

燃料電池などへの実用化を目指したナノスケール熱流動の研究

徳増崇准教授

—私の研究対象は、究極の高効率無公害エネルギー源と呼ばれている燃料電池の開発です。もし燃料電池が自動車の動力源に使われると、燃料効率はガソリンエンジンの2倍以上、二酸化炭素の発生はほぼゼロ、NOxやSOxなどの有毒ガスも一切発生しません。環境にやさしくそのうえ効率の高い動力源で、自動車エンジンだけでなく、大型発電所、家庭用の熱電源など、あらゆる用途に利用が可能です。

—燃料電池の基本原理は、まず陰極で白金を触媒として水素分子がプロトン（陽子）と電子に分解され、発生したプロトンが固体高分子膜（電解質）中を陽極に走り、その一方では発生した電子が導線内を走ります。この両者が陽極上で酸素と結びついて水を発生させることで電力が生み出されます。こう言ってしまうと簡単な理屈なのですが、問題は触媒の白金上での反応効率と、電解質である固体高分子膜の輸送効率が余りにも低いことなのです。

—いま燃料電池自動車を作ると、1台1億円かかるといわれています。その中で大きなウェイトを占めるのは白金のコストです。白金は高価なだけでなく量も足りません。いま日本とアメリカで走っている自動車を全部燃料電池車にしたら、それだけで地球の白金は全て消費されてしまうといわれています。電解質の効率も非常に悪く、プロトンを高速で持続的に輸送することができません。

—このような難点を克服して燃料電池を実用化するためには、基本に帰った

基礎研究が必要です。白金触媒と言っても、水素分子が白金と出会うとどのように電子とプロトンに分解されるのか、その基本的な理論すら良く分かっていないのです。白金原子の構造によりその効率が変化すると推定されているのですが、ではどのような構造が触媒としての能力に優れているかということすら突き止められていません。経験則に基づいて白金触媒を使ってきたにすぎないのです。

—基礎研究によって白金触媒による分子挙動のメカニズムが解析されれば、もっと少量の白金で効率的な触媒ができるかもしれません。また将来、白金を代替する触媒を開発する際の有効な知見になるかも知れません。例えば、カーボンナノチューブのような高分子材料で白金を代替できれば、一気に燃料電池のコストが下がることになります。

—白金触媒の表面で何が起っているのか？固体高分子のなかをどうして陽子が高速で走ることができるのか？ナノスケール熱流動と呼ばれる、10⁻⁹（ナノメートル）レベルでの流体の振舞いという基本理論を、基礎から解明していかねばなりません。この理論が解明されたとき、人類は燃料電池という夢の動力源を手にすることができると考えています。



固体高分子膜内部のプロトン輸送

極低温マイクロナノスラッシュ利用技術の開発

石本淳准教授

—現在開発を行っているマイクロナノスラッシュは、固体窒素の粒子が液体窒素と混合したものです。水の中に氷の粒が浮いている状態と同じです。液体窒素（沸点は-196度C）と固体窒素（融点は-210度C）の混合物ですから極低温の物質です。この極低温を利用して、モノが超伝導状態となるまで急冷する事が可能です。現在、高温超伝導ケーブルを利用した送電システムの運用（アメリカ、ニューヨーク州のアルバニーで実施）が行われていますが、ケーブル用冷却には液体窒素がそのまま使用されています。この冷媒としてマイクロナノスラッシュを新たに適用する事により、冷却性能が向上し、冷媒の使用量を削減、また冷却システムそのものを小型化する事が可能となります。液体窒素と固体窒素の混合流で、ピスマス系ならびにイットリウム系材料を使った高温超伝導材料の冷却に運用が可能です。

—マイクロナノスラッシュを冷媒として使うためには、流路途中での目詰まりを防ぐために、なるべく固体窒素の粒が小さいほうがよいのです。従来の製法では粒を小さくするのに限界があったのですが、私の研究室では固体粒子の新たな生成法を開発し、粒子の大きさを50ミクロン程度にまで小さくすることに成功しました。超超熱2流体ノズルと呼んでいます。超低温ヘリウムガスと過冷却液体窒素を高速で衝突させ、固体窒素の噴霧流を生成する技術です。

—この技術で生成された固体窒素粒子を使った冷媒は、非常に広い用途

に使えると期待されています。いま研究している一例がプロセッサの冷却です。コンピュータの性能が上がるにつれて、CPUからの発熱が深刻な問題になっています。多くのパソコンは空冷のファンを使ってCPUを冷やしていますが、性能の良いパソコンではそれだけでは足りなくて水冷を採用するものも出ています。将来的には水冷でも冷却の限界が来ると言われているので、我々は固体窒素を噴霧してCPUの冷却に使おうという研究もしています。

—もう一つ、固体窒素噴霧流の利用分野として、いま力を入れて研究しているのが、半導体製造分野への応用です。半導体製造過程では、エッチング工程の前にフォトリソをウェハー表面に部分的に塗布して、プラズマなどによるエッチングから保護するのですが、エッチング工程が終われば不用になったレジストを剥離・除去しなければなりません。現在は有毒な薬液などを使った洗浄法を使っているのですが、私の研究室では新型洗浄法として固体窒素粒子をウェハー表面に衝突させてレジスト剥離をしようと試みています。そのためには粒子径を現在より相当小さくしなければなりません。その可能性も見えてきています。

—私が開発した固体窒素生成技術は大きな技術革新だったと自負していますが、高価な液体ヘリウムを使うので、システム全体が高コストになってしまいます。そのため、ヘリウムなしで効果の高い断熱が出来る技術の開発にも取り組んでいるところです。



マイクロナノスラッシュジェット生成超熱二流体ノズル