

平成 21 年 5 月 28 日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18380105
 研究課題名（和文） セルロースおよびその誘導体を用いた燃料電池電解質膜の構築
 研究課題名（英文） Construction of Electrolyte Membrane for Fuel Cells
 Using Cellulose and Its Derivatives
 研究代表者
 巽 大輔 (TATSUMI DAISUKE)
 九州大学・大学院農学研究院・准教授
 研究者番号：60293908

研究成果の概要：

酢酸菌産生セルロースから燃料電池電解質膜用のフィルムを調製し、その諸特性の評価を行った。さらに、フィルムのプロトン伝導性の向上を目的として、カルボキシメチルセルロースの複合化および硫酸基の導入を行ったフィルムを調製し、力学特性、プロトン伝導性、および発電特性の点からこれらのフィルムを比較した。硫酸化フィルムはプロトン伝導性および発電性能の点で優れており、電解質膜として適していることが分かった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	10,800,000	1,296,000	12,096,000
2007年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	14,900,000	2,526,000	17,426,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・林産科学・木質工学

キーワード：パルプ・紙、燃料電池、セルロース、電解質膜、ゲル、複合化

1. 研究開始当初の背景

近年、環境問題に対する社会の意識の高まりから、燃料電池をはじめとする化石燃料に依存せず環境負荷も低い発電装置に期待が高まっている。このような電池は、21世紀のエネルギー・環境分野におけるキーテクノロジーであるが、実用化・普及に向けてはさまざまな問題がある。まずは電解質材料を固体化することが実用化に向けての重要課題とみることができるであろう。すなわち、固体化により電池の小型化や耐久性の飛躍的向上が期待できる。

燃料電池に関しては、すでに固体高分子電解質膜が研究されているが、現在用いられている電解質膜は非常にコストが高いうえ、廃

棄も難しい。

そこで本研究では、電解質溶液の代わりにプロトンが容易に通過できるセルロースのゲルを用いることを考えた。報告者らは、これまでにセルロース溶液およびそれから得られるゲルについて、その基礎特性について研究してきた。この知見がセルロースからの新規なプロトン伝導性ゲルの創生にも役立つものと考え、研究に着手した。

2. 研究の目的

本研究は、燃料電池の電解質膜にセルロースを適用し、従来の電解質材料の問題点であった「高コスト・低耐久性」を改善することを目的とした。

セルロースはそれ自身が水酸基という極性基を持っているため、これから得られたゲルは親水性が高く、さらにこれを適度に硫酸化してイオン交換能を高めることが可能である。また、セルロースはガラス転移温度が高いため温度に対しても安定であり、これを電解質膜に用いれば従来の電解質膜の問題点であった温度上昇による急激な性能低下を改善することもできる。また、酢酸菌産生のセルロース（微生物セルロースまたはバクテリアセルロース）は繊維幅 40~60 nm の繊維からなる網目をもつが、イオンは網目中を自由に移動できる。さらに、微生物セルロースのネットワーク構造の中にセルロース溶液を含浸させ、それをゲル化およびイオン化させることによって、繊維ネットワークとイオン性ゲルが相互貫入した二重構造のゲルを作成することも可能である。

また、セルロースは生分解性があり再生産可能な資源であるから、これを利用した電池は環境適合性が高い。本研究は、以上のようなセルロースの特性を電解質材料として生かすことを目的とした。これに関連して、セルロース繊維ネットワークあるいはセルロースゲルの特性についても検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 燃料電池電解質膜

微生物セルロース (=バクテリアセルロース(BC)) フィルムは静置培養ゲル状膜 (フジッコ(株)より提供) を 100°C にて乾燥させて調製した。BC フィルムの耐熱性および力学物性を評価するために粘弾性スペクトロメータ ((株)Seiko SDM5600) を用いて 30~300°C の温度範囲で動的粘弾性測定を行った。耐ラジカル性を評価するために Fenton 試験を行い、試験前後の BC フィルムの重量減少率の評価、X 線回折測定、および極限粘度測定を行った。

触媒として知られるパラジウム(Pd)を BC 上に付着させるために、①(NH₄)₂[PdCl₆]水溶液中に BC を浸漬して BC 自身の還元能により析出させる方法¹⁾および②上記水溶液中に BC フィルムを浸漬後、還元剤 NaBH₄ を反応させて析出させる方法²⁾の 2 種類の手法を用いた。付着状態の確認には X 線光電子分光装置 (島津/Kratos AXIS-HS) を用いた。

カルボキシメチルセルロース (CMC) 複合化 BC フィルムは、CMC (セロゲン 7A; 第一工業製薬(株)より提供) の 1N NaOH 水溶液に架橋剤エチレングリコールジグリシジルエーテル (EGDE) を混合し、これに BC フィルムを浸漬することで調製した。硫酸化 BC フィルムは、BC フィルムを EGDE で架橋した後、SO₃Pyridine/DMF を用いて硫酸化する

ことで調製した。プロトン伝導率は Impedance / gain-phase analyzer (Solartron SI1260) および Electrochemical interface (同 SI1296) を用い、10 mV, 1 Hz~30 MHz の交流電圧を印加して交流インピーダンス測定することによって求め、発電性能については PEFC の単セルを組み立てて電流および電圧を測定した。

(2) セルロース繊維ネットワークおよびセルロースゲル

種々のセルロース繊維試料を蒸留水中に分散して、あるいは 8 wt% 塩化リチウム/アミド系溶媒に溶解させて分散系あるいは溶液試料とし、これらを円錐—円板型レオメーター ((株)UBM, Rheosol-G2000) を用いて定常流動測定および動的粘弾性測定を行った。

4. 研究成果

(1) 燃料電池電解質膜

動的粘弾性測定より得られた BC フィルムの貯蔵弾性率は 260°C 付近まで約 7 GPa ほぼ一定であった。また Fenton 試験においてラジカル分解による BC フィルムの重量減少率は約 30%であった。この試験によるゼロハンの重量減少がほぼ 100%であることを考えると、BC フィルムは優れた耐ラジカル性を有していると考えられる。極限粘度測定より、Fenton 試験後のセルロースには分子量低下が生じていることがわかったが、X 線回折測定より結晶化度に変化がないことが示された。

方法①により(NH₄)₂[PdCl₆]水溶液中に BC フィルムを浸漬して加熱 (70°C) したところ、膜表面に Pd の析出が認められた。また、方法②により(NH₄)₂[PdCl₆]水溶液中に BC フィルムを浸漬させた後に NaBH₄ 水溶液と反応させたところ、室温でも還元反応が速やかに進行し BC 膜上に Pd が付着した。

以上のことから、BC フィルムは耐熱性および耐ラジカル性に優れ、高い力学強度を有し、さらに触媒金属も容易に付着させることができることなどから、燃料電池電解質膜に適用できることが示された。そこで、次に BC フィルムのイオン伝導性の向上を目的に、CMC のゲルを複合化した CMCBC フィルムを調製し、力学特性およびイオン伝導率を測定した。

測定の結果、BC フィルムの引張強度、弾性率、およびイオン伝導率はそれぞれ 106 MPa、16 GPa、および 3.8 μScm⁻¹であったが、20%CMC/NaOH より調製された CMCBC フィルムのそれは、72 MPa、8.2 GPa、および 43 μScm⁻¹であった。すなわち、CMCBC フィルムの引張強度および弾性率は BC フィルムのおよそ半分であったが、イオン伝導率に関しては BC フィルムより一桁大きい値を示した。また、CMCBC フィルムの力学強度は CMC ゲルよりも 5 倍以上大きかった。以上の結果

から、BC フィルムに CMC ゲルを複合化することによって、BC フィルム本来の力学強度を活かしつつイオン伝導性を向上させることに成功したといえる。

しかし、電解質膜には $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ S cm}^{-1}$ 程度の伝導率が求められることを考慮すると、CMCBC フィルムのプロトン伝導率は極めて低い値であった。これは BC フィルム内部に CMC 水溶液が浸透しなかったことが理由として考えられる。そこで BC フィルムを硫酸化し、プロトン伝導率の向上を試みた。

その結果、硫酸化 BC フィルムのプロトン伝導率は硫酸化の程度に比例し、伝導率は $0.2 \sim 0.9 \text{ mS cm}^{-1}$ になった (図 1)。さらに、架橋した硫酸化 BC フィルムは未架橋のものに比べて著しく膨潤が抑制され (図 2)、硫酸化により強度は低下したものの電解質膜に求められる 40 MPa 以上の強度を有していることが分かった。また、硫酸化 BC フィルムを電解質膜として用いた燃料電池は $9.3 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ の高い電力密度を示した (表 1)。

以上より、CMCBC フィルムより硫酸化 BC フィルムの方がプロトン伝導性および発電性能の点で優れており、電解質膜として適していることが分かった。また、硫酸化 BC フィルムは架橋処理を施すことが膨潤抑制の点で効果的であった。

以上のように、マイクロビアルセルロースに硫酸化を施したフィルムは電解質膜としてふさわしい特性を備えていることが明らかとなった。燃料電池電解質膜としてのセルロースの性能を検討した例は、過去には Evans ら¹⁾による触媒金属の吸着についての検討のみであった。すなわち、セルロースの置換度や架橋密度が電解質膜の特性に及ぼす影響に関する研究は、国の内外を通してほとんどなされていなかった。本研究は、大掛かりな装置を必要とせず、すぐにでもその成果は社会に貢献し得ると思われる。また、研究の過程で培われたイオン伝導性向上の技術、ゲル化法、などは後の研究の基礎として大いに展開できるであろう。

我々は(2)にも示すように、これまでにセルロース繊維分散系およびセルロース溶液の粘弾性特性を中心に研究を行ってきた。今後の展望としては、これらの知見をセルロース系電解質膜に適用させることが考えられる。膜の構造と物性の関係は、従来の電解質膜においても明らかにされていない課題であり、これが解決されれば電解質膜に関する技術は飛躍的に向上することが期待される。

- 1) B. R. Evans, H. M. O'Neill, V. P. Malyvanh, I. Lee, J. Woodward, *Biosensors Bioelectronics* **18**, 917 (2003).
- 2) Y. J. Kim, W. C. Choi, S. I. Woo, W. H. Hong, *Electrochim. Acta* **49**, 3227 (2004).

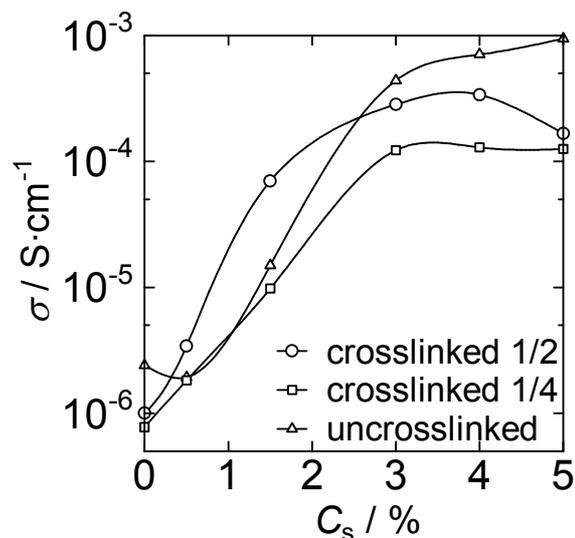


図 1 架橋の程度を変えた硫酸化 BC フィルムの導電性の $\text{SO}_3\text{Pyridine}$ 濃度 C_s に対するプロット。

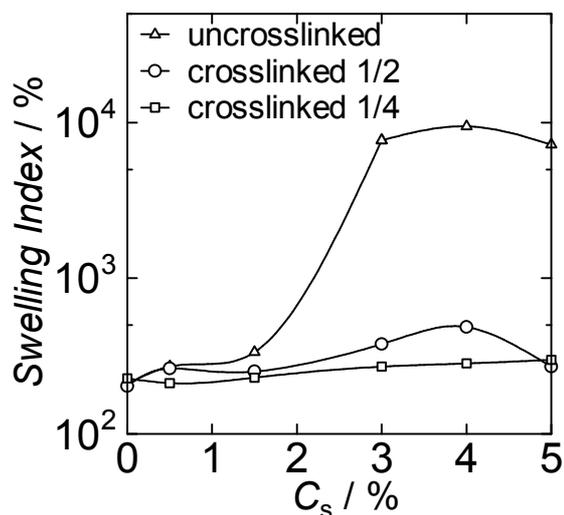


図 2 架橋の程度を変えた硫酸化 BC フィルムの膨潤率。

表 1 固体高分子燃料電池電解質膜の特性

試料	電流 mA	電圧 V	電流密度 $\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$
BC フィルム	4	0.015	0.015
CMCBC フィルム	20	0.10	0.50
硫酸化 BC フィルム ($C_s=5$)	50	0.74	9.3
Nafion®	55	0.90	12

(2) セルロース繊維ネットワークおよびセルロースゲル

セルロース繊維分散系の動的粘弾性測定を行ったところ、系の貯蔵弾性率 G' は濃度 c に対して一義的に増加し、

$$G' = kc^\alpha \quad (1)$$

と書くことができた。ここで、 k は濃度によらない定数、 α はべき数であって、微結晶繊維の場合 $\alpha = 9/4$ (図3)、パルプ繊維の場合 $\alpha = 3$ であった。すなわち、 α は繊維のネットワーク構造に本質的な特性を反映していると考えられる。一方、繊維の軸比が大きいほど同じ濃度における弾性率の値が大きくなった。すなわち、式(1)のフロントファクター k は軸比の関数であることが示唆された。

繊維の積層構造を2次元格子モデルで表し、濃度変化に伴う応力の伝達速度の変化について考察することで、べき数を議論した。その結果、繊維径が十分小さい場合、式(2)で表されるように弾性率は濃度の5乗に比例することが示された。

$$G' = kc^\alpha = E_p^2 c^5 \quad (2)$$

このべき数の値は上述の繊維分散系で得られた値とは異なるが、マイクロビアルセルロースのペリクルを試料とした場合については、べき数が5になることが実験で確かめられた。さらに、式(2)ではフロントファクター k は繊維の軸比 p の2乗に比例し、単繊維のヤング率 E_f に比例することが示され、これは実験とも一致した。

一方、セルロース溶液については、分子量の異なるセルロースのブレンド溶液について、ブレンド比を変えた時の溶液の零せん断粘度 η_0 の変化に Ninomiya の理論¹⁾

$$\eta_{0b} = w_1 \lambda_{11} \eta_{01} + w_2 \lambda_{22} \eta_{02} \quad (3)$$

をフィッティングすることを試みた。 λ_{ii} は、ブレンド系と成分 i の緩和時間の比を表すが、Masuda ら²⁾が Bogue-Masuda-Einaga-Onogi (BMEO) 理論³⁾における前提から、

$$\lambda_{ii} = (\bar{M}_w / M_i)^{1.5} \quad (4)$$

となることを提示している。式(4)を式(3)に代入した η_{0b} に関する理論式は実験値と非常に良い一致を示した (図4)。このことより、セルロースのブレンド溶液においても、高分子溶解物に関して導かれた線形ブレンド則が成立することが示された。さらに、得られたブレンド溶液の η_0 は分子量に強く依存し分子量分布の影響は無視し得ることが示唆された。

繊維ネットワークあるいはゲルを利用する工業製品は多岐に渡るため、以上のようにネットワークあるいは溶液の粘弾性的性質を予測することは多くの産業にとって非常に有益である。

1) K. Ninomiya, *J. Colloid Sci.*, **14**, 49 (1959).

2) T. Masuda, M. Takahashi, S. Onogi, *Appl. Polym. Symp.*, **20**, 49 (1973).

3) D. C. Bogue, T. Masuda, Y. Einaga, S. Onogi, *Polym. J.*, **1**, 563 (1970).

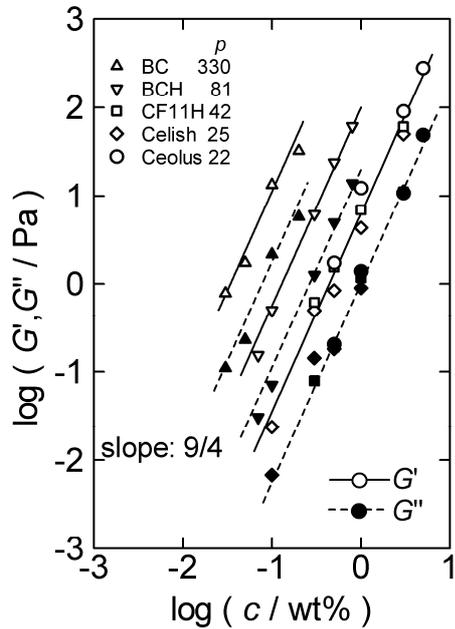


図3 種々のセルロース繊維水分散系の貯蔵弾性率 G' および損失弾性率 G'' の繊維濃度 c 依存性. p は繊維の軸比.

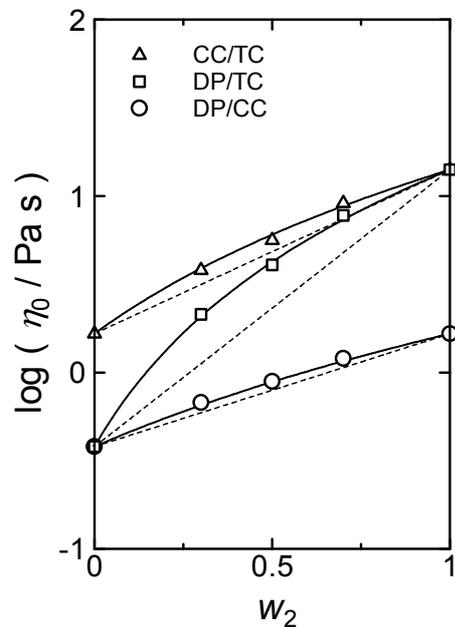


図4 セルロースブレンド溶液の零せん断粘度 η_0 の重量分率 w_2 依存性. 曲線は Ninomiya の理論 (式(3)) と BMEO 理論 (式(4)) を組み合わせたフィッティング.

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) 燃料電池電解質膜 (1 件)

1. 中野 誠、庄司達也、大矢修生、八尾 滋、巽 大輔、松本孝芳、動的散乱法およびレオロジー測定による高分子電解質ナフィオンの基礎的研究, *日本レオロジー学会誌*, **34**, 65-69 (2006). (査読有)

※本報告書に記載した内容は現在執筆中。

(2) セルロース繊維ネットワークおよびセルロースゲル (10 件)

1. 巽 大輔、岡崎美緒、船山ますみ、中田皓介、三原一郎、松本孝芳、セルロース(藻類)、キシラン、およびリグニンの溶液特製, *材料*, **58**, 297-303 (2009). (査読有)
2. 巽 大輔、セルロース繊維分散系のレオロジー, *ケミカル・エンジニアリング*, **53**, 766-770 (2008). (査読無)
3. Tatsumi, Daisuke; Inaba, Daisuke; Matsumoto, Takayoshi, Layered Structure and Viscoelastic Properties of Wet Pulp Fiber Networks, *Nihon Reorogi Gakkaishi*, **36**, 235-239 (2008). (査読有)
4. Ishii, Daisuke; Tatsumi, Daisuke; Matsumoto, Takayoshi, Effect of Solvent Exchange on the Supramolecular Structure, the Molecular Mobility and the Dissolution Behavior of Cellulose in LiCl/DMAc, *Carbohydr. Res.*, **343**, 919-928 (2008). (査読有)
5. Tatsumi, Daisuke; Kourogi, Hitoshi; Chen, Bo; Matsumoto, Takayoshi, Effect of Natural Additives on the Rheological Properties of Cellulose Fiber Disperse Systems, *Colloids Surf.*, **A316**, 151-158 (2008). (査読有)
6. 巽 大輔、セルロース繊維分散系及びセルロース均一溶液のレオロジーに関する研究, *日本レオロジー学会誌*, **35**, 251-256 (2007). (査読無)
7. Ishii, Daisuke; Kanazawa, Yusuke; Tatsumi, Daisuke; Matsumoto, Takayoshi, Effect of Solvent Exchange on the Pore Structure and Dissolution Behavior of Cellulose, *J. Appl. Polym. Sci.*, **103**, 3976-3984 (2007). (査読有)
8. Aono, Hajime; Tatsumi, Daisuke; Matsumoto, Takayoshi, Scaling Analysis of Cotton Cellulose/LiCl•DMAc Solution Using Light Scattering and Rheological Measurements, *J. Polym. Sci. Part B*, **44**, 2155-2160 (2006). (査読有)
9. Ishii, Daisuke; Tatsumi, Daisuke; Matsumoto, Takayoshi; Murata, Kazuki; Hayashi, Hisao; Yoshitani, Hiroshi, Investigation of the

Structure of Cellulose in LiCl/DMAc Solution and Its Gelation Behavior by Small-Angle X-Ray Scattering Measurements, *Macromol. Biosci.*, **6**, 293-300 (2006). (査読有)

10. Aono, Hajime; Tatsumi, Daisuke; Matsumoto, Takayoshi, Characterization of Aggregate Structure in Mercerized Cellulose/LiCl•DMAc Solution Using Light Scattering and Rheological Measurements, *Biomacromolecules*, **7**, 1311-1317 (2006). (査読有)

[学会発表] (計 34 件)

(1) 燃料電池電解質膜 (7 件)

1. 向井まい、巽 大輔、松本孝芳、マイクロバイアルセルロースを用いた燃料電池電解質膜の構築, 平成 20 年度繊維学会年次大会, 2008.06.20, 東京.
2. 向井まい、巽 大輔、松本孝芳、セルロースおよびその誘導体を用いた燃料電池電解質膜の調製, 第 14 回日本木材学会九州支部大会, 2007.11.09, 久留米.
3. 巽 大輔、生物学的由来によるセルロース分子の多様性とそれに基づく利用法, 第 38 回繊維学会夏季セミナー, 2007.09.06, 宮崎.
4. 向井まい、巽 大輔、松本孝芳、燃料電池用電解質膜へ向けたバクテリアセルロースの機能化—カルボキシメチルセルロースとの複合化および硫酸基の導入, セルロース学会第 14 回年次大会, 2007.07.20, 静岡.
5. 向井まい、巽 大輔、松本孝芳、セルロースおよびその誘導体を用いた燃料電池電解質膜の構築, 第 67 回生存圏シンポジウム, 2007.03.29, 宇治.
6. 向井まい、巽 大輔、松本孝芳、バクテリアセルロースを用いた燃料電池電解質膜の物性評価, 第 55 回高分子討論会, 2006.09.21, 富山.
7. 向井まい、巽 大輔、松本孝芳、セルロースの燃料電池電解質膜としての物性評価, セルロース学会第 13 回年次大会, 2006.07.13, 東京.

(2) セルロース繊維ネットワークおよびセルロースゲル (25 件)

1. 巽 大輔、セルロース繊維分散系の構造と粘弾性, 第 123 回生存圏シンポジウム, 2009.03.26, 宇治.
2. 巽 大輔、前田綾香、森田光博、ホヤセルロース/LiCl•アミド系溶液の緩和挙動, 第 56 回レオロジー討論会, 2008.10.06, 新潟.
3. 小野奈美、巽 大輔、森田光博、セルロース/β-シクロデキストリン系ブレンドの構造と粘弾性, 第 56 回レオロジー討論会,

- 2008.10.06, 新潟.
4. Daisuke Tatsumi, Nobutake Tamai, Masahiro Yanagisawa, and Takayoshi Matsumoto, Blended Solutions of Celluloses from Different Biological Origins, The XVth International Congress on Rheology, 2008.08.05, Monterey, California.
 5. 小野奈美、巽 大輔、森田光博、セルロース β -シクロデキストリンブレンド溶液のレオロジー特性, セルロース学会第 15 回年次大会, 2008.07.11, 京都.
 6. 小野奈美、巽 大輔、森田光博、セルロース/LiCl・ジメチルアセトアミド溶液の粘弾性に及ぼす β -シクロデキストリン添加の影響, 第 45 回化学関連支部合同九州大会, 2008.07.05, 北九州.
 7. 巽 大輔, 繊維分散系における繊維沈降挙動の解析, 平成 20 年度繊維学会年次大会, 2008.06.19, 東京.
 8. 巽 大輔、玉井伸岳、柳澤正弘、松本孝芳、由来の異なるセルロースの溶液およびそれらのブレンドのレオロジー特性, 第 57 回高分子学会年次大会, 2008.05.28, 横浜.
 9. 青野 初、巽 大輔、松本孝芳、光散乱およびレオロジー測定を用いたセルロース溶液の構造解析とスケーリング, 日本レオロジー学会第 35 年会, 2008.05.15, 東京.
 10. 巽 大輔, セルロース繊維分散系の構造と粘弾性, 第 98 回生存圏シンポジウム, 2008.03.28, 宇治.
 11. 巽 大輔, セルロースの水酸基が形成する水素結合に関する量子論的考察, 第 58 回日本木材学会大会, 2008.03.17, つくば.
 12. 小野奈美、巽 大輔、森田光博、近藤哲男, セルロースおよび β -シクロデキストリンの LiCl/ジメチルアセトアミド溶液の粘弾性, 第 14 回日本木材学会九州支部大会, 2007.11.09, 久留米.
 13. 巽 大輔、松本孝芳, セルロース繊維ネットワーク構造の粘弾性, 第 14 回日本木材学会九州支部大会, 2007.11.09, 久留米.
 14. 巽 大輔、陳 波、松本孝芳, 繊維分散系の繊維沈降挙動と繊維特性, 第 55 回レオロジー討論会, 2007.11.02, 金沢.
 15. Daisuke Tatsumi, Takayoshi Matsumoto, Rheological properties of cellulose fiber networks in water, ICC2007, 2007.10.23, Tokyo.
 16. 巽 大輔, 水素結合に関する一考察, セルロース学会第 14 回年次大会, 2007.07.19, 静岡.
 17. Daisuke Tatsumi, Rheological properties of cellulose fiber networks and cellulose solutions, 2007 Asian Chemistry Network Workshop on Polymer & Fiber Sciences, 2007.06.02, Fukuoka.
 18. 巽 大輔、中田皓介、松本孝芳, キシラ
- ンおよびシクロデキストリン/セルロース溶液の構造と粘弾性, 日本材料学会第 56 期学術講演会, 2007.05.20, 名古屋.
19. 巽 大輔, セルロース繊維分散系及びセルロース均一溶液のレオロジーに関する研究, 日本レオロジー学会第 34 年会, 2007.05.14, 京都.
 20. 川島道亮、巽 大輔、松本孝芳, 繊維積層体の構造と粘弾性, 第 54 回レオロジー討論会, 2006.10.04, 福岡.
 21. 巽 大輔、中村篤史、松本孝芳, 異方性セルロースゲルの構築とその特性解析, 第 56 回日本木材学会大会, 2006.08.09, 秋田.
 22. 巽 大輔、常楽寺宏行、青野 初、松本孝芳, ホヤ由来セルロースの溶解促進およびその分子特性, セルロース学会第 13 回年次大会, 2006.07.14, 東京.
 23. 巽 大輔, セルロース繊維分散系およびセルロース溶液のレオロジー特性, 第 35 回分散系及び界面物性研究会, 2006.06.30, 宇治.
 24. 巽 大輔, セルロース繊維 \rightarrow セルロース分子 \rightarrow 素粒子? ~セルロース繊維分散系およびセルロース溶液のレオロジー, 日本材料学会木質材料部門委員会第 261 回定例研究会, 2006.06.02, 京都.
 25. 巽 大輔、岡崎美緒、船山ますみ、青野初、高田賢一、松本孝芳, 由来の異なるセルロースの溶解性と溶液特性, 日本材料学会第 55 期学術講演会, 2006.05.28, 長岡.
- (3) その他 (2 件)
1. 巽 大輔、財満信宏、松本孝芳、杉山英彦、高橋治雄, ケナフのハイドロトロピックパルプ化および酵素漂白, ケナフ等植物資源利用に関する特別講演会研究発表会, 2006.12.05, 八王子.
 2. 三原一郎、巽 大輔、松本孝芳, リグニンの単離と各種リグニンの溶液特性, 第 54 回レオロジー討論会, 2006.10.04, 福岡.
- [図書] (計 1 件)
1. 松本孝芳、巽 大輔, レオロジーデータハンドブック, 丸善, pp. 140-146, pp. 247-254 (2006).
6. 研究組織
(1) 研究代表者
巽 大輔 (TATSUMI DAISUKE)
九州大学・大学院農学研究院・准教授
研究者番号: 60293908