

令和 3 年 4 月 16 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05018

研究課題名（和文）LCA的アプローチによるハスクレイを利用したバイオ水素精製技術の検討

研究課題名（英文）A LCA approach of the bio-hydrogen refinery technology using HAS-Clay

研究代表者

堂脇 清志（DOWAKI, KIYOSHI）

東京理科大学・理工学部経営工学科・教授

研究者番号：50339115

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、バイオマスから間接ガス化方式によるバイオ水素（Bio-H₂）製造において、環境影響指標と吸着性能を考慮した評価を実施したものである。特に、環境に配慮した人工合成物（HAS-Clay）と同等の構成要素である天然素材（鹿沼土）及びを用い、吸着試験ならびに環境影響指標による評価を行った。その結果、脱硫性能に関して鹿沼土とHAS-Clayとの複合吸着機構について環境影響指標（気候変動及び金属資源枯渇）について検討した結果、従来のZnOに対して、気候変動に関しては、12.3%（対従来）、金属枯渇に関しては、99.9%（対従来）の削減が可能となることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バイオマスからのエネルギー利用については、これまで議論されているが、ライフサイクル工学の視点から、実験を踏まえた上での検証はそれほど多くない。本研究においては、バイオマス原料を熱分解ガス化して、合成ガスを精製し水素を製造することを行っており、特に、アプリケーション側で問題となる不純物除去について検討している。今回、HClやH₂Sの不純物除去について、環境軽減策、すなわち、吸着材自身の低環境性や再生利用可能性、さらに、実験結果に基づく動的モデルを使った吸着性能の把握及び環境影響による考察は、今後の実効性のある再生可能エネルギーの開発には不可欠といえよう。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focused on the production of bio-hydrogen (Bio-H₂) through the indirect gasification process from the view point of environmental impacts. In particular, the various adsorption tests on the refinery of hydrogen were conducted using in use of multiple components of Hydroxyl Aluminum Silicate Clay (HAS-Clay) and/or a natural material (Kanuma Clay). Based on the results, the combined adsorption mechanism of Kanuma Clay and HAS-Clay for desulfurization performance was examined, and environmental impacts of "global warming potential (GWP)" and "abiotic depletion potential (ADP)". It was found that this scheme can reduce GWP by 12.3% and ADP by 99.9% against those in a conventional Zinc Oxide (ZnO) case.

研究分野：エネルギー学

キーワード：バイオ水素 HAS-Clay 鹿沼土 不純物吸着 環境影響指標

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

当研究グループでは、これまで、バイオマス原料から間接ガス化熱分解プロセスによる水素 (Bio-H₂) 製造プロセスの実証化の研究開発を実施してきている。バイオマス原料からの Bio-H₂ 製造技術においては、バイオマス原料がカーボンニュートラルであるという特徴から、環境に大いに貢献することが期待されている。一方で、対象となるバイオマス原料には、当該プロセスから製造される燃料 (H₂) のアプリケーションとなる燃料電池 (FC) の性能に大きく影響する不純物が含まれ、その除去が必要となる。これらの除去技術については、さまざまな研究があるが、一方で、吸着性能と環境性に言及した事例は少ない。例えば、Young らの燃料電池の LCA では、温暖化以外の環境影響指標において、改質の部分の酸化金属により、金属資源枯渇指標に大きな影響が出ることを示している¹⁾。すなわち、このことは製造システム全体、あるいは、原料調達から利用 (不純物の影響も考慮する) に至るまでの評価が必要となろう。従って、これまであまり実施していない不純物除去に関して、運転条件の影響や吸着材の消費量の LCA を行い、その上で、燃料の環境性の評価を行う必要がある。特に、このような評価は、今後、欧州等で導入が予定されている環境フットプリントにおいても大きな意味を持つことになる。

2. 研究の目的

1. の背景に基づき、これまで、以下の成果を上げている。

まず、運用コストの低減並びに所内動力のための外部エネルギー投入量 (化石由来) ガス化後の合成ガスから Bio-H₂ を精製する 2 段階式圧力スウィング吸着技術 (2-step PSA) を開発した^{2),3)}。これは、1 段階目に酸化アルミニウムケイ酸塩 + 粘土 (HAS-Clay, Hydroxyl Aluminum Silicate Clay) を充填し CO₂ を吸着分離させ、2 段階目に Zeolite A-5 を充填し、H₂ 以外の成分を吸着分離させ純 H₂ を得るシステムであり、40°C 及び 0.4MPaG で運転することが可能である。この特徴により、所内動力の 3 割カットと分離・隔離された CO₂ の施設園芸での成長材として、他分野への利用可能であることを見出した。さらに、この開発した 2-step PSA は、1 段階目で CO₂ が吸着分離することにより、COS を発生の抑制と同時に、H₂S を吸着することも確認している^{4),5)}。この事実から、当該プラントによる Bio-H₂ 製造技術における不純物除去は、設備コストあるいは環境負荷低減の観点からも、低温及び低圧で、可能であれば 2-step PSA 内で行われることが有利であると判断されよう。また、この技術の実現は、補完的に化学吸着により酸化金属の消費低減も期待されるため、実用的な側面から、動的プロセス設計を実施する。以上から、本研究の特色として、

- (1) HAS-Clay による不純物の吸着性能システムを検討すること (本研究においては、同等の構成要素を持つ鹿沼土についても検討する。)
- (2) 燃料規格に合わせた化学吸着のための酸化金属使用量の評価 (含む実験) を行うこと
- (3) 実験データに基づいた低温及び低圧運転下におけるシステム設計及び動的シミュレーションにより運転性能を把握すること
- (4) Bio-H₂ 製造性能を LCA の環境影響指標により評価し、欧州等で導入されつつある環境フットプリントに貢献すること

が挙げられる。

以上の点を踏まえ、本研究では、Bio-H₂ の利用促進を目的に、不純物 (H₂S, NH₃, HCl 等) により FC の触媒の劣化や性能の低下を引き起こすことを防止する観点から、HAS-Clay (非晶質アルミニウムケイ酸塩と粘土の複合体) や HAS-Clay と同等の構成を持つアロフェンを多く含む天然素材の鹿沼土について、その吸着性能を検討した。また、これらの吸着性能を勘案した吸着シミュレーションによる検討を行い、さらに、LCA 的な解析を行った。

3. 研究の方法

(1) 不純物除去に関する検討

図 1 に示す実験装置を用いて、最初に吸着性能の確認を行う。特に、本研究では、HAS-Clay 及び鹿沼土を用い、Bio-H₂ 製造における環境影響の低減を考慮した不純物除去に焦点をあて、本研究では主に HCl と H₂S について検討を行った。

HCl 除去

まず、図 1(a) の実験装置により、HCl の吸着性能を検討した。本研究に用いた吸着材は、CaCO₃ (関東化学株式会社)、HAS-Clay (戸田工業株式会社) 及び鹿沼土 (株式会社大張) である。ここで、従来ケースとの比較においては、一般的に用いられる低コスト、かつ容易に用いることができる Ca ベースが候補となるため⁵⁾、CaCO₃ による吸着材を用いることとした。なお、この吸着材は、高温下 (600-800°C) で使用されるが、ここでは提案する吸着材の同温度の性能を検討するため、低温下での検討を行った。また、HAS-Clay とは、非晶質含水アルミニウムケイ酸塩 (SiO₂/Al₂O₃/H₂O) の一つであり、その成分は酸化ケイ素

(a) HCl removal test

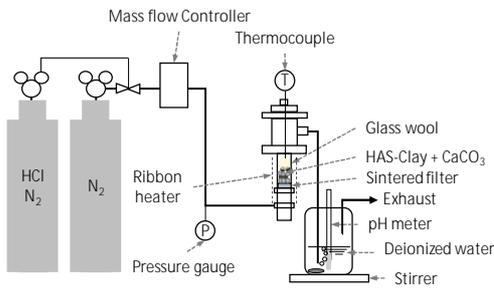
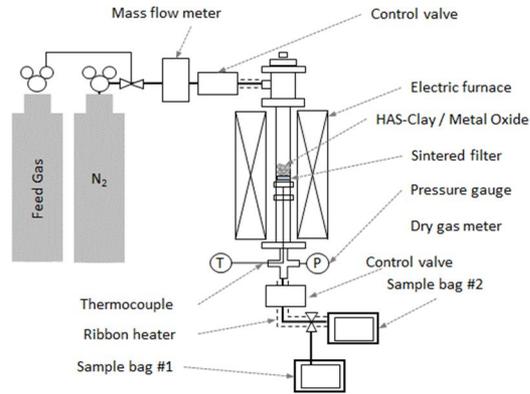
(b) H₂S removal test

図 1 吸着試験装置

(SiO₂), 酸化アルミニウム (Al₂O₃), 水 (H₂O) を 0.9:1:1 (モル比) で混合したものである。この HAS-Clay は H₂O や CO₂ 吸着試験では低温条件のもと物理吸着特性に優れた性能を示している⁶⁾。そのため、低温条件による物理吸着による吸着性能に期待できよう。また、本実験に用いた鹿沼土は、北関東ローム層の宝木ローム層に含まれる黄色軽石である。この鹿沼土の特徴には有機物を含まず、HAS-Clay と同様にアロフェンを多く含み、保水性が非常に良いという点がある。アロフェンとは、直径 3.5-5.0nm の中空球状の含水アルミニウムケイ酸塩であり、表面には多くの欠陥を有する中空粒子で、内部及び外部ともに両イオン交換性があり、比表面積も大きいために高い吸着能力をもつことが知られている⁷⁾。

実験操作については、窒素ガスを流通させ、リボンヒーターにより設定温度 (100°C, 150°C, 200°C) まで反応器を昇温させる。昇温後、窒素ガスより HCl ガス (1177ppmv, N₂ バランス) に切り替え、ほぼ常圧でマスフローコントローラにより 200mL/min となるように設定し流通させた。一方、ビーカーに希釈した水酸化ナトリウム水溶液 400mL (純水 398mL, 水酸化ナトリウム水溶液 2mL) を用意し、pH メーターにより pH の変化を測定した。なお、ビーカー内にはスターラーを用いることで、溶液濃度ができる限り均一になるようにした。実験終了後に窒素ガスに切り替え、実験装置のパージを行うと同時に、反応器を冷却させ室温まで下げた。

以上の操作のもと、吸着材の HCl 破過曲線について、0.5min ごとに HCl の出口濃度を調べ、30ppmv を超えたところを破過時間とした。この破過曲線により吸着材の吸着性能評価を次式により行うこととした。

$$Cl_{cap} = \frac{Fr \times Frac \times BT \times 1/22.4 \times 1/10 \times 35.45}{M_{sorbent}} \quad (1)$$

ここで、 Cl_{cap} [g-Cl/100g-sorbent]、 Fr [mL/min]、 $Frac$ [ppmv]、 BT [min]、22.4L/mol、35.45g/mol 及び $M_{sorbent}$ [g] はそれぞれ Cl 吸着量、流量、ブランクテストを考慮したときの HCl 濃度差 (ブランク時濃度 17ppmv)、破過時間、標準状態のモル体積、Cl の原子量、及び吸着材使用量である。

H₂S 除去

次に、図 1(a) の実験装置により鹿沼土による H₂S の吸着量の評価を行った。前処理として、Ar を流通させて吸着温度まで昇温し前処理をした後、反応器前段からサンプルガス 90mL/min を反応器へ供給し、反応器後段でガスバッグに回収した。このとき、反応器の圧力は常圧とした。また、回収したガスの H₂S 濃度はガスクロマトグラム (GC-2014, 島津製作所) で分析し、反応器入口濃度約 197ppmv に対し、出口 H₂S 濃度の検出限界は 0.05ppmv とした。

本研究では、鹿沼土の最適な H₂S 吸着温度を調べるために吸着温度を変化させて破過試験を行った。温度設定は、HAS-Clay の試験結果を踏まえ⁸⁾、40°C、80°C、120°C とした。また、鹿沼土の再生可能性を検討するために吸着、脱着のサイクルを複数回繰り返し、吸着量の変化を調べた。脱着は 1 時間真空引きを行い、常

表 1 サンプルガスの組成

組成	鹿沼土	HAS-Clay
H ₂	-	33.0%
CO	-	10.2%
CH ₄	57.7%	4.8%
N ₂	4.63%	-
H ₂ S	197ppmv	200ppmv
CO ₂	37.7%	12.0%
Ar	balance	balance

温まで降温した。なお、サンプルガスの組成は下水汚泥由来のバイオガスとし(表 1 参照)、また、破過曲線により吸着材の吸着性能評価を次式により行うこととした。

$$S_{cap} = \frac{Fr \times Frac \times BT \times 1/22.4 \times 32.07 \times 1/10}{M_{sorbent}} \quad (2)$$

ここで、 S_{cap} [g-S/100g-sorbent]、 Fr [mL/min]、 $Frac$ [ppmv]、 BT [min]、 22.4L/mol 、 32.07g/mol 及び $M_{sorbent}$ [g] はそれぞれ Cl 吸着量、流量、入口と出口の H_2S 濃度差、破過時間、標準状態のモル体積、S の原子量、及び吸着材使用量である。同様に、HAS-Clay の吸着試験については、この場合のサンプルガスの条件として、 H_2S はほぼ同じ濃度とし、熱分解ガス化後の合成ガスの組成を対象にした試験を行った(表 1 参照)。

各吸着材の LCA

本研究においては、HAS-Clay と鹿沼土について、吸着性能の環境性を検討するため、LCA 指標を作成した。なお、Ecoinvent v.3 データベース⁹⁾、文献調査¹⁰⁾、及び群馬県鹿沼鉱山の関係者への聞き取り調査により、材料入手および吸着剤製造時の材料投入量のライフサイクルインベントリ (LCI) を取得した。また、ライフサイクルモデルの構築には SimaPro v.8.3.0.0 を使用し環境影響指標を作成した。なお、繰り返し使用される生産設備などのインフラは、評価には含めないことに注意されたい。

4. 研究成果

最初に、HCl の吸着性能の結果を表 2 にまとめる。この結果から、HAS-Clay は 100°C においては鹿沼土より吸着性能が高いが、一方で、 200°C においては鹿沼土が比較的高い吸着結果となった。すなわち、HAS-Clay と鹿沼土は温度に対してトレードオフの関係になる。なお、従来から使用されている CaCO_3 については、低温領域では、吸着量が小さい。なお、SV 値は、 $4,113\text{ h}^{-1}$ (鹿沼土)、 $36,959\text{ h}^{-1}$ (鹿沼土)、 $4,628\text{ h}^{-1}$ (CaCO_3) である。

次に、 H_2S の吸着性能を表 3 及び 4 にまとめる。このときの SV 値は、 219.2 h^{-1} (HAS-Clay) と 234 h^{-1} (鹿沼土) である。なお、一般的に脱硫材で用いられる ZnO の脱硫性能は、吸着温度 300°C 、SV 値が $2,660\text{ h}^{-1}$ のとき、 $1.64\text{ g-S/100 g-ZnO}$ となり、鹿沼土も HAS-Clay もかなり小さい¹¹⁾。しかしながら、鹿沼土も HAS-Clay も HCl の吸着も期待できることが複合的な利用も可能であろう。また、HAS-Clay は、2-step PSA による CO_2 の吸着分離ができることから、同時に脱硫ができる可能性がある。なお、本研究においては、 H_2S に関して、鹿沼土の再生利用の可能性についても検討を行った(図 2 参照)。この結果、鹿沼土による再生は十分に可能であることが分かった。なお、鹿沼土の表面積は吸着試験後、吸着温度帯で 1 時間の真空脱気後の表面積を測定したが、吸着温度 40°C のときの吸着前表面積 $2.14 \times 10^2\text{ m}^2/\text{g}$ に対し、吸着後の表面積は $2.24 \times 10^2\text{ m}^2/\text{g}$ となり、また、吸着温度 80°C のときの吸着後表面積は $2.31 \times 10^2\text{ m}^2/\text{g}$ 、及び 120°C のときは $2.10 \times 10^2\text{ m}^2/\text{g}$ と大きな変化は見られなかった。なお、一部化学的な吸着もあることが想定されるが、一連のプロセスの中では複数回吸着できる可能性がある。

次に、本研究で検討した LCA 指標について述べる¹²⁾。なお、ここでは鹿沼土と HAS-Clay について、イ

表 2 HCl の吸着性能

温度 [$^\circ\text{C}$]	鹿沼土	HAS-Clay	CaCO_3
100	2.02	7.15	0.06
150	4.59	3.30	0.07
200	7.16	1.65	0.09

*単位 g-Cl/100g-sorbent

表 3 H_2S の吸着性能 (鹿沼土)

温度 [$^\circ\text{C}$]	鹿沼土
40	9.67×10^{-4}
80	3.89×10^{-3}
120	1.65×10^{-2}

*単位 g-S/100g-sorbent

表 4 H_2S の吸着性能 (HAS-Clay)

温度 [$^\circ\text{C}$]	HAS-Clay
30	3.85×10^{-2}
60	1.03×10^{-1}
90	7.38×10^{-2}

*単位 g-S/100g-sorbent

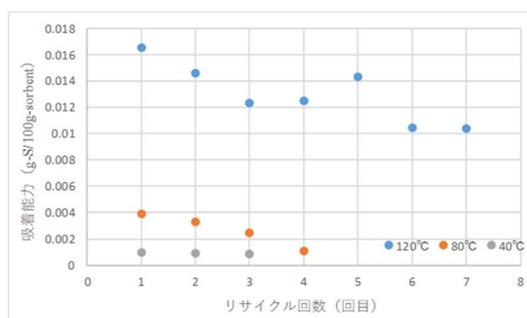


図 2 鹿沼土の再生回数と吸着能力の変化

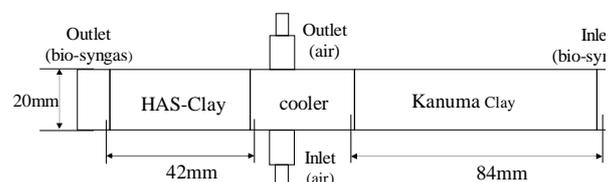
ンベントリーデータより環境影響指標（18 カテゴリー）について結果を示す（表5参照）。

表5 鹿沼土・HAS-Clayの環境影響指標

環境影響指標項目	鹿沼土	Has-Clay	単位
Climate change	0.004	17.142	kg CO ₂ eq
Ozone depletion	<0.001	<0.001	kg CFC-11 eq
Terrestrial acidification	<0.001	0.092	kg SO ₂ eq
Freshwater eutrophication	<0.001	0.001	kg P eq
Marine eutrophication	<0.001	0.001	kg N eq
Human toxicity	<0.001	0.989	kg 1,4-DB eq
Photochemical oxidant formation	<0.001	0.040	kg NMVOC
Particulate matter formation	<0.001	0.030	kg PM ₁₀ eq
Terrestrial ecotoxicity	<0.001	0.001	kg 1,4 DB eq
Freshwater ecotoxicity	<0.001	0.006	kg 1,4 DB eq
Marine ecotoxicity	<0.001	0.007	kg 1,4 DB eq
Ionizing radiation	0.002	0.222	kBq U235 eq
Agricultural land occupation	<0.001	0.174	m ² a
Urban land occupation	<0.001	0.103	m ² a
Natural land transformation	<0.001	<0.001	m ²
Water depletion	<0.001	0.380	m ³
Metal depletion	<0.001	0.150	kg Fe eq
Fossil depletion	0.009	3.999	kg oil eq

最後に、H₂Sに関して動的な吸着モデルを検討し、環境影響指標により環境性（例として、気候変動及び金属資源枯渇性について検討する。）について、従来使用される吸着材をZnOとして比較検討を行った。なお、HAS-Clayは吸着能力が高いが環境性が悪く、一方で、鹿沼土は、吸着能力が低いが環境性に優れるため、複合反応器を想定した（図3参照）。なお、吸着入口温度は120°Cとし、前段に鹿沼土を設置し、後段に熱交換を挟んでHAS-Clay（吸着温度60°C）を設置した。また、鹿沼土とHAS-Clayの充填量はそれぞれ16.85g、6.98gとし、SV値はそれぞれ150h⁻¹、300h⁻¹とした。この結果、脱硫性能は2.73×10⁻²g-S/100g-sorbentとなった。さらに、この結果から、LCAベースによる環境評価結果においては、気候変動に関しては、12.3%（対従来）、金属枯渇に関しては、99.9%（対従来）の削減が可能となることが示唆された。

(a) 脱硫器形状



(b) 吸着温度分布（シミュレーション結果）

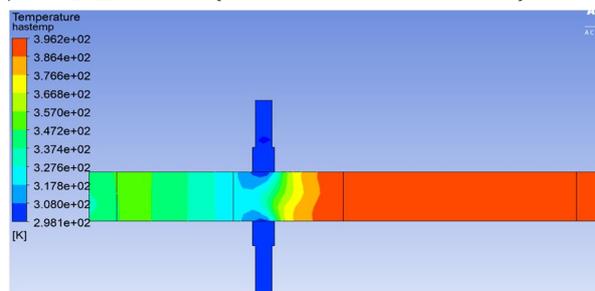


図3 鹿沼土・HAS-Clay 複合吸着による性能

<引用文献>

- 1) Young D. L. et al. *Energy*, **79**, 1, pp. 455-466, 2015
- 2) K. Dowaki et al., *J. Inst. Energy*, **95**, 8, pp. 615-620, 2016
- 3) 堂脇 清志ら, 国際特許出願, JP2013/070300, 2013
- 4) 大久保 壘ら, *エネルギー資源学会*, **34**, 6, pp. 1-9, 2013
- 5) Chyang, C. S. et al. *Energy & Fuels*, **23**, 8, 3948-3953, 2009
- 6) Dowaki K et al. *J. Jpn. Inst. Energy* **95**, 8, 615-620, 2016
- 7) 宮田昌幸ら他3名. 日本地質学会第118年学術大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会（水戸大会）, R-25-O-9, 2011
- 8) S. Kuroda et al., *Int. J. Hydrogen Energy*, **43**, 34, pp.16573-16588, 2018
- 9) Frischknecht, R. et al., *J Clean. Prod.* **13**, pp.1337-1343, 2005
- 10) Suzuki, M. et al., *Trans. JSRAE*, **29**, 89-96, 2012
- 11) Novochinskii, I. I. et al., *Energy & Fuels*, **18**, 2, pp.576-583, 2004
- 12) Yuna Seo et al., *Resources*, **8**, 1, 52 (11 pages), 2019

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Hiromu Sugihara, Mitsuo Kameyama and Kiyoshi Dowaki	4. 巻 460
2. 論文標題 An LCA and energy analysis of a biomass integrated-pyrolysis gasification/SOFC system with H ₂ S removal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science	6. 最初と最後の頁 12013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1755-1315/460/1/012013	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 Seiya KAKO, Masaya SUZUKI, Mitsuo KAMEYAMA, Yin LONG, Kiyoshi DOWAKI	4. 巻 99
2. 論文標題 Ammonia Adsorption Properties of Natural Soil Adsorbent for Biohydrogen Purification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Institute of Energy	6. 最初と最後の頁 136-142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3775/jie.99.136	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 Haruka NAKAYAMA, Mitsuo KAMEYAMA, Yin LONG, Kiyoshi DOWAKI	4. 巻 99
2. 論文標題 An Environmental Analysis of Bio-H ₂ Production Introducing the 2-step PSA and Waste Heat Recovery	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Institute of Energy	6. 最初と最後の頁 129-135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3775/jie.99.129	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 Ryohei Hayami, Masahiro Ohashi, Haruka Suzuki, Yohei Sato, Ibuki Saito, Satoru Tsukada, Kazuki Yamamoto, Kiyoshi Dowaki & Takahiro Gunji	4. 巻 Published online
2. 論文標題 Preparation, characterization, and desulfurization ability of bulk porous silica-supported ZnO	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Sol-Gel Science and Technology	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) 10.1007/s10971-020-05259-2	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 Hara, Daisuke; Misaki, Chiharu; Sugihara, Hiromu; Kako, Seiya; Katayama, Noboru; Dowaki, Kiyoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Exergy and Environmental Analysis of a Bio-Hydrogen Supply Chain Using Data Envelope Analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of EcoDesign 2019 International Symposium	6. 最初と最後の頁 844-851
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 山手駿, 三崎千春, 原大介, 龍吟, 堂脇清志	4. 巻 -
2. 論文標題 水素吸蔵合金を用いたバイオ水素エネルギー密度の評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第15回バイオマス科学会議発表論文集	6. 最初と最後の頁 pp.121-122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 近藤 頌大, 永石 平, 堂脇 清志	4. 巻 97
2. 論文標題 2-step PSA導入したBio-H ₂ 製造プロセスに対するエクセルギー解析及び環境影響評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本エネルギー学会誌	6. 最初と最後の頁 77-87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3775/jie.97.77	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 Kiyoshi DOWAKI, Shohei KURODA, Hidetoshi SARUYA, Noboru KATAYAMA, Yuna SEO, Tomoyuki ISHIYAMA, Kiyofumi SATO, Mitsuo KAMEYAMA	4. 巻 97
2. 論文標題 A LCA on the H ₂ S and HCl Removal Procedures Using in HAS-Clays	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本エネルギー学会誌	6. 最初と最後の頁 160-170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3775/jie.97.160	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 Shohei Kuroda, Taira Nagaishi, Mitsuo Kameyama, Kenji Koido, Yuna Seo, Kiyoshi Dowaki	4. 巻 43
2. 論文標題 Hydroxyl aluminium silicate clay for biohydrogen purification by pressure swing adsorption: Physical properties, adsorption isotherm, multicomponent breakthrough curve modelling, and cycle simulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 16573-16588
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2018.07.065	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 Yuna Seo, Masaya Suzuki, Tetsuichi Takagi and Kiyoshi Dowaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Life-Cycle Assessment of Adsorbents for Biohydrogen Production	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Resources	6. 最初と最後の頁 52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/resources8010052	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 Shohei Kuroda, Tomoyuki Ishiyama, Shota Kondo, Mitsuo Kameyama, Yuna Seo, and Kiyoshi Dowaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Life Cycle Assessment-Directed Optimization of Hydrogen Sulfide Removal During Biomass-Derived Hydrogen Production	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Technologies and Eco-innovation towards Sustainability II	6. 最初と最後の頁 101-118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-13-1196-3_9	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 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Hiromu Sugihara and Kiyoshi Dowaki
2. 発表標題 A system analysis of the biomass integrated gasification solid oxide fuel cell
3. 学会等名 The International Conference of Biomass and Bioenergy 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kento Torii, Haruka Nakayama, Seiya Kako and Kiyoshi Dowaki
2. 発表標題 A transient analysis and LCA analysis of impurity adsorption using Kanuma clay and HAS-Clay in a Bio-H ₂ production system
3. 学会等名 The International Conference of Biomass and Bioenergy 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Seiya Kako, Masaya Suzuki, Mitsuo Kameyama and Kiyoshi Dowaki
2. 発表標題 Environmental performances on the adsorbents of HAS-Clay, Kanuma-Clay and coffee residue for Bio-H ₂ purification
3. 学会等名 The International Conference of Biomass and Bioenergy 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Haruka Nakayama, Mitsuo Kameyama, Hisashi Kamiuchi and Kiyoshi Dowaki
2. 発表標題 A Thermodynamic analysis of hydrogen production through indirect biomass gasification
3. 学会等名 The 9th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kiyoshi DOWAKI
2. 発表標題 A proposal of Bio-H ₂ pathways through the position of "Technology Assessment"
3. 学会等名 The 9th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Eiki Takemura, Mitsuo Kameyama, Hisashi Kamiuchi and Kiyoshi Dowaki
2. 発表標題 n optimal control of the pyrolysis gasification process in consideration of thermal conductivity of heat carriers
3. 学会等名 The International Conference of Biomass and Bioenergy 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiromu Sugihara, Mitsuo Kameyama and Kiyoshi Dowaki
2. 発表標題 A LCA and energy analysis on the biomass integrated-pyrolysis gasification/SOFC system considering H2S removal
3. 学会等名 The International Conference of Biomass and Bioenergy 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shun YAMATE, Chiharu MISAKI, Yoshiki FUJIWARA, Shogo KATO, Noboru KATAYAMA, Mitsuo KAMEYAMA, Kiyoshi DOWAKI
2. 発表標題 Discussions on the hydrogen flow rate from the storage tank of metal hydride by a simulation model and experimental data
3. 学会等名 2019 Fuel Cell Seminar & Energy Exposition (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seigo Torii, Akashi Eguchi, Chiharu Misaki, Noboru Katayama, Kiyoshi Dowaki, Mitsuo Kameyama
2. 発表標題 Numerical Model and Evaluation of Metal Hydride When Absorbing Hydrogen with Impurity
3. 学会等名 2019 Fuel Cell Seminar & Energy Exposition (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hara, Daisuke; Misaki, Chiharu; Sugihara, Hiromu; Kako, Seiya; Katayama, Noboru; Dowaki, Kiyoshi
2. 発表標題 Exergy and Environmental Analysis of a Bio-Hydrogen Supply Chain Using Data Envelope Analysis
3. 学会等名 EcoDesign 2019 International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Haruka Nakayama, Mitsuo Kameyama, Yin Long, Kiyoshi Dowaki
2. 発表標題 An environmental analysis of Bio-H ₂ production introducing the 2-step PSA and waste heat recovery
3. 学会等名 7th Asian Conference on Biomass Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiromu Sugihara, Mitsuo Kameyama, Yin Long, Kiyoshi Dowaki
2. 発表標題 A system analysis of the integrated gasification SOFC system using bio-syngas
3. 学会等名 7th Asian Conference on Biomass Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiya Kako, Masaya Suzuki, Mitsuo Kameyama, Yin Long, Kiyoshi Dowaki
2. 発表標題 Discussion of environmental performance on a natural soil sorbent for Bio-H ₂ purification
3. 学会等名 7th Asian Conference on Biomass Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山手駿, 三崎千春, 原大介, 龍吟, 堂脇清志
2. 発表標題 水素吸蔵合金を用いたバイオ水素エネルギー密度の評価
3. 学会等名 第15回バイオマス科学会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Eiki TAKEMURA, Mitsuo KAMEYAMA, Hisashi KAMIUCHI, Yuna SEO, Kiyoshi DOWAKI
2. 発表標題 An Exergy Analysis of Hydrogen Production Process in Consideration of LCA
3. 学会等名 6th Asian Conference on Biomass Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidetoshi Saruya, Yuna Seo, Mitsuo Kameyama, Masaya Suzuki, Kiyoshi Dowaki
2. 発表標題 Performance tests of HCl removal at low temperature in use of mixed adsorbents(CaCO3/HAS-Clay or CaCO3/Clay)
3. 学会等名 The 7th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shota Kondo, Yuna Seo, Mitsuo Kameyama, Masaya Suzuki, Kiyoshi Dowaki
2. 発表標題 Removal of impurities contained in syngas derived from biomass
3. 学会等名 The 7th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加古晴也, 徐維那, 堂脇清志, 亀山光男
2. 発表標題 家庭における下水汚泥からの水素精製までのシステムの設計及び提案
3. 学会等名 第14回バイオマス科学会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 猿谷豪都志, 徐維那, 堂脇清志, 亀山光男, 鈴木正哉
2. 発表標題 バイオ水素精製における低温脱塩剤を考慮した環境影響評価
3. 学会等名 第14回バイオマス科学会議
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Daisuke Hara, Chiharu Misaki, Hiromu Sugihara, Seiya Kako, Noboru Katayama, and Kiyoshi Dowaki	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 16
3. 書名 EcoDesign and Sustainability II (Chapter 35)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	徐 維那 (SEO YUNA) (10598767)	東京理科大学・理工学部経営工学科・助教 (32660)	削除：2019年2月26日

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------