

# 風

神戸大学 広報誌 [kaze]  
Kobe University Public Relations Magazine

Dec. 2015 Vol.06

水を汲むだけの生き物調査術

特集2 神大研究スームアップ

世界ブランド「神戸膜」へのステップ

特集1

キラリ神大女性 | 12  
・サントリー「ビートル」ザンブレミアム・モルツ  
新商品開発の若き立役者

KOBE教育 | 14  
・「海への誘い」海事科学部附属練習船で  
航海体験実習

神大発地球 | 16  
・学生が拓く地域の未来  
「篠山市地域おこし協力隊」



特集1  
世界ブランド「神戸膜」へのステップ

松山秀人先生と研究室のみなさん

ミクロンの薄さに凝縮したテクノロジーで環境と人類に貢献

2015年春、六甲台第2キャンパスに6階建ての新しい研究棟（表紙）が出現した。その名は先端膜工学研究拠点。学科・部局横断で膜関連の研究グループが集まっているとのことで、建物の外壁には膜らしきオブジェが取り付けられている。とはいえ、これほど大きな研究棟でどんな膜の何を研究しているのか、なかなか見当がつかない。そもそも「先端膜」とは何ぞや？  
この拠点ができる8年前に工学研究科先端膜工学センターを立ち上げ、現在もセンター長を務める松山秀人先生と、松山研究室のみなさんに話をうかがった。

六甲山麓の温泉

列島には2万箇所以上の温泉がある。もちろん、その多くは火山の恵みだ。一方で、兵庫県は火山とはほとんど無縁であるにもかかわらず、400近い温泉が湧く「温泉県」でもある。

その中でも、神戸裏六甲の有馬温泉は日本三大古泉に名を連ねるほどの名泉である。最高温度98度の源泉には、とりわけ塩分と炭酸分が多く含まれる。実は同じような成分の温泉が六甲山麓に点在することは、あまり知られていない。武庫川沿い、宝塚大劇場の対岸の宝塚温泉、その他西宮、芦屋、灘にも10以上の源泉掛け流しがある。いずれも泉温こそ50度に満たないが、成分的には立派な温泉である。

しかし、もちろんこの辺りには火山は見当たらないし、白浜や龍神などの紀伊半島の温泉のように地下に高温の岩体が潜んでいるわけでもない。有馬型温泉の起源は長い間謎であったのだが、ようやく最近になってその答えが見つかったようだ。なんとこの温泉は、地下70キロメートルもの深さに由来するというのだ。そのルーツは、南海トラフから潜り込んで巨大地震を引き起こすフィリピン海プレート。このような海の下で誕生したプレートは、そもそも海水を含んだスポンジのようなものである。それが沈み込んで周囲からぎゅっと押されるのだから、水は搾り出されるのが道理と言うものだ。そして、その過程で水には塩分や炭酸が濃集するうえに、温度は数百度にも達する「熱水」なのである。

温泉大国日本でも希有な「プレート直結の温泉」。こんな素敵な列島からの贈り物を享受しない手はない。



有馬温泉  
天神泉源(上)と温泉街(下)



宝塚温泉 塩谷川(左)と温泉タンク(右)



源泉かけ流し 灘温泉六甲道店

表紙写真：イノベーションの創出を目指す「先端膜工学研究拠点」

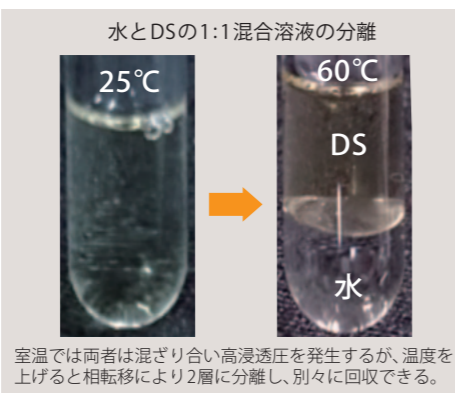
先端膜工学研究拠点は地上6階建て、延べ床面積は6120平方メートル。膜をモチーフにした外壁のオブジェが特徴的。工学研究科先端膜工学センターのほか、建築学系、市民工学系、電気電子工学系、機械工学系、応用化学系、イノベーションサポートセンターなど多様な研究グループが入り、学科や部局を横断して「先端膜工学」の世界的研究拠点を目指します。

カメラ：大亀京助



# membrane

——容易に分かれる……そんな都合のいい液体があるんですか。  
今、我々が研究しているのはイオン液体というものです。水とイオン液体は、常温では均一に溶けていますが、60度ぐらいの熱をかけると2層に分かれるんです。DSは他にもいろいろ考えられていますが、イオン液体はイオン、つまりは塩が液体になっているので浸透圧が非常に高く、熱によって



水とDSの1:1混合溶液の分離  
室温では両者は混ざり合い高浸透圧を発生するが、温度を上げると相転移により2層に分離し、別々に回収できる。

溶液を使えば、圧力をかけなくても浸透圧で水がしみ出しますよね。これが我々の研究しているFO膜法(正浸透膜法)です。  
——濃い溶液に水が移動しても、それが少し薄くなるだけですよね。淡水にはほど遠いと思うんですが……。  
水を引っ張る、浸透圧の高い溶液をDS(駆動溶液)といいます。このDSに、水と容易に分かれるものを選びたいわけですね。

もうひとつ、力を入れて研究しているのが生体模倣膜です。生き物の細胞膜を真似た二分子膜というもので、従来の100倍の速さで水を通します。でも、これは強度がまだ弱いんです。安定性がなく、大量に生産するのも難しい。実用化にはしばらくかかりそうです。  
——FO膜は海水淡水化以外にも使えますか。  
たとえば浸透圧発電です。海の水と川の水の浸透圧の差は、水力発電でいうと270メートルの落差に相当するんです。目の前に270メー

水ときれいに分かれる利点があります。DSにイオン液体を使う方法を発表したのは我々が最初で、現在、特許出願中。同じ量の水を取り出すのに使うエネルギーは、ROのざっと4分の1です。  
——膜のほうにはどんな性能が求められるんでしょうか。  
水を通すのが速ければ速いほどいいです。今我々が開発している膜は非常に速くて、従来の約2倍の性能が出ています。高分子材料で作った多孔層がFOに最適化されている。簡単にいうと、薄くてまっすぐに孔が開いているんです。これはもうかなり実用化に近づいていますよ。

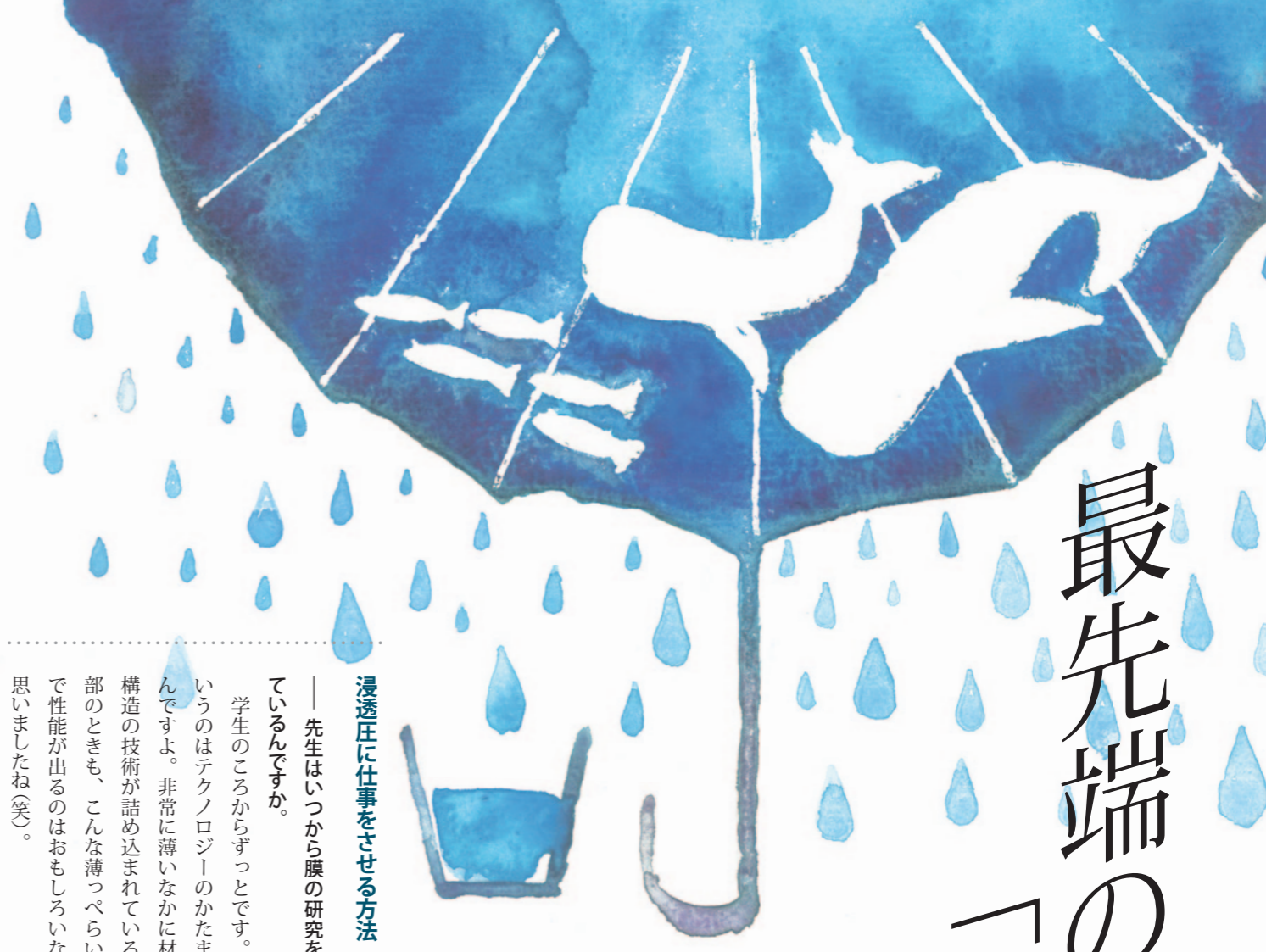


松山 秀人  
MATSUYAMA Shoyu

工学研究科 教授 先端膜工学センター長  
1960年和歌山県生まれ。1985年京都大学大学院工学研究科化学工学専攻修士課程修了。工学博士。1985年京都工芸繊維大学工学部助手、1994年岡山大学環境理工学部講師、1998年同助教授、1999年京都工芸繊維大学工学部助教授を経て、2004年より現職。専門は膜工学。

interview I-1  
トルの滝があれば、誰だって発電したくなるじゃないですか(笑)。そこで、FO膜を使って河川水を海水側に通し、その圧力でタービンを回すわけです。海に流れていた川の水で、海の水をちよつと薄めるだけなので、廃棄物は何も出ない。風力や太陽光と違って川はいつも流れていますから、安定した再生可能エネルギーになります。現在、大型の装置で性能評価をしている段階です。  
この応用で、下水と海水を使うこともできます。海水の浸透圧は、下水と比べてもはるかに高いんですね。川の場合と同じように発電できるし、下水は濃縮されて取り扱やすくなります。今までお金がかかってきた下水処理場が、電気を売って儲かるようになります。

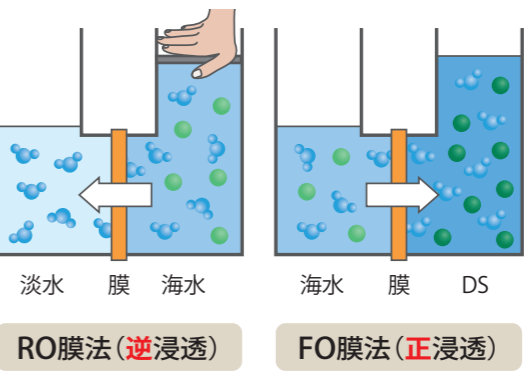
最大の課題は何ですか。  
ファウリングと云って、膜が詰まってしまいうんです。急に目詰まりを起こして水を通さなくなる。水を前処理すれば防げるんですが、それではお金がかかって、発電しても儲からないんです。だから、ファウリングしない膜、ファウリングしない運転の仕方に変えないといけないんです。我々が得意にしている分野ではあるんですが、もつとがんばって研究する必要があります。  
大きな課題がもうひとつ。ここにしかない新しい膜を開発して、「神戸ビーフ」のように世界に通用する「神戸膜」ブランドを確立したいですね(笑)。



## 最先端の膜と液で「逆」から「正」へ

### 浸透圧に仕事をさせる方法

——先生はいつから膜の研究をされているんですか。  
学生のころからずっとです。膜というのはテクノロジーのかたまりなんでしょう。非常に薄いなかに材料と構造の技術が詰め込まれている。学部的时候も、こんな薄っぺらいもので性能が出るのはおもしろいなーと思いましたね(笑)。



2007年、神戸大学に日本初の先端膜工学センターを立ち上げました。9年目の今、教員23名、学生約100名が所属しています。センター長はずっと私ですが、松山研究室はセンターの一部ということになります。拠点ビルには、建築学、市民工学など、センター以外の膜関連の研究室も入っていて、膜に関する研究を多角的に行っています。  
さらに、先端膜工学研究推進機構という産学連携のための組織があります。これは一般社団法人で、国内企業67社が参加しています。ふつう、連携の相手が10社もあると「多いですね」と言われますが、我々は67社と共同研究をしているわけです。  
——先生の研究室ではどのような膜を研究されているんですか。  
ターゲットは水と大気です。膜を使って、海水から淡水を取り出しましょう。大気のほうはCO<sub>2</sub>の分離で、こちらは主に神尾先生が担当しています。

膜を使う淡水化はすでにありますよね。あれとは違うんですか。  
水だけ通す膜を使う、その点は同じです。従来の方法はRO膜法(逆浸透膜法)と云って、水を無理やりしみ出させるんです。こういう膜はさんなだ液体には浸透圧、つまり、同じ濃度になろうとする力が働きますから、水をしみ出させるためには、海水に浸透圧以上の圧力をかけなければなりません。でも、海水より濃い

# CO<sub>2</sub>だけを速く通す 最先端の膜レシピ

## アイデア提供はヘモグロビン

— CO<sub>2</sub>分離膜には孔がないそうですね。どういう仕組みなんですか。

一般的なCO<sub>2</sub>分離膜には、孔の開いているものと開いていないものがあります。孔のあるほうは、その孔より小さいCO<sub>2</sub>は通すけれども、窒素、メタンなどの大きい分子は通りにくい。これでCO<sub>2</sub>の分離ができません。孔のないほうは高分子の密なネットワークで、その隙間をCO<sub>2</sub>が通る。いったん溶け込んで出ていくわけです。ただ、これらの膜はCO<sub>2</sub>だけを通す選択性が低かったり、透過がものすごく遅かったりします。

我々が開発している膜は、これらの膜とは根本的に違います。従来の高分子膜は溶解という物理現象を使っていますが、我々の膜は化学反応を利用するんです。

— 膜が化学的に反応するんですか。

はい。実はその膜は生体機能を模倣しているんです。私たちが空気を吸い込んで、酸素を選択的に吸収できるのは、血中のヘモグロビンが酸素と非常に仲がいいからです。ヘモグロビンに含まれるヘム鉄が、酸素と化学反応を起こすんですね。化学反応を利用して、ある特定のガスだけを選択的に吸収する。この生体機能を模倣したわけです。

CO<sub>2</sub>と仲がいいのは、アミノ基を含む化合物です。これをCO<sub>2</sub>の運び屋さん、CO<sub>2</sub>キャリアとして膜に閉じ込めようという研究は、実は昔からあります。どんな化合物がいいか、我々の研究室でも探索研究を重ねて、従来の問題を克服できる新しいキャリアを発見しました。それがイオン液体です。

— 松山先生の水処理でも使われている液体ですね。

水とも油とも違う「第三の液体」として注目を集めている物質です。食塩などのイオンは、室温では固体です。これは、陽イオンと陰イオンが小さいので、すぐ近くまで寄っていつて、電子的な力で強く結びつくからです。でも、大きな分子をつくってプラスとマイナスを離してやれば、自由度が増して液体として存在できます。

イオン液体には、他の液体とはまったく違う特性があります。それは乾かないこと。プラスとマイナスの相互作用で、弱いとはいえ束縛されていますから、揮発性がまったくありません。これをガス分離膜に使うというのには自然な流れで、世界中の研究者が取り組みました。

実は、イオン液体にはもうひとつの望ましい特徴があります。大きな分子なので、比較的自由に設計でき、微生物で分解して、そのとき発生するメタンを再利用する場合には、副生成物として出てくるCO<sub>2</sub>を分離する技術なども研究しています。

ただ、実用化研究は難しいんですよ。大型の装置を組まなければならぬですし、サイズが大きくなることによる問題も出てきます。試験に長い時間を要する、再現性を得にくいなどといった難しさもあります。課題を解決するためのいろいろな方法を学べるので、実用化研究にも教育的な意味はあるんですが、どちらかというと、まだ基礎研究に集中したいですね。

— 産学連携で実用化へ一直線かと思っていたんですが、教育もかなり

重視されているんですね。

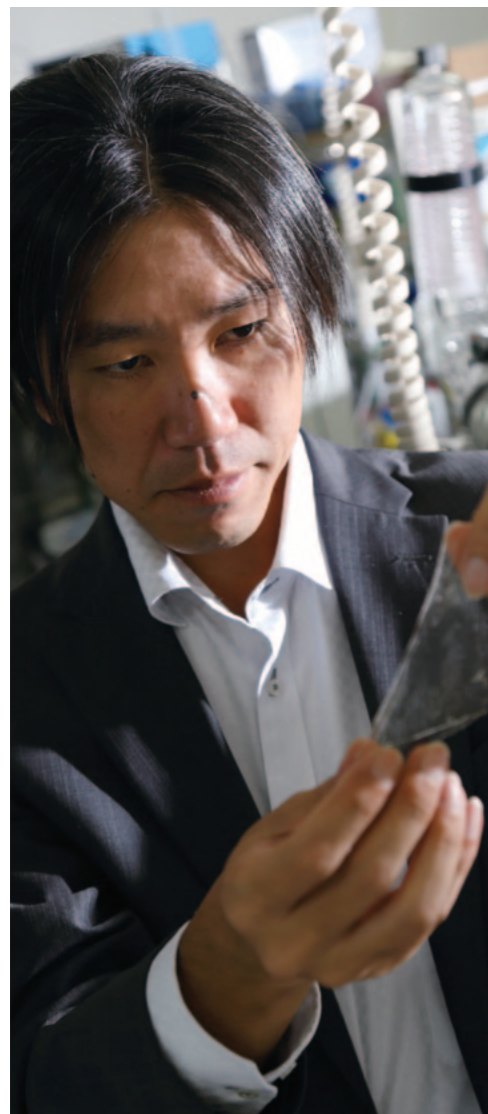
大学の研究機関なので、学生が教育を受けることが最優先の課題。教育がすべてです。大学が社会にできるいちばん大きな貢献は、科学技術の発展に役立つ研究者を育て上げ、世に送り出すことだと、私は信じているんです。それに比べたら、研究室での成果なんて限られたものですよ(笑)。ここで教育を受けた学生が、別の分野であつたとしても科学技術の発展に貢献できれば、ものすごい効果だと思っんです。その方法論のひとつに最先端研究がある。最先端研究を行うその過程で、研究者として何を身につけなければならぬかを教えていきたいと思っています。

## 次世代を育てる最先端研究

— 乾かないといっても液体ですよ。どうやって膜にするんですか。

基礎的な研究段階では、スポンジのような支持膜に染み込ませていました。でも、やっぱり弱いんですね。ちよつと圧力がかかると、すぐに液が抜けてしまいます。これでは実用化できないので、なんとかして保持性を高めなければいけません。そこで注目したのがゲルです。

いちばん身近なゲルは、たとえばコンビニで売っているゼリーです。あれをスプーンで押すと、バラバラにはなりますが、水分が漏れるわけではないですよ。液体の保持能力がものすごく高いんです。イオン液体も、ゲル化すれば漏れ出ることを防げます。



interview 2

## 神尾 英治

KANIO Eiji

工学研究科 助教

1975年三重県生まれ。2002年同志社大学工学研究科工業化学専攻博士後期課程修了。工学博士。2002年岡山大学環境理工学部環境物質工学科産学官連携研究員、2004年大阪府立大学工学研究科助手、2008年神戸大学大学院工学研究科学術推進研究員、2010年同特命准教授などを経て、2012年より現職。専門は膜工学。

## GRAD STUDENT



## 周庄 ZHOU Zhuang

工学研究科 博士課程後期課程 2年  
1986年中国・大連市生まれ。2009年瀋陽化工大学工学部卒業。2012年瀋陽化工大学工学部専攻修士課程修了。

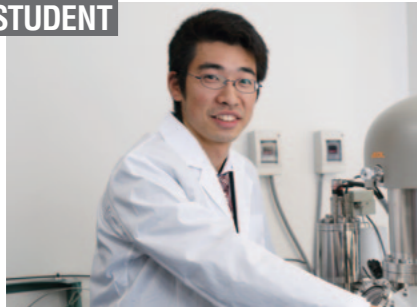
日本企業がたくさん進出している大連の出身で、日本に行ったことのある知り合いから話を聞く機会も多かったんです。瀋陽の大学で膜技術を学び、修士課程を終えたあとも研究を続けたいと思いました。松山研究室は中国でも有名ですし、もともと日本が好きで私にとっては、ここに来るのがベストの選択でした。

今は、新しい材料と新しい方法を使った、性能がよくてファウリングしにくい水処理膜の研究をしています。従来の膜は使っている

うちに透過速度がどんどん落ちていくんですが、この膜は長期間にわたって同じ性能を維持できるんです。これまで世界の誰もしていなかった研究をしている、それがいちばんおもしろいですね。設備がとても充実していて、まわりの人たちにも恵まれている。研究でとにかく忙しいですが、非常に充実した毎日を送っています。

松山先生の印象は、まじめで、エネルギーがあつて、ハードに働く人。彼の学生になれて本当にラッキーです。

GRAD STUDENT



渋谷 真史 SHIBUYA Masafumi

工学研究科 博士課程後期課程 2年  
1988年兵庫県生まれ。2012年山口大学循環環境工学科卒業、2014年同理工学研究科物質化学専攻博士前期課程修了。

今は中空糸膜というストロー形の水処理膜を研究しています。膜を容器に入れるとき、シート状の平膜は賞状のようにクルクル巻いて詰め込むんですが、スペーサーなどが必要で充填率は低いんですね。その点、中空糸膜はストローを差すように入れられるので、充填率が高く、性能もいいんです。

実験が大好きなので、普段はほとんど研究室に入り浸っています。朝は少し早めに来て、終電で帰るような感じです。きちんとメリハリはつけていますよ。プライベートの予定も大事にしています。

水って、生きていくのに絶対必要なものですよね。FO膜法という新しい技術で水を作ります。そのこと自体におもしろさを感じています。将来的には、どんな用途にも使える汎用性の高い膜を作りたいですね。水処理膜なので、水が通らなければ意味がないし、有害成分が漏れても困ります。透水性能とブロック性能がしっかり確保された膜を開発して、世界のスタンダードにしたいなと思っています。

水と大気は生命の根幹です。膜そのものは薄いんですが、環境や人類に貢献する、スケールの大きな研究をしたい人に向いている分野だと思っています。実は、日本の膜研究者はあまり増えてないんですよ。世界ではどんどん増えているのに、日本はほぼ横ばい。若い人にもっと来てほしいですし、斬新な発想で、従来の常識を覆すような膜を開発してほしいですね。

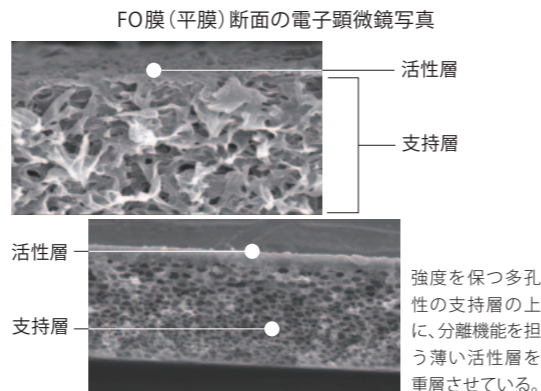
—— 産学連携で実用化を目指す、情熱の源はどこにあるんでしょうか。  
膜の産業を発展させることで、日本の産業界にも貢献したいんです。水処理ビジネスの世界市場規模は現在でも30兆円以上ですが、2025年には110兆円になると予測されています。日本の膜産業は、今は非常に強くて、RO膜は日本企業3社で世界シェアの60パーセント以上を占めています。なぜそんなに強いのか

神戸を世界の研究開発拠点に

松山先生に再びご登場いただく。

interview 1-2

といえ、30年間にわたって蓄積したノウハウがあるからなんです。でも、FO膜の時代になるとその強みは消えてしまいます。やつとこの拠点ができて我々は喜んでいますが、台湾の中原大学には膜センターのビルが4つもあります。シンガ

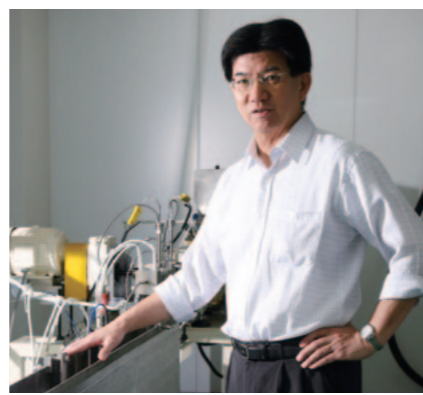


ポールも国をあげて人材と資金を注ぎ込んでいます。韓国の漢陽大学では膜の研究者が学長に就任しました。そして、中国には日本を大きく上回る数の研究者がいます。もし海外ですぐれたFO膜が開発されたら、日本は後追いになってしまいうだからこそ、新しいことをやらないとダメなんです。

—— 一方で国際交流にも力を入れておられますね。

それも日本のためですよ(笑)。国際化は当たり前なことなんです。もしこのまま閉じていたら、日本の大学は埋もれてしまいます。そうならないためにも、国際的なネットワークをつくって、人的な交流もしながら、いろいろな垣根を外していきな

7つのセンターと学術協定を結んでいます。2015年11月にはiWMKという国際シンポジウムを開催し、今後も毎年続けようとしています。目指しているのは、神戸大学を世界の拠点にすること。国内外の先端研究から実用化まで、先端膜の全部をカバーする総合的な研究開発の拠点を形成したいんです。



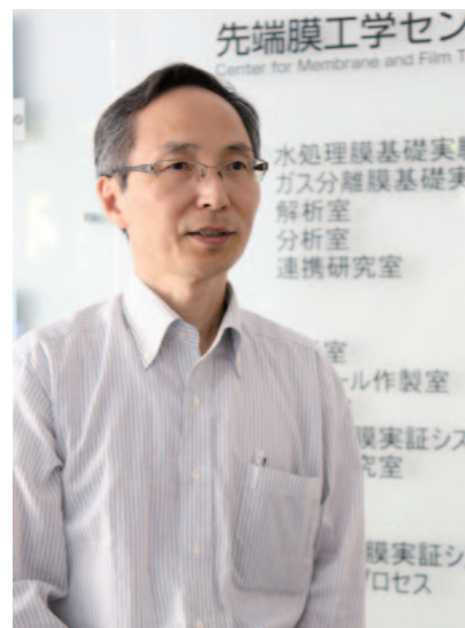
工学研究科 特命准教授

1959年新潟県生まれ。1983年早稲田大学大学院理工学研究所博士前期課程修了。工学博士。1983年住友化学工業株式会社、1992年住友製薬株式会社（2005年より大日本住友製薬）、2011年東京大学創薬オープンイノベーションセンター特任准教授を経て、2014年より現職。専門は生物化学だが、現在は膜工学に染まっている。

# 実用化を加速する産学連携

—— ご専門は他の分野だそうですが、どのような経緯で膜の研究室にいられたんですか。  
私は製薬会社で約30年間、新しい薬を開発するためのスクリーニング研究をしていました。転職になったのは、東京大学を拠点にして続けられているアカデミア創薬というプロジェクトに、会社から出向するかたちで参加したことです。大学がもっている技術やアイデアを、製薬会社が興味をもてるようにして新薬につなげるという仕事でした。そこで産学連携の難しさとおもしろさを知って、3年間の出向が終わったとき、会社に戻るよりも産学連携で新しいことをしたいなと思ったんです。

—— でも、大学と一緒にやるなら、そういう判断があると思います。大学と共同で研究を進められるなら、そのぶんリスクを下げる事ができる。それなら一緒にやりますよという企業が何社もあって、そういう会社とチームを組んでいるわけですね。これはある意味、大学にとって



工学研究科 特命准教授  
1959年新潟県生まれ。1983年早稲田大学大学院理工学研究所博士前期課程修了。工学博士。1983年住友化学工業株式会社、1992年住友製薬株式会社（2005年より大日本住友製薬）、2011年東京大学創薬オープンイノベーションセンター特任准教授を経て、2014年より現職。専門は生物化学だが、現在は膜工学に染まっている。

interview 3

## 熊谷 和夫

KUMAGAI Kazuo

—— コーディネーターとして、今後世界と競い合うような研究をしながら、企業と一緒に研究することに必要なのは、売上げがあまり期待できなかったり、製品になるまでに長い期間がかかるようにだと、企業としては考えてしまいますよね。FO膜の研究がまさにそうですね。膜と液(DS)、両方の開発がうまくいって、はじめて本格的な実用化ができる。それを企業単独でやるのはかなりハードルが高くて、だからこそ、まだどの企業も成功していないわけですね。

—— 熊谷先生、今後の研究の展望をどのようにお考えですか。  
世界と競い合うような研究をしながら、企業と一緒に研究することに必要なのは、売上げがあまり期待できなかったり、製品になるまでに長い期間がかかるようにだと、企業としては考えてしまいますよね。FO膜の研究がまさにそうですね。膜と液(DS)、両方の開発がうまくいって、はじめて本格的な実用化ができる。それを企業単独でやるのはかなりハードルが高くて、だからこそ、まだどの企業も成功していないわけですね。