

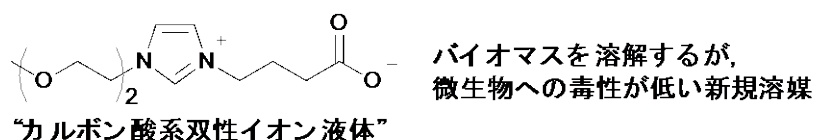
各報道機関文教担当記者 殿

世界で最も微生物細胞に優しいバイオマス溶媒を開発 -次世代バイオエタノールの効率生産に道筋-

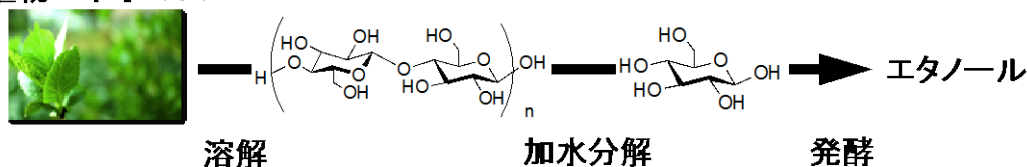
金沢大学理工研究域自然システム学系の黒田浩介助教、高橋憲司教授らの研究グループは、世界で最も低毒性な植物バイオマス（※1）の溶媒を開発しました。

現在、実用化されている第1世代バイオエタノールは、食物を原料とするため、その生産による将来的な食糧不足が懸念されています。そこで、セルロースを原料とする第2世代バイオエタノールの生産が求められています。しかし、第2世代バイオエタノールの生産に必要な「バイオマスの溶媒」は微生物に対する毒性が強く、溶媒を除去するのに大きなエネルギーを必要としています。そのため、エタノールを作れば作るほど、エネルギー収支がマイナスになるという大きな問題がありました。

今回、本研究グループは、新しいバイオマス溶媒「カルボン酸系双性イオン液体（※2）」を開発することで、セルロースを溶解しながら微生物への毒性を極限まで下げることに成功しました（図1）。これにより、高濃度の溶媒中で微生物を利用することが可能となるため、エタノール生産にかかるエネルギーコストを格段に下げることが可能になり、これまでエネルギー収支がマイナスとなっていた第2世代バイオエタノールの実用化に近づくことができました。



植物バイオマス



1つの容器内での連続反応を達成、効率up!

図1. 本研究で開発したバイオマス溶媒「カルボン酸系双性イオン液体」

新たに開発したカルボン酸系双性イオン液体によって、バイオマスを溶解した後、加水分解と発酵をそのまま同じ容器内で連続的に行い、エタノールへ変換することを可能とした。

本研究成果は、2017年10月6日（米国東部時間）発行の米国化学会誌「Journal of the American Chemical Society」オンライン版に掲載されました。今後発行される同誌冊子体にも掲載される予定であり、表紙（Supplementary Cover）にも選ばれています。

【研究の背景】

現在、実用化されている第1世代バイオエタノールは、トウモロコシなどの食物から作られているため、将来的な食糧不足などが懸念されています。そこで、雑草や古紙、割り箸などの植物バイオマスの主成分であるセルロースからエタノールを作ることが求められています（第2世代バイオエタノール）。この第2世代バイオエタノールの生産に必要な「バイオマスの溶媒」は微生物に対する毒性が強く、その毒性を除去するために溶媒を洗い流すための煩雑な工程（水での洗浄、遠心分離、圧搾）が必要となります。その結果、エタノールを作ることによって得られるエネルギーよりもエタノールを作るための投入エネルギーが大きくなり、エネルギー収支がマイナスになる（エタノールを作れば作るほど環境に悪い）状況でした。また、セルロースのような強固な構造のものを溶かしながら、微生物を生かす（微生物を覆う脆弱な細胞膜を壊さない）ことは無理だとされていたため、そうした問題を解決することは不可能だと考えられてきました。

【研究成果】

今回の研究では、**新しいバイオマス溶媒「カルボン酸系双性イオン液体」を開発することで、セルロースを溶解しながら微生物への毒性を極限まで下げることに成功しました。**大腸菌に対して致命的なダメージを与える時の濃度（EC₅₀（※3））を調べた結果、カルボン酸系双性イオン液体では、158グラム毎リットル（g/L）でした（図2）。一方で、既知のセルロース溶媒であるイオン液体（※4）のEC₅₀はわずか9 g/Lでした。このことから、カルボン酸系双性イオン液体は、イオン液体に比べて約17倍低い毒性を示すことが分かりました。

また、エタノール生産が可能な大腸菌を利用して、0.5モル毎リットル（mol/L）のカルボン酸系双性イオン液体中で大腸菌の発酵能力試験を行ったところ、ほぼ最大収率でエタノールが得られ、その濃度は21 g/Lとなりました（図3）。一方で、0.5 mol/Lのイオン液体中で同様の試験を行ったところ、わずか1 g/Lのエタノールしか得られませんでした。このことから、カルボン酸系双性イオン液体中では、イオン液体中に比べて21倍のエタノールが得られることが分かりました。

最後に、植物バイオマス（サトウキビの搾りかす）から、洗浄工程なしで連続的にエタノールの生産を行いました。その結果、カルボン酸系双性イオン液体を使った場合のエタノール濃度は1.4 g/Lであったのに対し、イオン液体を使った場合は毒性が高く、全くエタノールが得られませんでした（図4）。

これらのことから、カルボン酸系双性イオン液体を利用することで、洗浄工程を無くし、植物バイオマスを連続的に同一容器内でエタノールに変換できることが示されました。これにより、**エタノール生産にかかる投入エネルギーを大きく減少させることができ、第2世代バイオエタノールを生産・利用するための大きな一歩を踏み出すことがで**

きました。

【社会的意義・今後の展開】

第1世代・第2世代バイオエタノールのほかに、藻類中に含まれるオイルなどを指す第3世代バイオ燃料があります。第3世代バイオ燃料を作るために藻類からオイルを取り出す時にも、セルロースなどの多糖類を溶解する必要があります。本研究の第2世代バイオエタノールのように、その溶解したセルロースを同時にエタノールへ変換することができれば、エネルギー生産効率が一気に向上します。このように、**本研究を進展させることにより、第2世代バイオエタノールの生産のみならず、第3世代バイオ燃料の生産にも大きく貢献することが期待されます。**

また、今回開発したカルボン酸系双性イオン液体そのもののユニークな性質に注目が集まっており、米国のラトガース大学のエドワード・カストナー教授など海外から共同研究のオファーを受け、現在3件が進行中です。

本研究は、文部科学省および科学技術振興機構（JST）「革新的イノベーション創出プログラム（COI STREAM）」における課題「革新材料による次世代インフラシステムの構築～安全・安心で地球と共存できる数世紀社会の実現～」（研究総括：金沢工業大学 鶴沢 潔 教授）、「戦略的イノベーションプログラム（SIP）」における課題「植物由来の炭素繊維複合材料の開発」（代表者：金沢大学新学術創成機構 仁宮 一章 准教授）、およびALCA—先端的低炭素化技術開発（代表者：金沢大学理工研究域自然システム学系 高橋 憲司 教授）、文部科学省科学研究費補助金（若手B「共存できない3つのイオン液体固有物性間の可逆変化を利用したバイオリファイナー」（代表者：金沢大学理工研究域自然システム学系 黒田 浩介 助教）の一環として行ったものです。

【掲載論文】

雑誌名：Journal of the American Chemical Society

論文名：Design of Wall-Destructive but Membrane-Compatible Solvents（堅い壁を壊すが、脆い膜にはダメージを与えない溶媒のデザイン）

著者名：Kosuke Kuroda, Heri Satria, Kyohei Miyamura, Yota Tsuge, Kazuaki Ninomiya, Kenji Takahashi（黒田浩介，Heri Satria，宮村恭平，柘植陽太，仁宮一章，高橋憲司）

掲載日時：2017年10月6日金曜日（米国東部時間）にオンライン版掲載

URL：<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jacs.7b08914>

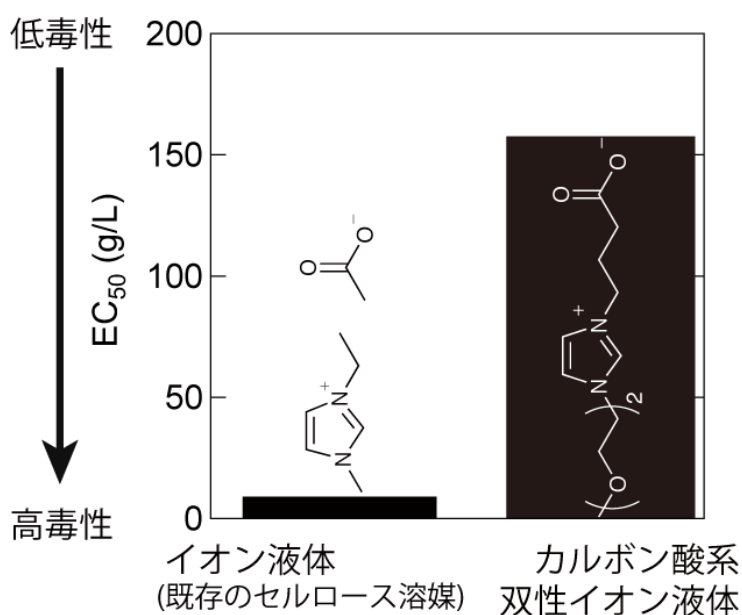


図 2. イオン液体と今回開発したカルボン酸系双性イオン液体の EC₅₀

カルボン酸系双性イオン液体の方が、イオン液体に比べて 17 倍低毒性であった。

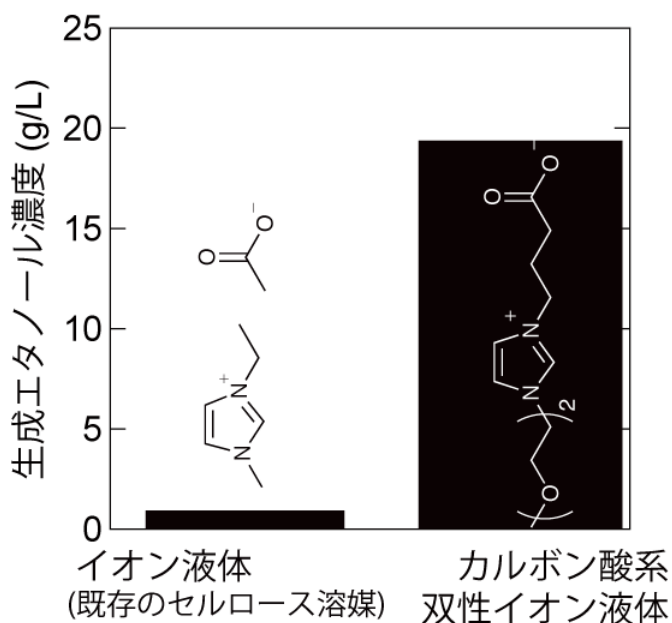


図 3. イオン液体とカルボン酸系双性イオン液体中でのエタノール発酵能力試験

カルボン酸系双性イオン液体 (図右) 中の方が、イオン液体 (図左) に比べて 21 倍エタノールを生産できた。

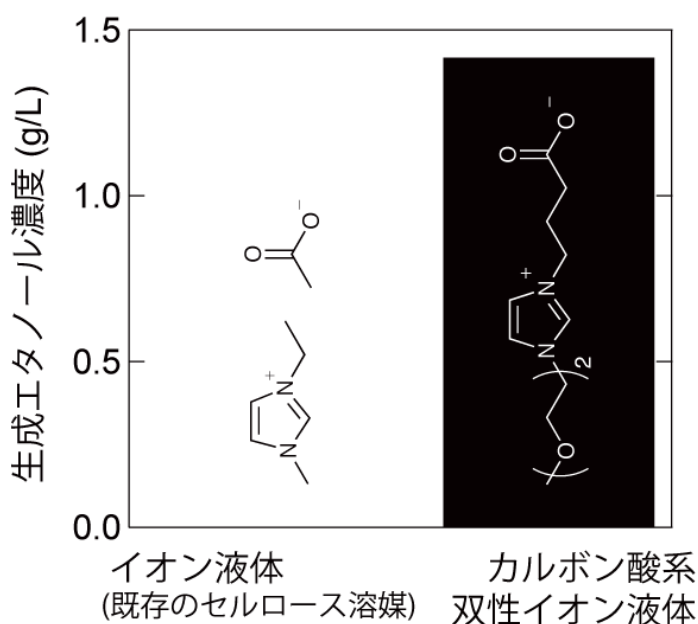


図 4. イオン液体とカルボン酸系双性イオン液体中での連続エタノール生産

イオン液体（図左）中では全くエタノールが生成されなかったが，カルボン酸双性イオン液体（図右）中ではエタノールが生成された。

【用語解説】

※1 植物バイオマス

草や木など植物そのもの，あるいは古紙や割り箸などの植物由来のものすべて。再生可能な資源として注目されている。

※2 カルボン酸系双性イオン液体

今回新たに開発した，バイオマス（セルロース）を溶解し，微生物への毒性が低い溶媒。イオン液体との違いは，正電荷と負電荷が共有結合で結ばれていることである。双性イオン液体の報告自体は世界で2報目であるが，カルボン酸アニオンを持つ双性イオン液体の報告は世界で初めてである。

※3 EC₅₀

大腸菌などの微生物の成長が大きく阻害される濃度と今回は定義した。セルロース溶媒をさまざまな濃度で添加し，大腸菌の成長が半分となった時の濃度としている。

※4 イオン液体

100℃以下で液体になる塩。さまざまな正電荷と負電荷の組み合わせからなり，バイオマスやセルロースを効率的に溶解できることが知られている。

【本件に関するお問い合わせ先】

金沢大学理工研究域自然システム学系 助教

黒田 浩介（くろだ こうすけ）

TEL：076-234-4807

E-mail：kkuroda@staff.kanazawa-u.ac.jp

Web サイト：http://ionicliquid.w3.kanazawa-u.ac.jp

【広報担当】

金沢大学総務部広報室広報係

井村 彩沙（いむら あやさ）

TEL：076-264-5024

E-mail：koho@adm.kanazawa-u.ac.jp

金沢大学理工系事務部総務課総務係

奥村 英樹（おくむら ひでき）

TEL：076-264-6821

E-mail：s-somu@adm.kanazawa-u.ac.jp