

家庭部門エネルギー需要削減効果に与える 太陽光発電および太陽熱温水器設置面積の影響

The Effect of Configuration of Hybrid Solar Energy System on Reduction of Energy Demand for Household

大藏将史*・森俊介*・大塚薫**

Masashi Ohkura Shunsuke Mori Kaoru Otsuka

(原稿受付日 2009 年 5 月 12 日, 受理日 2009 年 12 月 9 日)

Solar energy such as photovoltaic or solar heat is promising technology for reducing CO2 emission. Solar electricity and solar heat are collected in daytime but thermal energy can be conserved easily. This paper describes about energy saving potential of hybrid solar system, which consist of photovoltaic and solar water heater. In this study, we investigated the effect of surface area of solar water heater and photovoltaic at canonical or cold climate area. The simulation results showed us that the 1:0 or 3:2 of surface area ratio of photovoltaic and solar water heater have almost same energy saving effect. The reduction rate of energy demand was 30.4% and 28.9% in the case of 1:0 and 3:2 of surface area ratio respectively. In the canonical climate area, solar water heater can reduce the energy demand for room heating and hot water supply. However, larger surface area of solar water heater brings excess heat supply in the mid or summer season. Therefore, the contribution of solar water heater becomes relatively small compared to photovoltaic. In the cold area, the contribution of solar water heater decreased due to attrition of solar irradiation in the winter season.

1. はじめに

地球温暖化の抑制が世界規模で求められる中、我々の日常生活におけるエネルギー消費抑制も必須である。生活、すなわち家庭部門において消費されるエネルギーの割合は 2007 年度で 15.1%に達し、1995 年以降ほとんど減少していない。一方で家庭部門からの電力按分を含めた二酸化炭素排出量は 1990 年度比で約 1.4 倍に増加している¹⁾。これは電力起源の CO2 排出量が多く、発電構成を含めたエネルギー供給源の検討が必要であることを示唆する。暖房、冷房の設定温度を外気温度に近づけることは省エネルギーの面では有効であるものの、必ずしも快適で生産性を高める環境を確保するものではない²⁾。従って快適性を確保しつつエネルギー消費を抑制するには建物の断熱化や高効率の機器の導入が必要であり、さらに CO2 排出を抑制するには自然エネルギーなど、排出量の少ないエネルギー源の導入が不可欠である。

自然エネルギーの導入について、太陽エネルギーの利用は古くから行われてきた。太陽エネルギーの利用形態は電力に変換する太陽光発電と温水もしくは温風の形で熱エネルギーに変換する集熱に大別される。太陽光発電は利便性の高い電気エネルギーが得られ、現在高効率化の研究が進められると共に普及促進のための施策が計画されている³⁾。一方で、家庭部門における太陽熱温水器によるエネルギー

供給は 1990 年にピークを迎えた以降減少しており、2007 年ではピーク時の約半分に減少し、2007 年度の構成比は 1%程度である。これは用途が主に給湯に限られているためと考えられる。しかしながら、太陽熱温水器のエネルギー変換効率率は太陽光発電に比べて高い。また給湯や暖房需要によるエネルギー消費は北海道、東北などの寒冷地で大きな割合を占める。特に寒冷地では灯油の使用量が多く⁴⁾、これを太陽熱で代替することは CO2 排出削減に効果があると考えられる。そこで本研究では太陽光発電、太陽熱集熱の併用によるエネルギー供給を検討し、その電力需要削減効果について検討する。

太陽光発電と集熱システムの併用について、Mei ら⁵⁾は換気型太陽電池モジュールを用いて除湿空調との組み合わせたシステムの性能評価を行った。しかしながら集熱媒体は空気であり、給湯や暖房を想定したものではない。本研究では発電、集熱システムの家庭における使用を想定する。家庭においては太陽光集光設備の設置面積に限りがあり、地域に応じた最適な集光・集熱面積比の検討が必要である。また太陽熱で得られる温水はその温度レベルによりその利用可能性が変化する。そこで太陽熱集熱で得られる温水の温度を考慮し、家庭における電力需要の削減効果に与える発電、集熱面積を検討する。

2. 検討対象とエネルギー需要

本研究では日本の標準的な環境及び寒冷地における最適設備構成を検討する。標準的な環境として東京を、寒冷地における環境として札幌を検討対象とした。各地域の日射

*東京理科大学理工学部経営工学科
〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 番地
e-mail ohkura@rs.noda.tus.ac.jp

**東京理科大学大学院理工学研究科経営工学専攻

量および外気温度は気象庁データベース⁶⁾による2006年の1時間毎の値を用い、さらに直散分離式を用いて斜面日射量に換算した。また、検討する住宅の構造は、宇田川による標準住宅モデルを用いた⁷⁾。本モデルは2階建ての一戸建て構造である。空調対象となる部屋は主寝室、子供部屋(2部屋)、LDKの4部屋であり、床面積の合計は70.94m²である。

エネルギー需要の設定に当たり、1年を冬期(12月から2月)、中間期(3月から5月および9月から11月)、夏期(6月から8月)に3区分した。それぞれの季節の平日、休日に関して電力特定、冷房、暖房、給湯需要を1時間単位で設定した。さらに夏期においては猛暑日とされる最高気温が35°C以上となる日に夏期ピークの需要パターンを設定し、合計、7需要パターンにおいて年間8760時間の検討を行った。中間期においては電力需要、給湯需要のみ発生し、夏期ではそれらに加えて冷房需要が、冬期では暖房需要が発生する。また、札幌では冷房需要は発生しないものとした。冷房、暖房需要の推計には熱負荷シミュレーションソフトSMASHを用いた。給湯需要は生活パターンに応じて温水使用量および水道水温度、使用温水温度を用いて算出した。家族構成は夫婦と子供二人の4人とし、生活スケジュールの作成には空気調和・衛生工学会による生活スケジュール作成ソフトSCHEDULEを用いた。

図1に東京の冬期における電力需要および温水使用量を示す。電力需要は7時に上昇し、日中を通して低下するが夕刻以降では増加する。また、暖房需要は夜間、深夜に多く発生する。一方で給湯に要する熱量は朝の洗顔の時間に集中して発生するほか、夜間に大きな需要を生じる。これは浴槽の湯張りに要する温水使用量が大きいためである。

3. 設備構成

設備構成として太陽光発電パネル、太陽熱温水器の他、ヒートポンプ給湯機、ヒートポンプ空調の利用を想定した。太陽光発電の発電効率は季節によって変動する。各機器のCOPは市販のカタログ値を用いて設定し、季節によって変動するものとした。本研究では電力特定需要、空調需要に加え、給湯需要についてもすべて電力需要に変換される。これは太陽光発電のみをエネルギー供給源とした場合においても有効に電力を用いるためである。太陽光利用機器の設置可能面積は標準住宅の屋根面積より25m²とした。

3.1 太陽光発電

太陽光発電の効率は最大で13.3%とした。また、インバータによる損失を10%とし、さらに発電素子の温度上昇による損失を想定した⁸⁾。従って季節によって太陽光発電の

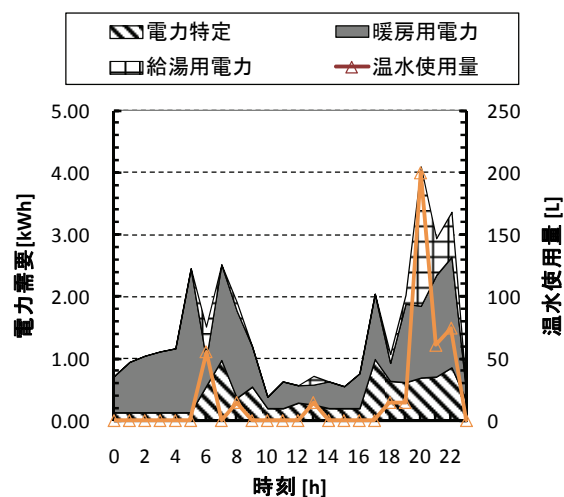


図1. 東京の冬期平日における電力、給湯需要

変換効率は変動する。本研究では蓄電池の使用は想定せず、太陽光発電で発生した電力は電力需要がある場合に消費される。また、本研究では太陽光発電で得られた電力の自家消費を最大化するため、太陽光発電で得られた電力量が需要値以上となる場合、ヒートポンプ給湯機に電力が供給され温水作成に用いられるとした。従ってヒートポンプ給湯器における給湯は、夜間ではなく日中に行われる。ヒートポンプ給湯器のCOPは4.0で一定とした。ヒートポンプ給湯器で得られた温水は容量200Lの貯水タンクに貯湯され、給湯需要に合わせて使用される。この貯水タンクは太陽熱温水器で得られた温水と共用であり、すでに太陽熱温水器で得られた温水で満たされている場合、余剰電力による給湯は行われない。貯水タンクに貯湯される温水の温度は90°Cとした。貯湯タンクの貯水量が200Lに達し、さらに太陽光発電の電力量が需要値以上である場合、太陽光発電で得られた余剰電力は使用されないとした。

3.2 太陽熱集熱

太陽熱エネルギーの利用形態は、一般に100°C以下の温水供給および温風供給に大別される。集熱媒体は水もしくは空気であるが、本研究では給湯需要に太陽熱温水器で得られた温水を用いるとした。エネルギー需要および供給形態を以下に示す。

(1) 中間期、夏期：中間期および夏期における温水流路および設備構成を図2に示す。中間期、夏期では暖房需要が発生せず給湯需要のみとなる。従って太陽熱温水器で得られた温水はすべて給湯用の需要として貯水タンク(容量200L)に貯湯される。貯湯は太陽熱集熱パネルで得られた温水温度が水道水温度よりも高い場合に行われ、貯湯されない場合は太陽熱温水器を循環し、温度は上昇する。これは早朝において温水によるエネルギー消費の削減を目的とするためである。さらに、温水温度が低下すると考えられる冬期において給湯の機会を増やし、エネルギー消費の削

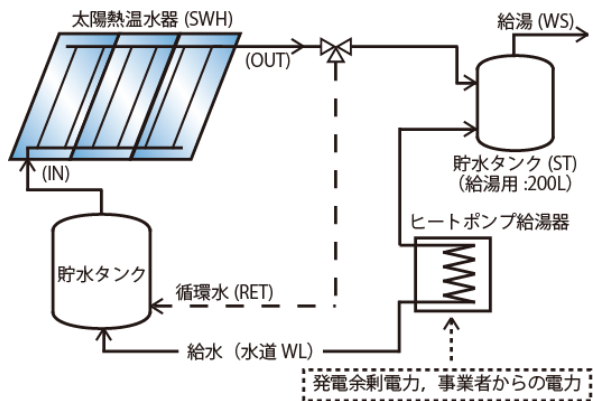


図2. 太陽熱温水器, ヒートポンプ給湯器からの給湯流路 (中間期, 夏期)

減を目的とするためである。また、貯水量が貯水タンク容量に達した場合も循環するものとした。従って、貯水タンクが温水で満たされている場合、ある時間の使用量に等しい容量の温水が貯湯されることになる。一方、貯湯された温水量に等しい量の水が水道から循環水に供給される。従って循環水の総量は一定であるが温度は低下する。

(2) 冬期：冬期における太陽熱温水器からの温水供給経路を図3に示す。冬期では給湯需要に加え暖房需要が発生する。太陽熱温水器から供給される温水は熱交換器および貯湯タンクに供給される。対象室からの還気は加熱器を通過することで温度が上昇し暖房出力が得られる。暖房出力は加熱された空気温度により算出される。従って循環水温度が対象室(室内) 還気温度(設定温度) 以下である場合には熱交換器に温水が供給されず、太陽熱温水器を循環する。ここで、貯水タンクへの貯湯は暖房出力が必要値以上となる場合にのみ行うものとした。この場合、暖房出力が必要と一致するよう加熱器への温水流量が調整される。また、中間期と同様、貯湯した量に等しい量の水が水道から供給されるため循環水の総量は変化しない。

4. 熱エネルギー供給量の算出

4.1 太陽熱供給

本研究では、月に一度水道から太陽熱温水器へ水道水が供給される他、給湯に利用した分を除き温水は太陽熱温水器を循環する。太陽熱温水器へ供給される水道水の温度 θ_{WL} は東京については水道水温度の月別平均値を用い、札幌では期間の平均温度を使用した。太陽熱温水器へ供給される温水温度 $\theta_{IN,SWH}$ は、循環水の戻り温度 θ_{RET} および、貯水タンクに貯湯が行われた場合には水道水温度 θ_{WL} を用いて以下の式(1)で算出される。

$$\theta_{IN,SWH} = m_{RET} / m_{WT} \cdot \theta_{RET} + m_{WL} / m_{WT} \cdot \theta_{WL} \quad (1)$$

ここで、 m は循環水流量、添え字は図2および図3中の位置

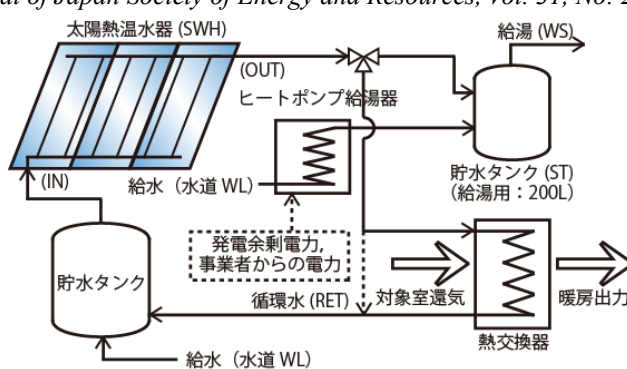


図3. 太陽熱温水器, ヒートポンプ給湯器からの給湯流路および暖房流路 (冬期)

に対応する。添え字 WT は循環水全体を意味する。循環水流量は太陽熱温水器で 10°C の温度上昇を得られることを期待し、集熱面積 1m^2 当たり $0.001\text{m}^3/\text{min}$ とした⁹⁾。

太陽熱温水器で得られる熱量の算出には式(2)で示す集熱効率 η_{SWH} を用いた。これは実証試験¹⁰⁾で得られた値である。太陽熱温水器から供給される温水温度 $\theta_{OUT,SWH}$ は式(3)で算出される。

$$\eta_{SWH} = 0.78 - 3.96 \cdot (\theta_{IN,SWH} - T_{AMB}) / J \quad (2)$$

$$\theta_{OUT,SWH} = \theta_{IN,SWH} + J \cdot \eta_{SWH} \cdot S / W_{WT} \quad (3)$$

ここで、 T_{AMB} は外気温度、 J は日射量、 S は太陽熱温水器集熱面積、 W_{WT} は循環水全体の熱量流量である。また、式(2)中の定数0.78は太陽熱温水器表面の光の透過率および集熱板の熱吸収率の積である最大集熱効率を示し、3.96は集熱器表面の熱貫流率を示す。

4.2 温水供給

給湯需要は年間を通して発生するが、発生する時間帯は限られる。本研究では給湯需要の用途として洗顔、入浴、湯張り(夏期ではシャワー)、炊事の4つを想定した。夏季においては入浴、シャワー以外の給湯需要は発生せず、中間期および冬期ではすべての給湯需要が発生する。貯水タンクからの給湯は給湯需要が発生する時間にのみ行われる。貯水容量は最大で200Lであるため、容量を超える需要が一度に発生した場合、貯水された温水のみを用いることはできず、水道水と混合されて供給されることになる。また、貯水タンクに貯水されていない場合にも水道水が用いられる。温水の加熱に要するエネルギーは以下の式(4)で算出される。

$$Q_{D,WS} = V_D \cdot \rho_{WTR} \cdot c_{WTR} \cdot (\theta_{D,WS} - \theta_{ST}) \quad (4)$$

ここで、 Q は投入熱量、 V は給湯量、 ρ_{WTR} 、 c_{WTR} はそれぞれ水の密度と比熱である。添え字 D は需要値を示す。温水温度、使用量の需要値は用途および季節によって異なる。

また、貯水温度 θ_{ST} が需要値以上である場合、水道水と混合されることで給湯温度は需要値と一致するものとした。従って、貯水タンクから供給される水の量は温度が低い場合に比べて減少する。

4.3 暖房供給

暖房需要は冬期におけるエネルギー消費の大きな要因である。本研究では太陽熱温水器で得られた温水と対象室からの還気を加熱器で熱交換することで暖房出力を得る。対象室の空気温度は暖房の目標温度である 20°C に調整されているものとした。熱交換後の空気温度は加熱器の温度効率 η_H で決定される。 η_H は加熱器の伝熱単位数 NTU および熱交換対象流体、すなわち対象室還気と循環水の熱量流量比 W_{AIR}/W_{WTR} により決定される。本研究では加熱器に伝熱面積 20m^2 の直交型熱交換器を使用すると想定し、文献¹¹⁾をもとに伝熱単位数および熱量流量比から温度効率 η_H を算出した。暖房出力は加熱器における伝熱量に等しいため、式(5)で算出される。

$$HP = \eta_H \cdot W_{AIR} \cdot (\theta_{OUT,SWH} - T_R) \quad (5)$$

ここで、 T_R は対象室還気温度(=20°C)である。暖房の熱源として用いる場合、対象室の暖房設定温度以上の温水温度が得られなければ暖房出力は発生しない。この場合、循環水は太陽熱温水器を循環する。

暖房需要および太陽熱温水器で得られる温水の温度は時刻によって変動する。特に暖房出力が暖房需要以上になる場合には、需要に合わせて暖房出力の調整が必要である。この場合、加熱後の空気温度を低下させ暖房出力を調整した。これには加熱器による伝熱量の調整が必要である。本研究では、加熱器へ流れる温水の流量を調整し、伝熱量を目標値に調整した。

貯水タンクへの貯湯は暖房出力が需要以上である場合に行われる。貯水タンクへの流量 m_{ST} は循環水流量の総量 m_{WT} と加熱器へ供給される温水流量 m_H の差である。また、 m_{ST} が貯水可能容量を超える場合、残りの温水はそのまま太陽熱温水器に戻される。

5. 東京の電力需要削減効果に与える発電・集熱比の影響

5.1 年間電力需要に与える影響

図4に東京における年間電力需要に与える太陽光発電、太陽熱温水器の面積の影響を示す。本研究では、太陽熱温水器の導入による循環水の運搬動力は考慮せず、家庭の生活において発生するエネルギー消費量から年間電力需要を算出した。電力特定、冷房、暖房、給湯需要に消費した電力の年間合計である年間電力需要は、太陽光発電、太陽熱

温水器を導入しない場合で約6800kWhに達した。このうち、給湯に要した電力需要は1130kWhであり全体の16.5%を占める。発電、温水器の導入により給湯を含めた電力需要の30.4%から18.6%を削減可能と算出された。削減量が最も大きいのは太陽熱温水器を導入せず太陽光発電のみを 25m^2 導入した場合であった。この場合電力特定需要および空調需要合計の22.3%を、給湯需要の70.1%を削減可能である。これは電力需要の小さい日に発電された電力量を用いて給湯が行われ、夜間の給湯需要を削減したためであると考えられる。また、季節変動を考慮すると太陽光発電の変換効率は10%程度であるが、ヒートポンプ給湯器の成績係数は4.0である。従って太陽光から温水への変換効率が実質40%程度になることも、太陽光発電によるエネルギー削減効果が高くなった一因である。一方で、太陽熱温水器の導入による年間の電力需要の削減効果は太陽光発電のみを導入した場合に比べて小さくなった。太陽熱温水器によって得られた温水の用途は冬期の暖房および給湯に限られる。従って中間期、夏期の電力需要を削減できないことが年間の電力量を大きく削減できなかった原因である。また、給湯需要の削減率は温水器面積 10m^2 で72.8%、温水器面積を 25m^2 まで増加させた場合では76.1%であり、ほとんど増加しなかった。これは温水器の面積が 10m^2 以上では過剰の熱供給を行っていることを示唆するものである。温水器の面積 5m^2 では給湯需要の削減効果は小さいものとなった。図5に温水器面積 5m^2 における、各用途に対する太陽熱温水器、太陽光発電の寄与率を示す。特に冬期において給湯の寄与率が40%程度であり、さらに暖房では10%に満たない。これは貯水タンクに貯湯された温水温度が低いとめと考えられる。本システムでは貯湯量が貯水タンク容量に達した場合には太陽光発電の余剰電力による給湯を行わない。従って貯水された温水の温度が上昇せず、給湯に要する電力量を削減できなかったと考えられる。集熱面積を増加させることで冬期における寄与率は上昇する。一方で中間期、夏期では温水器による寄与が増加しているが、これは良好な日射条件が得られたこと、さらに水道水の温度が上昇したためである。従って集熱面積 5m^2 における削減効果は、主に中間期と夏期によるものである。

太陽熱温水器の導入による削減効果は太陽光発電のみを導入した場合に比べて減少した。しかしながら太陽熱温水器面積 10m^2 、太陽光発電面積 15m^2 、すなわち集熱、発電面積2:3の場合における年間電力需要削減率は28.9%を示し、太陽光発電のみを導入した場合の削減率である30.3%に近い値を示した。今回の貯湯タンク容量は、太陽熱温水器の集熱面積で変化しない。従って太陽光発電のみを導入した場合のコスト増加¹³⁾、および電力が余剰となる限られ

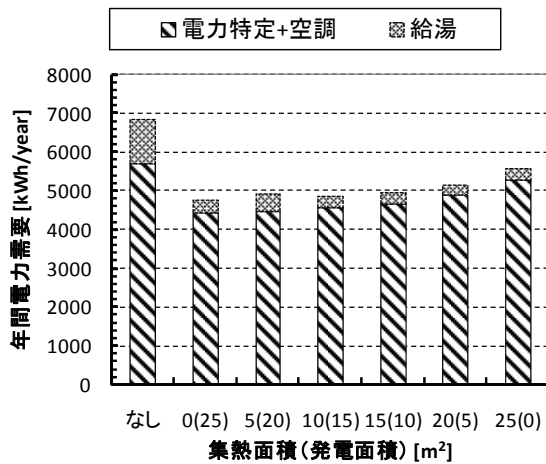


図 4. 年間電力需要に与える発電, 温水器面積の影響

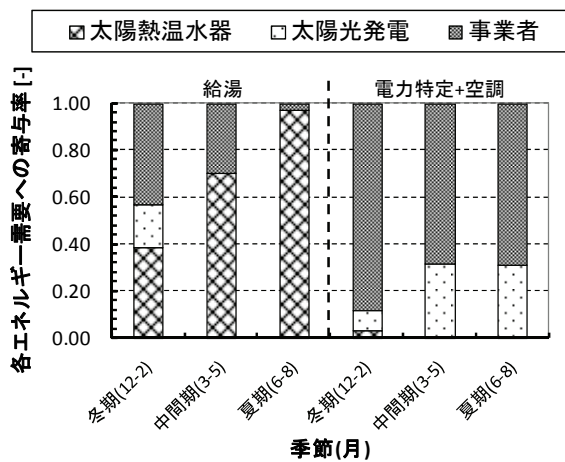


図 5. 各用途に対する太陽熱温水器, 太陽光発電の寄与 (集熱面積: 5m², 発電面積: 20m²)

た時間で大容量の給湯を行うには大容量のヒートポンプ給湯機が必要であることを考えると, 温水を供給可能である太陽熱集熱パネルの導入は効果があると思われる。

5.2 東京の季節別電力需要に与える影響

需要および日射量は常に変動するため, 本システムによるエネルギー削減効果は時刻と共に変動する。図 6 は月別の電力需要に与える太陽光発電面積, 太陽熱温水器面積の影響である。12 月から 2 月の冬期における電力需要は太陽エネルギーを導入しない場合で約 3000kWh であり年間の 44% を占める。これは暖房需要の発生に加え水道水温度が低下することによる給湯需要の増加が原因である。電力需要削減率を比較すると, 太陽光発電を導入せず太陽熱温水器面積を 25m² 導入した場合の削減率は 19.1% となり最も高い値を示した。図 7 は晴天時における発電面積を 25m² とした場合および集熱面積 10m², 発電面積 15m² における電力特定需要, 暖房用電力需要, 発電使用量, 温水温度の日中変化である。ここで, 電力特定需要および暖房用電力需要は積み上げとして示す。発電使用量とは, 需要が発生

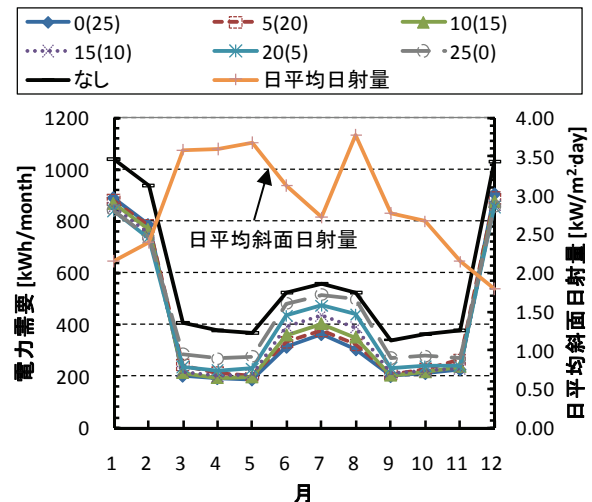


図 6. 月別電力需要に与える発電, 温水器面積の影響

した時間帯において, 太陽光発電で得られた電力が使用された量を示す。(A)は太陽光発電のみを導入した場合,(B)は太陽熱温水器 10m², 太陽光発電 15m²を導入した場合である。従って, 日中においてはいずれの条件においても太陽光発電で得られた電力で供給可能となっている。暖房用電力需要は一日を通して大きな割合を占める。図 7(A), (B)を比較すると, 日射量が得られず温水温度が低い 8 時までは電力需要はいずれの条件でも等しい。これは(B)で示した温水温度が低く, 暖房出力が得られないためである。9 時から 17 時までの日中は安定した日射量が得られる。(A)では発電した電力量で需要に等しい電力量を供給可能である。(B)も同様に需要に等しい電力量を供給可能であるが, その値は(A)に比べて小さい。これは温水器による暖房出力が得られたためである。日射量が得られない 17 時以降では, (B)における暖房用電力需要は(A)と比べて減少した。これは循環水温度 20°C 以上が維持可能であり, 暖房出力が発生するためである。従って 17 時以降も暖房に要する電力需要の削減が可能である。さらに温水器面積を増加させた場合, 高温の温水が貯湯されることで給湯時の温水使用量が減少する。また循環水温度が高温のまま維持され, 夜間の暖房需要に対する削減効果は大きくなる。一方で太陽光発電のみを 25m² 導入した場合では発電時間が日中であり, 余剰電力を用いることで給湯に要する電力需要は削減できたものの, 暖房および電力需要に要した電力に対する削減効果は最も小さくなる。従って冬期においては集熱面積を増加させた場合に削減効果が大きくなる。

3 月から 5 月および 9 月から 11 月の中間期においては給湯需要および電力特定需要が発生する。6 ヶ月の期間全体の電力需要は太陽エネルギーを導入しない場合で約 2200kWh であり冬期よりも小さい。このうち電力特定需要は全体の 73% を占める。電力需要削減率に与える発電, 温

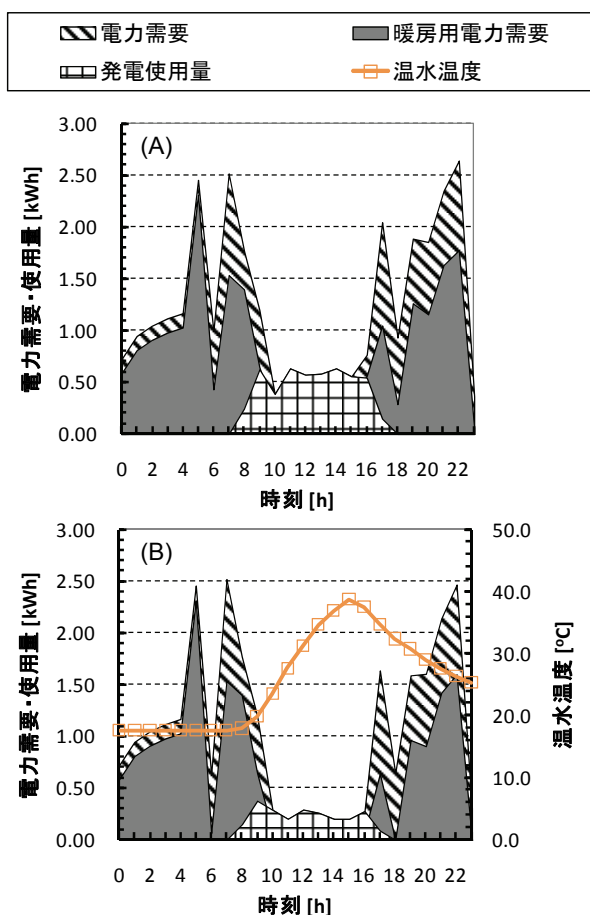


図 7. 電力需要, 暖房用電力需要, 発電使用量, 温水温度の日中変化 (2006年1月24日)
 (A): 集熱面積 0m², 発電面積 25m²
 (B): 集熱面積 10m², 発電面積 15m²

水器面積の影響を検討すると, 削減率が最も高くなるのは太陽光発電のみを 25m² 導入した場合で 45.6% に達した. 次に温水器面積 10m² および発電面積 15m² を導入した場合の削減率が高く, 削減率は太陽光発電のみを導入した場合に近い 43.8% であった. 特に電力特定需要は太陽光発電を 25m² 導入した場合で 1124kWh となり, 約 500kWh の削減効果を得た. 電力特定需要に対する削減効果は発電面積の減少に伴い低下したが, 発電面積 5m² でも約 252kWh の削減効果を得ており発電面積の減少の割合には比例しない. これは発電時間と需要が発生する時間に差によるものである. 中間期では良好な日射条件が得られるために日中の電力需要削減効果に対する太陽光発電の影響が大きくなったと考えられる. また, 給湯需要についても余剰電力量で貯湯したために, 削減効果が得られたと考えられる.

6月から8月の夏期においては水道水温の上昇および給湯用途が入浴(シャワー)に限られるため温水需要は最も小さくなる. 一方で冷房需要の発生によって電力需要は増加する. 期間全体の電力需要は約 1600kWh, 電力特定および冷房による電力需要はその 93% に達した. また, 6月, 7

月の日平均斜面日射量は8月に比べ大きく低下しているがこれは雨期によるものである. 電力需要削減効果に与える発電, 温水器面積の影響は中間期と同様の傾向を示し, 太陽光発電のみを 25m² 導入した場合が最も高く 39.2% を示した. 一方で太陽熱温水器のみを 25m² 導入した場合では 7.1% にとどまった. これは期間の電力需要全体に占める給湯需要の占める割合に等しい. 従って, 給湯需要はほぼすべてを削減できたことになる. また, 中間期とは異なり発電面積の減少と共に削減率は低下し, 温水器面積 10m² および発電面積 15m² の場合における削減率は 31% に低下した. 夏期においては給湯需要が極端に減少すること, 日中に発生する冷房需要を太陽光発電で供給したことがエネルギー削減効果に大きな影響を与えたと言える.

期間全体を通して, 冬期においては給湯需要が増加すること, さらに温水による夜間の暖房供給が可能であることからエネルギー削減効果に与える集熱面積の影響が大きくなった. 逆に夏期においては電力需要, 冷房需要に対する太陽光発電面積の影響が大きい. 中間期では良好な日射条件による電力特定需要の削減効果に加え, 給湯需要の削減効果により, 発電のみ 25m² を導入した場合と温水器面積 10m², 発電面積 15m² の構成で導入した場合で同程度の削減効果が得られた. 年間では図 4 に示すように太陽光発電のみ導入した場合において最も削減効果が高くなったが, これは需要の種別と期間, および日射条件が良好な時期に多くの電力需要が発生するためであると考えられる. さらに余剰となった発電量で給湯を行ったことも太陽光発電の寄与を大きくしたと考えられる. 冬期における日射量は他の期間に比べ低下し, 暖房, 給湯需要に対する削減量が他の期間に比べ減少するために, 太陽熱温水器による影響が小さくなったと考えられる.

6. 札幌の電力需要削減効果に与える発電・集熱比の影響

暖房需要が増加する寒冷地における削減効果を検討するために, 札幌の気象条件において検討を行った. 寒冷地における暖房の使用期間はその他の地域に比べて異なる可能性があるが, 本研究では日射量および気象条件による太陽エネルギー供給量の検討を主目的とするため, また東京の検討結果と比較するために, 季節区分を東京と同じとした. 従って暖房需要は 12 月から 2 月の冬期において発生する.

図 8 に年間電力需要に与える発電, 集熱面積の影響を示す. 東京の場合と同様, 太陽光発電のみを 25m² 導入した場合において削減効果は最も高くなり, 次いで温水器面積 10m², 発電面積 15m² となった. 削減率は発電のみを導入した場合, 電力特定および空調需要の 17.8%, 給湯需要の

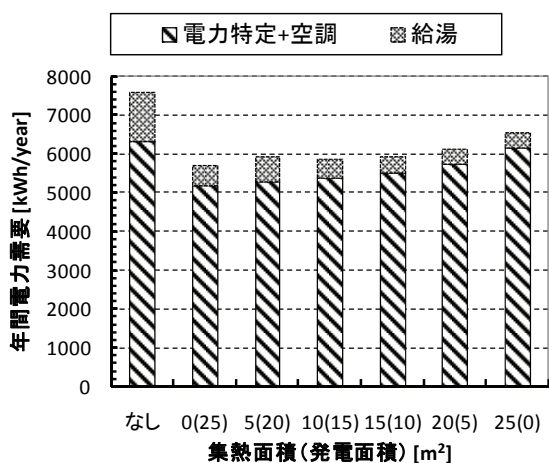


図 8. 年間電力需要に与える発電, 温水器面積の影響 (札幌)

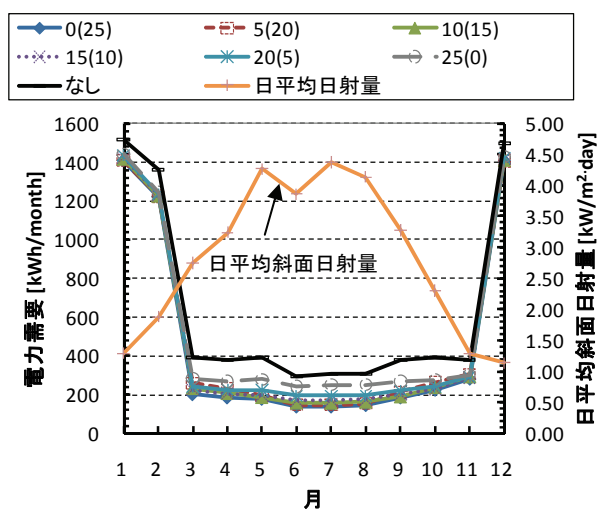


図 9. 月別電力需要に与える発電, 温水器面積の影響 (札幌)

61.0%であった。温水器面積 10m², 発電面積 15m²では電力特定需要および空調需要の 14.8%, 給湯需要の 61.9%を削減可能であり, いずれの条件においても東京よりも小さい値を示した。東京の場合と同様に温水器面積 5m²では 48.5%に大きく低下したが, これは低温の温水が貯湯されたためである。東京の場合と異なり, 温水器面積の増加と共に給湯への削減効果は上昇し, 温水器面積 25m²では 70.1%に達した。いずれにおいても東京における削減率に比べ低いが, これは札幌における水道の温度が東京に比べて低く, 温水供給に要する電力需要が大きいためである。

図 9 は月別の電力需要に与える発電, 集熱面積の影響である。暖房需要の増加により 12 月から 2 月の冬期における電力需要が大きく, 6 月から 8 月の夏期においては冷房需要が発生しないために減少する。12 月から 2 月までの冬期では電力需要の削減効果に与える太陽熱温水器, 太陽光発電の面積の影響はほとんど見られない。この時期における削減率が最も高くなるのは東京の場合と異なり発電のみを導入した場合で 7.9%であった。温水器の導入に伴い削減率は

低下したが, 温水器面積 25m²の条件においても 5.8%であり大きく低下しない。冬期における札幌の 1 日あたりの平均累積日射量は東京に比べて 67.5%まで減少する。また, 外気温度も低いために太陽熱温水器の集熱効率が上昇せず大きな暖房出力が得られなかったと考えられる。さらに給湯できる温水温度も低いために給湯需要の削減効果も小さくなる。一方で太陽光発電による需要は日中を通して発生する暖房需要に主に使われるために発電面積に応じて削減効果が上昇したと考えられる。

中間期, 夏期における削減率は東京と同様の傾向を示した。中間期の削減率は発電面積 25m²で 46.0%と東京とほぼ同じ値を示した。夏期においては 53.3%を示し, 東京よりも高い値を示したが, これは日射量が東京よりも大きいこと, さらに冷房需要が発生せず, 給湯に供給される電力量が増加したためであると考えられる。

7. おわりに

太陽熱集熱器による温水供給, 太陽光発電による電力供給の併用による家庭用エネルギー需要削減効果について検討した。東京においては太陽光発電のみを設置した場合において削減効果は最も高くなったが, 温水器・発電面積比を 2:3 とした場合において発電のみを設置した場合とほぼ同等の削減効果が得られると算出された。温水による暖房供給, 給湯は特に冬期における削減効果が高くなる一方, 夏期においては冷房による電力需要が増加するために小さくなる。札幌では冬期における日射量と外気温度の低下により集熱効率が低下した。従って発電のみの導入において削減効果は最も高い結果となった。今回の計算では, 太陽光発電で得られた電力を用いてヒートポンプ給湯器で温水を作成した場合, 太陽エネルギー変換効率が実質 40%程度となる。従って太陽光発電の導入効果が大きくなったと考えられる。また, 太陽熱温水器・太陽光発電の併用によるシステムの改善策としては以下の 2 点が考えられる。

(1) 夏期における温水需要増加による集熱面積の増加

夏期においては温水需要が極端に低下するため, 太陽熱温水器による給湯は過剰となることが多い。低温度の温水を用いた冷房システムとしてデシカント空調¹²⁾があるが, 装置のサイズなど一般家庭における導入策を検討する必要がある。しかしながら温水を貯湯しておくことで夜間における冷房需要の削減が期待できる。

(2) 太陽光発電による給湯との連携を考慮した集熱操作条件の検討

太陽光発電で得られた電力は用途を問わず利用できる。一方, 太陽熱温水器で得られた温水は暖房, 給湯と用途が

限られる。しかしながら高温の温水を貯湯することで夜間における給湯需要、暖房需要の削減が可能である。また日中の温水需要は少ないことから、循環水による給湯を日中は行わず、高温の温水として貯湯することで夜間における削減効果が期待でき、より小さい温水器面積で効果的な給湯が可能になると考えられる。

このほか、寒冷地の冬期においては日射量の低下や外気温度の低下によって集熱効率が低下した。このような地域では平板型ではなく真空型集熱パネルの導入などによる集熱効率低下の抑制が必要である。

参考文献

- 1) 財団法人 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編; EDMC/エネルギー・経済統計要覧 (2009 年版), (2009), 35-45, 財団法人 省エネルギーセンター.
- 2) 西原直枝, 西川雅弥, 植木雅典, 川村明寛, 田辺新一; 冷房設定温度 28°C 環境における知的生産性評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (2006), 447-450.
- 3) 経済産業省; 2009 年 3 月 17 日報道発表, <http://www.meti.go.jp/press/20090317001/20090317001.html>, (アクセス日: 2009 年 4 月 14 日).
- 4) 総務省統計局; 平成 16 年度全国消費実態調査, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Xlsdl.do?sinfid=000000642426>, (アクセス日: 2008 年 11 月 17 日).
- 5) Li Mei, David Infield, Ursula Eicker, Dennis Loveday, Volker Fux; Cooling potential of ventilated PV facade and solar air heaters combined with a desiccant cooling machine, *Renewable Energy*, 31 (2006), 1265-1278.
- 6) 気象庁; 気象統計情報 過去の気象データ検索 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, (アクセス日: 2008 年 10 月 5 日).
- 7) 宇田川光弘; 標準問題の提案 住宅用標準問題, 日本建築学会環境工学委員会熱分科会第 15 回熱シンポジウム, (1985), 23-33.
- 8) シャープ株式会社; 太陽光発電試算条件 http://www.sharp.co.jp/sunvista/about_install/simulation/terms.html, (アクセス日: 2008 年 8 月 21 日).
- 9) 田中俊六; 太陽熱冷暖房システム, (1977), 157-164, オーム社.
- 10) 大蔵将史, 児玉昭雄; 太陽熱温水器を駆動熱源とする吸着式デシカント空調システム—第 2 報: 日射量を考慮したシステム性能と必要となる熱供給装置規模の推算—, 日本冷凍空調学会論文集, 24-1 (2007), 43-54.
- 11) 西川兼康, 藤田恭伸; 機械工学基礎講座 伝熱学, (1982), 369-373, 理工学社.
- 12) 有限会社ブッカーズ編; 太陽エネルギー有効利用最前線, (2008), 508-523, エヌ・ティー・エス.
- 13) NEDO; 新エネルギー関連データ 17 年度版 <http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/index.html>, (アクセス日: 2008 年 6 月 12 日).