

住宅用太陽熱システムのシミュレーションと地域別評価

Simulation and Regional Potential of Residential Solar Thermal System

吉永美香*

1. はじめに

住宅用太陽熱利用システムの地域別評価に関する記事を依頼いただいたのだが、少しテーマを拡大し、前半は太陽熱のシミュレーションツールを紹介させていただきたい。理由は二つあり、一つには広範囲の地域ポテンシャルを評価しようとする、実在する事例データでは不足し、シミュレーションの活用が不可欠となるため、もう一つは、建築士なり施主なりが地域ポテンシャルを確認した次のステップは、自らが導入を検討しているまさにその立地と条件での詳しい性能予測を所望するのでは、と思うためだ。太陽熱利用システムを導入して、コスト面で価値を見いだせるのか、どの程度の規模が現実的な落としどころか、などと試行錯誤的に探るためには、やはりシミュレーションが欠かせない。関連して、世界で使われている太陽熱シミュレーションツールと環境性能の認証システムとの関係にも言及する。なお、シミュレーションツールの紹介に関する部分は、2015年に本学会研究発表会にて報告した内容¹⁾を本原稿執筆時(2021年4月)の情報にアップデートしたものである。

本稿の後半は、第15回再生可能エネルギー世界展示会 & フォーラムで講演した内容²⁾をまとめたもので、コンピュータシミュレーションを用いて日本全国の県庁所在地にソーラーシステムを導入した場合の効果検証結果を紹介する。

2. 太陽熱シミュレーションのニーズとツール

まったく同じシステムを導入しても、設置した場所によって利用できる太陽熱の量が変わる。まったく同じ太陽熱温水器を隣接する住宅に設置しても、昼間の湯の使用量によって太陽熱の量が変わる。このような特性は太陽熱利用システムを理解している

者にとっては当たり前だが、一般のユーザにとって理解しやすいものではない。電化製品のようにカタログに掲載された定格性能がないのであれば、太陽熱を使ってみようかという気にすらならないかもしれない。技術的なことはさておき、まずは、太陽熱利用システムの性能は大きく以下の3つの因子で決まるということを頭に入れておく必要がある。

- ① システムそのものの性能である機械的因子
- ② 気象条件に関する環境的因子
- ③ 給湯の利用状況に関する負荷的因子

いわゆる機器の定格性能は①に相当するが、それ以外に周囲条件(②)にも住まい方(③)も運転性能に影響を与える。このことは、太陽熱利用システムの計算が収束計算を避けては通れないこと、またコンピュータシミュレーションの力が(表計算ソフトではなく)必要であることを示している。

それでは、一般の建築・設備設計士やユーザなど太陽熱の非専門家(ここではエンジニアと対比して、デザイナーと総称する)が使うシミュレーションツールには、どのような機能が求められるのだろうか。おそらく、研究開発に必要な高い計算精度や計算条件の自由度はさほど重要ではなく(あるに越したことはないが)、「とっつきやすさ」が重要なポイントとなるに違いない。実際、このようなニーズは海外ではずいぶん前から顕在化しており、1990年台前半ごろからデザイナー向けの太陽熱利用システムシミュレーションツールが登場しはじめた。日本のデザイナーが使うためには言語の壁が存在するかもしれないが、そこはいったん棚上げとし(ブラウザの翻訳機能は既に実用レベルにまで上がっていることだし)、本稿では海外の既存ツールを日本で利用する可能性を探ってみる。

*名城大学 理工学部建築学科 教授

表1 世界で利用されている太陽熱利用システムのシミュレーションツール³⁻⁶⁾

	TRNSYS	Polysun			T*SOL	Get Solar
バージョン	18	Online	Standard	Designer	2021	Professional
開発元	SEL, TESS, TRANSSOLAR, CSTB	Vela Solaris			Valentin Software	ETU Software
日本代理店	(株)クアトロ	(株)デサンテック			-	-
商業利用1ライセンス価格	\$5,060	無料	¥141,900	¥225,500	€ 895	-
日本円換算(概算)	¥556,600	無料	¥141,900	¥225,500	¥116,350	
サブスクリプション価格	-	-	¥25,300	¥38,500	-	€ 399
			/月	/月		(¥51,870)/年
無料使用/デモ	機能制限デモ版あり		30日間	30日間	30日間	有

デザイナー向けのシミュレーションツールに必要な要件として、以下の4つを考えた。

- ① 安価または無償であること。
- ② ユーザーフレンドリーな GUI が整備されており、直感的な操作が可能であること。
- ③ 必要とされる入力変数が少ないこと。
- ④ 日本の標準システムが再現できること。

表1に、国際的に一般に利用されており、日本でも入手可能な主要な太陽熱シミュレーションツールの基本情報をまとめる³⁻⁶⁾。このうち、TRNSYSとPOLYSUNは日本国内に販売代理店が存在する。その他のツールは日本語での販売窓口は存在しないものの、英語によるオンライン購入やユーザサポートを受けることが可能である。本稿では、のちの地域別評価に用いているTRNSYSと、デザイナー向けツールの例としてPOLYSUNの二つに焦点を当てて解説する。なお、ツールや契約時期により利用できる気象データの有無/バージョンやサポート条件などが異なるため、表1のコストはあくまでも参考情報とし、随時最新情報を参照していただきたい。また太陽熱に限らずソフトウェア販売の近年の風潮として、サブスクリプション化の動きが著しいことを補足しておく。

3. TRNSYSの概要

TRNSYS³⁾は太陽熱利用システムの非定常シミュレーションツールとして40年以上の開発の歴史があり、世界中で精度検証が十分になされてきた経緯がある。オープンソースのツールで新しい機器モデルの追加や既存モデルの修正などが可能であること、情報の入出力が自由に行えることなどから、研究者を中心に広く利用されてきた。また、現在では太陽熱以外の空調・エネルギーシステムや建物熱負荷の計算など、広範囲なシミュレーションツールとしても広く活用されている。筆者らは長期間にわた

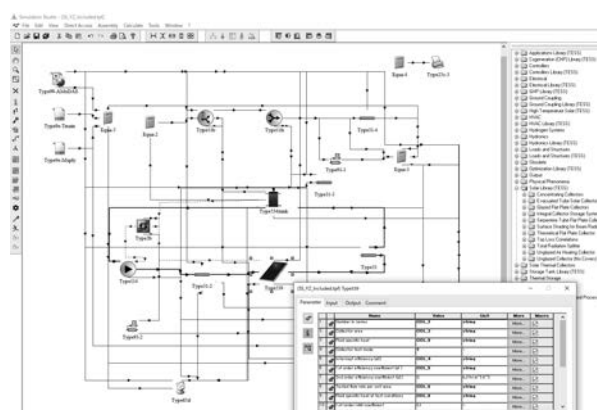


図1 TRNSYS Simulation Studioの画面例

る日本の太陽熱システムに対し、TRNSYSとTESSライブラリを用いて高い精度で再現ができることを確認している⁷⁾など。

図1にTRNSYSのシステム構築画面の例を示す。機器を表すアイコンを配置し、これらを接続線でコネクティングしていくが、この接続線はサブルーチン間のインプットとアウトプットを表しており、実在する機器の流路や制御回路とは異なる(図1では配管が実在する部分のみ、接続線を太く表示している)。そのため、特別な工夫をしないかぎり、システム構築画面は煩雑になりがちだし、直感的な操作性とはずいぶんと乖離がある。

さらに、入力変数の数が極めて多い(図1のシステムで約130個)こと、実システムの多様な機器の形式に対応しようとする、標準ライブラリでは不十分でTESSなどの外部ライブラリを購入する必要があること、また出力結果は原則としてテキストベースであり、可視化のための作業が必要となることなどから、導入コストが高い点を除いても、住宅建築における非専門家にとっては敷居が高いツールと言わざるを得ない。本稿では、精度の比較や地域評価を行う際にTRNSYSの結果を用いることとする。

ちなみに、少し前まで TRNSYS のラッパーとしてデザイナー向け GUI を装備した TRANSOL というツールが Auguasol 社（西）から安価に提供されていた¹⁾が、本稿執筆時点では販売を停止しているようなので、表 1 への掲載は差し控えた。

4. POLYSUN の概要

4.1 POLYSUN ファミリー

POLYSUN⁵⁾ は、Solarthermal, HeatPump, Photovoltaic の 3 種のモジュールで構成されるパッケージの全体名となっている。このうち一つのモジュール（例えば太陽熱のモジュール）のみを購入することも可能だ（表 1 には太陽熱のみの価格を示している）。POLYSUN には製品版 2 種類とオンライン版 1 種類があり、製品版として、システム構成をテンプレートから選択する（それ以上のチューニングはできない）Standard 版と、よりフレキシブルなシステム設計に対応できる Designer 版とが用意されている。

図 2 に製品版の画面例を示す。POLYSUN, T*SOL, Get Solar のようなデザイナーユースに設計されたツールでは、機器アイコンの接続線は TRNSYS とは異なり実在する配管（熱媒流路）を表す。情報のみの接続ネットワークを表示画面から隠し、極力操作しなくてもよい設定としたことで、操作性や視認性が大幅に向上されている。また製品版では、複数の機器モデルが接続された典型的なシステムのテンプレートが 400 種類以上備わっている。また、各構成機器の汎用モデルだけではなくメーカー名・型番で選択できる実在機器のカタログ集ともいえる情報が整備され（ただし工業規格の違い等もあり、日本の製品は含まれていない）、頻繁にアップデートされている。また、補助熱源や電力の価格情報などを設定し、熱量とコストの計算結果を可視

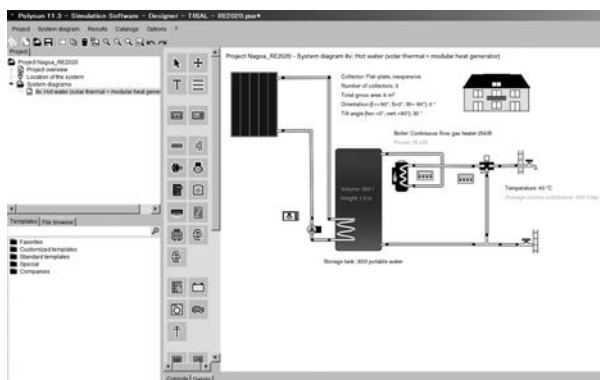


図 2 製品版 POLYSUN の GUI 画面

化し、Excel や pdf ファイルに成型出力する機能もある。この機能は例えば、オーナーとの打合せに PC を持参し、ケーススタディ結果をすぐ提示する、という具合に活用できる。

オンライン版の POLYSUN Online は、無料で誰でもすぐにクラウド上で計算が行えるというもので、筆者が強く推薦するツールだ。ここでは日本の住宅用給湯システムを POLYSUN Online で計算させる手順と試算例を紹介する。

4.2 POLYSUN Online による試算

東京の 4 人世帯が利用する給湯用途のみのソーラーシステムを、POLYSUN Online で計算してみよう。まず、POLYSUN Online のトップ画面⁸⁾で、PV、太陽熱、ヒートポンプから使用するモジュールを選択する（複数選択も可）。続いて立地を選択する。POLYSUN では気象データに Meteonorm を使用しているため、世界中の任意の場所が設定可能だ。ここでは東京を設定する。続いて用途として給湯、暖房、プール加温の三つから給湯を選択したのち、システム構成として 1 タンク、2 タンク方式を含む 3 種類から一つを選択する。ここでは日本での一般的なシステムにもっとも近い図 3 の 1 タンク方式を選択する。

引続き給湯負荷に関する設定画面に移るが、残念ながらここで設定できるパラメータは世帯人数だけである。2～20 人のうちから選択した世帯人数に応じて、日平均の給湯量が 200 リットル、300 リットル、350 リットル、400 リットル…と自動的に設定される。給湯設定温度は 50℃ で固定だ。周知のとおり、日本では居住者一人あたりの給湯量が海外の標準値よりかなり大きいため、世帯人数を実態通り 4 人と入力しても、日平均給湯量は 200 リットル

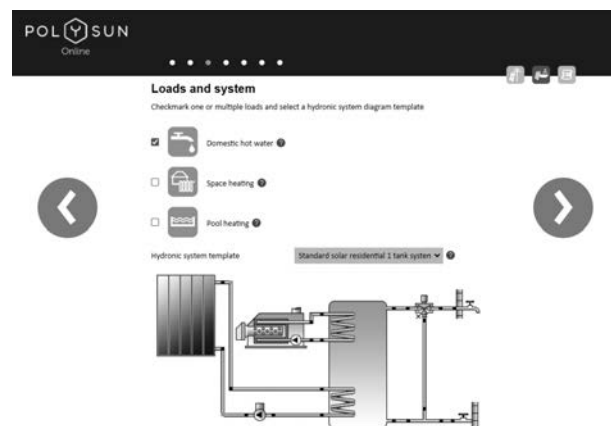


図 3 POLYSUN Online でのシステムテンプレートの選択画面

にしかならず、年間の給湯負荷熱量がとても小さくなってしまふ。そこでちょっと恣意的な調整を入れて、世帯人数を二倍の8人とし、日平均給湯量を400リットルにしてしまおう。

続く画面では、集熱器の条件を設定する。傾斜角度と方位は想定されるどの角度でも1°単位で入力できる。集熱器は平板型や真空管型を含む15種類の汎用型から一つ選択でき、枚数を入力することでグロス面積が決まる。ここで少し気を付けなくてはならない点がある。汎用平板型集熱器として、inexpensive, good quality, premium quality という3種類のグレードから選択可能だが、画面上では機器データベースの詳細は確認できないので、筆者が製品版 POLYSUN のデータベースから作成した特性式を図5に示す。inexpensive と good quality の違いは勾配、つまり断熱性能の違いである。日本で販売されている標準的な平板型集熱器は、背面断熱もごく薄く、カバーガラスも一枚のものが主流であり、残念ながらこの三種類のうち最も低い

inexpensive に相当する。平板型の選択肢には unglazed というものもあるが、これは欧米で温水プールの加温や冬期の凍結防止等に用いられるカバーガラスなしの廉価版集熱器を指している。本試算では、inexpensive の平板型集熱器を、傾斜30°、方位を南、枚数3で設定した。ちなみに、集熱器枚数は入力済みの負荷条件からの推奨値も表示されるが、今回想定していた枚数と推奨値は一致していた。

次は、補助熱源種別と貯湯槽の容量を入力する画面である。補助熱源はLNGのボイラとし、表示された貯湯槽容量の推奨値は450リットルであったが、ここでは日本仕様に合わせ、300リットルに変更する。

最後の画面で、結果レポートを送付するEmailアドレスを入力し、実行ボタンを押すと、クラウド上で計算が実行され、2～3分後にはpdf形式の結果レポートがメールの添付ファイルとして届く。この際、Online版で入力済みのPOLYSUNプロジェクトファイルを同時に送付させ、製品版のPOLYSUNのテンプレートとして利用することもできる。

図5に結果レポートの一部を示す。太陽熱依存率(Solar Fraction Total)は68.9%であった。筆者がTRNSYSで同規模のシステムを再現した結果は62.1%だったので、少し高めの影響はあるが、入力開始から結果を落手するまでの所要時間は5分未満で、情報通信料だけの費用負担であることを考えると十分に目を瞑ることができるだろう。日本の設計者やユーザには、POLYSUN Online を用いてまずは上述のように検討することをお勧めしたい。

4.3 POLYSUN 製品版による試算

POLYSUN Online よりも多様な検討を行う場合は、製品版を使うほうがよい。ここで、テンプレートから日本のシステム仕様にカスタマイズする際に必須の項目をまとめておく。

- ・蓄熱槽や一次配管が屋内（ガレージや機械室という意味）設置条件になっているので、実態に即し、屋外設置に変更する。
- ・補助熱源が直列配置の追焚型であれば変更する。
- ・蓄熱槽と配管の断熱条件を実態に即したものにす
- ・出湯の時間プロファイルを変更する。

日本で給湯使用量が多いのは夜間の風呂湯はりのためなので、負荷の重心を遅い時間にシフトする必要がある。図6に欧州の一般的な出湯の時間プロファイルと、日本の例とを比較した例を示す。とくに小規模な貯湯タンクを設置する場合は、負荷が日

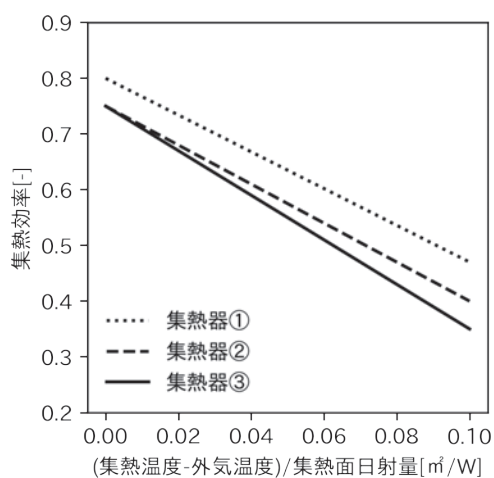


図4 POLYSUN に搭載されている汎用集熱器の特性 (①が premium quality, ②が good quality, ③が inexpensive を表す)

Summary report

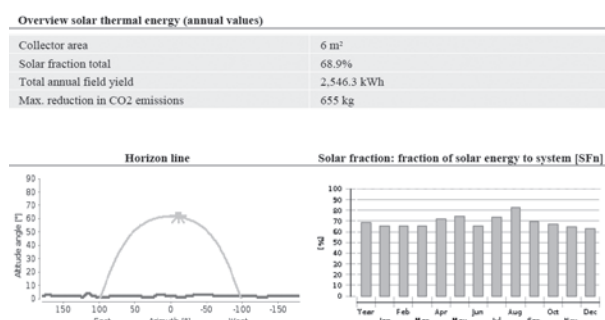


図5 POLYSUN Online の計算結果レポートの一部

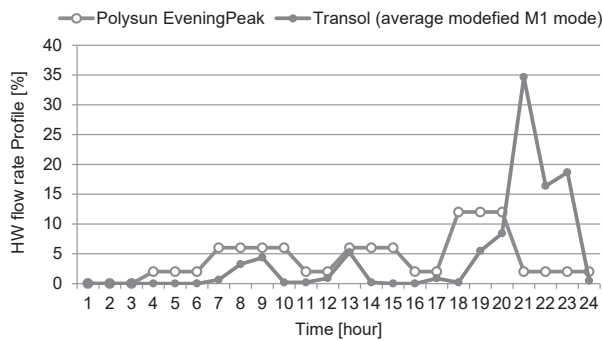


図6 時間別給湯プロフィールの例

中にあるのか日没後にあるのかで有効利用量が大きく変わるため注意する。

筆者が POLYSUN Designer で日本のシステムを再現した場合の太陽熱依存率の計算結果は 68.3% であった²⁾。同条件の TRNSYS の計算結果は 65.8% (この検討では、立地は名古屋であったため、先の Online の結果と値が異なる) であり、上記の調整を行えば、十分な精度で導入検討が行えると思う。

5. 認証制度とツールの関係

太陽熱シミュレーションツールと環境性能認証や補助金制度には深い関わりがある。TRNSYS はアメリカの環境建築認証システムである LEED の公式認証ツールだ。しかし TRNSYS は前述のとおり操作が複雑であることから、設計者らは、検討段階では TRANSOL を利用して最終認証時に TRNSYS に移行するなど、いろいろと工夫を重ねているようだ。また POLYSUN, T*SOL, および GetSolar は、ドイツの EnEV に準拠した計算が可能である。POLYSUN Online でも、結果レポートに図7に示すような Energy Label を追加することができる。

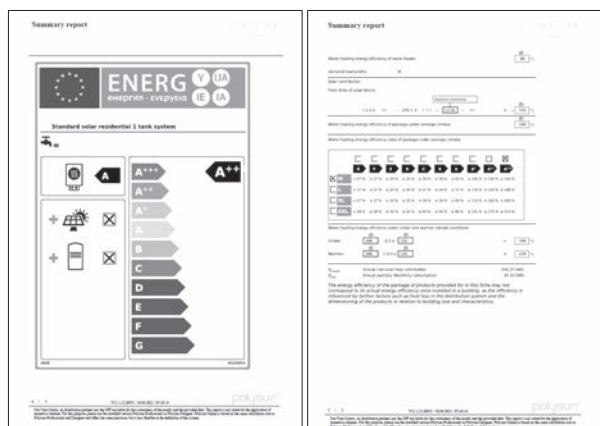


図7 POLYSUN Online の結果レポートに出力された Energy Label

EnEV では、簡単な定常計算による方法も認められているが、定常計算は安全率を加味しているため、動的シミュレーションツールを用いたほうが太陽熱利用量を大きく見積もることが可能だ。このことはシミュレーションツールを活用する動機付けにも一役買っていると考えられる。なお、フランスやスペインでも同様に認証評価とツールの連動が見られる。

さて、日本ではどうだろうか。LEED と似た建築物環境性能評価指標として CASBEE があるが、設備の規模や性能を反映したシミュレーション結果とはリンクしておらず、太陽熱を利用している、という事実だけで評価がなされる⁹⁾。シミュレーションツールという意味では、CASBEE よりも省エネ基準のほうがこの議論にふさわしいと思うので、建築物省エネ法に用いられる「住宅に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム」(通称 Web プログラム)¹⁰⁾ を取り上げる。これはオンライン上で必要項目を入力し、一次エネルギー消費量の消費量が算出されるクラウド型のシミュレーションツールの一種である。なお、本稿では 2021 年 4 月 1 日に更新された住宅版 Ver3.0.0 を対象としている。

Web プログラムには簡易計算と詳細計算との二種類があるが、太陽熱利用システムを計算するためには詳細計算を選択する必要がある。気象条件は拡張アメダス標準気象データをもとに設定された地域区分と日射地域区分を指定する必要があり、ユーザは事前に住所から対応する各区分を調べ、適切なものを選択する必要がある。ここでは先の POLYSUN Online の試算と比較するために東京(地域区分 3, 日射地域区分 A3) とする。

このツールの一つ良いところは、すべての情報を入力しなくても計算が実行できることだ。建物情報などはすべてデフォルトのまま、集熱器の方位角(南)・傾斜角(30°)・集熱面積(6m²)貯湯タンク容量(300リットル)を入力し、計算を実行した。計算結果は一瞬で画面に表示される。給湯にかかる対象システムの一次エネルギー消費量と基準システムの一次エネルギー消費量とから太陽熱依存率を求めたところ、なんと 25.4% であった。先に述べたとおり、POLYSUN Online で 68.9%, TRNSYS で 62.1% に対し、いくら何でも低すぎる。

実はこのプログラムはまだまだ発展途上で、少なくとも太陽熱に関しては多くの問題を抱えたまま見切り運用されていると言わざるを得ない。例えば、タンク容量の入力欄が存在するが、現時点では計算

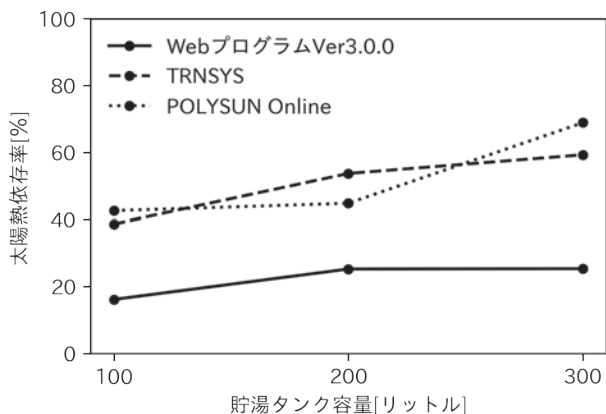


図8 Webプログラムの太陽熱計算結果例

内容にはほとんど関与しておらず、200リットルのタンクを持つ太陽熱温水器程度の性能しか出力されない状況になっている。他にも、計算過程に重複する安全率が掛けられているなどし、集熱量がかなり少なく見積もられている。図8に、TRNSYS, POLYSUN Online, Webプログラムに対し、貯湯タンク容量のみを100リットル、200リットル、300リットルの三パターンに変更した場合の太陽熱依存率の計算結果を示す。(制限された条件での制限結果であることがわかる) 計算ルーチンが別途公開されているとはいえ、これでは今まさに住宅を建てようとしている設計士らに「太陽熱は導入してもさほど役に立ちませんよ」という間違った情報を送ることになってしまう。完全にミスリードだ。来年度の更新で対応される見込みと聞いているが、早急な対応を期待したい。

6. 地域別評価

6.1 計算条件

先の計算例と同様に、四人世帯を想定した給湯負荷で6m²の総面積を持つ日本で一般的な平板型集熱器と300リットルの貯湯タンクを持つ強制循環型ソーラーシステムを対象とする。補助熱源には直列配置された潜熱回収型のガスボイラがあることとし、計算には茨城県における長期実証試験にて精度を検証済みのTRNSYS18によるシミュレーションプログラム¹¹⁾を用い、日本全国の県庁所在地で計算を行った。ここで、給水温度と給湯流量(出湯プロフィール含む)はWebプログラムに準ずるものを、気象データは拡張アメダス標準年気象データ(2010年)を用いることとするが、気象条件のうち積雪の影響は考慮していないため注意されたい。

6.2 評価例

図9に太陽熱依存率の結果を示す。一般的に太陽

熱依存率は、給湯負荷が小さく、気温が高く、日射量が多い地域が高くなる傾向がある。北関東から九州北部に至るまで、多くの地域で60%を超えており、九州南部では70%にまで達していることがわかる。ただし、北陸や山陰地方では50~55%のエリアが多い。

つづいて図10に太陽熱有効利用率(集熱面が受けた全日射エネルギーのうち、給湯に有効に利用された熱量の割合)を示す。この指標は、その地域が持つ日射のポテンシャルをどれだけ効率よく利用したかという意味にも、PVを導入するケースとの効率比較という意味にも利用できる。図9だけでは、寒冷で日射量の少ない地域では、温暖地域に比べソーラーシステムはあまり有効ではないかのように見えるかもしれないが、図10と合わせてみると、東北・北陸・山陰といった地域では、その地

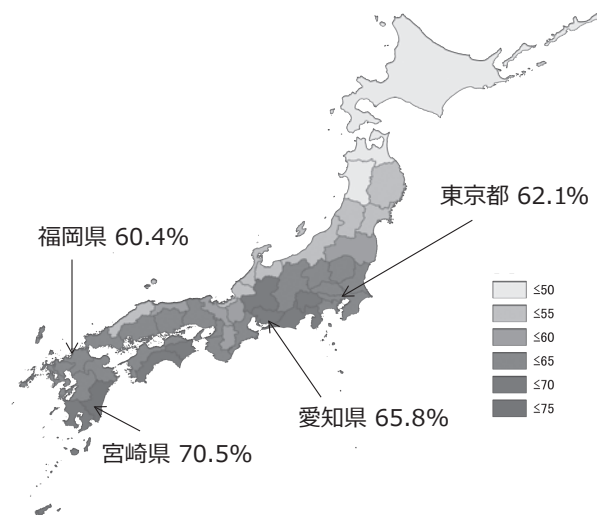


図9 太陽熱依存率の地域別特性

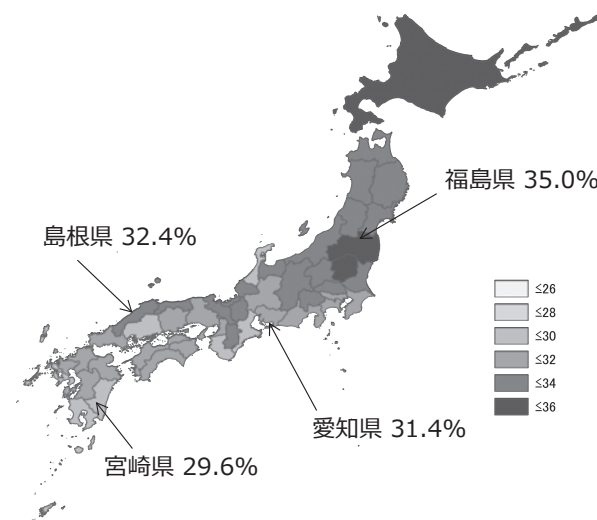


図10 太陽熱有効利用率の地域別特性

域で得られる太陽エネルギーをより高い効率（35%前後）で利用しているということがわかる。温暖な地域では夏期の給湯負荷が小さく集熱分が余ることがあるが、寒冷値では貯湯タンクが満蓄になる時間数が少なく、年間を通じて稼働率を高く維持できるということが背景にある。ここでは大きな設備容量のものみの検討結果を示したが、温暖地域では中～小規模な設備で稼働率を上げ、ペイバックタイムを短縮するという方法も選択肢になるだろう。

6.3 評価例の公開

ソーラーシステム振興協会のホームページで、拡張アメダス標準気象データ（2000年版）を用いたTRNSYSの全国計算結果を、コスト評価も含めて公開している¹²⁾。ここでは、ソーラーシステムに加え、太陽熱温水器、ソーラーエコキュート（CO₂冷媒ヒートポンプを補助熱源とするソーラーシステム）の計算事例、また世帯人数が2人、3人のケースの計算事例も掲載しているので、ぜひ参考にしていただきたい。

7. おわりに

本稿では、太陽熱利用システムのシミュレーションツールの紹介とシミュレーションを利用した地域別特性の検討例を示した。

DX（デジタルトランスフォーメーション）が叫ばれる昨今、建築分野でもBIMの活用が期待がかかるなど、従来とはまったく違うステージでコンピュータによるデータ処理が活用されるようになってきている。またスマートフォンの浸透により、良くも悪くも情報もデータも「あって当たり前」の時代になっている。このような社会の変化に応じ、設計データを提供する従来の「ハンドブック型」の情報提示から、試行錯誤の環境を提供する「シミュレーション型」への移行が必要だと感じている。

参考文献

- 1) 吉永, 世界における太陽熱利用システムシミュレーションツールの比較と日本における一般的システムの再現性の検討, 太陽/風力エネルギー講演論文集, 2014, 357-360
- 2) 吉永, 太陽熱回収のシミュレーション手法と地域別評価, 第15回再生可能エネルギー世界展示会 & フォーラム, 太陽熱利用の地域ポテン

シャル, 2020.12

- 3) TRNSYS (accessed Apr. 10 2021), <http://www.trnsys.com/>
- 4) POLYSUN (accessed Apr. 10 2021), <https://www.velasolaris.com/software/?lang=en>
- 5) T*SOL (accessed Apr. 10 2021), <https://valentin-software.com/en/products/tsol/>
- 6) Get Solar (accessed Apr. 10 2021), <https://www.etu-software.com/M/SOFTWARE/Renewables-Simulation/GetSolar-Professional/Seite.html,154166,96653>
- 7) 吉永ら, 住宅用太陽熱利用給湯システムにおける太陽熱の環境価値化手法に関する研究 第1報 修正 M1 モード4人負荷に対するTRNSYSとEESLISMの計算精度検証, 日本太陽エネルギー学会論文集 Vol.40, No.4, 2014.7, 61-68
- 8) POLYSUN Online (accessed Apr. 10 2021), <http://www.polysunonline.com/PsoPublic/app/home/access>
- 9) CASBEE 戸建-新築 評価マニュアル (2010年版), p.110
- 10) 住宅に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム (accessed Apr. 10 2021), <https://house.lowenergy.jp/>
- 11) 吉永ら, 住宅用太陽熱利用給湯システムに関する研究 第5報 太陽熱温水器とソーラーシステムの年間性能の計算と地域特性の分析, 太陽/風力エネルギー講演論文集, 2018.10, 327-330
- 12) ソーラーシステム振興協会, 設置をお考えの方へ-太陽熱利用システム導入効果のめやす (accessed Apr. 10 2021), <https://www.ssda.or.jp/service/page6211/>

著者略歴



吉永美香 (ヨシナガ ミカ)

2002年3月名古屋大学大学院環境学研究科短縮修了。2006年4月に名城大学理工学部建築学科に着任し、2019年4月より教授。住宅の太陽熱エネルギー利用、建築物の長寿命化のための機能性建材の分析・評価、屋上・壁面緑化の効果と課題、空調負荷低減のための建築外皮の設計手法、中央式空調設備の最適運用手法等の研究に携わる。博士(環境学)。