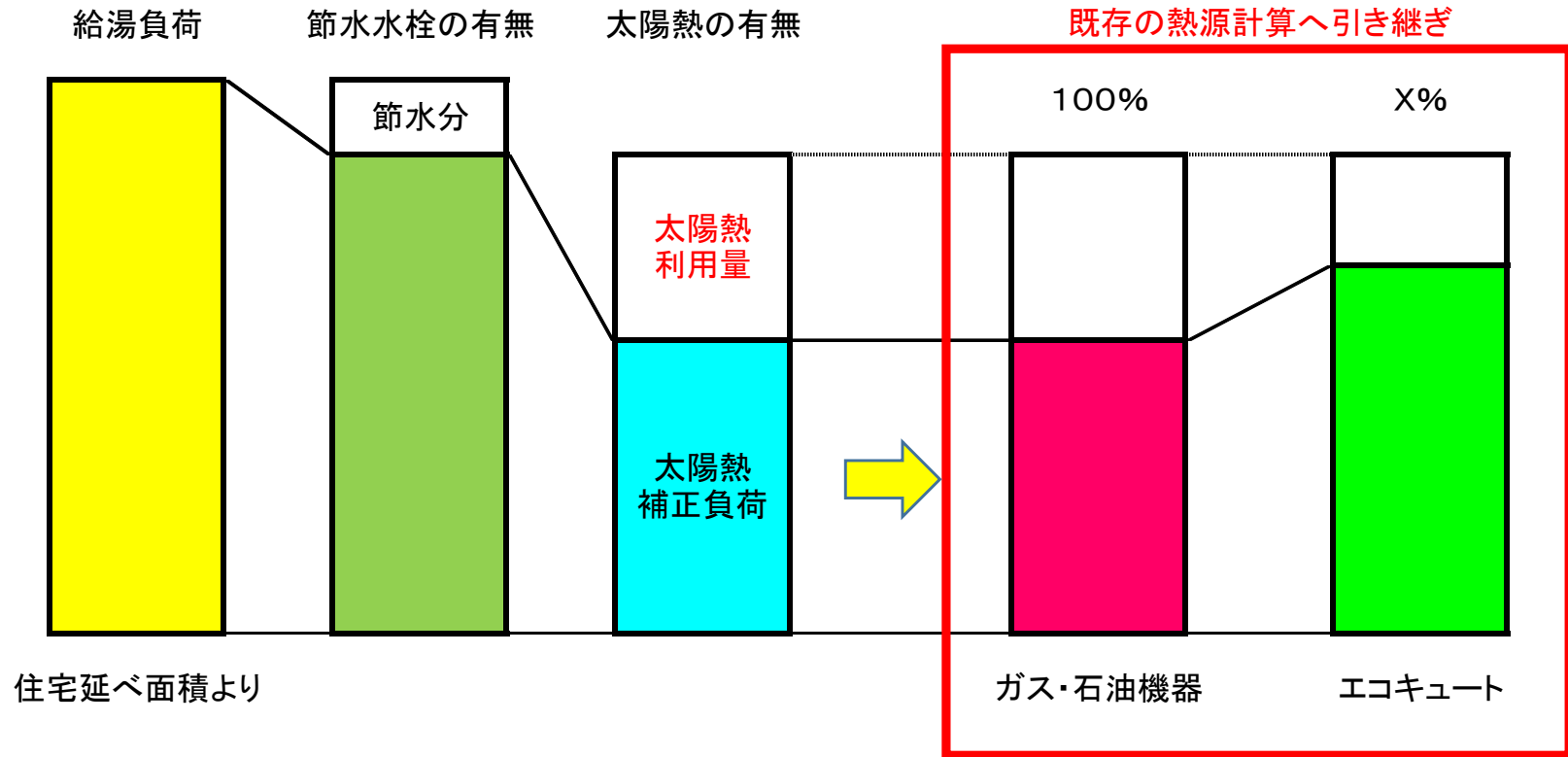
 夏期

 冬期

- 1Dayデータは中間期、夏期しかなく夏期が多めとなっている。
- 31Daysは設備の不具合、点検等でデータ欠損等があるが期別で連続した日を計算している。なお季節が2期に跨る場合は日数の多い方を代表期とした。
- タンク集熱量は概ねバラツキ少なく計算できているが夏期が多めとなる傾向がある。タンク出湯熱量は夏期・中間期に多め、冬期は少なめになる傾向がある。
- なお通年の評価にはTRNSYSでの年間計算結果との対比が有効と考える。

# エコキュートソーラーのWeb計算

## 現状のWEBプログラム（給湯）のアルゴリズム



太陽熱でタンクを沸き上げると温度成層が崩れ、中間的な温度が残りやすくなる。  
翌日のHPの沸き上げCOPへ影響がある

本来は熱源計算の中で再現させるべきだがエコキュートは学習もあり複雑な計算で、今回は引き渡し前に太陽熱利用量を予め少なく見積もることで対応する案

# エコキュート単独運転との対比（実験内容）

期別	モード	ES1	ES2
中間期 ・夏期	1st	エコキュート単独運転	ES運転(ヒータ加熱)
		2018/5/3 ~ 6/2	2018/4/1 ~ 5/1
		ES運転(ヒータ加熱)	エコキュート単独運転
		2018/6/5 ~ 7/5	2018/5/3 ~ 6/2
夏期	1st	ES運転(日射加熱)	ES運転(ヒータ加熱)
		2018/7/31 ~ 8/30	2018/7/31 ~ 8/30
夏期	1st	エコキュート単独運転	エコキュート単独運転
		2018/9/1 ~ 10/1	2018/9/1 ~ 10/1
中間期	1st	ES運転(ヒータ加熱)	ES運転(日射加熱)
		2018/10/5 ~ 11/4	2018/10/5 ~ 11/4
中間期 冬期	1st	ESふろ保温運転(日射加熱)	ESふろ保温運転(ヒータ加熱)
		2018/11/6 ~ 12/9	2018/11/6 ~ 12/9
		エコキュート単独ふろ保温運転	エコキュート単独ふろ保温運転
		2018/12/12 ~ 2019/1/11	2018/12/12 ~ 2019/1/11
冬期	2nd	ESふろ保温運転(日射加熱)	ESふろ保温運転(日射加熱)
		2019/1/26 ~ 2/25	2019/1/26 ~ 2/25

# エコキュート単独運転との対比（検証結果）

## 検証結果の一例(ES1)

期別	太陽熱+HP沸き上げ								HP沸き上げのみ										
	日付	集熱器集熱量	蓄熱槽集熱量	HP加熱量	蓄熱槽給湯熱量	蓄熱槽保有熱量	給湯負荷	運転時HP Unit吸込み温度	日付	集熱器集熱量	蓄熱槽集熱量	集熱配管損失	HP加熱量	蓄熱槽給湯熱量	蓄熱槽保有熱量	給湯負荷	給湯負荷の差	負荷の差で補正したHP加熱量	運転時HP Unit吸込み温度
		kJ	kJ	kJ	kJ	kJ	kJ	°C		kJ	kJ	kJ	kJ	kJ	kJ	kJ	kJ	°C	
		S1①	S2①	SH-P①	HW①	HST①	HW①	TH-P ①		S1②	S2②	PLS②	SH-P②	HW②	HST②	HW②		SH-P②'	TH-P ②
中間期・夏期	6/24	44,833	33,255	8,620	39,435	14,270	39,435	20.7	5/22	0	0	0	47,812	39,602	12,580	39,602	-167	47,645	18.5
	6/25	48,419	40,207	13,923	42,740	16,768	42,740	28.5	5/23	0	0	0	58,459	48,968	15,335	48,968	-6,228	52,231	18.7
	6/26	29,132	24,733	7,435	28,762	17,987	28,762	25.9	5/24	0	0	0	35,630	32,653	11,216	32,653	-3,890	31,740	17.5
	6/27	46,810	35,062	9,115	20,947	32,584	20,947	26.7	5/25	0	0	0	39,965	24,900	19,077	24,900	-3,952	36,013	20.4
	6/28	45,744	33,708	0	26,184	31,045	26,184		5/26	0	0	0	31,030	32,217	10,952	32,217	-6,034	24,996	20.4
	6/29	46,108	34,745	0	24,673	32,522	24,673		5/27	0	0	0	40,019	31,278	12,087	31,278	-6,605	33,414	18.1
	6/30	253	656	0	23,014	7,146	23,014		5/28	0	0	0	38,035	31,464	11,662	31,464	-8,450	29,584	19.6
	7/1	0	21,712	9,916	27,272	9,891	27,272	31.9	5/29	0	0	0	46,779	37,061	12,840	37,061	-9,789	36,990	21.7
	7/2	47,683	40,159	0	12,960	32,802	12,960		5/30	0	0	0	35,957	17,824	24,212	17,824	-4,863	31,093	22.0
	7/3	44,031	32,253	0	22,017	33,696	22,017		5/31	0	0	0	25,746	31,688	11,539	31,688	-9,671	16,075	18.8
	7/4	44,396	31,144	0	17,051	38,466	17,051		6/1	0	0	0	39,244	24,101	19,005	24,101	-7,050	32,194	18.6
	7/5	40,647	26,376	0	28,288	27,886	28,288		6/2	0	0	0	39,224	37,765	12,768	37,765	-9,477	29,747	20.3
	平均	36,505	29,501	4,084	26,112	24,589	26,112	26.7	平均				39,825	32,460	14,439	32,460	-6,348	33,477	19.5
	給湯負荷の差を補正した場合				補正なし														
	HP加熱量の差		太陽熱寄与率		HP加熱量の差		太陽熱寄与率												
	kJ				kJ														
	29,393		81%		35,741		98%												

## 検証結果のまとめ

給湯負荷の差を補正した場合					
ES1			ES2		
期別	HP沸き上げ量の差	太陽熱寄与率	期別	HP沸き上げ量の差	太陽熱寄与率
	kJ	—		kJ	—
中間期・夏期	29,393	81%	中間期	22,112	64%
夏期	26,960	75%	夏期	17,820	62%
夏期・中間期	14,255	75%	夏期・中間期	18,346	72%
中間期・冬期	10,541	63%	中間期・冬期	8,289	59%
2nd／1stの沸き上げ比率	0.97		2nd／1stの沸き上げ比率	1.10	

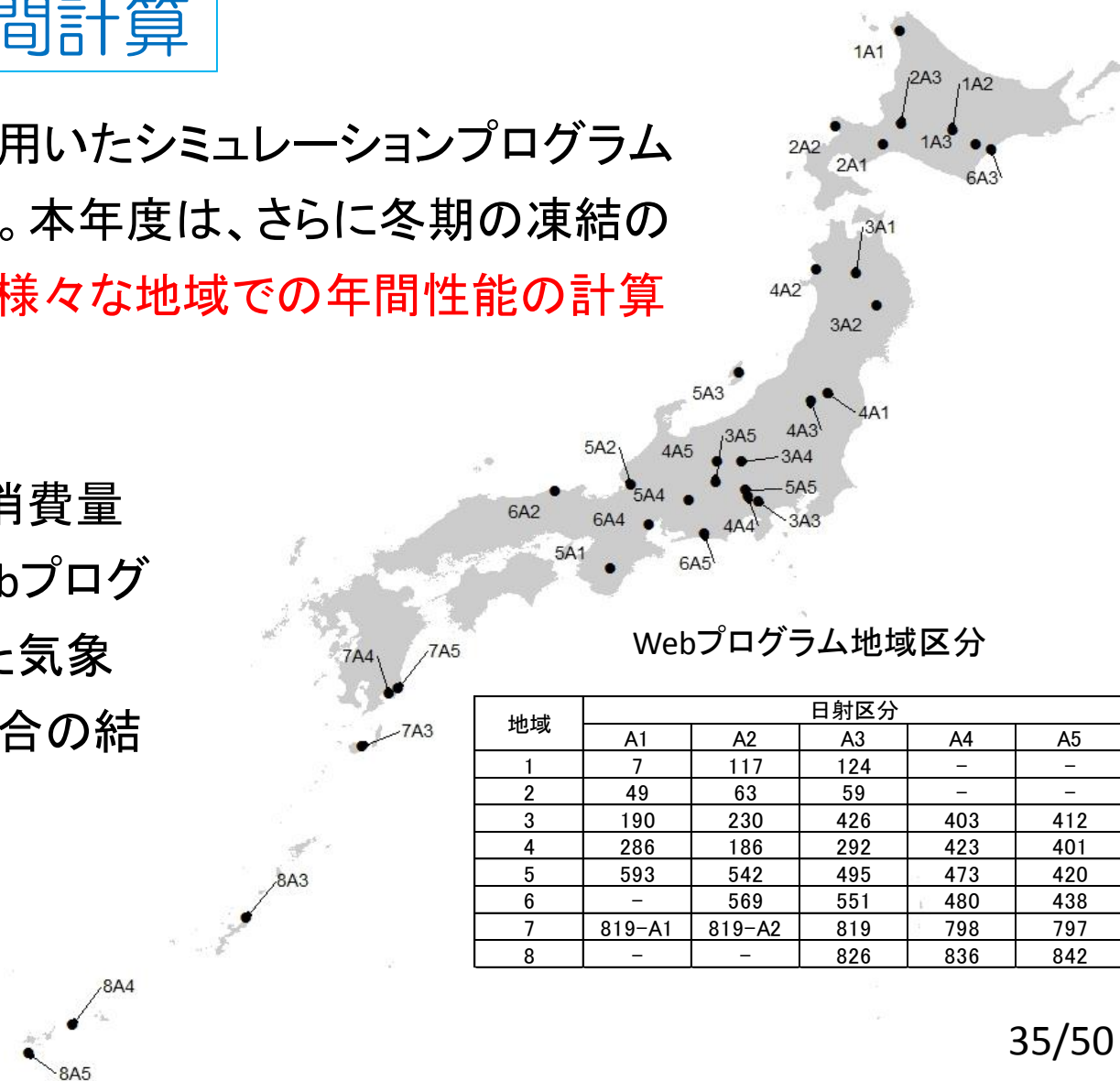
X%=60%  
が妥当と判断

# 詳細シミュレーション(名城大学)

## 太陽熱温水器の年間計算

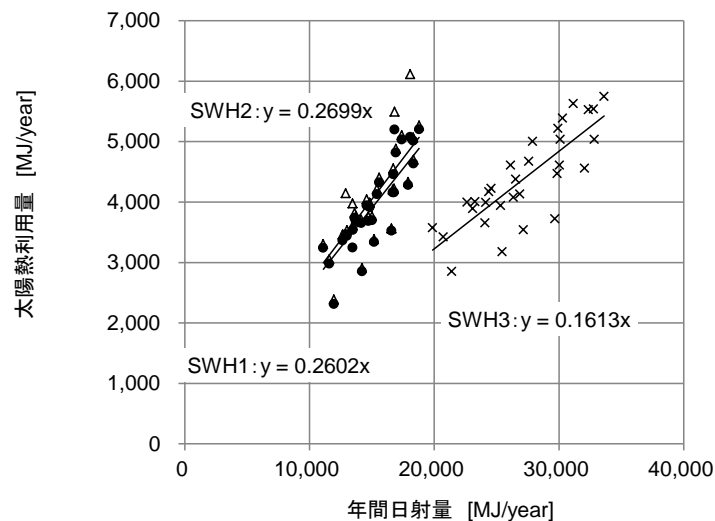
昨年度までに、TRNSYS18を用いたシミュレーションプログラムの構築と精度検証を行った。本年度は、さらに冬期の凍結の影響を加味し、**日本全国の様々な地域での年間性能の計算**を実施とした。

例として、一次エネルギー消費量  
計算用Webプログラム(Webプログラムと略す)の条件に準じた気象  
条件・負荷条件を用いた場合の結果を示す。

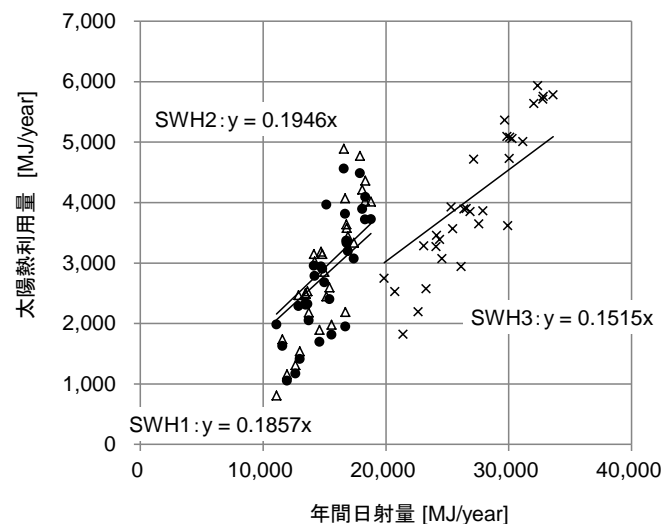


# SWH 給湯方式別の年間結果

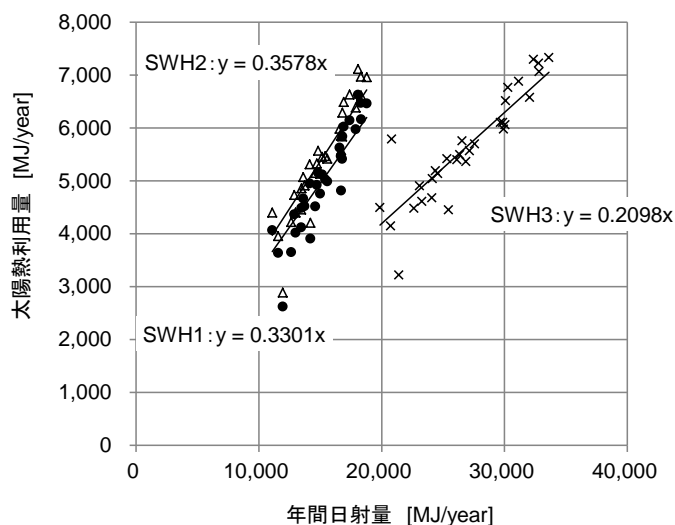
## 浴槽落とし込み(S1)



## 三方弁(S2)



## 接続ユニット(S3)



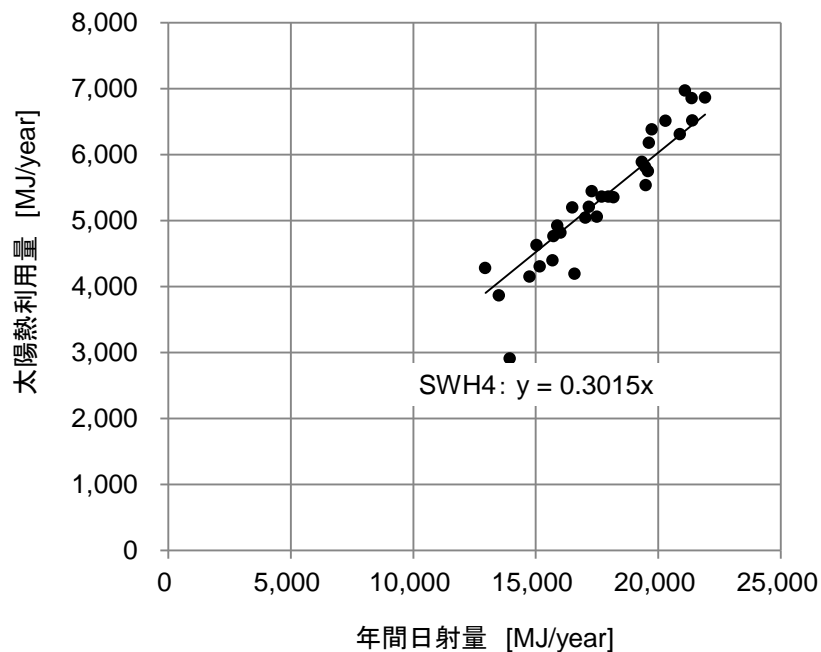
全地点の年間日射量と太陽熱利用量とはおよそ相関がある。また、近似直線の勾配が太陽熱の有効利用率に相当することから、

- ・ 接続ユニット方式が最も効率が高い。
- ・ SWH1とSWH2に比較し、SWH3の効率が低い。ことが分かった。



## 間接集熱式太陽熱温水器の年間結果

昨年度までに実証試験・モデル化・精度検証を行った直接集熱式のSWH1～3に加え、本年度は間接集熱式のSWH4も検討を行った。TRNSYSモデルでは、直接集熱式と同じ計算モデルを使用できるよう、パラメータ調整を加えることで挙動を再現した。

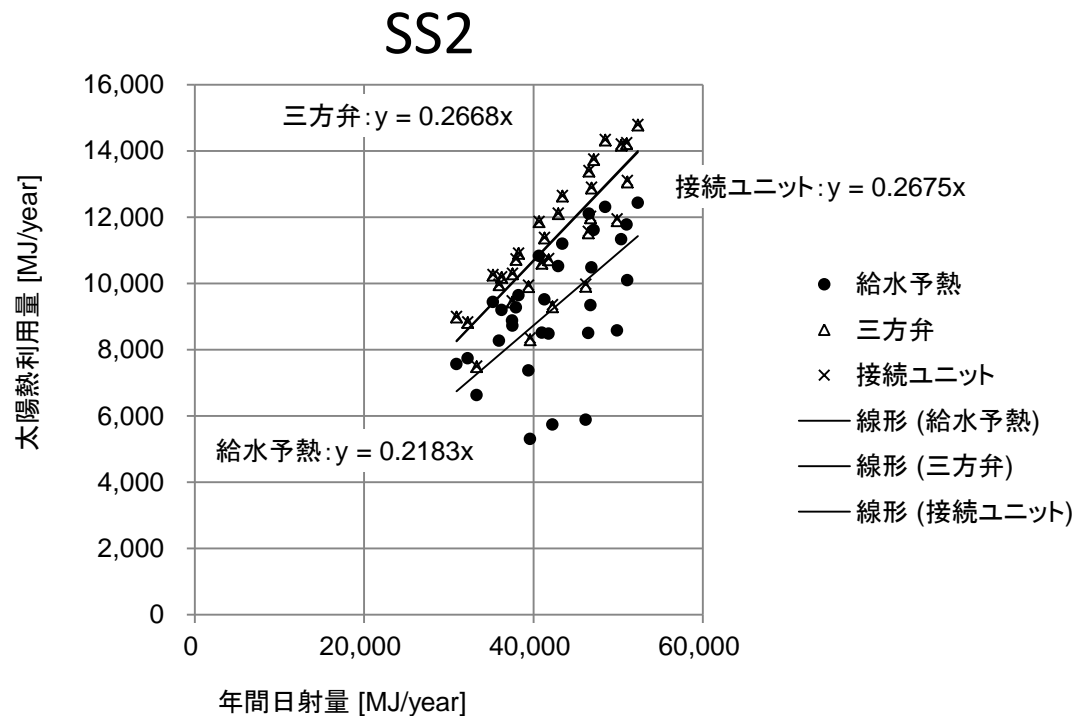
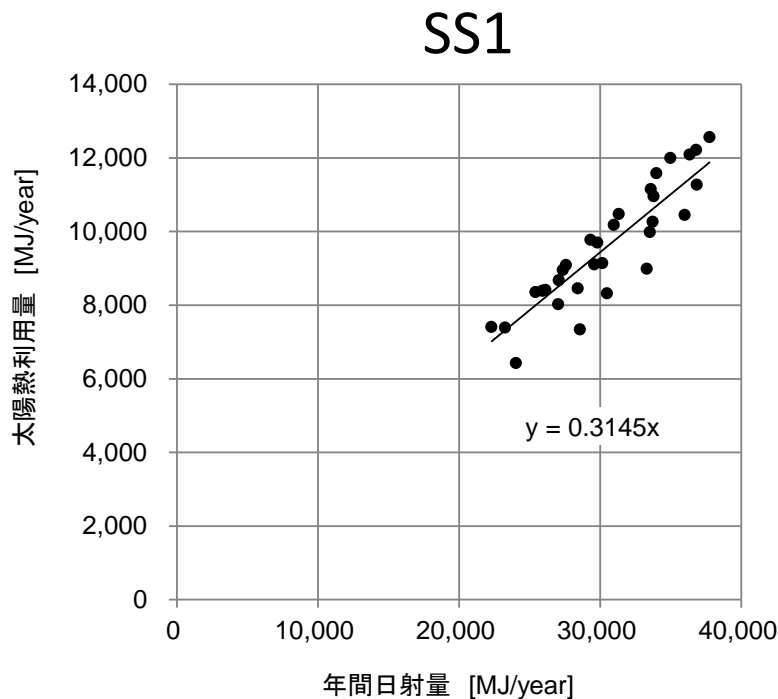


SWH4の太陽熱有効利用率は30%とSWH1とSWH2の接続ユニット方式に次いで高い。

間接集熱式はクロスコネクション問題を回避できるため、総合的なコストパフォーマンスが高く、有望な自然循環機器といえる。

# ソーラーシステムの年間計算結果

SWHと同様に、前年度までにプログラム構築・精度検証が完了したソーラーシステム2種の、日本全国での年間シミュレーションを実施した。例として、以下にWebプログラム地点での結果を示す。

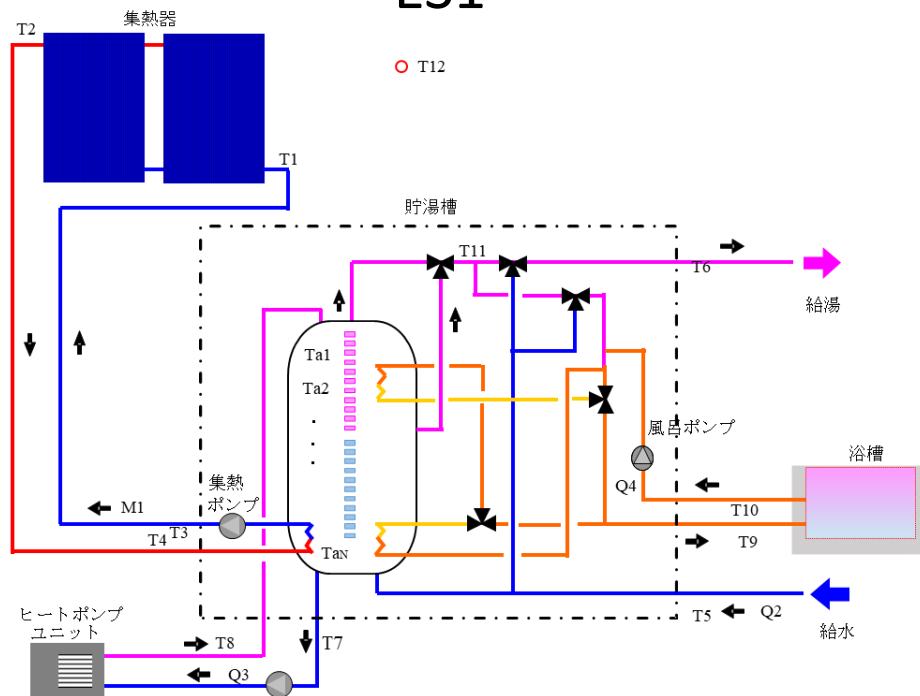


- ・給水予熱方式は効率が低い。
- ・SS1とSS2(接続ユニット・三方弁)では、太陽熱有効利用率が26～31%と高い。

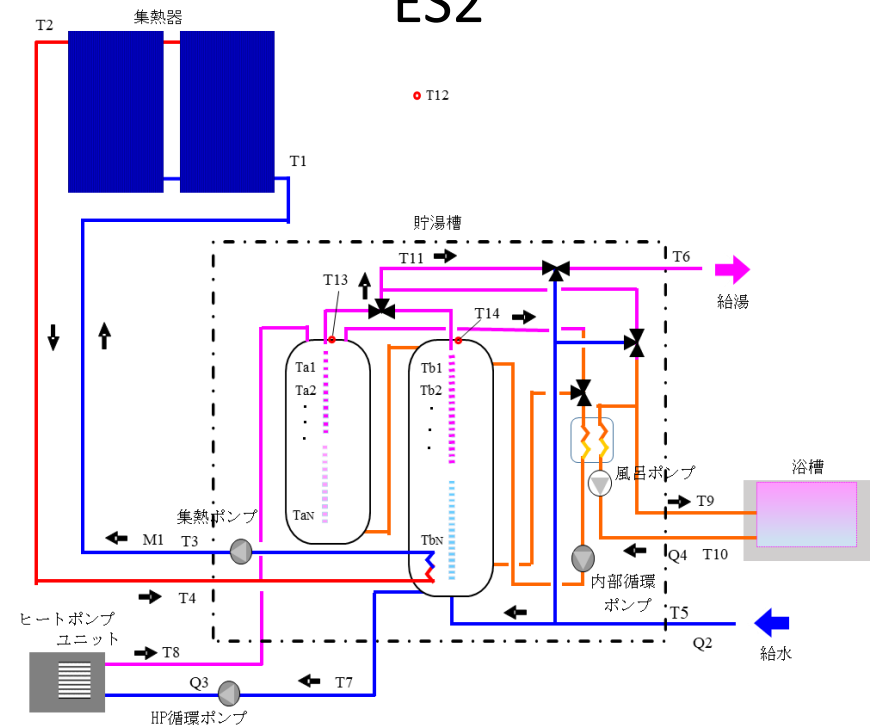
# エコキュートソーラーの計算モデル構築

CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプを補助熱源とするソーラーシステム（エコキュートソーラー；ESとする）のTRNSYSによる**計算プログラム構築・精度検証・年間性能の検討**を行った。ES1は一缶式、ES2は二缶式であり、熱源や給湯の制御条件も大きく異なることから、**それぞれ別のシステムとしてプログラム開発を行った**。

ES1



ES2

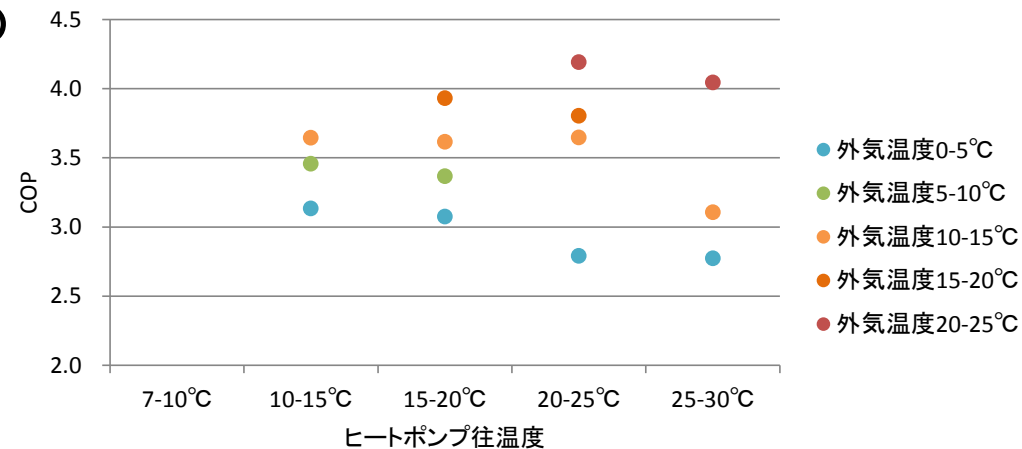


# ヒートポンプのCOP特性の把握

ヒートポンプのCOP特性は、稼働時の  
実証試験データの統計的分析より、

- ・ヒートポンプ入口温度
- ・外気温度
- ・沸上げ目標温度(出口温度)

の3つを独立変数として、**マッピング  
モデルを作成し、TRNSYSに組み込んだ。**



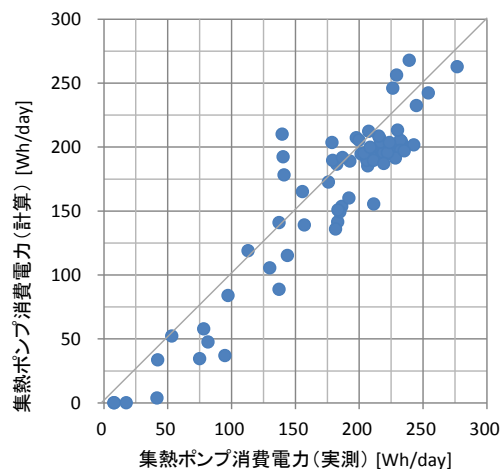
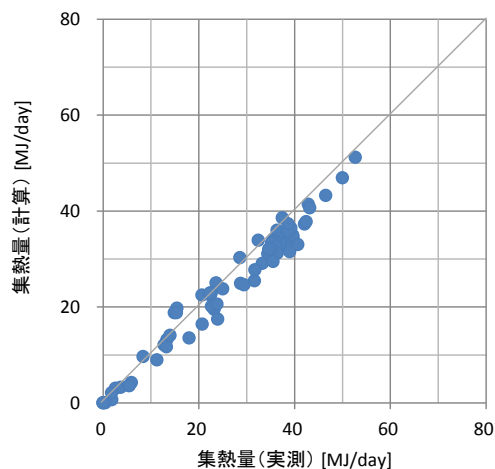
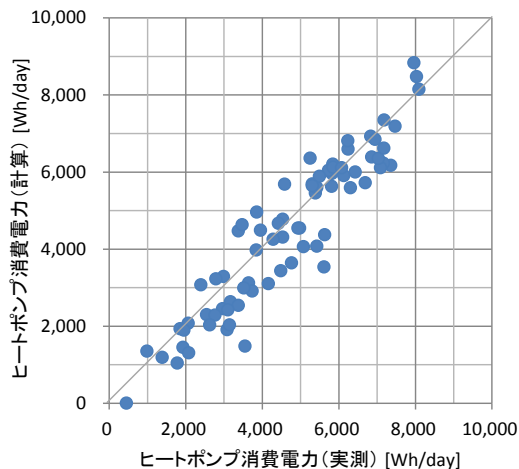
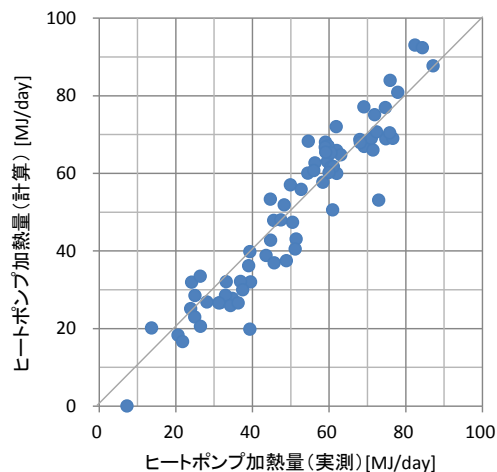
ES1のヒートポンプCOP特性の一例

## 学習機能・夜間沸き上げ運転の制御

2017年4月～2018年11月までの実証試験データから、学習機能の分析が可能な日として、ES1では75日分、ES2では59日分を抽出した。これらデータと、メーカより得た学習機能の基本ルーチンから、**夜間沸き上げ量及び沸き上げ温度の挙動等を数値モデル化し、精度検証とフィードバックを繰り返すことで高精度な再現モデルを構築した。**⇒制御改善手法をメーカに再提案。

# 精度検証結果（ES1の例）

	外気温度 [°C]	日射量 [MJ/day]	負荷 [MJ/day]	集熱量 [MJ/day]			集熱ポンプ消費電力 [Wh/day]			HP加熱量 [MJ/day]			HP消費電力 [Wh/day]		
				実測	計算	計/実	実測	計算	計/実	実測	計算	計/実	実測	計算	計/実
平均	8.93	63.03	54.66	27.44	25.16	<b>92%</b>	180.77	166.12	<b>92%</b>	51.53	51.14	<b>99%</b>	4671	4446	<b>95%</b>
標準偏差	6.01	27.32	15.72	13.67	12.49	—	61.79	64.98	—	18.52	20.73	—	1907	1993	—



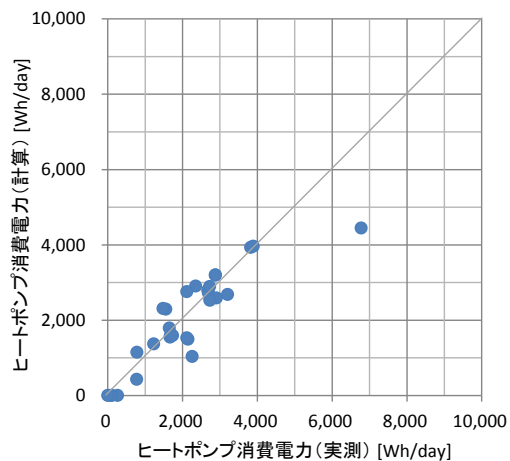
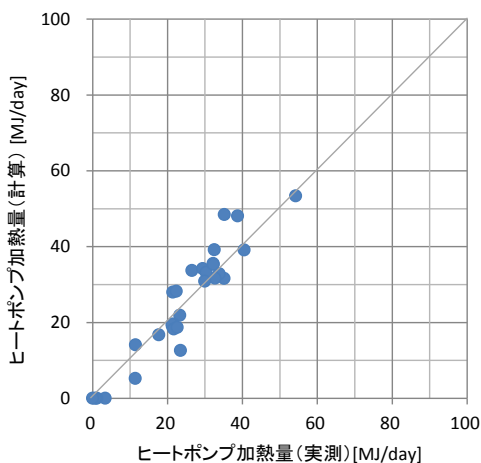
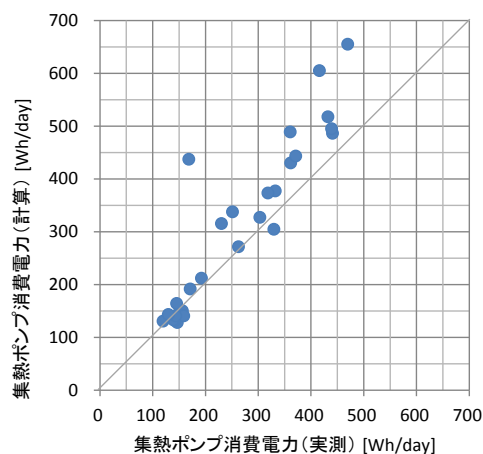
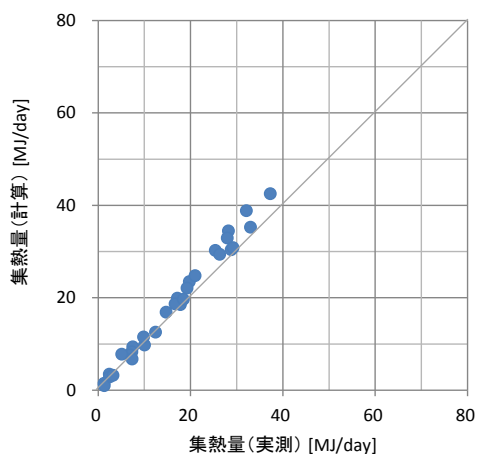
ES1では、**75日分**の実証試験結果に対し、精度検証を行った。

- ・集熱量
- ・集熱ポンプ消費電力
- ・ヒートポンプ加熱量
- ・ヒートポンプ消費電力

のいずれにおいても、**92～99%**と高い精度で再現できることを確認した。

# 精度検証結果（ES2の例）

	外気温度 [°C]	日射量 [MJ/day]	負荷 [MJ/day]	集熱量 [MJ/day]			集熱ポンプ消費電力 [Wh/day]			HP加熱量 [MJ/day]			HP消費電力 [Wh/day]		
				実測	計算	計/実	実測	計算	計/実	実測	計算	計/実	実測	計算	計/実
平均	22.27	52.95	29.58	16.36	18.47	<b>113%</b>	268.02	318.91	<b>119%</b>	24.25	24.98	<b>103%</b>	2131	2044	<b>96%</b>
標準偏差	6.26	26.28	10.55	10.58	12.10	—	128.76	176.06	—	12.38	14.56	—	1349	1196	—



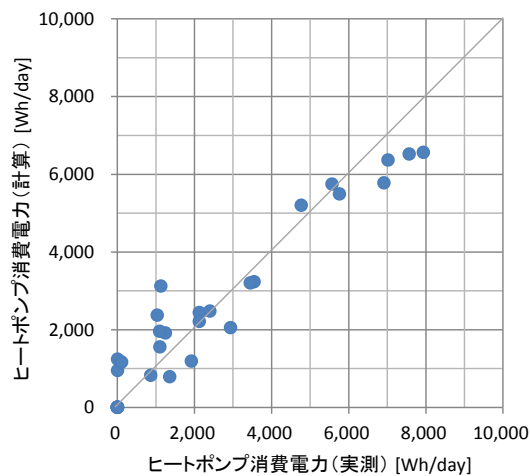
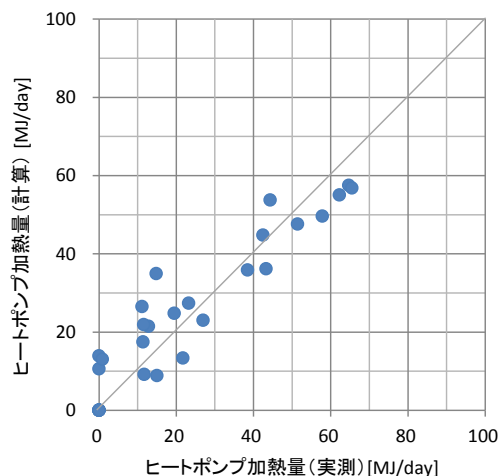
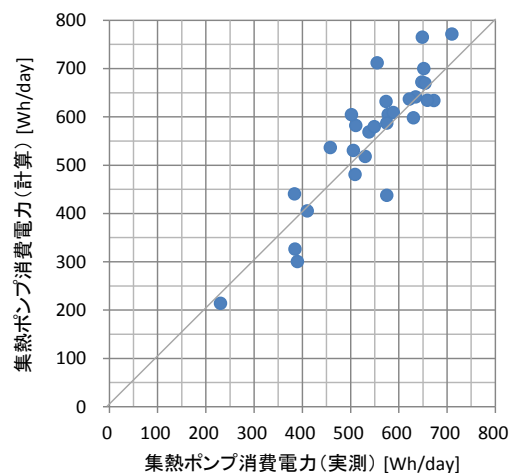
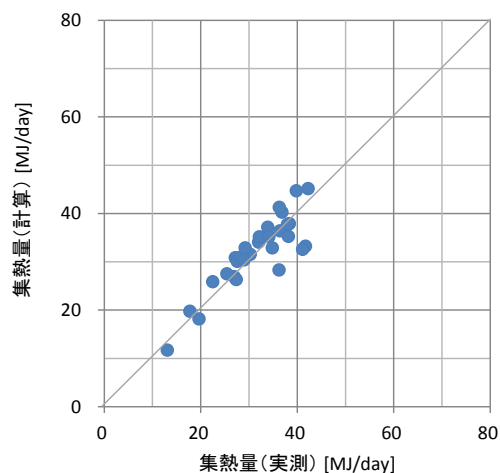
＜晴れセーブボタン＞  
（ユーザが翌日が晴天と判断し沸き上げを抑制する機能）の押下なしの場合

精度検証日数は、実証試験のうち30日分であり、精度は96～119%と高い結果であった。



# 精度検証結果（ES2の例）

	外気温度 [°C]	日射量 [MJ/day]	負荷 [MJ/day]	集熱量 [MJ/day]			集熱ポンプ消費電力 [Wh/day]			HP加熱量 [MJ/day]			HP消費電力 [Wh/day]		
				実測	計算	計/実	実測	計算	計/実	実測	計算	計/実	実測	計算	計/実
平均	16.72	80.80	40.41	31.61	32.06	101%	547.69	565.11	103%	22.44	24.26	108%	2402	2479	103%
標準偏差	8.52	14.53	17.35	7.24	7.27	—	107.43	130.74	—	22.05	19.11	—	2572	2190	—



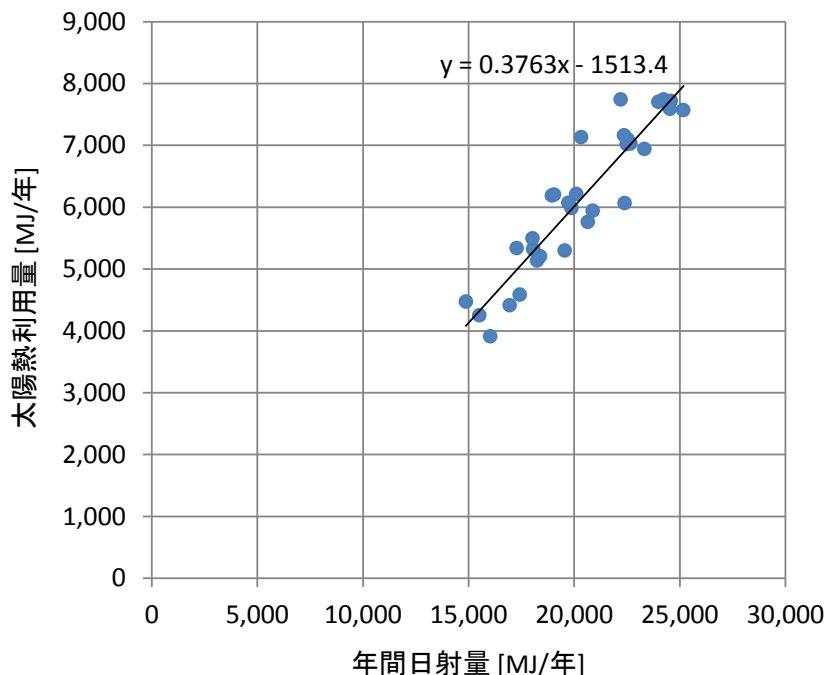
＜晴れセーブボタン＞  
（ユーザが翌日が晴天と判断し沸き上げを抑制する機能）の押下ありの場合

精度検証日数は、実証試験のうち29日分であり、精度は101～108%と高い結果であった。

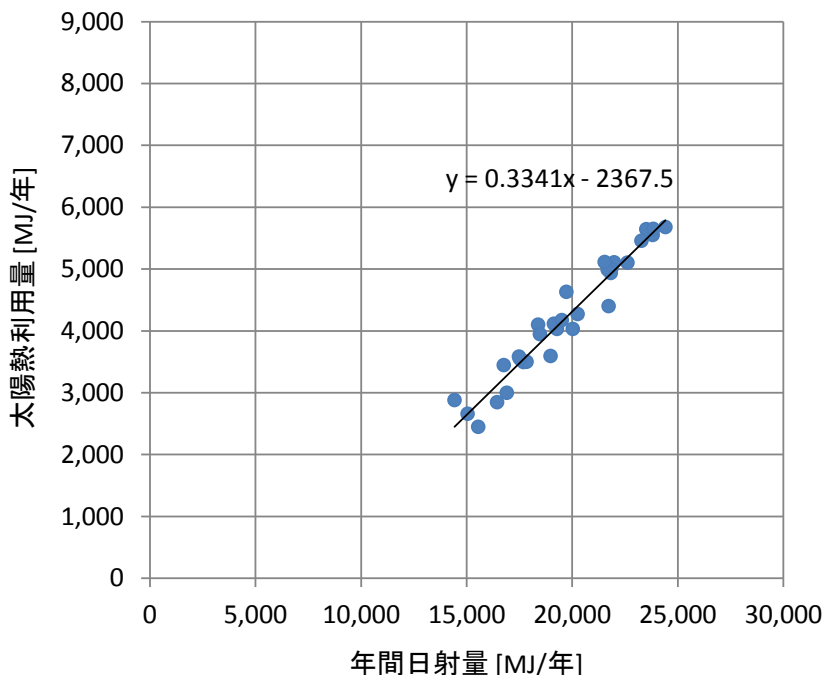
# エコキュートソーラーの年間計算結果

ES二機種においても、日本全国での年間シミュレーションを実施した。例として、以下にWebプログラム地点での結果を示す。

ES1



ES2

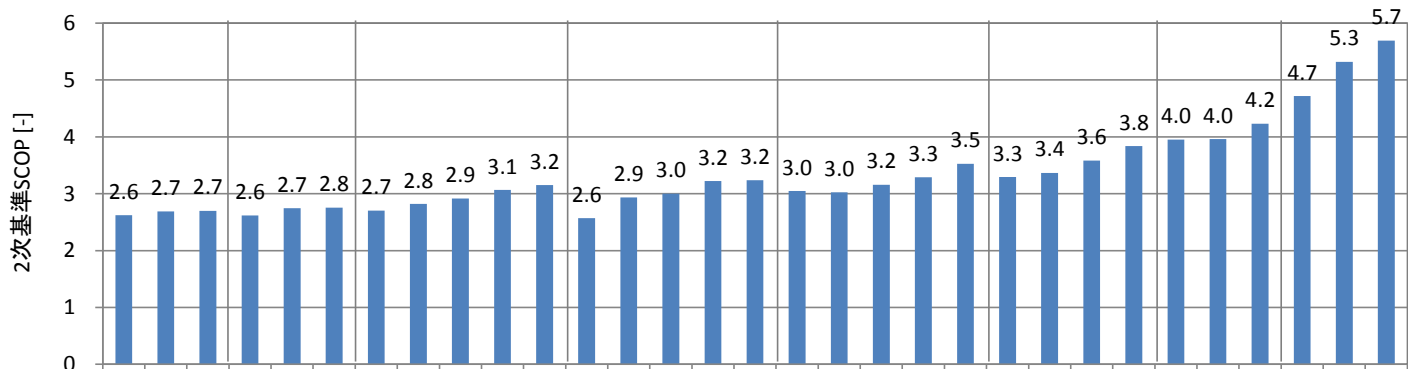


# 年間計算結果例

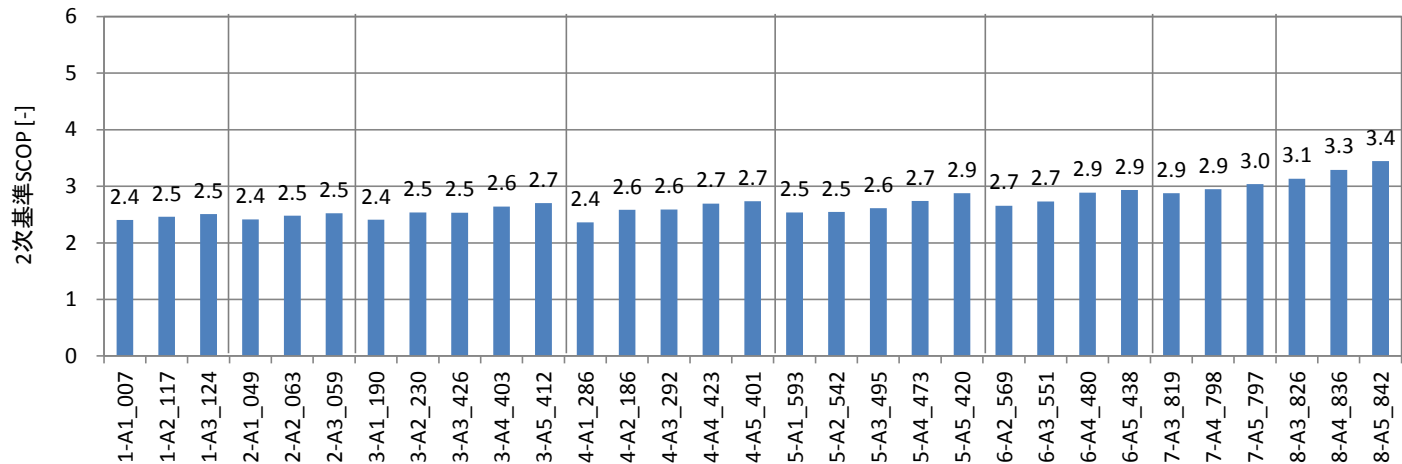
各地域でのシステムCOP(2次エネルギー基準)をみると、ES1は温暖地域で性能が著しく向上するが、ES2では変化は小さい。

⇒ユーザへの情報提供だけではなく、**メーカへの性能向上情報のフィードバック**としても活用。

ES1



ES2



# コストダウン効果の検証

地域区分5、日射区分A3でのWebプログラム計算に合わせてTRNSYSでの計算条件も拡張アメダスの気象条件の両津を採用した。

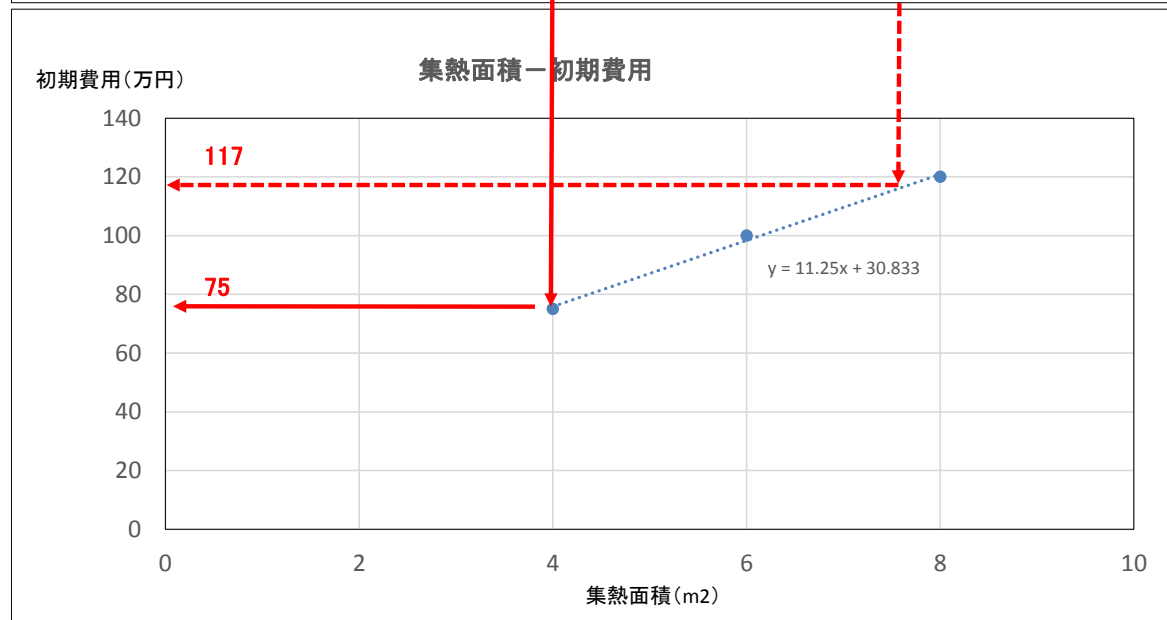
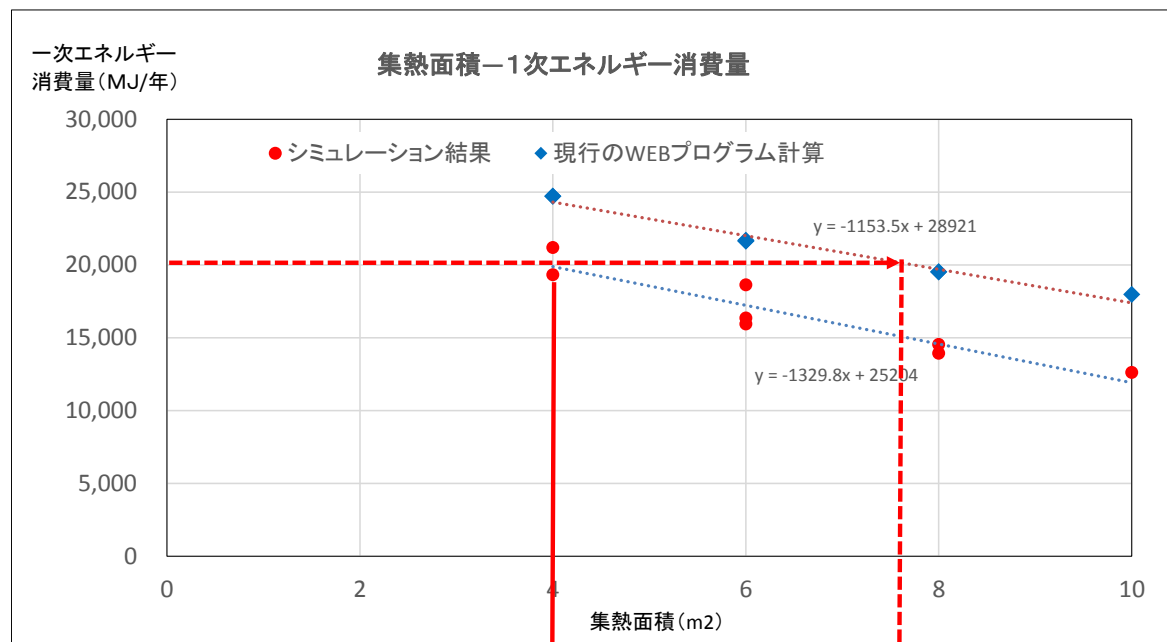
## Webプログラムの計算条件

プログラム	Ver. 2.5.4
地域区分	5
日射区分	A3
床面積	120.08m2
給湯設備	従来型ガス給湯器
(機器効率)	0.704
その他設備	デフォルト

## TRNSYSの計算条件

No.	メーカー	タンク[L]	集熱面積[m2]	気象条件
S4	SUNJR	370	6	5-A3_495_Ryotsu
S5	SUNJR	370	8	5-A3_495_Ryotsu
S6	SUNJR	370	10	5-A3_495_Ryotsu
Y6	YAZAKI	200	4	5-A3_495_Ryotsu
Y7	YAZAKI	200	6	5-A3_495_Ryotsu
Y8	YAZAKI	300	4	5-A3_495_Ryotsu
Y9	YAZAKI	300	6	5-A3_495_Ryotsu
Y10	YAZAKI	300	8	5-A3_495_Ryotsu

# 検証結果



給湯設備の一次エネルギー消費量を20,000MJ/年で設計する場合、現行のWebプログラム計算では集熱面積が約7.7m<sup>2</sup>必要となるのに対し、本開発の成果である最適化シミュレーション技術を活用すると約4m<sup>2</sup>必要となる。

初期費用に換算すると、117万円から75万円となり、**約36%**のコストダウンとなる

# 設計ツールの開発

確立された最適化手法(シミュレーション技術)を用い、太陽熱導入に関心のある一般消費者や導入に際し詳細な導入効果を見積もるためのツールを開発した。

(以下、前者を「簡易ツール」後者を「詳細ツール」という)

## 簡易ツールの開発

太陽熱の導入に当たっては、まず導入検討者(一般消費者である)や一般消費者に情報提供をする末端の販売者などが、おおよその導入の効果を容易に知ることができるような情報提供環境を簡易ツールとして用意する。

利用者	一般消費者
情報提供媒体	ソーラーシステム振興協会ホームページ
提供方法	情報提供条件ごとに情報提供内容を整理した表形式で提供する
情報提供条件	<ul style="list-style-type: none"><li>地域: 全国代表都市(47都道府県県庁所在地)</li><li>家族人数: 2人.3人.4人</li><li>太陽熱設備: 太陽熱温水器、ソーラーシステム、エコキュートソーラー</li></ul> (それぞれ代表1機種でシミュレーションする。ソーラーシステムについては200L-4m2と300L-6m2の2種類) <ul style="list-style-type: none"><li>補助熱源装置の種類: ガス給湯器(LPG、TG)、石油給湯器、エコキュートソーラー</li></ul>
情報提供内容	<ul style="list-style-type: none"><li>年間太陽熱利用熱量(エネルギー削減量)</li><li>年間太陽熱利用率</li><li>導入前後の燃料費(熱源及び電力)</li><li>年間節約金額</li></ul>

# 簡易ツールの例（ホームページに掲載）

## 太陽熱温水器・4人家族・LPガス

太陽熱温水器			LPガス		4人家族	
地域			太陽熱導入前	太陽熱導入後		差額 (節約金額) [円/年]
都道府県	都市	地域 区分	燃料費 [円/年]	太陽熱利用量 [MJ/年]	太陽熱依存率 [%]	燃料費 [円/年]
北海道	札幌	1	212,596	4,623	20.9	180,730
青森県	青森	3	180,591	4,927	24.4	146,777
岩手県	盛岡	3	168,322	4,719	23.4	138,671
宮城県	仙台	4	120,571	5,451	27.8	93,585
秋田県	秋田	3	157,375	5,148	25.5	126,060
山形県	山形	4	164,299	4,960	25.3	131,958
福島県	福島	4	148,880	5,885	30.0	112,016
茨城県	水戸	5	139,614	6,059	32.8	100,919
栃木県	宇都宮	4	113,944	6,359	32.4	82,768
群馬県	前橋	5	129,285	6,422	34.7	90,720
埼玉県	さいたま	5	123,017	6,345	34.3	86,879
千葉県	千葉	6	111,958	5,603	33.7	79,827
東京都	東京	6	110,994	5,542	33.3	79,572
神奈川県	横浜	6	108,767	5,686	34.2	76,965
新潟県	新潟	4	137,394	5,861	29.9	103,552
富山県	富山	5	144,371	5,039	27.3	112,923
石川県	金沢	6	133,090	4,617	27.8	103,377
福井県	福井	5	145,100	5,659	30.6	108,257
山梨県	甲府	5	131,435	6,949	37.6	88,204
長野県	長野	4	142,526	5,661	28.9	108,989
岐阜県	岐阜	6	118,278	5,988	36.0	81,387
静岡県	静岡	6	113,017	6,184	37.2	76,332
愛知県	名古屋	6	125,125	5,955	35.8	86,366
三重県	津	6	119,732	6,050	36.4	81,909
滋賀県	大津	5	151,596	5,862	31.7	111,321
京都府	京都	5	149,441	6,211	33.6	106,702
大阪府	大阪	6	98,422	5,702	34.3	69,542
兵庫県	神戸	6	126,719	5,920	35.6	87,753
奈良県	奈良	5	124,918	6,386	34.5	87,923
和歌山県	和歌山	6	113,176	6,094	36.6	77,103
鳥取県	鳥取	5	145,027	5,764	31.2	107,323
島根県	松江	5	139,939	5,621	30.4	104,720
岡山県	岡山	6	144,478	5,937	35.7	99,895
広島県	広島	6	112,885	6,190	37.2	76,200
山口県	山口	6	139,524	5,665	34.1	98,922
徳島県	徳島	6	126,503	6,326	38.0	84,285
香川県	高松	6	119,794	6,007	36.1	82,279
愛媛県	松山	6	118,764	6,179	37.2	80,254
高知県	高知	6	115,997	6,489	39.0	76,055
福岡県	福岡	6	110,869	6,124	36.8	75,315
佐賀県	佐賀	6	135,795	6,045	36.3	92,941
長崎県	長崎	7	110,248	5,175	34.4	77,710
熊本県	熊本	6	128,137	6,315	38.0	85,463
大分県	大分	6	129,819	6,167	37.1	87,827
宮崎県	宮崎	7	114,709	6,120	40.7	73,098
鹿児島県	鹿児島	7	107,646	6,012	40.0	69,432
沖縄県	那覇	8	81,303	5,346	45.4	47,701

## ソーラーシステム(4m2-200L)・4人家族・LPガス

ソーラーシステム:4m2-200L			LPガス		4人家族	
地域			太陽熱導入前	太陽熱導入後		差額 (節約金額) [円/年]
都道府県	都市	地域 区分	燃料費 [円/年]	太陽熱利用量 [MJ/年]	太陽熱依存率 [%]	燃料費 [円/年]
北海道	札幌	1	228,597	6,425	29.1	166,546
青森県	青森	3	194,184	6,093	30.2	139,225
岩手県	盛岡	3	180,991	6,281	31.1	128,464
宮城県	仙台	4	129,647	6,678	34.1	89,515
秋田県	秋田	3	169,221	6,069	30.1	121,976
山形県	山形	4	176,665	6,124	31.3	125,284
福島県	福島	4	160,086	6,993	35.7	107,037
茨城県	水戸	5	150,123	7,228	39.1	95,253
栃木県	宇都宮	4	122,521	7,306	37.3	80,730
群馬県	前橋	5	139,016	7,453	40.3	86,720
埼玉県	さいたま	5	132,277	7,232	39.1	84,389
千葉県	千葉	6	120,385	6,583	39.6	76,462
東京都	東京	6	119,349	6,442	38.7	76,723
神奈川県	横浜	6	116,954	6,661	40.1	73,737
新潟県	新潟	4	147,735	6,546	33.4	102,302
富山県	富山	5	155,238	6,044	32.7	107,739
石川県	金沢	6	143,107	5,486	33.0	99,058
福井県	福井	5	156,021	6,428	34.8	105,178
山梨県	甲府	5	141,328	8,003	43.3	84,001
長野県	長野	4	153,254	7,133	36.4	101,023
岐阜県	岐阜	6	127,181	7,003	42.1	77,207
静岡県	静岡	6	121,523	7,226	43.5	72,223
愛知県	名古屋	6	134,543	7,012	42.2	81,387
三重県	津	6	128,744	7,056	42.4	77,750
滋賀県	大津	5	163,006	6,602	35.7	108,740
京都府	京都	5	160,689	6,879	37.2	105,074
大阪府	大阪	6	105,830	6,559	39.4	67,999
兵庫県	神戸	6	136,257	6,855	41.2	84,059
奈良県	奈良	5	134,321	7,315	39.6	85,169
和歌山県	和歌山	6	121,694	6,981	42.0	74,594
鳥取県	鳥取	5	155,943	6,470	35.0	105,050
島根県	松江	5	150,472	6,274	33.9	103,139
岡山県	岡山	6	155,353	6,898	41.5	94,696
広島県	広島	6	121,381	7,096	42.7	73,315
山口県	山口	6	150,025	6,587	39.6	94,260
徳島県	徳島	6	136,024	7,269	43.7	80,419
香川県	高松	6	128,810	6,949	41.8	78,825
愛媛県	松山	6	127,704	7,070	42.5	77,237
高知県	高知	6	124,728	7,454	44.8	72,664
福岡県	福岡	6	119,214	6,965	41.9	72,875
佐賀県	佐賀	6	146,016	6,846	41.2	89,548
長崎県	長崎	7	118,546	6,026	40.1	74,428
熊本県	熊本	6	137,781	7,184	43.2	81,958
大分県	大分	6	139,590	7,141	42.9	83,330
宮崎県	宮崎	7	123,343	7,118	47.4	68,488
鹿児島県	鹿児島	7	115,748	6,912	46.0	66,157
沖縄県	那覇	8	87,422	6,145	52.2	45,658



## 詳細ツールの開発

簡易ツールによって導入検討が進むと、次の設計段階で使用地域や機器構成などより実態に即した導入効果を知ることが必要となり、そのための詳細ツールを準備する。詳細ツールの利用者は住宅の設計者や機器販売者である。

情報提供条件は設計者なので、設置場所、設置条件、使用条件などに応じたシミュレーションによってツールを提供する。

利用者	住宅等の設計者
情報提供媒体	ソーラーシステム振興協会ホームページからシミュレーションの依頼を受け付ける
提供方法	情報提供条件ごとに情報提供内容をシミュレーションした結果をメール等で提供する
情報提供条件	<ul style="list-style-type: none"><li>地域: 設置場所に最も近いアメダス地点(全国〇〇地点)</li><li>家族人数:</li><li>太陽熱設備: 導入予定のメーカー名、型式</li><li>補助熱源装置の種類: 導入予定の熱源機の種類、メーカー名、型式、燃料の別(LPG、TG)</li></ul>
情報提供内容 (シミュレーション結果)	<ul style="list-style-type: none"><li>年間太陽熱利用熱量(エネルギー削減量)</li><li>年間太陽熱利用率</li><li>導入前後の燃料費(熱源及び電力)</li><li>年間節約金額</li></ul>