

令和 5 年 4 月 28 日現在

機関番号：84431

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04741

研究課題名(和文)炭素繊維強化複合材料用新規熱硬化性マトリックス樹脂の創製およびその分子設計

研究課題名(英文)Creation of novel thermosetting matrix resin for carbon fiber reinforced composite material and its molecular design

研究代表者

木村 肇 (HAJIME, Kimura)

地方独立行政法人大阪産業技術研究所・森之宮センター・研究室長

研究者番号：60416287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：エポキシ樹脂は、接着性、電気絶縁性および機械的強度などの特性がバランスよく優れているため、電気・電子材料、塗料、接着剤および複合材料などとして幅広く使用されている。近年、5G等の電子デバイスの技術革新が加速する中、エポキシ樹脂のさらなる用途拡大のためには、耐熱性および、エポキシ樹脂最大の欠点である難燃性の向上が求められている。本研究で新しく開発した手法により、エポキシ樹脂の耐熱性と難燃性が著しく向上させ得ることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

炭素繊維強化プラスチックに用いられるエポキシ樹脂の用途拡大に向け、耐熱性や難燃性に優れた新規マトリックス樹脂の開発は急務であった。本研究で得られる知見をきっかけに、関連研究分野での学術的研究がさらに深化する等、学術的な波及効果が期待できる。さらに開発した高性能エポキシ樹脂は、様々な用途(自動車産業など)への展開が可能になり、産業の発展にも寄与できる。

研究成果の概要(英文)：Epoxy resins are widely used as electrical and electronic materials, paints, adhesives, composite materials, etc., because of their well-balanced properties such as adhesion, electrical insulation and mechanical strength. In recent years, as the technological innovation of electronic devices such as 5G accelerates, in order to further expand the use of epoxy resins, it is required to improve heat resistance and flame retardancy, which is the biggest drawback of epoxy resins. It was clarified that the heat resistance and flame retardancy of epoxy resin can be significantly improved by the newly developed method in this research.

研究分野：熱硬化性樹脂

キーワード：エポキシ樹脂

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

エポキシ樹脂を用いた炭素繊維強化複合材料(CFRP)は、軽量性と高強度等の特性から、航空機の構造材として必用不可欠な材料である。しかしながら、その耐熱性は120~150程度であるため、高温部材としては主にセラミック材料やチタン系合金が使用されている。しかし、比強度等の観点から、高温でも使用可能な耐熱CFRPの潜在的な需要は高い。

CFRPでは、その耐熱性がマトリックス樹脂の特性により左右されるので、炭素繊維だけでなく母材の樹脂設計が特に重要である。母材として一般的に使用されるエポキシ樹脂をはじめとする熱硬化性樹脂の耐熱性を向上させるには、架橋密度を高くする、あるいは主鎖構造を剛直にする等の手法があるが、架橋密度が高くなると樹脂は脆くなり、主鎖構造を剛直にすると成形性・流動性が低下するため、高耐熱性・高靱性と成形性を兼ね備えたCFRP用熱硬化性マトリックス樹脂の分子設計は容易ではない。

### 2. 研究の目的

本研究では、一般的なエポキシ樹脂よりも成形性に優れ、かつ耐熱性や難燃性および耐水性にも優れた新しいCFRP用熱硬化性マトリックス樹脂を創製することを目的とした。具体的には、エポキシ樹脂に対して誰もこれまで利用したことがない新しい硬化剤を用いることで、特に耐熱性と難燃性に優れたエポキシ樹脂の開発を目標とした。

### 3. 研究の方法

我々は熱硬化性反応基として、フェニルエチニルカルボニル基に着目した。既に我々は、図1(一般式)に示すようなフェニルエチニルカルボニル基を両末端に有する熱硬化性イミド化合物を合成し、フェニルエチニルカルボニル基の重合による新しいネットワークポリマーに関する研究を行った[1]。その結果、フェニルエチニルカルボニル基の重合は200以下で速やかに進行し、かつ得られるポリマーは600での残炭率が非常に高く(約80重量%)、かつ5%熱分解温度が400を超える(約460)非常に高い熱的性質を有していた。さらに、この優れた熱的性質はフェニルエチニルカルボニル基が重合し、アルケン構造および多環芳香族基を生成することによるものであることを報告した[2]。

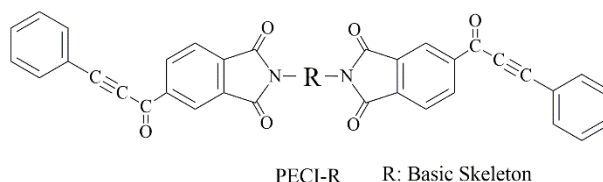


図1 熱硬化性イミド(PEGI-R)の構造

したがって、この熱硬化性イミド化合物をエポキシ樹脂骨格中に導入できれば、エポキシ樹脂の成形性を維持しながら、その複合樹脂の熱的性質(耐熱性や耐熱分解性)およびその他の各種特性が向上するのではないかと考えた。すなわち、両末端にフェニルエチニルカルボニル基を有する熱硬化性イミド化合物(図1)を合成し、これとフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物(図2、PETA)をエポキシ樹脂に配合し、これら3つの化合物の共重合により得られる熱硬化樹脂の耐熱性や耐熱分解性等について検討することを考えた。

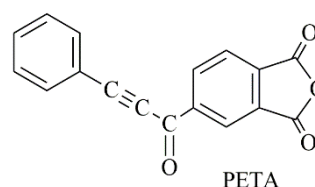


図2 PETAの構造

具体的に、本研究では、硬化剤としてフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物および両末端にフェニルエチニルカルボニル基を有するイミド化合物の2つの化合物を用い、ビスフェノールA型や多官能タイプのエポキシ樹脂数種類の硬化反応および硬化物の特性について検討した。

### 4. 研究成果

#### 4-1 フェニルエチニルカルボニル基を有するイミド化合物の合成

フェニルエチニルカルボニル基を両末端に有する新規イミド化合物の合成を行った。フェニルエチニルカルボニル基を末端に有するイミド化合物の合成は、化学イミド化法により行った[3-4]。

合成例：1,3-ビス(3-アミノフェノキシ)ベンゼン(133APB)を使用した系

ジアミン化合物として、1,3-ビス(3-アミノフェノキシ)ベンゼン(133APB)を使用した場合について記載する。133APB(5.84g, 20mmol)とN-メチル-2-ピロリドン(NMP, 40ml)を攪拌機、塩化カルシウム管を備えた三口フラスコに仕込んだ。次に、フェニルエチニルカルボニル基を有するフタル酸無水物PETA(11.06g, 40mmol)を、この溶液中に添加した。反応は室温で24時間攪拌することにより、まず対応するアミック酸の合成を行った。次に、ピリジン(6.32g, 80mmol)および無水酢酸(8.16, 80mmol)をゆっくりとこの溶液中に添加し、さらに室温で30分攪拌を続けることによりアミック酸からのイミド化を行った。得られた溶液を蒸留水に注ぎ、沈殿物として生成物を採取した。生成物は蒸留水で洗浄し、ろ過した後、60で減圧乾燥を行った。得られ

た生成物の構造は、 $^1\text{H}$ -核磁気共鳴スペクトル (NMR) 測定および赤外分光分析 (IR) によってその構造を同定・確認した。

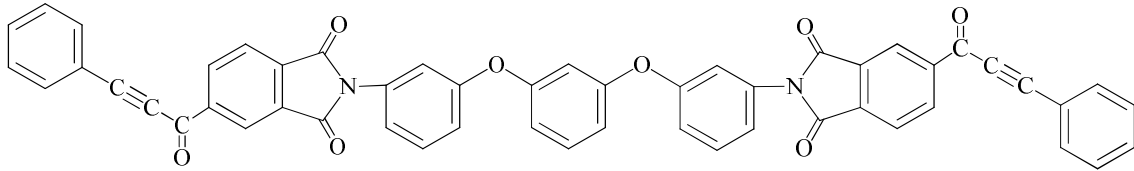


図3 合成した新規熱硬化性イミド化合物の構造 (PEI-133APB)。

#### 4-2 ビスフェノール A 型エポキシ樹脂を用いた硬化反応および硬化物特性

目的を達成するための第1ステップとなる基礎研究として、硬化剤としてフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物のみを用いたビスフェノール A 型エポキシ樹脂の硬化反応および硬化物の特性についてまず検討した。

エポキシ樹脂としては、三菱ケミカル株式会社製の jER® 828 (エポキシ当量 186, DGEBA と略す) を用いた。フェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物として、Nexam Chemical 社製の PETA を用いた。

フェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物を硬化剤に用いたエポキシ樹脂について、その硬化物の作製を注型法により行った。まず DGEBA と PETA を 1 : 0.8 当量になるようにそれぞれ配合し溶解混合させた後、シリコンゴム製の型に注型し、オープン中で加熱して硬化させた。なお、硬化条件は、170 /2 時間、170 /2 時間+200 /2 時間、170 /2 時間+250 /2 時間および 170 /2 時間+300 /2 時間の 4 つの異なる条件で段階的に設定した。

フェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物を硬化剤として用いたエポキシ樹脂の示差走査熱量測定 (DSC) 曲線を図 4 に示す。DSC 測定の結果から、100 付近に酸無水物とエポキシ基の反応に由来する発熱ピークが観測された。また、300 付近にはフェニルエチニルカルボニル基の重合反応に由来する発熱ピークが観測された。本来、フェニルエチニルカルボニル基の重合反応はおよそ 200 付近で進行する [1] が、300 という非常に高温側に発熱ピークが観測された。これは、エポキシ樹脂との配合系においては、まずエポキシ基と酸無水物基との反応が先に進行するため、フェニルエチニルカルボニル基の分子運動が妨げられることに起因していると考えられる。ただし、フェニルエチニル基の発熱ピーク温度である 350 - 370 比べ、隣接するカルボニル基の影響により、そのピーク温度は約 50 程度低下させることができる [1] ことが明らかになった。

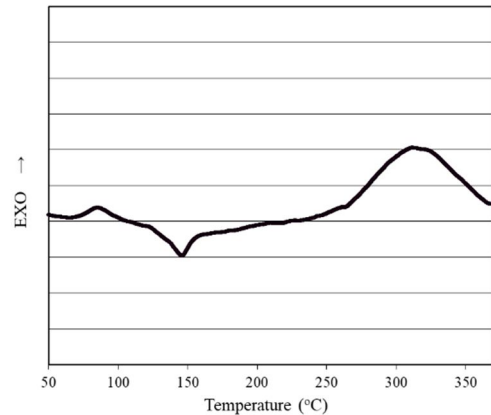


図4 DSC カーブ

また得られる硬化物の動的粘弾性試験 (DMA) を行った結果 (硬化条件 4 種: 170 /2 時間、170 /2 時間+200 /2 時間、170 /2 時間+250 /2 時間および 170 /2 時間+300 /2 時間) を図 5 に示す。

$\tan \delta$  の温度分散曲線のピーク温度で評価したガラス転移温度 ( $T_g$ ) を検討した結果、170 硬化で 148、200 硬化で 206、250 硬化で 262、そして 300

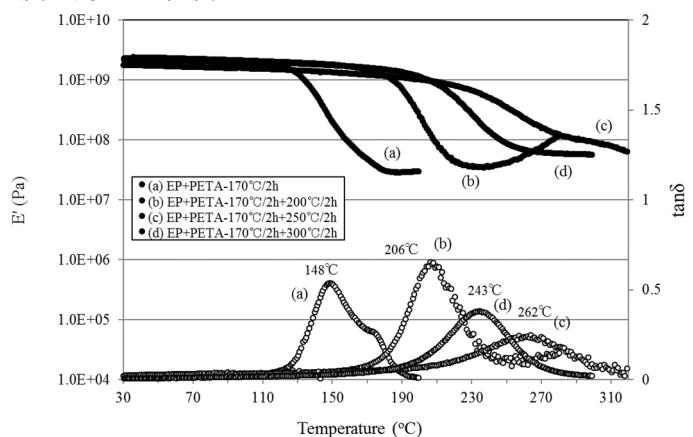


図5 DMA カーブ

硬化では 243 であった。このことから硬化温度が高くなると架橋反応がさらに進行し、ガラス転

移温度が上昇することがわかった。ただし、300 という高温では主鎖の切断により、ガラス転移温度が低下する傾向にあることも明らかになった。しかしながら、通常の酸無水物硬化させたビスフェノール A 型エポキシ樹脂硬化物はおよそガラス転移温度が 150 程度であり、フェニルエチニルカルボニル基の重合により硬化物の耐熱性が格段に向上することがわかった。これはフェニルエチニルカルボニル基の重合により、架橋密度が上昇すること、およびその骨格中に導入されるポリエン構造や多環芳香族構造により分子の相互作用が高くパッキングしやすくなり、分子運動が抑制されるためと思われる。

#### 4-3 新規イミド化合物を用いたビスフェノール A 型エポキシ樹脂を用いた硬化反応および硬化物特性

フェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物およびフェニルエチニルカルボニル基を両末端に有するイミド化合物を硬化剤に用いたエポキシ樹脂について、その硬化物の作製を注型法により行った。まず DGEBA のエポキシ当量と PETA の酸無水物当量が 1 : 0.8 当量になるようにそれぞれ配合し溶融混合させた後、PECI-133APB を PETA に対して 5mol% を配合・溶融混合した後、シリコンゴム製の型に注型し、オープン中で加熱して硬化させた。なお、硬化条件は、170 /2 時間、170 /2 時間+200 /2 時間、170 /2 時間+250 /2 時間および 170 /2 時間+300 /2 時間の 4 つの異なる条件で段階的に設定した。

また比較として、フェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物 (PETA) のみを硬化剤に用いたエポキシ樹脂について、その硬化物の作製を注型法により同じ硬化条件で行った。

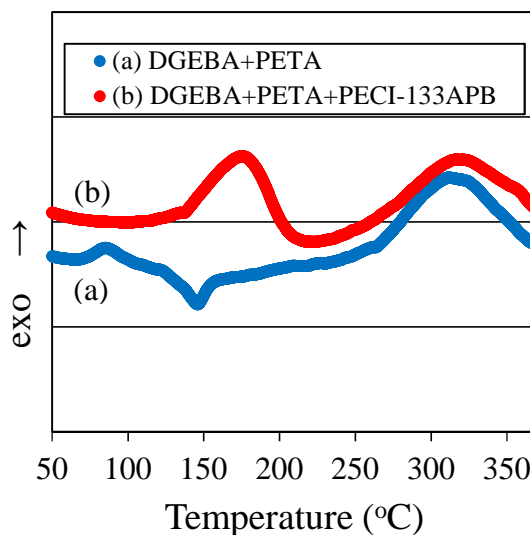


図 6 DSC カーブ

フェニルエチニルカルボニル基を有するイミド化合物 (図 3、PECI-133APB) およびフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物 (図 2、PETA) の 2 つの化合物を配合したエポキシ樹脂の DSC 曲線を図 6 に示す。同時に、フェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物 (PETA) のみを硬化剤としたエポキシ樹脂の DSC 曲線も示す。DSC 測定の結果から、まず PETA のみを硬化剤として配合した系では、80 付近に発熱ピークが見られる。これは PETA の酸無水物基とエポキシ樹脂のエポキシ基の反応に由来するものである [2]。

この発熱ピークはピークとしては小さいが、これは PETA とエポキシ樹脂の配合温度が 150 ~ 170 と割に高い温度が必要なため、配合時にすでに酸無水物基とエポキシ基がいくらか反応しており、その未反応分のみが観測されているからである。また、150 付近の吸熱ピークは未反応で残存して入る PETA の融点であり、さらに 300 付近にはフェニルエチニルカルボニル基の反応による発熱ピークが観測された。

それに対して、フェニルエチニルカルボニル基を両末端に有するイミド化合物 (PECI-133APB) を配合した系では、先ほどと同様に 300 付近にはフェニルエチニルカルボニル基の重合反応に由来する発熱ピークが観測されたが、PECI-133APB を少量添加することにより、170 付近に大きな発熱ピークが現れることがわかった。これは PETA の酸無水物基とエポキシ基の反応、および PETA および PECI-133APB のフェニルエチニルカルボニル基同士の反応に由来する発熱ピークと考えられる。フェニルエチニルカルボニル基を両末端に有するイミド化合物 (PECI-133APB) を配合した系では、未反応の PETA は残存せず (DSC 測定からも PETA の融解ピークは観測されない) より効率的に PETA の酸無水物基とエポキシ樹脂のエポキシ基が反応していることがわかった。これはより鎖長の長い PECI-133APB を添加することで、エポキシ樹脂に付加した PETA に対してフェニルエチニルカルボニル基が反応してその鎖長が長くなり、より効率的に硬化反応が進行した結果と考えている。

図 7 および図 8 に、フェニルエチニルカルボニル基を両末端に有するイミド化合物およびフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物の 2 つの化合物およびフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物のみで硬化させたエポキシ樹脂硬化物 (硬化条件 4 種: 170 /2 時間、170 /2 時間+200 /2 時間、170 /2 時間+250 /2 時間および 170 /2 時間+300 /2 時間) の動的粘弾性測定結果を示す。ここでは、tan の温度分散曲線のピーク温度で評価したガラス転移温度 (Tg) を検討した。その結果、フェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物のみで硬化させたエポキシ樹脂硬化物の Tg は、170 硬化で 148、200 硬化で 206、250 硬化で 262、そして 300 硬化では 243 であり、フェニルエチニルカルボニル基を両末端に有するイミド化合物およびフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物の 2 つの化合物で硬化させたエポキシ樹脂硬化物の Tg は、170 硬化で 169、200 硬化で 186、250 硬化で 209、そして 300 硬化では 258 であった。このことから硬化温度が高くなると架橋反応がさらに進行し、ガラス転移温度が上昇することがわかった。図 7 において、PETA のみを硬化剤として用いた場合は、300 という高温ではビスフェノール A 骨格主鎖の切断により、ガラス転移温度が低下することが明らかになった。しかしながら、フェニルエチニルカルボニル基を有するイミド化合物を配合したエポキシ樹脂硬化物は、硬化反応がより効率的に進行するため、および分子骨格中にイミド基を有しているため、300 でも熱分解しにくい構造になっていると推測される。

いずれにしても、通常の酸無水物硬化させたビスフェノール A 型エポキシ樹脂硬化物はおよ

そガラス転移温度が 150 程度であり、フェニルエチニルカルボニル基の重合によりエポキシ樹脂硬化物の耐熱性が格段に向上することがわかった。これはフェニルエチニルカルボニル基の重合により、架橋密度が上昇すること、およびその骨格中に導入されるイミド構造やポリエン構造や多環芳香族構造により分子の相互作用が高くパッキングしやすくなり、分子運動が抑制されるためと思われる。

フェニルエチニルカルボニル基を両末端に有するイミド化合物およびフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物の 2 つの化合物およびフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物のみを用いて硬化させたエポキシ樹脂硬化物のコンカロリーメーターによる発熱速度の測定結果（硬化条件 2 種： 170 /2 時間および 170 /2 時間+300 /2 時間） 170 で硬化したものは、フェニルエチニルカルボニル基を両末端に有するイミド化合物およびフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物の 2 つの化合物で硬化させたエポキシ樹脂の方の発熱速度が低く（1133KW/m<sup>2</sup>）難燃性に優れていることがわかった。さらに 300 で硬化させたものについても、フェニルエチニルカルボニル基を両末端に有するイミド化合物およびフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物の 2 つの化合物で硬化させたエポキシ樹脂の方の発熱速度が低く（550KW/m<sup>2</sup>）難燃性に優れていることがわかった。これはフェニルエチニルカルボニル基を両末端に有するイミド化合物およびフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物の 2 つの化合物で硬化させたエポキシ樹脂の方が、フェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物のみを用いて硬化させたエポキシ樹脂よりもより効率的に硬化反応が進行するため、架橋密度が高くなること、およびイミド骨格が存在すること、また分子パッキングがしやすくなるためと考えられる。

### 【まとめ】

本研究では、フェニルエチニルカルボニル基を両末端に有するイミド化合物およびフェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物の 2 つの化合物を硬化剤として各種エポキシ樹脂の硬化反応および得られる硬化物の特性について検討した。その結果、酸無水物とエポキシ基の反応がまず進行し、次にフェニルエチニルカルボニル基の反応が約 250-300 で進行することがわかった。また、酸無水物とエポキシ基の反応は、両末端にフェニルエチニルカルボニル基を有するイミド化合物を少量添加することにより、より効率的に進行することがわかった。

硬化物の特性を検討した結果、フェニルエチニルカルボニル基を有する酸無水物で硬化させたエポキシ樹脂は、特に耐熱性、耐熱分解性および難燃性が優れていた。これは、フェニルエチニルカルボニル基の重合により架橋密度が上昇すること、およびその骨格中に導入されるポリエン構造やイミド環構造により分子の相互作用が高くパッキングしやすくなり、分子運動が抑制されるためと思われる。さらに、末端にフェニルエチニルカルボニル基を有するイミド化合物を少量添加することにより、より効率的に硬化反応が進行するため、耐熱性や耐熱分解性および難燃性が向上することも明らかになった。

### 引用文献

- [1] H.Kimura, K.Ohtsuka, A.Matsumoto, H.Fukuoka, Y.Oishi, *eXPRESS Polymer Letters*, **7**, 161-171(2013).
- [2] H.Kimura, K.Ohtsuka, M.Yonekawa, *Polymers for Advanced Technologies*, **30**, 1303-1313(2019).
- [3] Volksen W., *Adv. Polym. Sci.*, **117**, 111-164(1994).
- [4] Kailani M.H., Sung C.S.P., **31**, 5771-5778(1998)

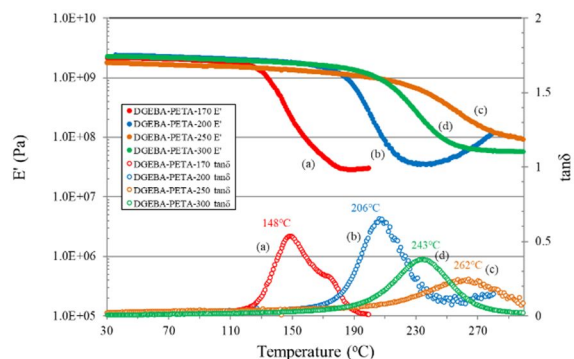


図 7 DMA カーブ

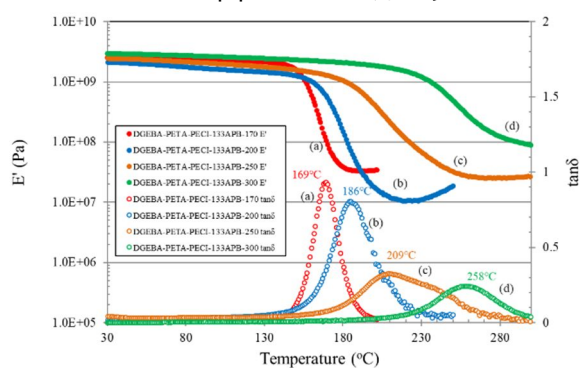


図 8 DMA カーブ

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 木村 肇, 大塚 恵子, 米川 盛生	4. 巻 42
2. 論文標題 新しいプロセスによる高耐熱性エポキシ樹脂の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ネットワークポリマー	6. 最初と最後の頁 42-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hajime Kimura, Keiko Ohtsuka, Morio Yonekawa, Akihiro Matsumoto	4. 巻 30
2. 論文標題 Synthesis of novel thermosetting imide compounds having phenylethynyl carbonyl groups at both terminal ends and production of new network polymers based on the imide compounds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymers for Advanced Technologies	6. 最初と最後の頁 1303-1313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pat.4564	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 木村 肇, 大塚 恵子, 米川 盛生,	4. 巻 40
2. 論文標題 炭素繊維強化複合材料用新規熱硬化性マトリックス樹脂の創製およびその分子設計	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ネットワークポリマー論文集	6. 最初と最後の頁 216-222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11364/networkedpolymer.40.5_216	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 Kimura Hajime, Ohtsuka Keiko, Yonekawa Morio, Matsumoto Akihiro	4. 巻 30
2. 論文標題 Synthesis of novel thermosetting imide compounds having phenylethynyl carbonyl groups at both terminal ends and production of new network polymers based on the imide compounds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymers for Advanced Technologies	6. 最初と最後の頁 1303 ~ 1313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pat.4564	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8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 木村 肇, 大塚 恵子, 米川 盛生
2. 発表標題 新しいプロセスによる高耐熱性エポキシ樹脂の開発
3. 学会等名 第70回高分子年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村 肇, 大塚 恵子, 米川 盛生
2. 発表標題 炭素繊維強化複合材料用新規熱硬化性マトリックス樹脂の創製およびその分子設計
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 木村 肇, 大塚 恵子, 米川 盛生
2. 発表標題 炭素繊維強化複合材料用新規熱硬化性マトリックス樹脂の創製およびその分子設計
3. 学会等名 第29回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村 肇, 大塚 恵子, 米川 盛生
2. 発表標題 炭素繊維強化複合材料用新規熱硬化性マトリックス樹脂の創製およびその分子設計
3. 学会等名 第68回高分子年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村 肇, 大塚 恵子, 米川 盛生
2. 発表標題 炭素繊維強化複合材料用新規熱硬化性マトリックス樹脂の創製およびその分子設計
3. 学会等名 第69回ネットワークポリマー講演討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村 肇, 大塚 恵子, 米川 盛生, 松本 明博
2. 発表標題 低温硬化型新規熱硬化性イミド化合物を利用した新しいネットワークポリマー
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 肇, 大塚 恵子, 米川 盛生
2. 発表標題 炭素繊維強化複合材料用新規熱硬化性マトリックス樹脂の創製およびその分子設計
3. 学会等名 第68回ネットワークポリマー講演討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 肇, 大塚 恵子, 米川 盛生
2. 発表標題 炭素繊維強化複合材料用新規熱硬化性マトリックス樹脂の創製およびその分子設計
3. 学会等名 第27回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2018年



〔図書〕 計2件

1. 著者名 木村 肇 他	4. 発行年 2018年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 529
3. 書名 高耐熱樹脂の開発事例集	

1. 著者名 木村 肇 他	4. 発行年 2018年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 285
3. 書名 ベンゾオキサジン樹脂の新しい設計と応用展開	

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	米川 盛生  (Morio Yonekawa)  (60724151)	地方独立行政法人大阪産業技術研究所・森之宮センター・主任研究員   (84431)	
研究分担者	大塚 恵子  (Keiko Ohtsuka)  (50416286)	地方独立行政法人大阪産業技術研究所・森之宮センター・研究フェロー   (84431)	

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
---------	---------