

PCM (潜熱蓄熱材) を用いた熱の宅配便

PCM Method Heat Delivery Services

岩井良博

Yoshihiro Iwai

定塚徹治

Tetsuji Sadatsuka

三機工業(株) 環境システム事業部
環境事業推進室 副室長

同上 グループリーダー

1 はじめに

日本国内における一次エネルギー効率は40%程度といわれ、60%は排熱等の形で未利用のまま自然界に放出・廃棄されている¹⁾。

一方、2001年におけるOECD加盟30ヶ国のエネルギー消費原単位(原油換算t/GDP百万ドル)は平均191.3で、日本は92.2と半分以下になっており、他国に比べ省エネルギーが非常に進んでいると考えられる。ちなみに二位のドイツでは129.9となっており、他国を大きく引き離している²⁾。

これらから、今後日本において省エネルギーを一層進めていくためには、従来の延長線上の技術だけでなく、発想の転換による新しい省エネルギー技術の開発が必要と考えられる。

ここで紹介するトランスヒートコンテナ技術は、ドイツで開発されたもので、三機工業(株)と(株)栗本鐵工所が導入したものである。工業プロセス用では低温で利用されなかった排熱を潜熱蓄熱材に蓄熱し、民生用エネルギー(冷暖房・給湯等)として利用することにより、一次エネルギー効率を高め化石燃料の消費を抑制し二酸化炭素の排出量を削減する、という技術である。

低温エネルギーは、導管による供給方式では、温度低下や移動用に使われるエネルギーが相対的に大きくなるなど、コストに見合った効果が得られず、場内利用などごく限られたものであった。本技術は、熱供給方式を車両によるオフライン方式とし、高効率で低温排熱を供給するいわゆる「熱の宅配便」技術である。

一般に産業用に使われるエネルギーは、そのプロセスに応じて必要な温度や媒体等の条件がある。その条件を満たさなくなったエネルギーは、プロセス中での利用価値がなくなり、できるだけ安価な方法により地球環境中に廃棄されている。

一方、民生用のエネルギーは、電力を除きそのほとんどは

100℃以下の温度で賄うことができる。しかし、これらのエネルギーも利便性に優れた都市ガスや灯油などの化石燃料や電力などの高エクセルギーのものを使用して得られている。

増加を続けている民生用エネルギー消費の一部を産業プロセスから排出される廃棄エネルギーで置き換えることができれば、日本全体のエネルギー使用量を抑えることができ、大幅なCO₂削減が可能である。エネルギー賦存量だけに限定すれば、発電所での排熱を含めた全産業排熱が持つエネルギーで民生用エネルギーを全て賄うことも可能である。

2 トランスヒートコンテナ技術の特徴

エネルギーを運ぶ方法としては、電線や配管によるオンライン供給が中心であるが、LPGのようにポンペを車で配送するオフライン方式も古くから実用化されている。

本システムは、熱源施設(発電、化学、金属、廃棄物焼却などの排熱)から排出される様々な低温排熱(200℃以下)を、熱媒油を介してコンテナ内に充填した「潜熱蓄熱材(PCM: Phase Change Material)」に蓄え、熱利用施設(病院、オフィス、公共施設、集合住宅、工場など)へトレーラー等の車両によりオフライン輸送する「未利用エネルギーの有効利用」技術である。導管方式に比べインフラ整備コストが安価でかつ距離に関係なく、地下構造物等の制限を受けない等、従来に比べて新しい発想に基づくCO₂削減対策技術である。

システムの概要を図1に示す。蓄熱容量や温度は、潜熱蓄熱材の種類やタンク容量・重量に応じて表1に示すような種類がある。Type1~Type3までは既にドイツで開発されているが、Type4については日本において高温用PCMとして適用を検討しているもので、2006年8月より、実機(20トンコンテナ)による実証試験を行っている。

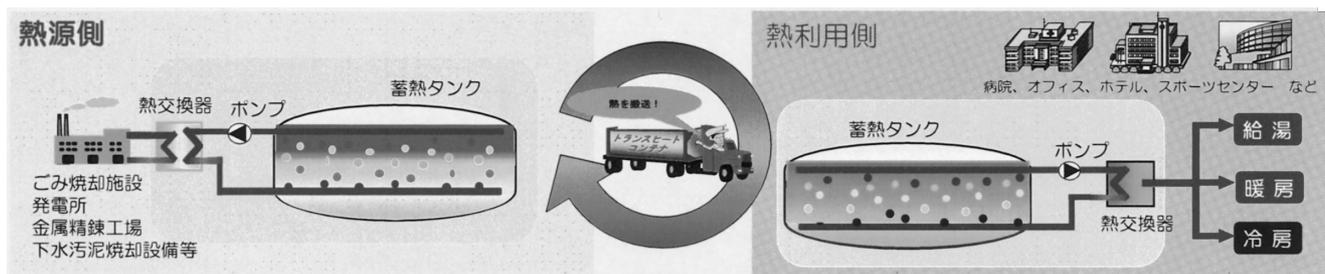


図1 トランスヒートコンテナ概念図

表1 トランスヒートコンテナ種類

潜熱蓄熱材種類	融点 ℃	熱源温度 (参考) ℃	タンク熱容量 MWh	備考
Type1	58	70以上	1~3.5	
Type2	78	90以上	1~3.5	
Type3	116	130以上	0.7~2.5	
Type4	119	130以上	1~3.5	2006/8実証試験

2.1 効率的な蓄熱

利用側の用途に応じた潜熱蓄熱材の選定により、排熱温度や利用温度域に適した効率的な蓄熱(回収・貯蔵)が可能となる。この効果を示すために、PCMに水と酢酸ナトリウム三水和物を用いた場合の利用エネルギー量の比較を図2³⁾に示す。

水は有名なPCMの一つであるが、固体(氷)から液体(水)になる融点が0℃であることから、この潜熱部分を活用することで、高密度に冷熱(0℃)を蓄熱、供給でき、既に氷蓄熱技術として利用されている。

一方、暖房や給湯等に温熱利用(例えば80℃→50℃の利用の場合が図2)する場合を例にとると、本システムで使用するPCMの一つ、酢酸ナトリウム三水和物は、融点が58℃であるため、固体から液体に変わる潜熱部分を有効に活用でき、水に比べて3~4倍も高密度に温熱を蓄えることができ、また、潜熱部分ではほぼ一定した温度の温水を供給できる。

トランスヒートコンテナは、タンク内で熱媒油とPCMが直接接触による熱交換を行うことで、熱媒油をほぼPCMと同じ温度まで昇温することができ、熱交換による温度低下を最小限に止め効率的な熱交換を行っている。酢酸ナトリウム三水和物を潜熱蓄熱材として利用した場合の、放熱代表例を図3に示す。

熱媒油コンテナ出口温度が58℃程度で横ばいになっていることから、PCMの融点とほぼ同等となっており、安定した放熱が行われていることが確認できる。

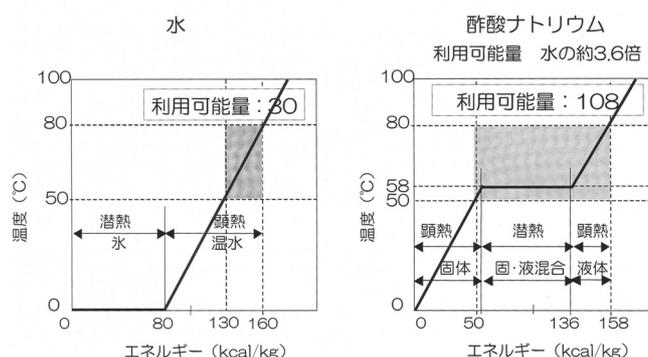
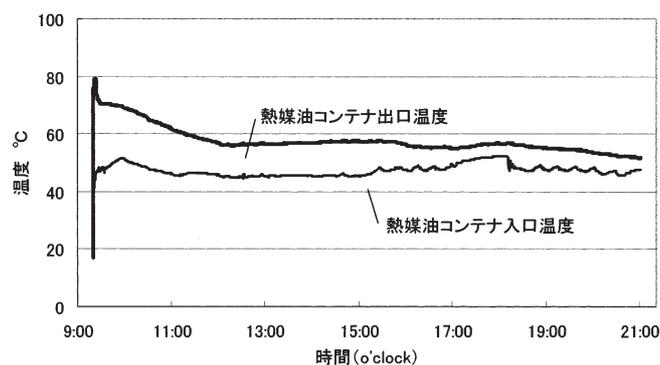
図2 利用可能エネルギーの比較³⁾

図3 放熱実験のチャート例

2.2 オフライン輸送

導管を用いない熱供給方法には、下記のような特徴が挙げられる。

- (1) 配管等のインフラ整備コストを大幅に削減できる。距離による整備費への影響がない。

- (2) 1ヶ所の熱源から複数の遠方需要先（半径20 km程度）へ同時に熱供給を行うことが可能となる。
- (3) 導管敷設時の制限（障害物による弊害、場所の固定など）等に縛られることなく、自由な熱供給が可能となる。

2.3 熱利用側への安定的かつ需要に応じた熱供給

本システムでは、まず熱源施設において、排熱を蓄熱タンクに蓄えた後、熱利用施設へ供給する。

したがって、熱源施設では排熱の温度や量などに変動があっても、蓄熱タンクがバッファタンクとなってその影響を吸収し、熱利用施設へは、安定的に熱エネルギーを供給することができる。

また、蓄熱タンクからの熱供給は、熱媒油ポンプのON・OFFや流量制御により自由かつ容易に行うことができるうえ、蓄熱タンクからの熱エネルギーロス是非常に小さいので、熱需要に応じた間欠的な熱供給を行うことも可能である。

熱源施設側での変動吸収イメージを図4に、熱利用施設側での熱利用イメージを図5に示す。

以上により、熱源施設と熱利用間の熱供給の時間差や量の偏り、ばらつきなどに対応した安定的な蓄熱および熱供給を実現することができ、「ピークシフト」や「ピークカット」といった利用など、用途は大きく広がる。

3 日本の排熱

日本国内における2004年度のエネルギーバランスは、一次エネルギー国内供給量は $541,645 \times 10^{10}$ kcal/年あり、このうちエネルギー転換や自家消費を除いた最終エネルギー消費量は $371,809 \times 10^{10}$ kcalとなっている⁴⁾。

エネルギー国内供給量のうち、どの位のエネルギーが排熱となっているかについて、財団法人省エネルギーセンターが

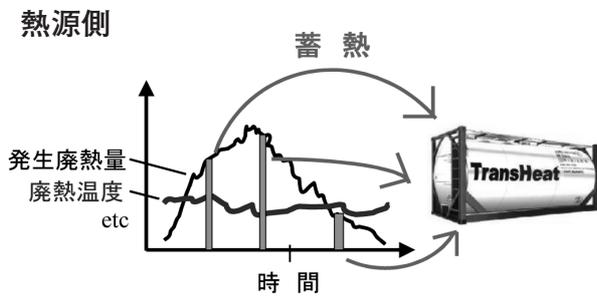


図4 熱源側蓄熱イメージ図

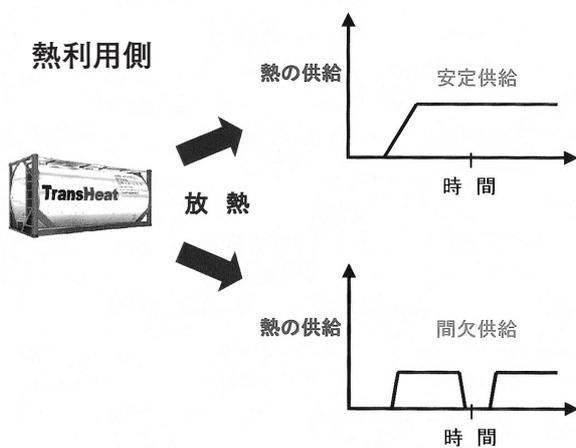


図5 熱利用側放熱イメージ図

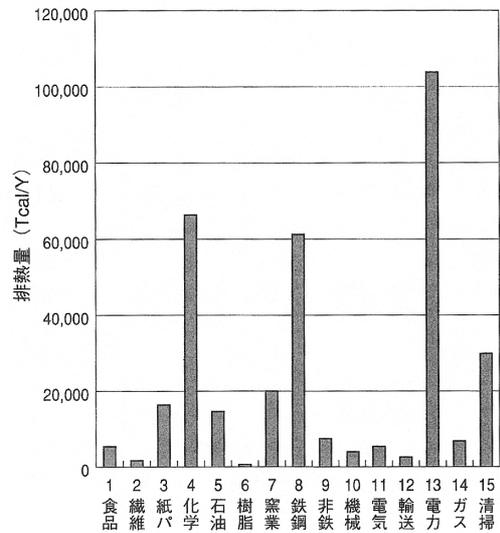


図6 業種別全国排熱量⁴⁾

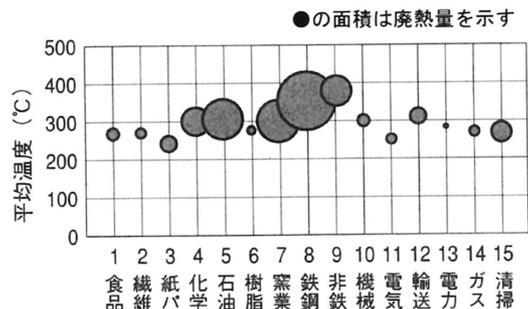
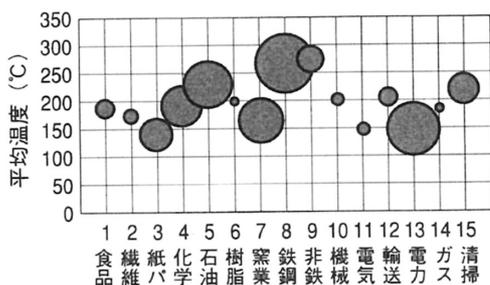


図7 全排ガスの業種別平均温度と200℃以上の排ガスの業種別平均温度⁵⁾

1998年に実施した調査を元に試算している。ここでの推計では産業排熱量は $32,140 \times 10^{10}$ kcal/年あり、産業部門のエネルギー最終投入量 $168,491 \times 10^{10}$ kcal/年の約2割弱となっている。この排熱量を業種別・温度別にまとめたのが図6⁴⁾、図7⁵⁾である。排熱発生源の上位5業種は、電力、化学、鉄鋼、清掃、窯業の順となっている。排出媒体は、排ガスによるものがほとんどで、次に温排水となっている。200℃を基準とした排熱排出量は、200℃未満 $5,300 \times 10^{10}$ kcal/年、200℃以上 $9,500 \times 10^{10}$ kcal/年程度と推定している⁵⁾。トランスヒートコンテナ技術で利用できる賦存熱量は、主に200℃以下の排熱を想定しており、回収可能熱量は回収率を25%として、

$$5,300 \times 0.25 = 1,325 \times 10^{10} \text{kcal/年}$$

となる。この熱量が、本技術の供給可能熱量である。

日本国内の産業別二酸化炭素排出量については表2に示すような数値が示されている⁶⁾。図6に示すように二酸化炭素排出量の多い団体・企業と排熱量の多い団体・企業はほぼ同じであり、排熱を民生用エネルギーとして地域へ供給することなどで、二酸化炭素排出抑制に寄与できるものと考えられる。

4 導入実績および国内への適用

本システムは、既にヨーロッパで導入されており、図8³⁾に示すドイツ・フランクフルト市郊外の例では、化学工場の蒸気排熱をトランスヒートコンテナ6台で約12キロメートル離れた自社のオフィスビルまで搬送し、暖房や給湯の熱源に利用している。ドイツで実績のあるコンテナは、総重量30tのもので、1台あたりの蓄熱容量は約3.5 MWh/台(3,000 Mcal/台)である。

日本国内では、国内道路事情や国内法などに適したコンテナの改造(図9:国内実証用蓄熱タンク)や、国内の熱需要に適した用途(冷房への適用など)の開発、蓄熱密度の高い

PCMの開発などが必要と考えられ、平成16年度の環境省地球温暖化対策技術開発事業に採択され、これらの開発を3ヶ年計画で進めている。

開発事業の一環として2005年12月より群馬県内の熱源と埼玉県内の需要先を結んだ実証試験と、2006年1月より東京都内の下水処理場を熱源とし市民センターを需要先とした実証試験、の2ヶ所を実施し良好な結果を得ている。

この実証試験を進めていく過程で、道路法や消防法など国内関連法規の整理が進み、スムーズな事業推進に向けて関係機関と調整を行っている。

現状、国内向けコンテナは、総重量18~24t程度、蓄熱容量1.5~2.5 MWh/台(1,300~2,200 Mcal/台)程度にて検

表2 日本国内の主なCO₂排出団体と企業⁶⁾

順位	業種名	年間排出量 (万t-CO ₂)	企業名	年間排出量 (万t-CO ₂)
1	日本鉄鋼連盟	18,240	新日本製鐵	6,100
2	日本化学工業会	7,617	JFEホールディングス	5,603
3	石油連盟	4,385	住友金属工業	2,370
4	電気事業連合会	3,880	神戸製鋼所	1,700
5	日本製紙連合会	2,633	新日本石油	1,528
6	セメント協会	2,186	住友大阪セメント	956
7	電気・電子4団体	1,781	出光興産	893
8	日本自動車部品工業会	671	日本製紙グループ	881
9	日本自動車工業会	579	昭和シェル石油	845
10	日本鉱業会	517	三菱化学	843



図9 国内実証試験用コンテナ

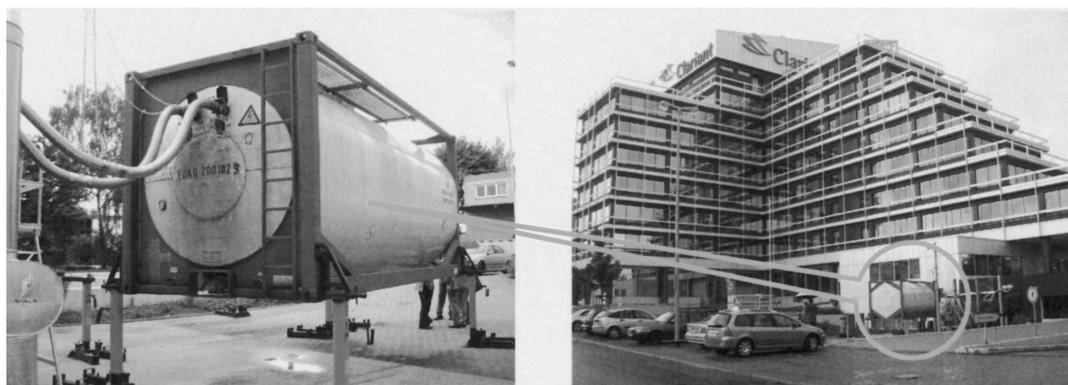


図8 ドイツ/フランクフルト郊外での実施例

討しているが、2006年度より蓄熱密度の高いPCMの開発を行っており、将来的には蓄熱容量を増やすことによって経済性の向上を目指している。

5 実証試験概要

2006年1月より実施した都内での温熱供給実証試験について、条件と結果を表3に示す。

平成17年度は、平成18年2月～3月にかけて、熱輸送実験を実施した。結果の概略を下記にまとめる。

実験では、蓄放熱に要した消費電力（ポンプ動力他）や熱輸送に要した消費燃料（輸送車両）に関するデータ収集も同時に行い、これらを加味したうえで、既存設備（都市ガス焚き温水ボイラ）にて同様の熱供給を行う場合と比較した本システムの導入効果を試算した。

①消費エネルギー削減効果

熱源Aでは、概ね95%程度という高い削減効果が得られた。

一方、熱源Bでは、68～89%程度の削減効果が得られた。これは主にポンプ動力消費による影響が大きい。

②CO₂排出量の削減

CO₂削減効果について図10⁷⁾に示す。熱源Aのケースでは、概ね90～93%程度という高い削減効果が得られた。一方、熱源Bでは、少し劣るものの71～80%程度の削減効果が得られた。

6 今後の展開

本技術は、ドイツで開発されたため、温熱利用を主とした利用方法であるが、気温の高い日本では冷房対応も必須である。このためには吸収式冷凍機で使用可能な高温水を供給することが求められる。

2006年度から検討してきた高温PCMのうち、本システムでの利用が可能と判断されたType4のPCMを用いた冷房実証試験（タンク重量20ton）を2006年8月より実施し、現在データ解析や評価を行っているところである。

排熱は、利用するだけ一次エネルギーの使用量が抑制されるためCO₂削減効果が大きいですが、一方で低エクセルギーであるため経済価値が低く、事業化するためのハードルは高い。今後は、国内向けの応用技術により付加価値を高め、CO₂削減・地球温暖化防止技術として様々な場面で利用できるよう社会に貢献していきたいと考えている。

表3 実証試験条件と結果

熱源施設	名称	下水処理場内汚泥焼却施設	
	熱源A	高温空気(約350°C)	
	熱源B	温排水(約70°C)	
熱利用施設	名称	市民センター	
	利用用途	暖房(温水循環用約50°C)	
熱輸送	輸送距離	約2.5km	
	PCM	酢酸ナトリウム三水和物	
	蓄熱容量	1.3MWh	
	コンテナ	ISO20フィートコンテナ	
	重量	20ton	
	熱輸送回数	8回(2/17～3/20)	
	蓄熱時間	熱源A	5.5～6時間
		熱源B	9～10時間 (設備能力の50%程度で運転)
	放熱時間	6.5～18時間	

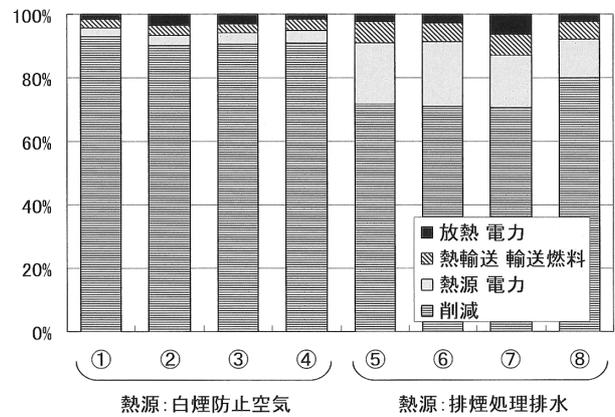


図10 熱輸送の結果 (CO₂削減効果)⁷⁾

参考文献

- 1) エコ・エネ都市システム, (財)省エネルギーセンター, (1999), 27.
- 2) (財)省エネルギーセンターホームページ, 省エネルギーデータ集2004年版, 主要国の省エネルギー状況
- 3) 定塚徹治, 岩井良博: クリーンエネルギー, 日本工業出版(株), 14 (2005) 5, 22-24.
- 4) EDMC/エネルギー・経済統計要覧(2006年版), 財団法人日本エネルギー経済研究所, (財)省エネルギーセンター, (2006), 40-41.
- 5) エコ・エネ都市システム, (財)省エネルギーセンター, (1999), 36-37・187.
- 6) 日経エコロジー2005年3月号, 日経BP社, (2005) 3, 116.
- 7) 宮坂政利, 粕谷誠, 天野亘: 下水廃熱を利用したオフライン熱供給技術, 第43回下水道研究発表会講演集, (2006), 57.

(2006年8月14日受付)