

## オフライン熱供給の可能性と展望\*

岩崎 裕典\*\*

### 1. オフライン熱供給とは

熱源から需要地まで熱を搬送する場合、蒸気や温水を媒体として熱導管を通じて運ぶのが一般的である。しかし最近、導管によるオンライン方式での熱供給ではなく、トラックや船といったオフライン方式での熱供給が注目を集めている。オフライン熱供給は、利用する熱の違いから、①廃熱活用方式、②雪氷冷熱活用方式の2つに大別できる。

廃熱活用方式とは、工場やごみ処理施設などから発生する200℃未満の低温廃熱を潜熱蓄熱材(PCM: Phase Change Material)に回収・貯蔵して、コンテナ車で離れた施設に熱エネルギーとして供給する技術である(図)。代表例として、栗本鐵工所・三機工業が取り組む「トランスヒートコンテナ」や、神戸製鋼所・神鋼環境ソリューションが取り組む「サーモウェイ®」がある。

表に示すように、廃熱活用方式はすでに欧米で導入実績がある。たとえばドイツのClariant社では、フランクフルト郊外の化学工場の廃熱をタンク6台に蓄熱し、約12km離れた事務所(本社オフィス)までコンテナ車で輸送し、ビルの暖房・給湯熱源として利用しており、年間約400klの重油の節約、同約2,000tのCO<sub>2</sub>削減がなされている。

一方の雪氷冷熱活用方式とは、雪・氷を輸送し、都市部での冷房等に活用する技術である。北海道の水を大都市圏に運ぶ、国土交通省北海道開発局の「雪氷輸送物流システム検討調査」が注目を集めている。

これらの技術の日本での研究開発状況の詳細は、後段のレポートに詳しいのでそちらに譲るとして、以下では実用化が視野に入ってきた廃熱活用方式によるオフライン熱供給に着目して、オフライン熱供給の社会的効果と普及に向けた今後の課題を整理する。

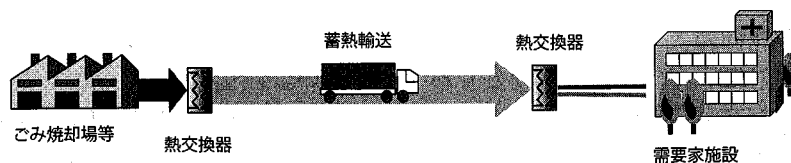


図 オフライン熱供給(廃熱活用方式)の概念

\* Potentiality and Perspective on Offline Heat Supply

\*\* Hironori IWASAKI (株)三菱総合研究所エネルギー研究本部

キーワード ①オフライン熱供給 ②産業廃熱 ③省エネルギー ④CO<sub>2</sub>削減

表 トランスヒートコンテナの導入事例

導入先	概要
Clariant社(ドイツ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フランクフルト郊外にある化学工場の廃熱をタンク6台に蓄熱し、約12km離れた本社オフィスまで輸送</li> <li>・ビルの暖房・給湯熱源として利用</li> <li>・年間約400klの重油節約、同約2,000tのCO<sub>2</sub>削減</li> </ul>
Lufthansa航空(ドイツ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケルン空港でのケータリング会社の利用</li> <li>・コンテナ車2台によるシステム構築</li> </ul>
Vivendi社(フランス)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高層アパートでのコージェネレーションのピークシフトで利用(昼間の廃熱を夜間の給湯・暖房用熱源として利用)</li> <li>・据置き型システム</li> </ul>
フロリダ(米国)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄物処理施設(Miami-Dade Resources Recovery Facility)で発生する廃熱をSMI社(Ships Machinery Inc.)に輸送し、船舶用のプロペラ洗浄に用いる温水として活用</li> <li>・実証プロジェクトとして実施中</li> </ul>

出典)「室蘭地域の産業間連携調査(経済産業省, 2005.03)」などをもとに作成

## 2. オフライン熱供給のメリットと社会的効果

### (1) オフライン熱供給のメリット

オフライン方式による熱供給の最大のメリットは、オンライン方式の際の熱導管の制約から逃れられる点にあり、それによって次のような利点を得ることができる。

#### ① 熱供給可能エリアの拡大

オンライン方式の場合、熱損失や搬送動力の関係上、熱媒の搬送可能距離は一般的には数km程度である。一方で、オフライン方式の場合は数十km程度までの供給が可能である。このことにより、従来つきまとっていた熱源と需要地間の距離の制約が大きく緩和され、工場等の熱源から離れた商業・業務施設等の熱需要地への熱供給が可能となる。とくに地方の中小都市では、ごみ焼却施設や大規模工場等の熱源が商業・業務施設等の熱需要地と離れた場所に建設されている例が多くあり、オンライン方式での熱供給は困難であったが、オフライン方式によってこのような地域での熱供給も可能となる。

#### ② インフラ整備費用の低減

導管を敷設する場合、インフラ整備に多額の費用を要する場合が多いが、オフライン方

式の場合は蓄熱装置と利用側、熱源側への熱交換器の設置程度であるために、インフラ整備に係る費用を大幅に低減することが可能となる。

#### ③ 導入までのリードタイムの短縮

②と関連するが、大がかりなインフラ整備の必要がないことから、検討から導入までのリードタイムを短くすることが可能となる。

#### ④ 需給アンバランスの解消

オフライン方式の場合、熱源側での廃熱温度や廃熱量の変動を、蓄熱タンクがバッファとなって吸収することができるため、熱利用側へは安定した温度・量の熱を供給することが可能となる。

#### ⑤ 需要変化(増減)への対応性

何らかの理由で需要が増加・減少した場合、敷設後の導管の増強・撤去を容易に行うことは難しいが、オフライン方式の場合は比較的容易に対応できるため、需要変化への対応性が高い。

### (2) オフライン熱供給の社会的効果

産業部門では省エネルギーがとくに進んでおり、ピンチテクノロジーを駆使した解析や、コンビナート等での隣接工場間での熱融通など進められてはいるものの、省エネルギー余地は少なくなってきた。オフライン方式

がターゲットとしている200℃未満の中・低温廃熱は、産業用としては利用価値が低いものの、民生部門では給湯や暖房、冷房に利用できる温度レベルであり、有用なエネルギーとなる。そして、なんと工場からの廃熱の約70%、約800PJ(原油換算約2,000万kl)が200℃未満の廃熱なのである〔工場群の廃熱調査要約集(省エネルギーセンター、平成12年度)より〕。

産業部門から排出される利用価値の低い多量の200℃未満の廃熱を、民生部門へ転用し活用することでその価値を高め、省エネルギーを達成する。オフライン熱供給の社会的効果はまさしくここにあるといえる。

民生部門(家庭・業務部門)のCO<sub>2</sub>排出量は、1990年比で30%以上の高い伸びとなっており、その削減対策は喫緊の課題である。オフライン熱供給の導入により、仮に都市ガスボイラーの代替として800PJの10%が有効活用されたと仮定すると、おおむね500万t-CO<sub>2</sub>の排出削減となる。これは2004年度の民生部門CO<sub>2</sub>排出量3億9,500万t-CO<sub>2</sub>の1.3%程度、日本全体のエネルギー起源CO<sub>2</sub>総排出量11億9,300万t-CO<sub>2</sub>の0.4%程度の削減効果となる。

### 3. オフライン熱供給の普及に向けた今後の課題

オフライン熱供給が普及して社会的な効果を発揮するためには、事業として魅力のあるシステムとなる必要がある。そのためにも関係各所が課題に立ち向かい、これらをクリア

していく必要がある。ここでは、技術面、事業面、制度面の3つの視点から課題を整理した。

#### ① 技術面の課題

とくに温暖地域での冷房需要への対応、熱輸送密度向上のために、高温高密度に対応する蓄熱材の開発が課題である。

#### ② 事業面の課題

蓄熱装置や関連設備のコスト低減、熱供給先・需要先の探索およびマッチング方策、蓄熱装置の稼働率向上方策(ランニングコスト低減)などが今後の課題である。

#### ③ 制度面の課題

設備に対するインシヤル補助や税制面での優遇装置、工場からの廃熱取出し時の既存装置改造に伴う消防法、労働安全衛生法等の規制の緩和や特例措置、CO<sub>2</sub>削減に対する熱供給側や需要家側へのメリット付与、少量危険物(熱媒油)の規制手続きの統一化、などが今後の課題としてあげられる。

#### おわりに

本稿では、主に廃熱活用方式のオフライン熱供給について述べた。廃熱活用方式も雪水冷熱活用方式も、今までにない大胆な熱輸送方式であるが、誰にでもイメージしやすく、また北海道の氷で首都圏の冷房を行うなど、夢の持てる技術である。これらの技術が実際に活用される環境を整えるべく、今後ともシンクタンクとして有用な提言を行っていきたい。

\*  
\* \*

## オフライン熱供給－廃熱・雪氷熱利用の新たな可能性

## ●廃熱輸送システムを使ったオフライン熱供給の研究・検討事例

## 下水廃熱を利用したオフライン熱供給\*

粕谷 誠\*\*

## はじめに

東京都下水道局では、省資源・省エネルギー対策に向け積極的に新技術の開発・導入に努め、これまでに汚泥の消化ガス発電、下水熱や汚泥焼却廃熱を利用した地域冷暖房事業、化石燃料の使用比率が低い夜間電力の活用など、多様な取組みを行ってきた。また下水道事業として国内で初めて、すべての事業所で環境マネジメントシステムの国際規格ISO14001の認証を取得するなど、組織的に環境負荷の継続的な削減を図ってきた。

しかし当局の事業活動は、東京都内の電力消費量の1%を占める膨大な量の電力を消費している。今後、継続的に公共水域の一層の水質向上を図るためには、合流式下水道の改善事業の推進や多摩地域における普及率の向上、下水の高度処理の導入などを行っていく必要があり、汚泥の発生量や電力消費量などの増加が見込まれ、現状の対策のままでは温室効果ガス排出量が増加することから、一刻も早い計画的な取組みを行うため地球温暖化防止計画「アースプラン2004」を策定し、積極的に温室効果ガス削減対策を進めている。

今回、さらなる温室効果削減対策として、ほとんど使われないで大気に放出されていた汚泥焼却炉の中低温廃熱(350℃～70℃位)を

利用したオフライン熱供給技術の開発に東京都下水道局、東京下水道エネルギー㈱、三機工業㈱の3者で取り組んだ。今後省エネルギーを一層進め温室効果ガスの削減をさらに進めていくには、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たからである。

これまで温度の低い廃熱エネルギーの再利用については、下記のようないくつかの課題を抱えていた。

## ① 低温廃熱は利用価値が低い

高温廃熱はボイラー等による蒸気や発電利用など有効活用されている例が多いが、350℃以下の排ガスや温水等は、現状では効率や費用対効果が小さく利用価値が低いため、あまり活用されていない。

## ② オンライン供給はコストがかかり制限が多い

従来の熱供給事業等では、配管などのインフラ整備にコストがかかる上、効率の問題などから熱利用地域が熱源の直近に限られたり、導管敷設により熱利用先が固定される。

本稿では、平成17年度に実施した暖房利用の熱輸送実験(熱源：下水汚泥焼却施設、熱利用先：市民センター)の結果を報告すると

\* Off-line Heat Delivery System using Waste Heat from Sewage Treatment

\*\* Makoto KASUYA 東京都下水道局流域下水道本部技術部計画課設備計画担当

キーワード ①熱の宅配便

ともに、18年度夏季に実施中の冷房利用の熱輸送実験(同上)の概要を紹介する。

### 1. オフライン熱輸送技術の概要と特徴

本技術は、熱源施設で発生する廃熱をコンテナ車のタンク内に充てんした潜熱蓄熱材(Phase Change Material: PCM)に蓄えてオフライン搬送可能なものとし、熱を必要としている熱利用施設へトラックで輸送するものである(図1)。本システムの主な特徴は下記のとおりである。

#### (1) 効率的、効果的な蓄熱

蓄熱タンク内には、熱を蓄えるPCMと熱の授受の役割を担う熱媒油が充てんされ、比重差により分離している(上部:熱媒油,下部:PCM)。蓄放熱時においては、この熱媒油とPCMが直接接触により熱交換を行うため、熱交換効率が高い。

また蓄熱材にPCMを用いるため、温度変化にあらわれる「顕熱」だけではなく、物質の

相変化(固体⇄液体)に要する「潜熱」エネルギーも蓄熱・利用できることで、高密度な蓄熱が可能となっている。たとえばPCM Type 1(酢酸ナトリウム三水和物:融点58°C)を用いて、暖房や給湯等の温熱利用(80°C→50°C利用,図2)を行う場合、温水に比べて3倍程度、高密度に熱を蓄えることができる。

ここではPCM Type 1の例を紹介したが、利用側の用途に応じて融点の異なるPCMを選定することにより、廃熱温度や利用温度域に適した効率的、効果的な蓄熱が可能となる。また本システムでは、PCMの相変化のみを用いるため、繰返し利用が可能である。

#### (2) オフライン輸送により多角的な熱供給

オフライン輸送が可能のため、導管等による従来方式と比べ下記のメリットがある。

- ① 配管等のインフラ整備コストが大幅に削減できる。距離による整備費への影響がない
- ② 1カ所の熱源から複数の遠方需要先

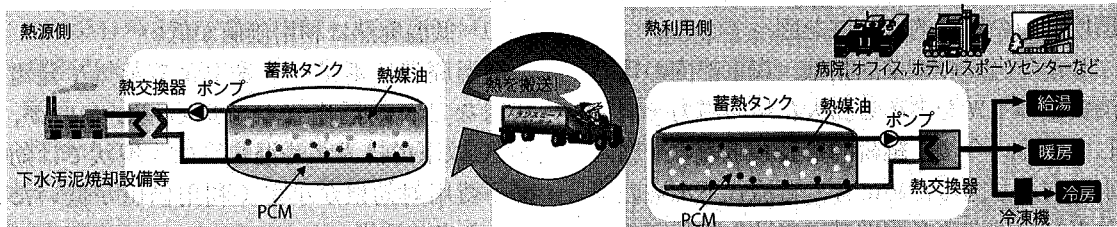


図1 オフライン熱輸送技術のイメージ

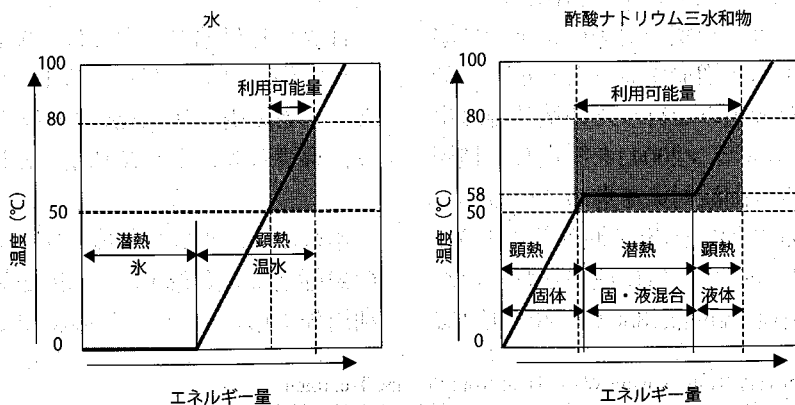


図2 PCMの利用可能エネルギー比

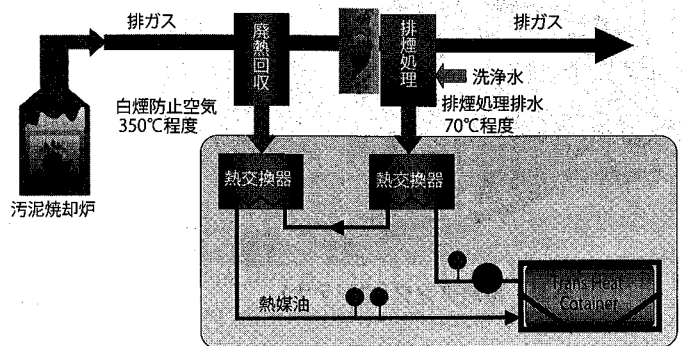
(半径20km程度)への供給が可能となる

- ③ 導管敷設の制限(障害物, 場所限定)等に縛られず, 自由な熱供給が可能となる

(3) 熱利用側に安定かつ自由に供給  
廃熱の温度や量, 発生時間などに変動やばらつきがあっても, 蓄熱タンクがバッファとなりその影響を吸収するので, 熱利用施設へは安定的な熱供給が可能となる。また, 熱需要に応じた間欠供給も可能である。

熱源B 9~10時間程度

(ただし設備能力の5割程度にて運転)



## 2. 暖房利用の熱輸送実験

### (1) 実施概要

下記に概要を示す熱源および熱利用先において, 暖房利用の熱輸送実験を行った。

#### ① 熱源施設

- ・名称: 清瀬水再生センター  
下水汚泥焼却施設
- ・熱源A: 白煙防止空気(約350°C)
- ・熱源B: 排煙処理排水(約70°C)

・フロー・配置図: 図3

#### ② 熱利用施設

- ・名称: 清瀬市民体育館(清瀬市民センター)
- ・利用: 暖房(温水循環)
- ・フロー・配置図: 図4

#### ③ 熱輸送

- ・輸送距離: 片道約2.5km
- ・PCM: Type 1 (融点58°C)
- ・コンテナ: 20ftコンテナ(写真)

### (2) 結果

平成18年2月17日~3月20日にかけて実施した計8回の熱輸送実験の結果を下記にまとめた。

- ・蓄熱時間: 熱源A 5.5~6時間程度

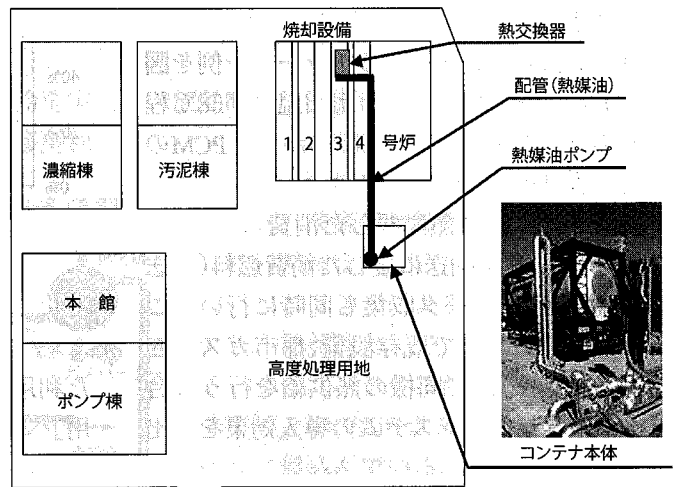


図3 熱源設備の概略フロー・配置図

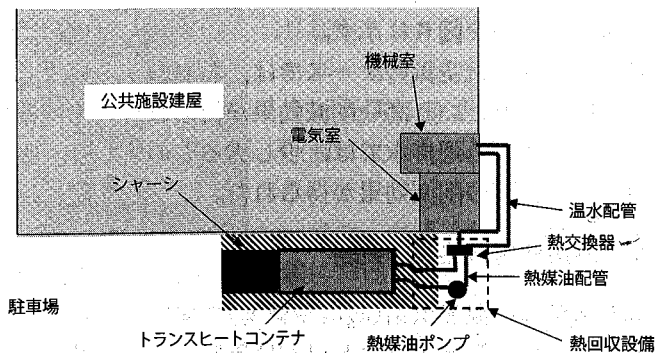
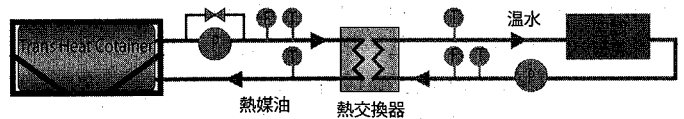


図4 熱利用設備の概略フロー・配置図

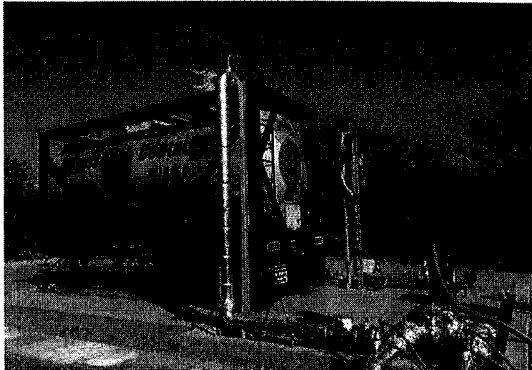


写真 蓄熱タンク(コンテナ)

・放熱時間：6.5～18時間程度

(熱利用先の暖房需要に応じて熱供給)

熱利用側での放熱実験のチャート一例を図5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の潜熱の活用状況が確認できる。

実験では、蓄放熱に要した消費電力(ポンプ動力ほか)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、これらを加味した上で既存設備(都市ガス焚き温水ボイラー)にて同様の熱供給を行う場合をベースとした本システムの導入効果を算出した。

#### ① 消費エネルギー削減効果

熱源が白煙防止空気の場合は、おおむね95%程度という高い削減効果が得られた。一方、排煙処理排水では、少し劣るものの68～89%程度の削減効果が得られた。

#### ② CO<sub>2</sub>排出量の削減

結果のまとめを図6に示す。

熱源が白煙防止空気の場合は、おおむね90～93%程度という高い削減効果が得られた。一方、排煙処理排水では、少し劣るものの71～80%程度の削減効果が得られた。

### 3. 冷房利用の熱輸送実験

本システムの温熱供給(暖房や給湯)ですでに導入実績のあるドイツ等と日本は気候が異なるため、日本国内への普及には年間を通し

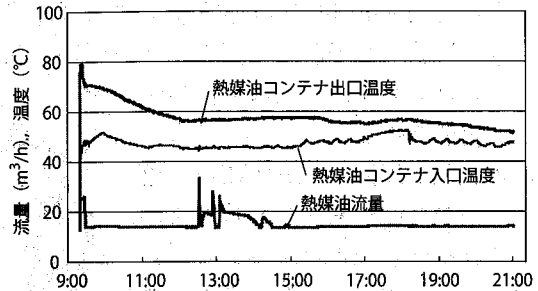


図5 放熱実験のチャートの一例

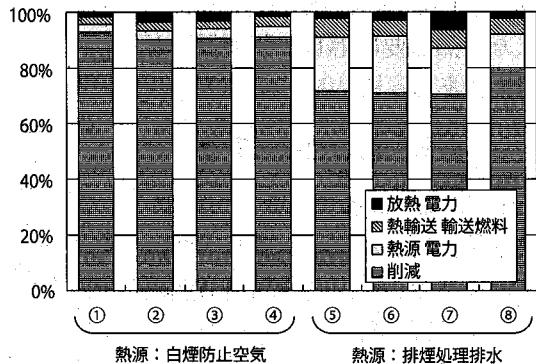


図6 熱輸送の結果(CO<sub>2</sub>削減効果)

た利用を可能とする「廃熱を活用した冷房利用」への用途拡大が必須であると考える。

そこで、平成18年度の夏季において冷房適用実験を実施している。

#### (1) 温熱による冷房

温熱を用いて冷房を行う機器としては、吸収式冷凍機がある。以下に吸収式冷凍機の原理を説明する。

真空圧のもとでは、水は通常よりも低い温度(5℃程度)でも蒸発する。また、物質は蒸発する際に周囲から多量の熱を奪う。吸収式冷凍機は、これらの作用を利用して冷却を行う。吸収式冷凍機のサイクルを図7および下記に示す。

#### ① 蒸発器

蒸発器内は高度の真空に保たれている。凝縮器から送り込まれた冷媒液(水)は、ここで蒸発し、蒸発器内の伝熱管内部を流れる冷房用の水から蒸発潜熱を奪って、冷水を作る。

② 吸収器

吸収器内では、蒸発器で蒸発した冷媒蒸気(水蒸気)を濃度の濃い吸収溶液(臭化リチウム液)を用いて吸収して液化(稀溶液)する。

③ 再生器

再生器内では、吸収液の稀溶液(水溶液)を外部からの熱エネルギーで加熱し、冷媒蒸気(水蒸気)と濃い吸収液(臭化リチウム液)に分離して再生する。本システムの廃熱はこの熱エネルギーとして利用する。

④ 凝縮器

凝縮器では、冷却水により冷媒蒸気を凝縮して冷媒液とし、再度蒸発器へ送る。

(2) 実施概要

前述の暖房実験設備の改造により、冷房実験を実施する。図8に概要を、下記に暖房利

用から冷房利用への主な変更点を示す。

- ① 熱源施設
- ・熱源：白煙防止空気(約350℃)のみ
- ② 熱利用施設
- ・利用：冷房
- ・冷凍機：低温吸収式 50RT
- ③ 熱輸送
- ・PCM：Type 2 (融点118℃)
- (3) 効果(試算)

平成18年8月14日～9月末にかけて実施する計17回の冷房用の熱輸送実験の期待する効果を下記に示す。

- ・蓄熱時間：白煙防止空気(約350℃)  
4～5時間程度
- ・放熱時間：清瀬市体育館  
5時間程度(熱利用先の冷房需要に応じて変動)

清瀬体育館の吸収式冷凍機用の熱源は、都市ガスを利用している。コンテナによる廃熱を利用した代替熱源として、実証実験の期間内にコンテナ17台にて熱供給することで、都市ガスの削減を1,920m<sup>3</sup>N見込んでいる。このことで1次エネルギーが削減できることから、温室効果ガスを約3,800kg/CO<sub>2</sub>削減可能と考えている。

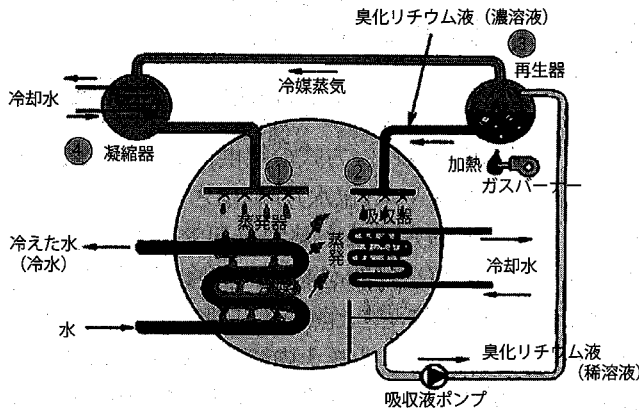


図7 吸収式冷凍機の原理

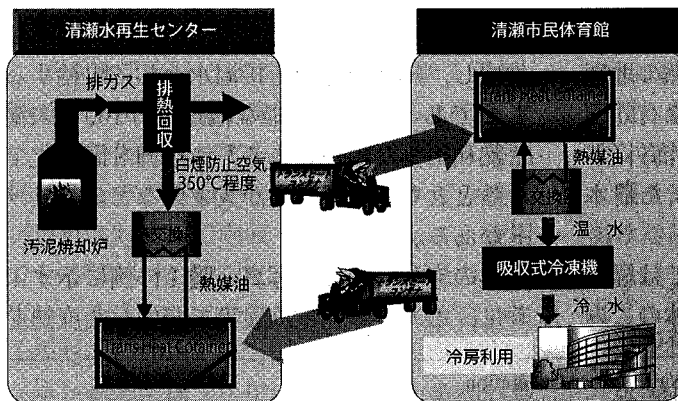


図8 冷房実験の概要

まとめ

以上の結果から、これまであまり利用されていなかった低温廃熱も本システムを用いることにより十分利用可能であり、かつCO<sub>2</sub>の削減に大きく貢献できることがわかった。

また、今夏実施している冷房実験における用途拡大により、本システムの有効性がさらに高まるものと期待している。



## オフライン熱供給—廃熱・雪氷熱利用の新たな可能性—

## ●廃熱輸送システムを使ったオフライン熱供給の研究・検討事例

## 廃棄物発電廃熱を利用したオフライン熱供給\*

山本 勇\*\*・三谷 典夫\*\*

## はじめに

経済産業省の行った調査研究によれば、日本の全国各種工場の購入エネルギー量の9.6%に当たる約27万Tcal/年(113万TJ/年)の熱が各工場から排出され、うち約2万Tcal/年(8万TJ/年)が清掃工場から排出されている。これまでこれらの工場廃熱の多くは大気に放熱されていたが、これらを暖房、冷房、給湯等に有効利用できれば、経済的効果とともに化石燃料節減によるCO<sub>2</sub>排出削減も可能となり、地球環境問題にも資することができる。

こうした観点から近年、工場廃熱の有効利用を目的として水(温水)やPCM(Phase Change Material: 酢酸ナトリウム三水和物、エリスリトール等)を蓄熱材としたオフライン方式による熱供給システムの技術開発が行われている。

このオフライン方式による熱供給システムは、いわば「熱の宅配便」であり、従来のオンライン方式である導管方式に比し、熱の地理的供給範囲が拡大され、廃熱の大幅な有効利用促進が期待される。現在、本技術は海外(ドイツ他)で実施が稼動しており、また日本でも実証が進められている。

今回、エンジニアリング振興協会では経済産業省より委託を受けて、地方自治体のごみ

焼却発電施設からの廃熱を地域へ有効利用する方策として、ごみ焼却場に熱供給施設を併設したオフライン方式熱供給事業(熱の宅配事業)をPFI(Private Finance Initiative)で行う場合の可能性について調査を行い、事業を全国に普及すべく報告書を取りまとめたので、その概要を以下に述べる。

## 1. オフライン方式による熱の宅配事業

オフライン方式の熱供給では、蓄熱材としてPCMや水(温水)が利用される。

PCM方式は、熱源施設と熱利用施設の両方に熱交換器を設け、各施設の熱媒体(温水や蒸気など)と熱媒油の間で熱交換するものであり、コンテナ内部で熱媒油と蓄熱材を直接接触させ熱交換する。熱の利用用途は温水、暖房、冷房(高温PCMの場合)などさまざまである。

これに対して温水方式は、熱源側で温水を生成し、熱利用先で直接温水として供給するものである。利用可能な温度域が100℃未満と熱利用側が限定されるが、設備を簡素化できるとともに投資効果が大きいなどのメリットがある。

熱の宅配事業は、写真、図1の例に示すように、ごみ焼却発電施設等で発生した廃熱を

\* Offline Heat Delivery System Using Heat of Waste Power Generation

\*\* Isamu YAMAMOTO, Norio MITANI (財)エンジニアリング振興協会技術部研究主幹

キーワード ①廃棄物発電 ②PFI ③PCM ④スーパーごみ発電 ⑤熱の宅配

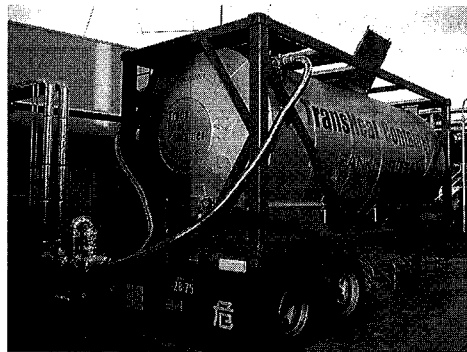


写真 国内におけるPCMコンテナ設置例

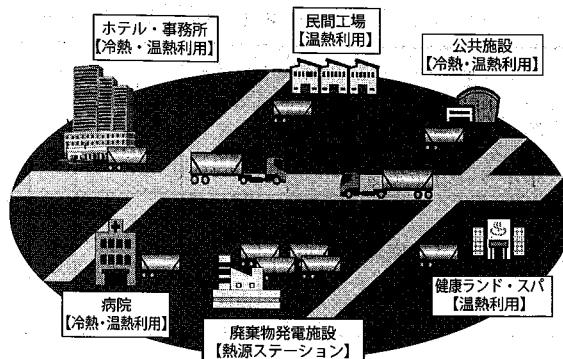


図1 オフライン(PCM)方式による熱の宅配

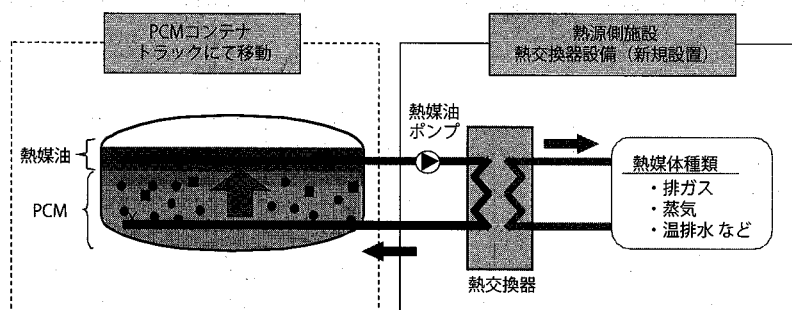


図2 熱源施設の設備概要(排ガス, 水蒸気, 温排水)

PCMや温水に蓄熱し、タンクローリーで広範に各事業所や施設に配送するものである。従来の導管によるオンライン熱供給方式と比較し遠方への熱供給が可能となり、さらに設備の簡素化やインフラ整備コストの削減なども含め大きなメリットが期待できる。

## 2. ごみ焼却施設における熱源

ごみ焼却施設ではごみ焼却熱による蒸気、排ガスなどの高温の流体がプラント内の各プロセスで使用されており、図2のように蓄熱材によりその廃熱を回収する場合、ごみ焼却プロセスのどこで回収するかによって、使用できる蓄熱材の制限、発電量の低下などが発生し、全体としての熱の有効利用の度合いに大きな違いが出てくる。

また熱源流体は、ボイラー式ごみ焼却施設の場合は蒸気が、水噴射式ごみ焼却施設の場合

は排ガスあるいは排ガスにより加熱した高温空気、またはそれらを熱源とした温水が、新・スーパーごみ発電システムの場合は、蒸気およびガスタービン廃熱回収ボイラーからの排ガスが考えられる。

このように、ごみ焼却施設側の熱回収システムを決定するに当たっては「発電出力の低下が少ない」「廃熱回収設備が簡単」「ある程度の回収熱量が確保できる」などの諸条件と蓄熱材、熱回収箇所、熱源流体などの最適な組合せを求める必要がある。

表1、図3に新・スーパーごみ発電施設における熱源の例を示す。

## 3. オフライン方式によるごみ焼却発電廃熱の有効供給量

PCMに酢酸ナトリウム三水和物(Type 1)を用いる場合、その融点が58℃であることか

表1 新・スーパーごみ発電施設の場合の熱源の例

熱源	温度 (°C)	圧力 (MPa(A))	評価および対応蓄熱材
① 蒸気タービン抽気 (ガスタービン廃熱回収ボイラー-低圧蒸気)	160	0.6	○ 蒸気タービン排気の温度レベルが低過ぎて使えない場合に利用。高圧蒸気を利用する場合に比べて発電電力の低下も少ない。すべての蓄熱材が対応可能
② ガスタービン廃熱回収ボイラー排ガス	120~130	—	○ 蒸気タービン排気の温度レベルが低過ぎて使えない場合に利用。排ガスには腐食性がないが、温度が比較的低い。低温ガスからの熱回収のため、熱回収設備のコストが高くなる。塩化マグネシウム、エリスリトール等の蓄熱材の対応は難しい
③ 蒸気タービン排気	65	0.025	○ 大気に捨てている熱を利用するので、発電量が低下しない。排気蒸気温度が低いので、酢酸ナトリウム・水のみ対応可能となる

注) 圧力・温度条件は平成16年度民間資金活用等経済政策推進費「新・スーパーごみ発電と既存(又は新規)インフラ活用によるPFI事業化調査」での計画条件を記載した。蒸気の温度はその圧力での飽和温度を示す

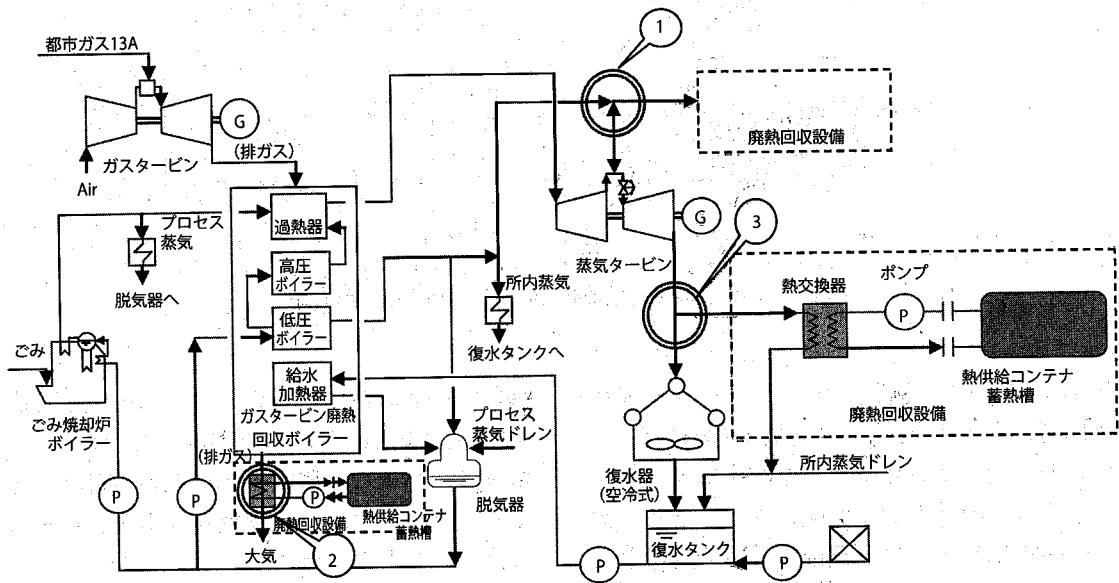


図3 新・スーパーごみ発電施設の場合の蒸気フロー・熱源例

ら、熱供給コンテナへの熱供給は復水蒸気タービン排気ラインの低温廃熱を利用することが可能となる。

一方、PCMに水酸化バリウム八水和物 (Type 2) もしくは、塩化マグネシウム六水和物 (Type 3) を用いた場合、その融点 (前者は 78°C、後者は 116°C) から考えて、復水タービンの排気蒸気を利用して熱供給を行うことは難しく、これらのタイプを採用する場合には熱供給用蒸気温度を比較的高温とすることが

できる蒸気タービン抽気蒸気を利用することになる。表2に低温廃熱利用における発電出力5,000kwクラスの場合の熱供給可能量の算定例を示す。また、高温廃熱利用における新・スーパーごみ発電施設を例とした熱供給可能量算定を表3に示す。

4. ごみ焼却発電施設に必要な熱回収設備

PCMの種類により要求される熱源温度が異なるため、熱回収設備もそれぞれに対応し

表2 発電出力5,000kWクラスにおける熱供給可能量(低温廃熱利用) - 蒸気タービン排気ラインからの熱供給時 -

		ケース1	ケース2	備 考	
蒸気タービン	入口圧力	MPa A (ata)	2.7(28)	2.7(28)	ケース1, 2の差異は、排気圧力の違いによる
	入口温度	℃	295	295	
	排気圧力	MPa A (ata)	0.032(0.32)	0.05(0.5)	
	排気蒸気復水温度	℃	70	81	
	入口(排気)蒸気量	t/h	32.1	32.1	
	発電出力	kW	5,000	4,600	
	熱供給	コンテナへの供給可能熱量	MJ/h	53,700	
	コンテナ台数換算*9.0(GJ/台)	台/日	143	143	

表3 発電出力120,000kWクラス(GT: 81,600kW+ST: 40,000kW=121,600kW)における熱供給可能量(高温廃熱利用) - 蒸気タービン抽気ラインからの熱供給時 -

		熱供給コンテナ熱供給なし	熱供給コンテナ熱供給あり		
蒸気タービン	入口圧力	MPa A (ata)	3.5(36)	3.5(36)	熱供給蒸気復水は過冷却している  ガスタービン低压ボイラーからの供給蒸気量を含む
	入口温度	℃	400	400	
	熱供給蒸気圧力(高压側タービン出口蒸気圧力)	MPa A (ata)	-	0.6(6)	
	熱供給蒸気復水温度	℃	-	120	
	排気圧力(低压側タービン出口蒸気圧力)	MPa A (ata)	0.032(0.32)	0.032(0.32)	
	入口(高压タービン側)蒸気量	t/h	182.4	182.4	
	入口(低压タービン側)蒸気量	t/h	208.7	117.5	
	熱供給蒸気量	t/h	-	91.2	
	発電出力	kW	40,000	30,300	
熱供給	コンテナへの供給可能熱量	MJ/h	-	214,000	
	コンテナ台数換算*9.0(GJ/台)	台/日	-	571	

注) タービン形式は混圧タービンを採用

たシステムになる。以下に、ごみ焼却発電所における①低温廃熱(蓄熱材: Type 1), ②高温廃熱(蓄熱材: Type 2, Type 3)の場合の代表的なフローを図4, 5に示す。

低温廃熱利用においてPCMにType 1を用いる場合、この物質は融点が58℃であり、蓄熱に必要な熱源温度は70℃程度以上あればよい。蒸気タービンから復水器へのラインにおけるタービン排気蒸気を利用することができる(0.03MPa(A)程度以上の排気圧力がある場合約70℃の蒸気となる)。したがって、発電に用いた後の蒸気を熱源として有効に活用することができる。

一方、高温廃熱利用においてPCMにType 2, 3を用いる場合、各物質の融点は78℃, 116℃であり、蓄熱に必要な熱源温度は90℃程度以上、130℃程度以上必要であるため、蒸気タービンから復水器へのラインにおける、タービン排気蒸気を利用できる場合は少ない(90℃, 130℃の飽和蒸気圧力は各々0.07MPa(A), 0.27MPa(A)程度のため、この排気圧力以上で運転している蒸気タービンでなければ熱供給できない)。したがって、蒸気タービン抽気や高压蒸気を減圧した低压蒸気により熱を活用することになる。

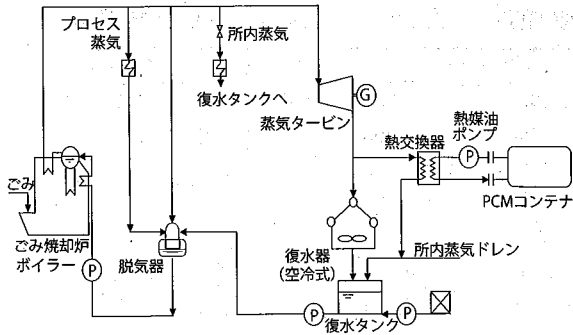


図4 低温廃熱の熱回収システムフロー

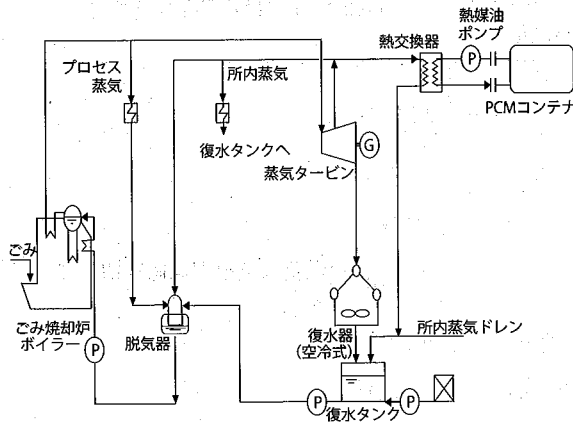


図5 高温廃熱の熱回収システムフロー

### 5. オフライン方式におけるモデルケースでの投資効果と環境負荷低減効果

PCM方式ならびに温水宅配の2種類のオフライン方式において、個々にモデルケースを想定し、事業の投資効果ならびに環境負荷低減効果について評価を実施してみた。それぞれは、PCM方式と温水宅配方式の特性を加味したものである。

すなわちPCM方式は、コンテナの蓄熱容量が温水宅配方式より大きい(モデルケースでは約9倍)利点を活かし、ただし熱輸送には「蓄熱」と「放熱」の工程があることから、複数(最低3台)の保有コンテナを高回転に稼働させることが事業性の向上につながるなどの特性を加味した。

一方、温水宅配方式では、熱輸送時間と供

給側と需要側の温水授受に係る時間以外は不要(蓄熱/放熱などの時間が不要)であることから、輸送距離を短くし、その往復回数を増やすことで事業性向上につながるなどの特性を加味した。これらの特性を加味し、年間熱供給量や輸送距離などの試算条件をPCM、温水の方式ごとに決定した。

PCM方式ならびに温水宅配方式におけるモデルケースでの投資効果算定結果を表4に示す。同じく環境負荷低減効果をみるため、そのCO<sub>2</sub>削減効果について表5にまとめた。

熱利用先の需要家における既存燃料が都市ガスの場合、輸送する単位熱量当たりのCO<sub>2</sub>削減量は、PCM方式では約0.045kg-CO<sub>2</sub>/MJ、温水宅配方式では約0.033kg-CO<sub>2</sub>/MJと算出され、この比較ではPCM方式の方が約3割削減効果が大きいものと見込まれる。

### おわりに

前項までの検討を含めて、ごみ焼却発電施設の廃熱源位置と、病院・ホテルなどの熱利用施設との位置関係、熱利用施設側の利用目的(温水、給湯、暖房、冷房等)や熱利用規模等の適正な組合せにより、オフライン方式熱供給事業はPFI事業として成立することが明らかとなった。

また、具体例としてモデル都市におけるスーパーごみ発電施設を対象にVFM(Value For Money)の感度分析を行った結果、PFI事業として成り立つことが明らかとなり、合わせてCO<sub>2</sub>削減などの環境面の優位性も明らかとなった。

本稿は、経済産業省より受託した平成17年度民間資金活用等経済政策推進「併設型熱供給施設におけるPFI導入可能性調査」の報告書の要旨を取りまとめたものである。調査に当たっては、同省経済産業政策局産業施設課の皆様や本調査検討委員会の山本委員長(東京大学環境安全研究センターセンター長)をはじめとする関係諸氏に多大なご指導、ご尽力

表4 PCMならびに温水宅配方式における投資効果

ケース	条 件			試算結果					
	補助金	年間熱供給量 (GJ/年)	コンテナ (ローリー) 供給台数 (台/日)	税引後 利益 15年間 (百万円)	PIRR (%)	EIRR (%)	DSCR 平均値	LLCR	事業性
PCMA 1	50%	30,000	10	402.1	33.9	141.4	2.8	3.5	○
A 2	無			313.7	12.9	43.2	1.5	1.9	○
PCMB 1	50%	50,000	16	780.9	50.4	196.6	3.6	4.6	○
B 2	無			674.8	20.7	83.1	2.0	2.5	○
PCMC 1	50%	10,000	3	52.6	8.7	22.8	1.2	1.6	○
C 2	無			-10.5	-	-	1.0	0.95	×
温水 6 km	無	10,000	3	52.4	9.6	24.7	1.4	1.7	○
10km	無	30,000	8	139.6	9.6	24.6	1.4	1.7	○
温水 6 km	無	10,000	4	57.9	8.1	19.0	1.3	1.6	○
10km	無	30,000	11	159.2	8.1	18.9	1.3	1.6	○

- 1) PCM方式の試算では季節変動を考慮せず、年間を通じて毎月一定の熱供給をしているとした。保有コンテナ数を高効率に稼働させ、また運転者数を必要最低人数にて設定している
- 2) 評価指標の解説
- 3) PIRR(Project Internal Rate of Return)：投資額に対する内部収益率。初期投資額に対する元利償還前キャッシュフローが、年利回りに換算してどのくらいになるかを数値化したものである
- 3) EIRR(Equity Internal Rate of Return)：自己資本に対する内部収益率。自己資本投資額に対するネットキャッシュフローが、年利回りに換算してどのくらいになるかを数値化したものである
- 4) DSCR(Debt Service Coverage Ratio)：借入金に対する毎年の元利償還金が、元利償還前キャッシュフローでカバーされる比率(元利償還前キャッシュフロー/元利償還金)
- 5) LLCR(Loan Life Coverage Ratio)：ローンライフDSCR[ $\Sigma$ (元利償還前キャッシュフローの現在価値)/借入金元本]の意。借入金元本が、融資期間にわたる元利償還前キャッシュフローの現在価値でカバーされる比率。

表5 PCMならびに温水宅配方式におけるCO<sub>2</sub>排出削減効果(既存燃料：都市ガスとの比較)

オフライン方式	年間供給熱量 (GJ/年)	輸送距離 (km)	CO <sub>2</sub> 削減量 (t-CO <sub>2</sub> /年)	熱量当たり削減量 (kg-CO <sub>2</sub> /MJ)
PCM方式	10,000	10.0	427	0.0427
	30,000	10.0	1,377	0.0459
	50,000	10.0	2,335	0.0467
温水宅配方式	10,000	6.0	351	0.0351
	30,000	6.0	1,095	0.0365
	10,000	10.0	290	0.0290
	30,000	10.0	918	0.0306

をいただき、改めて謝意を表する次第である。  
 本稿が関係者の方々に少しでも役立つことができれば幸甚である。

- 参考文献 -

- 1) (財)エンジニアリング振興協会；平成17年度民

- 間資金活用等経済政策推進「併設型熱供給施設におけるPFI導入可能性調査」報告書
- 2) (財)エンジニアリング振興協会；平成16年度民間資金活用等経済政策推進「新・スーパーごみ発電と既存(又は新規)インフラ活用によるPFI事業化調査」報告書

# 北海道の雪氷が東京を冷やす\*

—雪氷輸送物流システム—

小松 正明\*\*

## はじめに

北海道の物流には、片荷輸送による高コスト構造の問題がある。雪氷輸送物流システムは、自然の冷気で豊富に存在する雪・氷を北海道発の新たな冷熱エネルギー荷物と位置づけ、この片荷輸送による潜在的な輸送余力を利用して首都圏へ輸送し、臨海部オフィスビルの冷房熱源に利用することで、物流の効率化による北海道物流の高コスト構造を改善するとともに、大都市圏で深刻化するヒートアイランド現象などの環境問題解決に寄与できる新たな物流システムの構築をめざすものである(図1)。

## 1. 北海道と首都圏の物流を取り巻く状況

首都圏と北海道間の船便〔貨物フェリー、RORO船(ロールオン・ロールオフ船の略。トレーラーや自走などで船内に荷運び入れるタイプの輸送船)、コンテナ船等〕では、ト

レーラーやコンテナなどで荷物が運ばれる。首都圏から北海道への便は荷物が満載なのに対し、北海道から首都圏へ帰る便は農作物の収穫期を除き空荷がめだつ。これは北海道から輸送できる荷物が少なく、輸送業者は荷物を確保するのが困難なためである。そのため空のシャーシ(車台)やトレーラーを東京へ船賃をかけて戻さなくてはならず、結果として北海道へ運ぶ荷物に帰りの空荷輸送コストが上乗せされる。

物流コストが高いことで、北海道で製造された工業製品は高コスト輸送の原材料を使い、造られた製品も割高になり、北海道での企業誘致が思うように進まない一因となっている。さらに企業誘致が進まないため、北海道からの発荷が確保できないという悪循環に陥っている。この悪循環を断ち切るためには、北海道からの発荷を確保することがもっとも効果的である。



図1 雪氷輸送の背景

\* The Physical Distribution System for Snow and Ice

\*\* Masaaki KOMATSU 国土交通省北海道開発局開発監理部開発調整課開発企画官

キーワード ①片荷問題 ②雪氷輸送 ③物流改善 ④ヒートアイランド ⑤冷熱エネルギー

今回の雪氷輸送物流システム(図2)は、「どうせ空で帰るのであれば、“ついで”に雪氷を運んでもらい、それを冷房に利用しよう。“ついで”なので、輸送業者の都合のよいときに運んでもらえば、その分、安く輸送してもらおう」というもの。輸送収入が安価でも雪氷が荷物になることで、帰りの空荷が減り、費用負担が軽減され、輸送コストが下がり、北海道経済の活性化や新たな雪氷関連の産業の創出にもつながることが期待される。

一方首都圏では、昼間の電力ピークを抑制する観点などから、深夜電力で氷や冷水を作り、昼間の冷房に活用するシステム(エコアイスシステム等)が普及している。今回の雪氷輸送物流システム実証実験は、このような氷や冷水を活用した冷房システムに北海道から輸送した雪氷を利用してもらうというものである。

輸送される氷は輸送業者の都合に合わせて

搬送されるため、雪氷の到着は不定期になる。このため不定期でも対応できるハイブリッド方式によるシステムを検討する。

この方式により、北海道から氷が届いたときは雪氷を投入して電力等による冷却を止め、大気への放熱やCO<sub>2</sub>の発生を抑える。また、北海道から雪氷が届かないときは既存のエコアイスシステムなどを利用して冷房することで、雪氷の供給が不定期でも対応できるというわけである。

昼間でも夜でも冷熱を製造するためにはビル外に熱を放出することが必要だが、本システムは、北海道の冬の冷気でエネルギーを使わずに作った氷を利用することにより、ヒートアイランド現象の原因の一つである冷房時の屋外への放熱を抑える効果が期待できる。

## 2. 実証実験の概要(図3)

本システムの確立にはいくつかの課題があ

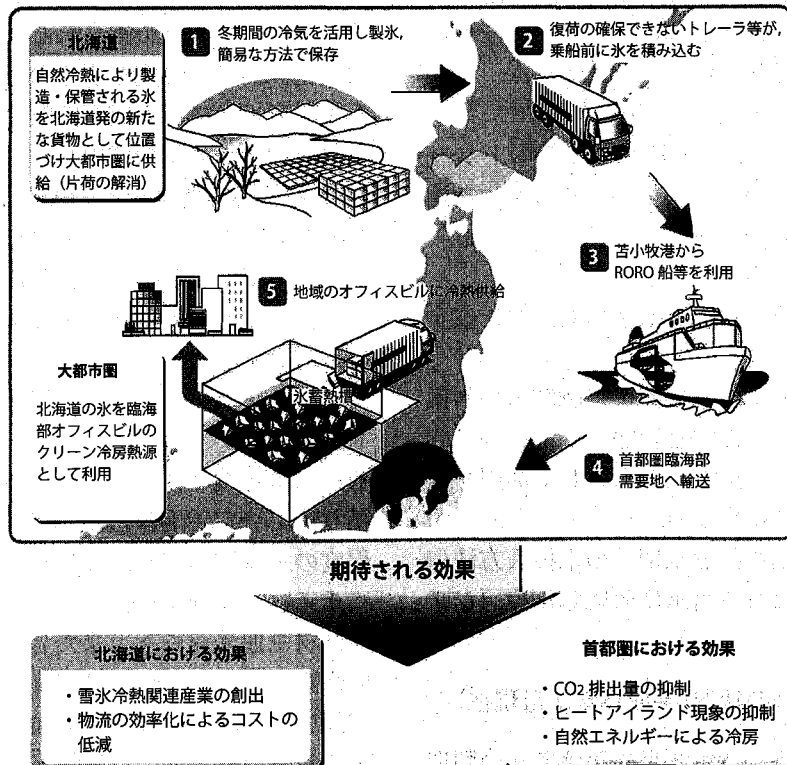


図2 雪氷輸送物流システムのイメージ



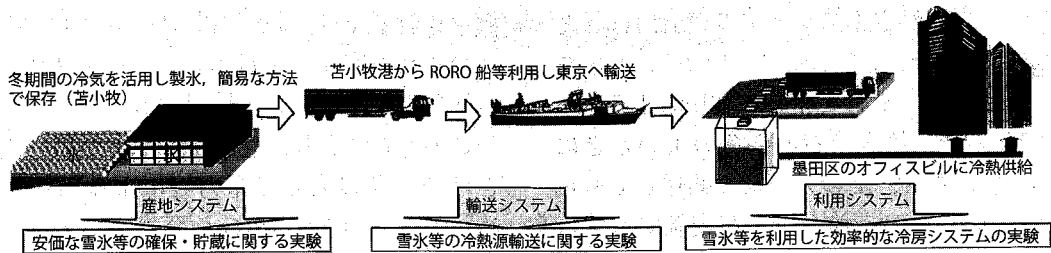


図3 雪氷輸送物流システムの実証実験(平成17, 18年度)

る。大量で安価な水をいかに確保し、安全かつ安価に運び、どのように利用するかという点である。この課題を解決するために雪氷生産地、雪氷輸送システム、冷熱の利用地において、平成17～18年度の2カ年度にわたって実証実験を行い、システム構築に必要なデータを集める。

#### ① 産地システム実証実験

自然の冷気で作られた雪氷を、年間を通じエネルギーを使わずに保存するための基礎データを集める。

- ・大量かつ安価な雪氷の製造(製氷方法)
- ・春から夏、秋にかけてのエネルギーを使わない雪氷の保管方法

#### ② 輸送システム実証実験

冷凍車ではなく首都圏へ帰る空のトレーラーを利用し、いかに安全かつ安価に氷を運べるかの実証実験を行う。

- ・雪氷の積み込み方法
- ・各種トレーラーやコンテナに対応した安全な運搬方法
- ・輸送時の融解量の把握および融解水の対策

#### ③ 利用システム実証実験

実際にビルの冷房システムとして活用するためのデータを収集する。

- ・安全かつ安価な蓄熱水槽への氷投入方法
- ・不定期に運ばれる雪氷に対応した冷房システムの検証

### 3. 実証実験の状況(平成18年7月現在)

平成17年12月～18年3月にかけて氷の製造実験を行い、約2,500tの氷を製造した。この

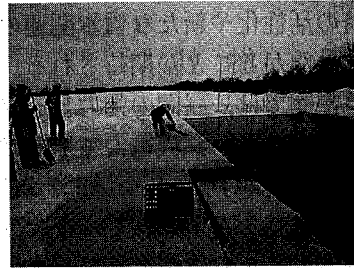


写真1 自然池からの氷の切り出し状況

氷を断熱材などで覆い、自然状態で10月まで保管する。今年度は6～10月にかけて全17回、計300t程度の氷を輸送、その氷を使って実際のオフィスビルで冷房システムの利用実験を行う。この実験で得られたデータをもとに事業化へ向けた課題を明らかにする。

#### ① 産地システム実証実験

- ・自然池からの氷の切り出し・確保(写真1)

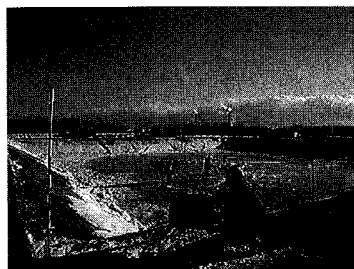
自然池から切り出した厚さ約40cmの氷を3段と5段に積み上げ、それぞれ断熱材+遮光シートで保管した。保管した氷の融解状況から、この方法では6月まで保管できることを確認した。

- ・アイス Pondでの製氷・保管(写真2)

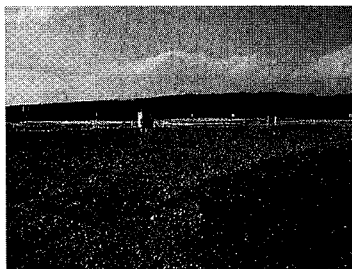
製氷用のアイス Pond(人工池)をつくり、そこに水を数センチずつつまき凍らせる作業を繰り返した。今回の実験では厚さ50～60cm程度の氷が約2,500tできた。

その氷を1.5mの雪、さらに厚さ100mmの断熱材+遮光シート、または1mの土砂で覆い保管した。この状態で氷を10月まで保管し、実際に首都圏へ運び冷房実験に使用する。

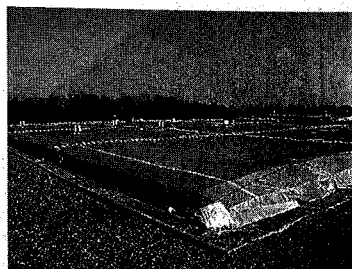
- ・フレコンパックによる製氷・保管(写真3)
- ・フレコンパック(高さ1mの大型土のう)



アイスポンドでの製氷状況



断熱・保管状況(雪1.5m+土砂1.0m)



断熱・保管状況(雪1.5m+断熱材+遮光シート)

写真2 アイスポンドでの製氷・保管

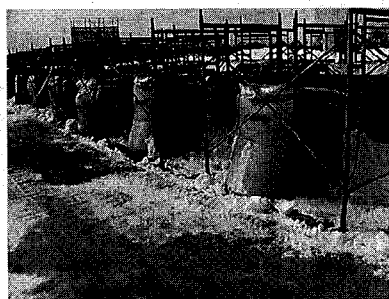
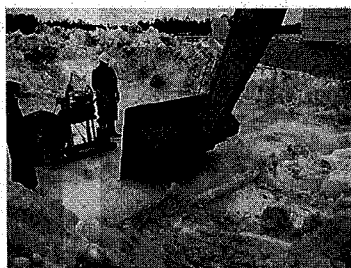


写真3 フレコンパックによる製氷状況



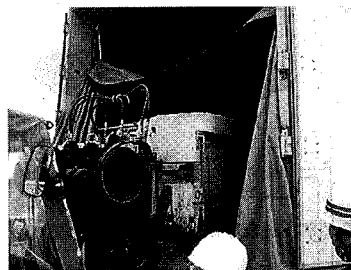
専用切り出し機と鋸歯バックホウによる氷切断状況

に給水し凍らせた。給水方法は、高さ10cm、20cm、50cm、1mと給水量を変えて凍る様子を観測した。10cm、20cm給水では夜間に凍ったものが昼間融解し、なかなか凍らなかったのに対し、1mの高さで一括給水したものは比較的凍りやすいことがわかった。しかしすべてが凍るわけではなく、中には凍らないものもあり、配置が微妙に影響しているようだ。

保管では積み上げたフレコンパック氷を隙間なく断熱材で覆うことが難しく、6月には融解した。

・アイスポンドからの氷の切出し・積み込み(写真4)

氷の切出し方については、いろいろな方法を実験する。写真は専用切出し機とバックホウに特注の鋸歯アタッチメントを取り付けたものを併用して切り出している状況である。1m×1mに切り出した氷を2段に重ね、トレーラーに積み込んだ。



20tトレーラーへの氷の積み込み状況

写真4 アイスポンドからの切出し・積み込み

② 輸送システム実証実験(写真5)

今回の検討は東京への空荷トレーラーを利用することを目的にしているため、冷凍設備のない一般的なトレーラーを使用する。

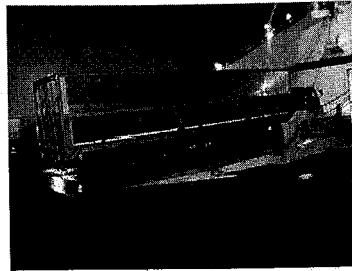
氷が動かないようにラッシング(ベルトによる固定)を行う。氷が溶けると、ベルトが緩み、どのような動きをするかわからないため、実験初期は断熱材で間詰めをした。今後は実験を重ねデータを集めることで、より簡易な方法で固定できるよう検討を行う。

③ 利用システム実証実験(写真6)

今回の実証実験施設は、墨田区内のオフィスビルの地下駐車場に実験専用の氷蓄熱水槽



ラッシング状況

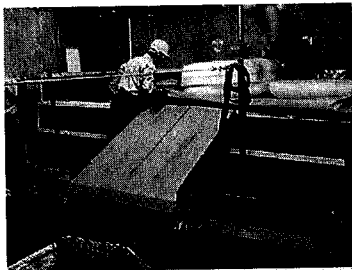


乗船(苫小牧港→東京港)

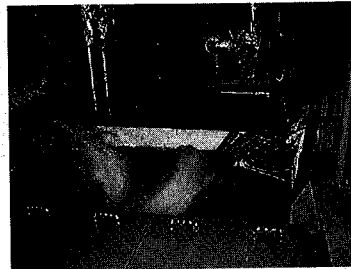


融解量確認状況(東京)

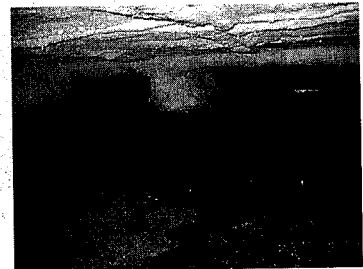
写真5 輸送システムの実験の様子



人力による水蓄熱水槽への投入状況



水蓄熱水槽へ投入



水蓄熱水槽内の状況

写真6 利用システムの実験の様子

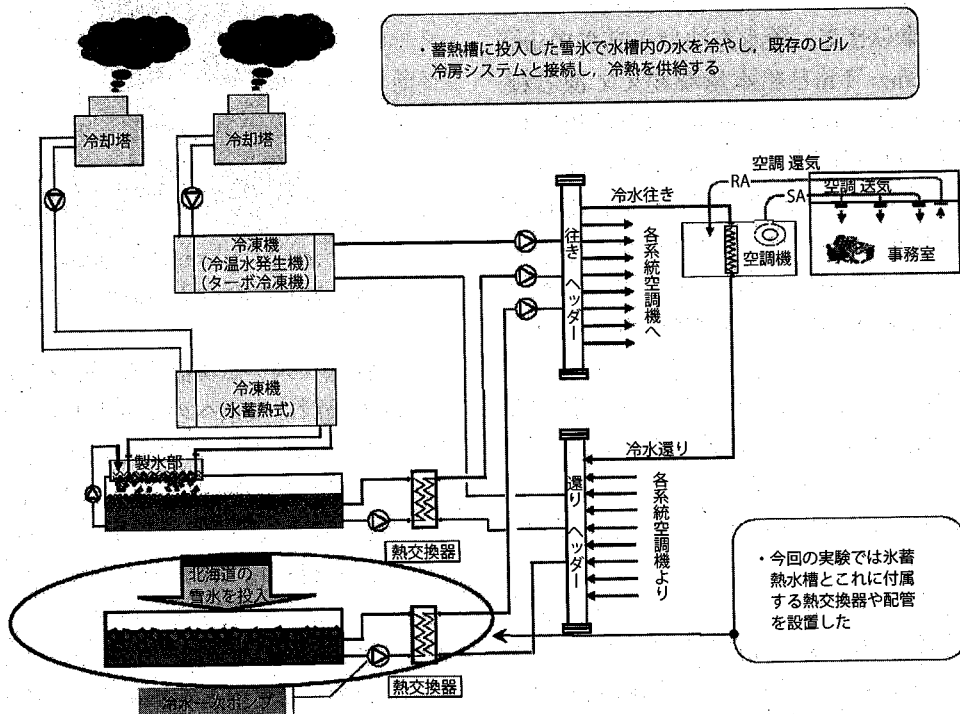


図4 利用システム冷房システムのイメージ

を臨時に設置し氷を投入する。この氷の冷熱を、熱交換器を介して既存の冷房システム

に供給することでビルの冷房に利用する(図4)。

実証実験では氷を人力で水槽に投入したが、できるだけコストをかけず、いろいろな施設に対応できるようにするため、シンプルなシステムをめざしている。

#### 4. 今後の展開

現在までの実証実験の結果、アイスポンドの水保管では地熱による氷の融解はほとんどないことがわかった。このため側面および上面の断熱を確保することで、氷の保管が可能である。

また苫小牧から東京までの輸送中に氷の割の氷が融解することがわかった。これは当初想定していた範囲内であり、冷凍車以外でも十分に氷の運搬が可能である。

大きな氷を冷凍施設も使わずに運ぶということは、今まで事例がないため、最初は安全性の確認を主とした実験を行ったが、実用化に向けては、いかに人件費を抑えてコストを下げるかが課題となる。今後はいかに安価で安全な氷の製氷・保管・運搬が可能かどうかを検証していく。

### お知らせ

#### ●10月19～21日、名古屋市で第1回3R推進全国大会

循環型社会作りに向けた取組みを推進するため環境省は「3R活動推進フォーラム」(会長=小宮山宏・東京大学総長)、愛知県、名古屋市とともに10月19～21日、名古屋市のポートメッセなごやで「第1回3R推進全国大会」を開催する。

記念式典では、循環型社会形成推進功労者等の環境大臣表彰や小宮山会長による講演会が行われる。またこの他にごみゼロ社会推進あいち県民大会、循環型社会づくり・ワークショップ、「名古屋ルール」フォーラム、シンポジウム「ごみの発生抑制を促す情報提供のあり方」など各種シンポジウムやワークショップ、展示会が予定されている。

詳細は、同大会のホームページ(<http://www.pref.aichi.jp/kankyo/junkan/3rtaikai>)まで。

#### ●11月30日締切り、「かおりの街作り」コンテストで企画募集

環境省は、「かおりの樹木」を用いた「かおりの街作り」企画コンテストを実施、このほど企画の募集を開始した。同省は、街作りにかおりの要素を取り込むことで、良好なかおり環境を創出しようとする地域の取組みを支援する。締切りは11月30日。

地方公共団体が企画の対象(住民団体やNPO等の共同企画は可)で、かおりの樹木を250本程度以上使って街区などを演出する企画。優秀な企画には、環境大臣賞や協会賞などとともにかおりの樹木が贈られる。

詳細は、(社)におい・かおり環境協会(Tel.03-5835-0315, Fax03-5835-0316, E-mail:info@orea.or.jp)