

産業用高温太陽熱集熱器の開発

Development of Industrial High-temperature Solar Collector

産業用などのソーラーシステムに100℃以上の熱水を供給するために、真空管形太陽熱集熱器を開発した。本集熱器は、真空ガラス管の内部に固定した反射鏡を使って太陽光を集光し、水を封入したヒートパイプで集熱する構造である。集熱器の設置面積(外形寸法で定義)当たりの集熱効率を測定した結果、定格運転時(集積温度130℃、気温20℃、日射量907W/m²)に45%の目標を達成できた。更に、各種の耐久試験のなかで特にヒートパイプの凍結試験では、±20℃の熱サイクル後も正常に作動した。この研究は、通商産業省工業技術院の「サンシャイン計画」のなかでNEDOから日立製作所が受託して実施したもので、昭和58年10月に280台の集熱器を日本毛織株式会社一宮工場に設置した。

隅田 勲* Isao Sumida

岩本満治** Mitsuharu Iwamoto

奈良安晃*** Yasuaki Nara

今仁和武* Kazutake Imani

1 緒 言

1億5千万km²のかなたから地球に降り注ぐ太陽エネルギーは、クリーンで無尽蔵なエネルギー源であるだけでなく、その0.01%が利用できれば世界の全エネルギー需要がまかなえる点で注目されている。しかし、このエネルギーは地表では密度が約1kW/m²と低く、エネルギー供給が安定しないなどの問題があり、これらの問題を解決するための技術開発が急がれている。特に、昭和48年のオイルショック以降、この太陽エネルギー利用のための技術開発が世界的に活発化し、我が国でも通商産業省工業技術院の「サンシャイン計画」のなかで、各種の太陽熱利用技術開発が推進されてきた。現状では100℃以下の低温を用いる太陽熱冷暖房、250℃以上の高温を使う太陽熱発電などについては、ほぼ技術開発を終了した段階にきている。今後は、100℃から250℃までの中・高温を利用する産業用ソーラーシステムの研究開発が中心課題となりつつある。この温度範囲のプロセスヒートの適用分野は、食品産業(殺菌)、機械工業(自動車)、繊維(染色)、金属工業

(アルミニウム)などと広い。
本報は、この産業用ソーラーシステムを対象として開発した高温太陽熱集熱器について述べたものである。特に、染色工程用に130℃の熱水を供給するために、集熱効率の高い集熱器として、真空ガラス管内の反射鏡(非追尾)でヒートパイプに集光する集熱器を対象とした。この集熱効率及び耐久性(凍結対策)に関する実測データについて紹介する。

2 産業用ソーラーシステム開発の動向

我が国の一次エネルギーの年間消費量は、石油換算で3億7,200万t(昭和55年統計)であり、そのうち約57%を工業部門で消費している。更に、このうち9千万tがプロセスヒートとして使用されている。この状況は諸外国でもほぼ同様であるために、各国とも太陽熱を産業用プロセスヒートに利用するための研究開発が盛んである。特に、アメリカを中心にデモンストレーションプラントを建設する段階にきており、サウ

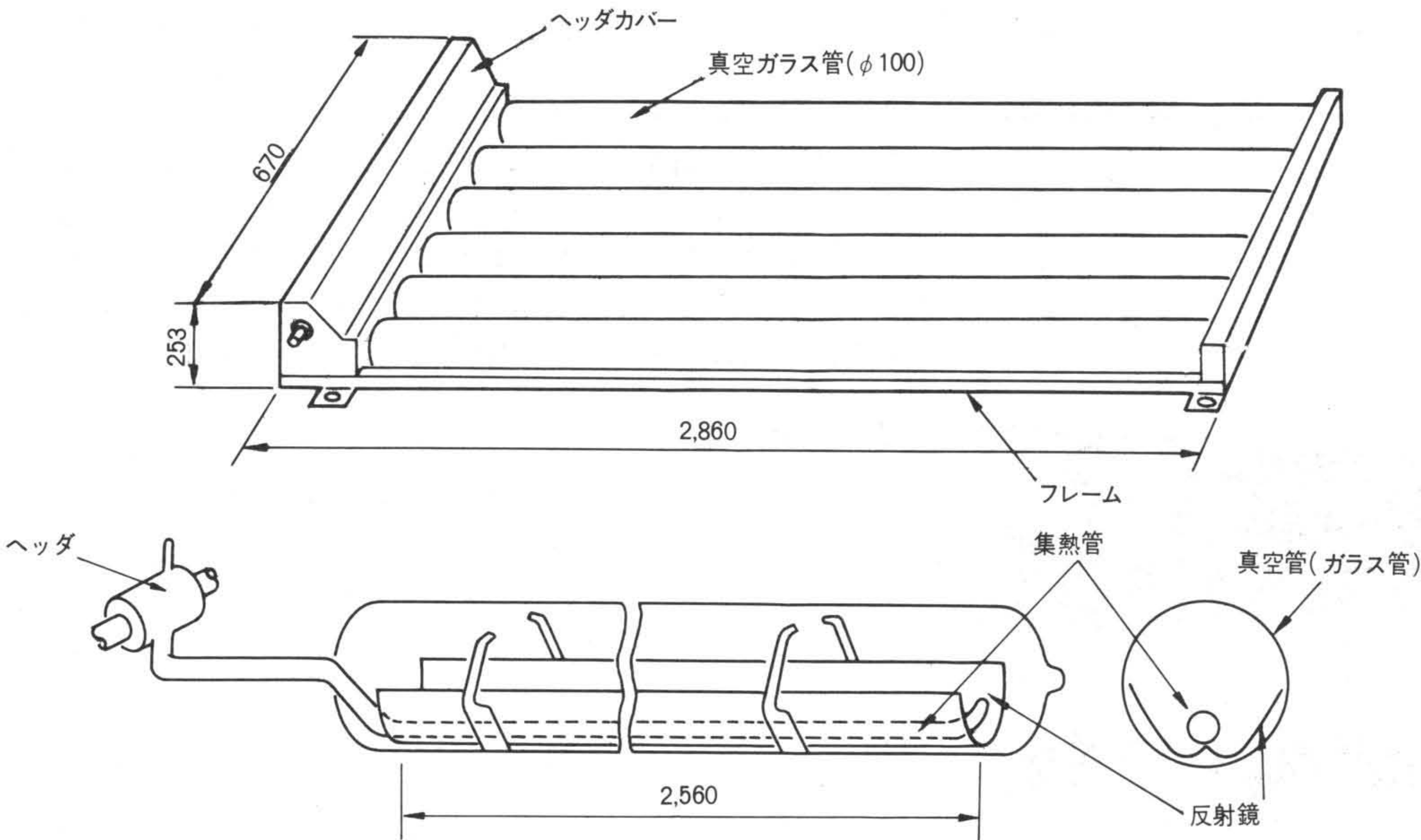


図1 集熱器の構成 太陽光線は、真空ガラス管内部に設置した反射鏡によって、集熱管表面に集光される。集熱器外形寸法により定義する設置面積は、1.92m²(有効集熱面積は1.43m²)である。

* 日立製作所エネルギー研究所 工学博士 ** 日立製作所機電事業本部 *** 日立製作所土浦工場

スカロライナ州のレーガル・テキスタイル社が1978年に織布工場へ適用した。このプラントでは、GE(ゼネラルエレクトリック)社が真空管形集熱器を製作し、120℃の熱水を供給している¹⁾。

3 集熱器の構造と特長

図1及び表1に、開発した集熱器の構造とガラス管内の構成及び仕様を示す。図2に示すように、集熱器は、集光のための反射鏡と集熱管を内蔵した6本の真空ガラス管(外径100mm)と、集熱管を束ねるヘッダから構成されている。集熱管はそれ自体がヒートパイプ(外径約22mm)となっており、熱膨張を容易に吸収できるほか、U字管方式の場合の冬季水抜き及び高圧力損失などの問題を回避している。図3は集熱器の長手方向断面を示し、ヒートパイプ封入水は太陽熱で蒸発し、ヘッダで凝縮して重力で自然に循環する。集熱管の太陽光の吸収率は95%以上に、赤外光の放射率を14%以下に設計した。反射鏡は整形加工したステンレス基板上に銀をイオンプレ

表1 高温集熱器の仕様 真空ガラス管内の反射鏡で、ヒートパイプに集光するのが特長である。

		仕 様	備 考
方 式	形 式	ヒートパイプ付内部反射鏡集光式真空管形	設置面積1.92m ²
	外 形 寸 法	幅670mm×長さ2,860mm	
ガラス管	材 質	ソーダライムガラス	透過率89%
	外 径	100mm(肉厚2mm)	
	真 空 度	10 ⁻³ Torr以下	
反 射 鏡	材 質	ステンレス板に銀イオンプレーティング	集光比1.3
	形 状	インボリュート リニア エンベロープ曲線	
	反 射 率	太陽光反射率93%	
ヒートパイプ	材 質	リン脱酸銅	水封入先端折曲り管
	外 径	22.22mm(肉厚1.14mm)	
	吸 収 率	0.95以上	
	放 射 率	0.14以下	クロムブラック 選択吸収面
	形 式	冷却フィン内蔵二重管式	グラスウール断熱
	外 管	φ34.92mm	
	内 管	φ19mm	

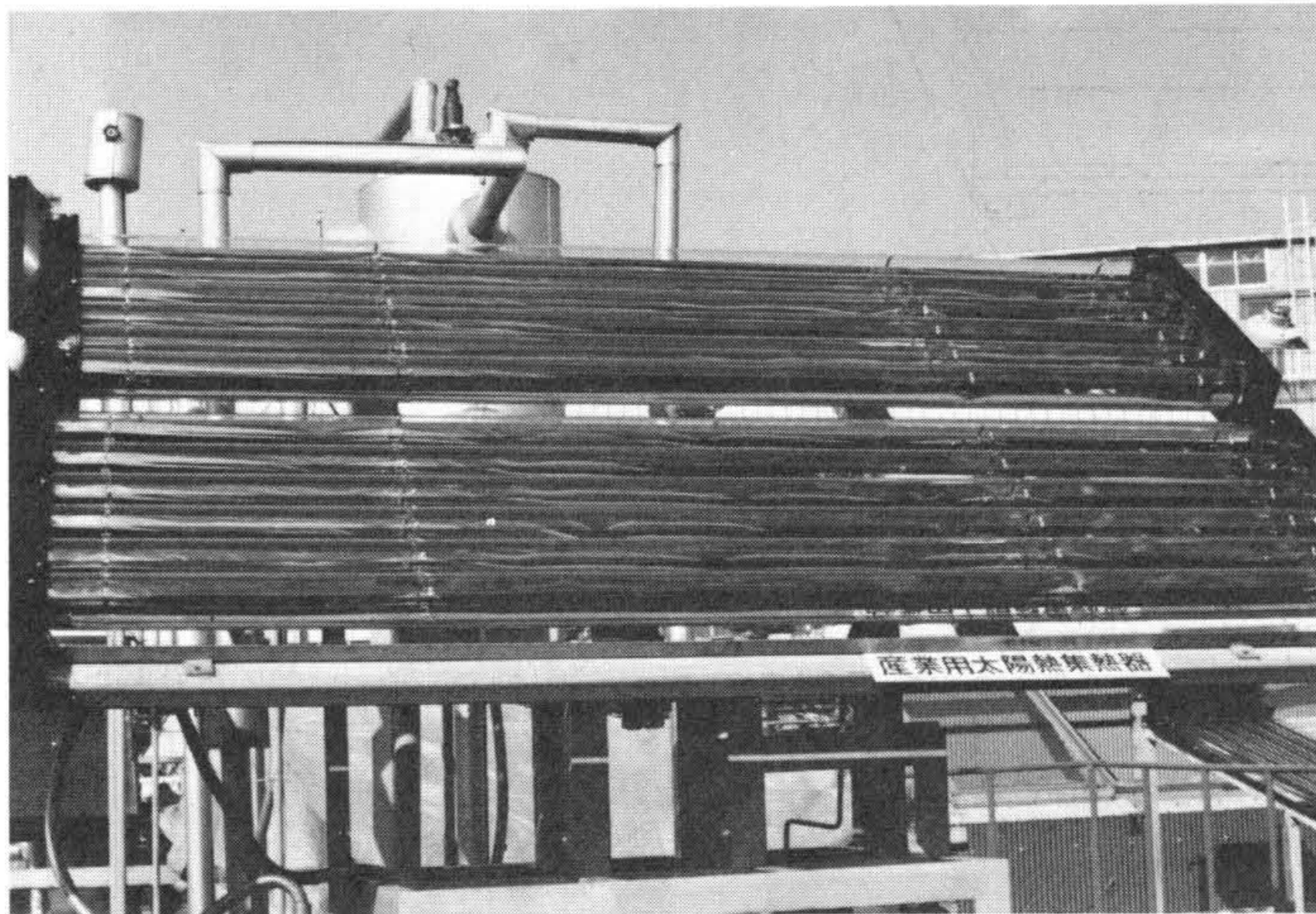


図2 特性試験中の集熱器の外観 130℃の熱水を流して、2台の集熱器の集熱効率を測定中である。

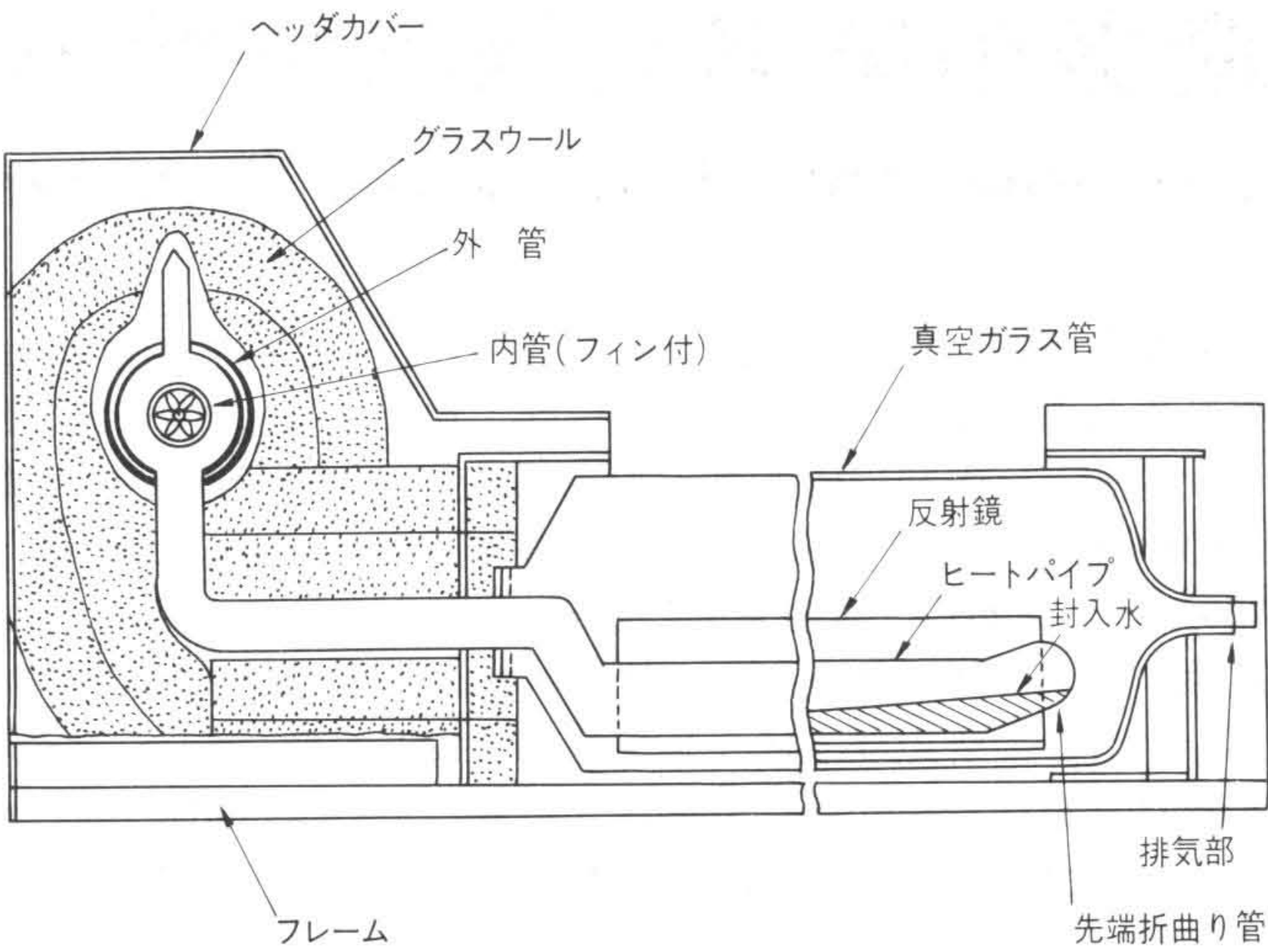


図3 集熱器の断面 太陽熱でヒートパイプ封入水は蒸発し、ヘッダで凝縮する。

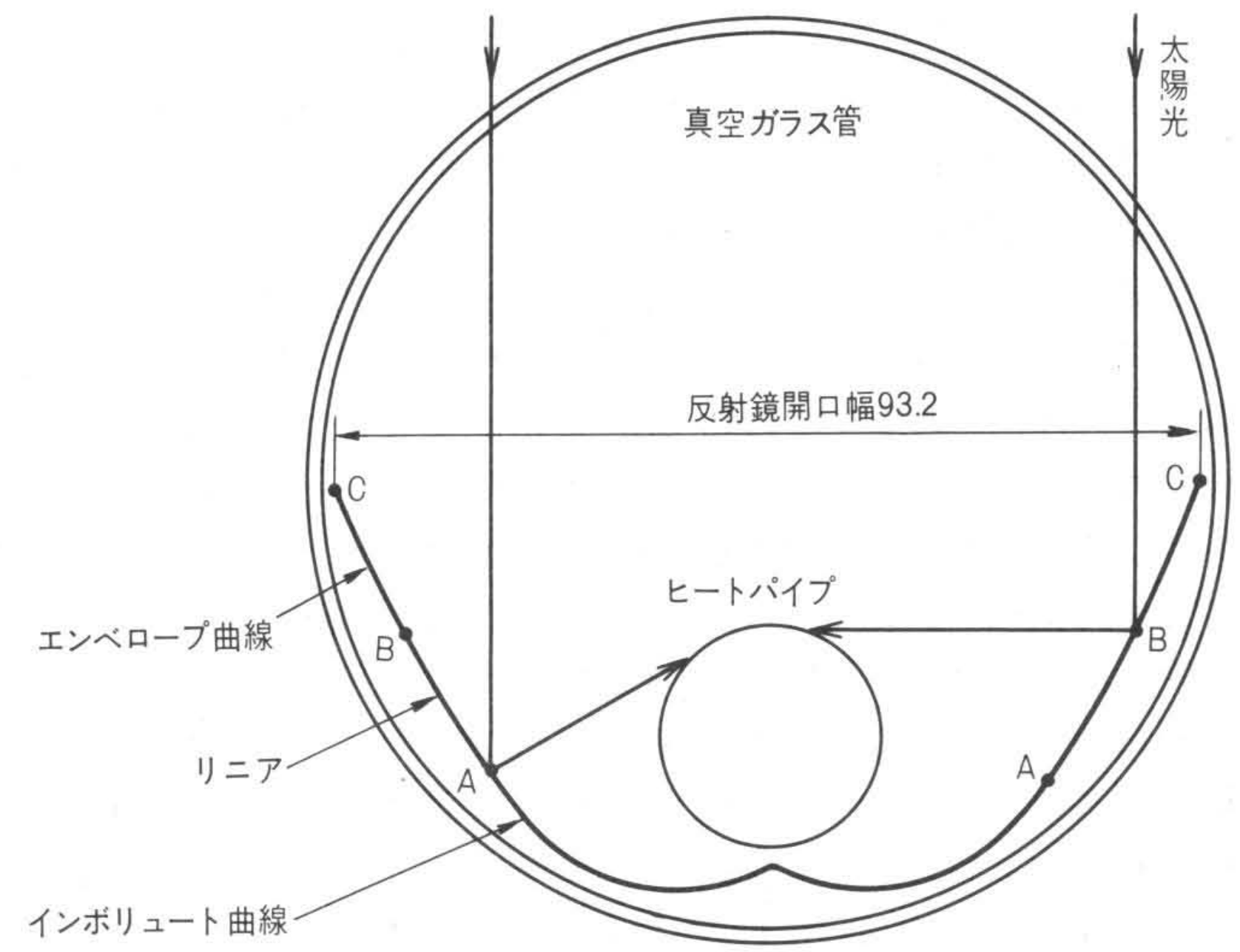


図4 真空管の断面 集光比を1.3(通常0.5)と大きくするため、反射鏡とヒートパイプの形状を改良した。

ーティングする方法で形成し、太陽光に対する反射率で93%を得ている。図4に示すように、断面形状は直径21.7mmの円を基準としたインボリュート曲線に外縁曲線(リニア エンベロープ)を加えたもので、集光比(開口径/集熱管周囲長)1.3を達成した。この値は、集熱板を挿入した真空管形集熱器の集光比(0.5以下)を大幅に改善している²⁾。

4 集熱性能

真空管形集熱器の集熱性能を表わす集熱効率について、統一された定義はないが、ここでは設置面積基準の集熱効率(集熱器の全面積への日射量に対する集熱量の割合)とする。図5に、測定結果を他の集熱器の設置面積当たりの集熱効率と比較して示す。定格運転(集熱温度130℃、気温20℃、日射量907W/m²)のときに、45%以上の集熱効率とする目標を達成できた。

本集熱器は、27度傾斜した屋上に設置するため、年間集熱量を最大にする目的で反射鏡を集熱器面から、更に8度(図4参照)傾けて固定している。このため、集熱器面への太陽入射量と反射鏡への入射量が、季節によって変化する。図6に、

定格時の集熱効率の季節変動の実測値と予測値を示す。夏季の効率が低いが、実際には集熱温度が一定であり、気温上昇による効率向上が期待でき、定格時の集熱効率の年間平均値は46%となる。

5 信頼性試験

本集熱器については、一般の信頼性試験、すなわち凍結・空だき試験、振動試験などを実施し、満足すべき結果を得ている。特に、開発した集熱器固有の問題は、更に半年間のフィールド試験を追加して信頼性を確認した。その選択吸収面の耐熱性、ガラス管内真空度、反射鏡の反射率などの試験結果を表2に示す。

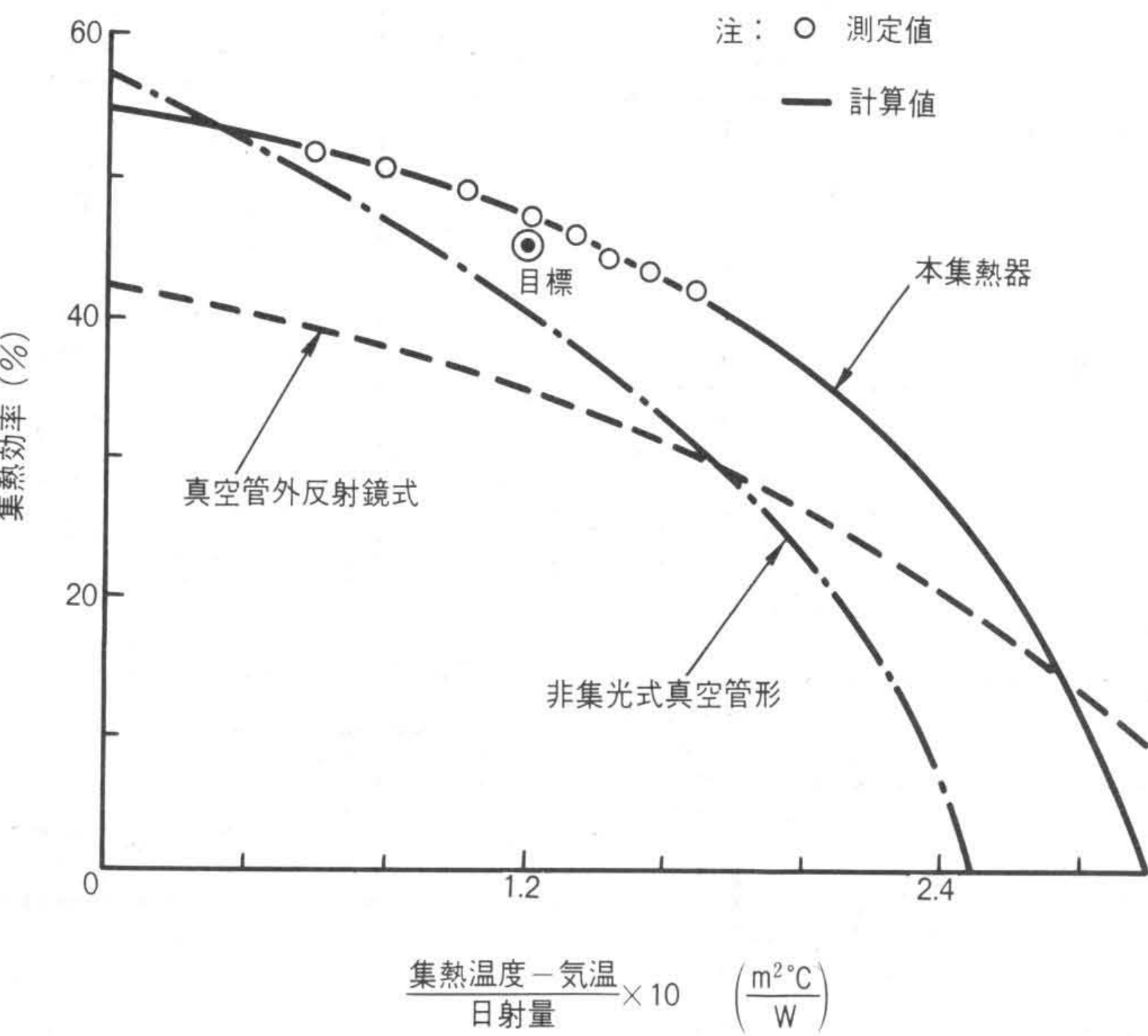


図5 設置面積当たりの集熱効率 定格時(集熱温度130℃, 気温20℃, 日射量907W/m²)の付近で、他方式よりも高い集熱効率であった。

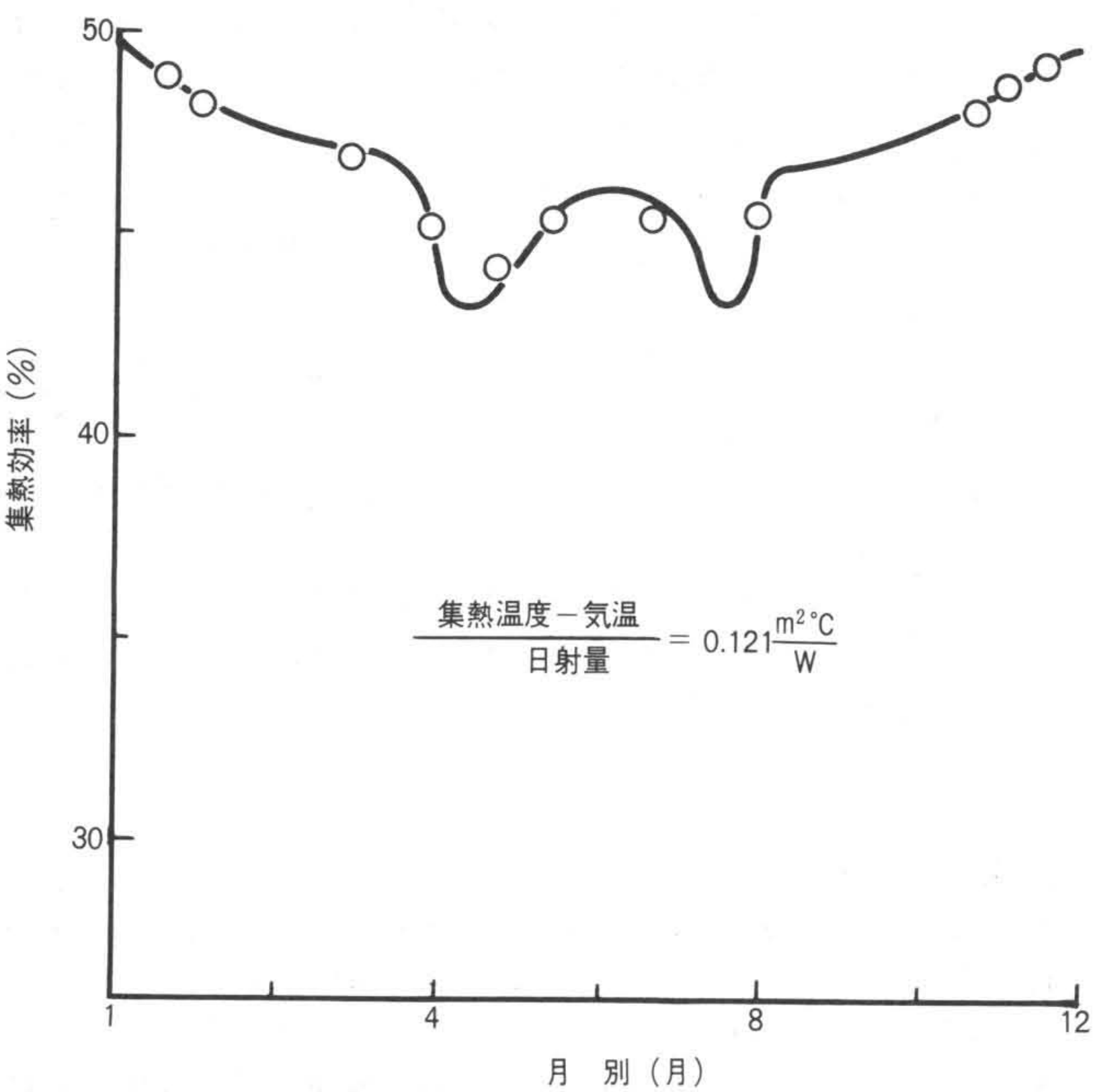


図6 定格時効率の季節変動 定格時の目標45%に対し、定格時効率の季節的平均は46%である。

表2 信頼性試験の結果 ヒートパイプ封入水が凍結しても異常がなく、5年以上の耐久性がある。

	目 標	結 果
凍 結	±20℃ 40サイクル/年×5年	±20℃ 200サイクル以上
耐 震	震度7(45lGal)	異常なし
選 択 吸 収 面	吸収率95%以上 放射率14%以下	1年空だき後* 吸収率97→97% 放射率13→10%
反 射 鏡 反 射 率	93%以上	半年空だき後* 93%
ガラス管真空度	10 ⁻³ Torr以下	1年空だき後* 2×10 ⁻⁴ Torr

注：*印は、継続実施中を示す。

また、本集熱器の特長であるヒートパイプについては、伝熱性能、化学的安定性の点から熱媒体として水を使用している。フロンなどの有機媒体をヒートパイプに使用した集熱器もあるが、本例のような高温集熱器では、化学的安定性に問題がある。その封入水の凍結対策としては、ヒートパイプ先端を曲げる方法(図3参照)を適用した。図7に、集熱管の設置角(0.7度±0.7度)とヒートパイプ作動水量に対し、水が凍結時に体積が膨脹しヒートパイプ容器(銅管)が破損する条件を示す。ヒートパイプ水量100cm³を選定し、±20℃のヒートサイクル下での凍結試験を実施した結果、設置角1.6度以下の場合には図8に示すように200サイクル後でも異常を生じなかった。これは設置角1.6度以下では先端にたまる水の量

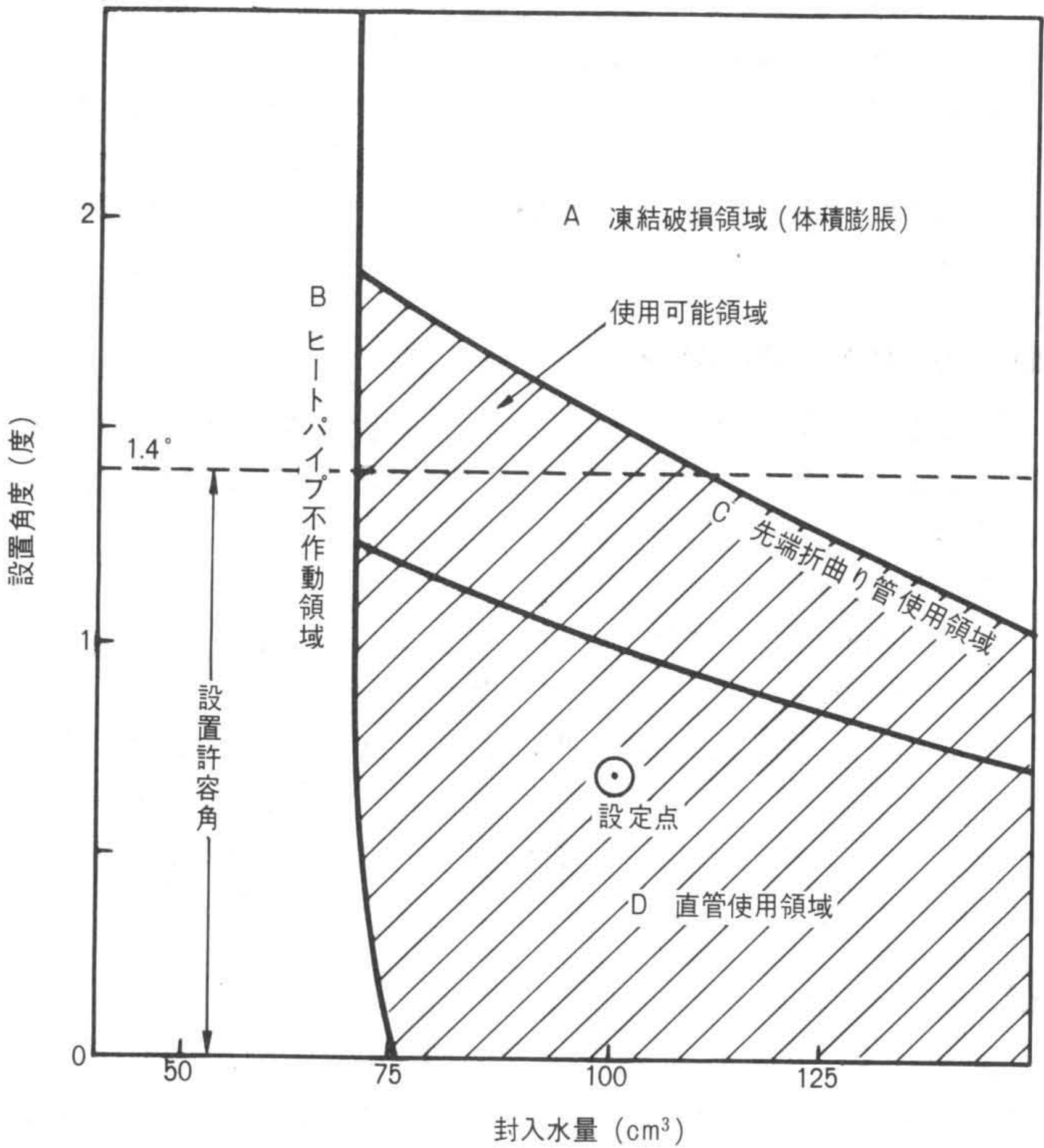


図7 ヒートパイプの作動点 設定点は封入水量100cm³, 設置角0.7度である。

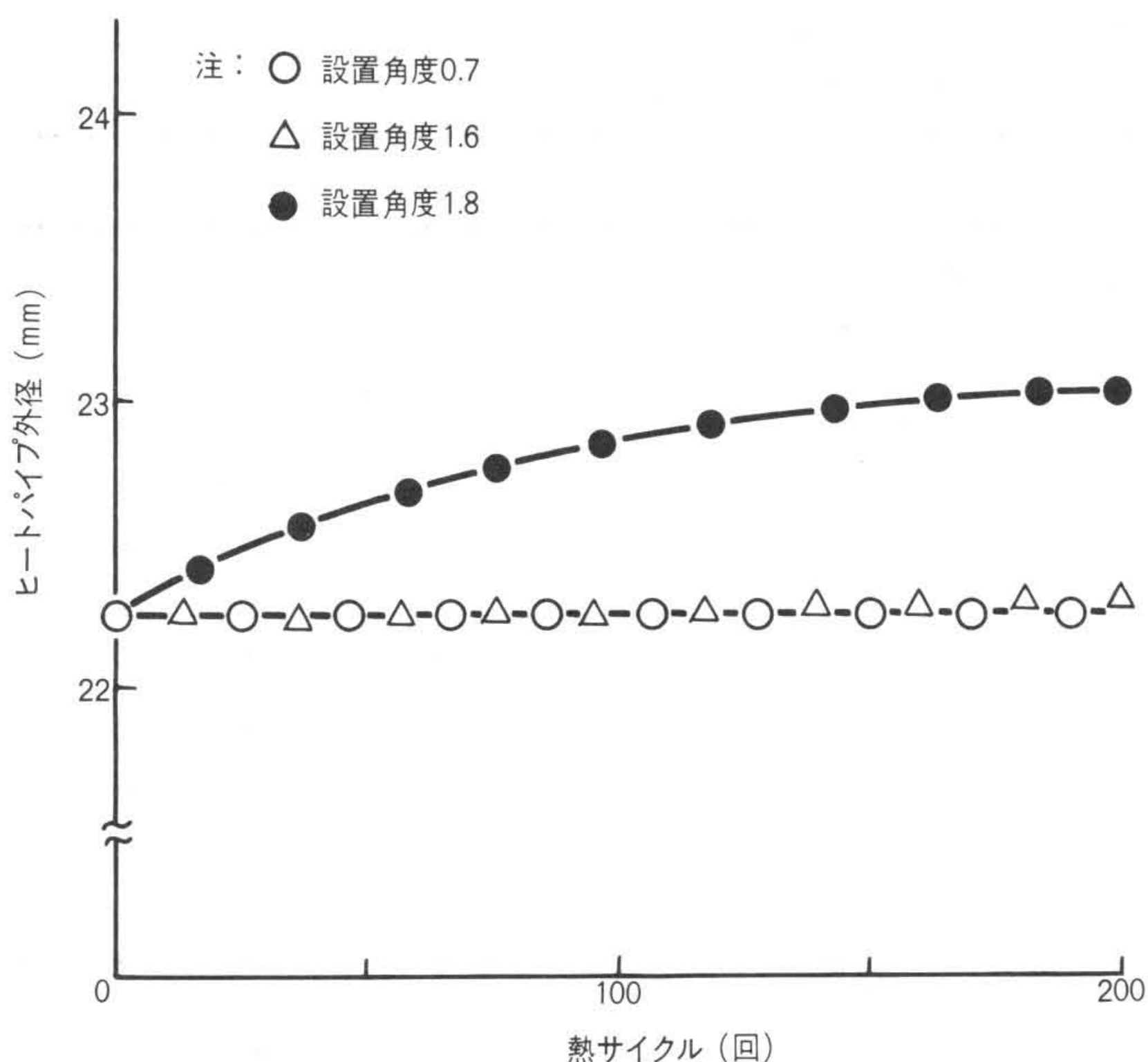


図8 ヒートパイプの凍結試験 尾張一宮地域では1年に約40回氷点下となるので、設置角を水平から1.6度の間にすると、5年以上の寿命がある。

も少なく折曲り部によって凍結時の体積膨脹を吸収する空間が確保できたからである。

6 産業用ソーラーシステムへの適用

カスケードヒートプロセス形ソーラーシステムとは、生産プロセスで段階的溫度レベルの熱管理を必要とするプロセスに、図9のようにソーラーシステムを適用することである。

このシステムは、補給水システム、低・中・高温集熱システム、低・中・高温蓄熱システム及び各種熱交換システムから構成されている。集熱方法としては、低温(40～60℃)用は平板形集熱器を120台、中温(60～90℃)用は中間フィルム付平板形集熱器を100台使用し、高温(100～130℃)用は今回開発した集熱器を280台使用している。

我が国では、民生用ソーラーシステムに比べて産業用ソーラーシステムの実用化が遅れており、この染色工程に使用するシステムの開発は、その突破口になるものとして各方面から注目されている。

7 今後の課題と展望

開発した太陽熱集熱器は、従来の非追尾式集熱器では実現困難であった100℃以上の熱水供給を可能にし、かつ追尾式集熱器に比べ構造、コスト面で優れた特長をもっているため、広範な産業用途に適用可能と考えられる。太陽熱冷暖房用の集熱器は100℃以下で使用していたが、130℃が得られれば冷凍器の効率も向上する。なお、水を封入したヒートパイプの凍結対策として先端を折り曲げる方法は、他の分野のヒートパイプにも応用できる。今後の課題としては、産業用ソーラーシステムの経済性を成立させるために、各種構造材の見直しを行なって、いっそうのコスト低減が必要である。

8 結 言

産業用ソーラーシステムで、100℃以上の熱水を供給する高温太陽熱集熱器を開発した。集熱器の特長は、真空ガラス管内に反射鏡と集熱管(ヒートパイプ)を内蔵した非追尾集光式の集熱器構成をもっていることである。この集熱器の集熱効

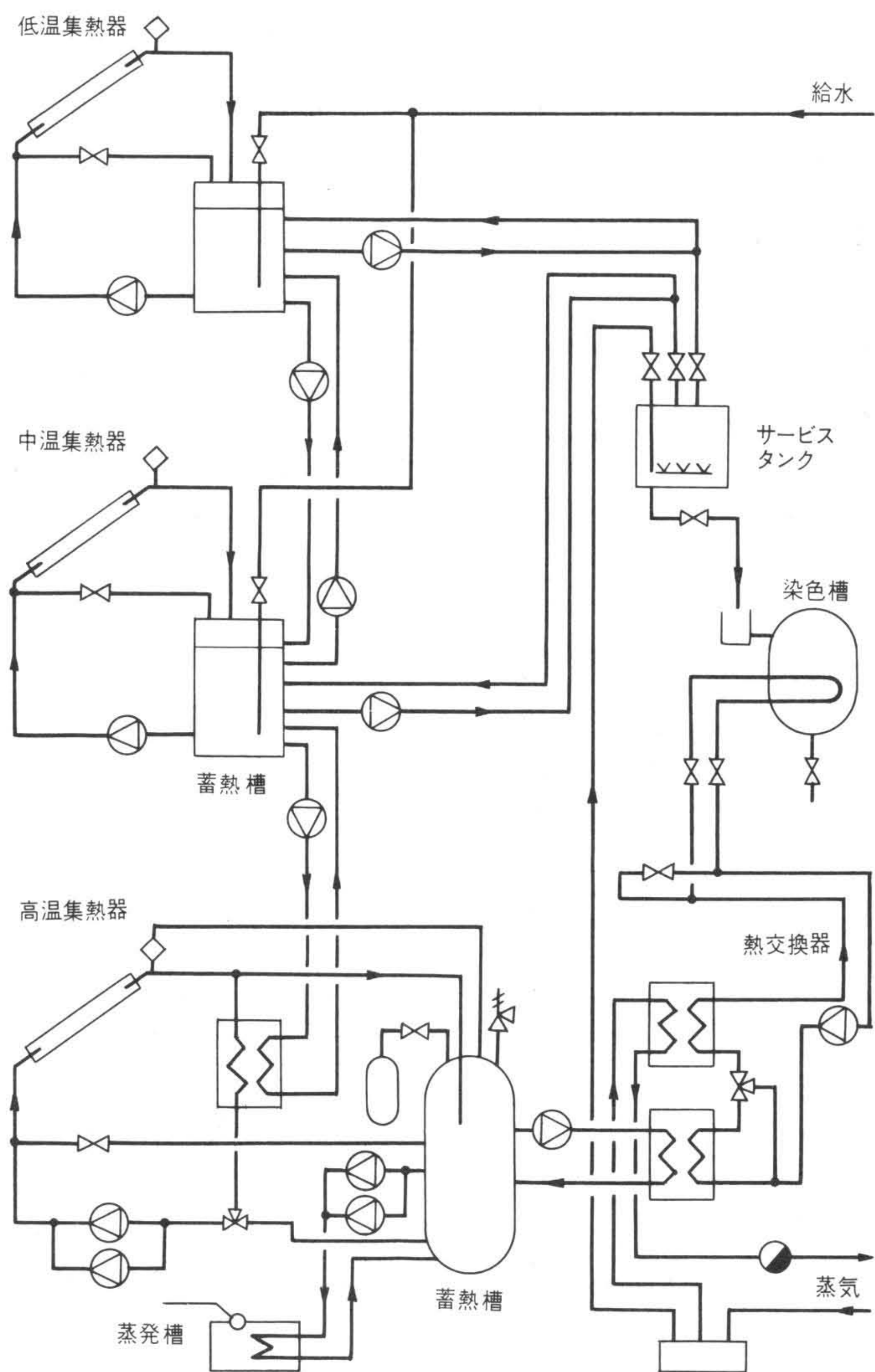


図9 カスケードヒートプロセス形プラント 高温集熱器(130℃)を昭和58年10月に280台設置した。

率は日射量907W/m²、気温20℃、集熱温度130℃の定格時には45%以上であり、他の代表的な集熱器よりも優れた高温特性を実現した。また、集熱器の信頼性については凍結、耐久性試験などを進め実用性を確認した。この集熱器は、NEDO(新エネルギー総合開発機構)で推進中のカスケードヒートプロセス形プラントに280台据え付けられ、昭和59年度から運転を開始する予定になっている。

本研究は通商産業省工業技術院「サンシャイン計画」のなかでNEDOからの委託研究として実施したものであり、NEDOの産業用ソーラーシステム技術委員会関係各位の御指導に対し深く感謝する次第である。また、デモンストレーションプラントへの適用に御協力いただいた日本毛織株式会社殿、集熱器の信頼性試験に参加いただいた日立化成工業株式会社殿に対し併せて感謝するものである。

参考文献

- 1) J. B. Trice: Commercialization Aspects of Solar Process Hot Water Systems for the Textile Industry, IEEE CH1451-4/79(1978)
- 2) K. Imani, et al.: Evacuated Tubular Solar Collector with Internal Reflector and Heatpipe, Miami Conference on Alternative Energy Sources(1983-12)