

熱輸送システム技術「サーモウェイ®」

Thermal Energy Transport System
"ThermoWay®"



技術開発本部
プロセス技術開発部廃棄物処理室
田 頭 成 能
Shigeyoshi Tagashira
技術開発本部開発企画室
伊 藤 裕
Yutaka Ito
技術開発本部
プロセス技術開発部新規プロセス室
村 上 吉 明
Yoshiaki Murakami
(株)神戸製鋼所 技術開発本部
機械研究所流熱技術研究室
東 康 夫
Yasuo Higashi
高 橋 和 雄
Kazuo Takahashi

蓄熱材にエリスリトールを、熱交換方式に直接接触式をもちいた熱輸送システム技術を開発した。工場などで未利用のまま放散されていた中・低温域（おおむね200℃以下）の廃熱を利用して、蓄熱装置に熱エネルギーを蓄え、トラックなどで遠隔地へ輸送し、熱利用時には90℃以上の高温水として取り出せる。熱利用温度が従来技術よりも高いため、暖房や給湯用途での利用に留まらず、市販の吸収式冷凍機と組み合わせることにより冷房用エネルギーとしても利用可能である。本技術による総重量1トン規模の蓄熱装置を試作し、公道での熱輸送と、吸収式冷温水機との組み合わせによる冷熱転換を実証した。

A new thermal energy transport system, which employs Erythritol as heat storage medium and direct contact heat transfer technology, has been developed. Waste heat at the temperature of 200 °C or lower can be a heat source for this system, and after transportation, the system retrieves the stored heat energy as hot water at the temperature of 90 °C. The temperature of retrieved hot water is sufficiently high, so that the energy can be utilized to cooling purposes in combination with absorption refrigerators. A 1-tonne heat storage cassette and heat storage/retrieval units are manufactured as a prototype system, which demonstrated the transportation on public road and also stable operation together with an absorption refrigerator.

Key Words :

熱輸送システム
潜熱蓄熱
直接接触
エリスリトール
吸収式冷凍機

Thermal energy transport system
Latent thermal energy storage
Direct contact
Erythritol
Absorption refrigerator

まえがき

当社と(株)神戸製鋼所とは共同で、製鉄所や工場、あるいはごみ焼却場などで、従来有効利用されことなく放散されていた中・低温域（おおむね200℃以下）の廃熱を利用して、独自開発の高効率な蓄熱装置に熱エネルギーを蓄え、トラックで遠隔地へ輸送する技術を開発した。本技術は、蓄熱材にエリスリトールを、熱交換方式に直接接触式を採用していることが特長である。熱利用側での温水を温度90℃以上の高温水にできるため、暖房や給湯用途での利用に留まらず、市販の吸収式冷凍機と組み合わせることにより冷房用エネルギーとしても利用が可能となる。本開発では高温水取出温度90℃以上を1つのターゲットとした。

パイプラインなどのインフラ整備が不要であり、CO₂排出削減・地球温暖化対策にも結びつく有効な熱エネルギー利用手段として、集合住宅などの民間施設や地域・公共機関などの冷暖房・温水として、幅広く利用されることを期待している。

本報告では、まず、筆者らが開発してきた熱輸送システムの概要と特長を紹介する。つづいて、本システムの試験機として、総重量1トン規模の蓄熱装置を試作し、公道での熱輸送をおこない、90℃の高温水を供給した「公道輸送試験」の結果を述べる。最後に、市販の吸収式冷水機との組み合わせによ

り、蓄熱装置の熱をエネルギー源として冷水を生成し、夏季に床面積30m²の室内を冷房する「冷熱転換試験」を実施したので、その結果を示す。

1. 熱輸送システム

1.1 熱輸送システムとは¹⁾

現状の工場、廃棄物処理施設、バイオマス熱利用システム等においては、高温廃熱はたとえば熱回収してボイラ用空気の予熱に使用するなど、工場内での利用が進んでいる。しかし、おおむね200℃以下の中・低温の廃熱は、工場内での熱回収・利用が効率的でなく、未利用のまま放散される場合が多い。

一方、我々が日常生活において空調や給湯の用途で必要とする温度域はたかだか数十℃であり、中低温廃熱で十分にカバーできる。

しかしながら、工場などの施設と熱需要のある施設とは、立地が互いに離れていることが多く、従来、工場施設で発生した200℃以下の中・低温排熱を熱需要施設で経済的に利用できなかった。

今回開発された熱輸送システム技術を利用すれば、工場では放散されていた未利用の廃熱を、需要のある場所まで輸送し利用できるようになる。廃熱を利用した分については燃料を節減できるので、CO₂排出を抑えることができる。たとえば、廃棄物処理施設の排熱利用を例に取ると、熱輸送システムをもちいた場合のエネルギー利用の将来像として図1のよう

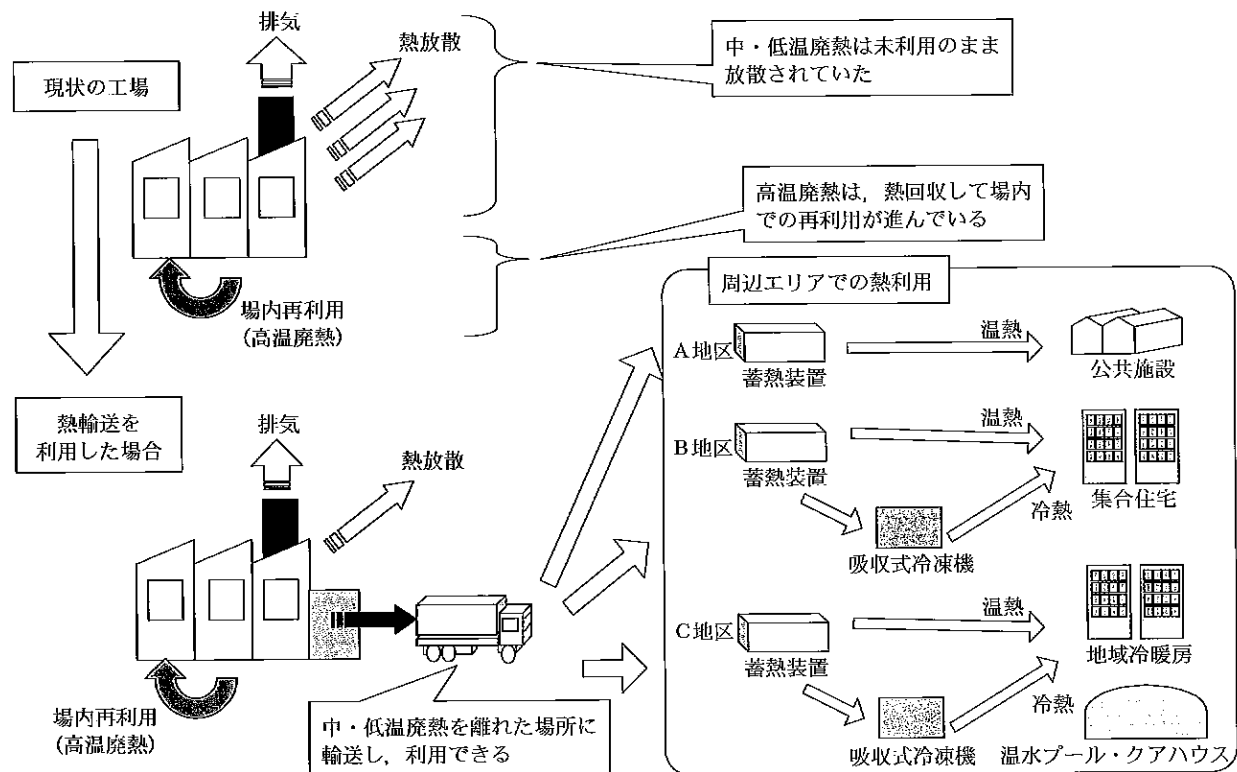


図1 熱輸送システムの概念

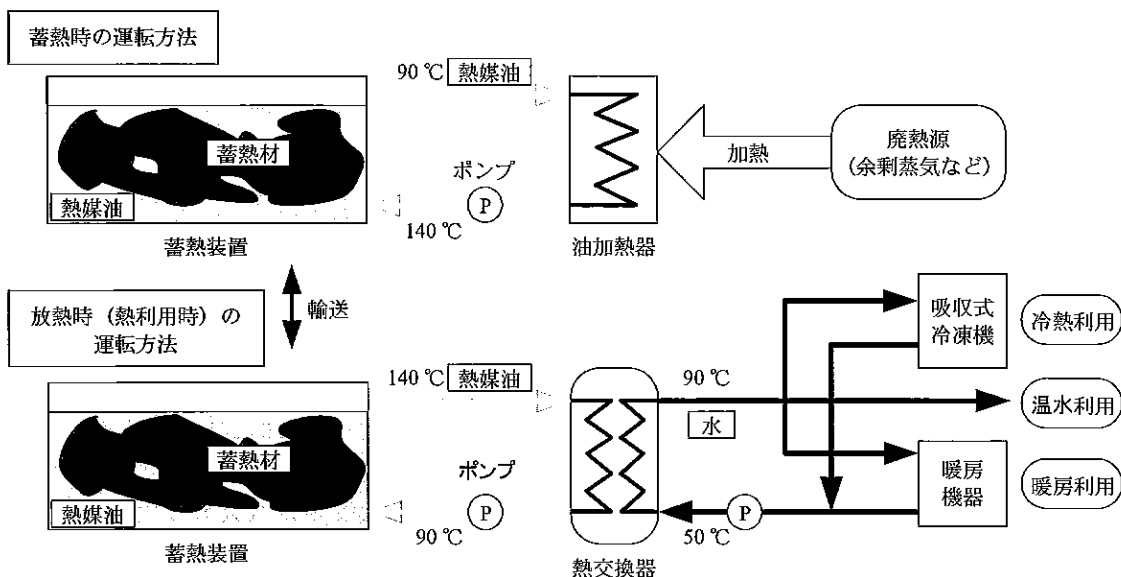


図2 熱輸送システムの運転方法

な利用状況が考えられる。

1.2 蓄熱装置の運転方法

熱輸送システムで使用する蓄熱装置には、少ない質量で多くの熱を蓄えることのできる「蓄熱材」と呼ばれる物質が入っている。この物質に蓄熱する方法としては、熱媒体として油を使用するのが一般的である。

図2に、蓄熱装置への蓄熱時、および放熱時（熱利用時）の運転方法を例示した。熱を蓄えるときには、熱源により熱媒油を加熱して蓄熱装置内を循環させ、蓄熱材に熱を蓄える。一方で、放熱時には、蓄熱装置から高温の熱媒油を取り出し、これを水と熱交換して、空調や給湯用途に使用する。

1.3 本技術の特長

この熱輸送システムを運営する場合には、1回当たり輸送できる熱量の向上とシステムの年間稼働率の向上、すなわち暖房、冷房の双方への適用が技術課題となる。この際に大きな役割を果たすのが、潜熱蓄熱材である。物体が固体から液体へと融解するときには、潜熱と呼ばれる物質固有の熱量を必要とする。この現象を利用して熱を蓄熱する材料を潜熱蓄熱材と呼び、質量あたりの蓄熱量を大きくとれるという利点がある。代表的な潜熱蓄熱材としては、酢酸ナトリウムやパラフィンなどがある。

すでに欧州では、酢酸ナトリウム（融解潜熱：63 kcal/kg, 融点温度58℃）を蓄熱材として使用した熱エネルギー輸送技術が実用化されている。

これに対し、本技術は、

- ① 単位質量あたりの蓄熱量が大きく（融解潜熱：76 kcal/kg）、高い融点温度（119℃）を持つエリ

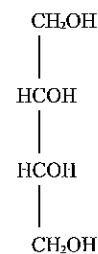


図3 エリスリトール (meso-Erythritol)

スリトールを蓄熱材として使用。

- ② 蓄熱装置に独自開発の特殊構造（特許出願中）を採用。蓄熱材に、熱エネルギーを伝える熱媒体（熱媒油）との熱交換に、直接接触式の採用を可能としたことで、蓄熱装置内の伝熱効率・充填効率が高くなり、従来比で30%小型化。などにより、熱エネルギーの輸送効率を向上させたという特長を持つ。

エリスリトールは、糖アルコール類の一種で、図3に示すように分子式 $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$ で表される。ノンカロリーの人工甘味料として、菓子や飲料に広く利用されており、人体に安全で地球環境にもやさしい。写真1に示すように、白色粉末として市販されているが、一度融解して再凝固すると写真2のように氷砂糖状に凝固する。

図4に、各種の潜熱蓄熱材の比較を示す。この図からもわかるように、エリスリトールは融点が高く吸収式冷凍機が必要とする90℃を超えており、かつ融解潜熱が大きいことから、潜熱蓄熱材として好適な性質を有しており、この分野での利用が期待されている。

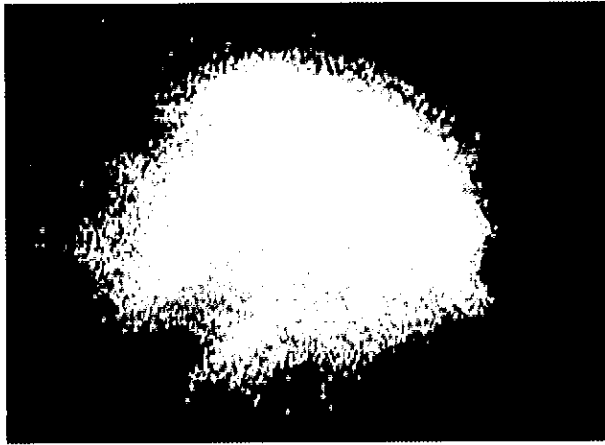


写真1 エリスリトール（粉末状）

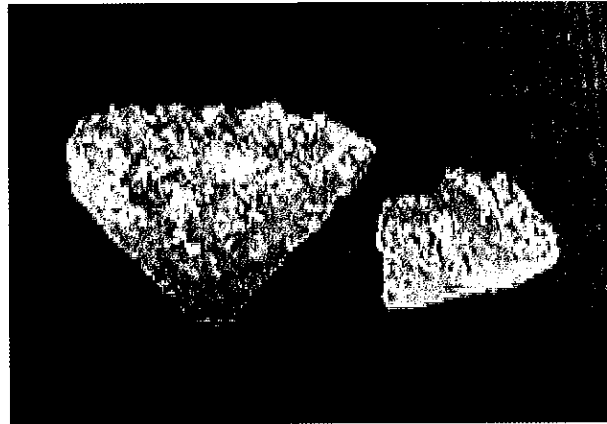


写真2 エリスリトール（固形状）

一方、従来、エリスリトールを蓄熱材として利用する場合は、球形のカプセルや伝熱管の中にエリスリトールを充填し、あるいはエリスリトールを充填した容器内を伝熱管が通過するようにするなどして、エリスリトールが直接熱媒油に接触しないような方法をとっていた。²⁾ これに対し、本技術では、エリスリトールなどの蓄熱材を、熱媒油の中に直接浸して蓄熱・放熱をおこなう方式（直接接触型熱交換）を採用している（図5参照）。これは、エリスリトールが熱媒油には溶けないため、比重差による分離が可能であることを利用している。

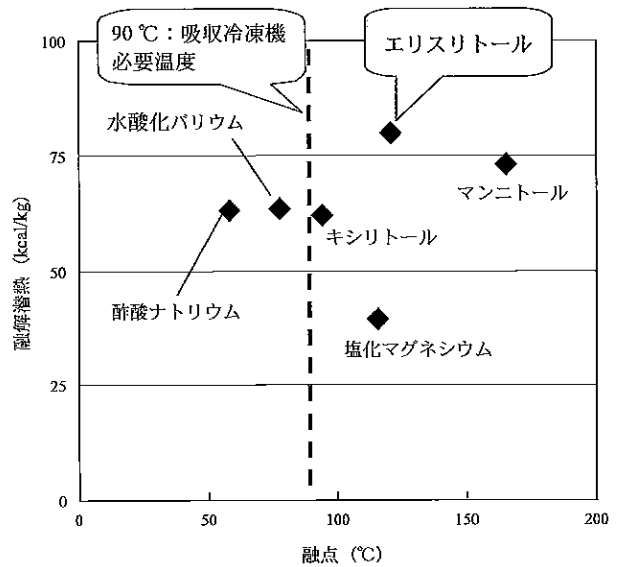


図4 各種潜熱蓄熱材の比較

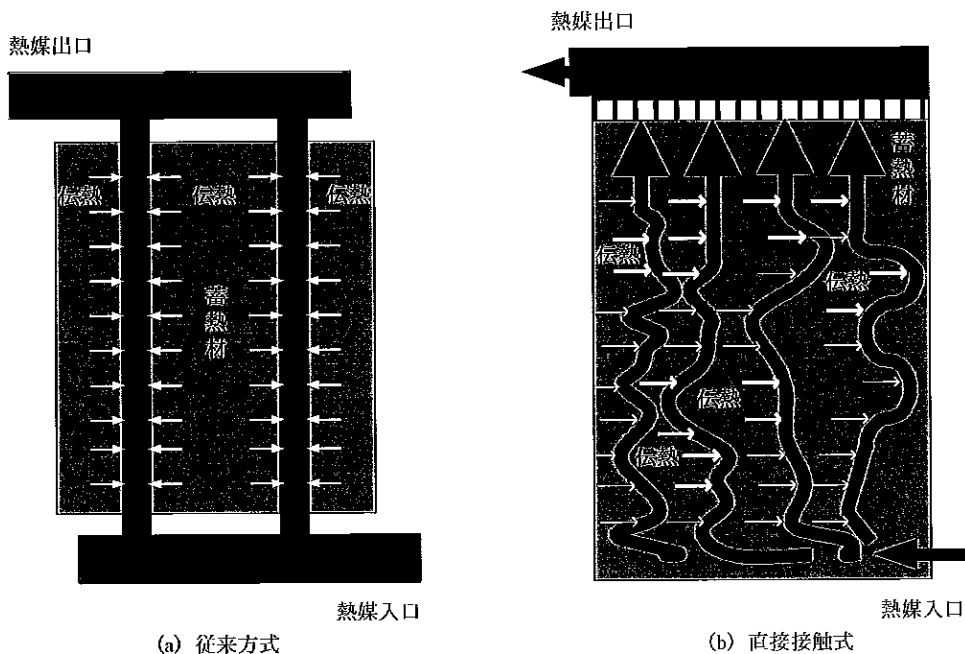


図5 直接接触式熱交換の概念図

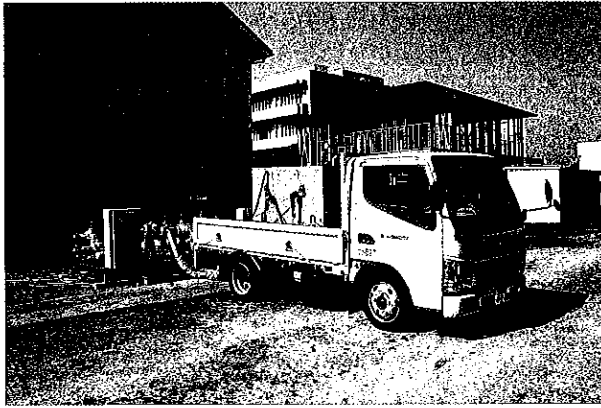


写真3 蓄熱装置の外観

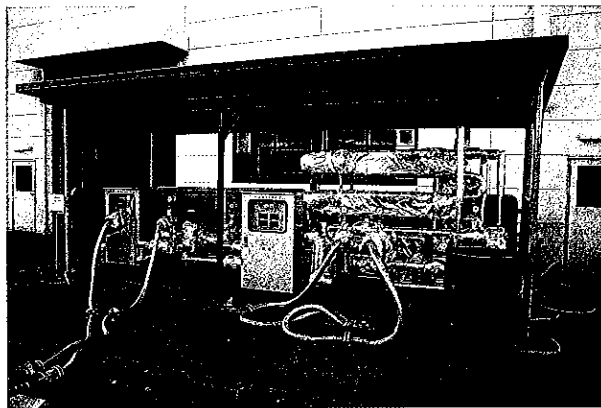


写真4 蓄熱ユニット (左) と放熱ユニット

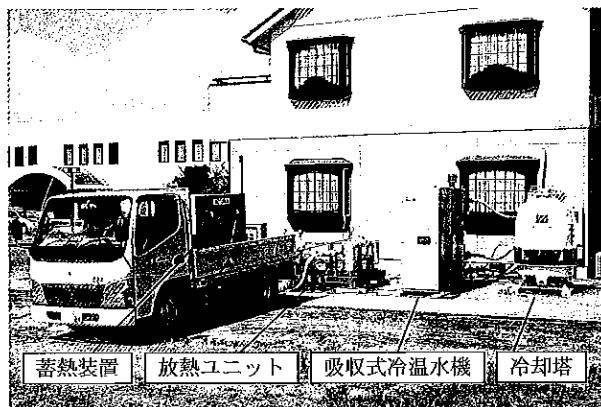


写真5 冷熱転換試験装置の外観

装置内に伝熱管などが無いことから、蓄熱材の充填効率に優れ、また、熱媒油と蓄熱材の接触面積が大きく伝熱効率がよいことから、コンパクトな蓄熱装置を実現できる。

2. 公道輸送実験³⁾

熱輸送システム技術の実証のため、実験用の小型蓄熱装置（総重量約1トン、蓄熱材：400kg）を製作し、（株）神戸製鋼所の神戸総合技術研究所（神戸市西区）から、当社の技術研究所（同）までの約5

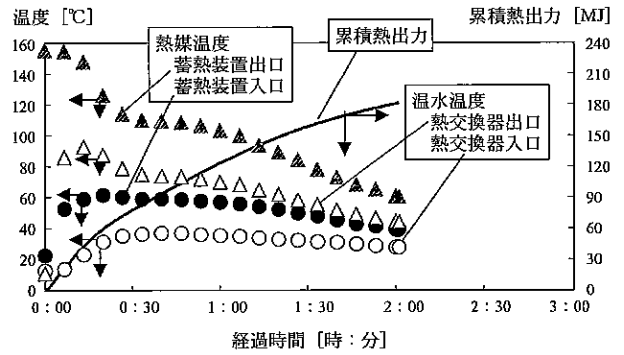


図6 公道輸送実験における温水生成状況

kmの間で、蓄熱したコンテナを公道輸送する試験をおこなった。本試験に使用した蓄熱装置を写真3に、また、蓄熱装置への熱供給をおこなう蓄熱ユニット、ならびに蓄熱装置からの熱の取り出し温水を加熱する放熱ユニットを、写真4に示す。

放熱時における蓄熱装置の入口・出口の熱媒温度、ならびに、熱交換器を介して熱交換した温水の温度を図6に示す。本図より、蓄熱装置に蓄えられた熱を90℃温水として回収できていることがわかる。

3. 冷熱転換実験⁴⁾

前項で紹介した蓄熱装置と、吸収式冷温水機システム（本体：矢崎総業製 WFC-SCB77型、定格冷房出力25kW、クーリングタワー：冷却能力60.7kW、室内機：定格出力5kW）とを組み合わせ、冷熱転換実験をおこなった。

本実験装置においては、放熱ユニットで熱回収した温水を、配管を通して吸収式冷温水機との間で一定流量で循環し、吸収サイクルの再生用熱源として使用した。吸収冷房サイクルによって冷却された冷水は、30m²の屋内に設置された室内機に一定流量で供給され、冷風を発生させた後に冷温水機本体に戻る。実験装置の外観を、写真5に示す。

実験時の温度トレンドを図7に示す。試験開始後約20分間は、LPGを使用し吸収式冷温水機を起動した。その後、LPGを停止し、蓄熱カセットからの熱供給により吸収式冷温水機を駆動した。蓄熱装置出口の熱媒温度を見ると、試験開始当初は徐々に温度が降下するが、エリスリトールの融点よりもやや低い温度でほぼ一定となる期間が約1.5時間続き、その後再び下降に転じていることがわかる。これは、温度一定の期間は、主にエリスリトールの融解熱に相当する熱量を取り出していることを示している。実験全体を通じて、吸収式冷温水機の温水入口温度は安定しており、約7℃の冷水を定常的に供給できていることがわかる。

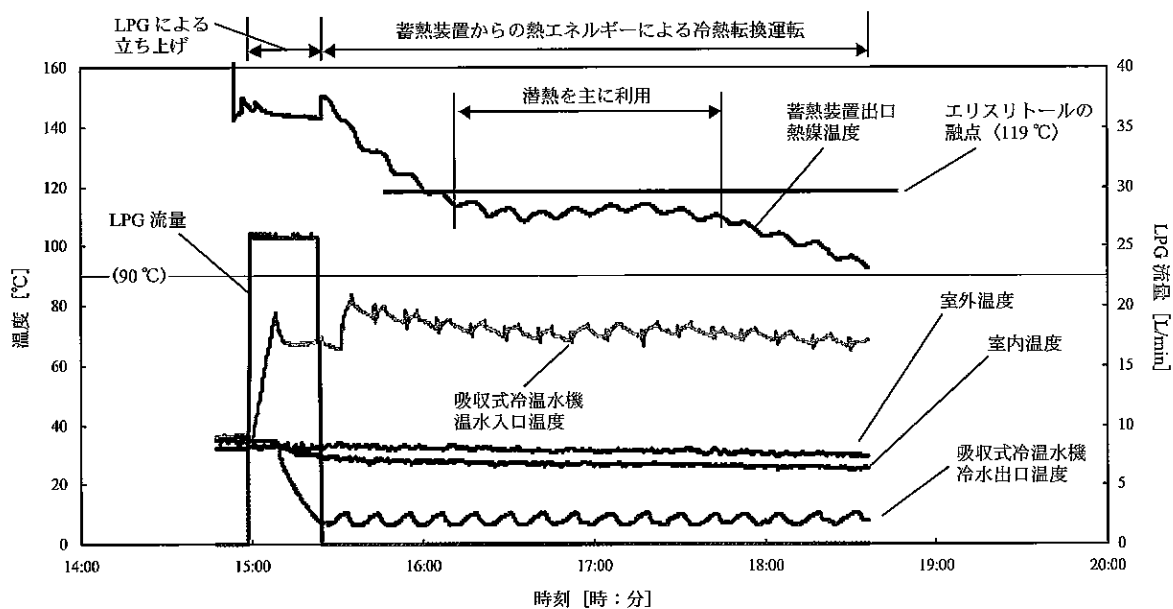


図7 冷熱転換実験の運転状況

むすび

蓄熱材としてエリスリトールを使用し、熱交換方式に直接接触式を採用した熱輸送システムを開発した。本方式による蓄熱装置（総重量：約1トン、蓄熱材：400kg）を製作し、熱を蓄えた蓄熱装置を公道輸送する試験をおこない、90℃以上の温水を採取することができることを示した。また、吸収式冷温水機との組み合わせにより、蓄熱装置に蓄えられた熱をエネルギー源として、冷熱を発生する冷熱転換試験に成功した。

本研究は、2005年度から2006年度まで、NEDO（（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構）との

共同研究テーマ：「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発／バイオマスエネルギー転換要素技術開発」に採択された。今後は実用化に向けた開発を推進してゆく所存である。

【参考文献】

- 1) NEDO 平成9年度調査報告書 NEDO-NP-9734 (1998)
- 2) たとえば、特開平11-44494など。
- 3) 高橋和雄ほか、第15回 日本機械学会環境工学総合シンポジウム講演論文集、p.207-209、2005年7月
- 4) 高橋和雄ほか、日本機械学会熱工学コンファレンス2005講演論文集、p.297-298、2005年11月