

B-14 地球温暖化防止対策技術の総合評価に関する研究

(4) エネルギー分野における重点対策の普及に当たっての技術的評価

① 電力関係分野の重点対策の評価

研究代表者 東京大学 石谷 久

通商産業省工業技術院 電子技術総合研究所

エネルギー部

村田 晃伸

加藤 和彦

清水 定明

津田 泉

研究期間 平成6年度～平成8年度

平成6-8年度合計予算額 21,738千円

(平成8年度予算額 6,716千円)

[要旨] 太陽光発電は電力関連分野における地球温暖化防止対策技術として重要な役割を果たすことが期待されている。広い地域に太陽光発電のような分散電源が普及する場合は発電量の地域分布が重要になるため、日射量の時間変動を地域的な相関を考慮して推定する方法を検討した。日射気候区に基づいて全国を9地域に分け、日照時間、天頂角、日平均日照時間、気象衛星雲画像を説明変数とする時間積算日射量を推定する方法を開発し、最近の4年間を対象に、時間積算日射量の変動と地域分布を全国規模で推定した。得られた日射分布と太陽光発電設置可能地点の分布から、任意の地域に分散設置された住宅用太陽光発電の発電量の地域分布を1時間単位でシミュレーションする事が可能になった。その結果に基づき、現在の電力系統に住宅用太陽光発電を大規模に導入すると想定した場合に得られる、太陽光発電導入設備量(kW)当たり年間二酸化炭素排出低減量を、至近年のデータに基づいて試算した。次に、太陽光発電設備の製造や建設に使用される化石エネルギーに由来する二酸化炭素排出量を評価した。現在行われている太陽電池製造プロセスを対象にデータを調査し、現在のシリコン供給フローに基づく結晶系太陽電池モジュールを使用した太陽光発電システムのライフサイクル二酸化炭素排出原単位及びエネルギー・ペイバックタイムを求めた。次いで、太陽電池の年産規模、技術進歩などをパラメータとして、将来のシリコン製造技術を用いた太陽電池製造プロセスを詳細に検討し、太陽光発電の二酸化炭素排出原単位を試算した。その結果を現状技術を用いた場合と比較した。以上の結果を用い、2010年までの太陽光発電導入シナリオに基づいて、ライフサイクルでみた太陽光発電導入による二酸化炭素排出低減効果を評価した。最後に、大量普及に伴って必要性が予想される太陽光発電設備リサイクルの可能性と問題点を調査し、潜在的なリサイクルの効果を試算した。

[キーワード] 太陽光発電、地域分布、ライフサイクル評価、二酸化炭素排出低減効果、リサイクル

## 1. 序

地球温暖化防止対策の中でも技術的な対策は、費用効果、潜在的導入可能性等の点から見て最も現実的な対策の一つであると考えられる。一方、技術的対策が真に地球温暖化防止効果を発揮するためには、大規模な普及が前提となる。したがって、今後約20年を対象に、様々な技術的対策を大規模に普及させるための課題を評価し、導入のためのシナリオを明らかにすることが必要である。とりわけ、二酸化炭素の大きな排出源であり、かつ今後ともエネルギー需要全体の中で重要さを増していくことが予想される電力関連分野における重点対策技術の評価は重要な課題である。

## 2. 研究目的

本研究は、自然エネルギー発電技術をはじめとする電力分野の重点対策技術を取り上げ、地球温暖化防止対策としての可能性を総合的に評価することを目的とする。特に、自然エネルギー発電等の導入量を制約する条件の定量的評価、ライフサイクル評価に留意して、電力関連分野の重点対策を大規模に普及させる為の課題を明らかにする。

## 3. 研究方法の概要

自然エネルギー発電等の導入量を制約する各種の因子の影響の定量的評価に当たっては、発電出力の変動、電力系統との協調、設備供給能力、技術革新等が導入量を左右すると考えられる。これらの条件を検討し、各々の制約の下での温暖化物質排出低減可能量と費用の関係を整理して、大規模導入のためのシナリオを明らかにする。また、対策技術のライフサイクル評価に関してはエネルギー収支分析、環境負荷排出分析等を組み合わせて定量的な評価を行い、地球温暖化防止効果を高めるための技術的課題を明らかにする。

## 4. 研究成果および考察

### (1) 全国規模で広域分布する太陽光発電の発電量の地域分布の評価

太陽光発電の発電量は日射と共に変動する。発電量の変動の大きさは、太陽光発電が電力系統に与える影響を支配する重要な要因である。一方、日射量の変動には地域的な相関があるため、個々の地点における日射量の変動を加え合わせるだけでは、大規模に普及した場合の発電量変動を評価することができない。電力系統に与える影響を評価するためには、少なくとも1時間単位の日射量変動を知る必要があるが、1時間単位の日射量変動は全国57箇所の気象官署および測候所でしか実測されていない。そこで、気象庁によるアメダス観測データと気象衛星ひまわりの雲画像を用いて、全国約800カ所のアメダス観測地点における日射量(1時間値)を推定する方法を検討した。推定方法の概要は表1の通りである。

提案方法の推定精度を評価するために、1992年の年間観測データを用いて、水平面全天日射量の実測値と推定値の相関関数を求め、従来提案されている日照時間(時間値)と天頂角だけを説明変数とする推定法<sup>1)</sup>と比較した。表2に関東地方を中心とする気候区Ⅲ2における比較結果を示す。表に示されるとおり、従来法よりも良好な推定結果が得られた。また、水平面全天日射量の時間変化に関して実測値と推定値を比較した結果を図1に示す。変化の傾向がよく再現されている。

表1. 時間積算水平面全天日射量の推定方法の概要

- ①全国を日射気候区にしたがって9地域に分割する。
- ②各地域内の気象官署における観測値を用いて、太陽の天頂角、雲画像から得られる雲の反射率、一日の平均日照時間を説明変数とする水平面全天日射量(時間値)の回帰式を、地域別、日照時間(時間値)別、月別に作成する。使用した回帰式の形を示す。

$$I = I_{sc} * ((a_0 * n + a_1) * \cos^2 Z + a_2 * \cos Z + a_3 * r)$$

I : 水平面全天日射量                      I<sub>sc</sub> : 大気外日射強度  
 Z : 天頂角                                      n : 日平均日照時間  
 r : 反射率

- ③決定された推定式を用いて、アメダス観測から得られる日照時間(時間値)と雲画像から得られる雲の反射率、一日の平均日照時間から、アメダス観測地点における全天日射量を推定する。

表2. 水平面全天日射量実測値と推定値の相関関数に関する従来法との比較

1992年4月: 気候区Ⅲ2				1992年7月: 気候区Ⅲ2			
日照時間	データ数	従来法	提案方法	日照時間	データ数	従来法	提案方法
0	934	0.618	0.771	0	1305	0.778	0.863
1	76	0.906	0.918	1	117	0.946	0.953
2	68	0.97	0.978	2	78	0.946	0.952
3	54	0.978	0.978	3	75	0.959	0.962
4	58	0.985	0.988	4	61	0.958	0.964
5	58	0.979	0.983	5	66	0.976	0.979
6	46	0.99	0.991	6	62	0.97	0.97
7	43	0.975	0.974	7	58	0.982	0.984
8	57	0.983	0.984	8	72	0.97	0.971
9	88	0.981	0.981	9	115	0.973	0.973
10	832	0.982	0.982	10	595	0.959	0.964

一日の平均日照時間と雲の反射率を説明変数に加えている点が、本推定方法の特徴である。一日の平均日照時間と雲の反射率を水平面全天日射量の説明変数に加える事により、特に日照時間の短い場合の推定精度が向上した。この日射量推定方法を用いて1992年～1995年の4カ年における、水平面全天日射量の1時間単位の変動とその地域分布を全国規模で推定した。ついで、系統連系型3kW住宅用太陽光発電システムが、ある地域の全ての戸建て住宅に、南向きの最適傾斜角で設置されるものとして、その地域における総発電量を1時間単位で推定した。太陽光発電システムの設置対象である住宅の分布は、最新の住宅統計に基づいて市町村単位で整理した。得られた推定日射分布と設置可能地点分布を用いて、任意に指定した地域内に設置される住宅用

太陽光発電システムの発電出力を、1時間単位でシミュレーションする事が可能になった。

前橋 1992/4/1-1992/4/7

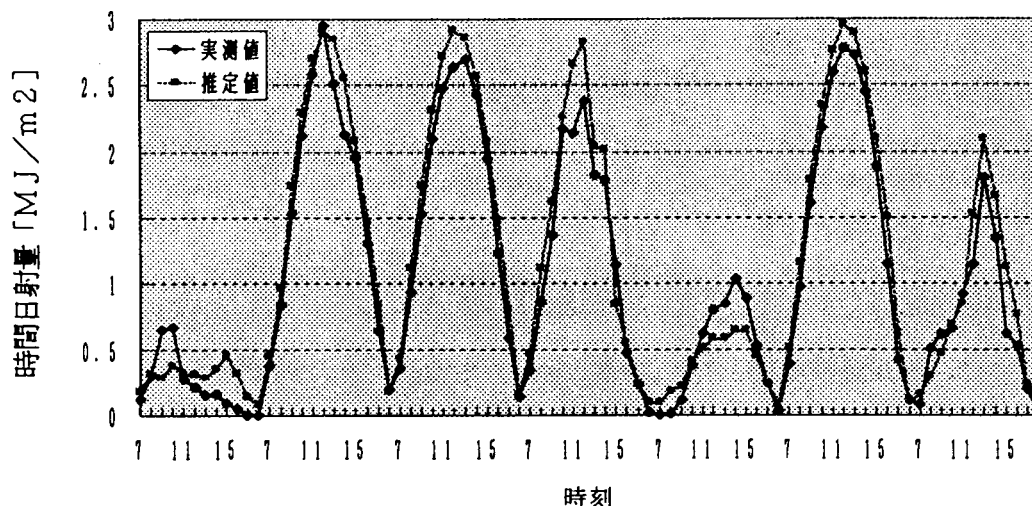


図1. 時間水平面全天日射量日変化の推定例(前橋 1992年4月1日～7日)

## (2) 太陽光発電のライフサイクル二酸化炭素排出の評価

発電時に二酸化炭素を排出しない太陽光発電は、その発電設備の製造や建設に既存の化石エネルギーが利用されており、間接的に二酸化炭素が排出される。そこで、太陽光発電システム(PVシステム)のライフサイクル評価を行い、二酸化炭素排出原単位を試算した。

太陽電池の製造段階に必要なエネルギーの中で、原料シリコンの精錬・製造工程における投入エネルギーが大きな割合を占める。したがってはじめに、使用される精錬・製造プロセスによるシリコンインゴット製造エネルギー消費原単位および二酸化炭素排出原単位の違いを整理した。対象としたシリコン製造プロセスは、現在の太陽光発電製造用シリコンの供給源である半導体製造用金属シリコンならびに半導体用シリコンの規格外品、および将来の技術としての原料珪石から太陽電池用シリコンを製造するSOGシリコンの製造プロセスである。得られたシリコンインゴット製造に関するエネルギー消費原単位および二酸化炭素排出原単位を表3に示す。将来技術である原料珪石から太陽電池用シリコンを製造する場合(表3、CASE1)の原単位に比べて、半導体用シリコンインゴット製造のための原単位はかなり大きい事が明らかになった(同表、CASE2、CASE3)。また、半導体用単結晶シリコンの規格外品から太陽電池用シリコンを製造する場合、規格外シリコンのエネルギー消費原単位やエネルギー消費原単位を算入するか否かで、評価が大きく異なる事が明らかになった(同表、CASE4、CASE5)。この結果を用いて、結晶系住宅用太陽電池モジュールを対象に、ライフサイクル二酸化炭素排出原単位及びエネルギー・ペイバックタイムを求め、シリコン製造プロセスによる違いを比較した。規格外シリコンを原料とする単結晶シリコン太陽電池モジュールのライフサイクル二酸化炭素排出原単位を、将来技術を用いた値と比較した結果を表4に示す。規格外シリコンを使用する現状の太陽光発電システムの二酸化炭素排出量は、規格外シリコンを廃棄物(製造時のエネルギーゼロ)とみなすか、否かで異なる値を

とる。規格外シリコンを製品とみなすと、それを原料とする太陽光発電のkWhあたり二酸化炭素排出量は、将来技術（SOGシリコン）を用いる場合の約3.5倍に増加するが、なお石炭火力発電よりは十分小さい排出しか生じない。このように、太陽電池製造に用いられている規格外シリコンに関しては、廃棄物としての取り扱い方により各種原単位およびライフサイクル排出量が変わるので、適切な評価方法を検討する必要がある。

次に、SOGシリコンを使用する太陽光発電システムのライフサイクル二酸化炭素排出量を、3通りの生産規模を前提として評価した。対象とした太陽光発電システムは、シンプルな架台を用いる蓄電池無し系統連系住宅用屋根設置型(容量3kW)

である。太陽電池セルについては、多結晶Si(poly-Si)およびアモルファスSi(a-Si)の二つのタイプを考え、それぞれ原料からシステム建設までのライフサイクルを、素材投入、直接エネルギー投入、装置製造などの要素に分解し、個々の二酸化炭素排出原単位から二酸化炭素排出量を求めた。セルの年産規模については、それぞれ10MW/y、1GW/yおよび100GW/yの三つのケースを想定した。図2に試算結果を示す。屋根設置型の場合、年産規模10MWでは17g-C/kWh(poly-Si)および11g-C/kWh(a-Si)となった。これが1GWになると、それぞれ10g-C/kWh(poly-Si)、5g-C/kWh(a-Si)と半分程度に減少し、さらに100GWではそれぞれ7g-C/kWh(poly-Si)および4g-C/kWh(a-Si)となることが示された。

太陽光発電の大量普及には設備コストの低減等のさらに取り組みべき障壁が存在するが、普及が進むと共に現在は高コストの陰に隠れている資源供給や使用後太陽電池モジュールの処分等の問題が顕在化する事が予想される。太陽電池のリサイクルは、使用材料の削減によって、コストの低減、エネルギーペイバックの改善、二酸化炭素排出量の低減に役立つ可能性を有する手段である。結晶系太陽電池、アモルファス太陽電池、化合物太陽電池のモジュールを対象に、我が国における将来の太陽電池リサイクルの可能性を検討した。故障や経年変化により生ずる不良モジュールの不良発生原因と不良モジュールの構成要素の再利用・リサイクルの可能性を部位毎に整

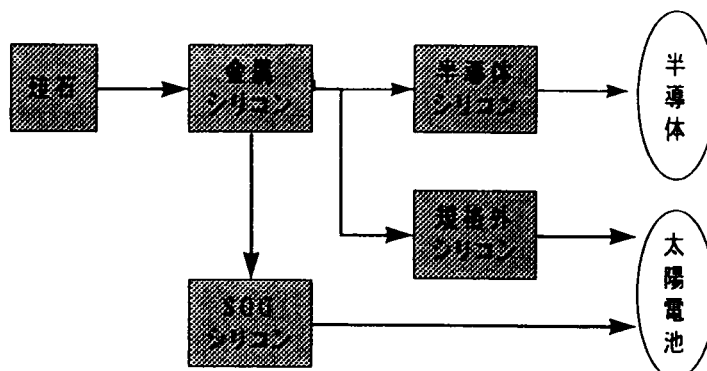
表3. シリコンインゴット製造時の必要珪石量、還元剤量、および消費電力

	多結晶Si		単結晶Si
	CASE1	CASE2	CASE3
必要珪石重量 t/t-Si	5.6	3.3	4.9
必要還元剤 t/t-Si			
カーボンペレット	3.1	-	-
ウッドチップ	-	0.8	1.2
チャーコール	-	0.8	1.2
石炭	-	0.3	0.4
CO <sub>2</sub> 排出量 t/t-Si	0.4	10	14
消費電力 MWh/t-	83	151	399
	単結晶Si		
	ca	ca	
必要珪石重量 t/t-Si	29.2	-	
必要還元剤 t/t-Si			
カーボンペレット	-	-	
ウッドチップ	7.3	-	
チャーコール	6.8	-	
石炭	2.6	-	
CO <sub>2</sub> 排出量 t/t-Si	84	-	
消費電力 MWh/t-	2536	175	

注)  
Si = シリコン  
case1: NEDO直接還元法、電磁キャスト法を想定  
(前年度試算における使用値)  
case2: Silgrain法による金属Si製造を想定  
case3: チョクラルスキー(CZ)法を想定  
case4: CZ法からの規格外Siを用いたCZ法による単結晶Si製造を想定(規格外Siの原単位を算入する場合)  
case5: CZ法からの規格外Siを用いたCZ法による単結晶Si製造を想定(規格外Siの原単位を算入しない場合)

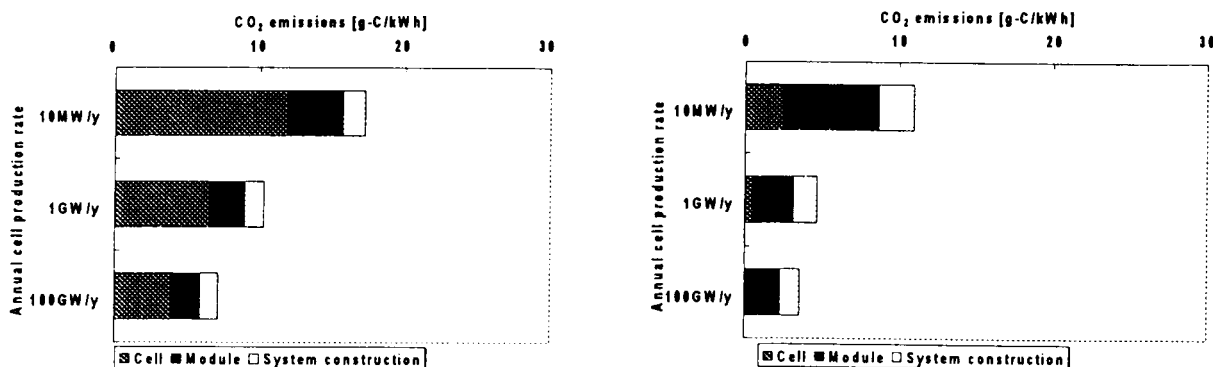
理し、再利用・リサイクルに適用できる技術を探るために他業種における類似のリサイクルの現状を調査した。フレーム材のアルミのリサイクル等を除くと直ちに太陽電池に適用できる技術は存在しないが、適用可能性を部位毎に整理した。さらに、再利用・リサイクルによる二酸化炭素排出低減に関する潜在的効果を検討した。一例として、多結晶シリコン太陽電池に関する試算結果を図3に示す。太陽電池のリサイクル技術が確立していないため、①シリコン原料としてのリサイクル、②ウェハー再利用、③セル再利用の3パターンを想定

表4. 規格外シリコンを原料とする太陽電池の二酸化炭素排出量



シリコンフロー	CO2原単位	備考
現状技術 (規格外シリコン利用)	65 g-C/kWh	規格外シリコンを製品とみなす
	21 g-C/kWh	規格外シリコンを廃棄物とみなす
将来技術 (SOGシリコン利用)	18 g-C/kWh	平成6年度の結果

し、新モジュール製造投入エネルギーで規格化したリサイクル所要エネルギーをパラメータとして、製造時の二酸化炭素排出量を求めた。セルとしての再利用が可能ならば、モジュール製造時の二酸化炭素排出量を、最大で新モジュール製造時の約30%に低減できること、シリコン原料としてのリサイクルでもリサイクル所要エネルギーが新モジュール製造エネルギーの約40%以下ならばモジュール製造時の二酸化炭素排出量を低減できる事を示した。ただし、リサイクル技術の確立は今後の研究を待たなければならず、リサイクル・プロセスのエネルギーフロー、マテリアル・フローは未確定である。そこで、図3では、リサイクル・プロセスに必要なエネル



(a) poly-Siセルを用いた場合

(b) a-Siセルを用いた場合

図2. 住宅用太陽光発電システムの二酸化炭素排出原単位

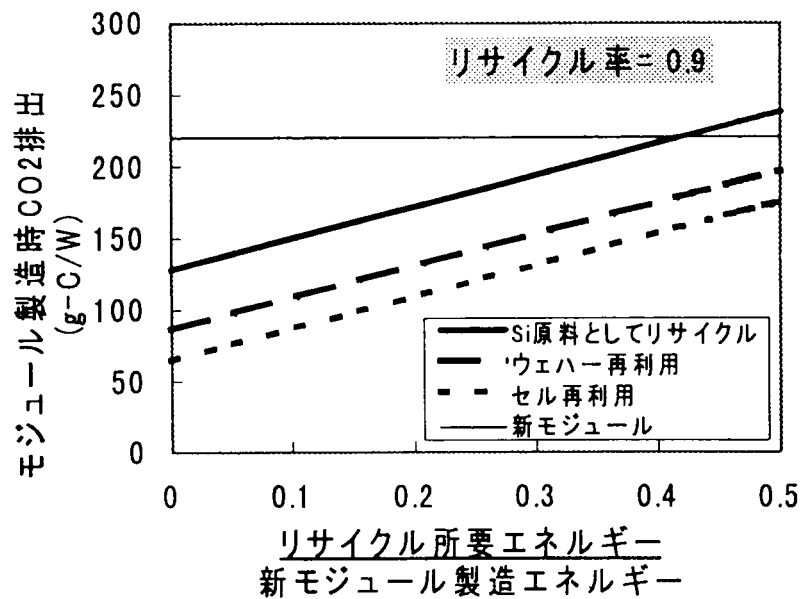


図3. 太陽光発電設備製造時の二酸化炭素排出量をモジュール・リサイクルにより低減する可能性

ギーの二酸化炭素排出原単位は、モジュール製造の所要エネルギーの二酸化炭素排出原単位と同一であると仮定した。これについては、今後リサイクル・プロセスの検討を深めつつ詳しい検討を進める事が必要である。

### (3) 太陽光発電導入による二酸化炭素排出低減効果の評価

太陽光発電の導入による二酸化炭素排出低減効果の評価するために、至近年の年間電力需給データを用いて、電力系統へ太陽光発電に導入する事を想定した場合の導入発電設備量当たりの年間二酸化炭素排出低減量を試算した。評価方法の概要は以下の通りである。

- ①電力会社の供給地域を単位として地域毎の太陽光発電出力の年間変動を一時間単位で求める。
- ②至近年の電力需給データを用いて、電力会社の供給地域毎に各種電源（原子力、石炭火力、ガス火力、石油火力、タービン・内燃機関）別のメリット・オーダーと年間発電時間を決定する。
- ③太陽光発電による発電量を負の電力需要と考えて、太陽光発電出力を実電力需要から差し引いた負荷持続曲線を作成する。
- ④新たな負荷持続曲線に基づき、②で定めた順序に従って各種電源の発電量を決定する。
- ⑤各種電源の発電量から二酸化炭素排出量を求め、太陽光発電設備導入量と比較する。

この方法により地域別に求めた太陽光発電導入設備量(kW)あたりの年間二酸化炭素排出低減量は、全国平均で130~140(kg-C/kW)であり、地域差により110~240(kg-C/kW)の範囲にある事が見いだされた。この結果は、太陽光発電設備量を地域の系統の総発電設備量の15%以下として求められたもので、太陽光発電導入設備量当たりの排出低減量の値は、導入の絶対量によっても変化する。また、太陽光発電導入設備量(kW)あたりの年間二酸化炭素排出低減量に地域差が生じるのは、日射条件と地域の電源構成が異なるからである。

以上の結果を用い、総合評価の枠組みに基づいて、ライフサイクルでみた太陽光発電導入による二酸化炭素排出低減効果を評価した。結果を表5に示す。

表5. ライフサイクルでみた太陽光発電導入による二酸化炭素排出低減効果

低減ポテンシャル	<p>前提：2000年までに40万kW，2010年までに460万kWの系統連系住宅用太陽光発電システムの導入が可能であるとする。太陽電池の年産規模は1GW，太陽光発電設備の耐用年数は20年であるとする。</p> <p>低減量：2010年までに460万kWすべてが設置できるとすると，それらすべての太陽光発電設備によるライフサイクル低減量は12MT-C（火力代替により13MT-C低減，設備製造により1MT-C排出）</p>
現状と比べた削減率原単位	<p>削減原単位：全国平均で，系統連系住宅用太陽光発電システムの設備量1MW当たり，130～140t-C/年</p> <p>（注）火力代替により140～150t-C/MW/年低減，設備製造により10t-C/MW/年排出する。削減原単位は，太陽光発電の導入量および導入地域により変化する。導入地域による削減原単位の変動幅は，110t-C/MW/年～240t-C/MW/年に及ぶ。</p>
導入コスト	<p>前提：2000年までに40万kW，2010年までに460万kWの系統連系住宅用太陽光発電システムを導入するとする。割引率5%で1995年の価格に換算する。代替火力発電の燃料費の上昇率は3%/年と仮定する。</p> <p>導入コスト：</p> <p>（ケース1）2000年まで，設備費が1.15百万円/kW(平成8年度市場価格相当)，2000年以降は0.33百万円/kWへのコスト低減が実現する場合</p> <p style="padding-left: 40px;">1995年～2010年の総設備費 1.35 兆円</p> <p style="padding-left: 40px;">導入されたすべての太陽光発電によるライフサイクルでの火力燃料費節約額 0.4 兆円</p> <p style="padding-left: 40px;">差し引き導入費用 0.95 兆円</p> <p>（ケース2）2010年まで，設備費が1.15百万円/kW(平成8年度市場価格相当)である場合</p> <p style="padding-left: 40px;">1995年～2010年の総設備費 3.7 兆円</p> <p style="padding-left: 40px;">導入されたすべての太陽光発電によるライフサイクルでの火力燃料費節約額 0.4 兆円</p> <p style="padding-left: 40px;">差し引き導入費用 3.3 兆円</p>



試算に当たって用いた前提条件等は、表に記述してあるとおりであるが、導入コストに関しては太陽光発電の導入により、一定量の電力需要を満たすために必要な総発電費用（固定費、可変費）に生ずる増加分を、太陽光発電の導入コストと見なした。すなわち、

$$\text{導入コスト} = \Sigma (\text{一年間に導入される太陽光発電設備費} - \text{代替される電源の年間発電費用}) \\ \times \text{現在価値換算係数}$$

として計算した。代替される電源の年間発電費用としては、燃料費のみを考慮した。和は対象期間（1995年～2010年）に亘ってとった。また、年間二酸化炭素排出削減量に関しては、次式で表される計算方法で評価した。

$$\text{二酸化炭素排出削減量} = \text{代替される電源からの年間二酸化炭素排出量の減少量}$$

$$- \text{耐用年数で均等化した太陽光発電設備製造時の二酸化炭素排出量}$$

代替される電源からの年間二酸化炭素排出量の減少量は、燃料消費量の減少量から算出した。太陽光発電設備製造時の二酸化炭素排出量は、SOGシリコンを用いる製造法の場合の値、18g-C/kWhを用いて評価した。

## 6. まとめと本研究により得られた成果

電力関連分野の重点対策技術として太陽光発電を取り上げ、以下の内容の研究を行った。

- (1) 全国規模で広域分布する太陽光発電の発電量の地域分布の評価
- (2) 太陽光発電のライフサイクル二酸化炭素排出の評価
- (3) 太陽光発電導入による二酸化炭素排出低減効果の評価

太陽光発電が大規模に普及する場合の発電量変動評価の基礎となる日射量の時間変動を、地域的な相関も考慮して評価するために、気象庁によるアメダス観測データと気象衛星ひまわりの雲画像を用いて、全国約800カ所のアメダス観測地点における日射量(一時間値)を推定する方法全国規模で推定する有効な手法を提案した。特に、一日の平均日照時間と雲の反射率を説明変数に加える事で水平面全天日射量の推定精度が向上することを明らかにした。

現在行われている太陽電池製造プロセスを対象に、従来不十分であった金属シリコンならびに規格外シリコン製造プロセスのエネルギー消費量ならびに環境負荷排出量、モジュール製造工程の歩留まり等に検討を加え、太陽光発電システムのライフサイクル評価に使用する原単位データの精度を高める事ができた。その結果に基づいて、太陽電池の年産規模および年産規模の拡大にともなう技術進歩などをパラメータとして、太陽光発電システムのライフサイクル評価を行い、太陽光発電の二酸化炭素排出原単位を明らかにした。

本研究により、全国大の規模で大量に導入された太陽光発電出力の地理的分布と時間変動の詳細なシミュレーション結果と、電力システムの地域的特徴を踏まえた、太陽光発電導入による二酸化炭素排出低減効果の詳しい評価が初めて行われた。規格外シリコンを使用する現状の太陽光発電システムのkWhあたり二酸化炭素排出量は、将来技術(SOGシリコン)を用いる場合の約3.5倍に増加するが、なお石炭火力発電よりは十分小さい排出しか生じない事を明らかにした。最後に、大量普及に伴って必要性が予測される太陽光発電設備のリサイクルに着目し、成立の条件、技術課題、潜在的効果などを、我が国の現状に則して、始めて系統的に整理した。本研究により、太陽光発電設備のリサイクルがモジュール製造時の二酸化炭素排出低減に有効であるための条件が、リサイクル所要エネルギー量との関連で概略明らかになったが、技術としての確立、詳細な

マテリアルフロー、エネルギーフローの検討など、今後取り組むべき研究課題が多い事が示された。

## 7. 参考文献

- 1) 福山ら、夏季における太陽光発電の導入効果、平成4年電気学会電力・エネルギー部門大会、平成4年7月

### 関連発表一覧

#### 論文発表

- 1) 加藤ら：太陽光発電システムのCO<sub>2</sub>排出原単位に関する考察、化学工学論文集、平成7年7月
- 2) A.Murata, K.Otani : An Analysis of Time-Dependent Spatial Distribution of Output Power from Very Many PV Power Systems installed on a Nation-Wide Scale, Solar Energy Materials and Solar Cells (印刷中)
- 3) K.Kato, A.Murata, K.Sakuta : An Evaluation on the Life Cycle of Photovoltaic Energy System Considering Production Energy of Off-Grade Silicon, Solar Energy Materials and Solar Cells (印刷中)

#### 学会発表

- 1) 村田ら、日照時間を利用した衛星画像による時間日射量の推定、電気学会・新省エネルギー研究会ESC-94-44、平成6年10月
- 2) 加藤ら、ライフサイクルからみた太陽光発電システムの評価、通産省工業技術院エネルギー研究総合推進会議システム分科会第一回研究発表会、平成7年1月
- 3) K.Yamada, H.Komiyama and K.Kato : Evaluation of photovoltaic energy systems in terms of economics, energy and CO<sub>2</sub> emissions, 2nd International Conference on Carbon Dioxide Removal(1994.10)
- 4) 加藤、村田、山田、稲葉、黒川、小宮山 : Contribution of Photovoltaic Energy Systems to Energy Saving, Environment and Economy - An Approach Based on Life-Cycle-Analysis, 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition、平成7年7月
- 5) 加藤 : 太陽光発電技術のライフサイクル評価、第2回熱・電気エネルギー技術シンポジウム、平成8年3月
- 6) A.Murata, K.Otani : An Analysis of Time-Dependent Spatial Distribution of Output Power from Very Many PV Power Systems installed on a Nation-Wide Scale, 9th International Photovoltaic Science and Engineering Conference、平成8年11月
- 7) K.Kato, A.Murata, K.Sakuta : An Evaluation on the Life Cycle of Photovoltaic Energy System Considering Production Energy of Off-Grade Silicon, 9th International Photovoltaic Science and Engineering Conference、平成8年11月