

昭和 51 年 度

サンシャイン計画委託調査研究成果報告書

太陽エネルギー利用システム調査研究
(トータルシステム)

昭和 52 年 3 月

NEDO 図書・資料室



010017882-1

社団法人 日本電機工業会

トータルエネルギーシステムの研究

社団法人 日本電機工業会

昭和52年3月 45頁

研究目的

各太陽エネルギー利用システムのトータルエネルギーシステムの中における役割を評価し、今後の太陽エネルギー利用研究開発のあり方について検討を行なった。

トータルシステム専門委員会委員名簿

	委 員 名	所 属
主 査	関 根 泰 次	東 京 大 学 工 学 部
委 員	小 佐 野 峰 忠	"
"	川 上 潤 三	"
"	堀 米 孝	電 子 技 術 総 合 研 究 所
"	佐 藤 弘 之	"
"	寺 田 浩 一 郎	"
"	中 村 宏	電 力 中 央 研 究 所
"	高 橋 一 弘	"
"	小 川 洋	"
"	斎 藤 雄 志	"
"	中 村 一	東 京 電 力 ㈱
"	長 沢 一 雄	電 源 開 発 ㈱
"	豊 田 淳 一	成 蹊 大 学
"	片 岡 昭 雄	東 京 工 業 大 学
"	田 村 康 男	早 稲 田 大 学 理 工 学 部
"	有 働 宗 幸	東 京 芝 浦 電 気 ㈱
"	下 村 哲 朗	三 菱 電 機 ㈱
"	井 上 孝 太 郎	㈱ 日 立 製 作 所
"	福 田 和 正	三 菱 重 工 ㈱
"	山 田 恵 康	東 京 ガ ス ㈱
"	山 田 栄 一	㈱ 日 本 電 気 工 業 会
"	笠 原 七 郎	"

トータルシステムWG委員会委員名簿

	委 員 名	所 属
主 査	関 根 泰 次	東 京 大 学 工 学 部
委 員	小 佐 野 峰 忠	"
"	永 井 高	"
"	宇 田 川 光 弘	早 稲 田 大 学 工 学 部
"	田 中 俊 六	東 海 大 学 工 学 部
"	作 田 宏 一	電 子 技 術 総 合 研 究 所
"	谷 辰 夫	"
"	小 柳 理 正	"
"	高 橋 一 弘	電 力 中 央 研 究 所
"	井 上 孝 太 郎	㈱ 日 立 製 作 所
"	松 本 博 輔	石 川 島 播 磨 重 工 業 ㈱
"	吉 原 晃 代	三 菱 重 工 業 ㈱
"	樋 口 英 雄	"
"	下 村 哲 郎	三 菱 電 機 ㈱
"	塚 田 憲 三	"
"	久 留 勇	東 京 芝 浦 電 機 ㈱
"	中 西 栄 治	旧 揖 斐 川 電 気 工 業 ㈱
"	山 田 栄 一	㈱ 日 本 電 気 工 業 会
"	笠 原 七 郎	"

目 次

第1章 はじめに	1
第2章 冷暖房システム	3
2.1. 背 景	3
2.2 実現可能性	3
2.3 最も有望な利用形態	4
2.4 実現した場合の効果	4
2.4.1 エネルギーシェア	4
2.4.2 波及効果	6
2.4.3 技術輸出	8
2.5 研究開発のあり方	9
2.5.1 研究開発の方向	9
2.5.2 研究開発の内容および体制	9
2.5.3 国際協力	10
2.6 まとめ	10
第3章 太陽熱発電	11
3.1 背 景	11
3.2 実現可能性	11
3.2.1 技術的困難, 経済性, 時期	11
3.2.2 資材面への影響	13
3.2.3 社会的アクセプタンス	13
3.2.4 土地利用	13
3.3 実現した場合の効果	14
3.3.1 エネルギーシェア	14
3.3.2 波及効果	16
3.4 研究開発のあり方	17
3.4.1 太陽熱発電実現のための一般的方策	17
3.4.2 研究開発項目	17
3.4.3 国際協力	17
3.5 まとめ	18
第4章 太陽光発電	19
4.1 背 景	19
4.2 実現可能性	21
4.2.1 太陽光発電実現のための条件	21
4.2.2 技術的困難	22

4.2.3	資材面への影響	2 2
4.2.4	土地利用	2 3
4.3	実現した場合の効果	2 3
4.3.1	エネルギーシェア	2 3
4.3.2	波及効果	2 4
4.4	研究開発のあり方	2 4
4.4.1	研究開発の方向	2 4
4.4.2	太陽エネルギー利用促進のために期待される側面的施策	2 4
4.4.3	長期計画（具体的研究開発目標）	2 6
4.5	まとめ	2 6
第5章	太陽炉	2 8
5.1	背 景	2 8
5.2	実現の可能性	2 8
5.2.1	時期および必要性	2 8
5.2.2	技術的困難性	2 9
5.2.3	資材面への影響	2 9
5.2.4	社会的アクセプタンス	2 9
5.2.5	気象上の制約	3 0
5.2.6	経済性および建設用地による制約	3 0
5.3	実現した場合の効果	3 0
5.3.1	エネルギーシェア	3 0
5.3.2	波及効果	3 0
5.3.3	海外への技術輸出	3 0
5.4	研究開発のあり方	3 1
5.4.1	研究開発の目標と具体的研究項目	3 1
5.5	まとめ	3 1
第6章	その他の太陽エネルギー利用システム	3 2
6.1	太陽熱利用システム	3 2
6.2	気象エネルギー利用システム	3 2
6.3	太陽熱利用熱機関	3 2
6.4	その他	3 2
第7章	エネルギー貯蔵	3 7
7.1	太陽エネルギー利用システムにおけるエネルギー貯蔵の必要性	3 7
7.2	蓄熱システム	3 7
7.2.1	冷暖房給湯システム	3 7
7.2.2	太陽熱発電システム	4 0

7.3	蓄電池システム	4 0
7.4	水素システム	4 1
7.5	電力系統との連系	4 1

第1章 はじめに

これまで我国における太陽エネルギーの研究は、太陽熱冷暖房給湯システムへの利用、太陽熱発電、太陽光発電の3つの柱を主体とし、さらに未来技術の基礎となるものとして太陽炉の活用について研究を進めてきた。

この中まず、冷暖房に関しては、すでに基礎研究の段階を終え実用化研究、生産技術の研究開発の段階にまで達しており、経済的、技術的にその有効性が一般社会に認められるのもそう遠くない事であろうと考えられる。今後経済性を中心に研究開発を進めるとともに側面的に普及を促進することが必要である。

冷暖房に対する太陽エネルギーの利用が比較的小規模多数の需要家を対象とするのに対し、太陽熱発電は中、大規模の太陽エネルギー利用を目指している。基本的な技術としては、次第に確立しているといえることができるものの実際にこの方法でエネルギーを生み出すまでにはまだ経済的にはもちろん、技術的にも実用技術の開発など長く苦しい道を歩まなければならないし、他のエネルギーに比べてクリーンというものの土地利用、環境、資源面で更に詳細なつめが必要である。従って、その実現時期も冷暖房への太陽エネルギー利用よりはかなり遅れるであろう。しかし太陽熱発電技術は海水の淡水化などへの活用など副次的効果も大きく、あせらず地道な研究を進めるべきであろう。

また、太陽光発電については、現在とはともかく、エネルギー的には経済的で大容量の太陽電池を大量に生産する技術を開発することが、先決であり現時点で技術的、経済的フィジビリティについて正確な判断を下すのは、差し控えるべきであろう。しかし、技術レベルが高くなる程長期間かけて、基礎的研究を多角的につみ重ねなければならぬのは当然であり、今しばらくはいたずらに、目前の成果をあせることなく、研究開発に取り組むべきである。

くはいたずらに、目前の成果をあせることなく、研究開発に取り組むべきである。

同じことは太陽炉に関する研究についてもいえることである。たゞ少なくとも現地点においては太陽炉の場合、常識的に考えても、これによって活用されるエネルギーの量は限られており、いわゆるエネルギー問題の解決に果たす役割としては多くは期待できない。しかし、この分野では他の手段では達することのできない太陽エネルギーのみによって初めて可能になる先端技術を含んでおり、量的観点よりもむしろ質的観点においてわれわれが関心を払わなければならない側面を多く合わせ持っている。資源に乏しいわが国が、今後技術によって世界の中で生きていくためには、われわれの努力を怠ってはならない重要な一分野であろう。

ところで、太陽エネルギーの利用方法は単に上の4つの分野に限られるわけではなく、図1.1のように実に様々な利用方法が考えられる。事実、世界的にみれば、国によって必ずしもわが国のような4本の柱を主体としているわけではなく、国情に応じて多少その重点のおき方が異っている。わが国でも遠い将来の事を考えれば、これら4つの分野以外の利用方法についても絶えず関心を払っていく必要がある。このような観点から第6章には上の4つの分野以外の太陽エネルギー利用法についてもかんたんに検討を行った。

太陽エネルギーの利用は必然的に日照時間に左右されるためこれを有効に利用しようとするれば、利用の方法のいかんにかかわらず、エネルギーの貯蔵という事が必要になってくる。極論すれば、このエネルギー貯蔵のよしあしによって太陽エネルギー利用の成否が左右されるといっても過言ではない。このような観点から本報告書では、一見太陽エネルギーの利用は関係ないように見えるかもしれぬが、エネルギー貯蔵の技術についてかなりのスペースをさいて論ずることにした。

本報告書では、以上述べたごとく太陽エネルギー利用の各分野の第一線専門家を集めて真剣な討論を重ね、各利用法についてその背景、実現可能性、実現した場合の効果、及びわが国において行うべき研究開発のあり方について詳細な検討を行った。その内容は次章以下に詳しく述べる通りである。

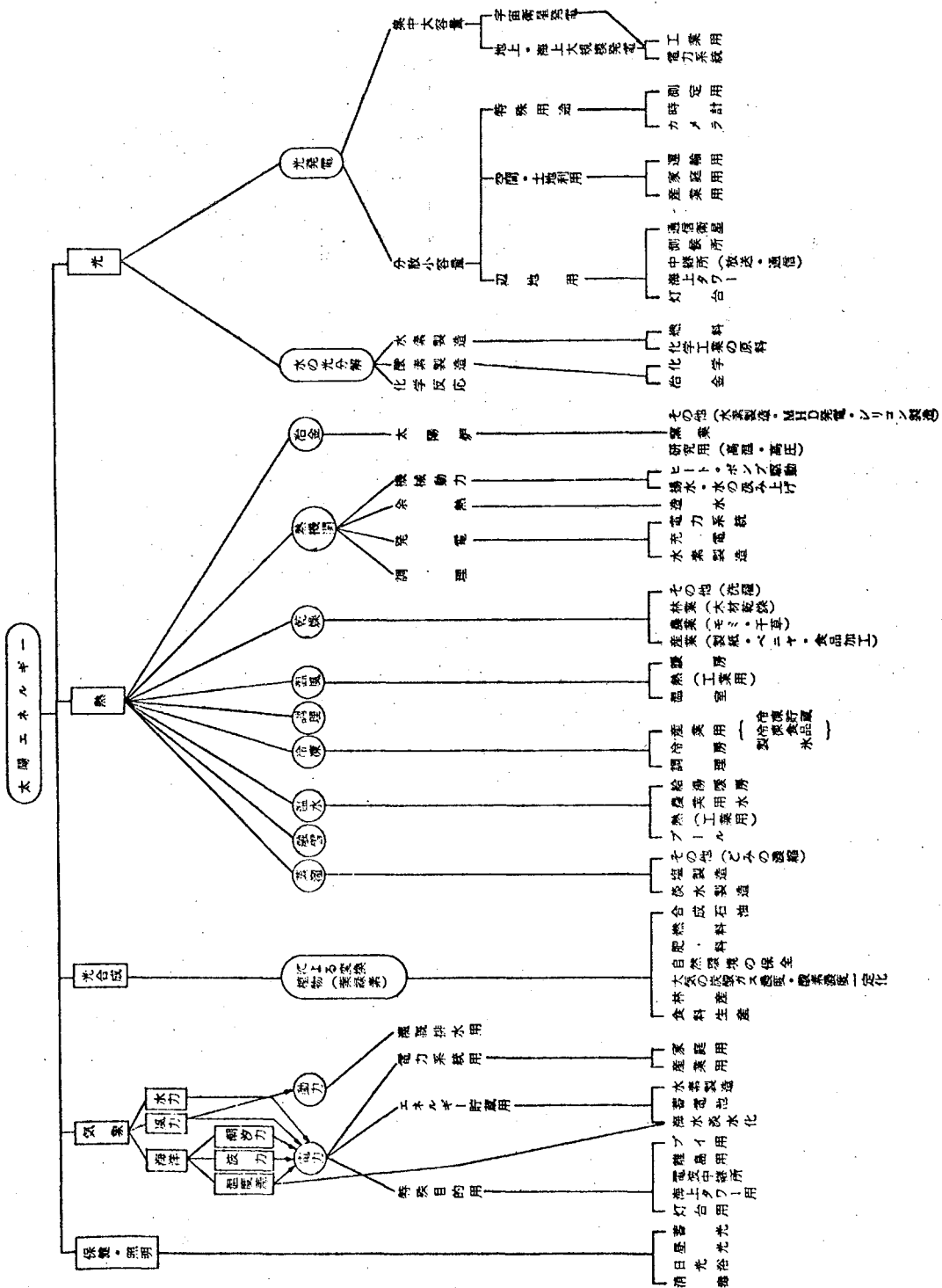


図 1.1 太陽エネルギー利用図

第2章 冷暖房システム

2.1 背 景

太陽エネルギー利用についての開発がなされるようになったのには2つの背景が考えられる。その第1は、地球的な観点からは従来使用してきた石油、石炭などのエネルギー資源の枯渇であり、わが国の問題としてはこれら資源の安定供給が一時的にせよ不安になったことである。言うまでもなく昭和48年度秋の石油危機である。もう1つの点は環境汚染に対する認識が広くなされるようになってきた点であり、無公害なエネルギー源としての太陽エネルギーである。

冷暖房給湯に消費されるエネルギーは民生用全消費エネルギーの50～60%であり、住宅用のみでも昭和48年実績で 140×10^{12} kcal消費したと推定されており、今後人口の増加や生活水準の向上に伴って増大し昭和75年（西暦2000年）には昭和48年の5.5倍、 766×10^{12} kcal程度に達すると予想されている。昭和48年における家庭用エネルギーの種別は表2.1.1に示すとおり石油（灯油）、ガス、電気で用途別としては暖房用41.4%、給湯用29.1%、冷房用1.2%である。暖房用については家計調査年報よりの調査では20%前後であり、これらの数値にはかなりの巾があるが、いずれにしろ60%前後は冷暖房、給湯に使用されていると考えることができる。なかでも給湯、暖房が大部分をしめており、これらは太陽熱利用技術のうちでは比較の実用化しやすい部分である。給湯用では既に温水器として販売されているものが多く、近い将来のエネルギー源の一部を代替してゆくものと考えられる。

表2.1.1 家庭用エネルギー種別・用途別マトリクス（48年度実績）

(10^{12} kcal)

用途 種別	電 気	都市ガス	石油類	その他	合 計	割合(%)
暖 房 用	63	3.4	86.9		96.6	41.4
冷 房 用	2.7				2.7	1.2
動 力 用	14.9				14.9	6.4
給 湯 用	1.0	23.9	39.1	4.1	68.1	29.1
厨 房 用	5.9	11.1	16.5	1.2	34.7	14.9
照明、テレビ	15.0				15.0	6.4
そ の 他	15				1.5	0.6
合 計	47.3	38.4	142.5	5.3	233.5	100.0
割 合 (%)	20.2	16.4	60.9	2.3	100.0	

（注） エネルギー種別のその他とは、石炭、コークス、木炭、まきの総計用途別のその他は電気の小物

（エネルギー経済研究所資料）

2.2 実現可能性

冷暖房、給湯のうちで最も難しいとされている冷房についても、この2,3年の研究開発の結果、技術的には可能であることがわかり、既に10戸程度の太陽熱冷房を行っている建築がある。²⁾冷房の方式は吸収冷凍機を用いる方式とランキンサイクル機関を用いる方式があり、吸収式の場合には75～100℃、ランキンサイクルの場合には95～130℃程度の温水が集熱器によって得られれば太陽熱冷房を行うことができる。これまでに建設されたソーラハウスでは1.5冷凍トン～20冷凍トンの小形吸収冷凍機を用いた方式であるが、ランキンサイクル駆動の冷凍機を使用するシステムも現在、サンシャイン計画で建設中の実験住宅に見られる。このように、技術的には冷房も十分可能であることが

示されている。

暖房については太陽熱を直接暖房に利用する場合でも30～50℃程度で集熱すればよいと、集熱器の選択・吸収面の処理などは必ずしも必要でなく、純粋に技術的な問題よりも生産技術的な問題が多いと言える。

給湯については既に温水器として以前から販売されていた実績もあり、既に実現していたものである。

したがって、冷暖房、給湯については現状でも技術的に全て可能であるといえる。しかしながら、実用的には、従来のシステムに太陽熱を利用するための集熱装置、蓄熱装置が付加される形となるため、経済的には必ずしも成立するには至っていない。今後、より安価で性能のよい集熱装置、蓄熱装置の開発が必要である。

2.3 最も有望な利用形態

冷暖房システムは建築の用途、規模、気候によって異なるものであり、従来の空調システムの設計においてもこれらの条件に注意が払われてきた。太陽エネルギーの利用に当たってもこれらの条件を考慮して最も適した方式を採用すべきであるが、太陽熱冷暖房設備には集熱器、蓄熱装置が必要であるところから、これらを設置すべきスペースが確保されていることが条件に加わる。

住宅における太陽熱暖房、給湯の利用は従来のエネルギー消費の大きさ及び集熱器の設置が容易であることから、わが国においては有望な利用形態のひとつであると考えられる。とくに給湯については規模が小さい（集熱面積は2～6㎡程度あればよい）ため既存の建築に取り付けることも容易であり、また年間を通じて使用されるため、最も有利な利用方式である。

一方、住宅における冷房はわが国においては冷房期間が約2ヶ月と短かく、現在の太陽冷房システムではセントラルクーリングを前提としているのに、需要としては部分的に1室あるいは2、3室のみを冷房する小形のエアコンディショナが圧倒的に多いことなどを考えるとあまり有利な利用方式ではない。

しかし、太陽熱冷房はむしろ、冷房期間の長い事務所や図書館などの公共建築の方が有利となる可能性もある。この場合には十分な集熱面積を確保できることが前提であり、したがって低層の建築に限られよう。太陽熱冷房は従来エネルギーの一部を太陽熱によって代替すること以外の効果として、電力のピークカットを行う方法のひとつとしても考えられ、将来、冷房用電力需要が大巾に伸びるような事態になれば有力な冷房の方式となる可能性がある。

また、冷房用に設置した集熱器は冬期の暖房には熱の供給が過剰になり、中間期には利用されないが、ランキンサイクルによる冷凍機を使用するシステムでは冷房不要の時期には発電を行うことも可能であり、システムの規模や気象条件によっては有利な利用方式となるであろう。

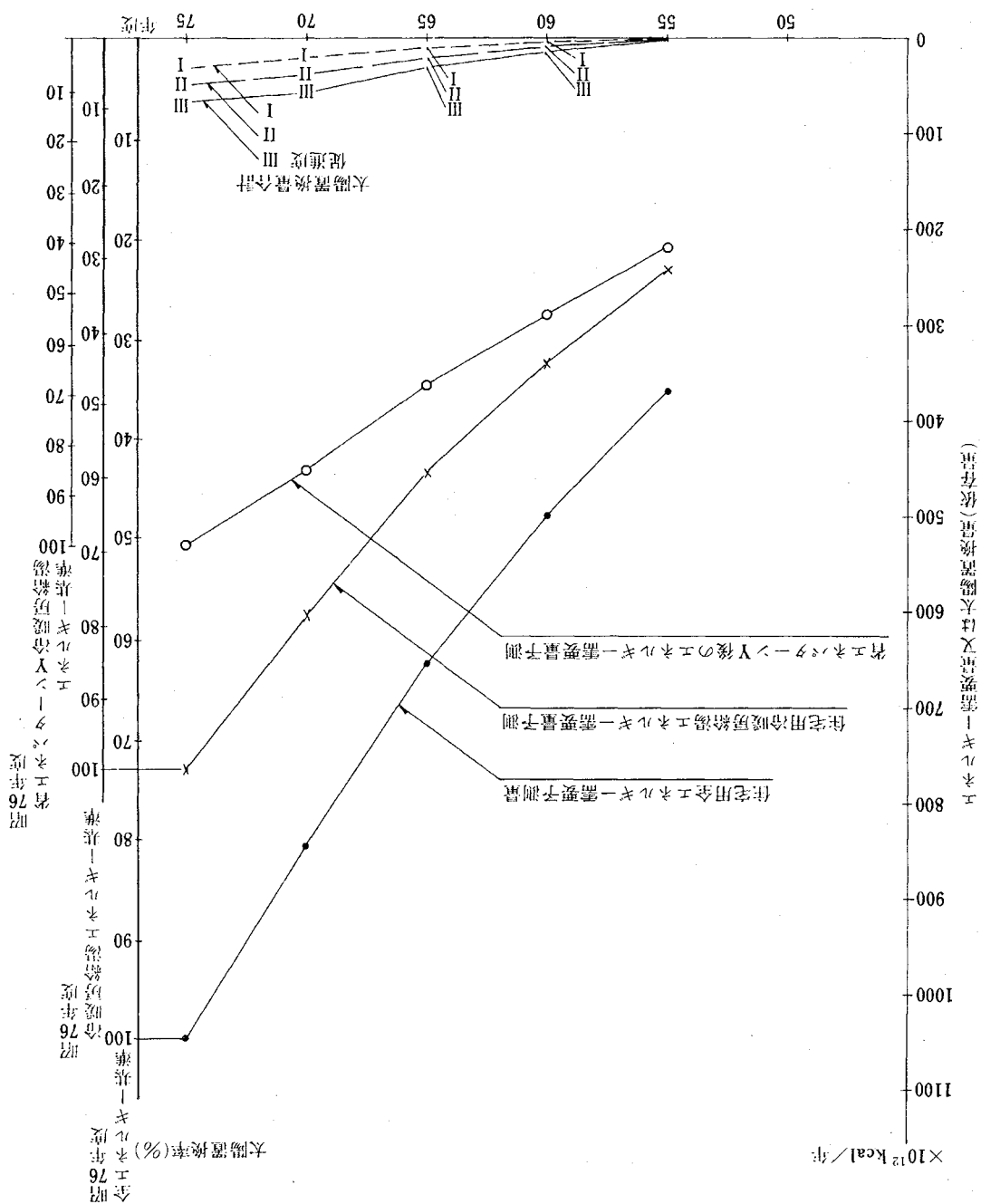
このような発電と冷、暖房との組み合わせ方式は米国では熱発電と吸収冷凍機との組み合わせ方式がサンディア研究所、光電池と温風暖房の組み合わせ方式がデラウェア大学で型究されているが、わが国においても有望な利用形態のひとつとして検討する必要がある。

2.4 実現した場合の効果

2.4.1 エネルギーシエ

図2.4.1は空気調和・衛生工学会の太陽熱暖冷房委員会で行った住宅用太陽熱冷暖房給湯の従来エネルギー置換量の予測である。世帯数、住宅用エネルギー原単位、セントラル冷房、暖房、給湯システムの普及率が太陽依存率の予測などより推定したものである。普及率、太陽熱設備適用率の設定により、促進度をⅠ～Ⅲとして予測に巾を持たせ

図 2.4.1 住宅用エネルギー需要予測および太陽置換量



である。これによれば、昭和75年において最大で住宅用冷暖房用エネルギーの10%弱、 6.9×10^{12} Kcalを賄うことができる予測されている。また、冷房、暖房、給湯それぞれの置換量および置換率は昭和65年および昭和75年において表2.4.1に示した範囲と推定される。

表2.4.1 住宅冷暖房給湯太陽熱置換量予測

年	普通世帯数 ×10 戸	太陽エネルギー置換量〔×10 1年〕, () 置換率%			
		給 湯	暖 房	冷 房	暖冷房給湯合計
昭和 51~55	3523	0.979 (0.9)	0.005 (0.0)	0.002 (0.0)	0.985 (0.4)
		1 1	1 1	1 1	1 1
		2.933 (2.6)	0.025 (0.0)	0.017 (0.0)	2.961 (1.2)
56~60	3839	6.481 (4.1)	0.072 (0.0)	0.014 (0.2)	6.567 (1.9)
		1 1	1 1	1 1	1 1
		13.146 (8.4)	0.851 (0.5)	0.157 (1.8)	14.154 (4.1)
61~65	4100	11.894 (5.8)	0.562 (0.2)	0.108 (0.8)	12.564 (2.7)
		1 1	1 1	1 1	1 1
		28.831 (14.1)	3.682 (1.5)	0.703 (5.4)	33.221 (7.3)
66~70	4320	21.540 (6.7)	2.183 (0.7)	0.441 (2.0)	24.164 (4.0)
		1 1	1 1	1 1	1 1
		44.048 (16.8)	9.430 (2.9)	1.904 (8.6)	55.382 (9.1)
71~75	4500	29.244 (9.2)	4.253 (1.0)	1.086 (2.7)	34.583 (4.5)
		1 1	1 1	1 1	1 1
		48.687 (15.4)	16.011 (3.9)	4.092 (10.1)	68.790 (9.0)

*文献1 P182より、省エネルギーによるエネルギー消費の伸率減少を考慮しない場合、欄中の上限は促進Ⅰ、下限は促進度Ⅱ

非住宅の建築についてのエネルギー需要の予測を図2.4.2および表2.4.2に示す。図2.4.2は図2.4.1と同様に空調学会の委員会において行なったものであり、建築の用途別に原単位および床面積の伸び率を設定して求めたものであるが、建築用途、形状が多岐にわたることから、太陽熱設備設置の予測や依存率の推定のためのデータが十分でなく、住宅のような置換率を算出するには至らなかったが、高層の建築で、都市部に集中して建築されるものが多いため住宅に比べて太陽エネルギー置換率は低くなると考えるべきである。

2.4.2 波及効果

太陽熱利用設備利用に当っては建築自体の冷暖房負荷を軽減する構造とすることが前提であるので省エネルギーの思想が広く認識されるようになると考えられ、省エネルギー形の冷暖房や給湯用機器の開発を促すと考えられる。

また、太陽熱冷房用の吸収式冷凍機やランキンサイクル機関は従来のものよりも低温で作動することから、これらを利用して従来捨てられていた排熱を利用した冷房システムなどの普及を促進することが考えられる。

蓄熱システムは太陽熱利用には不可欠であるが、性能のよいものが開発されて広く普及するようになれば、太陽熱を利用しない場合であっても、冷凍機やボイラーなどの熱源機器の容量を減らすとともに電力、ガスなどのエネルギー

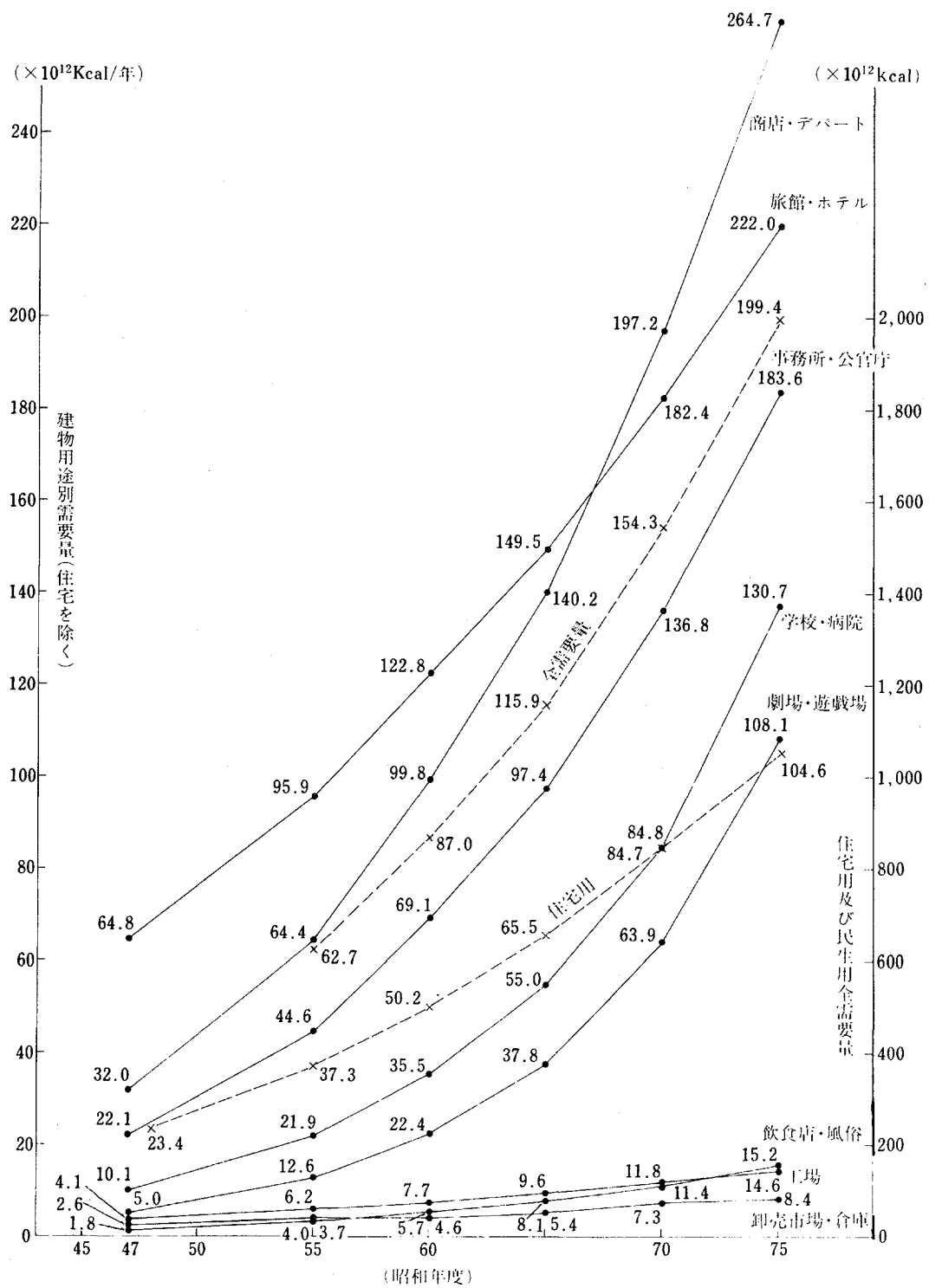


図 2.4.2 非住宅用エネルギー需要予測
住宅用
民生用合計

表 2.4.2 非住宅用途・エネルギー用途別需要予測

(×10⁴ kcal)

4 7										5 5					6 0				
	暖房	冷房	給湯	調理	照明	計	暖	冷	給	調	照・動	計	暖	冷	給	調	照・動	計	
事務所・公官庁	6.6	1.3	1.3	0.2	11.3	221	134	4.0	4.0	0.4	22.7	44.6	20.7	6.2	6.2	0.7	35.2	69.1	
商店・デパート	1.0	3.2	3.2	5.8	18.9	320	1.9	6.4	6.4	1.6	38.0	64.4	3.0	10.0	10.0	18.0	58.9	9.98	
飲食店・風俗	0.2	0.1	0.6	0.4	0.5	1.8	0.4	0.2	1.3	0.8	1.1	3.7	0.6	0.3	2.0	1.2	1.7	5.7	
劇場・遊戯場	2.4	0.5	0.2	—	2.0	5.0	5.9	1.3	0.4	—	5.0	12.6	10.5	2.2	0.7	—	9.0	2.24	
ホテル・旅館	1.10	2.6	3.37	6.5	11.0	64.8	16.3	38.4	9.7	9.6	16.3	9.56	2.09	4.9	6.39	1.23	20.9	122.8	
卸売市場・倉庫	0.4	—	0.4	—	1.7	2.6	0.7	—	0.7	—	2.6	4.0	0.8	—	0.8	—	3.0	4.6	
工場	0.7	—	0.4	—	3.0	4.1	1.1	—	0.6	—	4.5	6.2	1.4	—	0.7	—	5.6	7.7	
交通運輸施設	0.0	—	0.0	—	0.1	0.2	0.1	—	0.1	—	0.2	0.3	0.1	—	0.1	—	0.3	0.4	
学校・病院	6.5	—	1.0	1.6	1.0	10.1	1.40	—	2.2	3.5	2.2	2.19	2.27	—	3.6	5.7	3.6	3.55	
供給・処理施設	0.0	—	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	0.0	—	0.1	0.1	0.0	—	0.0	—	0.1	0.1	
合 計	28.8	7.7	40.8																
	77.3					14.27	13.49				25.37		80.7	23.6	8.0			368.1	

	6 5					7 0					7 5							
	暖	冷	給	調	照・動	計	暖	冷	給	調	照・動	計	暖	冷	給	調	照・動	計
事務所・公官庁	292	8.8	8.8	1.0	4.97	97.4	4.10	12.3	12.3	1.4	6.98	136.8	5.51	1.65	1.65	1.8	93.6	183.6
商店・デパート	421	4.0	1.40	25.2	82.7	14.02	5.91	9.7	19.7	35.5	11.63	197.2	7.9	26.5	26.5	47.6	156.2	264.7
飲食店・風俗	0.8	0.4	2.8	1.7	2.3	8.1	1.1	0.6	4.0	2.4	3.3	1.14	1.5	0.8	5.3	3.2	4.4	1.52
劇場・遊戯場	17.8	3.8	1.1	—	1.51	37.8	3.00	6.4	1.9	—	2.56	6.39	5.08	1.08	3.2	—	4.32	108.1
ホテル・旅館	25.4	6.0	7.77	1.50	2.54	14.95	3.10	7.3	9.48	18.2	3.10	18.24	37.7	8.9	11.5	42.2	37.7	222.0
卸売市場・倉庫	0.9	—	0.9	—	3.6	5.4	1.2	—	1.2	—	4.8	7.3	1.4	—	1.4	—	5.5	8.4
工場	1.7	—	0.9	—	7.0	9.6	2.1	—	1.1	—	8.6	1.18	2.6	—	1.3	—	10.7	14.6
交通運輸施設	0.1	—	0.1	—	0.3	0.4	0.1	—	0.1	—	0.4	0.6	0.1	—	0.1	—	0.4	0.6
学校・病院	35.2	—	5.5	8.8	5.5	5.50	5.43	—	8.51	3.6	8.5	8.48	8.36	—	1.31	20.9	1.31	130.7
供給・処理施設	0.0	—	0.0	—	0.1	0.1	0.0	—	0.0	—	0.1	0.2	0.1	—	0.0	—	0.2	0.3
合 計	115.3	33.30	111.8				166.7	4.6	31.4	3.6			240.8	6.3	51.8	2.8		948.2
	260.1				50.35	3.566					696.4	48.71						

—のピークカットに貢献すると思われる。

2.4.3 技術輸出

わが国で開発された技術は海外においても当然使用できるものであるが、日射が豊富で技術力の不足している中東諸国においてはいくつもの大規模な太陽熱利用計画も発表されているので、わが国よりの技術輸出が期待されていると考えてよいであろう。とくに冷房システムは乾燥地帯では日射が豊富で多湿なわが国よりも冷却水の温度が低くでるため、同じシステムであれば効率のよい運転が可能であるし、土地利用についてもわが国程には過密でないから、開発の成果が国内よりも海外で発揮される可能性がある。

2.5 研究開発のあり方

2.5.1 研究開発の方向

これまでの研究開発により冷房についても実現可能であることが検証されつつある。しかしながら冷房システムに関しての経済性および従来エネルギー 代替効果についてみると、これまでに関与されたシステム、機器では十分でなく、なお改良の余地は多く、今後の研究開発が必要である。

また、暖房、給湯よりも技術レベルの高い冷房の技術開発によって得られた成果を現在でも比較的経済的に成立しやすい暖房、給湯システムに生かし、まずこれらの分野での実用化を目指す方向もあわせて必要である。

2.5.2 研究開発の内容および体制

今後の研究開発が必要な項目を次の(1)～(5)に示す。

(1) システム、機器に関する研究開発

機器には集熱器、冷凍機、蓄熱装置があるが、いずれについてもこれまでの研究開発は試験研究開発の域に属するものであり、今後さらに効率、経済性、耐久性を高めるための実用化を目指した研究開発が必要である。システムについてもできるだけ単純化し、経済性のあるものの開発を目指すべきである。また、システムの適用については気候が重要な要素であるため寒冷地、温暖地などそれぞれに適したシステムを開発する必要がある。暖房用エネルギーを多く必要とする北海道や真日本などの寒冷地用の暖房、給湯システムの開発などがその例である。

また、これらの機器を用いて太陽熱利用を行う方式のほかに、建築の壁体や屋根の構造を工夫することにより気象条件をうまく利用して快適な室内環境を実現しようとする自然空調建築についての研究も必要であろう。この方式は温室効果、夜間ふく射（夜間冷却）や建築躯体自体の蓄熱容量を利用して暖房、冷房を行うものであり、集熱器、蓄熱槽や制御システムなどを使用しない。住宅などには適した方式であり、太陽エネルギー利用の一環として、その可能性を探る必要がある。

(2) 材料の研究開発

材料の研究開発は集熱器の構成材および 熱媒体に関して重要である。

集熱器構成材ではガラス、プラスチック、金属などの材料について集熱器効率を高め、また加工方法の容易な構成材を開発しより安価な集熱器製作のための技術基盤を作る必要がある。

蓄熱媒体についてはとくに潜熱蓄熱材の研究が必要である。潜熱蓄熱は小形で大容量の蓄熱システム実現の可能性を秘めているが、実用的には蓄熱材の転位温度、可逆性、熱媒との熱交換方法、密閉方法などに多くの問題があり今後の研究開発に期待するところが多い。

(3) 太陽熱設備の試験方法の研究、試験設備の整備

種々の機関で開発された機器やシステムの評価方法や評価基準を提案し、また、実際に製作された機器の性能試験を行うための試験設備を設置することはシステムの研究開発の成果の評価には不可欠である。

(4) 設計マニュアルの作成

建築の設備は発電プラントなどと異なり小規模のものを大量に設計する必要がある。このため冷暖房および給湯システムの設計法を確立し、必要な資料を整備して設計用のマニュアルを作成し建築設備の技術者が容易に設計を行える体制を整えておくことが太陽熱設備を普及させるためには大切である。

(5) 太陽熱トータルエネルギーシステムの研究開発

太陽エネルギー利用の熱併給発電方式として、ランキンサイクル機関による冷房、発電システム、熱発電の排熱と吸収冷式凍機による併給システムあるいはこれらとゴミ焼却炉の排熱などを組合せることも考えられる。このよ

うなシステムは団地単位などの中規模あるいは大規模システムに適すると考えられる。住宅単位のような小規模システムでは太陽電池と温風暖房の組合せ方式などがある。

これらの項目はいずれも太陽熱冷暖房給湯システムの開発および普及にとって重要であり、わが国のエネルギー政策の一貫として、国が主導的役割を行うべきものである。さらに、太陽熱システムの実用化を促進し、民間での研究開発を促すためにも、国は単に研究開発の主導的役割を果たすのみでなく、補助金や税制の優遇などの処置により側面より需要を喚起することも必要である。

2.5.3 国際協力

アメリカ、ヨーロッパ諸国、オーストラリアにおいては積極的な太陽熱利用に対する研究が行われている。アメリカでは冷暖房、給湯全般にわたり、普及を含めて精力的な開発が行われており、ヨーロッパにおいては暖房を主体として、蓄熱装置や自然暖房建築、断熱方式などその苛酷な気象条件に適した太陽熱利用システムや必要な機器の開発が行われている。また、オーストラリアでは給湯用システムや産業用エネルギー置換などの研究開発や国、州の積極的な普及政策が行われており、これらの国々との幅広い協力体制の確立が必要である。

潜在的な太陽エネルギー資源にめぐまれている中東諸国や東南アジア諸国においても太陽熱の利用には興味をもっており、発展途上国に対する技術輸出、援助の体制を整えておく必要がある。

2.6 まとめ

冷暖房給湯のうちで最も多くの技術開発が必要であるとされていた冷房についても技術的に可能であることがわかり、既にわが国でも冷房システムを持つソーラハウスの例を10戸程度見ることができる。しかしながらこれまでに開発されたシステムあるいは機器では従来の電動冷凍機を用いるシステムに対して経済性において対抗するには至っておらず、今後、実用化を前提として経済性および耐久性に関する研究開発を続けてゆく必要がある。

暖房、給湯システムについては冷房に比べ技術的な問題は少なく、また経済性も発揮しやすい。また、住宅用全エネルギー消費の60%が暖房、給湯に使用されていることを考え合わせると全ての太陽エネルギー利用のうちで最も実用化しやすく、エネルギー効果の期待されるものであり、技術開発と平行して強力な普及政策を行う必要がある。

参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会太陽熱暖冷房委員会、太陽熱冷暖房システムの研究(昭和50年度サンシャイン計画委託調査報告書)、昭和51年3月
- 2) 早大 木村研究室、日本のソーラハウス、太陽エネルギー、Vol. 2, No. 3
- 3) 田中、八十田、栗原、集合住宅に対する太陽熱給湯システムの経済性、日本太陽エネルギー学会第2回研究発表会講演論文集、1976年12月
- 4) 野口、日吉、工藤、寄居電報電話局の太陽熱冷暖房システム概要、日本太陽エネルギー学会第2回研究発表会講演論文集、1976年12月
- 5) IEA小規模太陽エネルギーワーキンググループ調査報告、各国における太陽エネルギー技術開発の進捗状況調査報告書(案)、1976年6月工技院サンシャイン計画推進本部
- 6) 昭和51年度サンシャイン計画中間報告書集(太陽エネルギー)、昭和51年11月、工技院サンシャイン計画推進本部

第3章 太陽熱発電

3.1 背景

わが国の電力エネルギー需要は、1975年実績でおよそ4,760億kwhであり、これは総エネルギー需要の約34%⁽¹⁾(一次エネルギー換算)を占めている。このうち産業部門で消費されている割合が約70%と、欧米諸国に比べて高いのがわが国の特徴である。

現在、総発電容量の70%以上が石油火力であるが、その石油はほぼ100%を海外に依存している。石油の寿命はあと数10年と云われており、今後十分な供給を期待することは難しく、環境汚染の面からも、火力発電所の立地は、困難になってきている。

原子力発電は、軽水炉により既に数%の電力をまかなっている。しかし、立地等の問題で、建設が思うにまかせないのが現状である。またウランの有効利用の点から、高速増殖炉の開発が必要であるが、はっきりした実用化の見通しは立っておらず多くの問題点を残している。核融合炉の実現はさらに先のことであろう。

このような背景から、やはり本格的な実現は先のこととなろうが新しい発電システムとして、無公害、無尽蔵の太陽エネルギーを利用する太陽熱発電が注目されている。本質的に無公害で、安全性の高い太陽熱発電システムは、環境、立地の面での制約はほとんど無く、大型原子力発電所に見られるような局地的熱汚染の問題も少ない。かなり先のことであろうが、純国産エネルギーとして、積極的な開発が望まれている。

3.2 実現可能性

3.2.1 技術的困難、経済性、時期

太陽熱発電所を建設するに当たっての技術的困難さは比較的少ないと考えられる。それは、対象とする利用温度領域が200℃～550℃程度であるため発電所を構成する資材の材料面からの制約が比較的少ないこと。システム技術などのポテンシャルが十分であることなどによる。ただこれまで扱うことがなかった極めて不安定なエネルギー源を対象としなければならないこと、大半のシステムが自然曝露状態で使用されることなどによって太陽熱発電所の耐久性(信頼性)について不明の点が多い。

太陽熱発電の研究開発は、わが国を始め世界的にも最近軌道に乗ったばかりであり、そのシステムの概念設計や要素機器の研究が進められている段階である。従ってこの段階で正確なコスト解析を行うことが困難であるが、多くの大胆な仮定のもとでコスト解析が行われている。米国の極めて日射量の良い地域での大容量太陽熱発電所のコストは次の様である。

建設コスト 12～40万円/kwe^{*}

発電コスト 8～35円/kwhe

* 例えば；建設場所；アルバカーキー（ニューメキシコ州），平埼直達日射；7.2kwh/m²・day，利用時間；3900hr/yr，総合効率；22%

表 3.2.1 米国における太陽熱発電
研究開発の中期計画

U. S. ENERGY RESEARCH AND DEVELOPMENT ADMINISTRATION
Energy Technology

SOLAR ELECTRIC APPLICATIONS

SUBUNITS - OUTPUTS/MILESTONES

SOLAR THERMAL CONVERSION SUBPROGRAM

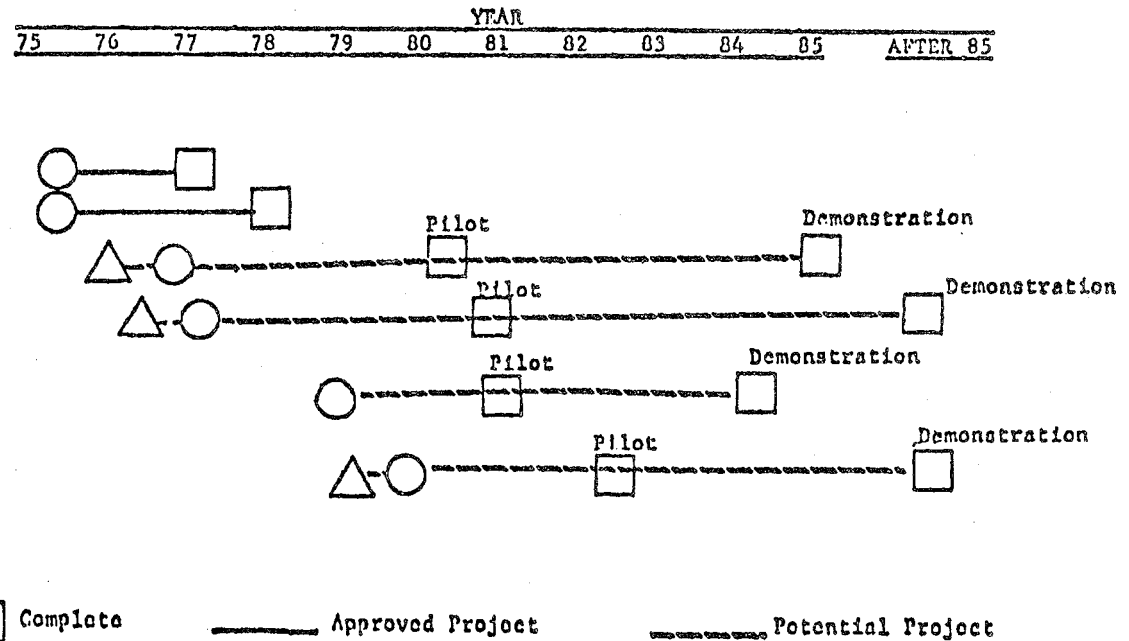
- Test Facilities
 - Central Receiver
 - Distributed Collector

Central Receiver Pilot & Demonstration

Solar Total Energy System Pilot & Demonstration

Distributed Collector Pilot & Demonstration

Hybrid Solar Thermal Pilot Plant



現在発表されている国内外の研究計画を表3.2.1および3.2.2に示す。これによると1985年まではアストアラ

プトの建設に重点がおかれ、太陽熱発電所の技術的、経済的可能性が検討される。

1958年以降にデモンストラージュ用の発電所が、さらに実用化の為の建設が行われることになる。太陽熱発

電所が実用に供されるのは1990年代以降になることが予想される。

表3.2.2 わが国における太陽熱

発電開発研究スケジュール(予想)

～1980年	アストアラプトの建設(1Mwe級)
1981年～1985年	同上 (10Mwe級)
1986年～1990年	実用化のためのデモンストラージュ プトの建設 (～100Mwe級)
1991年～2000年	実用化プラントの建設・運転

3.2.2 資材面への影響

太陽熱発電所を建設する際に使用する資材で地球資源的にみてもまれな資源を使用することは極めて少ないと予想さ

れる。しかし今後の研究開発に当たってこれらの諸点を十分考慮しておくべきであろう。

3.2.3 社会的アセスメント

太陽熱発電所の特徴は、既存の発電方式にくらべ大気汚染などの公害が極めて少ないこと、地球規模でのヒートパ

ランスをくす弊公害が少ないことなどである。従って太陽熱発電所が社会に受け入れられ同化していく素地は十分

あると考えよう。

3.2.4 土地利用

表3.2.3に世界各地の水平面日射量の値を比較して示す。世界の中における日本の日射量は、平均値よりやや多い

地域に属しており、太陽エネルギー利用技術に関する研究開発を積極的に進めるための素地は十分あると云える。

わが国における太陽熱発電の適地調査については昭和49年度より太陽熱発電専門委員会のもとで行われている。

昭和49年度は、わが国の太陽熱発電所設置場所をおおまかに調査分類し、大規模発電(数十万kw以上)用として

火山麓、河川敷、鉄道用地、道路など、中規模発電(数万kw級)用として離島、塩田跡地、工業団地、小規模発

電(1万kw以上)用として、工場敷地、工場屋上、倉庫などに太陽熱発電所設置の面積を求めることができること

を明らかにした。

引き続き50年度では面積条件の他に日射条件、土地利用条件などを考慮して太陽熱発電の適地選定を行った。そ

の結果昭和49年度に調査した適地のうちから将来他目的への利用が予想されるなどの土地利用条件や日射条件など

表 3.2.3 世界各国の水平面日射量比較

Country	Daily average over the year kWh/m ²	Annual total GJ/m ²
N. Europe	2,4-2,8	3,1-3,8
Mediterranean countries	4,3-6,0	5,6-8,0
Sahara desert	6,4	8,3
Central Africa	4,4-6,3	5,8-8,3
India and Pakistan	5,2-6,3	6,8-8,3
Australia, Alice Springs	6,1	8,0
Melbourne	4,1	5,4
Japan	3,3-4,2	4,2-5,6
U.S.A., Northern states	3,9	5,0
Southern states	5,8	7,6
South Africa, Desert	7,0	9,1
Central highveld	5,7	7,5
Coastal regions	4,7	6,1

を考慮して選定した太陽熱発電の立地候補地は 2,790 ケ所 (10 ha 以上) で総面積は 1.18×10^5 ha 程度であることが解った。

51 年度も引き続き詳細な検討が加えられたが、その結果は次の通りである。

- (1) 比較的日射条件の良い 28 県 (50 年度は 24 県) の太陽熱発電立地候補地面積は約 6×10^4 ha
- (2) 比較的日射条件の良好でない 19 都・道・府・県での立地候補地面積は約 7.2×10^4 ha で、これらを合計した太陽熱発電所用地の総面積は 1.32×10^4 ha であった。この値は将来他目的への利用が予想される土地や 10 ha 以下の面積の土地を除外したことや日射条件に一定の規準を設けて算出したため、わが国土総面積の約 0.36% となった。今後、純国産エネルギー開発の必要性の増大、土地の効率的、多目的利用の推進などを考慮すれば、この値は大幅に増大するものと考えられる。

また地球規模で考えた場合の太陽熱発電所の適地面積は莫大であり適地面積の制約は少ないものと考えられる。

3.3 実現した場合の効果

3.3.1 エネルギーシエア

米国 E.R.D.A が発表している長期計画における将来のエネルギー需要量に占める太陽エネルギーの割合は、表 3.3.1 および表 3.3.2 の通りである。2000 年における太陽エネルギー (米国における太陽エネルギー利用技術の範ちゅうは極めて幅広いことに注意を要する) の総エネルギー需要量に対する供給率は 7%, 2020 年では、その値は 25% となっている。また 2000 年における総電気エネルギー需要量の 3.5% を太陽熱発電で供給できると期待している。

表 3.3.1 米国における太陽エネルギーの供給目標

		1985	2000	2020年
利太陽 用エ ネ 分ル ギ 野]	直接熱利用	0.2 Q Q	3 Q	20 Q
	太陽発電	0.07 Q	5 Q	15 Q
	有機物からの燃料 (メタン)製造	0.5 Q	3 Q	10 Q
米国の総エネルギー需要 (Q=10 BTU)		100 Q	150 Q	180 Q

表 3.3.2

ELECTRICITY NEEDS FOR YEAR 2000
Minimum Planning Target

ENERGY SOURCE	1973 CAPACITY		2000 CAPACITY	
	1000MWe	%	1000MWe	%
COAL	167	39.5	539	37.8
NUCLEAR	21	5.0	539	37.8
OIL & GAS	172	40.7	159	11.1
HYDROELECTRIC	62	14.7	100	7.0
GEOTHERMAL	0.5	0.1	40	2.8
SOLAR THERMAL	NIL	NIL	50	3.5
TOTAL	422.5	100.0	1427	100.0

一方わが国では、前節で述べた如く太陽熱発電立地候補地面積は少なく見積っても約 13.2×10^4 ha であり、発電可能電力量を推定すると、年間およそ 1.2×10^8 MWh となる。これはわが国の2000年における電力エネルギーの需要予測量の6.3～7.5%に相当し、太陽熱発電所をピーク負荷用あるいは中間負荷用に適用することを考えればエネルギー需要量の一担をになうに十分な潜在的なポテンシャルがあると云える。さらに技術の進歩、土地の効率的、多目的利用を考慮すれば、上記発電量はさらに増大しよう。

またわが国では表3.3.3に示すように2000年で太陽、地熱、燃料電池などの新エネルギーによって2%程度（設備容量として10MW、電力需要量として 3.8×10^8 MWh）供給できると期待されている。

表 3.3.3 各種発電方式の設備容量の期待値

		1970年 (昭45実績)	1985年 (昭60)	2000年 (昭75)	2025年 (昭100)
所要電源容量 (10 MW)		5.5.9	22	46	73～98
電 源 容 量	水 力 〔内揚水〕	1.9 (32%)	5 (23%) 〔2〕	9 (20%) 〔5〕	16 〔11〕
	火 力※	3.87 (66%)	11 (50%)	13 (28%)	10
	軽水炉 高温ガス炉	0.13 (2%)	6 (27%)	17 (37%)	17
	高速増殖炉	—	—	6	20
	核融合炉	—	—	—	10～35
	太陽・地熱 燃料電池	—	—	1 (2%)	
	M H D 他	—	—	—	

※ 火力にはガスタービン、ガスタービン—蒸気タービン複合発電、石炭ガス化・液化火力

LNG火力を含む

3.3.2 波及効果

太陽エネルギーは純国産エネルギーであるため今後研究開発が進み太陽熱発電を始め各種の発電システムが実用化されればわが国のエネルギー自立の一助となることは十分期待できる。

太陽熱発電システムを構成する各種の材料、例えば集熱部を構成する各種集熱材料、その製造方法、蓄熱材料、断熱材料などの開発技術は、他の新エネルギー資源開発の為に各分野、さらに省資源、省エネルギー関連の分野に適用されることが期待できる。また変動する太陽エネルギーを入力源とする太陽熱発電所のシステム制御技術も従来のシステム制御技術に付加されることになる。さらに公害の極めて少ない発電システムであることから公害の軽減と環境

保全が促進されるであろう。

3.4 研究開発のあり方

3.4.1 太陽熱発電実現のための一般的方策

太陽熱発電を実現させるための一般的方策を列記すれば次の様である。

- (1) 技術的・経済的観点からその可能性を検討するためのテストプラントの建設。
- (2) 研究開発費の投入と研究開発体制の確立。
- (3) 研究者・技術者の育成。
- (4) 研究開発の国際協力。
- (5) 国民の太陽熱発電所への関心度の高揚。
- (6) 税制・金融上の配慮。

これらの事項はいずれも長期に亘ってその促進を計る必要があるが、当面の課題として、1Mwe～10Mweクラスの太陽熱発電テストプラントを建設し、技術的、経済的な観点から総合的な検討がなされなければならない。

3.4.2 研究開発項目

今後の研究開発課題として、システムの高効率・長寿命化、経済化と最適発電容量と未来の電力システムとの協調、運用方式に関する研究などが挙げられるが、具体的な項目としては、次のような事項があげられる。

(1) 要素研究

- (a) 集熱サブシステムの高効率、低価格化および長寿命化のための研究、特に選択吸収面、選択透過膜、反射鏡面材料、集熱管の不均一加熱による熱応力の研究など。
- (b) 熱伝達サブシステムの研究、特に非定常入力エネルギーによる気液二相流、ヒートパイプの研究
- (c) 蓄熱・熱交換サブシステムの研究、特に高性能蓄熱媒体、蓄熱・熱交換の構成法の研究など

(2) システム研究

パイロットプラントを設計試作し、トータルシステムとしての運転特性、高換効率、各要素の劣化特性、保守方法、経済性評価、信頼性評価、保護特性を明らかにし、トータルシステムの最適設計法、運転制御方式を確立するための研究、さらに既存の火力、原子力発電システムなどと太陽発電システムの協調、また太陽熱発電システムの特徴を活かした運用方式、将来予想される地域分散化形態の動力システムに対応した役割、協調性などを明確にする。

3.4.3 国際協力

わが国では、米国と政府間レベルで日米エネルギー技術協力に合意し今後日米双方の太陽エネルギー利用技術に関する研究を効果的に進め、連系を保つための具体的な検討が進められている。またOECD加盟諸国で構成しているInternational Energy Agency (IEA)に日本も参加し、エネルギーR&D委員会の中で太陽エネルギー利用技術に関する全般的な検討が行われている。特に太陽熱発電については小規模太陽熱発電テストプラントの建設に関する検討がW・Gで行われており今後の成り行きが注目される。

この様に太陽熱発電の研究開発は最近軌道に乗ったばかりであり国際協力によって研究開発をさらに促進させることは極めて大切なことである。この場合単なる情報交換に止まらず、専門家、研究者の相互交換やKnow, how, patentの相互使用など多面的、立体的な体制を確立する必要がある。

3.5 ま と め

エネルギー資源の有限性，地球環境浄化容量の有限性などを考慮すれば，将来のエネルギー供給手段として太陽熱発電は主要な担い手となることが予想される。太陽熱発電の技術レベルは現在基本的技術が実現した段階にあるが，将来これに応えるためには，技術的な確立と同時に充分経済的なシステムを開発する必要がある，今後各国，各地の異なる気象条件に適合したシステムを確立しなければならない。

参考文献

- (1) 総合エネルギー統計（昭和51年度版）：資源エネルギー庁長官官房総務課編
- (2) Creating Energy Choices for the Future, ERDA-48 Vol. 2 of 2(1975)
- (3) J・F Van Straaten ; the Otilization of Solar Energy, the Second Southeastern Conference on Application of Solar Energy, Louisiana (1976 . 4)
- (4) 一次エネルギー源の電気エネルギーへの転換とその輸送に関する研究 電気学会，電気エネルギー転換輸送委員会
S 4 9. 1 1

第4章 太陽光発電

4.1 背景

1974年の石油ショックを皮切りにわが国も来るべきエネルギー高価格時代を迎えて、エネルギーの自給率を高めるための方策を真険に探る必要がある時期になっている。1月28日に経済協力開発機構(OECD)より発表された1986年までの世界エネルギー需給の展望に関する報告書は先進国が省エネルギー政策と新エネルギー開発を二本の柱として将来の石油消費量の低減をはかることを要請している。

わが国の新エネルギー開発計画の二本の柱は原子力開発と通産省工業技術院が指導しているサンシャイン計画である。太陽エネルギーを直接電気に高換して利用しようとする太陽電池を用いた太陽光発電システムはこのうちのサンシャイン計画により1974年7月以来、国立機関および数社の民間企業により検討が進められている。

サンシャイン計画における太陽電池開発は現在最初の3年間の初期段階終了時期にある。過去3年間は主として太陽電池のコスト低減を目標として太陽電池用材料のコスト低減に関する基礎研究が進められてきた。サンシャイン計画では1980年までを基礎研究時期、以後を生産までを含めた実行時期としている。計画スケジュールでは1980年までに太陽電池モジュールのコストを150円/ピークW程度(計画開始時の価格の約1/100)に低減する技術の目処をつけることになっている。

具体的な計画内容は(表4.1.1参照)

- (1) リボン単結晶の成長技術の開発
- (2) 太陽電池用薄膜シリコン成長技術の開発
- (3) CdS太陽電池の研究
- (4) シリコン太陽電池製造自動化の研究
- (5) 太陽電池の基礎研究

などであり、それぞれの分担により協力体制をとりながら実行されている。

米国においても、まったく同様の認識から同様の国家計画が立案され実行されている。太陽電池関係ではERDA(エネルギー研究開発局)の指導の下に計画が進められている。研究予算は1977年に約190億円とわが国の50倍におよぶ巨費になっており米国の新エネルギー開発にかかる熱意が感じられる。ERDAの計画目標もわが国のサンシャイン計画のそれとほとんど同一であり、1985年には50セント/ピークWの価格をもつ太陽電池アレーを生産できる技術を確立するというものである。このためERDAは計画をつぎのような分野にわけ国内有力企業に研究開発を委託している。(表4.1.1参照)

- (1) 太陽電池材料のコスト低減技術の開発
- (2) 大面積の結晶成長技術の開発
- (3) 太陽電池アレーのパッケージング技術の開発
- (4) 太陽電池製造の自動化、コスト低減技術の開発

わが国におけると同様に、現在までの開発の重点は太陽電池用シリコン材料のコスト低減技術に置かれていたが今後しだいに製造技術、システム研究へと開発の重点が移っていく計画である。

フランスあるいは西ドイツも日本と大体同様の予算規模の下で同じような研究計画を立案し、1980～1985年を目処に太陽電池発電システムの第一段階の実用化を目指している。

これらの計画はいずれも2000年代の新エネルギーを求める長期計画であり、技術の方向づけ、技術開発のスピード、

企業協力の育成など多くの困難な問題をかかえていると云える。

一方、現在の太陽電池発電技術の状況はどうであるか。

太陽電池の価格はこの2～3年急速に下落し太陽電池モジュールの価格で約15ドル／ピークWになっている。しかしこの価格も、後に述べるように、太陽電池を一般的な電源として商用電源の代りに用いるには高価すぎる。このため現在では太陽電池の用途は商用電源を用いることが困難か、あるいは非常に費用がかかるような場合に限られている。代表的な例は宇宙空間における電源として人工衛星に搭載されている太陽電池である。事実、数年前までは太陽電池の一般利用が比較的進んでいる米国においても太陽電池電源の生産量の90%以上は人工衛星用であった。太陽電池が地上で用いられる例としてはマイクロ波中継局、テレビステーション、砂漠の揚水ステーション、鉄道、油田地帯などにおける電源がある。また最近、ここでいう電源という意味では特殊な応用例ではあるが、電卓、ラジオ、時計などの民生用機器への応用も目につくようになってきている。これらの用途はいつれも太陽電池が一般電源用として大規模に用いられるに至るまでの段階的な用途として重要なマーケットを形成すると期待され民間企業の興味を喚起する意味でも重要である。

サンシャイン計画により調査研究を受託している日本電機工業会太陽光発電専門委員では太陽電池アレーを大量に生産し、例えば10MW級の大規模発電所を作ることを検討している。このためには大量生産技術を確認し、製造設備を確保する必要がある。したがって、最終的にはこのような大規模太陽電池発電所の建設が利益を生むことが必要であろう。何故ならもしこのような大規模太陽電池発電所の建設が企業あるいは国家として利益を生む可能性がなければあるいは石油エネルギーをはじめとするエネルギーの高価格を考慮してもその発電コストが他の発電方式におけるコストと競合できなければ企業、あるいは国家がこれについて研究投資、設備投資を行う必要性がないことになりこの技術は完成されないであろう。この点については研究の各段階において十分な検討が加えられなければならない。

純粋に技術的にはこの技術は実現できると考えてよい。そしていくつかの条件が満足されればこれが利益を生むようにも出来る。わが国はこの条件を満たしているであろうか。

地上に降り注ぐ太陽エネルギーの総量は極めて大きい。しかしその密度はピーク時で約100mW/cm²(1W/m²)と小さく昼夜、四季の変動を平均すると平均密度はさらにその1/10以下となる。したがって例えば10MW(ピーク)の発電量をもつ太陽電池発電所を実現するためには太陽電池の高率を10%として10⁵m²の面積の太陽電池アレーを必要とする。

太陽電池モジュールの価格、土地代金、建物、送配電設備費、返済金、償却費、金利、税金、人件費、その他消耗品費を加え上の規模の太陽電池発電所の建設費を試算し、これより寿命を20年として発電コストを試算すると太陽電池モジュールの価格が130円／ピークWとなった場合にも発電コストは50円～120円/kwhとなりガスタービンを用いた最も高価なピーク電力発電コスト、25円/kwhと比較しても高価すぎるという結果が得られる。発電コストの内訳の大きいものは太陽電池価格、土地代金およびこれらの購入返済金、金利である。ここにわが国における大規模太陽電池発電システムの問題点がある。この問題を解消することが上に述べた太陽電池システムが利益を生むための条件である。わが国における太陽電池発電システムの開発このような状況をよく理解した上で進められる必要がある。

このような困難は、他の、より太陽電池発電システムを実現するに適した土地、例えば砂漠、荒地を多く有する中近東諸国、米国ではかなり事情を異にするであろう。さらにわが国は北緯40度という高緯度に位置し、太陽高度の季節変動が大きく、太陽電池出力の季節変動が大きい。また6～7月の太陽高度が高い時期に梅雨期をもち、ほとんど日照が得られない大きな欠点を有する。

このようにわが国は太陽電池を用いた大規模発電システムを開発するには必ずしもめぐまれた位置にない。

以上の観点にたてばわが国が太陽電池発電システムとして工場、家庭の屋根上或いは、鉄道道路の上部空間に設置することの出来る分散形小規模発電システムを最初の目標としたことは賢明である。規模として、蓄電池、サイリスタ（DC-AC変換器）を備えた10～30㎡の太陽電池パネル（ピーク出力1～3kW）を考え、パネルを屋根材の一部とする考えを入れると寿命20年の場合発電コストは15円/kWhとなる。これは現在の商用電力の価格と競合し得る値である。しかもこの場合のコスト内訳の大きなものは太陽電池モジュールでありそのコスト低減の効果は著しい。これが大規模発電システムの場合との相異であり、太陽電池発電がまづこのような小規模な応用から実用化されると示唆するものである。

環境破壊、公害問題について、大量にシリコン太陽電池を製造し、使用する状況を仮定して行った第一次検討の結果では重大な問題は起らないとの結論を得ている。しかし大規模発電所を建設する場合には広い地域における日照熱バランス等の環境問題をさらによくつめる必要がある。

4.2 実現可能性

4.2.1 太陽光発電実現のための条件

先きにあげたERDAの開発計画とサンシャイン計画の目標の概略を第(4.1)にまとめて示した。いづれの計画によっても1985年には150円/ピークWの価格の太陽電池モジュールを生産できる工場が稼働していると考えてよい。これを基盤とすれば太陽電池を用いたMW級の発電所の建設は純粋に技術的には2000年前に十分可能である。このような太陽電池発電所が現実建設されるかどうかは一に、その発電コストがエネルギー高価格時代に経済性を持ち得るかどうかにかかっている

太陽電池のコストは太陽電池発電所の建設費の一部にすぎず大きな部分は土地代金をはじめ太陽電池と無関係なものが占める。これを低減するには太陽電池の効率を高めることが極めて有効である。シリコン太陽電池の効率は実験的には最高15～18%に及んでいるが実用上は13～15%が最高値であろう。しかしこれでも先にふれた計算例で用いた効率、10%の場合に必要な面積を30%小さくでき、これが発電コストにあたえる影響はかなり大きく、たとえば大規模発電のコストも35円/kWhとピーク電力の価格に近くする、また価格が無視できるような安価な太陽電池であってもその効率が臨界値、例えば8%をこえていなければそれを用いた大規模発電所の発電コストは代替エネルギーとしてひき合わない程高価になる、という言葉はこの事情をあらわしている。このような効率の改善と社会情勢の変化にともなう政策の変化によって土地の購入が大規模太陽電池発電所の建設に有利になればわが国においても大規模システムは実用になり得る。米国あるいは中近東諸国のようにこの点についてすでにわが国より有利な立場にある国での実現はより早いであろう。米国ではこの時期を1990年頃とみている。

小規模システムはわが国においても1985年には実現されると思われる。システム規模は1～3kW（ピーク時）である。価格は20～50万円になるだろう。このシステムを商用電源とハイブリッドで使用すれば発電所のピーク負荷のあるもの、例えば夏季の冷房用電力の一部を補うことが可能である。最初のモデルでは蓄電池を使用することを考えているが、さらに進んだモデルではこれを除いて考えることもできる。このシステムでは交流に変換された太陽電池出力は商用線に直結されている。そして家庭内、あるいは工場内での電力消費以上に発電した電力については商用線を通じて配線系統へ逆流していく。このとき積算電力計が逆回転して余剰電力を電力会社に売ることが可能であれば装置の設置意欲は大きいものになる。1kWの装置が発電できる電力量は月平均70～100kWhとなり一般家庭では消費電力の1/3程度がまかなえることになる。寿命を20年と考えると発電コストは15円/kWhと

なり商用電力コストと同等になり得る。

4.2.2 技術的困難

太陽電池発電システム実現のために解決する必要がある技術的困難は

- (1) 価格低減に関する問題（素子価格低減，高効率化，長寿命化）
- (2) 商用電源との適合性に関する問題
- (3) エネルギー貯蔵，伝送（運搬）に関する問題

等である。太陽電池発電システムが実用化されるためにはまず太陽電池モジュールが安価に大量に生産される必要がある。さらに重要なことはこのようなシステムが他のエネルギー系統とうまく調和がとれる必要がある。このような考えをもとに先に示したERDAの研究開発分野あるいはサンシャイン計画を見なおしてみると後者では実行計画が材料面にかたよっているきらいがあるがこれらが上の要求をすべて消すように考えられていることが理解できる。

具体的には太陽電池材料の低コスト化については

- (1) シリコンリボン結晶引き上げ技術の開発
- (2) 薄膜太陽電池材料の検討
- (3) 原料シリコンの低コスト化，省エネルギー化
- (4) 大口径インゴットの成長技術の開発

等がそれぞれ太陽電池用大面積シリコン結晶の開発を目標に進行中である。

パッケージング開発関係は太陽電池開発に比して軽視されがちであるが，主要な問題であり，ERDA，サンシャイン計画において各々検討がはじまっている。

大量生産技術関係ではスクリーン印刷技術をはじめ膜状の素子製作を念頭に太陽電池製造の連続化，自動化について検討がはじまっている。

最後に太陽電池の高効率化については

- (1) 新しい半導体材料（化合物半導体など）の開発
- (2) 新しい太陽電池構造の開発
- (3) 集光装置を備えた太陽電池システムの開発

などについて計画が進行中である。

4.2.3 資材面への影響

10MW級の大規模太陽電池発電所を建設するに必要となる太陽電池の面積は 10^5 m^2 である。いま太陽電池を構成するシリコンウエーハの厚みを 200μ とすると必要な原料の重量は表面積の利用率を90%として約52トンとなる。インゴットをスライシングするときの損失を50%とするとこの値は直ちに2倍になる。これはわが国のシリコン単結晶年間生産量の約2倍である。

一方，1985年における年間電力消費量を 2×10^{12} kWhとしその1%を太陽電池発電システムで得るとした場合に要するシリコンの量は年間の発電量として 140 kWh/ m^2 をとると， 1.43×10^8 m^2 となる。これを10年間で生産するとしても年間 1.43×10^7 m^2 ，すなわち10MW/年を発電できるに相当する太陽電池の製造工場が143ヶ所必要である。

このように大量のシリコン太陽電池を生産する場合でもシリコン原料については原理的には資源的限界はない。また電極材料（Al，Cu，Sn，），パッケージ材料（ガラス，プラスチック）あるいはこれらを製造するための材

料についても問題はない。しかしながら同様な発電所をGaAsのような化合物半導体を用いて構成、実現しようとする場合には限界があると考えた方がよい。また材料、電池コストもシリコンの場合のように低減できない。このため集光技術のように必要な太陽電池の数を少なくできる技術が並行して開発されねばならない。この場合には資源限界は問題にならないだろう。

またこのように大量の太陽電池を設置した場合でも設置場所、熱バランスに注意すれば公害発生を防止できる。装置の廃棄にあたっては適切な処理をほどこすことにより公害物質の発生はおさえられる。

しかしシリコンの精製、結晶化あるいは太陽電池の製造工程では思わぬ公害の発生があり得る。現時点での検討では原理的には無公害化できると考えているが、計画実行にあたっては注意深い検討が必要である。

4.2.4 土地利用

わが国の土地価格は先進工業国の中では極めて高い。このため、すでに述べたように大規模太陽電池発電所を建設するには有利な立場にない。例えば米国で南西部に利用価値の低い砂漠地帯が広がっている。この土地を利用してエネルギー生産が可能となれば土地の利用効率は現在のように放置されている場合より高くなると考えてよい。わが国では大部分の土地については太陽電池によるエネルギー発生より効率、生産性のよい利用方法がある。とくにエネルギーの消費地帯に近い地域ではこの傾向が著しい。従ってわが国では土地を主として太陽電池発電に用いるのは得策でなく、他の目的に利用されている土地をさらに副次的に利用する形態をとる必要がある。この意味で高架鉄道、道路の上部空間、ビル、家屋の屋上、原子力発電所の緩衝地帯など具体的な場所が提案されている。

小規模システムのように一般家庭の屋上に設置する方式は高価な土地を消費しないという意味からも有利な方式である。しかも電力を消費する地域に発電所を設置することができる。太陽エネルギーのように分散した（密度の低い）エネルギーを利用する場合にはそれを一度集中した後配分する、従来の集中発電方式は有利でない。分散したままこれを利用する小規模システムの利点はここにも明らかである。

4.3 実現した場合の効果

4.3.1 エネルギーシェア

上に述べたように電力消費のたとえば3%を太陽電池発電でまかなうとした場合でも必要な太陽電池面積を生産するための製造装置は現在のシリコン半導体工業の規模を大きくこえる。またこのような発電所を充足する土地についても利用効率が悪いことを覚悟する必要がある。とくに主たる工業用電力として太陽電池を用いるには発電電力量の時間変化をおさえ、また要求に対して敏速に発電量を調達するためのコントロール（貯蔵）方式の開発、このための設備投資が行われなければならない。

現在このための方式として揚水発電所、あるいは、新しい技術としてバッテリー貯蔵庫が考えられているが、太陽電池発電システムにおけるこれらの役割は現在の発電システムにおけるそれに比して主要である。

米国においてもERDAの研究計画がスケジュール通りに進行した場合に期待できる太陽電池発電システムの全電気エネルギーに占める割合を3%と見積もっているのはこれらの事情によると考えてよい。

以上のように太陽電池発電システムのエネルギーシェアはあまり大きくならない。しかし工業用電力、冷房用電力のピークと日照の最適時が一致していることから一部のピークロード対策の電力としては有効である。この場合、競合すべき発電コストも最も高価なピーク電力コストであり困難がやや少ない。

4.3.2 波及効果

太陽電池が汎用電力の生産に使用できるレベルに開発が進んだ時点での波及効果はどのようなものであるか。

まづ原理的にはどのような地帯においても経済的に電源を入手できるようになる。この効果は土地の利用効率を高める意味で重大である。例えば従来エネルギーの入手が不可能であったため利用できなかった土地の利用が可能になる。同じ意味から通信、情報システムの構成が容易になるであろう。具体的には離島の電源、砂漠の灌漑用水ポンプ電源、砂漠、岳地帯の通信網電源、衛生地上局電源、等々。これらは波及効果というよりは未来の目的に近いものというべきかもしれない。

つぎに新しいエネルギー体系の確立を促進する可能性がある。太陽電池が発生する電力は直流低電圧である。これは水の電気分解＝水素の発生に最適である。太陽電池により太陽エネルギーを水素エネルギーに変え、これを液化あるいは金属の水素化物として貯蔵、運搬、使用する燃料電池にも考慮した体系を確立すれば石油のエネルギー源としての地位を置き換え得る。

また間接的に産業全体としてシリコンの扱い量が激増するための波及効果があると考えられる。現在LSI開発のため10mmφのシリコンウェーハが使用されはじめている。従来これが15mmφにまで大きくなるとの予想もある。この場合、製造工程、装置は小口径ウェーハを扱って従来の様式とはかなり異なったものになる。太陽電池の研究開発において検討し始められている素子自動化技術はこの意味でシリコン製造技術の発展に大きく貢献するであろう。同じ意味から半導体工業の無公害化などに対する技術的寄与も大きい。

4.4 研究開発のあり方

4.4.1 研究開発の方向

わが国における太陽電池発電システム開発の技術目標、開発スケジュールはサンシャイン計画に従っている。計画発足後約3年が経過したが技術問題に関して計画自体に大きな変更を必要とする事態はおきていない。むしろ計画の技術的内容については諸外国との情報交換の結果、その妥当性が確認されたと考えてよい。しかし計画の最終目標達成の方法、とくに研究資金収入の方法にいくつか新しく検討を必要とする問題が出はじめている。以下これらについて述べてみる。

サンシャイン計画発足時の最終目標は定性的にはわが国において大規模太陽電池発電所を実用化し、クリーンエネルギーによってエネルギー自給体制を固めようとするものであった。しかし計画の進行と共に、計画目標実現、とくに大規模発電所の建設のような計画の実現につれ経済性に関連した困難が生じる可能性もでてきている。経済的困難が明らかになりこの最終目標がわが国で実現できるとは確実に云い切れない面もでてきている。このような情勢下で計画を支障なく進行させるためには最終目標をブレイクダウンした形でのより実現し易い目標を掲げ、政策的にこれを支持する必要がある。

4.4.2 太陽光エネルギー利用促進のために期待される側面的施策

このような意味から第一の目標として1985年を目処に一般家庭の屋根上に設置することを前提とした小規模システムの実現をあげたい。太陽電池のパネルを作ることは十分可能であり、経済的にも十分現在のエネルギーを代替できる可能性がある。このシステムの実現にはいくつかの政策的な援助が有効である。例えば電気事業法に関して各家庭が発電しこれを使用あるいは電力線に供給することの問題、屋根上にこのシステムを使用することに対して税法上の優遇をあたえてその設置を助ける問題、あるいは電力の消費量に応じてその設置を義務づける問題などについて考えられねばならない。

第二の目標としては技術輸出を考えるべきである。大規模太陽電池発電技術はわが国では実用化されなくても中近東砂漠国、あるいは緯度の低い開発途上国では実用化され得る場合がある。小資源国であるわが国の将来が大きく技術輸出に依存することを考えたときこれらの地域に対する技術輸出あるいは技術協力に対する代償としてエネルギーを入手することも考えなくてはならない。

このような見地からサンシャイン計画の遂行にあたって現在の長期的な開発努力に加えて当面以下のような具体的な計画が実行されることが望ましい。

(1) 小規模実験システムの設置

適当な都市近郊に小規模実験システムを設置し、実際にこれを運用し価格以外の太陽電池システムの問題点を明確にしその技術的解決をはかると共に実用面での位置づけを明確にする。システム規模としてピーク時発電量5～10kWを考え、DC-AC変換器、蓄電池を備えるものとする。この規模は実用的には各種の通信システムの交換局、中継局の必要電力に相当し、商用電力との結合も含めた大規模化を目標とした実装、運転技術を検討するには最小規模である。この設備により具体的にはつぎの事項について評価、検討を行う。

- (a) システムの構成、規模の最適化
- (b) 送電線との結合実験、評価（発電所からのコントロールを含む）
- (c) 土地利用効率の評価

(2) 需用拡大政策の採用

半導体素子のコストは定常的な生産量の増大と共に下る、いわゆるスケールメリット（量産効果）が著しい。勿論サンシャイン計画の目標を単にスケールメリットのみで達成することは不可能であるが現在の数分の1にすることは可能である。

太陽電池発電システムは小規模システムでも現在の市場にでている太陽電池数量と比較して極めて大量な太陽電池を使用するためこの量産効果を十分に期待することができる。しかし、ここにジレンマが存在する。すなわち現在の太陽電池の価格は高価すぎて特殊な用途にしか利用されず従って需要量（市場）が小さく企業の設備投資意欲をそそらず大量生産は実現しない。一方価格を下げるためには大量生産が必要である。このループは市場が約束されたものであれば過去のTV、自動車、電卓、VSIなどの例に見られるように自然にフィードバック効果がおこり成長が始まる。残念なことに太陽電池の将来は必ずしも約束されたものではない。この場合ループをやぶり成長路線にのせるためには外部からのエネルギー（資金）を導入する必要がある。例えば国が補助事業の一つとして1)で述べたような実験局を計画的に設置することを前提に企業に太陽電池を計画的に発注するような政策をとれば企業側も設備投資が可能となり太陽電池のコスト低下にともなって一般の市場も拡大すると期待できる。現在民生機器に太陽電池を応用する動きなど、太陽電池に対する興味が強くなっている。この機運を逃すべきでない。

米国ERDAも同様の計画をもつ。毎年一定量の太陽電池を民間企業に発注し、市場拡大政策をとっている。その量は1976年から1982年まで毎年約倍増し、1982年には3,000kWに達する。この政策は市場の物理的な拡大という意味と国が積極的に太陽電池を使っていくつもりであるという特別的支持をあたえる意味で重要である。

(3) 開発方針の決定と開発努力の集中

サンシャイン計画の初期段階ではすでに述べたようにどの材料を使用しどの方向に進むべきかを決めるための基礎研究が中心であった。計画開始後3～4年たった現在進むべき方向を決定し研究開発努力を集中すべき時期にきている。現在、リボン単結晶と薄膜、多結晶太陽電池についてそれぞれ検討が進められているが結論が出るに至っ

ていない。ここで必要なことはできる限りすみやかに予定どおり材料に関する開発方向の選択を行い開発努力を集中すると共に計画のつぎのステップである素子製造技術、システムの研究に進む努力をすべきである。

4.4.3 長期計画（具体的研究開発目標）

太陽電池発電システム開発の長期計画は技術的にはサンシャイン計画にあるように材料の選択、素子製作自動化技術開発、システム決定、量産技術確立、システム設置などのステップに従って実行すればよい。しかしこれが実行されるかどうかはくり返し述べたように多分に政策的な支持が得られるかどうかにかかっている。とくに量産技術の確立にあたってはそれに合致した市場の実現が要求される。現在のように安価なエネルギーが現実に入手できる場合に仮定の条件の下で量産技術確立に必要な投資が行われ得るであろうか。前もって準備が行われていない場合にエネルギー枯渇が現実のものになったときに太陽電池が要求されたとしてもそのように大量のシリコンをプロセスする設備を急速に立ちあげることができるとは考えられない。

この意味から太陽電池発電システム開発の長期計画はつぎの諸点を考慮の上立案、実行される必要がある。

まず計画は(1) 研究開発、(2) 需要育成（市場）、(3) 生産能力育成（供給）を三本の柱とする必要がある。現在のサンシャイン計画は(1)の分野、それも材料面に重点が置かれすぎているきらいがある。

技術面についてはすでに述べた研究開発計画が実行されればよい。

供給体制の確立を助けるためには企業あるいは公的機関が設備投資を行う援助をする必要がある。このためには先に述べた実験発電所の設置、あるいはERDAの施策のように計画的にかなりの量の太陽電池を購入するために資金を投入することは有効である。この施策は、サンシャイン計画の長期スケジュールを満足させるためには、1980～1981年には10～20kwの太陽電池発電装置が1985～1987年には10～100MWの太陽電池の製造が商業的に可能になるように実行されねばならない。また計画で開発された技術を広く一般に開放し潜在的な生産能力をあげ、市場を刺激することも重要な施策である。

最後に長期計画の遂行にあたっては常に、経済、社会、環境あるいは代替技術の立場から太陽光発電システムを比較検討しその有効性を確認していくことが重要である。

4.5 まとめ

太陽電池発電システムを実現するための最大の困難はシステムの高価格である。この価格を決定する要素は太陽電池価格、太陽電池効率、土地価格であった。わが国ではとくに土地価格が大きな割合をしめる。このためわが国で太陽電池発電システムを利用できるためにはそれがいくつかの条件を満足する必要があった。一般家庭の屋根上に放置できるハイブリッド形式の小規模太陽電池発電システムはこの意味で実現可能なシステムである。

太陽電池発電システムを実現するためのもう一つの困難はシリコンの扱い量が現在の半導体工業の規模をはるかに越えることに関連がある。これが可能になるためには技術開発以外にこのような産業基盤を育成していく施策が必要となる。サンシャイン計画はこの意味では満足と云い難い。米国ERDAの計画にあるように市場の拡大を助ける具体的な施策が希望される。

表 4.1.1

1 ERDA 研究開発項目(1980代前半)

- (1) production of low cost silicon material
- (2) large area crystal growth and high volume sheet production
- (3) array encapsulation materials and techniques
- (4) improved cell and array design
- (5) high-volume, cost-effective, environmentally-satisfactory, automated array assembly techniques

目標日程

1985年までに年間生産量500MW級のシリコン太陽電池を500/kw(ピーク)の価格で生産する工場を建設する。また多結晶太陽電池アレイ価格を\$100~\$300/kw(ピーク)まで下げる。

2 サンシャイン計画研究項目(1974~1977年)

- (1) 単結晶シリコンリボン結晶太陽電池の開発
- (2) シリコン薄膜太陽電池の開発
- (3) CdS系太陽電池の研究開発
- (4) 太陽電池システムの開発

1977~1980年(第一期計画終了年)においては

- (1) 太陽電池の製造の自動化
- (2) 原料シリコンのコストダウン研究
- (3) 太陽電池生産テストプラント建設

などが計画されている。

サンシャイン計画(第一期, 1974~1980)の目標

現在の技術で太陽電池発電システムを構成した場合に比し価格が実質で1/100以下となる太陽光発電システムを製造する技術の可能性を究明する。

第5章 太陽炉

5.1 背景

太陽炉専門委員会は、“高温且つ多量のエネルギーを消費する産業”のうち太陽炉を用いて代替しうるものについて研究することをその主要目標としている。しかしながら、一般産業に見られるこれらの産業の代替として太陽炉を活用することについては、まだ時期尚早であって、当面は太陽炉の持つ特性を十分に生かした形で徐々に進行すべきものと思われる。即ち、太陽炉の持つ特性としては、

- ① 非常に高い温度が得られること。(3500℃以上)
- ② 容易に急熱急冷ができること。(瞬時的に)
- ③ 自由に雰囲気を選択することができること。

等の優れたものを持っており、欠点としては、気象の影響を受けやすく、高温になればなるほどその影響は大きい。

現在、研究用として使用されている太陽炉は世界的に、およそ160基を有し、わが国でも、名古屋工業技術試験所並びに、東北大学など合計4基を持っている。さらに、これらの太陽炉はほとんどが固定式のもので、温度も2,000～3,000℃位のものが主体となっている。エネルギー源としての太陽炉はエネルギー密度の高い部分(焦平面で、 $d = 1 \times$ 領域)に100%の反射光が集まるものではなく、高温になればなる程太陽像つまり加熱面積は小さくなる。しかしながら、現在では、その利用目的に応じて4,000℃近くまでいろいろな温度の太陽炉が作れるようになっている。

従って、太陽炉による研究又は試験或いは、特殊目的の生産などに太陽エネルギーを利用することは非常に便利になってきた。さらに、例えば、砂漠の砂を加熱してセラミック道路を建設する目的で移動式のものまで想定されるようになってきた。

従って、太陽炉の特性を生かした特殊目的のものが代替産業として名乗り得る可能性を秘めていることは勿論、全く新しい産業、例えば、“太陽熱化学工業”としてもいわれる産業の誕生も夢ではないと思われる。このためには、その目的に応じた太陽炉を如何に効率よく、しかも太陽炉のもつ特性を十分に發揮しうるものを経済的(装置の建設コストもさることながら、寿命に大きなウエイトを占めた)に成り立たせるかが最も重要な鍵となる。幸い太陽エネルギーは無限であり、クリーンでしかも、環境をこわすことのない貴重な資源であるため、これを活用して従来からの化石エネルギー利用産業の代替もしくは、全く新しい産業の育成、発展のため、より一層の努力が必要である。

5.2 実現の可能性

5.2.1 時期および費用

研究用としての太陽炉は既に記した如く世界に約160基があり、わが国でも名古屋に2基(近く1基増設)、東北大学に2基がある。

従って研究又は試験・或いは特殊目的の生産用に直接太陽エネルギーを利用することは、その規模を問わさなければ、今すぐにも可能でその費用もフランスピネー(CNRS)の例によれば、1000kw t級の太陽炉で20～40億円、又東北大学の50kw t級で6,500万円(1964年)と聞いている。今後新しい大型放物面鏡を作れば、50万円/kw t位見込まれるが、将来1/10位まで引き下げることとも可能といわれている。太陽炉によって作り出されるエネルギーを単にそのコストからのみ考えれば、その実用性が生じてくるのは、太陽熱発電の実用化後の事となろうが、直接、化学反応等に利用する目的であれば、その取り上げるテーマにもよるが、かなり早い時期に実用化が可能となることも考えられる。

5.2.2 技術的困難性

用途にもよるが、太陽炉自体としては、炉心の構造、気象変化に対応する温度制御（補助エネルギーとの Compatibility、高温蓄熱材等）、パラボラ鏡面の経済的成型法、反射面の耐候性などいくつかの問題がある。太陽炉専門委員会では、太陽炉の持つ特性を生かしつつ、与えられた目的に最も適した太陽炉を考えるため、大きく分けて次の3項目を検討している。

(1) 超高温を利用した特殊耐火物の研究

(a) 遠心空洞炉を試作して Al_2O_3 、 $\text{MgO}-\text{CaO}$ 、 $3\text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{SiO}_2$ 、 $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ などの熔融を行い所要エネルギー及び経済性を検討。

(b) Smoke Magnesia のキャラクタリゼーション。

(c) Zircon Sand の表面熔融、溶着の検討。

(d) Zircon 熔融物より ZrO_2 の分離研究。

等のほか、「無重力下における太陽炉の利用」についても検討が進められている。

(2) 太陽炉によるシリコンの製造研究

光発電に使用されるシリコンを原料けい石から、すべて太陽エネルギーを利用して造ろうとするもので、次の工程に分かれる。

(a) 第1ステップ……けい石と炭材からの金属けい素の製造

(b) 第2ステップ……金属けい素からシランの製造

(c) 第3ステップ……シラン精製

(d) 第4ステップ……シラン分解、シリコン多結晶の製造

(e) 第5ステップ……シリコン多結晶から単結晶の育生

以上のうち、(a)、(d)、(e)の工程に問題があり、名工試の太陽炉で実験を行っている。

(3) 化学反応を伴う高温操作、その他の検討

(a) 化学反応を伴う高温操作として水性ガス、蓄熱材料、等の検討

(b) 太陽炉の立地条件を含めた同炉の経済性、安全性、保守管理等の検討

尚、東北大学にある太陽炉でも耐火物原料の熔融実験が行われており、更に、前記ピレネーの1,000kw炉炉ではジルコニア150～200kg/h、アルミナ150kg/h、シリカ200kg/hの熔融が可能との報告もなされている。

5.2.3 資材面への影響（評価法、エネルギー等価換算、etc）

太陽炉の使用材料としては、ガラス、鉄、アルミニウム等が中心であり、大規模なものが数多く建設されるという公算も少ないようであり、資材面への影響は軽微のものとなろう。

5.2.4 社会的アクセプタンス

現在、甚だ残念ながら、太陽炉についての認識は非常に乏しい。従って、これを受け入れさせるためには、太陽炉並びに、その持つ特性を理解させることが、まず先決であろう。

幸い、サンシャイン計画の発足により、太陽炉という名は知られてきたが、その特性についての認識はまだ不十分といわねばならない。これまでの研究において、すでに太陽炉としては

(1) 光射熱で超高温が得られること。（3,500℃）

(2) 急熱急冷ができること。（瞬時に）

(3) 自由に雰囲気を選択できること。

などの優れた特長があることが確認され、これに見合った研究、試験、或いは特種目的の生産に適合するものを開発しうる確信をもつに至っている。既に、研究又は小実験のための小型太陽炉は、わが国にもあり、且つ、一研究機関独自で、これを持ち研究開発を進めることは殆ど問題がないと考えるが、大型の実験、或いは特殊目的の生産など場合には大型太陽炉が必要となり（現在1,000kw位か）その建設運営にあたっては、相当多くの難問が存在するため、公害の発生、爆発の危険性等に充分配慮しつつ、例えば、国ベースでの共同利用の方策も真剣に検討されるべきであ

5.2.5 気象上の制約

太陽炉は、その利用目的により到達温度が異なるため、一概に論ずることはむづかしいが、例えば2,000～3,000℃級の太陽炉となると口径比にもよるが、直達日射量が0.5～0.6KW/m²以上が必要といわれ、2,000℃という蓄熱材の実用化が困難なうちは、気象上の制約を受けることは避けられない。

専門委員会では今年度、太陽炉の立地条件について日本気象協会並びに日本工業立地センターの協力により報告する手筈になっている。

5.2.6 経済性および建設用地による制約

太陽炉の建設は、一般に広大な土地と金が必要といわれているが、化学工業の立場から見れば、そうとばかりは言えない。即ち太陽炉一つで出来るものでなく各種のplantが附随して成り立つものであるから如何に上手に一連の設備をplanningするかによって決まる。又、設備費についても、現状における大型放物面鏡の建設費50万円/KWはかなり高いが、これも必要最少限のものとすること、及び太陽炉の認識如何で1/10程度にまで急速に進む事も考えられる。

次に太陽炉は、その炉心構造を見た場合、2,000～3,000℃の温度では非常に小さな炉になってしまう。従って、高温蓄熱材の開発が希望されるであろう。

5.3 実現した場合の効果

5.3.1 エネルギーシェア

エネルギーシェアについてはあまり期待が持てない。しかし、太陽炉の技術が熱電子放射発電などに利用されるようになれば、その効率は熱発電より高いといわれており、ある程度のシェアを占める可能性は持っている。

5.3.2 波及効果

太陽炉の利用によって、これまで実現できなかった超高温領域の各種未来技術が開発されることは明らかであり、わが国のいろいろな分野における先端技術のレベルを引き上げるのに効果があるであろう。

5.3.3 海外への技術輸出

太陽炉は光射加熱であるため、例えば、アメリカ・アリゾナ砂漠地方のような日照の強い、日照時間の300～350日/年という場所では、水の熱分解による水素製造、熱電子放射発電材料の製造などの生産設備としても十分その力を発揮することが出来よう。この点、わが国内での利用としては、主として研究用、試験用、特種生産用などの限られたものとなろうが、その技術を活用して海外の有利な地域での活躍が大いに期待されることとなろう。

5.4 研究開発のあり方

5.4.1 研究開発の目標と具体的研究項目

太陽炉は、他の太陽熱発電、太陽光発電などと異なり、如何に太陽エネルギーを捕捉するかの問題もさることながら、例えば、酸化雰囲気で溶解したら、還元雰囲気で熔融したら、或いは急熱急冷したらどのような特長を持つものが造れるかなどの基礎的事項を明らかにすることが極めて重要である。従って、一見地味な行き方ではあるが、先ず政府機関を柱とした調査、研究、P R等一連の活動を進めることにより、遂次産業界への浸透を計るのが至当である。このような基礎的研究と並行して、次のような事項についても研究を進める必要がある。

(1) 試験用太陽炉の開発

先ず、低コストの太陽炉で、反射鏡を中心に安価なものの開発が急がれる。

次に次項以下の研究を進めるためには現在の太陽炉では小さいのでフランス・CHRSの1000KW級の大型太陽炉を1985年を目標に開発を進める。

(2) 高温蓄熱材の開発

(3) 太陽電池向けシリコンの製造研究

(4) 特種耐火物の製造研究

ex MHD発電用材料

原子力発電用材料

熱放射性物質 etc

(5) 無重力下における物性の研究、等

尚、太陽炉の経済性、運転、保守、管理等を含め太陽炉の利用価値を産業界にP Rするためデモンストレーション用太陽炉等の活用も重要であり、且つ、太陽炉でなければならないものの発見に努力する必要がある。

5.5 まとめ

太陽炉専門委員会としては、過去3年間、太陽炉とはどういうものか、その特性は何か又その利用面について、検討してきた。

その結果、名工試において、太陽炉による太陽エネルギーの利用実験を進めており、その成果も顕著であり、既に、製法特許を含めて2件申請する運びとなっている。

しかしながら、今まで行われた太陽炉の研究では、主として、太陽炉自体に関するもの、或いは物理学的方面のものが多くまだ直接産業と結びつくものは少なく、太陽炉研究の重要性についての認識を遅れさせている。これからは、これらの研究にも加えてさらに応用面の研究にも力を注ぎ、産業界への認識を深める努力が必要である。これらの成果が結実した時は“太陽熱化学工業”の誕生も期待できよう。

第6章 その他の太陽エネルギー利用システム

太陽エネルギー利用システムとしては、前章までに述べた4つの利用システムが大きな柱であるが、その他にも各種の太陽エネルギー利用システムが考えられる。それらの利用システムは多岐に亘りさまざまな形態をとるが特殊用途に利用されるものが多く、また既に実用化されているものもあれば、実験段階のものもある。

本章では前章までの4つの利用システム以外のシステムで特徴のあるシステムを、実用化の可能性の有無にかかわらず列挙し、表にまとめて、各々について目的、原理、立地点、背景、実現可能性と問題点、効果、研究開発の進め方及び総合評価を記入した。

6.1 太陽熱利用システム

太陽エネルギーを熱の形態で直接利用するシステムとして、表6.1に示すように蒸溜、調理、乾燥及び太陽池が挙げられる。これらはいずれも技術的にはほぼ問題がない。このうち蒸溜についてはさしあたり有望であると考えられ、海外技術援助も含めて研究開発を進めるべきである。

6.2 気象エネルギー利用システム

太陽エネルギーが地球上に降りそそぐ結果、間接的に生ずる気象エネルギーとして、風力エネルギー、及び波力エネルギーがある。また直接放射エネルギーとは関係ないが潮汐力エネルギーを加えたこれらエネルギーによる発電方式を比較し、そのまとめを表6.2に示す。風力発電及び波力発電は技術上の問題は少ないが、経済面、保守面で不利である。風力発電はアメリカでは積極的であるが、わが国では不利であるとされている。さらに温度差発電及び潮汐力発電についてはわが国では立地面の困難が大である。しかし温度差発電は海外技術援助などを考えれば希望のもてるシステムである。

6.3 太陽熱利用熱機関

熱エネルギーを機械動力に変換するシステムとして、熱機械、スターリングサイクル機関及びランキンサイクル機関及びランキンサイクル機関があげられる。これら検討のまとめを表6.3に示す。このうち熱機械は有効な機関とは考えられないが、スターリングサイクル機関及びランキンサイクル機関は有望な機関である。特にランキンサイクル機関は太陽エネルギーから機械エネルギーをとり出すのに適しており、わが国ではすでに一部実現しているが、今後実現させるべき機関である。

6.4 その他

上記の分類に入らない太陽エネルギー利用システムを一括して表6.4に示す。

表 6.1 太陽熱利用システム

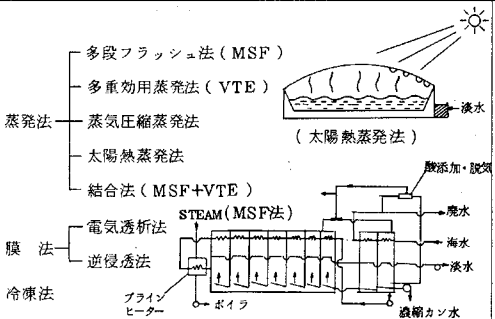
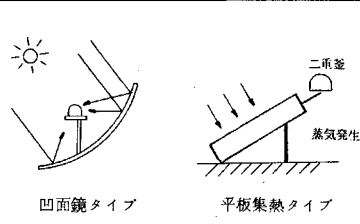
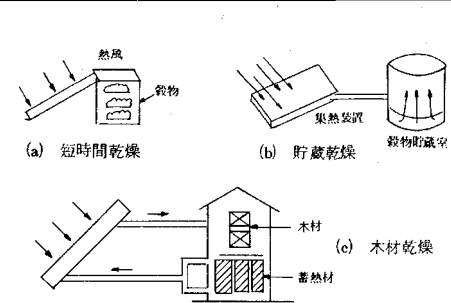
	蒸 溜	調 理	乾 燥	太 陽 池
目 的	太陽熱、その他の熱（原子力発電、太陽熱発電）により淡水製造 ⅰ） 濁水、海水、地下水、汚水等の淡水化 ⅱ） 塩製造、ゴミ濃縮	食物の調理	穀物の乾燥 木材の乾燥 その他・オイルシユールの乾燥	比較的低温度（80～90℃） の熱エネルギーの取得、海水 淡水化、製塩プラントの熱源
原 理 (方 式)	 多段フラッシュ法 (MSF) 多重効用蒸発法 (VTE) 蒸気圧縮蒸発法 (太陽熱蒸発法) 太陽熱蒸発法 結合法 (MSF+VTE) STEAM (MSF法) 膜法 電気透析法 逆浸透法 冷凍法 フラインヒーター ボイラ 濃縮カン水	 凹面鏡タイプ 平板集熱タイプ	 (a) 短時間乾燥 (b) 貯蔵乾燥 (c) 木材乾燥	発電、地域冷暖房 普通の池では、太陽熱によつて温められた水は対流によつて上昇し冷却されてしまうので、池水に無機塩を溶解させ対流を防止し、下部の比重を大にして、下部温度を上昇させ、これを取り出す。 自然池、人工池の底を黒くし、水漏防止シーリング、簡単な断熱を施し、熱抽出用パイプポンプ等を設置する。
背 景	現在の緊急課題とは思われないが、将来深刻な水不足が予想されている。	従来は干し柿、干しブドウのように天日乾燥による調理のみ	従来は天日乾燥あるいは石油等を用いた乾燥方式が採用されている。	基礎研究は1960年頃よりイスラエル、インド等で実験されている。
実 現 可 能 性	太陽熱蒸発法は我国では、少日射量のためやや困難コストは、 MSF—114円/㎡ VTE—144円/㎡ 膜 法—76円/㎡ 太 陽—154円/㎡ 技術的には、ほぼ確立されている。	集熱部が装置の大部分を占めており、また利用温度範囲が100℃前後であるため冷房用集熱装置の応用で実現できると考えられる。	貯蔵乾燥の場合、加熱温度は、さほど高くないので、安価な集熱装置が要求される。 木材乾燥は、蓄熱材の開発が必要である。 いずれも冷暖房用集熱装置の応用分野と考えられる。	実験的には到達温度90℃で、集熱効率10～20%程度得られており、大規模化できれば実用化の可能性あり。
研究開発 の進め方	我国においてよりも、むしろイスラエル アラブ諸国、その他の乾燥地域を有する国に対する技術輸出が非常に有効と考えられる。	調理を目的に積極的に開発する必要はないと思われる。	民間で応用研究の一部としての開発が望まれる。	低コストをねらったシステムであるからあまり高級な技術材料等の導入は望ましくない。 むしろ低温熱エネルギーのより効率的利用法の開発が望まれる。
総合評価	現在は、多段フラッシュ法、多重効用管法が、淡水製造の量、効率ともに優れ、この分野での主力であるが、他のエネルギー源を必要とするので、省エネルギーの立場に立てば、膜法、太陽熱もかなり重要であり、水資源の少ない地域への技術援助が特に望まれる。	調理に利用できるのは昼間時のみであり、曇天、雨天の場合にも利用するためには熱貯蔵装置が必要である。従って設備の代替としての役割を果たすのは難しい。	我国は穀物の乾燥時期は天候が変動しやすいので、従来は石油を利用した乾燥装置を用いている。従ってエネルギー節約の意味から開発する意義はある。	気象条件、地形などの点から瀬戸内海沿岸は最適地である。しかし広大な土地が必要なので、実現の可能性は薄い。 適度勾配の初期設定・長期間維持。 材料(断熱材etc)の改良は必要である。

表 6.2 気象エネルギーの利用

目 的	風 力 発 電	温 度 差 発 電	潮 汐 力 発 電	波 力 発 電
原 理	特殊目的用電源 風車 発電機 蓄電池	電力の供給 風力発電機 電気分解 海水 タンカー	電力の供給 ダム 発電機 低落差 タービン	特殊目的用電源 タービン 蓄電池 浮動バンプ
立 地 点	山頂・岬・船舶 ・山頂・岬・船舶	水素の供給 高温海水 低温海水 ・赤道附近洋上・強海 ・日本近海には不可	電力の供給 ・潮差の大きい河口 ・日本近海には不可	電力・水素の供給 タービン 固定式ピストン ・荒波岩場の岸壁
背 景	・10世紀ころより農事 用として利用 ・現在風力発電機のメジ ャーは世界で6社	・米NASAにおいて ナショナルプロジェクト として計画 ・過去数回試験が建設 されたが不満足	・原理はすでに1881年フ ランスのダルノワールによ り提案 ・米NSFなどのもとで研究 進行中	・アソ島灯台(昭41) 御前崎港波浪観測塔(昭 36)など少数だが利用 段階
実現可能性 と問題点	・KWコストは高いが実用 化している ・保守が困難 ・ユニットの改良 (効率・強度・コスト)	・実現可能性の検討段階 ・プラントの腐食・係留およ び環境への影響	・海水揚水と組合せた場合の 立地可能性について検討の 要あり ・ダム施工技法、耐食の低劣 差水車の改良	・大規模化の実現可能性に ついて検討の要あり
効 果	・僻地、船舶などにおけ る保全性の向上	・海上国の総合地域開発(電 力・用水、レジャー、養殖 アルミ精製工業の促進 ・水素によるエネルギー供給	・電力エネルギーの生産 ・ダムによる防災、交通 観光・養殖などの促進	・エネルギー自給率の向上 ・僻地などにおける利便性 の向上
研究開発 の進め方	・民間 ・特殊目的の普及を主 眼として	・政府と民間 ・最初は僻地開発を目 途として	・政府と民間 ・海外技術援助の一環と して	・民間 ・海外市場の開拓も考慮 して
総合評価	・技術上の問題は少ないが、 経済面・立地面・保 守面で不利である。	・熱帯、公海における立地可 能性を検討する必要がある。	・有利な条件の立地点は 世界的にも少ない。	・技術上の問題は少ないが、 経済面、保守面で不利で ある。

表 6.3 太陽熱利用熱機関

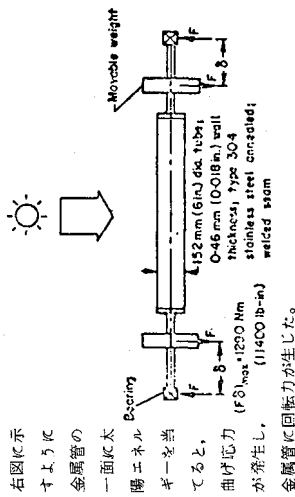
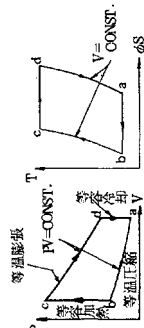
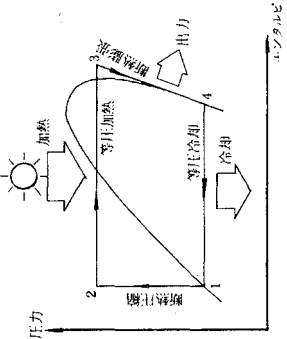
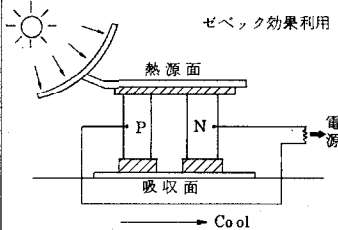
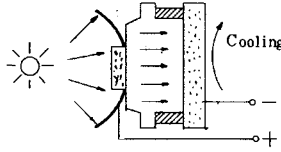
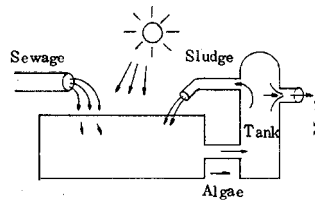
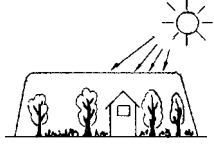
	熱 機 械	スターリングサイクリル機関	ランキンサイクリル機関
目 的	金属管の一面を加熱すると、熱膨張による曲げ応力により回転力が発生する。 この加熱源に太陽エネルギーを用い、機械エネルギーに変換することを目的とした機関である。	この機関は、外熱機関であって、その理論効率は、熱機関理想効率であるカルノーサイクル効率に等しい。そのため、外部熱源に太陽エネルギーを用い、高効率で機械エネルギーに変換することを目的とする。	この機関もスターリングサイクリル機関と同様、外熱機関であるが、低温熱源（又は、低温度差熱源）を利用できることが特色である。 この特色を生かし、太陽エネルギーを機械エネルギーに変換することを目的とする。
原 理	右図に示すように金属管の一面に太陽エネルギーを当てると、曲げ応力（ F ）が発生し、金属管に回転力が生じた。 	スターリングサイクルは、等温圧縮（ $a \rightarrow b$ ）等温膨張（ $b \rightarrow c$ ）、等容加熱（ $c \rightarrow d$ ）、等温膨張（ $d \rightarrow a$ ）から成り、この理論効率は、熱源温度と冷却温度だけでよりカルノーサイクル効率と等しくなる。太陽エネルギーは（ $b \rightarrow c$ ）部分に用いられる。 	ランキンサイクルは、断熱圧縮（1→2）、等圧加熱（2→3）断熱膨張（3→4）、等圧冷却（4→1）からなる。このサイクルの効率は、出力と加熱量の比で表われ、カルノーサイクル効率より低い。低温度熱源を利用することもできる。 
背 景	熱エネルギーを機械エネルギーに変換する媒体として固体を用いたものであり、1973年に実験研究成果が報告されている。	スターリングサイクリルの原理は、1816年に発明されたが、実現するための技術的困難さおよび内熱機関の発明、発達により忘れられてきた。 しかし、その理論効率の高さ、使用燃料の多様性と近年の技術的困難さの克服が可能となり注目されている機関である。	ランキンサイクルは、1854年に提唱され、蒸気機関として実用化されているが、作動媒体の進歩により、低温度熱源から機械エネルギーを取り出すことができるようになった。 現在、廃熱回収の分野で一部実用化しておりまたサンシャイン計画、太陽冷暖給給油システムの一つとして個人住宅に組込まれ、運転実験を行うことになっている。
実現の可能性と問題点	実験によると、変換効率は、約0.5%と極めて低い。 このため、構造は簡単であっても、実現する可能性は少ない。 また、実現したとしても、かなり特殊な分野に限られるであろう。	スターリングサイクリル機関それ自体は、試作または、実験が行われており、実現の可能性はある。しかし現状では、ディーゼル機関の効率を凌ぐほどには至っていない。太陽エネルギーを利用する場合、軸封機構等のスターリングサイクリル機関自体の問題および、高効率集熱器の開発などの問題がある。	廃熱回収、太陽冷暖給給油システムに利用されているように、実現の可能性はある。太陽エネルギーを利用する場合、さらにシステム効率を良くするために、高性能集熱器の開発、高効率膨張機、熱交換器の開発とともに、作動媒体の開発なども必要となる。
効 果	変換効率が極めて低いため、あまり効果は期待できない。	利用燃料の多様性、高効率から見て、エネルギー政策に及ぼす影響は大きいものと考えられる。	低温度差エネルギーを利用できることから、太陽エネルギー利用の分野に占めるウエイトも大きいものと考えられる。
研究開発のすすめ方	研究開発を促進する積極的な理由は見当たらない。	基礎技術確立のための国際協力。高温、高効率集熱器開発のための基礎研究及び内外技術の応用。	システム効率向上のための種々の基礎研究。 実験による実用化のための問題解明。
総 合 評 価	熱機関として有効な機関とは考えられない。	理論効率は、理想サイクルの効率に等しく、化石燃料の多様化に対応するためにも、実現させるべき機関である。	太陽エネルギー等を利用した多目的機関として、開発を促進すべき機関である。

表 6.4 その他の太陽エネルギー利用システム

	熱電発電システム	熱電子発電システム	光合成システム		水素製造
			藻類によるメタン生産システム	植物生産	
目的	太陽熱を用いて小地域での電力用、農業耕作用電源として利用又水素製造も利用可能	小容量発電として電力を供給時に通信中継所灌漑、辺地用電源として利用、太陽炉との併用による発電	太陽エネルギーと都市下水の有機物も堆物などにより藻類を栽培し、これによりメタンを生産し発電や熱源などに利用する。	太陽エネルギーにより、普遍的な原料から直接化学物質を合成製造するもので農作物・木材などを生産する。	水から太陽エネルギーを用いて水素を生産し、これによって種々のエネルギー源として利用と共にエネルギー貯蔵としても利用
原理	 ゼベック効果利用	 高温金属からの電子放出によって熱を電気変換する。	 Sewage, Sludge, Tank, Algae, Methane	 葉緑素の光合成作用による。その効率を上げるため温室・温空間などである。	太陽熱と光を用いて直接水から水素を造る方法として、 ① 直接熱分解法 ② 電気分解法 ③ 熱化学分解法 ④ 水の光分解法 などがある。
背景	熱電素子の低効率・温度差として400℃程度の高温が必要なので積極的に利用されないしてきたが、近年素子効率が高まったこと、太陽集光装置の開発などでみなおされて来ている。	熱源温度(1000~2000℃)のため利用されなかったが、集光による太陽熱(太陽炉)原子力が開発されたため大電力供給用として注目されてきた。	文明が進歩し人口が急増・集中化するにつれて、そこから発生する排棄物は莫大な量となり環境悪化し、その処理に広大な土地とエネルギーが必要となる。この状態を解決する理想的なシステムである。	食料は他のエネルギーとはことなり人間に欠くことのできないものであり、人口増加にともない需要が急増している。その供給の確立をはかるために大切となっている。	水から大量につくられ、燃焼時に公害が生じなく、貯蔵ができるなどで社会的要請が高まってきた。
実現可能性と問題点	すでに数ワットから数百ワット規模発電が実現しているので十分以下の条件が改善されることにより可能。高効率の発電物質の開発。素子の大量生産化。利用システム研究	理論解析と実験段階にあるが実用化の可能性大であるが問題点として、装置構造の簡単化、大量生産化、耐熱金属の開発	この方法は米国で研究がなされたものでまだ実用化されていない。経済的には高価なものであるが、設備、技術面では問題はない。しかし土地の制約が大きな問題となるであろう。	農薬生産量を高めるため、 ・寒冷地の温度の確保、そのため温空間、熱蓄積 ・乾燥地の水源の確保 ・海洋利用・農業技術の拡大などが考えられる。	光によって直接水を分解する方法はまだ効果的な反応プロセスが確立されていない。そのため基礎研究が必要。
効果	冷却もかねて、海上での水素製造の開発をうながす。	太陽炉の研究開発のそくしんをはかる。	エネルギー源としてよりもメタン物質として ・特徴を生かした種々の利用方法の開発や植物の機能を生かした光合成工業プロセスの研究開発の促進をはかる。	生活環境の確立	エネルギー態形の高率
研究開発の進め方	民間・研究所レベルでの基礎研究と新熱電素子の開発	太陽炉研究レベルでの併用研究と共に低温で大量電子放出発生物質開発などの基礎研究を民間・研究所レベルでおこなう。	人口の集中している都市レベルでの積極的な研究開発を計る。	地域的特質に合った地域レベルの ・研究開発と共に光合成などの基礎的現象の解明のための国際レベルの研究	国際的な基礎研究と共に国家レベルでの実現性のための研究開発を計る。
総合評価	太陽熱利用としてはすこし有望	現在のところ太陽エネルギー利用として技術的には困難な問題があるが開発努力によっては有望	都市の排棄物処理の一貫として可能性は十分ある。	もっと積極的に利用方法を計る必要がある。	未来のエネルギー源として積極的な研究開発が必要である。

第7章 エネルギー貯蔵

7.1 太陽エネルギー利用システムにおけるエネルギー貯蔵装置の必要性

太陽エネルギー利用システムは、太陽の日射時間に直接あるいは間接に依存するシステムであり、太陽エネルギーの間欠性、変動性の影響が大きい。従ってエネルギーの変動分あるいは余剰分を、他のエネルギー形態に変換し貯蔵して、不足時に利用すれば、太陽エネルギーを有効に活用することが可能になり、太陽エネルギーシステムの経済性を高める重要な要素となりうる。

図7.1.1に太陽エネルギー利用分野におけるエネルギー貯蔵装置の適用場所及び方式を示す。これからわかるように、太陽エネルギー利用システムに適用が考えられるエネルギー貯蔵方法は、蓄熱システム、蓄電池システム、水素製造（貯蔵）システム、及び電力系統への連系である。以下これらの方式について概説する。

7.2 蓄熱システム

蓄熱システムは太陽エネルギー利用システムにおいて重要な構成要素であり、積極的な開発が望まれる。利用システムによって必要な蓄熱温度は異なり、数十度～550℃程度の範囲に分布しているが、なかでも給湯・冷暖房システムおよび太陽熱発電システム用の蓄熱システムの開発に重点を置くべきである。

7.2.1 冷暖房・給湯システム

暖房の場合、直接暖房で30～50℃、冷房の場合、方式によって75～130℃程度の動作温度であり、蓄熱槽もこれにあわせた開発が必要である。開発にあたっては、蓄熱方式、動特性、蓄熱期間および総合効率の面からの研究が必要である。

蓄熱方式は大別すると、顕熱利用、潜熱利用、化学反応利用および濃度差利用に分けられる。顕熱利用の蓄熱媒体として、水、砂、碎石、コンクリート、レンガ、鋳鉄等があげられるが、この中で水は、比熱最大、安価、安全、安定材料であってしかもそれ自身が熱輸送媒体であるところから、水式集熱用に広く用いられている。水以外には空気式集熱用として、碎石、コンクリート、レンガが考えられ、さらに、地中そのものを蓄熱体とする研究が進められている。

潜熱利用の蓄熱媒体としては、0℃以下の冷房用の水蓄熱、及び硫酸ナトリウム及びその共融混合物等の実験がなされはじめている。可逆的化学反応サイクルを利用する例として酸化カルシウムに水を反応させる方式や、メタルハイドライドを利用する方式が提案されている。さらに濃度差を利用した蓄熱の方法も提案されている。

これらの方式の選定にあたっては、蓄熱期間の長短も重要な選定要因になる。

数時間ないし数日間程度の蓄熱に対しては通常の断熱を施した蓄熱槽が、使用されまた研究もされている。数週間から数ヶ月間という長期蓄熱が技術的にも経済的にも可能であれば、長期間日照のない地方での太陽熱利用が可能であるし、夏冬の余剰熱と不足熱を互に利用することも、ある程度可能になる。この場合、蓄熱に顕熱又は潜熱を利用すると膨大な容量の蓄熱槽と完全断熱に近い保温が必要になる。従って長期蓄熱のためには小容積で経済的な蓄熱方式の開発が望まれる。その点では化学反応又は濃度差を利用した蓄熱方式は有望であるが、材料の安全、安定性、温度条件、経済性などについて望ましい材料を得るにはまだ暫く時間がかかる。

上述の各種蓄熱方式の開発にあたっては、集熱器、蓄熱槽、補助熱源、空調システムなどの太陽熱利用システム、コンポーネントを組合せた総合効率、動特性などの点から定量的な検討を行うことが必要である。

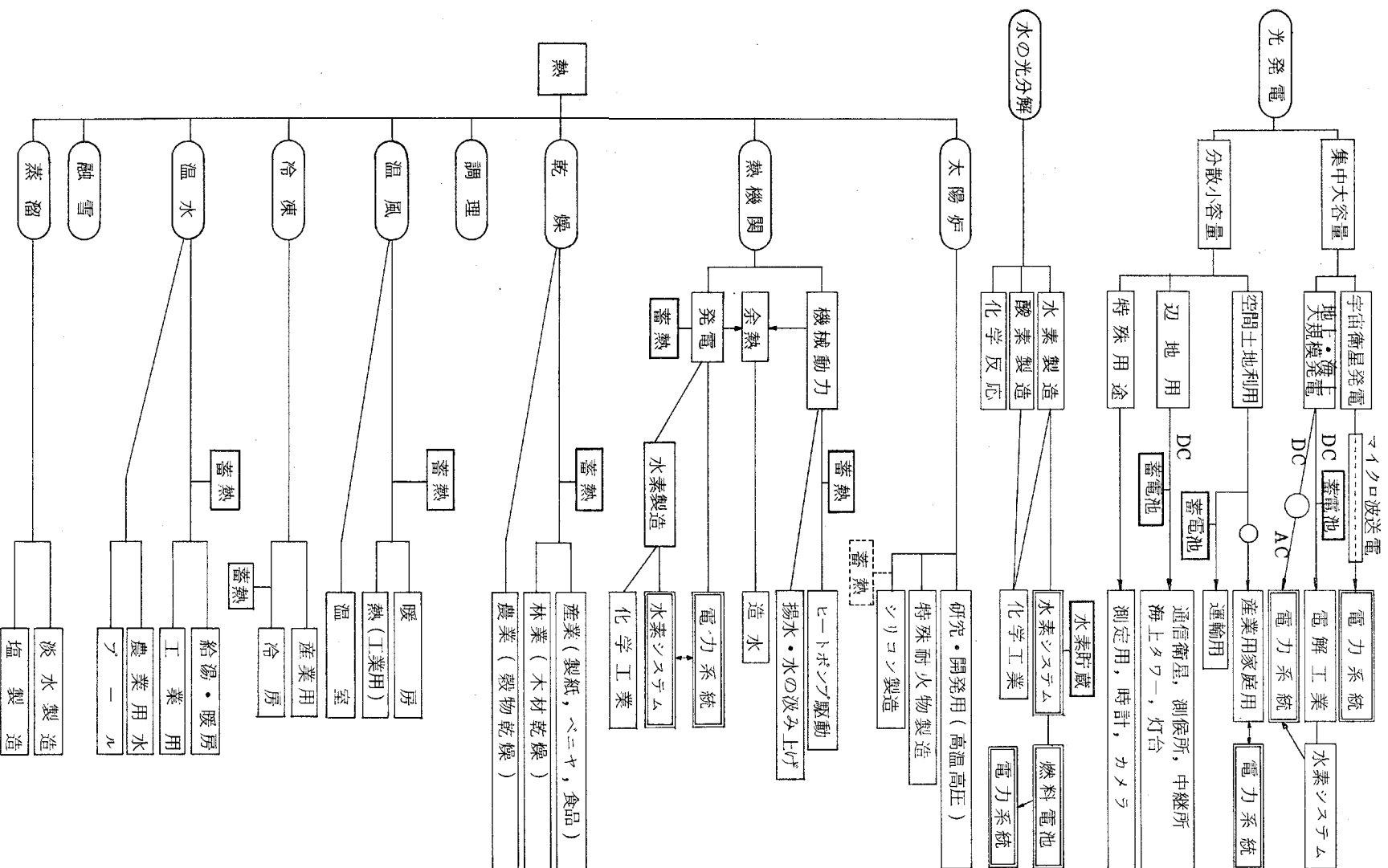


図 7.1.1 (a) 太陽エネルギー利用図

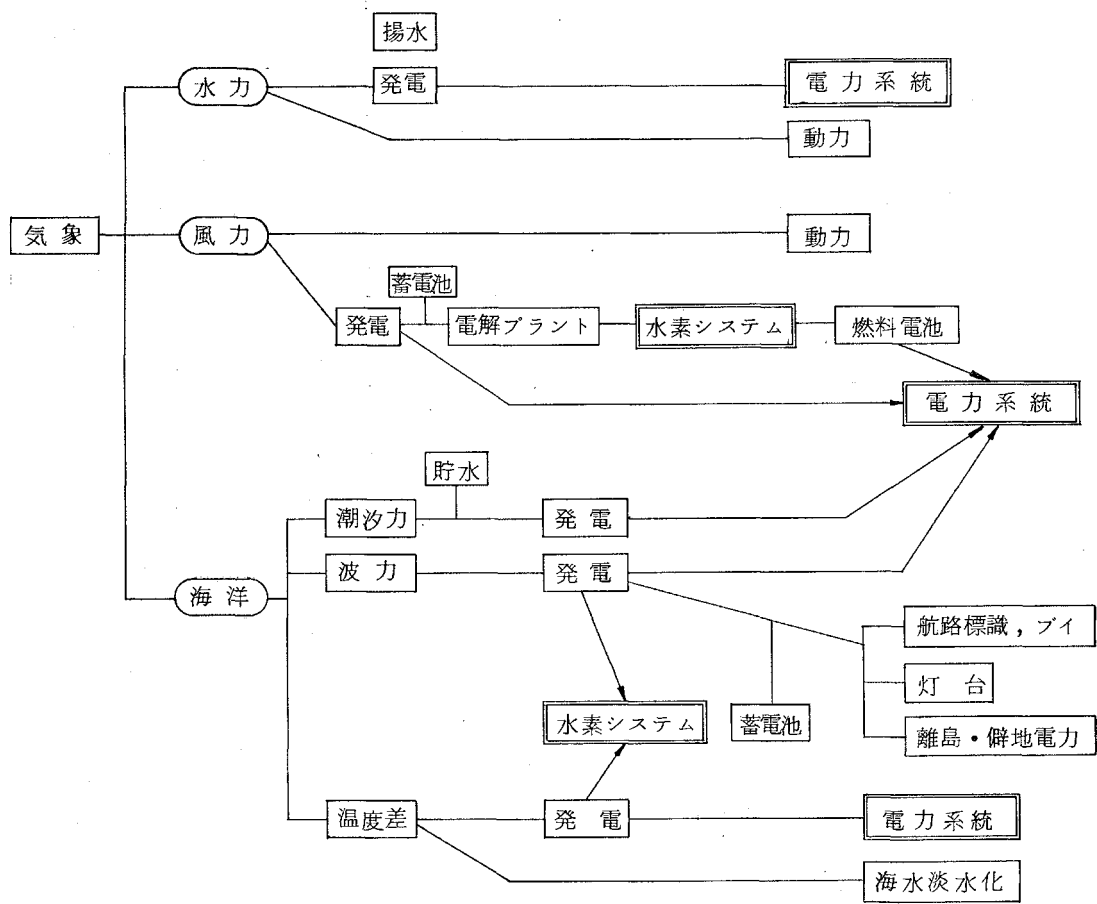


図 7.1.1 (b) 太陽エネルギー利用図

7.2.2 太陽熱発電システム

太陽熱発電は、現在の火力発電システムの発電効率に近づける意味から、できるだけ蒸気温度が高い方がよく、動作温度として400～550℃が望ましい。しかるに太陽発電システムにおいて集熱システムの効率は、動作温度が高くなる程、下がる傾向にあり、その効率は集熱方式によっても異なってくる。従って太陽熱発電システムの総合効率の観点からの最適温度は、一律に決定されるものではなく、各々のコンポーネントについて今後の研究開発に負うところが大きであるが、目標として400～550℃程度を考え、蓄熱装置もこれを目安に開発すべきであろう。このための蓄熱媒体として、潜熱を利用する溶融塩や、化学エネルギーを利用する材料が提案されているが、いずれも研究の段階であり、大量に用いた場合の安定性、腐食性、毒性等の基本物性の十分判明していないものが多いため、まず各種蓄熱材について基本物性を把握し、候補となる蓄熱材を選定する作業が必要である。この段階においては国が中心になって作業をすすめ、その後民間で発電方式に応じた動作温度の蓄熱材料の実用化を図るのが望ましい。

一方、太陽熱発電システムの初期開発段階では、比較的動作温度が低く200～500℃前後であると考えられるので、水或いは油を蓄熱媒体として利用することも考えられる。

次に蓄熱期間であるが、長期蓄熱が可能であれば、長期間雨天や曇天が続く場所でも太陽熱利用が可能になる。しかしこの場合、顕熱や潜熱を利用した蓄熱方式では長期保温のための断熱の問題及び蓄熱材のコストの低減化など一層の研究が必要である。長期貯蔵に関しては、可逆化学反応時の吸熱、発熱反応を利用した蓄熱方法や、あるいは水素などの化学エネルギーへの変換貯蔵方法の研究についても検討すべきである。

一方、短期蓄熱の場合でも、太陽熱発電所の運転パターン（ピーク運転、ベースロード運転）、補助熱源の有無によって、数時間程度の蓄熱から週負荷変動調整程度の蓄熱容量が考えられるが、太陽熱発電システムのように動作温度の高いシステムでは蓄熱装置のコストが高いため、当初は蓄熱装置の容量を数時間程度にして日射エネルギーの変動の中でも変動中の小さい部分のみを吸収し、変動中の大きい部分は連系する電力系統で吸収するのが得策である。しかし、太陽熱発電所の数が増加するに従って、出力変動を電力系統で吸収することが難しくなると考えられるので、長期蓄熱を行うか、電力系統にエネルギー貯蔵装置を設置することが考えられる。従って蓄熱装置の開発手順として、当面は、午前中の日射エネルギーを蓄熱して昼間時に使うことによってピーク発電所としての機能を持たせることを考え、蓄熱量として1～数時間の発電を行うに足る容量を目標とする。長期的には太陽熱発電所の設置箇所が増え、ピーク発電所としての役割だけでなく、ミドル負荷供給用、或いはベース負荷用としての役割を担うことになると考えられるので、週負荷変動を調整できる程度の長期蓄熱方法の開発が必要になると思われる。

7.3 蓄電池システム

蓄電池システムは、各種の発電方式との組合せが可能であり、並列することによって小容量の発電方式から、比較的大容量のものまで組合せることができる。太陽エネルギー利用システムの中では太陽光発電および気象エネルギー利用発電システムへの適用が考えられ、既に灯台への実施例がある。（図7.3.1(a)参照）しかし、一般家庭用及び産業用として光発電を行う場合、一般的に負荷は交流であるため、直流-交流変換装置が必要となる。このため、図7.3.1(b)に示すように電力系統と連系して、日照時には、太陽電池から負荷に電力を供給し、曇天、雨天時或いは夜間時には、電力系統から負荷へ電力系統を供給する方式が経済的に有利であろう。産業用で直流負荷に供給する場合でも、太陽光発電装置のみで供給するためには、気象条件によっては一週間分以上のエネルギー貯蔵が必要となり経済的に不利になると考えられる。従って一般用の光発電システム及び気象エネルギーによる発電システムを採用する際には、安価な交流-直流変換装置の開発に重点を置き、蓄電池は補助的に使用するのがよい。一方電力系統と連系が難しい離島、灯台等

の特殊用途用としては蓄電池を採用すべきであろう。その際は、1週間程度以上の長期貯蔵が要求される。蓄電池が広く使用されるためには、軽量化、小型化、長寿命化、及びコストダウンが必要であり、貯蔵効率として75%程度が一応の目安となる。

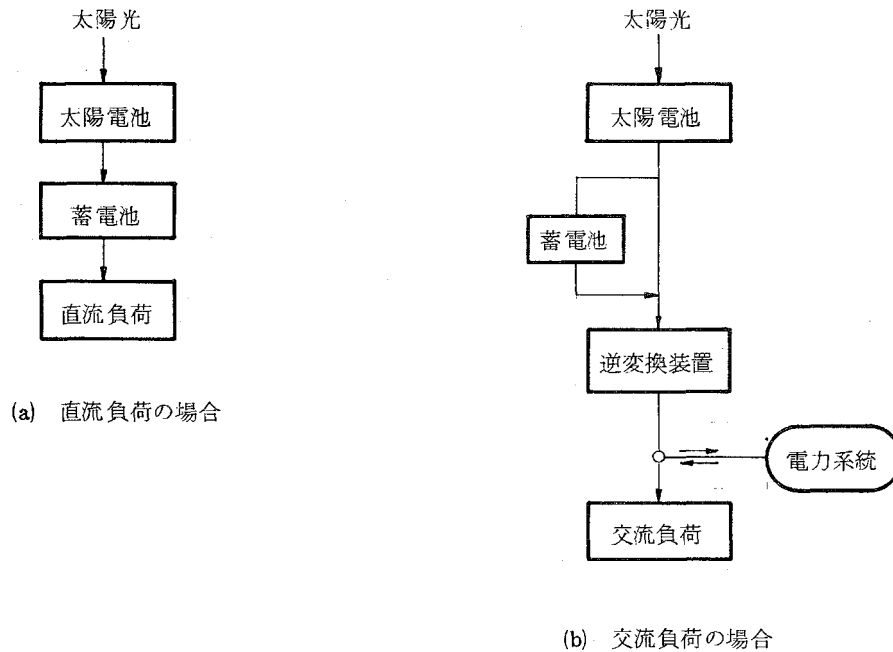


図 7.3.1 太陽光発電システム

7.4 水素システム

水素は2次エネルギーとして、燃焼、燃料電池、自動車エンジン、航空エンジン、ガスタービン、化学的利用など多方面への利用が考えられ、エネルギーシステムの中で重要な役割を果たすと思われる。

図 7.4.1 に水素システムの概略を示す。水素の製造方法として、太陽熱或いは、原子炉等の熱源を利用した、水の多段熱化学分解プロセスによる製造および、水の電気分解による製造が考えられている。輸送方法としては、パイプラインによる輸送、タンカーによる海上輸送、トラックによる輸送等がある。また水素の貯蔵方法として、液体水素の貯蔵気体としての貯蔵があり、さらには金属水素化物による貯蔵方式が考えられている。

水素は上記の特長を持つため、沖合や離島で太陽エネルギーを利用する場合、太陽熱発電や太陽光発電等による発生電力で水を電気分解して水素を製造し、タンカーやパイプラインで消費地に輸送することができる。水素は貯蔵ができるため、日照時に太陽エネルギーを用いて水素を作って貯蔵し、電力が必要な時に燃料電池やガスタービンを用いて発電することができる。このことは太陽エネルギー（気象エネルギーも含む）のように間欠的なエネルギーの有効利用の点から大いに意義のあることであり、水素システムの確立が望まれる。

7.5 電力系統との連系

太陽エネルギー利用の発電システムの出力変動対策として、連系する電力系統によって変動を吸収することが考えられる。太陽熱利用システムの発生電力が小さい間は、電力系統側で特に対策は必要としないが、太陽エネルギー利用の

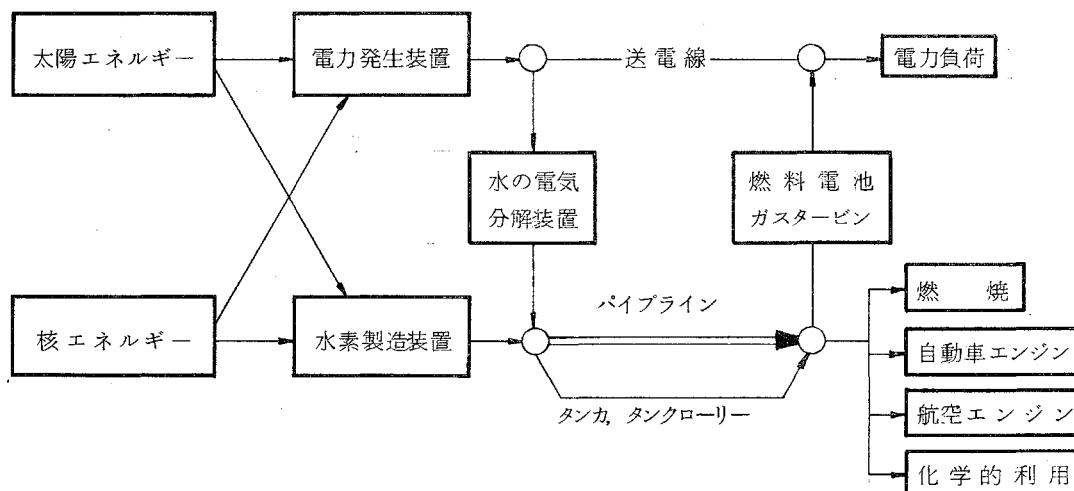


図 7.4.1 水素システム

発電方式の設備容量が大きくなるにつれて、電力系統の中にエネルギー貯蔵装置を設置して、出力変動を吸収する必要が生じてくる。ただし太陽エネルギーを利用した発電システムは、日中ピーク時に発電をするピーク発電システムとして利用できるため長期に亘る貯蔵の必要はない。

太陽エネルギー利用という観点以外に、電力系統自体にエネルギー貯蔵装置に対する必要性が生じつつある。昼間負荷と深夜負荷のアンバランス、原子力発電設備の増加等から深夜に余剰電力が生じ、これを有効に利用する方法としてエネルギー貯蔵が提案されている。現在、電力貯蔵方式として電力系統に採用されているのは、揚水発電方式のみであるが、用地の制約から、他の貯蔵方式の実用化が望まれている。表 7.5.1 に電力系統に適用が考えられる各種エネルギー貯蔵装置のまとめを示す。深夜負荷率の向上という観点にたてば、短期的には給水加熱器との組合せによる熱貯蔵方式、圧縮空気貯蔵方式、2 次電池貯蔵方式が有望と考えられ、長期的には、フライホイール、超電導も見込みが出てくると考えられている。また太陽エネルギーによる出力変動吸収の観点からは、入出力応答のよいエネルギー貯蔵方式が有利と考えられる。

太陽エネルギー貯蔵容量の目安として、午前中の 3～4 時間分の発生電力を貯蔵し、午後のピーク時に使用することが考えられる。深夜電力貯蔵用としては、6 時間程度の貯蔵容量が必要である。これらの貯蔵効率は 70 % 程度が、目標になるであろう。

図 7.5.1 に将来の電力系統とエネルギー貯蔵装置の構成予想図を示す。

沖合の太陽エネルギーあるいは核エネルギー基地のエネルギーは、電力或いは水素エネルギーとして海岸まで輸送され、電力は電力系統へ、水素はパイプライン等で燃料電池その他の需要者へ送られる。消費地から離れた場所にある大容量太陽熱発電所は UHV あるいは 500 KV 送電線に接続する。エネルギー貯蔵装置の中で大容量のものは超々高圧系統に接続して周期が一日以上の変動を担当し中小容量の貯蔵装置は高圧系統以下に接続して、周期の短い変動に対処する。燃料電池、蓄電池、フライホイール、太陽光発電（中小容量）等は、設置場所に対する制約が少なく、需要地に分散設置できるため、輸送設備の新設は必要としないが、電力系統へ接続するための変換装置が要求される。また変換器を介して電力系統に並列するため、電力系統が要求する高速制御方式、その信号システムや、高調波対策、電圧変動対策等について検討する必要があるが、その反面、系統容量をそれほど増加させないという利点をもつため将来の電

表 7.5.1 各種エネルギー貯蔵方式のまとめ

	方 式	適 用 場 所	長 所	欠 点	コ ス ト 例	評 価
ポテンシャルエネルギー	揚水発電	山 岳 地	実用化されている唯一の方式である。	設置可能な適地の数に	6 万円/KW	当分は貯蔵システムの主体を占める。
	地下の空洞を用いた揚水発電。	空洞を掘るのに適した場所。	山岳地以外の場所に設置できる。	深い地下空洞が必要。	従来の揚水より高い。	従来の揚水の適地がなくなつた時に見込あり。
熱エネルギー	給水加熱器との組合せ。	火力・原子力発電所。	発電所の蒸気サイクルの能力が上がる。	高温水の他に冷水の貯蔵室が必要。	8 0 0 0 /KW/年 (1 2 時間貯蔵)	見込あり。
	スチームアキュムレータ	火力・原子力発電所。	発電所の蒸気サイクルの能力が上がる。	圧力切換の制御が難しい。	1.5 万円/KW/年 (1 2 時間貯蔵)	制御にやや問題点あり。
	液体ナトリウム貯蔵	高速増殖炉	発電所の蒸気サイクルの能力が上がる。	ナトリウムのコストが高い。	1 ~ 1.5 万円/KW/年 (1 2 時間貯蔵)	温水貯蔵程の魅力はない。
圧縮エネルギー	圧縮空気貯蔵	ガスタービンの設置が可能で、かつ空洞を掘るのに適した場所。	ガスタービンの出力が増加する。	真の意味のエネルギー貯蔵方式ではない。	貯蔵エネルギーだけで計算できない。	適地があれば見込あり。
	圧縮空気貯蔵+熱貯蔵	ガスタービンの設置が可能で、かつ空洞を掘るのに適した場所。	ガスタービンの出力が増加する。	熱貯蔵装置のコストが付加される。	0.9 ~ 1.2 万円/KW (8 時間貯蔵)	適地があれば見込あり。
化学エネルギー	バッテリー (2 次電池)	変電所、配電施設及び家庭用。	応答性が良く、設置場所の制限がない。	現在の電池では性能が不十分である。	1 ~ 1.7 万円/KW/年 (1 2 時間貯蔵 Li/s)	見込あり。
	燃料電池 (水素-酸素型)	変電所、配電施設及び家庭用。	季節的負荷変動に対応できる。	水の分解方法の決り手がない。	2.5 万円/KW/年 (1 2 時間貯蔵)	水素システムが確保すれば見込あり。
運動エネルギー	フライホイール	発電所、変電所等に併設単独設置も可。	設置場所に対する制限が少ない。	新材料の性能が十分でない。	カーボンファイバーの本体だけで 3.6 万円/kwh	新材料の改良が必要
電磁エネルギー	超電導磁石	岩 盤 地 帯	貯蔵効率が高い。	大容量化の必要あり。	—	現状ではコストが高い。

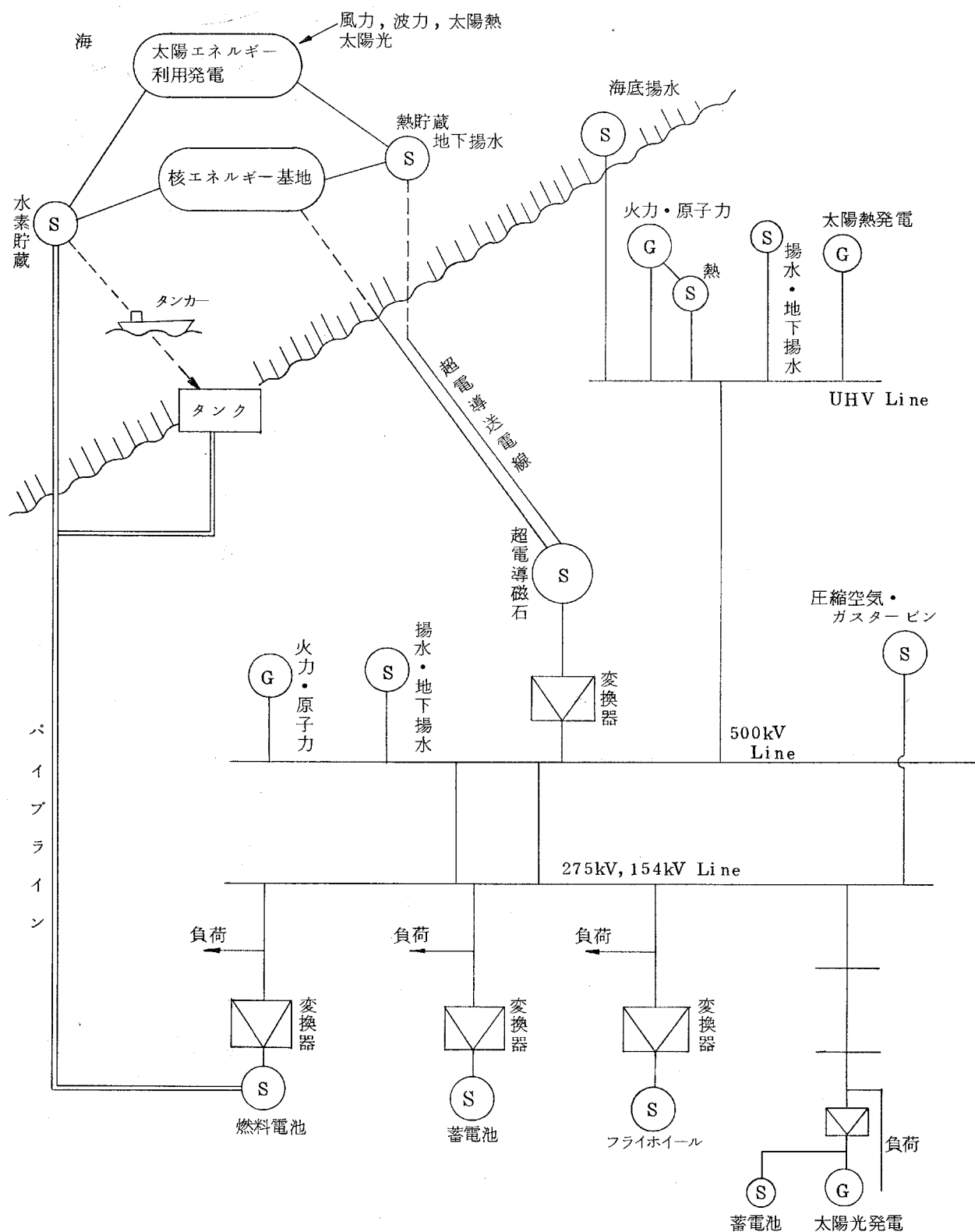


図 7.5.1 将来の電力系統と貯蔵装置

参考図：昭和 51 年電気図学会連合大会 小川 漢美

力系統にとって魅力ある電源となる。将来電力系統の容量が増加して、直流系統による分離を行うような場合には、上述の貯蔵装置の機能を付加すると、事故後の系統復帰の際にも有効であろう。

大容量のエネルギー貯蔵装置は従来の揚水発電所と系統運用面では大差なく、送電線の新設或いは増強が必要である。以上将来の電力貯蔵システムについて概説したが、貯蔵方式、容量の選定にあたっては、各種エネルギー貯蔵装置の開発状況と共に、電力系統の構成、負荷予測等を考慮することが肝要である。

参考文献

- (1) 昭和50年度、太陽エネルギー利用システム調査研究(トータルシステム)

日本電機工業会

- (2) 昭和50年度、太陽熱冷暖房・給油システムの研究

空気調和・衛生工学会

太陽熱冷暖房委員会

- (3) 昭和50年度、太陽エネルギー利用システム調査研究(太陽光発電)

日本電機工業会

- (4) 昭和50年度、太陽エネルギー利用システム調査研究(太陽熱発電)

日本電機工業会

- (5) 電力系統の将来とエネルギー貯蔵 小川 漢美

昭和51年電気四学会連合大会

本報告書の内容を公表する際は

あらかじめ工業技術院の許可を

受けて下さい。