



Title	各種建築物のエネルギー需要特性と太陽エネルギー利用システムの導入効果
Author(s)	濱田, 靖弘; 落藤, 澄; 中村, 真人 他
Description	第7回衛生工学シンポジウム (平成11年11月11日 (木) -12日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 4 室内環境・エネルギー利用 . 4-5
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 7, 128-133
Issue Date	1999-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7278
Type	departmental bulletin paper
File Information	7-4-5_p128-133.pdf



4-5

各種建築物のエネルギー需要特性と 太陽エネルギー利用システムの導入効果

濱田靖弘・落藤 澄・中村真人・成田涼子・○長倉香織・嶋原 亮(北海道大学)

1. はじめに

自然エネルギーや未利用エネルギーを活用した北方型の省エネルギーを確立するためには地域固有のエネルギー需要原単位と変動パターンを整備するとともに、雪の影響などを考慮した新エネルギー導入可能ポテンシャルの評価が必要と考える。本研究では、寒冷地における建築物のエネルギー需要特性の把握を目的として、筆者らの研究室が所有する原単位¹⁾に加えて、戸建て住宅と集合住宅に関して1998年9月より実施しているエネルギー消費量の測定経過²⁾について整理を行った。ついで、太陽光発電システムを取り上げ、雪の影響を考慮した導入効果の評価を建物用途別に行い、電力の自給化に必要な太陽電池パネル面積と建物の面積との関係を求めた。さらに、電力と熱の同時生成を可能とする太陽エネルギー利用ハイブリッドコレクタに関する実験と評価を行った。

2. 住宅および各種建築物のエネルギー需要特性

2.1 札幌市におけるエネルギー需要原単位

札幌市における建物用途別のエネルギー需要特性を把握するために当研究室所有の札幌市の建物用途別年間エネルギー需要原単位を示す。建物用途は戸建て住宅、集合住宅、事務所、公共文化施設、宿泊施設、店舗、病院、学校の8つで構成されており、使用用途は暖房、冷房、給湯、電力に分類される。電力に関しては、住宅および学校が、54~113MJ/(m²・年)であるのに対して、他の建物用途においては477~682MJ/(m²・年)と負荷密度が大きくなっているのが特徴である。

表-1 年間エネルギー需要原単位¹⁾

	暖房	冷房	給湯	電力
戸建て住宅	361	—	139	77
集合住宅	405	—	156	113
事務所	263	135	—	477
公共文化	327	92	—	682
宿泊	215	167	652	682
店舗	263	242	—	565
病院	382	33	561	502
学校	285	—	—	54

【MJ/(m²・年)】

2.2 住宅におけるエネルギー消費量の測定

1998年9月から住宅における電力、灯油などのエネルギー消費量の計測を実施している。表-2に調査世帯の概要を示す。調査は札幌市内とその近郊の11世帯において実施している。A邸からI邸までの9軒が戸建て住宅、J邸とK邸の2軒は集合住宅である。家族構成はH・I邸が高齢者世帯、それ以外は一般世帯である。全世帯の暖房熱源は灯油であり、給湯熱源は集合住宅のJ邸が都市ガス、他の世帯は灯油である。厨房熱源は電気、LPG、都市ガスの3種類がある。図-1に各世帯の月別月積算電力消費量(厨

表-2 調査世帯概要

No.	地区	世帯員数	家族構成	建て方	延床面積(m ²)	暖房熱源	給湯熱源	厨房熱源
A	札幌市厚別区	4	一般世帯	戸建て住宅	165	灯油	灯油	電気
B	江別市	4	一般世帯	戸建て住宅	111	灯油	灯油	電気
C	札幌市北区	3	一般世帯	戸建て住宅	214	灯油	灯油	電気
D	札幌市南区	3	一般世帯	戸建て住宅	107	灯油	灯油	LPG
E	札幌市北区	4	一般世帯	戸建て住宅	133	灯油	灯油	LPG
F	札幌市南区	5	一般世帯	戸建て住宅	125	灯油	灯油	LPG
G	札幌市南区	5	一般世帯	戸建て住宅	104	灯油	灯油	LPG
H	江別市	2	高齢者世帯	戸建て住宅	121	灯油	灯油	LPG
I	札幌市西区	2	高齢者世帯	戸建て住宅	131	灯油	灯油	都市ガス
J	札幌市東区	3	一般世帯	集合住宅	78	灯油	灯油	電気
K	札幌市南区	5	一般世帯	集合住宅	65	灯油	都市ガス	都市ガス

房)を示す。

房を除く)を示す。データは1998年9月～1999年6月のものである。A・B・F・K邸は消費量が多く毎月1GJ/月以上の消費があり、D・G・I邸では少なかった。図-2に電力消費量(厨房を除く)の時刻別比率を示す。データはA邸が1998年9月～1999年3月、J邸が1999年3月～6月、その他の世帯が1998年9月～1999年6月の平均である。いずれの世帯も同様の変動を示し、朝と夜にピークをとり、日中は消費が少ないことがわかる。また、図-3に電力消費量(厨房)(A～C, J邸)の時刻別変動を示す。世帯によって差が見られるが、全体的には、朝食時と夕食時に大きなピークをとり、昼食時にも小さなピークが存在する。図-4に灯油消費量(暖房)の時刻別変動を示す。暖房のデータはB～H, K邸の1998年10月～1999年5月までの平均である。暖房は世帯間で大きく差があり、D邸では朝と夕方に極めて大きなピークをとるが、E邸では一日を通じて変化が少ない。他の世帯は朝と夕方にピークをとるが、B, C, F邸は夜間にも消費量が大いなのに対し、G, K邸では少ない。また、図-5に灯油消費量(給湯)の時刻別変動を示す。給湯のデータは、B, D, F, G, I邸の1998年10月～1999年6月までの平均である。いずれの世帯においても、夜間は消費が少なくなっているが、I邸は朝のピークが大きく、他の世帯は、夕方に大きなピークをとる。

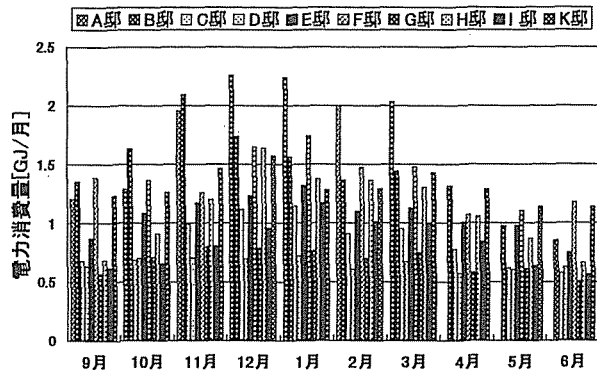


図-1 月積算電力消費量(厨房を除く)
(1998/9～1999/6)

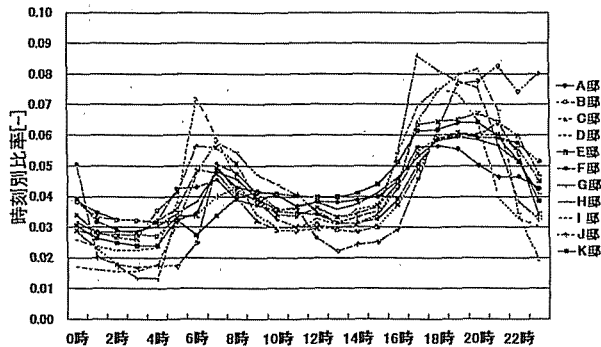


図-2 時刻別比率(電力:厨房を除く)

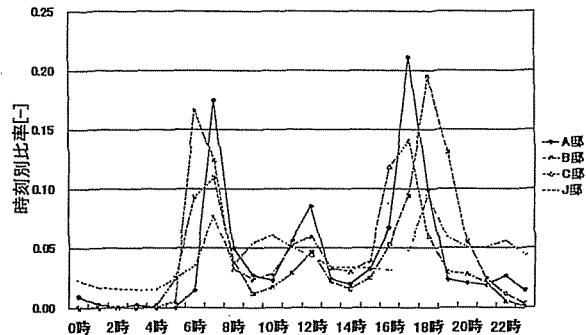


図-3 時刻別比率(電力:厨房)

(1998/9～1999/6)

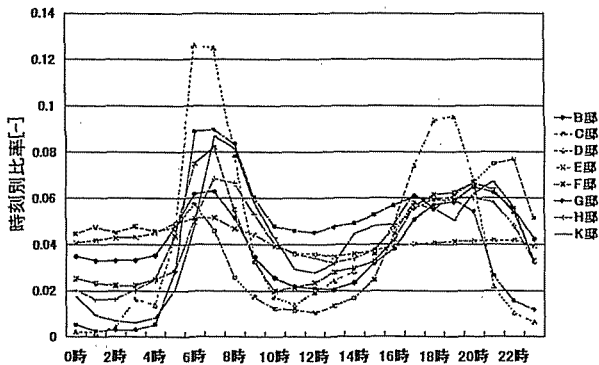


図-4 時刻別比率(灯油:暖房)

(1998/10～1999/5)

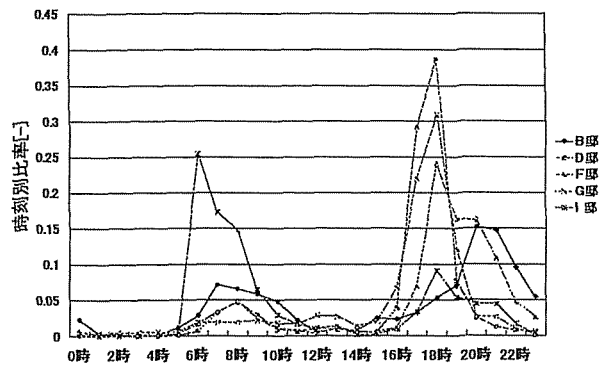


図-5 時刻別比率(灯油:給湯)

(1998/10～1999/6)

3. 各種建築物における太陽光発電の導入効果

3.1 計算条件

2. 1における各種建築物に対する太陽光発電の導入効果について解析を行った。まず日射量から太陽電池パネル 1 m²当たりの年積算発電量を計算する。このとき雪による影響は、補正係数³⁾を用いることによって簡易的に求めた。次に建物用途別に延床面積を設定し、2. 1の電力需要原単位をもとに年積算電力需要量を算出する。そして年積算電力需要量を太陽光発電により賄うために要する太陽電池パネル面積を計算し、その面積での時刻別発電量を計算する。なお、発電量算出の際の日射量には、当研究室所有の国際昼光測定基地⁴⁾における時刻別平均値を用いた。太陽電池パネルは単結晶型とし、設置傾斜角は 30°，方位は真南向きとした。傾斜角 30°における太陽電池パネル 1 m²あたりの年積算発電量は 424.8MJ である。表-3 に設定した各種建物用途の建築面積，延床面積，年積算電力需要量を示す。

表-3 各種建物用途の設定値

建物用途	延べ床面積 (m ²)	建築面積 (m ²)	年積算電力需要量 (GJ)
集合住宅	1600	400	181
戸建住宅	120	60	9
学校	5000	1250	2385
事務所	3200	640	1526
宿泊施設	28000	2000	19096
病院	18000	3000	9036

3.2 計算結果

図-6～図-11 に 6 月～9 月の 3 箇月平均の発電量・需要量の時刻別変動と必要パネル面積の建物用途別の計算結果を示す。必要パネル面積とは、自給率 [= 年積算発電量 / 年積算電力需要量 × 100] が 100% となるとときに必要な太陽電池パネル面積である。集合住宅と戸建て住宅では電力需要量の時刻別変動は発電量の多い日中は少なく、夜間に多くなる。このため日中は余剰電力が多く発生し、夜間は商用システムより電力を購入する必要が生じるため電力負荷のピークカットに対する寄与は小さい。

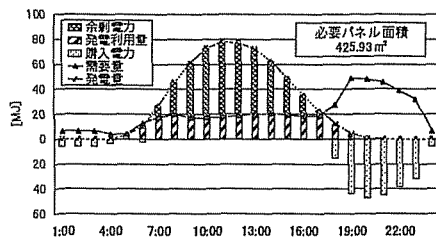


図-6 計算結果(集合住宅)

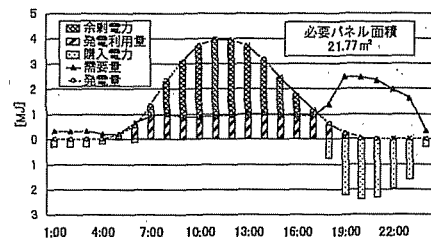


図-7 計算結果(戸建て住宅)

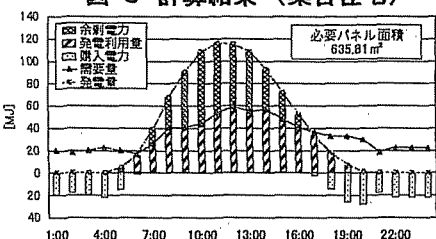


図-8 計算結果(学校)

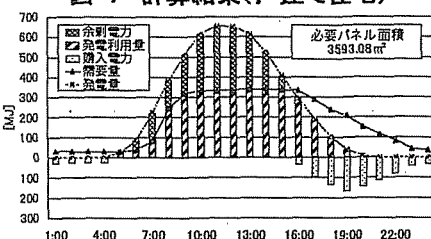


図-9 計算結果(事務所)

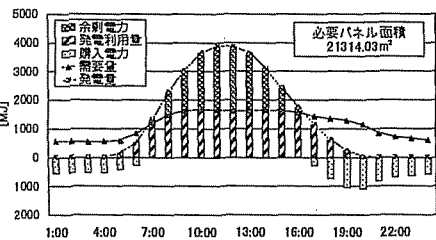


図-10 計算結果(病院)

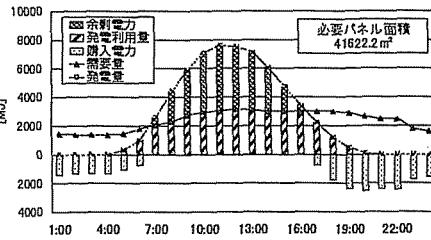


図-11 計算結果(宿泊施設)

これに対して学校、事務所、病院では発電量の多い日中に需要量が大きくなる。このため住宅と比較して太陽光発電を逆潮によらず直接利用できる量が多くなり、ピークシフトの効果が大きい。また、宿泊施設では、需要量の変動は、日中と夜間であまり差がない。

図-12に太陽電池パネル面積と延床面積の比[パネルー延床面積比]と自給率の関係を示す。また、図中には表-3 の設定条件における屋根面あるいは屋上に太陽電池を設置するものとした場合の自給

率を併記している。戸建て住宅、学校、集合住宅の自給率は96.4～201.8%の範囲で高く、事務所、宿泊施設、病院などの階数の多い建築物は、4.8～18.3%と低い。この結果、集合住宅、戸建て住宅、学校は延床面積に対して少ない太陽電池パネル面積で高い自給率が得られるため、太陽光発電による自給化の可能性が高くなると言えるが、事務所、宿泊施設、病院では他の電源との併用が必要となる。

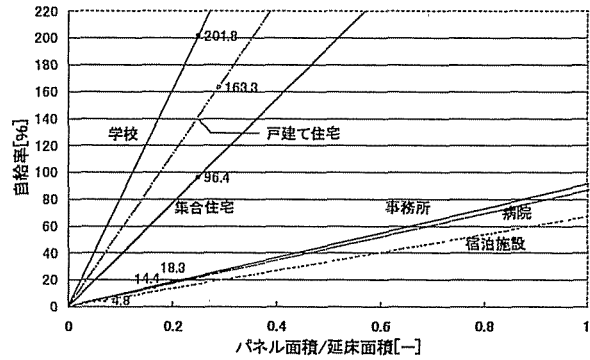


図-12 自給率とパネル-延床面積比の関係

4. 太陽エネルギー利用ハイブリッドコレクタの実験と集合住宅への適用可能性

4.1 実験概要

北海道大学構内に太陽エネルギー利用ハイブリッドコレクタの導入効果を検討するための3箇所の実験サイトを建設した。表-4に実験条件を示す。実験 No.1⁵⁾では、発電量・集熱量に関する基本特性の把握を目的とし、集熱媒体の送り温度を一定にして集熱を行い、コレクタ面積は2㎡、傾斜角を31°とした。実験 No.2, No.3では、太陽電池やソーラーコレクタ単体パネルとの性能および滑雪特性の比較を目的として、それぞれ50ℓ, 300ℓの貯湯槽を加温しながら集熱を行い、実験 No.2では、コレクタ面積は2㎡、傾斜角を45°、実験 No.3ではコレクタ面積を15㎡、北海道大学構内の実験住宅「ローエネルギーハウス」⁶⁾の南側屋根面へ設置して傾斜角を31°としている。

表-4 実験条件

番号	実験期間	面積	傾斜角	実験方法	目的
No.1	1997年11月～1998年10月	2㎡	31°	コレクタ送り温度一定	発電量・集熱量の基本的特性の把握とモデル化
No.2	1999年1月～		45°	貯湯槽(50L)加温	太陽電池、ソーラーコレクタ単体パネルとの性能および滑雪特性の比較
No.3	1998年11月～	15㎡	31°	貯湯槽(300L)加温	実規模の戸建て住宅における省エネルギー効果の検討

注)No.1, 2のパネルの太陽電池部は単結晶シリコン型、No.3は多結晶シリコン型

図-13に実験 No. 3のハイブリッドコレクタの断面図を示す。このパネルは、強化ガラス、多結晶シリコン型太陽電池、アルミ集熱板、銅管等から構成される。ソーラーコレクタとしてのアルミ集熱板の裏には、銅管(外径12.8mm)を施している。さらに、集熱板を基盤として太陽電池モジュールが固定されており、一体型のパネルとなっている。パネル1枚あたりの最大出力は、約126Wである。

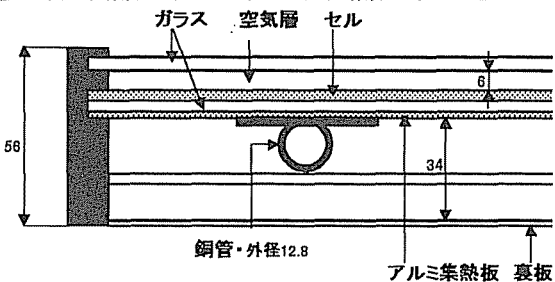


図-13 ハイブリッドコレクタの断面図

4.2 実験結果

図-14に実験 No.1の1998年9月10日における光電変換効率[=発電量/日射量×100]、集熱効率[=集熱量/日射量×100]、太陽エネルギー利用率[=(発電量+集熱量)/日射量×100]及び日射量の変動を示す。送水温度は30℃と設定し、データには30分間の平均値を採用した。光電変換効率は、11～13%、集熱効率は、

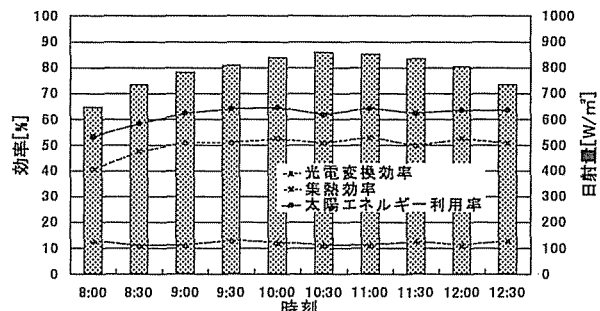


図-14 光電変換効率・集熱効率・太陽エネルギー利用率及び日射量(実験No1:1998/9/10)

40～50%程度となった。太陽エネルギー利用率は、集熱効率の変動に影響を受け、50～65%程度であった。

図-15 に実験 No.2 の 1999 年 3 月 26 日における全日射量、集熱時日射量、光電変換効率、集熱効率の変動を示す。この日の全日射量は 10 時～13 時に $600\text{W}/\text{m}^2$ 以上得られ、光電変換効率は日中 8.0～9.0%程度で安定している。循環ポンプの不調により、10 時～12 時頃に集熱運転は停止したが、14 時における集熱効率は約 28%となった。

図-16 に実験 No.3 の 1998 年 11 月～1999 年 7 月における月別の発電量、太陽光寄与率[=総発電量/電力負荷×100]、太陽光利用率[=総発電量のうち住宅内で消費された電力量/総発電量×100]を示す。発電量は 11 月～2 月にかけては積雪の影響で $1.3\sim 5.9\text{MJ}/\text{日}$ 程度と少ないが、3 月～7 月は $16.7\sim 23.9\text{MJ}/\text{日}$ 程度と高くなる。太陽光寄与率も発電量に伴って、3 月～7 月は増加し、20～53%程度となり、最も高かった 6 月は 53.6%となった。また、太陽光利用率は約 65～97%程度となった。

また、図-17 に実験 No.3 の 1998 年 11 月～1999 年 7 月における月別の給湯用集熱量(集熱量のうち給湯用に利用された熱量)、太陽熱寄与率[=給湯用集熱量/給湯負荷×100]、太陽熱利用率[=給湯用集熱量/全集熱量×100]を示す。給湯集熱量は積雪期間は低くなっているが、6 月・7 月には $38.2\sim 39.0\text{MJ}/\text{日}$ 程度と増加している。これに伴って太陽熱寄与率も冬季は 10～20%程度であるが、6 月、7 月には 80%以上となった。また、太陽熱利用率は 80%前後となっている。

4.3 集合住宅における導入効果の解析

集合住宅においてハイブリッドコレクタ(HB)を設置した場合の導入効果について評価を行った。集合住宅の設定条件は表-3 と同様とし、コレクタの設置面積は建築面積と同様の 400m^2 とした。また、太陽電池パネル(PV) 400m^2 のみ、ソーラーコレクタ(SC) 400m^2 のみを設置した場合と、ソーラーコレクタ 143m^2 (HB とほぼ等価な集熱量を得るための必要面積)+太陽電池パネル 257m^2 を設置した場合との比較を行った。図-18 に電力と給湯に関する二

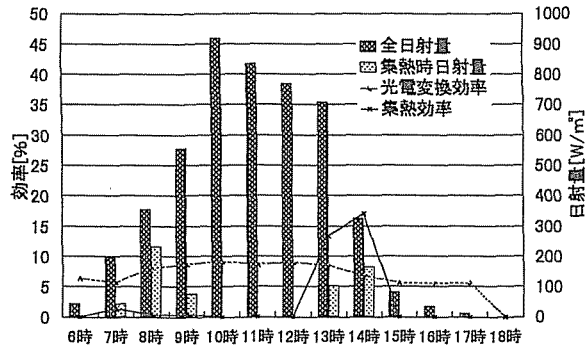


図-15 光電変換効率・集熱効率・日射量の変動
(実験No2:1999/3/26)

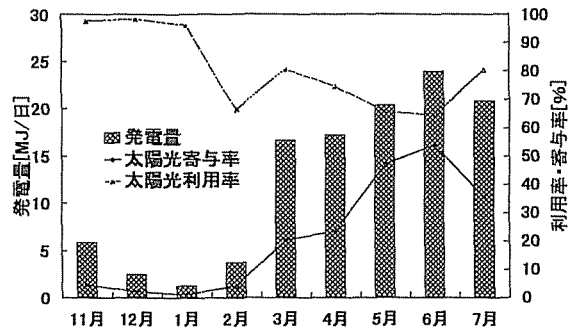


図-16 発電量・太陽光寄与率・太陽光利用率
(実験No3:1998/11～1999/7)

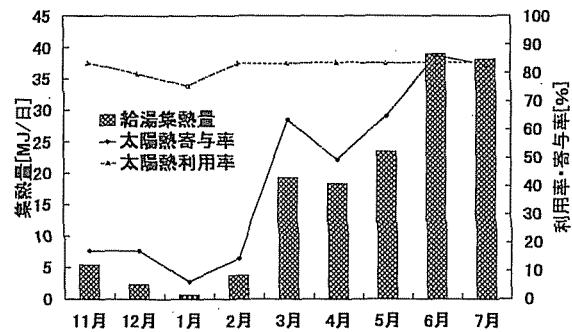


図-17 給湯用集熱量・太陽熱寄与率・太陽熱利用率
(実験No3:1998/11～1999/7)

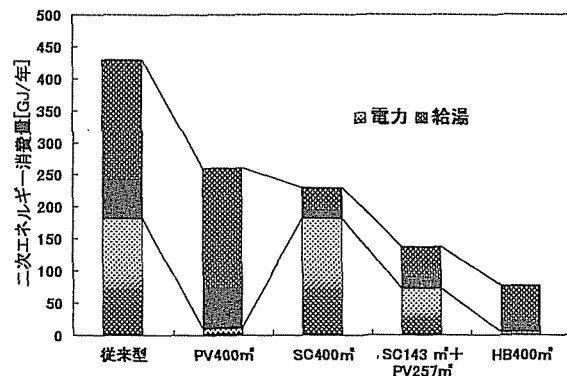


図-18 二次エネルギー消費量の比較

次エネルギー消費量(今回の計算では搬送動力は含めていない)の比較を示す。この結果、従来型(電力:商用電源,給湯:灯油ボイラ)と比較して太陽電池 400 m²のみで電力が 93%,全体として 39.4%が削減でき,ソーラーコレクタ 400 m²のみで給湯負荷の 80%,全体として 46.6%が削減できる結果となった。また,ソーラーコレクタ 143 m²+太陽電池パネル 257 m²では全体で 68.1%の消費が削減できる結果となった。ハイブリッドコレクタでは電力の 97.2%,給湯の 71.1%が賄え,全体として従来型よりも 82.1%が削減される結果となった。

5. まとめ

- 1) 集合住宅と戸建て住宅のエネルギー消費量の測定を 1998 年 9 月より開始した。各世帯の月別月積算電力消費量(厨房を除く)は, A・B・F・K 邸は消費量が多く毎月 1GJ 以上の消費があり, D・G・I 邸では少なかった。また, 電力消費量(厨房を除く)の時刻別変動は, いずれの世帯も同様の変動を示し, 朝と夜にピークをとり, 日中は消費が少ない結果を得た。
- 2) 建物用途別に太陽光発電の導入効果について検討した。屋根面あるいは屋上に太陽電池を設置するものとした場合の自給率は, 戸建て住宅, 学校, 集合住宅では, 96.4~201.8%と高く, 事務所, 宿泊施設, 病院は, 4.8~18.3%と低かった。集合住宅, 戸建て住宅, 学校は, 太陽光発電による自給化の可能性が高くなるが, 事務所, 宿泊施設, 病院では他の電源との併用が必要となる。
- 3) 太陽エネルギー利用ハイブリッドコレクタの導入効果を検討するための 3 つの実験装置を設置した。実験 No.1 の 1998 年 9 月 10 日における光電変換効率は, 11~13%, 集熱効率は, 40~50%程度となった。太陽エネルギー利用率は, 集熱効率の変動に影響を受け, 50~65%程度であった。
- 4) 実験 No.3 の 1998 年 11 月~1999 年 7 月では, 積雪期間の発電量・太陽光寄与率は少なかったが, 3 月以降は高くなり, 最も高かった 6 月で発電量は 23.9MJ/日, 太陽光寄与率は, 53.6%となった。給湯用集熱量は積雪期間には低いが, 6・7 月には 38.2~39.0 MJ/日程度と増加し, 太陽熱寄与率は 6・7 月には 80%以上となった。
- 5) 集合住宅においてハイブリッドコレクタを設置した場合の導入効果について評価を行った。従来型と比較した場合の二次エネルギー削減率は, 太陽電池 400 m²のみで 39.4%, ソーラーコレクタ 400 m²のみで 46.6%, ソーラーコレクタ 143 m²+太陽電池パネル 257 m²では 68.1%, ハイブリッドコレクタでは 82.1%となり, ハイブリッドコレクタの導入により, 高い省エネルギー効果が得られる。

【謝辞】

研究の遂行にあたり, 株式会社 NTT ファシリティーズ, 北海道経済部資源エネルギー課, 株式会社住環境計画研究所等に多大な御協力を頂きました。ここに謝意を表します。

本研究の一部は, 北海道大学先端科学技術共同研究センター平成 10 年度札幌市産学官共同研究推進事業「太陽光発電等環境低負荷型エネルギーの有効利用に関する研究」による。

【参考文献】

- 1) 成田樹昭:寒冷都市の未利用エネルギーと地域熱供給への活用に関する研究, 博士論文(1997-3)
- 2) 中村真人・落藤 澄ら:北海道における家庭用エネルギー消費構造とその季時別変動の実態調査(第 1 報)目的および調査内容, 空気調和・衛生工学会北海道支部第 33 回学術講演会論文集(1999-3), pp.1~4
- 3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構:北海道における太陽光発電システムの普及可能性調査, 平成 9 年度調査報告書(1998-3)
- 4) 中村真人・落藤 澄ら:国際標準データ作成のための昼光と日射の測定および解析(第 1~6 報), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1992~1996)
- 5) 濱田靖弘・落藤 澄ら:太陽エネルギー利用ハイブリッドコレクタの実験と解析, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1998-8), pp.857~860
- 6) 濱田靖弘・落藤 澄ら:ローエネルギーハウスにおける運転実績とその評価(第 1~4 報), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1998-8), pp.817~832