様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成　21　年　5　月　22　日現在

研究種目：基盤研究Ａ
研究期間：2006～2008
課題番号：18206092
研究課題名（和文）　アジア圏におけるバイオコールコプロダクションシステムの開発

研究課題名（英文）　DEVELOPMENT OF BIO-COAL CO-PRODUCTION SYSTEMS IN THE ASIAN REGION

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

研究成果の概要：本研究では、アジア圏を対象とし、水分等が高いため未利用のバイオマスおよび低品位炭の混合水熱改質によるバイオマス・石炭混合燃料（バイオコール）製造とその製造あるいは燃焼過程において有機環境浄化剤、水素ガス、高強度中空セラミックスなどのコプロダクションシステムの開発を行うことを目的として研究をおこない、バイオコール、高濃度水素ガス、カテコール等の製造条件を明らかにするとともに、燃焼灰から高強度中空球形粒子を回収する方法を見出した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2006 年度	19,900,000	5,970,000	25,870,000
2007 年度	12,600,000	3,780,000	16,380,000
2008 年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
年度			
年度			
総　計	37,700,000	11,310,000	49,010,000

研究分野：工学
科研費の分科・細目：総合工学　・　地球･資源システム工学
キーワード：資源処理、バイオマス、低品位炭、バイオコール、水熱処理、エネルギー、灰

１．研究開始当初の背景

わが国では、電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（Renewable Portfolio Standard, RPS）により、2010 年度に新エネルギーによる 122 億 kWh の発電が目標となった。そのため、新エネルギーとして循環型エネルギーであるバイオマスの活用に注目が集まっている。一方、エネルギー資源の乏しい我が国では、多様なエネルギーを利用する必要があり、石炭は今後とも中核的なエネルギー（1996 年 13.160 万トン、2000 年 15,350 万トン）となる。しかし、①地球温暖化防止などの立場から一般炭への課税（炭素税）導入の検討、②2003 年後半以降、需給両面の要因を契機として近年例を見ないほどの石炭価格高騰、③中国などから SOｘ等の“もらい公害”発生、④石炭燃焼灰の大量発生などから価格の低位安定を確保しつつ我が国への安定な供給が確保でき、環境調和的なバイオマス及び未利用低品位石炭の処理利用システムの開発が特にアジア圏において不可欠となっている。そのため石炭の生産から利用までの一連の課題の解決を図る上流から下流までの総合的なシステムを創り上げ、上記課題を解決していくことが重要である。

２．研究の目的

本研究では、アジア圏を対象とし、未利用

バイオマスの原料化および未利用低品位炭との混合改質によるバイオマス・石炭混合燃料（バイオコール）、MAP (Magnesium Ammonium Phosphate) 等の無機資源、有機環境浄化剤、水素ガス等のコプロダクション（共生産）および燃焼プロセスにおいて電力以外に高付加価値材料（例えば、高強度中空セラミックス）のコプロダクションシステムの開発を行うことを目的とする。

３．研究の方法

主に以下の項目について検討を行った。

・アジア圏、特にインドネシアにおけるバイオマスおよび未利用低品位炭の資源量及び利用状況の調査

・バイオマス及び低品位炭の水熱処理過程での分解挙動、燃料化試験、有価成分抽出、クリーン化（水素製造、二酸化炭素固定等）

・下水汚泥からMAP(Magnesium Ammonium Phosphate)の回収、重金属除去等による下水汚泥のバイオマス原料化

・燃焼灰からの高強度中空セラミックス回収試験と最適プロセスの構築

・改質液および・腐植物質の環境浄化剤等としての利用

・透過型浄化壁（PRB）へのバイオマス炭素源の利用

・アジア圏におけるエネルギー資源および環境修復のネットワークの構築

４．研究成果

バイオコールコプロダクションシステムの開発の観点から、バイオマスおよびピートの資源量調査を行った。インドネシアにおけるアブラヤシの作付面積は 2015 年までは増加し、その後横ばいになると予測されているが、その増加分はカリマンタン島での伸びが最も大きく貢献する。ジャトロファは有毒であり非食用であることから現在はそれほど栽培に力が入れられていない。ピートは 165,000-270,000km^2 の面積を占有しており、その炭素資源量は 46Gt にも上る。

木質系バイオマスはハンマークラッシャーで-10mm に、低品位炭はジョークラッシャーとボールミルで-1mm 以下に比較的容易に粉砕可能であった。粉砕試料についてオートクレーブによる回分式水熱処理試験を行った結果、バイオマスは、240℃付近までの低温域でセルロースが急激に分解され発熱量が上昇した。それ以上の温度域では改質の程度が緩やかになるが、330℃以上になると脱水反応が急速に進み、それに伴って発熱量は再び急激な上昇を示した。約 300℃で改質することにより、7000kcal/kg 以上の発熱量を有する高品位な燃料に転換できる。それ以上の温度域ではさらに発熱量は上昇するが、投入するエネルギー、装置のコスト等を考えると有効とは言い難い。低品位炭の水熱処理改質の結果、バイオマスは低品位炭に比べはるかに分解されやすいことがわかった。これらを混合改質すると、バイオマスから抽出された有機物が低品位炭に一部吸着される現象が認められた。改質試験で得られた固体産物の固体 ^{13}C-NMR 分析と恒湿水分の測定をおこなった結果、改質温度が高くなるに従い、芳香族成分が増加するとともに含水率が減少し、これら２つの間には良い相関が見られた。また、ろ過時の水分に比べて平衡水分が低くなることから、疎水化が進行したと判断された。

改質の際アルカリ触媒を添加することで、分解開始温度が低温側へシフトし分解されやすくなるとともに、より高濃度で水素が回収された。一方、非均一系触媒（CaO）を用いると、高カロリー燃料化と共に水素の生成と二酸化炭素の固定が可能であった。

ベンチスケールの連続式熱水処理装置を用いた改質試験では、連続改質で得られる産物と回分式で得られる産物には類似性が認められ、ラボスケールの回分試験の結果をもとに、ベンチスケールの連続改質で得られる産物の性状が予測可能であることが明らかになった。

下水汚泥は都市部を中心に大量に発生し、その中にはリンおよびアンモニアがリン酸アンモニウムマグネシウム(MAP)として結晶化している。このMAPは、実は人類に必須の肥料資源となる可能性がある。この回収法を検討したところ、湿式の選別機により効果的に選別が可能であった。MAP 回収後の下水汚泥に関しては、非常に魅力的な有機炭素資源であり、湿式選別と水熱処理の組み合わせにより、高カロリー燃料となる可能性が認められたが、さらなる無機物除去が必要であることがわかった。

改質産物の利用法としては、石炭火力発電所での混焼が考えられる。改質産物を燃焼させると、灰分由来のフライアッシュが生成し一部は粒径 100 μm程度、または見かけ比重 0.8 以上の有用なセノスフェアとなる。湿式サイクロン、MGS および乾式風力選別の組み合わせによるプロセスを構築することで、このセノスフェアを効率よく選別回収できることが明らかになった。

水熱処理の際に得られる改質液には、エチレングリコールやHMFなどが、特にピートの改質では多量の HMF が認められ、PET の原料や有用な工業原料となりうる可能性が示唆された。また、還元能を持つカテコールなどフェノール誘導体が多数同定され、特に有害なCr(VI)をCr(III)に還元し水酸化物として沈殿除去する環境浄化剤としての利用が期待される。さらに、カテコール類を構造の一部に持つ腐植酸が、有害有機塩素化合物を酸

化する際に酸化重合でこれらを取り込み無害化することも明らかになった。また、稲わらに対して加圧熱水処理と酵素処理をシーケンシャルに行うことで、稲わらセルロースの 80%をグルコースに変換し、改質液中に回収できた。比較のために希硫酸処理後に酵素糖化を行ったところ、グルコース収率は原料セルロースの 65%程度に留まり、加圧熱水処理の優位性が示された。また、加圧熱水処理の方が発酵阻害物質の生成量も少なく、微生物を利用した変換に適することを明らかにした。さらに、竹の加圧熱水処理により得られた水溶性高重合度キシランオリゴ糖をβ-グリコシダーゼ活性が低いヘミセルラーゼで処理し、高収率でキシロビオースを生産できることが示した。

バイオマス炭素源を利用する嫌気性微生物を用いた透過型浄化壁（PRB）によるヒ素含有水の処理におけるバイオマスおよび微生物の役割について検討を行った。各種固体分析結果からは化学的な作用によるヒ素の不導体化の証拠が強く表れ、微生物作用によるヒ素の不動化の証拠はそれに隠れ目立たない結果となった。しかし、溶液分析によれば、硫黄同位体効果や DGGE-PCR 法による微生物群集構造解析から、確かに硫酸還元菌が寄与していたことが確かめられた。これらのことから、数十年持続させる透過型浄化壁に対して嫌気性微生物反応を主な浄化コンセプトとする場合、内容物に含めるバイオマス等の炭素源の選択、その供給量は、設計段階で予測しなければならない重要な要素となることが確認された。

インドネシアのガジャマダ大学、バンドン工科大学、エネルギー鉱物資源省、鉱物・石炭技術研究開発センター（TekMIRA)、インドネシア科学院（LIPI）などとワークショップ及び個別会議を実施し、エネルギー資源および環境修復に関するネットワークを構築した。また、G-COE「新炭素資源学」の国際連携大学として、インドネシアのバンドン工科大学、中国・上海交通大学、韓国エネルギー研究院、オーストラリア・カーティン工科大学とMOUを締結、国際シンポジウムを開催し、国際連携の枠を広げつつネットワークを構築している。

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 84 件）

1. Ahmad T. YULIANSYAH, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Upgrading Mechanism of Solid Waste of Palm Oil Mill Using Hydrothermal Treatment, Proc. 2^{nd} International Symposium of Novel Carbon Resource Science, Earth Resource Science and Technology, V9-V16, 2009 Bandung, 査読有り

2. Anggoro Tri MURSITO, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Product Characterization of Raw Peat and Low Quality Coal Treated by Alkaline Hydrothermal, A Novel Method of CO_2 Capturing and Hydrogen Generation, Proc. 2^{nd} International Symposium of Novel Carbon Resource Science, Earth Resource Science and Technology, I10-I17, 2009 Bandung 査読有り

3. Tsuyoshi HIRAJIMA and Moriyasu NONAKA, Upgrading of Low Rank Coal and Woody Biomass by Hydrothermal Treatment, Proc. 2^{nd} International Symposium of Novel Carbon Resource Science, Earth Resource Science and Technology, I1-I9, 2009 (Bandung) 査読有り

4. M. Fukushima, et al., Effects of the maturity of wood-waste compost on the structural features of humic acids, Bioresource Technology, 100, 791-797, 2009 査読有り

5. M. Fukushima et al., Effect of an allophanic soil on humification reactions between catechol and glycine: spectroscopic investigations of reaction products, Journal of Molecular Structure, 917, 142-147, 2009 査読有り

6. Keiko SASAKI, Hironobu NAKANO, Wahyu WILOPO, Yoshinori MIURA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Sorption and Speciation of Arsenic by Zero-Valent Iron, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 査読有り (in press)

7. Anggoro Tri Mursito Tsuyoshi Hirajima, Recent progress in Indonesian Peat Utilization Research, Journal of MMIJ, 124, 871-877, 2008, 査読有り

8. 平島剛、大迫雄司、野中壮泰、H. T. B. M. PETRUS、笹木圭子、安藤隆, 湿式選別法を用いた石炭燃焼灰からの中空球形粒子の回収, Journal of MMIJ, 124, 878-884, 2008, 査読有り

9. Mohsen FARAHAT, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Yuuki AIBA and Katsumi DOI, Adsorption of SIP E. coli onto Quartz and Its Applications in Froth Flotation, Minerals Engineering, 21, 389-395, 2008, 査読有り

10. Keiko SASAKI, et al., Immobilization of Selenate in Mine Drainage by Permeable Reactive Barriers: Column Performance, Applied Geochemistry, 23, 1012-1022, 査読有り

11. Keiko SASAKI et al., Spectroscopic Study of Precipitates Formed during Removal of Selenium from Mine Drainage Spi

ked with Selenate using Permeable Reactive Materials, Geochemical Journal, 42, 283-294, 2008, 査読有り
12. Keiko SASAKI, Shunsuke NUKINA, Wahyu WILOPO, Tsuyoshi HIRAJIMA, Removal of Arsenate in Acid Mine Drainage by a Permeable Reactive Barrier Bearing Granulated Blast Furnace Slag: Column Study, *Materials Transactions, 49,* 835-844, 2008, 査読有り
13. Wahyu WILOPO, Keiko SASAKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, et al., Immobilization of Arsenic and Manganese in Contaminated Groundwater by Permeable Reactive Barrier Using Zero Valence Iron and Sheep Manure, *Materials Transactions, 49,* 2265-2274, 2008, 査読有り
14. Wahyu WILOPO, Keiko SASAKI, Tsuyoshi HIRAJIMA, Identification of Sulfate-and Arsenate-Reducing Bacteria in Sheep Manure As Permeable Reactive Materials after Arsenic Immobilization in Groundwater, *Materials Transactions, 49,* 2275-2282, 2008, 査読有り
15. Keiko SASAKI, Yousuke NAKAMUTA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Olli H. TUOVINEN, Raman Characterization of Secondary Minerals Formed during Chalcopyrite Leaching with Acidithiobacillus, ferrooxidans, Hydrometallurgy, 95, 153-158, 2008, 査読有り
16. Keiko SASAKI, Minoru MATSUDA, Tomohiro URATA, Tsuyoshi HIRAJIMA, H. KONNO, Sorption of Co^{2+} Ions on the Biogenic Mn Deposits by a Mn-Oxidizing Fungus, Paraconiothyrium sp.-Like Strain WL-2, Materials Transactions, 49, 605-611, 2008, 査読有り
17. Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, Effective Utilization of Biomass Waste Using Hydrothermal, Proc. XXIV International Mineral Processing Congress, 3, 3625-3629, 2008, 査読有り
18. Ahmad T. YULIANSYAH, Tsuyoshi HIRAJIMA, Moriyasu NONAKA, Keiko SASAKI, Hydrothermal Treatment of Oil Palm Fiber and Shell -Characterization of Solid Products, Proc. International Symposium on Earth Science and Technology, 129-134, 2008, 査読有り
19. Satoru NAGAO, Atsunori TAYAOKA, Tsuyoshi HIRAJIMA et al., Development of On-Line Monitoring and Control System for Air Classification, Proc. International Symposium on Earth Science and Technology, 397-402, 2008, 査読有り
20. Syoutaro KAWADA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Moriyasu NONAKA and Keiko SASAKI, Upgrading of Biomass Using a Circulative Hydrothermal Equipment, Proc. International Symposium on Earth Science and Technology, 201-206, 2008, 査読有り
21. Hitoshi TAKAMORI, Keiko SASAKI, Hitoshi YOSHIZAKA and Tsuyoshi HIRAJIMA, Role of Wood-chips in Permeable Reactive Barriers for Removal of Borate in Groundwaters, Proc. the 5th Intl. Symposium on Earth Science and Technology, pp.181-188, 2008, 査読有り
22. Tsuyoshi HIRAJIMA, Yuki AIBA, Mohsen FARAHAT, Keiko SASAKI et al., Flocculation of Quartz by Microorganisms, Proc. the 6th International Symposium on Earth Science and Technology, pp. 189-194, 2008, 査読有り
23. Ahmad T. YULIANSYAH, Tsuyoshi HIRAJIMA, Moriyasu NONAKA, Keiko SASAKI, Hydrothermal Treatment of Solid Waste from Palm Oil Mill, Proc. International Symposium Earth Science and Technology, pp.129-134, 2008, 査読有り
24. Anggoro Tri MURSITO, Tsuyoshi HIRAJIMA and Keiko SASAKI, Catalytic Effects on Products of Alkaline Hydrothermal Treatment of Raw Peat, Proc. International Symposium on Earth Science and Technology, pp.35-42, 2008, 査読有り
25. Keiko SASAKI, Hironobu NAKANO, Wahyu WILOPO, Tsuyoshi HIRAJIMA, Speciation of Arsenic in Treatment of Groundwaters Spiked with Arsenite Using Permeable Reactive Materials, Proc. the 5th International Conference of Interface Against Pollution, 2008, 査読有り
26. H. Yabuta, M. Fukushima et al, Multiple polar components in poorly-humified humic acids stabilizing free radicals: Carboxyl and nitrogen-containing carbons, Organic Geochemistry, 39, 1313-1335, 2008, 査読有り
27. 小林元太、岡宏圭、田代幸寛、加藤富民雄、神田康三、林信行, 有明海由来のキシロース資化性乳酸菌の分離, 生物工学会誌, 86, 217-220, 2008, 査読有り
28. 熊谷聡、太田真由美、中野寿美、林信行、坂木剛, 加圧熱水処理による大麦わらの可溶化および糖化, 日本食品工学会誌, 9, 115-119, 2008, 査読有り
29. S. Kumagai, M. Ota, S. Nakano, N. Hayashi, T. Sakaki, Y. Kaida, Elution Behavior of Metals during Hydrothermal Decomposition of Lignocellulosic Biomass, Jpn. J. Food Eng, 9, 109-113, 2008, 査読有り

30. 熊谷聡、太田真由美、岡宏圭、林信行、山田則行、坂木剛，加圧熱水処理による籾殻中セルロースの成分分離と可溶化、および可溶化物の酵素糖化によるグルコース生産，化学工学論文集，34，458-462，2008，査読有り

31. Masami Fukushima, Oxidative degradation of pentachlorophenol by an iron(III)-porphyrin catalyst bound to humic acid via formaldehyde polycondensation, Journal of Molecular Catalysis A. Chemical, 286, 47-54, 2008, 査読有り

32. 野中壯泰、平島剛、廣瀬歩美、笹木圭子，水熱処理によるバイオマス・低品位炭燃料化での分解抽出挙動，Journal of MMIJ, Vol. 123, No. 11, pp.532-536, 2007, 査読有り

33. Anggoro Tri MURSITO, Tsuyoshi Hirajima, Moriyasu Nonaka, Keiko Sasaki, Fundamental Study on Production of Peat Fuel using Hydrothermal Treatment, Proc. the 5th International Symposium on Earth Science and Technology (Fukuoka), pp.107-114, 2007, 査読有り

34. Junpei Yabuki, Tsuyoshi Hirajima, Moriyasu Nonaka, Keiko Sasaki, Upgrading Mechanism of Moso-Bamboo by Hydrothermal Treatment, Proc. the 5th International Symposium on Earth Science and Technology (Fukuoka), pp.115-122, 2007, 査読有り

35. Tsuyoshi HIRAJIMA, Yuji OOSAKO, Moriyasu NONAKA, Keiko SASAKI, Takashi ANDO, Recovery of Hollow and Spherical Particles from Fly Ash using Dry Separation Process, Proc. the 5th International Symposium on Earth Science and Technology (Fukuoka), pp.213-218, 2007, 査読有り

36. Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Jumpei YABUKI and Keiko SASAKI, Production of Oil from Biomass by Hydrothermal Treatment and its Characterization, Proc. 9th Intnl. Symp. East Asian Resources Recycling Tech. (Sendai), pp. 633-636, 2007, 査読有り

37. Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Jumpei YABUKI and Keiko SASAKI, Production of High Calorific Solid Fuel from Empty Fruit Bunch of Oil Palm by Hydrothermal Treatment, Proc. Intnl. Conference on Oil Palm and Environment (Bali), pp. P5 1-9, 2007, 査読有り

38. Masami Fukushima et al., Oxidative degradation of pentachlorophenol in contaminated soil suspensions by potassium monopersulfate catalyzed with a supramolecular catalyst between iron(III)-porphyrin and hydroxypropyl-β- cyclodextrin, Journal of Hazardous Materials, 144, 222-228, 2007, 査読有り

39. Motoki Terashima , Masami Fukushima, Shunitz Tanaka, Coagulation characteristics of humic acid modified with glucosamine or taurine, Chemosphere, 69, 240-246, 2007, 査読有り

40. 福嶋正巳，土壌中の自然浄化作用の促進に寄与する腐植物質の機能解明，地学雑誌，116，906-914，2007，査読有り

41. 熊谷聡，山田則行、坂木剛、林信行，種々のリグノセルロース系バイオマスの水熱分解・糖化特性、および得られた水熱処理残渣の酵素糖化，日本エネルギー学会誌，86，706-711，2007,査読有り

42. 野中壯泰、平島剛、柿添亮平、笹木圭子、土屋富士雄、鶴井雅夫、ベンチスケール連続式水熱処理装置におけるバイオマス・低品位炭混合燃料の製造、資源と素材，vol.122, no.10,11, pp.522-527, 2006、査読有り

43. Tsuyoshi Hirajima, Junpei Yabuki, Moriyasu Nonaka and Keiko Sasaki, Characterization of Bamboo Upgraded by Hydrothermal Treatment, Proc. 4th International Workshop on Earth Science and Technology, pp.517-522,2006,査読有り

44. Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Junpei YABUKI and Keiko SASAKI, Alkali Hydrothermal Treatment of Biomass, *Proc. 4th International Workshop on Earth Science and Technology*, pp.241-246, 2006, 査読有り

45. Tsuyoshi Hirajima, Mia KOSE, Keiko SASAKI, Takao HAGINO, Recovery of Phosphorus from Sewage as MAP and its Upgrading by Magnetic Separation, Proc. the 4th Intl. Workshop on Earth Science and Technology (Fukuoka), pp.285-290, 2006, 査読有り

46. Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI, et al., Role of Mixed Low Rank Coal during Fuel Conversion of Woody Biomass by Using Hydrothermal Treatment, *Proc. XXIII International Mineral Processing Congress*, vol.2, pp.1133-1138, 2006, 査読有り

47. Keiko SASAKI, et al., FE-SEM Study of Microbially Formed Jarosites by *Acidithiobacillus ferrooxidans*, Mater. Trans., Vol. 47(4), pp.1155-1162, 2006, 査読有り

48. Keiko SASAKI, Minoru MATSUDA, Tsuyoshi HIRAJIMA, et al., Immobilization of Mn(II) Ions by a Mn-Oxidizing Fungus *Paraconiothyrium sp.*-Like Strain at

Neutral pHs, Mater. Trans., Vol. 47(10), pp. 2457-2461, 2006, 査読有り
49. Masami Fukushima et al., Separation of fulvic acid from soil extracts based on ion-pair formation with a cationic surfactant, Analytical Sciences, 22, 229-233, 2006, 査読有り
50. Masami Fukushima et al., Studies on the coupling product between oxidation products derived from pentachlorophenol and cyclodextrins, Journal of Environmental Science and Health, Part B, 41, 357-367, 2006, 査読有り
51. Masami Fukushima et al, Effects of humic substances on the oxidation of pentachlorophenol by peroxosulfate catalyzed by iron(III)- phthalocyanine-tetrasulfonic acid, Bioresource Technology, 97, 1605-1611, 2006, 査読有り
52. Masami Fukushima et al, Water solubility enhancement effects of some polychlorinated organic pollutants by dissolved organic carbon from a soil with a higher organic carbon content, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 41, 1483-1494, 2006, 査読有り
53. 山本光夫, 濱砂信之, 福嶋正巳他, スラグと腐植物質による磯焼け回復技術の開発に関する研究, 日本エネルギー学会誌, 85, 971-978, 2006, 査読有り
54. Han Yunzhe, Mamiya Ayumu, Nkya Eline, Hayashi Nobuyuki & Fujita Shuji, Purification and Characterization of Chlorogenic Acid Oxidase from Edible Burdock (Arctium lappa L.), Journal of the Japan Association of Food Preservation Scientists, 32(6), 275-281, 2006, 査読有り
55. Shuji Fujita, Yun-Zhe Han, Chie Kouno, Tomoko Matsuo, Megumi Yamashita, Yasuko Haraguchi, Ying-Jie Li, Nobuyuki Hayashi, Chang-Peng Yang, Purification and Characterization of Polyphenol Oxidase from Edible Yam (Dioscorea opposita Thunb.), Food Science and Technology Research, 12(3), 235-239, 2006, 査読有り

〔学会発表〕(計 72 件)
1. Tsuyoshi HIRAJIMA et al, Upgrading of Low Rank Coal and Woody Biomass by Hydrothermal Treatment, Proc. 2nd International Symposium of Novel Carbon Resource Science, Earth Resource Science and Technology, Bandung, 2009
2. Tsuyoshi HIRAJIMA et al, Recovery of Hollow and Spherical Particles from Fly Ash using Dry Separation Process, 5th International Symposium on Earth Science and Technology Fukuoka, 2007
3. 平島剛ら、水熱処理による低品位炭とバイオマスの高品位混合燃料化、日本エネルギー学会第 16 回大会、福岡、2007

〔図書〕(計 1 件)
1. 福嶋正巳 他多数、環境中の腐植物質：その特徴と研究法, 三共出版、2008

〔産業財産権〕
○出願状況（計 3 件）
名称：国際特許
発明者：安藤隆, 平島剛, 野中壯泰, 大迫雄司
権利者：出光興産、九州大学
種類：International Application
番号：PCT/JP2008/058386
出願年月日：2008 年 5 月 20 日
国内外の別：外国
名称：特許
発明者：林信行
権利者：林信行、ミゾタ
種類：特願
番号：特願 2008-036721
出願年月日：2008 年 2 月 18 日
国内外の別：国内
○取得状況（計 1 件）
名称：特許
発明者：林信行
権利者：佐賀大学、ミゾタ
種類：特許
番号：特許第 4206000 号
取得年月日：2008 年 10 月 24 日
国内外の別：国内

〔その他〕
ホームページ等
http://process.mine.kyushu-u.ac.jp/

６．研究組織
(1)研究代表者
平島　剛（教授）
研究者番号：00175556
(2)研究分担者
笹木圭子（准教授）
研究者番号：30311525
野中壯泰（助教）
研究者番号：60271102
古山隆（助教）
研究者番号：90284546
林信行（教授）
研究者番号：50173018
福島正巳（准教授）
研究者番号：40344113