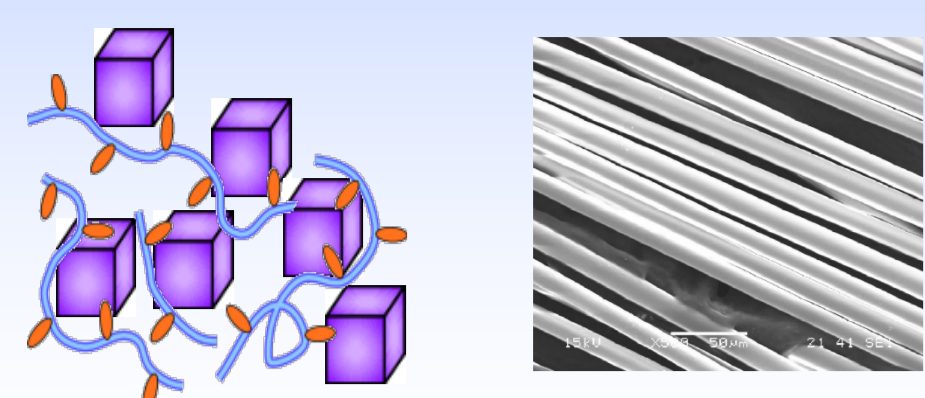


放射性物質を捕獲する高分子複合体の開発

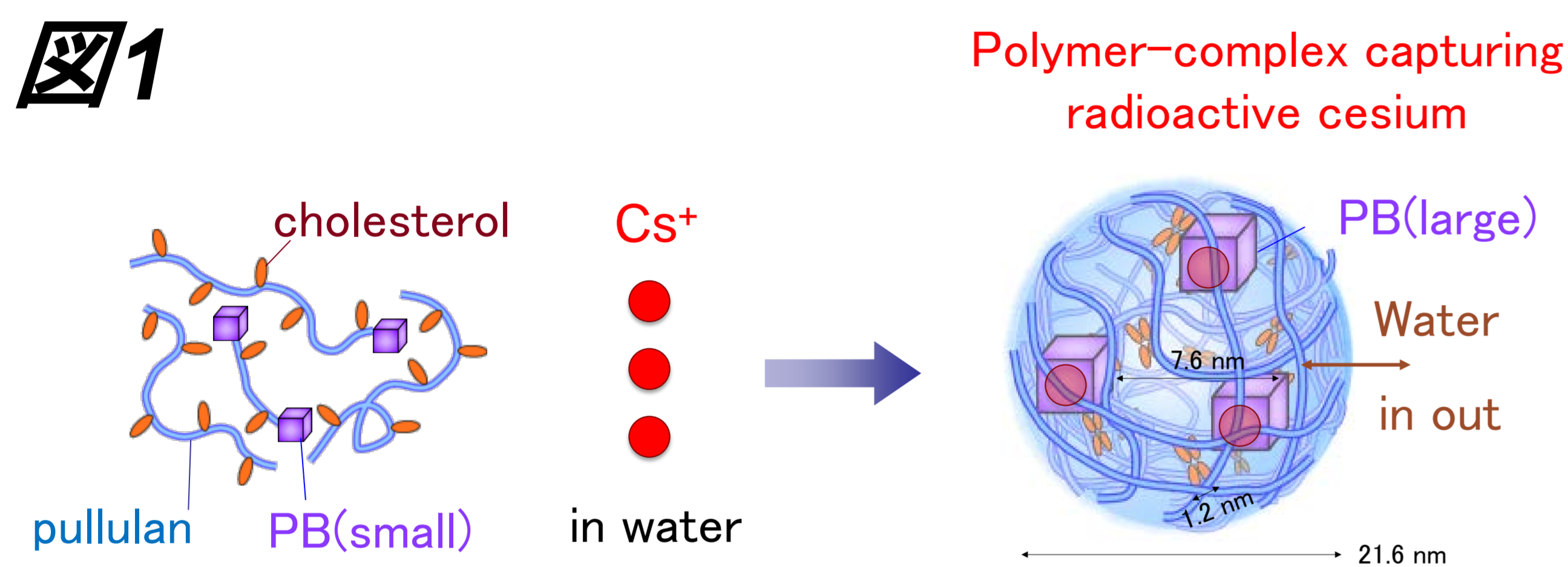


深澤裕

量子ビーム応用研究センター

概要

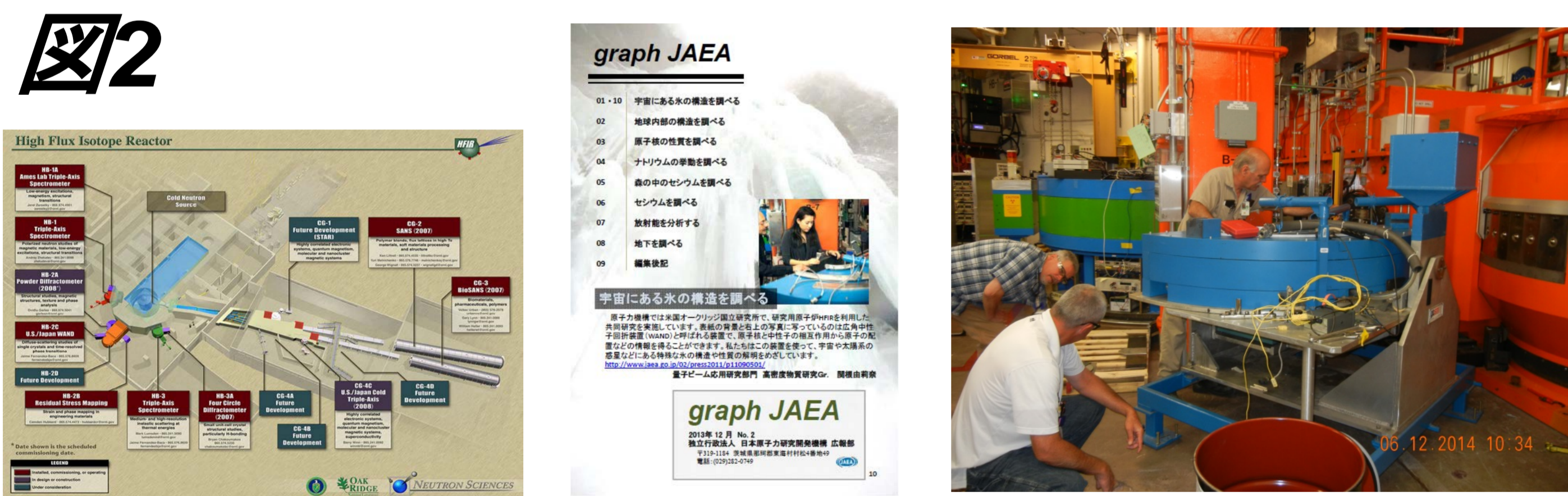
1. 日米協力事業に基づき、放射性セシウムを高効率で捕獲する新たな高分子複合体を合成することに成功しました。
2. 本複合体の正式名称はフェロシアン化物高分子複合体です。フェロシアン-コンプレックスと略称しています。
3. このフェロシアン-コンプレックスは既に広く利用されているポリオンウォーターと類似しています。相違点は捕獲機能の担い手として、ポリオンウォーターではゼオライトがセシウムを捉えることに対して、フェロシアン-コンプレックスではフェロシアン化物（プルシアンブルー等）がセシウムを捕獲します。フェロシアン化物は食品添加物として利用されており体内に取り込んでも安全という特長があります。
4. フェロシアン-コンプレックスは通常のプルシアンブルーより短時間でセシウムを捕獲します（例えば、通常では1時間で70%除去のところを90%除去まで向上）。
5. フェロシアン-コンプレックスの合成原理に関する国内特許を取得しました。特許の範疇はフェロシアン化物と高分子を結合させた全物質に関する合成の基本原則についてです。



ORNLおよびJ-PARCの中性子利用により「Cs捕獲」高分子複合体の開発に成功

目的

私たちは原子炉から発する中性子ビームを用いて水および高分子の構造とダイナミクスを解明する基礎研究をすすめてきました。福島原子力発電所の事故の後、高分子を用いて水中の放射性セシウム、ストロンチウム等を捕獲したり除去したりする技術が広く開発・実用されています。これまで培って来た分析技法を駆使することで、様々な高分子の合成状態やセシウム、ストロンチウム等の水中での捕捉過程を把握します。さらに高性能な捕捉材料の創成と利用を本研究の目的とします。



方法など

高分子の状態を原子レベルで理解する為には中性子ビームを利用することが不可欠です。高分子は他のビームでは検出しづらい水素原子等が主たる構成要素だからです。また放射性物質は主に水分子クラスターと共に存在しているのでその捕獲メカニズムを理解する上でも（水分子の状態解明で威力を発揮する）中性子ビームが適しています。

一方で、データの解析においては汎用的手法では不十分で散乱原理を紐解ける高品質なデータが必要となります。特に、水素そのものが大きな非干渉性非弾性散乱を発生させることから、それに打ち勝つ強い定常中性子ビームの入射と正確なバックグラウンド処理の組み合わせが必要でした。

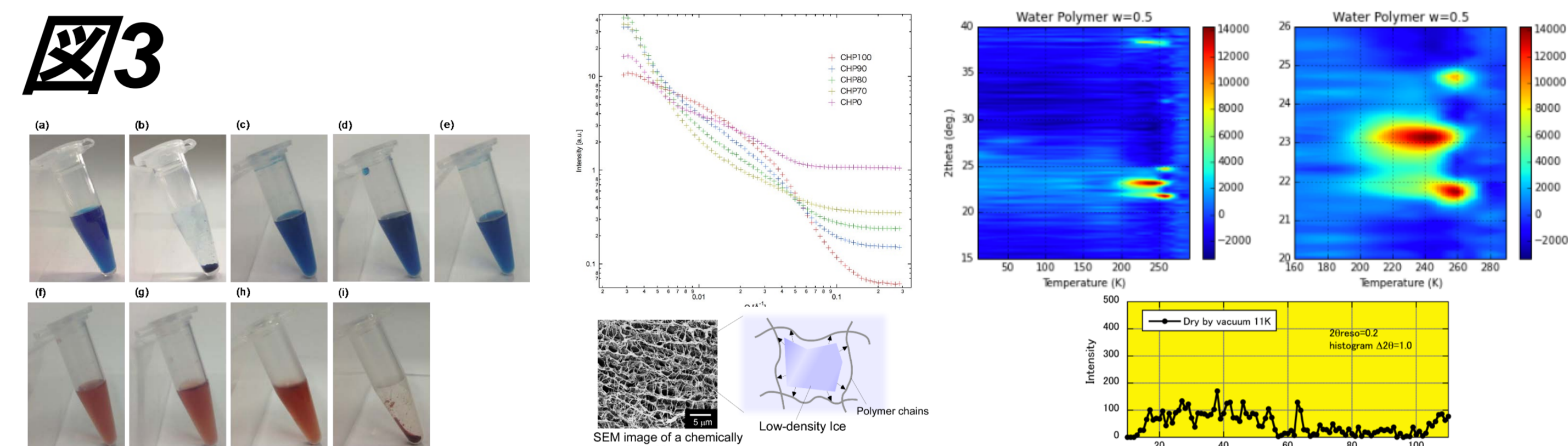
この「困難さ」を克服する為、世界最大級の中性子利用原子炉であるオークリッジ国立研究所高束同位体炉（High Flux Isotope Reactor, HFIR）から発する中性子ビームを用いました。機構が設置した広角中性子回折装置（Wide Angle Neutron Diffractometer, WAND）および小角散乱装置（General Purpose Small Angle Neutron Spectrometer, GP-SANS）等を利用しています。DOEの方針によりWANDのアップグレードをすすめておりその第一段階として新型のコリメーターを製作しました。その結果、低バックグラウンドが実現し高いクオリティのデータが得られたことで複雑なデータ解析も実施可能となりました。

結果や期待される効果

既存のフェロシアン化物よりも短時間で多くの放射性セシウムを捕獲するフェロシアン化物高分子複合体材料（フェロシアン-コンプレックスと名称）の創成に成功しました。図1にあるように、高分子が作る球形の空間内部においてフェロシアン化物の大きな結晶が複数生成されます。この巨大結晶が大量のセシウムイオンを捕獲するのです。通常ですと大きな結晶は粉末となり水中では沈殿しますので機能しません。しかし、高分子と巨大結晶を複合させると高分子が水溶性であることから複合体も水溶性となり機能が強く発現されるのです。

また、水分子を伴ったセシウムイオンは外から球形空間の中へ容易に入ります。その結果、短時間でセシウムが安定的に捕捉されることも解りました。

私たちは今回実施した測定・解析方法をポリオンウォーターをはじめとして放射性物質の安定化・除去として用いられる様々な高分子材料にも適応することを開始しています。また、フェロシアン-コンプレックスの量産化について大手化学メーカーと検討しています。このように原子炉中性子ビームの利用は放射性物質の捕獲メカニズムの解明および材料の実用化において高い効果があると判断しています。



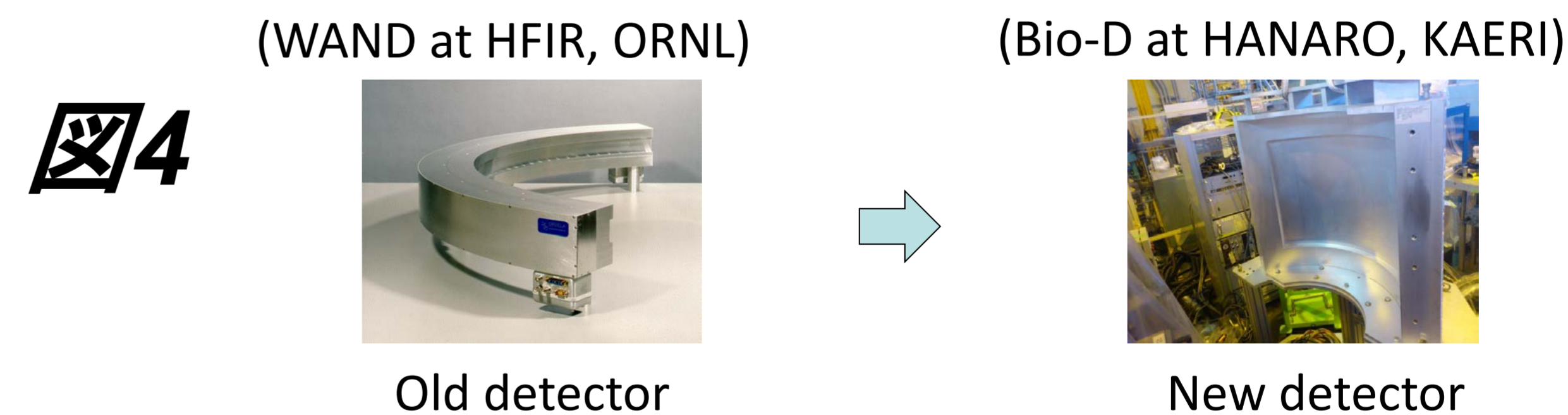
これまでの実績と今後の計画

大強度の中性子ビームを用いることで放射性セシウムを高効率に捕獲するフェロシアン化物高分子複合体の創成に成功しました。

さらに機能的な高分子複合体を開発したり本材料の量産化を図ったりする上で、より高品質な中性子データを取得できるような環境整備を計画しています。即ち、WANDのアップグレードを第二段階に引き上げることを予定しています。

DOE/ORNL側との協議の結果、この第二段階においてはバックグラウンド（例えばストリークスと呼ばれる筋状の不要な散乱）を極力下げた高感度な検出器（湾曲型二次元検出器：Curved-2D Position Sensitive Detector）の導入が不可欠と判断しています。このストリークスの原因が解明されてきたので、現在、ストリークスフリーな高感度検出器のプロトタイプを製作しています。

また、WANDを利用して、高分子と親和性の高い耐放射線性の連続繊維（BF）を新たに開発しています。このBFの放射線耐性はベルギーの照射原子炉でその性能が実証されつつあります。BFを高分子複合体に「組み込む」ことで、高い放射線耐性のある捕獲材を生成しつつあります。



高い放射線耐性のある連続繊維 高分子複合体との高い親和性

参考文献

1. Y. Sekine, H. Fukazawa, K. Akiyoshi, Y. Sasaki and S. Sawada: Patent Application for Japan and US. No. P-130626.
2. Y. Sekine, T. Ikeda-Fukazawa, M. Aizawa, R. Kobayashi, S. Chi, J. A. Fernandez-Baca, H. Yamauchi and H. Fukazawa: J. Phys. Chem. B (2014) DOI: 10.1021/jp5008269b.
3. Y. Sekine, H. Takagi, S. Sudo, Y. Kajiwara, H. Fukazawa: Polymer, in press.