

ロータリーキルンによるセシウムを吸着したフェロシアン化鉄の熱分解技術の開発

— 除染廃棄物の処理・処分の高度化 —

小原 孝之*¹・高橋 秀治*²・緒明 博*²・稲葉 優介*²・竹下 健二*³

Development of Thermal Decomposition Technology of Cesium-Loaded Iron Ferrocyanide by Rotary Kiln

Takayuki OBARA, Hideharu TAKAHASHI, Hiroshi OAKI, Yusuke INABA, Kenji TAKESHITA

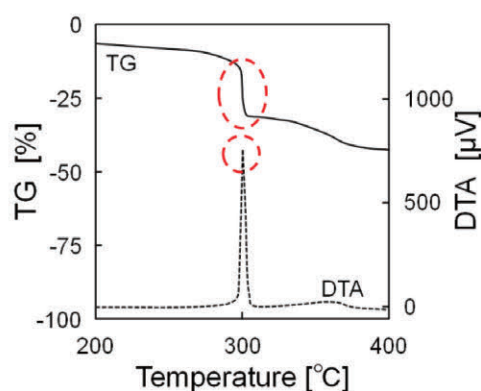


図-1 フェロシアン化鉄の TG-DTA 分析結果

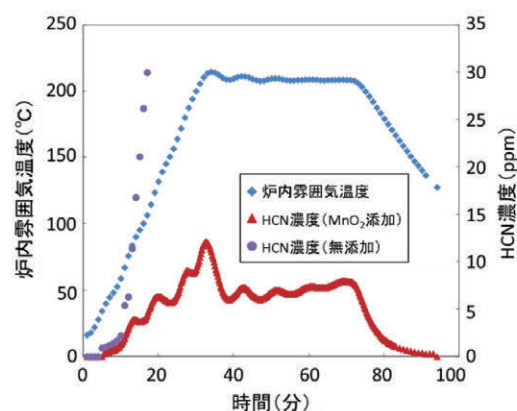


図-2 二酸化マンガンを添加による HCN ガス発生量の抑制効果

研究の目的

福島第一原子力発電所事故によって原子力発電所内で発生した大量の放射性セシウム（ ^{134}Cs 及び ^{137}Cs ）汚染水の処理は現在も進められており、今後も処理に伴う大量の放射性廃棄物が発生すると見られている。フェロシアン化鉄は汚染水から放射性 Cs を高い効率で吸着する吸着剤であるが、その分子構造中にシアノ（CN）基を含んでおり、高温環境下で CN 基が分解し、有毒なシアニ化水素（HCN）ガスを発生する問題点がある。そこで、放射性 Cs を吸着したフェロシアン化鉄の有害な CN 基を熱分解して無害化する技術を検討する。これにより、大量に発生すると想定される放射性 Cs 汚染水処理後の放射性廃棄物量を大幅に低減し、福島第一原子力発電所内外の環境への負荷軽減に役立てることを目的としている。

技術の説明

フェロシアン化鉄は 300°C 程度の温度で低温で焼処理することにより熱分解し、CN 基を HCN に変えて無害化することができるが、反応に大きな発熱を伴う。放射性 Cs を再拡散させることなく、有害な HCN を発生させないためには、発熱を制御しながらできる限り低温で熱分解する必要がある。本研究では、Cs の沸点（約 670°C）より低い 300～350°C の低温熱分解で Cs を拡散させずに、確実に CN 基を分解する処理方法を検討する。本研究では、処理物を加熱炉空間内で運動させながら分散させることにより温度分布を伴わない均一な燃焼を実現できる、円筒回転炉（ロータリーキルン）を扱う。本熱分解処理が満たすべき条件は以下の 3 点である。

- (1) フェロシアン化鉄中の CN 基を分解して無害化すること。
- (2) 熱分解の過程において、フェロシアン化鉄が吸着した放射性 Cs の再拡散がないこと。
- (3) 熱分解の過程に発生する HCN ガスの発生量が制御可能なレベルに収まること。

主な結論

- ・円筒回転炉（ロータリーキルン）を用いて Cs の揮発を抑制しつつフェロシアン化鉄を脱シアニ化し、酸化鉄を主成分とする物質に熱分解することができることを確認した。
- ・シアノ基が分解する際に発生する HCN ガスを、二酸化マンガンを添加することにより大幅に抑制できた。

*1 本店 事業戦略室 事業企画部

*2 東京工業大学 原子炉工学研究所 研究員

*3 東京工業大学 原子炉工学研究所 教授

ロータリーキルンによるセシウムを吸着した フェロシアン化鉄の熱分解技術の開発

小 原 孝 之^{*1} 高 橋 秀 治^{*2}
緒 明 博^{*2} 稲 葉 優 介^{*2}
竹 下 健 二^{*3}

要 旨

フェロシアン化鉄は放射性セシウム汚染水からセシウムを高い効率で吸着する吸着剤である。しかし、フェロシアン化鉄の分子構造中に含まれるシアノ基は高温環境下で熱分解し、有毒なシアン化水素ガスを発生する。そこで本研究では、放射性セシウムを吸着したフェロシアン化鉄の安定化処理技術を確認することを目的として、その熱分解特性を調べた。さらに、その結果を踏まえて、ロータリーキルンを用いた熱分解実験を行った。その結果、加熱温度を300～350℃に制御することにより、セシウムを拡散せずに、安全にシアノ基を分解することができた。

キーワード セシウム／フェロシアン化鉄／熱分解／減容化／無害化

目 次

- | | |
|----------------------------------|----------------------|
| 1. はじめに | 3. フェロシアン化鉄の熱分解特性の把握 |
| 2. フェロシアン化鉄を用いた放射性
Cs汚染水処理と課題 | 4. ロータリーキルンを用いた熱分解実験 |
| | 5. まとめ |

DEVELOPMENT OF THERMAL DECOMPOSITION TECHNOLOGY OF CESIUM- LOADED IRON FERROCYANIDE BY ROTARY KILN

Takayuki OBARA
Hiroshi OAKI
Kenji TAKESHITA

Hideharu TAKAHASHI
Yusuke INABA

Synopsis:

Iron ferrocyanide adsorbs cesium at high efficiency from radioactive-cesium-contaminated water. However, the thermal decomposition of iron ferrocyanide at high temperature evolves poisonous gases such as hydrogen cyanide, derived from the cyano group contained in the molecular structure of the ferrocyanide. The thermal decomposition characteristics of the cesium-loaded iron ferrocyanide were analyzed to establish the stabilizing operation of the radioactive waste treatment. Furthermore, the thermal decomposition experiment by a rotary kiln was conducted, which demonstrated the favorable decomposition of the cyano group of iron ferrocyanide without diffusing cesium under the controlled temperatures between 300 and 350 degree centigrade.

* 1 本店 事業戦略室 事業企画部

* 2 東京工業大学 原子炉工学研究所 研究員

* 3 東京工業大学 原子炉工学研究所 教授

1. はじめに

1.1 研究の背景

福島第一原子力発電所事故によって原子力発電所内で発生した大量の放射性セシウム (^{134}Cs 及び ^{137}Cs 、以降、放射性 Cs と記述) 汚染水の処理は現在も進められており、今後も処理に伴う大量の放射性廃棄物が発生すると見られている。今後は、放射性廃棄物を減らす減容化が大きな課題となると推察される。

フェロシアン化鉄は汚染水から放射性 Cs を高い効率で吸着する吸着剤であり、他の吸着剤と比較して汚染水処理後の放射性廃棄物量を大きく低減できる。しかし、フェロシアン化鉄はその分子構造中にシアノ (CN) 基を含んでおり、高温環境下で CN 基が分解し、有毒なシアン化水素 (HCN) ガスを発生する。管理された環境下において温度が高温になることは非常に稀であると思われるが、万が一の状況下で HCN が発生する恐れがあることは否めず、放射性 Cs 汚染水の処理にフェロシアン化鉄が採用される事例がきわめて少ないのが現状である。

1.2 研究の位置付け

本研究は、Cs 汚染水中にイオン化した Cs を除去するための吸着剤から中間処理、最終処分までの一連のプロセスすべてを網羅した総合技術構築の一環であり、原子力分野におけるクライシスマネジメントを支える基盤技術である。Cs 汚染水処理の材料 (吸着剤) から、吸着処理後の中間処理 (無害化処理)、最終処分 (安定化処理) までの道筋の中における中間処理 (無害化処理) に位置付けられる (図-1)。本研究の成果は福島第一原発事故に係わる放射性物質を含む廃棄物の管理・処理に貢献するのみならず、今後の原子力利用のバックアップ技術として位置付けられる。本技術の確立は確実な汚染水処理と放射性廃棄物の低減に寄与し、原子力分野の安全性向上に役立つものと認識している。

また、本技術は中間貯蔵施設の運用時に発生する汚染水の処理にも利用できるばかりでなく、既存の原子力発電所廃炉に伴う解体作業時に発生する汚染水の処理にも役立つ。今後の原子力利用の様々な場面における汚染水処理の最も有効な技術に位置づけられると考えている。

1.3 研究の目的

フェロシアン化鉄を吸着剤として用いた放射性 Cs 汚染水処理の総合技術を確立し、同技術を実用に資することにより、汚染水の脅威から環境を守るとともに、大量に発生すると想定される放射性 Cs 汚染水処理後の放射性廃棄物量を大幅に低減し、福島第一原子力発電所内外の環境への負荷軽減に役立てることを目的としている。さらに、本研究成果を除染によって既に発生した放射性 Cs を吸着したフェロシアン化鉄の放射性廃棄物の中間処理 (無害化処理) として確立し、大量のフェロシアン化鉄が環境に与えるリスクを低減することを目的としている。

本研究は、東京工業大学原子炉工学研究所竹下健二教授の研究室と共同研究によって実施したものであり、以下にその結果を報告する。

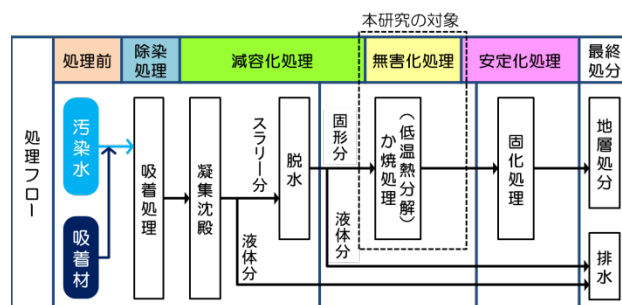
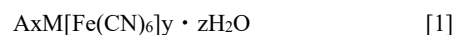


図-1 汚染水処理及び廃棄物処理のフロー

2. フェロシアン化鉄を用いた放射性 Cs 汚染水処理と課題

2.1 フェロシアン化鉄と放射性Cs吸着メカニズム¹⁻⁴⁾

式[1]はフェロシアン化物の基本的な組成式である。



ここに、組成式中の、A は陽イオンに由来する原子であり、x は 0 ~ 2 の数であり、y は 0.6 以上 1.5 以下の数であり、z は 0.5 以上 10 以下の数である。M は、マンガン、鉄、ニッケル、銅、亜鉛等からなる群より選ばれる一種または二種以上の金属原子である。本研究では、最も安価で一般市場においても入手容易な、M に鉄をとるフェロシアン化鉄を研究対象とする。

フェロシアン化鉄は以下の一般式[2]で表せる。



A には NH_4 、K、Fe が入ることができ、A によらず化学的にはほとんど同じ性質を持ち、毒性はない。ここで、 $\text{A}=\text{NH}_4$ であるのがアンモニウム紺青であり、紺青は濃く深みのある青色（紺青色）の顔料として広く一般に用いられている。

紺青の結晶構造は立方晶系で、 Fe^{2+} と Fe^{3+} が立方体の各頂点を交互に占め、 Fe^{2+} と Fe^{3+} を CN 基が結び、その中心を NH_4 が占有する構造となっている。図-2 にフェロシアン化鉄の結晶構造を示す。 Cs^+ は中心にある NH_4^+ とイオン交換することで、選択的に吸着されると考えられる。

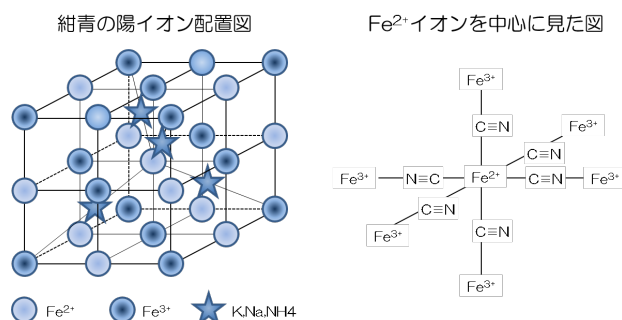


図-2 フェロシアン化鉄（紺青）の結晶構造²⁾

さらに、紺青は一次粒子径が 50~100nm の超微粒子が凝集して数 10 μ m の集合体を形成している。性質は、弱酸性であり、酸性中では安定だが、耐アルカリ性は弱く、また還元剤にも弱い性質を持つ。耐熱性は 180℃付近までは安定である。

2.2 フェロシアン化物のCs吸着特性

放射性セシウム汚染水の処理には一般に吸着処理が用いられ、最も有効な吸着剤はフェロシアン化物型吸着剤⁵⁾である。日本原子力学会の有志チームが汚染水処理（海水条件）を想定して、日本国内で入手可能なフェロシアン化鉄を始めとし、ゼオライト、活性炭など種々の固体吸着剤の Cs の吸着性能を調べた結果が図-3 である。結果によると、フェロシアン化物の分配係数はゼオライトの 100 倍以上を示すものもあり、吸着速度も速かった。また、フェロシアン化鉄は Cs の競合イオンである Na⁺や K⁺を大量に含む海水からの Cs 回収にも選択性⁵⁾が高く、放射線照射に対する抵抗性も高い⁷⁾ことが知られている。

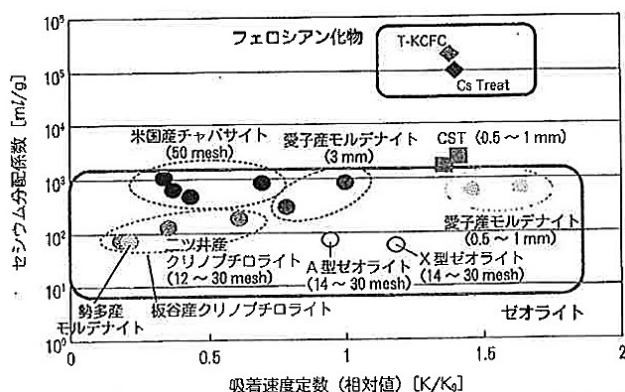


図-3 日本原子力学会有志チームによる種々の固体吸着剤の Cs の吸着試験結果⁶⁾

2.3 放射性Csを吸着したフェロシアン化鉄の問題点

フェロシアン化鉄はその分子構造中に CN 基を含んでおり、高温環境下で CN 基が分解し、有毒な HCN ガスを発生する。HCN ガスの毒性は高く、0.2~0.3mg/L で即死に至る。

管理された環境下において温度が高温になることは非常に稀であると思われるが、万が一の状況下で HCN が発生する恐れがあることは否めず、放射性 Cs 汚染水の処理にフェロシアン化鉄が採用される事例がきわめて少ないのが現状である。

2.4 放射性Csを吸着したフェロシアン化鉄の無害化

フェロシアン化鉄は 300℃程度の温度で低温熱分解することにより熱分解し、CN 基を HCN に変えて無害化することができるが、反応に大きな発熱を伴うため、この発熱を制御できずに燃焼温度が Cs の昇華温度 (671℃) まで上昇すると、放射性 Cs が気化して環境中に拡散し、環境を再汚染させてしまう恐れがある。したがって、放

射性 Cs を再拡散させることなく、有害な HCN を発生させないためには、発熱を制御しながらできる限り低温で熱分解する必要がある。フェロシアン化鉄を放射性 Cs 汚染水の処理に広く用いて、処理後の放射性廃棄物を大きく低減するためには安全かつ確実なフェロシアン化鉄の無害化技術を確認する必要がある。

2.5 放射性 Cs を吸着したフェロシアン化鉄の無害化に関する既往の研究

現在、除染が先行して進められているために、既往の研究では放射性 Cs の吸着性能や吸着後の固液分離の利便性を対象としたものが主であり、保管時のリスクを見越した無害化や最終処分に備えるための安定化を視野に入れた研究は極めて少ない。

同様の研究としては、三村ら^{8,9)}の研究がある。三村らは、フェロシアン化鉄をゼオライトに担持させた吸着剤を用いて、汚染水から Cs を吸着させた後に、吸着剤を 1000℃で高温焼成してフェロシアン化鉄を熱分解させると同時にゼオライトの Cs トラップ機能、固化素材としての自己焼結機能を活用して安定固化するものである。しかし、本方法によると Cs の沸点 (約 670℃) を上回る温度で焼成するため、フェロシアン化鉄のゼオライトへの担持条件や加熱条件によっては Cs が気化する可能性がある。Cs が気化すれば、燃焼炉内に固溶化したり、周辺環境に再拡散したりする危険性があるため、本技術には安全面においての不安が残る。

Cs を吸着したフェロシアン化鉄の低温熱分解技術として既往の発明 (特開 2014-55931)¹⁾がある。これによると、フェロシアン化鉄の発熱を制御しながら 300℃程度で熱分解を行うために、吸熱反応を起こす水酸化アルミニウムや水酸化マグネシウム或いはその含有物をフェロシアン化鉄に対し 2 : 1 あるいは 1 : 2 の割合の量を添加して熱分解する方法が提案されている。しかし、この方法では、大量の添加物を混ぜることになり、放射性廃棄物量はむしろ増加し、減容化にはならない。

2.6 研究課題と研究方法

本研究は、特に多量の添加剤等を用いずに、Cs の沸点 (約 670℃) より低い 300~350℃の低温熱分解で Cs を拡散させずに、確実に CN 基を分解する処理方法を検討する。原理としては、Cs を吸着したフェロシアン化鉄を加熱炉空間内で運動させながら分散させることにより温度分布を伴わない均一な燃焼を実現するものである。

本熱分解処理が満たすべき条件は以下の 3 点である。

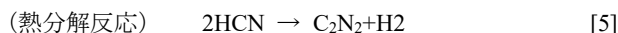
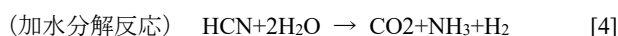
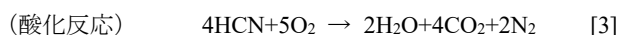
- ① フェロシアン化鉄中の CN 基を分解して無害化する。
- ② 熱分解の過程において、フェロシアン化鉄が吸着した放射性 Cs を再拡散させることなく、放射性 Cs が熱分解生成物の中に残留する。
- ③ 熱分解の過程に発生する HCN ガスの発生量が制御可能なレベルに収まる。

以上を満足する熱分解処理技術を確立するため、始めに、Cs を吸着したフェロシアン化鉄の熱分解試験によって、熱分解特性を把握するとともに分解時の発生ガスを分析した。さらに、実際のプラント処理を想定した円筒回転炉（ロータリーキルン）の小型機を用いて処理試験を行うことにより、熱分解処理後の Cs 残留量を測定するとともに、HCN ガスの発生抑制に関する検討を行った。

3. フェロシアン化鉄の熱分解特性の把握

3.1 フェロシアン化鉄の熱分解特性¹⁰⁾

フェロシアン化鉄の熱分解では HCN ガスが発生することが予想される。発生した HCN の分解はその温度条件や雰囲気条件により異なるが、酸化反応、加水分解反応、熱分解反応の以下の 3 種類の分解反応が知られている。



しかしながら、本熱分解プロセスで想定している熱分解条件下ではフェロシアン化物の熱分解反応を伴うため、より複雑な分解反応が起こることが考えられる。そこで、本研究では、詳細なフェロシアン化物および HCN の熱分解過程を調べることはせず、まずは、Cs を吸着したフェロシアン化鉄の熱分解試験によって、基礎的な熱分解特性を把握することを目的として研究を進めることとした。

また、本熱分解プロセスにおいては、放射性 Cs が熱分解生成物の中に残留させることを鑑みると、熱分解温度を如何に制御して一定温度を保つかが大変重要である。特に、フェロシアン化鉄の分解反応に伴って発生する熱量を如何に放熱、除去するかが重要である。本研究における熱分解時の温度制御の方法については、次章において詳しく述べる。

3.2 実験方法

(1) Cs 吸着フェロシアン化鉄の作製

塩化セシウム水溶液（非放射性 ^{133}Cs 含有）にフェロシアン化鉄（大日精化工業㈱製、紺青）を浸漬させ、振とうし、フィルター濾過にて固液分離して固形分を回収した後に、自然乾燥または低温乾燥（90℃～110℃）させたものを、Cs を吸着したフェロシアン化鉄として熱分解試験に供した。

(2) 実験条件及び測定方法

熱分解時の雰囲気は、ヘリウム 80%と酸素 20%を混合した疑似空気として、流量は 300ml/min とした。試料約 5mg を室温から 500℃まで一定の昇温速度（10℃/min）下で加熱した。示差熱天秤（TG-DTA：（株）リガク製、Thermo plus EVO2）をガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS：（株）島津製作所製、QP5050A）に接続した同時測定装置（TG-DTA/GC-MS）を用いて、熱分解時に

おける重量変化を TG-DTA（示差熱天秤）により測定し、ガス成分を GC-MS（ガスクロマトグラフ質量分析計）により測定した。

3.3 実験結果

Cs を吸着したフェロシアン化鉄を TG-DTA/GC-MS を用いて熱分解させた際の温度と重量（TG）及び示差熱（DTA）の関係を図-4 に示す。300℃近傍で急激な重量減少および発熱 DTA ピークが見られ、この温度域で熱分解していることが分かった。また、GC-MS 分析結果から発生ガスには H_2O 、 NH_3 、 HCN 、 NO 、 CO_2 、 NO_2 、 C_2N_2 等が含まれていることがわかった。なお、フェロシアン化鉄の熱分解時における発熱量は鉄 Fe から酸化第二鉄 Fe_2O_3 が生成される際の熱量とほぼ同じ値（約 7kJ/g）であることが確かめられた。したがって、フェロシアン化鉄を分解した後の分解生成物の主成分は Fe_2O_3 であることが示唆された。

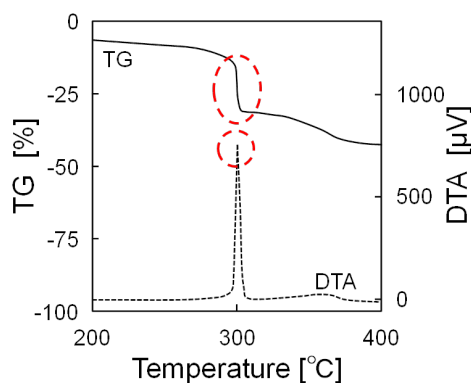


図-4 フェロシアン化鉄の TG-DTA 測定結果

4. ロータリーキルンを用いた熱分解実験

4.1 ロータリーキルンの有効性

フェロシアン化鉄は 300℃近傍で大きく発熱しながら熱分解するため、適切に放熱、除熱ができる装置である必要がある。また、熱分解過程において反応装置内に温度勾配が生じて、表面に近い部分と内部で大きな温度差があるような状況も避けなければならない。以上の条件を踏まえると、ロータリーキルンが最も適切な装置であると考えられる（図-5）。ロータリーキルンは、円筒形の燃焼室で粉体が絶えず傾斜面に沿って転動し、均一な焼成ができる点に特徴がある^{11,12)}（図-6）。また、円筒形の燃焼室の周囲から熱分解時の発熱を放熱でき、燃焼時の温度を適切に管理できる可能性がある。ロータリーキルンはセメント製造プラントとして実績も極めて豊富であり、原子力分野における適用事例も多くある。

4.2 実験方法

(1) ロータリーキルンによる熱分解実験

実験用小型ロータリーキルンによる Cs を吸着したフェロシアン化鉄の熱分解試験を行った。空気供給下におい

て (0.5L/min) , 炉回転速度約 10rpm の条件において, Cs を吸着したフェロシアン化鉄 0.5g を加熱した. 吸着剤の熱分解中に発生する HCN ガスの濃度を電気化学式シングルガス検知器 (BW technology 社製, GAXT-Z-DL) によって測定した. なお, Cs を吸着したフェロシアン化鉄は前述と同様の方法で作成した.

(2) 小型ロータリーキルンの仕様

実験に使用したロータリーキルン (図-7) は株式会社モトヤマ製の電気炉であり, 石英製炉心管の燃焼室を有する. 石英製炉心管は長さ 700mm, 直径 31.5mm である.

(3) 熱分解処理後の固体生成物の特定と Cs 残存量

熱分解処理前後の固体は薄膜材料結晶性解析用 X 線回折計 (XRD : Philips 製, XPert-Pro - MRD) により同定し, 固体中の Cs の残存特性は μ プローブエネルギー分散型 X 線分光分析装置 (XRF : EDAX 社製, EAGLE μ -probe) により調べた.

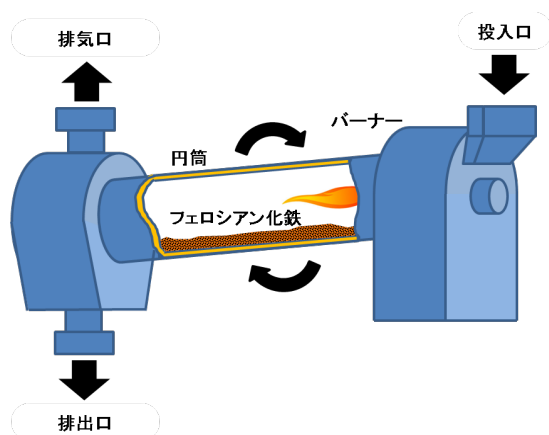


図-5 ロータリーキルン

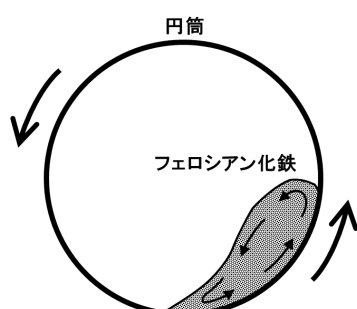


図-6 円筒形の燃焼室内での燃焼物の転動¹²⁾



図-7 実験用小型ロータリーキルン

(4) 熱分解時の HCN ガス発生量の制御

熱分解時の HCN ガス発生を抑制することを意図して, HCN ガスの酸化反応促進材として二酸化マンガ (MnO₂) を添加した場合について検討を行う.

4.3 実験結果

(1) フェロシアン化鉄の熱分解処理後の固体生成物

室温から 300℃まで実験用小型ロータリーキルンにより加熱した際における熱分解処理前後の模擬使用済み吸着剤 (仕込み重量約 0.38g) の固体を XRD により分析した. 分析結果を図-8 に, 熱分解処理前後のフェロシアン化物外観の比較を図-9 に示す. 処理前のフェロシアン化鉄は NH₄Fe[Fe(CN)₆]であり, 処理後生成物は Fe₂O₃に近い結晶相を持つ物質であることが確認された. しかし, 熱分解後の固体生成物は磁性を有していたことから, Fe₃O₄ や, α -Fe₂O₃, β -Fe₂O₃, γ -Fe₂O₃ 等異なる相の酸化鉄を含む混合物であることが推測される.

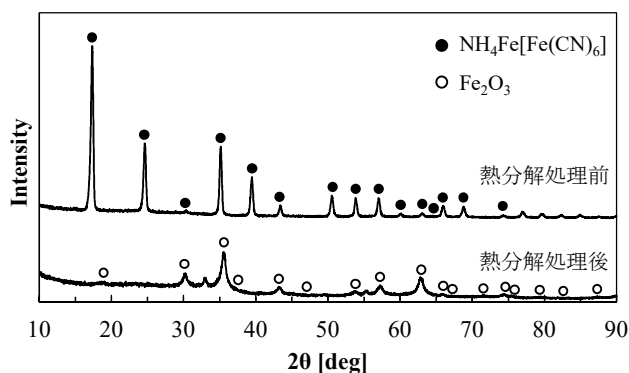


図-8 熱分解処理前後の XRD 分析結果

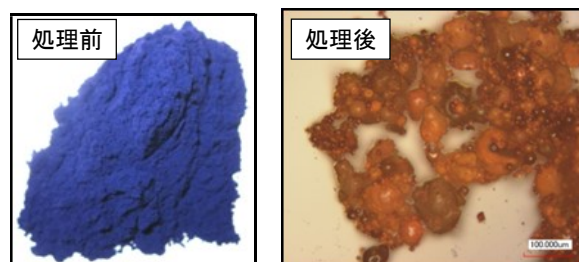


図-9 熱分解処理前後のフェロシアン化鉄外観の比較

(2) 熱分解処理後の固体生成物内の Cs 残存量

室温から 300℃まで実験用小型ロータリーキルンにより加熱した際における Cs を吸着したフェロシアン化鉄の熱分解処理前後の固体を XRF によって分析した. 分析結果を表-1 に示す. 分析結果より, 測定位置 (照射面積は直径 100 μ m) の違いによる Cs 濃度の局所偏在性によってカウント数の若干のバラつきはみられたが, Fe に対する Cs のカウント数の比は概ね同等であった. 本結果から, 熱分解によっても Cs は揮発せずに固体生成物中に残留していることが確認された.

(3) HCN ガス発生量の抑制

フェロシアン化鉄約 0.5g を仕込んだ実験用小型ロータリーキルンを 10rpm で回転させ、0.5L/min の空気供給下で室温から 200℃まで 30 分で昇温させた際の HCN ガス発生量の経時変化の一例を図-10 に示す。系中に MnO₂ を添加しない場合は、HCN ガスの濃度は測定器の測定範囲 (0-30ppm) を超え、推定 100ppm 以上の大量の HCN が発生していたと推測される。一方、MnO₂ を系中に 0.43g 添加した場合は、HCN の最大発生量が 15ppm 以下と大幅に減少した。以上より、熱分解に伴って発生する HCN ガスの発生量を、酸化反応促進剤を添加することで大幅に抑制できる可能性を見出した。

表-1 熱分解処理前後におけるフェロシアン化鉄中の Fe, Cs 存在比率

	Fe カウント数 (count)*	Cs カウント数 (count)*	カウント数比 Cs/Fe(%)
熱分解 処理前	16,476	480	2.91
熱分解 処理後	15,644	493	3.15

※ Fe は K α 線 (6.40KeV) , Cs は L α 線 (4.29KeV) を参照

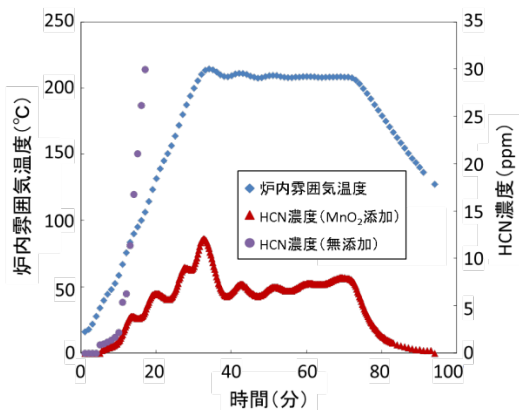


図-10 二酸化マンガン添加による HCN ガス発生量の抑制効果

5. まとめ

放射性セシウムを吸着したフェロシアン化物の保管時、処分時の安全性の向上を目指して、熱分解処理を利用した脱シアン化処理技術に関する検討を行った。本研究では、フェロシアン化鉄を対象として熱分解特性を検討するとともに、ロータリーキルンを用いてセシウムを吸着したフェロシアン化物の熱分解実験を実施した。その結果、本研究の範囲内で得られた結論を以下に示す。

- ① フェロシアン化鉄は 300℃近傍の温度域で熱分解することにより、脱シアン化され、主に酸化鉄となった。
- ② ロータリーキルンを用いてセシウムを大気中に再拡散させることなくシアノ基を無害化し、酸化鉄を主成分とする物質に熱分解することができた。

- ③ 熱分解に伴ってその発生が懸念される毒性の HCN ガスについては、酸化反応促進剤を添加しない場合には、HCN 濃度が測定可能上限 30ppm を上回る濃度 (推定 100ppm 以上) までに達したが、二酸化マンガンを酸化反応促進剤として添加することで、その発生を 15ppm 以下まで大幅に抑制することができた。本研究結果により、セシウムを吸着したフェロシアン化鉄の安定化処理技術確立の基礎データを得ることができた。本結果を踏まえて、本安定化処理技術のさらなる高度化と実証を目指して研究を継続する予定である。

参考文献

- 1) 川本 徹・田中寿・高橋顕・ドゥルガ パラジュリ, セシウム吸着剤の後処理法, 特開 2014-55931, (2014).
- 2) 大日精化工業株式会社: 紺青 Q&A
http://www.daicolor.co.jp/products_i/pro_i_pig/miloriblu_eqa.html
- 3) Jukka Lehto, Mika Pettersson, Juha Hinkula, Markku Rasanen and Matti Elomaa: Gases evolved in the thermal decomposition of potassium cobalt hexacyanoferrate(II), Thermal Acta, Vol.265, 1995, pp.25-30
- 4) Jo Lehto and S.Haukka: Thermal decomposition of potassium cobalt hexacyanoferrate(II), Thermal Acta, Vol.160, 1990, pp.343-347
- 5) 竹下健二, 福島第一原子力発電所事故による放射性降下物で汚染された生活環境の回復技術, 日本表面科学会誌特集「放射能の除染にかかわる表面科学」, 34(3), pp.108-118(2013).
- 6) 日本原子力学会バックエンド部会: 福島第一原子力発電所内汚染水処理技術のための基礎データ収集,
<http://www.nuce-aesj.org/projects/clwt:start>
- 7) A. Nilchi, B. Malek, M. Ghanadi Maragheh, A. Khanchi: Investigation of the resistance of the potassium copper nickel hexacyanoferrate (II) ion exchanger against gamma irradiation, Radiation Physics and Chemistry, Vol.68 2003, pp.837-842
- 8) 三村均, 佐藤修彰, 桐島陽: (1)ゼオライトによる放射性核種の選択的分離・固化, J.Ion Exchange, Vol.22, No.3, pp.96-108, 2011 年
- 9) 日本イオン交換学会, 「セシウムをどうする—福島原発事故 除染のための基礎知識—」, 日刊工業新聞社, 2012 年
- 10) 秋吉亮, 久木哲, 福田隆至, 小幡英二, 安藤公二: 低濃度シアン化水素の酸化分解処理 - 一酸化炭素, 二酸化炭素の生成について -, 化学工学論文集, 第 19 巻, 第 3 号, 540-543 (1993).
- 11) 化学工学協会: 化学機械技術 27 - 高温化学工学, 丸善株式会社, 1975 年
- 12) 社団法人日本紛体工業技術協会: プロセス用キルン, 日刊工業新聞社, pp739-747, 1985 年