

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05210

研究課題名（和文）触媒濡壁反応器を用いたレボグルコセノン連続製造プロセスの開発

研究課題名（英文）Catalytic wetted wall reactor with liquid catalyst for producing levoglucosenone

研究代表者

工藤 真二（Kudo, Shinji）

九州大学・先端物質化学研究所・准教授

研究者番号：70588889

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：レボグルコセノン迅速かつ消耗性の試薬の投入無しに製造する新たなプロセスのコア技術として触媒活性をもつ液体を用いた触媒濡壁反応器を開発することを目的として研究を行い、本反応に適した安価かつ活性の高い液状触媒を見出すとともに、短時間ではあるがセルロースからの連続的なレボグルコセノン製造を示し、コーク析出や触媒劣化という通常の充填層触媒反応では避けがたい課題を本反応法により克服できる可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バイオマス利活用技術の開発は持続可能社会の構築における重要課題であり、とりわけ化学品への変換技術は開発の焦点となる。本研究でターゲットとするレボグルコセノンはファイン・コモディティーケミカルズのプラットフォーム化合物として近年急速に注目を集めているが、本研究では同化合物を製造するためのこれまででトップクラスの活性を有する触媒の開発に成功し、その触媒を用いた効率的なバイオマス変換反応系を提案、実演した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research was to develop a catalytic wetted wall reactor using a liquid catalyst as the core technology for the fast production of levoglucosenone without the need for the addition of consumable reagents. The research discovered inexpensive and highly active catalysts suitable for this reaction, and although the reaction time was short, it demonstrated continuous levoglucosenone production from cellulose, indicating the potential to overcome inevitable challenges such as coke deposition and catalyst degradation that are typically encountered in conventional packed bed catalytic reactions.

研究分野：化学工学

キーワード：バイオマス セルロース 触媒 反応器 プラットフォーム化合物

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

バイオマス利活用技術の開発は持続可能社会の構築における重要課題であり、我が国の SDGs 実施指針「省・再生エネルギーの導入、気候変動対策、循環型社会の構築」に対する直接解のひとつである。とりわけバイオマスの化学品への変換技術は優先すべき開発課題である。レボグルコセノン (LGO) はバイオマスの主要構成成分であるセルロースの熱分解でのみ少量得られる化合物である。2つの不斉炭素有し、6つの炭素が異なる形で官能基化されているため多様な反応に対応し、ファイン・バルクケミカルのプラットフォーム化合物としてグリーンケミストリーの分野で近年急激に注目を集めている。しかしながら、LGO を安価かつ大量に生産する手法は確立されていない[1]。

バイオマス変換手法として、熱分解は1) 極めて迅速な反応である (ミリ秒オーダー)、2) 触媒や溶剤の必要がない、3) 流通式反応器の適用・常圧での操作が可能、などの点で優れる。申請者らは、ある種のイオン液体 (IL) を多孔質固体に担持した触媒 (SILP、図1左) を用いてセルロースの熱分解揮発性生成物を気相接触改質する手法により、消耗性の試薬を一切必要とせずに LGO を連続的に製造し得ることをはじめて見いだした[2,3]。これは熱分解揮発性生成物の主要成分である無水糖、中でもレボグルコサン (LGA) が IL の触媒作用により LGO へと脱水されたためであった。本触媒が示した選択的触媒活性は他に類をみない。しかしながら、IL の揮発・分解および甚大なコーク析出により連続的な LGO 製造は実質的に困難であった。バイオオイルの改質研究等でも見られるように熱分解揮発性生成物の接触改質は不可避なコーク析出との戦いであり、言い換えると、この課題の解決がプロセス実現への突破口となる。

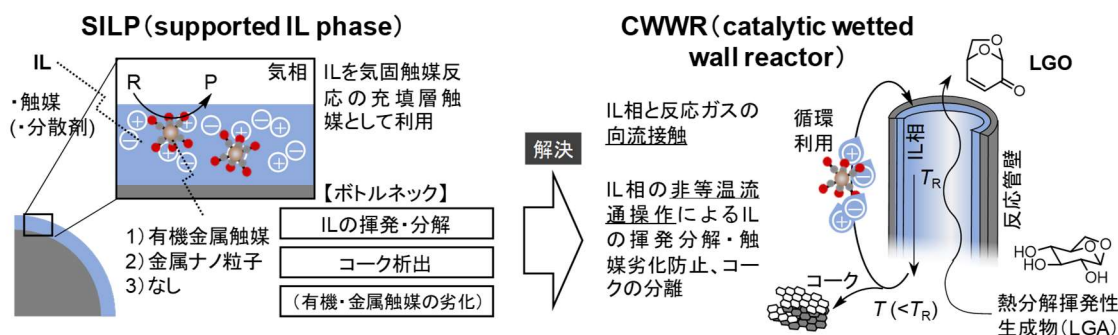


図1. 触媒濡壁反応器のコンセプト. 非 IL 触媒 (有機・金属触媒) はオプション

2. 研究の目的

本研究では図1右に示す触媒濡壁反応器 (CWWR) を用いた LGO 連続製造プロセスの開発を行うものである。CWWR は、「SILP で触媒作用を担う IL 相は本質的には担体上に固定される必要がない」ことに着想を得て提案する反応技術である。図1に示す SILP のボトルネックを解決するためには、IL 相を反応温度に長時間晒すことを避け、析出物(コーク)を定常的に除去することが望まれる。つまり、IL 相の流通操作が必要となる。従来の気-固、気-液-固触媒反応器を例に様々な反応操作法が考えられる中、濡壁吸収塔を参考に提案する CWWR がもたらす効果として、気-液向流接触操作によるコーク析出に起因する目詰まりの抑制、IL 相の非等温流通操作による IL の揮発分解、触媒劣化の抑制、が挙げられる。さらには、従来の固体循環(再生)移動層反応器と比して熱交換を含む操作性が格別優れる他、上記のように本触媒 (IL) でのみ可能な反応や反応条件が存在する。ただし、SILP では不必要な IL 相流通操作の導入による IL 必要量の増大、熱損失、気-液接触効率の低下の程度、IL 相の薄層流通操作性等、これまでに試みのない反応操作であるため解決すべき課題が多くある。

3. 研究の方法

提案するセルロースの変換スキームは既報[2,3]に記した通りであり、セルロースを熱分解して生成する LGA を CWWR にて LGO に改質する。原料には微結晶性セルロースを用いた。研究開始当初の案では、CWWR の液状触媒として IL を用いる予定であり、選定も完了していた ([bmmim]OTf)。選定した IL は目的の反応に対して活性が高いことも確認済みであったが、他の IL と比較しても高価であった。実験室の研究レベルでは本経費で購入、使用することも可能であったが、実用性が低いと判断された。そこで、予定を変更して新たな液状触媒の探索から開始した。耐熱性を兼ね備える触媒としては IL のように比較的低温で熔融する塩が適切と考えられ多様な種類を試験した。詳細は次頁から記すが、結果としてある種の深共晶溶剤 (DES) に望ましい性質を見出した。本スクリーニング試験には CWWR とは別途の反応系を適用した。具体的には、セルロースと触媒を混合して熱分解した。IL の実施例[4]で明らかにしているように、混合された触媒に適切な作用があれば試料層から LGO が揮発分として系外に排出される。触媒は (可能な場合は) 反応後の試料層から抽出して再利用できる。しかしながら、抽出→精製→再利用の工程が大規模連続製造には不向きと結論され、SILP や CWWR の提案に至っている。

4. 研究成果

DES は水素結合受容体 (HBA) と水素結合供与体 (HBD) から成る混合物であり、2成分間の強力な水素結合により両者を混合するのみで融点が低下して室温付近で液体となる。IL と同様の用途が期待される一方で、(種類によるが) 天然物から成り、生分解性を有し、毒性が低いという特徴を有する。そして、混合するだけで生成し、精製が不要であること等の理由で IL

と比べて圧倒的に安価である。しかしながら、一般的に研究で使用される DES の種類は限られ、本研究で対象とする反応に用いられた例は皆無である。そこで上記した手法により、多様な種類の DES をスクリーニングした。セルロースあるいは LGA の脱水に作用して LGO へと変換する触媒的な作用に加え、CWWR での使用に耐える熱的な安定性を有する必要がある。研究では 7 種類の HBA と 8 種類の HBD 及びそれらの組み合わせで 18 種類の DES を調製してセルロースと混合して熱分解した。詳細は成果物[5]に記したが、代表的な結果を図 2 及び表 1 に示す。先ずは目的を満たす数種類を選出するために熱重量 (TG) 分析を行った (図 2)。大半の DES は塩化コリン (ChCl) - シュウ酸 (OA) の例で示すように、HBA と HBD の中間的な熱安定性を示した。塩化コリンの熱安定性は比較的高いが、HBD のほうが一般的に低温で分解するため DES としての熱安定性は低い。パラトルエンスルホン酸 (*p*-TSA) を HBD として用いた場合に特異的な傾向が見られ、DES は HBA や HBD よりも高温まで安定であった。図 2 (b-1) に示すように、テトラエチルアンモニウム *p*-トルエンスルホナート (TEAPTS) を HBA としたときには分解開始温度が 250°C 程度まで向上した。セルロースに DES を混合 (等質量) して熱分解した場合にも、*p*-TSA あるいは TEAPTS を有する DES の場合にのみ明確な触媒作用が見られた。すなわち、セルロースの熱分解温度が低下した。図 2 (b-2) で混合物の質量が 2 段階で減少しているが、第 1 段階の質量減少はセルロースの熱分解を、2 段階目は DES の分解を示す。同様のパターンが IL で最も良い作用を示した [bmmim]OTf でも得られたことから LGO の生成が期待された。両質量減少の間の温度、同図の例では 250°C 程度で熱分解を完了することで、熱分解残渣から DES を回収、再利用できることも期待された。

セルロースを単独で熱分解した際には LGO が生成せず、LGA が 43.4% の収率で得られた。本 LGA 収率はグラムスケールの固定層熱分解としてはかなり高いが、これはセルロース熱分解の特性を鑑みて反応条件・装置に工夫を施したためである。具体的には、系を減圧して、生成する揮発分を即座に冷却する反応器形状としたことに主に因る。表 2 に示す通り、TEAPTS あるいは *p*-TSA を有する DES を混合した場合、LGO の収率が明確に向上した。*p*-トルエンスルホン酸あるいはそのアニオンがセルロース、LGA の脱水に作用することが明らかになった。ただし、*p*-トルエンスルホン酸をセルロースに単独で含浸した場合の LGO 収率は高々 3 wt% であったことから、DES あるいは塩としてセルロースに混合することの重要性も示唆された。最も高い LGO 収率は TEAPTS-*p*-TSA を用いた時に得られ、炭素基準で 41.5% に至った。本研究では LGO 製造に関するこれまでの研究のレビュー論文も発表しているが[1]、この収率はこれまでに報告された中で (液相反応の特殊な例を除いて) 最も高い。液状触媒であるためセルロース繊維に浸透しやすかったこと、適度な脱水作用を有していたこと (過剰であるとチャー生成が主となる)、等が原因と考えられる。回収した DES は ¹H NMR や TG 分析で未使用物と同様の結果を示し、再利用も可能であった (Ent. 13)。なお、DES の回収は熱分解残渣をアセトンで回収、アセトン除去して行った。同様に *p*-トルエンスルホン酸あるいはそのアニオンを有する IL や塩を混合した実験も行ったが DES を用いた時のほうが高い収率を示し、価格を含む入手性を考慮しても DES が有望なことが明らかであった。常圧や DES 混合比を大きくした熱分解で LGO 収率が大きく下がったことは、揮発分を速やかに系外に放出することの重要性を確認する。ただし、LGO 収率が高い 300°C 熱分解では、TG 分析結果から予想されるように DES 回収率が低い。熱分解温度を 230°C まで下げると大半を回収することも可能であった (97.9 wt%) が、LGO 収率は 14.0% まで低下した。一方、CWWR ではそのコンセプトに従い DES が高温にさらされる時間は表 2 の実験と比べると短いため分解を抑制できることを期待して、セルロース熱分解-CWWR による改質試験の液状触媒として TEAPTS-*p*-TSA を選定した。

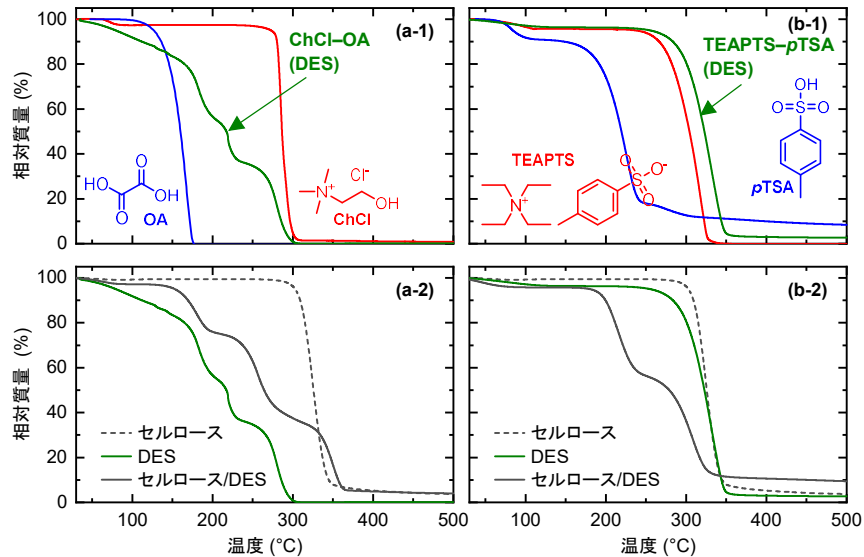


図 2. HBA、HBD、DES、セルロース、セルロース/DES の TG 分析結果。

(a) ChCl-OA, (b) TEAPTS-*p*TSA

表 1. DES を混合したセルロースの熱分解による LGO 製造

Ent.	DES	温度 (°C)	圧力 (kPa)	セルロース/DES 質量比 (-)	収率 (wt%)			質量収支 (wt%) ^{b)}	DES回収率 (wt%)
					LGO ^{a)}	LGA	Char		
1	None	375	3.1		0	43.4	7.53	-	-
2	ChCl- <i>p</i> TSA	280	3.1	1:1	16.1 (20.7)	0	42.9	105.4	47.1
3	ChCl- <i>p</i> TSA	300	3.1	1:1	18.0 (25.8)	0.72	43.0	105.1	35.1
4	TEAPTS-PEG	270	3.1	1:1	12.0 (15.4)	0.08	64.1	98.9	16.7
5	TEAPTS- <i>p</i> TSA	230	3.1	1:1	10.9 (14.0)	0	43.6	104.7	97.9
6	TEAPTS- <i>p</i> TSA	240	3.1	1:1	22.7 (29.2)	0.06	30.8	96.6	77.3
7	TEAPTS- <i>p</i> TSA	250	101	1:1	8.0 (10.2)	0	47.4	90.6	48.2
8	TEAPTS- <i>p</i> TSA	250	3.1	1:1	19.2 (24.6)	0	31.2	98.0	49.4
9	TEAPTS- <i>p</i> TSA	250	3.1	3:1	27.5 (35.3)	0	45.1	88.1	20.9
10	TEAPTS- <i>p</i> TSA	250	3.1	1:3	3.6 (4.6)	0	33.2	103.1	97.1
11	TEAPTS- <i>p</i> TSA	300	101	1:1	8.0 (10.3)	0	52.0	86.8	33.9
12	TEAPTS- <i>p</i> TSA	300	3.1	1:1	32.3 (41.5)	0	33.7	92.3	29.1
13 ^{c)}	TEAPTS- <i>p</i> TSA	300	3.1	1:1	31.0 (40.0)	0	29.5	97.8	22.8
14	TPAB- <i>p</i> TSA	250	3.1	1:1	27.4 (35.2)	0	35.2	103.2	24.1
15	TPAB- <i>p</i> TSA	300	3.1	1:1	29.6 (38.1)	0	33.1	96.3	6.7

熱分解条件：セルロース/DES 1.0 g, N₂ 200 mL/min, 温度保持時間 20 min, 昇温速度 5 °C/min. ^{a)}括弧内は炭素基準の LGO 収率, ^{b)}100%以上の質量収支は減圧時の水分吸引に主に起因, ^{c)}Ent. 12 で回収した DES を再利用. PEG: polyethylene glycol, TPAB: tetrapropylammonium bromide.

図 3 に実験に用いた LGO 製造システムの概略を示す。セルロース熱分解器と CWWR で構成される。熱分解器ではセルロースを 375°C まで 2 °C/min で昇温して熱分解する。熱分解は 300~350°C で進行して LGA を含む揮発分を CWWR に供給する。CWWR は内径 8 mm 長さ 40 cm のガラス管であり、上部から内壁に DES を定常供給した。壁面は 250°C に加熱されている。同温度は表 1 の実験データから、DES の活性と熱安定性を考慮して設定した。揮発分と DES の接触方式に関して、2 つの異なる系を検討した。研究開始当初は図 3 (a) の向流接触式を採用した。この場合、揮発分と接触する DES が常に更新されるため効率的な気液接触、触媒劣化の防止、コーク析出低減等、本系に期待される効果が発揮されるものと考えられた。実際に、反応中の管壁へのコーク析出が皆無の運転が可能であったが、小型試験、とりわけ管径が小さいことに起因して液状触媒の逆流が頻発して定常的な運転が困難であった。満足なデータが得られなかったため、逆流の生じ難い並流接触式を採用することとした。

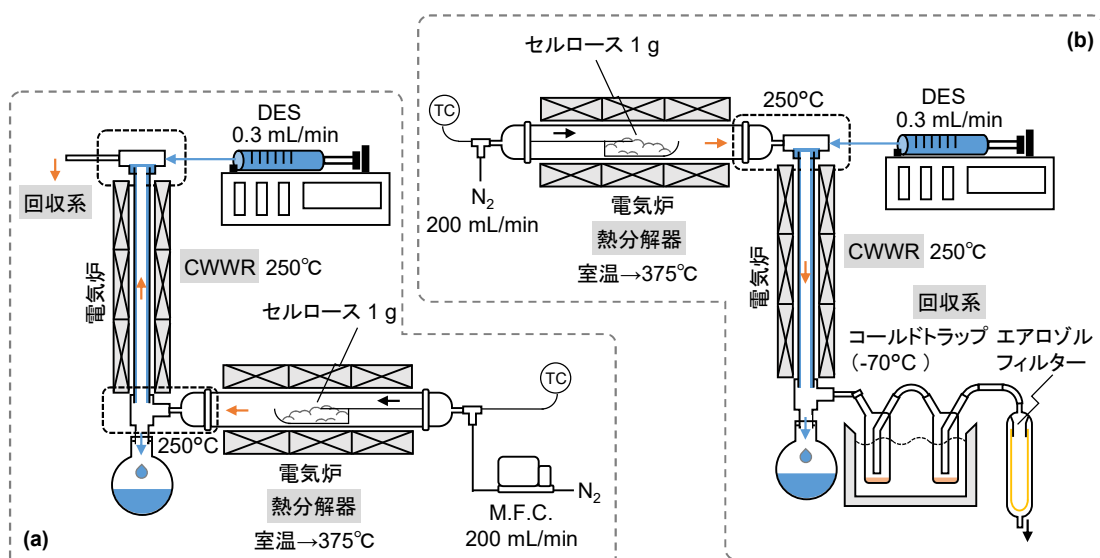


図 3. セルロース熱分解器と CWWR から成る LGO 製造システム：(a) 向流、(b) 並流接触式

試験結果を表 2 に纏めて示す。DES を用いなかった場合には、LGA が主生成物であった。LGO も僅かに生成しているが、これは LGA あるいはその前駆体の二次的な反応により生じたものと考えられ、文献においても微量の生成は多く認められる。言い換えると、LGA の収率が高い場合にはそのような副反応が生じ難く、LGO は殆ど生成しない。DES を用いた CWWR で揮発分の改質を試みたところ、LGO の収率が 4.7 wt% まで向上した。これは炭素基準で 6.0 wt% であり、表 2 Ent. 2-1 の LGA 収率を考慮すると約 40% の LGA を LGO に変換できたことを意味する。す

なわち、CWWRによりLGAを改質してLGOを連続的に得るといふ本研究のコンセプトを実証することに成功した。図3から明らかなように本システムではDESはLGOと別に回収されるため、反応器への循環も容易である。ただし、課題も多く見つかった。まず、LGO収率が

高々4.7wt%と低いことが挙げられる。主な原因は前駆体となるLGAのセルロースから発生する量(収率)が低いことであり、この点は表1(Ent.1)からも明らかなように反応条件の変更により大幅に向上可能である。揮発分を試料層からすみやかに排出することが重要であり、そのためには減圧することが有効であるが、本試験ではDESの供給にシリンジポンプを採用したため90kPaまでの減圧に留めた。加えてLGAのLGOへの変換率も向上させる必要があるが、Ent.2-3の反応条件では気体の流量と管径から推算される揮発分のCWWR内滞留時間は僅か50ms未満であった。それにもかかわらず40%の変換率が得られており、管長を増大させる、あるいは充填物を詰める等の工夫によりこの点も改善できると考えられる。本実験ではLGO回収系の後段に減圧ポンプを設置して微減圧(90kPa)する試験も行っており、それによりLGA収率が向上したこと(Ent.2-2)、CWWRでのLGA変換率が低下したこと(Ent.2-4)はこれらの工夫によりLGO収率が改善されることを示唆する。一方、CWWRに供給したDESの回収率は100%に満たなかった。この主な原因はDESの一部が分解してしまったことであり、実際に、LGOとともに回収された有機物の中には*p*-トルエンスルホン酸エチル等のTEAPTS-*p*-TSAの分解物が含まれていた。高温場での滞留時間がCWWRの採用により大幅に低減され、表1との相対からは回収率の向上が確認されたものの、このようにDESの分解を完全に抑制することはできなかった。したがって、DESの性質を向上させる必要がある。低温活性を向上させることもひとつの方向性であるが、LGOや他の揮発分の沸点を考慮すると得策ではなく、TEAPTS-*p*-TSAと同等の触媒作用を有しつつ、これよりさらに高い熱安定性を示すDESの開発が求められる。

本研究では、オプション的な目的のひとつにCWWRを他の反応系に適用することを計画していた。例えばSILPではILに均相系触媒を溶解してWGSに適用した報告があり、同様にILの熱安定性に課題があることを鑑みるとCWWRの適用は有効と考えられる。一方、本研究を進める中でセルロースに触媒を含浸して熱分解する手法に関して、新たな触媒を見出した。LGOの製造法開発を目的とする本研究においてはCWWRの応用と比べて優先すべき課題と考え、計画を変更して研究を遂行した。新たな触媒とはフィチン酸(PA)である。PAはイノシトールのリン酸エステルであり、穀物、とりわけ米糠等に豊富に含まれる。PAをセルロースに含浸(1wt%)してTGで熱分解したところ(図4)、セルロースの熱分解温度が大幅に低下し、チャー収率の増大が見られた。これは上記のDESと同様にセルロースあるいはLGAの脱水にLGAが作用してLGOが生成したことを示唆した(ただし、熱分解残渣からのPA回収再利用は困難)。実際に数水準の量でPAを含浸したセルロースの熱分解におけるLGO収率を分析した結果を図5に示す。僅か0.1wt%の含浸でもPAの作用は明らかで、LGO収率は顕著に増大した。1wt%で最大値を示し、約20wt%に至った。それより多く含浸した場合の収率低下は、過剰なセルロース脱水によりチャー生成が促進されたことを示す。セルロースからのLGO製造研究ではリン酸が良好な触媒作用を有することが知られる[1]。PAの化学構造からは、昇温の過程でリン酸が生成することが推測され、PAのTG分析ではセルロースの熱分解温度域よりも低温で顕著な質量減少が生じることが確認された。このことを考慮するとLGOの生成は当然と認められるが、米糠のような再生可能原料から得られる触媒の適用可能性を見出したことに価値がある。なお、本研究では他の派生研究として、リグノセルロースから高付加価値フェノール類を選択的に製造する方法や無水糖とコークスを併産する方法に関する研究も行い、成果を発表している。

参考文献(全て実施者らによる著書):^[1] *Energy Fuels* 35 (2021) 9809, ^[2] *ACS Sustainable Chem Eng* 5 (2017) 1132, ^[3] *Fuel Process Technol* 191 (2019) 29, ^[4] *Green Chem* 13 (2011) 3306, ^[5] *Bioresour Technol* 344 (2022) 126323.

表2. セルロース熱分解-CWWR(並流接触式)システムを用いたLGO製造

Ent.	DES	CWWR (°C)	圧力 (kPa)	収率 (wt%)		DES回収率 (wt%)
				LGO	LGA	
2-1	None	250	101	1.3	13.9	-
2-2	None	270	90	0.5	15.1	-
2-3	TEAPTS- <i>p</i> -TSA	250	101	4.7	1.3	80.1
2-4	TEAPTS- <i>p</i> -TSA	270	90	1.5	10.4	76.5

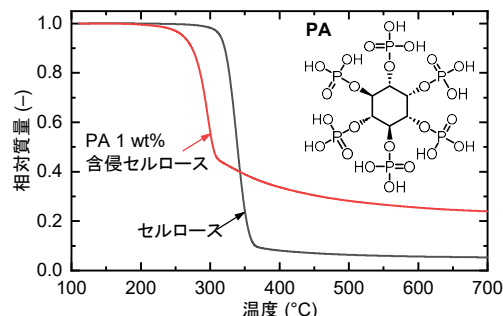


図4. PA含浸セルロースのTG分析

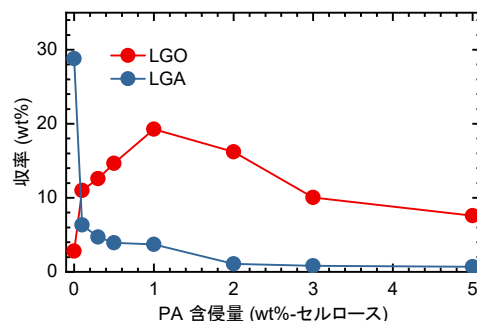


図5. 熱分解(350°C)におけるLGA、LGO収率

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 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 S. Saragai, S. Kudo, J. Sperry, U. P. M. Ashik, S. Asano and J.-i. Hayashi	4. 巻 344
2. 論文標題 Catalytic deep eutectic solvent for levoglucosenone production by pyrolysis of cellulose	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bioresource Technology	6. 最初と最後の頁 126323
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.biortech.2021.126323	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 該当する
1. 著者名 S. Kudo, X. Huang, S. Asano and J.-i. Hayashi	4. 巻 35
2. 論文標題 Catalytic Strategies for Levoglucosenone Production by Pyrolysis of Cellulose and Ligno-cellulosic Biomass	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 9809-9824
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.energyfuels.1c01062	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 該当する
1. 著者名 Wei Fu, Kudo Shinji, Asano Shusaku, Hayashi Jun-ichiro	4. 巻 36
2. 論文標題 Staged Pyrolytic Conversion of Acid-Loaded Woody Biomass for Production of High-Strength Coke and Valorization of Volatiles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 6949 ~ 6958
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.energyfuels.2c01352	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 Fu WEI, Shinji KUDO, Xinyu WANG, Shusaku ASANO, Jun-ichiro Hayashi	4. 巻 44
2. 論文標題 Low Temperature Pyrolysis of Woody Biomass under Steam for Selective Production of Coniferyl Aldehyde	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Engineering Sciences Reports, Kyushu University	6. 最初と最後の頁 22-29
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 工藤真二、皿海翔也、浅野周作、林潤一郎
2. 発表標題 深共晶溶媒を用いたセルロースの触媒熱分解によるレボグルコセノン製造
3. 学会等名 化学工学会第87年会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 工藤真二
2. 発表標題 固体有機・無機資源の熱化学変換に関する研究
3. 学会等名 化学工学会第53回秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 皿海翔也、浅野周作、工藤真二、林潤一郎
2. 発表標題 セルロース熱分解によるレボグルコセノン製造用液状触媒と反応器の開発
3. 学会等名 日本エネルギー学会第6回西部支部学生・若手研究発表会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Lei Ao, Shinji Kudo, Shusaku Asano, Jun-ichiro Hayashi
2. 発表標題 Selective production of levoglucosenone from cellulose pyrolysis over phosphotungstates
3. 学会等名 10th Asian Conference on Biomass Science（国際学会）
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 S. Kudo, S. Saragai, S. Asano, J.-i. Hayashi
2. 発表標題 Catalytic wetted wall reactor using deep eutectic solvent for reforming of volatiles from cellulose
3. 学会等名 11th World Congress of Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2023年～2024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			
ニュージーランド	The University of Auckland			
中国	Chongqing University			