

令和 3 年 5 月 21 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06889

研究課題名(和文)食品・菌・酵素を有効活用する難分解性廃水の膜利用型高度処理プロセスの開発

研究課題名(英文) Development of Membrane-Based Advanced Wastewater Treatment Process Effectively Utilizing Foods, Fungi and Enzymes

研究代表者

片桐 誠之 (KATAGIRI, Nobuyuki)

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：00345919

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：白色腐朽菌の培養液を用いる酵素リアクターを開発した。食品廃棄物の廃糖蜜を培地に用いると、難分解性環境汚染物の一つである染料の脱色活性を示す培養液が周期的に得られた。精製することなく、培養液をそのままメンブレンリアクターに投入し、膜の分離機能により酵素をリアクター内に動的に固定して、廃水の連続的な処理を可能とするシステムを構築した。着色廃水では、約80%の脱色率を維持できた。余剰菌体の圧搾で5 MPa以上の高圧を作用させると高度な脱水が可能となった。搾出液には、血圧降下作用や抗酸化作用を示す生理活性物質が含まれていた。脱水ケーキは低含水率で自然するため、固形燃料としての利用も考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境汚染物質を分解できる微生物は存在するが、廃水処理過程でその能力を発揮させることは難しい。本研究では、微生物そのものではなく、微生物が産生する酵素を用いるメンブレンリアクターを構築した。酵素産生の栄養源には、食品廃棄物を用いることができ、酵素精製を必要としない。膜の分離機能で酵素がリアクター内に留まるため、連続的な廃水処理を可能とした。研究成果は、従来技術では十分な処理ができない難分解性物質を含む廃水に適用でき、高品質な処理水が得られ、再生水としての利用の可能性も広がる。また、余剰菌から脱水過程で生理活性物質が回収でき、脱水残渣は固液燃料としての有効活用も期待できる。

研究成果の概要(英文)：A novel enzymatic membrane reactor using the non-purified culture supernatant of white-rot fungi was developed to perform continuous decolorization of dye wastewater.

The culture supernatant was periodically obtained from fungal cultures cultivated in natural medium, which uses blackstrap molasses typically present in food waste. The supernatant and dye wastewater were mixed in a membrane reactor with an ultrafiltration membrane that permitted enzyme recycling in the reactor. Approximately 80% of decolorization was maintained for a few days of continuous treatment.

In the dewatering of excess white-rot fungi by mechanical expression, the moisture content of the compressed cake was significantly decreased by applying pressure greater than 5 MPa. The squeezed liquid contained substances with hypotensive and antioxidant effects. The cake had very low moisture content, suggesting the possibility of its conversion to solid fuel.

研究分野：水処理工学

キーワード：メンブレンリアクター 難分解性廃水 白色腐朽菌 酵素 食品廃棄物 生理活性物質 限外濾過膜 圧搾

1. 研究開始当初の背景

近年、世界的な水不足が深刻な問題としてクローズアップされるようになり、生物にとって大変重要な存在である「水」についての現状は、危機的な状態にある。水は、人間の生活において欠かせないものであり、また全ての生物の営みに必要不可欠なものであることから、これまで廃棄物として取り扱われてきた汚水を処理再生し、利用していくことが人類の生活環境および自然環境の保全に繋がると考えられる。一方、自然界では、人によって汚染された水が、生物の環境対応能力により浄化される現象がみられ、この生物の特殊な能力を探索する研究が国の内外において活発に行われ、種々の環境汚染物質に対して分解活性を示す様々な微生物が明らかにされている。しかしながら、それら微生物の特殊な機能は限られた環境下でのみ発現される場合がほとんどであるため、様々な物質や夾雑微生物が存在し、性状変化が著しい実際の廃水処理に利用されるまでには至っていないのが現状である。

このような背景に鑑み、微生物の特殊な能力が発現される条件を把握し、そのような環境を創出することで実廃水に適用しうる水再生技術の開発が可能となり、処理が困難とされてきた環境汚染物の分解・除去が実現できるものと考えた。そこで、微生物フリーの環境創出に利用可能な分離膜を、特殊微生物の機能発現に必要な環境創製のために用いる「膜分離と微生物処理とのハイブリッド化」によるメンブレンバイリアクターを考案し、その構築のための研究を行ってきた。様々な検討の結果、環境汚染有毒物を効率良く分解するためには、分解酵素を含有する培養液を用いる方法が最適であるとの結論に至った。これは、微生物処理において、分解酵素を産生するまでに時間を要するため、処理を開始してから効果が現れるまでにタイムラグがあること、また、分離膜を利用して環境を調べた場合においても、微生物の活性や分解酵素の産生量が廃水中の成分に左右されるといった問題が明らかとなったためである。本研究では、図1に示す食品・菌・酵素を有効活用する膜利用型高度処理プロセスを考案し、各要素技術の確立に取り組み、それらを融合することでプロセスの実現を目指す。

2. 研究の目的

本研究では、食品廃棄物を有効活用した白色腐朽菌の培養により、難分解性環境汚染物の分解酵素を効率よく産生する手法の確立を行うとともに、産生酵素を精製することなく、培養液をそのままメンブレンリアクターに投入し、膜の分離機能により酵素をリアクター内に動的に固定して、難分解性廃水の連続的な処理を可能とするシステムを構築する。また、処分が必要となる余剰菌から生理活性物質を抽出するといった新たな試みを行い、単なる水処理に留まらず、食品・菌・酵素の全ての有効活用を可能とする、これまでに類を見ない全く新しい膜利用型高度処理プロセスを開発することを目的とする。

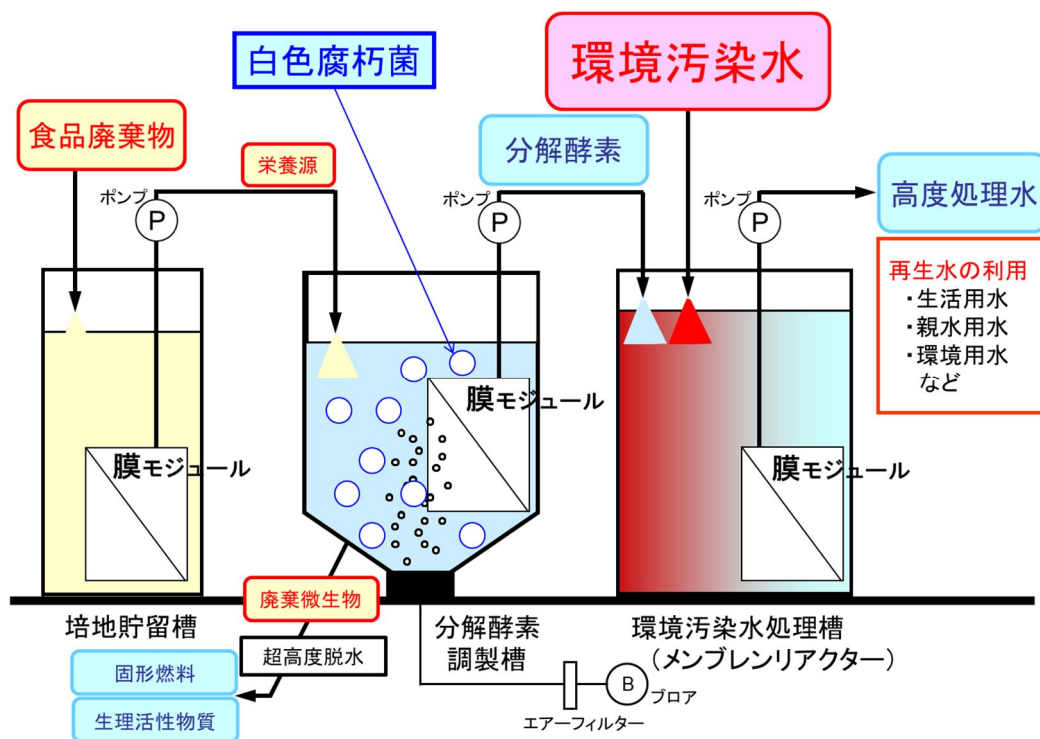


図1 食品・菌・酵素を有効活用する膜利用型高度処理プロセス

### 3. 研究の方法

#### (1) 食品廃棄物による分解酵素の産生法<sup>1,2)</sup>

廃糖蜜（三井製糖製）を純水に溶解させて所定濃度の廃糖蜜培地を作製し、白色腐朽菌カワラタケの培養に供した。30°C、200 rpm にて振とう培養を行い、24 時間毎に培養液を採取して愛知県内の染色工場で使用されているアントラキノン系染料 MF-GLN の脱色活性を評価した。脱色活性は、染料を 1 分間に 1 μg 脱色処理する酵素量を 1 unit と定義して表した。

#### (2) メンブレンリアクターによる脱色特性<sup>1,2)</sup>

モデル廃水は、アントラキノン系染料 MF-GLN を、初期濃度  $C_{A,0} = 0.04$  g/L で調製した。酵素を動的に固定するために、分画分子量 5,000 の再生セルロース製限外濾過膜（ミリポア製）を設置した攪拌槽型メンブレンリアクターに、着色廃水を圧縮空気により定圧条件で連続的に透過させて脱色処理を行った。処理液の脱色率は、透過光測定法により求めた。

#### (3) 余剰菌の高度脱水と生理活性物質の搾出<sup>3)</sup>

圧搾セルと材料試験機により白色腐朽菌の圧搾脱水を行った。搾液と脱水ケーキを回収し、生理活性試験を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 食品廃棄物による分解酵素の産生法

活性汚泥法等の従来の生物学的処理法では脱色効果がほとんど期待できない染料を処理対象物として用い、白色腐朽菌カワラタケとその酵素を用いる膜利用型廃水処理プロセスの開発に取り組んだ。カワラタケはアゾ染料やアントラキノン系染料を脱色し、無害化できることが知られている。この染料の脱色は、白色腐朽菌が産生するラッカーゼ等の酵素によって生じるため、これらの脱色酵素を効率よく産生させる条件の確立が重要となる。一般的には、市販の合成培地を用いて白色腐朽菌を増殖させ、その後酵素産生を誘導する物質を用いた培養により酵素液が得られている。ここでは、代表的な食品廃棄物である廃糖蜜を用いる培養法により脱色酵素を効率よく得る方法を検討した。廃糖蜜は、サトウキビの搾汁濃縮液から砂糖を結晶化させた残液であり、メラノイジンを含み、黒褐色を呈している。メラノイジンは、搾汁液の濃縮の際にメイラード反応により作られ、微生物による分解がされにくいいため廃糖蜜を栄養源として利用する際の難点になるが、逆にこの難分解性物質の存在が白色腐朽菌による脱色酵素の産生を誘導する可能性がある。

白色腐朽菌の培養に廃糖蜜培地を用いる場合、培地中の全有機炭素濃度（TOC: Total Organic Carbon）の影響が大きく、適切に設定することで菌体の増殖と染料の脱色活性が確認できるようになった。一例として、廃糖蜜培地の TOC が 8.8 g/L の場合の脱色活性の経日変化（プロット）を図 2 に示した。培養 5 日目から脱色活性が認められるようになり、酵素が産生された。培養を長く続けると不要な代謝物も蓄積されるため、6 日目に菌体を重力沈降させ、培養上澄液と新たな廃糖蜜培地を入れ換えた。第 2 培養期間からは、数日間の培養で脱色活性が著しく大きくなり、培養上澄液と廃糖蜜培地を同様な方法で入れ換えて、第 3 期、第 4 期と培養を続けることにより、数日毎に染料脱色酵素を含有する培養液を得ることができた。図には、比較として、白色腐朽菌の増殖と酵素産生に一般的に用いられている合成培地で培養した時の酵素活性の経日変化（プロット）も示した。廃糖蜜を用いた方が、脱色活性が大きくなり、酵素産生培地として適していることがわかる。培養中にメラノイジンが分解されて TOC が減少し、培地自体の脱色が生じることが確認されており、メラノイジンの存在により脱色酵素の産生が誘導されたものと推察される。なお、産生された酵素は、主にラッカーゼであった。

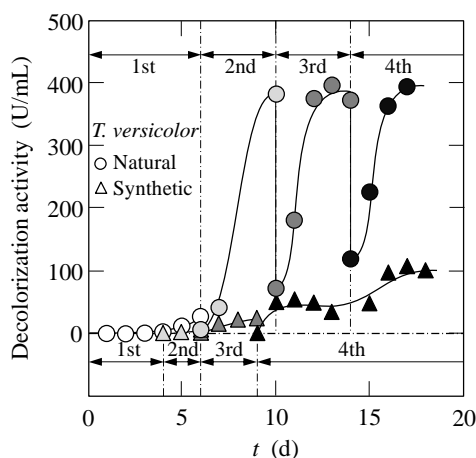


図 2 脱色活性の経日変化

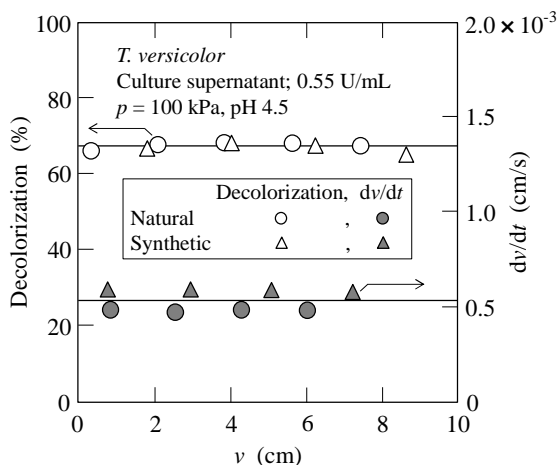


図 3 メンブレンリアクターによる脱色処理

(2) メンブレンリアクターによる脱色特性

白色腐朽菌が産生した脱色酵素を含む培養液を、精製することなくそのまま用いる、モデル着色廃水(染料)の脱色処理法を検討した。メンブレンリアクターによる着色廃水の脱色および透過挙動を図3に示す。リアクター内の酵素濃度が 0.55 unit/mL で 70%程度の脱色率が得られており、図2に示したように培養液の酵素濃度が 400 unit/mL 程度であることから、極少量の培養液で脱色処理を行うことができた。膜ファウリングの原因となる限外濾過膜で阻止される培養液中の物質(酵素など)も少量となるため、攪拌を行いつつ定圧操作にて透過脱色処理を行ったが、着色廃水の透過速度( $dv/dt$ ) すなわち処理速度はほぼ一定であった。図中のプロットは、合成培地で得た培養液での結果であり、廃糖蜜の場合( )の方が原料由来の様々な物質が含まれていると考えられるが、バッチ試験で得られる脱色活性を揃えたと同程度の脱色処理が連続して行えることが確認された。

着色廃水の pH を種々に設定して、数日間連続で処理を行った場合の脱色挙動を図4に示した。脱色性能は pH の影響を大きく受けるが、それぞれの条件で脱色率はほぼ一定で、pH を適切に設定すれば脱色率 80% が維持できており、本システムで安定した処理が行えることがわかった。図に示したデータは処理温度 37 のものであるが、10~37 の温度範囲で脱色処理が行えることを確認した。なお、更に処理時間を長くすることで酵素が失活し、目標の脱色率に至らなくなった場合には、図2に示したように脱色活性を示す培養液が数日毎に得られるので、これを添加して脱色率を安定させることが可能である。

次に、メンブレンリアクターの脱色性能の推算を試みた。バッチテストにより脱色酵素の反応速度( $-dC_A/dt$ )を算出し、次の Michaelis-Menten 式に基づいて最大反応速度  $r_{max}$  と Michaelis 定数  $K_m$  を求めた。

$$r = -\frac{dC_A}{dt} = \frac{r_{max} C_A}{K_m + C_A} \quad (1)$$

メンブレンリアクターは攪拌槽型で、染料濃度  $C_{A,0}$  の原液が一定速度で流入し、リアクター内で酵素処理されて染料濃度  $C_A$  となった処理液が同じ速度で流出しているため、次の物質収支式が成立する。

$$A \left( \frac{dv}{dt} \right)_p (C_{A,0} - C_A) = V \left( -\frac{dC_A}{dt} \right) \quad (2)$$

ここで、 $A$  は透過断面積、 $(dv/dt)_p$  は操作圧力に対応する平均透過速度(処理速度)、 $V$  はメンブレンリアクターの容量である。式(2)の物質収支式に式(1)の Michaelis-Menten 式を代入することで次式が導出され、種々の条件下における処理液の染料濃度  $C_A$  が求まるので、脱色率(=  $(C_{A,0} - C_A)/C_{A,0} \times 100$ )を計算することができる。

$$\frac{V r_{max}}{A (dv/dt)_p} = (C_{A,0} - C_A) + \frac{K_m}{C_A} (C_{A,0} - C_A) \quad (3)$$

図5には、種々の酵素量(脱色活性)で脱色処理した時の、定常状態での脱色率と処理条件の関係を示した。図中の実線が計算値で、プロットの実験値の傾向を良く表しており、脱色率の推算が可能であることが確認できた。

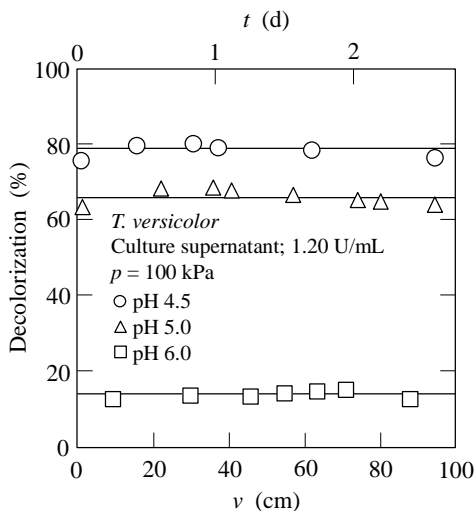


図4 脱色性に及ぼす pH の影響

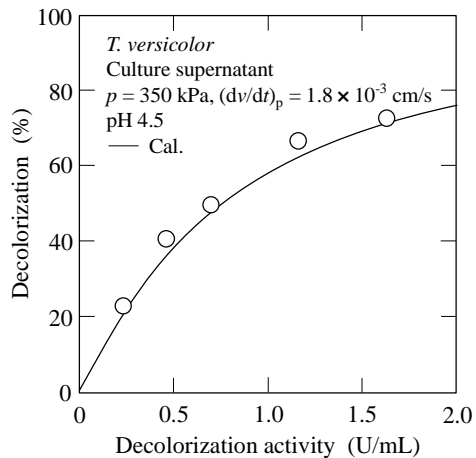


図5 酵素活性と脱色率の関係

### (3) 余剰菌の高度脱水と生理活性物質の抽出

脱色酵素産生のための連続培養を行うと、白色腐朽菌は著しく増殖し、余剰菌が発生する。この余剰菌体は処分すべきスラッジとなり、高含水率なため脱水操作による減量化が必要不可欠となる。ここでは、高圧を作用させることでどの程度の脱水が実現できるのかを試みた。また、脱水操作によって得られる搾出液中に生理活性物質が含まれているか調査した。

高圧圧搾操作により脱水がどの程度進行するのかを明らかにするため、余剰菌ケーキの厚さから平均ケーキ空隙率 $\varepsilon_{av}$ を算出し、各圧搾圧力下における経時変化を図6にプロットした。圧搾圧力の影響は顕著で、 $p_2 = 1, 3$  MPaでは空隙率の減少は比較的小さいが、5 MPa以上の圧力を加えると空隙率が大きく減少することがわかった。7 MPaの場合には、 $\varepsilon_{av}$ は最終的に0.230となり、球形粒子の最密充填時の空隙率0.2595を下回った。ケーキの圧密挙動の解析を行うと、固体圧縮圧力の増加に対して、ケーキ中の空隙の減少が時間的に遅れて変化する部分(クリープ変形)の影響が大きいことがわかった。そこで、活性汚泥などの有機質スラリーに適用できることを確認した、圧密過程で生じる多段クリープ現象を表現できるTerzaghi—一般化Voigtモデル<sup>3)</sup>により解析を行った。図中の実線は、モデルによる計算値であり、いずれの圧力でも実験値の挙動を記述できている。

図7には、ケーキが圧密平衡に達した時の含水率を圧搾圧力に対してプロットした。圧力の増加とともに含水率が減少し、7 MPaでは20wt%程度となり、高度な脱水が実現できた。含水率がこのレベルまで下がると自燃するものと推察され、固形燃料としての有効活用の可能性が示された。

圧搾脱水操作によって得られる搾出液には、アンジオテンシン変換酵素(ACE)阻害活性(血圧降下作用)とスーパーオキシドディスムターゼ活性(抗酸化作用)が認められ、生理活性物質が搾出されることがわかった<sup>3)</sup>。なお、抗腫瘍効果を示す $\beta$ -グルカン(β-グルカン)は脱水後の菌に残留していることが確認された。

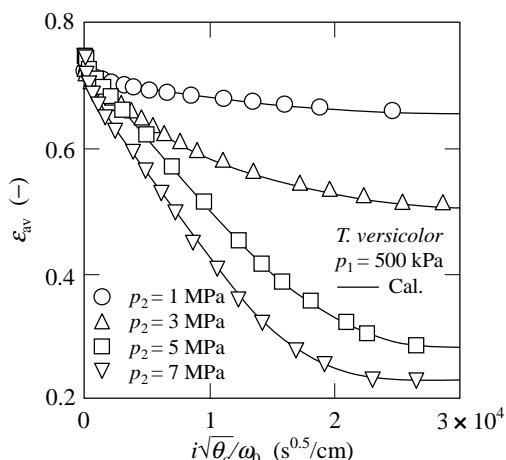


図6 ケーキ空隙率の経時変化

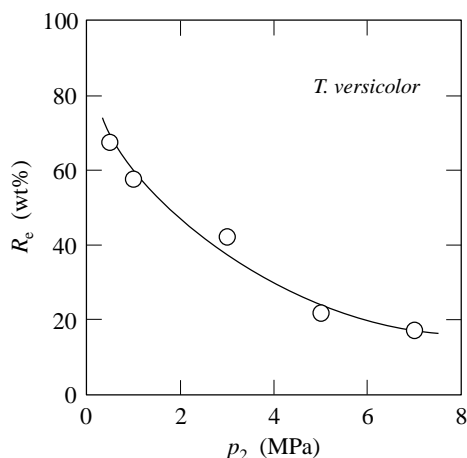


図7 ケーキ含水率と圧力の関係

様々な用途に利用可能な再生水が得られる、新しい生物学的汚水処理法を確立することを目指し、膜利用型高度廃水処理プロセスを考案し、その実現のための研究を行った。食品廃棄物を用いる有用酵素の産生、酵素を産生する菌の有効利用、酵素を有効的に利用する廃水処理メンブレンリアクターといった各要素技術について成果が得られた。今後は、これらの技術を融合させ、一連の処理を連続的に行うことができる装置を構築し、実廃水を用いた検討を行うことで、本プロセスによる廃水処理が実現できるものと期待される。

#### < 引用文献 >

- 1) N. Katagiri, M. Takatsu, S. Kitahata, Y. Mizuno, E. Iritani, Membrane Type Wastewater Decolorization Using Culture Supernatant of *Trametes versicolor*, *J. Water Environ. Technol.*, 16(1), 2018, 54-62
- 2) 片桐誠之, 食品・菌・酵素を有効活用する膜利用型排水処理プロセスの開発, ケミカルエンジニアリング, 64(11), 2019, 736-740
- 3) 片桐誠之, 水野由貴, 北畑智志, 入谷英司, 高圧圧搾操作による白色腐朽菌の高度脱水と生理活性物質の抽出, 化学工学論文集, 46(2), 2020, 18-23

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 片桐誠之, 水野由貴, 北畑智志, 入谷英司	4. 巻 46
2. 論文標題 高圧圧搾操作による白色腐朽菌の高度脱水と生理活性物質の搾出	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学工学論文集	6. 最初と最後の頁 18-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/kakoronbunshu.46.18	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 N. Katagiri, K. Tomimatsu, K. Date and E. Iritani	4. 巻 11
2. 論文標題 Yeast Cell Cake Characterization in Alcohol Solution for Efficient Microfiltration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Membranes	6. 最初と最後の頁 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/membranes11020089	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 片桐誠之	4. 巻 45
2. 論文標題 微生物懸濁液の精密濾過	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 膜	6. 最初と最後の頁 22-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5360/membrane.45.22	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 片桐誠之	4. 巻 64
2. 論文標題 食品・菌・酵素を有効活用する膜利用型排水処理プロセスの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ケミカルエンジニアリング	6. 最初と最後の頁 736-740
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 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 片桐誠之	4. 巻 19
2. 論文標題 微生物代謝物による膜ファウリング現象	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 環境浄化技術	6. 最初と最後の頁 59-63
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 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 E. Iritani, N. Katagiri and H. Masuda	4. 巻 134
2. 論文標題 Evaluation of Variable Pressure Dead-End Ultrafiltration Behaviors of Nanocolloids Based on Filter Cake Properties	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Eng. Res. Des.	6. 最初と最後の頁 528-539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cherd.2018.04.026	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 E. Iritani, N. Katagiri and D. Sawada	4. 巻 51
2. 論文標題 Simultaneous Evaluation of Mechanism and Degree of Fouling from Limited Flux Decline Data in Dead-End Microfiltration	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Chem. Eng. Japan	6. 最初と最後の頁 507-517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.17we379	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 入谷英司, 片桐誠之, 湊純平, 西川匡子, 川崎健二	4. 巻 44
2. 論文標題 無機塩の段階的添加による破砕汚泥の沈降性能の向上	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 化学工学論文集	6. 最初と最後の頁 253-259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/kakoronbunshu.44.253	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 E. Iritani, N. Katagiri and H. Masuda	4. 巻 51
2. 論文標題 Simplified Estimate of Cake Porosity in Dead-End Ultrafiltration of Protein Solution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Chem. Eng. Japan	6. 最初と最後の頁 589-595
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.18we033	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 E. Iritani, N. Katagiri and K. Kawasaki	4. 巻 18
2. 論文標題 New Developments of Solid-Liquid Separation Technologies in the Activated Sludge Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Filtration	6. 最初と最後の頁 171-180
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 D.Q. Cao, J.Y. Jin, Q.H. Wang, X. Song, X.D. Hao, E. Iritani and N. Katagiri	4. 巻 28
2. 論文標題 Ultrafiltration Recovery of Alginate: Membrane Fouling Mitigation by Multivalent Metal Ions and Properties of Recycled Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chinese J. Chem. Eng.	6. 最初と最後の頁 2881-2889
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cjche.2020.05.014	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 D.Q. Cao, X. Wang, Q.H. Wang, X.M. Fang, J.Y. Jin, X.D. Hao, E. Iritani and N. Katagiri	4. 巻 606
2. 論文標題 Removal of Heavy Metal Ions by Ultrafiltration with Recovery of Extracellular Polymer Substances from Excess Sludge	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Membr. Sci.	6. 最初と最後の頁 118103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.memsci.2020.118103	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 D.Q. Cao, X. Song, X.D. Hao, W.Y. Yang, E. Iritani and N. Katagiri	4. 巻 202
2. 論文標題 Ca <sup>2+</sup> -aided Separation of Polysaccharides and Proteins by Microfiltration: Implications for Sludge Processing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sep. Purif. Technol.	6. 最初と最後の頁 318-325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seppur.2018.03.070	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 E. Iritani, N. Katagiri and K. Kawasaki	4. 巻 18
2. 論文標題 New Approach to Behavior Characterization of Membrane Pore Fouling in Membrane Filtration	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Filtration	6. 最初と最後の頁 212-224
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 D.Q. Cao, X. Song, X.M. Fang, W.Y. Yang, X.D. Hao, E. Iritani and N. Katagiri	4. 巻 354
2. 論文標題 Membrane Filtration-based Recovery of Extracellular Polymer Substances from Excess Sludge and Analysis of Their Heavy Metal Ion Adsorption Properties	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Eng. J.	6. 最初と最後の頁 866-874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2018.08.121	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.E. Wu, K.J. Hwang, T.W. Cheng, K.L. Tung, E. Iritani and N. Katagiri	4. 巻 94
2. 論文標題 Structural Design of a Rotating Disk Dynamic Microfilter in Improving Filtration Performance for Fine Particle Removal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Taiwan Inst. Chem. Eng.	6. 最初と最後の頁 43-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jtice.2018.04.032	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 E. Iritani, N. Katagiri and Y. Yamaoka	4. 巻 94
2. 論文標題 Filtration Behaviors of Suspension of Dual-Sized Submicron Particles Through Semi-Permeable Microfiltration Membrane	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Taiwan Inst. Chem. Eng.	6. 最初と最後の頁 62-69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jtice.2017.09.040	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 入谷英司, 片桐誠之, 福田正秀	4. 巻 45
2. 論文標題 遠心浮上データによるO/Wエマルションのデッドエンド精密濾過特性の推算	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 化学工学論文集	6. 最初と最後の頁 72-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/kakoronbunshu.45.72	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 D.Q. Cao, X.D. Hao, Z. Wang, X. Song, E. Iritani and N. Katagiri	4. 巻 535
2. 論文標題 Membrane recovery of alginate in an aqueous solution by the addition of calcium ions: Analyses of resistance reduction and fouling mechanism	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Membrane Sci.	6. 最初と最後の頁 312-321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.memsci.2017.04.050	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 片桐誠之, 山内一也, 川崎健二, 入谷英司	4. 巻 43
2. 論文標題 嫌気条件下における活性汚泥の膜濾過特性の変化と有機酸の産生	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 化学工学論文集	6. 最初と最後の頁 289-295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/kakoronbunshu.43.289	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 入谷英司, 片桐誠之, 湊純平, 西川匡子	4. 巻 43
2. 論文標題 破碎汚泥の沈降促進におよぼす塩添加効果	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 化学工学論文集	6. 最初と最後の頁 327-335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/kakoronbunshu.43.327	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 E. Iritani, N. Katagiri and T. Yoshida	4. 巻 41
2. 論文標題 Evaluation of Consolidation Behavior by Combined Membrane Filtration and Stepped Cake Compression	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Eng. Technol.	6. 最初と最後の頁 79-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ceat.201700102	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 N. Katagiri, M. Takatsu, S. Kitahata, Y. Mizuno and E. Iritani	4. 巻 16
2. 論文標題 Membrane Type Wastewater Decolorization Using Culture Supernatant of Trametes versicolor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Water Environ. Technol.	6. 最初と最後の頁 54-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2965/jwet.17-026	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 E. Iritani, N. Katagiri and T. Yoshida	4. 巻 18
2. 論文標題 Simplified Evaluation of Consolidation and Expansion Behaviour of Highly Compressible Cake	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Filtration	6. 最初と最後の頁 50-60
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34件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 片桐誠之、水野由貴、北畑智志、入谷英司
2. 発表標題 高圧圧搾操作による白色腐朽菌の高度脱水と生理活性物質の搾出
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片桐誠之、中根涼平、入谷英司
2. 発表標題 酵母・微粒子混合懸濁液の膜濾過特性
3. 学会等名 分離技術会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katagiri, N., R. Matsuyama and E. Iritani
2. 発表標題 Effect of Polysaccharide-Protein Interaction on Membrane Fouling Caused by Microbial Metabolite
3. 学会等名 The 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCChE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katagiri, N., Y. Mizuno, S. Kitahata and E. Iritani
2. 発表標題 Development of MBR Using Enzyme of White-Rot Fungus and Dehydration Properties of Excess Fungus
3. 学会等名 The 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCChE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Cao, D.Q., X.M. Fang, X. Song, X.D. Hao, E. Iritani and N. Katagiri
2. 発表標題 Removal of Heavy Metal Ions by Ultrafiltration Combining Recovery of Extracellular Polymer Substances from Excess Sludge
3. 学会等名 The 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCChE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片桐誠之
2. 発表標題 微生物代謝物の膜濾過挙動解析に基づく膜ファウリングの現象解明
3. 学会等名 ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katagiri, N., R. Matsuyama and E. Iritani
2. 発表標題 Interaction between Polysaccharide and Protein on Membrane Fouling Caused by Microbial Metabolite
3. 学会等名 FILTECH2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katagiri, N., K. Tomimatsu and E. Iritani
2. 発表標題 Effect of Ethanol Concentration on Filter Cake Characteristics in Microfiltration of Yeast Suspension
3. 学会等名 FILTECH2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 入谷英司、片桐誠之、澤田大悟
2. 発表標題 限られた濾過速度データからファウリングの機構・量を個別判定する指標の開発
3. 学会等名 化学工学会第85年会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片桐誠之、入谷英司、湊純平、西川匡子、川崎健二
2. 発表標題 無機塩の段階的添加による破砕汚泥の沈降性能の向上
3. 学会等名 化学工学会第85年会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片桐誠之、増田晴樹、入谷英司
2. 発表標題 ナノコロイドの限外濾過におけるケーキ空隙率の簡易評価法
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片桐誠之、水野由貴、北畑智志、入谷英司
2. 発表標題 白色腐朽菌の酵素液によるMBRの構築と余剰菌の圧搾脱水特性
3. 学会等名 分離技術会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片桐誠之、桑島侑也、入谷英司
2. 発表標題 高圧による微生物細胞の破壊が定速濾過挙動に及ぼす影響
3. 学会等名 分離技術会年会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katagiri, N., K. Tomimatsu and E. Iritani
2. 発表標題 Effect of Ethanol Concentration on Microfiltration Properties of Yeast Suspension
3. 学会等名 International Congress of Chemical and Process Engineering (CHISA 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 入谷英司
2. 発表標題 展開する固液分離工学
3. 学会等名 化学工学会第50 回秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 湊純平、入谷英司
2. 発表標題 無機塩の段階的添加による破砕汚泥の沈降性能の向上
3. 学会等名 化学工学会第50 回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田正秀、入谷英司
2. 発表標題 遠心分離によるエマルションケーキの圧縮透過特性の推算
3. 学会等名 化学工学会第50 回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中根涼平、片桐誠之、入谷英司
2. 発表標題 酵母の膜濾過特性に及ぼす共存微粒子の影響
3. 学会等名 化学工学会第50 回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松山理恵子、片桐誠之、入谷英司
2. 発表標題 微生物代謝物の多糖・タンパク質含有液の膜ファウリング特性
3. 学会等名 化学工学会第50 回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片桐誠之、松山理恵子、入谷英司
2. 発表標題 微生物代謝物による膜ファウリングにおける多糖とタンパク質の相互作用
3. 学会等名 日本水環境学会第53回年会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 片桐誠之、北畑智志、水野由貴、入谷英司
2. 発表標題 食品・菌・酵素を有効活用する膜利用型廃水処理プロセスの開発
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片桐誠之、伊達圭一、富松奎佑、入谷英司
2. 発表標題 アルコール含有酵母懸濁液の精密濾過特性
3. 学会等名 分離技術会年会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yamaoka, Y., N. Katagiri and E. Iritani
2. 発表標題 Microfiltration Behaviors of Colloid of Dual-Sized Submicron Particles through Semi-Permeable Membrane
3. 学会等名 Water and Environment Technology Conference 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masuda, H., N. Katagiri and E. Iritani
2. 発表標題 Evaluation of Flux Decline Behaviors in Variable-Pressure Dead-End Ultrafiltration Controlled by Cake Formation of Nanocolloids
3. 学会等名 Water and Environment Technology Conference 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Mizuno, Y., S. Kitahata, M. Takatsu, N. Katagiri and E. Iritani
2. 発表標題 Membrane Type Wastewater Decolorization Using Culture Supernatant of <i>Trametes versicolor</i> and Squeezing of Physiologically Active Substance from Fungus Body
3. 学会等名 Water and Environment Technology Conference 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomimatsu, K., N. Katagiri and E. Iritani
2. 発表標題 Microfiltration Properties of Alcohol-Containing Yeast Suspension
3. 学会等名 The 7th Asian Particle Technology Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshida, T., N. Katagiri and E. Iritani
2. 発表標題 Dynamic Behaviors in Consolidation of Bentonite Cake Evaluated by Combined Filtration and Stepped Cake Compression Test
3. 学会等名 The 7th Asian Particle Technology Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 富松奎佑、伊達圭一、片桐誠之、入谷英司
2. 発表標題 酵母懸濁液の濾過・圧密特性に及ぼすエタノール濃度の影響
3. 学会等名 化学工学会第49 回秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田智貴、入谷英司
2. 発表標題 ステップケーキ圧縮を伴う濾過試験によるケーキ圧密の動的挙動の推算
3. 学会等名 化学工学会第49 回秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katagiri, N., Y. Kuwajima, H. Kawahara and E. Iritani
2. 発表標題 Evaluation of Microbial Cake Characteristics under High Pressure Conditions
3. 学会等名 The 11th International Conference on Separation Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山岡裕輝、入谷英司
2. 発表標題 異なる粒径のコロイド粒子の膜透過を考慮した精密濾過速度の推算
3. 学会等名 化学工学会金沢大会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 片桐誠之、水野由貴、北畑智志、入谷英司
2. 発表標題 余剰白色腐朽菌の高圧圧搾脱水と生理活性物質の検出
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片桐誠之、澤田大悟、入谷英司
2. 発表標題 膜ファウリングの機構と量を個別判定するファウリングポテンシャルの提案
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片桐誠之、澤田大悟、入谷英司
2. 発表標題 膜ファウリングの機構と量を個別判定するファウリングポテンシャルの提案
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 片桐誠之	4. 発行年 2019年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 634
3. 書名 「分離プロセスの最適化とスケールアップの進め方」第11章3節アフィニティ膜濾過法によるプラスミドDNAの精製	

1. 著者名 入谷英司	4. 発行年 2018年
2. 出版社 テクノシステム	5. 総ページ数 752
3. 書名 粉体の表面処理・複合化技術集大成 る過と沈降分離（基礎編第1章，第8節）	

1. 著者名 片桐誠之	4. 発行年 2018年
2. 出版社 三恵社	5. 総ページ数 217
3. 書名 物質循環とマテリアル開発 - マテリアル開発におけるシステムの思考の有用性 - 分離プロセス (第4章, 4.1)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

名城大学理工学部環境創造工学科エネルギー・資源循環分野片桐研究室 <a href="http://www1.meijo-u.ac.jp/~katagiri/index.html">http://www1.meijo-u.ac.jp/~katagiri/index.html</a>
---

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
研究分担者	入谷 英司  (IRITANI Eiji)  (60144119)	名古屋大学・工学研究科・教授    (13901)	

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