

低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発 — 一定置型とオフライン熱輸送型の蓄熱システムの実証試験 —

川上理亮・鎌田美志・鈴木美穂
中田拓司・大山孝政・谷野正幸
宮原英隆^{*1}・山内一正^{*2}・名和博之^{*3}
佐藤敦史^{*4}・鈴木正哉^{*5}・松田聡^{*6}

Development of Adsorption Thermal Storage System Utilizing Low-temperature Waste Heat - Demonstration Test for Thermal Storage System of Stationary Type and Offline Heat Transportation Type -

Yoshiaki Kawakami・Haruyuki Kamata・Miho Suzuki
Takuji Nakata・Takamasa Oyama・Masayuki Tanino
Hidetaka Miyahara・Kazumasa Yamauchi Hiroyuki Nawa
Atsushi Sato・Masaya Suzuki・Satoru Matsuda

我々は HAS-Clay 吸着材を用いて、低温廃熱が利用できるオープンサイクル形式の吸着材蓄熱システムを開発し、定置型蓄熱システムとオフライン熱輸送システムの実証試験を実施した。定置型蓄熱システムでは吸着材充填槽を排気で蓄熱し、蓄熱槽からの熱風を商業プラントの乾燥工程に供給した。一方、オフライン熱輸送システムではコージェネレーションシステムで蓄熱し、スイミングセンターヘトレーラートラックで蓄熱材を輸送してプールの水などの昇温熱源として供給した。夏季・中間期・冬季のシーズンに渡って吸着蓄熱システムを評価し、この実証試験によって 90%以上の再生効率が確認された。本システムの蓄放熱特性を評価した結果から、ヒートポンプのような昇温機能を追加することが可能であり、吸着剤の特性や工程に合わせた最適な運転条件での設計が必要であることがわかった。

1. はじめに

各種工場などでは省エネ・環境意識の高まりにより、高温廃熱の発電・蒸気利用が推進されているが、低温廃熱は発生場所における用途が限定されることから、大部分が捨てられているのが現状である¹⁻³⁾。

高砂熱学工業(株)、石原産業(株)、東京電力エナジーパートナー(株)、森松工業(株)、日野自動車(株)、(国研)産業技術総合研究所は、産業技術総合研究所が 2008 年に開発した吸着材「ハスクレイ^{4,5)}」^[注1]をベースに、2015 年度から(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業において、100℃程度の低温廃熱が利用可能な吸着材蓄熱システムを提案し研究開発を行ってきた⁶⁻⁴⁹⁾。2015 年 7 月～2018 年 3 月には実用化開発フェーズ「80℃以上の低温廃熱を用いる革新的蓄熱材及びシステムの開発」において、ハスクレイ充填量が 10kg 級と 100kg 級の蓄熱槽での小規模試験装置を用いて蓄放熱性能を確認し、簡便な数値解析モデルを作成して設計ツールを開発した^{17,27,41)}。また、これ

※2020 年度空気調和衛生工学会講演論文^{42,43)}を加筆修正したものである。

*1 石原産業(株) 化成品生産部 *2 日野自動車(株) 統括生技部 *3 森松工業(株)研究開発室 *4 東京電力エナジーパートナー(株) 販売本部 *5(国研)産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 *6(国研)産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門

らの試験結果を受けてハスクレイ充填量が2ton級の蓄熱槽での蓄放熱性能を確認し、実際の工場に蓄熱槽を搬送して放熱性能の現地検証試験も行った。さらに、2018年7月～2020年2月のNEDOの実証開発フェーズの助成事業である「低温廃熱利用を目的としたハスクレイ蓄熱材及び高密度蓄熱システムの開発」において、石原産業四日市工場で定置型蓄熱槽での産業プロセスに対する実証試験と、日野自動車の羽村工場周辺でオフライン熱輸送型での実証試験を行った³⁶⁻⁴⁹⁾。

本報では、定置型蓄熱システム^[注2]と、オフライン熱輸送システム^[注3]の実証試験の概要と試験結果を説明する^{42,43)}。

2. 定置型の実証試験

図1に、定置型蓄放熱実証試験の概要を示す。石原産業四日市工場の酸化チタン製造工程における乾燥ラインで実証試験を行った。乾燥ラインからの100℃以下の排気から廃熱を回収・蓄熱し、乾燥ラインに必要な熱源負荷低減のために、ラインへの給気に蓄熱槽からの放熱空気を供給した。2つの蓄熱槽を設置し、乾燥ラインの運転と廃熱の放出状態に合わせて、それぞれ蓄熱/放熱を切り替えるバッチ式の運転を行った。

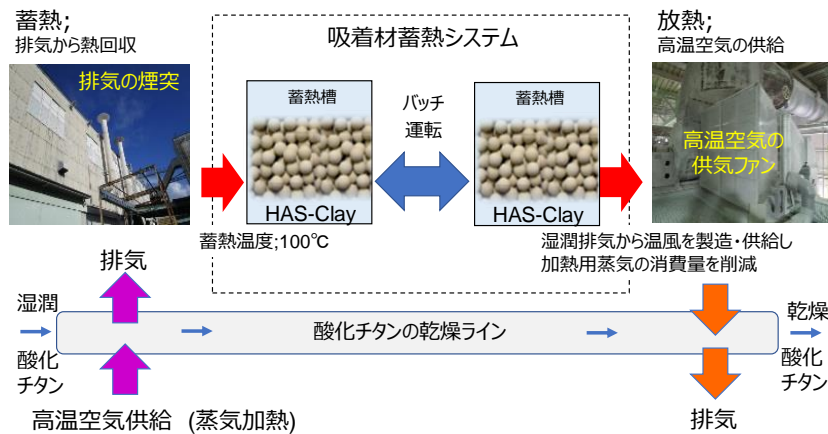


図1 定置型実証試験

2.1 設備概要

写真1に、定置型蓄熱槽の外観を示す。乾燥ラインは建屋内にあるが、建屋内スペースの制約上、今回は蓄熱システムの設備を屋外に設置して実証試験を行った。

図2に定置型蓄放熱実証試験の系統図を示す。本図は、蓄熱槽1が蓄熱運転の状態を、蓄熱槽2が放熱運転の状態を模式的に示している。図中の左側の廃熱回収/熱供給先である酸化チタンの乾燥ラインに、湿潤状態で投入された酸化チタンが、ベルトコンベアによる搬送中に高温空気によって乾燥され、装置外に送出される。高温空気の加熱源は蒸気ヒーターであり、室内空気を吸引・昇温している。また、酸化チタンを乾燥させた後の高温空気は、100℃以下の低温湿潤状態で排気される。

今回設置した実証試験設備は、熱交換器、ファン、2つの蓄熱槽、切り替えダンパ、およびそれらを接続するダクト系から構成される。乾燥ラインからの排気を分岐し、室内空気と熱交換させることで廃熱を回収して、これを蓄熱用空気として蓄熱槽1に供給する。放熱用空気には外気を使用し、乾燥ラインから廃熱回収した後の排気を一部混合調整された湿潤放熱用空気が蓄熱槽2に供給されている。これは、排気に含有する水分も回収利用することで、放熱用空気の相対湿度を上げ、蓄熱材の吸着熱の向上を図るためである。既設の乾燥ラインの運転状態に合わせて、一定時間毎に、それぞれの蓄熱槽の運転を切り替えることで、連続的な蓄熱/放熱運転を可能としている。

2.2 実証試験結果

ここでは、蓄放熱の実証試験結果の概要を説明し、蓄放熱量の評価をした上で、運転切り替え時間による放熱特性の変化について考察した。



写真1 定置型実証設備

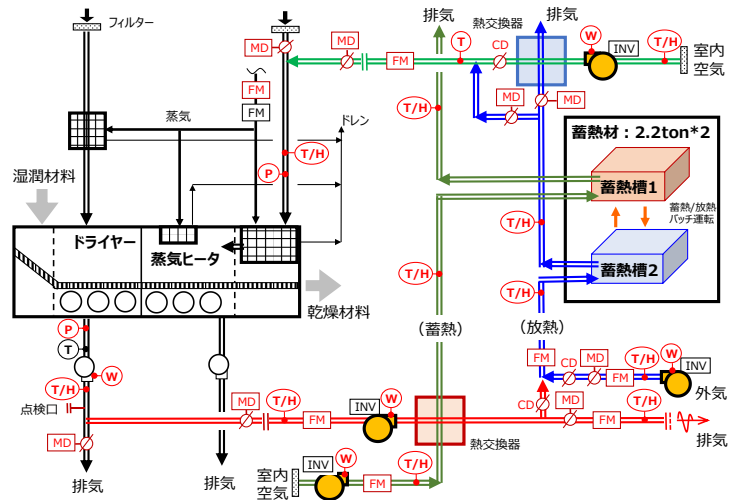
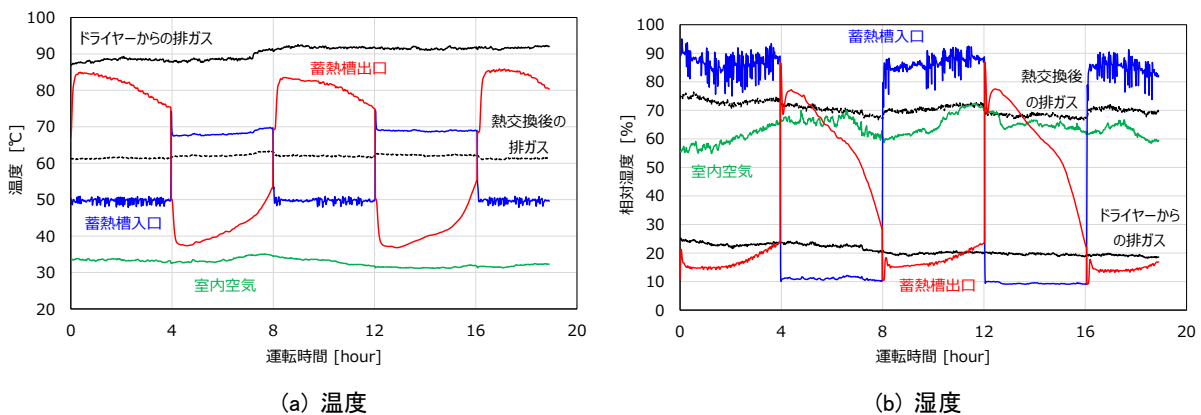


図2 定置型実証設備の系統図

2.2.1 蓄放熱実証試験結果

図3に、運転切り替えを4時間で行った時の、蓄熱槽廻りの運転に関わる各箇所における温度および相対湿度の経時変化の一例を示す。(a)が各空気の温度、(b)が各空気の相対湿度の経時変化であり、蓄熱槽の出入り口は蓄熱槽1の値である。0~4時間が放熱運転であり、4~8時間が蓄熱運転である。以降も同様に繰り返される。青色の実線は蓄熱槽入口温湿度を示しており、蓄熱運転では廃熱から回収した蓄熱用の高温空気、放熱運転では放熱用の湿潤空気となる。放熱用の湿潤空気の温湿度は、外気と乾燥ラインからの排気を混合して、所定温湿度に制御されている。赤色の実線は蓄熱槽出口温湿度を示しており、蓄熱運転では蓄熱後の排気となり、放熱運転では放熱空気（乾燥ラインへの供給空気）となる。黒色が乾燥ラインからの排気温湿度を示し、緑色が室内空気温湿度を示している。

この運転条件の場合、30~35℃の室内空気が85~95℃程度の排ガスと熱交換され、約65~70℃の蓄熱用空気として蓄熱槽へと供給されている。放熱運転では、温度50℃、相対湿度90%の空気を蓄熱槽に供給することで、およそ75~85℃、相対湿度17%RHの高温低湿空気を得られている。このように、吸着材蓄熱システムは、本実証試験のような運転条件の場合、蓄熱温度以上の放熱温度を得ることが可能であり、ヒートポンプのような昇温機能を得られることを実証した。なお、放熱運転で蓄熱槽出口温度が運転時間とともに低下するのは、蓄熱材ハスクレイの吸着等温線の特性に起因するものである。また、蓄熱運転で運転後半に蓄熱槽出口空気温度が上昇するのは、蓄熱材の乾燥が完了に近づいていることを示している。



(a) 温度

(b) 湿度

図3 実証試験の経時変化(蓄熱槽1)

2.2.2 蓄放熱量

図4に、本システム全体を連続的に運転した場合の蓄熱量／放熱量の一例を示す。この図4は前述の図3と同一時刻であり、蓄熱槽1は放熱運転から、蓄熱槽2は蓄熱運転から始まっている状態を示している。蓄熱槽1が放熱運転の間に蓄熱槽2に蓄熱される。それぞれの熱量は、蓄熱槽の出入口空気温度差に空気比熱と密度、風量を乗じて算出した。青い実線が放熱量、赤い実線が蓄熱量である。蓄熱運転の後半に蓄熱量が低下するのは、前述の図3で示したように、蓄熱槽出口温度が上昇するためであり、蓄熱材の乾燥が平衡状態に近づいていることを示している。このように、それぞれの蓄熱槽をバッチ運転することにより連続して安定した熱量を得ることができた。

乾燥プロセスに供給される空気温度は既設の蒸気ヒーターで最終的に調整することになるが、その蒸気消費量は本システムの運転によって大幅に削減された。なお、現在、既設の蒸気システムでのロスを含めた原単位を確認して、省エネ効果への寄与度を算出中である。

2.2.3 運転切り替え時間による放熱特性の変化

図5に、前述の図4のように連続的に運転した場合、運転切り替え時間を2～6時間に変更したときの、放熱運転1回あたりの平均放熱量と最大放熱温度を示す。最大放熱温度は運転切り替え時間に関わらず、ほぼ同じ90℃程度となった。一方で、放熱運転1回あたりの平均放熱量は、運転切り替え時間が短い場合に高い値が得られた。これは、蓄熱槽から得られる放熱空気の温度が、図4のように運転時間とともに低下するためである。ハスクレイの吸着等温線では、相対湿度の上昇に伴い吸着量が直線的に増加するため、蓄熱材を通過する空気の流れ方向に対して吸着帯が広範囲となる¹⁰⁾。そのため、運転初期に最も吸着帯が広範囲であるので吸着速度が大きく、徐々に低下する。その結果、運転時間とともに出力も低下する。

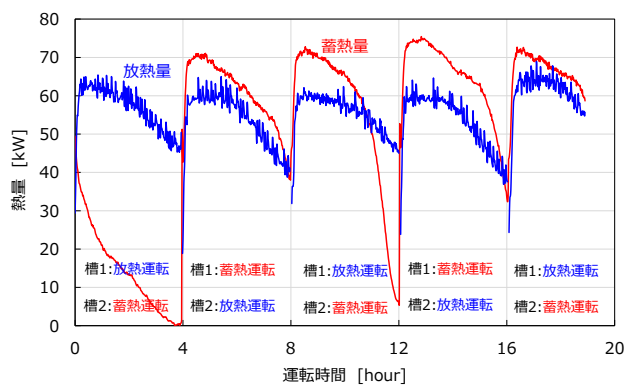


図4 放熱量と蓄熱量の経時変化

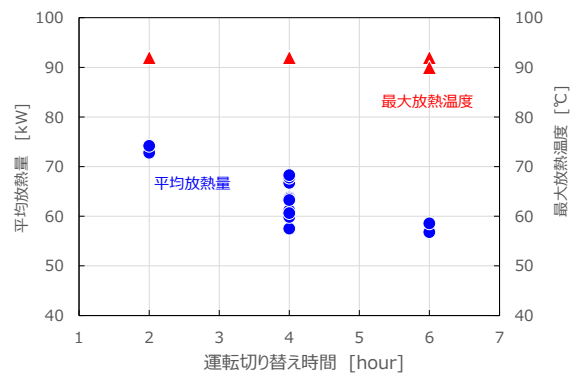


図5 切り替え時間の影響

3. オフライン熱輸送型の実証試験の概要

オフライン蓄放熱実証試験の概要を、図6に示す。日野自動車羽村工場内のコージェネレーションシステム (CGS) の廃熱を蓄熱し、羽村市スイミングセンターに高温低湿空気を供給した。本実証試験では、羽村市の支援を受けて実施した。

3.1 設備概要

ここでは、蓄熱槽と搬送トレーラーの概要、廃熱源と蓄熱設備の概要、熱需要先と放熱設備の概要を説明し、実証試験の工程を示す。

3.1.1 蓄熱槽および搬送トラックの概要

写真2に、蓄熱槽と搬送トレーラーの外観を示す。蓄熱槽には、蓄熱材としてハスクレイ造粒体が乾燥重量で5.5ton充填されている。この蓄熱槽を20フィート海上コンテナ用トレーラー台車に積載し、CGS設備から約2km離れた羽村市スイミングセンターへ大型トレーラーにより輸送した。トレーラーヘッドと台車は着脱可能であり、蓄放熱の運転中に車両が離脱できるため1台の車両で複数台の蓄熱槽も運搬可能である。

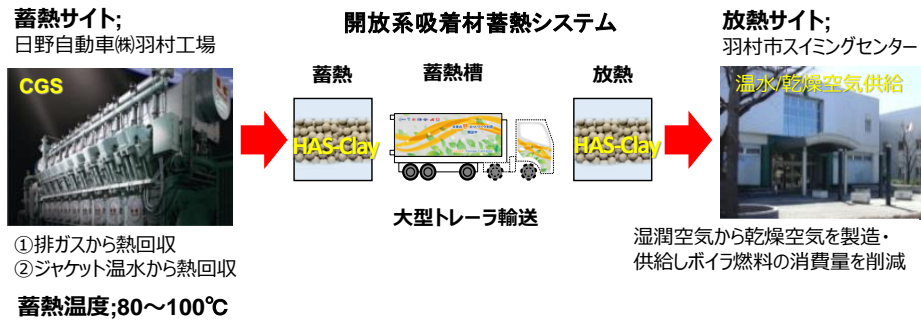


図 6 オフライン熱輸送型実証試験

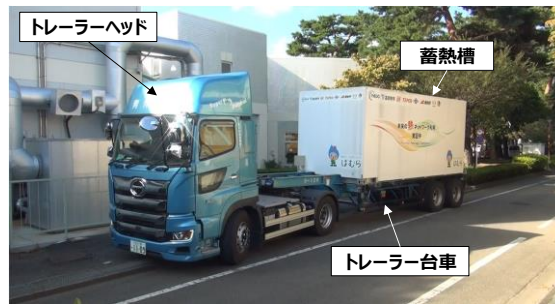


写真 2 蓄熱槽と運搬トレーラー

3.1.2 廃熱源と蓄熱設備の概要

写真 3 に、日野自動車羽村工場の CGS・蓄熱設備の外観を示す。蓄熱サイトでは、100°C以上の排ガスと 88°Cのジャケット温水から熱回収し、蓄熱材に蓄熱する。CGS のガスエンジンや発電機など主な設備は建屋内にあるが、排ガス蒸気ボイラは屋外にあり、そのボイラ後段のダクトを分岐してボイラ排気からの廃熱を回収した。

図 7 に、蓄熱サイトの実証設備の系統図を示す。図の右側の黒色の系統が既存 CGS 設備であり、左側の赤色の系統が今回設置した熱回収・蓄熱設備である。CGS 設備はガスエンジン、排ガス蒸気ボイラ、ポンプ、配管・ダクトなどから構成されている。また、熱回収・蓄熱設備は、空気/水と空気/空気の熱交換器、ポンプ、配管・ダクトなどから成る蓄熱システム、接続ユニット、および蓄熱槽から構成されている。



写真 3 コージェネレーションシステムの蓄熱サイト

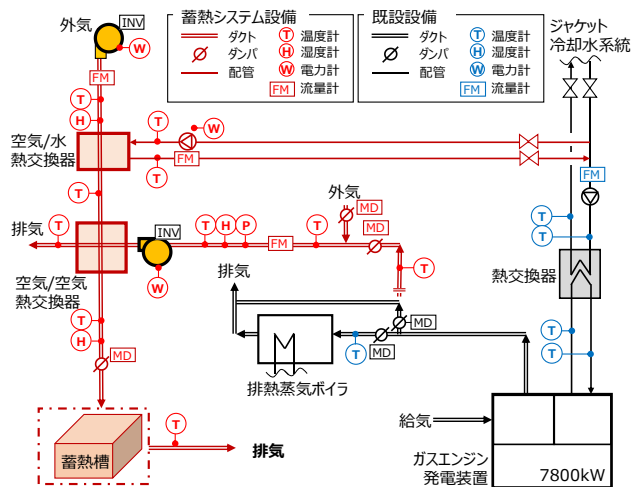


図 7 蓄熱サイトの設備の系統図

蓄熱運転では、図7の左上のファンによって外気が蓄熱システムに送られ、空気/水熱交換器で昇温され、さらに空気/空気熱交換器で昇温され、100℃程度の空気が蓄熱槽に供給される。この空気/水熱交換器の温水は、工場で熱利用後に、CGS 設備への戻り温水から分岐している。このように、通常の運転では利用されない 88℃のジャケット温水と 100℃以上の排ガスから熱回収し蓄熱する。なお、88℃のジャケット温水のみの有効利用も求められているので、その場合は空気/空気熱交換器に 100℃以上の排ガスを供給せず、88℃のジャケット温水のみで 80℃程度の空気が蓄熱槽に供給される。ここで、蓄熱槽への供給空気の温度などは既存の CGS の設備の蒸気や温水の需要によって、蓄熱運転の各種制御が行われている。

3.1.3 熱需要先と放熱設備の概要

写真4に、熱利用先施設である羽村市スイミングセンターに蓄熱槽が設置された様子や放熱設備を示す。羽村市スイミングセンターでは、プールや浴槽を温めるための熱源として放熱し、既設ボイラ燃料の消費量を削減する。写真のトレーラー左側には、温水製造の熱交換器やポンプが内蔵された熱交換器ユニットが配置されている。

図8に、羽村市スイミングセンター実証設備の系統図を示す。放熱設備は、蓄熱槽、空気/水熱交換器、ポンプ、配管、ダクトなどから構成されている。図中では羽村市スイミングセンターの負荷側施設を、25m プール、プール天井内、プール室内、および浴室に分けて模式的に示している。25m プールにはボイラにより熱交換器を介して循環温水が供給される。浴槽などにはボイラや貯湯槽により温水が供給される。また、暖房時のプール天井内とプール室内には、ボイラや空調機・熱交換器により温風が供給される。図のように、蓄熱槽にプール室内の湿潤空気が供給され、蓄熱槽内での吸湿・発熱反応で昇温した空気は、熱交換器を介してボイラ循環水やボイラ給水を昇温する。このように顕熱回収された空気は常温低湿状態になるため、プール天井内の換気やプール室内の暖房のために利用される。特に、プール室内とプール天井内では結露防止の効果が期待される。

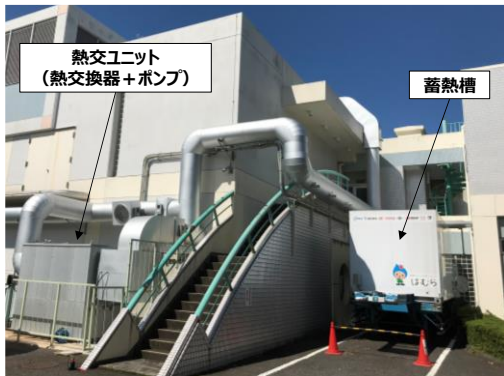


写真4 羽村スイミングセンターの放熱サイト

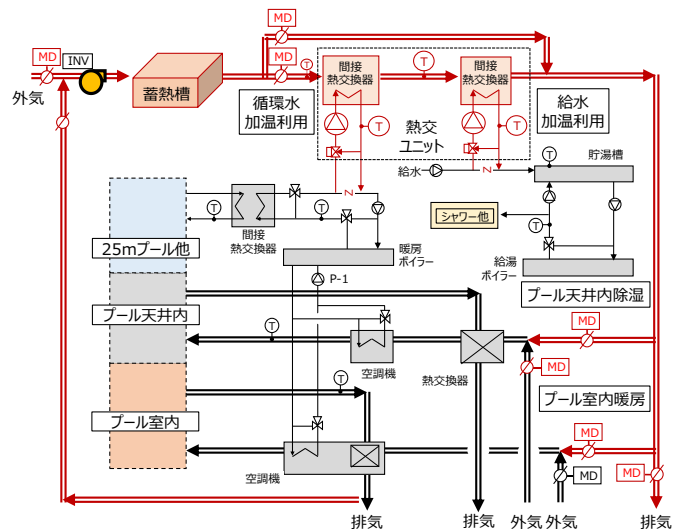


図8 放熱サイトの設備の系統図

3.1.4 実証試験の工程

年間を通じた運転状態を確認するために、夏季、中間期、冬季の期間として 2019 年 7 月から 2020 年 1 月にかけて蓄放熱試験を 50 サイクル実施した。1 回の運転サイクルは、蓄熱運転を夕方 19 時頃から 4～6 時間程度、放熱運転を朝 8 時頃から 10 時間程度とした。これは、放熱サイトの熱負荷が朝に施設が稼働し始めるときに最も大きくなるため、蓄熱槽からの最大放熱出力をそのタイミングで供給できるように計画した結果である。蓄熱運転は、トレーラー運転手が蓄熱槽を蓄熱設備に接続することで運転開始可能とした。蓄熱運転の終了は、蓄熱槽出口温度が規定値に達した時点で自動停止とした。放熱運転は、トレーラー運転手が蓄熱槽を放熱設備に接続し、プール設備が稼働している状態で運転開始可能とした。放熱運転の終了は、定格時間終了時点とした。

3.2 実証試験結果

ここでは、蓄放熱の実証試験結果の概要を説明し、放熱検証をした上で、季節間の評価を行った。

3.2.1 蓄熱実証試験結果

図9に、蓄熱運転における各箇所の空気温度の経時変化の一例を示す。外気が20℃を超えた状態で温水との熱交換後の温度が80℃以上を保持していた。蓄熱運転中における蓄熱槽入口空気温度と相対湿度の平均値はそれぞれ100℃、1.3%RHであった。運転開始後、3時間が経過する前から蓄熱槽出口空気温度が上昇し始め、約4時間後に蓄熱槽出口温度が所定の温度に達して運転が終了した。図中の破線は、既報の数値解析モデル^{17,27,41)}による蓄熱槽出口空気温度の計算結果である。実測結果と比較して、蓄熱完了となる時間が短くなっている。これは、実際の蓄熱槽内では通気分布が発生しているためと考えられる。そこで、蓄熱材充填部で±5%の通風量の偏りが発生していると仮定して、再計算を行った結果、図のように実測値とほぼ一致した。なお、通風量の偏りを考慮しない場合でも、安定に推移する蓄熱槽出口の温度レベルや蓄熱完了時間は推算できるので、本数値解析モデルは設計ツールとして活用できる。

3.2.2 高温低湿空気を供給する放熱検証試験結果

図10に、放熱運転時の空気温度の経時変化の一例を示す。赤い実線が蓄熱槽出口空気温度である。運転開始直後は80℃以上と高温であるが、25～30℃の蓄熱槽入口空気温度からの大幅な昇温は吸着熱によるものである。緑色の実線が熱交換器中間の空気温度であり、つまりボイラ循環水との熱交換後の放熱空気温度である。黒い実線が熱交換後の放熱空気温度であり、この日は外気よりも温度が高かったためプール室内の暖房用空気として供された。このように、施設の熱負荷が大きいタイミングで放熱運転を開始し、放熱空気をカスケード的に熱利用することで、放熱量を施設で有効利用することができた。なお、熱交換器出口温度のバラツキは、給水加熱利用のポンプの起動停止によるものである。また、図のように、既報の数値解析モデル^{17,27,41)}による蓄熱槽出口空気温度の計算結果は、実測値とほぼ一致した。前述の蓄熱試験と同様に、放熱試験においても本数値解析モデルが設計ツールとして活用できることを確認した。

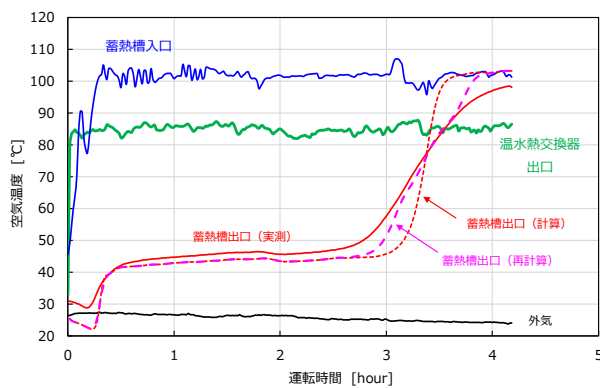


図9 蓄熱運転の空気温度の経時変化

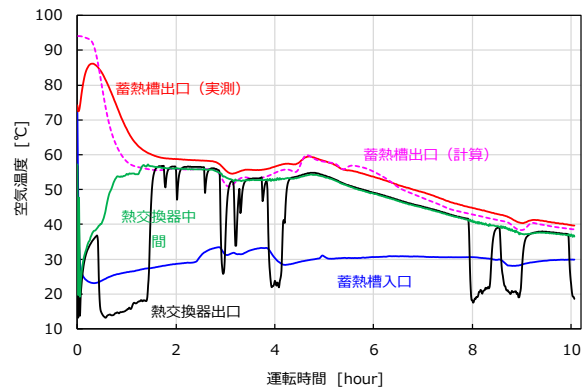


図10 放熱運転の空気温度の経時変化

3.2.3 オフライン熱輸送の季節間評価

図11に、今回の実証試験における再生効率の結果を、左から試験の順番に示す。ここでの再生効率は、放熱量を放熱運転後の蓄熱量で除した割合と定義し、それぞれの熱量を蓄熱槽出入り空気温度差から算出した。グラフ中の棒グラフ1つが、蓄放熱サイクル1回の再生効率を示している。青い棒グラフが夏季、緑が中間期、赤が冬季である。再生効率の全体平均値は91%であり、各季節における平均値はそれぞれ91%、91%、90%である。

今回の実証試験では、蓄熱側および放熱側の都合上蓄熱運転終了から放熱運転開始まで6時間以上経過しているが、90%以上の再生効率であった。また、冬季に再生効率が低下しないことも確認できた。なお、再生効率が100%を大きく超えているのは、蓄熱温度の設定値を下げた時であるが、その後の設定値を上げた運転をしているため、平均値としては変わらない。

4. おわりに

本報では、定置型蓄熱槽での産業プロセスに対する吸着材蓄熱システムの実証試験を行い、システムの蓄放熱特性を評価し、ヒートポンプのような蓄熱温度以上に放熱温度を昇温する機能を付加できること、バッチ運転制御によって連続的・安定的な熱供給が得られること、蓄熱材特性と導入対象に合わせた最適な運転条件での設計が必要であることを確認した。

また、トレーラー型蓄熱槽を製作し、日野自動車工場と羽村スイミングセンター間を大型トレーラーによってオフライン熱輸送する実証試験を行い、羽村スイミングセンターでの夏季・中間期・冬季を通じた蓄放熱特性を確認した。なお、日野自動車工場内における熱輸送および産業用空調機へ適用した実証試験も行っており、その結果については別途に報告したい。

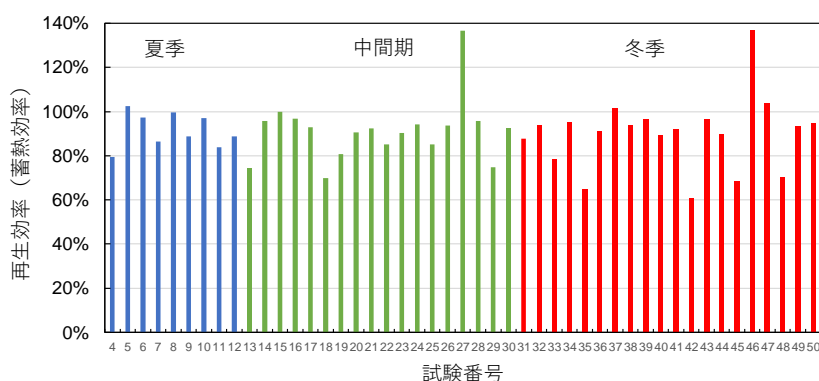


図 11 再生効率(蓄熱量に対する放熱量の割合)

謝 辞

本成果は、(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成事業「低温廃熱利用を目的としたハスクレイ蓄熱材及び高密度蓄熱システムの開発」の結果得られたものである。関係各位に御礼申し上げます。

[注 1] ハスクレイ (HAS-Clay) ;

安価な工業用原料から合成される、非晶質アルミニウムケイ酸塩 (HAS : Hydroxyl Aluminum Silicate) と低結晶性粘土 (Clay) からなる複体の無機系吸放湿材である。繰り返しの耐久性が高く、また相対湿度 40%RH 以上に於いて他の吸着材より吸着量が多いことが特長である。

[注 2] 定置型蓄熱システム ;

熱発生サイトから熱需要サイトまでパイプラインをつなぎ、水や蒸気などの熱媒体を熱輸送するオンライン方式システムのことである。蓄熱槽 2 槽を切り替えることで交互に蓄放熱を行うことにより、稼働率が高く回収年数が短いことが特長である。

[注 3] オフライン熱輸送システム ;

定置型システムと異なり、蓄熱媒体をトレーラーなどでオフライン輸送するシステムのことである。パイプラインの導管方式に比べてインフラ整備コストが安価であり、地下埋設物の制限を受けないなどが特長である。

文 献

- 1) 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合 技術開発センター, 産業分野の排熱実態調査報告書, (accessed Apr. 30th 2020), <https://thermatdb.securesite.jp/HainetsuChousa/HainetsuReport.pdf>
- 2) 平野聡: 産業分野の排熱実態調査の紹介, 動力エネルギーシステム部門ニュースレター, 日本機械学会, (2020.5.15).

- 3) 平野聡:工場における未利用熱の排出・活用状況, クリーンエネルギー, 日本工業出版, (2020.8).
- 4) 産総研 HP, http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr_2008/pr20081008_2/pr20081008_2.html.
- 5) 鈴木正哉, 前田雅喜, 犬飼恵一:高性能吸着剤ハスクレイ®の開発, 学術誌「Synthesiology」, 産総研, Vol.9 No.3, pp.154-164(2016.8).
- 6) 電気新聞「低温排熱で高効率蓄熱」, (2016.8.17).
- 7) Sorption Thermal Storage System by using Exhaust Heat of International Linear Collider (国際リニアコライダー排熱利用の吸着材蓄熱システム), リニアコライダー国際会議 LCWS2016(企業展示ブース/ポスター発表), 盛岡, (2016.12.6-8).
- 8) NEDO ニュースリリース「100℃以下の廃熱を利用可能なコンパクト型高性能蓄熱システムを開発—低温廃熱を工場間でオフライン輸送する実用化検証試験を開始—」, (2017.3.13).
- 9) 山内一正, 馬込英明, 井守正隆, 川上理亮, 谷野正幸:100℃以下の廃熱利用が可能な吸着材蓄熱システムの開発, 自動車技術, (公社)自動車技術会, (2017.7).
- 10) 川上理亮, 鎌田美志, 大山孝政, 鈴木美穂, 谷野正幸, 宮原英隆, 平井恭正, 川村正行, 小室匠, 名和博之, 丸毛謙次, 山内一正, 馬込英明, 井守正隆, 鈴木正哉, 森本和也, 松田聡, 鈴木善三, 永井恒輝:100℃以下の廃熱を利用可能なコンパクト型高性能蓄熱システムの開発, クリーンエネルギー, 日本工業出版, (2017.8).
- 11) 川上理亮, 鎌田美志, 鈴木美穂, 谷野正幸, 大山孝政, 宮原英隆, 平井恭正, 川村正行, 小室匠, 名和博之, 丸毛謙次, 山内一正, 馬込英明, 井守正隆, 鈴木正哉, 森本和也, 松田聡, 鈴木善三:100℃以下の低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システムの開発, 建築設備と配管工事, 日本工業出版, (2017.8).
- 12) 谷野正幸:排熱回収技術, 先端加速器科学技術推進協議会(AAA)グリーン ILC・WG, (2017.5.17).
- 13) 小久保孝, 吉岡正和:吸着材蓄熱技術を活用したILCの排熱利用の提案, 第 14 回日本加速器学会年会, WEP139, (2017.8.1-3).
- 14) 鈴木正哉, 森本和也, 前田雅喜, 犬飼恵一, 宮原英隆, 平井恭正, 川村正行, 谷野正幸:蓄熱材ハスクレイの性能評価, 化学工学会第 49 回秋季大会, EB114, (2017.9.20).
- 15) 松田聡, 鈴木善三, 名和博之, 井守正隆, 谷野正幸:蓄熱材粒子充填層の振動試験, 化学工学会第 49 回秋季大会, EB115, (2017.9.20).
- 16) 鈴木美穂, 大山孝政, 鎌田美志, 川上理亮, 谷野正幸, 松田聡, 鈴木正哉, 名和博之, 山内一正, 宮原英隆, 川村正行:低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システムの実験による評価-第 1 報, 化学工学会第 49 回秋季大会, DA101, (2017.9.20).
- 17) 大山孝政, 鈴木美穂, 鎌田美志, 川上理亮, 谷野正幸, 松田聡, 鈴木善三, 鈴木正哉, 名和博之, 馬込英明, 宮原英隆:低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システムの数値解析による評価-第 2 報, 化学工学会第 49 回秋季大会, DA102, (2017.9.20).
- 18) 川上理亮:100℃以下の低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システムの開発, Energy Storage Summit Japan 2017, (2017.11.8).
- 19) 谷野正幸:廃熱回収のための蓄熱技術, 日本粉体工業技術協会/第2回乾燥分科会, (2017.11.17).
- 20) 鈴木正哉:吸着で熱を運ぶ技術:コンパクト型高性能蓄熱システム, INCHEM 産学官マッチングフォーラム/化学工学会, (2017.11.20).
- 21) 名和博之, 松田聡, 鈴木善三, 井守正隆, 川上理亮:搬送時における蓄熱材粒子充填層内の対流現象, 第 23 回流動化・粒子プロセッシングポジウム/化学工学会, (2017.12.7-8).
- 22) 谷野正幸, 川上理亮, 鎌田美志, 大山孝政, 鈴木美穂・宮原英隆, 川村正行, 名和博之, 山内一正, 鈴木正哉, 松田聡, 永井恒輝:100℃以下の低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システム, 高砂熱学工業技術研究所報, 31, 25-30(2017).
- 23) 大山孝政, 鈴木美穂, 鎌田美志, 川上理亮, 谷野正幸, 松田聡, 鈴木善三, 鈴木正哉, 名和博之, 馬込英明, 山内一正, 宮原英隆, 川村正行:低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの研究—吸着材蓄熱槽の数値解析モデル—, 高砂熱学工業技術研究所報, 31, 31-38(2017).
- 24) 鎌田美志:Development of adsorption thermal storage system utilizing waste heat, 第7回 NEDO-CDTI 合同ワークショップ, (2018.2.13-14).
- 25) 鎌田美志:100℃以下の低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システムの開発, ENEX2018, (2018.2.14-16).

- 26) 川上理亮, 宮原英隆, 川村正行, 丸毛謙次, 山内一正, 鈴木正哉, 陶昇, 谷野正幸: 低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発ー第 1 報ーシステムの開発コンセプトと蓄熱材の検討, 平成 30 年度空気調和衛生工学会大会, (2018.9.12-14).
- 27) 鎌田美志, 川上理亮, 森本和也, 松田聡, 鈴木善三, 谷野正幸: 低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発ー第 2 報ー吸着材蓄熱槽の蓄放熱特性と数値解析モデル, 平成 30 年度空気調和衛生工学会大会, (2018.9.12-14).
- 28) 鈴木美穂, 大山孝政, 名和博之, 井守正隆, 馬込英明, 川上理亮, 井上正憲, 谷野正幸: 低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発ー第 3 報ー実際の工場・設備で蓄放熱特性の検証試験, 平成 30 年度空気調和衛生工学会大会, (2018.9.12-14).
- 29) 名和博之, 川上理亮, 宮原英隆, 川村正行, 山内一正, 鈴木正哉, 松田聡, 100℃以下の低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システムの開発, 第 8 回潜熱工学シンポジウム, 潜熱工学研究会, (2018.12.3-4).
- 30) 鈴木美穂, 川上理亮, 鎌田美志, 谷野正幸, 大山孝政, 宮原英隆, 名和博之, 川村正行, 山内一正, 鈴木正哉, 松田聡: 低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発ー工場の実設備における蓄放熱特性の検証試験ー, 高砂熱学工業総合研究所報, 32, 15-24(2018).
- 31) 松田聡, 鈴木善三, 鈴木美穂, 鎌田美志, 川上理亮, 谷野正幸, 名和博之: 低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発ー吸脱着の過渡特性, 化学工学会 第 84 年会, F302, (2019).
- 32) 谷野正幸: ハスクレイ蓄熱材を活用した低温廃熱の活用, ENEX2019, 東京ビックサイト, (2019.1.30-2.1).
- 33) 谷野正幸: ハスクレイ蓄熱材を活用した低温廃熱の活用, モノづくり日本会議, 日刊工業, (2019.3.4).
- 34) 谷野正幸, 高砂熱学工業の熱エネルギー貯蔵システム 技術研究所の開発技術を中心に, Energy Storage Summit Japan ESSJ, (2019.6.3).
- 35) 谷野正幸: 熱エネルギー貯蔵システムの先端研究について, 生態工学会年次大会, 6.29 (2019).
- 36) NEDO ニュースリリース「100℃以下の廃熱を利用可能な蓄熱システムの本格実証試験を開始ーオフライン熱輸送型と定置型での通年実証ー」, (2019.7.25).
- 37) 谷野正幸: オフライン輸送型と定置型の HAS-Clay を用いた吸着蓄熱システムの実証開発 Development and demonstration of offline transportation type and stationary type adsorption thermal storage system applying HAS-Clay, 第 10 回 日独エネルギー環境フォーラム, NEDO, (2019.10.29-30).
- 38) 川上理亮・鎌田美志・鈴木美穂・中田拓司・谷野正幸: 100℃以下の低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システムの開発, 「ヒートポンプとその応用」, ヒートポンプ研究会, No.93, (2019.11).
- 39) 川上理亮, 鎌田美志, 鈴木美穂, 中田拓司, 谷野正幸, 大山孝政, 宮原英隆, 山内一正, 名和博之, 松永克也, 鈴木正哉, 松田聡: 低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発ー定置型とオフライン熱輸送型の実証試験での設備概要ー, 高砂熱学工業総合研究所報, 33, 41-50(2019).
- 40) 鎌田美志, 川上理亮, 鈴木美穂, 中田拓司, 谷野正幸, 宮原英隆, 平井恭正, 松永克也, 久保滋, 原田浩司, 柿内秀介, 名和博之, 山内一正, 井守正隆, 岩下真輝, 鈴木正哉, 松田聡, 森本和也, 鈴木善三: 100℃以下の低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システムの開発, クリーンエネルギー, 日本工業出版, (2020.1).
- 41) 鎌田美志, 川上理亮, 大山孝政, 松田聡, 鈴木正哉, 丸毛謙次, 山内一正, 宮原英隆, 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ー第 1 報小型装置の実験結果と吸着材蓄熱槽の計算モデルー, 空気調和・衛生工学会論文集, No.281(2020.8).
- 42) 川上理亮, 鈴木美穂, 宮原英隆, 鈴木正哉, 谷野正幸: 低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発(第4報) 産業プロセスに対する定置型蓄熱槽の蓄放熱特性の実証試験, 2020 年度空気調和衛生工学会大会, (2020.9.9-30(オンライン)).
- 43) 鎌田美志, 中田拓司, 松永克也, 名和博之, 山内一正, 松田聡, 谷野正幸: 低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発(第5報)トレーラー型蓄熱槽によるオフライン蓄放熱特性の実証試験, 2020 年度空気調和衛生工学会大会, (2020.9.9-30(オンライン)).
- 44) 鎌田美志, 鈴木美穂, 川上理亮, 谷野正幸, 宮原英隆, 松永克也, 久保滋, 名和博之, 丸毛謙次, 山内一正, 井守正隆, 鈴木正哉, 松田聡: 低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システムの実証試験<定置型蓄熱システムおよびトレーラー型蓄熱によるオフライン熱輸送の実証試験>, 建築設備と配管工事, 日本工業出版, (2020.9).

- 45) 谷野正幸, 川上理亮, 鎌田美志, 宮原英隆, 松永克也, 山内一正, 井守正隆, 名和博之, 鈴木正哉, 松田聡:ハスクレイを用いた吸着材蓄熱システムの開発, 動力エネルギーシステム部門ニューズレター, 日本機械学会, (2020. 9.15).
- 46) 川上理亮, 鎌田美志, 谷野正幸, 山内一正, 井守正隆, 丸毛謙次, 宮原英隆, 松永克也, 鈴木正哉, 松田聡:100°C以下の低温廃熱を利用可能なハスクレイ吸着材蓄熱・オフライン熱輸送システムの実証開発, クリーンエネルギー, 日本工業出版, (2020.9).
- 47) 鎌田美志, 中田拓司, 川上理亮, 谷野正幸, 丸毛謙次, 名和博之, 宮原英隆, 松永克也, 山内一正, 松田聡:低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発ーコンテナ型蓄熱槽によるオフライン熱輸送の実証試験, 化学工学会第 51 回秋季大会, J116, (2020.9.24(オンライン)).
- 48) 丸毛謙次, 名和博之, 谷野正幸, 鎌田美志, 宮原英隆, 松永克也, 井守正隆, 松田聡:低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発ーコンテナ型蓄熱槽の槽内熱挙動の検証, 化学工学会第 51 回秋季大会, J117, (2020.9.24(オンライン)).
- 49) 川上理亮:Development of adsorption thermal storage system utilizing low-temperature wasteheat about 100°C, IEA Energy Storage TCP Annex 35, (2020.9.30).

ABSTRACT

With HAS-Clay adsorbent we have developed a new thermal storage system that is the open-cycle type to utilize the low-temperature waste heat. The demonstration tests were performed in a stationary type and an offline heat transportation type. In the stationary type, thermal storage tanks filled with adsorbent were charged with exhaust hot air and the air from the tanks was supplied to a drying process of a commercial plant. On the other hand, in the offline heat transportation type, the thermal storage tank charged in the co-generation system was transported by the tractor-trailer and used to heat up water and air in a swimming center. The adsorption heat storage system was evaluated through three kinds of seasons: summer, interphase, and winter. By the tests the regenerating efficiency of 90% or more was confirmed. The charge/discharge characteristics of the system were also evaluated. As a result, we found that it is possible to add a heat-up function such as a heat pump and it is necessary to design under optimal operating conditions that match the characteristics of adsorbent and the process.
