

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：15401
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2014～2016
課題番号：26410121
研究課題名(和文) 有機分子触媒を用いた多置換ビスクロ化合物のワンポット不斉合成法の開発と応用

研究課題名(英文) Development of one-pot enantioselective construction of densely functionalized bicyclic compound using organocatalyst

研究代表者
高木 隆吉 (Takagi, Ryukichi)
広島大学・理学研究科・助教

研究者番号：90304394
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：シクロヘキサノン誘導体とアクリル酸誘導体との連続的Michael反応を鍵反応とした多置換ビスクロ化合物のワンポット不斉合成法を検討した。このワンポット合成法における不斉誘起源となる分子間Michael反応は、シンコナルカロイド由来の四級アンモニウム塩を有機分子触媒として用いると高エナンチオ選択的に進行することを見い出した。この反応条件に基づき、ビスクロ化合物のワンポット不斉合成が可能であることを見い出した。

研究成果の概要(英文)：In this research, one-pot asymmetric construction of densely functionalized bicyclic compound by successive Michael reactions of cyclohexanone derivatives and acrylate derivatives bearing a leaving group was investigated. The enantioselective intramolecular Michael reaction of cyclohexanone derivatives and acrylate derivatives, which is essential for the asymmetric construction, was achieved by using quaternary ammonium salt derived from cinchona alkaloid. On the basis of the enantioselective Michael reaction, one-pot asymmetric construction of densely functionalized bicyclic compounds was also achieved.

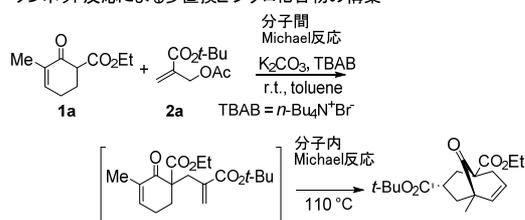
研究分野：有機合成化学

キーワード：有機分子触媒 Michael反応 不斉合成 エナンチオ選択性

1. 研究開始当初の背景

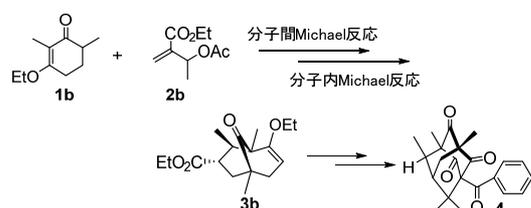
近年、有機合成化学において環境負荷が少なく効率の高い反応の開発が急務となっている。この観点から、金属を含まない有機化合物だけから成る触媒（有機分子触媒）による反応が環境調和型合成反応として非常に注目されている。有機分子触媒は単一の反応の不斉触媒となるだけでなく、一度の操作で複数の反応が進行するドミノ反応や一つの反応容器で反応生成物の精製を行わず数段階の反応を行うワンポット逐次反応などの連続反応にも適用可能であることが報告されている(e.g. Westermann, B.; Ayaz, M.; Berkel, S. S. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2010**, *49*, 846-849)。このような有機分子触媒を用いた連続反応の開発により、簡便で短工程、効率的に目的化合物を合成することが可能となり、今後の有機合成化学の発展に大きく貢献すると考えられる。

連続的Michael反応を基盤としたワンポット反応による多置換ビシクロ化合物の構築



我々は、これまでに、シクロヘキサノン誘導体 **1a** とアクリル酸誘導体 **2a** を塩基および相間移動触媒(TBAB)存在下、反応させると分子間、分子内の連続的Michael反応を経て、多置換ビシクロ化合物 **3a** がワンポット反応で得られることを見出している(*Tetrahedron Lett.* **2004**, *45*, 7401-7405)。また、様々な置換基を有するシクロヘキサノン誘導体 **1** やアクリル酸誘導体 **2** との連続的Michael反応を行い、分子内Michael反応における立体選択性の要因について解明した(*Org. Biomol. Chem.* **2007**, *5*, 286-300)。これらの知見に基づき、シクロヘキサノン誘導体 **1b** とアクリル酸誘導体 **2b** との連続的Michael反応を基盤としたワンポット反応によりビシクロ化合物 **3b** を合成し、その後、PPAP 類に属する天然有機化合物である Plukenetione A の基本骨格部分 **4** への変換を達成した(*J. Org. Chem.* **2008**, *73*, 9320-9325)。

連続的Michael反応を基盤とした多置換ビシクロ化合物のワンポット構築法を鍵反応としたPlukenetione Aの基本骨格合成



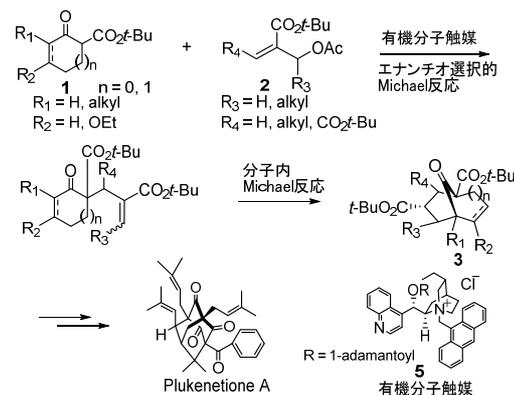
本研究では、相間移動触媒(TBAB)に代わり有機分子触媒を用いた連続的Michael反応によるビシクロ化合物のワンポット不斉合成

が可能か検討し、抗腫瘍活性を有する微量天然有機化合物 Plukenetione A の不斉合成に応用しようと考えた。

2. 研究の目的

有機分子触媒を用いた連続的Michael反応を基盤とする多置換ビシクロ化合物のワンポット不斉合成法を確立し、抗腫瘍活性を有する微量天然有機化合物 Plukenetione A の不斉合成に応用する。

3. 研究の方法



最初に、本研究課題で開発する多置換ビシクロ化合物のワンポット不斉合成法の鍵反応となる有機分子触媒を用いたシクロヘキサノン誘導体 **1** と脱離基を有するアクリル酸誘導体 **2** とのエナンチオ選択的分子間Michael反応について検討する：有機分子触媒としてシンコナルカロイド由来の四級アンモニウム塩 **5** を用いシクロヘキサノン誘導体 **1** とアクリル酸誘導体 **2** のMichael反応を検討する。この分子間Michael反応よりエナンチオ選択的にMichael反応生成物を発生させた後、その反応溶液に臭化テトラブチルアンモニウム、炭酸カリウムを加え還流することで、多置換ビシクロ化合物のワンポット不斉合成を検討する。最後に、有機分子触媒を用いた多置換ビシクロ化合物のワンポット不斉合成法を鍵反応として微量天然有機化合物 Plukenetione A の不斉合成を検討する。

4. 研究成果

4-1. 有機分子触媒を用いたシクロヘキサノン誘導体とアクリル酸誘導体とのエナンチオ選択的分子内Michael反応

4-1-1. 無置換アクリル酸誘導体 **2a** を用いた検討

水溶性塩基性条件下、有機分子触媒 **5** を用いたシクロヘキサノン誘導体 **1a, b** とアクリル酸誘導体 **2a** との分子間Michael反応を検討した(Table 1)。シクロヘキサノン誘導体 **1a** を用いた反応では、反応溶媒としてトルエンのみを用いると有機分子触媒 **5** が完全に溶解せず、トルエン/塩化メチレン(7:1)の混合溶媒を反応溶媒として用い -40°C で反応を行うことで高エナンチオ選択的にMichael生成物

3a が得られることが分かった(entry 1)。シクロヘキサノン誘導体 **1b** を用いた反応では、反応温度-40°C では反応が完全に進行せず反応温度を-20°C に上昇させる必要があった(entry 2)。この場合、反応溶液としてトルエン/塩化メチレンを用いるよりも *o*-キシレン/塩化メチレンを用いた方が高エナンチオ選択性で Michael 生成物 **3b** が得られた。また、シクロヘキサノン誘導体 **1a** と **1b** では、その反応性の違いのため、高エナンチオ選択性で Michael 生成物 **3** を得るには、用いる塩基の当量を検討する必要もあった。

Table 1. Enantioselective Michael Reaction of cyclohexanones **1a,b with acrylate **2a**^a**

entry	ketoester	conditions	product	yield (%) ^b	ee (%) ^c
1	1a	5 : 20 mol% toluene/CHCl ₃ (7:1) -40 °C, 22 h	3a	72	81
2	1b	<i>o</i> -xylene/CHCl ₃ (7:1) aq. KOH: 5 equiv ^d -20 °C, 16 h	3b	73	91

^aUnless otherwise noted, reactions were performed with **1** (0.20 mmol), **2** (0.23 mmol), **5** (15 mol%), and 50 wt% aq. KOH (2.0 mmol) in 0.15 M solvent.

^bIsolated yields. ^cDetermined by chiral stationary phase HPLC. ^d50 wt% aq. KOH.

Michael 供与体の適用範囲を検討するため、有機分子触媒 **5** を用いたシクロヘキサノン誘導体 **1c-f** とアクリル酸誘導体 **2a** との分子内 Michael 反応を検討した(Table 2)。シクロヘキサノン誘導体 **1c-f** はシクロヘキサノン誘導体 **1a,b** と比べ反応性が高く、用いる塩基の量が少量でも高収率、高エナンチオ選択性で Michael 生成物 **3** が得られることが分かった。

Table 2. Enantioselective Michael Reaction of cyclohexanones **1c-f with acrylate **2a**^a**

entry	ketoester	conditions	product	yield (%) ^b	ee (%) ^c
1	1c	-20 °C, 22 h	3c	68	92
2	1d	toluene/CHCl ₃ (7:1) -40 °C, 20 h	3d	84	92
3	1e	-20 °C, 20 h	3e	93	94
4	1f	toluene/CHCl ₃ (7:1) -40 °C, 23 h	3f	99	93

^aUnless otherwise noted, reactions were performed with **1** (0.20 mmol), **2** (0.23 mmol), **5** (15 mol%), and 50 wt% aq. KOH (0.60 mmol) in 0.15 M in *o*-xylene/CHCl₃ (7:1). ^bIsolated yields. ^cDetermined by chiral stationary phase HPLC.

4-1-2. メチル置換アクリル酸誘導体を用いた検討

より複雑な構造のピシクロ化合物の構築を可能とするため、メチル置換アクリル酸誘導体を用いた Michael 反応を検討することにした。まず、シクロヘキサノン誘導体 **1a** との Michael 反応においてアクリル酸誘導体の脱離基の検討を行った(Table 3)。脱離基としてアセチル基を有するアクリル酸誘導体 **2b** を用いると有機分子触媒 **5** を 40 mol%用い、0°C で反応を行っても Michael 生成物 **3g** の収率は 50%程度でエナンチオ選択性も中程度であった(entry 1)。脱離基としてより脱離能の高いベンゾエートを有するアクリル酸誘導体 **2c** を用いると、より低温でも反応が進行しエナンチオ選択性の向上がみられたが、反応収率は低下した(entry 2)。エステル部分をエチル基に変換したアクリル酸誘導体 **2d** を用いた場合も、脱離基がアセチル基であっても-20°C で反応は進行したが、反応収率・エナンチオ選択性ともに中程度のままであった(entry 3)。脱離基としてベンゾエート、エステルとして *n*-ヘキシル基を有するアクリル酸誘導体 **2e** を用いると、さらに低温(-40°C)でも反応が進行し、反応収率: 71%、エナンチオ選択性: *E*: 81% ee, *Z*: 81% ee で Michael 生成物 **3i** が得られた(entry 4)。これらの検討により、メチル置換アクリル酸誘導体 **2** を用いたシクロヘキサノン誘導体 **1** との Michael 反応では、アクリル酸誘導体 **2e** が Michael 受容体として最適で、*E* 型の幾何配置をした Michael 生成物が優先して得られることが分かった。

Table 3. Enantioselective Michael Reaction of cyclohexanones **1a with acrylates **2b-e**^a**

entry	MBH	conditions	product	yield (%) ^b	<i>E</i> : <i>Z</i> ^c	ee (%) ^d
1	2b	cat: 40 mol% 0 °C, 40 h	3g	49	2.3 : 1	<i>E</i> : 51 <i>Z</i> : 74
2	2c	-20 °C, 28 h	3g	37	4 : 1	<i>E</i> : 77 <i>Z</i> : 86
3	2d	-20 °C, 28 h	3h	51	3 : 2	<i>E</i> : 63 <i>Z</i> : 78
4	2e	toluene/CHCl ₃ (7:1) -40 °C, 24 h	3i	71	1.9 : 1	<i>E</i> : 81 <i>Z</i> : 81

^aUnless otherwise noted, reactions were performed with **1** (0.20 mmol), **2** (0.23 mmol), **5** (20 mol%), and 50 wt% aq. KOH (2.0 mmol) in 0.15 M in *o*-xylene/CHCl₃ (7:1). ^bIsolated yields. ^c*E/Z* ratios were determined by ¹H NMR analysis of crude products. ^dDetermined by chiral stationary phase HPLC.

メチル置換アクリル酸として最適であったアクリル酸誘導体 **2e** とシクロヘキサノン誘導体 **1b** との Michael 反応を検討した(Table 4)。シクロヘキサノン誘導体 **1a** との Michael 反応における最適反応条件(-40 °C)

を検討したが、低収率であった(entry 1)。塩基として炭酸セシウムを用い 0 °C で反応を行うことで中程度の反応収率ながら高いエナンチオ選択性で Michael 生成物が得られることが分かった(entry 2)。

Table 4. Enantioselective Michael Reaction of cyclohexanone **1b with acrylate **2e**^a**

entry	conditions	yield (%) ^b	<i>E</i> : <i>Z</i> ^c	ee (%) ^d
1	4: 15 mol% aq. KOH: 3 equiv ^e -40 °C, 36 h	33	1 : 1.2	<i>E</i> : 90 <i>Z</i> : 61
2	Cs ₂ CO ₃ : 3 equiv (solid) <i>o</i> -xylene/CHCl ₃ (7 : 1) 0 °C, 84 h	51	1.2 : 1	<i>E</i> : 81 <i>Z</i> : 91

^aUnless otherwise noted, reactions were performed with **1** (0.20 mmol), **2** (0.23 mmol), **5** (20 mol%), and 50 wt% aq. KOH in 0.15 M in toluene/CHCl₃ (7:1).

^bIsolated yields. ^c*E/Z* ratios were determined by ¹H NMR analysis of crude products. ^dDetermined by chiral stationary phase HPLC. ^e50 wt% aq. KOH.

シクロヘキサノン誘導体 **1c-f** とメチル置換アクリル酸誘導体 **2e** との Michael 反応を検討した(Table 5)。これらの反応においても無置換アクリル酸誘導体 **2a** との Michael 反応と同様に、シクロヘキサノン誘導体 **1a,b** に比べ反応は容易に進行し、低温下でも、適度な反応収率で Michael 生成物 **3** が得られた。また、これらの反応では、Michael 生成物 **3** の幾何異性体がほぼ 1:1 の比で得られ、エナンチオ選択性は、いずれの幾何異性体においても高いものであった。しかしながら、これらの反応では反応時間として比較的、長時間が必要であった。

Table 5. Enantioselective Michael Reaction of cyclohexanones **1c-f with acrylate **2e**^a**

entry	ketoester	conditions	product	yield (%) ^b	<i>E</i> : <i>Z</i> ^c	ee (%) ^d
1	1c	-20 °C, 40 h toluene/CHCl ₃ (7 : 1)	3k	63	1 : 1.3	<i>E</i> : 95 <i>Z</i> : 91
2	1d	aq. KOH: 6 equiv ^e -40 °C, 43 h	3l	60	1 : 1.1	<i>E</i> : 90 <i>Z</i> : 92
3	1e	-20 °C, 40 h toluene/CHCl ₃ (7 : 1)	3m	74	1 : 1.3	<i>E</i> : 81 <i>Z</i> : 93
4	1f	aq. KOH: 6 equiv ^e -40 °C, 54 h	3n	60	1 : 1.1	<i>E</i> : 82 <i>Z</i> : 94

^aUnless otherwise noted, reactions were performed with **1** (0.20 mmol), **2** (0.23 mmol), **5** (15 mol%), and 50 wt% aq. KOH (0.60 mmol) in 0.15 M in *o*-xylene/CHCl₃ (7:1). ^bIsolated yields. ^c*E/Z* ratios were determined by ¹H NMR analysis of crude products. ^dDetermined by chiral stationary phase HPLC. ^e50 wt% aq. KOH.

4-1-3. 電子求引基が置換したアクリル酸誘導体 **2f** を用いた検討

アクリル酸誘導体 **2** の反応性を向上することで更なる反応収率、エナンチオ選択性の向上を目指し、電子求引基が置換したアクリル酸誘導体 **2f** の Michael 反応を検討することにした。まず、シクロヘキサノン誘導体 **1c-f** との反応を検討した(Table 6)。電子求引基が置換したアクリル酸誘導体 **2f** を用いた Michael 反応はメチル置換アクリル酸誘導体 **2e** を用いた場合に比べ反応が速やかに進行し、約 1 日の反応時間でも高収率・高エナンチオ選択性で Michael 生成物が得られた。また、これらの反応では *Z* 型の幾何配置をした Michael 生成物が主生成物として得られることも分かった。

Table 6. Enantioselective Michael Reaction of cyclohexanones **1c-f with acrylate **2f**^a**

entry	ketoester	conditions	product	yield (%) ^b	<i>E</i> : <i>Z</i> ^c	ee (%) ^d
1	1c	23 h	3o	80	1 : 8.8	<i>E</i> : 90 <i>Z</i> : 94
2	1d	23 h	3p	93	1 : 3.5	<i>E</i> : 85 <i>Z</i> : 91
3	1e	22 h	3q	98	1 : 15	<i>E</i> : 81 <i>Z</i> : 92
4	1f	23 h	3r	90	>1 : 10	<i>E</i> : 73 <i>Z</i> : 91

^aUnless otherwise noted, reactions were performed with **1** (0.20 mmol), **2** (0.23 mmol), **5** (15 mol%), and 50 wt% aq. KOH (0.60 mmol) in 0.15 M in *o*-xylene/toluene/CHCl₃ (7:1:1). ^bIsolated yields. ^c*E/Z* ratios were determined by ¹H NMR analysis of crude products. ^dDetermined by chiral stationary phase HPLC.

Table 7. Enantioselective Michael Reaction of cyclohexanones **1a,b with acrylate **2f**^a**

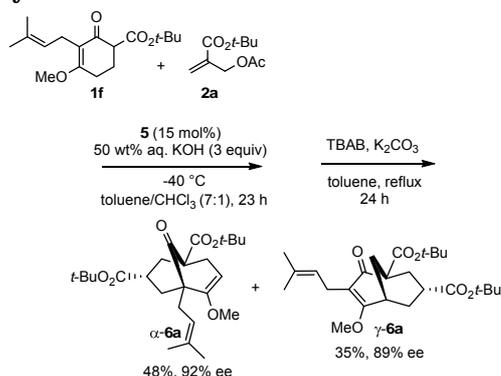
entry	ketoester	conditions	product	yield (%) ^b	<i>E</i> : <i>Z</i> ^c	ee (%) ^d
1	1a	21 h	3s	44	1 : 6.4	<i>E</i> : 77 <i>Z</i> : 93
2	1b	21 h	3t	67	1 : 10	<i>E</i> : 88 <i>Z</i> : 94

^aUnless otherwise noted, reactions were performed with **1** (0.20 mmol), **2** (0.23 mmol), **5** (15 mol%), and 50 wt% aq. KOH (0.60 mmol) in 0.15 M in *o*-xylene/toluene/CHCl₃ (7:1:1). ^bIsolated yields. ^c*E/Z* ratios were determined by ¹H NMR analysis of crude products. ^dDetermined by chiral stationary phase HPLC.

シクロヘキサノン誘導体 **1c-f** に比べ反応性の悪いシクロヘキサノン誘導体 **1a,b** と電子求引基が置換したアクリル酸誘導体 **2f** との Michael 反応についても検討した (Table 7)。こららの反応では、反応性の良いシクロヘキサノン誘導体 **1c-f** と同じ反応条件でも反応は進行し、反応収率は中程度ながら高いエナンチオ選択性で Michael 生成物が得られることが分かった。

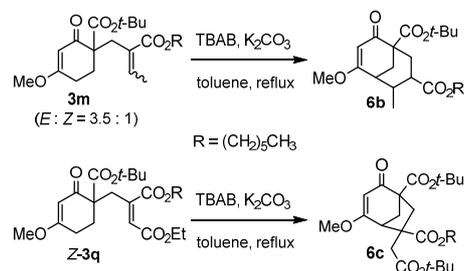
4-2. 有機分子触媒を用いたシクロヘキサノン誘導体とアクリル酸誘導体との連続的 Michael 反応を基盤とした多置換ビスシクロ化合物のワンポット不斉合成法の検討

Table 8. Enantioselective one-pot construction of densely functionalized bicyclic compound by successive Michael reactions



前述のシクロヘキサノン誘導体 **1** とアクリル酸誘導体 **2** とのエナンチオ選択的分子間 Michael 反応を鍵反応とした連続的 Michael 反応による多置換ビスシクロ化合物のワンポット不斉合成法について検討した (Table 8)。先に見出した最適反応条件に基づき、四級アンモニウム塩 **5** 存在下、シクロヘキサノン誘導体 **1f** とアクリル酸誘導体 **2a** との分子間 Michael 反応により Michael 生成物をエナンチオ選択的に発生させた後、シリカゲル濾過によりアンモニウム塩を取り除き、その反応溶液に相間移動触媒 TBAB および炭酸カリウムを加え還流するとエナンチオ選択性が大幅な低下をすることなく多置換ビスシクロ化合物 **6** がワンポットで得られることを見出した。また、このワンポット反応では、分子内 Michael 反応において 2 つの位置異性体 α - and γ -**6** が得られた (α -**6**: 46%, 92% ee, γ -**6**: 35%, 89% ee)。さらに、種々の置換基を有するシクロヘキサノン誘導体 **1** を用い、この多置換ビスシクロ化合物の不斉ワンポット反応を検討したところ、最初の分子間 Michael 反応において反応基質が完全に消費されていないことに起因する多置換ビスシクロ化合物の収量の低下や分子内 Michael 反応における位置選択性、多置換ビスシクロ化合物のエナンチオ選択性の決定におけるエナンチオマーの検出方法に問題があることが明らかとなった。

4-3. 有機分子触媒を用いた多置換ビスシクロ化合物のワンポット不斉合成法の抗腫瘍活性を有する微量天然有機化合物 Plukenetione A の不斉合成への応用



前述のシクロヘキサノン誘導体 **1** と置換アクリル酸誘導体 **2e,f** との分子間 Michael 反応で得られる Michael 生成物 **3** から Plukenetione A の合成に必要な立体化学をしたビスシクロ化合物が得られるか検討するため、別途合成した Michael 生成物 **3m** および **Z-3q** から分子間 Michael 反応によるビスシクロ化合物の構築を検討した。これらの反応からは、Plukenetione A の合成に適さないカルボニル基の γ 位で分子間 Michael 反応が進行したビスシクロ化合物 **6b,c** がそれぞれ得られることが分かった。また、ビスシクロ化合物 **6c** の基本骨格はビスシクロ[3.3.1]ノン骨格ではなく、ビスシクロ[3.2.1]オクタン骨格であることも分かった。さらに、シクロヘキサノン誘導体 **1** と置換アクリル酸誘導体 **2e,f** との分子間 Michael 反応で得られる Michael 生成物から Plukenetione A を合成するには、合成計画の変更が必要であることが分かった。

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4件)

1. Paternò-Büchi photochemical [2+2] cycloaddition of aromatic carbonyl compounds with 2-siloxy-1H-pyrrole derivatives.
Jianfei Xue, Manabu Abe, Ryukichi Takagi.
J. Phys. Org. Chem. **2017**, *30*, e3632.
(査読有)
DOI: 10.1002/poc.3632
2. Design and Synthesis of a 4-Nitrobromobenzene Derivative Bearing an Ethylene Glycol Tetraacetic Acid Unit for a New Generation of Caged Calcium Compounds with Two-Photon

- Absorption Properties in the Near-IR Region and Their Application in Vivo. Satish Jakkampudi, Manabu Abe, Naomitsu Komori, Ryukichi Takagi, Ko Furukawa, Claudine Katan, Wakako Sawada, Noriko Takahashi, Haruo Kasai. *ACS Omega* **2016**, *1*, 193–201. (査読有)
DOI: 10.1021/acsomega.6b00119
3. Organocatalytic asymmetric desymmetrization of 4,4-disubstituted cyclohexadienones via intermolecular Diels-Alder reaction. Takagi, Ryukichi; Nishi, Takehiko. *Org. Biomol. Chem.* **2015**, *13*, 11039–11045. (査読有)
DOI: 10.1039/c5ob01760b
 4. Formation of Isomerized *E,Z*-Configured 1,3-Dienes in Construction of Macrocyclic Trienes by Diene-Ene RCM. Takagi, Ryukichi; Tanaka, Kenji; Yamamoto, Koumei; Hiraga, Yoshokazu, Kojima, Satoshi; Abe, Manabu. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2015**, *88*, 146–148. (査読有)
doi:10.1246/bcsj.20140250
- [学会発表](計 12 件)
1. 田淵 千裕・高木 隆吉・安倍 学
キラリリン酸をテンプレートとしたエナンチオ選択的[2+2]環化付加反応の検討
日本化学会第 97 春季年会、平成 29 年 3 月 18 日、横浜
 2. 山崎 侑平・高木 隆吉・安倍 学
新規ビスルホンイミドを用いた不斉ルイス酸触媒反応の検討
日本化学会第 97 春季年会、平成 29 年 3 月 19 日、横浜
 3. 山崎侑平・高木隆吉・安倍 学
新規ビスルホンイミドを用いた不斉ルイス酸触媒反応の検討
第 27 回基礎有機化学討論会、平成 28 年 9 月 2 日、広島
 4. Organocatalytic asymmetric Michael reaction of cyclic β -ketoesters and Morita–Baylis–Hillman derivatives bearing a leaving group
Ryukichi Takagi, Emi Fujii, Hiroto Kondo
Pacifichem2015, 平成 27 年 12 月 19 日 (ホノルル、米国)
 5. Synthesis of strong chiral Brønsted acids bearing an adjacent sulfonimide and its catalytic ability in hydroamination
Toshiya Ichiki, Ryukichi Takagi,
- Manabu Abe
6. キラルリン酸触媒によるジエノンの不斉非対称化 Diels-Alder 反応
高木 隆吉・西 長彦
日本化学会第 95 春季年会、平成 27 年 3 月 26 日、船橋
 7. 光励起ケトンによるラジカル付加反応における脱離基の調査
田村孝明・高木隆吉・安倍学
日本化学会第 95 春季年会、平成 27 年 3 月 26 日、船橋
 8. スルホンイミド基が隣接したキラルブレステッド酸の酸性度とその反応性
市来隼哉・高木隆吉・安倍学
日本化学会第 95 春季年会、平成 27 年 3 月 28 日、船橋
Pacifichem2015, 平成 27 年 12 月 19 日 (ホノルル、米国)
 9. C-H Functionalization by Photo-Excited Ketone of Binaphthyl Derivatives
Takaaki Tamura, Ryukichi Takagi, Manabu Abe
ISRIUM2014, 平成 26 年 4 月 3 日、広島
 10. Synthetic Studies of Novel Trifluoromethyl Substituted Oxaziridines for Stereoselective C-H Functionalization
Yuta Noguchi, Ryukichi Takagi, Manabu Abe
ISRIUM2014, 平成 26 年 4 月 3 日、広島
 11. ビナフチル誘導体を用いた光励起 C-H 官能基化反応の検討
田村 孝明, 高木 隆吉, 安倍 学
第 3 回 JACI/GSC シンポジウム、平成 26 年 5 月 22 日、東京
 12. ケト基を有するビナフチル誘導体によるエナンチオ選択的な光励起 C-H 官能基化反応の開発
田村 孝明, 高木 隆吉, 安倍 学
2014 光化学討論会、平成 26 年 10 月 12 日、札幌
6. 研究組織
(1)研究代表者
高木 隆吉 (TAKAGI RYUKICHI)
広島大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：90304394