

太陽熱温水器の実測評価と活用提案

濱 恵介

大阪ガス株式会社

エネルギー・文化研究所 研究主幹

1. 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、土管を積み上げた用済みの高置水槽の上に載っていた。朝、井戸水をポンプで加圧する自家水道からゴムホースで注水し膨らませ、定量に溜まると水が溢れ出すので、そこで止める。夕方に温まった水(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、断熱もないから冬季には使い物にならなかったかも知れないが、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、実生活において給湯用途に利用した太陽エネルギーを、6年間にわたり筆者の自宅「再生エコハウス」²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ることである。

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)のうち太陽の寄与分と補助燃料=都市ガスの寄与分、温水暖房用熱量及び都市ガス消費量である。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。

2. 設備の概要

計測の対象とした設備の概要を表1、太陽熱温水器の外観を図1に示す。また、配管経路及び計測器の配置からなる給湯システムの概念図は図2のとおりである。但し、本来の「自動湯張りモード」では追い焚き用の温水管(2本)の両方を用いて給湯するが、計測目的のため、これらを往復それぞれの専用とするため、片方に逆止弁を設けている。



図1 太陽熱温水器

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。(総理府、消費実態調査)

² 1972年建築の鉄筋コンクリート造住宅を1999年に省エネ・エコ住宅に改修して居住中。

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：鉄筋コンクリート造一戸建（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、エクスプリオールオート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）および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系統ある。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>

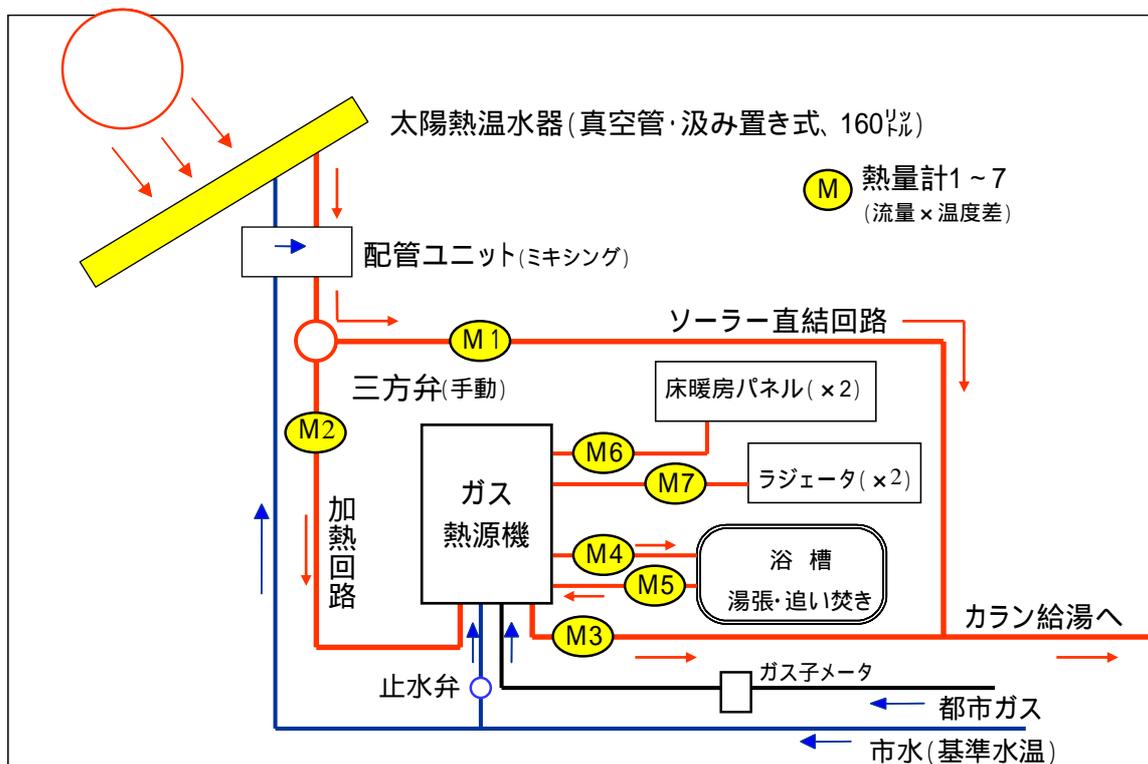


図2 太陽熱利用給湯システム概念図

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、2007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2、表2および本文中のM1～M7は熱量計の番号で、その表示値(Mj)を引用する。

これら熱量計およびガス子メータを図2のとおり設置し、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およびガスエネルギーの寄与熱量、その他を算出する。毎月の太陽およびガス燃焼による給湯熱量は、表2に示す各熱量計の役割により算定される。

表2 熱量計の記号および役割

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（行き）
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（行き・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）

太陽熱による給湯熱量は、M1の前月末値との差 + M2の前月末値との差で求められる。一方、都市ガスによる給湯熱量は、M3 - M2 + M4 - M5（いずれもメータ表示値と前月末値との差）で求められる。

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。理由は後述するが、熱効率は給湯と暖房で同じと見なす。

4. 測定結果と考察

4.1 6年間の利用熱量

2001年度から2006年度にわたる6年間に給湯目的に利用した太陽熱量および都市ガスによって加熱した給湯熱量は表3のとおりである。毎年の給湯熱量および熱源内訳の推移を図3のグラフに示す。

表3 太陽および都市ガスの給湯熱への寄与量の推移

	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												
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4000Mjから4500Mjの範囲であった。初期の利用状況に比べ、年を追うごとに都市ガスによる再加熱分が減り、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%程度にとどまったが、

2005年度には75%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。集合住宅コジェネレーション（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。

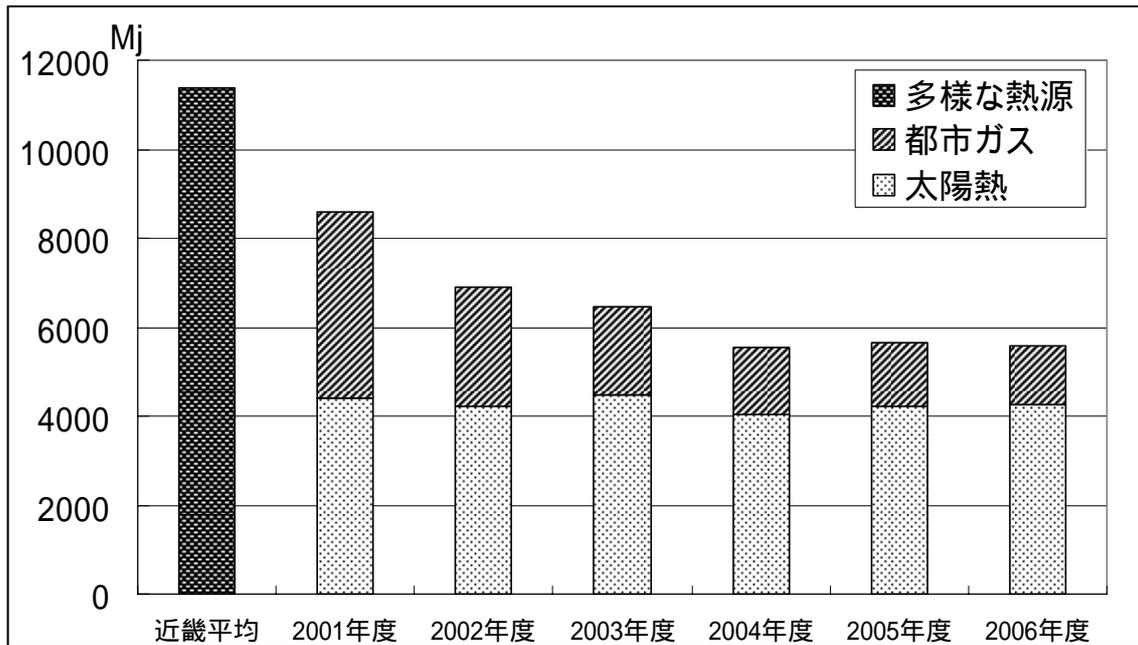


図3 給湯熱量³および熱源内訳の推移

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2年目から6年目に至る5年間の毎月の給湯熱量平均値および推定日射量を図4に示す。

冬期に給湯需要が大きいのには気温・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。夏期は太陽熱の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。

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。

なお推定日射量は、温水器と同じ位置・角度にある太陽光発電モジュールによる発電量（同期の実測）から、対象面積とモジュールの転換効率を介して逆算したものである。

³ 近畿平均は、給湯用途の世帯平均エネルギー消費量（注4）に推定熱効率0.7を乗じた値

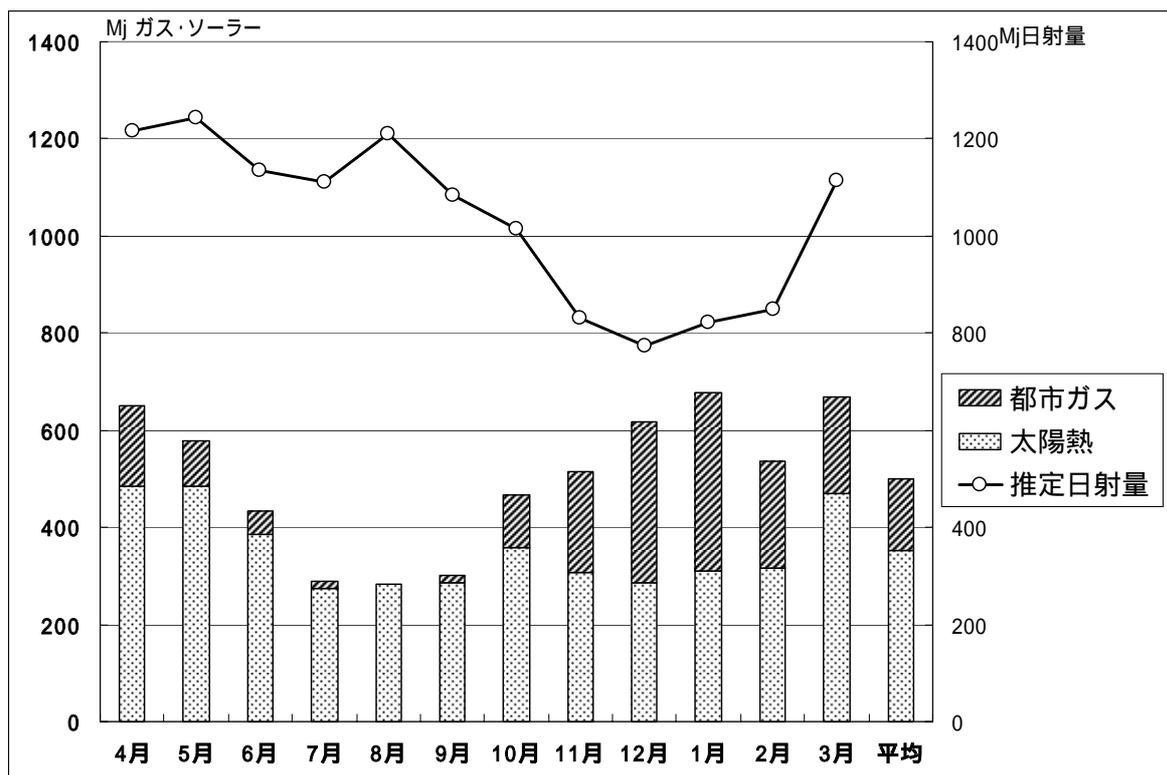


図4 2002～2006年度、月別平均給湯熱量・熱源内訳・推定日射量

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、30 程度でも加熱せずそのまま利用している。このような利用形態の場合、水量を細く絞っても湯が出るので、省エネのみならず節水にも寄与していると考えられる。

熱源機経由で生じるエネルギーロスは、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から10 低い温度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傾向にある。

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には、このような視点や行為が含まれて当然と考える。

6 . 環境負荷削減効果

評価の対象は、安定した運転となった2002年度以降の5年間の平均値とする。この期間の太陽熱の有効利用熱量は年間平均で4240Mjであった。同じく太陽熱の寄与率は、年間平均で70.5%、最高は76.2%となった。太陽熱温水器の活用による環境負荷削減効果を、

都市ガスの消費熱量（Mj）および二酸化炭素排出量（kg-CO2）で推定する。

評価する主な数値は、表3にある太陽熱寄与量およびガス加熱による給湯熱量であるが、比較の基準は、以下のとおりとする。

- 1) 近畿の平均給湯エネルギー消費量を 16,248Mj/年・世帯⁴
- 2) 近畿の給湯によるCO2排出量を 927kg-CO2/年・世帯⁵
- 3) 都市ガスの単位熱量当たり二酸化炭素排出量原単位：0.0509kg-CO2/Mj⁶

6.1 太陽熱利用量を都市ガスに置き換えた比較

太陽熱の有効利用熱量 4240Mj を都市ガスの節約量と見なす。通常の熱源機単体の熱効率は定格で 80%程度であるが、実際の生活における効率を 70%と想定し都市ガスの節約量を推定すると、 $4,240/0.7 = 6,057\text{Mj/年}$ となる。これを近畿圏の平均給湯エネルギー消費量 16,248Mj/年と比較すると、 $6,057/16,248 = 0.373$ で、約 37%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、 $6,057 \times 0.0509\text{kg-CO}_2 = 308.3\text{kg-CO}_2$ 、1年当たり 300kg 以上の CO2 排出が抑制されたことになる。近畿の一般的な家庭における給湯用途からの排出量の約 33.3%に相当する。熱量と二酸化炭素による評価による差は、主として給湯用エネルギー源の構成にある。なお、1年間に節減された都市ガスの推定量は $6057/45 = 134.6$ となり、約 135 m³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

一方、燃料の消費量や給湯需要量を考慮すると、全く異なる削減効果が見えてくる。つまり、お湯の消費総量の減少を加味すれば、環境負荷の低減が格段に大きくなる。

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 16,248Mj/年と比較する。再生エコハウスの熱源機が消費した都市ガス量は表4のとおりである。これを給湯と温水暖房の利用熱量で比例按分すると、給湯用途のガス消費量は年平均で 63.9m³と推定される。従って、給湯用のエネルギー消費熱量は $63.9 \times 45 = 2,876\text{Mj}$ となる。 $2,876/16,325 = 0.176$ (17.6%) で、8割以上の削減となっている。

表4 熱源機によるガス消費量の給湯・暖房内訳

年度	2002	2003	2004	2005	2006	平均
ガス消費量 (m ³)	328	229	181	126	85	189.8
給湯熱量 (Mj)	2692	1960	1489	1410	1324	1775.0
暖房熱量 (Mj)	6862	4234	3489	1990	998	3514.6
給湯ガス量 (m ³)	92.4	72.5	54.1	52.3	48.5	63.9

CO2 排出量に換算すれば、ガス消費熱量 $2,876 \times 0.0509 = 146.3\text{kg-CO}_2$ で、近畿平均 (927 kg-CO2) に対し 15.8%に相当し、約 84%の削減と言える。

なお、当該住宅は平均して 2.5 人だったのに対し、採用した消費エネルギー原単位の前提となる世帯規模は単身世帯等を除き 3 人強と考えられ、1人当たりの場合はその分を補正する必要がある。そのことを考慮しても、少な目の湯の使い方と太陽熱活用の相乗効果

⁴ 家庭用エネルギー統計年報 2005、住環境計画研究所

⁵ 同上、給湯用エネルギー種別から推定

⁶ 大阪ガス (45Mj/1 m³) の場合

で、給湯における環境負荷（CO2 排出量）が 1 / 5 程度に削減されたことになる。

6.3 ライフスタイルによる省エネ効果

上記の評価に表れているとおり、省エネ型のライフスタイルにおける太陽熱の活用が非常に有効であることが実証された。

太陽熱獲得量（節約量）とガス消費量による評価の差は、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多少違うことに起因する。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。

これらを単純に「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、そのようなライフスタイルを進んで受容することは、環境負荷低減への不可欠な要素である。

7 . 経済性などの評価

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。都市ガス料金の従量部分の平均的単価 135 円/m³を採用し、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、6056.7Mj/45 × 135 = 18,170（円）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 27.5 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もちろん、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（240）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 あたりの 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 160 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 4,240Mj / 年で、実際の出力はカタログ値の 1 / 2 程度にとどまっている。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最高レベルに達した 2005 年度の値をもとに、温水器 + 熱源機を一つのシステムと見なし、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給湯器（商品名「エコキュート」）の性能と比較する。電気は一次エネルギー（発送電ロスを含め消費量の 2.5 倍）に置き換え投入熱量を 100 とする。仮に公称 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 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 倍の性能を持つことになる。

この関係を模式的に表現したものが図 5 である。

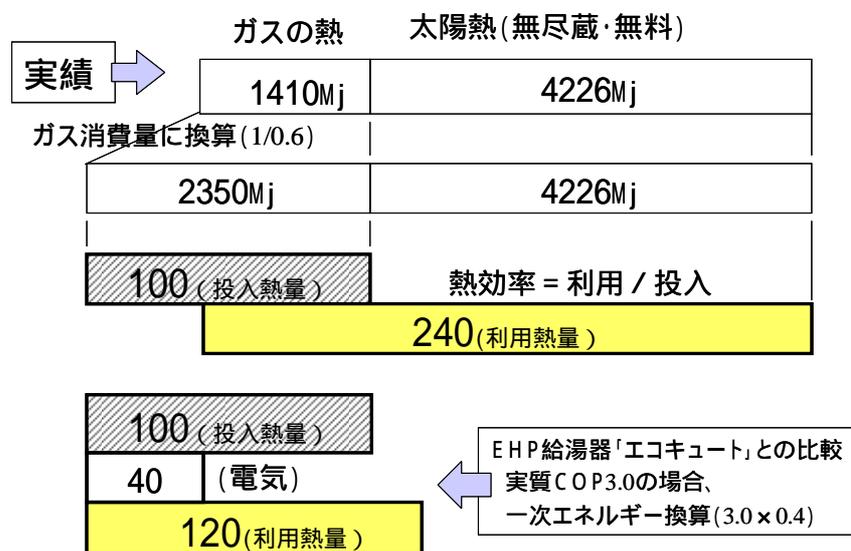


図 5 太陽熱併用のガス給湯システムと「エコキュート」の熱効率比較

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、ポンプなど補機の動力、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、上手に使用すれば実質 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、普及すると見られる。

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みの問題がある。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、建築デザインの立場からは格好悪い邪魔な存在と見なされている。

まとめれば、適度に高い集熱性能、気軽に購入できる価格、堅牢で長寿命、そして建築デザインと調和した形態、という4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が期待される⁷。

補助熱源の可能性は都市ガスに限らず、バイオマス、LPG、灯油などにも開かれ、簡易・安価なことが求められる。電熱器による再加熱も可能だが、電気という最高品質のエネルギー源を直接熱に戻すのは本来目的に反する。

9.3 地球温暖化防止は焦眉の急

2006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6.4%増⁸となっている。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、京都メカニズムを活用しても極めて厳しい。特に家庭部門の伸びが著しく、家庭用エネルギーの中で最大の用途は給湯である。

温暖化の進行を停止させるため、長期的に達成すべきCO₂排出量削減率は、75%とも82%とも言われる⁹。これ程の水準を実現するには、再生可能エネルギー（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、エネルギー供給事業者が現行のビジネスモデルを見直す必要も生じる。環境問題が重大とわかっているにもかかわらず、現在はまだ「電気又はガスのシェアを確保したい、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。「エネルギーの供給」を「サービスの提供」に置き換え、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制度的な仕組みが必要となろう。本題に関して言えば、エネルギー源は何であれ、お湯が利用できることが本質的な目的であり、それに伴う環境負荷を最小限にする努力を惜しむべきでない。

消費者・生活者に対しては、経済合理性を求めつつも、分散型のエネルギー源を持つことの安心感や満足感などの価値を見出してもらいたい。個人的な感覚であるが、太陽エネ

⁷ この報告で給湯熱量を測定した温水器「サンファミリー」は、既に製造が中止されている。

⁸ 環境省データ（速報値）。

⁹ 環境省「STOP THE温暖化 2005」より、CO₂濃度を550ppm、450ppmに抑えるシナリオ。それぞれ平均3.5、2.5の気温上昇。

ルギーを利用することから多くのことが感じられる。季節と自然の力の実感、自然の恵みに感謝する気持ち、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。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ことを期待する。

これら双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可能な未来の扉は開かれないだろう。給湯における太陽熱の積極利用はその鍵のひとつと信じる。

NTS「太陽エネルギー有効利用最前線」第4編 第2章の3 080624