

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25249142

研究課題名(和文)セルロースの水熱溶解による新規全液相高速同時糖化発酵プロセス

研究課題名(英文)Liquid phase simultaneous saccharification and fermentation process using hydrothermal dissolution of cellulose

研究代表者

松村 幸彦(Matsumura, Yukihiro)

広島大学・工学研究科・教授

研究者番号：80251370

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,600,000円

研究成果の概要(和文)：水熱条件を用いてセルロースを水に溶解し、これを加水分解することによって迅速な糖化を実現するための実験的検討を行った。200～300 の条件で、半回分式反応器にセルロースを充填し、ここに高温高圧の水を流すことによってセルロースを溶解、得られた溶解セルロースに酵素加水分解を行うことによって迅速な加水分解が実現できることを確認、その速度式を導出した。また、実バイオマスとしてユーカリを用いて同様に加水分解を行うことができることを確認した。

研究成果の概要(英文)：Experimental study was conducted to investigate the possibility of rapid saccharification by dissolving cellulose using hydrothermal condition and hydrolyzing the product. Cellulose packed in the semi-batch reactor was successfully dissolved by sending hot compressed water, and the product dissolved cellulose was rapidly hydrolyzed by enzymatic hydrolysis. The hydrolysis rate for the dissolved cellulose was derived. Eucalyptus was employed as actual biomass, and similar result was obtained.

研究分野：化学工学、熱工学、バイオマス工学

キーワード：セルロース 溶解 水熱 酵素加水分解 酵素

この報告書は公開が前提であるために、著作権の問題から図表は含めず、概要のみを示す。詳細は末尾のリストに示す発表論文ならびに学会発表を参照されたい。

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 樹木や草本などのリグノセルロース系バイオマスは人が食用とすることはできないが、その存在量は大きく、エネルギーあるいはマテリアル利用が求められている。その有効利用のために高付加価値の製品を得ることができる生物化学的変換を行うには、構成成分であるセルロース、ヘミセルロース、リグニンを分離した上で、セルロースやヘミセルロースを加水分解して、糖を得る必要がある。しかしながら、比較的酵素分解が容易なデンプンと比較して、直線的な分子であるセルロースは分子内外の水素結合による強固な結晶構造を有するため、その加水分解が困難である。

(2) これまでに、酸、アルカリ、アンモニア、水酸化カルシウム、爆砕などの前処理が行われてきているが、薬品を使うために環境負荷が大きくなる、収率が高くできないなどの問題を有している。これに対して、150~250の高温高圧の水を用いてリグニンやヘミセルロースを除去し、その後、酵素糖化を行う水熱・酵素2段処理が目ざされている。この場合、水しか用いないので環境負荷が小さく、精製したグルコースの過分解を抑制して高い収率を得ることができる利点がある。得られた糖をさらに酵母で発酵してエタノールを得、蒸留生成して残った残渣から栄養分を回収、次の酵母の生産に利用すれば、有効なプロセスが構成できる。あるいは、乳酸発酵や熱分解によるフルフラール類の生産も考えられる。

(3) これらのシステムを構築するにあたっては、水熱反応場での現象の理解、糖化発酵の速度論的な整理、エタノール発酵に及ぼす阻害物質の影響などを知る必要があるが、これまでに行われている研究は、生成した糖の過分解の進行、過分解を抑制する急速冷却操作における糖濃度の低下などの問題があり、十分に実用化につながる結果は得られていない。

### 2. 研究の目的

(1) セルロースが加圧熱水中に溶解することが知られており、溶解したセルロースは結晶性を完全に失うために、迅速な加水分解が実現できることが期待される。これまでに、希薄なセルロース溶液を用いて迅速な酵素加水分解を行う例は報告されているが、これを完全液相かつ高濃度で実現することによって実用化に資する高濃度(20%)の糖溶液を得ることが期待される。さらに、得られた糖をその場でエタノールに転換する同時糖化発

酵を実施することによって、高効率なプロセスを実現することができる。

(2) そこで本研究においては、これまでに比較的多くの知見が得られているエタノール発酵を、リグノセルロース系バイオマスの有効利用の一例として取り上げ、発酵水熱反応、酵素糖化、エタノール発酵の各プロセスを熱化学工学、生物化学工学の観点から定量的に確認、セルロースを加圧熱水中に一度溶解し、これを室温に戻して過飽和のセルロースを得てから酵素加水分解とエタノール発酵の同時糖化発酵を行うプロセスを開発することを目的とする。

### 3. 研究の方法

(1) 高温高圧水を用いてセルロースを溶解する必要がある。このために、まず連続式反応器を用いてセルロースやバイオマスのスラリーを水熱反応場に供給、出口流れの粒径ならびに溶解有機物濃度を測定した。

(2) 実際には高濃度のスラリーを処理することは困難であるため、半回分式反応器にセルロースあるいはバイオマス粉末を充てんし、ここに高温高圧水を供給して成分を溶解、出口流れに含まれる有機物を確認した。

(3) 比較対象として、試薬の粉末セルロースを酵素加水分解し、その反応特性を確認、モデル式を用いて整理した。

(4) 水熱溶解したセルロースを用いて酵素加水分解を行い、その反応特性を確認、モデル式を用いて整理した。

(5) 阻害物質を添加した酵母について一般的な発酵阻害耐性遺伝子である GND1, ZWF1, RPE1, TKL1 の発現量を確認した。また、マイクロアレイによる網羅的遺伝子発現の中から遺伝子発現が上昇したものを探索した。

### 4. 研究成果

(1) セルロースの加圧熱水への溶解特性について、連続式反応器ならびに充填層反応器を用いて確認を行った。連続式反応器では、セルロース微粒子を懸濁したスラリーを準備し、これを管型反応器を通して加圧下で加熱溶解した有機成分を全有機炭素で測定、その溶解速度を求めた。粒子からの物質移動をシャーウッド数が2であるというモデルを用いて整理し、溶解特性を表した。

(2) 充填層反応器では、セルロース粒子を充填した反応器に高温高圧水を通すセミバッチ式の運転を行い、溶解特性を確認するとともに、液相に溶解して得られた生成物の組成を確認した。その結果得られた溶解特性を充填層の物質移動を表すランツの式を用いて整理し、フィッティングパラメータの形で物

質移動係数と飽和溶解度を決定した。280～320 ℃でほぼ完全に溶解させることが可能であり、特に280 ℃では過分解を抑制できることを確認した。

(3) 一般セルロースの加水分解については、セルロース懸濁液に温度を変えて酵素を添加し、生成する糖の濃度の時間変化を確認した。酵素としてはセロビオヒドラーゼならびにβ-グルコシダーゼを用い、それぞれについてモデル式を適用した。セロビオヒドラーゼについては、酵素がセルロース表面に吸着して加水分解が進行することが知られているので、ラングミュアモデルを用い、β-グルコシダーゼについては液相に放出されたセロビオースを液相で加水分解することからミカエリスメンテンモデルを適用した。

(4) 溶解セルロースの加水分解については、上記(1)に示す半回分式反応器を用いて溶解セルロースを得、これに酵素を添加して加水分解を進行させ、得られた糖濃度の時間変化を測定することに成功した。反応モデルには均一相反応であることからミカエリスメンテン反応モデルを用いた。固体セルロースの加水分解よりも迅速な加水分解が進行することを確認した。

(5) 発酵阻害物質を添加した酵母で GND1, ZWF1, RPE1, TKL1 の発現量は大きく変化しなかった。マイクロアレイによる網羅的遺伝子発現探索の結果、アミノ酸の一つであるメチオニンを合成する遺伝子の発現が著しく上昇していることが明らかになった。さらにリアルタイム PCR によりフルフラール存在下では同遺伝子発現の上昇が顕著であることを明らかにした。さらに Sulfate permease トランスポーターの遺伝子発現を解析した結果、SUL1,2 共にコントロールと比べ発現量が高いことが明らかになった。

## 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 11 件)

1) Novi Syaftika, Yukihiko Matsumura: Simple equation for enzymatic hydrolysis of cellulose using cellulose complex and β-glucosidase mixture, J. Jpn. Petrol. Inst., 60(6), 322-328 (2017) 査読あり

2) Kouki Sakimoto, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Kinetic model of cellulose degradation using simultaneous saccharification and fermentation, Biomass and Bioenergy, 99, 116-121 (2017) 査読あり

3) Kanna, M; Matsunami, Y; Matsumura, Y:

Effect of Preculture Conditions on Simultaneous Saccharification and Fermentation for Effective Ethanol Production, JOURNAL OF THE JAPAN PETROLEUM INSTITUTE, 59(3), 93-96 (2016) 査読あり

4) Machi Kanna, Yumiko Matsunami, Yukihiko Matsumura: Simultaneous saccharification and fermentation using environmental-adapted yeast by preculture, J. Jpn. Inst. Energy, 95(4), 303-306 (2016) 査読あり

5) Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Effect of Low-concentration Furfural on Sulfur Amino Acid Biosynthesis in *Saccharomyces cerevisiae*, J. Jpn. Petrol. Inst., 58(3), 165-168 (2015) 査読あり

6) Yukihiko Matsumura, Yuta Fukutomi, Yoshimitsu Uemura: Comparative study of hydrothermal pretreatment of eucalyptus and oil palm empty fruit bunch for ethanol fermentation, J. Jpn. Petrol. Inst., 57(4), 163-170 (2014) 査読あり

7) 松村幸彦, 同前豪: 水熱条件下でのバイオマスの粉碎, ケミカルエンジニアリング, 59(7), 539-543 (2014) 査読なし

8) 松村幸彦, 神名麻智: バイオマスの利用～エネルギー変換技術～, 粉体技術, 5(6), 516-521 (2013) 査読なし

9) 松村幸彦, 神名麻智: バイオマスエネルギーの可能性, 化学経済, 60(5), 53-57 (2013) 査読なし

10) 神名麻智, 木村直人, 山下康貴, 柳田高志, 松村幸彦: 発酵阻害物質が酵母増殖の Monod 式に与える影響, J. Jpn. Petrol. Inst., 56(5), 326-330 (2013.9) 査読あり

11) Phacharakamol Petchpradab Phothisan-tikul, Ranisorn Tuanpusa, Minoru Nakashima, Tawatchai Charinpanitkul, Yukihiko Matsumura: Effect of CH<sub>3</sub>COOH and K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> on hydrothermal pretreatment of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), Ind. Eng. Chem. Res., 52(14), 5009-5015 (2013) 査読あり

〔学会発表〕(計 78 件)

1) Novi Syaftika, 松村幸彦: Hydrothermal pretreatment of palm oil empty fruit bunch with palm oil mill effluent in comparison with acid, P-45, 第 10 回バイオマス科学会議, 2015.1.14-15, つくば.

2) 山口直希, 松村幸彦: 各種水溶液によるセ

ルコース充填層の溶解, P-58, 第 10 回バイオマス科学会議, 2015.1.14-15, つくば.

3) 川崎一志, 松村幸彦: セルコース充填層の水熱前処理, P-57, 第 10 回バイオマス科学会議, 2015.1.14-15, つくば.(ポスター)

4) 福富裕太, 神名麻智, 松村幸彦: 酵素加水分解に対するセルコース水熱溶解の有効性, P-60, 第 10 回バイオマス科学会議, 2015.1.14-15, つくば.

5) 崎本弘輝, 神名麻智, 松村幸彦: セルコースを用いた等温同時糖化発酵法(ISO-SSF)と非等温同時糖化発酵法(NI-SSF)の比較, P-26, 第 10 回バイオマス科学会議, 2015.1.14-15, つくば.

6) 古瀬成大, 松村幸彦: ホテイアオイの連続水熱粉碎処理における温度の影響, P-29, 第 10 回バイオマス科学会議, 2015.1.14-15, つくば.

7) Naruhiro Furuse, Amir Firdaus, Yoshimitsu Uemura, Yukihiko Matsumura: Effect of activated carbon on product yield using EFB, P08, 2nd Asian Conference on Biomass Science (ACBS2015), Jan. 13, 2015, Tsukuba, Japan.

8) Yusuke Takase, Yoshimitsu Uemura, Yukihiko Matsumura: Effect of particle size, concentration and holding time on hydrothermal pretreatment of EFB, P07, 2nd Asian Conference on Biomass Science (ACBS2015), Jan. 13, 2015, Tsukuba, Japan.

9) Yuta Fukutomi, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Hydrothermal dissolution of cellulose for enzymatic hydrolysis, P49, 2nd Asian Conference on Biomass Science (ACBS2015), Jan. 13, 2015, Tsukuba, Japan.

10) Naoki Yamaguchi, Yukihiko Matsumura: Dissolution of cellulose packed bed using various solution, P43, 2nd Asian Conference on Biomass Science (ACBS2015), Jan. 13, 2015, Tsukuba, Japan.

11) Hitoshi Kawasaki, Yukihiko Matsumura: Solubilization of cellulose packed bed by using the model of mass transfer, P42, 2nd Asian Conference on Biomass Science (ACBS2015), Jan. 13, 2015, Tsukuba, Japan.

12) Thun Leewisuttikul, Yukihiko Matsumura: Comparison of hydrothermal decomposition characteristics between glucose and cellobiose, P28, 2nd Asian Conference on Biomass Science (ACBS2015), Jan. 13, 2015, Tsukuba, Japan.

13) Novi Syaftika, Yukihiko Matsumura: Utilization of POME in place of water for hydrothermal pretreatment, P27, 2nd Asian Conference on Biomass Science (ACBS2015), Jan. 13, 2015, Tsukuba, Japan.

14) Yuta Fukutomi, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Analysis of enzymatic hydrolysis using dissolved cellulose under hydrothermal conditions, PO-1, the 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), Dec. 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand.

15) Novi Syaftika, Yukihiko Matsumura: Optimization of enzyme mixtures for cellulose hydrolysis, RE-6, the 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), Dec. 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand.

16) Rapeeporn Tanpratoomvong, Thun Leewisuttikul, Tawatchai Charinpanitkul, Yukihiko Matsumura: Dissolution of cellulose into water under hydrothermal condition, NT-18, the 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), Dec. 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand.

17) Thun Leewisuttikul, Yukihiko Matsumura: The decomposition of cellulose in the continuous flow type reactor and the usage of organic acid product as the auto-catalyst, NT-17, the 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), Dec. 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand.

18) Naruhiro Furuse, Yukihiko Matsumura: Simultaneous pulverization and hydrothermal pretreatment of water hyacinth using disk mill, PO-5, the 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), Dec. 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand.

19) Hitoshi Kawasaki, Yukihiko Matsumura: Mass Transfer of Cellulose under Hydrothermal Condition, RE-16, the 3rd Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2014), Dec. 22-23, 2014, Kanchanaburi, Thailand.

20) Thun Leewisuttikul, 松村幸彦: Decomposition of cellobiose under hydrothermal condition, C18, 化学工学会中国四国支部大学院生発表会, 2014.12.5, 広島.

21) 古瀬成大, 松村幸彦: ディスクミルを用いた水熱条件下でのホテイアオイの粉碎, C07, 化学工学会中国四国支部大学院生発表会, 2014.12.5, 広島.

22) Novi Syaftika, 松村幸彦: Effect of palm oil mill effluent on palm oil empty fruit bunch utilization for glucose production by hydrothermal pretreatment and enzymatic hydrolysis, C06, 化学工学会中国四国支部大学院生発表会, 2014.12.5, 広島.

23) 川崎一志, 松村幸彦: セルロース充填層の水熱溶解特性, C03, 化学工学会中国四国支部大学院生発表会, 2014.12.5, 広島.

24) 崎本弘輝, 神名麻智, 松村幸彦: モデルバイオマスを用いた同時糖化発酵法(SSF)と糖化発酵分離法(SHF)のエタノール生産効率の比較, M313, 化学工学会第 46 回秋季大会, 2014.9.17-19, 福岡.

25) 福富裕太, 神名麻智, 松村幸彦: 水熱溶解セルロースと結晶性セルロースを用いた酵素加水分解の比較, M308, 化学工学会第 46 回秋季大会, 2014.9.17-19, 福岡

26) 古瀬成大, 松村幸彦: 加圧熱水ボールミル処理によるセルロースの糖化前処理, 3-8-2, 第 23 回日本エネルギー学会大会, 2014.7.19-20, 福岡.

27) 崎本弘輝, 柳田高志, 神名麻智, 松村幸彦: セルロースを用いた同時糖化発酵(SSF)と糖化発酵分離方式(SHF)の特性, P-45, 第 9 回バイオマス科学会議, 2014.1.15-16, 高知.

28) 古瀬成大, 神名麻智, 松村幸彦: ボールミルを用いた水熱条件下におけるセルロースの粉碎, P-37, 第 9 回バイオマス科学会議, 2014.1.15-16, 高知.

29) 同前豪, 神名麻智, 松村幸彦: 同時水熱粉碎糖化法の実験的検討, P-31, 第 9 回バイオマス科学会議, 2014.1.15-16, 高知.

30) 松村幸彦, 宇並祐太, Tawatchai Charinpanitkul: ペーパースラッジの水熱前処理, P-30, 第 9 回バイオマス科学会議, 2014.1.15-16, 高知.

31) 福富裕太, 柳田高志, 神名麻智, 松村幸彦: セロピオースの加水分解速度の決定, P-29, 第 9 回バイオマス科学会議, 2014.1.15-16, 高知.

32) 福富裕太, 松村幸彦, 上村芳三: 水熱前処理がエタノール発酵に及ぼす影響のユーカリとアブラヤシ空果房での比較, P-28, 第 9 回バイオマス科学会議, 2014.1.15-16, 高知.

33) 川崎一志, 神名麻智, 松村幸彦: 水熱前処理におけるセルロースの溶解度測定, P-18, 第 9 回バイオマス科学会議, 2014.1.15-16, 高

知.

34) 福田有輝, 松村幸彦, Tawatchai Charinpanitkul: 食品廃棄物の水熱前処理, P-17, 第 9 回バイオマス科学会議, 2014.1.15-16, 高知.

35) 神名麻智, 福富裕太, 柳田高志, 松村幸彦: 発酵阻害物質が発酵に及ぼす影響の定量的解析, 化学工学会第 45 回秋季大会, 講演番号 C307, 2013.9.16-18, 岡山.

36) 神名麻智, 山下康貴, 福富裕太, 松村幸彦: 発酵阻害物質と温度が酵母増殖に及ぼす影響, 日本機械学会 2013 年度年次大会, 講演番号 J025032, 2013.9.9-11, 岡山.

37) Kornpat NAIYAPORN, Phacharakamol Petchpradab PHOTHISANTIKUL, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Enzymatic hydrolysis for cellulose in homogeneous phase, 第 22 回日本エネルギー学会大会, 講演番号 3-10-3, 2013.8.5-6, 東京.

38) Kouki Sakimoto, Machi Kanna, Takashi Yanagida, Yukihiko Matsumura: Simultaneous saccharification and fermentation (SSF) and separate hydrolysis and fermentation (SHF) of cellulose powder, P15, 1st Asian Conference on Biomass Science (ACBS2014), Jan. 14, 2014, Kochi, Japan.

39) Hitoshi Kawasaki, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Measurement of solubility of cellulose in hydrothermal pretreatment, P14, 1st Asian Conference on Biomass Science (ACBS2014), Jan. 14, 2014, Kochi, Japan.

40) Yukihiko Matsumura, Yuta Unami, Tawatchai Charinpanitkul: Role of calcium compound in the hydrothermal pretreatment, P13, 1st Asian Conference on Biomass Science (ACBS2014), Jan. 14, 2014, Kochi, Japan.

41) Takeshi Dozen, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Pulverization of eucalyptus in a disc mill under hydrothermal condition, P12, 1st Asian Conference on Biomass Science (ACBS2014), Jan. 14, 2014, Kochi, Japan.

42) Yuki Fukuda, Tawatchai Charinpanitkul, Yukihiko Matsumura: Hydrothermal pretreatment for food waste recycle, P11, 1st Asian Conference on Biomass Science (ACBS2014), Jan. 14, 2014, Kochi, Japan.

43) Yuta Fukutomi, Yoshimitsu Uemura, Yukihiko Matsumura: Comparative study of hydrothermal pretreatment of eucalyptus and empty fruit bunch for ethanol fermentation, OA4,

1st Asian Conference on Biomass Science (ACBS2014), Jan. 14, 2014, Kochi, Japan.

44) Yuta Fukutomi, Takashi Yanagida, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Enzymatic hydrolysis of cellulose dissolved by hydrothermal pretreatment, B24, 2nd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2013), Nov. 25-26, 2013, Higashi-Hiroshima, Japan.

45) Kornpat Naiyaporn, Yuta Fukutomi, Phacharakamol Petchpradab Phothisantikul, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Dissolution of cellulose in sub- and supercritical water, B45, 2nd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2013), Nov. 25-26, 2013, Higashi-Hiroshima, Japan.

46) Takeshi Dozen, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Pretreatment of eucalyptus by using various kind of reactors, B44, 2nd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2013), Nov. 25-26, 2013, Higashi-Hiroshima, Japan.

47) Hitoshi Kawasaki, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Measurement of solubility of cellulose in hydrothermal pretreatment, B23, 2nd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2013), Nov. 25-26, 2013, Higashi-Hiroshima, Japan.

48) Kouki Sakimoto, Takashi Yanagida, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Characteristics of simultaneous saccharification and fermentation (SSF) and separate hydrolysis and fermentation (SHF) of cellulose powder, B13, 2nd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2013), Nov. 25-26, 2013, Higashi-Hiroshima, Japan.

49) Naruhiro Furuse, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Simultaneous ball mill pulverization and hydrothermal pretreatment of cellulose, B34, 2nd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2013), Nov. 25-26, 2013, Higashi-Hiroshima, Japan.

50) Yuki Fukuda, Tawatchai Charinpanitkul, Yukihiko Matsumura: Effect of fatty acids on hydrothermal pretreatment, B33, 2nd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2013), Nov. 25-26, 2013, Higashi-Hiroshima, Japan.

51) Phacharakamol Petchpradab Phothisantikul, Kraiwit Laopreeda, Tawatchai Charinpanitkul, Yukihiko Matsumura: Model of dissolution rate of model biomass in hydrothermal pretreatment

on continuous flow system, B22, 2nd Joint Conference in Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN2013), Nov. 25-26, 2013, Higashi-Hiroshima, Japan.

52) Phacharakamol Petchpradab Phothisantikul, Machi Kanna, Yukihiko Matsumura: Behavior of lignocellulosic biomass in hydrothermal pretreatment determined by flow type and batch type reactors, The 3rd International Symposium on Engineering, Energy and Environments (ISEE2013), Nov. 17-20, 2013, Bangkok, Thailand.

53) P.P. Phothisantikul, T. Leewisuttikul, T. Charnpanitkul, M. Kanna, Y. Matsumura: Dissolution of model biomass in hydrothermal pretreatment in semi-batch reactor, 2DV.2.4, 21st European Biomass Conference & Exhibition: Setting the course for a biobased economy, Jun. 3-7, 2013, Copenhagen, Denmark.

54) Y. Fukutomi, T. Yanagida, M. Kanna, Y. Matsumura: Effect of inhibitors from hydrothermal pretreatment on ethanol fermentation, 3DV.1.7, 21st European Biomass Conference & Exhibition: Setting the course for a biobased economy, Jun. 3-7, 2013, Copenhagen, Denmark.

2015.1 以降のもの略

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕  
ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

松村 幸彦 (MATSUMURA, Yukihiko)  
広島大学・工学研究科・教授  
研究者番号 : 8 0 2 5 1 3 7 0

(2)研究分担者

神名 麻智 (KANNA, Machi)  
広島大学・工学研究科・助教  
研究者番号 : 1 0 6 1 9 3 6 5

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし