

低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発

ー塗装工程の空調機での除湿利用ー*

鎌田美志・川上理亮・谷野正幸
山内一正^{*1}・井守正隆^{*1}・佐藤雄^{*2}
名和博之^{*3}・松田聡^{*4}・佐藤陽一^{*5}

Development of an Adsorption Thermal Storage System Utilizing Low-temperature Waste Heat: Utilizing of Dehumidification Function of Air conditioners for Painting Processes

Haruyuki Kamata・Yoshiaki Kawakami・Masayuki Tanino
Kazumasa Yamauchi・Masataka Imori・Yu Sato
Hiroyuki Nawa・Satoru Matsuda・Yoichi Sato

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、日野自動車工場内でのオフライン熱輸送システムの実証試験を実施した。コージェネレーションシステムで蓄熱し、小型牽引車で蓄熱材を充填した蓄熱槽を輸送し塗装工程の空調機へ除湿空気を供給することで、既設設備における冷却除湿、再加熱に要する冷水・温水の使用エネルギーの削減を図った。その結果、CO₂削減効果およびエネルギー削減費について、既設設備のみ稼働時と比較して 57%の削減効果を確認し、本システムを導入した際の投資回収年数が 8 年以下になる見通しを得た。

1. はじめに

各種工場等では省エネ・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⁾。そこで、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開発し⁶⁻⁶⁴⁾、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を行った。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内および工場近くのプール施設へのオフライン熱輸送型での実証試験を行った。本報では、羽村工場内の自動車製造における塗装工程の空調機での除湿利用について報告する。

※2021 年度空気調和衛生工学会講演論文⁶⁰⁾を修正したものである。

*1 日野自動車 *2 東京電力エナジーパートナー工学院大学 *3 森松工業 *4 産業技術総合研究所 *5 トリニティ工業

2. 塗装工程の空調機における実証試験の概要

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）の廃熱で吸着材を乾燥（蓄熱）し、同工場内の塗装工程における空調機に高温低湿空気を供給した。

2.1 蓄熱槽および搬送トラックの概要

写真1に、蓄熱槽と搬送用の小型牽引車の外観を示す。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2.2ton 充填されている。廃熱源のCGS から数百 m 離れた塗装工程の空調設備までは、小型牽引車で運搬する。通常この小型牽引車は、場内で資材や完成部品の運搬用に使用されている。



写真1 蓄熱槽と小型牽引車

2.2 廃熱源と蓄熱設備

蓄熱材を乾燥する廃熱は、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）からの100℃以上の排ガスと88℃のジャケット温水である。**写真2**に日野自動車(株)羽村工場内のCGS・蓄熱設備の外観を、**図1**に系統図を示す。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。蓄熱運転お

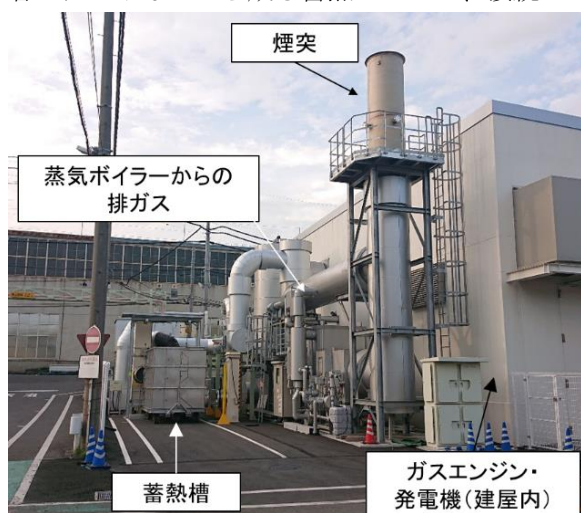


写真2 蓄熱サイト

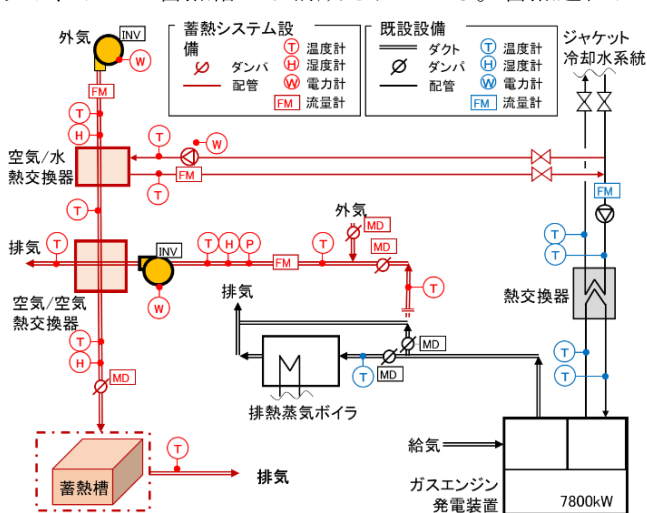


図1 蓄熱設備の系統図

ては、**図 1** 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。既設からの温水を、工場で熱利用後 CGS 設備への戻りから分岐している。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。この蓄熱槽での蓄熱に要する時間は、約 2 時間である。

2.3 塗装工程・放熱設備概要

写真 3 に、日野自動車榊羽村工場内の塗装工程における空調設備（リサイクル空調）の外観を示す。写真右側の既設空調機内部には各種フィルター、冷水コイル、温水コイルが設置されている。フィルター下流の高湿空気の一部を蓄熱槽に供給し、蓄熱槽からの空気を空調機に戻すための矩形ダクトが写真のように増設されている。

図 2 に塗装工程の空調設備および実証設備の系統図を示す。空調対象は、フレッシュブースとリサイクルブースに分けられ、図では模式的に示している。外気を既設の空調機（外調機）で温湿度を調節し、フレッシュブースに給気する。このフレッシュブースの排気は、塗装ミスト等を除去するためブース下部で散水され、相対湿度が 90%RH と高湿になっている。そのため、フレッシュブースの排気をリサイクル空調機で冷却除湿・加熱し、リサイクルブースに給気する。図のように今回設置した放熱設備では、高湿空気であるフレッシュブースの排気の一部を蓄熱槽に供給し、槽内で吸湿・発熱反応により昇温した高温低湿度の空気がリサイクル空調機に戻される。空調機での冷却除湿・加熱のための冷水と温水のエネルギー消費量は非常に大きく、ここではそのエネルギーの大幅な低減を見込んだ。



写真 3 放熱サイト

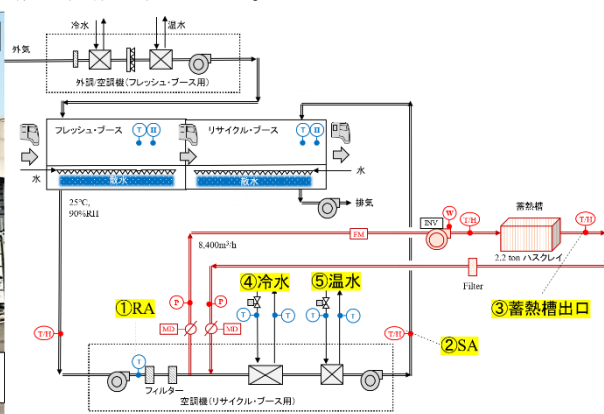
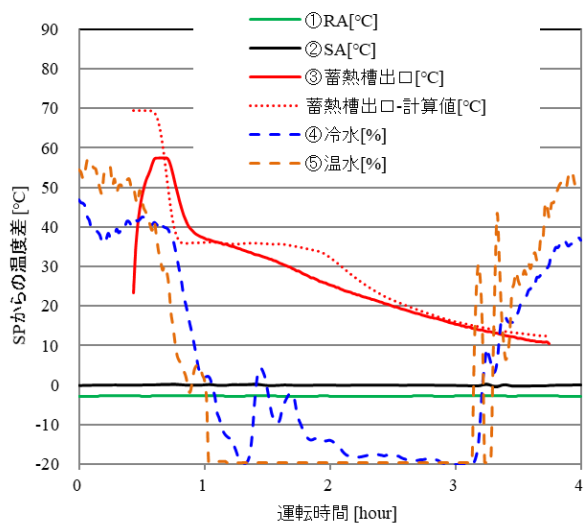


図 2 放熱設備の系統図

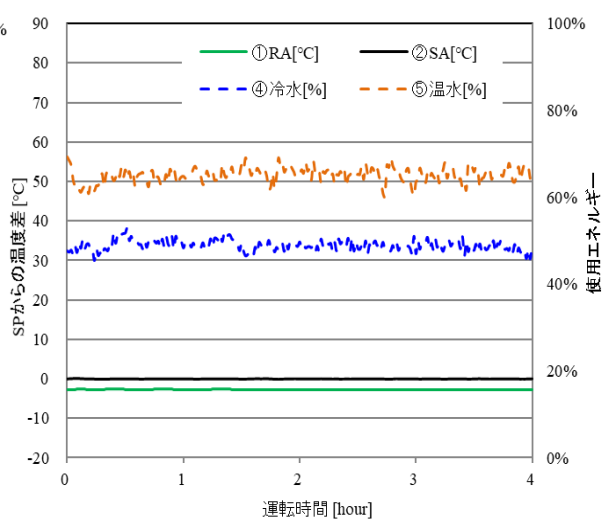
3. 実証試験結果

図 3 に放熱運転における空気温度とエネルギー消費量の経時変化を、**図 4** に絶対湿度の経時変化を示す。温度および絶対湿度はリサイクルブースへの給気の設定値を基準とし、それからの差異を示す。冷水および温水のエネルギー消費量は、各々の行き還りの温度差に水の比熱と流量を乗じて算出した。また、仕様書に記載の定格運転での状態を 100%として示す。(a)で赤い実線が表示されている時間は本システムが稼働している状態であり、(b)は休止している状態、つまり既設設備のみが稼働している状態である。今回の一回あたりの放熱運転時間は、200 分である。(a)と(b)は同日であり、(a)が終了してから約 1 時間後に(b)が開始する。グラフ中の凡例の①から④までは、**図 2** に黄色で示す測定箇所に対応している。本システムが稼働すると蓄熱槽から高温低湿の空気がリサイクル空調機へ供給され、直ちに温水のエネルギー消費量が減少し始める。運転開始から 30 分間程度は、除湿負荷が減少しているものの、蓄熱槽出口の空気温度が高いため冷水のエネルギー消費量は減少しない。その後、蓄熱槽出口の空気温度が低下するととも

に、冷水のエネルギー消費量も減少し始める。運転開始から約 100 分経過後、(a)の図中では 2 時間を過ぎたあたりで温水、冷水共にエネルギー消費量がほぼ 0 となる。その後、蓄熱槽出口空気の絶対湿度が定格値に達した時点から、徐々に風量を減らし運転を停止した。

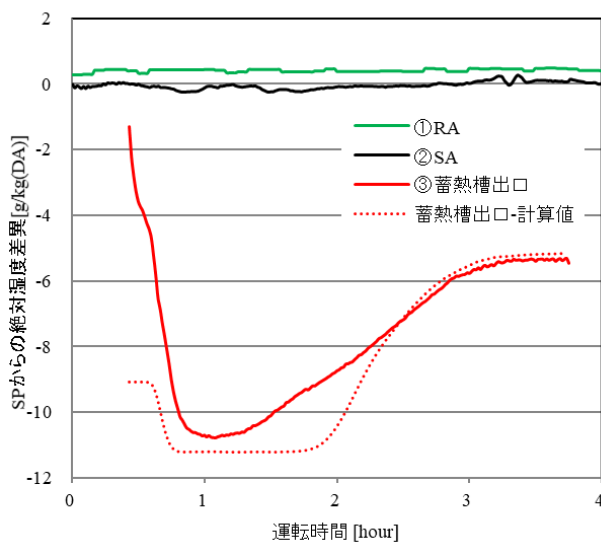


(a) 蓄熱システム稼働時

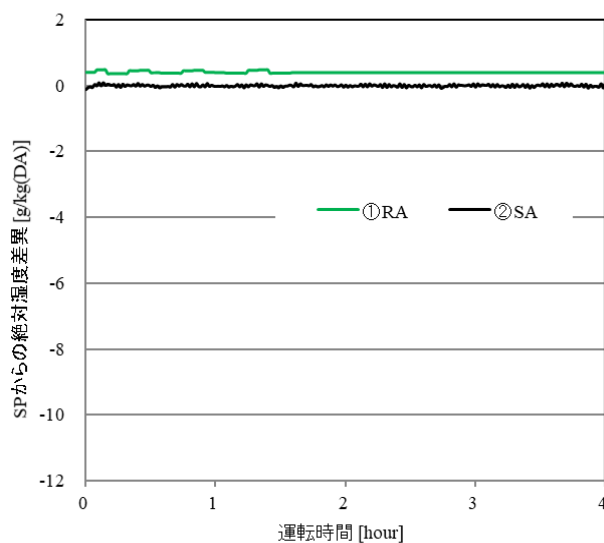


(b) 既設システムのみ稼働時

図 3 空気温度・エネルギー消費量の経時変化



(a) 蓄熱システム稼働時



(b) 既設システムのみ稼働時

図 4 湿度の経時変化

図 5 に、図 2(a)での 3 時間後における温湿度を空気線図上に示す。本システムが稼働し蓄熱槽出口空気温度もある程度低下している状態では、一部の①RA が蓄熱槽を通過し、高温低湿となった空気(③出口)が元々の①RA と混合された後(×混合後)に、ファンによる加熱でちょうど設定値(SP)に調節されている。したがって、この状態では冷水および温水のエネルギー消費量はほとんど無い。

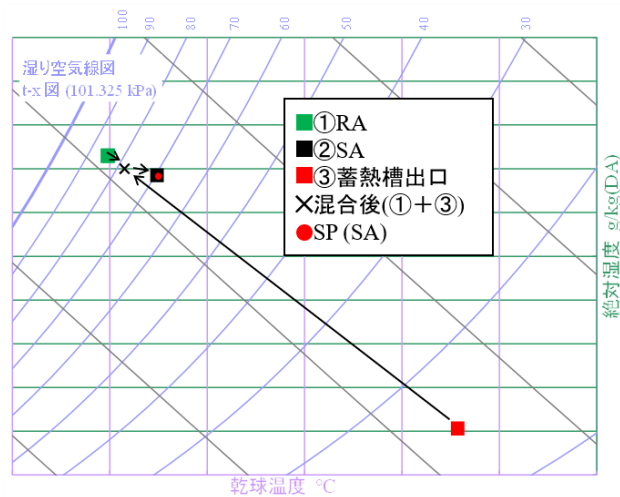


図 5 蓄熱システム稼働時の空気線図

4. CO₂・コスト削減効果

図 6 に本システムが一回稼働した場合の CO₂ 削減効果を示す。既設設備のみで稼働した場合のエネルギー消費を図 3(b)の平均値とし、本システム稼働時間に相当する CO₂ 排出量を 100%とした。本システム稼働における冷水および温水のエネルギー消費量に相当する CO₂ 排出量は 28%までに抑制された。ただし、本システム稼働によるファンなどの消費電力や小型牽引車の燃料消費による CO₂ 排出量は 15%に相当する。そのため、本システム稼働による正味の CO₂ 削減効果は、既設設備のみが稼働している状態と比較して 57%となる。また、エネルギー削減費についても CO₂ 削減効果と同じく、既設設備のみの稼働時と比較して 57%のコストダウンとなった。本システム稼働によりエネルギーコストは、既設設備のみの運転と比較し 28%まで低減するものの、ファンなどの消費電力などのコストが 15%発生する。ただし、輸送による人件費は含まれていない。この結果、本システムを場内運搬で除湿利用として導入した際の投資回収年数は 8 年以下になる見通しを得た。

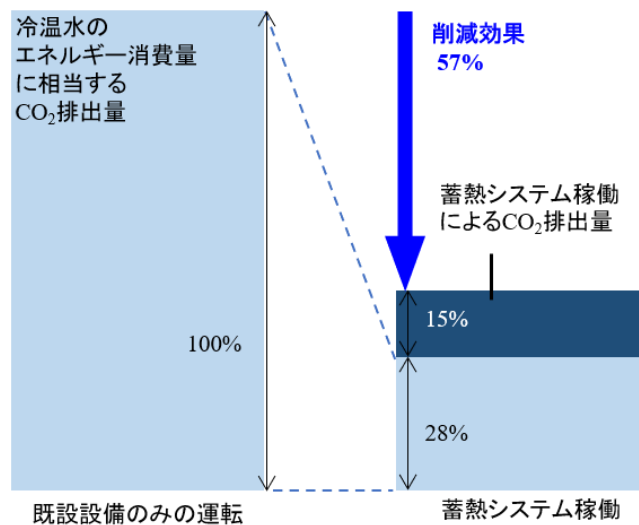


図 6 CO₂ 削減効果

5. おわりに

以上のように、塗装工程での実証試験により、除湿での廃熱利用における大きな CO₂ 削減効果を確認した。さらに、実装可能な費用対効果も確認できたことから、今後は定置型除湿利用も含めた本システムの普及展開に努め、省エネの推進、ならびにカーボンニュートラルの実現に貢献したいと考えている。

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) からなる複合体の無機系吸放湿材である。繰り返し使用した場合の耐久性が高く、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。

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) 産業技術総合研究所 HP, http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2008/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-第 1 報-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-第 2 報-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-第 3 報-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~工場の実設備における蓄放熱特性の検証試験~, 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~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—オフライン熱輸送型と定置型での通年実証—」, (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—定置型とオフライン熱輸送型の実証試験での設備概要—, 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—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, 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スレター, 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℃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—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—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℃, IEA Energy Storage TCP Annex 35, (2020. 9. 30).
- 50) 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, 山内一正, 名和博之, 佐藤敦史, 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—定置型とオフライン熱輸送型の実証試験—, 高砂熱学イノベーションセンター報, 34, 95-105(2020).
- 51) 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, 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2報低温再生型蓄熱材における水蒸気吸着自の発熱量について—, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 285(2020. 12).

- 52) 川上理亮：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，低温排熱利用機器調査研究会（2020.12.15）
- 53) 川上理亮：100℃以下の廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システムの開発，山口 R&D ラボ 工場排熱利用セミナー（2020.12.17）
- 54) 川上理亮：ヒートマネジメントのための設備会社の取組み，東京湾岸ゼロエミッション推進協議会第7回ゼロエミッション活動紹介セミナー（2021.2.19）.
- 55) 山内一正：カーボンニュートラルに向けた日野自動車の生産の取組み，東京湾岸ゼロエミッション推進協議会第7回ゼロエミッション活動紹介セミナー（2021.2.19）.
- 56) 川上理亮，鎌田美志，谷野正幸，宮原英隆，佐藤敦史，名和博之，山内一正，井守正隆，鈴木正哉，松田聡：100℃程度の低温廃熱を利用可能な吸着材蓄熱システム，BE 建築設備 2021 年 3 月号，建築設備総合協会，（2021.3）.
- 57) 谷野正幸：Development of Adsorption Thermal Storage System Utilizing Low-temperature Waste Heat, Industrial Waste Heat Usage German - Japanese Expert Workshop, （2021.4.20）.
- 58) 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，No. 290（2021.5）.
- 59) 中田拓司，鎌田美志，川上理亮，谷野正幸，宮原英隆，佐藤敦史，名和博之，井守正隆，山内一正，松田聡，鈴木正哉：100℃程度の低温廃熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発－コンテナ型蓄熱槽によるオフライン熱輸送の実証試験－，第31回環境工学総合シンポジウム 2021，423，（2021.7.8-7.9）.
- 60) 鎌田美志，川上理亮，佐藤雄，山内一正，名和博之，松田聡，佐藤陽一，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6報）塗装工程の空調機での除湿利用，2021 年度空気調和衛生工学会大会，（2021.9.15-17（オンライン））.
- 61) 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，No. 297（2021.12）.
- 62) 川上理亮：活用困難な低温排熱を再利用する吸着材蓄熱システム「メガストック」，月刊省エネルギーVol. 73，省エネルギーセンター，（2021.12）.
- 63) 山内一正，井守正隆：排熱回収技術による工場 CO2 排出量削減の取組み，HINO TECHNICAL REVIEW No. 71，（2022.1）.
- 64) 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システムの実証試験－，空気調和・衛生工学会論文集，投稿中.

ABSTRACT

We have developed an open-cycle type adsorbent thermal storage system. Based on an adsorbent of HAS-Clay, this thermal storage system can utilize the low-temperature waste heat. We carried out a demonstration of the offline heat transportation from the charged thermal storage in the co-generation system to the air handling unit (AHU) of painting process by the tractor. The energy consumption of the cold and hot water used in the AHU was decreased by dehumidifying the air that flowed into AHU from the thermal storage tank. The results confirmed a 57% CO₂ reduction effect.