

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05097

研究課題名(和文) 芳香環直接構築法を活用するユニークな縮合環芳香族化合物の創製

研究課題名(英文) Development of Unique Condensed Aromatic Compounds Using Ring-closing Approach

研究代表者

吉田 和弘 (Yoshida, Kazuhiro)

千葉大学・大学院理学研究院・准教授

研究者番号：60375607

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)：本研究では、鎖状化合物の位置選択的合成が芳香族化合物の位置選択的合成よりもはるかに容易であるとの考えに基づき、芳香族化するための仕掛けを施した鎖状基質からこれまでにない機能を有する縮合環芳香族化合物の合成を目指して研究を実施した。具体的には、以下の課題に関する研究を行った。1) 面不斉ピリジン触媒の実践的合成法の開発と応用、2) 4-キノロン誘導体合成法の開発、3) ヨウ素と硫黄を利用する機能性芳香族化合物合成法の開発。

研究成果の学術的意義や社会的意義

芳香族化合物を合成する上で現在欠かすことのできない役割を担っているのが、芳香族求電子置換反応である。しかし、多種多様な芳香族化合物の需要が高まりつつある中、芳香族求電子置換反応だけでは合成することが困難な芳香族化合物が多数存在する。本研究は、人類社会の発展に寄与すべく、置換基をあらかじめ望みの位置に配置した鎖状化合物から芳香環自体を構築するという我々がこれまで独自に開発してきた芳香族化合物合成法を大幅に発展させることを目指して実施した研究である。

研究成果の概要(英文)：Modern synthetic organic chemistry has sufficient flexibility to construct acyclic compounds selectively. Therefore, the construction of aromatic rings from acyclic precursors is an attractive approach to obtain substituted aromatic compounds without the formation of inseparable regioisomers. In this study, we have tried to synthesize some unique condensed aromatic compounds using such ring-closing approach. Specifically, we conducted research on the following issues. 1) Practical synthesis and application of asymmetric pyridine catalysts, 2) Synthesis of 4-quinolones, 3) Synthesis of [1]benzothiopheno[2,3-b][1]benzothiophene derivatives.

研究分野：有機合成化学

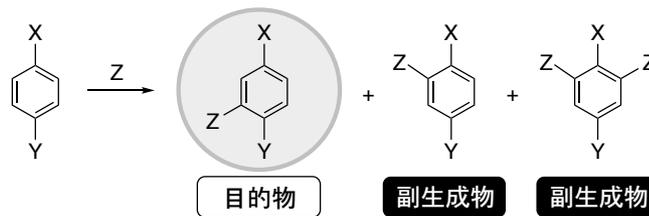
キーワード：有機合成 面不斉 閉環 芳香族化合物

1. 研究開始当初の背景

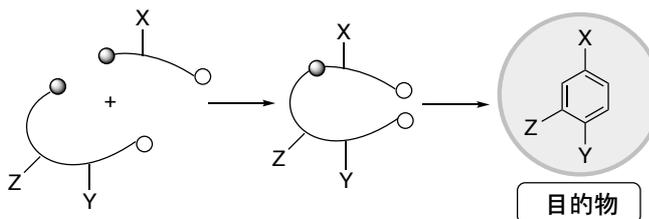
多種多様な芳香族化合物が先端材料物質や工業薬品、医農薬品として現在利用されているが、その需要は年々増加の一途をたどっている。このような置換芳香族化合物を合成する方法として最も一般的なのは、芳香族求電子置換反応に代表される既存芳香環を修飾するアプローチである。本手法は、実験室レベルから工業規模に至る芳香族化合物合成のかなめとして現在利用されているが、芳香環には高い対称構造に基づく反応点の多さの問題があるため、この種の置換反応を利用する際には解決し難い深刻な選択性のトラブルに直面することが多い(図1A)。一方、置換芳香族化合物を得るための他の戦略として鎖状化合物を閉環させることによって芳香環そのものを構築するアプローチがある(図1B)。

図1 芳香族化合物合成の二つのアプローチ

A. 芳香族求電子置換反応



B. 非環状基質からの芳香環構築



本手法による芳香族化合物合成は、置換基をあらかじめ望みの位置に配置した鎖状化合物の合成を選択的に行っておきさえすれば、分離困難な位置異性体の副生を考慮する必要がないという重要な利点をもつ。

2. 研究の目的

本研究では、鎖状化合物の位置選択的合成が芳香族化合物の位置選択的合成よりもはるかに容易であるとの考えに基づき、芳香族化するための仕掛けを施した鎖状基質からこれまでにない機能を有する縮合環芳香族化合物の合成を目指して研究を実施した。具体的には、以下の課題に関する研究を行った。1) 面不斉ピリジン触媒の実践的合成法の開発と応用、2) 4-キノロン誘導体合成法の開発、3) ヨウ素と硫黄を利用する機能性芳香族化合物合成法の開発。

3. 研究の方法

(1) 我々はこれまでにメタセシス反応を利用する Ferrocene-DAAP のエナンチオ選択的合成法の開発に成功している。本手法では、フェロセン骨格を有するアルデヒドから合成したキラルアセタールを出発原料として、ジアステレオ選択的に面不斉をコントロールしながらピリジン環を構築していくというアプローチを採用している。一方で、本手法は合成ルートが長く、嵩高い官能基を導入できない等の欠点を抱えていた。そこで本研究では、新しいピリジン環形成手法を開発し、前法の大幅な短工程化と一般化を狙った研究を実施した。

(2) フェロセンではなく、より一般的なベンゼン環を含む含窒素複素環類縁体には、生理活性物質が多く、特に医農薬業界で重要な化合物が多数存在している。そこで、(1)で見出した新たな閉環反応を応用することで、4-キノロン誘導体合成法を開発した。

(3) チオフェン環を含む縮合多環芳香族化合物には、優れた半導体特性を持つものが多い。そのため、この種の化合物の効率的な合成法が求められている。半世紀以上に、Dayagi らによって、1,1-ジフェニルエチレンに対して S₈ 硫黄を反応させることで隣接するベンゼン環と二重結合を硫黄で繋いだ四環性化合物が合成できることが報告されている。本反応は、4箇所もの C-H 結合を一挙に C-S 結合に置き換えることで、[1]ベンゾチオフェン [2,3-b] [1]ベンゾチオフェン (BTBT) 誘導体を得るという大変ポテンシャルの高い反応であるが、無溶媒、240度というかなり過酷な条件下で実施されているためか、報告後、これまで特に注目されてはこなかった。そこで我々は、本反応をより魅力的なものにすべく、新たな反応条件を模索することにした。

4. 研究成果

(1) 面不斉ピリジン触媒の実践的合成法の開発と応用

新たな合成ルートを考案し(図2: ペンタフェニル体で例示)、検証を行った。キラルなアセタールユニットを有する Cp フェロセンを位置選択的に脱プロトン化し、同位置にアミノ基を導入して原料を得る方法はこれまでの合成ルートと同様であるが、新合成ルートでは、ここから N 上をトシル化させ、アセタール部位を加水分解し、アルデヒド部位をプロパルギルアルコール

ルへと変換することで閉環前駆体となる **3c** へと誘導する。得られた **3c** の水酸基を酸化すれば、置換基の立体的な影響を抑えた付加環化反応が進行し Fc*-DAAP の前駆体となるピリドン **4c** が得られると期待した。

結果、本合成法によって狙い通りに Fc*-DAAP の合成を行うことができた。具体的には、フェロセン Cp 環上を置換したペンタメチル体、ペンタフェニル体 **5c**、ペンタベンジル体やシマンントレン誘導体の合成に成功した。特に、以前の合成法では達成することのできなかったペンタフェニル体の合成に成功した意義は大きく、これによ

って既存触媒の完全供給が可能となった。工程数が大幅に削減され、なおかつアトムエコノミーにも優れた本法を用いれば目的物の大規模合成が実施可能である。また、新たに開発した合成法のもう一つの重要な特徴は、合成における最終行程で、ピリジン環の 4 位に様々なジアルキルアミノ基の導入を行えることである。この特徴を活かして、各種 Fc*-DAAP (**5**) のピリジン環 4 位にジメチルアミノ基、ジエチルアミノ基、ピロリジル基等の導入を行い、バリエーション豊かな触媒ライブラリーの構築を行った。

構築した触媒ライブラリーを用いて、二種類の不斉反応の触媒としての性能を評価したところ、良好な結果を得た。特に、ケテンへのフェノールの不斉付加反応において、独自に開発した新たな触媒が最も優れた性能を示すことが分かった。

図2 Fc*-DAAPの新合成ルート

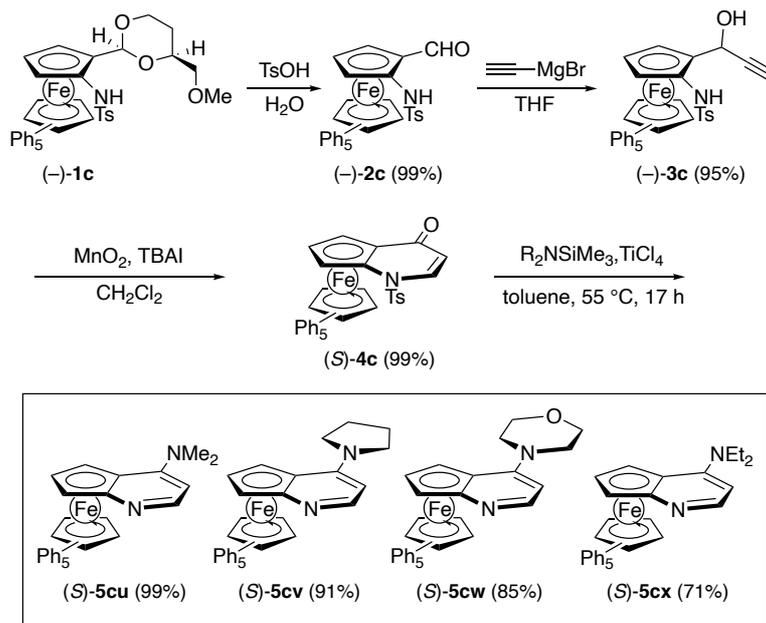
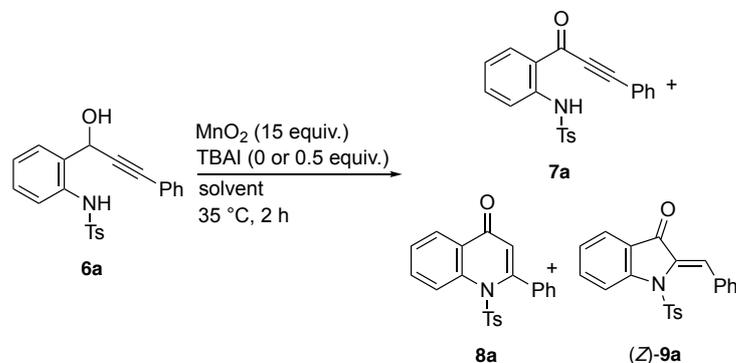


Table 1

(2) 4-キノロン誘導体合成法の開発

容易に合成可能な **6a** をモデル基質として、反応条件の最適化を行った (Table 1)。まずは、**6a** に対して、(1) の Ferrocenyl-DMAP の研究で見出した二酸化マンガンとテトラブチルアンモニウムイオダイド (TBAI) を用いる条件で反応を実施した。この際、これまでの研究から 6-endo-dig 環化を起こした 4-キノロン誘導体 **8a** が生成すると期待していたが、意外にも **8a** は少量生成したのみで、5-exo-dig 環化に基づく (Z)-アルキリデン-3-オキシシインドール **9a** が主生成物として得られてきた (entry 1)。ここで、溶媒をジクロロメタンからクロロホルムに変更してみたところ、**9a** がほぼ単一の生成物として生成して行くことが分かった



entry	solvent	TBAI (equiv.)	conv.	yield ^[b]		
				7a	8a	(Z)-9a
1	CHCl ₃	0.5 equiv.	100%	25%	13%	44%
2	CH ₂ Cl ₂	0.5 equiv.	100%	0%	1%	94%
3	toluene	0.5 equiv.	100%	0%	3%	92%
4	1,4-dioxane	0.5 equiv.	100%	74%	2%	15%
5	MTBE	0.5 equiv.	100%	72%	2%	13%
6	THF	0.5 equiv.	100%	0%	16%	51%
7	acetone	0.5 equiv.	100%	0%	13%	85%
8	MeCN	0.5 equiv.	100%	0%	12%	79%
9	MeOH	0.5 equiv.	29%	0%	0%	15%
10	DMSO	0.5 equiv.	100%	12%	35%	8%
11	DMF	0.5 equiv.	100%	0%	42%	35%
12	DMF	0 equiv.	100%	0%	36%	23%
13	CHCl ₃	0 equiv.	100%	83%	0%	12%

^a The reaction was carried out with **6a**, MnO₂ (15 equiv to **6a**), and tetrabutylammonium iodide (TBAI) (0 or 0.5 equiv to **6a**) in a given solvent at 35 °C for 2 h. ^b The conversion and the yields were determined by ¹H NMR analysis of the crude mixture using 1,4-bis(trimethylsilyl)benzene as an internal standard.

(entry 2)。溶媒効果が大変顕著であると考え、次に様々な溶媒によるスクリーニングを実施した (entries 2-11)。結果、極性溶媒、特にジメチルホルムアミドを用いると、目的としていた **8a** が優先的に生成してくることが分かった (entry 11)。また、TBAI の添加に関してであるが、クロロホルム中では必要であるものの、DMF 中では不要という知見を得た (entries 12-13)。

次に、Table 1 のクロロホルム溶媒を用いる条件 (entry 2) と DMF 溶媒を用いる条件 (entry 12) を基本条件にして、基質一般性について検証した (Table 2)。R¹ 置換基をベンゼン環からチオフェン環に置き換えると、環化速度が低下した (entry 1)。そこで、反応時間を延ばすことで反応を完結させたが、この際、六員環生成物 **3** の生成割合が若干高いことが分かった (entry 2)。次に、溶媒として DMF を用いたところ、やはり **3b** が優先して生成することが分かり (entry 3)、また DMF 中では、TBAI による影響が無視できることを再確認した (entry 4)。R¹ 置換基を電子リッチな 4-メトキシフェニル基に置き換えると、さらに環化反応の速度が低下したので (entry 5)、昇温して反応を完結させた (entry 6)。この際、これまでの基質と比較して、六員環生成物 **8** がより優先して生成していることが分かった。溶媒として DMF を使用すると、期待通りに六員環生成物 **8c** の生成比が大幅に向上した (entry 7-8)。次に、R¹ 置換基をヘキシル基に置き換えると、もはや溶媒の種類に関係なく、六員環生成物 **8** のみが生成することが分かった (entry 13-16)。ここで、TBAI の効果を再確認してみたが、やはりクロロホルム中では、TBAI を添加しなければ環化が進行しないことが分かった (entry 17)。次に、R² 基にクロロ基を導入してみた。若干反応性が低下したものの、クロロホルム溶媒中で反応を実施することで、良好な収率で **3f** を得ることができた (entry 18-20)。嵩高い *t*-ブチル基を R¹ 置換基としてもつ基質の反応性は低かったが (entries 21-22)、DMF 中、昇温条件下で良好な結果を得た (entry 23-24)。末端アルキン部位をもつ基質 **1h** でも反応が進行した。この場合は、溶媒に関わらず六員環生成物 **3h** のみ生成してくることが分かった (entries 25-28)。

以上のように、我々が Ferrocene-DMAP の合成研究で見出した新たな閉環反応が、4-キノロン誘導体の合成にも応用できることが分かった。

Table 2

entry	substrate	TBAI (equiv.)	solvent	temp.	time	conv.	yield ^[b]		
							2	3	(Z)- 4
1		0.5	CHCl ₃	35 °C	2 h	100%	57%	4%	28%
2		0.5	CHCl ₃	35 °C	7 h	100%	0%	9%	89%
3		0.5	DMF	35 °C	2 h	100%	0%	68%	15%
4		0	DMF	35 °C	2 h	100%	0%	65%	16%
5		0.5	CHCl ₃	35 °C	2 h	100%	87%	2%	5%
6		0.5	CHCl ₃	55 °C	4 h	100%	0%	26%	63%
7		0.5	DMF	35 °C	2 h	100%	0%	90%	8%
8		0	DMF	35 °C	2 h	100%	0%	83%	6%
9		0.5	CHCl ₃	35 °C	2 h	100%	22%	4%	48%
10		0.5	CHCl ₃	35 °C	4 h	100%	0%	10%	71%
11		0.5	DMF	35 °C	4 h	100%	0%	81%	6%
12		0	DMF	35 °C	4 h	100%	0%	73%	3%
13		0.5	CHCl ₃	35 °C	2 h	100%	48%	42%	0%
14		0.5	CHCl ₃	55 °C	3 h	100%	0%	86%	0%
15		0.5	DMF	55 °C	3 h	100%	0%	98%	0%
16		0	DMF	55 °C	3 h	100%	0%	88%	0%
17		0	CHCl ₃	35 °C	2 h	100%	>99%	0%	0%
18		0.5	CHCl ₃	35 °C	3 h	100%	0%	89%	0%
19		0.5	DMF	35 °C	2 h	79%	0%	42%	0%
20		0	DMF	35 °C	2 h	77%	0%	56%	0%
21		0.5	CHCl ₃	55 °C	2 h	100%	83%	0%	0%
22		0.5	toluene	75 °C	47 h	100%	11%	60%	0%
23		0.5	DMF	75 °C	6 h	100%	0%	79%	0%
24		0	DMF	75 °C	6 h	100%	0%	91%	0%
25		0.5	CHCl ₃	35 °C	3 h	100%	0%	30%	0%
26		0.5	CH ₂ Cl ₂	35 °C	2 h	100%	0%	48%	0%
27		0.5	DMF	35 °C	2 h	83%	0%	56%	0%
28		0	DMF	35 °C	2 h	85%	0%	54%	0%

^a The reaction was carried out with **6**, MnO₂ (15 equiv to **6**), and tetrabutylammonium iodide (TBAI) (0 or 0.5 equiv to **6**) in a given solvent. ^b The conversion and the yields were determined by ¹H NMR analysis of the crude mixture using 1,4-bis(trimethylsilyl)benzene as an internal standard.

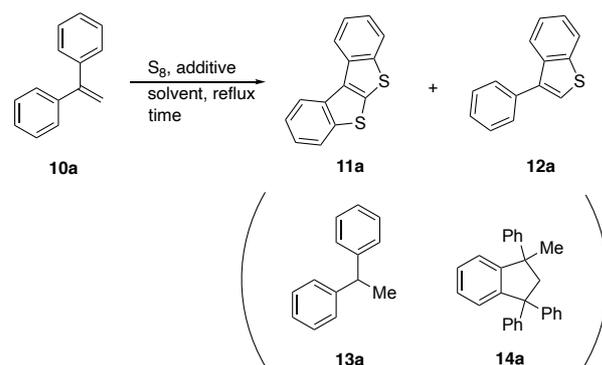
(3) ヨウ素と硫黄を利用する機能性芳香族化合物合成法の開発

まずはじめに、トルエン溶媒中、**10a**と4当量のS₈を還流条件下、4 h 反応させてみた。しかしながら、期待していた**11a**は全く生成しなかった (Table 3, entry 1)。そこで次に、いくつかの添加剤の効果を確かめてみた (entries 2-4)。結果、1 等量のヨウ素を添加剤として用いた際に、効果が認められ、**11a**の前駆体であるフェニルベンゾチオフェン**12a**が高い収率で生成してくることが分かった (entry 4)。ここで、他の溶媒をいくつか検討してみたが、トルエンを溶媒として用いた場合を上回る成果は得られなかった (entries 4 vs. 5-7)。次に、トルエンを溶媒として、ヨウ素の添加量を2 当量に増やしてみた。その結果、**12a**と共に、目的としていた**11a**が11%収率で得られてきた (entry 8)。次に、反応時間を4 h から24 h、48 h と延ばしてみたところ、中間体である**12a**の収率が徐々に低下し、**11a**の収率が22%、49%と次第に向上してくることが分かった (entries 9-10)。ここで、反応をさらに加速する目的で、ヨウ素の添加量をさらに4 当量に増やして、24 h で反応を行ったところ、36%収率の**12a**と共に、**11a**が52%収率で得られてきた (entry 11)。なお、この条件下での副生成物に関してであるが、**10a**の還元生成物である**13a**と二量化生成物である**14a**が、それぞれ6%収率、3%収率で副生してきた。**11a**の収率をさらに向上させようとして、反応時間をさらに48 h に延ばしたり (entry 12)、ヨウ素の添加量をさらに増やしたり (entries 13-14)、硫黄の添加量を増やす検討も行ったが (entry 15)、帰属困難な化合物の副生が深刻となった。複雑な分子間反応が進行したことによるものと考えている。

次に、**12a**が最高の収率で得られた Table 3 の entry 4 の条件を conditions A、**11a**が最高の収率で得られた entry 11 の条件を conditions B として、**6a**と**7a**の誘導体の合成を試みた (Table 4)。まず、4 位にメチル基を導入した基質**10b**に対して、conditions A で反応を行ったところ、35%収率の**12b**と共に、6%の**11b**が得られた (entry 3)。また、conditions B で反応を行ったところ、**12b**は生成せず、**11b**が28%の収率で生成してきた (entry 4)。4 位に *t*-ブチル基を導入した基質**10c**を用いた場合にも同様の結果が得られた (entries 5-6)。一方、4 位にメトキシ基を導入した基質**10d**では、副生成物の生成が深刻化し、目的物の収率が低下した (entries 7-8)。また、4 位に電子吸引性置換基であるフルオロ基を導入した基質**10e**の場合は、比較的良好な収率で目的物を得ることができた (entries 9-10)。

以上、我々は1,1-ジアリールエテンと分子硫黄を反応させて BTBT 誘導体を得る反応に関する研究を行った。半世紀前に報告されている本反応は、無溶媒、240 度という過酷な条件下で実施されていたが、今回我々は単体ヨウ素を添加することによって本反応をトルエン溶媒中、還流温度条件下で実施することに成功した。

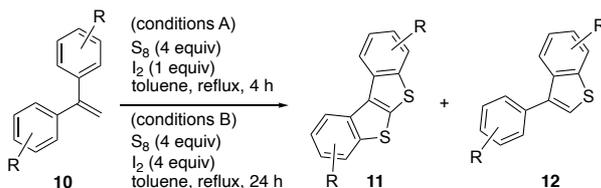
Table 3



entry	S ₈ (equiv.)	additive (equiv.)	solvent	time (h)	yield (%) ^[b]	
					11a	12a
1	4	none	toluene	4	0	0
2	4	CuI (1)	toluene	4	0	0
3	4	AlCl ₃ (1)	toluene	4	0	0
4	4	I ₂ (1)	toluene	4	0	82
5	4	I ₂ (1)	THF	4	0	0
6	4	I ₂ (1)	CHCl ₃	4	0	37
7	4	I ₂ (1)	DMF	4	0	40
8	4	I ₂ (2)	toluene	4	11	66
9	4	I ₂ (2)	toluene	24	22	53
10	4	I ₂ (2)	toluene	48	49	17
11	4	I ₂ (4)	toluene	24	52	36
12	4	I ₂ (4)	toluene	48	22	0
13	4	I ₂ (5)	toluene	24	35	0
14	4	I ₂ (6)	toluene	24	33	0
15	8	I ₂ (4)	toluene	24	41	0

^a The reaction was carried out with **10a**, MnO₂ (15 equiv to **10a**), and tetrabutylammonium iodide (TBAI) (0 or 0.5 equiv to **10a**) in a given solvent at 35 °C for 2 h. ^b The conversion and the yields were determined by ¹H NMR analysis of the crude mixture using 1,4-bis(trimethylsilyl)benzene as an internal standard.

Table 4



entry	substrate	R	conditions	yield (%) ^[b]	
				11	12
1	10a	H	A	0	82
2			B	52	36
3	10b	4-Me	A	6	35
4			B	28	0
5	10c	4- <i>t</i> -Bu	A	3	70
6			B	24	0
7	10d	4-MeO	A	9	20
8			B	17	0
9	10e	4-F	A	0	58
10			B	38	33

^a The reaction was carried out with **10**, S₈ (4 equiv), and I₂ (1 or 4 equiv) in toluene at refluxing temperature for 4 or 24 h under nitrogen. ^b The yield was determined by ¹H NMR analysis of the crude mixture using 1,4-bis(trimethylsilyl)benzene as the internal standard.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 9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 Yasue Risa, Yoshida Kazuhiro	4. 巻 38
2. 論文標題 Synthesis and Application of Planar Chiral Cyclic (Amino)(ferrocenyl)carbene Ligands Bearing FeCp* Group	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 2211 ~ 2217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.9b00171	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 Miwa Yuya, Kamimura Takumi, Sato Kiyooki, Shishido Daichi, Yoshida Kazuhiro	4. 巻 84
2. 論文標題 Chiral Bicyclic NHC/Cu Complexes for Catalytic Asymmetric Borylation of , -Unsaturated Esters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 14291 ~ 14296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.9b02096	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 Yoshida Kazuhiro, Liu Qiang, Yasue Risa, Wada Shiro, Kimura Ryosuke, Konishi Takuma, Ogasawara Masamichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Versatile and Enantioselective Preparation of Planar-Chiral Metallocene-Fused 4-Dialkylaminopyridines and Their Application in Asymmetric Organocatalysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 292 ~ 301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.9b04438	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 Sakai Shuta, Sato Kazuki, Yoshida Kazuhiro	4. 巻 61
2. 論文標題 Synthesis of [1]benzothiopheno[2,3-b][1]benzothiophene derivatives through iodine-mediated sulfuration reaction of 1,1-diarylethylenes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 151476 ~ 151476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2019.151476	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 Takagaki Waka, Yasue Risa, Yoshida Kazuhiro	4. 巻 93
2. 論文標題 Development of Planar Chiral Five-Membered Cyclic (Amino)(ferrocenylene)carbene Ligand and Its Iridium Dicarbonyl Complex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 200 ~ 204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20190325	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 Yoshida Kazuhiro, Yasue Risa	4. 巻 78
2. 論文標題 <i>N</i>-Heterocyclic Carbene Ligands Having Planar Chiral Ferrocene Structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Synthetic Organic Chemistry, Japan	6. 最初と最後の頁 28 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5059/yukigoseikyokaishi.78.28	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 Yoshida Kazuhiro, Yasue Risa	4. 巻 24
2. 論文標題 Cover Feature: Planar Chiral Ferrocene Based N Heterocyclic Carbene Ligands (Chem. Eur. J. 70/2018)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 18565 ~ 18565
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201805458	査読の有無 無
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 Yoshida Kazuhiro, Yasue Risa	4. 巻 24
2. 論文標題 Planar Chiral Ferrocene Based N Heterocyclic Carbene Ligands	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 18575 ~ 18586
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201803903	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 Ueda Jun-ichi, Enomoto Yuuki, Seki Mizuki, Konishi Takuma, Ogasawara Masamichi, Yoshida Kazuhiro	4. 巻 85
2. 論文標題 Oxidative Cyclization of o-(1-Hydroxy-2-alkynyl)-N-tosylanilides for the Synthesis of 4-Quinolones	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 6420 ~ 6428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.0c00245	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 Yasue Risa, Yoshida Kazuhiro	4. 巻 363
2. 論文標題 Enantioselective Desymmetrization of 1,3 Disubstituted Adamantane Derivatives via Rhodium Catalyzed C-H Bond Amination: Access to Optically Active Amino Acids Containing Adamantane Core	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Synthesis & Catalysis	6. 最初と最後の頁 1662 ~ 1671
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adsc.202001419	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 Yasue Risa, Yoshida Kazuhiro	4. 巻 363
2. 論文標題 Front Cover Picture: Enantioselective Desymmetrization of 1,3 Disubstituted Adamantane Derivatives via Rhodium Catalyzed C-H Bond Amination: Access to Optically Active Amino Acids Containing Adamantane Core (Adv. Synth. Catal. 6/2021)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Synthesis & Catalysis	6. 最初と最後の頁 1465 ~ 1465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adsc.202100212	査読の有無 無
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9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Yasue Risa, Yoshida Kazuhiro
2. 発表標題 Synthesis and Application of Planar Chiral Cyclic(amino)(ferrocenyl)carbene Bearing Cp* Group
3. 学会等名 20th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis (OMCOS 20) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshida Kazuhiro, Liu Qiang, Yasue Risa, Wada Shiro, Kimura Ryosuke, Konishi Takuma, Ogasawara Masamichi
2. 発表標題 Versatile and Enantioselective Preparation of Planar-Chiral Metallocene-Fused 4-Dialkylaminopyridines and Their Application in Asymmetric Organocatalysis
3. 学会等名 4th International Symposium on Precisely Designed Catalysts with Customized Scaffolding (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasue Risa, Yoshida Kazuhiro
2. 発表標題 Synthesis and Application of Planar Chiral Cyclic(amino)(ferrocenyl)carbene Ligands Bearing FeCp*
3. 学会等名 4th International Symposium on Precisely Designed Catalysts with Customized Scaffolding (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Risa Yasue, Yuta Shikata, Kazuhiro Yoshida
2. 発表標題 Planar Chiral Cyclic Amino(ferrocenyl)carbene as Ligand for Transition Metals
3. 学会等名 Symposium on Molecular Chirality 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高垣 和果、安江 里紗、四方 祐太、吉田 和弘
2. 発表標題 面性不斉五員環アミノフェロセニルカルベン配位子の開発
3. 学会等名 第75回有機合成化学協会関東支部シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 劉 強、安江 里紗、岡崎 願之晋、吉田 和弘、小笠原 正道
2. 発表標題 フェロセン縮環した面不斉環状ホスホン酸類の不斉合成
3. 学会等名 第65回有機金属化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安江 里紗、四方 祐太、吉田 和弘
2. 発表標題 Fe(C5Me5)基をもつ新規面性不斉NHC配位子の開発
3. 学会等名 第65回有機金属化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuhiro Yoshida, Qiang Liu, Risa Yasue, Shiro Wada, Ryosuke Kimura, Masamichi Ogasawara
2. 発表標題 Versatile and Enantioselective Preparation of Planar-Chiral Metallocene-Fused 4-Dialkylaminopyridines and Their Application in Asymmetric Organocatalysis
3. 学会等名 The 14th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Risa Yasue, Yuta Shikata, Kazuhiro Yoshida
2. 発表標題 Development of Planar Chiral (Amino)(ferrocenyl)carbene Ligand Having Cp*Fe Moiety
3. 学会等名 The 14th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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