

膜シンポジウム 2025 実行副委員長・学生賞選考委員長 産業技術総合研究所 須丸公雄

膜シンポジウム 2025 のポスターセッションは、シンポジウム初日の午後に行われました。ポスター発表総数 90 件のうち、学生賞の審査対象は 77 件あり、内訳は人工膜 50 件、生体膜 14 件、境界領域 13 件でした。多数のポスター発表申込と学生賞へのエントリーをいただきましたことを御礼申し上げます。ポスターセッションが滞りなく行われ、学生賞の選考がなされたことをここに報告いたします。

発表はポスター番号の奇数と偶数での交代制で、前半に奇数番号 (13:00~14:00)、後半に偶数番号 (14:00~15:00) の発表が行われました。開始時間前から交代時間を越えて活発な議論がなされ、大変有意義な時間を参加者一同で共有することができました。本学会における学生賞は、学生のプレゼンテーション能力とコミュニケーション能力を育成し、奨励することを目的としています。ポスターの見やすさや説明の明快さ、質疑に対する回答的確さや理解度を評価項目として、1 件あたり 3 名の審査員が担当して審査を行いました。ご審査いただきました採点結果から、いずれも甲乙つけ難い、ハイレベルな発表であったことを窺い知ることができました。会長、副会長、実行委員長ら 8 名からなる学生賞選考委員会にて、発表者の氏名、所属を伏せた形で厳正な審査を行い、エントリー数の上位 20% にあたる 16 件 (人工膜 10 件、生体膜 3 件、境界領域 3 件) に学生賞を表彰することになりました。シンポジウム 2 日目の閉会式にて表彰を執り行い、山口会長から一人ずつ表彰状と副賞 (ならびに受賞の寄稿依頼状) が手渡され、全員で記念撮影を行いました。受賞されましたみなさま、おめでとうございます。受賞者には発表内容ならびに受賞コメントなどを HP にご寄稿いただく予定ですので詳細はそちらをご覧ください。

最後になりましたが、発表者ならびに指導教員のみなさ

ま、限られた時間の中で審査を行いつつ的確なアドバイスを発表者に与えてくださった審査員のみなさま、運営にご尽力いただきました実行委員のみなさ、事務局の渡部様、審査データの集計・整理を進めていただきました田中俊輔先生、ポスター会場の設営・撤収にご協力いただきました学生スタッフのみなさまに、この場をお借りして心より御礼申し上げます。

学生賞選考委員 (敬称略)

赤松憲樹, 池田義人, 伊藤大知, 太田誠一, 大橋秀伯, 岡本泰直, 岡本行広, 奥山浩人, 金指正言, 神尾英治, 河野健一, 熊谷和夫, 後藤雅宏, 佐伯大輔, 菅 恵嗣, 澤田真一, 塩月雅士, 島内寿徳, 東海林敦, 鈴木 翔, 須丸公雄, 田皓一, 高羽洋充, 谷口育雄, 田中一宏, 田中俊輔, 中尾裕之, 通阪栄一, 長澤寛規, 中瀬生彦, 中野 実, 中村乃理子, 南雲亮, 野村幹弘, 林 啓太, 廣田雄一朗, 福田 誠, 宮田隆志, 宮西将史, 森田真也, 松本英俊, 山登正文, 山口猛央, 吉村公男, 吉元健治, 吉本 誠

学生賞受賞者 (掲載はポスター番号順)

P-1S 谷口 葵 (京大院薬)

がん選択的低 pH 応答性ペプチドと抗がん性物質結合による抗がん活性増強効果

P-4S 大塚彩加 (東大院工)

α 線核医学治療に向けた新規 Ac-225 担持金ナノ粒子の開発

P-6S 横前芽吹 (九大院工)

イオン液体を用いた液晶製剤による人工抗体の経皮製剤化



ポスター発表の様子



学生賞受賞者

- P-16S** 伊藤史哉 (東大院工)
Drug Delivery Systemへの応用を目指したSchiff塩基安定性の異なる新規アルギン酸誘導体の開発
- P-17S** 亀井稜生 (関西大化学生命工)
両親媒性液晶高分子からなる自己集合体の動的配向構造変化による薬物放出制御
- P-28S** 井上智加良 (阪大院基礎工)
脂質平面膜 (SLB) の特性に関する定量的な解析法の開発
- P-33S** 砂池優和 (神戸大先端膜工学研究セ)
ブロックコポリマー修飾PDMS層を用いたイオンゲル薄膜複合膜の創製
- P-35S** 吉田あづ希 (東京科学大)
双性イオンループブラシによる膜修飾法の設計と防汚性評価
- P-36S** 松岡 希 (神戸大院工)
酢酸エチル/エポキシ化合物混合系における疎水性シリカ膜の浸透気化分離特性
- P-64S** 木本圭亮 (神戸大院工)
トルエン中での正浸透膜法の駆動溶液に適用可能な相分離型イオン液体の開発
- P-65S** 三好俊輔 (広大院先進理工)
TEMPO酸化セルロースナノファイバーを用いた水蒸気/ガスおよび水蒸気/有機蒸気分離膜の作製
- P-73S** Shuzhen Zhao (神戸大先端膜工学研究セ)
Interface Reconstruction of Polyamide Nanolayers enabled by Bidentate Ammonium Modification for Precise $\text{Li}^+/\text{Mg}^{2+}$ Separation
- P-75S** 片山元貴 (関西大院理工)
金属有機構造体CALF-20充填-混合マトリクス膜の支持体上への薄膜塗工
- P-76S** 森岡 陸 (東京科学大)
全気相重合を用いたカーボンナノチューブ/ポリパラキシリレン複合膜の作製と透水挙動
- P-80S** 石垣和真 (農工大院工)
ポリマー中の溶媒拡散係数の系統的測定および解析
- P-82S** 阿部朱里 (農工大院工)
長尺カーボンナノチューブを用いた超薄支持膜の作製と評価

がん選択的 low pH 応答性ペプチドと抗がん性物質結合による抗がん活性増強効果

谷口 葵

Taniguchi Aoi

京都大学薬学研究科創発医薬科学専攻

この度は膜シンポジウム 2025 において学生賞を頂き、誠に光栄に存じます。私はがん周囲の low pH 環境で活性化するペプチドを利用したがん選択的抗がん性物質の創製を行っています。

我々はいままでに開発したがん細胞選択的かつ、low pH 選択的抗がん性ペプチドである 10Dap-D を利用して、がん細胞内への効率的な抗がん性物質の送達による抗がん活性強化を実現したため発表しました。

我々はいままでにがん周囲の low pH 環境で活性化する抗がん性ペプチド 10Dap-D を作製しました。しかし、10Dap-D 単独での抗がん活性には改良の余地があり、抗がん活性を強化するために、抗がん性物質との conjugate 作製を試みました。

本研究では抗がん性物質として、がん細胞内部で過剰発現する MDM2 の阻害化合物 SAH-p53-4 [*J. Am. Chem. Soc.*, (2007) 129, 2456] を利用しました。MDM2 は腫瘍抑制因子 p53 を負に制御する因子で、がん細胞は MDM2 を豊富に発現させることでアポトーシスを回避しています。SAH-p53-4 は MDM2 を阻害することで p53 が活性化し、がん細胞にアポトーシスを引き起こします。SAH-p53-4 は膜非透過性で単独では細胞毒性を殆ど示しませんが、がん選択的に細胞内へ薬物送達可能な 10Dap-D と組み合わせることで、抗がん活性の増強効果が狙えるのではないかと考えました。

我々は-S-S-結合を介して SAH-p53-4 を 10Dap-D に結合することで conjugate を作製しました。この conjugate は正常細胞 HUVEC と HEK293 に対して細胞毒性を示さなかった一方で、がん細胞 HeLa と PANC-1 に対して酸性環境でのみ抗がん活性を発揮し、10Dap-D の持つ low pH 応答性とがん細胞選択性を示すことがわかりました。また、抗がん活性について、PANC-1 細胞では conjugate 化による抗がん活性の増強効果が見られなかったのに対し、HeLa 細胞では抗がん活性の増強効果が見られました。

この結果は、HeLa 細胞でのみ MDM2 阻害によるアポトーシスが発生したことを表しています。HeLa 細胞は p53 が野生型であるため上記の p53 活性化が発生し、抗がん活性の強化が起こった一方、PANC-1 細胞は p53 に変異があり [*Oncogene* (2009) 28, 709], p53 の活性化が発生しなかったため、抗がん活性の強化が起こらなかったと考えられます。

さらに我々は conjugate の抗がん活性発揮メカニズムを理解すべく、私達は共焦点顕微鏡を用いて conjugate の挙動を観察しました。結果、conjugate は細胞膜に集積を経て、膜透過して細胞内移行したのちに、アポトーシスを惹起することがわかりました。

以上のことから、本研究では、low pH 応答性ペプチドと抗がん性物質結合による抗がん活性増強効果を例示し、がん細胞選択的薬物送達法の基盤構築に成功しました。

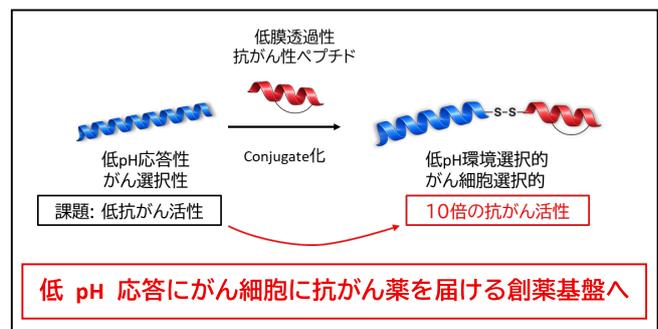


Figure1 Graphical abstract

α線核医学治療に向けた新規 Ac-225 担持金ナノ粒子の開発

大塚 彩加

Otsuka Ayaka

東京大学大学院工学系研究科バイオエンジニアリング専攻

このたびは、膜シンポジウム 2025 において学生賞をいただき、大変光栄に存じます。本シンポジウムの運営にご尽力いただいた関係者の皆さま、発表を聴講して下さった皆さま、審査をしていただきました先生方に心より感謝申し上げます。以下に簡単ではございますが、今回の発表内容を紹介させていただきます。

α線は短い飛程に高い細胞障害性を有し、がん細胞を効果的に攻撃できると考えられています。α線を放出する放射性同位元素(RI)の中でも Ac-225 は 10 日という治療に適した半減期を有し、腫瘍選択的な送達による高い治療効果が期待されます。本研究では、Ac-225 の担体として、EPR 効果によって腫瘍選択的に集積するナノ粒子に着目しました。中でも、金ナノ粒子(AuNP)は臨床で使用実績のある安全な材料であり、サイズの精密制御や表面修飾が可能であるため、厳密な動態制御が求められる RI 送達の担体として期待されます。

しかしこれまで、Ac-225 の AuNP への担持方法の

系統的な検討は十分に行われておらず、また抗腫瘍効果の評価は、腫瘍内投与のみの検討に限られていました。そこで本研究では、Ac-225 の AuNP への担持方法を初めて系統的に検討し、担持効率の高い新規 Ac-225 担持 AuNP を開発しました。また、より実用的な治療法開発に向け、マウスへの静脈投与による腫瘍への送達、抗腫瘍効果を検証し、核医学治療における有用性を検討しました(Fig. 1)。その結果、担持率の高い新規 Ac-225 担持 AuNP の開発に成功するとともに、Ac-225 担持 AuNP の静脈投与による抗腫瘍効果が確認され、核医学治療薬としての有用性が示唆されました。

本シンポジウムでは、多くの方々と有意義な議論をさせていただくことができました。今回の受賞を励みに、より一層研究に邁進したいと思います。最後になりますが、本研究を遂行するにあたり日頃よりご指導を賜りました太田誠一准教授、中村乃理子助教ならびに太田研の皆さまに心より感謝申し上げます。

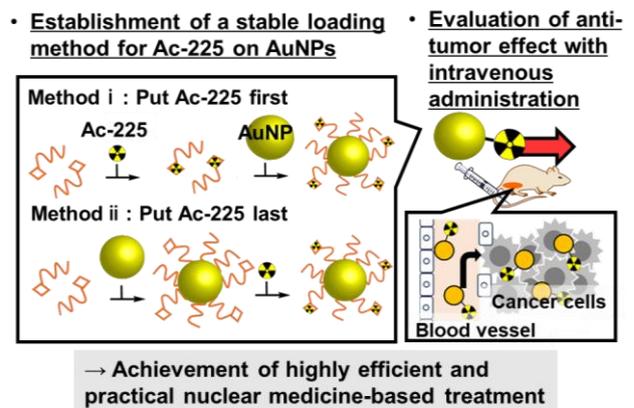


Fig. 1 Research concept

イオン液体を用いた液晶製剤による人工抗体の経皮製剤化

横前 芽吹
Yokomae Ibuki

九州大学大学院工学府応用化学専攻

このたびは、膜シンポジウム 2025 において学生賞を賜り、大変光栄に存じます。発表を聴講していただいた皆様、審査してくださった先生方、ならびに学会関係者様の方々に、この場を借りて心より御礼申し上げます。以下に簡単ではありますが、今回の発表内容を紹介いたします。

本研究では、人工抗体 (Affibody) をモデル薬剤とし、イオン液体を用いた液晶製剤による新規経皮送達システムの構築を目的としました。経皮投与は非侵襲的な投与方法として注目されていますが、皮膚最外層である角層は疎水性のバリア機能を有しており、親水性かつ高分子量である抗体医薬の経皮送達は極めて困難です。さらに、抗体医薬は立体構造の維持が薬効発現に不可欠であり、製剤化過程や投与環境による構造変化が課題となっています。

そこで本研究では、薬物溶解性および生体膜である皮膚透過性の向上が報告されている 2 種類のイオン液体 (IL)、コリンプロピオン酸 ([Chol][Pro]) およびコリンオレイン酸 ([Chol][Ole]) に着目しました。親水性溶媒である [Chol][Pro] を含む水溶液中に人工抗体を溶解させ、これを界面活性剤として働く [Chol][Ole] と混合することで、イオン液体液晶 (ILC) 製剤を調製しました (Fig. 1)。それぞれの IL は薬物の安定性向上、皮膚浸透促進を期待して使用しました。

調製した ILC 製剤を BALB/c マウス背部にパッチとして塗布し、人工抗体の血中移行性を評価しました。その結果、皮下注射群では投与後早期に血中濃度がピークに達し、その後急速な減少が認められました。一方、ILC 製剤を用いた経皮投与では、血中濃度が緩やかに上昇し、注射投与よりも遅れてピークに達する挙動が観察されました。この結果は、本製剤が人工抗体の経皮送達を可能にすると同時に、経皮投与特有の持続的な血中供給挙動を示唆しています (Fig. 2)。

本研究成果は、従来困難とされてきた抗体様分子 (人工抗体) の経皮投与に対し、イオン液体液晶という新たな製剤設計の可能性を示すものです。これにより、低侵襲的な抗体医薬投与方法の基盤技術となることが期待されます。

今回の発表において多くの方々と深い議論をさせていただき、新たな視点を得ることができたことを大変うれしく思っております。今後もこの受賞を励みにより一層研究に邁進したいと思います。最後になりますが、本研究を遂行するにあたりご指導を賜りました後藤雅宏教授、神谷典穂教授、若林里衣准教授、川口喜郎助教ならびに研究室の皆様にご心より感謝申し上げます。

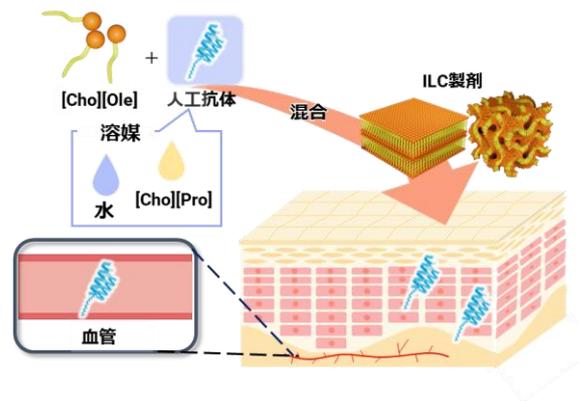


Fig. 1 conceptual diagram of this study

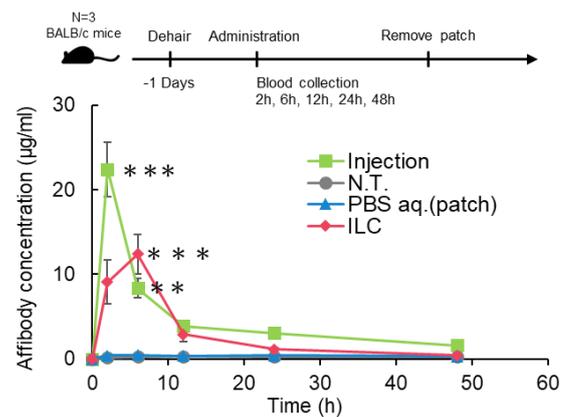


Fig. 2 Pharmacokinetics of artificial antibody by transdermal patches

両親媒性液晶高分子からなる自己集合体の

動的配向構造変化による薬物放出制御

亀井 稜生

Kamei Ryoki

関西大学大学院理工学研究科化学生命工学専攻

このたびは、日本膜学会「膜シンポジウム 2025」において、学生賞という名誉ある賞をいただきまして大変光栄に思います。この場を借りて学会関係者の方々、ポスターを審査していただいた先生方、発表に足をお運びいただいたみなさま方に深く御礼申し上げます。以下に簡単ではありますが、本研究の概要を紹介させていただきます。

ドラッグデリバリーシステム (DDS) に用いられる自己集合体は、刺激に応答した

薬物放出時にキャリアの崩壊を伴うために可逆的な薬物放出が困難になります。この課題を克服した薬物キャリアを設計するため、われわれは液晶高分子 (LCP) に着目して新しい刺激応答薬物キャリアの設計を試みてきました。LCP は液晶発現部位であるメソゲンをも有し、液晶—等方相転移温度 (T_i) を境に液晶相から等方相へと相転移します。これまでにわれわれは、両親媒性 LCP 自己集合体を調製し、液晶—等方相転移に伴って薬物放出の ON-OFF 制御が可能であることを報告しています。しかし、薬物内包効率や選択性が低いことが課題でした。本研究では、高い薬物内包効率および選択性を実現できる LCP 自己集合体の設計を目的とし、側鎖に疎水性のメソゲンと親水性のメトキシオリゴエチレングリコールメタクリレート (mOEGMA) とを有する両親媒性 LCP (LCP-g-mOEG) を合成しました。また、その自己集合体の形態や細胞毒性について検討しました。さらに、モデル薬物としてフルオレセインを内包させ、温度変化に伴う薬物放出挙動を検討しました。

薬物放出実験では、温度上昇に伴って T_i 以上の温度で放出速度が著しく増加することがわかりました。 T_i 以下では、集合体内部のメソゲンが液晶相を形成し、規則的に配向しているためフルオレセインの放出が抑制されるのに対し、 T_i 以上では液晶相から等方相に相転移してメソゲンの運動性が増加するためフルオレセインの放出が促進されると考えられます。したがって、LCP-g-mOEG 自己集合体からの薬物放出は、液晶の構造変化により制御できることが明らかになりました。

今回の発表において、多くのお褒めと多くのディスカッションができましたことを大変うれしく思います。この受賞を励みに、今後もより一層研究に邁進したいと思います。最後になりましたが、本発表をさせていただくにあたり、ご指導賜りました宮田隆志教授、河村暁文教授、ならびに研究室の学生一同に心より感謝申し上げます。

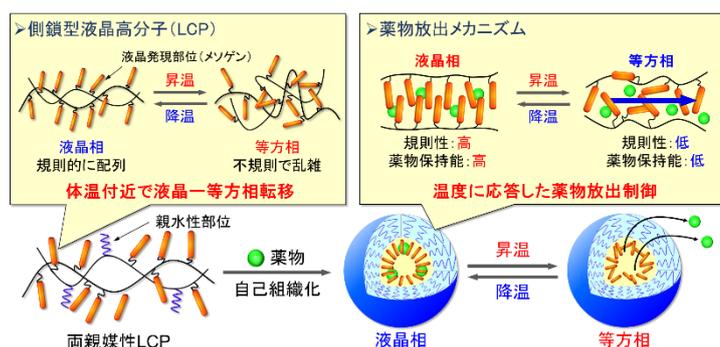


Figure 1. Formation of amphiphilic LCP self-assembly and its drug release behavior

脂質平面膜 (SLB) の特性に関する定量的な解析法の開発

井上 智加良
Inoue Chikara

大阪大学大学院基礎工学研究科物質創成専攻

この度は、膜シンポジウム 2025 において学生賞を頂き、大変光栄に存じます。本学会の運営にご尽力いただいた関係者の皆様、審査員の先生方、そしてポスター発表を聴いて下さったすべての方々に厚く御礼申し上げます。以下、簡単ではありますが本発表の研究内容を紹介させていただきます。

平面基板上的の脂質二分子膜(SLB)は、センサー材料、コーティング材料などへの応用が検討されています。この際、ベシクルの優れた機能を活用するためには、流動性や水和度などの膜特性の維持を確認する必要があります。そこで、当研究室では、蛍光レシオ解析による相分離膜の水和度解析、走査型プローブ顕微鏡によるナノドメインの形態と粘弾性のイメージング化を行ってきましたが、この手法は、高価で特殊な装置を要するため、汎用性に乏しいという点で課題があります。そこで、3D プリンターにより SLB holder (Fig. 1)を自作し、汎用的な蛍光分光装置による SLB の特性評価を可能としました。

まず、標準試料を用いた異方性測定の妥当性確認を行い、疎水性蛍光分子 DPH のスペクトル取得に成功しました。次に、DPH 蛍光異方性の温度依存性を測定したところ、ゲル相では SLB の異方性が SUV(Small Unilamellar Vesicle)より大きく、基板固定化の影響により分子運動が抑制されていることが示唆されました。一方、液晶相ではベシクルと同程度の異方性となり、相転移後は基板の影響が相対的に軽減されると考えられます。

本発表では、多くの方々と有意義な議論をさせて頂き、大変嬉しく思います。今回の受賞を励みに、より一層研究に精進する所存です。最後になりましたが、本研究を遂行するにあたり、ご指導を賜りました岡本行広 准教授、馬越大 教授、渡邊望美 助教、馬越研究室の皆様にご心より感謝申し上げます。

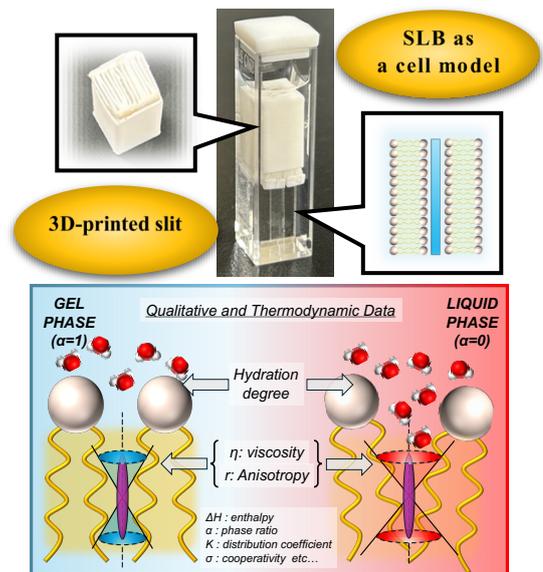


Fig. 1. (Upper) Photographs of sample configurations (left: slit self-made using a 3D printer; right: schematic diagram of SLB as a cell model). (Lower) Schematic diagram for our research overview.

ブロックコポリマー修飾 PDMS 層を用いたイオンゲル薄膜複合膜の創製

砂池優和

Sunaike Hirokazu

神戸大学大学院工学研究科応用化学専攻

このたびは、日本膜学会「膜シンポジウム 2025」において学生賞を頂き、大変光栄に思います。この場をお借りして学会関係者の方々、発表を聴講して頂いた皆様、審査して下さった先生方に厚く御礼申し上げます。以下に簡単ではありますが、本研究の概要を紹介させていただきます。

分離機能層、中間層、および支持層から構成される薄膜複合膜 (TFC 膜) は、高性能な CO₂ 分離膜の有効な構造の一つとして注目されています。中間層には高透過性を有する PDMS が広く用いられ、分離機能層にはイオンゲルの適用が期待されていますが、PDMS は疎水性が高いため、親水性のイオンゲル前駆体溶液を欠陥なく薄層として展開することが困難でした。

本研究では、PDMS 表面の親水化手法として、PDMS-PEG ブロックコポリマーの吸着による表面改質を検討しました。改質後の PDMS 表面に対するイオンゲル層前駆体溶液の濡れ性を接触角測定により評価した結果、表面改質液中の PDMS-PEG ブロックコポリマー濃度を増加させることで、水およびイオン液体の接触角はいずれも約 10° まで低下し、PDMS-PEG ブロックコポリマーによる PDMS 表面改質の効果を確認しました。また、PDMS-PEG ブロックコポリ

マー濃度 2.0 wt% 以上の改質液を用いることで、PDMS 表面を十分に親水化および親イオン液体化できることを見出しました。この改質 PDMS 中間層上にイオンゲル層を形成したところ、CO₂/N₂ 透過選択性の向上が認められました。また、作製したイオンゲル TFC 膜の性能は直列抵抗モデルに基づく理論値と良好に一致しており、表面改質によってイオンゲル分離機能層が欠陥なく形成されたことが示唆されました (Fig. 1)。さらに、至適希釈率のゲル前駆体溶液を用いて作製した膜は実用化に必要なとされる目標性能 (CO₂ permeance 1000 GPU 以上、CO₂/N₂ permselectivity 20 以上) を有しており、本研究で提案する表面改質法の有効性が示されたと考えています。

本発表を通じて多くの方々と有意義な議論をさせていただき、大変嬉しく思います。本受賞を励みに、今後もより一層研究に精進してまいります。最後になりますが、本研究の遂行にあたりご指導を賜りました神尾英治准教授ならびに松山・吉岡研究室の皆様へ、心より感謝申し上げます。

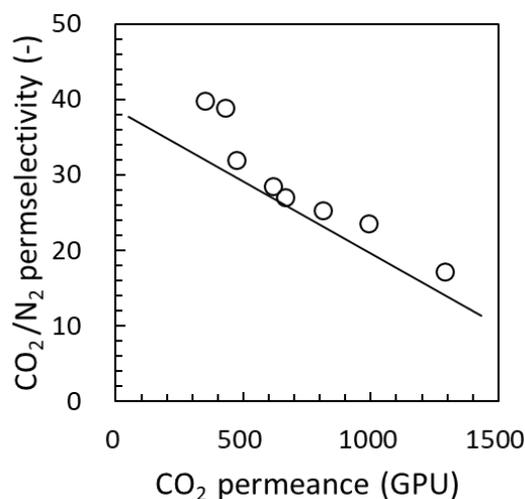


Fig. 1 CO₂ separation performance of ion-gel TFC membrane prepared using precursor solutions with various dilution ratios. The solid line is the theoretical line calculated by a series resistance model.

双性イオンループブラシによる膜修飾法の設計と防汚性評価

吉田 あづ希

Yoshida Azuki

東京科学大学科学技術創成研究院化学生命科学研究所

このたびは膜シンポジウム 2025 においてポスター賞を頂き、大変光栄に存じます。発表を聴講して頂いた皆様、審査して下さった先生方、ならびに学会関係者の方々に、この場をお借りして心より御礼申し上げます。以下簡単ではありますが、今回の発表内容を紹介いたします。

世界的な水不足の解決に向け、水処理膜技術の重要性が高まっていますが、処理水中の不純物が膜表面に吸着・堆積することで膜の透水性が低下するファウリングが問題となっています。ファウリング抑制には、双性イオンポリマーによる膜表面の修飾が有効ですが、特に近年、界面化学の分野においてループ構造などの特徴的なブラシ構造が優れた防汚性を示すことが示唆されています。ただし、そのような特徴的なブラシ構造を用いた表面改質は、アンチファウリング膜の開発にはほとんど応用されておらず、高い防汚性を示すメカニズムも不明瞭です。本研究では、吸着層の粘弾性解析が可能な水晶振動子マイクロバランスセンサー上に、膜と同様のループ・リニアブラシ構造を形成し、ウシ血清アルブミン(BSA)の吸着挙動を調査しました。本研究室の独自手法により、多孔質膜表面にリニアおよびループ構造を形成することに成功しました。また、アンチファウリング特性評価から、ループブラシがリニアブラシと比べ BSA 吸着の支配的な吸着である、初期の剛直な吸着を抑制し、優れた防汚性を有することを実証しました。

最後になりますが、日頃よりご指導を頂いている山口猛央教授、宮西将史特任准教授、奥山浩人助教、ならびに研究室の方々に心より感謝申し上げます。

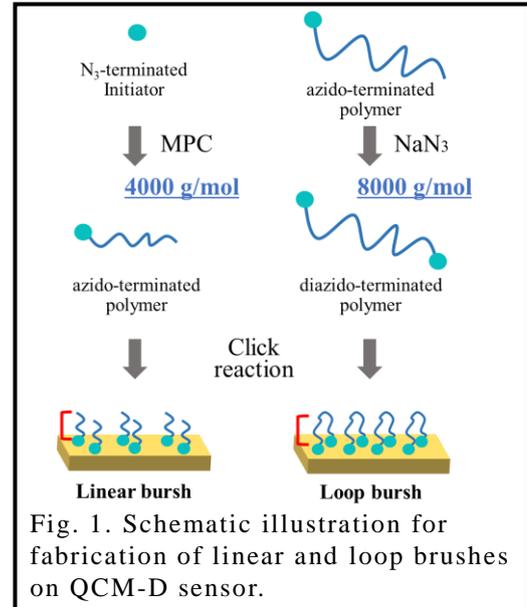


Fig. 1. Schematic illustration for fabrication of linear and loop brushes on QCM-D sensor.

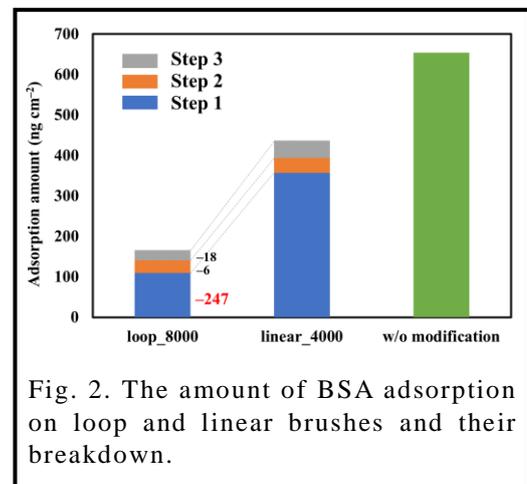


Fig. 2. The amount of BSA adsorption on loop and linear brushes and their breakdown.

酢酸エチル/エポキシ化合物混合系における

疎水性シリカ膜の浸透気化分離特性

松岡 希

Matsuoka Nozomu

神戸大学大学院 工学研究科 応用化学専攻

この度は、膜シンポジウム2025において、学生賞を頂き光栄に思います。この場をお借りして、学会関係者の方々、発表をお聞き下さった皆様方に御礼申し上げます。以下に、発表内容の概略を記載します。

現在、有機溶剤混合物は蒸留法によって主に分離精製されています。しかし、蒸留法は消費エネルギーが大きいことが課題となっています。一方、膜分離法の一つである浸透気化(Pervaporation;PV)は消費エネルギーが透過成分の相変化エネルギーのみであることから省エネルギーな分離手法として注目されています。本研究における分離系は酢酸エチル/3,4-エポキシシクロヘキシルメチル3,4-エポキシシクロヘキサノール(CEL2021)であり、ともに有機溶剤であることから、用いる膜材料は有機溶剤耐性を有する必要があります。有機溶剤耐性を有する膜としてセラミック膜が挙げられます。中でもメチルシリカ膜はシリカ膜由来の高透過性を有し、シリカ膜にはない疎水性を有しています。本研究では、メチルシリカ膜の酢酸エチル/CEL2021における浸透気化性能を評価しました。

膜材料は Methyltriethoxysilane(MTES)と Tetraethoxylorthosilicate(TEOS)で加水分解、縮重合させることによりメチルシリカゾルを調製しました。膜は α -アルミナ多孔質基材 (ニッカトー製)の上に α -アルミナ粒子を用いて粒子層を作製し、その上に $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-ACA}$ (acetylaceton)コロイドゾルを用いた中間層を作製、その上にメチルシリカゾルを用いた分離層を作製しました。各種溶媒の接触角を測定することによって膜表面の疎水性および、溶剤との親和性の評価を行いました。また、供給液の温度を 40°C から 60°C で試験を行うことで、浸透気化性能の温度依存性評価を行いました。Fig.2 より、40h の試験において阻止率は 100%で温度の上昇とともに Flux が向上する傾向が見られました。疎水性と緻密さを有するメチルシリカ膜を作製することで CEL2021 を阻止する膜となったと考えられます。

また、今回の発表では、多くの方々と有意義な議論をさせて頂き、大変充実した時間となりました。最後になりますが、本研究を遂行するにあたりご指導を賜りました吉岡朋久教授、ならびに神戸大学 松山・吉岡研究室の皆様にご心より感謝申し上げます。

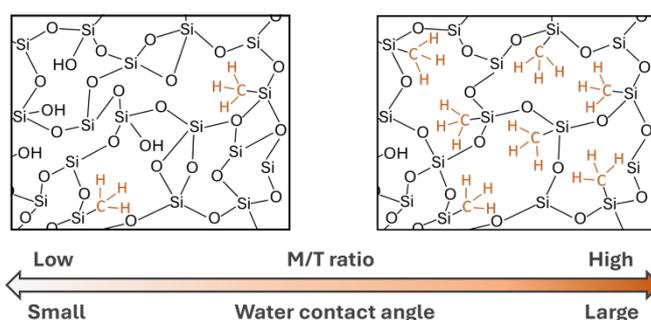


Fig. 1 The structure of Methyl silica membrane

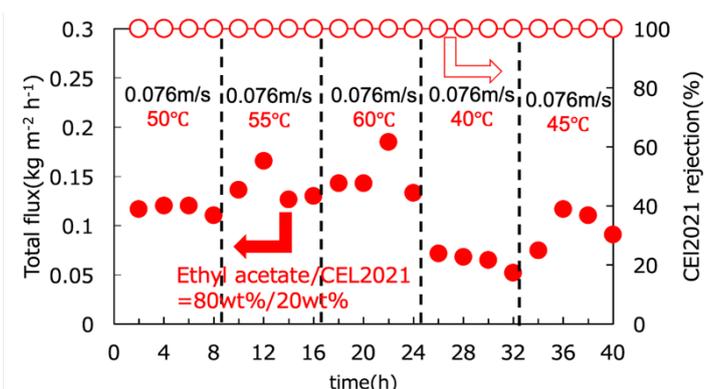


Fig. 2 PV performance with different temperatures

トルエン中での正浸透膜法の駆動溶液に適用可能な相分離型イオン液体の開発

木本圭亮

Kimoto Keisuke

神戸大学大学院工学研究科応用化学専攻

このたびは、日本膜学会「膜シンポジウム 2025」において学生賞を頂き、大変光栄に思います。この場をお借りして学会関係者の方々、ポスター発表をお聞きくださった皆様方に厚く御礼申し上げます。以下、簡単ではありますが本発表の研究内容を紹介させていただきます。

近年、膜分離による有機溶媒の省エネルギーな分離手法として、正浸透 (FO) 膜法が期待されています。特に、駆動溶液 (DS) として温度応答性イオン液体を用いることで、低エネルギーでの DS の分離・回収が達成できると考えられています。現在のところ、非極性溶媒系への FO 膜法の適用は実証されていません。そこで本研究では、温度応答性 IL を DS として用いて非極性溶媒である toluene を分離対象とした FO プロセスの実現可能性を検討しました。まず、トルエン中における IL の相分離挙動を評価するため、相図を作成しました。その結果、IL のアルキル鎖長やフェニル基の数を調整することで、相分離挙動を制御できることが分かりました。さらに、UCST 型温度応答性を示した $[N_{1p555}][Tf_2N]$ /toluene 溶液を DS として FO 試験を行い、トルエンの透過を確認できました。以上の結果から、温度応答性 ILs が toluene を分離対象とした FO プロセスで利用可能であることが示されました。

本発表では、多くの方々と有意義な議論をさせて頂き、大変嬉しく思います。今回の受賞を励みに、より一層研究に精進する所存です。最後になりますが、本研究を遂行するにあたりご指導を賜りました松岡淳助教ならびに松山・吉岡研究室の皆様方に心より感謝申し上げます。

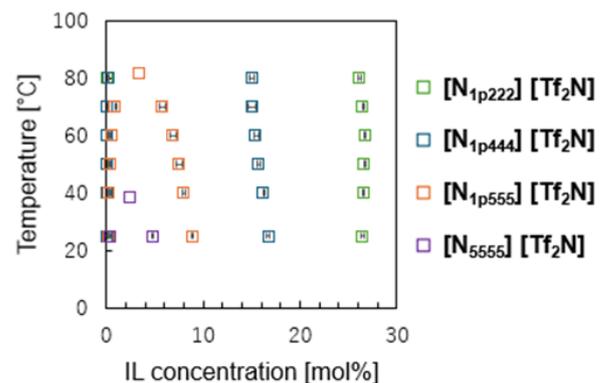


Fig. 1 Phase diagram of toluene of ILs

TEMPO 酸化セルロースナノファイバーを用いた水蒸気/ガス

および水蒸気/有機蒸気分離膜の作製

三好 俊輔

Miyoshi Shunsuke

広島大学大学院先進理工系科学研究科化学工学プログラム

このたびは日本膜学会「膜シンポジウム 2025」において学生賞を授与いただき、大変光栄に存じます。学会関係者の皆様、審査員の先生方、発表を聴講して下さったすべての方々に心より御礼申し上げます。以下、簡単ではありますが、研究内容を紹介させていただきます。

セルロースナノファイバー (CNF) はアスペクト比が 100 以上と高く、優れた諸特性により多くの応用が検討されています。当研究室では、水蒸気を優先的に透過する膜として CNF をキャストコーティングすることで、水蒸気/窒素透過率比が数百という分離性の高い膜を作製可能であることを明らかにしています。一方で製膜条件や供給条件を検討する中で、その際に用いたカルボキシメチル (CM-) CNF 膜が低透過性であることや、CNF 膜に共通して膜の安定性が乾燥条件に大きく依存するなどの課題が生じました。前者の課題に対しては、より繊維径が細く豊富な親水基により水蒸気透過性の向上が期待される TEMPO 酸化 CNF を用いて改善を図りました。また後者に対しては、乾燥耐性の向上を目的として架橋型オルガノシリカ粒子とのハイブリッド構造を提案しました。

TEMPO 酸化 CNF 膜については、80°C の 20-100% RH において従来の CM-CNF 膜と比較して、同様な窒素の阻止性を維持した状態で高い水蒸気透過性を発現させました (Fig. 1)。重量法により、水蒸気の収着等温線を測定したところ、CM-CNF よりも TEMPO 酸化 CNF の方が高い収着性が得られ、繊維径が水透過性に影響を及ぼすことを明らかにしました。また、TEMPO 酸化 CNF 膜は供給モル比 0.25/0.25/0.5 の水蒸気/メタノール/窒素雰囲気下において水蒸気/メタノール透過率比が 1,000 を超えました。

オルガノシリカとのハイブリッドでは、先に Si 前駆体を加水分解・縮重合することでオルガノシリカ粒子を合成し、TEMPO 酸化 CNF とハイブリッド化することによりゾルを作製しました。TEMPO 酸化 CNF 膜の場合、80°C の窒素雰囲気下では 70 時間で窒素透過率が 100 倍以上に上昇し膜表面の亀裂も生じていましたが、このハイブリッド膜では 100 時間以上保持しても、窒素透過率を一定値で維持させることができました (Fig. 2)。このことから、オルガノシリカ粒子が物理的な障害となることで、乾燥に伴う CNF の過度な凝集を抑制していることが示唆されました。

今回の発表において多くの皆様と実りの多いディスカッションができたことを大変嬉しく思います。今後もこの受賞を励みに、より一層研究に邁進したいと思います。最後になりますが、本発表をさせていただくにあたり、ご指導を賜りました 広島大学 森山教洋助教、長澤寛規准教授、都留稔了名誉教授、金指正言教授ならびに研究室の皆様にご心より感謝申し上げます。

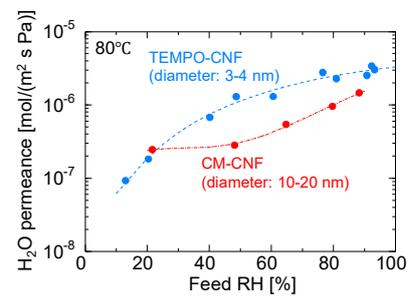


Fig. 1 H₂O Permeance as a function of RH in feed.

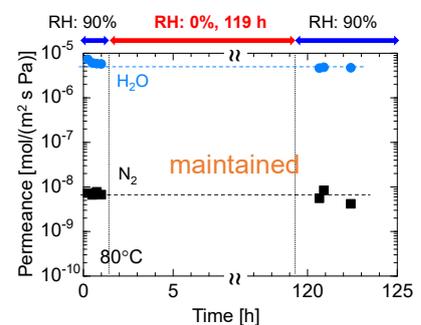


Fig. 2 CNF+BTSE membrane performance in dry condition.

金属有機構造体 CALF-20 充填-混合マトリクス膜の支持体上への薄膜塗工

片山 元貴

Katayama Motoki

関西大学大学院理工学研究科環境都市工学専攻

このたびは、日本膜学会「膜シンポジウム 2025」において学生賞をいただき、大変光栄に思います。この場をお借りして学会関係者の方々、発表を聴講していただいた皆様、審査していただいた先生方に厚くお礼申し上げます。以下に簡単ではありますが、発表内容を紹介させていただきます。

混合マトリクス膜 (Mixed Matrix Membrane: MMM) とは、気体分離性に優れた多孔性材料等をフィラーとして、高分子材料と混合して作製する膜です。高分子単独膜に比べ、MMM はフィラーの導入により、特定の気体に対する透過性および選択性が向上することが報告されています。本研究では、高分子マトリクスとして Polyether block amide (Pebax2533)、フィラーとして CO₂ に対する物理吸着能に優れた CALF-20 を用いた MMM を、多孔性支持体上に薄膜塗工し、その CO₂ 分離性能を評価しました。

SEM 画像 (Fig. 1) より、CALF-20 膜層は 10 μm 以下であり、塗工法による薄膜化が確認されました。

また、比較対象としてシャーレ内へキャストして作製した自立型 MMM では、フィラー充填率の増加に伴い、多数のポリマー/フィラー間の界面欠損が発生しました。一方で支持体上に作製した塗工型 MMM では、フィラー充填率に関わらず、界面欠損が少ない様子が観察されました。これは、厚みの大きな自立型 MMM (約 200 μm) と比較して、薄膜化に伴い高分子が迅速に硬化したことによって、フィラーの沈降・凝集が抑制されたためであると推測しました。気体透過試験では、薄膜化により気体が膜を透過するまでの時間遅れ (Time lag) の短縮が確認され、単位時間あたりの CO₂ 透過量の向上が確認されました。加えて、界面欠損の発生が抑制されたことにより、CO₂ に対する高い選択性を維持したまま、高フィラー充填による透過性の向上が実現しました (Fig. 2)。

最後に、本発表を通じて多くの先生方と有意義な議論を行うことができましたことを、大変嬉しく思っております。今回の受賞を励みに、より一層研究活動に精進する所存です。また、日頃よりご指導を賜りました田中俊輔教授、樋口雄斗助教ならびに研究室の皆様にご心より感謝申し上げます。

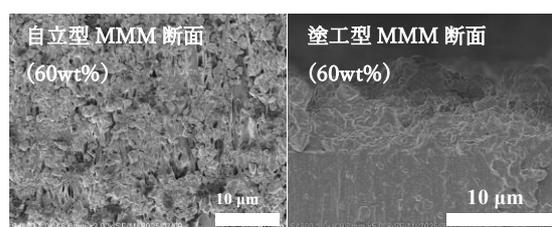


Fig. 1 SEM images of support-coated and self-standing MMMs.

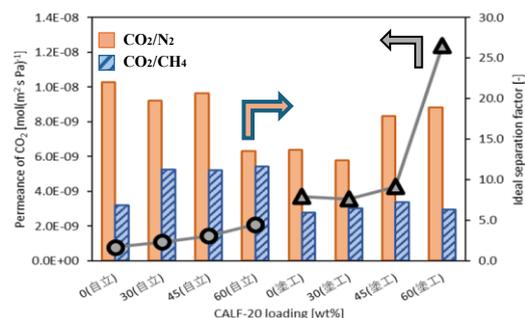


Fig. 2 Single-gas permeation tests of support-coated and self-standing MMMs by differential pressure method (Temperature:35.0 °C, Differential pressure:125 kPa).

全気相重合を用いた カーボンナノチューブ/ポリパラキシリレン複合膜の作製と透水挙動

森岡 陸

Morioka Riku

東京科学大学大学院物質理工学院材料系

このたびは、日本膜学会「膜シンポジウム 2025」において学生賞という名誉ある賞を賜り、大変光栄に存じます。本シンポジウムの運営にご尽力いただいた関係者の皆様、審査員の方々、そしてポスター発表を聞いていただいた方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

以下、簡単ではありますが、私の研究内容を紹介させていただきます。

近年、細胞膜を模倣した膜貫通型ナノチャンネルを備える分離膜の研究が活発に進められており、カーボンナノチューブ (CNT) を輸送チャンネルとする膜もその 1 つです。CNT 内部では壁面の平滑性と疎水性に由来して、水分子の高速輸送が可能であると報告されています。一方で CNT 内の水分子は常温常圧で固体用の秩序を示すとの報告もあり、CNT 内部の透水機構には未解明な点が多く残されています。本研究では膜貫通型チャンネルをもつ垂直配向 CNT/高分子複合膜を、溶媒を用いない全気相重合法によって作製し、圧力印加・温度変動下の透水性能を評価しました。SEM 観察および GI-SAXS を用いた構造解析を行った結果、複合膜中で CNT が基板に対して高い垂直配向性を維持していることを確認しました。さらに、透水性試験から CNT チャンネル内部において水の高速輸送が起きていることを確認しました。実験結果に基づき、高速輸送の指標であるスリップ長を見積もったところ、スリップ長は印加圧力・測定温度に関わらずおおよそ一定であることが明らかになりました。この結果は、CNT チャンネル内で安定したスリップフローが発現していることを示唆しています。

今回の発表において多くの先生方ならびに研究者の方々と深く有意義な議論ができたこと大変うれしく思っております。今回の受賞を励みとし、一層研究に精進する所存です。最後になりますが、本研究を遂行するにあたり、ご指導いただきました東京科学大学 松本英俊 教授ならびに垂直配向 CNT アレイを作製していただきました岡山大学 林靖彦 教授、そして松本研究室および林研究室の皆様へ、心より感謝申し上げます。

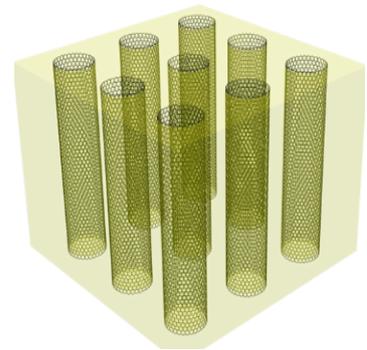


Figure 1 Typical image of the vertically aligned CNT array/polymer composite membrane

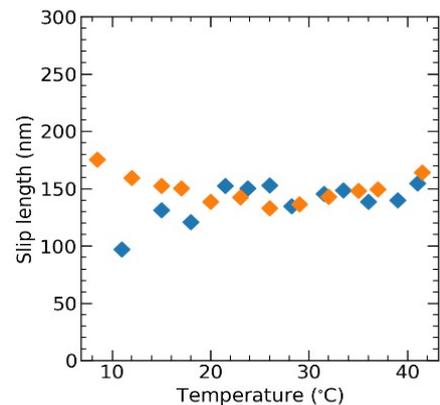


Figure 2 Temperature dependence of the slip length under applied pressures of 0.05 MPa (blue) and 0.10 MPa (orange).

ポリマー中の溶媒拡散係数の系統的測定および解析

石垣 和真

Ishigaki Kazuma

東京農工大学大学院工学府化学物理工学専攻

この度は、膜シンポジウム 2025 において学生賞を頂戴し、大変光栄に存じます。発表を聴講していただいた皆様、審査していただいた先生方、ならびに学会関係者の方々に、この場をお借りして心より御礼申し上げます。簡単ではございますが、以下に今回の発表内容を紹介いたします。

有機溶媒膜分離は、蒸留などに比べてエネルギー消費が少ない分離技術として近年注目されています。分離膜の性能を予測するためには、高分子-有機溶媒系の拡散係数を把握することが重要であり、拡散係数の予測モデルが構築されてきました。しかし、溶媒が純高分子中を拡散する状況（無限希釈条件）での拡散係数の予測値は、モデル中の「高分子の自由体積」というパラメータの影響を大きく受けるという課題があります。そこで本研究では、無限希釈条件での拡散係数を実験により網羅的に測定し、純高分子側での基準を設けることで、モデルの改善を行うことを目的としました。測定実験には、キャピラリーカラム逆ガスクロマトグラフィー (CCIGC) という手法を用い、約 20 種類の有機溶媒について、polystyrene (PS) 中の拡散係数を測定しました。また、得られた実験値と、現在提案されている 2 種のモデルでの予測値との比較を行い、さらにモデルの改善方法についても検討しました。Figure 1 に、今回の実験で得られた、110°C における PS 中の各溶媒の拡散係数と、shell-like free volume (SLFV) model, Vrentas-Duda (VD) model での予測結果の比較を示します。SLFV model での予測値の方が、実験値と予測値が一致する対角線により近い傾向にあることが見て取れました。さらに、Figure 2 に高分子の自由体積を最適化した上で、再度比較を行った結果を示します。最適化後の SLFV model での予測値は、すべての溶媒に対して誤差を約 1 桁以内に抑えることができ、以上の結果から高分子の自由体積の最適化によって SLFV model を用いて拡散係数を予測できることが示唆されました。

今回の発表において、多くの先生方ならびに聴講の皆様から貴重なご意見やご質問を賜り、大変有意義なディスカッションを行うことができましたことを、心より嬉しく存じます。本受賞を励みに、今後の研究活動により一層邁進してまいりたい所存です。最後になりますが、本研究を遂行するにあたり、日頃よりご指導を賜りました大橋秀伯准教授ならびに研究室の皆様に心より御礼申し上げます。

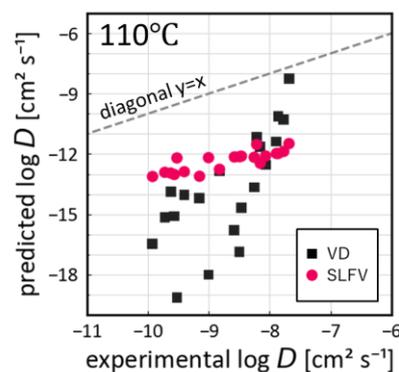


Figure 1. Comparison of the experimental and predicted diffusion coefficients of various solvents in polystyrene at 110 °C

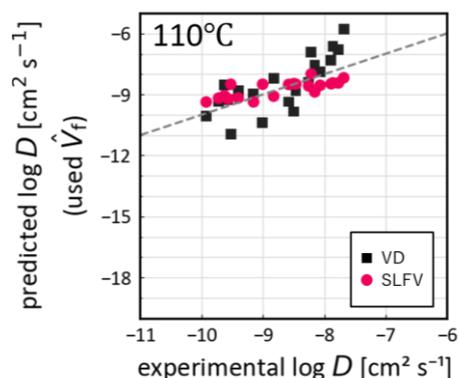


Figure 2. Comparison of the experimental and predicted diffusion coefficients of various solvents in polystyrene at 110 °C with optimized polymer free volume.

長尺カーボンナノチューブを用いた超薄支持膜の作製と評価

阿部 朱里

Abe Akari

東京農工大学大学院工学府化学物理工学専攻

この度は、膜シンポジウム 2025 において学生賞を賜り、誠に光栄に存じます。ご聴講くださった皆様方をはじめ、審査員の先生方、学会関係者の皆様に心より御礼申し上げます。以下に、簡単ではありますが本研究の概要をご紹介します。

本研究では、長尺カーボンナノチューブ (CNT) を用いて分離膜の支持層を作製し、純水のクロスフローろ過試験、引張強度試験等の評価を実施いたしました。電気化学的酸化とアニオン性界面活性剤を併用することで、長尺 CNT のデバンドル化を達成し、得られた分散液を吸引ろ過することによって膜を作製しました。製膜後には、ヒドラジン-水和物による還元処理も行っております。作製した CNT 自立膜の厚みは数 μm であり、一般的な多孔質基材と比較して一桁薄い支持層となりました。FE-SEM による表面観察結果 (Figure 1) からは、解繊された長尺 CNT が多孔質基材を形成している様子が確認されました。純水透過係数は、CNT 自立膜で 1800 ± 420 LMH/bar、還元処理後の CNT 自立膜では最大 3300 ± 230 LMH/bar を示し、いずれも既報の短尺 CNT 膜を数十倍の高い透過性を示しました。また、CNT 自立膜はポリマー製支持膜と比較して高い引張強度を示しました。これらの結果より、機械的強度に優れた長尺 CNT のネットワーク構造が、高強度かつ高透過性の超薄支持層の形成に寄与していることが示唆されました。

最後に、今回の発表において多くの先生方と貴重なディスカッションの機会をいただきました。本受賞を励みに、今後も一層研究に邁進する所存です。末筆ながら、本研究の遂行にあたりご指導を賜りました大橋秀伯准教授ならびに研究室の皆様に、深く感謝申し上げます。

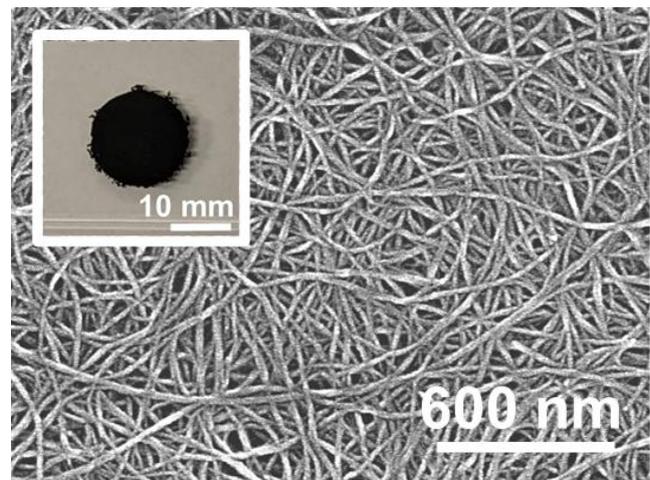


Figure 1. Surface morphology of the CNT membrane (Inset represents the entire image of the membrane).