

太陽光発電システムの経済的成立条件に関する研究 —全世帯太陽光発電付き賃貸マンションを事例として—

石崎 美代子¹・乙間 末廣²・松本 亨³

¹非会員 修(工) 北九州市立大学 国際環境工学部 環境空間デザイン学科
(〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)
E-mail:ishizaki@env.kitakyu-u.ac.jp

²正会員 博(工) 北九州市立大学大学院教授 国際環境工学研究科

³正会員 博(工) 北九州市立大学助教授 国際環境工学部 環境空間デザイン学科

北九州市内にある日本初の全世帯太陽光発電付き賃貸マンション(RC造, 全43戸, 各戸1.5kW規格パネル設置)を対象に, 発電システムのエネルギー収支を把握し, オーナーと居住者の経済性を評価することにより経済的成立条件を探った。発電量は年平均で4.5kWh/日/戸であり, エネルギーペイバックタイムは約1.95年, 世帯の消費電力量に対するエネルギー消費削減量の割合は約30%となった。経済的には, オーナーは家賃に上乗せをして投資額を金利込みで回収するが, 現実的な回収期間や金利利率, 補助金額等の設定により, 投資以上の回収ができ, かつ居住者は太陽光発電による電気代の節約と売電により利益を出し得る賃貸料金の範囲が存在することがわかった。つまり, 太陽光発電は, 環境・オーナー・居住者の3者の間でWin-Winの関係を築ける可能性を有しており, RC造賃貸マンションへの設置はその一つのモデルと考えられる。

Key Words : solar power generation, Kitakyushu City, rental apartment house, energy payback time, payback period

1. はじめに

太陽光発電は, クリーンな発電技術として環境負荷の低減に寄与することが期待されており, 戸建住宅や工場を主に導入されつつあるが, その普及状況はいまだ十分でない。普及が急速に進まない理由としては, 1) 初期投資額が大きく, 特に新築時には施主の負担感が増大する, 2) 初期投資額を, 入居後の電気料金の節約額および売電額により回収できるまでの期間(投資回収期間)が長い, 等が考えられる。環境面での貢献は既に明らかとなっているが, 経済的なことがネックとなっている。

マンションなどの集合住宅への導入は, スケールメリットにより, 戸建住宅への導入に比べて戸当たりの初期投資額を若干抑制できるが, 分譲する場合, 購入者には依然として上述の購入抑制心理が生じ, 分譲販売を阻害する可能性があることから, マンションの施主が太陽光発電システムを積極的に導入し難い。また, 中古分譲マンションの流動性が高まると, 投資回収期間の長いシステムの設置はますます歓迎されないであろう。

一方, 賃貸方式のマンションの場合, オーナーは一般に物件を長期に所有するため, 回収が確実な投資であれば回収期間が長くても実施できる。重要な点は, マンシ

ョンの建設時にシステムの導入を意思決定するオーナーと, 賃貸料を負担する入居者の双方にとって利益があり, 受容可能かどうかということであろう。

住宅・土地統計調査¹⁾によると, 2003年時点で全国の共同住宅の分譲・賃貸軒数は, 3,922,300 および14,016,200であり, 賃貸は分譲の約3.5倍であることから, 賃貸マンションにおける太陽光発電の経済的成立条件を模索することは意義があると言える。その賃貸マンションにおいて, 全世帯に太陽光発電システムを導入し, 2005年から運用を始めた先駆的モデルがある。同マンションは北九州市にあり, 現時点で入居率は100%である。発電量の実測も行われているため, このモデルから, 今後の太陽光発電の普及に資する経済的情報が得られる可能性がある。そこで, 本研究では, 同マンションの環境および経済両面での現状を明らかにすることを試みた。2章では, 評価対象の概要と年間を通じた発電実績を示すとともに, エネルギーペイバックタイムおよびエネルギー消費削減量を概算した。3章では, 経済性評価を行い, 太陽光発電システムの経済的成立条件を探った。4章には, 太陽光発電システムによる経済効果と環境負荷の関係について考察を記し, 最後5章にまとめを記した。

2. 評価対象

(1) 評価対象の概要

本研究で対象とした全世帯太陽光発電付き賃貸マンションの概要は以下のとおりである。

- ・所在地：北九州市小倉南区
- ・竣工：2005年2月
- ・マンション様式：RC 6階建，43戸（2LDK 59.77㎡ × 22戸，3LDK 70.04㎡ × 21戸）
- ・太陽光発電パネルの種類：多結晶シリコン
- ・パネル設置量：1戸あたり 1.57kW 規格分，
共用部分 1.68kW 規格分
- ・その他：オール電化，CO₂ 冷媒ヒートポンプ給湯器・
床暖房・食器洗い乾燥機・空気清浄機能付
きエアコン・セントラル浄水器等設置
- ・入居世帯平均世帯人員：2.5人/世帯
- ・太陽光発電システムへの初期投資額（施工費も含む）：80万円/1戸 1.57kW 規格分^{注1)}

(2) 発電実績

2005年3月から2006年2月の発電実績を図-1に示す。同マンションで発電実績が計測されたのは、この期間のみであった。この年の福岡の平均全日日射量は14.2MJ/m²/日で、ここ25年間おおよそ12~14 MJ/m²/日の範囲で推移している²⁾ 状況からして、計測期間の気象は特別異常とは言えない。1日1世帯あたり平均発電量は、5月の7.1kWhが最大、12月の2.1kWhが最小となっている。年間平均すると4.5kWh/日/世帯となり、1.5kW定格フルで発電したとして1日3時間発電した量となる。太陽光発電量が各戸の消費電力量に占める割合は、年平均で32%であった。

全43戸の年間総発電量は71,665kWhであった。つまり、本マンションで71,665kWhのエネルギー消費を抑制したことになるが、太陽光発電システムの製造時にエネルギーを投入しているため、その分を差し引いて考える必要がある。ここでは、エネルギーペイバックタイム(EPT)と、実質のエネルギー消費削減量を求めることで、太陽光発電システムの環境負荷削減効果を確認した。製造に投入したエネルギーは、太陽光発電技術研究組合が2000年に行った太陽光発電評価の調査研究³⁾（以下、調査研究という）を基に算出した。調査研究によると、多結晶シリコンパネルの製造のための投入エネルギーは、生産規模100MWだと3.857kW定格のパネルで70GJである^{注2)}。本研究の評価対象であるマンションのパネル総出力規格は69.19kW（43戸分および共用部分）であり、この製造エネルギーは調査研究における製造エネルギーから出力規格に比例させて算出すると、1,256GJとなる。

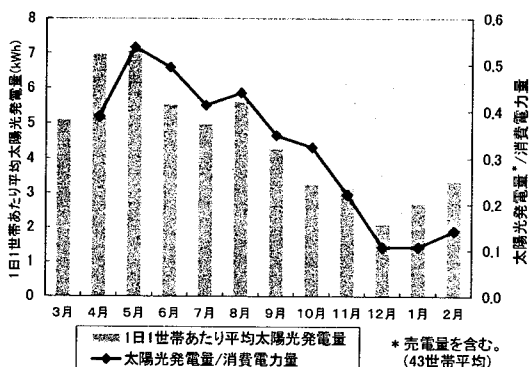


図-1 1日1世帯あたり太陽光発電量および発電量の消費電力量に占める割合

同マンションの年間発電量は71,665kWhで、1次エネルギー変換係数9MJ/kWh⁴⁾を用い変換すると645GJ/年であるから、EPTは約1.95年となる。これは、太陽光パネルの寿命よりも短いため、太陽光発電のエネルギー消費抑制効果は明白といえる。また、実質の年間エネルギー消費削減量を計算するために、製造に投入したエネルギー1,256GJをパネルの寿命年数で除し、その値を年間発電量から引いた。パネルの寿命に関しては後述するが、20年または30年と考えられており、1年あたりの製造エネルギーは、それぞれ62.8GJ/年、41.9GJ/年となった。よって、実質のエネルギー削減量は、各582.2GJ/年、603.1GJ/年となった。この実質エネルギー削減量が世帯の消費電力量に占める割合は、約26.5%、27.5%となった。

ここで、本マンションにおける発電実績の一般性を確認するため、全国各都道府県の年間最適傾斜角における日射量を見てみる。NEDOの資料⁵⁾によると、1961~1990年の30年間の平均1日日射量は、高知県の4.32kWh/m²/日が最高で、最低は滋賀県の3.46kWh/m²/日である。最低は最高の8割程度で、2割の間に全都道府県が位置しており、日射量は日本全国大差ない。福岡県は3.79kWh/m²/日で、国内の平均的な日射量といえる。よって、北海道や日本海側の太陽光パネルに雪が積もる地域以外では、地域の平均的な発電量はそれ程差はないと考えられる。

同様に、消費電力量の一般性についても確認してみる。全国各地域の消費電力量は、家庭用エネルギー統計年報⁶⁾によると、1985~1999年の15年間の平均で、最高は北陸の16,259MJ/世帯/年、最小は北海道の10,397MJ/世帯/年、全国平均は14,121MJ/世帯/年となっている。九州は12,853MJ/世帯/年で、全国平均より若干少ない。本マンションの全世帯平均は20,426MJ/世帯/年（5,674kWh/世帯/年）で全国の統計値より大きい。これは本マンションがオール電化であることによる。した

が、今回求めた発電量の消費電力量に占める割合は、入居世帯が平均的な属性であるとすれば、全国の平均的な世帯にシステムを導入した場合より小さな値となっている。

3. 太陽光発電システムの経済的成立条件

(1) 居住者利益の経済的成立条件

太陽光発電システムを導入すると昼間の購入電力（図-2 A 黒塗り部分）が未導入時より減り、余剰発電量（図-2 B 斜線部分）を売電することができる。同マンションの場合は、売電金額は各世帯に振り込まれる。したがって、発電システム導入による電気代の削減量は、購入電力の減少による節約金額と余剰電力の売電金額との合計で算定できる。節約分すなわち太陽光発電の自家利用量は、測定データのある発電量から売電量を引いて求め、この量に電力購入単価を乗じ、節約金額は 1,780 円/月/世帯（2005 年 4 月～2006 年 2 月の 43 世帯平均）と算出された。売電金額は同期間各世帯の実績データがあり、1ヶ月1世帯あたりの平均をとると 1,828 円/月/世帯であった。よって、居住者の電気代削減量は、約 3,600 円/月/世帯となった。一方、オーナーは発電システムへの投資金額を家賃に上乗せすることにより回収するため、上乗せ額が 3,600 円より少なければ、居住者は太陽光発電導入により利益が得られることになる。

なお、居住者の電気代削減量は、電力会社からの購入単価と電力会社への売電単価および発電量、消費電力量によって変化する。発電量は全国大差ないとすれば、地域や契約内容によって異なる電力単価と世帯属性に左右される消費電力量による。ただ、これから記す(3)のように経年で考える際には、厳密には発電量に直結するパネルの劣化および将来の日射量、電力単価、消費電力量も必要となるが、確かな情報はない。そのため、居住者の電気代削減量は将来も一定として、(3)のシミュレーションを行った。

(2) オーナー利益の経済的成立条件

同マンションでは、太陽光発電システムの導入に以下の初期投資を行っている。

- ・ 1.57kW パネル 800,000 円 × 43 戸分（実績値）
- ・ 1.68kW 共用部分パネル 856,051 円（推定値）

また、パワーコンディショナは 15 年で現設置製品と同じ機種で取り替えるとして、その製品および作業費用（保守金額）は、1戸あたり 157,000 円である^{注1)}。今回は、(3) a) に記すように 20、30 年の期間を考えているため、保守は 1 回行うものとする。上記費用は全て借入金

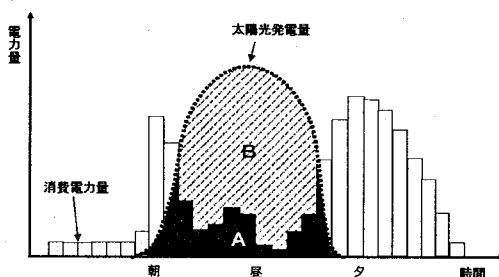


図-2 1日の消費電力量と太陽光発電量のモデル

でまかなうとすると、金利が発生する。初期費用の 1/3 は国の新エネルギー事業者支援対策事業により補助を受けており^{注1)}、あとは毎月の家賃に上乗せをして回収する（敷金は家賃4ヶ月分でそこにも上乗せが発生する）。

ここで、初期投資額の N 年後および保守金額の $(N-15)$ 年後 ($15 \leq N \leq 30$) の金利を含めた金額を左辺に、返済金額を右辺として等式で表す。右辺第1項は、月々の返済金額の N 年後の合計金額、2項は敷金および補助金の N 年後の金額である。

$$a(1+r)^n + a'(1+r)^{n-15 \sim 12} = \sum_{k=1}^n b(1+r)^k + (4b+c)(1+r)^n \quad (式1)$$

a: 初期投資額（借入金）

a': パワーコンディショナの保守金額（借入金）

r: 借入金の金利利率（月利）

b: 1ヶ月あたりの返済金額
（家賃上乗せによる回収金額）

c: 補助金の額

n: 投資回収期間（月数）； $15 \times 12 \leq n \leq 30 \times 12$

式1において a, a', r, c を与えると、b と n の関係式となる。

オーナーはパネルの寿命とマンションの寿命を比べてどちらが短いかを判断し、短い方の期間（投資回収期間）内に金利を含めて回収しなければならない。期間内に回収すれば、オーナーは投資額以上の収入、すなわち利益を得ることができる。

(3) 居住者・オーナー双方の利益の経済的成立条件に関するシミュレーション

a) シミュレーションの前提条件

上記(1)より、居住者は、家賃への上乗せ金額が 3,600 円より少なければ利益を得られる。この範囲を P とする。また、オーナーが投資額以上をパネルまたはマンションの寿命内に回収し、利益を得ることが出来る家賃への上乗せ額の範囲を Q とする。この P と Q が重なる

範囲では、オーナー・居住者の双方が利益を得ることができる。

今回のシミュレーションでは、年利として現実的な範囲で 2.5%, 3.0%, 3.5%, 4.0% の 4 パターンを設定した。また、投資回収期間は 20 年、30 年の 2 パターンを設定した。RC 造マンションは平均的に 39 年で建替えられており⁷⁾、パネルの寿命に関しては実証結果は見当たらないが、文献 3) で 20 年、8) で 30 年と設定されており、20、30 年と考えられているのが現状である。

b) シミュレーション結果および考察

補助金が 1/3 出の場合の b と N の関係は、年利により図-3 のようになった。P と Q が重なる範囲、つまりオーナー・居住者双方に利益が出る家賃への上乗せ金額の範囲は、投資回収期間が 20 年、30 年それぞれの場合で、金利ごとに表-1 にまとめた。投資回収期間が短いほど、また金利が高いほど、P と Q が重なる範囲は狭くなっている。

同様に、補助金が全くない場合の b と N の関係は、年利により図-4 のようになった。P と Q が重なる範囲は、投資回収期間が 20 年、30 年それぞれの場合で、金利ごとに表-2 にまとめた。範囲が存在するのは、回収期間 30 年、年利 2.5% のときのみであった。

表-1、2 より、P と Q が重なる範囲の有無と大きさは、投資回収期間および補助金の助成割合、年利の大きさによって変わる。回収期間が 30 年の場合に P と Q が重なる範囲が存在する助成割合と年利の限界範囲は図-5 のようになっていた。曲線より上で、オーナー・居住者双方に利益が出る範囲が存在し、下ではオーナーは投資額を回収できるが、居住者には利益はない。つまり、助成割合が低く金利率が高いほど、双方に利益が出る範囲は狭くなる。回収期間が 20 年の場合は図-6 のようになった。

また、入居率が下がった場合、空室の太陽光発電分はオーナーが売電し返済に充てるが、例えば入居率 80% (将来にわたって一定) では、オーナー・居住者双方に利益が出る助成割合および年利の限界範囲は、図-5、6 の点線のようになる。入居率が下がると限界範囲が狭まることが分かる。

ここで、P と Q の重なりが存在するかを決定付ける要因について考える。P の範囲は、3.(1)より、電力単価と発電量、消費電力量によって変わる。Q の範囲は、式 1 やシミュレーションから、初期投資額、保守金額、投資回収期間、借入金の金利率、補助金の額によって決まる。投資回収期間はオーナーの経営判断によるが、少なくとも RC 造マンションの平均寿命 39 年より

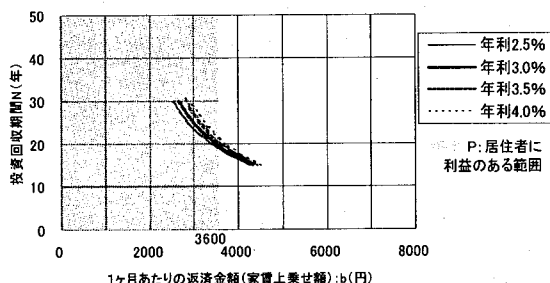


図-3 1/3の補助金がある場合の b と N の関係

表-1 1/3の補助金がある場合のオーナー・居住者双方に利益がある家賃への上乗せ金額の範囲 (円/月)

		年利2.5%	年利3.0%	年利3.5%	年利4.0%
投資回収期間	30年	2,541~3,600	2,675~3,600	2,813~3,600	2,955~3,600
	20年	3,390~3,600	3,501~3,600	なし	なし

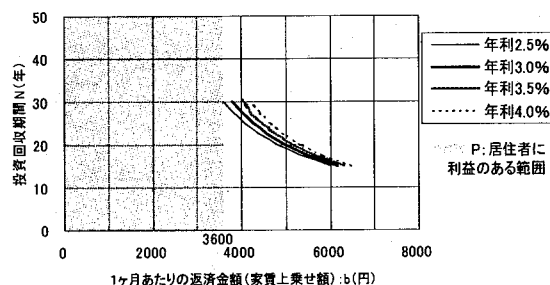


図-4 補助金がない場合の b と N の関係

表-2 補助金がない場合のオーナー・居住者双方に利益がある家賃への上乗せ金額の範囲 (円/月)

		年利2.5%	年利3.0%	年利3.5%	年利4.0%
投資回収期間	30年	3,600	なし	なし	なし
	20年	なし	なし	なし	なし

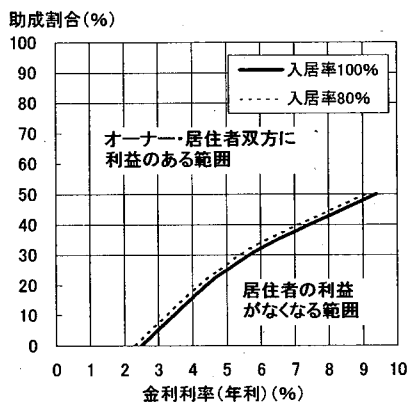


図-5 投資回収期間 30 年のときのオーナー・居住者双方に利益がある助成割合および年利の限界範囲

短い設定は可能である。また、消費電力量は、世帯属性によるが、残りの要因に関しては、国内なら大きく異なるものではない。したがって、多少条件の異なる他の地域でも、PとQの重なりが存在し得る可能性は高いと推測される。また、投資回収期間が長いほどPとQの重なりが大きくなることから、太陽光発電システムは、オーナーが長期にわたって保有する確率の高い賃貸マンションへの導入が適していると思われる。

4. 太陽光発電システムによる経済効果と環境負荷の関係

太陽光発電システムによる経済効果と環境負荷の関係を見るために、図-7のように、各世帯の電力の購入量と売電量の差を物量(kWh)およびコストで表し、それぞれX軸とY軸にプロットした。Xは実質消費電力量、Yは実質支払電気料を表す。Xが小さければ環境負荷は小さい。XとYはほぼ比例関係にあることが読み取れ、経済性が高ければ(Yが小さい)、環境負荷も小さいことが分かる。また、Y切片が負となっているのは、実質支払電気料が負になることがあることを示している。これは、太陽光発電をすることによって居住者の電力購入はほとんど夜間となり、夜間は昼間より割安で購入できること、また発電の余剰分を昼間の割高な金額で売れることが要因と考えられる。

5. おわりに

本研究では、北九州市にある全世帯太陽光発電付き賃貸マンションを対象に、エネルギー収支を確認し、太陽光発電の経済的成立条件について考察を行った。

2章で、本マンションにおける1戸あたりの太陽光発電パネル1.57kW規格が、年平均1日4.5kWh/日/世帯分を発電しており、発電量が消費電力量に占める割合は、年平均で32%であることを示した。また、EPTは約1.95年と算出された。太陽光発電システムの製造エネルギーを考慮した実質エネルギー消費削減量は、パネルの寿命が20年の場合は582.2GJ/年、30年の場合は603.1GJ/年であり、世帯での消費電力量に対する割合は、それぞれ26.5%、27.5%となった。3章では、2章で紹介した発電および売電実績を用いて、オーナー・居住者双方に利益が出る賃貸料金の範囲が存在する助成割合と金利利率を投資回収期間20年、30年別に示した。回収期間が短いほど、かつ助成割合が低く金利利率が高いほど、双方に利益が出る範囲は狭くなり、範囲が存在する限界ライ

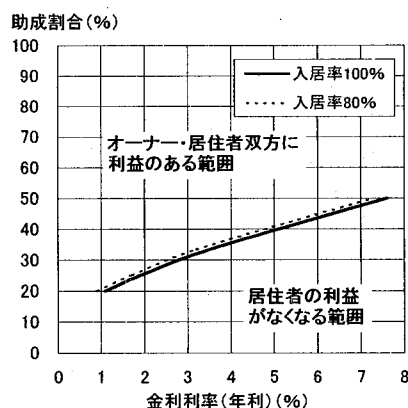


図-6 投資回収期間20年のときのオーナー・居住者双方に利益がある助成割合および年利の限界範囲

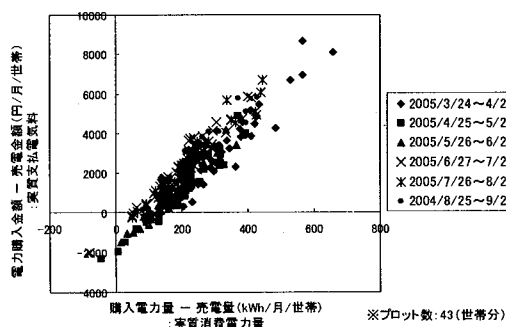


図-7 太陽光発電システムによる経済効果と環境負荷の関係

ンを求めることができた。

このように同マンションは、太陽光発電により稼動約1.95年以降は1次エネルギーの消費を抑制し、エネルギー消費削減量の消費電力量に対する割合はおおよそ30%であった。また、現実的な投資回収期間や金利利率、助成割合等の設定により、オーナー・居住者双方に利益をもたらし得る賃貸料金の範囲が存在することが分かった。これは、太陽光発電が、環境・オーナー・居住者の3者の間でWin-Winの関係を築ける可能性を有しているということである。

Win-Winの関係成立を決定付ける要因としては、電力単価、発電量、消費電力量、初期投資額、保守金額、投資回収期間、借入金の金利利率、助成割合が挙げられた。投資回収期間はオーナーの経営判断により、RC造マンションなら3章で触れたように少なくとも平均寿命39年より短い設定は可能であるが、木造や鉄骨造ではオーナーの判断は変わる可能性がある。また、消費電力量は、世帯属性によるが、残りの要因に関しては、国内なら大き

く異なるものではない。したがって、多少条件の異なる他の地域でも、RC造ならWin-Winの関係が成立し得る可能性は高いと推測される。また、投資回収期間が長いほど成立範囲が広くなることから、太陽光発電システムは、オーナーが長期にわたって保有する確率の高い賃貸マンションへの導入が適しているといえる。なお、今回はオール電化マンションで経済性評価を行ったが、オール電化は、そうでない場合と比較して、居住者の電気代削減量において、太陽光発電の利用量は大きく売電量は小さいため、差し引くと大差ないと考える。しかるに、本研究で対象とした賃貸マンションへの太陽光発電システムの設置は、今後のRC造マンションへの普及策に対し重要な示唆を与えるものといえよう。

注1) 芝浦特機株式会社へのヒアリング

注2) 評価範囲は以下である。直接投入エネルギーとしては、セルの製造工程、セルからモジュールを製造する工程、インバータや接続箱・開閉器・架台等の周辺機器を製造する工程で要したエネルギー、間接投入エネルギーとしては、材料の製造エネルギー、材料の間接的製造エネルギー、製造装置を製造するエネルギー、製造工場を建設するエネルギー、工場内照明エネルギーが含まれる。

謝辞：本研究の遂行にあたり、芝浦特機株式会社にデータ提供およびヒアリングにご協力頂いた。京セラ株式会社 ソーラーエネルギー統括事業部 本多潤一様にもご助言頂いた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 総務省統計局：住宅・土地統計調査，2003
- 2) 気象庁：気象統計情報
<http://www.data.kishou.go.jp/etrn/index.html>
- 3) 太陽光発電技術研究組合：平成 12 年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書 太陽光発電システム実用化技術開発 太陽光発電利用システム・周辺技術の研究開発「太陽光発電評価の調査研究」，2000。
- 4) 資源エネルギー庁長官官房総合政策課：総合エネルギー統計，pp. 161, 2002。
- 5) (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：全国日射関連データマップ (MONSOLA00 (801))
<http://www.nedo.go.jp/database/>
- 6) 住環境計画研究所：家庭用エネルギー統計年報，1999。
- 7) 小松幸夫，加藤裕久，吉田伸郎，野城智也：わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告，日本建築学会計画系論文集 第 439 号，pp. 101-110, 1992。
- 8) 内山洋司：発電プラントのライフサイクル分析，(財)電力中央研究所報告 (Y94009)，1995。

CONDITIONS FOR ECONOMICALLY APPROVING SOLAR POWER GENERATION SYSTEM —THE CASE OF RENTAL APARTMENT HOUSE IN WHICH SOLAR ARRAYS ARE INSTALLED IN ALL UNITS—

Miyoko ISHIZAKI, Suehiro OTOMA and Toru MATSUMOTO

In Kitakyushu City, there is a Japan's first rental apartment house, which was constructed with reinforced concrete and consists of 43 apartment units with solar arrays for power generation at 1.5kW. Objectives of the study are to grasp energy balance and to analyze economical aspect for the owner and residents of the apartment house with respect to the system. With energy generation of 4.5kWh/day/unit on annual average and energy payback time of about 1.95 years, the ratio of the reduction of energy consumption and electricity consumption was calculated to be about 30%. Economical analysis indicates that the owner can gain more than the investment including the interest from the additional fee to the rent, by the setting of a realistic payback period, the interest rate and the amount of the subsidy. At the same time the residents can attain a net profit by saving the electricity bill and selling the excess electricity to a power company within a certain range of the rent fee. In other words, a rental apartment house with a solar power generation system has potential to build so-called the Win-Win relationship among three parties of the environment, the owner, and the residents.