

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：13701
 研究種目：基盤研究(B) (一般)
 研究期間：2017～2019
 課題番号：17H03441
 研究課題名(和文) 微細結晶スラリーによる蓄熱型ハイブリッド吸収式ヒートポンプの不均相系動力学研究

研究課題名(英文) Non-homogeneous Kinetics of Hybrid Absorption Heat Pump with Heat Storage Function Using Fine Crystal Particle Slurry

研究代表者
 板谷 義紀 (Itaya, Yoshinori)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：50176278

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：LiBr微細結晶スラリーを吸収液に活用するLiBr/水系吸収式ヒートポンプ(AHP)により、高温蒸気と冷熱を同時生成する蓄熱機能を備えた革新的未利用温熱回生システム開発のための基盤的研究を行った。吸収液スラリーの気液界面では水蒸気吸収に伴う濃度低下が大幅に抑制され、均質な吸収液に比べ高濃度操作が可能となり、高い蒸気吸収性能と昇温モードでのサイクルでは高温度へのヒートアップが得られるだけでなく、熱力学的平衡論解析により従来の潜熱蓄熱材に比べて高い蓄熱密度を有することを明らかにした。また80℃レベルの温排熱から120℃以上の高温と7℃の冷熱を同時生成する蓄熱型ハイブリッドAHPサイクルを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的および社会的意義は以下の通りである。

1) 微細結晶スラリー吸収液界面での水蒸気吸収速度促進が、結晶溶解効果によることを定量的に解明することにより物質移動速度推算手法を確立でき、ガス吸収液スラリー気液界面現象の新規学理の構築、2) 80℃レベルの未利用温排熱や太陽熱から120℃以上の蒸気と10℃以下の冷熱を同時に生成するハイブリッドAHPシステムの構築、3) 微細結晶スラリーの蓄熱効果を利用して高密度蓄熱型AHP技術の確立、4) 大量の未利用温熱を利活用できるレベルにアップグレード化する熱プロセスシステムを熱工学的に体系化し、1次エネルギー消費量の大幅削減・省エネルギー化。

研究成果の概要(英文)：Fundamental study on LiBr/water absorption heat pump (AHP) using LiBr fine particle crystal slurry was performed to develop an innovative recovery system of exhausted heat at a middle temperature level, that is working in heating-up and refrigeration modes with a heat storage function.

The slurry inhibits the solution from diluted in an interface between liquid and gas phases due to steam absorption, and allows the AHP operation under as high as concentration of saturation solubility. This performance contributes to significant improvement of steam absorption rate and generation of much higher temperature than a crystal-free uniform solution in a heating-up mode. The thermodynamic equilibrium analysis reveals that the slurry obtains also greater heat storage capacity than conventional phase change media. A heat storage type of hybrid AHP cycle is proposed to yield simultaneously high temperature above 120 °C and refrigeration at 7 °C recovering heat at a 80 °C level.

研究分野：熱プロセス工学

キーワード：温排熱回収 吸収式ヒートポンプ スラリー 蓄熱 気液界面 物質移動 微細結晶 高温生成

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

化石燃料の世界情勢や地球温暖化問題などを背景として、エネルギーの多様化は益々重要性を増している。なかでも徹底した未利用温排熱回収は、大きなブレークスルーとなる。例えば、石油化学産業でのエネルギー消費量は、化学産業全体の 53%を占めている。石油化学製品製造プラントでは、140℃以上の蒸気の用途が高いのに対し、30～50℃の排温水と 80～150℃程度の排ガスが主要な未利用排熱であり、そのエネルギー量は使用蒸気エネルギーの 74%にも相当する[1]。一方、CO₂分離・回収の CCS は、国家戦略的事業として鉄鋼や電力分野で実証試験が計画または実施されているが、その代表的なアミン吸収法は、CO₂吸収液であるアミン液再生のために 130℃程度以上の加熱源が必要になる。このような状況から、従来は廃棄されている未利用温排熱や代表的な再生可能エネルギーである太陽熱から、産業用冷熱、蒸気、CCS 用熱源などへ再生する高度利用技術を開発・実用化することは極めて重要である。

本研究者と九州大学、岡山県立大学のグループは 3 つの企業と連携した共同研究で、これまでに 80℃レベルの排熱から 150℃以上にアップグレード化する蒸気生成ヒートポンプシステムの開発研究を実施してきた[2]。具体的には、ゼオライトを用いる吸着式ヒートポンプ(吸着 HP)を高温生成モードで駆動して、150℃以上の蒸気を発生させる[3]。ゼオライト再生には LiBr/水系吸着式ヒートポンプ(AHP)で 80℃の温排水からヒートアップし、直接熱交換型吸収器内で空気を 130℃に加熱し、熱風乾燥するシステムである。本研究者はこの一連のシステムの中で AHP の研究開発を担当し、ベンチスケール設備による実証試験に成功している[4]。また本申請者は、LiBr 吸収液にゼオライト微粒子を分散させ過飽和状態にすると、LiBr 微細結晶スラリーが形成されることを発見した。このスラリーを AHP に利用すれば、操作過程で吸収液の結晶成長が抑制され流動性を維持できるため、高い吸収性能が得られることを明らかにしている[5]。そこで、バッチ式吸収器と蒸発器から構成されるラボスケール試験装置により、微細結晶スラリーの蒸気吸収性能評価を行ったところ、スラリーでは蒸気吸収による液温度の急速な昇温が得られることを確認した[6]。しかしスラリーの吸収速度は、蒸発器と吸収器内の飽和蒸気圧差に比例する物質移動理論から予測される以上に大きく増大する現象が認められた。この要因は、吸収液気液界面での蒸気吸収・結晶溶解の相互作用により物質移動抵抗が低減したものと想定されるが、その機構は現時点で不明である。スラリーへの水蒸気吸収の物質移動速度推算法を確立するためには、気液界面での水蒸気吸収機構を解明しておく必要がある。さらに、本スラリーは長期安定性を有し、スラリー状態で保存しておくことで、高い蓄熱密度を有する蓄熱効果も期待される。

2. 研究の目的

上記の背景から、80℃レベルの排熱または再生可能エネルギーのひとつである太陽集熱器で熱回収した温熱水を熱源とする LiBr/水系微細結晶スラリー-AHP により、蒸気および冷水生成の蓄熱型ハイブリッドシステムを構築するための基盤研究を実施する。具体的には、以下の項目について不均相系熱物質移動速度論的観点からラボスケール試験及び移動機構の解明を行い、革新的性能向上効果を明らかにした。

- (1) LiBr 微細結晶スラリー気液界面の可視化および水蒸気吸収促進機構の解明
- (2) 微細結晶スラリー吸収液の平衡論的蓄熱密度と有効蓄熱密度の検証
- (3) 水蒸気吸収発熱を伴う吸収液の伝熱面上液膜の流動・伝熱機構の解明
- (4) 高温と冷熱同時生成蓄熱型ハイブリッド AHP システムサイクル解析

以上の研究項目を遂行することにより、低レベル温熱エネルギーアップグレードシステムを構築するとともに、熱・物質移動速度論と熱力学的平衡論を融合して、学理を確立に向けたデータ集約を目的とした。

3. 研究の方法

通常の吸収液では、LiBr 溶液の濃度が高くなり過飽和状態になると 1 つの大きな固まりとなるように結晶が成長・析出するため、流路の閉塞に伴うトラブルが発生する。しかし、予めゼオライト微粒子を吸着剤として分散させた場合、流動性を有する微細結晶スラリー化する。これは、吸収液中に分散する吸着剤であるゼオライトの細孔構造内に臭化リチウムが微細な結晶状態で吸着されると考えられ、これが結晶核となり準安定的に吸着剤周りに結晶成長して多数の微細な結晶が析出しスラリー状態になると考えられる。本研究の LiBr 微細結晶スラリーは、吸着剤に東ソー製ゼオライト HSZ-320-NAA を使用し、80℃以上の高温状態で LiBr 試薬を常温では飽和濃度以上の高濃度になる所定量を溶解させ、これにゼオライトを分散させた後に、攪拌しつつ温度を 25℃まで下げることで調整した。

このように調整したスラリーを用いて、研究目的を遂行するための各研究項目は以下の方法で研究を実施した。

(1) LiBr 微細結晶スラリー気液界面の可視化および水蒸気吸収促進機構の解明

スラリー気液界面可視化試験装置の概略図を図 1 に示す。ガラス容器に各濃度に調整した吸収液またはスラリーを 100g 入れる。可視化では、照明を図のように設置し、側面からマクロレンズを装着した一眼レフデジタルカメラ(ニコン D610)で撮影した。ただし、ここでは水蒸気吸収の代わりに水をネブライザーで霧化して、スラリー表面に 0.4g/s の速度で定量供給した。

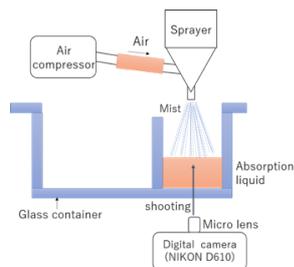


図1 スラリー気液界面可視化試験装置概略図

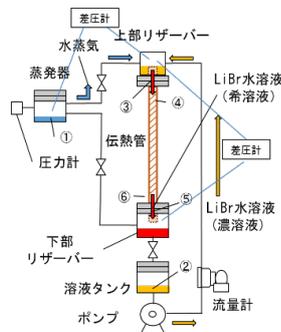


図2 管内吸収液膜流の熱物質移動計測装置概略図

(2) 微細結晶スラリー吸収液の平衡論的蓄熱密度と有効蓄熱密度の検証

微細結晶スラリーがエンタルピーとして潜在的に保有する蓄熱量を平衡論的に試算した。しかし、本スラリーによる蓄放熱は通常のPCMとは異なり、吸収器と蒸発器で構成した場合、熱発生と蓄熱モードで操作することになる。すなわち、吸収液を加熱濃縮およびスラリー化することで蓄熱、蒸発器からの蒸気吸収により吸収器側で発熱・昇温して高温熱を回収・利用することになり、両モードともに蒸発器側では環境温度を利用することになる。したがって、見かけ上の回収熱量または蓄熱量は、蒸発器温度における飽和蒸気圧と等しくなる吸収器側蒸気圧に平衡論的に対応する吸収液温度と濃度に到達するまでの吸収液エンタルピー変化量に相当し、スラリー濃度、初期温度、熱回収温度に依存する。ここでは、これまでに報告されているLiBr水溶液の熱力学的物性値を用いて、高温生成を想定した諸条件での蓄熱量を平衡論的に算出した。

(3) 水蒸気吸収発熱を伴う吸収液の伝熱面上液膜の流動・伝熱機構の解明

高温生成AHPを高温蒸気ボイラーとして応用する場合、吸収器内に垂直多管で配置された伝熱管内面を液膜状に流下する吸収液へ水蒸気を吸収させることで発熱し、管外で高温蒸気を発生させる方式を想定して、管内液膜流れ熱・物質移動特性を明らかにするために、単管による試験を行った。ここでは伝熱管に、吸収器内での伝熱促進を目的としてスパイラル管を用いた。図2に単管伝熱・蒸気吸収試験装置の概略図を示す。伝熱管は内径23mm、外径25mm、長さ1.6mの銅製スパイラル管で、垂直に設置した。図中の①～⑥は熱電対による温度計測位置を示す。LiBr水溶液は上部リザーバーから供給して、伝熱管内面に沿って液膜状に流下させる。伝熱管上部は蒸発器とも接続されており、水蒸気は上部から流入して伝熱管内面の液膜へ吸収される。管内へ流入する蒸気はすべて吸収液に吸収されるため、入口で最大流量であり管内下部に向かうにつれて減少する。このような吸収液膜への水蒸気吸収速度は、平滑管を仮定して伝熱管上下部の差圧からHagen-Poiseuille式より管内蒸気速度を試算し、蒸気吸収量として求めた。また伝熱管に採用したスパイラル管による乱流促進により、液境膜における濃度勾配は小さいことが考えられる。そのため物質移動係数は入口と出口それぞれの蒸気圧力と液膜の飽和圧力の差の対数平均をとりガス側物質移動係数として試算した。

(4) 高温と冷熱同時生成蓄熱型ハイブリッドAHPシステムサイクル解析

高温と冷水同時生成蓄熱型ハイブリッドAHPシステムの基本設計仕様を策定するために、これまでに得られた知見に基づき、80℃の温排熱から120℃以上の水蒸気と10℃以下の冷水を生成する蓄熱型ハイブリッドAHPシステムサイクルのエネルギー収支と物質収支から、最小限の設備で構成するために6塔式サイクルが成立することを検証した。エネルギー収支解析には、これまでと同様に純水とLiBr水溶液のエンタルピーと飽和蒸気圧の熱力学データを用いた。

4. 研究成果

各研究項目で得られた主な成果を以下に示す。

(1) LiBr微細結晶スラリー気液界面の可視化および水蒸気吸収促進機構の解明

スラリーの蒸気吸収速度増大効果のメカニズムを明らかにするために、静止した吸収液表面の気液界面で水を吸収したときの可視化試験を実施した。図3は微細結晶を含まない55%吸収液と微細結晶スラリーに水を噴霧した前後における界面の可視化写真を示す。微細結晶を含まない吸収液の界面近傍は、透明度の高い低濃度領域であることが確認できる。微細結晶スラリーでは水噴霧後も、白濁度が高く表面張力も高い様子が見受けられた。これは水を吸収後も微細結晶の溶解により、界面が高濃度に維持されているためと考えられる。このような事実から、微細結晶スラリーでの蒸気吸収速度が促進される主な要因は、微細結晶の溶解により界面近傍のLiBr濃度が高く維持され、気液界面気相側の飽和蒸気圧が低く抑制されたためである。一方、微細結晶を含まない均一な吸収液界面では、蒸気吸収により濃度が希釈され、気相側の蒸気圧は吸収液全体の混合平均濃度に対する飽和蒸気圧に比べて高くなっており、実質的に蒸発器と吸収器内蒸気圧差が小さかったものと考えられる。換言すると均質な吸収液での液側物質移動抵抗は大きくなるのに対して、スラリーでは液側物質移動抵抗が小さくなったことが、蒸気吸収速度の促進効果といえる。以上の事実をさらに定量的に検討するために、理論モデルにより界面近傍の濃度と昇温効果を数値解析した。



(a) LiBr55%吸収液



(b) LiBr 微細結晶スラリー

図3 水噴霧前後の気液界面可視化写真 (左図：水噴霧前, 右図：水噴霧後)

本解析では、吸収器内の吸収液へ吸収される蒸気吸収速度ならびに高さ方向の温度とスラリー溶液中に溶解している LiBr 濃度分布の経時変化を解析した。モデル化に際しては、吸収液高さ方向の 1 次元非定常熱伝導方程式と拡散方程式により熱物質同時移動を数値解析した。攪拌による熱物質移動速度は、熱伝導度と拡散係数に補正係数を乗じることにより、移動促進効果を総括的にモデル化した。また、蒸気吸収速度は吸収液表面の温度と濃度に対する飽和蒸気圧を気相側の蒸気圧として、蒸発器側の蒸気圧との圧力差を推進力とし、物質移動係数との積から物質移動速度を決定した。物質移動係数は、実験結果より推算した。微細結晶スラリーの溶解速度は、結晶表面の液側 LiBr 濃度をその位置の温度における飽和濃度と周囲濃度との差に、溶解している LiBr の物質移動係数を掛けることにより決定した。このときの物質移動係数は、シャーウッド数を 2 とした。図 4 は、理論解析した温度と濃度の経時変化を示したものである。初期の吸収液として微細結晶濃度が $0.04206\text{kg-crystal/kg-slurry}$ のスラリーおよび均質な飽和濃度溶液の場合について、解析結果を示している。実線は解析により得られた温度と溶解濃度の深さ方向分布を積分平均した混合平均値、破線は液表面の解析値を示している。また比較のために、図 6 のスラリーと 60.6%の温度の実験値を一点鎖線で併記した。均質な溶液では解析によって得られた温度の平均値と実験データは良好な一致が得られた。スラリーの場合には、現象が複雑であることとスラリー中での微細結晶の拡散を無視したために、やや差異は認められるものの全体としては妥当な結果が得られ、到達温度も均質溶液に比べてかなり高くなるという実験データと同様の結果を示した。吸収液の表面温度は、吸収液静止系の時の熱伝導度および拡散係数を 100 倍として熱物質移動速度を大きく促進させたにもかかわらず、スラリーと均質溶液の両者とも水蒸気吸収開始直後に急速に昇温する結果となった。一方、吸収液表面の濃度については、均質溶液では蒸気吸収開始直後に濃度低下しているのに対して、スラリーでは表面の濃度低下現象はほとんど生じず、点線で示した溶解している LiBr 初期濃度（初期温度 15°C の時の飽和濃度）と比べて、蒸気吸収開始 2 分後から初期濃度よりも高濃度化する傾向が見受けられた。また平均濃度では吸収開始直後から濃度が徐々に増大することが明らかとなった。これは、蒸気吸収に伴いスラリー温度が上昇することにより飽和溶解度が高くなり、その結果微細結晶の溶解が進行して自己濃縮効果が発現されたためである。このようなスラリー表面で高濃度化が維持される現象は、図 3 で示す可視化結果とも一致している。このような解析結果より、蒸気吸収速度がスラリーでは著しく促進されるのは、液界面での蒸気吸収・希釈による濃度低下が抑制され、飽和蒸気圧も低く維持できるためであることが明らかとなった。

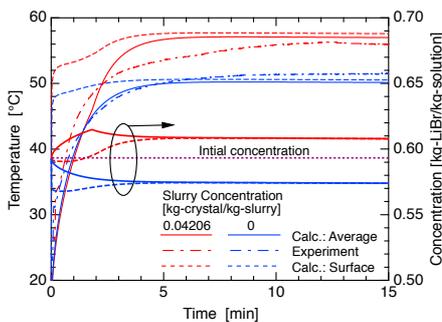


図4 吸収器内微細結晶スラリーと均質溶液の温度および濃度分布の理論解析結果

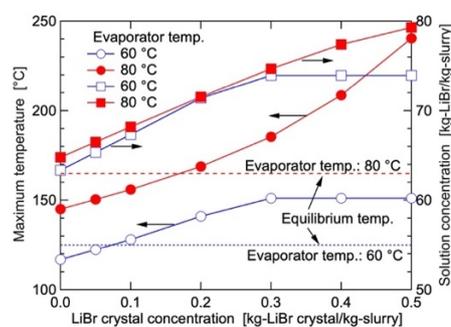


図5 微細結晶スラリーの自己濃縮効果による高温化の推算結果

以上の結果に基づき、微細結晶スラリーでは蒸気吸収過程での自己濃縮効果により、通常の均質な吸収液を利用した場合の平衡温度以上に高温生成するヒートポンプサイクルを構成する可能性が予測される。そこで、微細結晶濃度を高くした場合を想定して、最高到達温度をエンタルピーバランスと熱力学的平衡論に基づき試算を行った。図 10 は、蒸発器温度を 60°C と 80°C とした場合に、吸収器内でスラリーが完全混合していると仮定して、到達する断熱理論温度および溶液中に溶解している LiBr 濃度をスラリー中の微細結晶濃度に対してプロットしたものである。破線はそれぞれの蒸発器温度かつ同一温度で飽和濃度の均質な吸収液で到達する最高温度を示している。これらの結果より、蒸発器温度 60°C でもスラリーの微細結晶濃度を 30%以上にできれば、単段で 150°C まで昇温できるヒートポンプが可能となる。また 80°C の蒸発器では、20%の微細結晶濃度で 200°C を超える可能性を示す結果が得られた。

(2) 微細結晶スラリー吸収液の平衡論的蓄熱密度と有効蓄熱密度の検証

回収温度に対して平衡論的に推算されるスラリー初期重量あたりの蓄熱量で定義される蓄熱

密度の関係を図 11 に示す。ここでは、蒸発器温度を 10℃、スラリーの初期温度を 30℃とした。結晶濃度 0.2 kg/kg-slurry のスラリーは、結晶を含まない均質吸収液に比べて 2 倍以上の蓄熱密度となるだけでなく、蒸発器温度が 10℃のとき均質液では 43℃以上の熱回収ができないのに対して 60℃以上の熱回収でも蓄熱密度が 200 kJ/kg-slurry となる。また、通常の PCM と比較した場合にも、極めて高い蓄熱密度となることが示された。図 12 は排熱等を利用して蒸発器温度をさらに高温化した場合の回収温度と蓄熱密度との関係を示したものである。蒸発器温度の上昇に伴い蓄熱密度は著しく大きくなり、80℃の場合には蒸発器温度より 10℃高い温度の熱回収が 2000kJ/kg-slurry 以上で水の蒸発潜熱相当にまで達する試算結果となった。

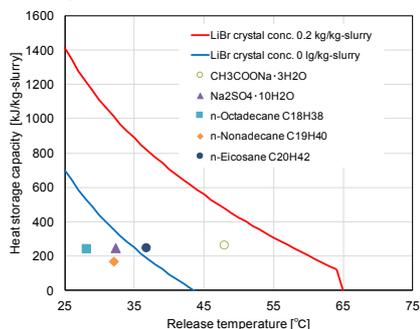


図 6 蓄熱密度と回収温度との関係 (蒸発器温度: 10℃, スラリー初期温度: 30℃)

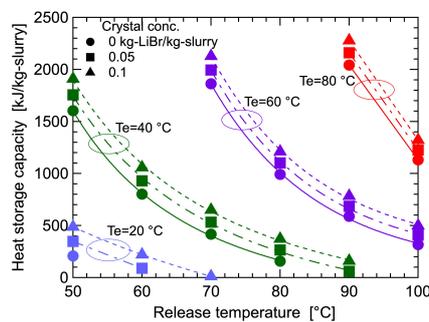


図 7 蓄熱密度と回収温度との関係 (蒸発器温度とスラリー初期温度: 20~80℃)

(3) 水蒸気吸収発熱を伴う吸収液の伝熱面上液膜の流動・伝熱機構の解明

蒸気吸収過程でスパイラル管内面を流下する吸収液と伝熱壁面の熱伝達係数および水蒸気吸収の物質移動係数に関して、ヌッセルト数 Nu およびシャウウッド数 Sh で無次元化し、流下液膜レイノルズ数 Re に対して次式のような相関関係が得られた[7].

$$Nu = 4.46 \times 10^{-3} Re^{0.79} Pr^{0.27}$$

$$Sh = 1.37 \times 10^{-5} Re^{0.75} Sc^{0.56}$$

(4) 高温と冷熱同時生成蓄熱型ハイブリッド AHP システムサイクル解析

80℃の温排熱源から 120℃以上の高温熱と 7℃以下の冷熱を同時に生成するハイブリッド AHP システムサイクルの熱・物質収支と平衡論的に算出した主な仕様の一例を図 8 に示す。吸収器、再生器、凝縮器、蒸発器を各 2 塔から構成される 8 塔式では、必要条件を満たすサイクルを比較的容易に設計することが可能であるが、再生器と凝縮器を 1 塔にした 6 塔式は、装置構成は簡便になるのに対して、必要条件を満たすように収束させることは困難になる。しかし、図 8 のようにシステムを理論的には構成することが可能であることを明らかにした。

<引用文献>

1. NEDO 平成 21 年度エコイノベーション推進事業「石油化学業界における革新的エネルギー変換に関する探索研究」, 平成 21 年度成果報告書 (09002771-0, 09002773-0)
2. NEDO 省エネルギー革新技术開発事業/先導研究「未利用温排熱から高温水蒸気を生成する吸着式蒸気回生システムの研究開発」, 平成 23 年度~25 年度成果報告書
3. B. Xue, Y. Iwama, Y. Tanaka, K. Nakashima, A. T., Wijayanta, K. Nakaso, J. Fukai: Cyclic steam generation from a novel zeolite-water adsorption heat pump using low-grade waste heat, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 46, pp.54-63 (2013)
4. K. Marumo, N. Kobayashi, T. Nakagawa, J. Fukai and Y. Itaya: Lithium Bromide/Water Absorption Heat Pump for Simultaneous Production of Heated Air and Steam from Waste Heat, *J. Chem. Eng., Japan*, 49(3), 268-273 (2016)
5. 板谷義紀, 市橋伸久, 小林信介, 丸毛謙次, 増井龍也: 過飽和微細結晶スラリーによる LiBr・水系吸収式ヒートポンプ性能向上効果, *化学工学論文集*, 39(1), 46-52 (2013)
6. Y. Itaya, K. Marumo, T. Masui, K. Nagatani, S. Takano and N. Kobayashi: Formation and Vapor Absorption Characteristics of a LiBr Crystal Fine-Particle Slurry, *J. Chem. Eng., Japan*, 49(7), 649-655 (2016)
7. Yoshinori Itaya, Masatoshi Yamada, Kenji Marumo and Nobusuke Kobayashi: Heat and Mass Transfer through Spiral Tubes in Absorber of Absorption Heat Pump System for Waste Heat Recovery, *Propulsion and Power Research*, 6(2), 140-146 (2017)

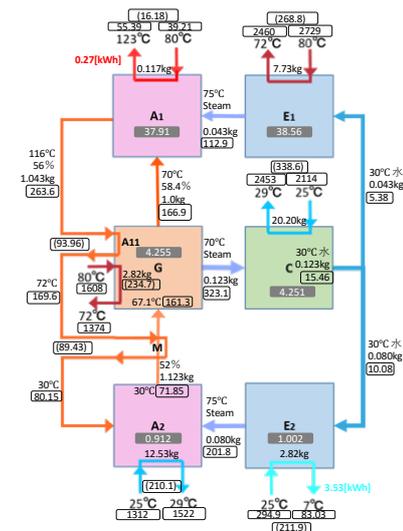


図 8 ハイブリッド AHP システム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Itaya Yoshinori, Yamada Masatoshi, Marumo Kenji, Kobayashi Nobusuke	4. 巻 6
2. 論文標題 Heat and mass transfer through spiral tubes in absorber of absorption heat pump system for waste heat recovery	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Propulsion and Power Research	6. 最初と最後の頁 140 ~ 146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1016/j.jprr.2017.05.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 中曾浩一, 深井潤, 中川二彦, 伊藤香澄, 安部義男, 川上理亮, 谷野正幸, 板谷義紀, 小林信介, 丸毛謙次, 青山俊之, 増井龍也	4. 巻 44
2. 論文標題 吸着式蒸気生成器のスケールアップ性能試験	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 化学工学論文集	6. 最初と最後の頁 71 ~ 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1252/kakoronbunshu.44.71	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nobusuke Kobayashi and Yoshinori Itaya	4. 巻 51
2. 論文標題 Performance of Iron Oxide Based Oxygen Carrier in Biomass Pyrolysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Chemical Engineering Japan	6. 最初と最後の頁 469 ~ 475
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1252/jcej.17we111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 小林信介, 張百強, 花井健吾, 板谷義紀	4. 巻 43
2. 論文標題 噴流層プラズマリアクターを用いた粒子表面改質	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 化学工学論文集	6. 最初と最後の頁 236 ~ 241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1252/kakoronbunshu.44.236	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 板谷義紀, 伊東大輝, 小林信介, 椿井康司	4. 巻 44
2. 論文標題 モデル鶏舎屋外試験による断熱材の伝熱特性に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 化学工学論文集	6. 最初と最後の頁 308 ~ 315
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1252/kakoronbunshu.44.308	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Itaya Yoshinori, Matsubara Kazune, Tanaka Ryo, Kobayashi Nobusuke	4. 巻 242
2. 論文標題 Optical analysis during reduction of nitric oxide in microwave-induced plasma promoted by activated cokes at atmospheric pressure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fuel	6. 最初と最後の頁 382 ~ 388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.12.133	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 須網暁, 小林信介, 板谷義紀	4. 巻 98
2. 論文標題 乾燥汚泥と石炭の混合原料から生成されるチャー特性に熱分解条件が与える影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本エネルギー学会誌	6. 最初と最後の頁 27 ~ 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3775/jie.98.27	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Baiqiang Zhang, Nobusuke Kobayashi, Yoshinori Itaya	4. 巻 343
2. 論文標題 Effect of Plasma Irradiation on the Fine Particle Behavior in a Spouted Bed	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Powder Technology	6. 最初と最後の頁 309 ~ 316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.11.044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshinori Itaya, Hiroya Hanai, Nobusuke Kobayashi, Tsuguhiko Nakagawa	4. 巻 4
2. 論文標題 Drying-Induced Strain-Stress and Deformation of Thin Ceramic Plate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemEngineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3390/chemengineering4010009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Das S., Kashyap D., Kalita P., Kulkarni V., Itaya Y.	4. 巻 117
2. 論文標題 Clean gaseous fuel application in diesel engine: A sustainable option for rural electrification in India	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Renewable and Sustainable Energy Reviews	6. 最初と最後の頁 109485 ~ 109485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109485	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

[学会発表] 計10件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Yoshinori Itaya
2. 発表標題 Strain-Stress Formation and Deformation of Molded Materials by Drying-Induced Shrinkage
3. 学会等名 The 4th Engineering Science & Technology International Conference (ESTIC2018; Universitas Bung Hatta) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobusuke Kobayashi, Hisashi Hamabe, Akira Suami and Yoshinori Itaya
2. 発表標題 Regeneration Technique of Biomass for Energy Utilization
3. 学会等名 India-Japan Bilateral Symposium on Future Perspective of Bio Resource Utilization (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Nobusuke Kobayashi , Hisashi Hamabe, Akira Suami , Yoshinori Itaya
2 . 発表標題 Study on Co-Pyrolysis of Bio-Dried Sludge and Coal in a Rotary Kiln Carbonizer
3 . 学会等名 The 2nd Australia-Japan Symposium on Carbon Resource Utilization (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Nobusuke Kobayashi , Kenji Kamiya, Kazuki Okada, Yuma Tachibana, Takumi Ito, Hironari Ooki and Yoshinori Itaya
2 . 発表標題 Efficient Sludge Drying by Addition of Drying Accelerator
3 . 学会等名 21st International Drying Symposium (IDS ' 2018)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Arash Piran, Nobusuke Kobayashi, Yoshinori Itaya, Maksym Rybachuk
2 . 発表標題 Reactivity of Pulverised Sugarcane Bagasse and Lignite Char during Steam Gasification
3 . 学会等名 The 14th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yoshinori Itaya and Nobusuke Kobayashi
2 . 発表標題 Combined Adsorption Heat Pump and Heat Storage Effects of LiBr Crystal Slurry
3 . 学会等名 Innovative Applied Energy (IAPE) 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 板谷義紀, 楠本峻也, 松下智一, 小林信介
2. 発表標題 LiBr微細結晶スラリーを蓄熱材に用いる平衡論・速度論的特性評価
3. 学会等名 第55回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 楠本峻也, 横山将輝, 小林信介, 板谷義紀
2. 発表標題 LiBr微細結晶スラリーの蓄熱効果
3. 学会等名 日本伝熱学会東海支部講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Itaya and N. Kobayashi
2. 発表標題 Innovative Energy Management System Recovering Exhausted Heat for Drying
3. 学会等名 2nd Nordic Baltic Drying Conference 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshinori Itaya and Nobusuke Kobayashi
2. 発表標題 Innovation of Exhaust Heat Utilization System for Drying
3. 学会等名 The 9th Asia-Pacific Drying Conference (ADC 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

researchmap
<https://researchmap.jp/read0011299>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小林 信介 (Kobayashi Nobusuke) (30345920)	岐阜大学・大学院工学研究科・准教授 (13701)	