

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23550141

研究課題名(和文)酸化分解性ポリマー材料の開発

研究課題名(英文)Oxidatively Degradable Polymeric Material

研究代表者

木原 伸浩(Kihara, Nobuhiro)

神奈川大学・理学部・教授

研究者番号：30214852

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：ポリアシルセミカルバジドは次亜塩素酸ナトリウム水溶液で酸化分解された。アシルセミカルバジドで変成したポリウレタンも酸化分解性を示した。ジアシルヒドラジン構造を有するビスフェノールにエステル構造を導入することでエポキシ樹脂の酸化分解性硬化剤が得られた。接着した状態のものを次亜塩素酸ナトリウム水溶液に浸したところ、硬化体は酸化分解し、接着された物体は自発的に剥離した。末端にアシルセミカルバジド構造を有する自己分解性ポリウレタンが得られた。末端アミノ化ポリスチレン存在下でポリジアシルヒドラジンの合成を行ない、ABAブロック共重合体を得、ミクロ相分離構造を発現させた。

研究成果の概要(英文)：Poly(acyl semicarbazide) was oxidatively degraded by the action of sodium hypochlorite solution. Polyurethane modified by acyl semicarbazide also showed oxidative degradability. Ester group was introduced into bisphenol bearing diacylhydrazine group to obtain oxidatively degradable curing agent for epoxy resin. The materials glued by the cured resin as the adhesive were spontaneously released to each other by the treatment with sodium hypochlorite solution. Self-degradable polyurethane with terminal acylsemicarbazide group was obtained. When the synthesis of polydiacylhydrazine was carried out in the presence of amine-terminated polystyrene, ABA block copolymer, which showed micro phase separation, was obtained.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・高分子化学

キーワード：分解性高分子 酸化分解性 ジアシルヒドラジン 次亜塩素酸ナトリウム アシルセミカルバジド ポ  
リウレタン エポキシ樹脂 ブロック共重合体

1. 研究開始当初の背景

軽くて丈夫な高分子材料は戦後の社会のあり方を大きく変えてきた。しかし、丈夫な高分子材料は不要になったら焼却するかそのまま廃棄するしかない。高分子材料そのものだけでなく、高分子で接着・塗装して使用している製品も、再利用は難しい。

ここで、高分子材料に分解スイッチを組み込んでおけるならどうであろうか。不要になったらそのスイッチを入れるだけで、高分子材料を分子レベルでバラバラにできる。高分子材料やそれを使った製品の処理は非常に楽になるだろう。そのような発想から、これまで様々な分解性ポリマーが開発されてきた。しかし、従来の分解性ポリマーは基本的に天然の刺激で分解するものであり、自然崩壊を避けるのが難しいだけでなく、分解速度が遅いため(速かったら利用中に自然崩壊してしまう)「今すぐここでそれを分解したい」と思っても、実現することは難しかった。

申請者は、ジアシルヒドラジンの酸化反応が高分子の分解スイッチとして理想的な性質を持っていることを見出してきた。ポリ(ジアシルヒドラジン)は

1. 空气中(酸素中)では全く安定である(酸化されない)にも関わらず

2. 次亜塩素酸ナトリウムなどの、汎用的で安価な非天然の酸化剤によって、速やかに構成カルボン酸にまで分解する。したがって、

3. 望む時に望む速度で分解させることができる。

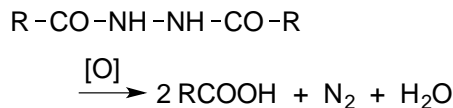
4. 分解生成物は原料のカルボン酸であり回収再利用できる。

5. 副生成物は窒素、水、食塩など、安全な物質だけである。

しかも、

6. 通常のポリアミドと同様の高強度材料である。

という特徴を有する。したがって、ポリ(ジアシルヒドラジン)は、従来の分解性材料とは全く異なり、高強度材料として使用しながら、望むタイミングでスイッチとして酸化剤を作用させると、モノマーまで崩壊する酸化分解性材料という新しい分解性高分子材料として利用可能であることを示してきた。



ジアシルヒドラジンとその酸化分解

酸化分解性はジアシルヒドラジン構造に由来するものである。したがって、ジアシルヒドラジン部位を導入しさえすれば、どのような高分子材料にも酸化分解性が導入できると期待できる。そこで本研究では、さまざまなポリマーにジアシルヒドラジン構造を組み込み、新しい酸化分解性高分子材料を開発するだけでなく、酸化分解性を利用したモル

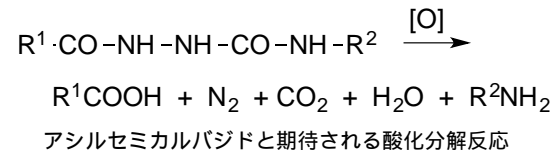
ホロジー制御を検討する。高分子材料の中でも、塗料や接着剤など、特に分解除去が望ましい高分子材料を中心に研究を行う。

なお、申請者以外に実用的な酸化分解性材料を研究している研究者はいない。それは、酸化分解性材料という概念が、申請者の提案したまだ新しい概念だからである。本研究によって酸化分解性材料が広く認められ、新しい研究分野として認知されることを期待している。

2. 研究の目的

1. アシルセミカルバジドの酸化分解性とポリウレタンへの酸化分解性の付与

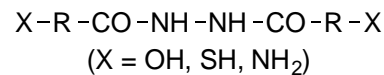
アシルセミカルバジドはジアシルヒドラジンと類似した構造をしており、ジアシルヒドラジンと同様の酸化分解性が期待できる。まず、アシルセミカルバジドの酸化分解性について検討する。



アシルセミカルバジドはヒドラジドとイソシアナートとの反応で合成できることから、ジヒドラジドをポリウレタン合成の共重合成分として利用することで、ポリウレタンにアシルセミカルバジド構造を導入し、ポリウレタンに酸化分解性を付与することを検討する。

2. 酸化分解性エポキシ樹脂の開発

ジアシルヒドラジン部位を持つ硬化剤を開発し、それによるエポキシ樹脂の硬化を検討する。得られた硬化体について、酸化分解を中心に物性を検討する。



ジアシルヒドラジン構造を有する硬化剤

3. 触媒的な酸化分解性高分子材料の開発

ポリ(ジアシルヒドラジン)の酸化分解には一般に当量の酸化剤を必要とする。より容易に酸化分解を行うために、触媒的な酸化分解を検討する。アシルセミカルバジドを酸化分解するとアミノ基が生成すると期待できることから、自己分解性ポリウレタンの末端イソシアナト基をアシルセミカルバジドで保護し、一回の酸化分解でポリマー全体が崩壊するポリウレタンを開発する。また、ジアシルヒドラジンの酸素酸化に有効な触媒を開発し、酸化剤ではなく触媒を作用させることでポリ(ジアシルヒドラジン)を酸化分解することを検討する。

4. 酸化分解性高分子のマイクロ相分離を利用したモルホロジー制御

ポリ(ジアシルヒドラジン)を一成分とするブロック共重合体のマイクロ相分離を検討する。マイクロ相分離したブロック共重合体を酸

化剤で処理することによりポリ(ジアシルヒドラジン)部位を除去し、ミクロ相分離構造の発達によって多孔性が制御された高分子材料の開発を検討する。

酸化分解性高分子材料は、従来の分解性材料と異なり、任意のタイミングで直ちに分解することに特徴があり、その分解性を利用してきわめて広範な応用が期待されている。しかし、酸化分解性高分子材料は申請者らが見出してから日が浅いため、これらの応用の可能性はほとんど試されていない。本研究は酸化分解性高分子材料の応用の可能性について本格的に検討するものであり、他には類例のない研究である。

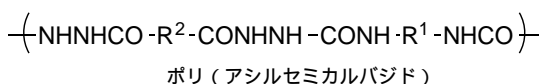
もし酸化分解性高分子材料が単に新しい材料であるというだけなら、いくら類例がなくとも材料として研究する価値はない。しかし、酸化分解性高分子材料を利用すれば、分解性接着剤や分解性塗料など、従来から強く望まれていながら実現されなかった材料が可能になると期待できる。しかも、ポリ(ジアシルヒドラジン)は極めて高強度の材料であり、分解性と耐候性が両立する点も重要である。したがって本研究は、単に新しいポリマーを研究するというのではなく、ポリマーに酸化分解性という化学的物性を持たせることで分解性を能動的に利用し、これまでの分解性ポリマーの概念を変革していこうという研究であると位置づけることができる。

本研究の成果は、酸化分解性接着剤や酸化分解性塗料、多孔性高分子材料など、さまざまな分野に応用できる有用で新しい概念の材料として結実していくと期待できる。本研究は、学術的にはもちろんのこと、社会的にも意義のある研究であると言える。

### 3. 研究の方法

#### 1. アシルセミカルバジドの酸化分解性とポリウレタンへの酸化分解性の付与

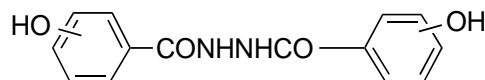
ジヒドラジドとジイソシアナートとの重縮合によりポリ(アシルセミカルバジド)の合成を検討する。ポリ(アシルセミカルバジド)の耐熱性、耐候性、酸化分解性について検討し、ポリ(アシルセミカルバジド)の新しい酸化分解性ポリマーとしての特性を明らかにする。



ジオールとジイソシアナートによるポリウレタン合成系で、共重成分としてジヒドラジドを添加することで、ポリウレタンにアシルセミカルバジド構造を導入する。このようにして得られたポリウレタンが酸化分解性を示すかどうか検討する。アシルセミカルバジド部位の構造・導入率と酸化分解性との関係を明らかにし、ポリウレタンの物性を損なわずに酸化分解性を付与するにはどうすればよいか検討する。

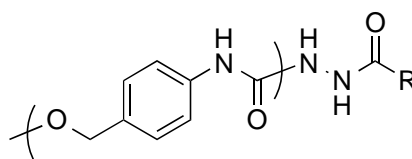
#### 2. 酸化分解性エポキシ樹脂の開発

ジアシルヒドラジン部位を持つ下記のようなビスフェノールを合成し、エポキシ樹脂の硬化剤としての応用を検討する。合成には当研究室で開発した、酸化カップリングによる効率的なジアシルヒドラジン合成法を利用する。エポキシ樹脂硬化物の酸化分解を検討する。



#### 3. 触媒的な酸化分解性高分子材料の開発

下記に示すような、末端にアシルセミカルバジド基を持つ自己分解性ポリウレタンを合成する。アシルセミカルバジド部位を選択的に酸化する条件を検討し、触媒量の酸化剤による崩壊を実現する。ポリマーの分子量と崩壊性との関係を明らかにする。



ジアシルヒドラジンは酸素によって直接は酸化されないため、ポリ(ジアシルヒドラジン)は空气中で安定な酸化分解性高分子材料として優れた性質を示す。しかし、ジアシルヒドラジンが酸素酸化に抵抗するために、ポリ(ジアシルヒドラジン)を酸化分解するためには当量以上の酸化剤を必要とする。そこで、ジアシルヒドラジンを酸素酸化できる触媒の開発を行う。高効率の触媒が見出されれば、酸化剤ではなく、触媒を作用させることでポリ(ジアシルヒドラジン)を酸化分解できるようになると期待できる。触媒としては、一電子酸化還元活性を持つ遷移金属錯体を検討する。まずは溶液中での反応を検討し、効率的な触媒が開発されたら不均一系へと展開する。近年、ジアシルヒドラジンよりも酸化されにくいと考えられる基質でも酸素酸化が可能となっており、これらの反応系で用いられる触媒を徹底的に検討する。

#### 4. 酸化分解性高分子のミクロ相分離を利用したモルホロジー制御

リビングラジカル重合法で合成したテレケリックポリスチレンを利用し、ポリ(ジアシルヒドラジン)を含むABA型ブロック共重合体を合成する。このブロック共重合体でミクロ相分離構造の発現を検討する。

### 4. 研究成果

#### 1. アシルセミカルバジドの酸化分解性とポリウレタンへの酸化分解性の付与

トリルイソシアナートとヒドラジドとの反応を行なったところ、室温で速やかに反応し、アシルセミカルバジドを定量的に与えた。得られたアシルセミカルバジドを次亜塩素酸ナトリウム水溶液で処理したところ、直ちに

発泡しながら分解し褐色の水溶液が得られた。これを酸性にしたところヒドラジドゆらいのカルボン酸が定量的に得られ、アシルセミカルバジドでも酸化分解が可能であることが明らかとなった。しかし、反応混合物を塩基性にしてもイソシアナート由来のトルイジンは得られず、構造不明のタール状の混合物が得られるだけであった。このことから、トルイジンは酸化分解条件でさらに酸化を受けキノンの分解生成物を与えているものと考えられる。このことは、ポリアシルセミカルバジドを酸化分解した時には、ポリジアシルヒドラジンの酸化分解の時とは異なり、ポリマーの原料が完全に回収されるのではなく、イソシアナート由来の原料の回収は難しいことを意味している。

ジイソシアナートとビスヒドラジドの重付加反応を行なったところ、高分子量のポリアシルセミカルバジドが得られた。得られたポリアシルセミカルバジドはフィルム形成能を有する丈夫なポリマーであった。フィルムに成型したポリアシルセミカルバジドを次亜塩素酸ナトリウム水溶液に浸したところ、発熱的に分解し、酸化分解性ポリマーとして利用可能であることが明らかとなった。

次に、ポリウレタンに酸化分解性を付与することを検討した。ポリウレタン合成系にモノマーとしてビスヒドラジドを添加し、ポリウレタンをアシルセミカルバジドで変成した。まず、ジイソシアナートを過剰に用いて両末端ジイソシアナートのオリゴポリウレタンを合成し、ここにビスヒドラジドを加えてアシルセミカルバジド形成によるポリマー化を検討した。得られた変成ポリウレタンを次亜塩素酸ナトリウム水溶液で処理したが、分子量の低下は見られず、また NMR ではヒドラジド由来の部分構造の減少も観測されなかった。また、変成ポリウレタンのフィルムを作成して次亜塩素酸ナトリウム水溶液で処理しても、表面硬度の変化は見られなかった。これは、アシルセミカルバジド構造が効果的に導入されなかったものと考え、ジオールとビスヒドラジドの混合物にジイソシアナートを添加することで直接共重合を行なった。その結果得られた変成ポリウレタンは次亜塩素酸ナトリウム水溶液で処理すると分子量の低下が見られ、また、フィルムの表面硬度は次亜塩素酸ナトリウム水溶液で処理することにより大幅に低下した。NMR ではヒドラジド由来のシグナルの低下があわせて見られており、アシルセミカルバジドの導入によりポリウレタンに酸化分解性が導入されたものと考えられることができる。

## 2. 酸化分解性エポキシ樹脂の開発

ヒドロキシ安息香酸からジアシルヒドラジン構造を有するビスフェノールを合成した。しかし、ヒドロキシ基の置換位置によらず、いずれのビスフェノールも極めて溶解性が悪く、NMP のような溶媒を用いてもエポキシ樹脂と混和しなかった。溶解性を向上させ

るために、ジヒドロクマリンからジアシルヒドラジン構造を有するビスフェノールを合成した。これは柔軟なメチレン鎖のために多少の溶解性を示し、加熱するとエポキシ樹脂と部分的に混和し、NMP を加えて加熱すると混和した。混和した状態で触媒としてイミダゾールを加えて加熱したところ、重合して硬化した。硬化体は熱可塑性を示し、ガラスや金属を接着させることができた。また、硬化体は次亜塩素酸ナトリウム水溶液で酸化分解した。そこで、接着した状態のものを次亜塩素酸ナトリウム水溶液に浸したところ、硬化体は酸化分解し、接着された物体は自発的に剥離した。そのまましばらく置くと、接着面のエポキシ樹脂は全て消失した。

ジアシルヒドラジン構造を有するビスフェノールがエポキシ樹脂似酸化分解性を付与する硬化剤として利用可能なことが明らかとなったが、ジアシルヒドラジン構造を導入することでビスフェノールの溶解性が大きく低下し、エポキシ樹脂と混和しなくなるという問題点があることがわかった。そこで、エステル構造を導入することで溶解性の向上を図ることとした。5-ヒドロキシイソフタル酸からエステル構造を有する酸化分解性ビスフェノール型硬化剤を得た。エステル基の構造と酸化分解性、接着性、エポキシ樹脂への溶解性がどのように変化するか検討した。その結果、長鎖アルキルエステルとすることでエポキシ樹脂への溶解性が向上するものの、接着性と熱安定性は低下することがわかった。また、ポリエーテル構造を有するエステル基を導入すると溶解性が大きく向上した。接着力はビスフェノール A を硬化剤とした時の 1/2~1/3 であり、ジアシルヒドラジン構造の導入で接着力の低下は見られるものの、十分強力な接着剤となることがわかった。得られた硬化剤を混ぜたエポキシ樹脂は触媒存在下加熱によりガラスや金属を接着したが木やプラスチックは接着しなかった。これは、フェノールの求核性が比較的低いため、硬化に 140 以上の温度を必要とするためである。接着した状態のものを次亜塩素酸ナトリウム水溶液に浸したところ、硬化体は酸化分解し、接着された物体は自発的に剥離した。そのまましばらく置くと、接着面のエポキシ樹脂は全て消失した。酸化分解速度は硬化剤の溶解性とよい相間があり、分子レベルでの混和が進んでいるものほど速やかに分解したものと考えられる。

3. 触媒的な酸化分解性高分子材料の開発  
ジアシルヒドラジンを酸素酸化するための触媒を探索した。ジアシルヒドラジンを水に分散し、酸素酸化の触媒となることが知られている様々な化合物を添加して酸素を吹き込み、ジアシルヒドラジンの消費を見た。触媒としては、様々な遷移金属塩、パラジウムや銅を中心金属とする様々な金属錯体、金ナノ粒子など、酸素酸化のよい触媒となることが知られている化合物を検討したが、ジアシ

ルヒドラジンを酸素酸化する化合物を見出すことはできなかった。

4-アミノベンジルアルコールからフェニルカルバミン酸エステルを合成した。ここにエステル交換触媒とし DMAP を加えて加熱したところ、自己縮合によるポリウレタンが得られた。これをヒドラジドで処理することにより、末端にアシルセミカルバジド構造を有する自己分解性ポリウレタンが得られた。

4. 酸化分解性高分子のミクロ相分離を利用したモルホロジー制御

ベンジルプロミドを開始剤とする ATRP によりベンジルプロミドを末端に有するテレケリックポリスチレンを得た。これを官能基変換し、末端アミノ化ポリスチレンを得た。末端アミノ化ポリスチレン存在下でビスヒドラジドとジ酸クロリドの重縮合反応を行ない、ポリスチレン-ポリジアシルヒドラジン-ポリスチレンの構造をもつ ABA ブロック共重合体を得た。このブロック共重合体はそのままではミクロ相分離構造を示さなかった。これはポリジアシルヒドラジン部位のガラス転移温度が極めて高いからであると考えられる。ガラス転移温度を下げるために、溶媒を添加してフィルム形成を行なったところ、溶媒とフィルム形成温度の組み合わせを適切に選択することでミクロ相分離構造の発現に成功した。

5. 主な発表論文等  
(研究代表者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

長島 健太郎、木原 伸浩: 酸化反応のみによる架橋-脱架橋とリサイクル系の構築、*高分子論文集*, **2013**, *70*, 704-711.

Kentaro Nagashima, Nobuhiro Kihara, Yusuke Iino: Oxidative Coupling Polymerization of Bishydrazide for the Synthesis of Poly(diacylhydrazine): Oxidative Preparation of Oxidatively Degradable Polymer, *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.*, **2012**, *50*, 4230-4238.

Yasuhito Koyama, Yudai Suzuki, Tomonori Asakawa, Nobuhiro Kihara, Kazuko Nakazono, Toshikazu Takata: Polymer Architecture Assisted by Dynamic Covalent Bonds: Synthesis and Properties of Boronate-Functionalized Polyrotaxane and Graft Polyrotaxane, *Polym. J.*, **2012**, *44*, 30-37.

[学会発表](計 46 件)

木原 伸浩・長島 健太郎: ヒドラジドの酸化カップリング反応による酸化分解性ポリマーの合成(日本化学会第 5 回関東支部大会)

方山 みどり・木原 伸浩: ポリ(アシルセミカルバジド)の合成と酸化分解性(日本化学会第 5 回関東支部大会)

西山 淳也・牧田 佳真・木原 伸浩: 軸が一方方向に移動するロタキサンの合成と性質

(日本化学会第 5 回関東支部大会)

都築 倫明・木原 伸浩: アミドの水素結合を利用した長さ選択的アシル化反応場の開発(日本化学会第 5 回関東支部大会)

白取 愛・木原 伸浩: His と Ser を呈示したプラットフォームとエステル類との相互作用(日本化学会第 5 回関東支部大会)

鶴澤 義憲・木原 伸浩: N-アルキル-2-(フェニルセレノ)エタンスルホンアミドのラジカル還元反応(日本化学会第 5 回関東支部大会)

飯嶋 康太・木原 伸浩: 環状アミド認識を目指した大環状スルホキシミンの合成(日本化学会第 5 回関東支部大会)

内野 奈菜・木原 伸浩: 水素結合を利用した Diels-Alder 反応の位置選択性の制御(日本化学会第 5 回関東支部大会)

木原 伸浩: ヒドラジンを利用した酸化分解性高分子の開発(第 60 回高分子討論会)

白取 愛・木原 伸浩: His と Ser を呈示したプラットフォームによるエステルの加水分解(日本化学会第 92 春季年会)

鶴澤義憲・木原 伸浩: N-アルキル-2-(フェニルセレノ)エタンスルホンアミドのラジカル還元反応(日本化学会第 92 春季年会)

都築倫明・木原 伸浩: アミドの水素結合を利用した長さ選択的アシル化反応場の開発(日本化学会第 92 春季年会)

西山淳也・牧田佳真・木原 伸浩: 輪の一方方向移動が可能なロタキサンの合成と性質(日本化学会第 92 春季年会)

飯嶋康太・木原 伸浩: 環状アミド認識を目指した大環状スルホキシミンの合成(日本化学会第 92 春季年会)

櫻井真吉・木原 伸浩: ポリカテナンの合成研究(日本化学会第 92 春季年会)

中山翔太・木原 伸浩: 乾式分解可能な酸化分解性ポリマーの開発(日本化学会第 92 春季年会)

篤海元道・木原 伸浩: パーフルオロスルホン酸を有する燃料電池用電解質膜の開発(日本化学会第 92 春季年会)

小松祥子・木原 伸浩: アミドの水素結合を利用した軸不斉を有するアシル化反応場の開発(日本化学会第 92 春季年会)

小栗崇弘・木原 伸浩: エポキシ樹脂の酸化分解性硬化剤の開発(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)

中山翔太・木原 伸浩: 乾式分解可能な酸化分解性ポリジアシルヒドラジンの開発(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)

木原 伸浩: 酸化分解性高分子材料の開発(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)

木原 伸浩・小栗崇弘・河原崎美喜: ジアシルヒドラジン構造の導入による酸化分解性ポリマーの開発(第 61 回高分子討論会)

櫻井真吉・木原 伸浩: ポリカテナンの合成研究(第 23 回基礎有機化学討論会)

西山淳也・牧田佳真・木原 伸浩：輪の一方  
向移動が可能なロタキサンの合成と性質（第  
23 回基礎有機化学討論会）  
木原 伸浩：一方向移動系の設計と運転（第  
24 回神奈川大学平塚シンポジウム）  
櫻井真吉・木原 伸浩：ポリカテナンの合成  
研究（日本化学会第 93 春季年会）  
西山淳也・牧田佳真・木原 伸浩：輪の一方  
向移動が可能なロタキサンの合成と性質（日  
本化学会第 93 春季年会）  
白取愛・木原 伸浩：His と Ser を呈示した  
プラットフォームとエステル類との相互作用  
（日本化学会第 93 春季年会）  
鷺海元道・前川康成・木原 伸浩・長谷川伸：  
パーフルオロスルホン酸部位を有する燃料  
電池用電解質膜の開発（日本化学会第 93 春  
季年会）  
小栗崇弘・木原 伸浩：エポキシ樹脂用の酸  
化分解性硬化剤の開発（日本化学会第 93 春  
季年会）  
中山翔太・木原 伸浩：乾式分解可能な酸化  
分解性ポリマーの開発（日本化学会第 93 春  
季年会）  
小松祥子・木原 伸浩：アミドの水素結合を  
利用した軸不斉を有するアシル化反応場の  
開発（日本化学会第 93 春季年会）  
浦井直樹・木原 伸浩：Nicholas 反応の可逆  
性を利用したクラウンエーテルへの熱力学  
的不斉誘導（日本化学会第 93 春季年会）  
風見崇・木原 伸浩：Ga(I)を用いた  $\pi$ -ヘテ  
ロ置換カルボニル化合物の還元（日本化学会  
第 93 春季年会）  
小栗崇弘・木原 伸浩：エポキシ樹脂用の酸  
化分解性硬化剤の開発（第 2 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）  
木原 伸浩：資源の循環利用に向けた高分子  
科学と技術（第 61 回高分子討論会）  
木原 伸浩：酸化分解性エポキシ樹脂の開発  
（第 61 回高分子討論会）  
西山淳也・木原 伸浩：アンモニウム塩とク  
ラウンエーテルの相互作用による擬ロタキ  
サンの高速アシル化によるロタキサンの合  
成（第 24 回基礎有機化学討論会）  
風見崇・木原 伸浩：Ga(I)を用いた  $\pi$ -ヘテ  
ロ置換カルボニル化合物の還元反応の開発  
（日本化学会第 94 春季年会）  
小栗崇弘・木原 伸浩：エポキシ樹脂用の酸  
化分解性硬化剤の開発（日本化学会第 94 春  
季年会）  
西山淳也・牧田佳真・木原 伸浩：アミンと  
クラウンエーテルからなる擬ロタキサンの  
アシル化によるロタキサンの合成（日本化学  
会第 94 春季年会）  
白取愛・木原 伸浩：His/Ser 複合体のエス  
テル認識能と凝集体形成能（日本化学会第 94  
春季年会）  
櫻井真吉・木原 伸浩：ヘテロ Diels-Alder  
反応を利用した  $\pi$ -アミノカルボニル化合物  
の合成（日本化学会第 94 春季年会）  
浦井直樹・木原 伸浩：Nicholas 反応の可逆

性を利用したクラウンエーテルの熱力学的  
不斉合成（日本化学会第 94 春季年会）  
岩崎亮・木原 伸浩：アミノラジカルの発  
生と新規ラジカル反応の開発（日本化学会  
第 94 春季年会）

小堀彩夏・木原 伸浩：イミド構造を有する  
不斉反応場の開発（日本化学会第 94 春季年  
会）

〔図書〕(計 3 件)

木原 伸浩：酸化分解性ポリマーによる解重  
合と脱架橋、高分子架橋の反応・構造制御事  
例集、技術情報協会、東京、in p

木原 伸浩：酸化分解性ポリアミド、接着と  
はく離のための高分子-開発と応用-《普及  
版》、松本 章一 編、第 2 編第 4 章、95-106、  
CMC、東京（2012）

木原 伸浩：ポリロタキサン・ポリカテナン、  
環状・筒状超分子の応用展開、高田 十志和  
編、第 3 章、20-42、CMC、東京（2011）

〔産業財産権〕

出願状況（計 2 件）

名称：表示ラベル、発泡体、電子機器、及び  
電子機器からの筐体材料の回収方法

発明者：ナワラゲ フローレンス クーレイ、  
木原 伸浩

権利者：富士通株式会社、学校法人神奈川大  
学

種類：特許

番号：2011-171014

出願年月日：

国内外の別：国内

名称：表示ラベル、新規化合物、塗料組成物、  
及び塗膜除去方法

発明者：ナワラゲ フローレンス クーレイ、  
木原 伸浩

権利者：富士通株式会社、学校法人神奈川大  
学

種類：特許

番号：2011-136562

出願年月日：

国内外の別：国内

〔その他〕

ひらめき ときめきサイエンス：酸化分解性  
ポリマーの合成と分解～キッチンハイター  
で分解できるプラスチック～、HT23094

ひらめき ときめきサイエンス：酸化分解性  
ポリマーの合成と分解～キッチンハイター  
で分解できるプラスチック～、HT24090

ひらめき ときめきサイエンス：キッチンハ  
イターで分解できるプラスチック～酸化分  
解性ポリマーを作って分解してみよう～、  
HT25094

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木原 伸浩 (KIHARA Nobuhiro)

神奈川大学・理学部・教授

研究者番号： 30214852

(2) 研究分担者

なし