

令和 5 年 5 月 17 日現在

機関番号：32686

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05570

研究課題名(和文) 分子間相互作用および分子集合体界面における物質透過現象の速度論的解析法の開発

研究課題名(英文) Development of analytical method for kinetic study on intermolecular interactions and solute permeation at the interface of molecular aggregates

研究代表者

宮部 寛志 (MIYABE, Kanji)

立教大学・理学部・教授

研究者番号：10281015

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)：分子間相互作用の反応速度定数や分子集合体界面における物質透過速度定数を解析的に求める方法を開発し、それをモデル実験系に適用してその有用性を実証した。高速液体クロマトグラフィーを用いて実験データを測定し、それをモーメント理論により解析した。本法ではリガンド分子の固定化や溶質分子の蛍光標識化を行わないため、既往の解析法とは異なり分子の固定化や化学修飾の影響を受けることなく本来の相互作用情報を正確に解析できる。また、分子集合体が本来あるべき状態に近い条件下において界面透過現象を解析できる。実験データ解析の際に必要なモーメント式は自ら開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した化学現象解析法では、溶質やリガンド分子の固定化や蛍光標識化が不要であるため化学的に非修飾の遊離分子間における本来の相互作用情報を解析することができる。また、分子集合体に何等かの化学修飾や物理作用を加えることなく、分子集合体が本来あるべき状態により近い条件下における界面物質透過現象の解析が可能である。汎用性の高いHPLCのみを使用するため、化学現象解析の機会を広く数多くの研究者や技術者に提供し、関連研究の推進に寄与するものと期待される。さらにこれまで分離分析法として利用されてきたHPLC機能を分離分析とは異なる化学特性解析の新たな領域へと拡張する。

研究成果の概要(英文)：A method was developed for the analytical determination of rate constants of intermolecular interactions and those of solute permeation at the interface of molecular aggregates. High performance liquid chromatography was used for measuring experimental data, which were analyzed on the basis of the moment theory. To demonstrate the effectiveness of the method, it was applied to some concrete experimental systems. Compared with conventional methods, some items of information about intermolecular interactions can be obtained more accurately by the method because neither immobilization nor fluorescence labelling of solute and ligand molecules is required. Interfacial solute permeation can also be analyzed under the preferable conditions that molecular aggregates originally should be. Moment equations required for the analysis of experimental data were also developed.

研究分野：分析化学

キーワード：モーメント理論 分子間相互作用 化学反応速度 界面透過現象 分子集合体 リポソーム 界面活性剤ミセル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 本研究の学術的背景

分子間相互作用の既往の解析法(表面プラズモン共鳴法等)を利用する場合には、実験データ測定の際に分子の固定化や蛍光標識化が必要である。しかし、分子は本来化学的に非修飾の遊離した状態で相互作用するため、従来法では相互作用の解析結果に対する分子の固定化や蛍光標識化の影響が懸念され、分子間相互作用を従来法により正確に解析できるか否か非常に疑問である。このような背景から、分子の固定化や蛍光標識化を必要とせず、分子間の本来の相互作用情報をより正確に解析できる解析法の開発が強く望まれている。

上記の解析法を開発するにあたり、HPLCは原理的に優れた特長を有する。すなわち、HPLC系では分離系内において化学反応や物質移動現象が自動的にかつ無数に繰り返されるため、それらに関する化学情報を積算・増幅して検出することができる。ただし、リガンドを固定相表面に固定化してHPLC実験を行う場合には、遊離状態の分子間における本来の相互作用情報を得ることは難しい。そこで本研究では、移動相中にリガンドを溶解して溶質をパルス注入し、カラム内で溶質とリガンドを化学的に非修飾の遊離した状態で相互作用させる。HPLC実験により観測される溶出ピークの特徴を解析して目的の速度定数、すなわち会合速度定数( $k_a$ )と解離速度定数( $k_d$ )を求めめるために「モーメント理論」を利用する(図1)。会合平衡定数( $K_A$ )は $k_a$ と $k_d$ の比( $k_a/k_d$ )として求まる。

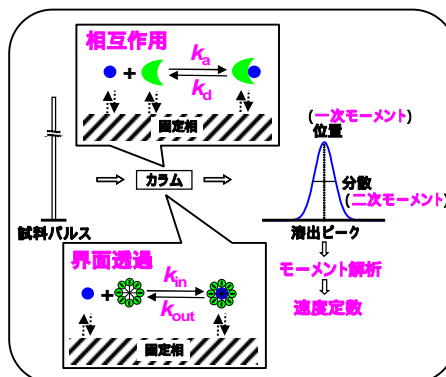


図1 HPLCによる相互作用および界面透過のモーメント解析

従来HPLC分離挙動の動特性は「速度論」に基づき解析されているが、分離系内における化学反応速度や物質移動速度に関する定量的な情報を得るまでには至っていない。本研究では、速度論的な解析情報の種類や定量性の点において「速度論」より優れている「モーメント理論」に基づき、HPLCによる分子間相互作用の新たな解析法を開発する。分離系内での化学反応を伴うHPLC(反応HPLC)のクロマト挙動をモーメント理論に基づき解析し、化学反応の反応速度定数( $k_a$ と $k_d$ )を定量的に取得しようとする研究事例は他にはない。

また、HPLCとモーメント理論の組み合わせによる分子集合体界面における物質透過速度の解析法も開発する。界面活性剤ミセルやリポソーム等の分子集合体はそれを構成するモノマーが比較的弱い力によって精密に組織化した動的システムである。そのため、分子集合体に何等かの化学修飾や物理作用を加えることなく、その界面における物質透過現象を解析する必要がある。本法では、分子集合体が本来あるべき状態により近い条件下における界面物質透過速度定数( $k_{in}$ と $k_{out}$ )の解析が可能であり、既往の解析法よりも迅速に $k_{in}$ と $k_{out}$ を測定できる。分配平衡定数( $K_p$ )は $k_{in}$ と $k_{out}$ の比( $k_{in}/k_{out}$ )として求まる。なお、リポソームはドラッグデリバリーシステムの薬物輸送キャリアとして利用されているが、脂質二分子膜における物質透過速度は輸送キャリアの薬物徐放性能に関連する。さらに、リポソームは人工細胞のモデル物質として利用されており、リポソームの界面透過現象の解析は細胞膜を通しての情報伝達や物質移動現象の特徴や機構の解明とも関連する。

### (2) 研究課題の核心をなす学術的「問い」

リガンドや分子集合体が遊離した状態で移動相中に存在するHPLC系における溶質のクロマト挙動並びに、溶質-リガンド間相互作用あるいは溶質の界面透過現象を解析するためのモーメント式を開発し、新たな解析基盤をモーメント理論に基づき構築できるか。

上記の各モーメント式に基づく分子間相互作用や界面透過の速度論的解析法を利用してモデル実験系でのデータ解析を行い、目的の速度定数が測定できることを実証できるか。

## 2. 研究の目的

### (1) 本研究の目的

分子の固定化や蛍光標識化を必要とせず、分子間の本来の相互作用情報をより正確に解析し、 $k_a$ と $k_d$ を定量的に取得できる解析法を開発する。

分子集合体の本来の存在状態により近い実験条件下において界面物質透過現象をより正確に解析し、 $k_{in}$ と $k_{out}$ を定量的に測定できる解析法を開発する。

### (2) 学術的独自性と創造性

本法では、溶質およびリガンド分子の固定化や蛍光標識化が不要である。そのため、化学的に非修飾の遊離分子間における本来の相互作用の速度定数を求めることができる。

本法では、分子集合体に何等かの化学修飾や物理作用を加えることなく、分子集合体が本来あるべき状態により近い条件下において界面物質透過現象を定量的に解析できる。

解析に必要なモーメント式が存在しないため、それらを自ら開発して新たなモーメント解析基盤を構築する。それに基づき HPLC 系のクロマト挙動をモーメント解析する。

本法では、速度定数を求める際にカーブフィッティングによる試行錯誤的なデータ処理を行わない。実測データから速度定数を解析的（一義的）に求めることができる。

分子間相互作用や界面透過現象の（特に速度論的）解析機能をも有する多機能分析法へと HPLC を発展させ、分離分析以外の新たな領域へと HPLC の適用範囲を拡張する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 研究目標

HPLC 系を利用して分子間相互作用や界面透過現象を速度論的に解析するために必要なモーメント式を全て開発して体系化する。

本法をモデル実験系に適用し、実測溶出ピーク形状を解析して会合・解離速度定数( $k_a$ と $k_d$ )および分子集合体界面における透過速度定数( $k_{in}$ と $k_{out}$ )を求め、本法の妥当性を実証する。正確な解析結果を得るために必要な技術的知見（実験手法等）も集積する。

#### (2) 研究の実施計画

研究代表者（宮部）は研究課題に関連する実験データの測定と解析を行うと共に、研究全体の総括を行う。また、研究協力者（板橋豊先生、北海道大学名誉教授）は油脂化学の専門家であり、リポソーム関連の研究課題に対して助言を頂く。

モーメント式の開発：HPLC データの解析に必要なモーメント式は、(i)Galilei の相対性原理と Laplace 変換法に基づく方法、および(ii)酔歩モデルと拡散に関する Einstein 式を組合せる方法により導出する（図 2）。申請者はこれまでに各種分離剤（モノリスやコアシェル粒子等）を用いる HPLC 系およびキャピラリー電気泳動（CE）系のモーメント式を系統的に開発しており、それらの経験と知見を活用する。

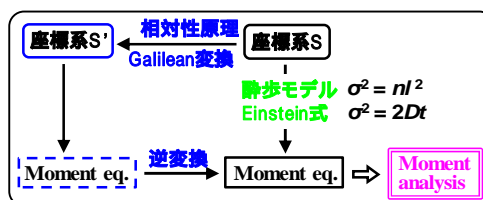


図 2 モーメント式の開発手順の概要

モーメント解析法の妥当性の実証実験：分子間相互作用および界面透過現象の解析に関する実証実験の概要を項目毎に示す。実証実験実施の際には、より正確な解析結果を得るための技術的課題についての検討も行う。

相互作用	タンパク質 - 化合物	逆相液体クロマトグラフィー（RPLC）系を利用し、牛血清アルブミン - メチルオレンジ等の相互作用をモデル実験系として解析を行う。化合物の種類を変化させ、 $k_a$ と $k_d$ 値に対する影響を明らかにする。
	包接反応系	RPLC系を利用し、クラウンエーテル - 金属イオン間の相互作用をモデル実験系として解析を行う。クラウンエーテルや金属イオンの種類等を変化させ、 $k_a$ と $k_d$ 値の変化を調べる。
界面透過	界面活性剤ミセル	RPLC系を利用し、ドデシル硫酸ナトリウム（SDS）ミセル界面におけるフェノール誘導体等の透過現象をモデル実験系として解析を行う。界面活性剤のアルキル鎖長等を変化させ、 $k_{in}$ と $k_{out}$ 値に対する影響を明らかにする。
	リポソーム	ホスホコリン誘導体とホスファチジルセリンの組合せ等を使用し、膜押し出し法によりリポソーム（粒子径：約100 nm）を調製する。溶質としてクマリン等を使用するモデル実験系で $k_{in}$ と $k_{out}$ を測定する。リン脂質や溶質の種類等を変化させ、 $k_{in}$ と $k_{out}$ 値に対する影響を明らかにする。RPLCおよびサイズ排除クロマトグラフィー（SEC）系の利用を検討する。

### 4. 研究成果

#### (1) モーメント式の開発

HPLC 系としては逆相液体クロマトグラフィー（RPLC）系およびサイズ排除クロマトグラフィー（SEC）系を利用して分子間相互作用および界面物質透過現象を解析する予定であるため、これら 4 つの組み合わせの全てについて、図 2 の記述内容に従い、実験データの解析に必要なモーメント式を開発した。HPLC 実験で測定する溶出ピークの一次絶対モーメント ( $\mu_{1A}$ ) および二次中央モーメント ( $\mu_{2C}$ ) から目的の平衡定数および速度定数を求めるための理論基盤を構築した。

#### (2) モーメント解析法の実証実験（分子間相互作用）

以下の および に記載の各実験系における分子間相互作用を解析して  $K_A$ 、 $k_a$  および  $k_d$  を求め、本法の有用性を実証した。

タンパク質 - 化合物間相互作用

RPLC系を利用し、牛血清アルブミン(BSA)とメチルオレンジの組み合わせをモデル実験系として両者間の相互作用を解析した。

カラムとしてTMSカラム(6.0 x 150 mm、粒子径5  $\mu\text{m}$ )を使用した。移動相としてメタノール/20 mMリン酸緩衝溶液(pH=7.0)の70/30(v/v)混合溶液を使用した。移動相中のBSA濃度を0、5および10 mMに調整し、メチルオレンジ溶液(0.3 mM)を注入してその溶出ピークを測定した(移動相流速1.0 mL min<sup>-1</sup>、カラム温度35、検出波長464 nm)。その $\mu_{1A}$ と $\mu_{2C}$ 値から $K_A$ 、 $k_a$ および $k_d$ を求めた。

次に記すの低分子間の相互作用の場合と同様、高分子化合物が関わる分子間相互作用についても $K_A$ 、 $k_a$ および $k_d$ の値を求めることが可能であった。しかし、試薬の種類を変える、あるいは試薬の濃度条件をより広い範囲で変化させる等、今回の解析結果の妥当性に関する系統的な検証が今後さらに必要である。

#### 包接反応系の分子間相互作用

クラウンエーテル-金属イオン間の包接反応を解析し、モーメント解析法の有用性を実証した。クラウンエーテルとしてはジベンゾ-18-クラウン6-エーテル(DB18C6)およびジベンゾ-15-クラウン5-エーテル(DB15C5)を使用した。金属イオンとしてはアルカリ金属(Li, Na, K, Rb, Cs)およびアルカリ土類金属(Mg, Ca, Sr, Ba)を使用した。いずれも酢酸塩と塩化物を使用した。酢酸塩を使用して1 mM緩衝溶液(pH=4.7)を調製し、金属イオン濃度(0~15 mM)を変化させる場合には塩化物の添加量を変化させて調整した。

カラムとしてODSカラム(4.6 x 150 mm、粒子径5  $\mu\text{m}$ )、移動相としてメタノールと上記の酢酸緩衝溶液の60/40(v/v)混合溶液を使用するRPLC系で実験を行った。カラム温度35および移動相流速1.0 mL min<sup>-1</sup>においてDB18C6あるいはDB15C5の溶出ピークを検出し(波長220 nm)、その $\mu_{1A}$ と $\mu_{2C}$ 値から $K_A$ 、 $k_a$ および $k_d$ を求めた。

クラウンエーテルや金属イオンの種々の組み合わせにおける実験結果に基づき、クラウンエーテル-金属イオン間の分子間相互作用に対するクラウンエーテルの内部空孔径と金属イオンサイズの関係等の影響について検討した。その結果、クラウンエーテルの内部空孔径と金属イオンサイズの一貫度が高い程 $K_A$ は大きくなった。一方 $k_a$ も同様の傾向を示したが、 $k_d$ はその一致度との相関はあまり顕著ではなかった。

#### (3)モーメント解析法の実証実験(分子集合体界面における物質透過現象)

以下のおよびに記載の各実験系における界面物質透過現象を解析して $K_p$ 、 $k_{in}$ および $k_{out}$ を求め、本法の有用性を実証した。

##### 界面活性剤ミセル系の界面物質透過現象

レゾルシノールの同族体や異性体を溶質として使用し、ドデシル硫酸ナトリウム(SDS)ミセル界面における溶質の透過現象を解析した。キャピラリー電気泳動(CE)による実験結果との比較により本法による解析結果の妥当性を確認した。

カラムとしてODSカラム(4.6 x 150 mm、粒子径5  $\mu\text{m}$ )、移動相として20 mMリン酸緩衝溶液(pH=7.0)を用いるRPLC系(カラム温度35)で実験を行った。移動相中にはSDSを溶解し(濃度:5, 10, 15, 20 mM)、流速1.0 mL min<sup>-1</sup>で送液した。試料物質(ヒドロキノン、レゾルシノール、カテコール)およびL-アラニン(非保持物質)を含む試料溶液(10  $\mu\text{L}$ )を注入し、溶出ピークを波長210 nmでUV検出した。各試料物質の溶出ピークの $\mu_{1A}$ と $\mu_{2C}$ 値を解析して、 $K_p$ 、 $k_{in}$ と $k_{out}$ を測定した。

SDSミセルへの分配平衡定数( $K_p$ )の値はヒドロキノン < レゾルシノール < カテコールの順に大きくなり、これはオクタノール/水分分配係数の大小関係と一致した。試料物質の疎水性が大きい程、SDSミセルに分配され易いことが明らかになった。一方、 $k_{in}$ と $k_{out}$ の値も同様の傾向を示したが、試料物質の疎水性の変化に伴う $k_{in}$ と $k_{out}$ の変化率は $k_{in}$ の方が顕著であった。なお、カテコールについては $k_{in}$ と $k_{out}$ の値を正確に決定できなかった。これは溶出ピークの分散に対する界面透過現象の寄与が $K_p$ の増加と共に減少するためである。この場合には、使用するカラムの種類を変えて(例えば、C8カラム等)、カラムへの試料物質の保持性能を低減する等の対応策が考えられる。また、今回使用した試料物質はいずれもベンゼン環に水酸基が2個置換した構造異性体である。それらの化学特性は類似しているが、本法ではそのような場合でも $K_p$ 、 $k_{in}$ と $k_{out}$ を正確に測定できることが明らかになった。

##### リポソームの脂質二分子膜における物質透過現象

試薬使用量の低減化を意図して部分供給HPLC法を考案し、それを利用してリポソームの脂質二分子膜におけるクマリンの透過現象を解析した。リポソームは1,2-ジドデカノイル-sn-グリセロ-3-ホスホコリン(DLPC)とホスファチジルセリン(PS)を組成比80:20(モル比)で混合して調製した。

カラムとしてはジオールシリカゲルカラム(WP300 Diol、2.1 x 150 mm、粒子径5  $\mu\text{m}$ )を使用した。移動相としては2-[4-(2-ヒドロキシエチル)-1-ピペラジン]エタンスルホン酸(HEPES)緩衝溶液(50 mM、pH=7.4)を使用した。POPC/PSリポソームを移動相に分散させ(リン脂質濃度10 mM)、リポソーム溶液の部分注入量を150~600  $\mu\text{L}$ の範囲で段階的に変化させた。カラム

に近いインジェクターからクマリン (2 mM) とウラシル (1 mM) を含む試料溶液 10  $\mu$ L を注入し、それと同時にカラムから遠い位置のインジェクターからリポソーム溶液を注入した。HPLC 実験は、移動相流速 0.208 mL min<sup>-1</sup>、カラム温度 35  $^{\circ}$ C、検出波長 280 nm で行った。クマリンピークの  $\mu_{1A}$  と  $\mu_{2C}$  値を解析して、 $K_p$ 、 $k_{in}$  と  $k_{out}$  を測定した。

上記の界面活性剤ミセルの界面における物質透過現象の場合と同様に  $K_p$ 、 $k_{in}$  および  $k_{out}$  の値を求めることが可能であった。しかし、リポソーム溶液の部分注入量の増加と共にクマリンピークがリポソームピークの上に重なって検出されるようになるため、クマリン溶出ピークの正確な解析が困難 (ベースラインの設定が困難) になった。部分供給条件を変更する等、より正確な解析結果を得るための実験の実施条件に関する検討が今後さらに必要である。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9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 Miyabe, K.; Arai, A.; Ishizuka, M.	4. 巻 93
2. 論文標題 Moment Theory of Chromatography for the Analysis of Reaction Kinetics of Intermolecular Interactions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Anal. Chem.	6. 最初と最後の頁 10365-10371
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.analchem.1c02111	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 Miyabe, K.; Nakajima, M.	4. 巻 42
2. 論文標題 Kinetic Study on Solute Permeation at the Interface of Molecular Aggregates by Partial Filling Capillary Electrophoresis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrophoresis	6. 最初と最後の頁 2528-2537
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/elps.202100252	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 Miyabe, K.	4. 巻 43
2. 論文標題 Moment Equations for Partial Filling Capillary Electrophoresis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electrophoresis	6. 最初と最後の頁 559-570
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/elps.202100293	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 Miyabe, K.	4. 巻 37
2. 論文標題 Simple Moment Analysis for Kinetic Study of Chromatographic Behavior of Spherical Particles and Silica Monoliths	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Anal. Sci.	6. 最初と最後の頁 593-598
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2116/analsci.20P331	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 Miyabe, K.	4. 巻 94
2. 論文標題 Moment Equations for Kinetic Study of Intermolecular Interaction by Size Exclusion Chromatography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Japan	6. 最初と最後の頁 755-761
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200315	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 Miyabe, K.	4. 巻 37
2. 論文標題 Simplification of Moment Analysis Procedure for Kinetic Study of Chromatographic Behavior of Core-Shell Particles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Anal. Sci.	6. 最初と最後の頁 1553-1557
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.21P094	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 Miyabe, K.; Aoki, K.	4. 巻 95
2. 論文標題 Moment Analysis of Solute Permeation Kinetics at an Interface of Mixed Micelles of Anionic and Nonionic Surfactants	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Japan	6. 最初と最後の頁 1715-1722
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20220251	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 Miyabe, K.	4. 巻 1684
2. 論文標題 Moment Theory of Affinity Capillary Electrophoresis for Analysis of Reaction Kinetics of Intermolecular Interactions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Chromatogr. A	6. 最初と最後の頁 463557
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chroma.2022.463557	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 Miyabe, K.; Inaba, S.; Umeda, M.	4. 巻 1687
2. 論文標題 A Study on Attempt for Determination of Permeation Kinetics of Coumarin at Lipid Bilayer of Liposomes by Using Capillary Electrophoresis with Moment Analysis Theory	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Chromatogr. A	6. 最初と最後の頁 463691
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chroma.2022.463691	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11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 宮部寛志、新井亜矢香
2. 発表標題 逆相液体クロマトグラフィーによるクラウンエーテルとアルカリ金属イオンとの包接反応の速度論的解析
3. 学会等名 第81回分析化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮部寛志、妹尾史織、稲葉隼汰
2. 発表標題 リボソーム界面における物質透過現象の速度論的解析
3. 学会等名 第81回分析化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉隼汰、宮部寛志
2. 発表標題 キャピラリー電気泳動法を利用したリボソーム界面における物質透過現象のモーメント解析
3. 学会等名 第81回分析化学討論会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 宮部寛志、梅田萌々子、稲葉隼汰
2. 発表標題 リポソーム脂質二分子膜における溶質透過速度のモーメント解析
3. 学会等名 第15回バイオ化学関連シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉隼汰、宮部寛志
2. 発表標題 キャピラリー電気泳動法を用いたリポソーム界面における物質透過現象のモーメント解析
3. 学会等名 第15回バイオ化学関連シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮部寛志、中島茉莉
2. 発表標題 界面活性剤ミセル界面における物質透過現象の部分注入キャピラリー電気泳動法による速度論的解析
3. 学会等名 分析化学会第70年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉隼汰、宮部寛志
2. 発表標題 リポソーム界面における物質透過現象のモーメント解析
3. 学会等名 第82回分析化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮部寛志
2. 発表標題 部分注入キャピラリー電気泳動法による分子集合体界面における物質透過現象のモーメント解析理論
3. 学会等名 分析化学会第71年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲葉隼汰、内川萌、川尻綾乃、宮部寛志
2. 発表標題 逆相高速液体クロマトグラフィーを用いた界面活性剤ミセル界面における溶質透過現象のモーメント解析
3. 学会等名 分析化学会第71年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮部寛志、稲葉隼汰、梅田萌々子
2. 発表標題 キャピラリー電気泳動とモーメント解析理論の組合せによるリポソーム脂質二分子膜におけるクマリンの透過速度の測定
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤佑馬、宮部寛志
2. 発表標題 逆相液体クロマトグラフィーによる界面活性剤ミセル界面における溶質透過現象のモーメント解析
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023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
---------	---------