

機関番号：14401
 研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20550040
 研究課題名 (和文) キノン縮環エポキシケトンの転位に基づく新規多環状化合物の合成法の開発
 研究課題名 (英文) Development of Synthetic Method for New Polycyclic Compounds based on Rearrangements of Quinone-fused Epoxy Ketones
 研究代表者
 大島 巧 (OSHIMA TAKUMI)
 大阪大学・工学研究科・教授
 研究者番号：40107082

研究成果の概要 (和文)：

キノンとジアリールジアゾメタンの1,3-双極子付加反応によりホモキノンを合成し、さらにエポキシ化することによって表題の高歪みキノン縮環エポキシケトンを合成した。この化合物の酸触媒転位反応を行ったところ、エポキシ環の酸開裂反応と連動した endo-アリール基の隣接基関与によって分子内渡環反応、およびシクロプロパン環の開裂が起こり、幾つかの新規多環状化合物が生成した。この手法は、キノンに小員環を縮環したエポキシケトンに適用することにより広範な多環状化合物のライブラリーを作成する上で有効であることがわかる。

研究成果の概要 (英文)：

Highly strained quinone-fused epoxy ketones were synthesized via 1,3-dipolar cycloaddition of diaryldiazomethanes with quinones followed by epoxidation. These compounds underwent the acid-catalyzed epoxide ring cleavage associated with the transannular cyclization of endo- π -aryl group to afford several new polycyclic compounds. This synthetic strategy may be successfully applied for the other small-ring fused quinones in view of building a library of new polycyclic compounds.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・有機化学

キーワード：キノン、ホモキノン、エポキシド、酸触媒、転位反応、多環状化合物、隣接基関与、反応速度

1. 研究開始当初の背景

(1) 著者は、これまで電子受容体であるキノンとジアゾアルカンの1,3-双極子付加反応の反応性および合成化学的应用について

継続して研究を進めてきた。この反応では、生成物としてシクロプロパンを縮環したキノン、いわゆるホモキノン、を高収率で与える。このホモキノンは、キノン骨格の一部を

保持し、なお電子受容性を有することから、アミンや芳香族ドナー分子存在下の光誘起電子移動(PET)反応を開発し、ラジカルイオン対を中間体とする反応系の開発と新規化合物の合成ならびにその反応機構の解明を行ってきた。

(2) また、ホモキノンは、なおC=O基と共役したC=C二重結合が存在しており光[2+2]付加反応が起こりうる。実際、三重結合をもつアセチレン化合物との光反応を行ったところ、シクロブテン環を縮環したホモキノ誘導体が生成した。この高歪み化合物に酸を作用させたところ触媒的に骨格転位反応が誘起され三、四環性の多様な環状化合物の合成に成功している。

(3) 反応の適用範囲を広げるため、各種置換基、立体配置、コンホメーションをもつホモキノ誘導体の構造と反応性の相関を考察し反応の支配因子を明らかにした。と同時に、反応性を定量的に評価するため、この触媒反応に速度論的考察をおこない、置換基効果、溶媒効果の結果をもとに反応の全体像を把握した。

(4) このような研究の背景に鑑み、今回、新たに合成ビルディングブロックであるエポキシ環をホモキノに縮環し、酸触媒骨格転位反応を計画し研究した。エポキシ環の酸素原子は塩基性のため、酸の配位がおこるため、新規骨格転位により従来と異なる生成物が期待できる。また、上記(2)で記したシクロブテン縮環ホモキノとの反応性の違いを調べることは興味もたれる。さらに、より深い酸触媒骨格転位反応の洞察をえるため反応機構の解明が必要とされていた。

2. 研究の目的

(1) 多環状化合物は、自然界にもアルカロイド等として広く存在し、その生物作用や神経作用、薬理効果に関する研究が精力的に行われている。しかし、有機合成化学的にこのような化合物を合成することは一般に困難であり、多段階の合成操作を必要とする。このような状況を踏まえ、本研究では、電子受容性の共役分子であるキノンに着目し、シクロプロパン環、シクロブテン環、オキシラン環などの小員環合成ブロックを縮環させた多官能性高歪化合物を設計合成し、酸触媒による転位反応を行い新規多環状化合物の簡便な合成法の開発を目的とする。具体的には、以下の3項目の目標を設定した。

①キノン縮環高歪エポキシケトン合成：各種置換キノンとジアゾアルカンの1,3-双極子付加反応と脱窒素により鍵中間体のホモキノ $\mathbf{1}$ を合成し、さらにアルキンとの[2+2]光付加反応でシクロブテン縮環ホモキノ $\mathbf{2}$ を、またエポキシ化によりエポキシケトン $\mathbf{3}$ を合成する。さらにキノンとアルケン

との[2+2]光付加物 $\mathbf{4}$ のエポキシ化で高歪なエポキシケトン $\mathbf{5}$ を合成する(3.研究の方法、Scheme 1参照)。

②酸触媒転位反応の反応支配因子と機構解明：化合物 $\mathbf{2}$ 、 $\mathbf{3}$ 、 $\mathbf{5}$ はキノン部位のカルボニル基およびエポキシド酸素原子が酸と相互作用し反応活性点となり、転位反応が進行する。生成物の解析、置換基効果、立体効果等を検討し反応支配因子と反応機構を解明する。

③新規多環状化合物合成への展開：上記②で得られた知見を基に新しいキノン縮環多環状ケトンを設計合成し新規多環状化合物の合成へ展開する。

今回の目的は、上記の転位反応を考慮して新規な多環状化合物の合成法を開発するため、ホモキノ $\mathbf{1}$ あるいは $\mathbf{4}$ をエポキシ化した三環性エポキシド $\mathbf{3}$ 、 $\mathbf{5}$ の酸触媒骨格転位反応に展開する。化合物 $\mathbf{3}$ の反応については、予備的にBF₃触媒でオキシラン環の位置選択的開裂とendo-フェニル基の分子内環化反応により3環性のジケト-アルコールが定量的に生成することを確認し、報告している(*Org. Lett.*, **9**, 3421 (2007))。これらの化合物は、オキシラン環が開裂してもキノン部位の2つのカルボニル基が残るため、反応条件を選べば酸触媒によってさらにシクロプロパン環、ブタン環が開裂する多段階転位反応が期待できる。また、どちらのカルボニル酸素原子に配位するかによって反応のスキームが大きく異なる可能性がある。したがって、系統的な研究によって新たな骨格変換反応の開発とキノン骨格を有する新規多環状化合物のライブラリー構築が期待される。本申請では、つぎの各点に焦点を絞り具体的に研究を展開する。

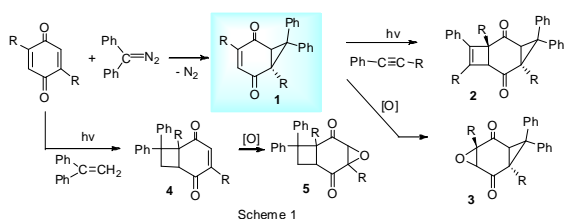
- ・酸触媒骨格転位反応の最適反応条件の検討と生成物の単離および構造決定。
- ・Endo-フェニル基の遠隔地隣接基関与(π -Aryl participation)の解明。
- ・キノン置換基の系統的变化と反応性の相関および立体的、電子的効果の解明。
- ・置換基効果および溶媒効果を速度論的に検討し遷移状態、中間体の推定と反応機構の解明。

3. 研究の方法

(1) 多環エポキシケトンの酸触媒骨格転位反応の文献調査と現状把握をおこなう。関連する国内外の研究論文を概ね調査しているが、さらに最近の動向について精査する。これらの調査結果に基づき新規な骨格転位を指向した初年度の研究計画を立てる。

(2) 各種置換および配座異性エポキシケトンの合成と構造決定をおこなう。研究目的で述べた合成法(scheme 1)に従っ

て各種置換キノンと一連の *m*-, *p*-置換基を有するジフェニルジアゾメタンの反応より、種々のホモキノン **1** を合成し、さらにエポキシ化により **3** を合成する。一方、**5** については各種キノンとオレフィンの光[2+2]付加反応によりシクロブタン縮環キノンを合成し、さらにエポキシ化することによって合成する。これらの合成したエポキシケトンには、付加位置の違いと配向選択性およびベンゼン環上の置換基 X, Y の *endo*/*exo*位置による立体異性体が存在し、これらの混合物を液体/カラムクロマトグラフィーで分離し、NMR等の分析により構造確認する。



(3) エポキシケトン **3** と **5** の酸触媒骨格転位反応の条件検討を行う。

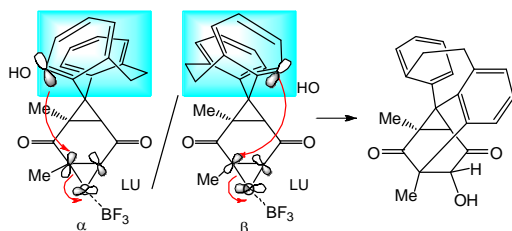
反応温度、溶媒などの反応条件の確立と最適触媒の探索ならびに酸として用いるルイス酸、プロトン酸の比較および酸性度と反応性の関連を調べる。

(4) 化合物 **3** と **5** の置換基と立体効果の検討を行う。具体的には、*p*-および *m*-置換基 (X, Y) の電子的共役効果、また、置換基 R¹ R² の立体効果を速度論的に解明する。さらに、 π -aryl participationの検証として置換基効果から得られる情報は重要である。化合物 **2** においてはその置換基効果より同様な隣接基関与の証拠を得て、既に報告している。

(*Org. Lett.*, **6**, 4081 (2004))

(5) 立体配座の影響を調べる。

endo-フェニル基が本転位反応で重要な役割を果たすことから、フェニル基同士をエタノ架橋し配座固定したエポキシケトン (*endo*/*exo*体) も合成しその配座効果を検討する。この場合は、 π -aryl Participationにおいてオキシラン環のLUMO軌道とアリール基のHOMO軌道の相互作用が反応性を支配すると予想され機構論的に興味ある。



(6) 予想される骨格転位生成物の生成熱を計算で求め、可能な反応ルートを予想する。多段階の骨格転位反応の場合、生成熱は順次

下がるので、計算による反応ルートの予測を行う。すでに、化合物 **2** の場合有効であることを確かめている。

(7) 転位生成物の単離と構造決定を行う。化合物 **2** の場合、段階的に複数の生成物が生成し単離が必要であったが、今回も同様に多様な生成物が予想される。従って、高速液体クロマトグラフィーを用いて単離を行う。構造確認は基本的にはNMRで行う。しかし、**2** の場合のように生成物の構造が複雑である場合はNMRだけでは確認が得られないと思われる。その場合は結晶化しX線構造解析を行う予定である。

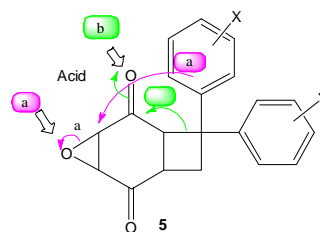
(8) 溶媒効果の検討を行う。

溶媒効果は置換基効果と同様に、生成物を効率よく選択的に得る上で非常に重要である。また、反応機構を解明する上で直接遷移状態あるいは中間体の情報を与えるため機構の解明には必須の実験である。したがって、一連の極性溶媒中の反応速度を測定し、反応最適反応溶媒の選定と、溶媒極性の影響を動力的に検討する

(9) 上記(4)の置換基効果および(8)の溶媒効果を各種パラメーターを使い数値化する。置換基効果で求められた速度定数の対数をHammettプロットなどの置換基定数で数式化し、遷移状態における反応点の電子密度を評価する。また、溶媒効果で求められた速度定数の対数を溶媒極性パラメーター (*E*_s など) で相関づけ、同じく遷移状態の分極の程度を見積もる。これらのエネルギー間の直線自由エネルギー関係式よりこれらの反応のエネルギーダイアグラムを作成する。

(10) エポキシケトン **5** の開裂パターンと構造の影響を考察する。

酸のエポキシド酸素 (a) とカルボニル酸素 (b) に対する配位はともに起こりうる。(a) の配位では、 π -Aryl participationによりSE2-Ar型の反応が考えられる。一方、(b) への配位ではシクロブタン環の開裂が考えられる。どちらの開裂(a or b)が優先的に起こるかは興味ある問題である。また、キノン部位およびフェニル基の置換基の電子的効果も重要な働きをするので一連の置換エポキシケトンについて反応性と生成物 (分布) を確認し、反応支配因子ならびに反応機構を明らかにする。以上の研究結果を成果報告し新規反応系に展開する



4. 研究成果

多環状化合物は、自然界に広く存在し、その生物作用や神経作用、薬理効果に関する研究が精力的に行われている。しかし、合成化学的にこのような複雑な化合物を合成することは非常に困難であり、多くの段階を経る合成操作を必要とする。このことから、本研究では、電子受容性の共役分子であるキノンに着目し、シクロプロパン環、シクロブテン環、オキシラン環などの小員環合成ブロックを縮環させた多官能性高歪化合物を設計合成し、酸触媒による転位反応を行い下記に述べる新規多環状化合物の簡便な合成法の開発に成功するとともに反応を制御する要因を明らかにした。具体的には、

(1) ジベンゾシクロヘプテン環をスピロ結合で縮環したホモキノンエポキシドを合成し、 $\text{BF}_3 \cdot \text{OEt}_2$ 触媒によるエポキシドの酸触媒分解を行い、分子内環化反応による新規多環状化合物を高収率で得た。また、その反応速度解析からジベンゾシクロヘプテン環のコンホメーションが反応性に大きく影響することを明らかにした。この理由として、遠隔 π -アリアル基の関与によりエポキシドの開裂が促進されることが明らかとなった。

また、ジアリール基を有するホモベンゾキノンエポキシドのアリアル基に各種置換基を導入した場合は、やはり遠隔 π -アリアル基の関与が認められ、エンド側のパラ位に電子供与性置換基が存在すると数千倍も反応が加速されることがわかった。しかし、エキソ側の置換基の加速効果は小さく2倍程度であった。これらの結果は、エポキシドの合成化学的利用をはかる上で重要な知見を与えた。

(2) 予め歪をもつ合成ブロックを基本骨格に複数縮環結合した多官能性高歪化合物を設計合成し、熱、光および酸塩基触媒作用による骨格転位反応を行い新規多環状化合物の簡便な合成法の開発に成功した。合成基本骨格として、共役分子であるキノンに着目し、シクロプロパン環、シクロブテン環、オキシラン環などの高歪小員環化合物を縮環させ出発基質とした。

具体的化合物として、ジベンゾシクロヘプテン環をスピロ結合で縮環したホモキノンエポキシドを合成し、酸触媒によるエポキシドの酸触媒分解を行い、分子内環化反応が起こることを見出し、新規多環状化合物を高収率で得た。また、その反応速度論的解析からジベンゾシクロヘプテン環のコンホメーションが大きく影響することを示し、遠隔 π -アリアル基の関与によりエポキシドの開裂が促進されることが明らかとなった。同時に、従来、考察されてこなかったエポキシドの反結合 Walsh 軌道が重要な役割を果たすことを明らかにした。

また、ジアリール基を有するホモベンゾキノンエポキシドのアリアル基に一連の各種置換基を導入した場合も、同様に遠隔 π -アリアル基の関与が認められ、エンド側のパラ位に電子供与性置換基が存在すると何千倍も反応が加速されることを示し、一方、エキソ側の置換基の加速効果は僅かであった。この置換基効果のハムメット式に基づく定量的解釈により、この遠隔 π -アリアル基は η -タイプの相互作用をしていることを証明した。これらの結果は、エポキシドの酸触媒反応の機構および合成化学的利用を図る上で重要な指針である。

(3) また、本研究では、シクロプロパン、エポキシドなどの合成ビルディングブロックを、あらかじめ基本骨格となる炭素骨格に縮環あるいは組み込んだ高歪化合物を設計構築し、この化合物の塩基性官能基に対する酸触媒の作用による骨格転位反応を利用した新規多環状化合物の簡便な合成法の開発を目的とした。ここでは2組の $\text{C}=\text{O}$ と $\text{C}=\text{C}$ 二重結合が共役した6員環分子であるキノンを基本骨格とし、まず、ジフェニルジアゾメタンを双極子付加させ、脱窒素後ホモベンゾキノンを得た。さらに H_2O_2 酸化することによってホモベンゾキノンエポキシドを合成した。この化合物に対して、ルイス酸である BF_3 より強力であるプロトン酸 $\text{CF}_3\text{SO}_3\text{H}$ による酸触媒転位反応を行ったところ、endo-フェニル基の隣接基関与に連動してエポキシド環の開裂と分子内環化反応、さらに継続するシクロプロパン環の開裂あるいは6員環キノン部位の環縮小反応によりインデノキノン、2*H*-クロメン誘導体、フラノン誘導体生成などの新たな反応が見出され新規生成物が生成した。これらの生成機構についても考察した(未発表)。これらの結果は、多環状化合物およびエポキシド環ひずみに基づく酸触媒反応の合成化学的利用を指向する上で重要な発見であり、その反応機構の解明は、今後、酸触媒転位反応の展開を図る上で重要な知見である。

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. Kinetics and Regioselectivity in Diels-Alder Reaction of Fullerooids vs Methanofullerene and C_{60}
N. Ikuma, Y. Susami, and T. Oshima
Org. Biomol. Chem. **2010**, *8*, 1394-1398
(査読有).
2. Kinetic Evidence for Dihapto η^2 π -Aryl Participation in Acid-Catalyzed Ring

- Opening of Diarylhomobenzoquinone Epoxides
H. Asahara, K. Saito, and T. Oshima
J. Org. Chem. **2010**, *75*, 733-740(査読有).
3. A New Approach to Benzofurane Synthesis: Lewis Acid Mediated Cycloaddition of Benzoquinones with Stilbene Oxides
K. Kokubo, K. Harada, E. Mochizuk, and T. Oshima
Tetrahedron Lett. **2010**, *51*, 955-958 (査読有).
4. フラーレン類の抗酸化評価および汎用化粧品成分の光分解抑制効果
青江央江、都賀谷京子、後藤忠示、伊藤雅之、小久保 研、山名修一、大島 巧
日本化粧品学会誌 **2009**, *33*, 149-154 (査読有).
5. One-step Synthesis of Water-soluble Fullerenols Bearing Nitrogen-containing Substituents
K. Matsubayashi, T. Goto, K. Togaya, K. Kokubo, and T. Oshima
Fullerenes Nanotubes And Carbon Nanostructures, **2009**, *17*, 440-456 (査読有).
6. Antimicrobial Activity of Fullerenes and Their Hydroxylated Derivatives
H. Aoshima, K. Kokubo, S. Shirakawa, M. Ito, S. Yamana, and T. Oshima
Biocontrol Science, **2009**, *14*, 69-72 (査読有).
7. AlCl₃-Catalyzed Tandem Acetylation of Hydroxylated [60]Fullerene
K. Kokubo, S. Tochika, M. Kato, Y. Sol. and T. Oshima
Org. Lett. **2008**, *10*, 3335-3338(査読有).
8. Conformational Effects in Acid-Mediated Ring Opening of Epoxides: Prominent Role of the Oxirane Walsh Orbital
T. Oshima, H. Asahara, E. Kubo, S. Miyamoto, and K. Togaya
Org. Lett. **2008**, *10*, 2413-2416(査読有).
9. Structural Effects on Thermal Rearrangements of Fulleroids to Methanofullerenes. The Prominent Role of Cyclopropyl vs Aryl Substituent
H. Kitamura and T. Oshima
Org. Lett. **2008**, *10*, 293-296(査読有).
10. Mechanistic Evidence for Remoto p-Aryl Participation in Acid-Catalyzed Ring Opening of Homobenzoquinone Epoxide
T. Oshima, H. Asahara, T. Koizumi, and S. Miyamoto
Chem. Commun. **2008**, 1804-1806(査読有).
11. Facile Synthesis of Highly Water Soluble Fullerenes More Than Half-Covered by Hydroxy Groups
K. Kokubo, K. Matsubayashi, H. Tategaki, H. Takada, and T. Oshima
ACS Nano, **2008**, *2*, 293-296 (査読有).
13. Effects of Pin-up Oxygen on [60]Fullerene for Enhanced Antioxidant Activity
K. Matsubayashi, T. Goto, K. Togaya, K. Kokubo, and T. Oshima
Nanoscale Res. Lett. **2008**, *3*, 237-241 (査読有).
- [学会発表] (計 22 件)
1. フラーレンとその誘導体の Diels-Alder 反応における極性・ハロゲン溶媒の効果
伊熊直彦、三木江翼、アラスト・セイエド・リヤー、小久保 研、大島 巧
日本化学会第 91 回春季年会 **2011**, 3 月 28 日, 横浜
2. 蛍光標識水酸化フラーレンの合成およびその光物理特性
小久保 研、白川翔吾、伊熊直彦、大島 巧
日本化学会第 91 回春季年会 **2011**, 3 月 28 日, 横浜
3. トリアゾリノフラーレンの酸触媒脱窒素反応
三木江 翼、田中伸英、伊熊直彦、小久保 研、大島 巧
日本化学会第 91 回春季年会 **2011**, 3 月 28 日, 横浜
4. 2-メチルマロン酸エステル[60]フラーレン二付加体の位置化学ならびに電子的特性
小久保 研、アラスト リヤー、大島 巧
日本化学会 91 回春季年会 **2011**, 3 月 28 日, 横浜
5. モルホリノシクロアルケンと C60 フラーレンの熱[2+2]環化付加
三木江 翼、浅原時泰、長尾和明、伊熊直彦、小久保 研、大島 巧
第 40 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム **2011**, 3 月 9 日, 名古屋市
6. マルチアリアル化[60]フラーレン誘導体の熱および酸化的安定性
小久保 研、柏原宮人、矢野智美、田中克知、伊熊直彦、大島 巧
第 40 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム **2011**, 3 月 9 日, 名古屋市
7. Synthesis of Highly Soluble Multi-arylated [60]Fullerene Derivatives Directed to Resist Materials
M. Kashihara, M. Kato, T. Yano, K. Tanaka, K. Kokubo, N. Ikuma, T. Oshima

- PACIFICHEM 2010, 12月17日, Hawaii, USA
8. Kinetics and Regioselectivity of Fulleroid in Diels-Alder Reaction and mCPBA Oxidation: Influence of Strain at the Bridgehead Olefin
N. Ikuma, Y. Susami, K. Kokubo, T. Oshima
PACIFICHEM 2010, Hawaii, 12月17日, USA
 9. Synthesis of Fullerenols Having Fluorophore Moiety
K. Kokubo, S. Shirakawa, I. Morita, N. Ikuma, T. Oshima
PACIFICHEM 2010, 12月17日, Hawaii, USA
 10. フレロイドの mCPBA 酸化反応における橋頭位選択的エステル化
伊熊直彦、住岡慧子、浅原時泰、小久保研、大島 巧
第 39 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム 2010, 9月5日, 京都市
 11. フレロイド、メタノフラーレン及びアザフレロイドと各種ジエンとの Diels-Alder 反応における速度論的研究
田中伸英、伊熊直彦、小久保 研、大島 巧
日本化学会第 90 回春年会 2010, 3月28日, 東大阪市
 12. フレロイドの酸化反応における速度論的研究
住岡慧子、伊熊直彦、小久保 研、大島 巧
日本化学会第 90 回春年会 2010, 3月28日, 東大阪市
 13. 部分塩素化水酸化フラーレンの合成およびそのアレルゲン除去能
森田一翔、小久保 研、野口 武、大島 巧
日本化学会第 90 回春年会 2010, 3月27日, 東大阪市
 14. ジアリーールホモベンゾキノンエポキシドの酸触媒開環反応における η^2 タイプ π -Ar 基関与に対する速度論的考察
浅原時泰、齊藤浩太、大島 巧
日本化学会第 90 回春年会 2010, 3月26日, 東大阪市
 15. 非水溶性低度水酸化フラーレノールの簡便合成とそのナノ粒子特性
小林 直記、小久保 研、大島 巧
第 38 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム 2010, 3月4日, 名古屋市
 16. 高い電子受容性を有する [60] フラーレン二付加体の合成
アラスト S. リヤー、小久保 研、Hao Geng、Hsing-Lin Wang、大島 巧、Long Y. Chiang
第 38 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム 2010, 3月4日, 名古屋市
 17. Synthesis and Structural Analysis of novel [60]Fullerene Bisadducts
K. Kokubo, R. S. Arasto, H. Geng, H.-L. Wang, T. Oshima, L. Y. Chiang
IKOOC-11, 2009, 11月12日, Kyoto
 18. Kinetics and Regioselectivity in Diels-Alder Reaction of Fulleroid
N. Ikuma, Y. Susami, K. Kokubo, T. Oshima
IKOOC-11, 2009, 11月12日, Kyoto
 19. Kinetic Evaluation of Fractional ipso/ortho π -Aryl Participation in Acid-Catalyzed Ring-opening of Diarylhomobenzoquinone epoxides
H. Asahara, K. Saito, T. Oshima
IKOOC-11, 2009, 11月12日, Kyoto
 20. $AlCl_3$ -catalyzed Tandem Acetylation of Hydroarylated [60]Fullerens
K. Kokubo, S. Tochika, M. Kashihara, N. Ikuma, T. Oshima
IKOOC-11, 2009, 11月11日, Kyoto
 21. ジアリーールシクロブタン縮環キノンの分子内 [2+2] 光付加環化反応における置換基効果
浅原時泰、小久保 敬、福住俊一、大島 巧
2009 年光化学討論会, 2009, 9月16日, 桐生市
 22. ジアリーールホモキノンエポキシドの酸触媒骨格転位反応の速度置換基効果
齊藤浩太、浅原時泰、大島 巧
第 19 回基礎有機化学討論会 2008, 10月3日, 大阪
- [その他]
ホームページ等
<http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~oshima-lab/>
6. 研究組織
 - (1) 研究代表者
大島 巧 (OSHIMA TAKUMI)
大阪大学・工学研究科・教授
研究者番号: 40107082