

## 太陽熱エネルギー

## Solar Thermal Energy

藤井 哲\*

Tetsu Fujii

## 1. はじめに

太陽エネルギーに関する著書、論文、論評は無数にあり、また日本太陽エネルギー学会の会誌「太陽エネルギー」に、十数年来継続的に論文が発表されているので、本稿においては、太陽熱エネルギーの位置づけと研究の方向についての私見を述べ、文部省エネルギー重点領域研究の一部として行った「太陽熱エネルギーの資源化に関する研究」の成果の概要を紹介する。

最近フロンやCO<sub>2</sub>等に係わる地球規模の環境問題が国際政治の重要問題の一つとして取り上げられた。それに同調して多くの解説や見解がジャーナリズムに現れている。学術論文の研究目的にもそれとの関連を述べたものが多くなった。本誌の企画も同じ筋のものであると思う。環境がエネルギーの総使用量および使用密度を規制する要因の一つであることはかなり古くから明らかになってきたことであり、またエネルギーや資源の生産コストが年々増加する必然性も明らかである。したがって、エネルギーと環境の問題は不断に重点的に研究されるべきものである。ここ数年来、「情報」と「機能材料」の開発研究が異常な脚光をあびているが、これらの研究においてもエネルギー問題への応用を考慮すべきであろう。

エネルギーの将来についての見通しは極端には二つの立場に分けられる。そして、エネルギー研究の方向はそのいずれの立場に近いかによって異なる。第1は、経済の「発展」にともなうエネルギー需要増大の予測値をまかなうにたるものを開発することである。それには奇跡的な大発明（夢の科学技術の実現）が待望される。第2は、経済のマイナス成長の予想にたつて、それに対処することであり、省エネルギーより一歩進めて、エネルギー使用量を絶対的に減らすための研究が期待される。いずれも極端な方向であるが、第1の

方向が間断なく成功すれば何も問題はない。しかしそれがつまずいたときの破局を考えると、第2の方向の方が現実的でかつ希望が持てる。

現在のエネルギー研究の主流は第1の方向を目指しているといえる。その場合には太陽熱などの自然エネルギーは当然軽視される。なぜならば、それは、在来技術に比べても、量的に対抗できるわけがないからである。第2の立場によってはじめて、太陽熱エネルギーもそれなりの（過大でも過小でもない）評価がなされるものと考えられる。「太陽エネルギー」に発表されている研究の大勢は、この方向に向いていると見受けられ、着実な成果があがっているものがある。

筆者は昭和62年度から始まった文部省重点領域研究「エネルギー変換と高効率利用」の中の「多様なエネルギー資源の利用」の中の「太陽熱エネルギーの資源化に関する研究」のお世話をしているので、以下にその内容と成果の概要を紹介する。3年間の成果の詳細は1990年1月30日、31日に京都市で開かれる成果発表会および同年秋に出版予定の英文成果報告書で発表される予定である。

「資源化」の意味は、さきに述べた第1の方向に沿うもの、すなわち、簡単に言えば太陽熱から発電をする画期的方式の開発が期待されたと理解される。しかし、それに応用できる原理はなかったし、現在もない。一方我が国の太陽熱利用の現状を調べると、それは住居環境の暖冷房と給湯が大部分であって、一部分が産業用の加熱と乾燥に利用されている。そこで太陽熱の産業用利用技術の開発に重点をおくことにした。

太陽熱の性格はエネルギー密度が小さく、かつ時間的季節的変動が大きいことが特徴である。したがって、「資源化」は小規模分散型のものとなる。そして、短期間に一定の研究成果をあげるために、太陽熱と熱変換機（ヒートポンプ、冷凍機）の複合システムを重点的に研究することにした。

\*九州大学機能物質科学研究所 教授

〒816 春日市春日公園6-1

## 2. 太陽熱利用システムの熱力学的評価法

太陽エネルギーを熱エネルギー源として評価する指標としての太陽熱エクセルギーの導入、熱変換系の熱力学的性能指標としての成績係数比の導入、太陽エネルギー利用システムの実用的評価指標としてのエクセルギー変換効率の提案等により、太陽熱利用技術を評価する場合の基準およびそれを用いて実際のシステムを解析する方法を明らかにした。結果の若干例をあげると次のようになる。

- (a) 太陽熱は熱として利用する方が有効であり、発電には太陽電池等の直接変換方式を採用すべきである。
- (b) 利用温度レベルによって適切な集熱器がある。すなわち、低温度の場合には高級な集熱器を用いるメリットがない。
- (c) 第2種吸収式ヒートポンプシステムと太陽熱とを組合わせた場合の変換効率は集熱器の性能、利用温度、ヒートポンプの成績係数比によって異なる。また圧縮式ヒートポンプと組合わせた場合のシステムの成績係数は上記の要素の他に集熱器単位面積当りの利用熱量によっても異なる。したがって、ヒートポンプを併用した場合に有利になる場合と不利になる場合の限界が存在する。
- (d) 平板型集熱器を用いる太陽熱システムの総合エクセルギー効率は、日本では数%を越えることはない。
- (e) 太陽熱利用の全てのシステムにおいて、伝熱促進と熱変換機の性能向上が不可欠である。

蒸気圧縮式熱変換機には使用温度に適応し、かつ成績係数比が高いものが要求される。そのために非共沸混合媒体を用いるロレンツサイクルの実用化に注目した。また現在用いられているフロン内のR11, R12等は、オゾン層破壊の原因になるので、代替フロン物質およびその混合媒体に転換する必要が生じた。そして、これは現在利用されている莫大な数の冷蔵庫、カークーラー等の設計変更の必要性を含めて、緊急の課題となった。

## 3. 蒸気圧縮式熱変換機の作動媒体の熱物性

精密な熱物性データなくしてはシステムの性能予測や伝熱実験データの整理、一般化は不可能である。本研究において得られた成果は次のものである。

- (a) 混合媒体の熱物性
  - ① R22 + R114系の熱物性データベースの開発
  - ② R22 + R142b系の熱力学性質 (PVT<sub>x</sub> 性質、露

点・沸点曲線)の精密測定

- (b) 代替フロン物質 (HFC134a, HCFC123およびHCFC142b)の熱力学的性質
  - ① 気・液両相の広い領域にわたるPVT性質の精密測定
  - ② 臨界定数(臨界温度・圧力・密度)の決定
  - ③ 気・液共存曲線の測定と相関式の作成
  - ④ 飽和蒸気圧力の精密測定と蒸気圧相関式の作成
  - ⑤ 飽和液体密度および圧縮液体密度の測定
  - ⑥ 圧縮液体の定圧比熱測定と相関式の作成
  - ⑦ HFC134aの状態方程式の開発

## 4. 非共沸混合媒体および代替フロンの熱工学的特性

ヒートポンプのロレンツサイクルの熱力学的解析によって、蒸発器と凝縮器の伝熱性能を向上することなしには、従来の単成分媒体のサイクルのものより高い性能を期待することができないことを明らかにした。R22 + R114の混合媒体(R114は規制対象物質であるが、沸点差が大きく、熱力学的性質および輸送性質を明らかにできたので採用)を用いて、水平の平滑管と内面加工管について実験を行い、蒸発と凝縮の特性を表す半実験式を作成した。これらを一般的に適用できるようにするためには理論的解析を行うとともに、異なる物質の組合せによる実験を追加する必要がある。R12の代替物質としてのR134aについては、後者の方が蒸発についても、凝縮についても、伝熱性能が高いことを明らかにした。

## 5. 吸収ヒートポンプシステムの高効率化

- (a) 水/LiBr系、アンモニア/水・LiBr系等に対しオクタノールをはじめとする高級アルコールの添加により、蒸気吸収時にマランゴニ効果を生じさせ、著しい吸収促進効果があることを発見した。これは太陽熱吸収式空調システムの高効率化・実用化に大きく貢献する。
- (b) 相互不溶性混合冷媒を用いた太陽熱利用単効用高効率吸収サイクルを提示し、サイクルシミュレーションならびにテストプラントの試作・実験により冷房COP 1.03を達成した。
- (c) アンモニア系吸収システムの熱力学的特性、熱および物質移動特性の基礎データを測定し、性能解析の基礎データとした。
- (d) 自己再生型昇温吸収サイクルを新たに提示し、

暖房が可能である。しかし現状では設備費が大きいサイクルシミュレーションおよび実用機設計概念を構築した。TFE (トリフルオロエタノール) /E-181 (ジメチルエーテル・テトラエチレングリコール) 系作動媒体に対するサイクルシミュレーションにより、60°Cの太陽熱と26.5°Cの環境温度の差を利用し、140°Cの昇温が可能であることを明らかにした。更に二重円筒内で吸収・再生・凝縮の各プロセスを行うコンパクトな一体型実用機概念を提示した。

## 6. 太陽熱と太陽光を利用した冷暖房システムの開発

(a) 系統電源と連係した太陽光発電システムの長期計測運転の結果より、日射量、気温、風速がわかれば帰還電力が計算できることを示した。この結果と平均気象データを用いることにより、年間帰還電力が精度よく予測できる。

(b) 太陽熱冷暖房システムの運転結果と総合して考えると、補助ボイラを用いるシステムでは太陽熱集熱器の17%、補助ボイラを用いないシステムでは6%の太陽電池面積があれば、ほとんど自然エネルギーのみで運転できる冷暖房システムが可能であることがわかった。

(c) 太陽熱と太陽光を併用することにより、技術的には化石エネルギーを消費することなしに運転できる冷

め、経済性は将来の太陽電池、太陽熱集熱器等の製造コスト削減にかかっている。

## 7. 太陽熱の乾燥への応用

(a) 乾燥・除湿というエネルギーを大量に使用する目的に対して、太陽熱により再生された塩化リチウム水溶液の濃溶液を蓄える蓄乾槽を提案した。そして実験的研究によってその再生・蓄乾・除湿の各サブシステムの基礎的特性を把握することができた。

(b) 昇温型吸収ヒートポンプにより、過熱蒸気を作り、それを乾燥に利用する密閉型全循環式乾燥システムを提案した。そして乾燥器の蒸発特性を明らかにした。

## 8. むすび

当初の目的の太陽熱の産業利用は、製品の全コストに占めるエネルギーコストが少ない現状では、実現が困難である。しかし、この研究を通じて、太陽熱に限らず、各種排熱のエクセルギーを高める新技術開発の見通しがたち、また有害フロン全廃の社会的要請に応えるための蒸気圧縮式熱交換機の技術開発に寄与できる研究方法が確立した。更に太陽熱利用システムの評価法が確立したので、本研究を継続すれば、近い将来太陽熱利用の要求に応えられるであろう。太陽熱の住居環境への利用についても、焦点を絞って基礎研究を行い将来に備える必要がある。

