

世界の豊かな生活環境と
地球規模の持続可能性に貢献する

アクア・イノベーション拠点 (COI)

第6回

シンポジウム

～造水・水循環システムの革新に向けて～

予稿集

2018.12.21(金) 13:00～17:45
(受付開始12:00)

ポスターセッション12:00～15:35(コアタイム12:00～13:00/15:15～15:35)

イノホール&カンファレンスセンター Room A

(東京都千代田区内幸町2-1-1 飯野ビルディング4 階)

主催:アクア・イノベーション拠点(COI)・信州大学

後援:公益社団法人高分子学会、炭素材料学会、公益社団法人日本水環境学会、
日本膜学会、長野県、公益財団法人長野県テクノ財団、NHK長野放送局、SBC信越放送、
NBS長野放送、TSBテレビ信州、abn長野朝日放送、信濃毎日新聞社



世界の豊かな生活環境と地球規模の持続可能性に貢献するアクア・イノベーション拠点 (COI)

第6回シンポジウム開催趣旨

信州大学アクア・イノベーション拠点では、地球上の誰もが十分な水を手に入れることができる社会を目指し、海水淡水化に向けたナノカーボン膜の研究を中心として、革新的な造水・水循環システムの実用化を目指して研究推進しています。プロジェクト開始から6年目となり、特色ある成果を得て、今年度末からはウォータープラザ北九州での海水淡水化実証試験を開始する予定です。加えてタンザニア等の途上国への貢献も鑑みて水環境調査もスタートし、当拠点の目標である海水淡水化、かん水淡水化をはじめとして、超純水製造、医薬や食品加工、エネルギーなどの様々な分野で社会実装への道筋をつけてまいります。

本シンポジウムでは、招待講演、プロジェクトの報告及びパネルディスカッションとともに、ポスターセッションによる成果の技術マッチングを行い、国連の持続可能な開発目標 (SDGs) にうたわれている「安全な水とトイレを世界中に」にアクセスできる豊かな水循環型社会の構築に向けた貢献を実現してまいります。

フェーズ3開始目前のこのタイミングで、さらなる研究加速のために様々な分野との連携について議論することも目的の1つとしております。水処理関連企業、膜開発・応用関連の企業の方をはじめ、大学・研究機関の研究者や自治体の方々にご参加いただくことで、信州大学アクア・イノベーション拠点の水研究を中心に連携の輪が広がることを期待しております。



プロジェクトリーダー
株式会社日立製作所
水ビジネスユニット
技術アドバイザー
都築 浩一

シンポジウム開催にあたって

信州大学は、アクア・イノベーション拠点の中核機関として、本学の強みであるナノカーボン材料を中核とする材料科学の研究を中心に全学の英知を結集し、参画研究機関や企業とともにオールジャパンの研究体制を組み、革新的な『造水・水循環システム』の構築を実現すべく研究開発を行っております。プロジェクトはいよいよ佳境に入り、来年度からはナノカーボン技術応用RO膜の実証試験など、これまでの6年間で開発してきた革新的な技術の社会実装に向けた活動のフェーズに入ります。

今後も、プロジェクト成功のために全学をあげて支援してまいります所存でございますが、あわせて、このアクア・イノベーション拠点が自立的、継続的に技術イノベーションを生起していくイノベーションプラットフォームに発展進化するための各種施策を講じてまいりたいと存じます。

イノベーションプラットフォームは、信州大学を中心に産官学市民が連携して水関連分野の技術革新や新事業創造を実現するためのエコシステムです。そこでは基礎科学技術基盤の育成強化、応用システムの創生と社会実装がコンカレントに実行されながら、継続的に新たな課題解決に挑戦し続けていきます。

今回のシンポジウムは、本学がイノベーションプラットフォームを構築する新たな一歩として、大変意義深いものであると存じます。引き続きご支援・ご協力をお願い申し上げます。



国立大学法人信州大学
学長

濱田 州博

ポスターセッション(ホワイエA) 12:00~13:00

- 13:00~13:15 **開会挨拶** 濱田州博(信州大学学長)
来賓ご挨拶 文部科学省(予定)
佐藤順一(COI STREAM ビジョン3 ビジョンナリーリーダー)

13:15~15:15 **第一部 研究開発の概況報告**

プロジェクト説明

都築浩一(プロジェクトリーダー/株式会社日立製作所)

研究開発の概況報告

● **ナノカーボンを用いたRO膜の新機能と応用**

遠藤守信(研究リーダー/信州大学特別特任教授)

手島正吾(高度情報科学技術研究機構計算科学技術部長)

● **分離膜の分析・評価方法**

前田瑞夫(理化学研究所前田バイオ工学研究室主任研究員)

● **安全な水を創る信大クリスタル**

手嶋勝弥(サブ研究リーダー/信州大学教授)

● **表面重合膜の開発**

木村睦(サブ研究リーダー/信州大学教授)

● **タンザニアの水環境と水のフッ素汚染調査**

中屋眞司(信州大学教授)

● **水大循環メカニズムと活用**

高橋桂子(COI-S研究リーダー/海洋研究開発機構地球情報基盤センター長)

休憩・ポスターセッション(ホワイエA) 15:15~15:35

15:35~16:35 **第二部 招待講演**

「海水淡水化の現況と今後」

岩橋英夫(三菱商事株式会社/日本脱塩協会会長)

「水の再利用——広がる役割と課題」

田中宏明(京都大学大学院工学研究科教授)

16:40~17:40 **第三部 パネルディスカッション**

「新しい分離膜の水処理・社会実装への期待」

モデレータ

上田新次郎(エグゼクティブアドバイザー/信州大学特任教授)

パネリスト

岩橋英夫(三菱商事株式会社/日本脱塩協会会長)

田中宏明(京都大学大学院工学研究科教授)

大熊那夫紀(一般財団法人造水促進センター専務理事)

鍋谷浩志(農業・食品産業技術総合研究機構食品研究部門部門長)

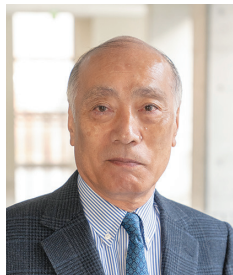
辺見昌弘(サブプロジェクトリーダー/東レ株式会社理事)

17:40~17:45 **閉会挨拶** 中村宗一郎(信州大学理事)

司会進行:佐藤明生(信州大学学長補佐/工学系教授)

意見交換会(Room B) 17:50~18:50

ナノカーボンを用いた RO膜の新機能と応用



研究リーダー
信州大学特別特任教授
遠藤 守信



高度情報科学技術研究機構 (RIST)
計算科学技術部長
信州大学カーボン科学研究所特任教授
手島 正吾

水の世紀と称される21世紀、水処理膜に今、様々なイノベーションが要請され、水処理膜から造水システムまで挑戦的研究が広く展開されている。信州大学アクア・イノベーション拠点において、先進ナノカーボンを用いた水処理膜プロジェクトを推進している。ナノカーボンは信州大学で提唱された「ナノメータサイズで炭素の構造を制御して得られる革新的機能を持った炭素体」で、代表的物質にカーボンナノチューブ(CNT)、グラフェン、また構造制御したダイヤモンド様炭素(DLC)等がある。これらを新たな造水膜に応用して要請される膜イノベーションを実現しようとするものである。

当拠点で対象としている主な分離膜は、①多層CNTとポリアミド(PA)の複合によるRO膜¹⁻⁷⁾、②構造制御したDLCによるRO/NF膜⁸⁾、③酸化グラフェン・グラフェン複合によるNF膜⁹⁾等の開発研究を展開している。さらに、特異なナノ空間を持つナノカーボン(膨張黒鉛)を用いて石油採掘時の副産物である随伴水一次処理法^{10,11)}も開発している。

CNTは一般に凝集し易く独自の解織技術と従来の界面重合による高分子薄膜の形成技術を融合させた新しいナノ複合膜製膜法を開発した(図1)。この手法により従来は不可能であった高濃度のCNT(15.5wt%以上)によるナノ複合RO薄膜を開発している。かかるRO膜の特長は、高性能な脱塩性や透水性能に加えて、特に優れた耐汚濁性(有機、無機他)および耐塩素性等のロバスタ性を有している。殊にCNTの複合によりCNT周辺に高度に配向したPA分子層が形成され、高透水性がもたらされた(図2)。また、CNTとPA間に電荷移動が発現し(図3)⁵⁾、その影響で膜表面に界面水が誘発され、優れた耐ファウリング性を有することが明らかにされた^{3,7)}。

ここではナノカーボン造水膜の機能とその発現メカニズム、膜構造制御等についてコンピュータシミュレーションを併用した膜開発について研究成果の一端を紹介したい。

References

- 1) S. Inukai, M. Endo et al, Scientific Reports 5:13562, 1-10 (2015)
- 2) T. Araki, M. Endo et al., ACS Appl. Mater. Interfaces 7, 24566-24575 (2015)
- 3) Y. Takizawa, M. Endo et al., ACS Appl. Mater. Interfaces 9, 32192-32201 (2017)
- 4) J. O. Medina, M. Endo et al., Scientific Reports 2748 (2018)
- 5) T. Araki, M. Endo et al., Physical Review Applied 9, 024018 (2018)
- 6) K. Takeuchi and M. Endo et al., Desalination 443, 165-171 (2018)
- 7) Y. Takizawa, M. Endo et al., ACS Omega 3, 6047-6055 (2018)
- 8) J. O. Medina, M. Endo et al, NPG Asia Materials 8, e258, 1-10 (2016)
- 9) A. M. Gomez, M. Endo et al, Nature Nanotechnology 12, 1083-1088 (2017)
- 10) K. Takeuchi, M. Endo et al, Journal of Water Process Engineering 8, 91-98 (2015)
- 11) K. Takeuchi, M. Endo et al, Journal of Water Process Engineering 20, 226-231 (2017)

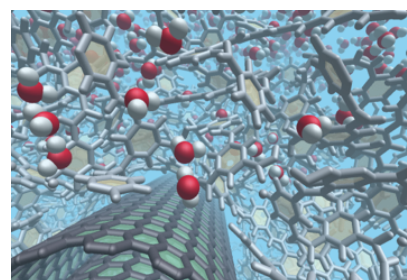


図1 CNTに沿って配向したCNT/PA膜の構造モデル

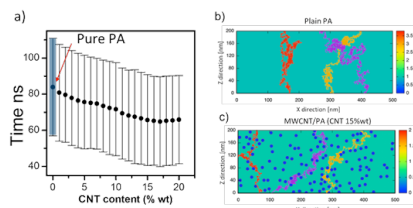


図2 マルチスケールシミュレーションによるCNT含有量に対する水分子の平均透過時間(a)と水分子の通過軌跡(CNT/PA膜(厚さ200nm)を通る水の拡散軌道)(b)

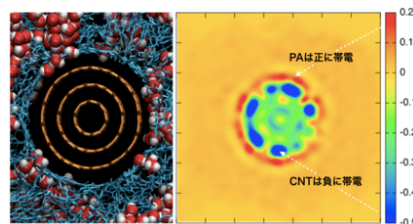


図3 MDによるCNT/PA膜に発現した電荷移動

分離膜の分析・評価方法



サテライトリーダー
理化学研究所
前田バイオ工学研究室
主任研究員
信州大学大学院
総合医理工学研究科教授
前田 瑞夫

次世代の水浄化膜開発のために水に関する基礎研究を行っている。具体的には、計算シミュレーションと振動分光計測を連携させて、高分子材料でつくられた水分離膜(逆浸透膜)と水分子との相互作用を原子レベルで明らかにしようとしている。逆浸透膜の基本構造である架橋芳香族ポリアミドの水和構造を分子動力学計算により求め、さらに量子化学計算によってその振動分光スペクトルを予測した。これが実測データとよく一致することを示し、振動スペクトルの各吸収ピークが水とポリアミド構造とのどのような相互作用に帰属されるかを明らかにした。その結果、膜中の水は高分子と

強く相互作用することはなく、むしろ水分子同士でクラスターを形成していることが証明された。一方、同じくポリアミド構造をもつナイロン膜では水分子はアミドと強く水素結合しており、水の膜内拡散が大きく抑制されていることがわかった。以上の結果から、架橋芳香族ポリアミドからなる逆浸透膜ではその立体的に緻密かつ硬い構造のためアミド基間の水素結合ネットワークが未発達であり、その間隙を水分子が効率的に拡散する機構が示唆された。このほか水浄化膜の防汚性を評価する新手法の開発を進めている。

安全な水を創る信大クリスタル



サブ研究リーダー
信州大学
工学系教授
手嶋 勝弥

本研究では、無機結晶イノベーションの視点から「水をキレイにする化学」にチャレンジしている。まず、金属イオンを吸着除去する結晶材料の育成とその応用に注力した。チタン酸ナトリウム系化合物の結晶構造を制御し、物質自体がもつナノ空間をデザインするとともに、その育成プロセスを制御して結晶形状を最適化することで、最高のパフォーマンスを発現できた。この結晶材料(信大クリスタル)と活性炭を複合成型した浄水カートリッジをつくることで、フレンチプレスタイプの簡易型浄水ボトル「NaTiOナティオ」が生まれた(社会実装第一弾)。現在、あらゆる浄水器への応用展開や新しい簡易浄水フィルターの作製を開始している。また、さまざまなアニオン種などを吸着除去できる結晶材料も実現し、目的に応じたイオン種を自在に捕らえる超空間結晶材料の創成を目指している。



簡易型浄水ボトル
「NaTiO」



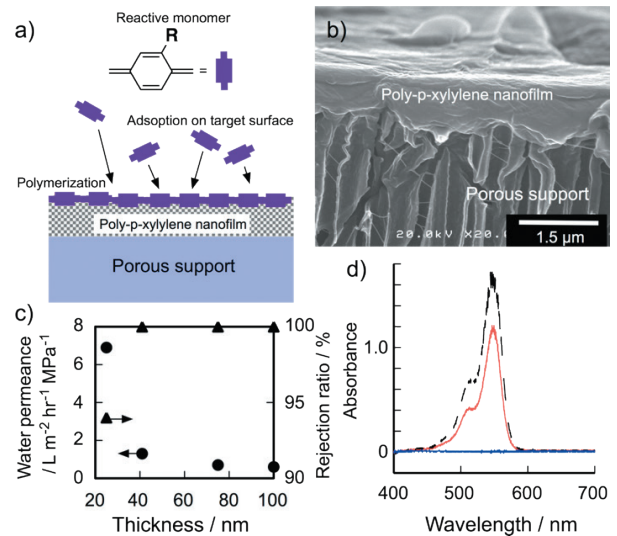
フラックス結晶が
拓くミライ

表面重合膜の開発



サブ研究リーダー
信州大学
繊維学系教授
木村 睦

これまでに、気相重合によるパリレン薄膜が優れた透水性および透過選択性を持つことを見出してきた。今回、パリレン膜のモノマーとなるシクロファン化合物の系統的合成によって、膜内の自由体積制御が可能となり、自由体積に応じた透過選択性の発現に成功した。さらに、膜内の電荷制御ができ、電荷による選択性付与が可能となった。これらにより、ドライプロセスによって基材表面に欠陥なくパリレン薄膜を形成でき、応用用途に合わせた膜設計が可能となった。発表では、用途開発の進捗に関しても発表を行う。



タンザニアの水環境と水のフッ素汚染調査



信州大学
工学系教授
中屋 眞司

アフリカ東部のグレートリフトバレーではアルカリ火山活動によって、高濃度のフッ素を含む火山岩類が分布している。タンザニアでは、その中を通ってきた地下水、河川水が水資源として使われている。水には高濃度のフッ素が含まれ、経済的な水不足に加えて淡水資源の利用に障害となっている。調査の結果、メルー山流域の水のフッ素濃度は、WHO基準 (1.5 mg/L) を大幅に超えているのに対し、キリマンジャロ山流域ではフッ素汚染はみられなかった。フッ素濃度が高い水は、必ずNa-HCO₃型の水質をし、pHとともにフッ素濃度が高くなる傾向や、地下水とフッ素を多く含む地層との接触時間が長くなると水のフッ素濃度が高くなる傾向もみられた。



タンザニア政府アルーシャ県の地下水源。メルー山の中腹 標高1,600mに掘られたばかりのボアホール。新しく掘削されたボアホールの地下水も、今後、河川水源の水とミックスして市街地に配水される予定。

COI-S 「水」大循環をベースとした持続的な 「水・人間環境」構築拠点 水大循環メカニズムと活用



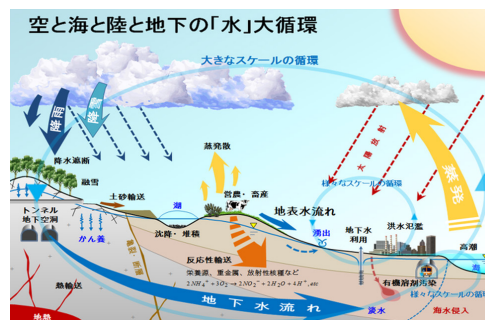
COI-S研究リーダー
海洋研究開発機構
地球情報基盤センター長
高橋 桂子

世界初の大気・海洋・陸域・地下水系を統合した「水」大循環モデルを開発し、そのモデルを活用して超高解像度シミュレーションを行うことによって将来の気候変動が進んだ状況下における水環境の予測を行います。その予測結果を分析して、よりよい水環境のあり方の提案を行い、都市計画などの施策に反映して、科学的根拠データをもとに水環境の新しいあり方に貢献することが、本事業における私たちの研究開発目的です。

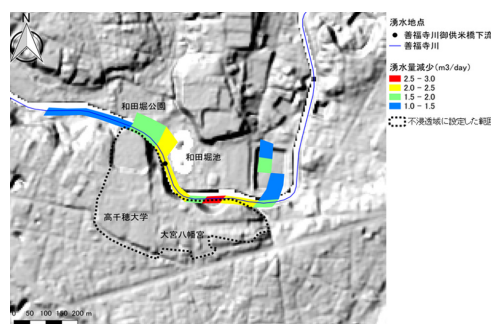
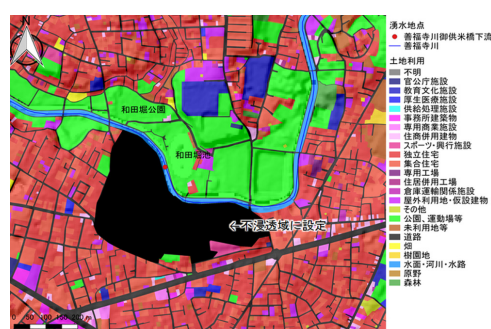
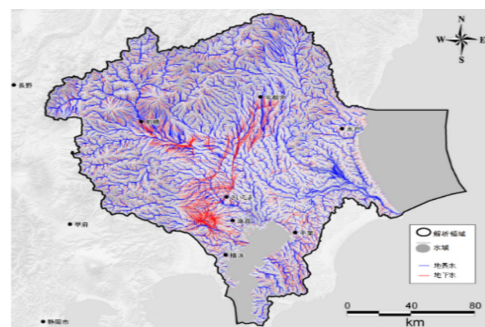
これまでに首都圏流域の土地利用、人工排熱、水利用について1975～2005年の約30年間の変化をとらえるデータベースを構築しました。このデータベースは、ばらばらに保存されている調査データを、できるだけ合理的な考え方で統合した日本初の詳細なデータベースです。この取り組みによって、水利用の時代変遷を表現する手法を確立しました。さらに、本事業の社会実装対象地域のひとつである神田川・善福寺川流域に対して、開発した水大循環モデルを用いて超高解像度シミュレーションを実施し、湧水分布の再現に成功するとともに、土地利用を変化させることにより湧水量分布を変化させることができることを示しました。

本事業で確立したシミュレーション手法と構築したデータベースを活用して、例えば、「湧水の保全と復活を踏まえた将来の土地利用計画のあり方」についての提言をまとめ、社会実装を後押しする神田川・善福寺川流域における都市計画に活かすことを予定しています。また今後は、関連する自治体、NPO、市民団体との情報・意見交換をさらに密にし、計画が実装された後に実現される具体的なイメージがつかめるように、本成果の普及活動にも力をいれて取り組む予定です。

本事業で開発した大気・海洋・陸域・地下水系を統合した「水」大循環モデルや、これからさらに高解像度で長い期間実施するシミュレーション予測技術は、世界に類を見ないものです。開発した技術を活用することにより、これまで得ることができなかった空、海、地下それぞれと、それらを繋いで循環している水の動態を定量的に示すことができます。これらの循環メカニズムがわかれば、将来さらに温暖化が進んだときの水循環のあり方や、その時点での対策についての検討が可能になります。加えて、水処理関連のシステムを設置するための条件の検討や決定、ある水環境を保全するための施策の提案、さらには水環境の変化を積極的に利用したコストダウンの検討など経済的効果への寄与も期待できます。



地球上の水循環の概要



招待講演

海水淡水化の現況と今後



三菱商事株式会社
水事業部シニアアドバイザー
日本脱塩協会会長
岩橋 英夫

‘海水淡水化の現況と今後’に付き、ビジネスの現況、技術の現況、および今後の動向、に分けて説明を行う。ビジネスの現況では、最近の市場の動き、機器など分野別の分析、市場のトレンド(地域や契約形態)、およびそれらの定量的な解説を試みる。趨勢的には多くのプレイヤーが、EPC分野からより高い利益を得ることのできるO&M分野に移行しつつある。

一方技術に関して、最も重要な技術指標である製造水 m^3 あたりの電力消費の数値を紹介するとともに、近年伸長が著しい逆浸透膜(RO)法のそれぞれのプロセス(前処理部、RO部など)における技術動向を概観する。特に膜前処理に

ついては、実績が豊富になりつつあり、その成績を評価できるようになってきた。また近年RO法プラントの大型化(超大型化)が進んでいるが、コストを考慮すれば適当と思われる容量があり、その容量に付いても議論を行う。

最後に今後の動向に付き、若干の希望的観測を交えながら、プロセスや単体機器の動向、コストの定量的目標など議論を行う。但しここ数か月でRO法大型海水淡水化プラントのコストレベルの低下が大きく、新たな段階に入った感がある。

招待講演

水の再利用—— 広がる役割と課題



京都大学大学院
工学研究科教授
田中 宏明

20世紀に発達した上下水道による「一過型」の水利用システムは、快適な都市生活を支えているが、大量取水、都市排水の集中、莫大なエネルギー消費、処理しきれない化学物質や病原微生物による汚染影響等、様々な課題を抱えている。世界的な水資源の量的不足と質的悪化、さらに気候変動へ対応するために、「水の再利用」という視点を加えると、解決の糸口が見出される。

2015年、国連持続可能な開発目標6「水と衛生」の中で、水のリサイクルと安全な再利用を世界全体で大幅に増加させることが定められた。これは、世界的に再生水の利用が、水資源、水環境、エネルギーの管理の視点から求められて

いることを示している。しかし、都市下水には病原微生物や有害化学物質が含まれている可能性があるため、再生水のリスク管理は極めて重要である。しかし、エネルギーやコストとトレードオフにあり、安全な目標を達成する効率的な再生水技術が必要である。現在、様々な要素技術を組み合わせた再生水技術が使われているが、再生水の用途に合った安全性、信頼性、効率性のある再生水プロジェクトが、わが国では必ずしも行われていない。現在、これらを反映した水の再利用のプロジェクトが沖縄で計画され、実施のための検討が進んでいる。

新しい分離膜の水処理・社会実装への期待

本COIプロジェクトは6年目でフェーズIIの取り纏め時期となり、信州大学のナノカーボン技術や材料技術をもとにロバスト(頑強)性を備えた高性能のカーボン膜などを生み出しています。また膜の創生と連携して進めている水科学の研究においても、水分子の透過や脱塩、耐ファウリング性の分析やシミュレーションにより、そのメカニズムを解明してまいりました。この研究成果を実用化に繋げるべく分離膜のモジュール化も進めています。そこでこのパネル討論では、これらの新しい膜・材料と水科学への知見をもとに、造水・水循環システムに革新的イノベーションを生み出すべく社会実装について討論をします。分野としては海水やかん水の淡水化、下水や排水の再生・再利用、超純水製造など産業分野、食品や医療分野への展開などが考えられます。このパネル討論を通じて本COIプロジェクトの研究成果を社会実装へ繋げる道筋をつけてまいりたいと思います。

モデレータ

上田 新次郎

エグゼクティブアドバイザー(COI拠点)
信州大学特任教授



パネリスト

岩橋 英夫

三菱商事株式会社
日本脱塩協会会長



パネリスト

田中 宏明

京都大学大学院
工学研究科教授



パネリスト

大熊 那夫紀

一般財団法人
造水促進センター専務理事



パネリスト

鍋谷 浩志

農業・食品産業技術総合研究
機構食品研究部門部門長



パネリスト

辺見 昌弘

サブプロジェクトリーダー(COI拠点)
東レ株式会社理事



ポスターセッション

12:00～15:35 (コアタイム12:00～13:00 / 15:15～15:35)

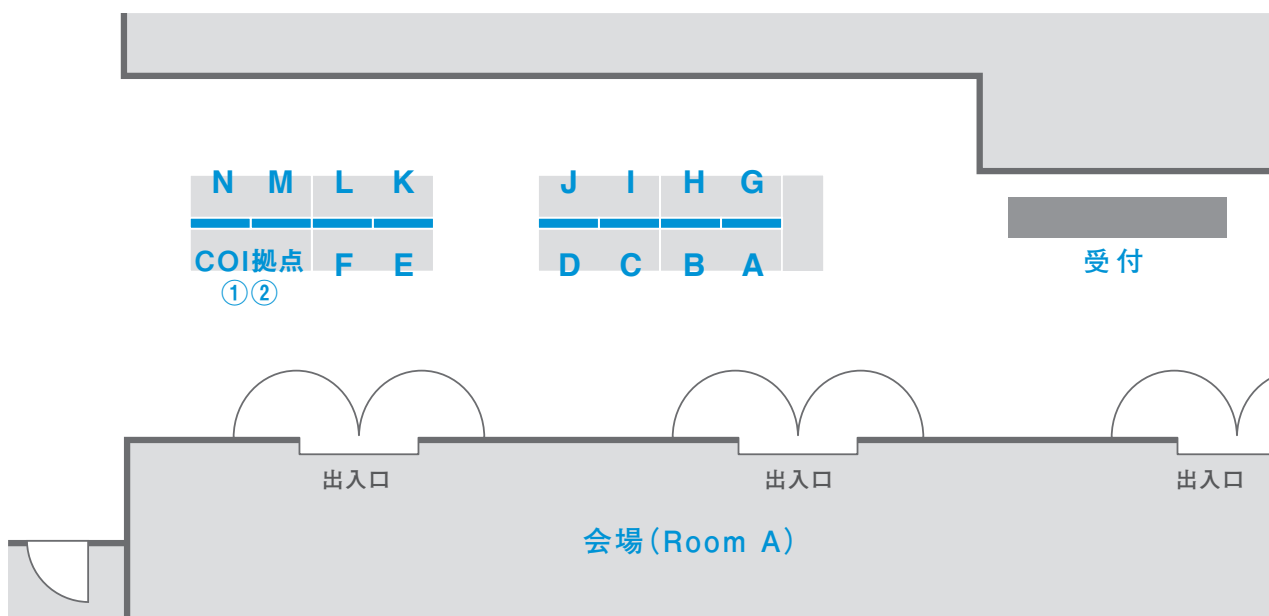
中核拠点

- A 海水淡水化の超省エネ化、ロバスト化のための分離膜開発(信州大学)
- B Effective robust performance and water diffusion mechanism of carbon nanotube/polyamide nanocomposite reverse osmosis membranes (信州大学)
- C 計算科学に基づく、カーボン系RO膜(CNT/PA複合膜)のソフト界面に対する分子動力学計算(高度情報科学技術研究機構)
- D 原子間力顕微鏡法による水浄化用分離膜へのファウラント吸着の評価(理化学研究所)
- E 海水淡水化の超省エネ化、ロバスト化のための分離膜のモジュール化(東レ)
- F 海水淡水化の超省エネ化、ロバスト化のための分離膜のモジュール化検討、システム化検討(日立製作所)
- G 嵩高さの異なるアミド側鎖の導入によるパリレン薄膜透過制御(信州大学)
- H 架橋多孔性パリレン薄膜への置換基導入による透過選択性制御(信州大学)
- I 誘電緩和現象を用いたRO膜のIn-situモニタリング手法の開発(信州大学)
- J 天然クロロフィルを用いた環境浄化(信州大学)
- K 海水淡水化と随伴水処理のためのシステム構成材料(信州大学)
- L 水中の有害物除去のための無機結晶材料開発とそのモジュール・システム化(信州大学)
- M タンザニアにおける安全な水へのアクセス確保方策フィージビリティ調査(信州大学)

COI-S拠点

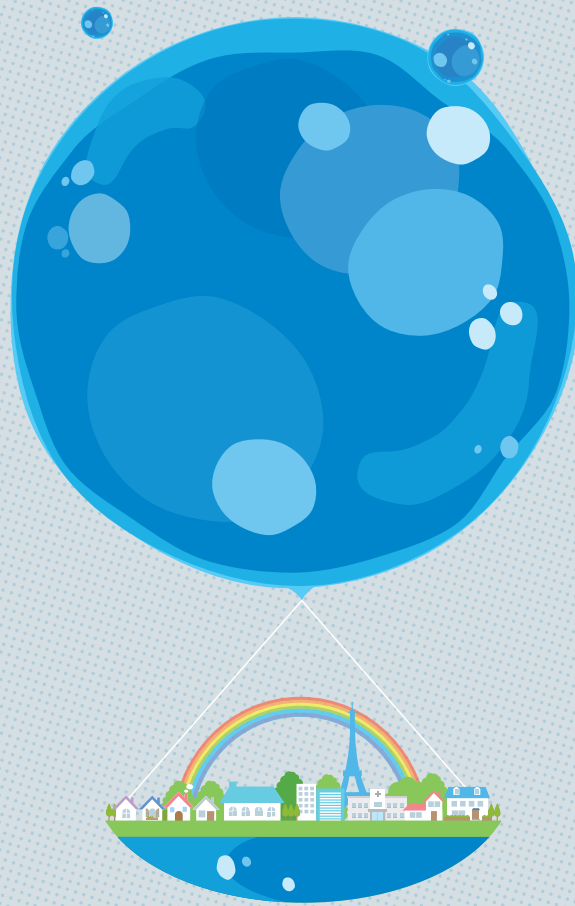
- N 大気海洋・地下水系大循環連成モデルを用いた表層水系と地下水系の応答特性からみちびく将来のグリーンインフラストラクチャ(海洋研究開発機構)

■ パネルレイアウト



M E M O

A series of horizontal dashed lines for writing.



発行元

信州大学アクア・イノベーション拠点

〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1

TEL:026-269-5773 E-mail:coi_info@shinshu-u.ac.jp

HP:<http://www.shinshu-u.ac.jp/coi/>

世界の豊かな生活環境と地球規模の持続可能性に貢献するアクア・イノベーション拠点(COI)

【中核機関】 国立大学法人信州大学

【中心企業】 株式会社日立製作所、東レ株式会社

【サテライト機関】 国立研究開発法人理化学研究所

【共同実施機関】 一般財団法人高度情報科学技術研究機構、昭和電工株式会社、北川工業株式会社、トクラス株式会社、栗田工業株式会社

【参画機関】 長野県

【COI-S機関】 国立研究開発法人海洋研究開発機構

【COI-S共同実施機関】 学校法人中央大学

