

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 5 日現在

機関番号：13101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630377

研究課題名(和文)放射性ステンレス微粒子を含む原発汚染水の浄化をねらう磁気分離技術の研究

研究課題名(英文) Study on magnetic separation technique for contaminated water purification of nuclear power plants including radio active stainless steel fine particles

研究代表者

岡 徹雄 (Oka, Tetsuo)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：40432091

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：放射性汚染水あるいはその周辺の環境水に対する浄水技術を開発することを目的とし、すでに大量処理された希薄な汚染水の、少量かつ清浄度の高い浄化をねらい研究開発を行った。従来の浄水処理には凝集剤が用いられるが、添加物によって放射性物質が増える欠点があり、添加物を使わない磁気分離は有効な手段である。ステンレスには環境基準がなく水中での存在は安全上の問題はないが、粒子には吸着するセシウムやステンレスに含まれるクロムの放射化は問題となる。ステンレスの多くは非磁性とされ、通常の永久磁石での回収は困難だが、歪や欠陥が導入された粒子は弱く磁性を帯びるため、強磁場によれば効率的に吸着分離ができる。

研究成果の概要(英文)：I had to develop radioactive pollution water or clean water technology to environmental water around. I aimed at a high purge of cleanliness of steel of the thin pollution water disposed in quantities. Aggregate coagulant is used for conventional water purification, but there is a fault that the radioactive materials increase by an additive in its quantity, and the magnetic separations for which an additive isn't used are effective. There are no environmental standards on stainless steel and no problems with existence in the water, but radiation chrome included in stainless steel will be a problem. Stainless steel is usually non-magnetic, and is not easily collected by usual permanent magnets, but the particles in which the distortion is once introduced, it becomes weak magnetic substance. An adhesion separation can be effective according to intense magnetic field. A particle has to estimate according to the state of various magnetizing conditions.

研究分野：応用超伝導

キーワード：超伝導材料・素子 磁性 水質汚濁・土壌汚染防止・浄化 廃棄物処理 反応・分離工学 環境負荷低減

### 1. 研究開始当初の背景

原発事故の災害対策においては、当初問題視されたセシウムに加え、ヨウ素やトリチウムなど対策すべき放射性物質の核種が増えてきている。本申請では、鉄やニッケルなどの磁性元素の放射化を踏まえた浄水技術に焦点を当てる。通常の沈殿物や金属片の多くは砂ろ過などのフィルタや吸着材で分離できる。しかし鉄粉やステンレスなどを含む微細粒子は水中で細かく分散するため、高い清浄度まで効率のよい除去は難しい。微細なフィルタによる高い清浄度の浄水は可能だが、放射性を帯びた大量の廃フィルタは特別な保管や処理が必要になってしまう。また、通常の水処理に使われる凝集添加剤は、被処理物の体積や重量を増やしてそれ自体が放射性廃棄物になる。このため現状では、下水処理施設内にそのまま放置・貯蔵される例が多い。したがって、放射性物質を除去する工程で放射性廃棄物を増やさないように処理することが求められる。

### 2. 研究の目的

福島第1原発内あるいは周辺の環境水に浮遊する希薄な放射性ステンレス微粒子に対して高度な浄水技術を開発する。既存技術で大量処理された汚染水をさらに清浄化するため、萌芽的な基礎的研究を行う。これらの汚染水は通常の浄水処理と異なり、有機物よりむしろ制御棒・燃料棒や配管類の金属成分やその微細な錆によって汚濁水となる。鉄やニッケルを含むステンレスなどの金属片や金属粒子は放射化されて放射能を持つ。放射化した鉄の半減期は3年、ニッケルは90年である。通常のステンレスや鉄分は環境や人体に悪影響を及ぼさないため廃棄に問題はなく排水基準はない。しかし、放射化されれば低濃度であっても、人体に内部被ばくをもたらし可能性がある。本申請では、弱く放射化された磁性金属元素を含む希薄な環境水を、地域の生活水(すなわち「飲める水」)に利用できるような高清浄度な浄水技術を開発する。この目的のために、ステンレス系材料の磁性吸着による磁気分離の基礎技術を、超伝導バルク磁石の発生する強磁場を使って研究する。

### 3. 研究の方法

すでに予備的に実施してきた非磁性ステンレス材料 SUS304 と磁性ステンレス SUS430 の粉末の SQUID 磁力計による評価試験結果から、材料とその加工や加振による磁性の強弱が変化することが分かっている。これを原発汚染水やその環境水に含まれる汚染物質に模して磁気分離実験を行った。簡便な電磁石による装置を申請段階で示し

たがこれをさらにバルク磁石によって強磁場する。ステンレス SUS304 粒子のスラリーが吸着する様子が電磁石でもわかるが、多く利用され、弱い磁性の SUS316 でも磁気分離が可能かどうかを調査する必要がある。この観点から電磁石ではなく、さらに強磁場を発生する超伝導バルク磁石を用いてさらに高効率・高性能な浄水性能を目指す。申請段階での年度ごとの計画は以下のとおり。

#### 平成 26 年度

各種ステンレス微細粉末の初期ならびに加工・環境履歴による性状と磁気特性を実験的に把握する。これらが磁極吸着現象を見せるかどうかを簡便な実験装置で評価する。放射性物質を含む汚染水・環境水とその磁性に関する文献調査を行う。

#### 平成 27 年度

連続的に処理できる磁気分離装置による各ステンレス微細粒子の性状と磁気性能を実験評価して、処理水量に対する磁性物質の分離浄化の性能評価を行う。被災地での低レベル放射性汚染水や環境水を採取して安全性を評価し、磁気分離による環境水の浄水効果と微細粒子の濃縮効果を明らかにして、分散設置型の浄水技術としての実用性の評価を行う。

### 4. 研究成果

平成 26 年度に予定した内容で、ステンレスの加工履歴に関する磁気特性について実験的に把握した。汚染水に分散するとみられる鉄成分の多くは、その配管などに由来する SUS304 である。また、特殊な用途として使われる SUS316 も炉用の部材として使われている可能性が高い。したがって、これらを構造材料としてではなく、粉末あるいは酸化した状態での磁性を測定する必要があるからである。図 1 にこれらの状態を示す。

SUS304 は非磁性。原子力発電で使われる冷却水のパイプなどにも使用されるのに対し、SUS316 も非磁性ではあるが、SUS304 に Ni を増量し、さらに耐食性のよい Mo(モリブデン)が添加したものの、SUS304 より磁化率が低い

磁気分離実験は図 2 に示す対向方のバルク磁石を用い、磁極配管の移動は交替型磁気分離配管を用いた。右極表面での最大の発生磁場は 2.23T、左極では 1.93T であった(パルス着磁法により磁場を捕捉)。実験溶液は 2000ml(濃度 100ppm)を流量 30/min で流し、二つの磁気分離実験様式を用いた。OGMS(開放勾配磁気分離:磁石の磁気力を直接使う分離方法)と、HGMS(高勾配磁気分離:磁性フィルタを使い磁気力を大きくした分離方法)である。分離時間は OGMS: 1, 4, 8min、HGMS: 1, 5min であった。

図 3 にその成果を示す。SUS316 では、OGMS では 1 分で分離率 52.06%、10 分で 79.37%

に達した。一方の HGMS では 1 分で分離率 95.11%、10 分で 99.58% を達成、更にはそれ以下の時間でも高い分離率が期待できる。このように時間効率、分離率向上に網フィルタが有用であることがわかった。

粉体の磁化特性を測定評価した。図 4 にこれを示す。汚染水・環境水とその磁性に関する文献調査の結果、比較に放射性セシウムを模した Cs をフェロシアン化沈殿にした粉末を示す。SUS304 の磁性は沈殿よりはるかに磁性が弱く、磁気分離が困難である様子が見られる。粒度を考慮した磁化力の計算結果によれば、SUS304 は Cs を含む鉄沈殿の 1 / 5 の磁化率であり、強磁場を発生するバルク磁石でなければ処理できないことを暗示した。

磁極吸着現象を見せるかどうかに関しては、磁極を両極とした場合と片極の場合のいずれでも強い吸着現象がみられ、それらは特に HGMS で 99% 以上であったことから、バルク磁石の有用性が明らかとなった。

平成 27 年度に計画した連続処理に関しては、交替型装置を連続運転して、最大 10 回のサイクルを繰り返した。

図 5 に示すように配管内に SUS430 の磁性ステンレスからなるフィルタを充填しておこなった高勾配磁気分離 HGMS では、試料の SUS 3 1 6 の HGMS の結果 99.74% を達成した。これを図 6 に示す。この試料の濃度は 100ppm であり、非常に希薄な鉄分の混入にも、磁気分離によって、飲める水をめざした、清浄な浄水技術が高品質に達成できることを暗示した。

同時に図 5 に示すように、500ppm で 99.93% であり、実際の濃度としては 24ppb に減少した。100ppm では回数を重ねるごとに分離率増加し、両者共 1 回目の分離率が低めとなった。

水中に分散させたステンレス試料の流動分布は、図 7 のように 4.05  $\mu\text{m}$  から 6.52  $\mu\text{m}$  に多く存在し、差分の最大は 5.12  $\mu\text{m}$  で 14.3%、平均は 5.37  $\mu\text{m}$  であった。すなわち、5 ミクロン程度の粒径の弱い磁性をもつステンレス由来の鉄系汚染物が、バルク磁石を使った HGMS によって少なくとも 99% 以上の分離率で浄化できることを実験的に立証した。

非常に薄い原料水をさらに飲み水とあわせるには、大量ではなく、飲み水として利用する直前にこの処置を行えばよいことから、必ずしも大型の装置ではなく、少量の精巧な浄化機能があればよいともいえる。このように、浄水の濃縮効果が明らかになったが、バルク磁石のコンパクトな性質が生かせるとも考えることができ、今後は処理量との関連から事業化への検討を実施する必要がある。

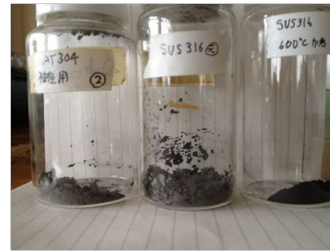
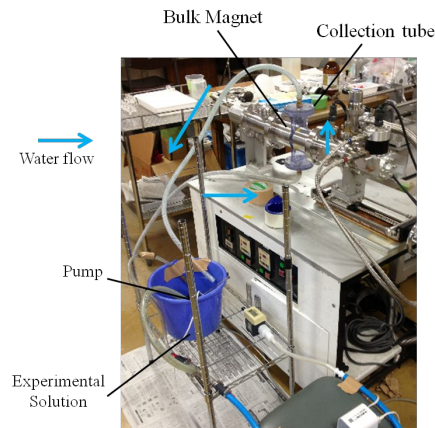


図1 試料の SUS304 と 316 粉末



磁気分離装置の概要

図2 磁気分離装置とバルク磁石

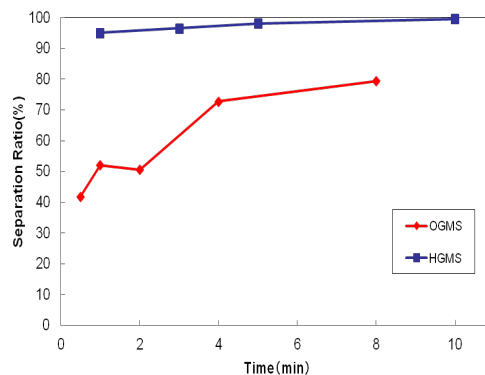


図3 SUS316 の磁気分離結果

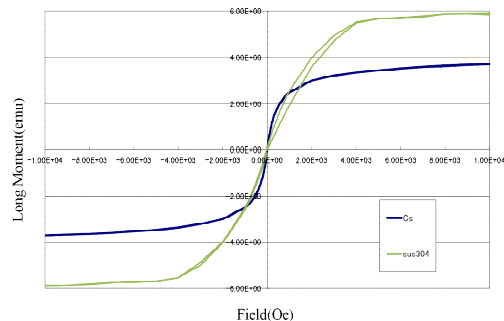


図4 Cs と SUS304 の磁化特性の測定

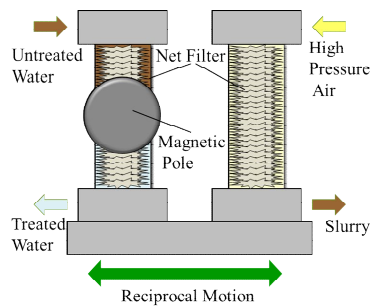


図5 磁気分離配管によるHGMS

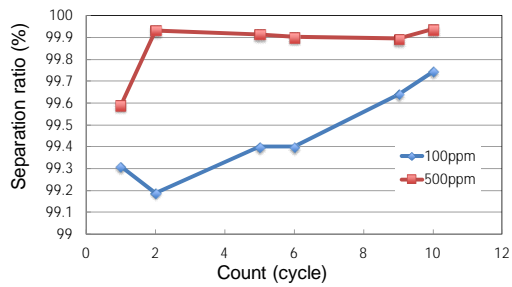


図6 SUS316のHGMS実験結果

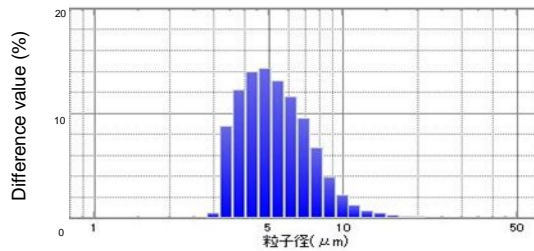


図7 粒度分布(SUS316)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等  
記載なし。

6. 研究組織

(1)研究代表者

岡 徹雄 (Oka Tetsuo)

新潟大学自然科学系教授

研究者番号：40432091

(2)研究分担者

なし ( )

研究者番号：

(3)連携研究者  
なし ( )  
研究者番号：