

令和 5 年 5 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06159

研究課題名（和文）バニリン酸を用いた新規高耐熱性高性能芳香族バイオプラスチックの合成と材料化

研究課題名（英文）Vanillin-based high performance aromatic bioplastics

研究代表者

榎本 有希子（Enomoto, Yukiko）

東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・准教授

研究者番号：90726530

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、木質由来のリグニンから得られる芳香族化合物であるジバニリン酸を原料に用いて、ポリエステルやポリアミド、ポリケトンなど、これまでに例のない構造かつ最大300℃以上の高耐熱性を有する新規の芳香族バイオプラスチックの合成とフィルムなどへの材料化を行った。さらに、ジバニリン酸を用いたポリエステルが、環境中の微生物のはたらきによって分解する新しい生分解性プラスチックにもなり得ることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでバイオマスプラスチックの種類は限られていて、さらなる耐熱性や物性の向上が求められていた。本研究では、木材から得られるジバニリン酸を用いて、新しい高耐熱性ポリマーの合成が可能であること、その材料化、生分解性の付与が可能であることを示すことができた。本成果は、木質由来化合物を用いた新しい環境に優しいプラスチックの分子設計や材料開発に広く展開できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：We have synthesized novel highly thermally stable aromatic bio-based plastics from divanillic acid derived from lignin. Divanillic acid-based polymers exhibited high thermal stability over 300℃, and formed thermo-pressed films with high mechanical properties. In addition, divanillic acid-based polyesters with free hydroxyl groups were proved to be biodegradable in the environment.

研究分野：高分子合成

キーワード：ジバニリン酸 バイオマスプラスチック 生分解性プラスチック リグニン ポリエステル ポリアミド ポリケトン ビトリマー

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

石油資源の枯渇への懸念や海洋プラスチックごみなどの環境問題の解決策の一つとして、植物などを原料とするバイオマスプラスチックや環境中の微生物により分解される生分解性プラスチックなどのバイオプラスチックの重要性がますます高まっている。しかし、既存のバイオマスプラスチックは種類が少なく、100℃あるいは200℃を超える温度範囲で使用できる耐熱性を持った、さらに高い熱物性や機械物性を有する高性能バイオマスプラスチックの開発が求められている。また、多くの生分解性プラスチックは脂肪族ポリエステルがほとんどであり、耐熱性を向上させた生分解性プラスチックの開発も重要な課題である。

芳香族化合物は、プラスチックの耐熱性や機械物性を向上させるために重要な構成単位(モノマー)であるが、工業生産可能なバイオマス由来の芳香族化合物は、テレフタル酸やフランジカルボン酸など、その種類は限られている。バイオマス由来の芳香族化合物として木材由来のリグニンの分解物として得られるバニリン酸は、芳香環にカルボキシ基と水酸基をひとつずつ有する化合物でもっとも有望なバイオマスモノマーの一つである(図1)。しかしながら、バニリン酸は、単独では重合が困難で、材料化も難しいという課題があった。バイオマス由来の新たな化合物の選定やモノマーの合成、ポリマーの分子設計と材料特性の制御といった一連の研究により、新たなバイオマス由来の高耐熱性プラスチックの開発が求められていた。

2. 研究の目的

我々は、バニリン酸が酵素により二量体化しジバニリン酸へと変換可能であることに着目した(図1)。ジバニリン酸は両末端にカルボキシ基を有するビフェニル化合物となり、テレフタル酸などと同様にポリエステル合成が可能となる。また、水酸基に様々な構造の官能基を導入することにより得られるポリマーの特性も制御できると期待された。これまでジバニリン酸を用いたポリエステルの合成例はあるものの^{1,2)}、材料化やその特性についての報告はなかった。また、その他のポリマー合成への展開例も数少なかった。そこで、本研究では、ジバニリン酸を用いた新規高耐熱性バイオマスプラスチックの合成と材料化、その物性制御を目的とした。

3. 研究の方法

ジバニリン酸の水酸基に鎖長の異なるアルキル基を導入した種々のモノマーを合成し(図1)、これらを用いて、ポリエステル、ポリアミド、ポリケトン、ビトリマーなど、さまざまな結合様式からなるポリマーを合成し、その熱特性、フィルムの成形性、機械特性などの物性を調べた。さらに、ジバニリン酸の水酸基を遊離させた状態のポリエステルの合成も行い、酵素分解性や環境分解性を評価し、新たな生分解性芳香族プラスチックとしての可能性を調べた。

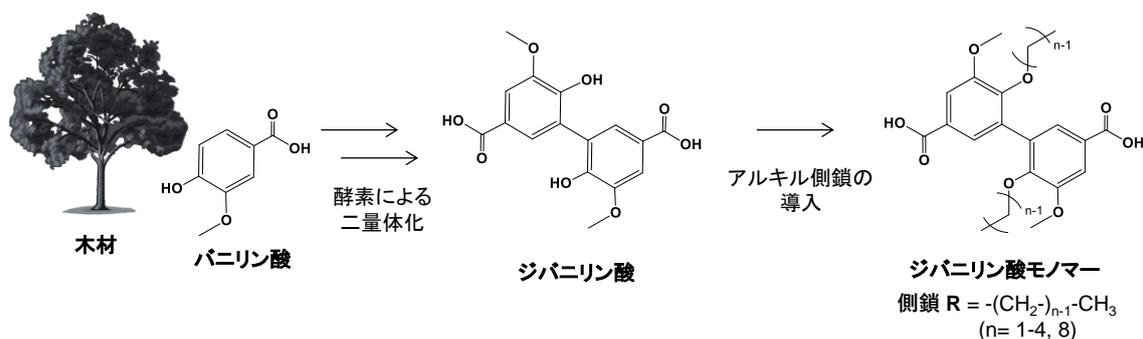


図1 ジバニリン酸の化学構造とモノマーの合成

4. 研究成果

(1) ジバニリン酸由来のポリエステル

ジバニリン酸の水酸基に炭素数(n)の異なる様々な側鎖を導入したジバニリン酸モノマーを合成した。ジバニリン酸の水酸基は、そのままでは重合反応に関与してしまうため、様々なアルキル鎖を導入して副反応を抑制するとともに、得られるポリマーの熱機械特性や成形性の制御を行い、さらにポリエステルやそれ以外のポリマーの物性制御と展開した。

新規に合成したジバニリン酸モノマーと、柔軟な構造を有するアルカンジオール(ブタンジオール(Bu)、ヘキサジオール(He))³⁾、剛直な構造を有する環状ジオール(ベンゼンジメタノール(B)、シクロヘキサンジメタノール(C)、ビフェニルジメタノール(BP))とのポリエステル⁴⁾、あるいは両方のジオールを組み合わせた種々のコポリエステル⁵⁾を合成した(図2)。これらのポリエステルは、重量平均分子量は、2~6万で、ほぼ全て融点を持たない非晶性のポリマーであった。多くのポリマーから熱圧成形フィルムを作製できた。アルキル側鎖の炭素数、アルカンジオールと環状ジオールの構造やその組成により、ガラス転移点は約20℃から最大約140℃まで変化し

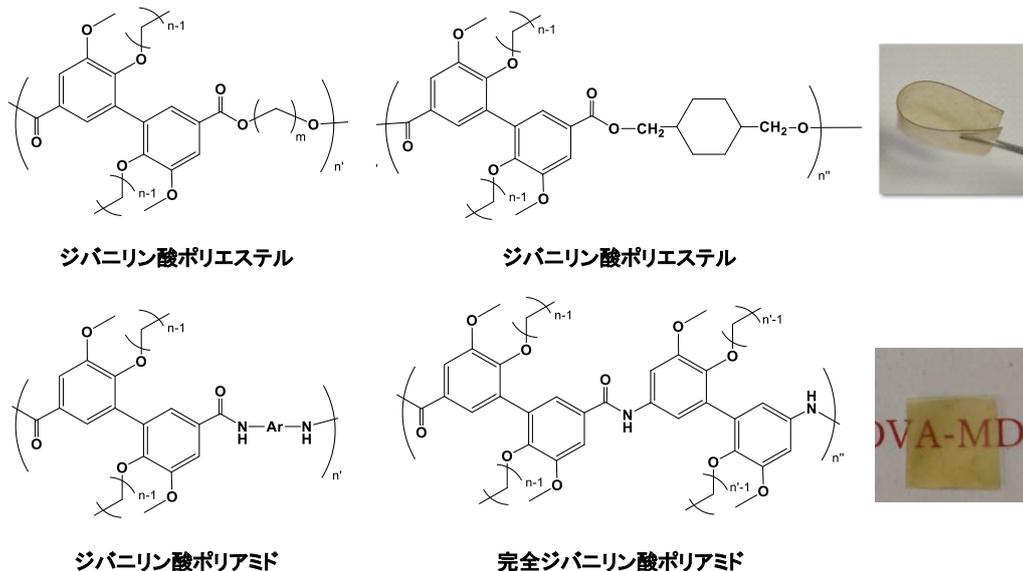


図2 ジバニリン酸由来ポリエステルおよびポリアミドと代表的なフィルムの写真

た(図 3a)。フィルムの物性も硬くて強いものから、柔らかく伸び性の高いものまで、幅広い特性を示し、側鎖の構造やモノマーの構造や組成により、熱特性や成形性、機械強度などを制御できることが明らかになった。

(2) ジバニリン酸由来ポリアミド

ジバニリン酸モノマーと、様々な芳香族ジアミン (DDS, PPD, MPD, ODA, MDA) からなるポリアミドを合成した (図 2) ⑥。ポリアミドの重量平均分子量は、4.7~11.2 万であり、高分子量のポリアミドが得られた。ジバニリン酸ポリアミドも融点を持たない非晶性ポリマーであった。これらのポリアミドは、ポリエステルよりもさらに高いガラス転移点を示し、アルキル側鎖炭素数とジアミンの構造に依存して、低いものでも 160°C、最大で 322°C のガラス転移点を示した(図 3b)。これらのガラス転移点はスーパーエンジニアリングプラスチックに匹敵する高い値であり、ジバニリン酸ポリアミドが優れた耐熱性を有することが示された。また、これらのポリアミドから熱圧成形フィルムも得られた。引張試験の結果、側鎖炭素数 4 のポリアミドのフィルムの最大応力は約 60-70MPa と、十分に使用可能な強度を示した。また、ジバニリン酸のカルボキシ基をアミノ基に変換したモノマーも合成し、完全にジバニリン酸のみからなるポリアミドも合成した ⑦。これによりオールバイオマスの芳香族ポリマーとなる。炭素数 1 と 4 のモノマーを用い、単一あるいは複数の側鎖からなる完全ジバニリン酸ポリアミドが得られ、それらの熱圧フィルムの成形にも成功した。側鎖炭素数 1, 4 のポリアミドのガラス転移点はそれぞれ 260°C、200°C と高い熱安定性を示し、側鎖炭素数 4 のポリアミドのフィルムの強度は約 40MPa であり、側鎖の長いもので一定の強度を発現させることができた。

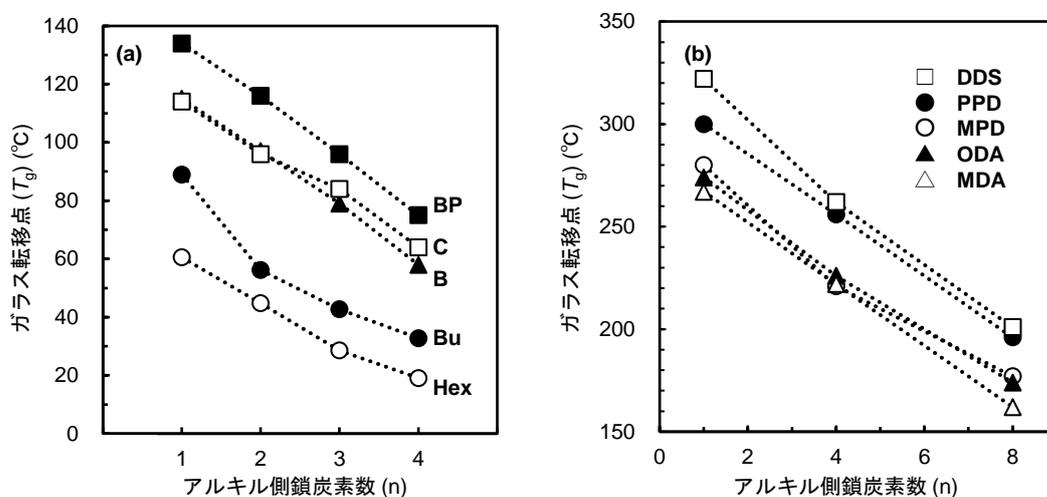


図3 ジバニリン酸由来の(a) ポリエステルと(b) ポリアミドのガラス転移点 (T_g)

(3) ジバニリン酸由来のその他のポリマー

ポリケトンやポリエーテルケトン類は、高い耐熱性や耐衝撃性を有するポリマーであり、未だバイオマス化が実現していないスーパーエンジニアリングプラスチックの一つである。ジバニリン酸モノマーを用いて様々な側鎖長を有するポリケトンの合成にも展開した(図 4)⁸⁾。ポリケトンは、分子量が約 1 万程度であるものの、ガラス転移点は 200-280℃と高い耐熱性を示した。また、ジバニリン酸とエポキシ化大豆油から、動的架橋結合からなるネットワークポリマーであるビトリマーの合成やフィルム成形にも成功した(図 4)⁹⁾。バイオベースの熱硬化性樹脂でありながら、自己修復や再成形が可能であり、今後マテリアルリサイクルやケミカルリサイクルのような高度な再利用へと展開できる可能性がある。

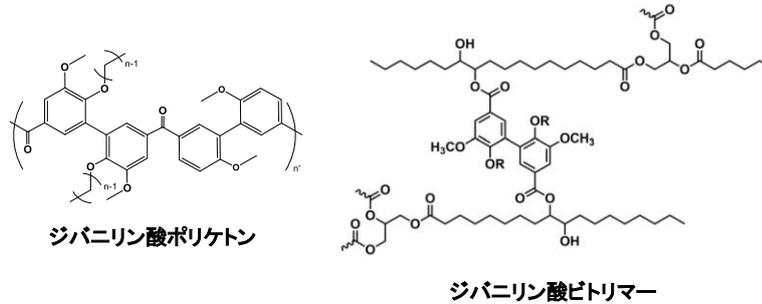


図4 ジバニリン酸由来ポリケトンおよびジバニリン酸と大豆油からなるビトリマー

(4) 遊離水酸基を有するジバニリン酸由来ポリエステル合成と生分解性

木材中のリグニン、芳香族化合物が複雑に結合したネットワークポリマーであり、木材腐朽菌により生分解を受ける。その際、フェノール性水酸基でのラジカル発生が分解の起点となり、芳香環の開裂が進行すると考えられている^{10, 11)}。ジバニリン酸のビフェニル構造は、リグニンの部分構造としても含まれており、ジバニリン酸も木材腐朽菌により分解を受けることも知られている¹²⁾。そこで、ジバニリン酸の水酸基が遊離した状態では、得られるポリエステルなどのポリマーが、木材腐朽菌により主鎖が分解を受けたり、ポリエステルの加水分解で生じるジバニリン酸が環境中で分解されたりすることが期待できる、新たな生分解性芳香族プラスチックになるのではないかと考えた。

ジバニリン酸の水酸基の副反応を防ぐため、かさ高く重合中にも安定なトリイソプロピルシリル基でいったん水酸基を保護した後、ヘキサシジオールとのポリエステルを重合し、最後にシリル基を脱保護することで、遊離水酸基を有するジバニリン酸ポリエステルの合成に成功した¹³⁾。ポリエステルは非晶性であり、ガラス転移点は 108℃であった。ジバニリン酸とアジピン酸の共重合体も合成したところ、それらの組成によってガラス転移点は変化した¹⁴⁾。

ジバニリン酸の組成が 25%のポリエステルでは、ポリエステル分解酵素であるクチナーゼで処理したところ、10 日間で約 50%の重量減少を示し、酵素分解性を示すことがわかった。東京大学構内の池の水を用いた環境分解性を生物化学的酸素要求量(BOD)試験により評価したところ、バニリン酸メチルとジバニリン酸ジメチルは、40 日間でそれぞれ 75%、50%の分解性を示し、ジバニリン酸とヘキサシジオールからなるポリエステルは、8%の分解性を示した(図 5)。これらのことからモノマー類は少なくとも環境毒性は有さず、環境中で生分解を受けることがわかった。さらに水酸基を遊離させたジバニリン酸由来のポリエステルが、潜在的に生分解性プラ

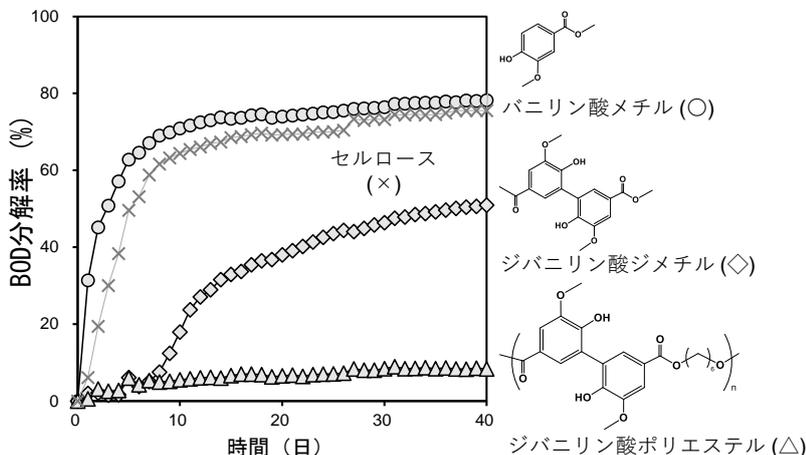


図5 遊離水酸基を有するジバニリン酸ポリエステルとバニリン酸由来低分子化合物の池の水中でのBOD分解性

スティックとなり得る可能性が示された。

5. 結論

ジバニリン酸を用いた高耐熱性バイオマスプラスチックの合成と、ジバニリン酸の化学構造や生分解性を活かして、その遊離水酸基を保持した状態のポリエステルを合成し、新たな生分解性ポリマーとしての可能性を提案した。ジバニリン酸の基本骨格であるビフェニル構造や側鎖の構造、遊離したフェノール性水酸基などの特殊な構造を活かし、得られるポリマーの物性や生分解性を制御することができる、新たな基盤化合物になることを期待している。

一方で、原料の入手や、ポリマーの機械物性の向上、生分解性のさらなる向上や制御など多くの課題も残しており、今後改善すべき点が多い。現在、バニリンや有用バイオマス化合物の生産、新たなバイオマス材料や生分解性材料の探索が精力的に行われている。本研究により、バニリン酸を始めとするバイオマス化合物の有効な利用法を提案することで、これらの研究の新たな展開やバイオマスの利用拡大へ貢献できることを期待している。

<引用文献>

- 1) Llevot, A., Grau, E., Carlotti, S., Grelier, S., Cramail, H., *Macromolecular Rapid Communications* 37, 9 (2016)
- 2) Llevot, A., Grau, E., Carlotti, S., Greliera, S., Cramail, H., *Polymer Chemistry* 6, 6058 (2015)
- 3) Enomoto, Y., Iwata, T., *Polymer* 193, 122330 (2020)
- 4) Zhang, Y. F., Enomoto, Y., Iwata, T., *Polymer* 203, 122751 (2020)
- 5) Zhang, Y. F., Enomoto, Y., Iwata, T., *Polymer Degradation and Stability* 192, 109706 (2021)
- 6) Yagura, K., Zhang, Y. F., Enomoto, Y., Iwata, T., *Polymer* 228, 123907 (2021)
- 7) Yagura, K., Enomoto, Y., Iwata, T., *Polymer*, 256, 152222 (2022)
- 8) Enomoto, Y., Iwata, T., *European Polymer Journal* 154, 110526 (2021)
- 9) Zhang, Y., Enomoto, Y., Iwata, T., *RSC Sustainability*, 1, 543 (2023)
- 10) Ander, P., Eriksson, K. E., *Physiologia Plantarum* 41, 239-248, (1977).
- 11) Wariishi, H., Valli, K., Gold, M. H., *Biochemistry* 28, 6017-6023, (1989).
- 12) Nishida, T., Kashino, Y., Katayama, Y., Mimura, A., Takahara, Y., *Mokuzai Gakkaishi* 35, 152, (1989).
- 13) Fujieda, K., Enomoto, Y., Zhang, Y. F., Iwata, T., *Polymer*, 257, 125241 (2022)
- 14) Fujieda, K., Enomoto, Y., Huang Q. Y., Iwata, T., *Polymer*, 268, 125685 (2023)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yunfan Zhang, Yukiko Enomoto, Tadahisa Iwata	4. 巻 192
2. 論文標題 Synthesis of homo- and copolyesters containing divanillic acid, 1,4- cyclohexanedimethanol, and alkanediols and their thermal and mechanical properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Degradation and Stability	6. 最初と最後の頁 109706
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.polymdegradstab.2021.109706	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kazuma Yagura, Yukiko Enomoto, Yunfan Zhang, Tadahisa Iwata	4. 巻 228
2. 論文標題 Synthesis of highly thermally stable divanillic acid-derived polyamides and their mechanical properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 123907
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.polymer.2021.123907	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yukiko Enomoto, Tadahisa Iwata	4. 巻 154
2. 論文標題 Synthesis and characterization of bio-based aromatic polyketones and polyetherketones derived from divanillic acid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 110526
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.eurpolymj.2021.110526	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yagura Kazuma, Enomoto Yukiko, Iwata Tadahisa	4. 巻 256
2. 論文標題 Synthesis of fully divanillic acid-based aromatic polyamides and their thermal and mechanical properties	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 125222 ~ 125222
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.polymer.2022.125222	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujieda Kentaro, Enomoto Yukiko, Zhang Yunfan, Iwata Tadahisa	4. 巻 257
2. 論文標題 Synthesis and characterization of novel potentially biodegradable aromatic polyesters consisting of divanillic acids with free phenolic hydroxyl groups	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 125241 ~ 125241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2022.125241	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujieda Kentaro, Enomoto Yukiko, Huang Qiuyuan, Iwata Tadahisa	4. 巻 268
2. 論文標題 Synthesis and enzymatic biodegradation of co-polyesters consisting of divanillic acid with free hydroxyl groups	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 125685 ~ 125685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2023.125685	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Yunfan, Yukiko Enomoto, Tadahisa Iwata	4. 巻 1
2. 論文標題 Bio-based vitrimers from divanillic acid and epoxidized soybean oil	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 RSC Sustainability	6. 最初と最後の頁 543 ~ 553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2SU00140C	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Yunfan, Enomoto Yukiko, Iwata Tadahisa	4. 巻 203
2. 論文標題 Synthesis and characterization of biphenyl polyesters derived from divanillic acid and cyclic diols	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 122751 ~ 122751
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2020.122751	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 榎本有希子、岩田忠久
2. 発表標題 ジバニリン酸由来バイオベースポリケトン・ポリエーテルケトンの合成と物性
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤枝謙太郎、榎本有希子、岩田忠久
2. 発表標題 水酸基にシリル基を導入したジバニリン酸由来モノマーとバイオポリエステル合成
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢倉和真、榎本有希子、岩田忠久
2. 発表標題 ジバニリン酸由来のバイオベースポリアミドの合成とその特性
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢倉和真、榎本有希子、岩田忠久
2. 発表標題 ジバニリン酸由来のバイオベースポリアミドおよびコポリアミドの合成とその特性
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukiko Enomoto and Tadahisa Iwata
2. 発表標題 Synthesis and properties of bio-based aromatic polymers derived from divanillic acid
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yunfan Zhang, Yukiko Enomoto, Tadahisa Iwata
2. 発表標題 Aromatic bio-based polyesters composed of divanillic acid and diol with cyclic structure
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤枝謙太郎、榎本有希子、岩田忠久
2. 発表標題 遊離水酸基を有するジバニリン酸由来芳香族バイオポリエステル合成と酵素分解性評価
3. 学会等名 第72回日本木材学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張雲帆、榎本有希子、岩田忠久
2. 発表標題 ジバニリン酸由来芳香族バイオベースポリエステル の熱および力学物性
3. 学会等名 第72回日本木材学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張雲帆、榎本有希子、岩田忠久
2. 発表標題 ジバニリン酸とエポキシ化大豆油からなるバイオベースピトリマーの調製と物性評価
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤枝 謙太郎、榎本 有希子、岩田 忠久
2. 発表標題 遊離水酸基を有するジバニリン酸由来ポリエステル合成と熱物性および酵素分解性
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢倉 和真、榎本 有希子、岩田 忠久
2. 発表標題 オールジバニリン酸由来芳香族ポリアミドの合成と物性評価
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤枝謙太郎、榎本 有希子、岩田 忠久
2. 発表標題 フェノール性水酸基を有するジバニリン酸由来ポリエステル合成と酵素分解性
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢倉和真、榎本有希子、岩田忠久
2. 発表標題 ジバニリン酸由来の高耐熱性芳香族ポリアミドの合成と物性評価
3. 学会等名 第73回日本木材学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 フェノール性水酸基を有するジバニリン酸由来ポリエステル合成と物性および酵素分解性
2. 発表標題 藤枝謙太郎、榎本有希子、岩田忠久
3. 学会等名 第73回日本木材学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yukiko Enomoto, Kazuma Yagura, Tadahisa Iwata
2. 発表標題 Synthesis of highly thermally stable divanillic acid-derived polyamides and their mechanical properties
3. 学会等名 The American Chemical Society ACS Spring2023 ((国際学会))
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kentaro Fujieda, Yukiko Enomoto, Tadahisa Iwata
2. 発表標題 Synthesis, thermal properties and biodegradation of divanillic acid-derived polyesters with free phenolic hydroxyl groups
3. 学会等名 The American Chemical Society ACS Spring2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 榎本有希子
2. 発表標題 ジバニリン酸由来の高耐熱性および生分解性芳香族バイオマスプラスチック
3. 学会等名 高分子学会エコマテリアル研究会23-1 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 張雲帆、榎本有希子、岩田忠久
2. 発表標題 ジバニリン酸と環状構造を有するジオールからなる ビフェニル型バイオポリエステル合成と物性
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 榎本有希子、岩田忠久
2. 発表標題 ジバニリン酸をモノマーとするバイオポリエステルの合成とその特性
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢倉和真、榎本有希子、岩田忠久
2. 発表標題 ジバニリン酸をモノマーとするビフェニル型ポリアミドの合成とその物性
3. 学会等名 2020年繊維学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 張雲帆、榎本有希子、岩田忠久
2. 発表標題 ジバニリン酸由来ピフェニル型バイオポリエステル [®] の熱及び機械的物性
3. 学会等名 第29回高分子材料フォーラム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 榎本有希子、藤枝謙太郎、岩田忠久、執筆者：55名	4. 発行年 2023年
2. 出版社 NTS出版	5. 総ページ数 406
3. 書名 海洋汚染問題を解決する生分解性プラスチック開発 第2章第3節 ジバニリン酸を利用した生分解性プラスチックの開発	

1. 著者名 榎本有希子、岩田忠久 執筆者：55名	4. 発行年 2023年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 558
3. 書名 バイオマス材料の開発と応用、第2章第10節 ジバニリン酸由来のバイオポリエステルおよびバイオポリアミドの合成と材料化	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 主鎖に水酸基を有する芳香族ポリエステル	発明者 榎本有希子、岩田忠久、藤枝謙太郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-125956	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------