

研究開発成果のトピックス

環境に優しい水系反応を用い、微量金属除去フィルターの開発に成功

集積回路におけるトランジスタの急速な高密度化に伴い、半導体製造に用いられる洗浄水中の極微量の不純物が製造の歩留まりに影響するようになっていきます。このため、洗浄水のフィルターには、微量の金属イオンを高効率で除去できることに加え、有機成分などの溶出が極めて少ない特性が望まれます。

原子力機構と倉敷繊維加工株式会社は共同してこのフィルター開発に取り組み、溶出成分が少ないポリエチレン製不織布に、放射線グラフト重合法によりスルホン酸基（-SO₃H）を導入して、このような特性を持たせることに成功しました。作製したフィルターに10ppbのナトリウム水溶液を流し、処理後の不純物量を評価した結果、従来の吸着樹脂を用いた場合に比べ、2,000倍の高速処理が可能となりました。また、フィルターからの有機溶出分は検出限界以下となり、溶出成分が極めて少ないことがわかりました。

次に、フィルターの製造コストを実用化可能なレベルに引き下げるため、効率の高いグラフト重合法の開発を行いました。グラフト重合の試薬を有機溶媒に溶かさず、界面活性剤を用いて水に分散させることで、グラフト重合の効率を高めることに成功しました。この効率を高めたことで、より少ない線量で反応させることも可能となりました。そこで、フィルターの合成工程のスケールアップを行い、製造プロセスを最適化することにより、有機溶媒を使用した反応に比べて必要な線量を1/4の50kGyまで低減化できました。この結果、有機溶媒の代わりに水を使用した環境に優しいエマルジョングラフト重合で微量金属除去フィルターの実用化に目処をつけることができました。



新しい水系反応を用いて実用化した微量金属除去フィルター（35cm幅×15m）

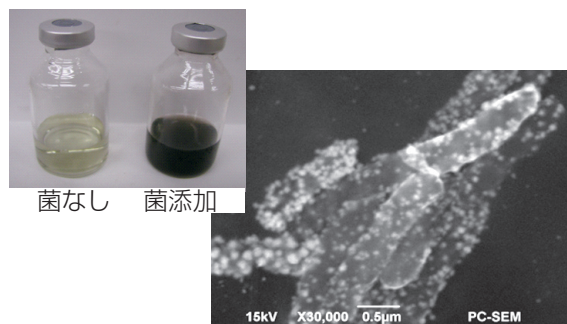
微生物による白金族元素ナノ粒子触媒の作製に成功 —微生物の不思議な力に迫る—

名古屋大学との共同研究により、微生物（鉄還元菌）を用いて白金族元素ナノ粒子（1mmの1万分の1以下の粒子）を作製することに成功しました。さらに、この材料を水素と重水素の同位体交換の触媒として用いると、最大で従前比6倍もの高い有効性を示すことを世界で初めて明らかにしました。

触媒能に優れる白金族元素は、電気化学反応による燃料電池、光化学スモッグや酸性雨などの原因物質（窒素酸化物：NO_x）除去、同位体交換などの触媒として幅広く使用されています。その一方で、白金族元素は希少かつ高価であるため、その有効活用には少量で表面積を大きく利用できるナノ粒子化が不可欠です。しかし従来のナノ粒子作製法では、大規模システムを必要とする経済性の問題やナノ粒子の高純度化などの技術的課題がありました。

本研究では、特定の微生物が超ウラン元素（TRU）などを捕集する性質に着目し、鉄還元菌による白金族元素の捕集を調べました。その結果、鉄還元菌を白金酸溶液とパラジウム酸溶液に添加したところ、鉄還元菌の細胞表面にナノスケールの白金族粒子が生成することを見いだしました。微生物を用いる白金族元素ナノ粒子の生成は、従来の工学手法とは全く異なる新規のバイオ手法です。

さらに、細胞表面に白金族元素ナノ粒子を生成した鉄還元菌を珪藻土に保持させて、水素（H₂）と重水素（D₂）の同位体交換（H₂ + D₂ → 2HD）の触媒としたところ、白金粒子単体と比較して約6倍の効率で交換できるなど、優れた能力を示しました。



左：菌を添加した場合には黒い沈殿物が生成した。
右：パラジウムナノ粒子が生成した鉄還元菌の電子顕微鏡写真：白い斑点がパラジウム粒子、楕円状のものが鉄還元菌。

微生物細胞表面に白金あるいはパラジウムを含むナノ粒子が生成したことを電子顕微鏡観察により確認。

ヨウ素 129 から推定した日本海の海水循環

大気・陸域・海洋で放射性物質がどのように移動していくかを研究するために、原子力機構のむつ事務所大湊施設のタンデトロン加速器質量分析装置 (AMS) を用いて、環境試料中のヨウ素 129 及び放射性炭素の同位体比分析を行っています。これらの放射性核種は自然界にも存在していますが、放射性物質としての特性を利用するとともに、1960年代の大気圏核実験などにより付加され試料中に極微量含まれる人為起源核種を AMS の高感度分析で識別することにより、環境中の物質動態を解明する上で有効なトレーサとなっています。大湊施設の AMS は、ヨウ素用と炭素用の 2 つのビームラインを備えた世界でも数少ない分析装置で、本研究を進める上で極めて有用な設備です。

AMS を用いた環境中物質動態研究として、日本海で採取した海水試料中のヨウ素 129 濃度の分析を行い、日本海の海水循環機構の解明を行っています。日本海は太平洋の縁辺海の一つであり、外洋とは水深 200m 程度の海峡で繋がれているにもかかわらず、最大水深は 3,000m を超える海域で、地球温暖化の影響を鋭敏に反映する海域であることも知られています。そのため、日本海の海水循環機構を明らかにすることで、放射性物質の移行予測・解明のための基礎データとするとともに、地球温暖化による海水循環への影響を考察する上で役立つ情報を提供することが可能です。

海水試料の分析結果から、日本海底層水（水深約 2,000m 以下）に人為起源と考えられるヨウ素 129 が存在することを明らかにしました。これは、海面に降下した人為起源のヨウ素 129 が、表面海水の沈み込みとともに底層まで到達していることを示しています。人為起源のヨウ素 129 が過去約 60 年の間に環境中に放出されたことを利用して、日本海底層水の交換時間と形成率を見積もった結果、それぞれ 180 ~ 210 年と $3.9 \sim 4.6 \times 10^{12} \text{m}^3/\text{yr}$ であることがわかりました。



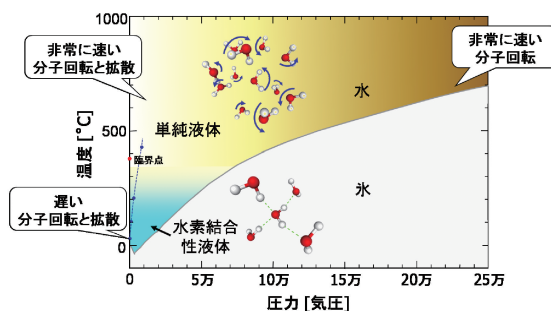
海水の試料を採取する装置

高温高圧下の水の新たな姿を明らかに

<http://www.jaea.go.jp/02/press2009/p10032902/index.html>

近年、地球深部にも含水鉱物として水が存在し、マグマの生成などにも水が深く関わっていることがわかってきました。その理解には、地球深部の条件、つまり高温高圧での水の振る舞いを知ることが大切です。常圧室温付近の水は、実は、他の液体とは違った性質を示す特殊な液体です。たとえば、普通の液体は温度の上昇とともに膨張しますが、水は 0 度から約 4 度までは収縮します。また、同じような重さの他の分子からなる液体と比べ、非常に高い温度まで沸騰しません。これは、水は隣り合う水分子の間に水素結合を形成するため、液体中の分子配列に固体状態である氷に類似した秩序が残るからだと考えられています。しかし、このような特殊な配列が高温高圧下でどう変化するか、よくわかっていませんでした。

原子力機構の研究チームは、大型計算機を用いた第一原理分子動力学計算から、深さおよそ 30km の条件（400℃ 以上で 1 万気圧近く）では、水分子の配列が常温常圧の水と異なり、この特殊な配列がなくなることを明らかにしました。この結果は、同チームによる大型放射光施設 SPring-8 の強力な X 線を使った高温高圧下のその場観察実験によっても確かめられました。また計算結果から、配列の変化は水分子の回転運動が通常の水よりも数百倍も速くなるため起こることもわかりました。現在、開発を進めている J-PARC での高温高圧中性子実験では、X 線では調べられない水素も観察可能となるので、今後、地球環境の解明に向けた研究がさらに進むものと期待されます。



本研究で得られた水の温度 - 圧力相図の概略図。水色の部分と茶色の部分で分子の配列が大きく異なる。