

マグネタイトスケール濾過のための 磁気分離用フィルタ構成に関する基礎研究

日大生産工 (院) ○今村健太郎 日大生産工 安藤努
物材機構 岡田秀彦 廣田憲之 阪大工 西嶋茂宏

1. 緒言

地球温暖化防止のためのCO₂削減は重要な課題だが, 東日本大震災後に原子力発電の全停止によって, CO₂を大量に排出する火力発電が全発電量の90%近くを占めるようになり, さらなる発電の効率化が要求されている. 火力発電プラントのボイラー給水中では, 高温高压下で溶解した鉄が強磁性体のマグネタイト(Fe₃O₄)主体のスケール(腐食生成物)となって懸濁・沈積することで, 熱交換効率の低下や配管内の圧力損失増加の原因となっている.

我々はこの強磁性体のマグネタイトスケールを効率的に除去する方法として, 超伝導マグネットと磁性材質の金網をフィルタに用いた高勾配磁気分離法を適用し開発をしている. その概要図をFig. 1に示す. これは超伝導マグネット外部から磁場を印加して金網を磁化させることで流体中のマグネタイトスケールを捕集する. 磁場を無くせば金網の磁化も無くなり粒子を放すため, 容易に洗浄が出来るので繰り返し使用が可能なことや, 目の粗い金網をフィルタに使用するため圧力損失が小さいといった特徴がある. しかし, 火力発電プラントで頻繁に実験を行うことは難しいため, 本研究は数値シミュレーションを実施して, フィルタの構成が捕集の性能にどのような影響を与えるのかを調べている.

2. 基礎方程式

本研究では, CFDプログラムのCOMPACT²⁾を使用して, 金網をワイヤーの並びで表した二次元モデルの定常計算を行っている. 計算はCOMPACT本来の機能を用いて, 流体の速度分布について式(1)の定常ナビエ-ストークス方程式より求める.

$$\nabla(\rho \mathbf{u}) = \nabla \cdot (\nu \nabla \mathbf{u}) + S \quad (1)$$

ρ : 密度(流体), $\mathbf{u}$: 流速, ν : 動粘性係数, S : ソース項
この本来の機能に, 式(2)のポアソン方程式より磁性線の磁化による磁場分布, 式(3)の拡散方程式より粒子の濃度分布の計算を付け加え

て連立させて解いている. 式(3)の粒子の速度 $\mathbf{v}$ は, 流速と磁気力によって磁性線に引き寄せられる速度の和である.

$$\nabla \cdot (\nabla \phi_0) = -\frac{\rho}{\mu_0} \quad (2)$$

ϕ_0 : スカラーポテンシャル, ρ : 磁化密度, μ_0 : 透磁率

$$\nabla(\rho \mathbf{v} C) - \nabla \cdot (D \nabla C) = 0 \quad (3)$$

ρ : 密度(粒子), $\mathbf{v}$: 粒子の流速, D : 拡散係数, C : 濃度

3. 計算条件

流体は水で室温条件を 20°C, 1.0 atm, ボイラー給水条件を 200°C, 20 atm とした. それぞれの物性値を Table 1 に示す. 金網の材質は磁性を持つステンレス鋼 SUS430 である. この飽和磁化が 1.6 T のため, 外部磁場は 1.7 T とした. マグネタイト粒子の濃度は重量比 0.1 とし, その物性値を Table 2 に示す.

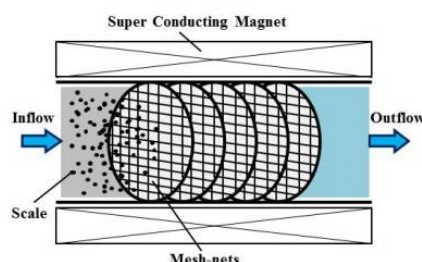


Fig. 1 Outline of the high gradient magnetic separation system.

Table 1 Physical properties of water.

	Density [kg/m ³]	Viscosity [Pa·s]	Kinematic viscosity [m ² /s]
20°C	998.2	1002×10 ⁻⁶	1.004×10 ⁻⁶
200°C	864.7	136.51×10 ⁻⁶	0.1579×10 ⁻⁶

Table 2 Physical properties of the scale.

Material	Fe ₃ O ₄
Density [kg/cm ³]	5170
Particle diameter [mm]	0.001
Saturated magnetization[T]	0.617

Fundamental study on the filter configuration of the magnetic separation
for magnetite particle filtration.

Kentaro IMAMURA, Tsutomu ANDO, Hidehiko OKADA, Noriyuki HIROTA, Shigehiro NISHIJIMA

4. 結果および考察

まず、単純に並べられる配置から、Fig. 2のようなジグザグに並んだものを考えた。このときの全体の捕集率と各位置の捕集量について調べた。結果のグラフをFig. 3に示す。第1縦軸が捕集率、第2縦軸が捕集量である。捕集率は単位時間当たりの流出量を流入量で割った値を1から引いた値で、フィルタの捕集性能を示している。捕集量はスケール全てを捕集したとするときの各位置での量を全体の捕集量で割って規格化したもので、1本目からの積算値でプロットしてある。結果は、捕集率は最前部のみ高く後方が機能せず、捕集量からも最前部で大半が捕集されて閉塞しやすくなってしまいうことが分かった³⁾。この結果から、より有効的なフィルタにするためには、捕集量を最前部に集中させないことと後方の捕集率を下げないことが重要であり、Fig. 2の配置の1本目と2本目の働きに注目すると、ワイヤー同士が前後で重ならない配置となる。

そこで次にFig. 4のような配置のモデルを設定し調べた。これは実際の金網の並びで見たとき、流れ方向に徐々に目の細かい金網を並べていくことで作られる構成である。その結果のグラフをFig. 5に示す。Figure 3と同様に第1縦軸に捕集率、第2縦軸に捕集量をプロットした。なお、捕集量は各フィルタの位置にあるワイヤー1本あたりの値を取っている。この結果から、後方に配置した金網の捕集率を下げないこととワイヤー1本あたりの捕集量の差を小さくすることが可能だということが分かり、ワイヤー同士が前後で重ならない配置はフィルタの構成に効果的である。

このような配置のとき、Fig. 6のように濃度分布がワイヤーの前後、横の間隔によって後方で強く狭められる形をとることが分かった。その関係をFig. 7に示す。この狭まる位置は、前後間隔がワイヤー径の8倍以上では後ろにワイヤーが無いときとあまり変わらなくなることが分かった。また現在、室温環境の実験を準備しており、これについても報告する。

5. 謝辞

本研究の一部は、科学技術振興機構の先進的炭素化技術開発(ALCA)の支援を受けている。

参考文献

- 1) 電気事業連合会, 電源別発電電力量構成比, 公開資料, 2014
- 2) パタンカー著, 水谷他訳, コンピュータによる熱移動と流れの数値解析, 森北出版, 1985
- 3) 今村他, 第61回 応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集, 20p-F4-8, 2014, 01-098

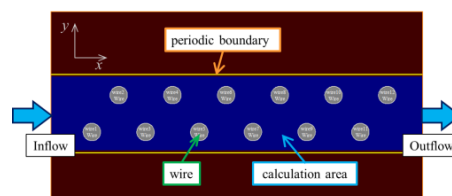


Fig. 2 Zigzag layout.

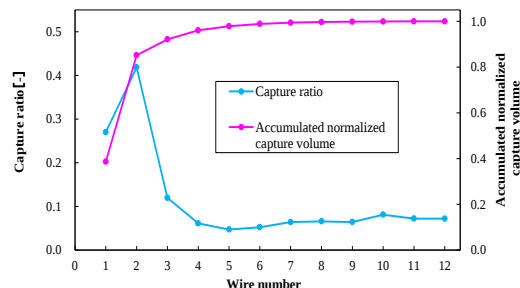


Fig. 3 Calculation results about zigzag layout.

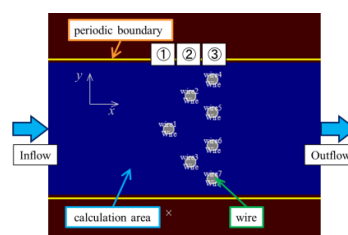


Fig. 4 Layout of wires without overlapping in view of the surface of inflow direction.

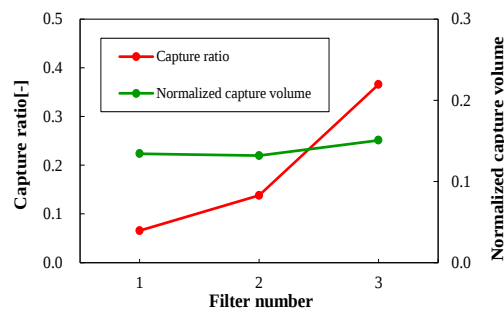


Fig. 5 Calculation results about layout of wires without overlapping.

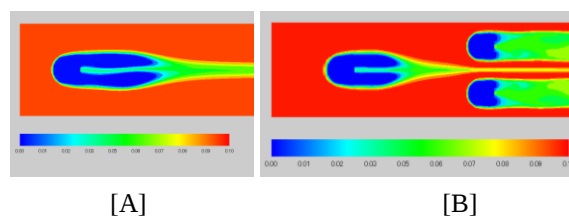


Fig. 6 Concentration distribution by difference in wire interval.
[A] Single wire. [B] Two wires are interposed behind.

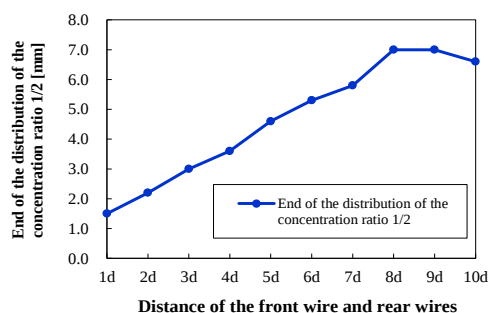


Fig. 7 Relationship of concentration distribution to wire interval.