

戦略的創造研究推進事業(ALCA)
技術領域(プロジェクト名)「バイオマスの化成品化
およびポリマー化のための高効率生産プロセスの
開発」

課題名「微生物バイオマスを用いた
スーパーエンジニアリングプラスチックの創出」

終了報告書

研究開発期間 平成23年3月～令和2年3月

研究開発代表者:金子 達雄
(国立大学法人北陸先端科学技術大
学院大学 先端科学技術研究科
教授)

○報告書要約（和文）

研究開発代表研究者：北陸先端科学技術大学院大学 教授 金子 達雄

研究開発課題名：微生物バイオマスを用いたスーパーエンジニアリングプラスチックの創出

1.研究開発の目的

本研究では、ガラス代替として活用可能な性能レベルの透明性と耐熱性を兼ねた微生物バイオマス由来スーパーエンジニアリングプラスチック（スーパーエンブラ）の開発を行う。具体的には 4-アミノ桂皮酸の微生物生産と透明高耐熱バイオポリイミド（BPI）ポリ（トルキシル酸ジメチル-4,4'-ジイル-シクロブタンテトラカルボン酸ジイミド）をターゲットとする。本 BPI は、既存の全ての透明樹脂の中で最高の軟化温度 310°C（ガラス転移温度は 350°C 以上）を示すことから、これまで困難であった透明導電体（ITO）のプラスチックフィルム上への直接乾式スパッタリング（基板温度 250-300°C）などによる高温コーティングが可能となる。これは次世代有機エレクトロニクスパネルなど、低炭素化に貢献する技術開発につながる。これにより、バイオベースプロセスによる画期的な有機エレクトロニクスデバイス開発の基礎技術が構築される。その暁には、化石エネルギーから再生可能エネルギーへの転換が大きく加速され、二酸化炭素の排出削減による地球規模の低炭素化へのゲームチェンジに貢献する。

2.研究開発の概要

(1)内容:

バイオ（高谷 G、川口 G）、プラスチック（金子 G）、デバイス（三俣 G、村田 G）に関係するそれぞれのチームが融合し、バイオ由来 4-アミノ桂皮酸（4ACA）を原料とした透明有機ガラスであるバイオポリイミド（BPI）を新規開発した。また、BPI 透明フィルムに透明電極を直接コーティングし次世代低炭素化照明技術である有機 EL 照明の基礎技術を確立した。

(2)成果:

4ACA の発酵生産を効率化するために、グルコースを原料とした直接発酵と 4-ニトロフェニルアラニンを経由した発酵・化学反応プロセスを構築し後者によって 4-アミノ桂皮酸の大量生産を可能とした（高谷 G）。また、代謝工学と培養工学の検討により、4ACA 前駆体である 4-アミノフェニルアラニンのグルコースからの生産性向上と、計算科学的な酵素デザインによる基質特異性の改変による 4APhe から 4ACA への変換反応の改変を行った（川口 G）。

得られたバイオ 4ACA およびバイオ由来フマル酸から目的の BPI を合成した。本 BPI は有機溶媒や水に対して高い溶解性を示しながらも高い耐熱性を保持したため、湿式法でフィルム化し透明導電物質である ITO を高温蒸着し透明電極を作成した（金子 G）。得られた BPI の体積抵抗率、絶縁破壊電圧測定を行い、汎用プラスチックや市販のポリイミドと比較し BPI は現用着色フィルムである Kapton™ と同程度の高電気絶縁性を示すことを確認した（三俣 G）。本透明電極を用いて有機 EL 照明デバイスのモデルを作成した（村田 G）。

(3)今後の展開:

有機 EL 照明と同様のプロセスにより、太陽電池などの有機エレクトロニクスデバイスの基幹材料として活用可能であり 2030 年までの適用を目指す。また、本 BPI は高絶縁破壊耐性を持つために、ウェアラブル PC 用パネル、roll-to-roll 法で作る透明電子回路などへの応用も期待できるため、電子ペーパーに技術革新をもたらす。また、自動車など輸送機器のガラス代替透明プラスチックとしての応用も目指す。これだけでも、自動車総重量の 2%減が期待され世界で 450 万 kL /年の燃料が節約できるため大きな低炭素化技術につながる。

○Report summary (English)

Principal investigator: Japan Advanced Institute of Science and Technology,
Professor Tatsuo Kaneko

R & D title: Development of super-engineering plastics using microbial biomass

1. Purpose of R & D

We will develop a super engineering plastic derived from microbial biomass, which has transparency and heat resistance at a performance level that can be used as an inorganic glass substitute. Our target is microbial production of 4-aminocinnamic acid, and transparent, high heat resistant biopolyimide (BPI) poly(dimethyl truxillate-4,4'-diyl- cyclobutanetetracarboxylic acid diimide). Since the BPI has the highest softening temperature of 310 ° C (glass transition temperature of 350 ° C or higher) among all existing transparent resins, high temperature coating of indium tin oxide (ITO), which is a transparent conductive material, on transparent plastic films by direct dry sputtering (substrate temperature 250-300 ° C) can be made. This will lead to the development of technologies that contribute to lowering carbon, such as next-generation organic electronics panels. As a result, a fundamental technology for the development of groundbreaking organic electronic devices using bio-based processes is established. At the same time, the shift from fossil to renewable energy will be greatly accelerated, contributing to a game change to global carbon reduction by reducing carbon dioxide emissions.

2. Outline of R & D

(1) Contents:

Transparent organic glass of bio-polyimide (BPI) using bio-derived 4-aminocinnamic acid (4ACA) has been newly developed as a raw material, by combining teams of biology (Prof. Takaya, Prof. Kawaguchi), plastic development (Prof. Kaneko), and devices (Prof. Mitsumata, Prof. Murata). In addition, a transparent electric conductor was directly coated on a BPI transparent film to establish the basic technology for organic EL lighting, the next-generation low-carbon lighting technology.

(2) Achievements:

In order to improve the fermentation efficiency of 4ACA, a direct fermentation using glucose as a raw material and a fermentation / chemical reaction process via 4-nitrophenylalanine can be established, and the latter enables mass production of 4-aminocinnamic acid. (Prof. Takaya). In addition, by studying culture and metabolic engineering, we improved the productivity of 4-aminophenylalanine (4APhe), the 4ACA precursor from glucose, and modified the conversion reaction from 4APhe to 4ACA by modifying the substrate specificity by computational scientific design of enzyme. (Associate Prof. Kawaguchi).

The target BPI was synthesized from the obtained 4ACA and bio-derived fumaric acid. Since this BPI was highly soluble in organic solvents and water while maintaining high heat resistance, it was formed into a film by a wet process and ITO was deposited at a high temperature to create a transparent electrode (Prof. Kaneko). The volume resistivity and dielectric breakdown voltage of the obtained BPI were measured and compared with general plastics and commercially available polyimides, it was confirmed that BPI showed high electrical insulation properties comparable to Kapton™, which is the currently-used film with color (Prof. Mitsumata). A model of an organic electroluminescence (EL) lighting was created using the transparent electrode (Prof. Murata).

(3) Future developments:

Our BPI can be used as a basic material for organic electronics devices such as solar cells by the same process as organic EL lighting, and aims to be applied by 2030. In addition, since this BPI has high dielectric breakdown resistance, it can be expected to be applied to wearable PC panels and transparent electronic circuits made by the roll-to-roll method. In addition, it aims to be applied as a transparent plastic substitute for glass for transportation equipment such as automobiles. This is expected to reduce the total weight of the car by 2% and saves 4.5 million kL / year of fuel worldwide, leading to significant low-carbon technologies.