【技術論文】

氷スラリーを用いた冷熱による廃プラスチックエネルギーの高度有効利用※

谷野正幸・増田正夫・鎌田美志
染矢聡[*1]・小山寿恵[*1]・折田久幸[*2]
熊野寛之[*3]・森本崇志[*3]

Advanced Effective Utilization for Cold Heat of Waste Plastic Energy by using Ice Slurry

Masayuki Tanino・Masao Masuda・Haruyuki Kamata
Satoshi Some-ya・Toshie Koyama・Hisayuki Orita
Hiroyuki Kumano・Takashi Morimoto

我々は 2020 年度からの 5 年間、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のプロジェクト「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」において、エネルギーリカバリー・チームに参画してきた。廃プラスチック焼却施設から回収した熱を高付加価値の冷熱として利用するため、低温廃熱から 0℃以下の冷熱を発生させる氷点下吸収冷凍機や氷スラリー利用の基盤技術の研究開発を行ってきた。本稿では主に、氷点下吸収冷凍機を用いた熱駆動型氷スラリー製氷システムの製氷・蓄氷試験の結果を説明した。さらに、開発してきた熱利用システム統合評価ツールを用いた、本提案システムのケーススタディを紹介した。

1. はじめに

廃プラスチックを含むプラスチックの資源循環は重大な社会課題であり、陸域から流出した廃プラスチックは海洋プラスチックごみの環境問題にも繋がる。そこで、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、2020 年～2024 年の 5 年間、委託事業「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」[1)]が実施された。

この委託事業では廃プラスチックの資源価値を飛躍的に高めるため、①廃プラスチック高度選別技術（SR: Sorting for Recycling）、②材料再生プロセス技術（マテリアルリサイクル MR: Material Recycle）、③石油化学原料化技術（ケミカルリサイクル CR: Chemical Recycle）、④エネルギー回収・利用技術（エネルギーリカバリーER: Energy Recovery）の研究開発が LCA と連携して実施され、廃プラスチックの品質に応じた最適な処理システムを構築することによって、高度資源循環と環境負荷低減との両立を目指してきた。

我々はエネルギーリカバリー・チーム（ER チーム）に参画して、各種リサイクルがなされた後の廃プラスチックが最終的に廃棄・焼却・エネルギー回収される際の、伝熱管表面改質技術[2-6)]と低温排熱の有効利用技術[7-49)]の基盤研究を行ってきた。本報では、低温排熱を有効利用する技術の１つとして、氷スラリーによる冷熱の統合利用システムについて紹介する。

※本論文は、2025 年度空気調和・衛生工学会大会と 2025 年度日本冷凍空調学会年次大会の講演論文を加筆修正したものである。
*1 東京電機大学、*2 八戸工業大学、*3 青山学院大学

2. 廃棄物処理施設の排熱利用／余熱利用の現状

まず、廃棄物のエネルギーリカバリー技術の現状把握のため、**図 1** のように産業廃棄物処理施設において、発電利用や熱利用を実施している施設の調査結果 [50]を整理した。図の横軸は処理能力（施設規模）を、縦軸は「発電利用」、「熱利用（熱のみ）」、「熱利用なし」の件数を示す。図のように、発電利用されているのは大規模施設のみである。また、中規模・小規模施設の多くは熱利用なしの施設であることが確認できた。これらの原因の１つは、とくに小規模の発電設備の効率が悪いため、発電利用や熱利用の設備の経済性の問題であろう。とくに、中規模・小規模施設においては、発電効率の向上ではなく、今までの温熱需要に加えて冷熱需要を創出することなどで排熱需要を拡大する必要がある。

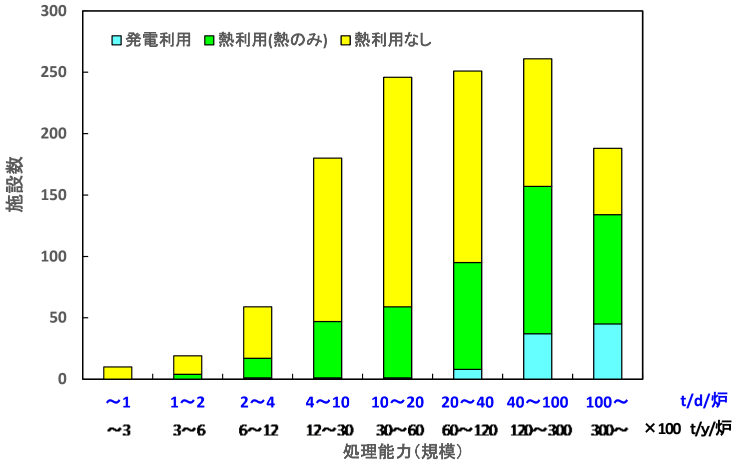


図1 産業廃棄物処理施設の排熱利用の現状

3. 低温排熱の有効利用の研究開発

温熱利用に加えて、物流業界・漁港などの冷熱利用によって排熱需要を拡大するために、**図 2** のように未利用低温排熱から氷スラリーを製造して供給することを想定して研究開発を実施した。氷点下冷熱を発生する吸収冷凍機を開発し、熱供給によって-5℃のブラインを製造して、製氷機にて 0℃以下の流動性の高い氷スラリーを製造し、冷蔵車や冷蔵庫に氷スラリーを供給する。廃棄物処理施設などの熱発生施設と吸収冷凍機や氷スラリー製氷機 [51-56]の両者が離れている場合には、吸着剤蓄熱などのオフライン熱輸送システム [57-65]が必要になる。

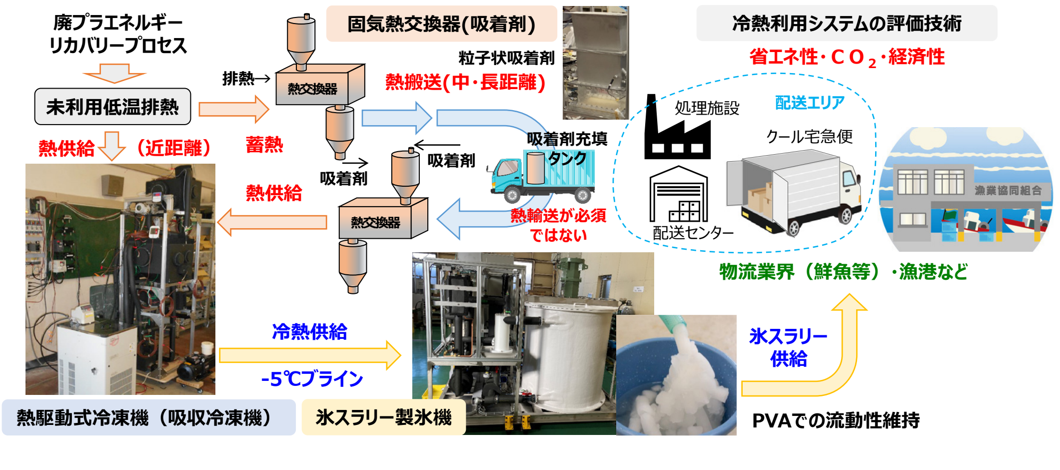


図 2 低温排熱の有効利用のための冷熱利用の研究開発の概要（氷スラリーによる冷熱の統合利用システムの概要）

氷点下冷熱製造の吸収冷凍機は**図 3** のように、2 元吸収冷凍サイクルの構成で研究開発することにした。1 元目の高温側冷凍機は従来の LiBr-H_2O を作動液体とし、低温側冷凍機の吸収器の冷却水を製造する。2 元目の低温側冷凍機は LiBr-H_2O/1-Propanol を作動液とし、氷点下冷熱を製造する [6, 9, 12-14, 21, 24, 26, 27, 31, 32]。研究開発対象の低温側吸収冷凍機では、吸収器の作動液の結晶化を防止するため、通常の 32℃の冷却水ではなく 7℃程度の低温冷水が必要である。このように 1-Propanol の添加により、汎用の機器構成での氷点下冷熱の製造を可能にした。

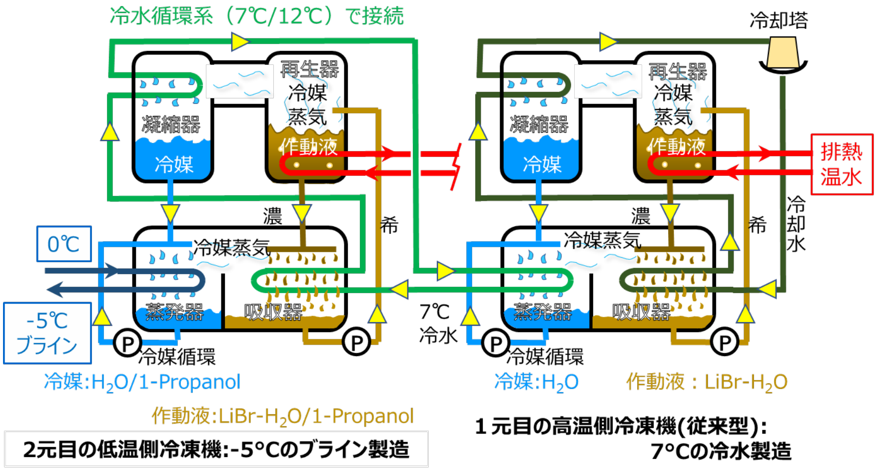


図 3 氷点下冷熱を発生する 2 元吸収冷凍機の模式図

4. 熱駆動型氷スラリー製氷システムの研究開発

氷点下吸収冷凍機と氷スラリー製氷機で構成される、熱駆動型氷スラリー製氷システムの試験装置を製作し、10 時間以上の製氷・蓄氷試験を実施した。

4.1 試験装置と方法

表 1 に、熱駆動型氷スラリー製氷機の試験装置の構成機器を示す。表のように 1 元目の冷凍機、2 元目の吸収冷凍機、排熱を模擬した加熱器、冷却塔、製氷機、ブライン配管などで構成されている。研究開発の対象ではない 1 元目の冷凍機は汎用の電動式冷凍機を使用し、加熱器は汎用の給湯器を使用した。また、製氷機は過冷却方式の氷スラリー製氷機である。主要機器である氷点下吸収冷凍機と氷スラリー製氷機は、**図 4** や**写真 1** の外観写真のようにブライン配管で接続されている。**図 4** のように吸収冷凍機は凝縮器/再生器、蒸発器/吸収器の高圧/低圧の容器で構成されている。また、過冷却方式の氷スラリー製氷機は貯氷タンク、予熱器、過冷却器、過冷却解除器で構成されている。研究開発の対象である吸収冷凍機の蒸発温度を下げずに氷スラリーの流動性を高めるため、ここでは 0.75wt% NaCl の低濃度塩水に 0.05 wt%の PVA（ポリビニルアルコール）を添加した製氷水を用いた [7, 16-18, 30, 44]。

表 1 試験装置の構成機器

	構成機器	仕様	備考
1	1 元目 冷凍機	汎用/電動冷凍機	試験用の 1 元目の 冷凍機として使用
2	2 元目 吸収冷凍機	氷点下吸収冷凍機 冷凍能力：3～4 k W	開発対象 設計能力
3	加熱器	汎用/灯油炊き給湯器	排熱を模擬
4	冷却塔	汎用/小型冷却塔	1 元目冷凍機放熱
5	製氷機	過冷却方式 氷スラリー製造装置	製氷水は低濃度 塩水（PVA添加）

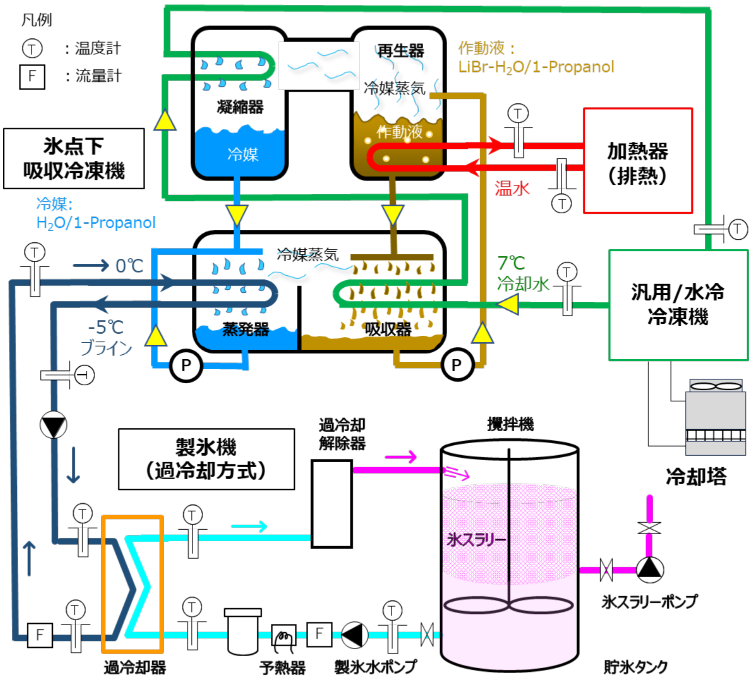


図 4 熱駆動型氷スラリー製氷機の試験装置の系統図

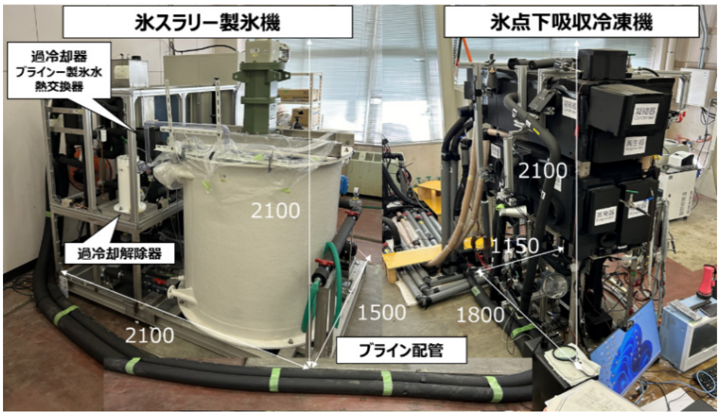


写真 1 熱駆動型氷スラリー製氷機の試験装置の外観写真

4.2 試験結果と考察

試験結果の 1 例として**図 5** には、氷点下吸収冷凍機に送られる温水温度、冷却水温度、冷凍能力の経時変化を示す。装置起動から約 0.5 時間後には、上段図のように、排熱を模擬した加熱器からは約 65℃の温水が氷点下吸収冷凍機に安定供給された。また、中段図のように、1 元目の冷凍機からは約 7℃の冷却水が氷点下吸収冷凍機に安定供給された。

図 6 には製氷機でのブライン温度、氷スラリー中の氷の割合（製氷 IPF）、貯氷タンク内の氷充填率（貯氷 IPF）の経時変化を示す。上段図のように装置起動から約 0.5 時間後には、ブライン温度が低下して-5℃の定常状態に到達した。製氷機の過冷却器では過冷却状態が維持されるとともに、中段図のように、製氷 IPF が約 4%での約 14 時間の製氷運転を確認した。この製氷運転での冷凍能力は、**図 5** の下段図のようにように約 3.0～3.2 kW であった。なお、冷凍能力や製氷 IPF は、吸収冷凍機から製氷機の過冷却器に送られるブラインの温度と流量から算出した。製氷開始から 10 時間後までは、氷点下吸収冷凍機の調整不足であったため、冷凍能力が約 3.0 kW と比較的、少なくなっていた。このときの過冷却度が小さいため、氷の成

長速度が遅くなって生成される氷の粒子が大きくなり、貯氷タンクへの配管での氷の閉塞が起こった。しかし、試験装置に組み込まれていた運転制御によって自動復帰して、製氷運転は継続した。

約 14 時間の製氷運転の間、貯氷タンク内に氷スラリーが蓄積され続け、**図 6** の下段図に示すように貯氷 IPF は 50wt%以上に達した。前述の**図 4** のような貯氷タンク内の攪拌により、タンク内の氷スラリーの流動性は維持されていることを観測した。また、連続製氷・蓄氷試験の終了の後、前述の**図 4** の氷スラリーポンプ（汎用ポンプ）によって貯氷タンク内の氷スラリーを取り出すことができた。このように、本研究では低濃度塩水に 0.05 wt%の PVA を添加することで、氷スラリーの流動性が維持できることを確認した。なお、この高 IPF での氷スラリーの流動特性については、別途の研究成果を参照されたい[25, 33, 34, 36, 45, 47, 48)]。

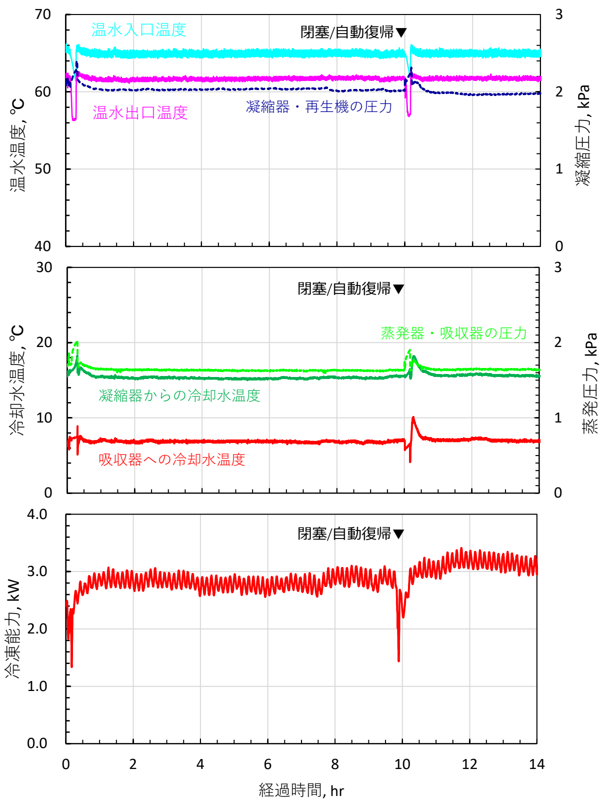


図 5 温水温度、冷却水温度、冷凍能力の経時変化

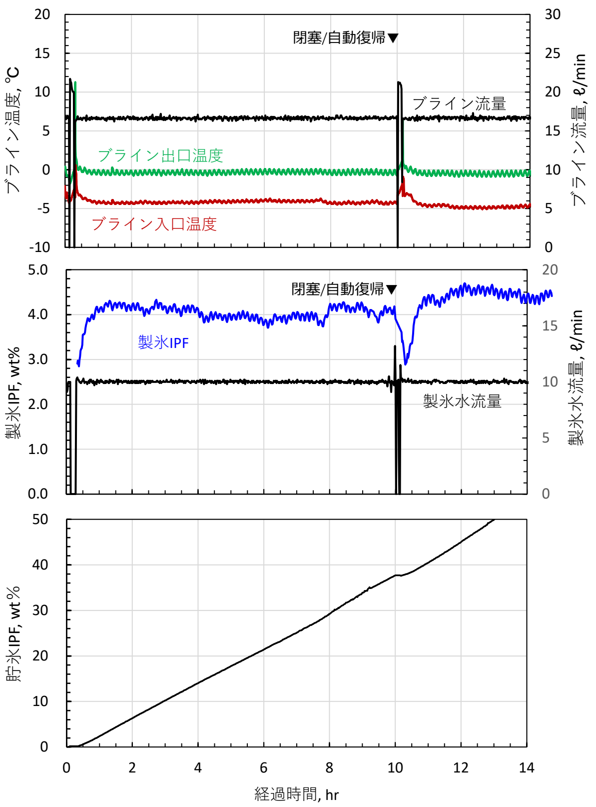


図 6 ブライン温度、製氷 IPF、貯氷 IPF の経時変化

5. 冷熱利用システムの評価モデルの研究開発

前述のような熱駆動型氷スラリー製氷システムの研究開発に加えて、提案システムの社会実装に向けて、その省エネ性、経済性、環境性を評価するモデルの研究開発を行うことにした。

5.1 評価モデルの概要

ここで研究開発してきた評価モデルは**図 7** のように、1)～8)の検討項目と Sub①～④のサブツールで構成した。1) 廃棄物処理施設（廃プラ焼却施設）と 2) 最終冷熱需要先の条件が入力条件であり、各々の熱量の最小値が熱利用システムの容量になる。つぎに、3) 乾燥吸着剤輸送の条件を想定し、4) 大型トラックの仮定、5) 熱駆動式冷凍機の設定、6) 廃プラ焼却施設・冷熱需要先の熱交換器・装置の仕様の決定、7) 冷熱需要先の月別代表日運転シミュレーションを行い、年間エネルギー消費量・運転費、CO_2 削減量、費用対効果等を算出して 8) システム評価を行う。なお、Sub①の 1 日間トラック輸送モデル、Sub②の吸着剤の乾燥・湿潤運転のシミュレーションモデル、Sub③のイニシャルコスト試算ツール、Sub④の運転シミュレーション

評価ツールは、エクセルベースのサブツールである。ここでの氷点下吸収式冷凍機の COP は 0.3 として、比較対象の従来方式の製氷用電動冷凍機の COP は 3.0 とした。また、氷 1 トン当たり 0.5 万円を製氷の利益とし、トラック輸送人件費を含めずに評価した。

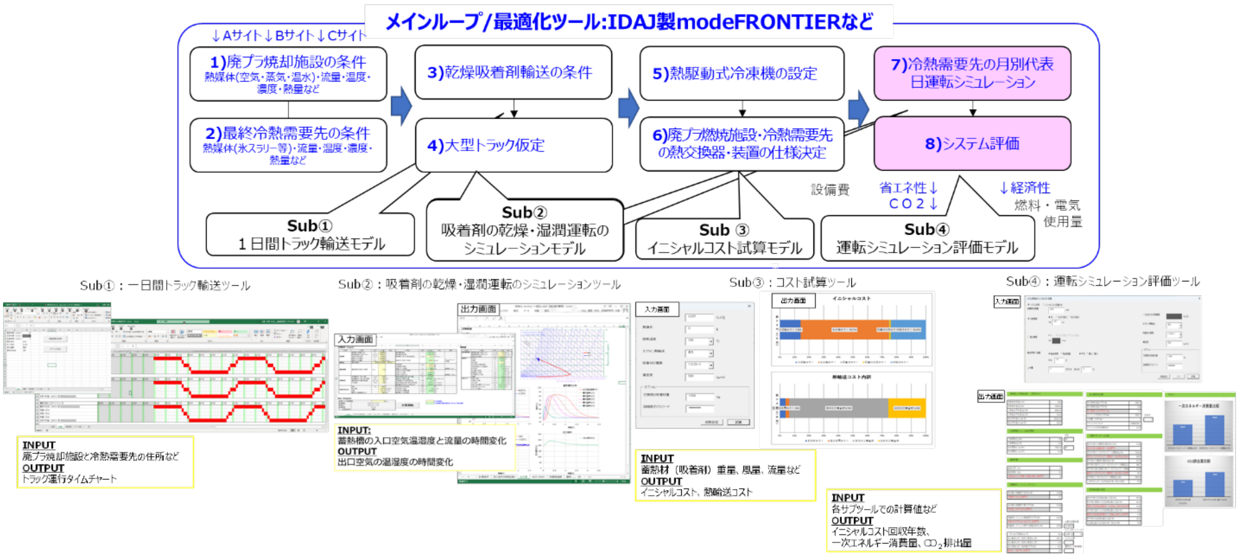


図 7 冷熱利用システムの評価モデルのフロー図

5.2 評価モデルの事例研究

評価モデルの完成度を高めると共に、提案システムの実証場所の探索に併せて、**表 2** の 13 件の事例検討を行った。表のように大都市エリア、地方エリア、八戸湾岸などの中核都市エリアに分類・評価した。

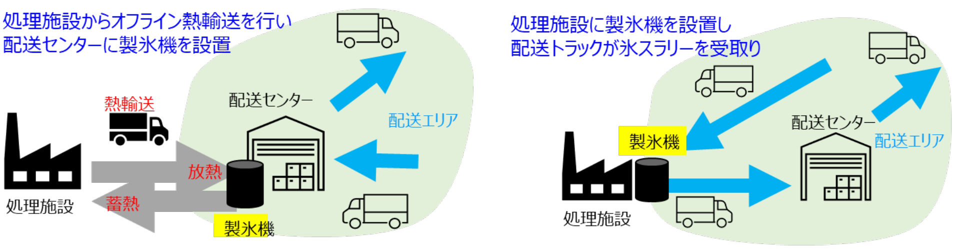
表 2 評価事例

NO.	対象地域	モデル区分	備考
1)	東京、大阪、名古屋、福岡、北海道	大都市エリア	大都市の比較、オフライン熱輸送のスクリーニング
2)	東京／A清掃工場と某物流ベース	大都市エリア	廃熱発生と冷却需要(製氷需要)が近接
3)	東京／C清掃工場と某物流支店	大都市エリア	廃熱発生と冷却需要(製氷需要)が近接
4)	東京エコタウン	大都市エリア	広域の物流冷蔵倉庫群の冷却需要(製氷需要)に対応
5)	神戸市	大都市エリア	一般廃棄物処理場と物流冷蔵倉庫が対象
6)	北海道	大都市エリア	産業廃棄物処理場と物流冷蔵倉庫が対象
7)	三宅島、大島、八丈島	地方エリア	離島の漁港の製氷需要に対応
8)	壱岐島、下関	地方エリア	製氷需要が比較的多い地域
9)	山口県／冷蔵・冷凍倉庫	地方エリア	冷凍・冷蔵倉庫の製氷需要に対応
10)	福岡県宮若市・飯塚市	地方エリア	冷蔵庫の冷却需要(製氷需要)に対応
11)	宮崎県小林市	地方エリア	物流冷蔵倉庫の冷却需要(製氷需要)に対応
12)	八戸／小売り施設	中核都市エリア	小売の製氷需要に対応
13)	八戸／漁港	中核都市エリア	漁港の製氷需要に対応

5.2.1 大都市エリアの評価事例

ここでは、Sub①の一日間トラック輸送ツールを検証することを目的にして、大都市エリアの物流業界を対象にしてオフライン熱輸送システムが必要な場合と不要な場合をスクリーニングすることを試みた。**図 8** のように(1)のオフライン熱輸送システムを必要とする場合は、配送エリア外に廃プラスチックを焼却する処理施設があり、オフライン熱輸送を必要とする。これに比較して(2)のオフライン熱輸送システムが不要な場合では配送エリア内に処理施設があり、配送トラックが配送センターに戻る前に処理施設に設置さ

れた氷スラリー製氷機に立ち寄って、輸送トラックの冷蔵庫に氷スラリーを供給することが可能になると考えた。



（1）オフライン熱輸送システムが必要な場合　　（2）オフライン熱輸送システムが不要な場合

図 8 オフライン熱輸送のスクリーニング

廃プラスチックの焼却設備としては(a)産業廃棄物処理施設と(b)一般廃棄物処理施設の 2 種類について、(1)東京都、(2)大阪府、(3)愛知県、(4)福岡県、(5)北海道の 5 地域において、複数の配送センターとの間の移動時間を Sub①を用いて取得した。**表 3** には処理施設と配送センターの件数を、(1)東京都、(2)大阪府、(3)愛知県、(4)福岡県、(5)北海道の地域について纏めて示す。処理施設と配送センターの件数の積が移動時間の評価計算数であり、移動時間の最小値・最大値・平均値を**表 3** に示す。

この最小値より、産業廃棄物処理施設と一般廃棄物処理施設とも、また何れの地域でも、概ね 1～2 分以内の移動時間に配送センターがある場合があることがわかった。各地域において近年、郊外の自動車道のインターチェンジの近くに建設されてきた配送センターが元々、郊外に設置されてきた廃棄物処理・焼却設備に隣接しているものと考えられる [19]。

表 3 大都市エリアの移動時間の評価結果（Sub①1 日間トラック輸送モデルによる計算条件と結果）

(a) 産業廃棄物処理施設

	産業廃棄物処理施設数	配送センター	計算数 N	移動時間(min) 最小値	最大値	平均
東京都	222	71	15,762	0.03	88.3	40.3
大阪府	229	72	16,488	1.17	83.8	32.7
愛知県	473	52	24,596	0.83	132.6	46.6
福岡県	425	41	17,425	0.47	160.0	56.6
北海道	621	59	36,639	0.07	695.2	183.9
		合計	110,910			

(b) 一般廃棄物処理施設

	一般廃棄物処理施設数	配送センター	計算数 N	移動時間(min) 最小値	最大値	平均
東京都	41	71	2,911	0.73	86.2	43.2
大阪府	43	72	3,096	0.42	99.0	35.9
愛知県	43	52	2,236	2.43	133.9	52.0
福岡県	23	41	943	2.15	143.9	60.2
北海道	64	59	3,776	0.12	690.7	214.4
		合計	12,962			

以上のようなスクリーニング評価の結果から、東京都のような大都市エリアでは、冷熱需要の配送センターと排熱発生の処理施設が隣接するケースが多く存在することが確認できた。

そこで、東京都の某清掃工場と隣接する配送センターの実例を評価対象として、熱の需要と供給が隣接するケースでは配管接続ができる場合もあるので、ここでは配送トラックで氷スラリー熱輸送する「Case①」、需要側と供給側を配管接続して熱搬送する「Case②」、吸着材でオフライン熱輸送する「Case③」の 3 種類のケースで評価した [37]。

図 9 のようにイニシャルコスト回収年数は Case①で 10 年、Case②で 12 年、Case③で 22 年であった。また、**図 10** のように一次エネルギー消費量と CO_2 排出量は Case①と Case②で 30%、Case③で 66%であり、従来方式よりも有利になった。このように熱の需要と供給が隣接するケースでは、従来方式に比べて一次エネルギー消費量・CO_2 排出量を 30%まで低減できることが、提案システムの大きな魅力であると確認できた。

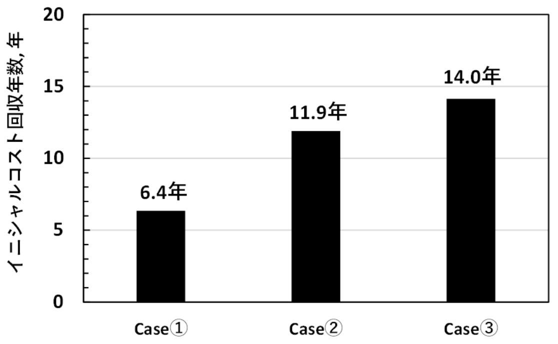


図 9 回収年数

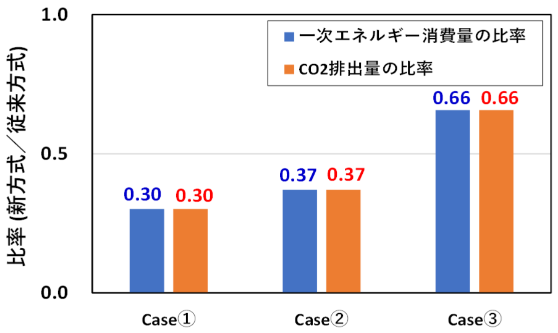


図 10 エネルギー消費量と CO_2 排出量

5.2.2 地方エリアでの評価事例

伊豆諸島にある伊豆大島（東京都大島町）、三宅島（東京都三宅村）、八丈島（東京都八丈町）の 3 島を対象に、離島エリアについてイニシャルコスト回収年数、一次エネルギー消費量・CO_2 排出量という観点で評価し、八丈島が最も適したエリアであるとの評価結果が得られた [20]。これは排熱発生側と冷熱需要側の距離が比較的近いという離島エリア独自の特性に加えて、八丈島が他の島よりも比較的冷熱需要が大きいという特性のためである。したがって八丈島のように、熱融通エリアが比較的コンパクトで、かつ冷熱需要（製氷需要）の大きいエリアでは、提案システム適合性は高くなる可能性がある。

そこで、地方エリアでの冷熱需要の比較的大きな地域として、山口県の 2 つの冷蔵･冷凍倉庫、「A 倉庫」と「B 倉庫」を対象に評価した [37]。排熱の調達場所は最寄りの廃棄物処理場とした。**図 11** のようにイニシャルコスト回収年数は「熱輸送なし」で 6～7 年、「熱輸送あり」で 13～15 年であった。また、**図 12** のように、一次エネルギー消費量・CO_2 排出量は「熱輸送なし」で従来方式に比べて 41～44%、「熱輸送あり」で 71～74%であった。このように冷熱需要の比較的大きな地域では熱輸送の有無にかかわらず、従来方式よりも有利になった。

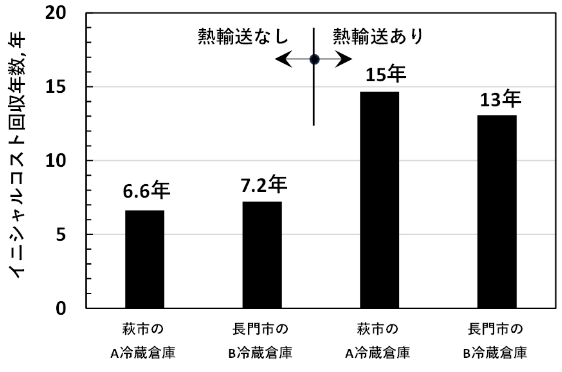


図 11 回収年数

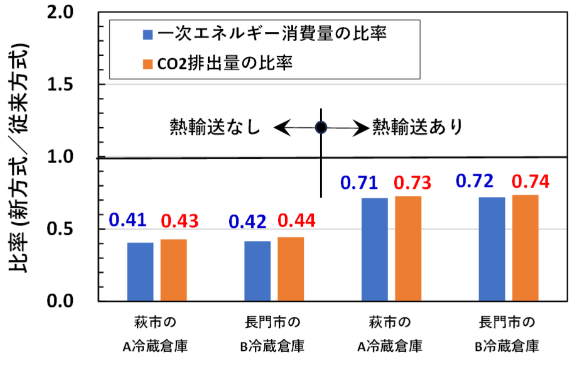


図 12 エネルギー消費量と CO_2 排出量

5.2.3 中核都市エリアの評価事例

八戸市は青森県内で第 1 次・第 2 次産業の総生産が第 2 位の市町村であり、農業・水産業・製造業がバランス良く盛んであり、排熱発生量と潜在的熱需要の両方が見込める中核都市である。八戸湾岸エリアには排熱供給が可能なリサイクル工場エリアと、漁港などの氷スラリー消費エリアが隣接している。そこで八戸市内で最も氷需要が大きいと予想される八戸港を氷需要先として評価した。排熱発生施設からは 7km の距離に位置する。

八戸港での年間の魚種別水揚げ量の推移を**図 13** に示す。図のように、八戸港で水揚げされる主要な魚種

はイカ、サバ、イワシであるが、近年イカ・サバが不漁傾向であり、2022 年のサバ水揚げ量は 2018 年の 1/20 と激減している。2022 年の水揚げ量は 2.9 万トン（全国 14 位)、水揚げ金額は 100 億円（全国 15 位）であった。八戸港での氷の需要量として、2022 年の月別製氷販売実績を**図 14** に示す。漁船用は出漁する漁船に積載するもので、その氷需要は魚種や漁獲量に左右される。7～12 月はサバ漁の期間であり氷需要が大きくなる。図のように、出荷用は水揚げ時や出荷時に保冷用に使用されるものであり、年間を通して安定した需要がある [38)]。

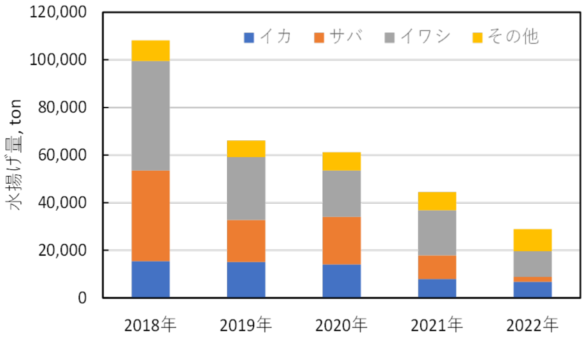


図 13 年間の魚種別水揚げ量の推移

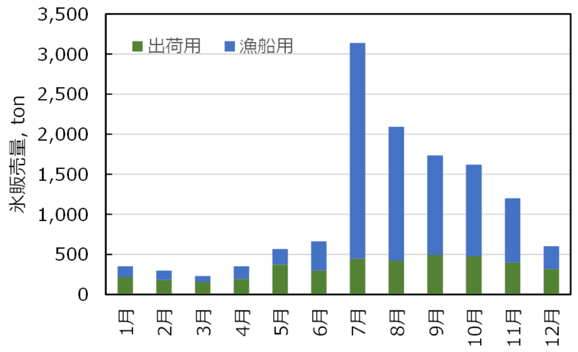


図 14 月別製氷販売実績(2022 年)

このような氷需要に対して、製氷機の容量は「Case①」の 101 USRt、「Case②」の 16 USRt、「Case③」の 20 USRt の 3 種類のケースで評価した。Case①は需要量全量（漁船用＋出荷用)、Case②は出荷用全量の製氷を供給できる製氷機の容量である。また、Case③は年間を通して出荷用を賄い、月によっては漁船用にも供給する想定である。Case①では 7 月のピーク需要に合わせた製氷機の容量となる。なお、いずれのケースにおいても 1～6 月では過剰な製氷能力となるが、需要を超えた製氷はしない。

評価結果を**図 15** と**図 16** に示す。**図 15** のように投資回収年数を熱輸送なしで比較した場合、Case③のケースが最も良い結果となった。Case①では製氷容量が過剰であり、Case②では Case③よりも製氷能力が小さく相対的に機器コストが割高となったためである。「熱輸送あり」の場合も、相対的には「熱輸送なし」の場合と同様である。月別氷需要の変動に対応するためには、過剰な製氷能力に設定せずに、可能な限り安定的な氷需要に対応できる適切な製氷能力を設定する必要があることがわかった。**図 16** のように一次エネルギー消費量・CO_2 排出量の評価結果では、いずれのケースにおいても 60%以上削減された。この大幅な削減量の可能性は、本システムの大きな魅力の一つと考える。

近年、サバの不漁に伴って氷需要が減少しており、今後に漁獲量に戻った際にはさらなる氷需要の増加が見込め、八戸市はまさに排熱量と氷需要量が共存する都市と考えられる。

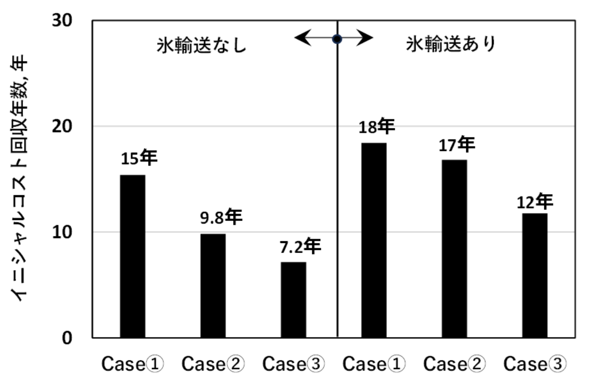


図 15 回収年数

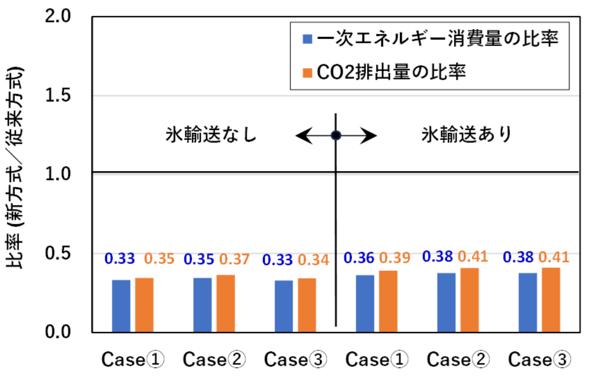


図 16 エネルギー消費量と CO_2 排出量

6. おわりに

以上のように、2020 年～2024 年の 5 年間に渡って NEDO 委託事業の ER チームで取り組んできた排熱の冷熱利用の研究開発の概要を紹介し、冷熱利用システムの評価モデルの研究開発の概要と事例研究を説明した。今までの温熱需要に加えて、漁港や物流業界などの冷熱需要により、廃プラスチックの焼却時の排熱利用を拡大できる。

2050 年のカーボンニュートラルに向けて、電化・水素化とともに省エネルギーが重要であり、排熱利用の拡大は CO_2 排出量の削減に直接的に寄与できる。今後、廃プラスチックの焼却熱とともに、各種の未利用熱・排熱が有効活用されるよう、本技術の実証・実用化を進めたい。

謝 辞
この成果は、2020～2024 年度の国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」（JPNP20012）の結果、得られたものである。ここで、関係の皆様に感謝申し上げます。

文　献

1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）HP：https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100179.html（最終アクセス日：2026.1.8）
2) 長沼宏, 成瀬一郎, 堀田幹則, 幡野博之, 野田英彦, 稲田孝明, 谷野正幸：廃棄プラスチックスエネルギーの高度有効利用, ‐Ⅰ－高温排熱の有効利用, 化学装置, 1 月号, 工業通信, 43（2022）.
3) 成瀬一郎：高効率排熱回収技術の開発～伝熱管表面改質・回収熱量増大・長寿命化～, NPO 法人循環型社会創造ネットワーク主催「高効率エネルギー回収・利用システム開発セミナー」, 八戸プラザホテル, （2022）.
4) 堀田幹則：高効率エネルギー回収・利用システム開発 ～リサイクル困難な廃プラスチックからの高効率なエネルギー回収と冷熱利用～, 第 37 回新産業技術促進検討会シンポジウム「NEDO『革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発』プロジェクト進捗報告会～プラスチック資源循環を実現する技術とは～」, （2022）.
5) 森岳人，長沼宏，堀田幹則，成瀬一郎：廃棄プラスチックエネルギーの高度有効利用 第 1 報:伝熱管の表面改質技術，化学工学会第 89 年会，E213（2024.3）.
6) 成瀬一郎，堀田幹則，長沼宏，小林佳弘，熊野寛之，折田久幸，幡野博之，谷野正幸：高効率エネルギー回収・利用システム開発 ～リサイクル困難な廃プラスチックからの高効率なエネルギー回収と冷熱利用～，モノづくり日本会議、NEDO／第 56 回新産業技術促進検討会シンポジウム「NEDO『革新的プラスチック資源循環 プロセス技術開発』プロジェクト報告会，（2025.6）.
7) 小山寿恵，稲田孝明：III 型不凍タンパク質の低濃度水溶液中で成長する氷結晶ベーサル面上のピット形成過程の観察，日本冷凍空調学会論文集, 33（3）, 251（2016）.
8) 小田島聡, 野田英彦, 高橋晋：アルコール水溶液冷媒による氷点下冷熱製造の可能性, 化学工学会秋季大会講演要旨，DA103（2017）.
9) 磯嶋将, 野田英彦, 正野孝幸：氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機用作動流体 LiBr- H_2O-1-propanol の結晶化温度, 2020 年度日本冷凍空調学会年次大会要旨集，E213（2020）.
10) 木村拓雅, 幡野博之, 野田英彦, 稲田孝明, 谷野正幸, 長沼宏, 堀田幹則, 成瀬一郎：廃棄プラスチックスエネルギーの高度有効利用, ‐Ⅱ－低温排熱の有効利用, 化学装置, 1 月号, 工業通信, 48（2022）.
11) 谷野正幸：排熱の高効率利用技術～工場排熱を利用する氷蓄熱技術～, NPO 法人 循環型社会創造ネットワーク主催「高効率エネルギー回収・利用システム開発セミナー」, 八戸プラザホテル, （2022）.
12) 正野孝幸, 野田英彦, 磯嶋将, 片山正敏, 折田久幸：氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機用新作動液の飽和特性, 2022 年度日本冷凍空調学会年次学会（岡山）, E321（2022）.
13) 磯嶋将, 野田英彦, 折田久幸、片山正敏, 正野孝幸：氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機用作動流体 LiBr－H_2O/1-

Propanol の蒸発特性, 2022 年度日本冷凍空調学会年次学会（岡山），E321（2022）.
14) 折田久幸：氷点下冷熱を生成する吸収冷凍機の研究歴史から学ぶカーボンニュートラルへのアプローチ，第 60 回伝熱シンポジウム，2023.5.
15) 谷野正幸，増田正夫，野田英彦，折田久幸，小山寿恵，小林佳弘，幡野博之，村瀬和典：廃プラスチックエネルギーの冷熱による高度有効利用，空気調和・衛生工学会大会，I-45 （2023.9）.
16) 小山寿恵，小林佳弘，稲田孝明，谷野正幸，折田久幸，野田英彦，幡野博之：廃プラスチックエネルギーからの冷熱を用いる氷スラリー製造，日本冷凍空調学会大会（東京），B232（2023）.
17) 請川颯一，小山寿恵，小林佳弘，谷野正幸，稲田孝明：氷スラリー製氷機で製造した氷スラリーへの PVA 添加による氷粒子の成長抑制効果，日本冷凍空調学会大会（東京），B233（2023）.
18) 小山寿恵，小林佳弘，稲田孝明，熊野寛之，森本崇志，谷野正幸：氷スラリー中での氷粒凝集状態の評価方法の提案，第 12 回潜熱工学シンポジウム，G09（2023.11）.
19) 谷野正幸，増田正夫，鎌田美志；廃プラスチックエネルギー有効利用のための総合熱利用システム評価技術の開発～第 1 報 オフライン熱輸送の大都市エリアでの評価事例～，第 40 回エネルギーシステム･経済･環境コンファレンス, 18-3（2024.1）.
20) 増田正夫，谷野正幸，鎌田美志；廃プラスチックエネルギー有効利用のための総合熱利用システム評価技術の開発～第 2 報 離島エリアでの評価事例，第 40 回エネルギーシステム･経済･環境コンファレンス, 18-4（2024.1）.
21) 折田久幸：南部地方のカーボンニュートラルに関する研究，青森県新産業創造課主催研究シーズプレゼン会，（2024.2）.
22) 鎌田美志，増田正夫，谷野正幸，野田英彦，折田久幸，小山寿恵，幡野博之，熊野寛之；廃棄ブラスチックエネルギーの高度有効利用　第 2 報：排熱の冷熱利用技術，化学工学会第 89 年会, E214（2024.3）.
23) 谷野正幸，野田英彦，折田久幸，小山寿恵：氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機を用いた熱駆動型氷スラリー製氷機の研究開発，日本冷凍空調学会誌 4 月号, 123（2024）.
24) 折田久幸，野田英彦，馬渕勝美：アルコール水溶液冷媒を用いた氷点下冷熱発生技術，日本冷凍空調学会誌 4 月号, 136（2024）.
25) Yuta Komiya, Ryo Sakamoto, Takashi Morimoto, Hiroyuki Kumano, Toshie Koyama, Yoshihiro Kobayashi, Masayuki Tanino: Effect of pipe shape on flow characteristics of ice slurry with dilute agglomeration inhibitor, The 11th Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning, (2024,4).
26) NEDO ニュースリリース “温水を使用した氷スラリー製造の連続化に成功　―未利用熱を活用し、高い熱利用効率を実現―”，: https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101748.html（最終アクセス日：2026.1.8）.
27) 折田久幸：八戸工業大学のカーボンニュートラル教育，化学工学会東北支部ニュースレター，（2024.7）.
28) 谷野正幸，増田正夫，鎌田美志，折田久幸，小山寿恵，熊野寛之：廃プラスチックエネルギーの氷スラリーによる冷熱での高度有効利用，令和 6 年度 空気調和・衛生工学会大会，F-10（2024.9）.
29) 谷野正幸，増田正夫，鎌田美志，折田久幸，小山寿恵，熊野寛之： 廃プラスチックエネルギーの高度有効冷熱利用　第 1 報：熱駆動型氷スラリー製氷機の開発，2024 年度日本冷凍空調学会年次大会，E211（2024.9）.
30) 小山寿恵、染矢聡、小林佳弘、谷野正幸、折田久幸、森本崇志、熊野寛之：廃プラスチックエネルギーの高度有効冷熱利用 第 2 報：氷スラリー中の氷粒子の凝集に対してポリビニルアルコールが与える影響，2024 年度 日本冷凍空調学会 年次大会，E212（2024.9）.
31) 千葉祐聖、正野孝幸、佐藤恵、折田久幸：3kW 氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機実験，化学工学会第 55 回秋季大会，（2024.9）.
32) 佐藤恵、正野孝幸、千葉祐聖、折田久幸：氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機の冷媒循環挙動の検討，化学工学会第 55 回秋季大会，（2024.9）.
33) 石垣匠、小宮佑太、森本崇志、小山寿恵、谷野正幸、熊野寛之：氷粒子の速度分布に基づくアイススラリーの流動様相の分類，水蒸気性質シンポジウム ―日本の GX と水素・アンモニア利用技術 の最前線―，（2024.10）.
34) 渡辺拓登正、森本崇志、小山寿恵、谷野正幸、熊野寛之：アイススラリー中における氷粒子の凝集力評価，日本機械学会熱工学コンファレンス 2024，（2024.10）.

35) 折田久幸，小山寿恵，谷野正幸，小山俊隆：低温排熱の温水から氷点下冷熱を製造する吸収冷凍機と氷スラリー製氷機により構成される熱リサイクルパッケージ，クリーンエネルギー，日本工業出版，55（2024.11）.
36) Yuta Komiya, Takumi Ishigaki, Takashi Morimoto, Toshie Koyama, Masayuki Tanino, Hiroyuki Kumano: Effect of Solute Concentration and Pipe Geometry on Flow Characteristics of Ice Slurry, The 3rd Pacific Rim Thermal Engineering Conference, (2024.12).
37) 増田正夫，谷野正幸，鎌田美志；廃プラスチックエネルギー有効利用のための総合熱利用システム評価技術の開発～第 3 報 地方都市エリア等での評価事例，第 41 回エネルギーシステム･経済･環境コンファレンス，（2025.1）.
38) 鎌田美志，増田正夫，谷野正幸，折田久幸，小山寿恵：廃棄ブラスチックエネルギーの高度有効利用－排熱による製氷技術の漁港への適用検討－，化学工学会第 90 年会, K308（2025.3）.
39) 渡辺拓登，森本崇志，熊野寛之，小山寿恵，谷野正幸：アイススラリー中の氷粒子の凝集力評価，第 62 回日本伝熱シンポジウム（2025.5）.
40) 石垣匠，小宮佑太，森本崇志，熊野寛之，小山寿恵，谷野正幸：水平円管内を流れるアイススラリーの流動様相と圧力損失，第 62 回日本伝熱シンポジウム（2025.5）.
41) 折田久幸，谷野正幸，小山寿恵：書籍“熱、排熱利用に向けた材料・熱変換技術の開発と活用事例”，第 6 章 産業排熱活用に向けた工場・生産設備での蓄熱、熱利用技術の応用事例，第 9 節 未利用熱を活用できる温水を使用した氷スラリー製造の連続化技術の開発，「未利用熱を活用できる温水を使用した氷スラリー製造の連続化技術の開発」，技術情報協会発行，2025 年 5 月 30 日.
42) 谷野正幸，増田正夫，鎌田美志，小山寿恵，染矢聡，折田久幸，熊野寛之，森本崇志：廃プラスチックエネルギーの氷スラリーによる冷熱での高度有効利用，空気調和・衛生工学会講演論文集，I-5（2025.9）.
43) 谷野正幸，増田正夫，鎌田美志，小山寿恵，染矢聡，折田久幸，熊野寛之，森本崇志：廃プラスチックエネルギーの高度有効冷熱利用　第 3 報：氷スラリーの冷熱利用による排熱需要の拡大，2025 年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集，E211（2025.9）.
44) 小山寿恵，染矢聡，谷野正幸，増田正夫，鎌田美志，折田久幸，熊野寛之，森本崇志：廃プラスチックエネルギーの高度有効冷熱利用　第 4 報：氷スラリー高度化研究に基づく熱リサイクルパッケージの実験的評価，2025 年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集，E212（2025.9）.
45) 根倉悠，小宮佑太，森本崇志，小山寿恵，谷野正幸，熊野寛之：2025 年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集，E213（2025.9）.
46) 谷野正幸，増田正夫，鎌田美志，小山寿恵，染矢聡，折田久幸：廃プラ燃焼排熱の冷熱利用のための熱駆動型氷スラリー製氷機の開発，化学工学会　吹田大会（2025.11）.
47) 渡辺拓登，森本崇志，小山寿恵，谷野正幸，熊野寛之：アイススラリー中の氷粒子の凝集力評価，日本冷凍空調学会論文集，42（4），1（2025.12）.
48) Takashi Morimoto, Yuta Komiya, Takumi Ishigaki, Toshie Koyama, Masayuki Tanino, Hiroyuki Kumano: Experimental investigation of the effects of solute concentration on flow patterns and rheological properties of ice slurry, International Journal of Refrigeration, 181, 23(2026).
49) 谷野正幸，増田正夫，鎌田美志，小山寿恵，染矢聡，折田久幸：氷スラリーによる冷熱での廃プラスチックの排熱エネルギーの高度有効利用，日本化学会第 106 春季年会　(2026.3）.
50) 産業廃棄物処理施設状況調査報告書, 平成 30 年, 環境省.
51) 三戸大介, 小澤由行, 谷野正幸, 稲田孝明：水の過冷却解除に関する能動制御技術の開発, 日本冷凍空調学会論文集, 17（2）, 191（2000）.
52) 三戸大介, 万尾達徳, 谷野正幸, 本郷大, 若佐和夫, 松本浩二：氷スラリーによるチルド水供給設備に関する研究～蓄氷解氷同時運転での満蓄制御と給水制御～, 日本冷凍空調学会論文集, 30（3）, 319（2013）.
53) 三戸大介, 万尾達徳, 谷野正幸, 本郷大, 若佐和夫, 松本浩二：乳製品加工工場における氷スラリーによるチルド水供給設備, 日本冷凍空調学会論文集, 30（3）, 331（2013）.
54) 万尾達徳：過冷却解除方式製氷技術による水産業へのビジネス展開, 建築とエネルギー, 61（2020）.
55) 江崎功浩：過冷却解除型製氷技術による水産向けシャーベットアイス製氷設備, 月刊 BE 建築設備 6 月号,（2019）.

56) 見上皓紀：シャーベットアイスを利用した水産物の高鮮度保持，空気調和・衛生工学会誌, 92（5）, 31（2018）.
57) 鎌田美志，川上理亮，大山孝政，松田聡，丸毛謙次，山内一正，宮原英隆，鈴木正哉，松永克也，谷野正幸：ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発，第 1 報―小型装置の実験結果と吸着材蓄熱槽の計算モデル，空気調和・衛生工学会論文集, 45（281）, 9（2020）.
58) 宮原英隆，鈴木正哉，松田聡，森本和也，万福和子，川上理亮，名和博之，山内一正，谷野正幸：ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発，第 2 報―低温再生型蓄熱材における水蒸気吸着時の発熱量について，空気調和・衛生工学会論文集, 45（285），1（2020）.
59) 川上理亮，鈴木美穂，鎌田美志，山内一正，名和博之，松田聡，鈴木正哉，宮原英隆，佐藤敦史，谷野正幸：ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発，第 3 報―吸着材蓄熱槽の実際の工場での性能評価，空気調和・衛生工学会論文集, 46（290），39（2021）.
60) 川上理亮，鎌田美志，宮原英隆，平井恭正，名和博之，松田聡，鈴木正哉，山内一正，佐藤敦史，谷野正幸：ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発，第 4 報―定置型蓄熱システムの実証試験，空気調和・衛生工学会論文集, 46（297），31（2021）.
61) 鎌田美志，川上理亮，山内一正，井守正隆，名和博之，松田聡，鈴木正哉，宮原英隆，佐藤敦史，谷野正幸：ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発，第 5 報―オフライン熱輸送型システムの実証試験，空気調和・衛生工学会論文集, 47（301）, 9（2022）.
62) 鎌田美志，川上理亮，山内一正，井守正隆，名和博之，松田聡，鈴木正哉，宮原英隆，佐藤敦史，谷野正幸：ハスクレイを用いた開放系の吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの開発，第 6 報―塗装工程での除湿利用の実証試験，空気調和・衛生工学会論文集, 47（308），11（2022）.
63) 谷野正幸，大山孝政，鎌田美志，川上理亮：吸着材蓄熱システム“メガストック®”の実証・実用化，第 14 回潜熱工学シンポジウム，（2025.11）.
64) 谷野正幸，大山孝政，鎌田美志，川上理亮：吸着材蓄熱ステム「メガストック®」の紹介，日本化学会 コロイドおよび界面化学部会 ，（2025.12）.
65) 谷野正幸，大山孝政，鎌田美志，川上理亮：吸着材蓄熱ヒートポンプシステムの紹介，建設設備と配管工事 12 月号（2025.12）.

ABSTRACT

We have participated in the Energy Recovery Team for the five-year period starting in fiscal year 2020, as part of the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) project "Development of Innovative Plastic Resource Recycling Process Technology". For utilizing the heat recovered from waste plastic incineration facilities as high value-added cold heat, we have studied and developed basic technologies for sub-zero absorption refrigeration systems that generate cooling energy below 0°C from low-temperature waste heat, and for ice slurry utilization. Mainly, the results of ice production and storage tests conducted using a thermally driven ice slurry ice-making system employing a sub-zero absorption chiller were described in this paper. Furthermore, a case study of the proposed system was introduced using a developed integrated evaluation tool for thermal utilization systems.