

## 2024年度日本膜学会膜学研究奨励賞

2024年度日本膜学会膜学研究奨励賞受賞者は下記の通りです。表彰式は2024年6月12日（水）第46年会表彰式において行う予定です。

### 2024年度日本膜学会膜学研究奨励賞受賞者

太田誠一（東京大学）  
菅 恵嗣（東北大学）  
廣田雄一郎（名古屋工業大学）

### 2024年度日本膜学会膜学研究奨励賞審査委員会

委員長 山口猛央

#### 審査委員

赤松憲樹，市川創作，川上浩良，後藤雅宏，斎藤博幸，須丸公雄，谷口雅英，中野 実，比嘉 充，松木 均，吉岡朋久，吉宗美紀

## ● 2024年度日本膜学会膜学研究奨励賞受賞者

太田誠一（東京大学）

### 研究題目

「ナノ粒子と生体膜との相互作用の理解に基づく医用ナノ粒子の開発」

### 受賞対象となる研究に関する論文等

- 1) Ohta S, Inasawa S, Yamaguchi Y : Real time observation and kinetic modeling of the cellular uptake and removal of silicon quantum dots. *Biomaterials*, **33**(18) 4639-4645 (2012)
- 2) Ohta S, Glancy D, Chan WCW : DNA-controlled dynamic colloidal nanoparticle systems for mediating cellular interaction. *Science*, **351**(6275) 841-845 (2016)
- 3) Ohta S, Kikuchi E, Ishijima A, Azuma T, Sakuma I, Ito T : Investigating the optimum size of nanoparticles for their delivery into the brain assisted by focused ultrasound-induced blood brain barrier opening. *Scientific Reports*, **10**, 18220 (2020)

### 受賞者の研究内容

薬物送達やイメージングなど、ナノ粒子の医療への応用は近年注目を集める分野です。これらの用途において、生体内に投与されたナノ粒子は血管壁や間質、細胞膜など様々な生体膜のバリアを突破して標的まで到達する必要があります。その効率的な送達のためには粒子と生体膜との相互作用の理解が重要となります。

太田誠一氏はナノ粒子が細胞内に取り込まれる際の主要経路であるエンドサイトーシスに着目し、ナノ粒子のサイズや表面、形状などの設計がこの経路に与える影響を研究してきました。Si量子ドットを様々なサイズ・表面修飾種で合成して細胞による取り込みを評価した結果、これらの因子によって最終的に粒子が輸送される部位が大きく変化することを示し、さらにその速度過程のモデル化にも成功しています。これに加え、金ナノ粒子を集積して様々な形

状に高次構造化することで、粒子の形状によっても細胞の取り込みが変化すること、さらにこの高次構造を特定の刺激で変化させることにより細胞との相互作用を動的にスイッチできることを示しています。

また個体レベルの動態として、申請者は脳の防御機構である血液脳関門(BBB)を収束超音波によって一時的に緩めて薬物透過性を向上させるプロセスに着目し、この手法によるナノ粒子の脳への輸送を検討しました。様々なサイズの金ナノ粒子を合成して脳への送達効率を比較した結果、中程度のサイズである15 nmの粒子が最も効率的に脳に輸送されることを見出しました。膜透過の解析で用いられる細孔モデルを適用することで、得られたサイズ依存性を説明するメカニズムを提案し、最適な材料設計の指針を示すことに成功しています。

一連の太田氏の研究は、膜科学とコロイド化学の融合により医用ナノ粒子の新たな可能性を拓くものです。特に境界膜領域において、膜科学の深化と発展に大きく寄与することが期待され、膜学研究奨励賞に値するものです。

(推薦人 伊藤大知)

### 太田誠一 (Ohta Seiichi)

このたび、2024年度膜学研究奨励賞を受賞させて頂きましたこと、大変光栄に存じます。事務局および選考委員の先生方、そしてこれまで研究を支えてくださった先生方および学生の皆様に深く御礼申し上げます。特に、長きに渡りご指導を頂き、また本章の推薦人でもある伊藤大知先生に、改めて感謝申し上げます。

本研究は、診断・治療用ナノ粒子の効果的な送達のための、粒子と生体膜との相互作用の理解に焦点を当てた研究です。私は学生時代から一貫して診断・治療用ナノ粒子の研究を行っており、学位取得後に伊藤大知先生の研究室で博士研究員として働かせて頂くことになったのをきっかけに、膜学会に参加するようになりました。膜学会の先生



方と色々と議論させて頂いている中で、ナノ粒子を効率的に標的となる組織、そして細胞の中に送達しようという私の研究は、ひとえに「生体膜のバリアをいかに突破するか」というところに集約されるのだな、と意識するようになりました。この観点から研究に取り組んできて、研究をすればするほど、生体膜がいかによくできているか、そしてこれを突破することが以下に難しいかを、改めて実感するとともに、そこにやりがいと面白さを感じています。私の研究の対象であるナノ粒子は生体膜にとって、生体中に存在する物質に近い性質を持つ一方で、人工物であり異物としての側面も持つという2面性を持っています。このような物質が生体膜とどのように相互作用しているのかを理解し、さらにこれを制御できるようになることを目指し、これからも研究に邁進していきたいと考えております。

上記のナノ粒子と生体膜の相互作用についての研究に加え、近年では、蛍光ナノ粒子を用いた膜タンパク質の高感度検出など、生体膜の解析にナノ粒子を用いる方向にも研究を展開しており、これにより生体膜の理解をさらに深めたいと考えています。今回の受賞を励みとし、今後も微力ながら膜学の発展に貢献できるよう、より一層研究に励んで参ります。今後ともご指導ご鞭撻のほど、何卒よろしくお願い申し上げます。

菅 恵嗣 (東北大学)

#### 研究題目

「脂質膜界面評価を基盤とするバイオインターフェイスの設計に関する研究」

#### 受賞対象となる研究に関する論文等

- 1) Suga K, Tanabe T, Tomita H, Shimanouchi T, Umakoshi H : Conformational Change of Single-Stranded RNAs Induced by Liposome Binding, *Nucleic Acids Research*, **39**, 8891-8900 (2011)
- 2) Bui TT, Suga K, Umakoshi H : Potential Interaction Behavior of Lanosterol and Unsaturated Phosphocholine in Monolayer Membrane, *Membrane*, **44**, 199-203 (2019)
- 3) Suga K, Murakami M, Nakayama S, Watanabe K, Yamada S, Tsuji T, Nagao D : Surface Characteristics of Antibacterial Polystyrene Nanoparticles Synthesized Using Cationic Initiator and Comonomers, *ACS Applied Bio Materials*, **5**, 2202-2211 (2022)

#### 受賞者の研究内容

菅 恵嗣氏は、自己組織化膜を含む液相中に分散する微粒子の界面特性を俯瞰的に評価する手法を開発し、生体分子と相互作用する界面、即ちバイオインターフェイスの設計ならびに機能解明に取り組んできた。

リポソームをケーススタディとして、メゾスケールで自

己組織化膜の界面特性を俯瞰的に評価する方法を確立した。ソルバトクロミズム特性を有する蛍光プローブを利用し、リポソーム膜界面における生体分子 (RNA, キラル分子) の相互作用機構の解明に成功している。本手法により、脂質膜におけるステロール分子のドメイン構造や、膜界面の表面電荷密度をナノスケールで評価することが可能となった。本手法を、リポソームのように凝縮されたマイクロ疎水領域を有する材料へと展開し、エクソソーム、ポリマー微粒子、有機修飾ナノ粒子等の界面評価にも成功している。抗菌性カチオン性ポリマー微粒子の設計に際して、界面特性 (具体的には表面電荷密度, ミクロ極性) を制御することで粒子による細胞膜損傷が促進される可能性を見出した。

以上のように、菅氏の研究は生体膜、境界膜、人工膜各分野の垣根を越えて膜学を発展させるものと期待され、膜学研究奨励賞に値するものである。

(推薦人 馬越 大)

#### 菅 恵嗣 (Suga Keishi)

この度は、2024年度膜学研究奨励賞を頂くこととなり、大変光栄に存じます。選考委員会の先生方、一連の研究を支えて頂きました先生方、ならびに共同研究者の皆様へ心より感謝申し上げます。



大阪大学において学部4年生時より馬越大先生のご指導のもとリポソームの研究を開始しました。初めて参加した日本膜学会では、人工膜、生体膜、境界膜の先生方から同時に叱咤激励を受けることができる学会であることに感銘を受け、年会や膜シンポジウムに継続的に参加することを楽しみにしながら研究に励んできました。2020年に東北大学へ異動して以降は、バイオ・医療への応用に向けた微粒子の界面設計に取り組んでいます。

自己組織化膜と固体微粒子、一見するとかけ離れた存在のように思えますが、液相中における物質表面の物理化学的な特性は体系的に理解できるのではないかと考え、素材を問わず俯瞰的に材料の界面物性を理解するための共通言語となるような評価軸を探索して参りました。一例として、カチオン性リポソームの評価手法 (表面電荷密度, 局所疎水性, 他) は、カチオン性ポリマー粒子の評価にも適用可能であることを発見し、ポリマー微粒子の抗菌作用と界面物性に相関があることを見出しました。生体膜はバイオインターフェイスの代表格ですが、たった数nm程度の厚みにも関わらず、夾雑環境の中で物質吸着を阻止し、時には選択的に物質移動を促進するという素晴らしい機能を備えています。その界面特性を理解し、そこから得た発想を基に、自由自在に界面 (=膜) を設計することを目標として、機能性材料の開発に取り組むたいと考えています。

この受賞を契機として、より一層研究に励む所存です。膜学の発展に貢献したいと考えておりますので、今後とも

変わらぬご指導ご鞭撻を賜りますよう、よろしく願い申し上げます。

廣田雄一郎（名古屋工業大学）

#### 研究題目

「イオン液体と無機膜の融合を目指した膜開発とその透過分離機構に関する研究」

#### 受賞対象となる研究に関する論文等

- 1) Hiorta Y, Hayami S, Sasaki F, Matoba S, Yokoi K, Nishiyama N : Effects of the Si-O-Si network structure on the permeation properties of silylated ionic liquid-derived membranes. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, **55**, 105-112 (2022)
- 2) Hirota Y, Nakai T, Hayami S, Sasaki F, Nishiyama N : Evaluation of permeation mechanisms of silylated ionic liquid-derived organosilica membranes for toluene/methane separation. *Journal of the Japan Petroleum Institute*, **63**, 213-220 (2020)
- 3) Hirota Y, Yamamoto Y, Nakai T, Hayami S, Nishiyama N : Application of silylated ionic liquid-derived organosilica membranes to simultaneous separation of methanol and H<sub>2</sub>O from H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> at high temperature. *Journal of Membrane Science*, **563**, 345-350 (2018)

#### 受賞者の研究内容

廣田雄一郎氏は、イオン液体と無機材料を結びつけるシリル化イオン液体に着目し、イオン液体と無機材料が融合した新たなイオン液体膜の開発と、その透過分離機構に関する研究に取り組んできた。一連の研究概要を以下に紹介する。

イオン液体膜の開発においては、有機高分子膜の知見と技術を基盤とした膜開発が数多く進められているところ、廣田氏は、無機膜視点からのイオン液体膜開発を大きく進展させた。無機膜の1つであるオルガノシリカ膜の製膜法を参考に、イオン液体の分子構造を側鎖にもつシランアルコキシドを膜素材としたイオン液体の分離構造が化学固定されたシロキサン膜を開発した。本膜は、イオン液体を用いる膜としては高温の200度という高温へも適用でき、無機・有機ガスからの水蒸気・有機蒸気の選択的回収能を有することを明らかにした。また、ガス蒸気透過試験や窒素吸着測定など多孔体評価に利用される手法を活用した透過分離機構の考察や、製膜原料のシランアルコキシド中のアルコキシ基数に着目したSi-O-ネットワーク構造の異なる

膜の作り分けとその透過特性の違いについても明らかにしてきた。

さらに直近では、気相法を用いた本膜の新しい製膜法の開発や、有機液体混合物の分離へも応用するなど、今後の展開への期待も大きい。

以上のように、廣田氏の研究は、イオン液体のもつ膜素材としての魅力を活かし、その適用範囲の拡大に大きく寄与するものであり、本賞の受賞に値するものである。（推薦人 西山憲和）

廣田雄一郎（Hirota Yuichiro）

このたび、2024年度の日本膜学会膜学研究奨励賞を頂き、大変光栄に存じます。選考委員の先生方、学会事務局、そして、これまで研究を支えて下さった共同研究者の先生方と学生の皆様にご心より御礼申し上げます。

本研究は、イオン液体の分子構造を側鎖にもつSiアルコキシド（シリル化イオン液体）を膜素材とし、イオン液体と無機膜の融合を目指した膜開発と、その透過分離機構の考察、そしてSi-O-ネットワーク構造の異なる膜の作り分け、に関するものです。イオン液体は極めて低い蒸気圧や特異な物質溶解能などを示し、また、これらの特徴をカチオンとアニオンの組み合わせにより変更可能な分子デザイン性も有する機能性液体材料として知られています。私がイオン液体に初めて出会ったのは学位取得後の2012年、東京工業大学の伊東章先生の研究室へ着任した時でした。それまで、本賞の推薦人でもある西山憲和先生のご指導のもと、ゼオライト触媒やゼオライト膜、分子ふるい炭素膜といった無機材料を扱ってきた私にとって、有機機能材料との初めての出会いでもありました。私なりのイオン液体を使った膜、そしてイオン液体膜の活用法を考える中で、シリル化イオン液体を識ったことが本研究の始まりでした。2015年に西山研究室へ異動後、本膜のコンセプトに興味をもってくれた学生とともに悪戦苦闘しながら膜開発に取り組んだことを今でも鮮明に覚えております。その後、透過分離機構の解明やSi-O-ネットワーク構造の異なる膜の作り分けへと研究を展開し、現在は、新しい製膜法の開発や、液体分離への適用などに取り組んでおります。

膜学会の先生方には、年会やシンポジウムを通じて多くの応援を頂き、様々な課題にチャレンジすることができたと考えております。改めてお礼申し上げます。今回の受賞を励みに、膜の可能性という夢を示すことと、実用化を目指すことの両方を大切に、膜学の発展に少なからず貢献できるよう尽力してまいりますので、今後ともご指導ご鞭撻を賜りますよう、宜しく願い申し上げます。

