

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05137

研究課題名(和文) 物質の吸収・吸着・保持能を生かした機能性ゲル触媒の創製

研究課題名(英文) Development of polymer gel catalyst with function of absorption, adsorption, and loading of substance

研究代表者

徳山 英昭 (Tokuyama, Hideaki)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10363029

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)：本研究では、ゲルの構造上の特徴である溶媒吸収能および高分子構造の選択の自由度が高いことを生かした物質吸着能を付与して、ゲル内部に特異な新規反応場を形成することを提案・実現し、反応の速度および選択性の向上などの性能を飛躍的に強化した種々の機能性ゲル触媒を創製した。さらに、活性部位(酸性官能基、金属ナノ粒子、生体触媒など)の有効な保持能を創意工夫した。当該ゲルの性能を社会実装に繋がる化学工業・環境・バイオエネルギー分野で有用な種々の反応系を例に検証し、その適用可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

特異的な溶媒吸収能や物質吸着能、および活性部位の有効な保持能を持つ機能性ゲル触媒の創製、機能発現のメカニズムの解明と体系化、およびゲル触媒の高機能化と設計指針に関する学術基盤の構築を達成した点に学術的意義がある。また、機能性ゲル触媒のコンセプト自体が、文献等で前例がない独自のものである。ゲル酸触媒を用いたバイオディーゼル燃料製造、金属ナノ粒子担持ゲルを用いた有機合成反応、酵母固定化多孔質ゲルを用いたエタノール発酵、など、開発した機能性ゲル触媒を社会的に有用な反応系に応用した点に社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：We developed various types of gel catalyst such as copolymer gels bearing a sulfo group (acid catalyst), metal nanoparticle-loaded gels, and biocatalyst-loaded gels. The adsorption or absorption of reactants onto gel catalysts can enhance the apparent rate of the reaction occurring within the gel. The performance and feasibility of gel catalysts were demonstrated for following reaction systems useful in the chemical industry, environment, and bioenergy fields; the Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction catalyzed by Pd nanoparticle-loaded gels; arsenic adsorption and sensing by zirconia nanoparticle-loaded hydrogels; the ethanol fermentation catalyzed by yeast cell-immobilized macroporous monolithic hydrogels; the biodiesel fuel production catalyzed by copolymer gels bearing a sulfo group.

研究分野：工学

キーワード：高分子ゲル 触媒 金属ナノ粒子 酵母 反応工学 吸着 吸収 拡散

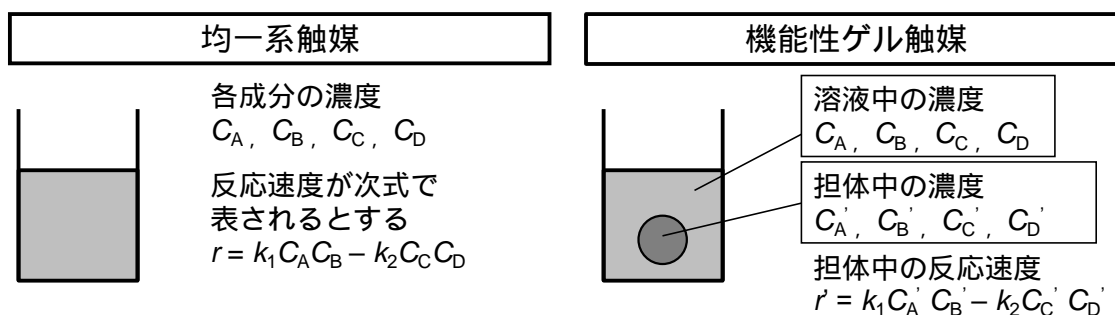
### 1. 研究開始当初の背景

液相の化学反応の触媒は、液相に溶解する均一系触媒と固体状の不均一系触媒とに分類される。一般的に均一系触媒は、基質と触媒の接触頻度（活性）が高く、反応の選択性を制御できうるが、反応後に分離プロセスを要し、使い捨てになることが多い。一方、不均一系触媒は、活性部位を不溶性の担体に付与したものであり、反応系からの分離・再利用が容易だが、活性が低くなりがちである。工業プロセスでは、省エネルギー、低コスト、および触媒資源有効利用の観点から、不均一系触媒の利用が望まれるが、反応の活性や選択性の点で均一系触媒が採用されることが多い。例えば、医薬品合成工業では、高価な有機パラジウム錯体が反応に供された後、晶析操作で製品と分離されて廃棄されるケースがある。

本研究では、担体として高分子ゲルに着目した。ゲルは、溶媒を含んで膨潤した三次元網目構造の高分子であり、固体のようにハンドリングできるが、ゲル内部は液体のようでもある。ゲルは、無機材料とは異なる構造上の特徴に起因する以下の特長を有する。(i)高分子網目に、金属や生体触媒（酵素など）と相互作用（または結合）する官能基を容易に導入できる。(ii)高分子網目の中に生体触媒や金属ナノ粒子触媒を漏出なしで分散して保持（包括固定）できる。(iii)膨潤ゲル（含溶媒率 80-90%程度を想定）内の物質の拡散抵抗がほとんど生じないため、バルク体として利用できる。さらに、高分子構造の創意工夫とそれを実現するゲル作製技術の確立により、高度利用できるゲル触媒材料を開発できると考える。

本研究では、不均一系触媒に用いる担体に創意工夫を凝らし、特異な新規反応場をつくることで触媒特性（反応速度、活性、選択性など）を飛躍的に（均一系触媒の性能以上に）向上させる手法を提案する。例えば、反応系が無溶媒や水溶媒の場合、ゲルに反応物の吸収・吸着能を持たせる工夫をすれば、ゲル内に外部の液相とは異なる物質の濃度の環境を構築でき（例えば反応物をゲル内に高濃度に集める）、反応速度を向上できると考える（図1）。

例：  $A + B \rightleftharpoons C + D$  の反応（無溶媒または水溶媒）



ゲルがAとBをよく吸収（または吸着）しCおよびDを吸収しにくければ、すなわち、 $C'_A > C_A, C'_B > C_B, C'_C < C_C, C'_D < C_D$  であれば、正反応が進行しやすくなる ( $r' > r$ )

図1 ルシャトリエの原理を活かした機能性ゲル触媒の反応速度の向上の概念図

### 2. 研究の目的

本研究では、化学工業・環境・バイオエネルギー分野での高性能・低環境負荷型の反応プロセスの構築を目指して、特異的な溶媒吸収能や物質吸着能、および活性部位の有効な保持能を持つ機能性ゲル触媒の創製、機能発現のメカニズムの解明と体系化、およびゲル触媒の高機能化と設計指針に関する学術基盤の構築を目的とする。例えば、金属ナノ粒子担持ゲルを開発し触媒反応へと応用した既往の研究は僅かにあるが、ゲルが単なる金属ナノ粒子の入れ物に留まっている。一方、本研究では、ゲルの構造上の特徴である溶媒吸収能および高分子構造の選択の自由度が高いことを生かした物質吸着能を付与して、ゲル内部に特異な（不均一系触媒では実現不可能な）新規反応場を形成することを提案し、反応の速度および選択性（目的生成物の収率）の向上などゲル触媒の性能を強化する。このコンセプト自体が、文献等で前例がない独自のものである。コンセプト（仮説）を普遍的に検証するために、工学的に有用な様々な反応系に対して酸触媒、金属触媒、生体触媒などタイプの異なる種々のゲル触媒を開発する。以下の4つのテーマを検討した。

#### (1) バイオディーゼル燃料製造のためのゲル酸触媒の開発

化石燃料に代わるクリーンなバイオディーゼル燃料（BDF）は、植物油に含まれる脂肪酸とアルコールとのエステル化合物である。BDF 製造と副生物のグリセロールの改質（燃料添加剤）に有用なゲル酸触媒を開発する。モデル反応は、オレイン酸とエタノールからオレイン酸エチルと水を生成するエステル化、およびグリセロールとアセトンからソルケタールと水を生成するアセタール化とする。両反応ともに酸触媒下で進行するので、スルホ基を部分的に導入した種々

のタイプのゲルを作製する。ゲルへのスルホ基の過度の導入は、副生成する水の吸収が良くなり、反応の進行の妨げになると予想した。本テーマでは、ゲルの溶媒吸収能と反応特性の関係(図1)が明瞭に理解できる。なお、本実験系のエタノールは後述のテーマ(3)に関連してバイオエタノールの利用を想定しており、両テーマの成功により、原料が完全にバイオマス由来で、廃棄物レスの超低環境負荷型のBDF製造システムが構築できる。

#### (2) 金属ナノ粒子担持ゲル触媒の作製技術の確立と有機合成反応への応用

金属ナノ粒子担持ゲル触媒の作製法には還元法と包括法がある。還元法について、金属イオンの吸着能を持つゲルを作製し、このゲルに金属イオンを吸着させ、次いで試薬を用いて還元処理して金属ナノ粒子担持ゲル触媒を開発する。Pd ナノ粒子担持ゲル触媒を用いて、医薬品や液晶などの材料合成で汎用されている炭素-炭素結合反応(鈴木・宮浦クロスカップリング反応)を行う。親・疎水性や金属イオンとの相互作用基が異なる種々のタイプのゲルを作製し、ゲルの種類が触媒活性に及ぼす影響を明らかにする。同様に、Au ナノ粒子担持ゲル触媒を開発し、その触媒反応特性を評価する。包括法について、既製の金属(あるいは金属酸化物)ナノ粒子の存在下でゲルを合成して金属ナノ粒子担持ゲル触媒を作製する。ジルコニアナノ粒子担持ゲル触媒を開発し、その触媒反応特性を評価する。

#### (3) エタノール発酵のための酵母固定化多孔質ゲルの開発

ブラジル国などでは、サトウキビなど糖質原料を遊離の酵母を用いた発酵プロセスで燃料用エタノールを生産しているが、酵母の早期凝集沈殿現象による活性の低下や再利用性に問題がある。これを改善すべく、本テーマでは酵母固定化多孔質ゲルを開発する。まず、感温性ゲル(温度変化に応答して親疎水転移や体積相転移を引き起こす)の熱誘起相分離現象を利用して数十 $\mu\text{m}$ の連結孔を持つ多孔質ゲルを作製し、次いで含浸法により酵母を固定化する。さらに、グルコースの吸着能を持つゲルを開発し、見かけの発酵速度の増大を実現する。

#### (4) $\text{N}_2\text{O}$ 生成反応のための微生物/Cu 固定化ゲルの開発

微生物を用いたアンモニア含有排水処理では、反応経路の中間体の $\text{NH}_2\text{OH}$ と $\text{NO}_2^-$ がCuイオンを触媒として反応して $\text{N}_2\text{O}$ ガス( $\text{CO}_2$ の約300倍高い温暖化能がある大気汚染物質)が生成すること、この $\text{N}_2\text{O}$ 生成は微生物の存在下でさらに促進されることが知られている。この現象を逆手に取り、排水処理であえて $\text{N}_2\text{O}$ ガスを生成させ、バイオ由来のメタンなどと燃焼反応させて燃焼助剤として有効利用するとともに無害化する新規システムの構築を図る。そのための、微生物/Cu固定化ゲル触媒を開発する。ゲルという閉じた系の中で、微生物(アンモニア酸化細菌)が触媒するアンモニアからの $\text{NH}_2\text{OH}$ の生成反応、および不安定な $\text{NH}_2\text{OH}$ を基質としCuが触媒する $\text{N}_2\text{O}$ 生成反応を逐次的に行うことで、 $\text{N}_2\text{O}$ の生産性を高める。

### 3. 研究の方法

#### (1) ゲル酸触媒の開発と特性評価

スルホ基をもつ2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid (AMPS) と他成分との共重合ゲルをフリーラジカル重合で合成した。共重合ゲルの主モノマーには、ethoxyl diethyleneglycol acrylate (EDGA)、*N,N*-dimethylacrylamide (DMAA)、*N*-isopropyl acrylamide (NIPA) などを用いた。オレイン酸とエタノールからオレイン酸エチルと水を生成するエステル化、およびグリセロールとアセトンからソルケタールと水を生成するアセタール化の回分反応実験を行った。ゲルの溶液の吸収特性の評価として、種々のディスク状ゲルを乾燥させてから反応実験と同じ温度の種々の溶液(上記の反応に関わる成分)に浸した時の直径を測定した。

#### (2) Pd ナノ粒子担持ゲル触媒開発と特性評価

まず、Pd(II)イオンの吸着能を持つゲルとして、チオール基を持つallyl mercaptan (AM) と種々の他成分との共重合ゲル、および種々のアミン系モノマーのゲルをフリーラジカル重合で合成した。そのゲルに、Pd(II)イオンを吸着させ、次いで還元剤 $\text{NaBH}_4$ を作用させてPdナノ粒子担持ゲル触媒を作製した。ヨードベンゼンとフェニルボロン酸からピフェニルを生成する鈴木・宮浦クロスカップリング反応を行った。

#### (3) 酵母固定化多孔質ゲルの開発と特性評価

感温性ゲルであるNIPAゲルおよびmethoxy triethyleneglycol acrylate (MTGA)ゲルは、それぞれ約33および約70の転移温度を持つ。これらのゲルをフリーラジカル重合で合成する際、転移温度以上の温度条件にして、高分子の熱誘起相分離現象を引き起こさせて多孔質構造を形成した。食料品店等で市販されているパン酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)を用いた。酵母の培養液にゲルを浸して、ゲルに酵母を吸着固定させた。モデル糖液としてグルコースおよびその他の成分(栄養源や無機塩)を含む水溶液を用い、回分および連続操作のエタノール発酵を行った。

#### (4) ポリエチレンイミン含有 semi-IPN ゲルの開発と特性評価

最終的には微生物/Cu固定化ゲルの作製を目指したが、まず、Cuイオンを吸着するゲルを開発した。ポリエチレンイミン(PEI)を含むモノマー水溶液をフリーラジカル重合で合成した。つまり、高分子ゲルの網目構造にPEIを相互侵入させたPEI含有semi-IPNゲルを開発した。当該ゲルへのCuイオンの吸着実験を行った。そして、Cuイオンを吸着したゲルを触媒として、 $\text{NH}_2\text{OH}$ を基質とする $\text{N}_2\text{O}$ 生成反応を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) AMPS 共重合ゲルのBDF製造に関連する反応特性

結果の一例として、図2に、種々のゲル触媒を用いたグリセロールとアセトンからソルケタールと水を生成するアセタール化反応(50)の収率の経時変化を示す。主モノマーを変えた6種類のAMPS共重合ゲルを試験したが、その反応速度(触媒活性)は、ゲルごとに異なった。いずれのAMPS共重合ゲルも、その触媒活性は、AMPSゲルおよび市販の陽イオン交換樹脂Amberlystのそれよりも高かった。図2に、ゲルの溶液の吸収特性として、ゲルの単成分溶液中の膨潤比( $d/d_0$ )<sup>3</sup>;ゲルの合成時の直径 $d_0$ ;溶液中のゲルの直径 $d$ )を示す。2つの図を見比べると、反応物であるグリセロールとアセトンの吸収能が高く、生成物であるソルケタールと水の吸収能が低いゲルが、良好な触媒活性を示していることが分かる。つまり、図1に示したが概念が実現された。本研究では、同種のゲル触媒を用いてオレイン酸とエタノールからオレイン酸エチルと水を生成するエステル化も評価し、上記と同様の溶液吸収特性と反応特性の相関が得られた。以上の成果を英語論文発表した(Reactive & Functional Polymers, 2021)。

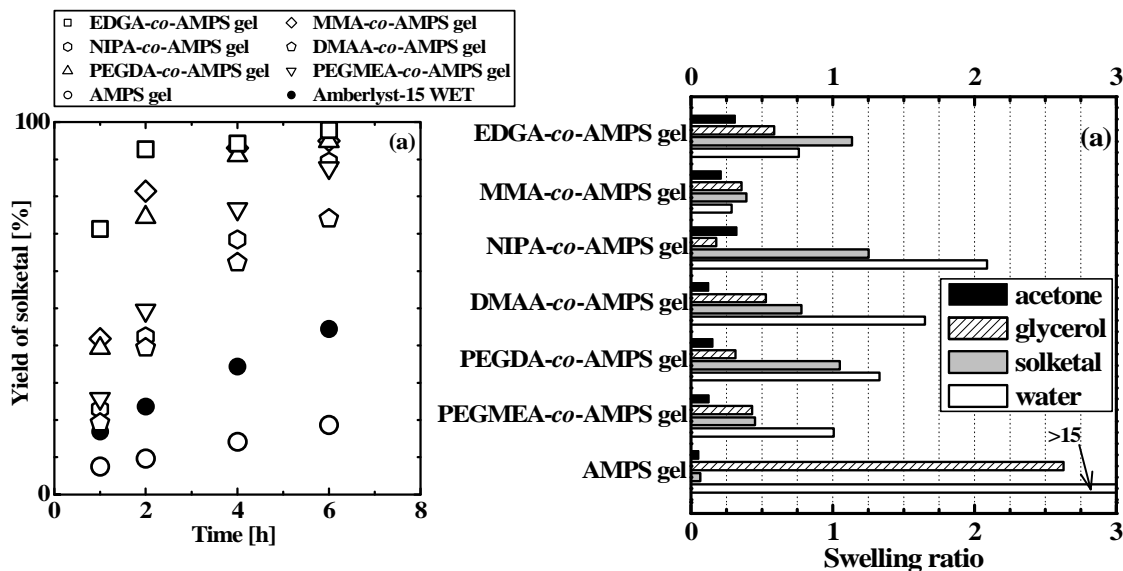


図2 種々のゲル触媒のアセタール化反応速度と純溶媒中の膨潤比

## (2) 金属ナノ粒子担持ゲル触媒の有機合成反応への応用

チオール基を持つAMを用いたAM共重合ゲルを3種、アミン系モノマーを用いたゲルを3種、合計6種のゲルを開発した。いずれのゲルもPd(II)イオンの吸着能を示し、視覚的にも確認できた(図3の黄色のゲル)。このゲルを還元処理すると黒色になり、ゲル内でのPdナノ粒子の生成が窺われ(図3)透過型電子顕微鏡(TEM)観察でも10-20 nm程度のPdナノ粒子の存在が明らかとなった。図3に、ヨードベンゼンとフェニルボロン酸からビフェニルを生成する鈴木・宮浦クロスカップリング反応(60)の収率の経時変化を示す。ゲルごとに反応速度(触媒活性)が異なるが、総じてAM共重合ゲルの活性が高かった。この理由として、ゲル内のPdナノ粒子の分散状態が影響していると考えられた。TEM観察より、AM共重合ゲルでは良好な分散状態であり、アミン系のゲルでは凝集が見られた。Pdナノ粒子が凝集してしまうと反応に寄与する表面積が減少してしまい、見かけの活性が低下したと考えられる。金属と有機配位子との相互作用のしやすさの指標にHSAB(hard and soft acids and bases)則があり、この観点で言うと、Pdはチオールと相互作用しやすいため、AM共重合ゲルはPdナノ粒子の分散保持に有効だったと考えられる。Pdナノ粒子担持ゲル触媒は空气中で利用できる点に特長がある(従来のPd錯体触媒は窒素等の不活性ガス雰囲気を用いるのが一般的)。以上の成果を英語論文発表した(Materials Today Communications, 2020)。

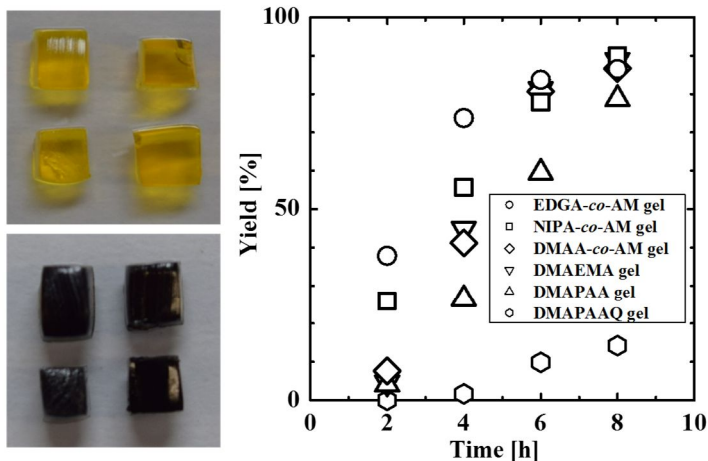


図3 種々のPdナノ粒子担持ゲル触媒(黄色のゲルはPdイオンの吸着状態;黒色のゲルはPdナノ粒子を担持)を用いた鈴木・宮浦カップリング反応の収率の経時変化

Pdナノ粒子担持ゲルに反応物の吸着能を付与して見かけの反応速度を向上させる研究を遂行して一定の成果を得たが、成果発表するまでには至らなかった。

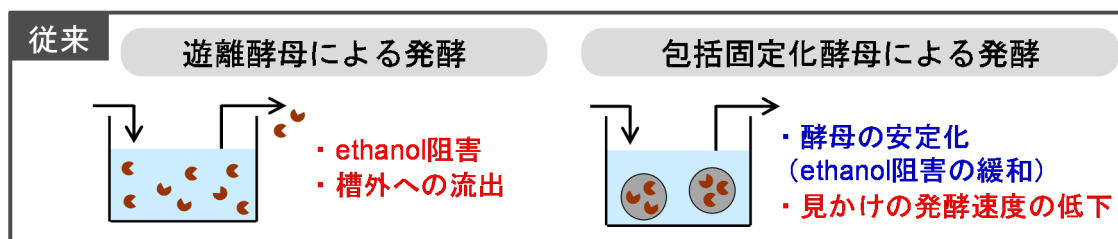
Auナノ粒子担持ゲル触媒を開発し、その触媒反応特性(*p*-nitrophenolの還元反応特性)を評

価した。ここでは、mm オーダー、 $\mu\text{m}$  オーダー、および nm オーダーのゲル粒子を作製し、ゲル内の物質の拡散と反応の速度論について評価、解析し、拡散律速を避けるためのゲル触媒の粒子径の設計指針を構築した。研究成果の詳細は、発表した英語論文に譲る (Journal of Chemical Engineering of Japan, 2021)。また、全てのゲル触媒において、ゲル内の物質の拡散は見かけの反応速度に影響する重要な因子である。ゲル内の物質の拡散係数を予測するモデルに関する研究も行い、英語論文発表した (Journal of Membrane Science, 2020)。

ジルコニアナノ粒子担持ゲル触媒を開発した。ジルコニアは酸触媒であり、アセタール化を触媒することが知られている。当該ゲル触媒もテーマ (1) のアセタール化を触媒したが、AMPS 共重合ゲルと比べて活性が低かった。そこで、予定を変更し、当該ゲル触媒をヒ素の吸着材および水溶液中の濃度測定を行うセンサを開発した。この成果を英語論文発表した (Reactive & Functional Polymers, 2020)。本成果は、水環境におけるヒ素の検出が行える簡易装置開発に繋がる。

### (3) 酵母固定化多孔質ゲルを用いたエタノール発酵

酵母固定化多孔質ゲルの走査型電子顕微鏡観察により、ゲルの内部構造は数十 $\mu\text{m}$ の連結孔を持つこと、およびその孔内に数 $\mu\text{m}$ の酵母が存在していたことが明らかとなった。つまり、酵母は、ゲルの連結孔を通して、ゲル内外を行き来できる。連続エタノール発酵プロセスは酵母を増殖させながら行うため、この多孔質ゲルを担体に用いることで、ゲル内で増殖した酵母がゲル外へ移動して遊離酵母として触媒するため、図4に示す、遊離酵母と固定化酵母を併用するハイブリッドシステムが構築できる。本提案は文献等で前例のないものであり、本研究の回分および連続式のエタノール発酵実験で当該システムを実証した。結果の詳細は、発表した英語論文に譲る (Reactive & Functional Polymers, 2021)。さらに、グルコースの吸着能を持つゲルの開発にも取り組んだが、良好な結果は得られなかった。



貫通孔を持つ多孔質ゲルを担体に用いて、遊離酵母と固定化酵母を併用するハイブリッドシステムを提案

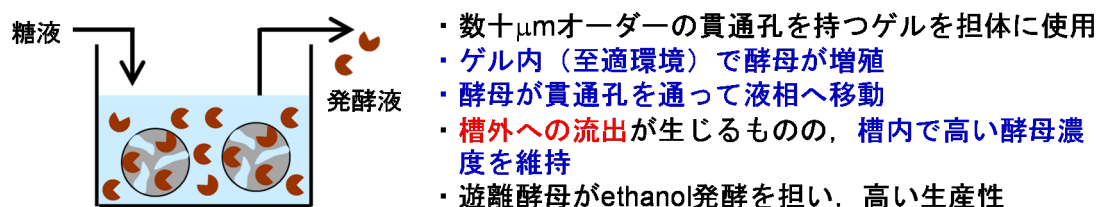


図4 連続エタノール発酵の概念図と特徴

### (4) $\text{N}_2\text{O}$ 生成反応のための微生物/Cu 固定化ゲルの開発

PEI 含有 semi-IPN ゲルは、良好に Cu イオンを吸着したが、Zn など他の金属イオンも吸着した。排水中には様々な金属イオンが含まれており、本研究の狙いとして Cu イオンを高選択で吸着する材料開発を目指したが、困難だった。また、Cu イオンを吸着したゲルは  $\text{NH}_2\text{OH}$  を基質とする  $\text{N}_2\text{O}$  生成反応を触媒したが、その進行具合は水溶液の pH 等の条件に依存し、排水処理で想定される pH や種々の無機塩等の存在状況下では困難だった。当初の予定を変更し、独創性の高いユニークな構造を持つ当該ゲルを有機合成反応 (Henry 反応) の触媒に応用する検討を進めて一定の成果を得ており、今後、研究を進展させる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Tokuyama Hideaki, Ishikawa Satoshi, Onodera Motoyasu, Saito Akio	4. 巻 24
2. 論文標題 Preparation of Pd-loaded gels bearing a thiol group and their catalytic activities in the Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Today Communications	6. 最初と最後の頁 101084 ~ 101084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtcomm.2020.101084	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 Tokuyama Hideaki, Nakahata Yu, Ban Takahiko	4. 巻 595
2. 論文標題 Diffusion coefficient of solute in heterogeneous and macroporous hydrogels and its correlation with the effective crosslinking density	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Membrane Science	6. 最初と最後の頁 117533 ~ 117533
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.memsci.2019.117533	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 Tokuyama Hideaki, Kitamura Eri, Seida Yoshimi	4. 巻 146
2. 論文標題 Development of zirconia nanoparticle-loaded hydrogel for arsenic adsorption and sensing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Reactive and Functional Polymers	6. 最初と最後の頁 104427 ~ 104427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.reactfunctpolym.2019.104427	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 Kato Gakuto, Doi Hayato, Ohashi Hidenori, Tokuyama Hideaki	4. 巻 54
2. 論文標題 Effect of Structural Features of Polymer Gels Containing Au Nanoparticles on Their Catalytic Properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN	6. 最初と最後の頁 648 ~ 656
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.21we038	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 Tokuyama Hideaki, Aoyagi Ryo, Fujita Kazuto, Maekawa Yuki, Riya Shohei	4. 巻 169
2. 論文標題 Ethanol fermentation using macroporous monolithic hydrogels as yeast cell scaffolds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Reactive and Functional Polymers	6. 最初と最後の頁 105075 ~ 105075
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.reactfunctpolym.2021.105075	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 Tokuyama Hideaki, Ohno Hiroki, Fujita Tara	4. 巻 165
2. 論文標題 Effect of polymer matrices of gels bearing a sulfo group on their catalytic properties for acetalization of glycerol to solketal and esterification of oleic acid to ethyl oleate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Reactive and Functional Polymers	6. 最初と最後の頁 104943 ~ 104943
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.reactfunctpolym.2021.104943	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6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 徳山英昭, 中畑優
2. 発表標題 不均質および多孔質構造のハイドロゲル中の溶質の拡散係数と架橋密度の相関
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳山英昭, 石川 聡, 小野寺 基泰, 齊藤 亜紀夫
2. 発表標題 パラジウム担持ゲル触媒の開発と鈴木・宮浦カップリング反応への応用
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 H. Tokuyama, S. Ishikawa, A. Saito
2. 発表標題 Development of palladium nanoparticle-loaded polymer gels and their application to Suzuki-Miyaura coupling reaction
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 徳山英昭, 中畑優
2. 発表標題 不均質構造のゲル中の溶質の拡散係数と架橋密度の相関
3. 学会等名 分離技術会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木耀, 大橋秀伯, 徳山英昭
2. 発表標題 大気圧プラズマグラフト重合による複合材料の創製と触媒としての応用
3. 学会等名 化学工学会第87年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田多良, 大野弘貴, 徳山英昭
2. 発表標題 高分子ゲルの物質の吸収特性が触媒活性に及ぼす影響
3. 学会等名 化学工学会第87年会
4. 発表年 2022年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

徳山研究室ホームページ  
<http://www.tuat.ac.jp/~tokuyama/>

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