集光形水平同軸二重円筒太陽エネルギー集熱
システムの伝熱特性と熱的性能*

国友 孟**, 合沢 和生***
Takeshi KUNITOMO, Kazuo AIZAWA
丸本 健二****, 為 広 英 樹***
Kenji MARUMOTO, Hideki TAMEHIRO

Key Words: Solar Energy, Solar Collector, Power, Thermal Engineering, Equipment, Thermal Radiation

太陽エネルギーの熱动力的利用および熱発電への応用をめざしていくつかの集光形システムが計画、実施されようとしている。これらの設定にあたっては集熱効率はもちろんのこと、熱機関効率をも含んだ最終的な変換効率を考慮する必要がある。伝熱現象およびサイクル出力を考慮したうえでどのような作動条件を選べばよいかという点に関する理論的研究は、平板形集熱器に関してはなされている。しかし、集光形集熱器に関しては適切に伝熱現象を考慮した研究はみられない。この点にかんがみ、本研究では水平同軸二重円筒の選択透過外筒ガラス管と内筒吸収管からなる集光形太陽エネルギー集熱システムを対象として、定常太陽エネルギー入射条件下で、その伝熱特性、集熱効率、エクセルギ効率、最終変換効率および流体出口温度について理論的、実験的検討を行ったものである。理論計算において考慮した設計パラメータは集光度、外筒ガラス管および集熱管の直径、管の集光部有効長さ、集熱管の光学的性質、蓄熱温度、二重管部の圧力、入口流体温度および流体流量である。外筒ガラス管および集熱管の光学的性質は波長 $2.5\ \mu\text{m}$ を境として急変するものと考え、特に集熱管については非常によい選択性を持ったものとそれほどでもないものの2種を採用した。二重管部の圧力としては、大気圧で自然対流および普通の熱伝導がおきる場合とかなりの真空にして自由分子熱伝導によってのみ熱が伝わる場合の2種を考えた。これら種々のパラメータを組合わせた条件に対して、伝熱流体の出口温度および太陽エネルギーの集熱量を集熱管内部、二重管部、ガラス管外部についてよく射、対流、伝導を同時に考慮して求めた。ただし、流体は空気とし集熱は顕熱によりなされるとしている。出口温度および集熱量からエクセルギ効率および最終

変換効率を算定したが、これら両効率の最大値を与えるような作動条件はコレクタの集熱効率の中間的な値をとる作動条件であり、コレクタ効率を最大限まであげる必要はないことがわかった。また集熱管の直径を変えたと両効率の最大値を与える(質量流量/集熱管有効長さ)比および集光度の組合せが変わってくる。集光度と集熱管直径が一定で変えられない場合には、伝熱流体の入口温度を適切に選定する必要がある。集熱管出口温度の流体をそのまま熱機関に導入する場合と一度蓄熱システムを通して導入する場合とでは、後者のほうが当然のことながらエクセルギ効率および最終変換効率ともに減少するが、種々の設計パラメータ、作動パラメータの値自体を変更する必要はない。二重管部の圧力も自由分子熱伝導の領域では大気圧の場合の50~100% 大きい効率を与えるが、作動パラメータ、設計パラメータを大きく変更する必要はない。集光度については、その値を増加させればさせるほど一般に両効率は増加するが、40~50 の値でその漸近値に近くなり、機械工作的な面、光学的な面から集光度をあげることが困難視されていることを考えると、それほど大きくない集光度を採用して十分である。以上のような事柄が理論的検討によって得られたのでその計算結果の信頼性を検討するために、簡単な二重管式集熱実験装置を作成し、定常太陽エネルギー入射条件下で集熱実験を行った。集熱管の光学的特性を可視・近赤外域で吸収の悪い研磨した SUS304 表面、全波長領域で吸収のよい黒色塗料を塗布した表面、少し選択吸収特性を示す表面の3種で変え、また流量、集光度、二重管部圧力を変えて、空気を伝熱媒体とする実験を行い、主として流体入口、出口温度、入射エネルギー量を対象として計測した。実測条件に対応する計算を行ってその出口温度、集熱効率などを求めたところ実測値と非常によく一致する結果を得たので、理論計算にあたって用いた伝熱量計算式、計算手法、仮定などが正しいという保証を得た。

* 昭和53年11月16日 第902回講演会および昭和54年11月21日第905回講演会において講演、原稿受付 昭和55年11月14日。この論文の詳細は Bull. 25巻199号に掲載。

** 正員、京都大学工学部(〒606 京都市左京区吉田本町)。

*** 京都大学大学院。

**** 学生員、京都大学大学院。