

## 太陽光発電の将来性と問題点

ー再生可能エネルギー社会を実現するための課題ー

千里金蘭大学 教授

PV-Net 関西地域交流会世話人

三石博行

### はじめに

3.11 の福島原発事故によって我が国はこれまでのエネルギー政策を大きく見直すことになった。地球温暖化対策と国防上の理由から進められてきた原子力政策は、その安全性を問われ、脱原発への国民的な運動が起こり、原子力発電に依存するこれまでのエネルギー政策が大きく見直されようとしている。2011 年はその意味で、わが国のそして世界のエネルギー政策の大きな変換期であると謂えるだろう。

地球温暖化の原因と謂われ、また今後急速に枯渇する化石燃料や制御不可能な放射能汚染を起こす原子力燃料に代わって期待されているのが再生可能エネルギーである。しかし、この再生可能エネルギーを基幹エネルギーとして活用することに対して数多くの批判的な意見に出会う。

その代表的な意見は、大型水力発電を除いて、殆どの再生可能エネルギーの生産は集中型生産様式は不可能であり、小規模分散型の生産様式がその主流となると言われている。また、太陽エネルギーや風力エネルギーは気象変動を受けやすい不安定なエネルギーと謂われている。

しかし、こうした弱点を持ちながらも、確実に将来、再生可能エネルギー生産を主軸とする社会がくることは疑えない。そこで、今回は太陽光発電システムに関してその課題を議論することにした。

太陽光発電システムに関して三つの大きな課題がある。一つ目は、太陽光発電システムで現在と未来の人類が消費するエネルギーを供給できるかということである。二つ目は、このシステムのコスト計算（生産コスト、ペイバックタイム等々）の圧縮は技術的にどこまで可能なかという課題となる。そして三つ目は、このシステムが要求する社会経済システムのあり方やその変革課題である。

以上、三つの課題に焦点をあて、この発電システムが有効に機能するための問題点を抽出し、それらの解決がどこまで進んでいるのかを議論したい。

今回の研究報告「太陽光発電システムは縮小社会のエネルギー生産を担えるだろうか」は、この資料「太陽光発電の将来性と問題点」の四つのテーマから成り立っている。

- 1 章、エネルギー消費量からみた現代社会の課題
- 2 章、市場からみた太陽光発電システムの課題
- 3 章、社会経済システムからみた太陽光発電システムの課題
- 4 章、未来社会からみた太陽光発電システムの課題

また、資料「太陽光発電の将来性と問題点」の 1 章から 3 章までのテーマは 2011 年 12 月 18 日に神戸市の神戸市勤労会館で開催された太陽光発電フォーラム（太陽光発電相談センター（財）ひょうご環境創造協会）NPO 法人 太陽光発電所ネットワーク共催）での基調講演「再生可能エネルギー社会に進む中での太陽光発電の可能性と問題点」で報告したものである。4 章で述べる課題は 2012

年 8 月 26 日大阪市で開催された第二回 PV-Net 関西地域交流報告会「8 月 26 日 太陽光発電交流集会 ますます活躍する太陽光発電」でおこなった報告「市民の声・市民の力・市民のエネルギー」で発表したものである。

昨年 12 月から今年の 9 月まで、固定価格買い取り制度が具体的に決まり、7 月から実施されている。そのため、当時の資料に基づく議論がすでに古いものとなっている。今回の第 11 回縮小社会研究会の報告課題「太陽光発電システムは縮小社会のエネルギー生産を担えるだろうか」のテーマから、主に検討すべき課題は第 4 章であった。特に第 2 章に関しては若干の情報の古さはあるが、第 4 章を議論するための材料として支障を来たすものではないと判断し、1 章から 3 章で活用した資料をそのまま、今回も活用することにした。

## 1、エネルギー消費量からみた現代社会の課題

### 1-1、文明のエネルギー史観（神田淳氏の視点から）

私たちは人類史の中で最高の豊かさを手に入れている。この豊かさは 18 世紀にヨーロッパで始まった産業革命によって可能になった。神田淳氏は『持続可能な文明の創造』の中で、これまでの人類が形成してきた文明の根底に、人類が制御できたエネルギーの形態があると述べている。神田氏はそれを「文明のエネルギー史観」と呼んだ<sup>(1)</sup>。

生物学的視点に立てば、哺乳動物の寿命はそれぞれの種の個体（成熟した）の平均体重の 0.2 乗に比例すると言われる。本川達雄氏によると、その方程式でヒトの寿命を計算すると 26.3 年となる。そして、考古学調査から縄文人の平均寿命は 31 歳であったことが判明している。しかし、現代の日本人（女性）の場合には 83 歳である。縄文人と現代人の決定的違いはエネルギー使用量である。極論すれば、その寿命の差を可能にしたのがこのエネルギー使用量であると言えると神田氏は述べている。<sup>(2)</sup>

人類は身体運動のエネルギー（筋肉運動）のみでなく、火（生体エネルギー以外のエネルギー）や家畜の力を活用したとき、身体以外の自然のエネルギーを活用することが出来るようになった。

「火を使う」ことは、ことばや道具の発見と共に人類の大きな発見であった。火を使うという行為は他の生物から人類の違いを特徴付けるものである。自然エネルギーの利用は、活用できるエネルギー領域を拡大することである。

人類は自然のエネルギー資源を制御可能なものにし、人工物化した。その人工物化したエネルギーを使って、さらに生産力高めた。その生産力の向上が生活文化や経済活動を豊かにしてきた。人類が制御し活用したエネルギー形態から、人々の生活文化や経済活動の歴史を解釈したものがエネルギー史観と呼ばれる考え方である。

例えば、人類の文明の起源として火の使用をその特徴とするなら、第一期の文明は木材資源を活用した火力エネルギー文明と呼ぶことが出来る。この木材火力エネルギー文明時代は古代から中世まで続

1 神田淳『持続可能文明の創造』 株式会社エネルギーフォーラム、2011.7.6、pp10-38

2 本川達雄『長生きが地球を滅ぼす - 現代人の時間とエネルギー -』、阪急コミュニケーションズ、2007

く。そして、同時に古代から中世にかけて、家畜動力、水力（水車）、風力（風車）が開発されるが、それらは主要なエネルギーではなかった。

そして、火力エネルギー文明が木炭・木材から石炭に代わることで産業革命が起こる。石炭による上質の鉄を大量に生産する製鉄（それまでは木炭によって製鉄が行われていた）が可能になり、更に、生産された多量の鉄を用いた道具・機械の大型化、工業機械、そして蒸気機関の発明される。外燃機関の発明によって巨大な動力エネルギーを得て、その動力エネルギーで機械制大工業による大量生産が可能になった。石炭による火力エネルギー文明が産業革命以来 20 世紀前半まで続く。この石炭（化石燃料）を火力原料とした時代を第二期のエネルギー文明（化石燃料エネルギー文明）と神田氏は呼んでいる。

1882 年のジェームズ・アトキンソンの内燃機関の発明から始まる石油を原料とする石油を使ったエネルギー革命が起こる。そのエネルギー革命を推進したのは 20 世紀のアメリカの自動車産業である。石油は現在最も多く使用されている資源である。この石油によって現代社会経済や生活文化は特徴付けられている。石油は石炭と同じよう化石燃料の一つである。そのため、この石油資源の活用で成り立つ社会も第二期の化石燃料エネルギー文明の一部であると神田氏は述べている。

これまで、人類の歴史を唯物史観のように経済制度の歴史的発展形態、道具（生産手段）の進化から分析した道具史観、生態文化系で文明の歴史を分類した文明の生態史観<sup>3)</sup>、そして生活情報や生活資源の視点から歴史観を述べた生活情報史観<sup>4)</sup>や生活資源史観<sup>5)</sup>がある。つまり、神田氏のエネルギー史観はそれらの歴史観と同様にエネルギー革命の視点から人類の歴史を区分分類したのである。その意味で、まったく目新しいものではない。

しかし、現代社会の巨大エネルギー消費社会を人類の歴史の中で位置付けたこと、エネルギーの構造をそれらの歴史的な発展を理解し、次に必要となる再生可能エネルギー資源を活用する社会をこれまでの化石燃料の文明と切り離して理解するための視点を示した。その意味で、今後の研究の視点に役立つと言える。

## 1-2、増えつづける世界の人口とエネルギー消費量

17 世紀の産業革命以来、人類が使用するエネルギーは莫大な量に膨れ上がった。その最大の原因は世界の人口の増加である。図表 1（世界の人口の推移）から以下のことが理解できる。つまり、産業革命以前の 18 世紀初頭の世界の人口は 10 億人以下であった。

1950 年には 25 億人、そして 1987 年にはその 2 倍の 50 億人、つまり 37 年間で世界人口は 2 倍に増え、2009 年には 68 億人（59 年間に約 2.7 倍強）に増えた。現在、2011 年には 70 億人といわれている。そして、国連人口基金は 2050 年には世界人口は 91 億人に到達すると予測している。

グレゴリー・クラークの資料によると、紀元前 10 世紀から 18 世紀後半の産業革命までは一人当たりの所得（最低生存費水準）は殆ど変化していない。この均衡状態をマルサスの均衡の状態とかマルサスの罫（文末用語解説を参考）と呼んでいる。図表 2 の相対尺度 1 はこの均衡状態、つまりマルサス

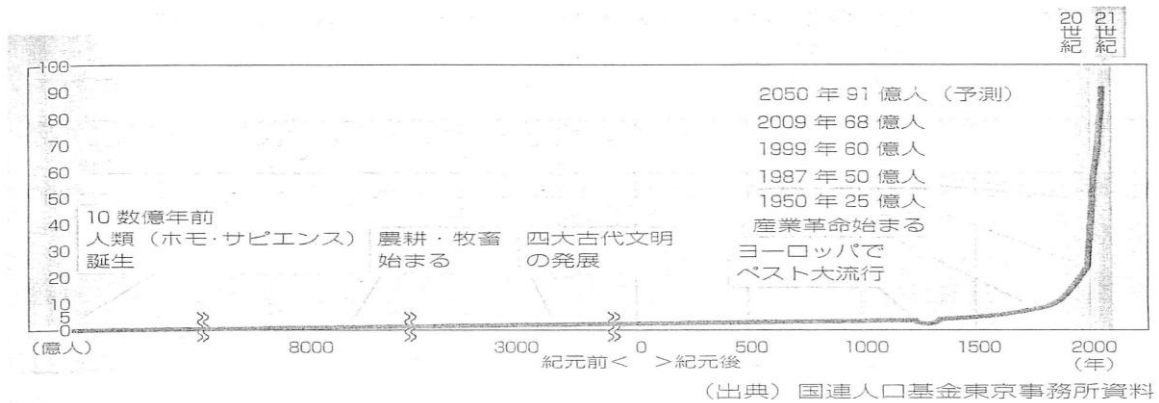
<sup>3)</sup> 梅棹忠夫 『文明の生態史観』 中央公論社 公文庫、1974 年

<sup>4)</sup> 三石博行 「生活情報の構造とその文化形態」 2001.10、 pp62-73、 片方善治監修 『情報文化学会創立 10 年記念出版- 情報文化学ハンドブック』、森北出版株式会社

<sup>5)</sup> 三石博行 「設計科学としての生活学の構築 - プログラム科学としての生活学の構図に向けて- 『金蘭短期大学研究誌』、第 33 号、2002.12、pp1-40、A4 判

の罨<sup>6</sup>と呼ばれる人口が増加しない状態を意味している。

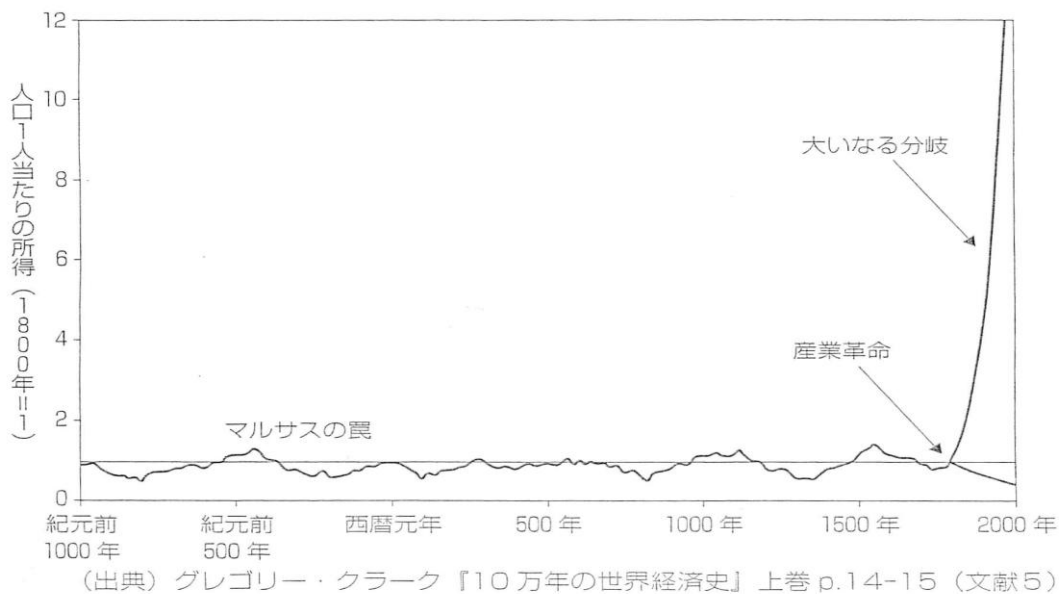
図表1 世界人口の推移



出典 国連人口基金東京事務所資料 (KANDsu11 p81)

つまり、この状態では人口の変動はありえないのである。そして、産業革命によって一人あたりの生産力が増加、その結果、一人当たりの所得が増えつづける。その所得の増加と図表1の人口の増加は不可分の関係にあると言える。そして、この図表1の2050年の世界の人口の推移(91億人)の仮定には、国民所得が増加しつづけるという前提で予測される人口であると言える。

図表2 世界史における人口一人あたりの所得の変化



出典 グレゴリー・クラーク『10万円の世界経済史』 上巻 p 14-15 (KANDsu11A p81)

2010年の『エネルギー白書』(世界銀行年次報告、World BankのWorld Development Indicatorsのデータ)によると、世界のエネルギー消費量(一次エネルギー)は経済成長とともに増加を続け、1965年の38億TOE(原油換算トン、Tonne of Oil Equivalent)、つまり41TW(テラワット)(410

<sup>6</sup> 用語説明「マルサスの罨」を参照

億 KW) から年平均 2.6% で増加し続け、2008 年には 113 億 TOE、つまり 130TW(テラワット)(1300 億 KW) に達したと報告されている。43 年間に約 3.2 倍に増えたことになる。(7)(8)

図表 3, 世界銀による 1 人当たり GDP 世界ランキング (2009 年)

順位	国名	1 人当たり GDPドル	順位	国名	1 人当たり GDPドル	順位	国名	1 人当たり GDPドル
1	モナコ	186,175	53	リトアニア	11,141	114	グアテマラ	2,661
2	リヒテンシュタイン	134,392	55	リビア	9,714	116	コンゴ共和国	2,601
3	ルクセンブルグ	105,044	56	チリ	9,644	120	シリア	2,474
4	ノルウェー	79,089	57	ウルグアイ	9,420	122	グルジア	2,449
5	カタール	69,754	59	ロシア	8,684	123	インドネシア	2,349
6	スイス	63,629	60	ブラジル	8,230	124	エジプト	2,270
8	デンマーク	55,992	61	トルコ	8,215	125	パラグアイ	2,240
9	クウェート	54,260	62	レバノン	8,175	126	イラク	2,090
10	アイルランド	51,049	63	メキシコ	8,143	127	スリランカ	2,068
11	アラブ首長国連合	50,070	65	アルゼンチン	7,626	129	ブータン	1,831
12	オランダ	47,917	66	ガボン	7,502	130	ボリビア	1,758
13	アメリカ合衆国	45,989	67	ルーマニア	7,500	131	フィリピン	1,752
14	オーストリア	45,562	68	カザフスタン	7,257	132	モンゴル	1,573
15	フィンランド	44,581	69	パナマ	7,155	135	スーダン	1,294
17	ベルギー	43,671	70	マレーシア	7,030	137	ジブチ	1,214
18	スウェーデン	43,654	72	モンテネグロ	6,635	138	インド	1,194
19	オーストラリア	42,279	73	ブルガリア	6,423	139	バブアニューギニア	1,172
20	フランス	41,051	74	コスタリカ	6,368	141	ウズベキスタン	1,156
21	ドイツ	40,679	78	セルビア	5,872	142	カメルーン	1,136
22	日本	39,738	79	南アフリカ共和国	5,768	143	ナイジェリア	1,118
23	カナダ	39,599	80	キューバ	5,596	144	イエメン	1,118
24	アイスランド	38,029	83	ドミニカ国	5,132	145	ベトナム	1,113
25	シンガポール	36,537	84	コロンビア	5,126	147	ガーナ	1,098
26	イギリス	35,165	85	ベラルーシ	5,075	148	ニカラグア	1,069
27	イタリア	35,084	86	アゼルバイジャン	4,899	149	セネガル	1,023
28	スペイン	31,774	87	モルディブ	4,769	150	ザンビア	990
29	キプロス	31,280	88	ドミニカ共和国	4,637	151	パキスタン	955
	香港	30,065	89	イラン	4,540	152	ラオス	940
30	ニュージーランド	29,352	90	ボスニア・ヘルツェゴビナ	4,525	154	キルギス	860
31	ギリシア	29,240	91	マケドニア	4,515	158	ケニア	738
32	イスラエル	26,256	92	ジャマイカ	4,471	159	タジキスタン	716
33	バーレーン	26,021	93	ペルー	4,469	160	カンボジア	706
34	スロベニア	23,726	94	ナミビア	4,267	162	ハイチ	646
35	ポルトガル	21,903	95	ヨルダン	4,216	163	チャド	610
37	マルタ	19,248	96	エクアドル	4,202	164	バングラディシュ	551
38	チェコ	18,139	97	アンゴラ	4,081	165	ルワンダ	522
39	韓国	17,078	99	アルジェリア	4,029	168	タンザニア	503
40	オマーン	16,207	100	トルクメニスタン	3,904	169	東ティモール	492
41	スロバキア	16,176	101	タイ	3,893	170	ウガンダ	490
42	トリニダード・トバゴ	15,841	102	アルバニア	3,808	171	アフガニスタン	486
43	赤道ギニア	15,397	103	チュニジア	3,792	176	ガンビア	430
44	サウジアラビア	14,799	104	中国	3,744	177	モザンビーク	428
45	エストニア	14,238	105	エルサルバドル	3,424	178	ネパール	527
46	クロアチア	14,222	106	フィジー	3,326	179	ギニア	407
47	バルバドス	14,050	108	トンガ	2,991	181	ニジェール	352
49	ハンガリー	12,868	109	コンゴ	2,985	182	エチオピア	344
50	ラトビア	11,616	110	アルメニア	2,826	184	マラウイ	310
51	ベネズエラ	11,490	111	モロッコ	2,811	185	リベリア	222
52	ポーランド	11,273	112	サモア	2,776	186	コンゴ民主共和国	160

(出典) フリー百科事典ウィキペディア「国の国内総生産順位リスト (1人当たり為替レート)」より作成

出典 フリー百科事典 Wikipedia 「国の国内総生産順序リスト (1人当たり為替レート) (9)

7 産業経済省 『エネルギー白書 2010』第2部 エネルギーの動向 第2章 国際エネルギーの動向 <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2010energyhtml/2-1-1.html>

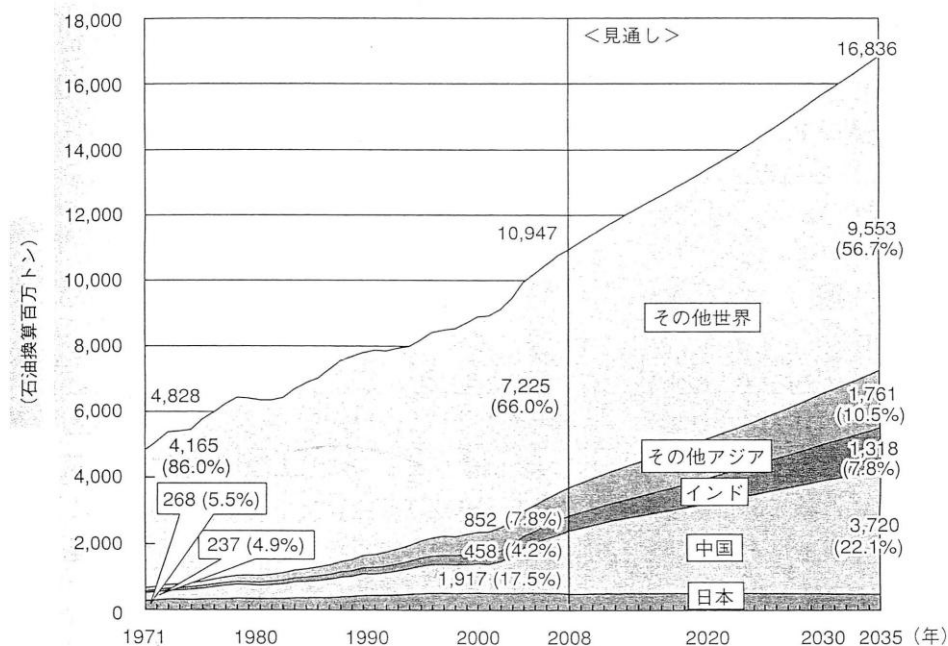
8 経済産業省 『平成 22 年度 エネルギーに関する年次報告 第 179 回国会 (臨時会提出)』p37

9 神田淳『持続可能文明の創造』株式会社エネルギーフォーラム、2011.7.6、p85

図表 3 は Word Bank の調査した 2009 年の世界の国々の一人当たりの GDP のランキングを示したものである。1 位のモナコは国民一人当たりの 1 年間の GDP は 186,175US\$ である。日本は 22 位で 39,738US\$ (1 ドルを 77 円として約 306 万円) となる。日本に比べて、例えば食糧を要求して立ち上がったアラブの春のチュニジア (ランキングは 103 位) は一人当たりの所得は 3,792\$, つまり日本の 10 分の 1、エジプトは 2,270\$ で日本の 17 分の 1 の所得となる。186 位のコンゴ民主共和国は国民一人当たり 160\$ で、日本の何と 249 分の 1 である。(10)

この数値が即、国民生活の質を表現するものではないとしても、明らかに現在、先進国と発展途上国との国民所得の差は非常に大きいのである。当然、発展途上国の国民は豊かな生活を求める。その結果として世界のエネルギー消費量は今後急増することは避けられないのである。例えば、GDP (国内総生産) が世界 2 位である中国 (58,786 億 US\$) は、国民一人当たりの GDP は 3,744US\$ (日本の 10 分の 1 以下) である。しかし、中国の今後の経済成長を考えると、国民一人当たりの GDP が今度上がり続けることは確実である。つまり、発展途上国でのエネルギー消費量は増加し続ける。

図表 4 「世界の一次エネルギー供給 (消費)」



(出所) IEA : 「Energy Balances of OECD Countries」, 「Energy Balances of Non-OECD Countries」

(注) 見通しは日本エネルギー経済研究所「アジア/世界エネルギーアウトック 2010」(2010年11月) から作成。【要覧掲載】

バンカー (国際海運、国際空運) のエネルギー消費量を除く。

(解説) 世界の一次エネルギー消費は年率 2% 程度で増加を続けている。近年はとくに中国・インドなどの大国を含むアジア地域の伸びが著しく、今後の動向が注目されている。

出典 IEA 「Energy Balances of OECD Countries」 「Energy Balances of Non-OECD Countries」  
(ZNEK 11A p59) (ZNEK 11A p59)

10 「世界史における人口一人あたりの所得の変化」 出典 グレゴリー・クラーク 『10 万円の世界経済史』 上巻 p 14-15 (KANDsu11A p81)

IEA の資料（図表 4）によると世界の一次エネルギー消費量は年率約 2%で増加を続け、2035 年には石油換算量 16,386（百万トン）163 億トン（約 1900 億 KW）になると予測されている<sup>(11)</sup>。新興国や途上国での近年の消費量の急激な増加の動向を考えると、その予測以上に世界の一次エネルギー消費量が必要となる可能性も否定できない。しかし、将来、有限な地球資源量を考えると、2050 年の予測人口 91 億人の数値は疑問視されている。しかし、経済成長を支える一次エネルギー供給（消費量）が不足する可能性は否定できない。

マルサスの理論に従えば、世界の人口は増加しない。しかし、この未来の予測は人口淘汰という熾烈な試練が将来に生じることを意味するのである。人口淘汰は、貧困国や貧困層の疫病による乳幼児死亡率の増大、出産の抑制、墮胎、間引き、餓死によって起るだけではない。資源エネルギーを巡る世界的な紛争（国際地域的、もしくは全世界的な戦争）が起こることも意味している。

### 1-3 、省エネルギー社会を期待された情報化社会・第三の波の社会（A.トフラー氏の視点から）

石器時代に代表されているように自然素材のみを利用して道具を作っていた時代では、人々の生活は他の動物と同じように与えられた自然環境の条件に厳しく限定されていた。人々は生態系の中で与えられた食料を捕獲し、資源を利用して生活していた。この時代の生産様式(採取や狩猟による生活・狩猟時代)は生態環境の一部となることで成立していた。人工物の生産力は生態環境の自然エネルギー資源の循環系の中に組み込まれていた。

そして人類は石から金属を素材にした道具を開発する時代を迎える。つまり、自然素材にエネルギーを加え加工し、より優れた道具を作ることによって、この与えられた自然環境（生態系）の中で生存していた生活環境から人工的環境を形成することが可能になる。例えば、焼畑や灌漑によって生態環境に手を加え食料生産を行う農業と呼ばれる生産様式を開発することによって、農耕地（畑や穀物果樹園）を作り、より効率よく食料を生産することが出来るようになった。

与えられた生態環境に束縛されて生活をしてきた狩猟時代から自然生態環境に手を加えて食料を生産する農耕時代が登場する。農耕文明を発展させることによって、人類は以前よりもより効率良く生産物を手にいれることができた。この農耕文明をもたらした農業革命をアルビン・トフラーは第一の波と呼んだ<sup>(12)</sup>。

トフラーは、産業革命によって生まれた工業生産を中心とする社会を第二の波の社会と呼んだ。この第二の波の社会では、アメリカのフォードシステムに代表される大量生産、大量流通、大量消費、マスメディア、巨大な大衆娯楽施設等の産業文化が形成される。また、過去の二つの世界戦争を特徴付けた大量破壊兵器による総力戦も起こる。そして大企業を中心とする生産の規格化や標準化、国際化が行われる。

19 世紀に登場した国民国家、帝国主義と呼ばれる海外に資源を求め他国を植民地化する国家体制、それを維持し発展させた中央集権国家機構や官僚機能、首都（主要都市）への社会機能の集中化、国

<sup>11</sup> 財団法人 日本エネルギー研究所 計量分析ユニット編 『図解 エネルギー・経済データの読み方入門』 2011.10.12、改訂 3 版、財団法人、省エネルギーセンター p59

<sup>12</sup> Alvin Toffler The Third Wave. Bantam Books (1980)、『第三の波』 鈴木健次ほか訳、日本放送出版協会、1980 年 10 月。

家的規範によって国の津々浦々まで統制のとれた社会制度(警察や官僚組織)が形成された。国民国家では納税と徴兵は国民の義務となった。

第二次世界戦争が終わり、植民地主義を土台とする資本主義経済(帝国主義)への非難が高まり、また情報科学技術が発展することによって、第三の波とよばれる脱産業社会(脱工業化社会)化の流れが始まった。先進国の国民は民主主義や人権尊厳を社会理念とする成熟した社会の在り方を模索することになる。トフラーはこの社会への流れを第三の波と呼んだ。トフラーはこの第三の波へと変化する社会を、情報化時代、情報化社会、情報革命等の造語を創り説明をしたのであった。

情報化社会はトヨタ生産システムに代表される部品ストック量の軽減、流通の合理的配分、インターネットによる紙情報による伝達の消滅、つまり情報伝達のための物質資源利用の軽減、テレビ会議(インターネット上での会議)による運送機関利用の軽減、シミュレーション技術による開発コストの削減、インターネット上での動画配信による大衆娯楽施設(装備)の個人化等々、資源とエネルギーを節約し、結果的に省エネルギー社会の入り口を創ると期待されたのである。

#### 1-4、三つの産業革命、躍進する IT 産業による巨大エネルギー消費社会の出現(藤原洋氏の視点から)

しかし今、情報化社会が省エネルギー社会を導いていることに対する点検が始まっている。その問題を投げかけた一人として藤原洋氏の第 4 の産業革命の概念がある。その中で、藤原氏は情報化社会を第 3 の産業革命(3つの波)と位置付け、その社会は巨大なエネルギー消費社会であると述べた。まず、藤原氏の四つの産業革命に関する概念を簡単に紹介する。(13)

18 世紀のイギリスを起点として始まる産業革命を第一次産業革命と藤原氏は呼んだ。蒸気機関とは石炭を燃やし熱を発生させ、その熱で水を蒸気に変え、その蒸気力で動力を動かす外燃機関である。つまり、エンジンを直接動かしている物質は高温の蒸気(水)である。蒸気になることで、水 18g(水分子 1 モル当たりの重さ)の体積は 1 気圧で 22.4 リットルに増える(14)。さらに高温にすることでその体積は熱膨張する。この熱力学の法則を活用し、膨張した体積を動力源としたのが蒸気機関である。その意味で藤原氏は第一次産業革命を蒸気機関による動力革命によって生み出されたと述べている。(15)

石油を原料として生み出された内燃機関は、シリンダーの中で酸素と揮発性炭化水素(石油)が化学反応(燃焼反応)を起こし、その熱と生成されたガス(二酸化炭素や水蒸気)によってシリンダーが上下運動を起こす。そこで藤原氏はこの内燃機関による生産技術の変化を第二次産業革命と呼んでいる。また、石油は単に燃料となるばかりでなく、化学合成工業の原料となった。第二次産業革命によって化学繊維、プラスチックなどの化学合成素材(新素材)が生み出された。化学変化をエネルギーの動力や産業資源として新しい重化学産業が生み出された。石油化学工業や内燃機関による自動車や運輸産業が引き起こす新しい産業形成過程を第二次産業革命と藤原氏は呼んだのである。(16)

1950 年代以後、情報・通信に関する科学技術の進歩によってコンピュータ産業、情報産業が発展す

13 藤原洋 『第 4 の産業革命』 朝日新聞出版 2010.7.30、207p

14 用語解説「モル体積」を参照

15 藤原洋 『第 4 の産業革命』 朝日新聞出版 2010.7.30、pp22-23

16 同上、pp23-24



る。この情報通信技術によって導かれた産業構造の変化を第三の産業革命と藤原氏は呼んだ。(17)このデジタル情報革命の進展によって期待された省エネルギーは実現しなかった。情報処理技術の進歩によって情報処理の高速化が日進月歩で進んでいる。半導体の集積密度は 18 から 24 ヶ月で倍増すると技術革新の流れの規則性をムーアの法則と呼んでいる。また、ネットワーク情報通信では「森の法則」とよばれるブロードバンドトラフィックは加入者の倍増に対して指数関数的に増大するという規則が成立している。このムーアの法則や森の法則が意味することは、今後も IT 産業は飛躍的に進歩し続けるという予測である。

携帯電話の普及等々、中国、ブラジル、ロシアやインド等の新興国や発展途上国での情報化社会は益々進み、莫大な情報の入力、蓄積と出力の高速化が必要とされる。その情報処理に必要とされるエネルギーは莫大なものになろうとしている。例えば、2006 年の米アクセンチュア社のレポートによるとデータセンターの電力消費量は 600 億 KWh で、全米の電力消費量の 1.5%を占めた。(18)

わが国でも、この IT 産業による巨大な電力消費問題に対応するため、経済産業省が 2008 年にグリーン IT プロジェクトを立ち上げた。このプロジェクトは IT 機器による電力消費量は 2025 年には全電力消費量の 40%に達し、2050 年には 50%に達するだろうと予測した。(19) つまり、IT 産業の躍進によって発展する第三の産業革命（第三の波）の延長には巨大な電力消費社会があり、そのために原子力や大型火力発電等の導入が提案される結果となっている。

### 1-5、情報化社会・巨大エネルギー消費社会の課題

トフラーは第三の波、参画型の民主主義社会の土台となる情報化社会に未来の産業や社会システムの発展を望んでいた。しかし、実現した情報化社会では、藤原洋氏が指摘したように、巨大な電気エネルギーの消費を必要とした。例えば、神戸市の理化学研究所計算科学機構に設定されたスーパーコンピュータ「京」は 88,000 個の CPU (58W) を使っている。約 184 万 kwh の電力を CPU だけで消費している。さらに約 184 万 kwh の演算子の加熱を冷却する電力消費量を考えると電力を使うことになる。兵庫県の市民から、スーパーコンピュータ「京」が使う電気量は淡路島全土の消費電力に相当すると言われている。

つまり、情報処理や通信機能を持つ最先端の生産システムによって高効率の大量生産流通管理が可能になると同時に、巨大なエネルギーが必要となる。そのエネルギーを化石燃料や原子力によって賄っている。つまり、原発や大型火力発電から供給される電力を失えば、情報通信技術を駆使した最先端の工業生産システムは成立しないのである。

21 世紀は 20 世紀の科学技術文明社会を先導してきた欧米や日本だけでなく、発展途上国の経済発展も始まり、その発展は加速度的に進んでいる。人口の多い中国、インド、インドネシア等の国々の経済発展によって、更に多くのエネルギーが必要となっている。生活の豊かさ（人間の当然の権利）を求める世界の人々によって、世界のエネルギーの消費量はさらに増加し続ける。巨大エネルギー消費社会は全世界に波及し続け、究極的にはエネルギーの枯渇問題や巨大なエネルギー消費によってさら

17 藤原洋 『第 4 の産業革命』 朝日新聞出版 2010.7.30、p24

18 同上、pp42-47

19 同上、pp47-48

に深刻化する異常気象（地球温暖化等々）や環境破壊が進むことは避けられないのである。

また、エネルギー枯渇問題は、暫定的には高騰する化石燃料に現れるエネルギー資源の価格問題として顕在化して行くだらう。例えば、昨年エジプトで起こった小麦粉等の食糧の不足で生じる市民の暴動、そして今年 1 月からアラブの春とよばれる市民の反乱と独裁政権の終焉等々、資源問題は政治的問題に発展した。しかし、政治的にこの問題は解決されない。例えば、アラブの市民が政権を取ったとしてもエネルギーや資源の絶対量は不足し続けるだろう。つまり、石油資源に依存する社会や国の貧困化は人口増大に拍車を掛けながら、次第に深刻化することは避けられないのである。しかも、東電福島原発事故が示しているように、原子力エネルギーの活用は上記した貧困化対策へのベストな解決策であるとは思われない。

言い換えると、20 世紀社会では、社会経済システムは生産力の向上を目指して構築、改革、再編され続けてきた。しかし、21 世紀の社会は、巨大なエネルギー消費社会からの脱却が問われているのである。その確実な解決策はない。

しかも、その解決策を早急に探し求めなければならない。これまでにあった社会発展の理念を変換することが真剣に問われているのである。そして、化石燃料や原子力エネルギーに依存しない社会経済システムを構築しなければならないことも急がれている。

エネルギー危機が世界を襲い、列強（帝国主義）の国々が 20 世紀初頭に繰り広げたようなエネルギー資源の争奪をめぐる国際的な紛争（世界戦争）が起こらないために、今、何をすべきかを考えなければならない。それはこれまでの社会理念と全く異なる社会モデル（例えば縮小社会）を提起するだろう。いずれにしても、生活の豊かさを求める発展途上国の人々、先進国の豊かな生活を持続したい人々、殆どがエネルギー消費量の極端な削減策には同意しないだろう。

そこで、民主主義（資本主義）と現代科学技術文明によって生み出された豊かな生活の質を維持し、また獲得し続けることを前提にしたエネルギー政策が問われることになる。その二つの課題、つまり生活の豊かさ（巨大なエネルギー資源の消費によって成立する社会）と化石燃料や原子力エネルギーへの依存をなくし、再生可能なエネルギー消費社会を創ることは矛盾なく成立するだろうか。その二つの課題が成立するための条件を考えなければならないのである。そして、以上のエネルギー消費量から観た現代科学技術文明社会に関する議論から解決しなければならない 3 つの課題を挙げる。

- 1、 再生可能エネルギー技術と社会経済システムの開発
- 2、 省エネルギー技術と社会システムの開発
- 3、 食糧、資源エネルギー問題や人口問題の解決、資源問題で生じる国際紛争への対応と資源独占・争奪をめぐる世界戦争の回避

## 2、市場からみた太陽光発電システムの課題

### 2-1、利用可能な太陽光エネルギー量の評価

太陽から地球に到達する太陽光のエネルギーは約 174PW(ペタワット)、つまり 174×1000 兆ワットである<sup>(20)(21)</sup>。この光エネルギーは大気中で吸収され海面に反射してその半分が失われ、残り半分が地表に降り注ぐ。地表に到達した太陽光エネルギーは大気、海洋と地表を熱し、最終的に宇宙空間に放出される。藤原氏によると、この太陽光エネルギーの約 1PW (ペタワット)、1000 兆ワット (1 兆 kw) を人類は利用することが可能であると言われている。その量は、現在の人類の全消費エネルギー量の 50 倍である。<sup>(22)</sup>

また、他の地球での利用可能な再生可能エネルギーと比較してもその太陽光エネルギーは非常に大きいと言われている。例えば、山田興一氏や小宮山宏氏によると<sup>(23)</sup>、収集可能な(利用できる)風力エネルギーは 10TW (テラワット) と推定されている。つまり、太陽光エネルギーの 100 分の 1 である。最近注目を浴びている収集可能な波力エネルギーは 0.5TW (太陽光エネルギーの 200 分の 1) であると推定されている。そして潮力エネルギーは 0.1TW である。火山国日本で期待されている利用可能な地熱(貯留)エネルギーは年間 50TW (太陽光エネルギーの 20 分の 1) と推定されている。太陽光エネルギーはその他の再生可能な自然エネルギーに比べて、利用可能な資源量が多いことが理解できる。

巨大な資源量を持つ再生可能エネルギーとしての太陽光エネルギーを活用し、新たな産業を興こすことを藤原洋氏は第 4 の産業革命と呼んでいる。この第 4 の産業革命を支える社会経済システムは「太陽経済」(2009 年一般財団法人太陽経済の会を設立した山崎養世氏の言葉)によって成立すると藤原氏は述べている<sup>(24)</sup>。石炭火力エネルギーで第一次産業革命が起り、石油化学エネルギーで第二次産業革命が展開し、電気エネルギーで第三次産業革命と呼ばれる情報通信産業が発展し、そして太陽光エネルギーによって第四次の産業革命(第 4 の波による太陽経済社会)が起ろうとしているという考え方は現在の世界の全消費エネルギー量の 50 倍もある太陽光エネルギー利用の可能性から導かれる希望であり夢であると言えるだろう。

しかし、同時に 2011 年 3 月 11 日に起った東電福島第一原子発電所事故(以後、東電福島原発事故と呼ぶ)によって、我々は未来のエネルギーとして期待した原子力の利用の難しさを知った。また、その事故によって大量に放出した放射能物資の処理に関して、何も対策がなされていない事を知った。海外の化石燃料に依存する社会、そしてそれが引き起こす異常気象問題と国防上の問題解決として、原子力エネルギーの利用が 1970 年代から進んできた。しかし、東電福島原発事故によって、その計画は大きく変更しなければならなくなっている。そして、太陽光エネルギーの利用は、3.11 東電福島原発事故以来、将来のエネルギーとして大きな期待をかけられようとしている。

<sup>20</sup> 藤原洋 『第 4 の産業革命』 朝日新聞出版 2010.7.30、p114

<sup>21</sup> 山田興一、小宮山宏著 『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、2002.10.7、p6

<sup>22</sup> 藤原洋 『第 4 の産業革命』 朝日新聞出版 2010.7.30、p115

<sup>23</sup> 山田興一、小宮山宏著 『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、2002.10.7、p7

<sup>24</sup> 藤原洋 『第 4 の産業革命』 朝日新聞出版 2010.7.30、p108

そして、同時に現在の人類の全消費エネルギーの 50 倍に相当する太陽光エネルギー利用の可能性に関する検証が要請されている。その基本的な課題は、エネルギー変換率の高いセルや太陽光発電システムの生産技術開発、太陽電池の生産に関する経済的検証、国民的な太陽光発電システムの普及に関する政治・経済・社会政策の検討等々である。それらの検証作業は言及するまでもなく科学技術的な方法によって行われる必要がある。

## 2-2、太陽電池のエネルギー回収年数（EPT）・二酸化炭素ペイバックタイムの評価とその算出基準

以前から、太陽電池へのエネルギーの回収可能性に関する疑問が存在していた。鷲田豊明氏は、『環境とエネルギーの経済分析』の中で、「一般に太陽光発電は初期の設備投資の大きさに比べて経常運転のための追加的コストが少ないことから、エネルギー効率を評価する場合、エネルギーの回収可能性あるいはエネルギー回収年という基準が用いられることが多い」<sup>(25)</sup>と述べている。つまり、太陽電池の生産にはコストや労力が必要であるが、それが一旦設置されると電気（エネルギー）を生産することになり、電池の生産過程で投資したコストを電池の操業によって回収することが出来る。

しかし、もし生産能力が低く、しかも稼働年数が短い場合には、電池生産につぎ込んだエネルギー（電池の生産や流通に必要とされるエネルギー・カロリー量）を電池稼働によって生産されたエネルギーとして回収することが出来ない。この場合、太陽電池はエネルギー回収性がないと評価される。つまり、電池を作るならば社会は損をすることになる。この電池のエネルギー回収性は、電池の生み出すエネルギー量、例えば太陽光エネルギーの電気エネルギーへの変換効率や電池製造エネルギーを電池によって生産されるエネルギーとの関係から導かれるエネルギー回収性によって評価されることになる。

製造に使われたエネルギーを回収するための時間をエネルギー回収年という基準で表現することで、よりエネルギー回収性やエネルギー効率の概念が計量的（厳密に）表現できる。つまり、エネルギー回収年数とは、「エネルギー回収可能性に厳密な定義を与え実際の太陽光発電設備に関してこれを求めること」<sup>(26)</sup>を可能にする経済学的概念と言える。

エネルギー回収年数 = 太陽光発電システムを製造するために使ったエネルギー量（炭酸ガス排出量） ÷ 太陽光発電システムから造られた電気エネルギー（炭酸ガス排出量） (式1) <sup>(27)</sup>

鷲田氏は太陽電池のエネルギー回収年数を求めるために、「1987 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、アモルファス太陽電池の実用化研究」（新エネルギー財団、1988 年 3 月）における、「年間製造規模別の投入費用の試算結果」を用いて太陽電池の量産規模が 10MW（1000KW）規模／年の（第一ステップ段階、1990 年）で、太陽電池の変換効率は 10%と想定して、エネルギー回収年数を計算した。<sup>(28)</sup>

<sup>25</sup> 鷲田豊明『環境とエネルギーの経済分析』白桃書房、1992.10.6,

<sup>26</sup> 鷲田豊明『環境とエネルギーの経済分析』白桃書房、1992.10.6

<sup>27</sup> 桑野幸徳 「太陽光発電の実力は」 PowerPoint 資料 17p

<sup>28</sup> 鷲田豊明『環境とエネルギーの経済分析』白桃書房、1992.10.6,

鷺田氏は 10MW の太陽電池を生産するために使用した原料の加工やその運搬に費やした燃料の熱量を計算し、1990 年に生産された 1000KW の太陽電池のエネルギー回収年数は 17.85 年であると述べている。この結論から言えば、太陽電池が 18 年以上の年月で電気を生産しない限り、エネルギー回収性はないと結論されることになる。

集積型アモルファスシリコン太陽電池を世界で初めて工業化させた桑野幸徳氏（日本の太陽電池の草分け的存在）が 2011 年に公開した資料によると、アモルファスシリコン系太陽電池ではエネルギー回収年数（以後 EPT と呼ぶ）は 1 年、結晶シリコン系太陽電池では 1.52 年であると述べられている。

（出典 NEDO 成果報告書「太陽光発電評価の調査研究」2001 年 3 月）<sup>(29)</sup> 1990 年の鷺田氏の算出では EPT は約 19 年であり、2001 年の NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）の調査では、1 年と算出されている。

EPT を算出するためにはそれなりの計算基準があると思われる。その中で、製造過程だけではなく（原発の電力生産コストを計算する上で、現在、原発廃棄物処理や災害事故処理のコストは計上されていないことを反省する意味で）、廃棄物処理過程も入れる必要がある。また、製造過程では原料生産、運送、加工等の主に製造運送過程でのエネルギー消費量が算出されている。しかし、同時に、その生産工程で働く人々の消費するエネルギーも換算する必要がある。

科学的に正確に太陽電池の現時点での EPT を算出することによって、太陽電池の普及のための政策や開発改良すべき技術問題の対策が正確に、しかも現実的に可能になるのだと思われる。その意味で、太陽電池の EPT 算出の基準を公開し、また専門家の中で検討する必要があると思われる。

EPT の考え方に類似するものとして、二酸化炭素ペイバックタイム（CO<sub>2</sub>PT）がある。この二つはほとんど同じ概念であるが、一方は全ての消費エネルギー量を他方は化石燃料使用量に限定していると言える。生産工程で原子力発電による電気や再生可能エネルギーによる電気を使うことによって、二酸化炭素ペイバックタイムは相対的に ETP よりも小さい値をとるだろう。

## 2-3 、太陽電池のシステム価格、発電コストの評価

### システム価格

太陽光発電システム価格（購入価格）が消費者にとっては一番気になる。システム価格はパネルの規模や太陽電池の種類（図表 5）、システム構築に必要な機器、メーカー、設置する場所（工事条件）、用途等によって異なる。

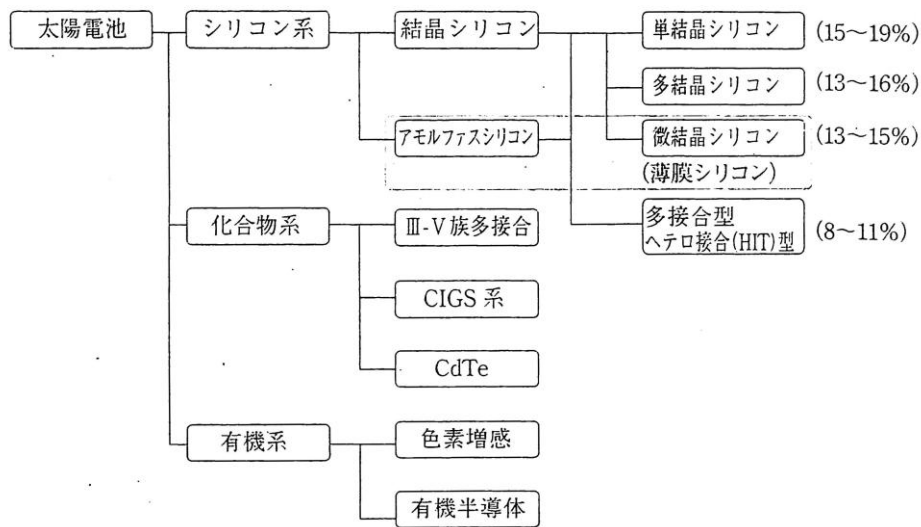
NEDO の資料（図表 6）から、現在、10KW 以下の系統連係型システムの価格は一般に 1 KW h につき 60 万円から 110 万円（2009 年の IEA - PVPS の資料では 69 万円 / 1 KW h）の範囲である。また 10KW 以上の系統連係型システムの価格は 50 万円 / 1 KW h から 85 万円 / 1 KW h（2009 年の IEA - PVPS の資料では 32 万円）の範囲である。つまり、システムの規模が大きくなると 1 kwh あたりの価格は低減する。

また、独立型システムは一般的に二つの場合（10KW / 1 KW h 以下とそれ以上の場合）でも KW 当たりの価格は高騰する。蓄電池や関連機器が必要であることがその理由と言われている。<sup>(30)</sup>

<sup>29</sup> 桑野幸徳 「太陽光発電の実力は」 PowerPoint 資料 17p

<sup>30</sup> NEDO 『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』、平成 22 年 7 月 27 日、p39

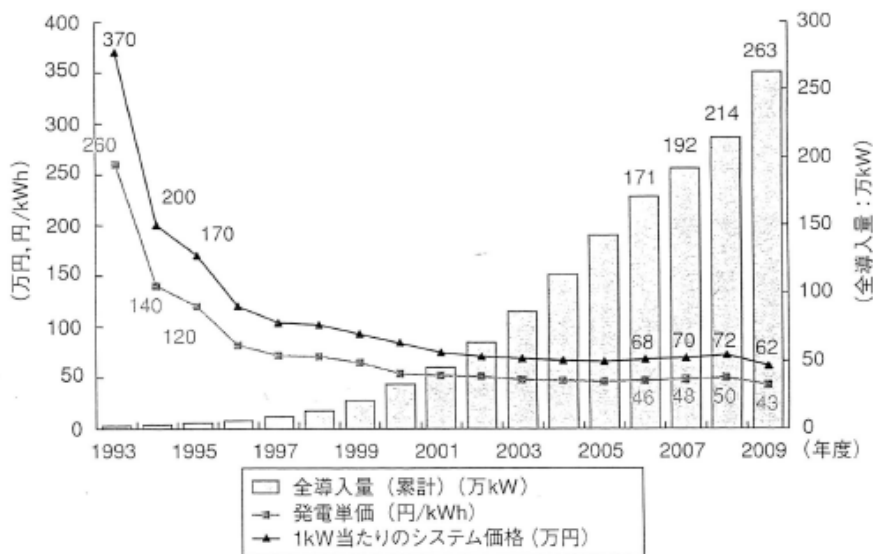
図表 5、太陽電池の種類と製造システム



出典 産業技術総合研究所「太陽電池の分類」(NISI 11A,131p)

図表 6 「日本での太陽光発電の導入実績とシステム単価、発電コストの推移」

図 III - 5 - 7 太陽光発電の導入実績と発電コストの推移 (日本)



(出所) 資源エネルギー庁資料などから推計

(解説) 住宅用・公共施設用を中心として支給された政府の補助により、導入が急速に進んだ。1kW当たりのシステム価格も順調に低下しており、現在のシステム価格は、導入が活発になった1995年度の約3分の1になっている。

出典 『図解 エネルギー・経済データの読み方入門』(ZNEK 11A p318)

ちなみに、コスト構成に関してみるとシリコン系アモルファス型と微結晶シリコン型の一般的に言われる薄膜型のタイプでは原料費の割合が 15%、セル化とモジュール化の費用が 40%、工事費が 45% である。また、単結晶シリコン型と多結晶シリコン型の結晶型タイプでは原料費の割合が 35%、セ

ル化とモジュール化の費用が 35%、工事費が 30%である。(31) 上記のデータから、例えば、薄膜型は原料のシリコン (Si と今後は呼ぶ) が少なくすむのでコストが抑えられると言える。このように、技術開発によってコストを低くすることが可能になる。

### 発電コスト

発電コストとは年間経常費を年間発電量で割って求められる。年間経常費とは、非常に簡単に説明するなら一年当たりの建設コスト分 (減価償却と同じ発想で考えるとよい) と一年間の太陽電池を運転・保守経費の二つの要素で構成される。

一年当たりの建設コスト分とは、初期投資金額(建設コスト)に年経費率を掛けることで算出できる。年経費率は経営学上の専門的な計算方式があるが (図表 7)、非常に簡単に考えるなら、例えば、300 万円の建設コストが掛かった、しかもその 300 万円を銀行から 20 年ローンを借り、その金利を支払う条件を仮定する。太陽電池の稼働年数 (耐用年数) を 20 年とすれば、300 万円と 20 年間の金利 (3 割として総額 90 万円) の合計 390 万円を稼働年数 (耐用年数) 20 で割ると一年間平均で 19.5 万円の経費になる。19.5 万円は 390 万円の 5%であるので、その場合、年経費率は 5%(300 分の 20) になると簡単に換算することにしておく。この 19.5 万円 (一年間の太陽電池建設コスト) に一年間に必要な太陽電池の運転・保守経費を加えると年間経常費が算出できる。

図表 7、発電コスト算出式

$$\text{発電コスト (円/kWh)} = \frac{\text{建設コスト} \times \text{年経費率} + \text{運転・保守費}}{\text{正味年間発電量}}$$

$$\text{年経費率} = \frac{r}{1 - (1+r)^{-n}}$$

r : 金利、n : 耐用年数

出典『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』平成 22 年 7 月 27 日

一年間に必要な太陽電池の運転・保守経費の算出方法であるが、一般に日本のメーカーが発売しているパネルは 10 年保証をしている。つまりその 10 年間の稼働期間に関しては無料となる。また、NPO 太陽光発電所ネットワークに参加している場合、つまり、太陽電池を設置した人々が協同組合を作り発電所の維持管理をしている場合、その年間経費 3000 円やその他地震や火災等の保険に加入している場合など、その年間の保険金は、この一年間に必要な太陽電池の運転・保守経費の中に含めて計算することができる。

ちなみに、2009 年の日本の発電コストは、導入量の約 8 割を占める住宅用連係型太陽発電システムでは、36 円/kWh から 75.5 円/kWh である(32)。また、2011 年導入費用の平均的なシステム価格は住宅用で 57 万円/1kWh である(33)。

31 NEDO 『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』、平成 22 年 7 月 27 日、p40

32 同上、p40

33 Wikipedia 「太陽光発電のコスト」

しかし、上記した計算方法が政府の専門部署や民間の調査会社（シンクタンク）で採用されているとは限らない。現在、発電コスト算出基準があればその基準に従って計算すべきである。また、もし、現在のその基準設定に補足すべき要素があるなら、その基準を点検することも必要である。発電コスト算出に方法基準を決めなければならないだろう。

### EPT に大きな影響を与えるシステム価格(発電コスト)

小西正暉氏は、2003 年 3 月の NEDO の太陽光システムの EPT の試算例を紹介している。<sup>(34)</sup> 試算条件は、多結晶シリコン、アモルファスシリコンと CdS/CdTe（化合物系）の三つの素材と、10MW、30MW と 100MW の三つの異なる年間生産規模、そして、屋根への設置型と一体型の二つの設置方法である。これらの条件で 18 ケースの EPT の試算例が示されている。この資料に、モジュール変換効率を加えて図表 8 を作った。

図表 8、太陽光システムの EPT の試算例（2003 年 3 月）

年間生産規模	多結晶シリコン(最大 20%)		アモルファスシリコン(最大 15%)		CdS/CdTe(最大 9%)	
	屋根(設置型)	屋根(一体型)	屋根(設置型)	屋根(一体型)	屋根(設置型)	屋根(一体型)
10MW	2.4	2.1	2.2	1.8	1.7	1.8
30MW	2.2	2	1.7	1.5	1.4	1.4
100MW	1.5	1.4	1	1	1.1	1

出典 NEDO 引用 小西正暉、鈴木竜宏、蒲谷滋記 『太陽光発電システムがわかる本』(37p)

この表から、発電規模が大きいほど、EPT 値は少なくなり、また、屋根一体型が屋根に設置するよりも EPT が少ないと試算されている。さらに、CdS/CdTe（化合物系）はシリコン系に比べて発電効率が低い EPT は少ないこと、また、シリコン系でも多結晶シリコン型よりも発電効率の悪いアモルファスシリコン型の方が、EPT が少ないと試算されている。

つまり、現時点で EPT 値の決定に大きな影響を与えている要因は発電効率ではなく、それらのシステム価格にあることが理解できるだろう。

### 太陽電池設置コスト推移の要因（1993 年から 2009 年まで）

財団法人日本エネルギー研究所が作成した 1993 年から 2009 年までの「日本での太陽光発電の導入実績とシステム単価、発電コストの推移」を示す図表 6 から、発電単価（発電コスト）とシステム価格は連動していることが理解できる。発電コストはシステム価格（建設コスト）によって決定されているために、この二つが連動する、つまりシステム価格が下がれば発電コストも下がるのは当然のことである。

システム価格の減少率推移から、1993 年の IKW 当たりのシステム価格は 250 万円、1994 年には

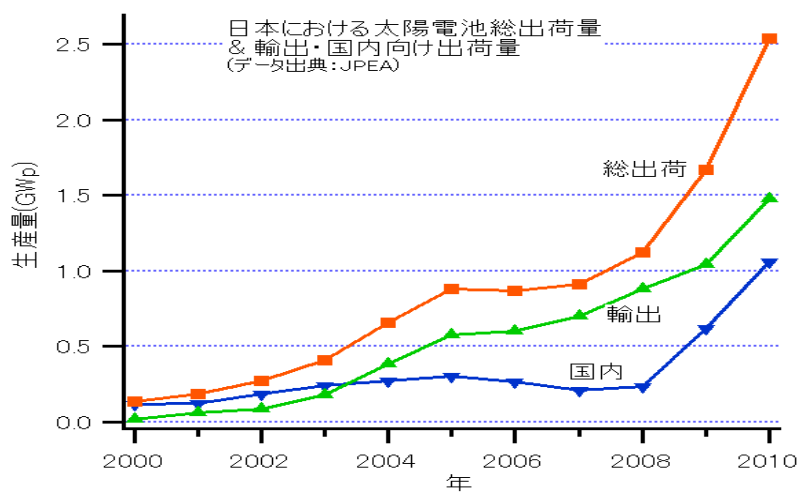
<sup>34</sup> 小西正暉、鈴木竜宏、蒲谷滋記 『太陽光発電システムがわかる本』 株式会社工業調査会、2008.7.10、p37



200万円、1995年では170万円、1996年では120万円と4年間で半分以下(0.47倍に減少する)に減少した。しかし、1997年(106万円/KW)から2001年(75.8万円/KW)の5年間でシステム価格の減少率は3分2以下(0.72倍に減少する)である。さらに、2002年(71.0万円/KW)から2009年(62万円/KW)の8年間では僅かに10万円の減少(0.87倍に減少する)であった。<sup>(35)</sup> 日本の太陽電池システム価格は2003年からほぼ横ばいに推移している。

図表9に2001年から2010年までの日本で生産された太陽光電池総量を国内用と海外用に分けて示した。2004年まで続いた政府の補助制度が2005年で終わった。このことによって、2005年からの国内需要は、再び政府の補助金が支給される2008年まで減少し続けた。図表6で示された、日本の太陽電池生産量(累積)の増加を維持していたのは、海外用に生産された太陽電池であった。<sup>(36)</sup>

図表9、2001年から2010年までの日本の太陽光電池生産量(海外用と国内用)



出典 (Wikipedia)

つまり、太陽電池産業は黎明期を出て、市場競争を繰り広げながら社会に普及しようとしている発展段階にある。<sup>(37)</sup> この段階では、これまでに長年掛けて開発してきたコスト、貧弱な需要(市場)、低い発電効率やエネルギー変換効率という技術的問題等々の課題を抱えている。その段階を政府が固定価格買取制度等を設定して支えなければ、日本発の太陽電池産業はたちまちのうちに他国の企業に追いつかれる。そのことを2005年から苦々しく経験することになった。そして、その結果が、国内出荷量の減少、それによる全集荷量増加推移の減少、そして、その結果として、市場でのシステム価格の減少率低下につながったのではないかと予想できる。これまで、電卓やコンピュータをはじめとして電気機器のみならずすべての商品に謂えることとして、供給力(生産量の増加)は商品コストを下げるという経済の決まりが十分働いていなかったのではないかと考えられる。

<sup>35</sup> 同上、p11

<sup>36</sup> 三石博行「再生可能エネルギー促進法とその問題点についてー持続可能なエネルギー生産社会を目指すためにー」おおつ市民環境塾講座講演の資料(論文)、2011年11月19日

<sup>37</sup> 桑野幸徳『太陽電池はどのように発明され、成長したのかー太陽電池開発の歴史ー』オーム社、2011.8.11、430p

技術開発による製造コスト削減

2011 年 12 月 5 日から 7 日まで、千葉の幕張で国際再生エネルギーフェア 2011 が開催され太陽光発電に関する 4 つの基調講演、最新の太陽光発電システム研究に関する講習会が行われた。その中でフェアで PVJapan2011 によって「太陽光発電に関する総合イベント」、展示会や講演会が開催された。イベントには、NPO 法人太陽光発電所ネットワークを始めとする 380 以上の企業や団体が参加し、最新の技術や商品の展示や紹介がなされていた。多くの参加者が、太陽電池産業は 21 世紀を切り開く次世代産業への期待を抱いている。そして、この新産業に益々多くの投資が集まることが予想される。まず、EPT の評価がその期待を実現するための経営的根拠の土台となる。もしその値が現在でも 18 年以上（1988 年 3 月の鷲田豊明氏の試算）であるなら、企業も消費者も太陽電池への投資は避けるだろう。図表 8 に示したように、現在の EPT 値は 1 から 3、つまり太陽電池 1 年から 3 年の稼働であると試算されている。そのことは、電池生産に消費したエネルギーを、3 年以内には回収することができるのであれば、エネルギー消費量からみた経営上の問題の一つはクリアできると評価されるだろう。

図表 10 、太陽電池の種類と特徴（変換効率、利点と課題とメーカー）

			変換効率(%)		国内企業
			セル(%)	モジュール	
シリコン系	結晶系	単結晶	21.5	16.8	シャープ 三洋電機
		多結晶	17.7	14.9	シャープ 京セラ 三菱電機 三洋電機
		球状			京セラ
	薄膜系	アモルファス	10	7~8	カネカ、三菱重工
		タンデム	15~22	10~13	〃
化合物系	単結晶系	GaAs (III-V族)	38.9	-	
		CdTe (II-VI族)	16.5	9	松下、事業中止
	多結晶系	CIGS	14~19	12~14	ホンダ、昭和シェル石油
有機系	色素増感型		10.5	-	各社研究中
	有機薄膜				各社研究中

			利点	課題
シリコン系	結晶系	単結晶	高効率 製造が簡単	原料不足 高コスト
		多結晶	比較的高効率 大量生産に適する	原料不足 新規参入企業との競合
		球状	シリコン使用量少ない	
	薄膜系	アモルファス	シリコン使用量少ない	コストパフォーマンス
		タンデム	〃 かつ高変換効率	製造リードタイムが長い
化合物系	単結晶系	GaAs (III-V族)	高効率	原料が高価で重い
		CdTe (II-VI族)	低コストかつ高効率	汚染物質を使用、リサイクル
	多結晶系	CIGS	高効率、製法が簡単	インジウム不足
有機系	色素増感型		製造工程が簡易	経年劣化、液体の保持
	有機薄膜		フレキシブルで、低コスト	製品寿命

(出所) 各種資料, 取材より野村証券金融経済研究所作成。

引用 和田木哲哉 『爆発する太陽電池産業 25 兆円市場の現状と未来』 p74

次に、システム価格が消費者の需要に相関する。システム価格は太陽光発電を設置するためのエネル

ギーコストだけでなく、原料、加工、開発、営業等々、企業が太陽電池生産システムを運営するための全てのコスト（製造コスト）と販売コストによって決定される。システムコスト（製造コスト）を下げるために、太陽電池産業の専門化、分業生産体制、補助サービスの企業化、多種多様の企業が生まれ、それらの総合力によって製造コストは逡減することになる。

また、新しい素材や工法によって多様な太陽電池パネルが生産されるようになった。製造価格を抑えるために新しいパネルが登場し、それらが価格競争にしのぎを削ることになる。ちなみに、現在の太陽電池の種類や特徴、セルとモジュールの変換効率、利点や課題、製造企業名に関して野村証券金融経済研究所が作成した資料<sup>(38)</sup>を図表 10 に示す。

例えば、結晶シリコンの材料費は製造コストの大きな割合を占めている。ちなみに、野村証券金融研究所が報告している資料によると、結晶法でのシリコンの割合は 56%であり薄膜法では 3%である<sup>(39)</sup>。このシリコンの占める価格を抑えることで製造コストを下げる事が出来る。また、一般に、シリコンは希少金属ではなく石英（二酸化ケイ素）の成分として地球の至る所に存在すると言われていたが、最近の太陽電池需給の増加によってシリコン（Si）は原料不足を起こし、コストも上昇している。そのため、セルの材料を安くするために、単結晶シリコンから多結晶シリコンへ、さらにアモルファス（結晶していない状態）シリコンへと新しい素材でセルを生産するための開発がなされてきた。

この開発によって、非結晶（アモルファス）シリコンによる電池が開発され、この材料は薄膜化しても一定の波長内での発電効率を十分保つことができるため、出来る限り薄膜にして電池材料に活用する薄膜シリコン法が開発された。非結晶系（アモルファス）を使った薄膜法では結晶系の生産方法（結晶法）よりもシリコン消費量を 100 分の 1 に抑えることができると報告されている。<sup>(40)</sup>

さらに、アモルファス（非結晶系）は一般に結晶系よりも変換効率（太陽エネルギーを電気エネルギーに変換する割合）が悪い。その弱点を克服するために（薄膜シリコンは変換効率を上げるために）、薄膜シリコンを重ね合わせるセルを製造する技術、HIT（ハイブリッド型）や多接合法（吸収波長域の異なるシリコン層を積層にして変換効率を上げる方法）が開発された。例えばこの二つの工法によって幅広い波長を電気に変換することができ、セル変換効率は上がった。薄膜シリコン法とハイブリッド法や多接合法によってシリコン消費量を抑えながら発電効率を上げる技術を開発してきた。

結晶法でも今までより少ないシリコン量でセルを製造する方法が開発され続けている。図表 11 が電力当たりのシリコン消費量の推移を示されているように、新しい工法技術によって生産電力当たりの材料費（シリコン）は少なくなった。この図表 11 から、2004 年では、1 W p（ワットピーク、太陽電池モジュールが発生するエネルギー単位、1 W と同じ）の電力を生産するためにシリコン 12 g（厚さ 300  $\mu$  m）のシリコン膜が使用されている。そして、3 年後の 2006 年では、1 W p の電力を生産するためにシリコン 10 g（厚さ 200  $\mu$  m）のシリコン膜が使用されている。つまり、三年間に 1 W 当たり 17% のシリコン量を減らすことができた。2010 年では、1 W p の電力を生産するためにシリコン 7.5 g（厚さ 150  $\mu$  m 2004 年の半分の厚み）のシリコン膜が使用されている。この予測によると 2011 年でのシリコン使用量は 2004 年に比較して 38% 少なくなる。<sup>(41)</sup> このように、高価なシリコンを

<sup>38</sup> 和田木哲哉氏『爆発する太陽電池産業 25 兆円市場の現状と未来』 東洋経済新報社、2008.11.27、p74

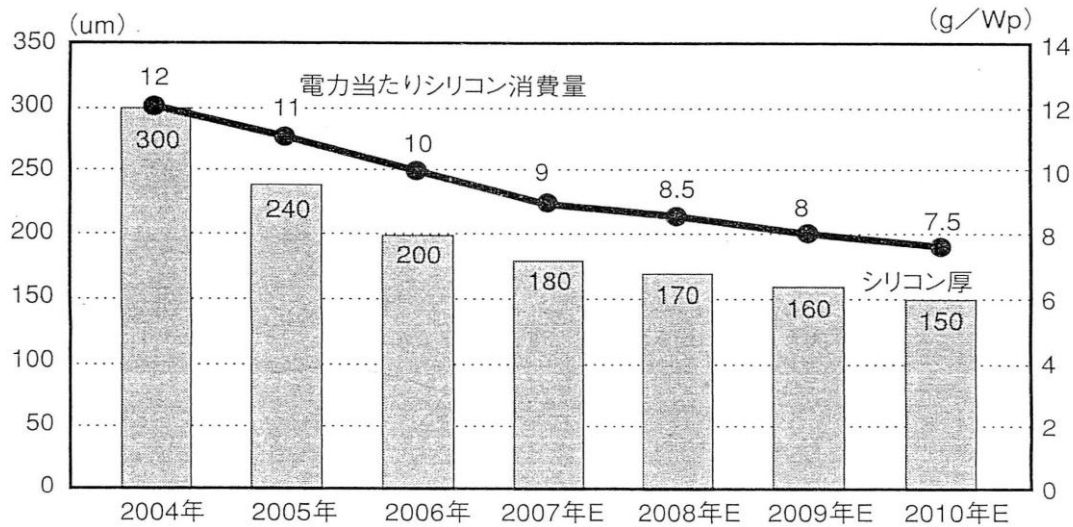
<sup>39</sup> 同上、p76

<sup>40</sup> 同上、p75

<sup>41</sup> 同上、p78

薄膜化することによって製造価格を引き下げてきたのである。

図表 11 、結晶法太陽電池のシリコン消費量の推移（2004 年から 2010 年）



(出所) Solar Generation IV-2007/EPIA (European Photovoltaic Industry Association).

引用 和田木哲哉 『爆発する太陽電池産業 25 兆円市場の現状と未来』 p74

#### 国際価格競争による製造コスト削減

現在、国際的な太陽光発電の産業化が始まっている。2000 年までは、日本、ドイツやアメリカの企業が中心であったが、2009 年以降は中国、台湾、韓国などの企業が進出してきた。今回の再生可能エネルギー世界フェア 2011 年の PVJapan2011 展示会でも、多くの海外の企業、特に中国の企業が参加していた。中国を始めとする海外の企業の参加によって、価格競争が激化する。

国際的な価格競争によってより安価な太陽電池の素材や製造方法の開発が進む。そのことにより、さらに太陽電池商品の多様化が進み、それらの多様な特徴を備えた商品がしのぎを削って電力コストをめぐる価格競争に突入する。国際競争による太陽光発電システムと太陽電池産業の技術や価格の競争の激化がこれからの時代の特徴を形作るだろう。

2004 年まで世界一の生産量を誇ったシャープが、その後、ドイツの Q-Cells 社に追い抜かれ、その後、Q-Cells 社は中国の Suntech に追い抜かれる。一年ごとに世界トップ企業名の変更が続く。全ての企業に短時間で世界的企業に躍進するチャンスが与えられ、そして同時に、その座を他の新興企業に奪われるリスクを抱える。この熾烈な世界的な競争によって価格の逡減はさらに進むだろう。

廉価なモジュールを生産する中国、台湾、韓国企業に欧米日本の企業は市場を奪われ、経営難に直面している。その結果、Q-Cells 社の倒産、シャープの経営難、アメリカ企業の撤退等々の世界レベルの太陽光発電産業の熾烈な生き残りを掛けた競争が繰り返されている。この競争が、結果的に、パネルの価格を下げ、また品質を上げることに寄与するか、それとも価格競争によって、品質やサービスの悪化が起るか、今、太陽光パネル産業は熾烈な国際競争に晒されながら、大きな曲がり角を迎えようとしている。

こうした企業の価格競争による品質の悪化を防ぐために、国際的な商品規格を決定することが求められるだろう。

### 3、社会経済システムからみた太陽光発電システムの課題

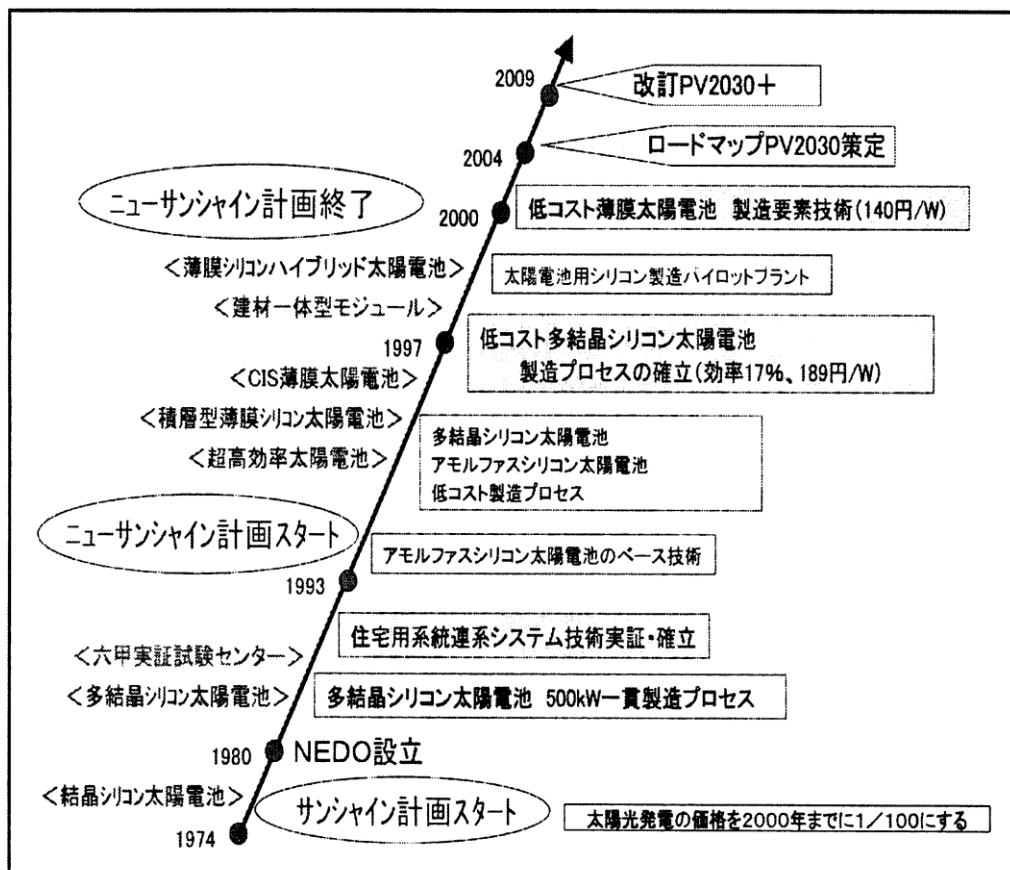
#### 3-1、技術開発を推進する政府・公共研究機構 NEDO の役割とその課題

新しい産業の形成を個別企業独自の力で可能にすることは不可能に近い。個別企業が、黎明期と呼ばれる暗中模索の時代を進むには大きな経営的リスクを抱えることになる。場合によっては、未来型産業に早く投資したために倒産する企業もあるだろう。

そのため、政府は新しい産業を育成するために国家は長期的な方針を立てなければならない。政府が新しい産業を擁護し助成することは、将来の国の経済や政治にとって重要であるからだ。日本政府は太陽電池産業の育成を 1974 年から取り組み始めた。国家的プロジェクトを進める中で、太陽光発電技術開発や制度研究を行う公共研究機関、産官学共同研究体制、民間企業の研究開発への補助、大学での基礎応用研究への助成等々を行った。こうして今日の日本の太陽電池産業は育成、発展してきたのである。

図表 12、 NEDO の太陽光発電技術の経緯

図表 2.40 NEDO の太陽光発電技術開発の経緯

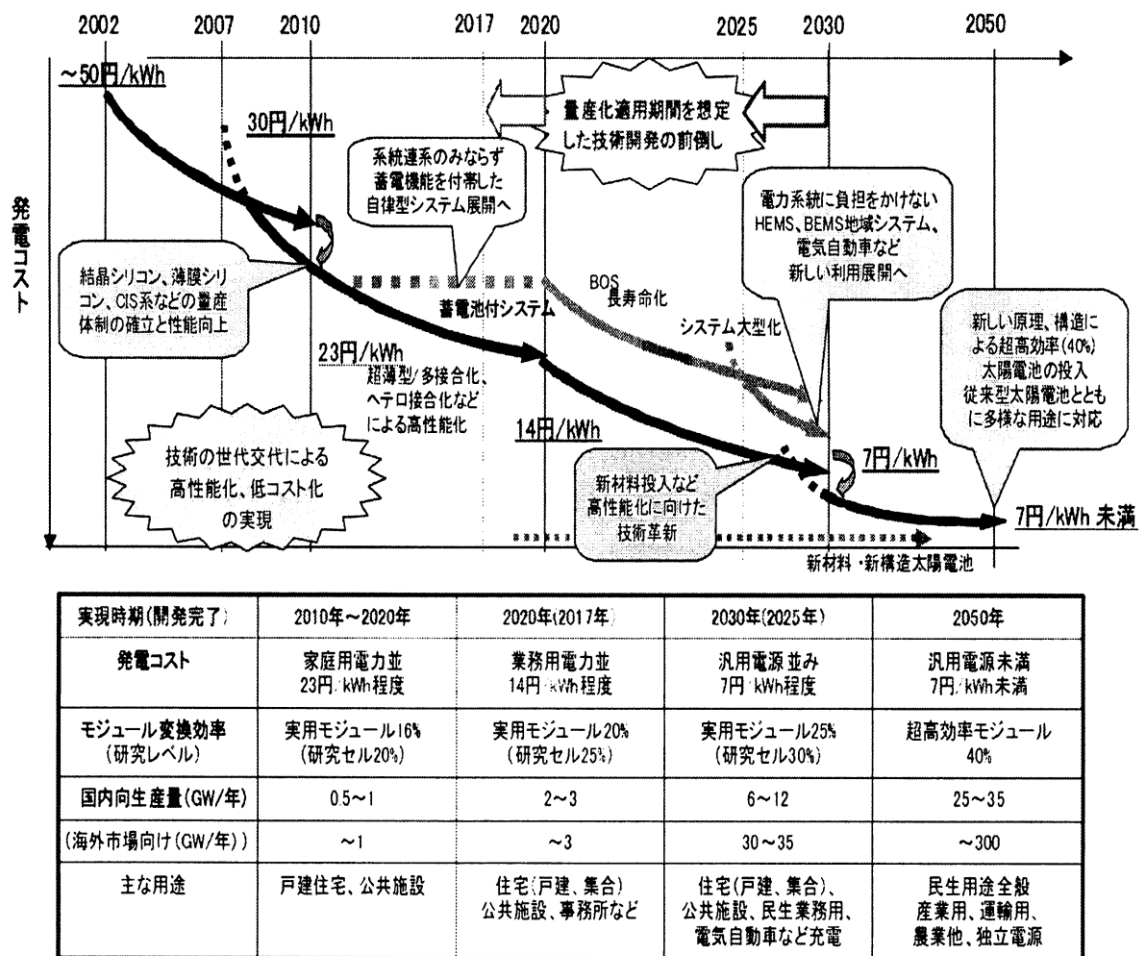


出典：「NEDO の太陽電池技術開発動向と新規プロジェクトでの取り組み」  
(2010, PVTEC ニュース Vol.56 4 月号, 太陽光発電技術研究組合)

出典『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』平成 22 年 7 月 27 日

どの産業技術もそれを支える基礎研究の成果がある。太陽光電池の基礎理論が発見され、それが産業化するまでの過程について簡単に述べる。太陽電池の原理は今から 170 年前にすでに発見されていた。1831 年、フランスのアンリ・ベクレル (Henri Becquerel) によって電解質溶液中での光起電力効果が発見されてから、1873 年の光電導性、1876 年の固体状態の光起電力、1883 年のセレン起電力セルと物理学での発見が過去にあり、19 世紀末には電磁気学が発展し、20 世紀はじめに量子力学が生まれる。シリコン半導体が見つかり、それらの固体物性の研究成果は産業に活用された。1954 年にピアソンらによって p-n 接合シリコン太陽電池が誕生した。そして、その翌年の 1955 年 1 月に林一雄や長船廣衛らによって日本でも p-n 接合シリコン太陽電池が出来上がった。(42)

図表 13、 PV2030+による太陽光発電技術開発シナリオ



出典：「太陽光発電ロードマップ (PV2030+)」(2009, NEDO)

引用 『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』平成 22 年 7 月 27 日

民間企業、大学、公立研究所（電子技術総合研究所・現在の産業技術総合研究所や電電公社・現在の NTT）などの研究者によって太陽光発電の素材、半導体の基礎研究から応用研究が取り組まれ日本で

42 桑野幸徳 『太陽電池はどのように発明され、成長したのか - 太陽電池開発の歴史 -』 オーム社、2011.8.11、pp2-31p

の太陽電池の基礎研究がはじまった。基礎研究とリンクしながら応用研究やその成果の産業化が民間企業（シャープ、京セラや松下電産）で取り込まれる。そして、シャープが 1962 年に変換効率 10% の太陽電池の量産化に始めて成功した。ベクレルが光起電力効果を発見してから 131 年後にその物理現象を活用した太陽電池が市場に登場したのである。1955 年 1 月に林一雄氏らが p-n 接合シリコン太陽電池に成功してから 1962 年にシャープが太陽電池の量産化に成功するまでの期間を桑野幸徳氏は日本の太陽電池開発と事業化の黎明期と呼んでいる。<sup>(43)</sup>

1974 年から国家プロジェクト、サンシャイン計画が始まり、日本の太陽電池産業は黎明期から発展期を迎えることになる。NEDO の太陽光発電技術開発の経緯を示した図表 12 の説明によると、第一期サンシャイン計画の時代（1974 年から 1992 年の 18 年間）の 1980 年に NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）が発足し 1990 年に PVTEC（太陽光発電技術研究組合）が発足した。この二つの機構、一つは公共研究機構でもう一つは太陽電池生産企業で構成される研究機構によって、日本での太陽光発電の産業化は進んでいった。この第一期では、多結晶シリコン太陽光電池の開発、住宅用系統連係システム技術確立などが主な事業となる。

サンシャイン計画の第二期はニューサンシャイン計画（1993 年から 2000 年の 8 年間）と呼ばれ、この第二期からは NEDO が中心となり、アモルファスシリコン太陽電池の基礎技術研究、多結晶シリコン太陽電池やアモルファスシリコン太陽電池の低コスト製造プロセスの研究開発が取り組まれた。サンシャイン計画の第三期は NEDO からの 5 カ年計画の時代（2001 年から 2005 年までの 5 カ年間）と呼ばれ、この第三期では低コスト薄膜太陽電池製造技術の開発が取り組まれた。現在はサンシャイン計画の第四期（2006 年から 2030 年まで）太陽光発電ロードマップ（PV2030+）の時代と呼ばれている。<sup>(44)</sup><sup>(45)</sup>

NEDO は太陽光発電ロードマップ（PV2030+）で 2030 年までの太陽光発電技術開発のシナリオ（図表 13）を示した。このシナリオによると、2010 年での発電コスト 30 円/KWh を 2020 年までには 14 円/KWh、2030 年には 7 円/KWh にする目標を立てた。また、単結晶系シリコンのモジュール変換効率も 2009 年に最高 16% である数値を、2017 年には 20%、2025 年には 25% にする目標を立てている。現在 10 年と評価されている結晶系セルの耐久性を 2025 年には 30 年にし、セルの寿命を 40 年とする目標を立てている。<sup>(46)</sup> 今後、太陽電池は薄膜法によってシリコン使用量を低く抑えると同時に、変換効率の高い接合型やハイブリッド型を導入することで、発電コストの通減化が可能になるだろう。

サンシャイン計画の第四期では、激化する全世界の企業の価格競争、発電コストやシステム価格の急速な通減化を可能にする新素材や新製造法の開発が繰り返される。この激化する国際競争の中で、太陽電池や太陽光発電システムの産業をめぐる環境は急激に変化し続けるだろう。その結果として、太陽光発電が世界に普及し、再生可能エネルギー社会の基礎が構築されるだろう。この厳しい国際競争と急激な社会経済改革の時代が第四期の特徴である。それは、これまで日本の太陽電池や太陽光発電システムの産業化に貢献し続けてきた NEDO（政府の国家戦略）に対して、その役割と戦略方針、さらには機構の機能性をも問われることになるだろう。これまでの公共研究機関としての NEDO 指導力

<sup>43</sup> 桑野幸徳 『太陽電池はどのように発明され、成長したのか —太陽電池開発の歴史—』 オーム社、2011.8.11、pp34-111p

<sup>44</sup> 同上、pp120-121

<sup>45</sup> NEDO 『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』平成 22 年 7 月 27 日

によって、今後の状況を切り開いていくためには、この問いかけを敏感に検証点検する機能が社会経済システムの中に必要となるだろう。

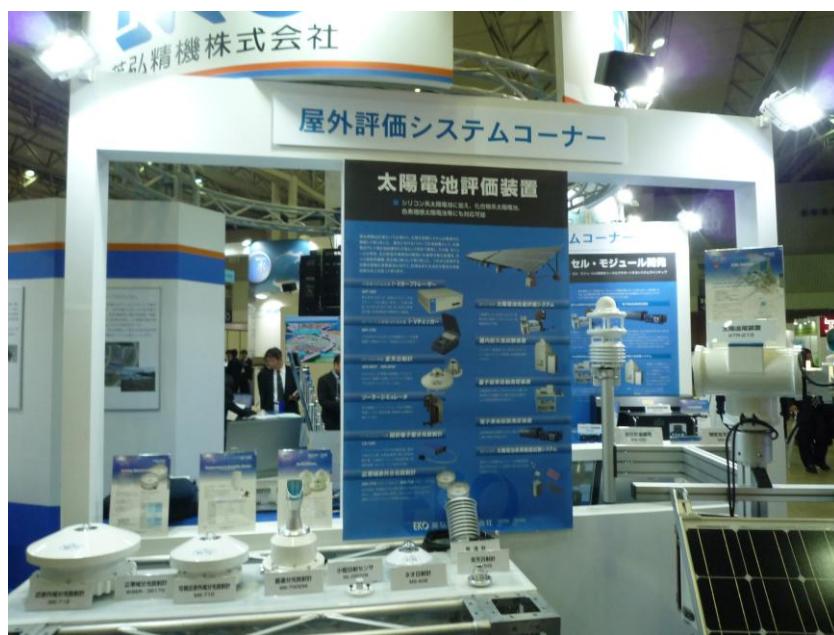
### 3-2、俯瞰的視点に立った太陽光発電システムの技術・制度開発の課題

#### 太陽光発電システムの多様なサポート企業、NPO の形成

今回の再生可能エネルギー世界フェア 2011 年の PVJapan2011 展示会では、太陽電池・太陽光発電システムの生産企業、政府専門機関（経済産業省、環境省等々）、公共研究開発機関（NEDO）、民間研究開発機関のみでなく、大学、自治体を中心とする地域産業育成機関、太陽光発電システムをサポートする企業やNPO法人太陽光発電所ネットワークに代表される民間団体や気象庁など政府機関が参加していた。

その中で、太陽光発電が普及することによって生まれる消費者のニーズに答えて事業を展開しているベンチャー企業があった。例えば、英弘精密が開発した全天日射計（図表 14）（写真 1）によって太陽光を正確に測定することができる。その測定から得られたデータ（傾斜面日射量）から、太陽電池の発電効率を計算するための重要なパラメーターが得られる。そこで、太陽光発電システムを設置する場合に、設定場所や設置環境で最大の発電効率を得るためにこの全天日射計が活躍する。

写真 1、英弘精機製の太陽電池評価装置の展示場



2011 年 11 月 6 日 PVJapan 2011 展示会会場（千葉、幕張国際展示場）

また、太陽光サポートセンター株式会社<sup>47)</sup>では太陽光発電システムのメンテナンスをサポートしている。今後、住宅用の太陽パネルの設置は増えつづける。個人や団体が太陽光パネルを設置した場合

<sup>46</sup> NEDO 『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』平成 22 年 7 月 27 日

<sup>47</sup> 太陽光サポートセンター株式会社 <http://www.t-support-center.com/>



に、そのメンテナンスが必ず問題となる。太陽光サポートセンター株式会社はそのニーズに答えようとしている。また、電力会社が太陽光発電量や風力発電量を予測するために、日本気象協会は日照時間や風力の情報を提供するサービスを開始している。

また、今後、益々、重要なエネルギー源となる太陽光発電（最も多い再生可能エネルギー）で機能する社会を考えるなら、上記した国民のニーズに答える事業として太陽光発電システムの多様なサポート企業の形成が進む。そのニーズを理解しながら、今後の NPO 法人太陽光発電所ネットワークの役割や活動が期待されるだろう。その意味で、市民運動体 NPOPV-Net が果たす社会的機能を再検討する時代が来ているのである。

図表 14 全天日射計 MS-802、(英弘精機製)



引用 桑野幸徳・近藤道雄 監修 『図解 最新 太陽光発電のすべて』 p221、

#### 太陽光発電システム（再生可能電力供給システム）を支える分散型電力供給網の構築

スマートグリッドとは、再生可能エネルギーをエネルギーネットワーク（電力と交通）と情報ネットワーク（通信と情報処理）を活用しながら、効率の高いエネルギーマネジメントを意味する。スマートグリッドは、言い方を変えるなら、再生可能エネルギーの持つ弱点を補強するために構想された電力供給システムである。

例えば、太陽光発電や風力発電は、天候によって発電量が変動する。つまり、一定電圧での安定した電力量を供給することが出来ない。つまり、再生可能エネルギーが系統に逆流することで周波数や電圧の変動（不安定さ）が生じる。そのため系統安定化の設備、蓄電池（コンデンサー機能）や安定電力供給源である火力発電所（供給側）と系統運用者（需要側）との双方で電力調整（デマンドレスポンスサービス）が必要となる。

また、単位面積当たりの発電能力が原発や火力発電所に比べて非常に小さいため、1か所の発電施設から大量の電力を供給することはできない。そのために発電施設が分散することになる。こうした弱点を補足し、または、その弱点を活かし、新しいエネルギー供給システムを構築しなければならない。つまり、分散型電力供給源による社会経済システムの構築が必要となり、電力の産地直送制度が地域的電力ネットワークと情報ネットワークの連繋によって作られる。それをスマートコミュニティやスマートシティと呼んでいる。

さらに、再生可能エネルギーを活用する社会（再生可能エネルギー社会）では、省エネ対策が重要と

なる。住宅内のマイクログリッドや省エネ対策をサポートするエネルギー総合管理サービスが生まれ、家庭のエネルギー費用の削減、太陽光発電設備や蓄電蓄熱等の蓄エネ機器のメンテナンスや初期投資へのサポートや、そのリース制度が作られる。<sup>(48)</sup>

また、再生可能エネルギー社会では、省エネと生活経済意識を向上させるために、省エネへの努力を評価する制度（減税やエコポイントのような経済的インセンティブ）が作られる。その経済的インセンティブを活用して、エコや省エネに関する教育や社会活動が行われ、また、地域ぐるみの省エネへの取り組み（共同省エネ活動）が生まれる。それらの地域的活動によって、再生可能エネルギー社会の文化（人々の生活習慣やモラル）が形成される。

再生可能エネルギー源の弱点を補強する技術開発と制度改革によって構築されるスマートグリッドの課題を纏めると

- 1、分散型電力供給源に対応する社会経済システムの構築、スマートコミュニティやスマートシティ
- 2、変動型電気供給源に対応する技術開発、蓄電施設（電気自動車の蓄電池活用）、エコキュート、EV 充電器、
- 3、地域の電力消費社会を運営する文化の構築、個人や共同体での省エネ対策と経済的インセンティブ構築、省エネ教育

#### 安定した再生可能エネルギー電力の供給社会を支える直流電力融通幹線網の構築

2011 年 12 月 5 日の再生可能エネルギー世界フェア 2011「基調講演会」で北澤宏一氏（独立行政法人科学技術振興機構の顧問）が「3.11 以降の日本のエネルギーオプション」と題する講演を行った。北澤氏は、「エネルギー政策は国家 100 年の計である」という基調に立ち、3.11 の東電福島原発事故からエネルギー政策の変換を模索するわが国の方向について語った。その一つの課題として、北澤氏は直流電力融通幹線の構築を提案した。

明治時代、東日本では、東京電燈（東京電力）の前身会社がドイツから 50Hz の発電装置を購入して運用していたのに対し、西日本では大阪電燈（関西電力）がアメリカから 60Hz の発電装置を購入していたことに由来し、新潟・群馬・埼玉・山梨を境界にし、静岡を分断する形で東日本で 50Hz、西日本で 60Hz の二つの異なる周波数の交流電気を使っている。<sup>(49)</sup>

この二つの異なる交流電気によって多量の電力ロスが生じている。そのため、この問題を解決するために努力を払ってきたが、今日に至るまで解決されていない。この解決を先送りにするだけでこれからも日本の電力ロスが生じ続けるだろう。今年、東電福島原発による事故で、東電区間内の電力不足が生じた。東電は計画的停電を実施した。そのため日本の首都東京で停電が繰り返し起り、日本経済に大きな損失を与えた。

この問題の解決策として、直流電力融通幹線の構築が提案されている。異周波数系統間での連繋ができるため二つの異なる周波数地域間での電力の流通が可能になる。また、直流は安定度の限界がないため、長距離送電に適する。そして、交流送電に比べて直流送電は無効電力がないため、送電損失が少ない。さらに、直流方式では導体が 2 本でよいことから、交流方式に比べて電線路の建設費が安い等々の利点が挙げられる。勿論、直流電力のデメリットもある。例えば、大電流の遮断のための大容

<sup>48</sup> 「大特集 スマートグリッド PART1 激化する開発競争」 『月刊環境ビジネス』 2011.12 月号 VOL.114、pp16~68

<sup>49</sup> HP「技術と知識の電気設備」 <http://saijiki.sakura.ne.jp/denki1/souden.html>

量遮断器が必要だか、直流の大電流遮断は技術的に難しい等々である。<sup>(50)</sup>

太陽光発電、風力発電や小型水力発電等の再生可能エネルギー電力は、天候によって発電量が変動するため、広域（全国的）直流電力融通幹線網によって、地域的な電圧不安定性をカバーすることが出来る。しかし、現在の交流電力網では、例えば静岡県内で二つ異なる周波数の電気によって電力配線網が分断されている。そのため、再生可能エネルギー電力を地域的に安定して供給することが更に難しくなるのである。こうした問題を解決する方法として、直流電力融通幹線網の構築は必要となる。

#### エネルギー自給率の向上を目指すために必要な固定価格買取制度

「エネルギー政策は国家100年の計である」と言う北澤宏一氏の再生可能エネルギー世界フェア2011「基調講演会」の中のもう一つの課題は、エネルギー自給政策に関する課題であった。3.11の東電福島原発事故までの政府のエネルギー政策では、原子力エネルギーの活用によって日本のエネルギー自給率を上げる方針が取られていた。しかし、原発事故以後は、そのエネルギー政策を大きく変換しなければならなくなっている。現在、日本社会はその課題を巡って暗中模索をしている状態である。1999年に資源エネルギー省が試算した電源別発電原価から、原子力による発電原価<sup>(51)</sup>に関しては、現在多くの批判が述べられているので、その値をここで議論することは避ける。その他の、火力発電の発電原価と太陽光発電の発電コストを比較すると、太陽光発電の発電コストは最も高いと評価されている。

1999年の資源エネルギー庁によると、一般水力の発電原価13.6円（施設利用率45%で耐用年数40年として）、石油火力の発電原価10.2円（施設利用率80%で耐用年数40年として）、石炭火力の発電原価6.5円（施設利用率80%で耐用年数40年として）、LNG火力の発電原価6.4円（施設利用率80%で耐用年数40年として）、ちなみに、当時、原子力の発電原価は5.9円（施設利用率80%で耐用年数40年）として試算されている。

上記したように、NEDOは2010年での太陽電池の発電コスト30円/KWhを2020年までには14円/KWh、2030年には7円/KWhにする目標を立てた。つまり、2030年に太陽電池の発電コストは石炭火力発電原価に近くなると言える。太陽電池による電力のグリッドパリティ（系統電力よりも安価になる）は2030年である。これから、20年かけてようやく、石炭火力による発電原価に近づくことになる。仮に、今後、化石燃料費が高騰し続けたとしても、現在の太陽電池での発電コストは化石燃料よりも高い現実を否定できない。このことが、太陽光発電に対する批判となっている。<sup>(52)</sup>

そして、また、このことがFIT法（固定価格買取法）の導入の原因となっている。つまり、化石燃料が枯渇する未来の問題を今から準備するために、再生可能なエネルギーである太陽光発電を普及するために、投資として太陽電池の電力を系統電力よりも高値で買い取るのである。現在の太陽電池の電力コストのハンディを政策的に解決しようとしたのが、FIT法（固定価格買取法）なのである。この制度なくしては、太陽光発電の普及は不可能に近い。

<sup>50</sup> Wikipedia「直流電力」

<sup>51</sup> 「試算の電源別発電原価による庁エネルギー資源」財団法人高度情報科学技術研究機  
<http://www.rist.or.jp/index.html>

<sup>52</sup> 石川憲二『自然エネルギーの可能性と限界 風力・太陽光発電の実力と現実解』株式会社オーム社、2010.7.25、190p.

## 4、未来社会からみた太陽光発電システムの課題

### 4-1、省エネ・創エネによる経済成長の可能性

#### 現代科学技術文明構造の变革・「高度農工文明」への道(佐藤進氏の提案から)

我々は、経済成長は多量のエネルギーや資源の消費を必要とすると考えている。事実、資本主義社会は多量のエネルギーと資源を消費できる生産様式を作り出し、生産力を向上させ、安価の商品を大量生産しながら、発展して来た。

19 世紀中期の機械制工場生産の導入、20 世紀の機械制大工業や重化学工業の形成によって人類がこれまで経験したことのない生産能力を獲得し、また同時に多量のエネルギーと資源を消費しながら、現在まで、豊かな経済社会を創り出してきたのである。

言い換えると、エネルギーや資源の消費を減らすための条件として、経済成長は止まり、後退することは避けられないと考えるのが一般的である。そして、我々は、今まで繰り返してきたように、枯渇する資源エネルギーを巡る将来に起こる紛争(現実にイラクやリビアで欧米先進諸国によって、自由と民主主義の名のもとに、独裁政権の軍事的攻撃と政権転覆が起っているし、また、竹島(独島)や尖閣諸島(魚釣島)での日韓、日中の領有権問題が地域国際社会の平和的共存を脅かす事件として発展しつつある)を、今後も避けることができないと感じている。

21 世紀の世界の平和を脅かす資源エネルギー占有を巡る紛争や戦争を回避するために、資源(食糧を含む)、エネルギーの各国の自給率を上げることが課題となるだろう。つまり、人類が末長く生き延び、今後も豊かな生活環境を持続するため、資源エネルギー自給、再生可能なエネルギー生産、省エネルギー・エネルギー効率の高い生産様式や資源リサイクル等々の社会経済技術と生活文化環境の構築が必要となるだろう。

佐藤進先生(以後、佐藤氏と称す)は、すでに 1970 年代から、第四次産業(情報産業)の後にくる新しい産業、高度ソフト農工産業を提案していた。佐藤氏によると、この社会経済システムは、再生可能な自然エネルギー(水力、潮力、地熱や太陽エネルギー)を活用し、分散型小規模生産様式によって運営される<sup>53)</sup>。現在の再生可能エネルギー社会の課題を佐藤氏は 1970 年代当時から理解したのである。つまり、再生可能エネルギー社会の成立は根本的に大量生産様式の社会と相反する新しい社会経済制度や科学技術が求められていると佐藤氏は述べている。この新しい社会制度はエコロジー思想に基づくものである。それらの未来社会を「高度ソフト農工文明」<sup>54)</sup>や「高度農工文明」<sup>55)</sup>と佐藤氏は呼ぶ。

佐藤氏が提案したポスト情報社会としての「高度農工文明」社会は、今、21 世紀になって、真剣に議論され、社会経済制度や技術的可能性が研究されつつある。太陽光発電システムが一般化することによって、そのエネルギー生産の特性である分散型の生産によって、エネルギーの地産地消が行われえることになる。それらの地産地消型の生産消費文化は、すでに、1970 年代から続けられてきた安全食品を求める市民運動が先駆的に切り開いてきたものであった。

<sup>53)</sup> 佐藤進『科学技術とは何か』三一書房、1978 年 11 月 15 日、pp186-193

<sup>54)</sup> 佐藤進『価値の選択 - 科学技術文明を越えて - 』三一書房、1982 年 10 月 11 日、pp235-251

<sup>55)</sup> 佐藤進『現代科学と人間 - 人類は生き残りうるか - 』三一書房 1987 年 1 月 31 日、pp72 -

資源エネルギーの大量消費こそ経済成長の条件であると信じて疑わなかった高度経済成長に酔いしれた日本社会の中で、リサイクル市民運動、例えば「使い捨てを考える会」<sup>56)</sup>や農産物の地産地消を運動してきた市民運動の地道な蓄積こそが、資源エネルギーの消費抑制と豊かな生活文化の両立の道を示す可能性を持っていると言えないだろうか。

### 技術革新による経済成長と省エネの両立

1970 代の日本社会で、「経済成長は資源エネルギーの大量消費によって可能になる」という資本主義社会の命題から逸脱した経済現象が起った。第一次から第二次オイルショックと呼ばれた原油の高騰によって日本経済は厳しい状況を迫られた。高騰した原油価格による経済的打撃を、使用原料の節約、つまり省エネルギー・資源対策で乗り切ろうとした。省エネ対策は、燃料や電気の使用上の工夫による節約や技術革新による生産システムの省エネルギー・資源のための技術開発が進んだ。国を挙げての省エネ技術の開発によって、高効率の生産システムを創り上げた。エネルギー・資源の消費量の削減と生産性の向上が拮抗することなく実現したのである。

この経済・技術革新による国民経済への現象は、国内の一次エネルギー需要の変化に対する経済成長率(GDP 増加率)の関係から観察することが出来る。この定量的関係を「エネルギーの GDP 弾性値」と呼んでいる。以下、その関係式(2)を示す。

$$\text{エネルギーの GDP 弾性値} = \text{エネルギーの需要の伸び率} / \text{GDP の伸び率} \quad (\text{式 2})$$

省エネルギー技術の開発によって、エネルギーの GDP 弾性値は変化することになる。「経済成長は資源エネルギーの大量消費によって可能になる」(命題 1) というこれまでの資本主義経済の命題に対して、「経済成長は技術開発によって可能になる」(命題 2)と「資源エネルギー利用の効率を上げる技術開発によって、一定資源エネルギー使用量に対する生産効率を高める」(命題 3)という二つの命題を準備しなければならない。

命題 2 は、これまで技術革新と生産効率との関係として述べられてきた。この命題 2 を前提にして、資源エネルギー利用効率を上げる技術開発を行うことが、生産性の向上と矛盾しないということが論理的に帰結できる。つまり、命題 3 は、命題 2 から論理的に導くことが可能な命題であると言える。この命題が成立するためには、エネルギーの GDP 弾性値は 1 以下を示す観測値(データ)が必要となる。

つまり、年間の GDP の伸び率をその期間の一次エネルギーの需要の伸び率から割ることによって算出される値をエネルギーの所得弾性値と呼ぶ。この GDP 弾性値を使って、使ってエネルギー消費量と国民経済の成長の関係の推移を分析する方法が取られる。<sup>57)</sup>

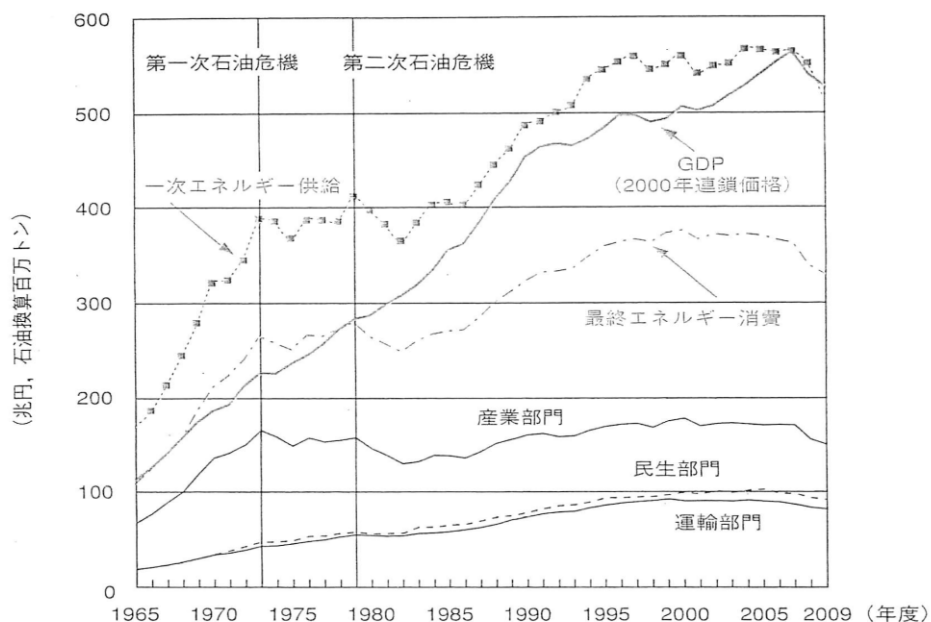
図表 15 に 1965 年から 2009 年までの日本の GDP (各産業別と全体の) と一次エネルギー供給量の推移を示した。第一次石油危機(1974 年)と第二次石油危機(1979 年)がその期間に起こった。そのため、日本では省エネ対策を国家プロジェクトとして取り組んだ。GDP は右肩上がり続けながらも 1973 年から 1987 年まで一次エネルギーの供給量は横ばいとなる。しかし、この間 GDP は約

<sup>56)</sup> 「使い捨てを考える会」 <http://www.tukaisutejidai.com/>

<sup>57)</sup> 財団法人日本エネルギー研究所計量分析ユニット編 『図解 エネルギー・経済データの読み方入門』財団法人省エネルギーセンター 2011.10.12、改訂 3 版、pp7-8

230兆円から約380兆円へと増加している。つまり、国家プロジェクトの省エネ対策の結果、一次エネルギー供給量(消費量)の増加を抑えながらGDPを増やすことが出来たのである。

図表15 GDPと一次エネルギー供給の推移(国内 1965年から2009年)



引用 財団法人日本エネルギー研究所計量分析ユニット編『図解 エネルギー・経済データの読み方入門』p7

図表16 エネルギー消費のGNP弾性値(日本、1890年から2009年まで)

期 間	年平均伸び率 (%)		対GNP弾性値
	一次エネルギー消費	実質GNP	
1890-1900	5.8	3.1	1.86
1900-1910	2.8	2.3	1.20
1910-1920	5.8	3.8	1.51
1920-1930	3.1	2.0	1.60
1930-1940	6.7	4.4	1.54
1940-1950	-2.8	-2.4	1.18
1950-1960	7.8	9.3	0.83
1960-1970	12.2	9.5	1.29
1970-1975	2.8	6.3	0.44
1975-1980	1.6	2.7	0.60
1980-1985	0.4	4.5	0.09
1985-1990	3.7	5.3	0.70
1990-1995	2.3	1.5	1.55
1995-2000	0.5	0.8	0.65
2000-2005	0.2	1.2	0.20
2005-2009	-2.3	-0.7	3.39

(出所) 「エネルギーバランス表」, EDMC推計 【要覧掲載】

引用 財団法人日本エネルギー研究所計量分析ユニット編『図解 エネルギー・経済データの読み方入門』p9

図表 16 に、1890 年から 2009 年までの日本のエネルギー消費と GDP の伸び率から計算される GDP 弾性値(式 2 で示した)のデータを示した。1885 年から 2009 年までのエネルギー消費量の年間増減率とエネルギーの GNP 弾性値を図表 16 に示した。この図表 16 から、エネルギーの GDP 弾性値が 1 以下を示す期間は、1950 年から 1960 年の間が 0.83、1970 年から 1975 年の間が 0.44、1975 年から 1980 年の間が 0.60、1980 年から 1985 年の間が 0.09、1985 年から 1990 年の間が 0.70、である。

この図表からも、1970 年代から 1980 年代の 20 年間、日本では GDP は成長しながらも、エネルギーの GNP 弾性値は 1 以下を示している。つまり、省エネと経済成長が共に進んでいることが示されている。

言い換えると、1970 年代から 1980 年代の 20 年間の時代、自動車産業では省エネエンジンの開発やロボット技術を駆使した生産性の効率化が進んだ時代であった。つまり、この時代に限って言えば、産業構造の省エネ化や省エネ製品の開発によって一次エネルギー消費量を抑えながら経済成長を可能にしていたのである。

#### 脱化石燃料・脱原発エネルギー利用と再生可能エネルギー普及を可能にする条件

現在の一次エネルギー需要量の殆どを化石燃料が占めている。省エネとは化石燃料の消費を抑えるという別名でもある。特に、100%に近い化石燃料を海外から輸入している我が国での省エネ政策とは、エネルギー資源の海外依存度を減らすということの意味し、省エネルギー政策は国防政策と関連することになる。また、高騰する原油価格は一次的な現象でなく、化石燃料埋蔵量の減少つまり資源の希少化による価格高騰の現象であり、今後も高騰し続けるだろうという意見もある。

また、化石燃料使用によって生じた廃棄物・二酸化炭素や排熱による環境負荷と気象等環境変化が引き起こす経済効果も評価(4章2節(再生可能エネルギー生産コストの相対的評価で述べるが)しなければならない。

そこで日本政府は、原子力発電所の建設を進め、一次エネルギーの自給率を高め、脱化石燃料依存率を低下させるエネルギー政策を取ってきた。しかし、その政策が福島原発事故によって根本的に見直されようとしている。現在まで最も安価な電力として評価されてきた原子力発電による電力価格は、福島原発事故で発生した全ての被害額を算定し、それらのリスクを設置された全ての原発の経費や放射性廃棄物の処分と数万年以上の管理費用を予測計算するなら、おそらく高額になるだろうと言われている。

つまり、原油の高騰や原発事故による原子力エネルギー利用による発電のリスクが存在する以上、再生可能エネルギー資源の利用を進めるべきであるという考え方と高価なエネルギー利用によって日本経済は国際競争力を失うという考え方がある。とは言え、「エネルギーは 100 年の計」と言われるように、長期的視点に立ってエネルギー問題は考えなければならない。

現在、確かに再生可能エネルギーの生産コストが化石燃料や原子力燃料よりも高く評価されている。しかし、今後の資源枯渇や事故のリスク等々のエネルギー価格の高騰要因を長期的視点に立って考慮しなければならない。その上で、今後、再生可能エネルギー資源価格は相対的に低くなると予測できる。しかし、これは幾つかの仮定を入れての予測に過ぎない。

現在、国家の政策として再生可能エネルギー利用が進んでいる。つまり、国民の税金を使い、高い再生可能エネルギーを無理に使っているとも言える。国家の政策に再生可能エネルギー社会の建設を依

存する限り、その実現は困難である。健全な市場の力で、つまり市民の自発的な経済活動として再生可能エネルギー資源の活用を進める必要がある。

市場の判断基準とは、一言で言えば、再生可能エネルギーの生産コストが化石燃料や原子力燃料でのその生産コストよりも低い条件を意味する。再生可能エネルギーの生産コストを低くする条件や課題については既に 2 章で議論した。その条件を改善する環境として、技術革新や生産規模の拡大がある。そのために政府の前提的な支援政策が必要となる。

すでに第 2 章で議論したが、一般に再生可能エネルギー資源の利用では、初期投資及びその破棄に関する費用以外に、システム稼働に必要な燃料費は不要であると考えられている。そこで、太陽光発電システムの製造と破棄・リサイクルの経費が少なく、システムのエネルギー生産効率が高く、しかも稼働年数が長く、故障が少ないという条件が得られるなら、太陽光発電システムによるエネルギー生産コストは下がる。

以下、簡単にその条件を列挙した。

- 1、再生可能エネルギー生産設備の生産とリサイクルに必要なエネルギー使用量とその生産システムが生み出すエネルギー量との関係から導かれるエネルギー回収年数が短いこと。
- 2、システム設置と維持管理コストが一定年度間のエネルギー生産コストより低いこと。
- 3、エネルギーの質(時間的地理的に変動し続けるエネルギー需要の特性に対応しえる供給側のエネルギーの特性)が高いこと。
- 4、市民による再生可能エネルギーシステム管理が可能であり、エネルギー生産者の大衆化が進むこと。

#### 再生可能エネルギー生産による経済成長

持続可能な社会経済システムを構築するために再生可能な自然資源を活用したエネルギー生産(創エネ)が課題となっている。この再生可能エネルギーの生産は新しい技術開発によって可能となる。言うまでもなく、省エネと創エネを組み合わせることで、積極的に一次エネルギー需要に占める化石燃料量を少なくすることが出来る。

現在、国内で消費される一次エネルギーの殆どを化石燃料と原子力燃料に依存している。再生可能エネルギーの占める割合は 4% で、その殆どが水力発電である。その数字がそのまま日本のエネルギー自給率を示している。今後、太陽光発電をはじめ再生可能エネルギーの生産が増加していくことでエネルギー自給率は向上する。そのことは国内でのエネルギー生産量として GDP を押し上げることを意味する。それと同時に、一次エネルギー資源を国外から輸入する量が減少する。

例えば、国内での一次エネルギー消費量から再生可能エネルギーによって生産された分を差し引くことによって得られる値は、海外から輸入された化石燃料や原子力燃料等と考えることが出来る。この値を非再生可能エネルギー消費量と呼ぶことにする。

(2)式を応用して、この非再生可能エネルギーの年間消費量の伸び率と GDP の伸び率の関係から、非再生可能エネルギーの GDP 弾性値を仮定してみる。この関係式を(3)式に示す。

$$\text{非再生可能エネルギーの GDP 弾性値} = \text{非再生可能エネルギーの需要の伸び率} / \text{GDP の伸び率} \quad (\text{式 3})$$



この(3)式は、再生可能エネルギー生産が普及する社会、例えばその割合が10%以上になる社会の場合には、(2)式で導いたエネルギーのGDP弾性値に相当すると考えられる。従って、その値が1以下を示す社会では、化石燃料等を中心とする一次エネルギー消費量を抑制もしくは減少させながら経済成長を維持もしくは発展していると解釈できる。

再生可能エネルギー生産システム(太陽光発電システム)の普及によって国内エネルギー生産量は増加し、そのシステムが積極的に経済成長に寄与していることを意味する。また同時に、非再生可能エネルギーGDP弾性値を1以下に抑えることで化石燃料等の省エネ技術や社会システムが発展していることを意味する。再生可能エネルギー生産によって積極的に経済発展を進めながら、省エネによって再生可能エネルギーの高効率利用を更に可能にすることになる。

### 太陽光発電によって太陽光パネルを生産する社会・再生可能エネルギー社会

現在の再生可能エネルギー生産システムは化石燃料や原子力発電を活用して生産している。太陽光発電システムを大量に生産するためにはより多くの化石燃料や原子力エネルギーを必要とする。言わば、地球温暖化ガスを多量に排出しながら太陽光パネルを生産し、原発で生産する電気を使いながら風力発電を作るという状態が、再生可能エネルギー社会を創り出すための過渡的な段階で起る。

もし、太陽光発電システム等を作るために必要なエネルギーを、限りなく今後も、化石燃料や原子力エネルギーに依存しなければならないとすると、再生可能エネルギー社会を作るために余分なエネルギーが必要となる。それでは、再生可能エネルギー社会を目指すという目的に反した、再生可能エネルギーシステムを作るといふ、本末転倒の事態が生じる。つまり、再生可能エネルギーシステムの形成を行うために、いつまでも化石燃料や原子力エネルギーに依存する必要があるなら、再生可能エネルギー社会の建設自体がその目的と異なる間違がったエネルギー政策である。

ここで言う再生可能エネルギー社会とは一次エネルギー消費量の大半を再生可能エネルギー生産によって賄うことが出来る社会であり、再生可能エネルギーによって、再生可能エネルギー生産システムを生産することが出来ることその成立条件となる。

例えば、太陽電池の生産によって、太陽光発電を行うことが出来る。その発電によって、さらに太陽電池の生産を可能にする。再生可能エネルギー生産システムの自己組織性が形成されて成立する社会である。自然エネルギー生産と消費による自然エネルギー生産システムの増殖過程を持つ、自己組織性の自然エネルギー生産システム社会を、再生可能エネルギー社会と呼ぶことにする。

再生可能エネルギーの生産による再生可能エネルギー施設の生産が可能になることで、太陽電池とそれによる太陽エネルギー生産は相互にループしながら、経済を発展させるのではないだろうか。この経済システムを山崎養世氏は「太陽経済」と呼んだ。そして、山崎養世氏は「太陽からのエネルギーを活用し、資源とエネルギーを節約し、水と食糧を確保して、人類は自らを救い、人間性を守ること」を課題にした太陽経済を広める活動「太陽経済の会」を行っている<sup>(58)</sup>。

経済成長と省エネルギーが共存する条件として、省エネと創エネの技術革新が課題となっている。太陽光や太陽熱の利用技術のみでなく、他の再生可能エネルギー生産技術や省エネルギー技術の向上とその技術導入、社会経済インフラの再整備によって経済成長は保障され、同時に化石燃料依存度は確

<sup>58</sup> 一般社団法人 太陽経済の会 (会長 濱田 邦夫 代表理事 山崎 養世)

<http://www.taiyo-keizai.com/>

実に低下するだろう。また同時にそれらの新しい再生可能エネルギー産業の形成によって雇用が生まれることも確かである。雇用の創出によって消費は開発されるだろう。当然のことながら、新しい産業、再生可能エネルギー産業の形成によって経済活動は活発化することになる。

#### 4-2、太陽光発電で全世界のエネルギーを賅うことが出来るか

日本の年間総発電量を賅うパネルの広さは琵琶湖の 15 倍(理論値)、12 倍(現実値)となる

産業総合技術研究所の作田宏一氏は、日本の年間総発電量を 1,000,000GWh (10 億 kWh) とする場合、等価稼働時間を 1 時間で 10% の発電効率をもつ太陽光発電システムの必要容量は 1,000GW (0.1 億 kW) として、約 10,000 km<sup>2</sup> (1 万平方キロメートル) の面積が必要であると報告している<sup>(59)</sup>。縦横 100 km の正方形の面積である。この面積は、琵琶湖の面積が約 670 平方キロメートルであるから、琵琶湖の約 15 倍の面積が必要となる。

例えば、実際、筆者が観測し集計してきた住宅用の太陽光発電システムの発電量のデータを活用して、上記の課題、世界のすべての消費エネルギーを太陽光発電で賅う条件を計算してみる。図表 17 に示すように、シャープ NE-132 型のモジュール (発電効率 10-12%) 40 枚 (38.48 平方メートル) の太陽光発電システム (2004 年設置) で設置から 2011 年までの発電量の年間平均値は 4665KWh/年となる。<sup>(60)</sup>

図表 17 シャープ NE-132 型のモジュール 40 枚の面積と価格 (2004 年)

1 軒あたりのパネルの面積 (平方メートル)	38.5 平方メートル
1 軒あたりの太陽光発電システムの価格 (万円)	350 万円
2004 年から 2011 年までの年平均発電量 (年間)	4665KWh/年

筆者の太陽光システムと地理的条件が異なることをここでは無視して、この太陽光システムを使って 10 億 kWh/年間の発電を行うためには、0.825 万平方キロメートルのパネルが必要となる。作田宏一氏が理論的に導いたパネル面積の 0.825 倍の面積となる。つまり、筆者の自宅のシャープ NE-132 型のモジュールを使って日本の年間総発電量を満たすパネル面積は琵琶湖の 12 倍の面積となるのである。またそのパネルを設置するために必要な資金は約 750 兆円に相当する。現在のパネル価格は 2004 年時点よりも安くなっている。現在では上記のパネル面積に相当する価格は約 200 万円であると言われている。仮に、価格が半分になったとしても、約 325 兆円の資金が必要となる。

また、2008 年度の日本の一次エネルギー消費量は約 58 億トン TOE である。1TOE は 1.1628 万 kWh に相当するので、年間 6.74 億 kWh の電力量となる。つまり、この年間の日本のエネルギー消費量を満たすために必要なパネル面積は 55,660 平方キロメートルで琵琶湖の約 83 倍、九州と四国を合わせた面積に相当する。

<sup>59</sup> 作田宏一「太陽光発電技術の現状と展望」 第一回つくば 3E フォーラム 2007 年 12 月 15 日-16 日、 [http://www.sakura.cc.tsukuba.ac.jp/~eeeforum/1st3EF/1st3EF\\_sakuta.pdf](http://www.sakura.cc.tsukuba.ac.jp/~eeeforum/1st3EF/1st3EF_sakuta.pdf)

<sup>60</sup> 滋賀県大津市比叡平 1 丁目に設定された太陽光発電所のデータ (2004 年 6 月から 2011 年 11 月まで) PV-Net データ

このことから、日本の一次エネルギー年間消費量を発電効率 10-12%の多結晶太陽光発電システムで補うことは非現実的であると言えるだろう。

#### 変換効率約 10%のパネルで世界の 1 次エネルギー消費を賄うパネルの広さは

桑野幸徳氏は 1989 年に「ジェネシス計画」と称する太陽光発電による世界規模のエネルギー自給システムを提案した。<sup>(61)</sup> 2010 年の世界の 1 次エネルギー消費は、原油換算で年間 140 億キロリットルとなると 1989 年に桑野氏は予測した。

現在では変換効率はよくなったが、当時、桑野氏は変換効率 10%の太陽電池で、2010 年に必要となる世界の一次エネルギー量を 140 億 K リットルと仮定し、そのエネルギーをエネルギー変換率 10%の太陽光発電システムで生産するとして、その電気エネルギーを生産するために必要な太陽光発電システムの面積が 800Km×800Km (640,000 平方 Km) と換算している。

つまり、東京と広島間の距離を二辺とする正方形の面積（世界の全ての砂漠の 4%）で、原油 140 億リットルの一次エネルギーを太陽光発電で生産できると仮定した。しかも、アフリカの砂漠に巨大な太陽光発電システムを造り、その電気を直流電力融通幹線網で世界中に送電する GENESIS (Global Energy Network Equipped with Solar cells and International Superconductor grids) を桑野氏は提案している。<sup>(62)</sup>

実際、桑野氏の予測に近い値、2010 年の BP Statistical Review of World Energy の資料によると 120 億トン（石油換算トン）である<sup>(63)</sup>。図表 17 に示すように、2010 年度の世界の 1 次エネルギー消費量は 120 億 TOE、つまり 135.5 兆 KWh の電力量となる（1 TOE は電気量に換算して 1.1628 万 KWh であるので、120 億 TOE は 139.5 兆 KWh となる）。また、2035 年には 168.4 億 TOE、つまり 195.8 兆 KWh の 1 次エネルギーの消費量が予測されている。25 年間で増加する 1 次エネルギー消費量は 56.3 兆 KWh と仮定されている。

図表 18 世界の 1 次エネルギー消費量増加率（2035 年）

	億 TOE	兆 KWh	増加量(兆 KWh)	増加率
2010 年	120.0	139.5		
2035 年	168.4	195.8	56.3	140%

例えば、筆者が実際観測し集計してきた住宅用の太陽光発電システム(シャープ NE-132 型のモジュール(発電効率 10-12%) 40 枚、38.48 平方メートル)の発電量の図表 17 に示したデータを活用して、上記した日本の年間総電力量と一次エネルギー消費量を賄うために必要な面積と金額を予測してみる。

2010 年度の世界の一次エネルギー消費量を賄うために必要な太陽光パネルの面積は約 115 万平方キロメートルとなった。シャープ NE-132 型のモジュール 40 枚 38.48 平方メートルを設置し屋根が 299 億軒数必要となる。つまり、このモジュール(発電効率 10-12%)を使って世界の年間総発電量を賄

<sup>61</sup> 桑野幸徳 『太陽電池はどのように発明され、成長したのか —太陽電池開発の歴史—』 オーム社、2011.8.11、p388p

<sup>62</sup> 同上、p390p

<sup>63</sup> 一般財団法人高度情報科学技術研究機構「世界の一次エネルギー消費の推移 (01-07-03-01)

うために必要な太陽光パネルの総面積は琵琶湖の 1716 倍の面積、日本の国土の約 3 倍の面積が必要となるのである。

さらに、この発電システムの設置に 350 万円が必要であったとすれば、115 万平方キロメートルのパネルを設置するためには、これだけのパネルを設置するシステム価格は 10.4 京円 (104,689 兆円) 必要となる。現在の日本の国家予算 (80 兆円) の約 1309 倍である。

2035 年度の世界の 1 次エネルギー消費予測量は 168.4 億 TOE であると仮定すると、2010 年度の約 140.3%の増加となる。すると、391.1 億軒数の同じタイプの太陽光発電システム (シャープ NE-132 型のモジュール 40 枚 38.48 平方メートル) を載せている家が必要で、約 162 万平方キロのパネルが必要となる。つまり、1000Km×1620Km (1620,000 平方 Km)、日本の面積が約 37.8 万平方キロであるから、その 4.3 倍の広さの太陽光パネルが必要となる。

また、上記と同じ条件でそのパネル設置に必要な予算は約 14.7 京円となる。つまり、今後 20 年から 25 年間掛けて、世界が 12 京円の予算つまり (年間平均 7300 兆円から 5800 兆円) の予算を太陽光発電システムに費やすなら、2035 年には、世界の 1 次エネルギーを太陽光発電で賄うことができる。

図表 19 図表 16 の条件で世界の 1 次エネルギー量を生産するために必要な面積と財源

	世界の消費エネルギー量	1 軒の家の生産力	必要な住宅軒数			必要な面積	必要な財源	
	兆 KWh	KWh	件数	万件	億件	平方キロ	兆円	京円
2010 年	139.5	4665	29,911,254,019	2,991,125	299.1	1,151,583	104689	10.47
2035 年予測	195.8	4665	41,975,459,807	4,197,546	419.8	1,616,055	146914	14.69

しかし、2010 年度の世界の GDP は約 629.1 兆ドルで、1 ドル 100 円として換算すれば 6291 兆円となる。2035 年までに世界の 1 次エネルギーをすべて太陽光発電システムで賄うために必要となる太陽光発電システムへの年間投資金額は 7300 兆円から 5800 兆円であるから、世界の GDP に匹敵する太陽光発電システムへの投資が必要となることが理解できる。

以上の議論から、2035 年までに世界のすべての 1 次エネルギーを太陽光発電システムで賄うことは、現状の太陽光発電システムのシステム価格、電源コスト、発電効率の状態では非常に困難であることが理解できるだろう。

また、現在のシステムの耐久性を考慮するなら、10 年間で発電効率が仮に 20%低下し、20 年間の試用期間中に必要となるパネルの補修費用を考えると、現状の太陽光発電システムで世界の 1 次エネルギーを賄うことは夢のまた夢であると言える。

#### 今後の技術革新によってどこまで太陽エネルギー利用は改良可能か

第 3 章 3-1 の図表 13 の「PV2030+による太陽光発電技術開発シナリオ」で示したように、発電効率は NDDO の計画に従い、2020 年までにモジュール変換率 20%に、2030 年でモジュール変換率 25%に改良され、また発電コストやシステム価格も逡減するなら、上記した条件は大きく変わることになる。

単純に計算しても、1 KWh の発電に必要な太陽光パネル面積は 2020 年には 2010 年の半分、2030 年にはさらに少なくなる。仮に、2035 年では現在の発電効率の 3 倍の電気を生産できると仮定するなら、図表 18 に示すように、2035 年に必要な太陽光システムの面積は日本列島の約 1.4 倍の広さとなる。

図表 20 図表 16 の 3 倍の条件で世界の 1 次エネルギー量を生産するために必要な面積と財源

	世界の消費エネルギー量	1 軒の家の生産力	必要な住宅軒数			必要な面積	必要な予算	
	兆 KWh	KWh	件数	万件	億件	平方キロ	兆円	京円
2035 年予測	168.4	13995	13,991,819,936	1,399,182	139.9	538,685	48971	4.90

2012 年 1 月 16 日の環境ビジネスのニュースによると「物質・材料研究機構の深田直樹グループリーダーは、現在主流となっているシリコン太陽電池において、シリコンナノ構造体を機能的に複合化させることで、接合面積を 100 倍以上にできる新構造の太陽電池材料を開発した。シリコン材料の削減による低コスト化と変換効率向上を両立させる、これまでにない新しい太陽電池材料として、5 年後に実用化する予定」<sup>(64)</sup>であると報道されている。

この報道記事の通り、同一面積で現在の太陽発電量の 100 倍の電気を発電することが可能になり、また発電コストが非常に安くなるならば、世界のすべての 1 次エネルギーを太陽光発電によって賄うという計画は決して不可能だとは言えないだろう。

しかし、それらの革命的な技術を使った太陽光発電パネルの生産はまだ実現してはいない。殆どと言っていいほど現状では実現不可能に近く、その計画の可能性を楽観的には予測できないことは事実である。そして、21 世紀の半ばまでに太陽光発電システムのみで人類が必要とするエネルギーを賄うことは可能であるとは言えない。

また、すべての再生可能エネルギーを活用して人類が消費する 1 次エネルギーの生産が可能になるとは言えない。そして、予測を上回る勢いで世界の 1 次エネルギー消費量が増え続ける可能性も否定できない。そう考えるなら、再生可能エネルギーによって世界のすべての 1 次エネルギーを賄うことは殆ど可能性のないほど困難であると言えないのである。

#### 4-3、太陽光発電システムの普及を進めるための課題

##### 再生可能エネルギー生産コストの相対的評価

上記の議論から太陽光発電システムを使って現在の消費エネルギーを賄うことが非常に困難であることに気付くのである。しかし、このことは、即、原子力発電や化石燃料発電を維持推進することを意味するわけではない。

<sup>64</sup> 「接合面積 100 倍の太陽電池、物質・材料研究機構による新素材」環境ビジネス ニュース 2012/01/16  
[http://www.kankyo-business.jp/news2012/20120116\\_a.html?utm\\_source=mail&utm\\_medium=mail120116\\_d&utm\\_campaign=mail](http://www.kankyo-business.jp/news2012/20120116_a.html?utm_source=mail&utm_medium=mail120116_d&utm_campaign=mail)

これまでの原子力発電による電力料金の計算方法に大きな欠陥がある。例えば研究開発費等々の政府補助金（国民の税金）や福島原発事故処理費（これも税金）は含まれていない。その上で政府試算の原発の発電原価は 5.9 円となっていた。

しかし、これまで初期トラブル、老朽化によるトラブル、さらに頻発する事故による停止は、今までも頻繁に起っている。その上、原発の過剰電力を捨てる「揚水発電所」の建設費、原発依存が招く過剰設備、原発立地対策費を支払っている。今回の福島原発事故処理の経費（被害者救済、放射能除染、事故処理、廃炉、高放射性物質の処理等々に必要な費用）が必要となる。その意味で、原発の経済的な再評価を行う必要性を訴える指摘を否定することはできない<sup>(65)</sup>。

もし、これらのすべての費用を原発の発電原価に組み込むなら、予想をはるかに超える電気料金になることは避けられない。その意味で原子力エネルギーによる発電原価は、今後、再生可能エネルギーの原価より安いということにはならないのである。しかし、そこには再生可能エネルギーのコストが今以上に安くなるという条件を満たすことが前提となっている。

また、化石燃料の使用による大気中の二酸化炭素の増加とそれによる地球温暖化現象が問題にされてきた。地球の温暖化現象への二酸化炭素の影響に関しては異論も出されている。しかし、現実の地球の温暖化はこの半世紀に進んだ。そして同時に大気中の二酸化炭素量も増加した。仮に、その二つの要因が温暖化に関係がないとしても、大気中の二酸化炭素を増やすことは、これまでの地球規模の生態系にとって大きな変化があることには違いない。その生態系の変化がもたらす気象へのリスク、温暖化現象をまったく否定することは出来ないという立場も成立する。

この仮定に立って、二酸化炭素の排出の経済効果を考える。つまり、気象や生態環境の変動がもたらす災害、例えば都市のヒートランド現象等によるゲリラ豪雨、集中豪雨、雷雨、竜巻の発生による洪水、深層崩壊、土砂崩れ等の災害の発生、さらには北極、南極や高山地帯の氷河溶解による海面上昇と高潮の危険性等々の自然災害の増加による経済的被害を試算する必要がある。世界規模の自然災害の増加と大気中に排出された二酸化炭素量との関係を精密に求めることは難しい。しかし、その相関関係から導かれる二酸化炭素排出量の価格を仮定することは可能である<sup>(66)</sup>。

その意味で、化石燃料を使ったエネルギー生産（熱や発電）は出来るだけ低く抑えるべきであるという意見が出されてきた。当然、この意見に便乗して原子力発電（原発）の建設が提案されてきた。しかし、原発の熱効率は悪く、例えば沸騰水型の原子炉では 33%であると評価されている。つまり、この原子炉では三分の二の熱を捨てながら発電を行なっているのである。

以上の議論から、原子力発電コストや化石燃料発電コスト試算の中に放射能汚染や温暖化という環境破壊の被害コストを計算する必要がある。

#### 社会資本としての太陽光発電システムの位置付け パネルの消費者かエネルギーの生産者か

2012 年 7 月 1 日から固定価格買い取り制度が始まった。その 2 ヶ月後の 9 月に住宅用パネルの設置件数は 100 万世帯を超えた<sup>(67)</sup>。この制度が存在する前から日本の太陽光発電の主流は住宅用パネルである。つまり、日本では高額な資金を出して太陽光発電を設置する人々が他の国々に比べて相対的

<sup>65</sup> さよなら原発神戸ネットワーク 「脱原発講座」の「原発と電気代」 / 「原発の電気は安い」は本当か? <http://www.geocities.jp/tobosaku/kouza/index.html>

<sup>66</sup> 「日刊温暖化ニュース」 [http://daily-ondanka.com/news/2012/20120724\\_1.html](http://daily-ondanka.com/news/2012/20120724_1.html)

<sup>67</sup> NPO法人 太陽光発電所ネットワーク(PV-Net) 市民ファンドサポートセンター [http://www.greenenergy.jp/citizen\\_plant/index.html](http://www.greenenergy.jp/citizen_plant/index.html)

に多くいるといえる。それは日本人の環境意識の高さであるとも評価できるだろう。

日経新聞によると、今年(2012年)の7月と8月の2ヶ月間で認定を受けた住宅用パネルの電力容量は30.6万kwであり、メガソーラー発電(非住宅用)は72.5万kw、風力発電は26.2万kw、等々、再生可能エネルギー全体で130万kwとなっている。政府・経済産業省は2012年度末まで、住宅用パネルの電力容量は150万kw、メガソーラー発電は50万kw、風力発電は38万kw、等々、再生可能エネルギー全体で250万kwの導入を予測していたが、その予測の半分をすでに2ヶ月間で達成した<sup>(68)</sup>。この数値が示す意味は、固定価格買い取り制度は再生可能エネルギーの普及に大きく貢献していること、また、住宅用や非住宅用(メガソーラー)の太陽光発電パネルの設置は今後も急速に進むことを意味する。

今年度の1kwhの買い取り価格は住宅用太陽光発電と非住宅用(メガソーラー)太陽光発電では42円と設定されている。この価格で住宅用太陽光発電は10年間、非住宅用(メガソーラー)太陽光発電は20年間買い取り価格を保障される。そのために、多くの市民や企業が売電による利益を目的にしてパネルを設置している。買い取り価格が高めに設定されている限り、今後もパネル設置は進む。

この固定価格買い取り制度によって再生可能エネルギーによる電力の生産が進む。つまり、原子力発電所や火力発電所のような50万kw以上の大型の発電施設に代わって、1万kwクラスのメガソーラーや10kw以下の住宅用太陽光発電所が至るところに設置される。それらの小規模発電所は電気を生産する施設である。また、原発などの大型発電所と異なりこれらの小規模発電所は電力消費地に設置されている。その意味で、送電時の電力ロスが少ないのである。

しかし、同時に、太陽光発電の普及はそのシステムが抱える幾つかの重大な問題を提起している。その一つが太陽光パネルの劣化問題である。産業技術研究所の太陽光発電工学研究センターの加藤和彦博士らが運営するボランティア団体「PVResQ!」はこれまでの483件の住宅用パネル(10年以内の発電システム)の調査のデータを公開している。そのデータによると、運転開始からで483件中100件(全体の21%)の発電所がパワーコンディションの修理・交換を行なった。そして、483件中78件(全体の16%)が太陽電池モジュール1枚以上の交換を行なったと報告されている<sup>(69)</sup>。

太陽電池モジュールの交換に至るパネルの故障の主な原因は、モジュールの素材である半導体の故障というよりも、モジュール間やパネル間を接合する部分の劣化による電気抵抗の発生と発熱によってモジュールが壊れるケースが多いとの報告があった<sup>(70)</sup>。

京セラが1983年に国内で初めて、太陽光発電システムを商品化した。それからシャープが2000年から大量生産を行なった。つまり、太陽光発電システムが市場に出てから約12年の歳月しか経っていない。その意味で、このシステムの耐久性を検証するデータは多くないのである。それにも拘わらず、2000年以降のパネルの保障期間は10年となっていた。また現在では20年と言われている。

2000年代当時1kwあたり80万以上した高額な設備である住宅用太陽光発電システムの10年間の保障期間中に、製造業者にはその保守点検を行なう義務はない。例えば、トヨタ自動車を初め、日本の自動車メーカーで新車を買った場合、少なくとも1、2年の間、無料の保守点検がサービスとして付いている。しかし、車と同じ位、いやそれ以上の高額な太陽光発電システムに対して、販売業者の保

<sup>68</sup> 日本経済新聞 夕刊 9月26日(水曜日) 2面

<sup>69</sup> 加藤和彦 「PVResQ! 太陽光発電システムの運用・保守の実態」 PV-Net 第二回関西地域交流会集会 基調講演資料、2012年8月26日、68p、大阪

<sup>70</sup> 同上

守点検の義務もなければ、勿論、サービスもないのである。

10 年以内の太陽光発電システムの 21%がパワーコンディションの修理・交換を行ない、またその 16%が太陽電池モジュールの交換(一枚以上)をしたという調査結果からすれば、現在、100 万世帯に普及した住宅用太陽光発電システムや非住宅用メガソーラーのシステムの故障が大きな社会問題となることは明らかである。そして、この社会問題を正しく解決することが出来なければ、太陽光発電システムの設定に投資しようとする市民や企業の数も激減することは明らかである。

パネル製造企業や政府は、太陽光発電システムの劣化、故障の問題を解決する方法を早急に見つけ出さなければならないだろう。特に、安価な中国・台湾製や韓国製が市場を席卷しようとしている。それらの 20 年保障を謳うパネルを設置した市民や企業が、今後、10 年以内、もしくは 10 年後に果たして故障したパネルを無料で修理して貰えるのかが深刻に問われているともいえるだろう。

言い換えると、政府も企業も住宅用パネル設置者を高額な電気製品の消費者としてしか位置付けていないことが問われていると言える。太陽光発電システムを導入する市民は、パネル業者から観れば消費者である。しかし、同時に、社会からみれば電気の生産者である。太陽光発電の経済的で社会的な効果の評価するために、固定価格買い取り制度が作られたのである。その意味で、エネルギー生産を行なう社会資本として住宅用の太陽光発電所を位置付けるには、価格の買い取り制度のみでなく、太陽光発電所の保守と修理に関する制度が必要となると言える。

#### 太陽光システムの危機管理と生産技術の開発

東日本大震災時に太陽光発電システムの被害状態に関する現地調査を、NPO 法人太陽光発電所ネットワークは東京工業大学ソリューション研究機構 黒川浩助特任教授と共同で進めた<sup>(71)</sup>。この調査によって東日本大震災時の住宅用パネルの被害状況が判明した。その報告書の中から、特記すべき課題を以下に述べる<sup>(72)</sup>。

一つ目の課題は、パネルを設置することによって屋根の強度が確保され、その結果地震による屋根の被害がパネル設置家屋は相対的に少なかったという調査結果であった。

二つ目の課題は、地震によって壊れない強固なパネルによって、その後も発電を続けるために、しかも接続箱にある回線切断用設備が活用されていないので、その部分に発電によって生じた熱が発生する。その熱によって結果的に電線が燃えて、さらにその火災によって電気がショートし電線が炭化したのである。この事故を予防するためには、災害時には回線を切断しておく必要がある。そうしなければ、太陽光発電による家屋の火災が発生する可能性が起こるのである。

さらに三つ目の課題は、災害時には太陽光発電システムの自立機能を使い、停電時でも電気を供給できることも証明された。しかし、中規模の住宅用太陽光発電システムには自立運転機能がない場合もあり、パワーコンの自立分電盤機能を追加する必要が求められた。

こうした調査結果は太陽光発電システムの安全管理や危機管理機能を向上させるために評価できる。

71 プレスリリース資料「東日本大震災太陽光発電被災実態調査報告と提案 大震災復興は太陽光発電をベースに」2011 年 7 月 30 日 藤井岩根(NPO 法人太陽光発電所ネットワーク代表理事)、都筑建(同 専務理事)、黒川浩助(東京工業大学ソリューション研究機構 特任教授・再生可能エネルギー協会代表) <http://www.greenenergy.jp/guide/pdf/press20110730.pdf>

72 「東日本大震災における PV 被災実態調査(中間)報告」 都筑建(NPO 法人太陽光発電所ネットワーク専務理事) 東日本大震災被災太陽光発電実態調査報告会 2011 年 7 月 30 日、明治大学 [http://www.greenenergy.jp/guide/pdf/East\\_earthquake\\_interim\\_report.pdf](http://www.greenenergy.jp/guide/pdf/East_earthquake_interim_report.pdf)



政府や業者が、今回調査を行なった NPO 法人(PV-Net や再生可能エネルギー協会)と大学研究機関と協力し、太陽光発電システムの改良を進める必要がある。

#### 4-4、再生可能エネルギー生産管理システムの普及化を促進する新しい文化、社会のあり方

これまで太陽光発電システムの技術的課題に関して議論してきた。これまでの議論から、太陽光発電システムの限界もその可能性も、このシステムの技術的改良に委ねられているという結論が出てくる。しかし、「4-2、太陽光発電で全世界のエネルギーを賄うことが出来るか」で議論したように、発電効率を上げることや、生産価格を下げることなどの太陽光発電システムの生産に関する技術的な議論の限界を理解しておく必要がある。

つまり、太陽光発電システムによって世界や日本の一次エネルギー消費量の大半を生産することが不可能に近い計画であるなら、他の再生可能エネルギーを導入し、また省エネ技術を駆使して、再生可能エネルギー社会の構築という困難な課題に取り組むべきである。つまり、太陽光以外の再生可能エネルギー(太陽熱、バイオマス、風力、潮力、地熱、排熱、水力等々)の活用と電力生産や省エネルギーの技術開発を急ぐべきである。

しかし、再生可能エネルギー社会を構築するためには、技術的な課題だけでなく、社会文化や生活文化の課題が問われている。

##### 集中型生産様式から分散型生産様式へ

再生可能エネルギー生産の特徴は、生産能力が大規模化できないことである。原子力発電や大型火力発電と違い、小規模の発電能力しかもっていない。例えば、10 万 kw のメガソーラー発電所を建設するには広い敷地が必要となる。固定買い取り制度を活かして、多くの企業がメガソーラー発電所の建設にビジネスチャンスを感じている。休耕作地、日照条件のよい山林、空き地等々の利用を考えている。しかし、殺到するメガソーラーの建設の需要で、こうした土地は高騰しつつある。設置場所の借地金が高騰すると発電から得られる利益は落ちることになる。つまり、経済的なメガソーラーの設置は、格安の借地でなければ、自治体が提供する公共地か自己所有地となるだろう。

広大な砂漠を活用して太陽光発電システムが出来る国々の事情と異なり、平野面積の狭く、人口の多い我が国では、狭い平野に太陽光発電や風力発電を立てることは困難である。パネルの設置場所に休耕田や家屋の屋根利用が計画されている。食糧自給率が 30%以下である我が国の食料資源の自給問題を考えると、休耕田を利用することは困難になる。我が国の地理的や文化的事情に適した太陽光発電所の条件を見つけ出す必要がある。

この我が国の地理的条件や発電資源の特性から、太陽光発電に限らず、風力発電、小規模水力発電、地熱利用、潮流発電等々の再生可能エネルギー生産の規模が限定される。設置価格の安い中小規模発電所を効率よく配置連係させるネットワーク設計とその経済的環境条件を確立する技術開発が求められている。

この技術開発の課題の一つが、地域電力調整制御システムの開発である。風力や太陽光による発電は、気象や時間によって発電量が変動する。そのため、質の悪い電気と評価されている。つまり安定供給が出来ないのである。この弱点を克服するために、一つはスマートグリッド、コミュニティグリッド

と呼ばれるネットワーク型のエネルギーの供給需要と制御調整機能が必要となる。このネットワーク型のエネルギー需要供給システムを、別名、エネルギーの地産地消型と呼ぶことができる。

言い換えると、再生可能エネルギー社会は、これまでの生産様式である集中型、大量生産と流通方式と異なる産業構造や社会制度の構築、つまり分散型生産システム、分権型の社会システムが形成されることになる。この分散型社会が集中型社会よりも経済的であり、生産やコミュニケーションの効率がよいということが前提となる。

この前提を受けて社会経済システムが確立するための条件は、資源の有限性やその枯渇問題が顕在化していることにある。つまり、これまでの大量生産制度を支えていた要因の一つは、化石燃料資源を代表として天然資源は無限にあるという考え方であった。しかし、資源の枯渇問題は年々深刻化しつつあり、資源のリサイクル等による再利用によって、持続可能な資源利用リサイクルを創らなければならない。その循環型サイクルを維持するために小規模化の技術と生産システムが再評価されることになる。

資源の枯渇問題を抱えた 21 世紀の社会経済は、必然的に分散型社会へと変化していくことになると言える。しかし、現実には先進国の優位な経済力を背景に資源の独占化を維持しようとしている。だが、力を増す発展途上国や新興国の台頭によって、資源の独占的な支配構造もそう長くは続かないだろう。その意味で、先進国は分散型生産様式を取り入れ、いち早く持続可能な社会経済システムの構築を目指す必要があるだろう。すでにヨーロッパ社会が先行して持続可能な社会のための実験を進めている。

#### 地産地消型エネルギー生産と地方分権化と国際地域共同化

エネルギーの安定供給化を可能にするためには、地方分権化と国際地域共同化が必要となる。地方分権化とは地域共同体の役割を重視する社会制度である。つまり、地方分権によって広域地域自治体の形成が可能になり、エネルギー生産に関連する社会資源の共同利用を可能にすることができる。

広域地域自治体（市民参加を前提にした地域社会運営）を土台とした国のかたちから逆算して考えるなら、地域国際共同体の形成が課題となる。言い換えると、地方分権化による広域地方自治体の形成によって地方の多様性が生まれる。その社会の多様性が日本社会の国際化を進めるのである。中央集権的な国家から地方文化の多様性が失われる。その分、国際化に必要な要件を失うことになるのである。

言い換えると、分散型社会の経済合理性は、ネットワーク型社会によって生まれる。つまり、分散型社会は地方分権化を要求する。そして、地方分権化は社会の多様性を生み出す。その結果、社会の多様性によって分散型社会は地域国際社会での経済文化競争力を獲得することになるのである。

同じように、分散型エネルギー社会の多様なエネルギー生産活動によって広域地域自治体の安定した経済活動が保障され、エネルギーの需要と供給のネットワークを地域国際共同体に広げることも可能となる。具体的には EU のエネルギーネットワークを模範にしながら、東アジア共同体のエネルギーネットワークを構想することも可能となる。

#### 市民参画社会によって発展する再生可能エネルギー社会システム

エネルギーの地産地消型によって分散型エネルギー生産システムは有効に機能する。その機能を支えるのは、単にスマートグリッドの情報処理や制御技術だけではない。分散型生産システムに必要なきめ細かい生産地と消費地のコミュニケーション力であり、そのコミュニケーション力を維持発展する

力は市民参画型社会によって形成される。

生産者であり消費者である市民によって、資源の有効活用を生み出す生活文化が形成され、それをリサイクル文化と呼ぶこともできるが、大量消費生活への反省や環境保全を生活文化とするライフスタイルの形成が行なわれ、人々の豊かさの評価尺度が、消費財の価格評価から、生活の質（QOL）を重視した生活文化やライフスタイルへ移行することになる。

人権や平和、共存やコミュニケーションが社会文化の評価の基準となり、社会サービス業務への市民参加（ボランティアやNPOの役割）が国民総生産の一要因として評価され、こころを持つと呼ばれる良質の福祉環境が形成され、また生態環境が生活の豊かさの一要因となるだろう。

このように、大量消費文化を支えていた経済主義から脱却していくとき、経済の分散型社会の経済効率は向上するといえる。その意味は、これまで経済主義の評価していた資源概念が大きく変化し、産業生産に有用な資源のみでなく、家庭生活に必要なあらゆる資源（愛、思いやりや協力）を含めて経済活動として評価されることになるだろう。

市民参画社会とは、生活重視の考え方に立った人々によって創られる社会を意味する。それらの社会生産力とは、豊かで多様な生活資源の生産を意味する。その生産に有用なシステムを経済効率の高い制度として評価することになる。つまり、資源の無駄遣いから、平和や人権主義によって生み出される生活の豊かさの形成と向上を経済活動として捉える社会形成が市民参画社会の究極の課題となるのである。

例えば、欧米や日本ではエネルギー自給率の向上を目指すために固定価格買い取り制度が確立した。その制度は、ドイツの例にみられるように、市場原理を取り入れながら、システム価格の逡減に即して順次固定価格を見直す必要がある。日本では、その見直し制度が再生可能エネルギー経済や社会政策の専門家で作る委員会によって行われる。こうした再生可能エネルギー社会を発展維持する政府の活動（専門委員会の議事録や答申内容）の情報を市民に公開し、市民参加の意見聴取会を開く必要がある。

分散型エネルギー生産社会では、市民がエネルギーの生産者となる。市民参画型社会を形成しない限り分散型エネルギーシステムの経済合理性は確保されない。その経済合理性の基本要因は市民がエネルギー生産に参加することで成立している。つまり、この生産様式が成立するには、市民民主主義文化の形成発展が条件となる。

言い換えると、市民民主主義文化によってエネルギー問題のみでなく、社会福祉、健康、子育て環境、社会の危機管理や安全管理、教育や文化、環境保護、人権、国際交流、平和活動等々、今、集中型社会が抱える経済負担の大きな社会要因を市民が参画しやすい社会規模にすることによって、分散型社会でのエネルギー生産力は向上するのである。

#### メガソーラー発電所と家庭発電所の違いから来る課題

現在、二つの太陽光発電所スタイルがある。一つは非住宅用のメガソーラー発電所であり、もう一つは住宅用の発電所である。その二つの太陽光発電所は分散型エネルギーシステムを担い、また他の発電所とのネットワークによってより安定した電力を地域社会に提供できる。

しかし、メガソーラー型はこれまでの集中生産型により近く、現在の産業システムから最も期待される太陽光発電所である。それに比べて、家庭発電所は殆ど現代の日本の産業システムから期待されないだろう。そのため、政府が家庭用太陽光発電所を重視するというのは、殆ど、その発電機能に関す

る期待からでなく、パネル製造業者の需要先としての役割が主な理由となるだろう。

言い換えると、家庭用発電所ネットワークである NPO 法人太陽光発電所ネットワーク (PV-Net) の今後の社会的役割やその活動の在り方が問題となると言える。以下、その問題を検討するために、二つの課題を列挙する。

一つは、家庭用発電所の意味をエネルギー政策上、社会や政府、産業界に理解させること。二つ目は、PV-Net 運動の意味を再度確認し、家庭用発電所の発展と維持のために活動の在り方を検討すること。以上の二つの課題を展開するための、議論をはじめめる必要がある。

とりわけ、住宅用の太陽光発電システムの普及によって多様なサポート企業や NPO が生まれる。これらの企業や団体は太陽光発電所の管理者となった市民、もしくは管理者になろうとする市民のニーズによって発展する。

これらのニーズを満たすために、NPO 的な企業が形成され、市民参画型社会の経済構造の大きな要素を作り上げてゆく。つまり社会貢献度の高さを企業活動の目標に掲げる企業文化が生まれるのである。この企業文化は分散型社会の構築に貢献するのである。

#### 消費者・生産者 (プロシューマー) の組合運動

1960 年代、市民社会の発達とともに形成された日本の消費者運動、その始まりは安い商品による生活支援活動であった。1970 年代になると、この消費者運動は安全な商品の提供による生活支援運動に展開した。

太陽光発電所ネットワークは、その意味で、全く新しい運動である。何故なら、環境保全や再生可能エネルギー社会に貢献するために高額な太陽光発電システムを購入した消費者であり、また同時に、そこで生産した電気を電力会社に売る生産者でもある。つまり、消費者・生産者運動 (プロシューマー運動、プロシューマーとはアメリカの経済学者トフラーの用語) である。

この新しい運動の形成は 21 世紀の市民の在り方を意味している。20 世紀後半は消費者や勤労者として市民は位置づけられていた。しかし、21 世紀は、生産者としての市民の役割が大きく評価されつつある。それは、商売や中小企業の経営者という市民のみでなく、太陽光パネルを始め、他の再生可能エネルギー生産に投資する市民、また、環境保全や自然エネルギー生産の NPO 活動に投資する市民としての、言い換えると、社会や経済活動に参画する市民という、概念を意味する。この新しい市民のイメージが太陽光発電所ネットワークの中で語らなければならないものである。

そこで、この運動は、以下の二つの課題が具体的に検討されなければならない。一つは、消費者運動としての在りかた。つまり、太陽光発電システム購入者の利益を擁護する活動の在り方が問われる。さらに、もう一つは生産者運動としての在りかた、つまり、買電に関する利益を擁護する活動が問われる。

## 用語説明

### 1、マルサスの罠

マルサスは、彼の有名な『人口論』の中で「人口は生産物の増加速度を上回る速さで増加を続けている」と述べている。そのため、「労働投入量を増やせば増やすほど生産量は増加するが、追加的増分(生産物の)はしだいに小さくなる」関係(限界生産力逓減の法則)が生じる。つまり、貧困化が生じる。その貧困によって、「余分な人口は淘汰される。現実には、出産の抑制、堕胎、間引き、乳幼児死亡率の増大、餓死等が起こる」ことになる。そのことによって人口増加は抑制される。これを最低生存費均衡の理論と呼んでいる。マルサスの基本仮定によって人口は常に増加する傾向を持つのだが、その人口増加は最低生存費均衡の理論によってある水準に留まる。つまり、世界人口の増加が産業革命以前になかったように、結局、人口は増加も減少もしなくなる。「この均衡状態をマルサスの均衡の状態(Malthusian equilibrium)あるいはマルサスの罠(Malthusian trap)と呼んでいる。マルサスの罠の状態では、1人当りの所得は最低生存費水準であるから、所得の一部を貯蓄にまわす余裕はない」生活状態にある。この状況では所得はすべて消費され、その殆どが生きるため必要な生活資源に使われることになる。

参考 鳥居泰彦『経済発展理論』東洋経済新報社、1979年

<http://phrik.misc.hit-u.ac.jp/Asami/Jugyo/2005/socdev/week2/malthus1.html>

### 2、国民総所得、国民総生産、国内総生産

「国民総所得(Gross National Income)とは、略してGNIと呼び、1990年代半ば以前に経済活動の指標として使われていた国民総生産(GNP, Gross National Product)と、税制の計算上の適用有無の違いがあるが、二つは近い指標である。日本の国民経済計算(国民所得統計)では、2000年に大幅な体系の変更が行われた際に統計の項目として新たに設けられた。」現在経済指標として多く使われている国内総生産(GDP, Gross Domestic Product)は海外や自国の企業全ての国内での生産量を示す。その国内総生産に「海外からの所得の純受取」を加えたものが国民総生産である。(Wikipedia)製造業を中心として国内で生産を続けていた1990年代までの日本は国内総生産が大きかった。しかし、海外に工場を移し、また海外の企業を買収してそこで生産をするようになってから、国内総生産は減少している。つまり、2000年代になると日本は、国民総所得(国民総生産)の大きな割合を海外からの所得の純受取に依存するようになってきている。

また、「海外への融資の利回りで得た国民総生産と国民総所得は、名目では一致するが、実質では若干の差がある。これは、実質国民総所得では、実質国民総生産は考慮されていない、輸出入価格の変化によって生じる実質的な所得の増加分を「交易利得」として加えているためである。」(Wikipedia)

### 3、体積モル

モル(mole)は国際単位系における物質量の単位で、12グラムの炭素12の中に存在する原子の数( $6.02 \times 10^{23}$ の個数、アボガドロ数と呼ばれる)である。1モルの理想気体は、1気圧で0度Cの標準状態では同じ体積(22.41383リットル)を占める。(Wikipedia)その1モルの占める体積をモル体積と呼ぶ。例えば、酸素16の分子は32グラムですから、1モルの酸素(32グラム)の占める体積は1気圧、0度Cで22.4リットルとなる。(Wikipedia)

#### 4、電気の単位

1 Wは 約 0.860cal (1cc の水を約 0.86 度C 上げるエネルギー)  
 1000Wが 1 KW (キロワット)  
 1000KWが 1 MW (メガワット) つまり 100 万W (0.1 万KW)  
 1000MWが 1 GW (ギガワット) つまり 10 億W (100 万KW)  
 1000GWが 1 TW (テラワット) つまり 1 兆W (1 億万KW)  
 1000TWが 1 PW (ペタワット)、つまり、1000 兆W (1 000 億万KW)

#### 5、電気、熱と石油エネルギーの換算

1kWh = 1000W × (60 × 60 s) = 36 × 10<sup>5</sup> の 5 乗 Ws = 3.6 × 10<sup>6</sup> の 6 乗 J = 3.6 MJ (メガジュール)  
 1kWh = 3.6 MJ = 3.6 / 4.1868 Mcal = 0.8598452 × 10<sup>3</sup> kcal = 860 kcal  
 1kWhは 860Kcal  
 石油換算トン TOE (Ton of Oil Equivalent 定義 1TOE=10<sup>7</sup> の 7 乗 kcal)  
 1TOE は 1.1628 万 kWh  
 100 億 TOE は、10,000,000,000 (TOE) × 11,628,000kcal = 116,280,000,000,000Wh  
 = 11.628PWh(ペタワット) = 116.28 兆 kWh

#### 6、タンデム (多接合) 構造

多接合型 (タンデム型) とは、「吸収波長域の異なるシリコン層を積層したもの。アモルファスシリコンと各種の結晶シリコンを積層したものその他、通常の a-Si (アモルファスシリコン) に吸収波長域の異なる a-SiC (アモルファスシリコンに炭素を加えて p 層・プラス極を作る) や a-SiGe (アモルファスシリコンにゲルマニウムを加えて n 層・マイナス極を作る) を積層したものなどが開発・実用化されている。高効率で温度特性などに優れるものが多い。」(Wikipedia)

#### 7、ハイブリッド型 (HIT 型)

ハイブリッド型 (HIT 型) と「結晶シリコンとアモルファスシリコンを積層した太陽電池である。通常の結晶シリコンに比して変換効率が高く、温度特性も良いなどの特長を有する。シリコンの使用量が減らせる他、両面受光型にも出来る。日本の三洋電機が主な製造者である。なお、吸収波長域の異なる材料同士を積層するという点では下記の多接合型太陽電池に似るが、pn 接合は 1 つ (単接合) である。」(Wikipedia)

#### 8、発電原価と発電コスト

電気を起こすための費用単価で、発電施設建設や施設管理維持、人件費や発電用原料購入等に費やす全ての金額を発電総経費として、その金額をその電力施設が生産する総電力量で割ったもので、単位は 円/kWh で示す。なお、発電原価は耐用年数や、設備稼働率等の条件によって変わる。つまり、建設コストが低く、施設耐用年数が長く、稼働率が高いほど発電原価は低くなる。この発電原価の二つの条件の中の設備稼働率等の条件を省いた考え方が、ほぼ発電コストと同じ概念になると理解してよい。

## 参考資料

1. 都築建 『エネルギーシフト 太陽光発電で暮らしを変える・社会が変わる』株式会社旬報社、2010.10.25、179p
2. 神田淳 『持続可能文明の創造』 株式会社エネルギーフォーラム 2011.7.6、
3. Wikipedia 「内燃機関」
4. 電気連合会 「図表で語るエネルギーの基礎 2008-2009」
5. [http://www.fepc.or.jp/library/publication/pamphlet/pdf/enekiso08\\_09.pdf](http://www.fepc.or.jp/library/publication/pamphlet/pdf/enekiso08_09.pdf)
6. 鳥居泰彦 『経済発展理論』 東洋経済新報社、1979 年
7. <http://phrik.misc.hit-u.ac.jp/Asami/Jugyo/2005/socdev/week2/malthus1.html>
8. (FJHAh 10A) 藤原洋 『第 4 の産業革命』 朝日新聞出版 2010.7.30、207p
9. 経済産業省 『平成 22 年度 エネルギーに関する年次報告 第 179 回国会(臨時会提出)』242p
10. 経済産業省 「平成 22 年度 エネルギーに関する年次報告 概要」 平成 22 年 10 月 5p
11. (NISIt 11A) 西山孝 別所昌彦(まさひこ) 『統計データからみる 地球環境・資源エネルギー論』 丸善出版社、2011.4.30、163p
12. (YAMA k 02A) 山田興一、小宮山宏著 『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、2002.10.7、254p
13. (ZNEK 11A) 財団法人 日本エネルギー研究所 計量分析ユニット編 『図解 エネルギー・経済データの読み方入門』財団法人、省エネルギーセンター 2011.10.12、改訂 3 版、348p
14. 濱川圭弘、太和田善久 編著 『太陽光が育くむ地球のエネルギー 光合成から光発電へ』、大阪大学出版会、2009.10.16、132p、
15. 鷺田豊明 『環境とエネルギーの経済分析』白桃書房、1992 年 10 月 6 日刊)  
<http://eco.genv.sophia.ac.jp/book/sosyo/so-4-3.html>
16. 桑野幸徳 「太陽光発電の実力は」 PowerPoint 資料 17p
17. [http://www.natureasia.com/japan/nature\\_cafe/reports/videos/111609/presentation-kuwano.pdf](http://www.natureasia.com/japan/nature_cafe/reports/videos/111609/presentation-kuwano.pdf)
18. 桑野幸徳 『太陽電池はどのように発明され、成長したのか -太陽電池開発の歴史-』オーム社、2011.8.11、430p
19. 桑野幸徳・近藤道雄 監修 『図解 最新 太陽光発電のすべて』オーム社、2011.6.1、255p
20. 瀬川浩司、小関珠音、加藤謙介 編著『サイエンス徹底図解 太陽電池のしくみ』 新星出版社、2010.5、183p
21. NEDO 成果報告書「太陽光発電評価の調査研究」(2001 年 3 月)
22. 和田木哲哉 『爆発する太陽電池産業 25 兆円市場の現状と未来』 東洋経済新報社、2008.11.27、178p
23. 濱川圭弘、太和田善久 編著 『太陽光が育くむ地球のエネルギー 光合成から光発電へ』、大阪大学出版会、2009.10.16、132p、
24. 濱川圭弘編著 『太陽光発電』 (株)会社シーエムシー、1995.5.20、210p
25. 京セラ(株)ソーラーエネルギー事業部 編著 『太陽エネルギーへの挑戦』 清文社 2000.9.30、318p

26. NEDO 『NEDO 再生可能エネルギー技術白書』平成 22 年 7 月 27 日  
[http://www.nedo.go.jp/library/ne\\_hakusyo\\_index.html](http://www.nedo.go.jp/library/ne_hakusyo_index.html)
27. (KONIm 08A) 小西正暉、鈴木竜宏、蒲谷滋記 『太陽光発電システムがわかる本』 株式会社工業調査会、2008.7.10、321p
28. 三石博行 [再生可能エネルギー促進法とその問題点について – 持続可能なエネルギー生産社会を目指すために –] おおつ市民環境塾講座講演の資料 (論文)、2011 年 11 月 19 日  
[http://hiroyukimitsuishi.web.fc2.com/pdf/kenkyu\\_03\\_04/cMITShir11a.pdf](http://hiroyukimitsuishi.web.fc2.com/pdf/kenkyu_03_04/cMITShir11a.pdf)
29. 石川憲二 『自然エネルギーの可能性と限界 風力・太陽光発電の実力と現実解』 株式会社オーム社、2010.7.25、190p.
30. 『月刊環境ビジネス』「大特集 スマートグリッド PART1 激化する開発競争」 2011.12 月号 VOL.114、pp16-68
31. 財団法人 エネルギー総合工学研究所 「エネルギー講座」  
<http://www.iae.or.jp/energyinfo/mokuji1.html>
32. 経済産業省 資源エネルギー庁 「長期エネルギー需要見通し」  
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/080523.htm>
33. 加藤和彦 『太陽光発電システムの不具合事例ファイル』日刊工業新聞社、2010年7月、144p
34. 加藤和彦 「原点にかえろう – 太陽光発電とはなにか? Going Back to the Beginning – What is the PV System?」 太陽エネルギー Vol.38 No.3、2007 年、pp3-6
35. 佐藤進『科学技術とは何か』三一書房、1978 年 11 月 15 日、262p
36. 佐藤進『価値の選択 - 科学技術文明を越えて - 』三一書房、1982 年 10 月 11 日、306p
37. 佐藤進『現代科学と人間 - 人類は生き残りうるか - 』三一書房 1987 年 1 月 31 日、244p
38. 『月刊環境ビジネス』「急加速する低価格化と見えざる課題 再生可能エネルギーコストの真実」 2012.3 月号 VOL.117
39. 環境エネルギー政策研究所(ISEP) 編 『自然エネルギー白書 2012』 七つ森書館 2012 年 5 月、269p