

GSC 賞 文部科学大臣賞

「超臨界水中での低環境負荷有機修飾金属酸化物ナノ粒子の大量合成」

阿尻 雅文 氏 (東北大学)

ナノ粒子は、ナノテクノロジーの「鍵」材料と位置づけられ、すでに、TiO₂、シリカ、Ag ナノ粒子など、いくつかの材料については商品化されている。しかし、より広い材料系に適用できる汎用的な大量合成法が望まれている。またナノ粒子は応用する際、多くの場合に溶媒に分散させたり、高分子と混合させて使うことが多く、そのためにナノ粒子表面の有機修飾が必須となっている。しかし、従来法は、この汎用性・大量合成・有機修飾のいずれをとっても、必ずしも十分に満足するものではなく、大量の有機溶媒を使用していた。また、ナノ粒子の濃縮分離回収にも多大なエネルギーを要していた。

阿尻は、その解決のために、超臨界水を用いた水熱合成法による環境適合型金属酸化物ナノ粒子の大量合成法を開発した。水熱合成法は、最も幅広い金属酸化物に適用可能であるし、安価な金属塩を原料とでき、高濃度化も可能である。この反応場として超臨界水を用いると、水熱合成反応が2桁近くも高速に進行し、生成する金属酸化物の溶解度は逆に2桁近く低くなるため、極めて小さな金属酸化物ナノ粒子結晶を合成できる。阿尻は、この現象を初めて見出すとともに、この反応場を実現するために、流通式超臨界水熱合成プロセスを開発した。

また、有機修飾についても、超臨界場の利用が有効である。常温では、有機分子は水と相分離するが、超臨界場では無機水溶液と有機分子が任意の割合で混合する。また、超臨界場では水分子そのものが触媒として機能する。すなわち、高価なカップリング剤のような修飾剤も用いず、触媒も添加することなく、安価な金属塩水溶液と油脂などを原料としつつ、水という最も環境適合性の高い溶媒を用いて、高濃度で、高速に有機修飾ナノ粒子を合成することができる。さらに、反応後、冷却（熱回収）すれば、水と油は、相分離するため、有機修飾ナノ粒子は油相に濃縮される。このため、濃縮分離回収に要していたエネルギーも大幅に削減できる。阿尻らは、プロセスのスケールアップも進め、すでに10t/yearのプロセスが完成している。

本手法により合成された有機修飾ナノ粒子は、有機溶媒中に高濃度に分散し、またその粘性は高濃度コロイド状態にも関わらず、極めて低いことも確認できた。BN、Al₂O₃のような高熱伝導性ナノ粒子を高分子に分散させたところ、親和性の高さから、加工性を高く（粘性を低く）保ちつつ、80vol%以上もの高濃度の充填が達成できた。その結果、従来にない高熱伝導ハイブリッド材料を作り出すこともできた。このように、超臨界技術は、新たな環境適合型のナノ材料創成をささえる新規産業技術基盤となりうると考えて作ったコンソシアムには、現在、70社近い企業が参加している。このことから技術のインパクト、波及効果の大きさが伺われる。