

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23241030

研究課題名(和文)ポリ乳酸のケミカルリサイクルに関する総合的研究

研究課題名(英文)A Comprehensive Study on Chemical Recycle of Poly(L,L-lactide)[PLLA]

研究代表者

白井 義人(Shirai, Yoshihito)

九州工業大学・生命体工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：50175395

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 38,900,000円、(間接経費) 11,670,000円

研究成果の概要(和文)：申請者らはバイオマス由来のプラスチック材料：ポリ乳酸(PLLA)の易循環性に着目し、ポリ乳酸の低エネルギー型資源循環利用の社会実証を行っており、PLLAよりも高品質な素材を回収ポリ乳酸から開発することも進めている。そこで、膨大な実証研究のデータに基づき、PLLAのケミカルリサイクルの基盤研究をさらに広げ、回収ポリ乳酸を原料にした次世代ポリ乳酸とも呼べるポリテトラメチルグリコリド(PTMG)の開発も含め、総合的に基礎研究の充実を図った。

研究成果の概要(英文)：Since the poly(L,L-lactide)[PLLA] made from biomass has been focused on a sustainable material, our research group has studied the PLLA in the practicable use in point of view for the construction of the sustainable system based on PLLA. Additionally, the polytetramethylglycolide (PTMG) as a higher grade bioplastic than PLLA has been developed using the recycled PLLA. In this project, the fundamental research based on our huge data on the practical study for the sustainable system based on PLLA will be further considered from an overall perspective for the chemical recycle of the PLLA. Moreover, this project will be expanded to develop PTMG made from the chemical recycled PLLA.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学

キーワード：環境材料 反応・分離工学

1. 研究開始当初の背景

申請者らはこれまでに、ポリ乳酸のケミカルリサイクルに関して、基礎的にも実証的にも多くの蓄積を残してきた。一方、社会的にもユニー、イオン、福岡ヤフドーム、あるいは、各種行政や大学祭等のイベントでポリ乳酸製品の利用と回収、ケミカルリサイクルによるポリ乳酸のリサイクル利用等を試行してきた。また、シャープ等の家電品企業ともポリ乳酸を含む筐体のリサイクル利用について共同で検討し、UMG ABS 社のような素材提供企業とも連携してきた。しかし、以下の理由により、いまひとつ事業ブレイクに至っていない。

ポリ乳酸自身の特性が中途半端。耐熱、結晶化速度、強度等、使用はできるが、その他のプラスチックと比較してどれもやや劣る。

価格的に激安にならない。つまり、経済的にもそれほど優位性がない。

環境の点で優位性はあるが、現在の不況下、世の中は環境にやさしく、しかも安いものを求めている。

2. 研究の目的

総合的に基礎研究を充実させることで、新たなバイオベース循環社会の基盤を固めるために、従来の社会実証の膨大なデータに基づき、再度、基盤研究に立ち返った。これまでケミカルリサイクルにおいてあがった問題点の克服、そして循環の容易さは変わらないがポリ乳酸よりも高品質な素材を回収ポリ乳酸から開発するため、下記に目的を挙げ、問題解決を図った。

- (1) Lポリ乳酸及びその複合素材のケミカルリサイクル基盤技術の確立
- (2) 実際に社会で利用された素材からの Lポリ乳酸再生に関する基盤技術の確立
- (3) Lポリ乳酸を含む使用済み素材からポリ乳酸のみを回収する基盤技術の確立
- (4) Lポリ乳酸の原料である LL ラクチドの超高度精製基盤技術の確立
- (5) 回収ラクチドあるいは乳酸からの PTMG 創生とそのケミカルリサイクル基盤技術の確立

3. 研究の方法

(1)L ポリ乳酸を含む複合素材からポリ乳酸を純度の高い LL ラクチドとして回収する際の基礎的知見を集め、阻害成分の特定とそれらが共存する場合の回避方法を明らかにする。

エクストルーダーによるポリ乳酸素材の熱分解と LL ラクチドの回収を行った(図1)。エクストルーダーを利用してポリ乳酸とその他プラ、化学添加剤の影響を検討し、(2)

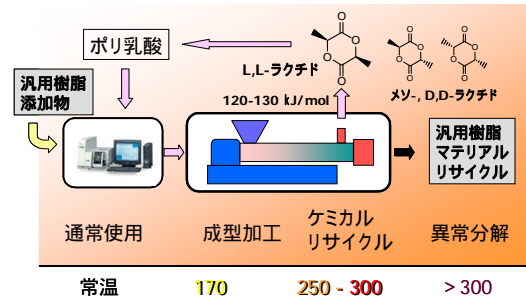


図1. 熱分解によるポリ乳酸のケミカルリサイクル

の実験結果と連携し、エクストルーダーの操作パラメーターを変化させ、影響を検討した。

家電品の筐体にグリーン度を増やす意味から、ポリカーボネート(PC)にポリ乳酸が加えられた素材がしばしば使われている。ポリ乳酸とPCの熱分解温度は近く、ケミカルリサイクルが困難であった。そこで、過熱水蒸気によるポリ乳酸の加水分解と、その結果ポリ乳酸部分が低分子化することを利用し、これら両者の分別を試みる。

セルロース成分とポリ乳酸が混合した場合、セルロースの水酸基とポリ乳酸が反応し、熱分解物がラクチドにならないという大きな問題点がある。(2)の解析結果とも連携し、セルロース存在下でのポリ乳酸の熱分解反応機構を詳細に検討し、エクストルーダーを用いた熱分解実験を試みる。

万一、ラクチドの回収が困難な場合、1)後で述べる過熱水蒸気での低分子化と、アルカリ水への溶解により乳酸として回収する、2)過熱水蒸気処理後に微粉碎し、比重差でこれらを分別する、3)ケミカルリサイクル以外のカスケード利用を検討する、という3つの対策を検討する。

(2)熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析計等による阻害因子の解明と等速昇温分析と一般分解動力学解析理論による熱分解反応機構への影響解明

本テーマは等速昇温熱分解実験法を用いる事によって PLLA が様々な条件の下、200 から 380 くらいまでの範囲で分解し、ガス化する様子がわかる。この曲線を、一般分解動力学理論を用いた解析により、その成分が熱分解反応機構に及ぼす影響を検討する。

(3)常圧過熱水蒸気によるポリ乳酸の分解とその他プラへの影響の解明

これまでに、加圧加熱水蒸気(130、0.25MPa)の条件でポリ乳酸を処理すると、急速に低分子化し、崩壊することを明らかにし、実際にユニー、イオン等の流通業界と共同で、ポリ乳酸卵パックの分別回収とそのポリ乳酸への原料化に成功した。(図2)



図2．過熱水蒸気によるポリ乳酸(PLLA)の分解

しかし、この方法は高压の蒸気を用いるため汎用性の点で難しい。そのため、常圧である過熱水蒸気を用いた加水分解を試みる。

過熱水蒸気の加水分解動力学の解明

過熱水蒸気による PET 等、その他プラスチックの分解動力学の解明

これら低分子材料の微粉体化とその用途開発の検討

(4)水抽出法、トルエン中の晶析による LL ラクチドの回収と高光学純度化

これまでに、エクストルーダーを用いて、共存成分が何ら阻害を示さない系では、ラクチドの回収率 98%以上、光学純度 98%以上を同時に達成しているが、更なる高品質ポリ乳酸の合成を目的に水抽出とトルエン晶析法を用い、さらにラクチドの純度の向上を図る。

(5) 回収ラクチドあるいは乳酸の 位水素のメチル化経路の簡略化による新たな資源循環材料ポリテトラメチルグリコリド (PTMG)の開発(図3)及び熱分解によるケミカルリサイクル

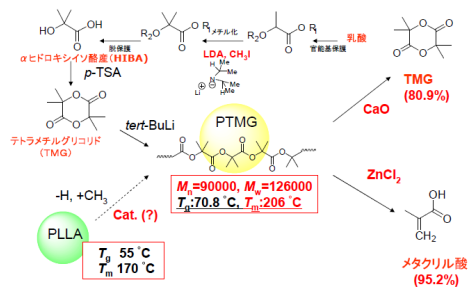


図3．PTMG の合成とケミカルリサイクル

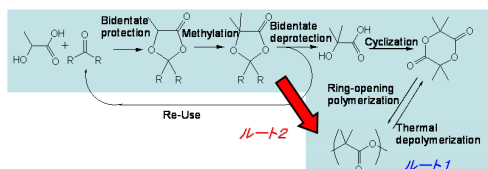


図4．PTMG の合成経路

乳酸のメチル化から得られる2ヒドロキシイソ酪酸 (HIBA) の環状二量体 TMG の開環重

合性を評価し、ポリマーの基礎物性を明らかにするため反応条件の最適化および PTMG の分解挙動を解析し、資源循環性を評価する。

回収ポリ乳酸の加水分解もしくは熱分解により回収される乳酸やラクチドを利用して PTMG の原料である HIBA や TMG の合成ルートを短縮化するために二つの方法を試みる。1つ目は環状モノマーである TMG を合成するために乳酸の環状二量体であるラクチドを原料に用いてメチル基の置換をおこなう。二つ目の方法は乳酸とホルミル基、またはカルボニル基を有した誘導体とのアセタール化を利用した簡略化(図4, ルート1)を行う。

更に簡略化を図るために、アセタール反応を利用した環化で得られる5員環化合物を環状モノマーとして重合することを試みる。重合反応と脱保護反応を同時に行い、最終的に乳酸から3段階の PTMG の合成を目標とする(図4, ルート2)。

4. 研究成果

(1)家電品の筐体として使用されるLポリ乳酸 (PLLA) とポリカーボネート (PC) とのブレンド物は両成分の熱分解温度が近く、ケミカルリサイクルが困難である。そこで、過熱水蒸気処理をおこない、PLLA 成分のみを選択的に加水分解してオリゴマー化した。また、エクストルーダーによるポリ乳酸素材の熱分解と LL ラクチドの回収を触媒として Tin(II)を使用した。結果、PLLA の優先的解重合による L,L-ラクチドへの選択的還元を促進することで温度域に制限があるものの、回収率はほぼ 100%であった。これは、熱分解の動力学解析の結果、PLLA の分解が PC の分解を促進し、その分解の活性化エネルギーが著しく低下することが分かったため、第1段階として過熱水蒸気処理を経ることでポリ乳酸のみ加水分解を促進させ、PLLA への PC の影響を少なくした結果である(図5)。

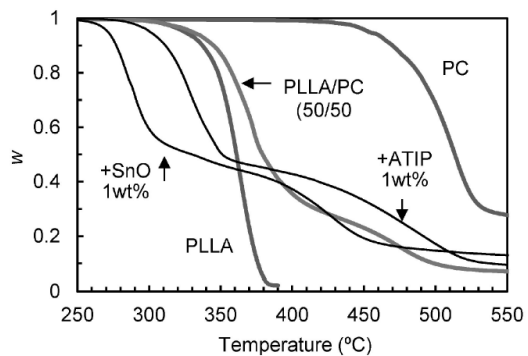


図5．PLLA/PC の等速昇温実験結果、ポリ乳酸の熱分解による重量変化

まとめ：熱分解触媒による制御だけでなく、過熱水蒸気を利用したオリゴマー化により、従来困難であったケミカルリサイクルを可能にする基盤技術を充実することが出来た。(2) PLLA 単独および他の樹脂とのブレンドの

熱分解挙動を一般動力学式を用いて解析した結果、熱分解触媒の有無によって、その熱分解メカニズムが変化すること、そのメカニズムが分解温度によって変化することを、動力学パラメーターから定量的に評価できることを確認した。また、実際に多用されている PLLA/PC および PLLA との複合化が期待される連鎖延長剤カルボニルジイミダゾール (CDI) と物性改良剤タルクに着目した。等速昇温分析と一般分解動力学解析理論による熱分解反応機構への影響を解明するために熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析計により熱分解物の確認をおこない、阻害因子の解明をおこなった。その結果、PLLA/PC に関しては前述したように PLLA の分解が PC に影響を受けるため、触媒を利用し、温度制御を行うことで LL ラクチドの回収率を向上させた。一方、CDI (1wt%添加) もタルク (~20wt%添加) も PLLA のケミカルリサイクル温度帯 (250-300) では PLLA の熱分解反応には有意の影響を及ぼさないことが確認された。他にも、PLLA/ABS や難燃化剤含有 PLLA のケミカルリサイクルについて一般分解動力学解析にて検討を行った。

まとめ: PLLA へ含有される他の樹脂や連鎖延長剤等を想定し、等速昇温分析と一般分解動力学解析理論による熱分解反応機構への影響を解明し、PLLA のケミカルリサイクルの重要な知見とすることが出来た。

(3) PLLA の常圧過熱水蒸気分解は、加圧加熱水蒸気分解に比べて、分解速度が遅い。加水分解メカニズムは、双方とも自己触媒のランダム分解反応で進行する。その特長は、加水分解に伴うラセミ化は起こらず、処理後の乳酸オリゴマーの光学純度に影響を及ぼさない。まず、過熱水蒸気によるポリ乳酸の分解とその他プラスチックへの影響について検討した。PET 製卵パックの過熱水蒸気による分解を検討し、PLLA の分解温度域である 110 ~ 130 では PET の分子量低下は確認されなかったが、220 での過熱水蒸気処理により、PET の分解が進行した。また、ポリブチレンサクシネートは 110 ~ 130 の温度範囲で加水分解し、分解速度定数は PLLA の半分以下であった。PLLA/PC ブレンドは海島構造に相分離しており、水蒸気処理により、相界面の付着が無くなり、滑らかな相界面が電子顕微鏡観察により確認された。さらに、PLLA 成分の選択分解による分子量低下を確認した。従って、過熱水蒸気処理を行うことによって PC の影響を少なくし、PLLA/PC から PLLA の円滑なケミカルリサイクルに成功した。また、PLLA オリゴマーを利用して未利用農業資源であるイネや藁との複合材料、多孔性膜、創傷被覆材や接着剤等へ応用展開を図った。

まとめ: 常圧過熱水蒸気による PLLA の分解とその他プラへの影響を解明し、更に得られる PLLA オリゴマーの用途を上げた。

(4) 粗ラクチドの晶析処理による L,L-ラクチドの純度向上について、従来はトルエンに

よる晶析を行うことで不純物を取り除いていたが、収率が 30%前後と低く、効率の改善が必要であった。そこで、前処理として粗ラクチドの水洗いによって収率 59%まで向上させた。これにより、水による効率的な微量成分の抽出効果が確認された。そこで、ポリ乳酸の熱分解触媒と熱分解プロセスの組み合わせにより、高光学純度での LL ラクチドの回収をおこない、水による洗浄と組み合わせる光学純度ほぼ 100%の LL ラクチドを回収する基盤技術を確立した。

まとめ: 熱分解触媒の選択と水洗浄法を組み合わせることで目的を達成した。

(5) 回収ラクチドあるいは乳酸からの TMG 合成を検討した結果、ラクチドからの TMG 合成は開環反応の抑制が困難であった。しかし、乳酸を利用した新たな合成ルートとして汎用溶媒であるアセトンにアセタール反応を利用して保護試剤とした結果、五員環を経た TMG の合成法を開発した。さらに、反応手法の検討及び回収に有利な高分子触媒の開発を行い、反応の効率化をおこなった。その結果、収率を約 20%から約 60%まで改善し、従来 6 段階あった合成ルートを半分に短縮した。また、TMG の精製法を検討した結果、PTMG の高分子量体を得ることに成功し、一般分解動力学解析理論を用いて熱分解反応によるケミカルリサイクルの検討を行い、分子量の影響や熱分解触媒の効果を明らかにした。

まとめ: リサイクルで得られる乳酸オリゴマーや乳酸を活用して次世代型ポリ乳酸 PTMG の効率的な合成法、およびケミカルリサイクルを確立した。

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 13 件)

1. “ポリ乳酸/ポリカーボネート複合材料の熱分解シミュレーション解析と選択的資源循環”、西田治男, 栗木原嵩, 附木貴行, 白井義人, 高分子論文集, **70**[10], 589-595 (2013). 査読有, DOI : <http://dx.doi.org/10.1295/koron.70.589>.
2. “ポリ乳酸/ABS 複合材料の熱分解シミュレーション解析と選択的資源循環”、附木貴行, 柳田大輝, 山城恵作, 白井義人, 西田治男, 高分子論文集, **70**[10], 581-588(2013). 査読有, DOI : <http://dx.doi.org/10.1295/koron.70.581>.
3. “A Cross-Linked Polystyrene Supported Hindered Lithium Amide as a Deprotonation Reagent for α -Methylation of Lactic Acid”, Kohtarō Watanabe, Yoshito Ando, Yoshihito Shirai, Haruo Nishida, Tetrahedron Letters, **54** (2013) 4320-4323. 査読有, DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.tetlet.2013.06.019>.

4. “バイオマスプラスチックを用いた農業機械部品から農業資材へのリサイクル” 長澤教夫、附木貴行、堀井崇良、藤井幸人、臼井善彦、大西正洋、白井義人、西田治男 *農業機械学会誌*, 75, 108-111 (2013). 査読有, DOI : <http://ci.nii.ac.jp/naid/40019607391>.
 5. “A Simple Synthetic Route for the Preparation of Tetramethylglycolide from Lactic Acid”, Kohtaro Watanabe, Yoshito Ando, Yoshihito Shirai, Haruo Nishida, *Chemistry Letters*, 42(2), 159-161 (2013). 査読有, DOI : 10.1246/cl.2013.159.
 6. “Effects of poly(L-lactic acid) hydrolysis on attachment of barnacle cypris larvae”, Nobuyuki Ishimaru, Takayuki Tsukegi, Minato Wakisaka, Yoshihito Shirai, Haruo Nishida, *Polymer Degradation and Stability*, 97: 2170-2176 (2012). 査読有, DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2012.08.012>.
 7. “Development of materials and technologies for control of polymer recycling”, Haruo Nishida, *Polymer Journal*, 43, 435-447 (2011). 査読有, DOI : 10.1038/pj.2011.16.
 8. “Characteristic Chain-End Racemization Behavior during Photolysis of Poly(L-lactic acid)”, Nobuhiko Yasuda, Takayuki Tsukegi, Yoshihito Shirai, Haruo Nishida, *Biomacromolecules*, 12, 3299-3304 (2011). 査読有, DOI : 10.1021/bm200775r.
 9. “Biomass-based Composites from Poly(lactic acid) and Wood Flour by Vapor-Phase Assisted Surface Polymerization”, Donghee Kim, Yoshito Ando, Yoshihito Shirai, Haruo Nishida, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 3 (2), 385-391 (2011). 査読有, DOI : 10.1021/am1009953.
 10. “Poly(tetramethyl glycolide) from Renewable Carbon, a Racemization-Free and Controlled Depolymerizable Polyester”, Haruo Nishida, Yoshito Andou, Kohtaro Watanabe, Yoshiro Arazoe, Seiji Ide, and Yoshihito Shirai, *Macromolecules*, 44, 12-13 (2011). 査読有, DOI : 10.1021/ma102289w.
- 〔学会発表〕(計46件)
1. 附木 貴行(西田治男) “海水暴露環境における乳酸オリゴマーの分解挙動” 高分子学会 第62回高分子討論会、石川金沢大学、2013年9月11日
 2. 附木 貴行(西田治男) “農業資材におけるポリ乳酸の再資源化技術” 高分子学会年次大会、京都 国際会議場、2013年05月29日
 3. 安藤義人 “セルロース表面へのL,L-ラクチドの気相重合と表面モルフォロジー解析” 第61回高分子討論会、名古屋工業大学、2012年09月19日~2012年09月21日
 4. 西田治男 “ポリ乳酸の加水分解における水蒸気圧の効果” 第61回高分子討論会、名古屋工業大学、2012年09月19日~2012年09月21日
 5. Takayuki Tsukegi (Haruo Nishida) “High-Speed and Selective Chemical Recycling of PLLA Compounds with Twin Screw Extruder” Asian Workshop on Polymer Processing 2012 in Kyoto, Japan、Kyoto Institute of Technology、2012年08月29日
 6. 附木 貴行(西田治男) “バイオマス由来ポリアミドのケミカルリサイクル” 第1回高分子学会グリーンケミストリー研究会シンポジウム(招待講演)、日本大学理工学部駿河台校舎1号館6階CSTホール2012年08月23日
 7. 安藤 義人 “ポリテトラメチルグリコリドの資源循環性” 第1回高分子学会グリーンケミストリー研究会シンポジウム(招待講演)、日本大学理工学部駿河台校舎1号館6階CSTホール2012年08月23日
 8. 西田治男 “バイオベースプラスチックの制御可能な分解反応と資源循環” 平成24年度廃棄物資源循環学会研究討論会企画セッション「リサイクルの可能性を高めた新材料開発」(招待講演)、川崎市産業振興会館、2012年06月01日
 9. 附木貴行 “ポリ乳酸系ポリマーアロイからのエクストルーダーによる資源循環の実証” 平成23年度 産業系副産物バイオマス利用技術研究会 特別講演会(招待講演) 沖縄県工業技術センター(沖縄県) 2012年2月9日
 10. 西田治男 “バイオマスプラスチックの資源循環利用とその実証” 平成23年度 産業系副産物バイオマス利用技術研究会 特別講演会(招待講演) 沖縄県工業技術センター(沖縄県) 2012年2月9日
 11. 安藤義人 “バイオマス材料の利用：資源循環型社会を目指して” 第26回中国四国地区高分子若手研究会(招待講演) KKRホテル広島(広島県)、2011年11月10日
 12. 西田治男 “環境調和型バイオポリマー：ポリ乳酸の循環利用展開について” 高分子学会中国四国支部 平成23年度高分子講演会、シンポジウム「環境調和型バイオポリマーの新展開」(招待講演) 広島大学(広島県) 2011年10月7日

13. 安藤義人、渡辺晃太郎、前田崇暁、白井義人、西田治男 “ポリテトラメチルグリコリドの合成および特性” 第 60 回高分子討論会、岡山大学津島キャンパス(岡山県)、2011 年 9 月 29 日
14. 西田治男 “最新の資源循環型ポリマー材料と反応制御技術” 化学工学会 第 43 回秋季大会 シンポジウム、「亜臨界・超臨界流体技術によるグリーンイノベーション」, 名古屋工業大学(愛知県) 2011 年 9 月 15 日
15. 西田治男 “バイオマスプラスチックの資源循環利用” 化学工学会 超臨界流体部会 第 10 回サマースクール「亜臨界・超臨界流体技術のニュートレンドと資源循環・有効利用への応用」(招待講演) パナソニックリゾート大阪(大阪府) 2011 年 8 月 8 日
16. 西田治男 “循環型プラスチックの研究と実証” 平成 23 年度プラスチックリサイクル化学研究会、総会・講演会・意見交換会(招待講演) 日本大学駿河台キャンパス(東京都) 2011 年 6 月 20 日
17. 西田治男 “バイオマスからの新しい資源循環型材料 ポリテトラメチルグリコリド” 第 45 回関西バイオポリマー研究会「バイオマスを利用した新材料の開発」(招待講演) 京都工芸繊維大学(京都府) 2011 年 6 月 16 日

〔図書〕(計 7 件)

“特集 エコマテリアルの潮流 環境分解性ポリマーの機能を活かした応用展開” 西田治男、附木貴行、白井義人、ケミカルエンジニアリング, 58[8], 16-22 (2013).

“ポリ乳酸製品のケミカルリサイクルによる循環社会の構築” 白井義人、西田治男、プラスチック再生資源化の基礎と応用 Base and Application of Plastic Recycling, シーエムシー出版, pp. 287-294 (2012).

“第 5 章 ポリマーのリサイクル技術” 西田治男、高分子の架橋と分解 III, シーエムシー出版, pp. 103-112 (2012.3.21).

“第 5 章 ポリマーアロイからのポリ乳酸の資源循環” 西田治男、附木貴行、白井義人、植物由来ポリマー・複合材料の開発、サイエンス&テクノロジー, pp. 293-305 (2011.12.22).

〔産業財産権〕

○出願状況(計 2 件)

名称：“水棲生物の付着防止用塗料”
 発明者：西田治男、附木貴行、高妻貴道、佐藤大悟、利光文男、利光 淳、了戒和弘
 権利者：国立大学法人九州工業大学
 種類：特許
 番号：特願 2013-037431

出願年月日：2013 年 2 月 27 日

国内外の別：国内

名称：“育種育苗ポット”

発明者：附木貴行、西田治男、白井義人

権利者：国立大学法人九州工業大学

種類：特許

番号：特願 2011-265751

出願年月日：2011 年 12 月 5 日

国内外の別：国内

〔その他〕

本研究成果を背景に地域社会との連携及び経済への貢献を図った。

(1)福岡県柳川市の大和漁業と福岡県水産試験場および西日本電線株式会社との共同研究。有明海におけるノリ養殖網を支える養殖支柱に着生するフジツボが引き上げ時の負担となり問題である。調製した乳酸オリゴマーをノリ養殖棒に被覆することで生物(フジツボ)の付着抑制の実証試験をおこなった。2.HiBiQoo と連携して北九州マラソン 2014 および北九州マラソン EXPO にて、「大会オフィシャルエコタンブラー」の販売・提供に貢献。地域の環境保全に役立てられる苗木などに交換可能な「どんぐりポイント」の周知及び促進に貢献した。制度参加コミュニティの「九州エコノベルティ推進会」が収集したポイントは、環境に貢献できる商品に交換され、地域の環境活動を実施する団体(NPO等)に寄贈される予定である。

<http://hibiqoo.co.jp/201402161.html>

3.上記マラソンの給水用にポリ乳酸カップ、マラソン会場のブースにて配布用にリサイクルポリ乳酸の定規の提供に協力し、地元社会に貢献するだけでなく、バイオプラスチックそして環境を地域社会に意識づけることに貢献した。

ホームページ等

<http://www.lsse.kyutech.ac.jp/~ecotown/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

白井 義人 (Yoshihito Shirai)

九州工業大学大学院生命体工学研究科・教授
 九州工業大学エコタウン実証研究センター・センター長(併任)

研究者番号：50175395

(2)研究分担者

西田 治男 (Haruo Nishida)

九州工業大学大学院生命体工学研究科・教授
 研究者番号：50330238

安藤 義人 (Yoshito Ando)

九州工業大学エコタウン実証研究センター・准教授

研究者番号：90446013

(3)連携研究者

附木 貴行 (Takayuki Tsukegi)

九州工業大学エコタウン実証研究センター・研究員