

あり余る太陽熱で湯を沸かす

——太陽熱温水器の実測評価と活用提案——

濱 恵介

大阪ガス（株）エネルギー・文化研究所 研究主幹

窓の外に見える景色やそこから差し込む日の光、雲が湧き雨が降り、植物が生長し人間の生存に不可欠な食物を提供してくれる。これらは全て太陽エネルギーが関わる現象である。生命の源であり自然界にあり余る太陽エネルギーを差し措いて、石油・ガス・電力など狭義のエネルギーだけで問題を論じるのは片手落ちだろう。ここで報告するのは、給湯・風呂に利用した太陽熱の実測値に基づく評価と願望を込めた将来展望である。

1. 研究の背景と目的

住まいにおける太陽エネルギーの利用のひとつとして、温水器による湯の獲得という熱利用が比較的古くから実践されてきた。個人的な体験では、軟らかいプラスチックでできた扁平な袋のような温水器が自宅にあった。大きさは畳1枚ほど。1950年代末のことで、井戸水を使った自家用水道の高置水槽の上に載っていた。朝、ゴムホースで水道から注水し膨らませ、定量に溜まると水が溢れ出すので、そこで止める。夕方に暖まった水（湯）を同じホースで浴槽に落として燃料の薪を節約するものだ。極めて初歩的なもので、断熱もないから冬には使い物にならなかったかもしれないが、結構役に立っていた印象が残っている。

近年、太陽光発電による太陽エネルギーの電気利用の進展は著しいが、太陽熱温水器の新設数は撤去数を下回り、普及率で見た設備ストックは顕著な減少傾向¹にある。

地球温暖化防止への有力な手段として再生可能エネルギーの利用拡大が叫ばれ、太陽エネルギーの給湯利用もその一部をなす。しかし、政策的な支援も乏しく発展性がみられない。その原因のひとつに、実生活における正確な省エネルギー評価がなされていないこと、従って投資に対する経済的な見返りも曖昧なこと、が考えられる。

本稿の目的は、実生活での給湯用途において利用し得る太陽エネルギーを、6年間にわたり筆者の自宅「再生エコハウス」で実測したデータにもとづき評価し、今後の太陽熱利用の進展に役立ててもらうことである。

計測対象は、給湯用総熱量（カラン給湯及び浴槽自動湯張り・追い焚き）のうち①太陽の寄与分と②都市ガスの寄与分、③温水暖房用熱量及び④ガス消費量である。併せて、生活パターンと給湯負荷との関連を考察するため、浴槽に湯張りする入浴回数、居住人数等を記録した。

¹ 普及率は1999年調査で11.5%だったが、2004年には9.1%に2割も下落している。（総務省、消費実態調査）

2. 設備の概要

計測の対象とした設備の概要を表1に、太陽熱温水器の外観を図1に、熱量計の設置状態を図2に示す。また、関連設備、配管経路、熱量計の位置等は図3のとおりである。



図1 太陽熱温水器

表1 設備概要

<p>所在地：奈良市学園朝日町（再生エコハウス=筆者自宅）</p> <p>居住人数：3名、2004年4月より2名</p> <p>住宅：RC造一戸建（1972年新築、1999年改修）</p> <p>温水器：日本電気硝子（NEG）社「サンファミリー」UK-20（貯湯槽を兼ねる汲み置き式真空管温水器、容量160ℓ、設置角度：水平に対し約27°、南南東向、温水器内の水温は室内モニターで確認可能）</p> <p>熱源機：都市ガス給湯暖房熱源機（大阪ガス、エクスプロールオート135-6006、以下単に熱源機という）</p> <p>ミキシング装置：NEGの配管ユニット（圧力調整を兼ねる）</p> <p>熱量計：愛知時計電機、EHSB013P（M1、M3～M7）及びEHDYH20P/EC28（M2）</p> <p>回路等：給湯回路は温水器直結で供給するものと熱源機で加熱するものの二つある。温水器の湯温を室内モニターで判断し手動三方弁で切り替える。水は水道水圧で貯湯槽を兼ねた温水器に入り、太陽熱で昇温される。60℃を超える場合は配管ユニットで水を混ぜて60℃に調整される。（図2）</p> <p>給湯箇所：台所流し、食器洗浄機、浴室、洗面、洗濯機</p>
--

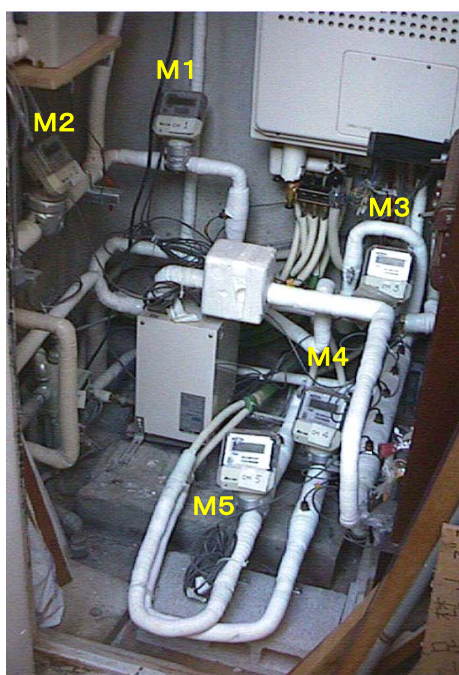


図2 熱量計（1～5）の設置状態

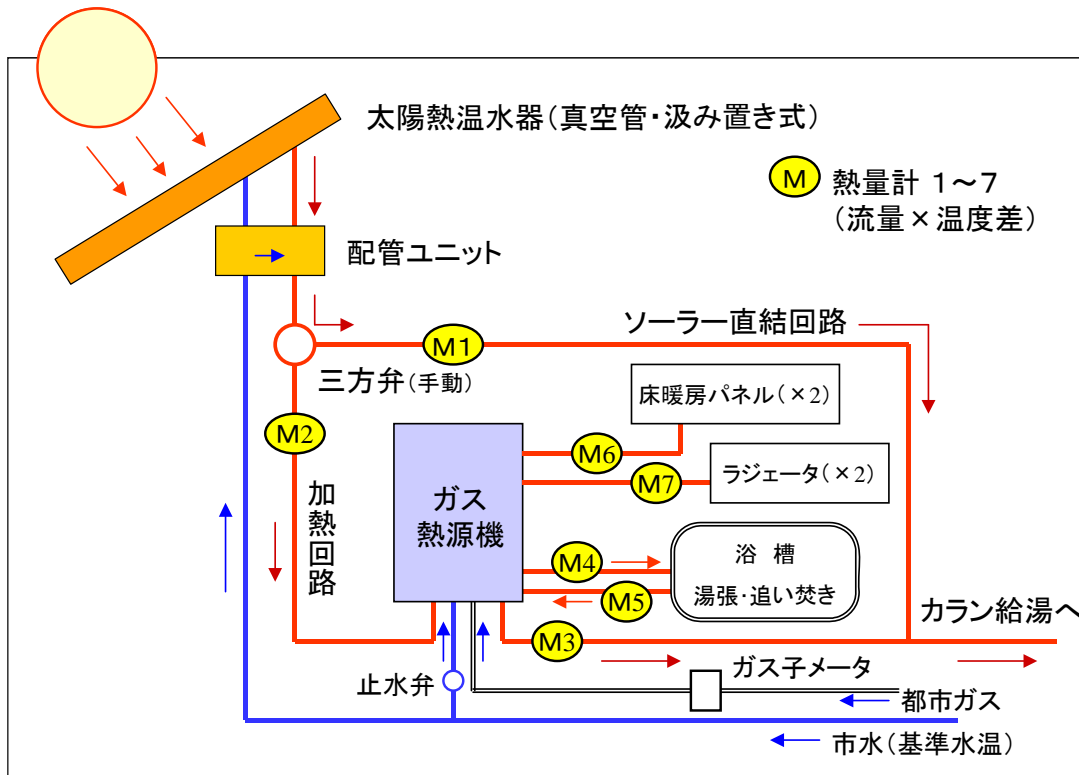


図3 太陽熱利用給湯システム概念図

3. 測定の内容・方法

3-1 測定の期間

温水器を設置したのは住宅改修と同じ1999年11月である。測定開始は2001年4月で、07年3月までの6年分を評価の対象とした。

3-2 測定装置及び計量データ

図、表及び本文中のM1～M7は熱量計の番号で、文中ではその表示値(Mj)を示す。これら熱量計及びガス子メーターを図2の通り設置し、月末日の就寝前に目視で表示値を読み取り、前月値との差を得る。これによって太陽熱及びガスエネルギーの寄与熱量、その他を算出する。毎月の太陽及びガス燃焼による給湯熱量算定は以下による。

表2 熱量計の記号及び役割

(1) 太陽熱による給湯熱量：M1の前月末値との差+M2の前月末との差

(2) 都市ガスによる給湯熱量：M3-M2+M4-M5 (いずれもメーター表示値と前月末値との差)

ガス消費量は温水暖房用を含むため、給湯に要した分は、熱源機が消費した総量から暖房用を差し引いて算出する。熱効率は給湯と暖房で同じと見なす。

M1	太陽熱温水器からカラン（水栓）への直結回路の熱量
M2	熱源機を経由する太陽熱による湯の熱量
M3	熱源機を経由し給湯カランへ流れる湯の熱量
M4	自動湯張り・追い焚きの熱量（往き）
M5	追い焚きの戻り熱量
(M1～M5の基準水温は、熱源機へ入る水道水)	
M6, M7	暖房回路（往き・戻りの熱量差、給湯回路からは独立し、ガス消費量を按分するため計量）

4. 測定結果と考察

4-1 5年間の利用熱量

2001年度から2006年度の6年間に給湯目的に利用した太陽熱量及び都市ガスによって加熱した給湯用熱量は表3のとおりである。毎年の給湯熱量をグラフ化したものを図4に示す。

表3 太陽及び都市ガスの給湯熱への寄与量（年度・単位Mj）

	2001年度		2002年度		2003年度		2004年度		2005年度		2006年度		02～06平均	
	太陽	ガス	太陽	ガス	太陽	ガス	太陽	ガス	太陽	ガス	太陽	ガス	太陽	ガス
4月	433	458	498	276	439	221	498	53	554	68	428	210	483.4	165.6
5月	429	220	460	153	524	128	393	84	551	65	491	42	483.8	94.4
6月	335	106	429	85	399	97	364	30	393	15	339	17	384.8	48.8
7月	357	3	344	28	308	21	295	0	187	8	230	26	272.8	16.6
8月	277	40	284	0	340	6	347	0	206	0	236	0	282.6	1.2
9月	394	196	261	25	319	16	221	5	289	2	333	29	284.6	15.4
10月	386	377	348	168	392	171	346	117	300	55	398	34	356.8	109.0
11月	340	575	278	361	258	298	325	153	370	107	300	125	306.2	208.8
12月	297	708	264	472	284	303	289	267	335	345	265	268	287.4	331.0
1月	300	746	288	509	342	350	270	374	312	344	339	266	310.2	368.6
2月	337	417	323	333	341	148	285	243	256	150	383	212	317.6	217.2
3月	501	360	433	282	535	201	404	163	473	251	502	95	469.4	198.4
合計	4386	4206	4210	2692	4481	1960	4037	1489	4226	1410	4244	1324	4239.6	1775.0
	8592		6902		6441		5526		5636		5568		6014.6	
寄与率	51.0%	49.0%	61.0%	39.0%	69.6%	30.4%	73.1%	26.9%	75.0%	25.0%	76.2%	23.8%	70.5%	29.5%

太陽熱の利用量は、概ね4000ないし4500Mjであった。初期の利用状況に比べ、年を追うごとにガス加熱分が減り、太陽熱の利用比率が高まっている。太陽熱の寄与率を見ると、初年度は機器の接続関係に不具合もあって50%強にとどまったが、最終年度には76%に達した。その主な理由は3つある。

- 1) 熱源機の交換：2002年7月、熱源機をミキシング機能内蔵の新機種に交換した。集合住宅コーゼネレーション（熱電併給）用に開発されたもので、一次水に湯が入ったとき合理的に対応するロジックを備え、太陽熱をより有効に利用できる。
- 2) 給湯配管類の断熱強化：2002年11月、熱源機のヘッダー周り、熱量計、配管ユニット等に断熱材を付加することによって、熱ロスを減らした。
- 3) 居住人数の減少：3人だった家族が2004年度以降2人になった。給湯需要が減少した結果、優先的に利用する太陽熱の比率が高まった。

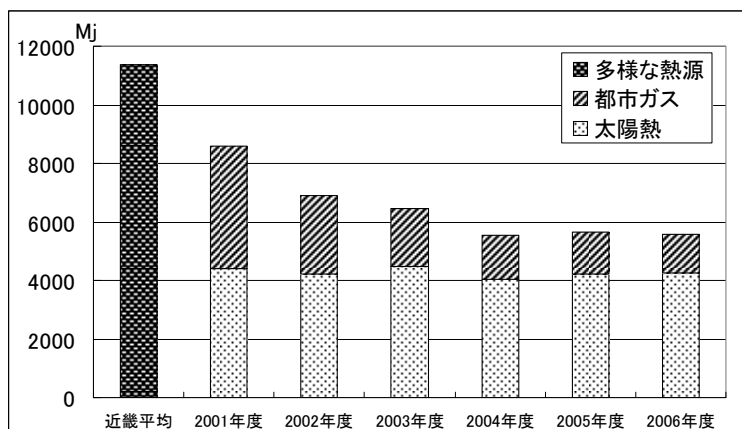


図4 給湯熱量及び内訳の経年変化

4-2 1年間の利用の状況

順調な太陽熱利用が可能になった2002年度から2006年度までの5年間に於ける月別の平均給湯熱量を図5に示す。

冬期に給湯需要が大きいのは気温・水温が低いので当然だが、夏期の需要が半減するのは、水温の上昇に加えて浴槽に湯を張らずシャワーだけで済ませることが多いからと見られる。夏期は太陽熱による湯が余ることが多く、殆ど全ての熱量を太陽が供給する。冬期でも4割程度は太陽熱が貢献している。

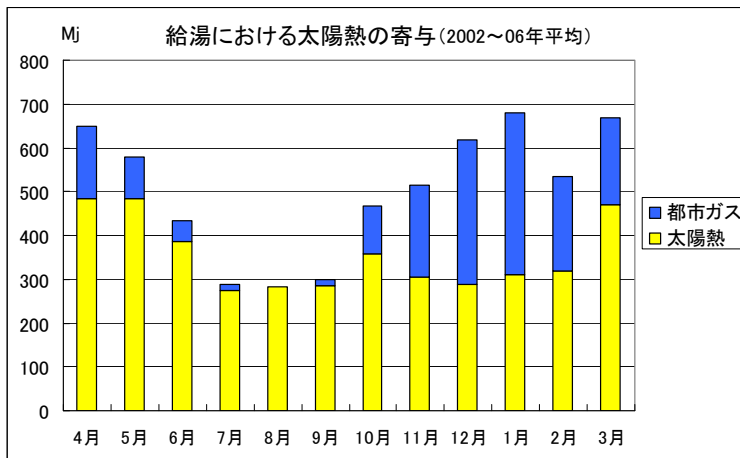


図5 2002～2006年度、月別平均給湯熱量

2月分の給湯熱量が目立って少ないのは、1ヶ月の日数が2～3日少ないのに加えて、5年のうち2回は、旅行等で不在の又は居住人数が少ない期間があったためと見られる。

5. 太陽熱利用と生活スタイル

給湯目的に太陽熱を効率的に利用しようとする場合、通常のシステムと比べ、使い方の工夫が必要である。まず、太陽熱利用を最大化するには、出来る限り熱源機を通さない「直結回路」で使うことが効果的である。台所での食器の手洗いなど低目の湯温で支障なければ、加熱せずそのまま利用している。

熱源機経由で生じるエネルギーロス、一次水温が設定温度より高く着火しない場合に熱源機内の放熱で生じる、また、一次水が設定温度以下であっても、その差が10℃以内の場合に水を混ぜ設定温度マイナス10℃に落としてから設定温度まで昇温させるので有効利用が損なわれる。

次に、太陽熱の有効利用には温水利用と生活スタイルの調和が必要である。具体的には、なるべく温水器の湯温が下がる前に入浴するように自然のリズムに生活時間を合わせることである。さらに温水器の湯温があまり高くならなかった日は、浴槽に湯張りをせずシャワーだけで済ませることもある。天候に合わせて生活パターンを変えることは一般的でないかも知れないが、自然環境と調和して生きることは、このような視点や行為が含まれて当然であろう。

6. 環境負荷削減効果

太陽熱の寄与率は6年間の平均で約65%、最高は76%となった。環境負荷削減効果を都市ガスの消費熱量 (Mj) 及び二酸化炭素排出量 (kg-CO₂) の差で推定する。環境負荷削減に関する評価の対象は、安定した運転となった2002年度から2005年度の4年間の平均値とする。

前提となる数値は、太陽熱寄与量及びガス加熱量の数値を表3から読み取り、近畿の平均給湯エネルギー

ギー消費量を 16325Mj/年・世帯²、近畿の給湯による CO2 排出量を 255kg-C/年・世帯³、都市ガスの二酸化炭素排出量原単位：0.0509kg-CO2/Mj⁴、を採用し評価する。

6-1 太陽熱獲得量を都市ガスに置き換えた比較

太陽熱獲得熱量は合計で 16,954Mj であった。熱源機単体の熱効率率は本来 80%程度であるが、システムの実効率を 70%と想定し都市ガスの節約量を推定すると、 $16954/0.7=24220\text{Mj}$ (6055Mj/年)。これを近畿圏の平均給湯エネルギー消費量 16325Mj/年と比較すると、 $6055/16325=0.2596\rightarrow 37.1\%$ に相当し、4割近くが節減されたことになる。

上記を二酸化炭素排出量に換算すると、 $16954\times 0.0509\text{kg-CO}_2=1233\text{kg-CO}_2/4\text{年}$ 、1年当たり 308kg の CO2 排出が抑制されたことになる。近畿の一般的な家庭の排出量⁵ (255kg-C=935kg-CO2) の 32.9%に相当する。熱量と二酸化炭素による評価による差は、統計年の違い及び給湯用エネルギー源の構成にあると見られる。なお、節減された都市ガスの推定量は $16954/0.7/45=538.2$ (m³) で、年平均約 135m³ である。

6-2 平均的な給湯用ガス消費量に対する実消費量の比較

実際に消費されたガスの量を、上記と同様、近畿の平均的給湯エネルギー消費量を 16325Mj/年と比較する。再生エコハウスでガスが加熱した給湯熱量は 4年間で 7551Mj、本加熱システムの実熱効率 60%で割戻せば、ガス消費熱量は年平均で $7551/4/0.6=2696.8\text{Mj}$ (60m³ に相当) である。従って、給湯用のエネルギー消費熱量は $2696.8/16325=0.165$ で、16.5%に削減されたことになる。

CO2 排出量に換算すれば、 $2696.8\times 0.0509=137\text{kg-CO}_2$ であり、近畿平均に対し 14.7%となる。

なお、近畿の世帯規模は 2.51 人⁶であるが、当該住宅は平均して 2.5 人だったので、一人当たり直してもほぼ同じである。少な目の湯の使い方と太陽熱活用の相乗効果で、給湯ける環境負荷 (消費熱量及び CO2 排出量) が 1/6 程度に削減されたことになり、省エネ型のライフスタイルにおける太陽エネルギーの活用が非常に有効であることを実証している。

6-3 ライフスタイルとの関係

太陽熱獲得量 (節約量) とガス消費量による検討結果の差は、再生エコハウスにおけるライフスタイルが一般的なものと違うことによる。つまり、この住宅では一般的水準に比べ給湯熱量がかなり少ない。夏はシャワーのみで済みますので、浴槽に湯を張る形式の入浴回数は年間に 157 回~175 回。毎日入浴するパターンとは大きくかけ離れている。これを単純に「生活水準の低下、節約・我慢」などと判断するのは短絡的で、住まい手はこのような湯の使い方を含め生活に満足している。消費量を減らしても住まいの満足度が維持されることは、環境負荷低減への不可欠な要素である。

7. 経済性等の評価

7-1 投資回収期間の検討

このケースでは太陽熱温水設備 (熱源機を除く) に投資した金額は約 50 万円であった。都市ガス料金

² 家庭用エネルギー統計 2005、住環境計画研究所

³ 家庭用エネルギーハンドブック 1999、住環境計画研究所

⁴ 大阪ガスの場合

⁵ 家庭用エネルギーハンドブック 1999、住環境計画研究所

⁶ 平成 17 年国勢調査

の従量部分の平均的単価 135 円/m³ 採用し、1 年間の太陽熱獲得量を節約されたであろう都市ガス消費量及び料金に換算すると、6055Mj/45×135 円=18225 となり 2 万円に達しない。この金額を年あたりの投資回収額と見なして投資額 50 万円を割れば約 27 年。金利等を考慮しない単純な投資回収期間でも 30 年近い長期となった。

より多く湯を使う生活をすればこの年数は短縮される方向にある。しかしそれは都市ガスと水の消費量を増やし、環境負荷低減の目的には反するから、良い考えとは言えない。

他の再生可能エネルギーと同様に太陽熱利用の今後の展開・普及にも、経済合理性が不可欠であり、耐久性を備え高効率であることは勿論、安価なシステムの実現が望まれる。

7-2 メーカーカタログ値との乖離

温水器メーカー（日本電気硝子株式会社）のカタログによれば、今回実測したのと同じ真空管式温水器（240ℓ）の省エネ効果は、「都市ガスの場合、年間 CO₂ 削減 904kg」とあった。都市ガス 1Mj 当たりの CO₂ 排出係数を 0.0509（kg-CO₂/Mj）とすれば、節約されるガスの熱量に換算すると 17,760Mj。計測した温水器は 160ℓ なので 2/3 の 11,840Mj となる。さらに、熱源機の実熱効率を 70%とすれば、湯としての節約予想熱量は 8,288Mj に相当する。

実際の生活における獲得実績は 5 年間平均 4240Mj/年で、この集熱器の面積は約 3.3 m² で 1 m² 当たり 1285Mj となり、実際の能力はカタログ値の 1/2 以下にとどまっている。カタログ値は最も有効に熱を取り出し利用できた状態を前提としたものであろうから、これを前提に熱収支や投資効果の試算をすることは誤差が大きく注意を要する。

8. ハイブリッド給湯システムの提案

太陽熱の比率がほぼピークとなった 2005 年度の値を元に温水器+熱源機を一体的なハイブリッドシステムと見なし、熱効率を試算する。利用給湯熱量（分子）を投入熱量（分母）で割ったものが熱効率である。都市ガス燃焼及び太陽熱による獲得熱量はそれぞれ 1410Mj、4226Mj（合計 5636）で、前者を推定熱効率 60%でガス消費熱量に換算すると 2350Mj となり、合計 6576Mj となる。分母となる投入熱量はガスの 2350Mj のみであるから、ガス消費熱量を 100 とすれば、温水としての利用熱量は 240 に相当し、熱効率 240%の給湯システムと見なせる。

これを近年普及が著しい自然冷媒ヒートポンプ（商品名「エコキュート」）の性能と比較する。電力は火力発電所での熱効率に送電ロスを含めて評価すると、消費量の約 2.5 倍の熱量に相当する燃料（一次エネルギー）を消費している。投入熱量 100 とすると消費電力量は 40、公称 COP3.0 がそのとおりの性能を発揮したとして、利用できる熱量は 40×3.0=120（熱効率 120%）である。従って、ここに提案する「ハイブリッド給湯システム」は、自然冷媒ヒートポンプによる給湯システムの 2 倍の性能を持ち得ることになる。この関係を模式的に表現したものが図 6 である。

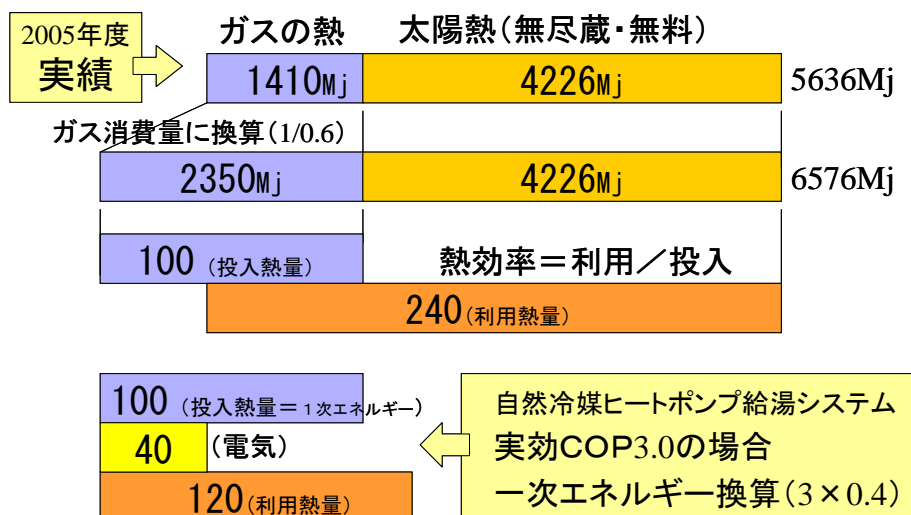


図-6 太陽熱併用のガス給湯システムの熱効率比較

9. 今後の展望と課題

9-1 付随的な省エネ策

今回の計測・評価を通じて給湯システムの実質の熱効率が気になった。潜熱回収型ではない在来型の機器であるから単体の定格熱効率は80%程度である。間歇運転による熱源機内部の放熱ロス、ヘッダー等配管からのロスなどがあってもシステムとしての熱効率70%程度は期待していた。しかし、結果的には予想に反して60%前後であった。その理由としては、上記に加えて以下のことが考えられる。

- (1) 浴槽湯張りなど長時間大量給湯（定格運転）の状況が少ない。
- (2) 一次水の温度が比較的高く、必然的に熱効率が低下する。
- (3) 湯が通過するだけの（点火しない）運転モードもあり、この場合は熱源機が単なる放熱器になる。
- (4) 熱量計及び延長された配管からの熱ロスが生じる。

この「60%」という数値には暖房回路の熱効率を含む平均効率であることが影響していると考えたが、非暖房期間の給湯のみの数値もあまり変わらなかったため、その影響は無視できる。

給湯システムの省エネルギーには、熱源機単体の熱効率に関心が集まるが、さらなる省エネ推進には、ヘッダー、配管・カラン、浴槽等からの熱ロス、熱源機と利用箇所の距離、間歇運転による温度低下、ポンプ動力、さらには待機電力などを含め、全体としての省エネ対策が必要と見られる。

9-2 太陽熱併用給湯システムの開発

このように太陽熱を併用したガス給湯システムは、上手に使いえば240%という非常に高い熱効率を発揮し得る。これは環境負荷を大幅に低減する有効な手段である。しかし、投資効果はそれほど魅力的ではない。これほどの効率は得られなくとも手ごろな価格で効用が明らかな設備システムがあれば、普及するのではないだろうか。

普及を阻害しているもうひとつの要因に、美観ないし建築との馴染の問題がある。最も普及している集熱板と貯湯槽が一体となった汲み置き式温水器はお世辞にも美しいとは言えず、建築設計の立場からは格好悪いと見なされる。

ほどほどの性能、気軽に購入できる安さ、そして太陽熱温水器がついていることを自慢できるくらい

の美しさ、その三点が揃った太陽熱併用（ハイブリッド）給湯システムが早期に開発されることを切に期待する。補助熱源の可能性は都市ガスに限らず、バイオマス、電気ヒートポンプ、灯油などにも開かれている。

9-3 地球温暖化防止は焦眉の急

2008年11月に環境省が発表した速報値によれば、2007年度の我国における温室効果ガスの排出量は、1990年に比べ8.7%増となった。京都議定書で日本が約束した温室効果ガスの排出量削減の目標達成（1990年に対し6%削減）は、極めて厳しい。特に家庭部門の伸びが著しく、家庭用エネルギーの中で給湯は最大用途の一つである。

温暖化の進展を停止させるため、2050年時点で世界が達成すべきCO₂排出量削減率は、目標水準によって異なるが、2000年比で30%ないし85%とされる⁷。これ程の水準を実現するには、太陽エネルギーの力を借りることが不可欠であり、今回の提案はこの方向に沿うものである。

その普及には、当のエネルギー事業者がビジネスモデルの見直しをする必要も生じる。環境問題が重大と分かっているにもかかわらず、現在はおお「電力やガスの販売量を伸ばしたい」という強い動機が働いている状況にある。エネルギー量の供給を「サービスの提供」に置きなおし、収益を上げながら継続的に環境負荷を総量として減らして行かざるを得ないしくみが必要となる。

市民・生活者の立場からは、経済合理性とともに分散型のエネルギー源を持つことの安心や付加価値を見出せるしくみが欲しい。同時に、自然の恵みを活かすことで省エネと賢いエネルギー選択が進展するはずである。個人的な感覚であるが、再生可能エネルギーを利用することから多くのことを感じられる。季節と自然の力の実感、自然の恵みに感謝する気持、浪費しないことの爽やかさ、未来の子たちを思う心などである。この感覚をより多くの人と共有したい。

これら両方のアプローチにより、企業と生活者がともに環境負荷低減と生活満足の両立を目指さない限り、残念ながら人類文明に持続的な未来は開かれないだろう。



本稿は大阪ガス（株）エネルギー・文化研究所発行CEL79号（2007.1）に掲載した筆者の記事「あり余る太陽熱で湯を沸かす」をもとに一部加筆・修正したものである。なお、ここで評価した真空管式温水器は既に販売中止となっている。

⁷ 環境省「STOP THE 温暖化2008」より、CO₂濃度を350ppm～440ppmに抑えるシナリオ（区分ⅠとⅡ）。世界平均気温の上昇は2.0℃～2.8℃。