



あれから 10 年余り 進歩賞受賞者のいま 2

ナノシートを「材料」から「膜」へ 軸はぶれずに、興味を広げる

伊田進太郎 Shintaro IDA

進歩賞を受賞した当時、筆者は無機ナノシートを用いた光エネルギー変換材料の研究に取り組んでいた。それから 10 年余り、研究の舞台は光触媒から自立膜、イオン伝導膜、そして燃料電池用電解質へと広がっていった。ナノシートを合成する研究から、それを「並べ直し」、機能をもつ巨視的材料として取り出す研究へ。本稿では、その新しい挑戦ならびにその歩みを支えてくれた学生たちへの感謝を込めて、これまでの振り返る。

進歩賞受賞後の 10 年余りを振り返って

進歩賞を受賞した当時、筆者は九州大学で、無機ナノシートを基材に用いた光エネルギー変換材料の創製に取り組んでいた。層状化合物を 1 枚 1 枚に剥離して得られる無機ナノシートは、厚さがナノメートルスケールでありながら、面内方向には結晶性を保持した興味深い 2 次元材料である。筆者はこの特徴を活かし、光触媒、光電気化学反応、発光材料など、光エネルギー変換材料としての機能開拓を進めていた。進歩賞をいただいたことは大変光栄であると同時に、自分の研究をこのまま深めるべきか、それとも無機ナノシートの可能性をさらに広い分野へ展開すべきかを考える大きなきっかけにもなった。光触媒研究は現在でも重要な研究テーマであり続けている。一方で、無機ナノシートという材料は、ノーベル賞が授与されたグラフェンに代表されるように、当時から様々な分野で基礎研究や応用研究が進められており、まだ見いだされていない多くの潜在機能や応用展開があるのではないかと感じていた。そこで、受賞後しばらくしてから、ほかの研究者がまだ十分に踏み込んでいない新しい研究領域の開拓を、少しずつ意識するようになった。

いだ・しんたろう

熊本大学産業ナノマテリアル研究所 教授
〔経歴〕2004 年熊本大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了、博士（工学）。05 年同大学自然科学研究科助教、10 年九州大学大学院工学研究院准教授、17 年熊本大学大学院先端科学研究部教授、20 年より現職。〔専門〕無機材料化学、触媒科学、電気化学。〔趣味〕お酒を飲むこと、ランニング。
E-mail: ida-s@kumamoto-u.ac.jp



このような取り組みを進める中で、筆者自身、多くの学生から大きな刺激を受けてきた。現在までに 90 名を超える学生が筆者の研究に携わり、日々の実験、議論、失敗、発見を通して研究活動を支えてくれた。学生の粘り強い努力と柔軟な発想がなければ、現在の研究環境や成果はおそらく実現しなかったであろう。改めて、ともに研究を進めてくれた学生一人一人に深く感謝している。上の写真は、2024 年度の卒業式後に学部 4 年生と撮影したものである。このときは想像もしていなかったが、この中から 3 名が現在、博士後期課程への進学を希望している。筆者自身が学生から刺激を受けてきたように、彼らにも研究の面白さや難しさが少しでも伝わっていたのであれば、これほど嬉しいことはない。

新しい挑戦（透明なナノシート自立膜）

さて、研究面で大きな転機となったのは、2017 年 4 月に熊本大学へ異動したことである。研究室を立ち上げるにあたり、これまで中心に据えてきた光触媒研究を継続しつつも、研究の重心を少し変えることにし

た。感覚的には、研究の30%程度を光触媒・光エネルギー変換に残し、残りの70%を無機ナノシートの新しい機能開拓に振り向ける、という方針であった。特に注力したのが、ナノシート自立膜の開発である。ナノシートは、単層として分散している状態では優れた2次元性を示す。しかし、実際のデバイスや分離膜、電解質膜として使うためには、そのナノスケールの特徴を、手で扱える3次元的なバルク材料として取り出す必要がある。つまり、ナノシートを単なる「ナノ材料」ではなく、「機能をもつ自立膜」へ変換することを目指した。この過程は容易ではなかった。層状化合物を剥離して無機ナノシートを合成し、それを再凝集・乾燥させれば膜になるのではないかと考えたが、当初はなかなか思いどおりにはいかなかった。膜は不透明になったり、割れたり、配向性が乱れたりした。きれいに剥離しているつもりでも、実際には多層粒子が残っていたり、剥離剤が多すぎて乾燥過程で構造が乱れたりした。試行錯誤の中で見えてきたのは、単層で分散したナノシートの割合をできる限り100%に近付けること、そして剥離剤の濃度を、ナノシートが凝集を起こさないぎりぎりの低濃度まで下げることの重要性であった。ナノシートを1枚1枚の状態分散させ、かつ余分な有機成分を極力減らした状態でゆっくり乾燥させると、自然に面をそろえて積層し、透明でほぼc軸配向した自立膜を形成することがわかってきた。

この自立膜作製技術は、酸化物ナノシート、シリケートナノシート、酸窒化物ナノシート、水酸化物ナノシート、さらには酸化グラフェンへと展開していった。図1は、2021年頃に合成と柔軟性の確認に成功した酸窒化物 $\text{Ca}_2\text{Ta}_3\text{O}_9\text{N}$ ナノシート自立膜の写真である¹⁾。筆者らはこれらの自立膜を用いて、脱塩膜、ガスバリア膜、発光性膜、イオン伝導性膜など、多様な機能膜の開発に取り組んだ。

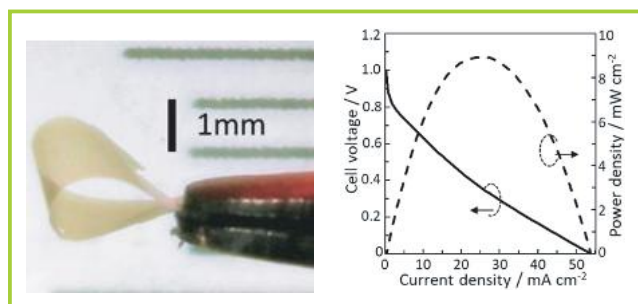


図1 酸窒化物 $\text{Ca}_2\text{Ta}_3\text{O}_9\text{N}$ ナノシート自立膜

無機ナノシート膜を電解質へ

特に大きく発展したのが、イオン伝導性膜の研究である。ナノシート積層膜では、2次元結晶の面内方向と積層方向で構造が大きく異なるため、イオン輸送にも強い異方性が現れる。これは一見すると欠点にも見えるが、見方を変えれば、イオンの通り道をナノシートの構造によって設計できるということである。筆者らは、層状無機化合物に由来するナノシート膜が、高い水素ガスバリア性を示す一方で、プロトンを選択的に輸送できる可能性に着目した。この特徴を発展させ、モンモリロナイトなどの層状シリケートナノシートや酸化グラフェンを用いたプロトン伝導性膜の研究を進めた。これらの膜では、ナノシートが緻密に積層することで水素ガスの透過を抑制しつつ、層間やナノシート表面に存在する水分子、酸性点、官能基を介してプロトン輸送が進行する。低温域で高いプロトン伝導性を示し、かつ有機バインダーを必要としない完全無機系プロトン交換膜の開発に成功したことは、この10年余りの研究展開の中でも重要な成果の1つである。

おわりに

振り返ってみると、進歩賞受賞後の10年余りで、研究テーマとしては一見大きく変わったように見える。しかし、根底にある考え方は一貫している。すなわち、無機ナノシートという2次元材料の構造と機能を理解し、その特徴を巨視的な材料やデバイスとして取り出すことである。研究は必ずしも計画どおりには進まない。一方で、材料をよく見続けていると、当初想定していなかった機能が見えてくることがある。この10年余りは、まさにそのような発見の積み重ねであった。今後も、無機ナノシートという2次元材料を起点に、光エネルギー変換、分離、イオン伝導、エネルギーデバイスをつなぐ新しい材料化学を展開していきたい。

- 1) C.-W. Hsu, T. Ideta, K. Awaya, M. Tsushida, T. Sato, K.-I. Yanagisawa, K. Kimoto, K. Hatakeyama, M. Koinuma, S. Ida, *Chem. Mater.* **2021**, 33, 6068.
- 2) K. Awaya, S. Ida, *Chem. Mater.* **2023**, 35, 3713.
- 3) T. Tsugawa, K. Hatakeyama, M. Koinuma, N. Moriyama, S. Ida, *Small* **2024**, 20, 2400707.
- 4) K. Hatakeyama, T. Tsugawa, H. Watanabe, K. Oka, S. Kinoshita, K. Awaya, M. Koinuma, S. Ida, *J. Mater. Chem. A* **2025**, 13, 18784.
- 5) T. Tsugawa, K. Hatakeyama, K. Takegami, M. Koinuma, K. Oka, Y. Sakuda, S. Ida, *J. Mater. Chem. A* **2026**, 14, 6943.

© 2026 The Chemical Society of Japan