

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05192

研究課題名(和文) エントレーナーが抱える諸問題を解決する超臨界流体抽出法の開発

研究課題名(英文) Development of supercritical fluid extraction method to solve various problems of entrainer

研究代表者

神田 英輝 (Kanda, Hideki)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：90371624

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)：大豆脂質に対して、DME/SC-CO₂混合系での中性脂質の抽出を試み、DMEによる抽出促進効果や操作圧力低減効果が確認された。この他、ウコンからのクルクミン抽出、微細藻類からの脂質抽出にもDME/SC-CO₂混合系により改善効果が確認された。また液化DMEの抽出特性を応用する試みとして、液化DMEを媒体とするリン脂質からのリポソーム作製に成功し、現在はDME/SC-CO₂混合系に展開している。またダチョウ頸動脈やブタ脳やブタ軟骨やブタ大動脈から液化DMEとDNaseを併用してDNAを抽出除去するスキャホールド作製にも成功し、当初の計画以上の成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

代表的なグリーン溶媒である超臨界二酸化炭素(SC-CO₂)に液体の助溶媒(エントレーナー)を混合して、SC-CO₂による抽出量を増大させる手法は古くから研究されているが、抽出物や残渣にエントレーナーが残留する、作業環境中の空気が汚染される問題がある。一方で近年グリーン溶媒として注目されている液化ジメチルエーテル(DME)は沸点が-24.8℃で残留の懸念が無く毒性が僅かで安価で微極性という多くの利点がある。このDMEの溶媒としての特性を明らかにするとともに、DMEをSC-CO₂のエントレーナーとして用いる手法を開発すれば、従来のグリーン溶媒抽出の環境調和性や操作条件の改善が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Extraction of neutral lipids from soybean lipids was attempted using a DME/SC-CO₂ mixture system, and the effects of DME in promoting extraction and reducing operating pressure were confirmed. In addition, the extraction of curcumin from turmeric and the extraction of lipids from microalgae were also improved by the DME/SC-CO₂ mixture system. In an attempt to apply the extraction properties of liquefied DME, liposomes were successfully produced from phospholipids using liquefied DME as a medium, and this is currently being expanded to a DME/SC-CO₂ mixture system. We have also succeeded in producing scaffolds for DNA extraction and removal from ostrich carotid artery, porcine brain, porcine cartilage, and porcine aorta using liquefied DME and DNase in combination, achieving results beyond our initial plans.

研究分野：マテリアル工学

キーワード：液化ジメチルエーテル 超臨界二酸化炭素 抽出 溶媒

1. 研究開始当初の背景

代表的なグリーン溶媒である超臨界二酸化炭素 (SC-CO₂) による、SC-CO₂ 抽出がこれまで適用されてきた分野として、植物や微細藻類からの脂質や機能性成分の抽出、動物組織からの DNA などの遺伝情報の除去、水溶液中のリン脂質への SC-CO₂ への混合・抽出を応用したエマルション作製などが挙げられる。しかし SC-CO₂ は無極性溶媒であるので、極性物質の抽出には高温・高圧の操作条件を要したり、そもそも抽出が不可能であるといった問題があった。この問題を克服するため、SC-CO₂ に液体の助溶媒 (エントレーナー) を混合して、SC-CO₂ による抽出量を増大させる手法は古くから研究されてきたが、抽出物や残渣にエントレーナーが残留したり、作業環境中の空気が汚染される問題がある。既往の研究ではエントレーナーとして、ジクロロメタン、酢酸エチル、アセトン等が用いられる。しかし、ジクロロメタンは胆管癌の原因物質である PRTR 法規制物質である。酢酸エチルはシンナーの溶剤であり脳に不可逆的なダメージを与える。アセトンもメタノール相当の経口毒性があり残留量が厳しく制限されている。これらの代替物質として思いつくエタノールや水にも問題がある。エタノールは世界人口の約 1/4 を占めるイスラム教で禁止され、イスラム教徒が多いアジアやアフリカだけでなく移民が多い欧米でもエタノールを排除する動きが進んでいる。さらに、2018 年にイギリスでの大規模医療調査により少量のアルコール摂取でも健康リスクがあることが判明し、エタノール排除が加速した。(Lancet. 392, 1015-35, 2018)。SC-CO₂ と同様にグリーン媒体である水は、SC-CO₂ への溶解度が極めて低いので (20MPa 以上で 0.29wt% でほぼ一定)、水は SC-CO₂ 抽出のエントレーナーとして高い性能が期待できない。このためジクロロメタン・酢酸エチル・アセトン・エタノールが使われ続けており、これらの代替物質を見いだせていない。

一方で近年グリーン溶媒として注目されている液化ジメチルエーテル (DME) は沸点が -24.8°C で残留の懸念が無く安価で微極性という特徴がある。液化 DME は 2016 年に EU、2017 年に米国で食品加工媒体として許可されている。また、液化 DME は SC-CO₂ と任意の割合で混合するのでエントレーナーとして機能することが期待される。その上、DME は一般的なエーテルとは事なり爆発性の過酸化物の重合体を形成しないので、比較的にな安全な物質でもある。しかし、DME は可燃性ガスであるので、LPG と同程度の安全対策がハンドリングに必要である。この液化 DME の溶媒としての特性を明らかにするとともに、液化 DME を SC-CO₂ のエントレーナーとして用いる手法を開発すれば、液化 DME を不燃にして利用できるだけでなく、SC-CO₂ 抽出のエントレーナーが抱える環境調和性や操作圧力の低減が期待できる。

2. 研究の目的

本研究では液化 DME の抽出溶媒としての効果を明らかにするため、種々の対象物からの脂質抽出を試みる。その上で、液化 DME と SC-CO₂ との混合溶媒を用いた脂質抽出を試み、SC-CO₂ 抽出における DME のエントレーナーとしての効果を明らかにする。

3. 研究の方法

研究 1 液化 DME の抽出溶媒としての効果

クルクミン、珪藻キートセラス、ブタ大動脈、ダチョウ頸動脈などに対して液化 DME による脂質抽出実験を行った。植物組織については従来の有機溶媒との脂質抽出量や性状の比較検討により、液化 DME 抽出により脂質抽出の成否を把握した。動物組織については、液化 DME による脂質抽出後の DNase 分解酵素処理による DNA 除去量により、脂質抽出の成否を把握した。

研究 2 SC-CO₂ 抽出における DME のエントレーナーとしての効果

液化 DME をエントレーナーとして用いた SC-CO₂ 抽出法の実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。対象物質として大豆粉末を用いて、液化 DME による脂質のカラム抽出を実施した。大豆粉末の水分は 9.9% でありほぼ乾燥した状態である。抽出装置は一般的な超臨界 CO₂ 抽出装置と同じであり、エントレーナーには DME を用いた。

抽出温度は 40°C、60°C、80°C、抽出圧力は 10MPa ~ 40MPa、超臨界

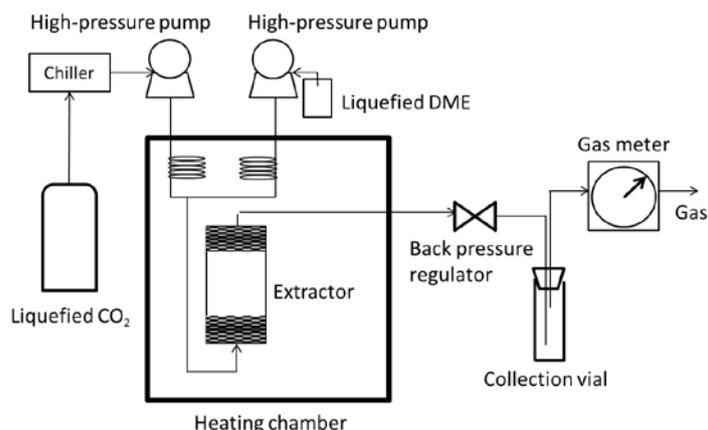


Fig. 1 Schematic diagram of SC-CO₂ extraction system using liquefied DME as an entrainer.

CO₂とDMEの体積比は1:0（添加せず）、29:1, 14:1, 9:1と変化させ、各々の影響を検討した。この体積比は混合溶媒が不燃性を保つために必要な混合比の範囲内である。

4. 研究成果

研究1 液化DMEの抽出溶媒としての効果

液化DMEによるウコンからの脂質とクルクミンと抗酸化物質の抽出においては、従来溶媒としてエタノールとの性能比較を実施した。クルクミン抽出量は、エタノール（6.77 mg/g DW）と比較して、液化DMEを使用すると、より多くのクルクミン（7.94 mg/g dry weight (DW)）が抽出された。また、液化DMEによる抽出脂質量は、エタノールによる抽出量の56%であり、クルクミンが選択的に抽出されることが判明した。これはSC-CO₂抽出と同様の傾向であり、SC-CO₂のエントレーナーとしてDMEを使用しても選択性が損なわれない可能性がある。また、顕微鏡および分光分析により、液化DMEは細胞壁を破壊せず、セルロースも抽出しないことがわかった。しかし、液化DMEはエタノールに比べ、総フェノール化合物の抽出能力がやや低く、抗酸化作用もやや低いことがわかった。つまり、DMEは、エタノールと同量のクルクミンを抽出し、同時に天日乾燥による劣化と長時間の凍結乾燥を避けながら、わずかに少ない抗酸化物質を抽出することができる。

また、微細藻類である珪藻キートセラスからの脂質とフコキサンチンの抽出においては、従来溶媒としてエタノールを使用する場合、廃水汚染を避けるための乾燥前処理や、溶媒回収時の大きなエネルギー消費が必要となるが、これを液化DME抽出に置き換えると、従来の乾燥工程を省くことで低エネルギーで高含水量の微細藻類から脂質を抽出できる代替溶媒と期待できる。DME抽出では、9.2mg/g-dryのフコキサンチンが抽出され、これは従来のエタノール法による11.9mg/g-dryより若干少ない。抽出物の総フェノール量と抗酸化力を比較したところ、液化DME抽出物は、従来のエタノール抽出物もわずかに低いものであった。DMEを用いた場合、珪藻から抽出された総水分は101.2%、抽出脂質は22.7 wt%-dry、抽出脂肪酸は5.6 wt%-dryである。抽出脂肪酸の組成および元素分析はGC-MSで行い、塩分含有量はFE-SEMで測定した結果、液化DMEで抽出された脂質は、エタノール抽出で得られた脂質よりも塩分含有量が少ないことが判明した。つまり、液化MEはエタノールと同量のフコキサンチンを抽出できる上に、同時にエタノールに可溶性の塩分の溶解度が低いことから、抽出脂質への塩分の混入を防ぐことができる。これは、SC-CO₂抽出と同様の傾向であり、SC-CO₂のエントレーナーとしてDMEを使用しても選択性が損なわれない可能性がある。

また液化DMEの抽出特性を応用する試みとして、液化DMEを媒体とするリン脂質からのリポソーム作製に成功した。具体的には、大豆レシチンを0.56MPaで液化DMEに溶解し、温水中に注入してリポソームを調製した。リポソームは45℃以上の温水でうまく調製でき、得られたリポソームの透過型電子顕微鏡(TEM)像、DLS法によるサイズ分布、動的光散乱によるζ電位測定、ガスクロマトグラフによる、従来の媒体であるジエチルエーテルを用いたリポソームと比較した。得られたリポソームのサイズは約60~300nm、ζ電位は約-57mVで、従来のジエチルエーテルとほぼ同じであった。また、従来のジエチルエーテルでは、減圧や透析膜処理で除去してもリポソーム分散液に多量にジエチルエーテルが残存していたが、液化DMEは沸点がかなり低いため減圧操作のみで完全に除去できた。

またブタ大動脈やダチョウ頸動脈やブタ軟骨から液化DMEとDNaseを併用してDNAを抽出除去するスキャホールド作製にも成功し、当初の計画以上の成果を得た。従来のスキャホールド作成手法では、これらの動物組織を界面活性剤であるドデシル硫酸ナトリウムで脱脂する工程があるが、この代替として液化DMEによる脱脂を行った。スキャホールド作製プロセスには3つのステップがあり、第一段階として液化DMEを用いた脱脂（脂質の抽出）があり、常温・常圧で大気圧および温度下で大動脈からDMEを蒸発させた。第2工程では、DNase水溶液によるDNAの断片化を行い、これは主に一般的な方法と同じであった。第3工程では、一般的な方法と同様に、水とエタノールで洗浄することによりDNA断片を除去した。スキャホールド作製では最終製品に許容される残存DNAに関する目安が3つあり、1つ目はヘマトキシリン・エオシン染色により細胞核が視認できないこと、2つ目は残存DNA量が50ng/mg-dryより低いこと、3つ目は残存DNAの断片が200bpよりも低いことが挙げられる。ブタ大動脈では、液化DMEによる脱脂と、3日間のDNase水溶液処理の後、ヘマトキシリン・エオシン染色により細胞核を視認できず、残存DNA量は40ng/dry-mgであり、残存DNAは100bp未満に完全に断片化されて検出不能な状態になっていることが確認された。同様に、ダチョウ頸動脈やブタ軟骨組織についても、液化DMEをDNaseと併用した処理により、目安を満たすスキャホールド作製に成功した。

これらの研究の結果は、液化DMEが脂質抽出溶媒として、極めて優れた抽出特性を有していることを示すものであり、SC-CO₂抽出において液化DMEが有効なエントレーナーとして機能する可能性を示唆するものである。

研究2 SC-CO₂抽出における DME のエントレーナーとしての効果

Fig.3に示すように20MPa, 60°Cの条件でDMEの体積比のみを変えた場合では、液化DMEの体積比が高いほど抽出速度が速く、最終的な抽出量が多い。続いて体積比を9:1に固定し、混合溶媒の圧力が抽出された脂質量に及ぼす影響をFig.4に示す。10MPaと15MPaでは、抽出される脂質量は少ないが、20MPaで最大となり、それ以上の圧力では脂質量は増加しない。比較対象としてSC-CO₂のみで抽出したところ、20、30、40MPaの収率はそれぞれ12.3%、15.8%、19.1%となった。つまり9:1でDMEを添加した20MPaでの操作は、DMEを添加しない40MPaでの操作と抽出量が同等であり、DMEの添加によって操作圧力を40MPaから20MPaへと低下できた。この結果はDMEがエントレーナーとして機能するとともに、操作圧力を有意に低減できることを示すものである。

また、先述の通り混合溶媒の場合には20、30、40MPaにおける最終的な抽出量に差はなかったが、溶媒あたりの抽出量に差があった。例えば、Fig.5に示す混合溶媒による抽出量の経時変化を見ると、抽出の初期段階では圧力が高いほど脂質の抽出量が多くなるのがわかる。例えば、混合溶媒の流量が約0.044kgの場合、抽出された脂質量は、20、30、40MPaで、それぞれ6.7wt%、10.4wt%、12.2%である。従って、十分に操作圧力が高く、最終的な抽出量に違いが無い条件においてもDMEはエントレーナーとして機能しており、抽出速度を向上させることが判明した。

続いてFig.6に示す超臨界CO₂とDMEの体積比が9:1で20MPaの条件で温度のみを変えた場合では、40°Cと60°Cでは違いは見られず、80°Cでは抽出量が減少した。つまりDMEを添加した場合も、純粋な超臨界CO₂を用いた脂質抽出と同様なクロスオーバー一点が存在することも判明した。

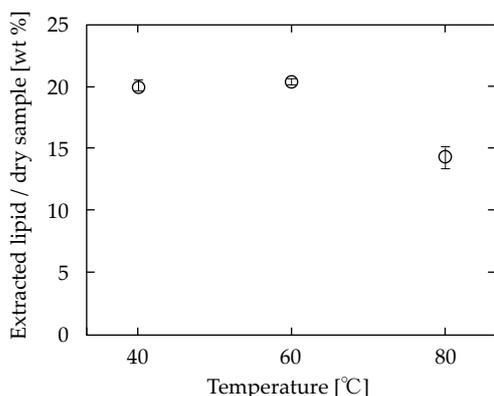


Fig.6 Effect of temperature on lipid extraction from soya bean by SC-CO₂ and DME (9:1 vol) at 20 MPa.

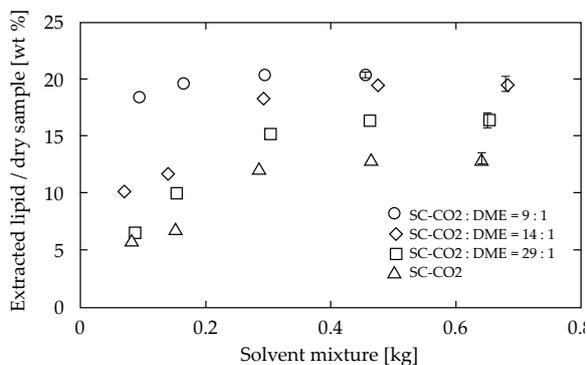


Fig. 3 Effect of DME mixing ratio on lipid extraction from soya bean by SC-CO₂ at 60 °C and 20 MPa.

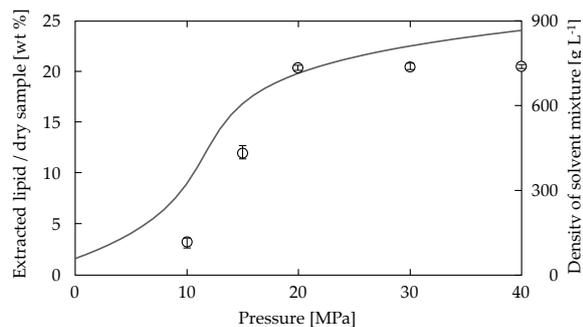


Fig.4 Effect of pressure on lipid extraction from soya bean by SC-CO₂ with DME (9:1 vol) at 60 °C. Solid curve is density of solvent mixture.

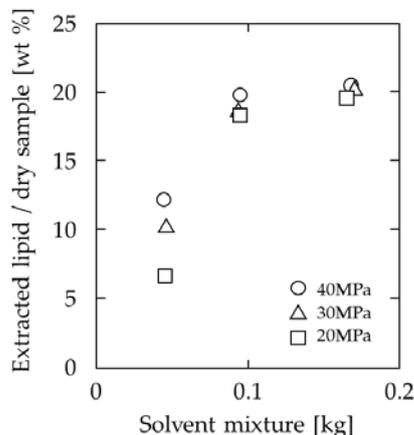


Fig. 5 Extraction behavior of lipids from soya beans in the early stages of extraction at 20–40 MPa SC-CO₂ with DME (9:1) at 60 °C.

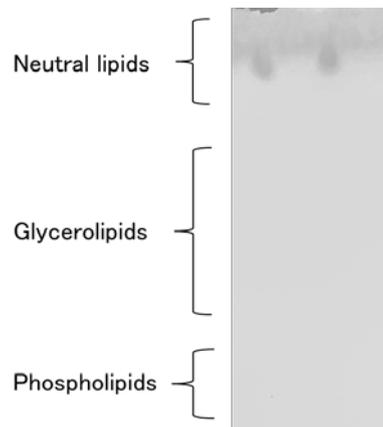


Figure 7. TLC images of the extracts by SC-CO₂ (left) and SC-CO₂ with DME (right).

抽出物を TLC 分析した結果を示す。DME を9:1で添加した場合も全く添加しない場合も、Fig.7 に示す TLC 分析のとおり、抽出物は中性脂質で構成されており、DME を添加しても SC-CO₂抽出と同様の選択性が保たれた。これは CO₂と DME のハンセン溶解度パラメータが近いことと矛盾しない。これは Table 1に示す元素分析結果からも裏付けられた。抽出物の構成元素比率は、DME の混合の有無により変化なく、この比率を中性脂質（トリグリセリド）・糖脂質・リン脂質の理論元素比率と比較したところ、中性脂質と一致した。また、GC-MS により構成脂肪酸比率を分析したところ、Table 2に示すとおり C16と C18で DME の添加により抽出量が増加したことが判明した。

これらの研究の結果は、SC-CO₂ 抽出において液化 DME が有効なエントレーナーとして機能することを裏付けるものであり、液化 DME を不燃にして利用できるだけでなく、SC-CO₂ 抽出のエントレーナーが抱える環境調和性や操作圧力の問題の解消に寄与できると判明した。

Table 1. Elemental composition of extract obtained by SC-CO₂ and SC-CO₂ with DME.

Dry ash free [wt%]	Carbon (±0.3)	Hydrogen (±0.1)	Nitrogen (±0.2)	Oxygen (±0.6)
SC-CO ₂	77.5	12.0	0.2	10.3 ¹
SC-CO ₂ with DME	77.3	12.1	0.0	10.6 ¹
TG (C18:2)	77.6 ²	11.5 ²		10.9 ²
MGDG (C18:2)	71.6 ²	11.0 ²		17.4 ²
PC (C18:2)	10.6 ²	68.3 ²		21.1 ¹

¹ By difference, so other elements are included.

² Calculation from molecular formula.

Table 2. Fatty acid composition of extract obtained by SC-CO₂ and SC-CO₂ with DME.

Fatty acid [mg/g]	C16:0 (±3.6)	C16:1 (±0.2)	C18:0 (±0.6)	C18:1 (±1.7)	C18:2 (±5.5)	C20:0 (±1.5)	Others (±1.3)
SC-CO ₂	106	1.7	62.0	118	273	9.0	6.0
SC-CO ₂ with DME	150	2.6	71.5	143	335	9.0	5.9

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Kanda Hideki, Ando Daigo, Hoshino Rintaro, Yamamoto Tetsuya, Wahyudiono, Suzuki Shogo, Shinohara Satoshi, Goto Motonobu	4. 巻 6
2. 論文標題 Surfactant-Free Decellularization of Porcine Aortic Tissue by Subcritical Dimethyl Ether	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 13417 ~ 13425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.1c01549	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 -
1. 著者名 Kanda Hideki, Fukuta Yuji, Wahyudiono, Goto Motonobu	4. 巻 10
2. 論文標題 Enhancement of Lipid Extraction from Soya Bean by Addition of Dimethyl Ether as Entrainer into Supercritical Carbon Dioxide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Foods	6. 最初と最後の頁 1223 ~ 1223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/foods10061223	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 -
1. 著者名 Kanda Hideki, Ando Daigo, Oya Kento, Wahyudiono, Goto Motonobu	4. 巻 14
2. 論文標題 Surfactant-free preparation of an ostrich carotid artery scaffold using liquefied dimethyl ether and DNase	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Arabian Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 103280 ~ 103280
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.arabjc.2021.103280	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 -
1. 著者名 Kanda Hideki, Katsube Tsubasa, Wahyudiono, Goto Motonobu	4. 巻 10
2. 論文標題 Preparation of Liposomes from Soy Lecithin Using Liquefied Dimethyl Ether	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Foods	6. 最初と最後の頁 1789 ~ 1789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/foods10081789	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 -

1. 著者名 Kanda Hideki, Wahyudiono, Machmudah Siti, Goto Motonobu	4. 巻 5
2. 論文標題 Direct Extraction of Lutein from Wet Macroalgae by Liquefied Dimethyl Ether without Any Pretreatment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 24005 ~ 24010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.0c03358	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 該当する

1. 著者名 Kanda Hideki, Oishi Kazuma, Machmudah Siti, Wahyudiono, Goto Motonobu	4. 巻 16
2. 論文標題 Ethanol free extraction of resveratrol and its glycoside from Japanese knotweed rhizome by liquefied dimethyl ether without pretreatments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 e2600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/apj.2600	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 神田 英輝, 後藤 元信	4. 巻 99
2. 論文標題 低沸点弱極性溶媒による微細藻類からの油脂抽出	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 生物工学会誌	6. 最初と最後の頁 482 ~ 485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34565/seibutsukogaku.99.9_482	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Kanda Hideki, Oya Kento, Irisawa Toshihira, Wahyudiono, Goto Motonobu	4. 巻 7
2. 論文標題 Tensile Strength of Porcine Aorta Decellularized with Liquefied Dimethyl Ether and DNase	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 34449 ~ 34453
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.2c04103	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 -

1. 著者名 Kanda Hideki, Zhu Li, Zhu Wanying, Wang Tao	4. 巻 16
2. 論文標題 Ethanol-free extraction of curcumin and antioxidant activity of components from wet <i>Curcuma longa</i> L. by liquefied dimethyl ether	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Arabian Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 104585 ~ 104585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.arabjc.2023.104585	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 -

1. 著者名 Kanda Hideki, Oya Kento, Irisawa Toshihira, Wahyudiono, Goto Motonobu	4. 巻 16
2. 論文標題 Tensile strength of ostrich carotid artery decellularized with liquefied dimethyl ether and DNase: An effort in addressing religious and cultural concerns	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Arabian Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 104578 ~ 104578
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.arabjc.2023.104578	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 -

1. 著者名 Kanda Hideki, Oya Kento, Wahyudiono, Goto Motonobu	4. 巻 16
2. 論文標題 Surfactant-Free Decellularization of Porcine Auricular Cartilage Using Liquefied Dimethyl Ether and DNase	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 3172 ~ 3172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma16083172	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7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 神田 英輝, 大矢 健登, 入澤 寿平, Wayhudiono, 後藤元信
2. 発表標題 液化ジメチルエーテルとDNaseにより脱細胞化された動脈組織の引張強度の検討
3. 学会等名 化学工学会第53回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楠美海斗、Li Zhu、Wang Tao、神田 英輝
2. 発表標題 ポリマー系凝集剤の液化ジメチルエーテルへの溶解性の検討
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wang Tao、Li Zhu、Wangying Zhu、神田 英輝
2. 発表標題 液化ジメチルエーテル（DME）を用いたウコンからのクルクミンと抗酸化物質の抽出
3. 学会等名 分離技術会年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楠美海斗、Li Zhu、Wang Tao、神田 英輝
2. 発表標題 ポリマー系凝集剤の液化ジメチルエーテルによる抽出挙動の検討
3. 学会等名 分離技術会年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 神田英輝、福田祐士、Wayhudiono、後藤元信
2. 発表標題 ジメチルエーテルの超臨界二酸化炭素への添加による脂質抽出の促進
3. 学会等名 化学工学会第87回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wang Tao、Li Zhu、楠美海斗、神田 英輝
2. 発表標題 液化ジメチルエーテルによる高含水珪藻からのフコキサンチンと脂質の直接抽出
3. 学会等名 化学工学会第88年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Li Zhu、Wang Tao、Wangying Zhu、神田 英輝
2. 発表標題 液化ジメチルエーテルによる高含水ウコンからのクルクミンと脂質の抽出
3. 学会等名 化学工学会第88年会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Hideki Kanda, Yuji Fukuta, Wahyudiono, Motonobu Goto	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Vide Leaf	5. 総ページ数 500
3. 書名 Advances in Food Science	

〔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

インドネシア	スラバヤ工科大学			
--------	----------	--	--	--