

ローレンツ力型海水・油分離装置中の不導体（油）に働く力

Study of the Force Acting on an Oil Droplet in the Lorentz-force-type Sea Water/Oil Separator

神戸大海 °赤澤 輝彦, 岩本 雄二, 梅田 民樹

Kobe Univ., °Teruhiko Akazawa, Yuji Iwamoto, Tamiki Umeda

E-mail: akazawa@maritime.kobe-u.ac.jp

本研究グループが研究しているローレンツ力型海水・油分離装置の原理を Fig.1 を用いて以下に説明する. 海水が流れるダクトに対向する 1 組の電極板を取り付け, 海水に電流密度 J で通電を行う. また, 海水の流れる方向に磁場 H を印加する. 海水は導電体であるため, ローレンツ体積力と呼ばれる電磁力 F_L が働く. 一方, 油は不導体であるため電磁場からのローレンツ体積力が働かず, 海水の圧力勾配により F_L と逆向きの分離力 F_s が働く. 分離空間の後方に仕切板を導入し, 流路を分割すれば, 海水の流れを汚水排出側の流れと, 浄化された海水排出側の流れに分けることができる. 実際に油や魚卵を不純物として海水に混ぜ, 分離装置で分離ができることは報告されている.

これまでの研究では, 不導体に作用する F_s は海水に作用する F_L の反力 (浮力) としてしか議論されていなかった. 本研究では, F_s についてより詳細に理論的に調べたので, その報告を行う.

まず, 2 次元流体モデルを用いて, 不導体に働く力を考える. xy 面内に不導体のかたまりがあり, 流体中に静止しているとする. 不導体以外の領域は, 密度 ρ , 粘度 μ , 電気伝導度 σ の流体で満たされているとする. 流体に無限遠で電流密度が x 方向に

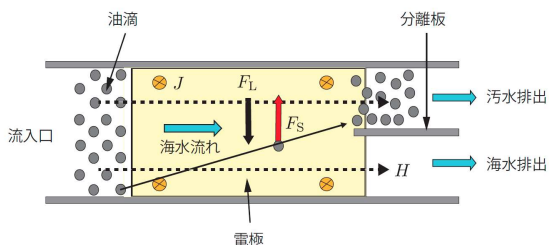


Fig.1 Schematic diagram of the seawater/oil separator.

j_0 となるように電場を, z 軸の正方向に磁束密度 B の磁場を印加する. 点 (x, y) における電位を $\phi(x, y)$ とすると電流密度 J は,

$$J = -\sigma \nabla \phi \quad (1)$$

である. 不導体の境界で, 単位法線ベクトルを $\mathbf{n}$ とすると

$$J \cdot \mathbf{n} = -\sigma \nabla \phi \cdot \mathbf{n} = 0 \quad (2)$$

が成り立つ.

ところで, ローレンツ体積力を受ける流体の運動は以下のナビエーストークス方程式で支配される.

$$\rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right] = -\nabla p + \mu \Delta \mathbf{v} + \mathbf{J} \times \mathbf{B} \quad (3)$$

いま, $\mathbf{v} = 0$ の静止流体を考えると, (3) は

$$-\nabla p + \mathbf{J} \times \mathbf{B} = 0 \quad (4)$$

となる. 2 次元系であることを考慮し, (1), (4) から

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -B\sigma \frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad \frac{\partial p}{\partial y} = B\sigma \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (5)$$

の関係が成り立つ. (2), (5) より, 圧力 p が調和関数で与えられ, 不導体の境界線上で p が一定となることがわかる. つまり, 流体が静止している場合, F_s が流体中の不導体に作用しないため, 不導体も静止したままとなる. この結果は, 2 次元流体モデルが成り立つ環境では, 海水と不導体の分離ができないことを意味している.

本講演会では, 3 次元流体中の不導体球に働く F_s の考察も行い, F_s が海水に働く F_L による単純な浮力ではなく, 流体の運動も考慮に入れる必要があることを示す予定である.