

S-3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案
手法の確立に関する総合研究プロジェクト

3. 都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価

(4) 都市への燃料電池と太陽電池導入によるエネルギー削減効果

信州大学 繊維学部 高橋伸英

[要旨] 低炭素社会の実現に向けて、民生部門のエネルギー消費由来のCO₂排出を削減することが急務となっている。その一つの手段はCO₂排出原単位の小さいエネルギー源への代替であり、太陽電池はその有力な候補である。本研究では、都市への太陽光発電の導入可能性を明らかにし、中長期的な導入シナリオを描き、太陽光発電導入によるCO₂削減効果を予測することを目的としている。

NEDOの導入目標に基づき、日本全国での太陽光発電の導入量を2050年まで予測した。その結果、2050年の太陽光発電による発電シェアは40%まで増加し、住宅の屋根のみに設置した場合、日本全国の屋根面積の約60%が太陽電池で覆われると予測された。また、その規模まで大量に太陽光発電が導入されると電源構成の大幅な変更を余儀なくされることが示唆された。

太陽光発電の大規模導入を可能にする手段として蓄電池の併用に着目し、蓄電池を併設した、「完全独立型」と「系統連系逆潮流なし」の二つのシステムについて発電コスト、CO₂排出原単位を評価した。「完全独立型」は、蓄電池製造コストが現状の約10分の1まで低下したとしても、発電コストは現在の系統電力の数倍程度にしか低減できない。一方、「系統連系逆潮流なし」では、太陽電池容量と蓄電池容量の間に最適な組み合わせがあり、蓄電池コストが現状の10分の1程度まで低下すれば、系統電力に匹敵する発電コストになり、太陽光発電量も有効に利用され、太陽光発電の大規模導入を可能にする有望なシステムであることが示された。

[キーワード] 太陽光発電、CO₂排出削減、将来予測、大規模導入、蓄電池、LCA

1. はじめに

NEDOの太陽電池(PV)ロードマップ¹⁾では、2030年までに累積導入量100GW、発電量として家庭用電力の50%、全電力の10%程度を太陽光発電により賄うことを想定している。現在導入が進んでいる太陽光発電システムは主に住宅の屋根に設置するものであるが、太陽電池を設置できる場所およびその面積は都市の建物構成によって大きく変わり、太陽光発電による供給可能電力量(発電ポテンシャル)は都市によって大きく異なる。太陽電池の都市への導入によるCO₂削減効果については、Kraines, et al.²⁾が東京を対象として系統連携住宅用太陽光発電システムの導入を検討しており、利用可能な建物の屋根または屋上の全てを利用した場合、電力需要の12%が太陽光発電により賄われ、同じ割合のCO₂を削減できるとしている。また、戸建住宅の割合が高く、住宅規模が大きい地域では太陽光発電によるエネルギー供給量が大きく導入ポテンシャルが高い³⁾。昨年度の本報告⁴⁾では、宇都宮市と札幌市の利用可能な建築面積を利用することにより、それぞれ電力需要の1.8倍、1.1倍の電力を太陽光発電により賄えることを示した。また住宅地域では太陽光発電

システムを設置可能面積に敷き詰めることにより電力需要を満たせるが、工業地区では40-70%程度に留まるという試算もある⁵⁾。太陽光発電システムの大量導入にあたり、設置のための十分な面積が存在するか、また設置によりどの程度の電力を賄うことができるかについて、都市レベル、都道府県レベル、電力会社管轄地域レベルで検討を行い、より具体的な導入形態について知見を深める必要がある。

また、太陽光発電システムの導入を推し進めるためにはコストの低減は必須である。現在の発電コストは45円/kWhと言われており¹⁾、系統電力の発電コストの数倍となっている。NEDOのロードマップでは、2010年に従量電力料金並み(23円/kWh)、2020年に業務用電力料金並み(14円/kWh)、2030年に汎用電力料金並み(7円/kWh)まで発電コストを低減することを目標としている。そのためには高コストな高純度シリコンの使用を低減すること、システム構成材料の高強度化、長寿命化、および設置工事の低コスト化などが必要である。さらに、仮にコストが低減し導入が進んだとしても、太陽光発電システムの大量集中導入に伴う問題を克服しなければならない。現在導入が進んでいる太陽光発電システムは概ね系統と連系し、昼間の余剰電力を系統へ逆潮流させ売電し、夜間または雨天時に電力が不足する場合には系統から電力を購入するシステムである。現状のように導入量が少なれば系統に与える影響は小さいが、限られた地域で大量の太陽光発電システムが系統と接続され逆潮流を行う場合には、電圧変動や高調波ノイズなどの問題が生じると懸念される。電気事業法では低圧需要家引き込み口に換算した電圧変動を $101 \pm 6V$ (5%)の範囲に抑えなければならないと定められているが、この制約を満たすための導入量の限界は、配電線のインピーダンスに大きく左右され、農村地区では10%、住宅地区では30%程度と言われている⁶⁾。また高調波ノイズによる導入量限界は農村地区では55%、住宅地区では60%程度と推定されている。商工業地区では比較的配電線のインピーダンスが小さいために、これらの問題による導入量限界はないと言われている⁹⁾。また、これらの局所的な問題とは別に、気候により大きく変動する太陽光発電を大規模に導入することによる電力品質の問題、また出力調整の問題が生じる。いずれにせよ、電力貯蔵設備を併設するなどの太陽光発電の不安定さを補償するような手段が講じられない限り、例えコストが低下しても大量導入への道を開くのは困難である。また、生じうる問題を回避する手段を講じるにはエネルギーとコストが掛かり、CO₂が余計に排出される。そのようなコスト、CO₂排出への跳ね返りを考慮し、システム全体でコスト、CO₂排出削減効果を評価し、対策の有効性を検討する必要がある。

2. 研究目的

本研究では、都市への太陽光発電の導入可能性を明らかにし、長期的な導入シナリオを描くとともに、それにより代替可能な発電量、CO₂削減量を予測することを最終目的とする。また、太陽光発電が大規模に導入された場合に懸念される問題に対して解決手段を提案し、そのコスト、CO₂排出量の増加を評価することにより、大量導入時のより現実的なシステムのあり方とコスト、CO₂排出量評価を行う。今年度は以下の項目について研究を行った。

(1) 日本全国における太陽光発電導入の中長期予測

(2) 大規模導入のための蓄電池併設システムの提案とコスト、CO₂排出量評価

(1)では、NEDOの太陽光発電導入シナリオに基づき、住宅の屋根面積の変化、太陽電池モジュールの技術改善も考慮し、2000年から2050年までの太陽光発電量を各都道府県別、電力会社別に予測を行った。

(2)では、大規模導入に伴う問題を解決する一つ的手段として、蓄電池を併設するシステムを想定し、コスト、CO₂排出量のを評価を行った。

3. 研究方法

(1) 日本全国におけるPV発電量予測

NEDOが想定した導入シナリオに基づき太陽光発電システムが日本全国に導入された場合の発電量の時間変化を予測する。予測には人口変化に伴う建物の屋根面積変化を考慮する。また、時間が経過すると共に太陽電池モジュールの技術水準も向上することが予想されるため、その変化も計算に取り入れる。計算は都道府県別に行い、365日24時間別の発電量を計算する。また計算された結果から電力会社管轄地域別に集計し、電力会社ごとの発電シェアの変化についても検討を行う。計算は以下の手順により行う。

- 1) 太陽電池モジュールを設置する住宅の屋根面積を決定するために、各都道府県別の戸建および集合住宅の家族類型別の延床面積データ(2000年~2050年)を用いた。戸建住宅および集合住宅の平均階数を家族累計、地域および年度によらず、それぞれ1.8階、4.1階と仮定し、屋根面積に変換した⁷⁾。
- 2) 日射データは太陽光発電システム用標準気象データ(METPV-2)⁸⁾を用いて計算し、各都道府県の県庁所在地における時間別斜面日射量の平年値を計算した。このときのパネルの水平面に対する角度は年間の受光量が最大となる最適傾斜角を用いた。最適傾斜角とは年間の斜面日射量が最大となる角度であり、「太陽光発電導入ガイドブック<資料編>」⁹⁾から各県庁所在都市における値を使用した。
- 3) 太陽電池モジュールは温度により効率が変化するため、温度による補正を行う必要がある。その補正には各県庁所在地の月別平均気温のデータを用いた。
- 4) 太陽電池の導入量は、2002年までの導入量実績¹⁾とNEDOの2030年の目標値である100GWから回帰式を求め、2050年までを予測した。
- 5) モジュール効率は、現状およびNEDOの2010、2020、2030年の目標値¹⁾に基づき回帰式を求め、2050年までを予測した。
- 6) 太陽電池1kW当りのモジュール面積はモジュール効率が高くなると減少する。そこで、5)のモジュール効率の推移予測結果を用い1kW当りのモジュール面積の推移を予測した。また、パネルの傾斜角を各都道府県の最適傾斜角の平均値とし、パネルを置くために必要な屋根面積に換算した。これにより、累積導入量が決定すると、それに必要な屋根面積を求めることができる。
- 7) 4)~6)より、累積導入量予測からそれに必要な屋根面積が予測でき、さらに1)の屋根面積の予測結果を用いることにより、屋根面積基準の太陽電池モジュールの導入率(占有率)を計算することができる。

(2) 大規模導入のための蓄電池併設システム評価

太陽電池の導入が進み大規模に導入されるようになると系統連系に伴う種々の問題が生じる。その問題を解決する一つの方法は蓄電池の併用である。本研究では、蓄電池のシステムへの導入

形態として二つの場合を考えた。一つは、長期的な曇天および雨天時においても全ての消費電力を太陽光発電により賄うことを目的とし、複数日分の消費電力量を蓄電できる大容量の蓄電池を導入する場合であり、系統非連系な完全独立型のシステムである。しかし、これでは大容量の蓄電池が必要になり、コストが非常に高くなることが予想される。そこで、より低コストで蓄電池を導入し、かつ系統連系に伴う問題を回避できる手段として、昼間の太陽光発電の余剰電力を蓄電池に蓄電し、系統と連系するが逆潮流は行わず、太陽光発電量および蓄電量が不足し消費電力を賄えない場合にのみ系統から電力を購入する、系統連系逆潮流なしのシステムを提案する。完全独立型よりも小容量の蓄電池で済むため、蓄電池に掛かるコストが抑えられる。しかし、このシステムにおいても、蓄電池容量が大きいと太陽光発電量の有効利用が可能となるが、やはり蓄電池コストが高くなり、全体システムコストが増加する。逆に、蓄電池容量が小さすぎると蓄電池のコストは低く抑えられるが、発電量のうち蓄電できず廃棄される割合が増加するとともに購入電力量も増加し、コストが増加する。従って、コストの面から最適な蓄電池容量が存在することが予想される。本研究では住宅設置型を対象とし、年間を通じた電力需要パターンと太陽光発電パターンを考慮し、コストミニマムとなる最適蓄電池容量を求めることとする。

次の三ケースについてコスト、CO₂排出原単位の計算を行い、比較する。

- ① 住宅用屋根置き系統連系逆潮流あり太陽光発電システム
- ② 住宅用屋根置き蓄電池併設独立型太陽光発電システム
- ③ 住宅用屋根置き蓄電池併設系統連系逆潮流なし太陽光発電システム

太陽電池の種類は多結晶シリコンであり、モジュール効率としては将来技術革新を見込んだ17%（セル効率20%）を仮定した¹⁰⁾。

①、②については、PVの発電容量は3.5kWとし、出力電圧200Vとした。①のケースではパワーコンディショナーの容量は3.5kWとした。②のケースでは、必要な蓄電池容量は年間の太陽光発電パターンと電力消費パターンから決定される。③のケースでは、太陽電池モジュールの技術水準、生産規模は前出と同じであるが、発電容量は2.0～5.0 kWの間で最適となる容量を探索する。蓄電池については、容量を1.0～10kWhとし、放電深度(DOD)70%で運転するとし、回復充電は行わないこととした。また、耐用年数は20年を想定した。コストを最低にするように、太陽電池の発電容量と蓄電池容量は最適な組み合わせが決定される。

いずれのケースも設置対象都市は宇都宮市とし、南向きでアレイ角30度に設定した。気象データはNEDOの太陽光発電システム用標準気象データ(METPV-2)⁸⁾により平年値を使用した。100km²の延床面積を有する戸建住宅を対象とし、消費電力パターンは3季節（夏期、冬期、中間期）24時間別のデータを使用した¹¹⁾。

太陽電池モジュールの投入エネルギー、CO₂排出量、投入コストはそれぞれ7.8 GJ/kW、128.8 kg-C/kW、110.7 千円/kWとした¹⁰⁾。蓄電池の製造エネルギー、CO₂排出原単位はそれぞれ398 MJ/kWh¹²⁾、20.2 kg-C/kWhと仮定した¹³⁾。また、蓄電池の製造コストは現状の販売コスト¹⁴⁾を参考に、10kWh以上の容量では100円/Wh、それ以下の容量では140円/Whと仮定した。また将来の蓄電池コストとして、NEDOの将来目標値12円/Wh¹⁵⁾を用いた。これらの値を使用して上記3つのシステムについてエネルギー、コスト、CO₂排出量の計算を行い比較した。

4. 結果・考察

(1) 日本全国におけるPV発電量予測

表1に日本における太陽光発電システムの累積導入実績値（2002年度まで）¹⁶⁾と2030年のNEDOの目標値¹⁾を示した。これらの値から累積導入量を予測するための近似式を以下のように求めた。

$$(\text{累積導入量 [万kW]}) = 0.2543t^3 - 4.6101t^2 + 28.814t - 53.145 \quad (R^2 = 1)$$

ここで t は1990年度からの年数とした。この近似式から2050年の累積導入量を予測すると、40,000万kWとなった。これは単純に計算すると現在の電力消費の約40%を供給できる規模である。

NEDOのロードマップ¹⁾では多結晶シリコンのモジュール効率の目標値を2010年、2020年、2030年でそれぞれ16、19、22%と想定している。これらの値と現状のモジュール効率（2000年で14%、2005年で15%と仮定）からモジュール効率の時間変化は次の式により近似された。

$$\text{モジュール効率 [\%]} = 0.13(t-10)^{1.21} + 14.0 \quad (R^2=0.9992)$$

t は1990年度からの年数であり、ここでは $t \geq 10$ である。この式により外挿すると、2050年の多結晶太陽電池モジュールの変換効率は29%となる。

全国の住宅の延床面積は戸建と集合住宅のそれぞれについて、図1に示すように推移すると予測された。いずれも2020年以降減少に転ずる。これらから推定された日本全国の総屋根面積は2,000～2,500km²となり、やはり2020年以降減少すると予想された。

これらのデータを用い、屋根面積ベースの導入率が地域によらず一定であるとして計算した太陽光発電量の予測結果を図2に示す。これは全国合計値の時間変化であるが、2030年には123 TWh/y、2050年には494 TWh/yの発電量となり、2004年の系統電力の総発電量（1,137 TWh/y）を基準とする発電シェアは2030、2050年でそれぞれ10.8%、43.4%となった。また住宅の屋根面積に占める割合は17.1%、63.8%となった。今回は住宅の屋根のみを設置に利用すると想定したが、2050年度の計算結果から、発電シェア40%程度とするには全国の住宅の屋根の6割に太陽電池モジュールが設置されなければならない。住宅以外の場所も設置に利用できるとすれば、NEDOの想定を満たす十分な面積が存在すると思われる。しかし、今回の計算では多結晶シリコン太陽電池を想定し、2050年のモジュール変換効率を約29%と仮定しているが、モジュール効率がこの値まで向上できなければその分設置面積が増大する。例えば、大幅にコストを低減できると期待される色素増感太陽電池は現状の変換効率は4～5%であり、仮に2050年度の時点で実用化され、その効率が15%

表1 PV累積導入実績とNEDO目標

年度	PV累積導入量 [万kW]
1993 (実績)	2.4
1994 (実績)	3.1
1995 (実績)	4.3
1996 (実績)	6.0
1997 (実績)	9.1
1998 (実績)	13.3
1999 (実績)	20.9
2000 (実績)	33.0
2001 (実績)	45.3
2002 (実績)	63.7
2030 (NEDO目標)	10,000

*実績値は経済産業省の試算による

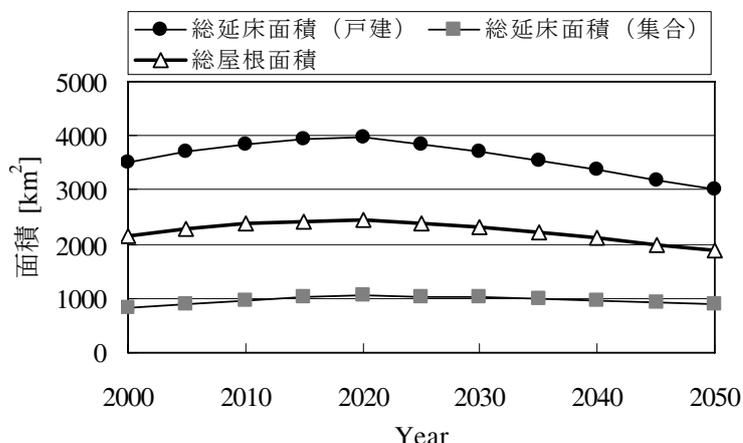


図1 戸建・集合住宅の延床面積と総屋根面積の推移

まで増加したとしても、同条件で計算すれば約2倍の設置面積が必要であり、住宅の屋根だけでは設置面積が不足する。住宅以外の建物の屋根および壁面、あるいは空き地の利用など、あらゆる設置可能な場所の利用により設置面積の確保が必要となる。

各都道府県の電力消費（2004年度データ¹⁷⁾）に占める2050年時の太陽光発電量の割合を図3に示す。

図2の系統電力の総発電量よりも

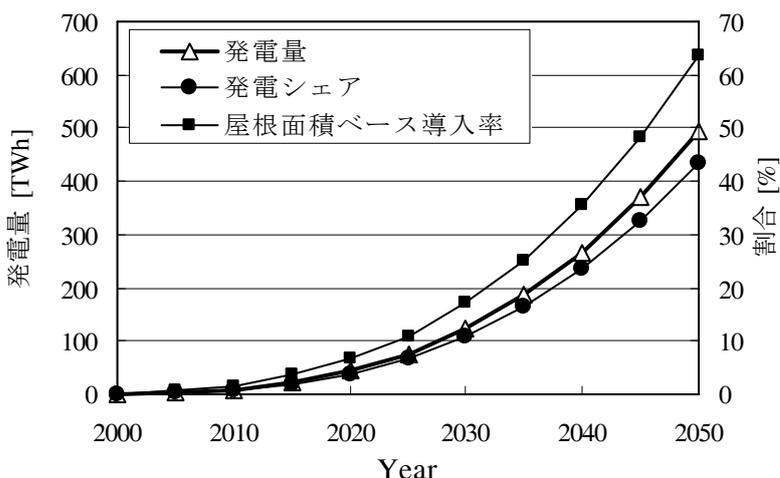


図2 PV発電量、発電シェアおよび設置面積割合の推移予測

図3の電力消費量の総計の方が2割ほど小さいため、割合は図2の時よりも大きくなっている。地域によって供給割合が大きく異なることが明らかとなった。割合が最も小さいのは大阪府の33.0%、最も大きいのは鹿児島県の82.1%であった。今回の計算では、太陽電池モジュールの導入率を地域によらず屋根面積ベースで一定の値に設定しているため、この割合が小さいということは、その地域における屋根面積あたりの電力消費量が多いことを意味する。しかし、必ずしも都市化が進んでいる地域でのみ小さい値を取るわけではなく、福井、富山、岡山、山口でも東京と同程度の値となった。これは産業構造やその地域の建物構成が大きく影響していると考えられる。

電力会社管轄地域別で集計した電力消費量（2004年度）に対する太陽光発電量（2050年度）の割合を図4に示すが、電力会社によって47.6%（北陸）から66.3%（東北）まで変化する。大都市圏を含む東京電力、関西電力で低い値を取ると予想したが、必ずしも予想通りではなかった。確かに都道府県別では東京都の割合は小さかったが、埼玉県、千葉県、山梨県では大きく、東京の低い割合を補填している。つまり東京など大都市では面積あたりの電力需要が大きく、その都市で限れば太陽光発電による供給割合は低い、同じ電力会社管轄地域内で発電量を融通することにより供給割合を高めることができる。しかし、北陸電力地域では太陽光発電による供給割合がどの県も低いため、融通することができず低い値に留まった。

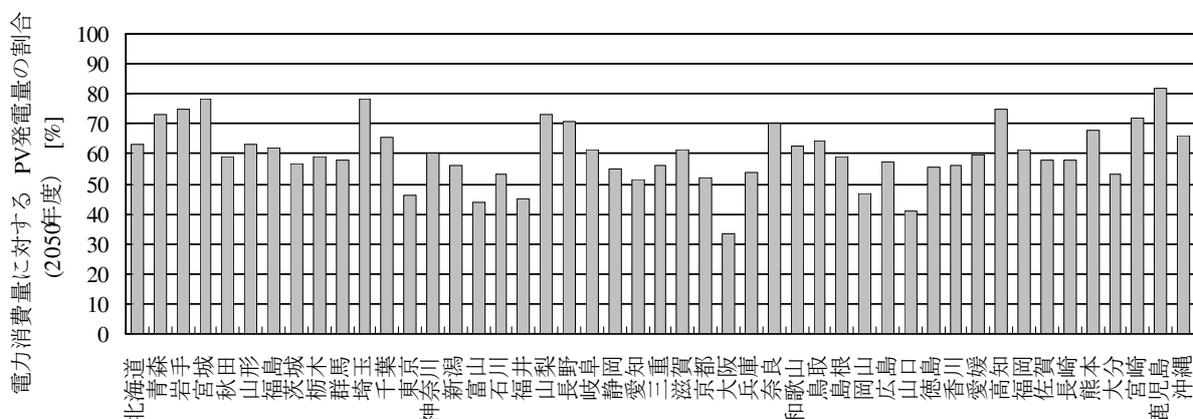


図3 都道府県別の電力消費量（2004年度）に対するPV発電量（2050年度予測値）の割合

太陽光発電は主に昼間に行われるため、太陽光発電による供給割合は昼間だけでみれば今回示した値よりも数倍大きいことが予想される。現在の電源構成は水力、原子力、などのベース供給力とピーク供給に対応した石油火力、およびその中間のミドル供給を担う石炭火力、天然ガス火力などから成っている。太陽光発電による供給割合が増加すれば、他の電源の割合を低下させなければならない。ベース供給力である原子力は30%の発電シェアを占め、今後さらに増加するとの見通しもあるが、太陽光発電の大規模導入がNEDOの想定通りに進めば、ベース供給力である原子力を減らすことも可能性として考えられる。いずれにしても、太陽光発電の大規模導入の達成には現在の電源構成の大幅な変更が不可欠となるが、比較的低コストで低CO₂排出原単位な原子力を減らしてまで太陽光発電を導入することが、本当にCO₂排出の削減に結びつくかは、電源構成の変更を想定し包括的な検討により明らかにしなければならない。

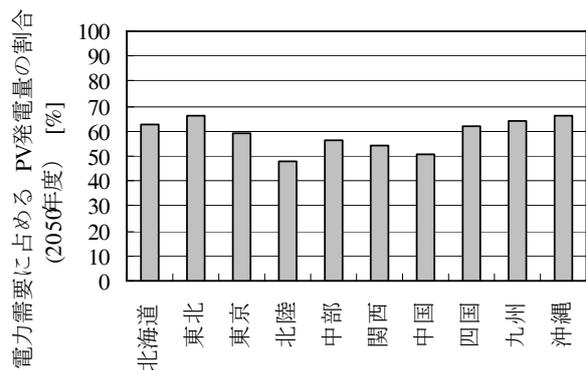


図4 電力会社別の電力消費量(2004年度)に対するPV発電量(2050年度予測値)の割合

(2)大規模導入のための蓄電池併設システム評価

まず、①住宅用屋根置き系統連系逆潮流ありの場合の太陽光発電システムのコスト、エネルギーCO₂排出原単位などの評価結果を表2に示す。多結晶シリコン太陽電池を想定し、モジュール効率17% (セル効率20%)、生産規模1GW/yの時の評価結果である⁹⁾。この評価により、多結晶太陽電池の発電コストは将来的には従量電力料金よりも低くできる可能性が示された。

大規模導入の一つの形態として想定した、②独立型・蓄電池併設システムについての計算結果を表2に示した。宇都宮市の気象データを用い、100m²の延床面積を有する戸建住宅において、購入電力量がゼロとなる蓄電池容量は26kWhと計算された。この規模の戸建住宅の消費電力量は年間2,100kWhと計算され、この蓄電池容量は4.5日分の消費電力に相当する。蓄電池の製造コストを100円/Whと仮定して計算した結果、発電コストは131円/kWhまで著しく増加した。コスト・ペイバック・タイムは85年と長く、コスト的には導入困難なレベルとなった。仮に製造コストがNEDOの蓄電池部会の目標値である12円/Whに低減できるとした場合、発電コストは47円/kWhまで低減できるが、それでも現在の従量電力料金の数倍高い。またCO₂排出原単位への跳ね返りが大きく、蓄電池を併設することにより、CO₂排出原単位は約4倍に増加した。しかし、CO₂排出については、系統電力のCO₂排出原単位が114 g-C/kWhであり¹⁰⁾、それと比較すれば4分の1程度であるので、完全独立型にすることによるCO₂削減効果への影響は小さく、やはりコストの方が問題である。

コストを下げ、かつ太陽光発電導入率を高めるために、本研究では③系統連系逆潮流なし蓄電池併設型システムを提案する。図5に電力消費に有効に利用される太陽光発電量、および購入する電力量を示す。太陽電池の発電容量は3.5kWとした。それぞれの量は併設する蓄電池の容量により大きく変化し、蓄電池容量の増加に伴い有効利用される発電量は増加し、購入電力量は減少する。

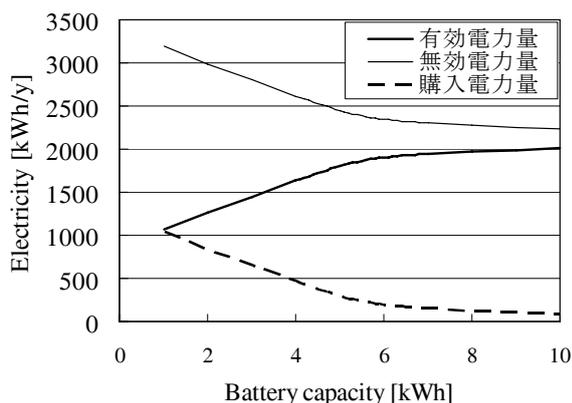


図5 系統連系逆流なし蓄電池併設型太陽光発電システムにおける蓄電池容量と有効電力量、購入電力量の関係

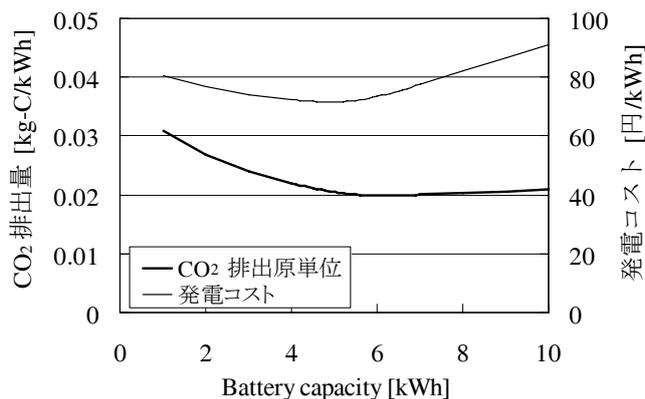


図6 系統連系逆流なし蓄電池併設型太陽光発電システムにおける蓄電池容量と発電コストおよびCO₂排出原単位との関係

図6には蓄電池容量が変化した場合の発電コスト、CO₂排出原単位の変化、そして図7には3種類のペイバックタイムの変化を示した。図から分かるように、コスト、エネルギー、CO₂排出量が極小となる蓄電池容量が存在し、その容量は必ずしも一致しない。発電コストでは蓄電池容量が5.0kWhのときに極小値71.5円/kWhとなった。また、投入エネルギー、CO₂排出量が極小となる蓄電池容量は、それぞれ9.4、6.2 kWhであった。このことは、コストとCO₂排出量のどちらを重視するかにより選択する蓄電池の容量が変わることを意味する。

また、太陽電池の発電容量によっても最適となる蓄電池容量は変化する。図8にPV発電容量が変化した場合の、最低コストを与える蓄電池容量とその時の発電コストを示す。最適な蓄電池容量は太陽光発電容量の増加に伴い3kWまでは急激に増加するが、それ以上の範囲では約5kWhでほぼ一定となった。一方この時の発電コストはPV発電容量の増加に伴い単調に増加した。いずれにしても太陽電池容量が小さいほど必要となる蓄電池の容量も発電コストも低下する。しかし、図9に示すように、太陽電池容量が小さいと、電力消費に占める割合が低下する。コストが最小となる2kWの太陽電池と0.7kWhの蓄電池の組み合わせでは、電力消費の44%しか賄うことができない。つまりCO₂の削減効果も同程度に留まる。この時の発電コスト、CO₂排出原単位についても表2に示してあるが、現状の蓄電池製造コスト140円/kWhを用いて計算した場合、発電コストは57円、コスト・ペイバック・タイムは37年となった。完全独立型に比べれば発電コストは小さいが、それでも現状の従量電力料金よりは数倍高い。一方、コストが最小となる蓄電池容量は蓄電池の製造コストにより大きく変わり、仮に蓄電池製造コストが12円/kWhに低減したとすると、最適な蓄電池容量は8.3kWhと計算された。蓄電池容量は現状コストの時に比べ10倍以上大きくなったが、その時の発電コスト、CPTはそれぞれ29円、19年と著しく低下した。発電コストは依然として系統電力の従量電

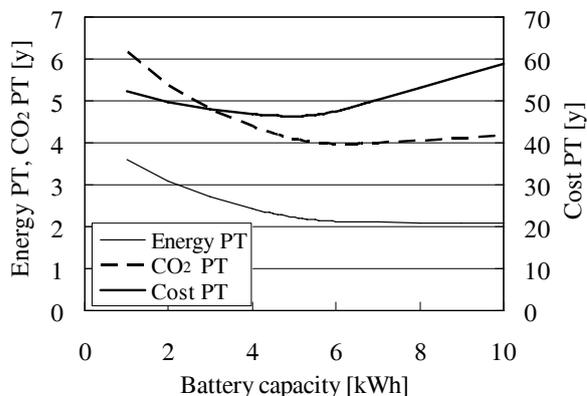


図7 系統連系逆流なし蓄電池併設型太陽光発電システムにおける蓄電池容量とEPT、CPT、CO₂PTの関係

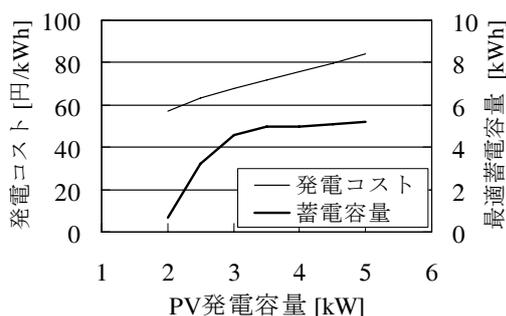


図8 PV発電容量と最適蓄電池容量
および発電コストの関係

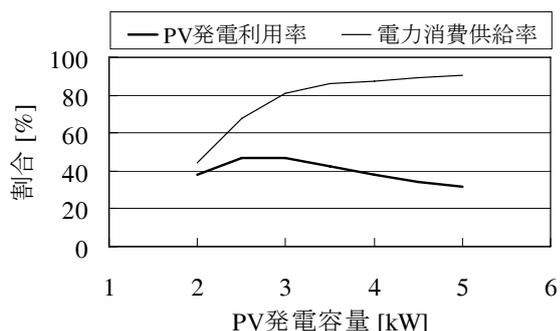


図9 PV発電容量と発電電力利用率および
消費電力供給率の関係

量料金よりも高いが、化石燃料コストの高騰を考えれば、競合できるレベルに低減できる可能性がしめされた。また、製造コストが低下すれば蓄電池容量を大きくすることができるため、太陽光発電量の有効利用も可能になり、利用率は74%、電力消費に対する供給割合は86%となった。蓄電池製造コストがシステム構成およびその効率に大きく影響を及ぼすことが明らかになり、太陽光発電システムの大規模導入には太陽電池そのものとともに、蓄電池の低コスト化が必要不可欠である。

以上、蓄電池を併設した太陽光発電システムについてコスト、CO₂排出量の評価を行った結果、完全独立型とするための大容量の蓄電池を用いた場合、蓄電池の製造コストを現在よりも10分の1程度小さいと仮定しても、発電コストは従量電力料金の数倍程度にしか削減できず、コスト的には不利であることが示された。一方、完全独立型とせず、太陽光発電量を有効に利用するために蓄電池を導入し、消費電力の供給が不足する時のみ系統から電力を購入するとした、系統連系逆潮流なしのシステムでは、蓄電池の製造コストによって、発電コストを最低にする蓄電池容量が変わるが、将来の蓄電池コストを仮定した場合、発電コストは従量電力料金と匹敵する程に低減できる可能性があり、また、太陽光発電量も有効に利用できる可能性がある。

表2 各太陽光発電システムの投入エネルギー、発電コスト、CO₂排出原単位

	①系統連系逆潮流あり (PV発電容量：3.5kW)	②独立型・蓄電池併設 (PV発電容量：3.5kW)		③系統連系逆潮流なし・蓄電池併設 (PV発電容量：2.0kW)	
		蓄電池現状コスト (100円/Wh)	蓄電池将来コスト (12円/Wh)	蓄電池現状コスト (140円/Wh)	蓄電池将来コスト (12円/Wh)
System cost [yen/W]	277	1020	366	343	344
Energy payback time [y]	0.89	2.3	2.3	2.5	1.5
CO ₂ payback time [y]	1.5	5.5	5.5	4.3	3.1
Cost payback time [y]	11	85	31	37	19
発電コスト [yen/kWh]	18	131	47	57	29
CO ₂ 排出原単位 [g-C/kWh]	7.5	28	28	21	15

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

NEDOの導入目標に基づき、日本全国への太陽光発電システムの導入量変化を2050年まで予測した。都道府県別の住宅の屋根面積推移、および多結晶シリコン太陽電池を想定し発電効率の向上の予測結果を取り込むことにより、大量導入が進んだ場合の導入状況をより具体的に提示した。さらに、太陽光発電導入によるCO₂削減効果が地域によって大きく異なることを示した。

太陽光発電の大規模導入を可能にするための手段として、蓄電池を併用したシステムについてコスト、CO₂排出量の評価を行い、太陽光発電の大規模導入にとって現実的かつ有効なシステムを提案すると共に、経済的な課題を明らかにした。

(2) 地球環境政策への貢献

地域特性、都市の建築特性を考慮して太陽光発電ポテンシャルを評価することにより、太陽光発電システムを導入する際に有利な条件を有する地域、都市を明らかにした。また都道府県別、電力会社別に中長期的な太陽光発電の導入を予測した。これらの成果は地域特性を考慮した太陽光発電システム導入シナリオの立案に寄与する。さらに、大規模導入に対する問題の明確化と、それに対する有効なシステムの提案は、太陽光発電の大規模導入のより具体的かつ現実的な実現方法の立案に寄与する。

6. 引用文献

- 1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030)」，2004
- 2) S. B. Kraines, D. R. Wallace, Y. Iwafune, Y. Yoshida, T. Aramaki, K. Kato, K. Hanaki, H. Ishitani, T. Matsuo, H. Takahashi, K. Yamada, K. Yamaji, Y. Yanagisawa and H. Komiyama, “An integrated Computaional Infrastructure for a Virtual Tokyo”, *Journal of Industrial Ecology*, 5, 35-54, 2001
- 3) 経済産業省，エネルギー白書2004年版：
<http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/index.html>
- 4) 佐賀武義，三浦修一：「住宅における太陽エネルギー導入のための地域別可能性評価に関する研究」，太陽／風力エネルギー講演論文集，125-128，2002
- 5) 昨年度報告書（「地球環境研究総合推進費平成16年度研究成果」），2006
- 6) K. Kurokawa, “PV systems in urban environment”，*Solar Energy Materials & Solar Cells*, 67, 469-479, 2001
- 7) 太陽光発電技術研究組合，平成7年度NEDO委託業務成果報告書：「太陽光発電評価の調査研究」，1996
- 8) 総務省統計局：「平成10年 住宅・土地統計調査 確報集計結果（全国編）統計表 付表第11表 『建て方（4区分），階数（4区分）別住宅数—全国，都道府県，13大都市（平成10年）』」，2000
- 9) NEDO，技術情報データベース：<http://www.nedo.go.jp/database/>
- 10) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：「太陽光発電導入ガイドブック<資料編>（2000年改訂版）」，2000

- 11) 山田興一, 小宮山宏: 「太陽光発電工学-太陽電池の基礎からシステム評価まで-」, 日経BP社, 2002
- 12) 空気調和・衛生工学会: 「都市ガスによるコージェネレーションシステム 計画・設計と評価」, 丸善, 1994
- 13) 化学工学会第I種研究会「CO₂と地球環境問題研究会」: 「太陽光発電技術の評価II」, 1995
- 14) 株式会社BRSホームページ: <http://www.battery-reuse.co.jp/>
- 15) エヌ・イー・ティー株式会社ホームページ, 価格リスト:
<http://www.solar-battery.net/price.html>
- 16) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 「平成11年度ニューサンシャイン計画 太陽光発電システム実用化技術開発」, 2000
- 17) 新エネルギー財団ホームページ:
<http://www.nef.or.jp/photovolataicpower/joukyou01.html>
- 18) 電気事業連合会, 電力統計情報: <http://www.fepc.or.jp/>

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

なし

<査読付論文に準ずる成果発表>

なし

<その他誌上発表>

なし

(2) 口頭発表

なし

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

なし