

即発ガンマ線ドップラー広がり法によるホウ素含有酸化鉄ナノ粒子の分析

Analysis of boron-doped superparamagnetic iron oxide nanoparticles using Doppler broadening method of prompt gamma-rays

高山 努¹⁾ 酒井 陽一¹⁾ 渡辺 裕夫¹⁾ 久保 謙哉²⁾ 松江 秀明³⁾

Tsutomu TAKAYAMA Yoichi SAKAI Yasuo WATANABE Kenya KUBO Hideaki MATSUE

¹⁾大同大学 ²⁾国際基督教大学 ³⁾原子力機構

合成時の表面保護材(ポリビニルアルコール)の添加が、生成する酸化鉄ナノ粒子のホウ素含有量に与える影響を検討するとともに、新たなホウ素源と成り得る化合物を探索した。各種条件で合成した酸化鉄ナノ粒子のホウ素含有量と状態を、 $^{10}\text{B}(n, \gamma)^7\text{Li}$ 反応で生成する反跳リチウムから放出される 478keV-即発ガンマ線のドップラー広がり法により分析した。その結果、表面保護材の添加が生成するナノ粒子中のホウ素量にほとんど影響しないこと、水素化ホウ素ナトリウムおよびフッ化ホウ素リチウムがホウ素源として利用可能なことが判明した。

キーワード : ホウ素, 酸化鉄, ナノ粒子, 中性子即発ガンマ線分析, ドップラー広がり

1. 目的

本研究は、癌の診断法である MRI と治療法である中性子捕捉療法に同時適用可能な薬剤となり得る化合物、ホウ素含有超常磁性酸化鉄ナノ粒子を開発することを最終目標としている。平成20年度の研究では、水溶液法で合成した酸化鉄ナノ粒子が、ホウ素を多く含有し、応用に有望であることが示された。そこで本年度は、水溶液法での酸化鉄ナノ粒子合成時に、表面保護材を添加した場合のホウ素含有量への影響を調べた。また、従来用いてきたホウ酸(H_3BO_3)以外のホウ素源に成り得る化合物を探索した。

2. 方法

下記の(1)および(2)の条件で合成したホウ素含有酸化鉄ナノ粒子について、中性子即発ガンマ線分析を行った。ポリエチレン膜で封入した酸化鉄試料を、JRR-3 の中性子ビームガイドの即発ガンマ線分析装置に設置し、 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応で生成する反跳リチウム核から放出される 478 keV のガンマ線を、ゲルマニウム半導体検出器で測定した。

合成条件(1):原料として、塩化鉄(Ⅱ)と塩化鉄(Ⅲ)とホウ酸(H_3BO_3)を用いる水溶液法と基本条件は同一にし、ナノ粒子の粒径制御のための表面保護材であるポリビニルアルコールを添加した。

合成条件(2):水溶液法におけるホウ素源として、ホウ酸の代わりに、水素化ホウ素ナトリウム(NaBH_4)およびフッ化ホウ素リチウム(LiBF_4)を使用した。

3. 研究成果

即発ガンマ線分析の結果、表面保護材のポリビニルアルコールを添加して合成した酸化鉄ナノ粒子には、質量パーセント濃度で 4.9 %のホウ素が含まれていることが判明した。これは、以前に測定したポリビニルアルコール無添加で合成した酸化鉄ナノ粒子の場合と同程度のホウ素含有量である。また、478 keV のガンマ線のドップラー広がりも、無添加の場合とほとんど違いはなかった。

また、酸化鉄ナノ粒子合成時のホウ素源として、水素化ホウ素ナトリウムを用いた場合のホウ素含有量は 2.9%であり、フッ化ホウ素リチウムを用いた場合は 3.6%であった。

4. 結論・考察

合成条件(1)のナノ粒子の分析結果は、合成時における表面保護剤の添加が、酸化鉄ナノ粒子へのホウ素取り込みを阻害しないことを示している。また、ナノ粒子中のホウ素原子の化学状態も、通常の水溶液法の場合から変化がないと推定出来る。これらの知見は、ナノ粒子の粒径制御のみならず、薬剤応用を考えた際の表面化学修飾に役立つものである。

また、水素化ホウ素ナトリウムおよびフッ化ホウ素リチウムは、得られる酸化鉄ナノ粒子のホウ素含有量がホウ酸利用の場合よりも若干少ないものの、ホウ素原に成り得ることが明らかとなった。今後、ホウ酸が使えないような合成条件下での代替原料として有用であると考えている。