

磁気浮上システムに対する分数階微分 PID 制御

2017SC060 大矢珠緒

指導教員：中島明

1 はじめに

磁気浮上システムは、磁力または電磁力によって物体を非接触で支持するシステムである。また、非整数階微積分法とは、従来の整数階の微積分を拡張・一般化し、実数階で微積分をしようとした考え方である。文献 [2] を参照している。本研究では、鉄球を浮上させる磁気浮上実験装置を用いて、分数階微分 PID 制御により鉄球の磁気浮上を制御することを目的とする。本稿の構成は、磁気浮上システムの状態方程式の導出を行い、次に、PID と分数階 PID を用いたシミュレーション結果、実験結果を示す。最後に本研究の反省、今後の展望について記す。

2 磁気浮上システムのモデリング

図 1 において本研究に用いる磁気浮上実験装置概略図を示す。上の電磁石は、支柱に置かれた金属ボールに引力を発生させる。

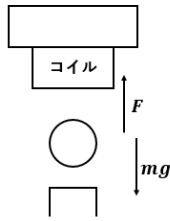


図 1 磁気浮上実験装置概略図

表 1 に磁気浮上システムの物理パラメータを示す。

表 1 磁気浮上システムの物理パラメータ

記号	名称	値
g	重力加速度	9.81 [m/s ²]
m	質量	0.068 [kg]
C	電磁力定数	6.53×10^{-5} [Nm ² /A ²]
R_c	コイルの抵抗	10 [Ω]

電圧を入力として、位置、速度、電流を状態とする 3 次元システムを対象として制御器を設計する。

状態 x_1 は鉄球の平衡点からの位置、 x_2 は鉄球の速度、 x_3 は電流値としている。

式 (1) は 3 次元の磁気浮上システムである。文献 [1] を参照している。

$$\Sigma_x : \dot{x} = f(x) + g(x)u \quad (1)$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} x_2 \\ g - \frac{Cx_3^2}{m(x_1+d)^2} \\ \frac{V_c}{L_c} - \frac{(R_c + R_s)x_3}{L_c} \end{bmatrix}$$

$$g(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L_c} \end{bmatrix}$$

$$x = [x_1 \quad x_2 \quad x_3]^T$$

3 PID と分数階 PID による磁気浮上シミュレーション

3.1 シミュレーションの状況設定

今回のシミュレーションは下向きを正としている。シミュレーションのブロック線図を図 2 に示す。また、シミュレーションにおける PID 制御器と分数階 PID の各ゲインを表 2 に示す。表 2 における Kb_{ff} はフィードフォワード項である。また、表 2 における Kb_{ff} , Kb_p , Kb_i , Kb_d はそれぞれ図 2 の K_{ff} , K_p , K_i , K_d に対応する。表 2 における Kc_p , Kc_i は図 2 の Plant 内にある電流制御 (PI 制御) のゲイン値である。

表 2 PID, 分数階 PID のシミュレーションにおける各ゲイン

記号	ゲインの値
Kc_p	300
Kc_i	300
Kb_{ff}	145.3304
Kb_p	-258.6
Kb_i	-248.1
Kb_d	-4.3
λ	1.51
μ	1.38

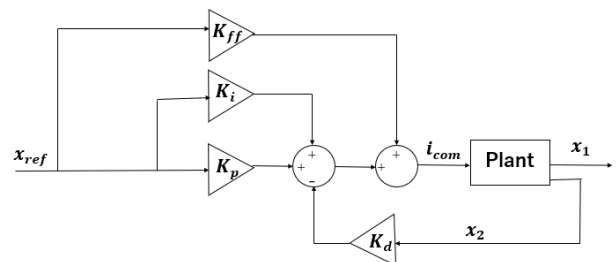


図 2 PID 制御のブロック線図

3.2 シミュレーション結果

図3, 図4にPIDと分数階PIDを用いた鉄球位置のシミュレーション結果を示す. 図4は図3をの7秒付近を拡大した図である. 図4からPIDを用いたシミュレーションと分数階PIDを用いたシミュレーションを比較すると, 分数階PIDを用いたシミュレーションの方が目標値に対して正確に追従していることがわかる.

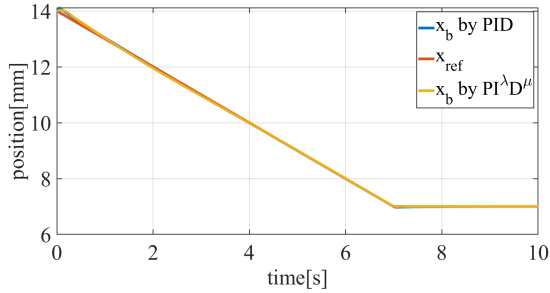


図3 PIDと分数階PIDとの比較

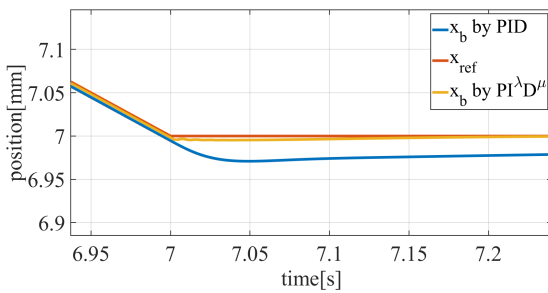


図4 図3の拡大図

4 実験結果

表3, 表4で示したゲイン値を用いて実験機で実験を行った. 位置制御の実験結果を図5に示す.

表3 PIDにおける各ゲイン

記号	ゲインの値
Kc_p	23
Kc_i	95
Kb_{ff}	72.6652
Kb_p	-101
Kb_i	-60
Kb_d	-5.7172

表4 分数階PIDにおける各ゲイン

記号	ゲインの値
Kc_p	23
Kc_i	95
Kb_{ff}	72.6652
Kb_p	-115
Kb_i	-10
Kb_d	-0.261
λ	1.2
μ	1.0001

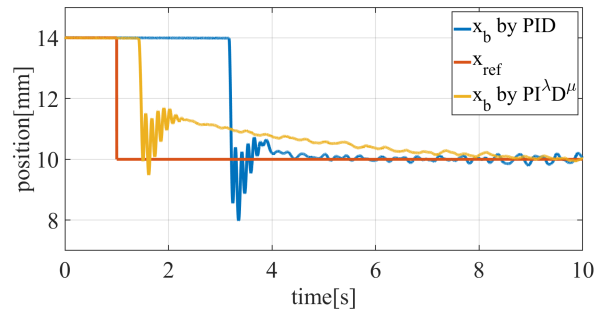


図5 PIDと分数階PIDとの比較

5 おわりに

PID制御器, 分数階PID制御器を用いての磁気浮上シミュレーション, また実験装置を用い鉄球の位置制御で結果を示すことができた. 実験結果より, PID制御器を用いた時よりも分数階PID制御器を用いた時の方が鉄球の振動が抑えられた. このことより, 実際に磁気浮上を用いて輸送や搬送を行う際, 分数階PID制御器を用いることで振動を抑えられることが期待できる.

6 参考文献

- [1] 橋本龍司: 『座標変換を用いた状態制約付き非線形最適制御器設計』. 2020年卒業修士論文, 南山大学大学院理工学研究科 機械電子制御工学専攻, 2020.
- [2] Y. Nishida *et. al.*: A numerical study on fractional PID control of three-inertia system using exact backlash model, In Proc. of *SICE Annual Conference 2020*