

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24246149

研究課題名(和文)低炭素社会を目指したエネルギーフロンティア

研究課題名(英文)Energy Frontier Aimed at Low-Carbon Societies

研究代表者

平島 剛(Hirajima, Tsuyoshi)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00175556

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,800,000円

研究成果の概要(和文)：インドネシアでは、地表面に廃バイオマス、泥炭、褐炭が多く賦存し火災に伴うCO₂の発生源ともなっている。本研究では、高水分未利用低品位炭と廃バイオマスの改質処理温度を多段に調節し水熱処理することによりフルフラール、HMF、カテコール等の液体化学原料、高カロリー一般炭をまたその後の処理により、コークス用原料炭、スラリー燃料、活性炭等を製造、さらにカテコール含有改質液体を利用し、石炭採掘の際に特に問題となっている酸性鉱山廃水抑制を行い、未利用炭素資源の有効利用とともに酸性鉱山廃水抑制等の研究を行った。その結果、固体産物及び液体産物それぞれの製造とそれらの有効利用等に関する有用な知見を得た。

研究成果の概要(英文)：In Indonesia, peat, lignite and waste biomass abundantly exist near the surface, which become outbreak sources of CO₂ emission associated with spontaneous combustion. In this research, production of chemicals such as furfural, MHF, catechol, from unused low rank coal and waste biomass using the temperature-programmed single- or multi-stage hydrothermal treatment was conducted. This includes the use of coking coal, slurry fuel, and active carbon with the subsequent treatments after hydrothermal treatment. Inhibition of environmental problems caused by acid mine drainage from coal mining using catechol containing liquid products was also investigated. As a result, effective utilization methods of both solid and liquid products from those unused resources were proposed.

研究分野：資源処理工学

キーワード：バイオマス 低品位炭 低石炭化度炭 水熱処理 改質液 改質

1. 研究開始当初の背景

インドネシアには褐炭、PEAT(泥炭)、バイオマスなどの低品質エネルギー資源が大量に存在しているが、高い含有水分のため、現時点では効率的には利用されていない。これらは、空気酸化により自然発火しやすいため山元での利用に限られていること、低品質のためコークス原料等の高付加価値産物として利用できないこと、採炭後の酸性鉱山廃水の発生などの問題が生じている。申請者らは、未利用低品位炭及びバイオマスは、水熱処理により改質・脱水、高カロリー燃料化が可能であることを、回分式および連続式水熱処理試験で明らかにしてきている。この改質研究の結果、自然界では数千万年から数億年かかる石炭化過程を水熱処理では図1のよ

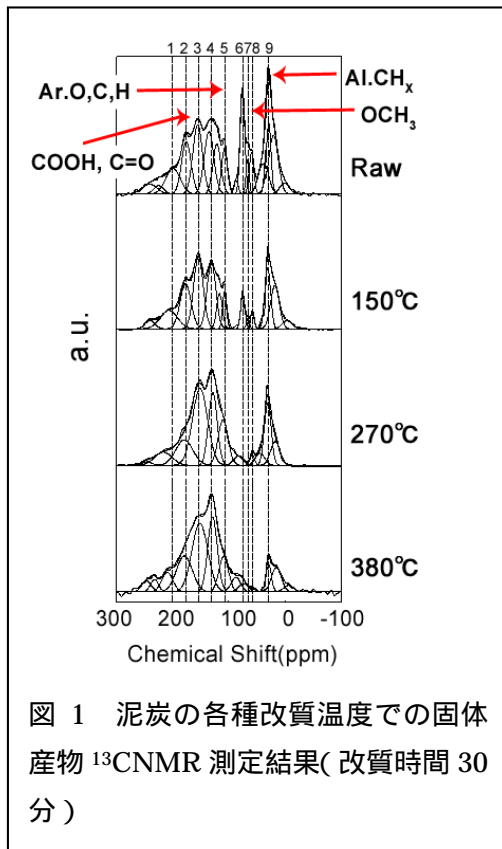


図1 泥炭の各種改質温度での固体産物 ¹³C NMR 測定結果(改質時間 30 分)

うに 30 分程度で終了でき、石炭の性質は主に改質温度と処理時間を変えることにより制御可能であることを明らかにしてきている。種々の改質条件とその後の処理条件により高カロリー炭ばかりではなく、コークス用原料炭、活性炭や超低灰分高カロリースラリー燃料の製造、改質液からの高付加価値成分の回収、改質液を用いた環境修復等への利用等、改質産物の高付加価値化が可能となると考えられる。

インドネシアでは、地表面にバイオマス、泥炭、褐炭が多く賦存するため焼き畑や自然発火のため、頻繁に火災が起っており、1997 の火災ではインドネシアの二酸化炭素排出量は世界の二酸化炭素排出量の 13-40% にもなった(S.E. Pageら, Nature 420 (2002)

61-65.) と報告されている。これらの地帯を開発前の湿地に戻すことも提案はされているものの、インドネシア政府としては、環境に調和した資源の有効利用を行うとともに環境修復を行っていく方針である。

本研究では、これら高水分で低品質な炭化水素資源を乾燥することなく水熱処理により、改質、脱水し、高付加価値産物(コークス用原料炭、高カロリー炭、化学薬品など)を製造しようというもので、採炭後は湿地に戻すことで、環境に調和した資源の有効利用を行うとともに環境修復を行う技術として貢献できる。

2. 研究の目的

本研究では、高水分未利用低品位炭と廃バイオマスの改質処理温度を多段に調節し水熱処理することによりフルフラール、HMF、カテコール等の液体化学原料、高カロリー一般炭、コークス用原料炭、超低灰分スラリー燃料、活性炭等を製造する。また、カテコール含有改質液体を利用し、石炭採掘の際に特に問題となっている酸性鉱山廃水抑制を行い、未利用炭素資源の有効利用とともに酸性鉱山廃水抑制等を行う。

3. 研究の方法

バイオマスとしてパーム椰子廃棄物、アカシアマンギウム、竹、ココナッツシェル、バガスなどを、低品位炭として褐炭(オーストラリア炭 1 種類、中国炭 1 種類、インドネシア炭 4 種類)、泥炭(日本 1 種類、インドネシア 2 種類)を用いた。

改質実験には、小型水熱処理装置容量 15 ml、500ml の 2 種類を用い、反応温度 50 から 380 で行った。

改質産物(固体、液体、気体)については、各種分析を行った後、産物の有効利用に関する実験を行った。

4. 研究成果

各種バイオマス、低品位炭の単独試料についての改質実験と、一部バイオマスと褐炭の混合試料について改質実験を行い、液体産物、固体産物、ガス産物の各種分析を詳細に行い、水熱処理過程で起こる種々の反応を実験的に求めることができた。例えば、炭化水素の分解には温度依存性があり、処理温度を制御することによりバイオマスから改質液中に溶解するケミカルを選択的に抽出することが可能であった。また、石炭によっては大量のアモルファスなシリケートが含まれていることがあり、酸処理により灰中のシリケート質の割合が相対的に下がり、改質固体産物のガス化性を改善できた。得られた固体産物を用いてゼータ電位測定、凝集分散性試験などのスラリー化試験、コークス化試験を行い、改質条件によりスラリー化性およびコークス化性が変化し、最適な改質条件が存在する

ことを明らかにした。石炭・バイオマス混合系水熱処理では、水熱産物の炭素量、発熱量に混合比の影響はあまり見られなかった。一方で、バイオマスの比率を上げていくと、揮発分は増加し、灰分は低下する傾向を示し、改質液のTOCとガス産物量も増加した。従って、比率を変化させることで改質炭の反応性を調整でき、バイオマスを混合することで高灰分炭の灰分を下げるができる。水熱処理により有機物は分解され一部はガスとして回収される。主なガス成分はCO₂、O₂、H₂であった。石炭に比べバイオマスは反応性が高いため、ガス産物の回収量も多い。また、アルカリを添加した系では、生成したCO₂が炭酸塩鉱物を形成することにより、水素リッチなガス産物が回収できることが分かった。さらに、バイオマス、泥炭、褐炭の水熱処理条件とカテコール生成条件との関係を実験的に示すとともに、カテコール含有改質液を用い、酸性鉱山廃水の抑制を目的とした黄鉄鉱の回分浸出予備試験を行い、適切な表面処理により黄鉄鉱浸出を抑制できることを確認するとともに改善すべき点を明らかにした。高強度中空セラミックス生成条件について検討を行い、含有鉱物成分、灰分含有量、燃焼温度に影響を受けることを確認した。また、高強度中空セラミックス回収には遠心式風力選別機が適していることを実験的に明らかにし、回収率を安定化するための制御システムを新たに構築した。

水熱処理により、褐炭、ピート(泥炭)、バイオマスなどの低品質エネルギー資源からクリーンな高密度エネルギーおよび高付加価値燃料を経済的に回収するためには、改質液からの有価物回収、改質液の有効利用、その後の廃水処理が極めて重要となる。

ココナッツシェルを水熱処理後に炭化処理し、炭化処理後の比表面積、平均細孔分布、ケミカル吸着能などと、水熱処理後の固体産物中のヘミセルロース、セルロース、リグニン残存量との関係を調べた結果、両者には密接な関係があり、適切な水熱処理温度があることが分かった。

カテコール-ケイ酸イオン錯体により処理した黄鉄鉱表面には、FTIR、SEM-EDX、電気化学実験、レーザマイクロスコブなどにより、シリカ含有生成物が表面を覆っていることを確認した。改質条件を適切に設定すると、改質液体中に多くのカテコールが生成する。Si-カテコール錯体を用いたキャリアマイクロエンカプセレーション(CME)による酸性鉱山汚濁水抑制の有効性については、既に他の研究者らによって報告されている。本研究では、Si-改質液を用いて酸性鉱山廃水抑制について研究し、Si-カテコール(試薬)と比較し、Si-改質液(同濃度のカテコールを含む)がより効果的に働くことを確認した。また、電気化学的手法により表面被覆状態の最適条件を決定できることを明らかにした。さらに、硫化鉱物浮選等での抑制効果に

ついて検討し、各種鉱物に対する抑制剤としての効果を確認した。

高付加価値物質であるバイオマス改質液中のフルフラールを選択的に回収することを目的として、水熱処理によって得られた固体残渣由来の炭化物によって吸着分離試験を行い、適切な水熱処理改質後、炭化することにより、フルフラールの選択的吸着能が高まることが分かった。

プラズマ改質活性炭を用いた固体-液体-気体の3相流動層反応器を用いたフェノール除去法(PT-AC-Fbr法)の有効性について検討し、活性炭吸着法、オゾン酸化法、活性炭を用いた3相流動層反応器を用いた処理法に比べ、PT-AC-Fbr法は高いフェノール除去性能を示すことを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計34件)

- (1) Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Satoshi KUMAGAI, Keiko SASAKI, Hydrothermal Treatment of Lignite for CO₂ Gasification, Journal of MMIJ, 査読有, Vol.131, No.5, 2015, pp.219-225
- (2) Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Upgrading and CO₂ Gasification of Low Quality Carbonaceous Materials, Journal of the Japan Institute of Energy, 査読有, Vol.94, No.5, p. 460-467 (2015)
- (3) Xiangchun LIU, Tsuyoshi HIRAJIMA, Moriyasu NONAKA, Anggoro Tri MURSITO, Keiko SASAKI, Use of FT-IR Combined with Forms of Water to Study of the Changes in Hydrogen Bonds During Low-temperature Heating of Lignite, Drying Technology, 査読有, 2015, In Press
- (4) Widi ASTUTI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Naoko OKIBE, Kinetics of Nickel Extraction from Indonesian Saprolitic Ores by Citric Acid Leaching under Atmospheric Pressure, Minerals and Metallurgical Processing, 査読有, Vol.32, No. 3, 2015, In Press
- (5) 平島剛, 微粒子選別技術とその応用, ケミカルエンジニアリング, 査読無, Vol.59, No.1, 2014, pp.1-8
- (6) Widi ASTUTI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Naoko OKIBE, Effect of Leaching Reagent on the Atmospheric Dissolution of Indonesian Saprolitic Ore, International Symposium on Earth Science and Technology(CINEST2014), 査読無,

- 2014, pp.112-113
- (7) Mutia Dewi YUNIATI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Silica Covering Layer on the Chalcopyrite Surface: Electrochemical Behaviors and Depression Effect on Copper-Molybdenum Flotation, International Symposium on Earth Science and Technology(CINEST2014), 査読無, 2014, pp.108-111
- (8) Hajime MIKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Mutia Dewi YUNIATI, Keiko SASAKI, Suppression of Pyrite and Arsenopyrite Oxidation by Silica Coating: Electrochemical Aspects and the Mechanism, XXVII International Mineral Processing Congress (IMPC 2014), 査読有, Chapter12-12, 2014, pp.101-110
- (9) Tsuyoshi HIRAJIMA, Masanori Mori, Osamu Ichikawa, Keiko Sasaki, Hajime Miki, Mohsen Farahat, Mitsuru Sawada, Selective Flotation of Chalcopyrite and Molybdenite with Plasma Pre-treatment, Minerals Engineering, 査読有, Vol.66-68, 2014, pp.102-111
- (10) Hisaya TSUJI, Pilasinee LIMSUWAN, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Hajime MIKI, Satoshi KUMAGAI, Recovery of Furfural Produced by Hydrothermal Treatment with Biomass Charcoal, International Journal of Environment, 査読有, Vol.4, No.1, 2014, pp.11-17
- (11) 熊谷聡, Limsuwan Pilasinee, 野中壯泰, 平島剛, ココナッツシエルの水熱処理により生成したフルフラールの分離, 木質炭化学会誌 (Wood Carbonization Research), 査読有, Vol.10, 2, 2014, pp.87-93
- (12) Dewi Agustina IRYANI, Satoshi KUMAGAI, Moriyasu NONAKA, Yoshinobu NAGASHIMA, Keiko SASAKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, The Hot Compressed Water Treatment of Solid Waste Material from the Sugar Industry for Valuable Chemical Production, International Journal of Green Energy, 査読有, Vol.11, Issue 6, 2014, pp.577-588
- (13) Mutia Dewi YUNIATI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Electrochemical Study of Silicate Coating on Sulphide Minerals Oxidation Suppression, International Symposium on Earth Science and Technology(CINEST2013), 査読無, 2013, pp.193-196
- (14) Widi ASTUTI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Naoko OKIBE, Leaching Behavior of Nickel from Indonesian Nickel Laterite Ores by Atmospheric Acid Leaching Using Citric Acid, International Symposium on Earth Science and Technology (CINEST 2013), 査読無, 2013, pp.202-205
- (15) Hajime MIKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Mutia Dewi YUNIATI, Keiko SASAKI, Study of Silicate Coating on Pyrite Oxidation Suppression: Fundamental Mechanism and Kinetic Analysis, International Symposium on Earth Science and Technology(CINEST2013), 査読無, 2013, pp.189-192
- (16) Hajime MIKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Mutia Dewi YUNIATI, Keiko SASAKI, Suppression of Pyrite Oxidation by Silicate Coating with Catechol Complex Oxidation Kinetics Estimation with Electrochemistry, Proceedings of the 12th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology (EARTH2013), 査読有, 2013, pp.601-604
- (17) Hisaya TSUJI, Satoshi KUMAGAI, Pilasinee LIMSUWAN, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Hajime MIKI, Hydrothermal Treatment of Coconut Shell and Recovery of Furfural, International Conference on Green Energy and Technology, 査読有, 2013, pp.172-175
- (18) Himawan Tri Bayu Murti PETRUS, Tsuyoshi HIRAJIMA, Yuji OOSAKO, Moriyasu NONAKA, Keiko SASAKI, Takashi ANDO, Sustainable Recovery of Cenospheres from Coal Fly Ash Using Dry Separation Processes, Proceedings of The 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Materials Engineering & The 5th Regional Conference on Natural Resources and Materials, 査読無, 2013, pp.94-95
- (19) Aska MORI, Mutia Dewi YUNIATI, Anggoro Tri MURSITO, Shinji KUDO, Koyo NORINAGA, Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hyun-Seok KIM, Jun-ichiro HAYASHI, Preparation of Coke from Indonesian Lignites by a Sequence of Hydrothermal Treatment, Hot Briquetting, and Carbonization, Energy & Fuels, 査読有, Vol.27, Issue 11, 2013, pp.6607-6616
- (20) Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Gravity Separation and Its Effect on CO2 Gasification, Fuel, 査読有, Vol.103,

- 2013, pp.37-41
- (21) Dewi Agustina IRYANI, Satoshi KUMAGAI, Moriyasu NONAKA, Keiko SASAKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Production of 5-hydroxymethyl Furfural from Sugarcane Bagasse Under Hot Compressed Water, *Procedia Earth and Planetary Science*, 査読有, Vol.6, 2012, pp.441-447
- (22) Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Satoshi KUMAGAI, Keiko SASAKI, Upgrading and Drying of Lignite by Super- and Sub- Critical Fluids, *International Symposium on Earth Science and Technology (CINEST2012)*, 査読無, 2012, pp.41-44
- (23) Tsuyoshi HIRAJIMA, Upgrading of Low Rank Coal and Biomass Aimed at Reducing Environmental Load, *International Symposium on Earth Science and Technology(CINEST2012)*, 査読無, 2012, pp.7-10
- (24) Pilasinee LIMSUWAN, Satoshi KUMAGAI, Moriyasu NONAKA, Keiko SASAKI, Wiwut TANTHAPANICHAKOON, Tsuyoshi HIRAJIMA, Application of Plasma Treated Activated Carbon to Enhancement of Phenol Removal by Ozonation in Three-Phase Fluidized Bed Reactor, *Advanced Materials Research Journal*, 査読有, Vol.701, 2012, pp.305-309
- (25) Dewi Agustina IRYANI, Satoshi KUMAGAI, Moriyasu NONAKA, Yoshinobu NAGASHIMA, Keiko SASAKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hot Compressed Water Treatment of Solid Waste Material from the Sugar Industry for Valuable Chemical Production, *International Journal of Green Energy*, 査読有, Vol. 11, Issue 6, 2012, pp.577-588
- 〔学会発表〕(計 47 件)
- (1) Mutia Dewi YUNIATI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Silica Covering Layer on the Chalcopyrite Surface: Electrochemical Behaviors and Depression Effect on Copper-Molybdenum Flotation, *International Symposium on Earth Science and Technology (CINEST 2014)*, Dec. 2014, Fukuoka, Japan
- (2) Hajime MIKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Mutia Dewi YUNIATI, Keiko SASAKI, Suppression of Pyrite and Arsenopyrite Oxidation by Silica Coating: Electrochemical aspects and the mechanism, XXVII International Mineral Processing Congress (IMPC 2014), Oct. 2014, Santiago, Chile
- (3) Yuniati Mutia Dewi, 平島剛, 三木一, 笹木圭子, シリカコーティングによる黄鉄鉱の酸化抑制の検証に関する電気化学インピーダンス法の有用性, 平成 26 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, Sep. 2014, 熊本
- (4) 野中壯泰, 平島剛, 笹木圭子, 水熱処理による低品位炭の改質およびガス化性改善, 平成 26 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, Sep. 2014, 熊本
- (5) 野中壯泰, 平島剛, 笹木圭子, 前処理による褐炭のガス化性改善, 一般社団法人資源・素材学会 平成 26 年度春季大会, Mar. 2014, 東京
- (6) Mutia Dewi YUNIATI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, シリカコーティングによる硫化鉄の酸化挙動, 一般社団法人資源・素材学会 平成 26 年度春季大会, Mar. 2014, 東京
- (7) Mutia Dewi YUNIATI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Hajime MIKI, Keiko SASAKI, Electrochemical Study of Silicate Coating on Sulphide Minerals Oxidation Suppression, *International Symposium on Earth Science and Technology(CINEST 2013)*, Dec. 2013, Fukuoka, Japan
- (8) Hajime MIKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Mutia Dewi YUNIATI, Keiko SASAKI, Suppression of Pyrite Oxidation by Silicate Coating with Catechol Complex Oxidation Kinetics Estimation with Electrochemistry, *The 12th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology (EARTH2013)*, Nov. 2013, Zhangjiajie, China
- (9) 平島剛, 微粒子選別技術とその応用, 平成 25 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, Sep. 2013, 札幌
- (10) 野中壯泰, 平島剛, 笹木圭子, 低品位炭の前処理による性状変化, 平成 25 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会, Sep. 2013, 札幌
- (11) Hisaya TSUJI, Satoshi KUMAGAI, Pilasinee LIMSUWAN, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Hajime MIKI, Hydrothermal Treatment of Coconut Shell and Recovery of Furfural, *International Conference on Green Energy and Technology (ICGET)*, Aug. 2013, Fukuoka, Japan
- (12) 野中壯泰, 平島剛, 笹木圭子, 高水分褐炭の改質に伴う性状変化, 資源・素材学会春季大会, Mar. 2013, 千葉
- (13) 辻久也, 熊谷聡, 笹木圭子, 平島剛, コ

- コナツシエルの水熱処理により生成したフルフラールの炭化物による分離, 資源・素材学会春季大会, Mar. 2013, 千葉
- (14) 熊谷聡, 辻久也, 坂本元, 野中壯泰, 平島剛, コナツシエルの水熱処理と反応生成物の分離, 第8回バイオマス科学会議, Jan. 2013, 広島
- (15) Dewi Agustina IRYANI, Satoshi KUMAGAI, Moriyasu NONAKA, Keiko SASAKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Effect of Hot Compressed Water Treatment on Structural Changes of Sugarcane Bagasse and Its Combustion Performance, The 9th International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences, Nov. 2012, 福岡, Japan
- (16) Satoshi KUMAGAI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Sho EGASHIRA, Nobuyuki HAYASHI, Enzymatic Saccharification of Cellulose in Kenaf Core Combined with Hot-Compressed Water, International Workshop on Process Intensification Nov. 2012, Seoul, Korea
- (17) 野中壯泰, 平島剛, 熊谷聡, 笹木圭子, 亜臨界・超臨界流体による低品位炭の改質および乾燥, 資源・素材学会秋季大会, Sep. 2012, 秋田
- (18) Dewi Agustina IRYANI, Satoshi KUMAGAI, Moriyasu NONAKA, Keiko SASAKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Overview of Indonesian Sugarcane Industry and Utilization of Its Solid Waste, 資源・素材学会秋季大会, Sep. 2012, 秋田
- (19) 熊谷聡, 野中壯泰, 平島剛, 種々の前処理をおこなったモウソウチクの水熱炭化特性, 第44回化学工学会秋季大会, Sep. 2012, 宮城県仙台市
- (20) 熊谷聡, 野中壯泰, 平島剛, バイオマスの加圧熱水処理により得られた炭化物の燃焼特性, 第21回日本エネルギー学会大会, Aug. 2012, 東京
- (21) 熊谷聡, 平島剛, バイオマスの水熱炭化過程で得られたフルフラールの活性炭による吸着分離, 第10回木質炭化学会大会, Jun. 2012, 岩手県盛岡市
- (22) Dewi Agustina IRYANI, Satoshi KUMAGAI, Moriyasu NONAKA, Keiko SASAKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Production of 5-Hydroxymethyl Furfural from Sugarcane Bagasse Under Hot Compressed Water, International Symposium on Earth Science and Technology(CINEST2012), Sep. 2012, Bandung, Indonesia
- (23) Moriyasu NONAKA, Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA,

- Satoshi KUMAGAI, Keiko SASAKI, Upgrading and Drying of Lignite by Super- and Sub- Critical Fluids, International Symposium on Earth Science and Technology (CINEST2012), Sep. 2012, Bandung, Indonesia
- (24) Tsuyoshi HIRAJIMA, Upgrading of Low Rank Coal and Biomass Aimed at Reducing Environmental Load, International Symposium on Earth Science and Technology (CINEST2012), Sep.2012, Bandung, Indonesia

〔図書〕(計5件)

- (1) 久保 泰雄, 平島 剛, 粉体・ナノ粒子の創製と製造・処理技術・基礎物性からプロセス設計の実務・トラブル処理まで(第16節 液中造粒法による未燃カーボンの回収プロセス), Nov. 2014
- (2) Satoshi KUMAGAI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Application of Hydrothermal Reactions to Biomass Conversion (Chapter 7: Effective Utilization of Moso-Bamboo (Phyllostachys heterocycla) With Hot-Compressed Water), 2014
- (3) 平島剛, コロナ社, 石炭の科学と技術 未来につなぐエネルギー, 日本エネルギー学会編(4.2節 石炭前処理), Nov. 2013
- (4) Ahmad T. YULIANSYAH, Tsuyoshi HIRAJIMA, InTech, Resource Management for Sustainable Agriculture, Chapter 7: Efficacy of Hydrothermal Treatment for Production of Solid Fuel from Oil Palm Wastes, Oct. 2012
- (5) Anggoro Tri MURSITO, Tsuyoshi HIRAJIMA, InTech, Infrared Spectroscopy - Materials Science, Engineering and Technology, Chapter 8: Hydrothermal Treatment of Hokkaido Peat - An Application of FTIR and 13C NMR Spectroscopy on Examining of Artificial Coalification Process and Development, Apr. 2012

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平島 剛 (HIRAJIMA, Tsuyoshi)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 00175556

(2) 研究分担者

野中 壯泰 (NONAKA, Moriyasu)
九州大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 60271102