TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

On/off駆動を伴う水圧シリンダを用いたパラレルリンク型噴水装置のFF制御

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-08-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 巻島, 魁 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/2507

修士学位論文

On/off 駆動を伴う水圧シリンダを用いたパラレルリンク型噴水装置の FF 制御

2021 年度

(2022 年 3 月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

海洋システム工学専攻

巻島 魁

修士学位論文

On/off 駆動を伴う水圧シリンダを用いたパラレルリンク型噴水装置の FF 制御

2021 年度

(2022 年 3 月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

海洋システム工学専攻

巻島 魁

内容

1章　序論 1
1.1 研究背景 1
1.2 研究の大目的 1
1.3 研究目的 1
2章　制御方法と制約 1
2.1 制御方法 1
2.2 制約条件 2
3章　実験装置の構成 2
3.1 パラレルリンク機構及び水圧回路の構成 2
3.1.1 パラレルリンク機構 2
3.1.2 水圧シリンダ 3
3.1.3 センサ 3
3.1.4 水圧回路 4
3.1.5 On/off 弁 5
3.2 制御装置 7
3.2.1 Simulink 7
3.2.2 S-BOXⅡ 7
4章　実験プロセス 8
4.1 モデリング 8
4.1.1 実験装置のモデリング 8
4.1.2 ON/off 弁の応答速度測定 9
4.2 制御系設計 10
4.2.1 理想的なシステム 10
4.2.2 量子化器を挟んだシステム 11
4.2.3FBM を導入したシステム 11
4.2.4 離散時間でのシステム 12
4.2.5 逆システムを導入したシステム 13
4.2.6 FF 制御 13
4.3 数値シミュレーションによる検証 14
4.3.1 理想的な制御系の数値シミュレーション 14
4.3.2 量子化器の入った制御系の数値シミュレーション 15
4.3.3FBM を導入した制御系の数値シミュレーション 16
4.3.5 逆システムを導入した際の離散時間制御系の数値シミュレーション 18

4.4 実機実験による評価 20
4.5 実験結果の考察 21
4.6 追加実験 24
4.6.1 追加実験 24
4.6.1 追加実験の考察 27
5 章　結論と今後の課題 28
参考文献 29
謝辞 29
付録 30

1章　序論

1.1 研究背景

パラレルリンク機構とは上下 2 枚の板に複数のシリンダを取り付けシリンダの伸縮により上方の板を任意の位置、速度に制御できる機構であり,高い自由度とメンテナンスの容易さが特徴の機構である.この特性を生かし,昨今高度な演出を要求されている噴水のノズルの制御装置として用いる方法を開発する.ただし,この装置は水中での使用を想定しているため,パラレルリンクに用いるシリンダは一般的である油圧シリンダではなくシリンダからの微量な漏れを気にせずに用いることができる水圧シリンダを用いる必要がある.

1.2 研究の大目的

通常パラレルのシリンダを制御するために用いるのは比例制御弁(以後サーボ弁)であるがサーボ弁は高価で入手が難しいため,本研究ではサーボ弁の代わりに On/off 弁を用いて低コスト化し,かつ高度な位置決め制御を行うことを目的とする.

1.3 研究目的

先行研究では時間に対して一定の目標値に対して FBM を導入しパラレルリンクを制御していた.本研究では時間毎に変化する正弦波の目標値に対して FBM と逆システムを導入しパラレルリンクを制御することを目的とする.

2章　制御方法と制約

2.1 制御方法

先行研究では FBM(Feed Back Modulator)を用いている.

FBM 制御法を述べる前に量子化器について説明する.図 1 は量子化器の略図である.量子化器とは連続的な入力を離散化して出力するもので,本実験に用いる On/off 弁も,入力を u,出力を a,流量を G とすると

$$a=\begin{cases} +G(if\ \ u\geq\dfrac{G}{2}) \\ 0(if\ \ \dfrac{-G}{2}\leq u\leq\dfrac{G}{2}) \\ -G(if\ \ u\geq\dfrac{-G}{2}) \end{cases}$$

と出力を離散化するため,量子化器と考えられる.この量子化器を通すことで生じる入力と出力の差を量子化誤差という.

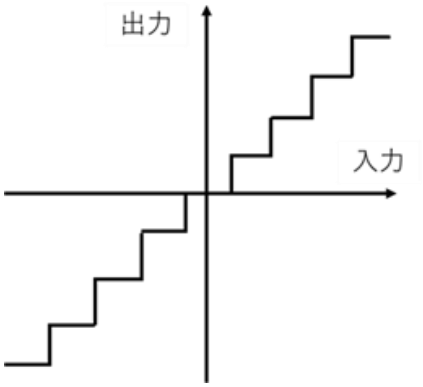


図 1.量子化器の略図

この量子化器を通すことで生じる量子化誤差を低周波数帯において,応答に反映させないようにする制御方法が FBM である.　音響機器や信号処理でよく使われている方法だが,先行研究では FBM をアクチュエーターの離散値入力制御に用いていた.[1]本研究ではこの FBM に加え目標値の入力をそのまま出力させる方法である逆システム,特に高周波遮断逆システムと呼ばれる方法を用いた.高周波遮断逆システムの仕組みを説明する.制御対象$f(s)$の逆数$f(s)^{-1}$をフィードフォワードに入力することで入力をそのまま出力させる方法が逆システムであるが本研究で用いる制御対象は 1 次遅れ系でありそのまま逆システムを組むと制御器に当たる逆システムはプロパーではなくなってしまい成り立たなくなってしまう.そこで制御対象の逆数に$\frac{1}{\varepsilon s+1}$を掛けることで制御器をプロパーにすることが出来,$\varepsilon$を十分小さく設定することで

$$f(s)f(s)^{-1}\times\frac{1}{\varepsilon s+1}\approx 1$$

となり逆システムとして成り立たせることが可能になる.これが高周波遮断逆システムである.[3]本研究では制御対象の相対次数が 2 次であるため$\frac{1}{(\varepsilon s+1)^2}$を掛けている.

本研究で用いている逆システムが想定通り機能する周波数帯域は 35rad/sec までである.

2.2 制約条件

実験装置にてシミュレーションで組んだ制御系を組み込み実験した際,On/off 弁は動いているがシリンダが動かないエラーが発生した.信号の伝達に対して On/off 弁の駆動から流体が流れるまでの時間が間に合ってないと考えらえた.そこでサンプル時間を増やしていった結果,本研究で用いている On/off 弁では応答速度がサンプル時間 0.05 秒以上でないと間に合わないことが判明した.詳細を 4 章の 4.1.1 モデリングの貢で述べる.

3 章　実験装置の構成

3.1 パラレルリンク機構及び水圧回路の構成

3.1.1 パラレルリンク機構

実験で用いるパラレルリンク機構を図 2 に示す.下図の上方に位置する天板に噴水のノズルを取り付け 3 軸のシリンダを上昇,下降を制御することで噴水ノズルの速度,方向を制御する.本実験ではノズルは取り付けず天板の制御をする.



図 2.パラレルリンク機構

3.1.2 水圧シリンダ

パラレルリンク機構を構成する水圧シリンダを図 3 に示す.シリンダはストローク 150[㎜]の SMC 製である.ピストンの上方と下方にチューブを取り付け,注水や排水をすることでシリンダを上昇,下降させる.



図 3.水圧シリンダ

3.1.3 センサ

水圧シリンダに取り付けるセンサを図 4 に示す。センサはマコメ研究所製のスリーブセンサで計測可能範囲が 0～150[㎜]で,電圧で出力され,出力電圧範囲は 1～5[V]である。動作原理はシリンダの上昇に応じてスリーブが上方へずれることにより,ずれた分だけ抵抗値が変わり,スリーブ

の上昇量に比例し出力される電圧が大きくなるというものである。変位を y[mm], 電圧を v[V]とすると変位と電圧の変換式は以下のようになる.

$$y = 37.5(v - 1)$$

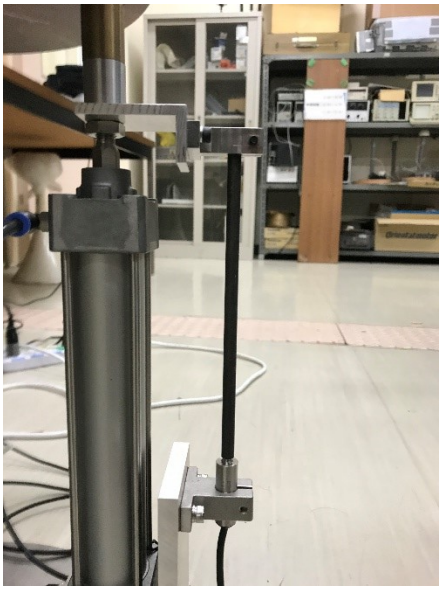


図 4. センサー

3.1.4 水圧回路

水圧回路を図 5 に示す.

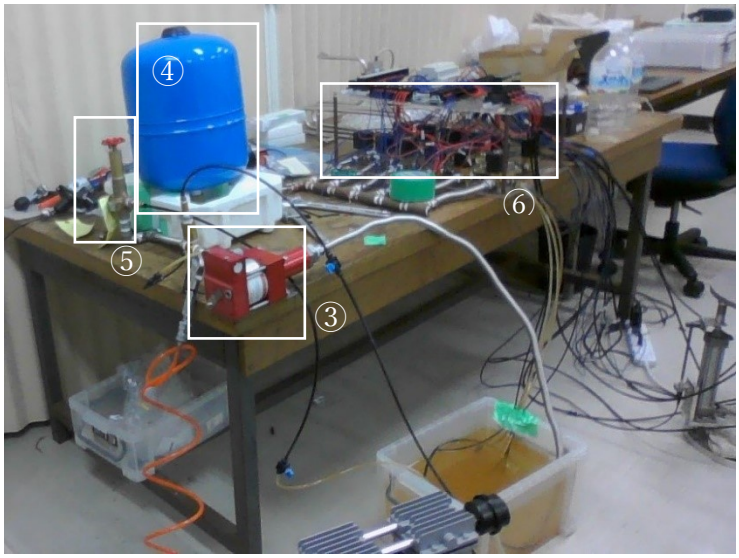


図 5. 水圧回路

水圧回路の構成部品①～③の説明を以下に示す

①ポンプ:MAXIMATOR 製で最大吐出圧 3.0[MPa]. コンプレッサーで圧縮した空気で水を加圧する.

②アキュムレータ:ポンプで加圧した圧力を保持する. ZILMET 製で最大圧力は 1.0[MPa].

③リリーフ弁:ポンプを動かし続けても圧力を一定に保持するため一定圧に到達したら排水し圧力を逃がす弁.YOSHITAKE 製で最大使用圧力 0.7[MPa].

水圧回路の略図を図 6 に,図 7 に電気回路の配線図を示す.

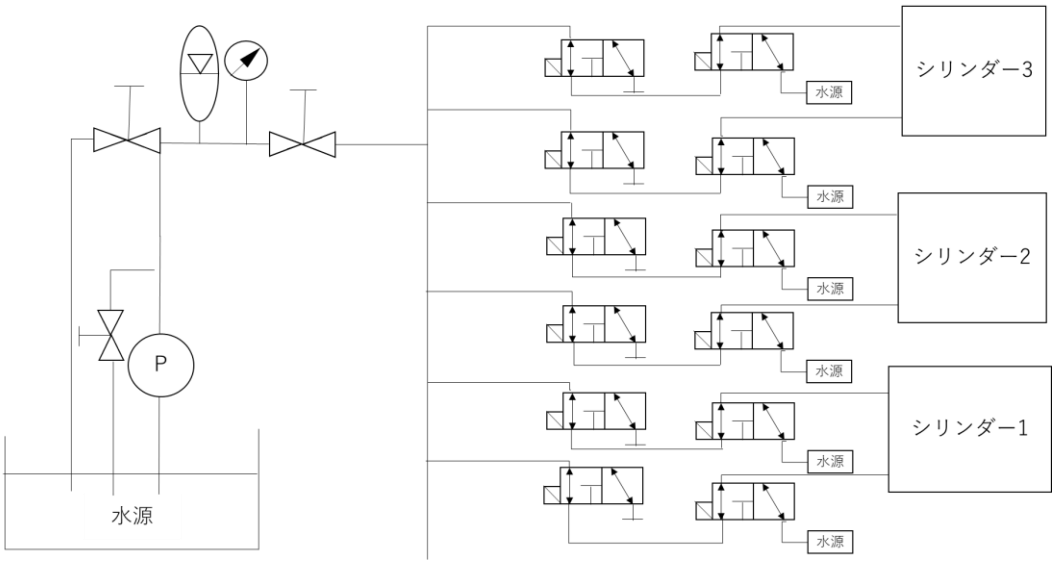


図 6.水圧回路の略図

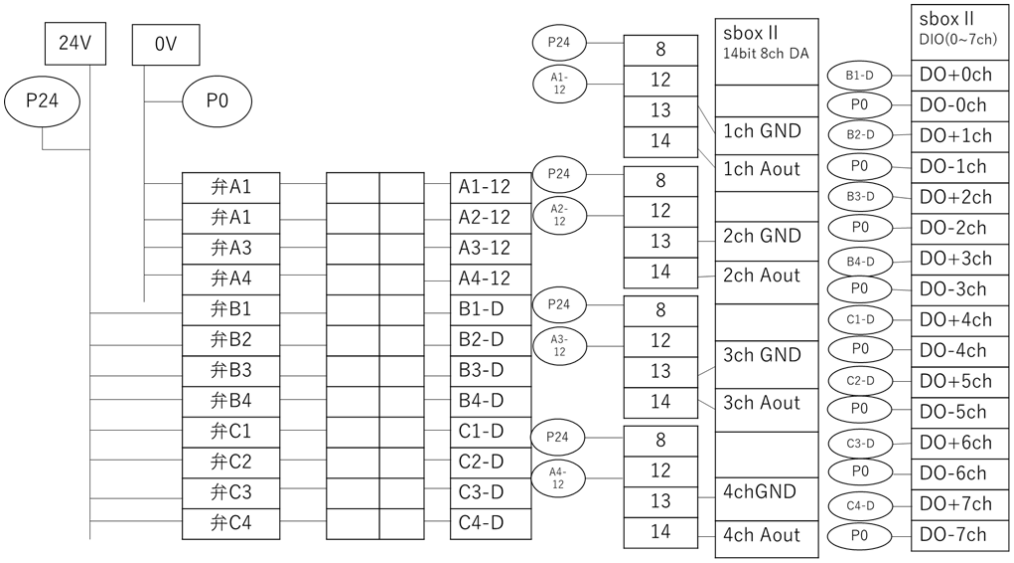


図 7.水圧回路の電気配線図

3.1.5 On/off 弁

使用した On/off 弁を図 7 に示す.On/off 弁は SMC 製で,耐圧は 3.0[MPa]の 3 ポートである.オリフィス径は 2.2[mm].実験ではシリンダ 1 軸につき,4 つの On/off 弁を用いている.On/off 弁とシリンダの挙動を表 1 にまとめる.また,各挙動における水の流れを図 8 に示す.[2]



図 8. ON/OFF 弁 a

表 1. ON/OFF 弁とシリンダの挙動の関係

弁 / 動作	弁 1 (y1)	弁 2 (y2)	弁 3 (z1)	弁 4 (z2)
上昇	ON	ON	–	–
停止	–	ON	–	ON
下降	–	–	ON	ON

動作方法は次のようになる.

弁一弁二が ON で弁三弁四 OFF ならシリンダのピストンは上昇する.

弁一弁三が OFF で弁二弁四 ON ならシリンダのピストンは停止する.

弁一弁二が OFF で弁三弁四 ON ならシリンダのピストンは下降する.

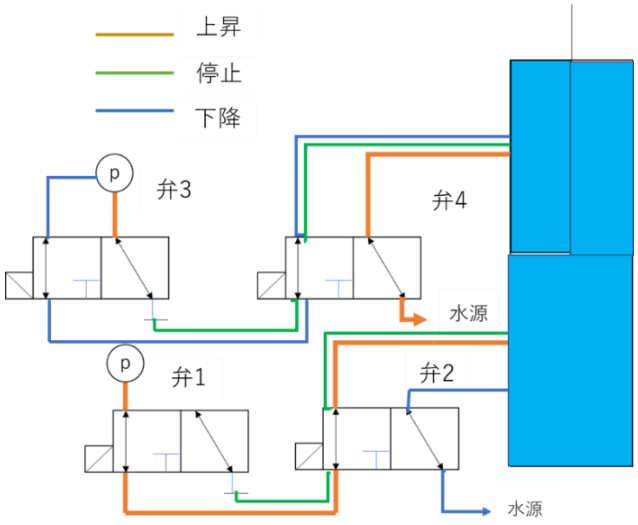


図 9. シリンダの各挙動における流体の流れ[2]

実験装置に用いた構成部品を表 2 に示す.

表 2.構成部品

構成部品	メーカー	型番
ポンプ	MAXIMATOR	M4LVE
アキュムレータ	ZILMET	11A0001800
リリーフ弁	YOSHITAKE	AL150TR
On/off 弁	SMC	VX-3324-02-5G1-b
センサ	マコメ研究所	ET-850-L150
シリンダ	SMC	MBKG32-150Z-XC7

3.2 制御装置

3.2.1 Simulink

制御器設計の際は,MATLAB のツールボックスの 1 つである Simulink を使用した.Simulink とは数学モデルをシミュレーションするためのモデルの構築からシミュレーションの実行までを GUI 環境で行えるものである.

3.2.2 S-BOXⅡ

S-BOXⅡは mtt 社製の DSP 装置である.S-BOXⅡには Simulink で使用できるアナログ信号の入出力,デジタル信号の入出力,入力信号のパルスカウントの 3 つを備えている.また各信号の入出力を行うための端子台が 3 つ備えられている.本研究で使用したのは ANALOG と DIGITAL の 2 端子である.S-BOXⅡの外観を図 10 に,仕様を表 3 に示す.

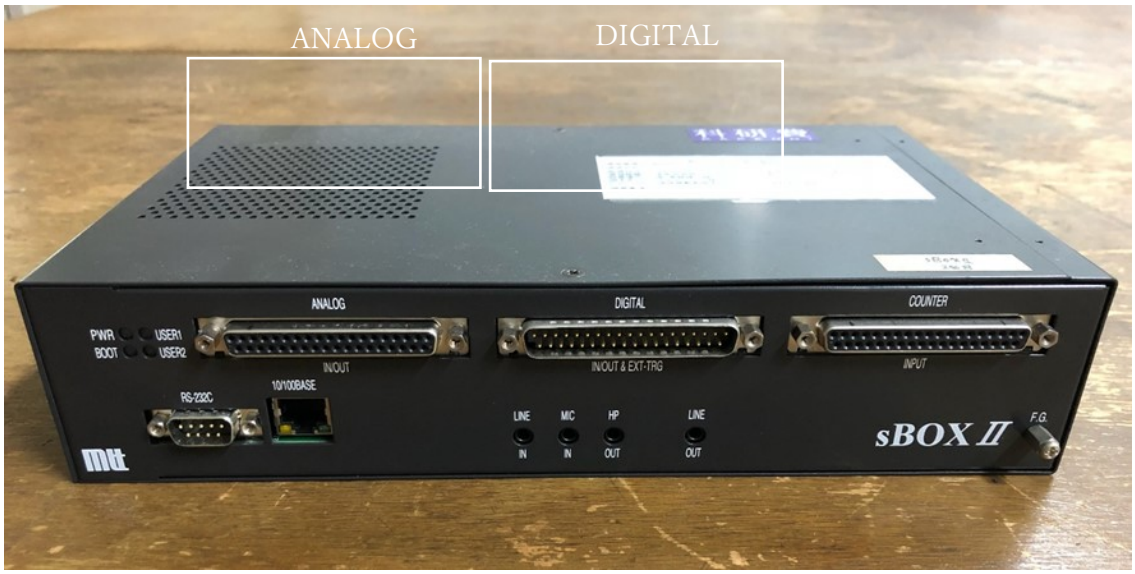


図 10.S-BOXⅡ

表 3.S-BOXⅡの仕様

アナログ		デジタル		カウンタ	
入力チャネル数[ch]	6	入力点数[bit]	8	入力チャネル数[ch]	6
出力チャネル数[ch]	8	出力点数[点]	8	入力方式	TTL,RS-422
最大入力電圧[V]	±10	許容入力電圧[V]	-0.5~5	カウンタ長[bit]	32
最大出力電圧[V]	±10	最大印加電圧[V]	200	絶縁耐圧[V]	フォトカプラ絶縁

4 章　実験プロセス

4.1 モデリング

4.1.1 実験装置のモデリング

高い精度の制御を行うために,制御対象のモデリングを行う.流量から制御対象を入力を流量,出力を速さとする 1 次遅れ系と仮定し,ゲイン,時定数を調べる.まず流量を求める.各軸ごとに 3 秒間シリンダからの排水量を測り 20 倍し流量求める.ポンプの圧力は 0.7MPa で始動する.

計測するときの制御系のブロック線図を図 11 に示す.

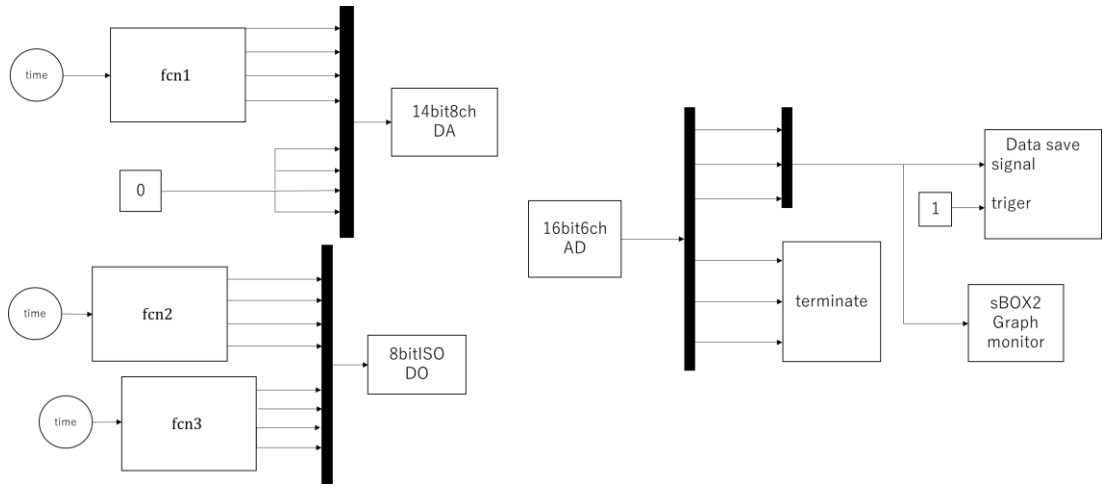


図 11 流量計測のブロック線図

計測した排水量$m\left[{}^{g}/_{0.05min}\right]$,流量$G\left[{}^{L}/_{min}\right]$とすると流量Gは以下のように求まる.

$$G = \frac{20}{1000} \times m$$

求めた結果を表 4 に示す

表 4.流量計測結果

	シリンダ 1	シリンダ 2	シリンダ 3
結果m[g / 0.05min]	113	96.3	103.3
流量 $G\left[{}^{L}/_{min}\right]$	2.26	1.93	2.07

次にゲインと時定数を求める. シリンダの上昇の最大速度$\mathcal{V}_{\max}$, 流量 Gとするとをゲイン Kは以下のように求まる.

$$\mathrm{K} = \frac{\mathcal{V}_{\max}}{\mathrm{G}}$$

また動き始めてから最大速度の 0.632 倍の速度に達した時間を時定数τとする.

求めたゲイン K, 時定数τを表 5 に示す.

表 5. 各軸のゲイン K, 時定数τ

	シリンダ 1	シリンダ 2	シリンダ 3
最大速度$\mathcal{V}_{\max}[^{\mathrm{mm}}/_{\mathrm{sec}}]$	64.2	45.2	62.1
ゲイン K[−]	28.4	23.6	30.1
時定数τ[−]	0.09	0.14	0.12

4.1.2 ON/off 弁の応答速度測定

On/off 弁の応答速度を調べる. シリンダ 1 の On/off 弁にパルス信号を与え, シリンダが反応するパルス幅がそのまま On/off 弁の応答可能なサンプル時間になる. 測定した際のブロック線図を図 12 に示す.

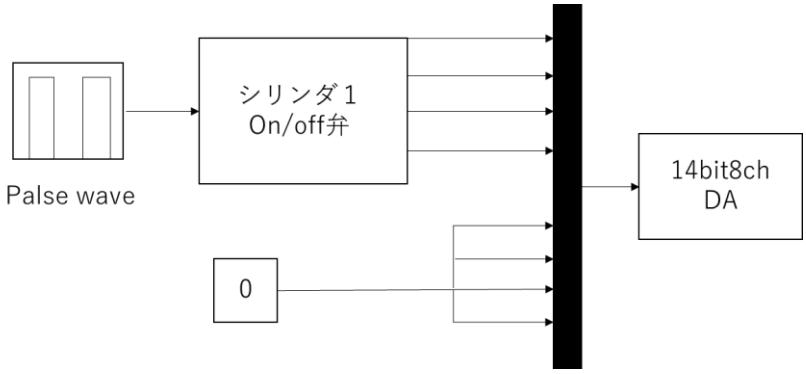


図 12 利用可能なサンプル時間計測のブロック線図

パルス波の式は

$$\mathrm{Y} = \begin{cases} 2.26(\text{if palse on}) \\ 0(\text{if palse off}) \end{cases}$$

ただしパルス周期 0.1 秒サンプル時間 0.002 秒とする. デューティー比を変化させ On/off 弁を駆動させることが出来るサンプル時間を探す.

結果を表 6 に示す

表 6. サンプル時間調査結果

デューティー比(%)	実際のサンプル時間(秒)	シリンダの動作結果(○/×)
10	0.01	×
20	0.02	×
30	0.03	×
40	0.04	×
44	0.044	×
46	0.046	×
50	0.05	○

以上より本実験で用いている On/off 弁の場合, 弁の応答速度が間に合うサンプル時間は 0.05 秒以上であることが分かった.

4.2 制御系設計

次に 4.1 で求めた数値モデルより, 制御系を設計していく.

4.2.1 理想的なシステム

初めに連続時間系で量子化器が入らない理想的なシステムを設計, シミュレーションする. 設計した制御系を図 13 に示す.

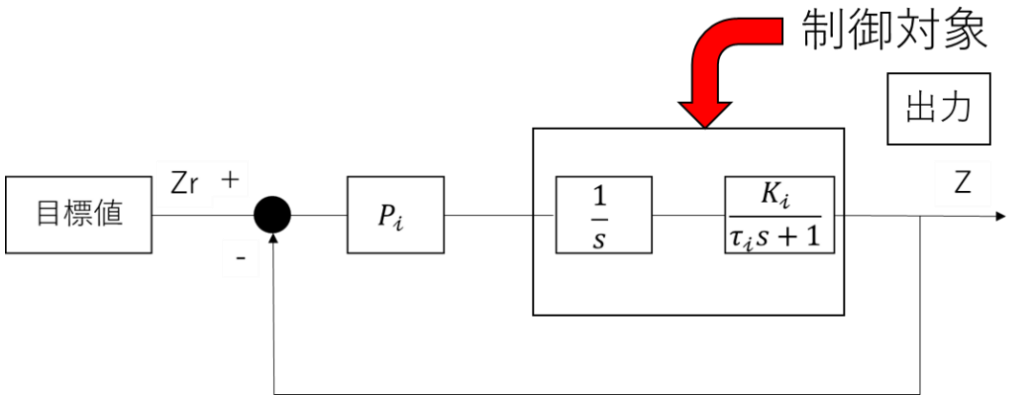


図 13. 理想的な応答

ここで, iはシリンダの番号, 目標関数$Zr(t)$は共通で$50\sin\left(\frac{\pi}{30}t+\frac{3}{2}\pi\right)+50$[㎜]とする. ゲイン K, 時定数τは表 4 で示した値を用いる. これらのパラメータを持つ制御対象が目標値に収束するように制御器の比例項 P を調整する. 求まった比例項を表 7 に示す.

表 7. 各軸の比例項 P

シリンダ番号	1	2	3
比例項P_i	0.02	0.02	0.02

しかしこのシステムは連続時間系で，量子化器を挟まない理想的なものである．
実際は量子化器を挟むため制御対象への入力は散値入力となる，量子化器を含んだシステムの影響を調べるため量子化器が入ったシステムを設計する．

4.2.2 量子化器を挟んだシステム

量子化器を挟んだシステムを組んだ．組み立てたシステムのブロック線図を図 14 に示す．

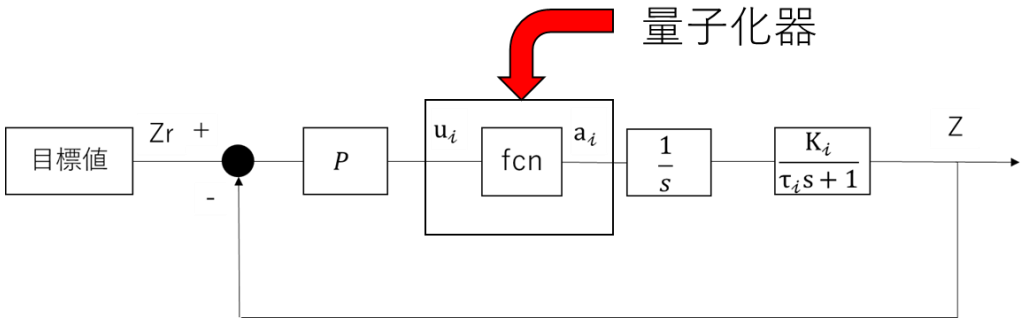


図 14. 量子化器を挟んだブロック線図

ここで，量子化器 fcn は流量により以下のように定まる．

$$a_i = \begin{cases} G_i (\text{if } u_i \geq \frac{G_i}{2}) \\ 0 (\text{if } -\frac{G_i}{2} \leq u_i \leq \frac{G_i}{2}) \\ -G_i (\text{if } u_i \leq -\frac{G_i}{2}) \end{cases} \quad i=\{1,2,3\} \quad \begin{pmatrix} G_1 = 2.26[\text{L/min}] \\ G_2 = 1.93[\text{L/min}] \\ G_3 = 2.07[\text{L/min}] \end{pmatrix}$$

4.2.3FBM を導入したシステム

量子化誤差を抑制するため FBM を導入する．FBM を導入したシミュレーションのブロック線図を図 15 に示す．

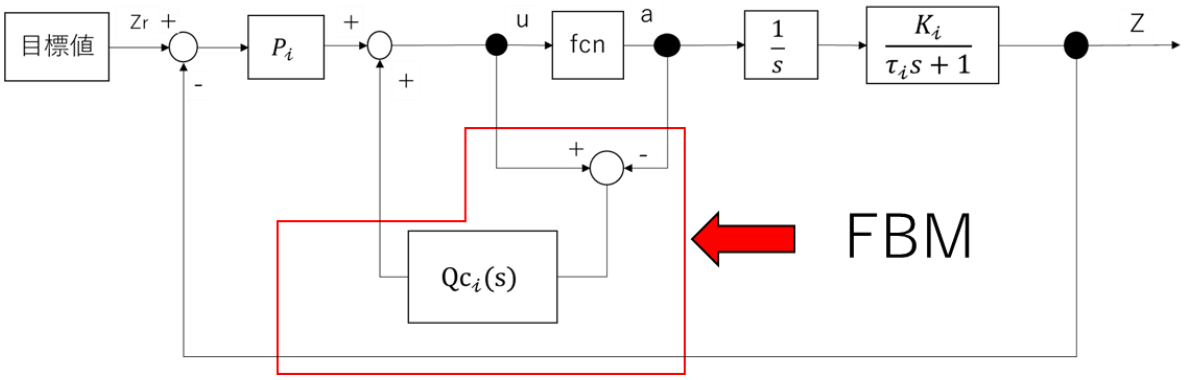


図 15. FBM を導入したシステムのブロック線図

ここで FBM の式$Qc(s)$は以下のようになる．

$$Qc(s) = 1 - \left(\frac{\tau_b s}{\tau_b s+1}\right)^2 \qquad (\tau_b = 0.5)$$

また，τ_bは設計パラメータで,適当な値から選び決定した.

4.2.4 離散時間でのシステム

4.2.3 は連続時間系でのシミュレーションである,しかし実際は制御装置によりサンプリング時間で離散化されるため離散時間系でのシミュレーションに変換する必要がある.そのため連続時間系で求めたゲインK, 時定数τ,FBM の時定数τ_bから離散時間系での状態空間モデルにおこす.また,サンプリング時間は On/off 弁の制約条件より 0.05[sec]である.

離散時間系に変換するときに用いるパラメータを表 8 にまとめる

表 8.離散時間系に変換するときに用いるパラメータ

シリンダ番号	1	2	3
ゲインK	28.4	23.6	30.1
時定数τ	0.09	0.14	0.12
FBM の時定数τ_b	0.5		

離散時間系に変換し状態空間表現におこしたものが以下になる

$$P_i(\mathrm{z}) \cdots \begin{cases} X(n+1) = A_i X(n) + B_i u \\ Y(n+1) = C_i X(n) + D_i u \end{cases}$$

$$Q_{ci(z)} \cdots \begin{cases} X(n+1) = EX(n) + Fu \\ Y(n+1) = GX(n) + Hu \end{cases}$$

各行列の中身は付録に記載する.

離散時間系に変換したブロック線図を図 16 に示す.

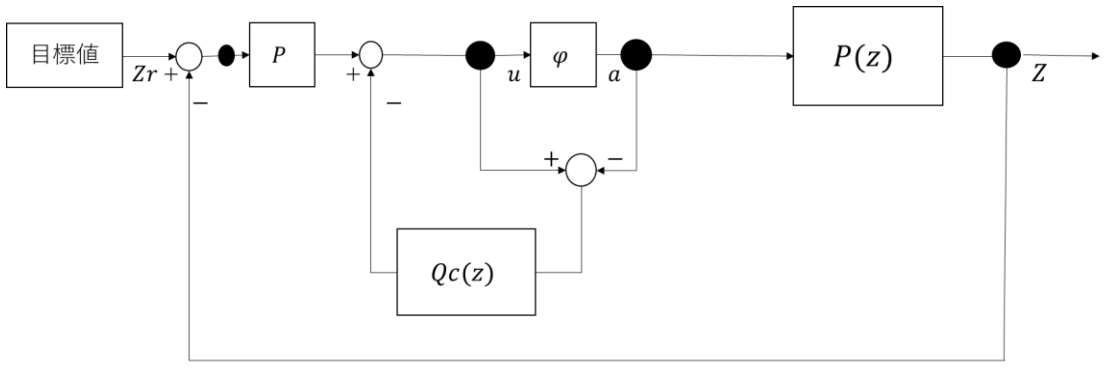


図 16.離散時間系でのシステムのブロック線図

4.2.5 逆システムを導入したシステム

図 16 のシステムに高周波遮断逆システムを導入し応答の改善を図った. ただし$P^{-1}(z)$は

$$P^{-1}(z) = \frac{s \times (\tau s + 1)}{K(\varepsilon s + 1)^2} (\varepsilon = 0.01)$$

である.

まず逆システムを制御対象直前に逆システムを入れた. ブロック線図を図 17 に示す.

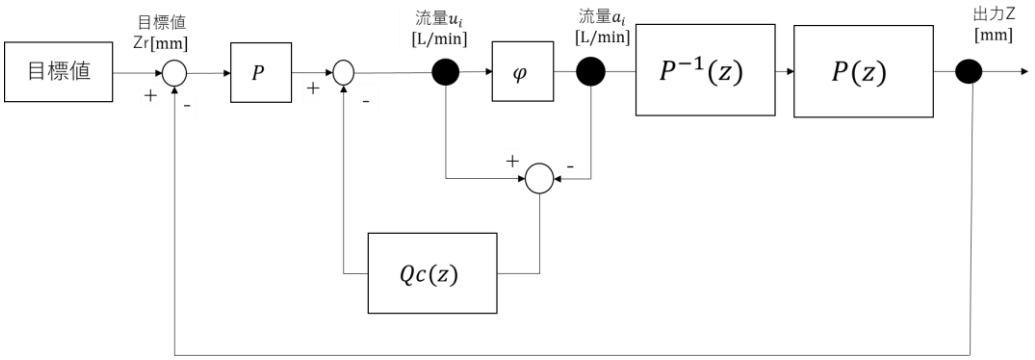


図 17. 逆システムを導入したシステムのブロック線図①

次に逆システムをフィードフォワードに配置したシステムを考案した. ブロック線図を図 18 に示す.

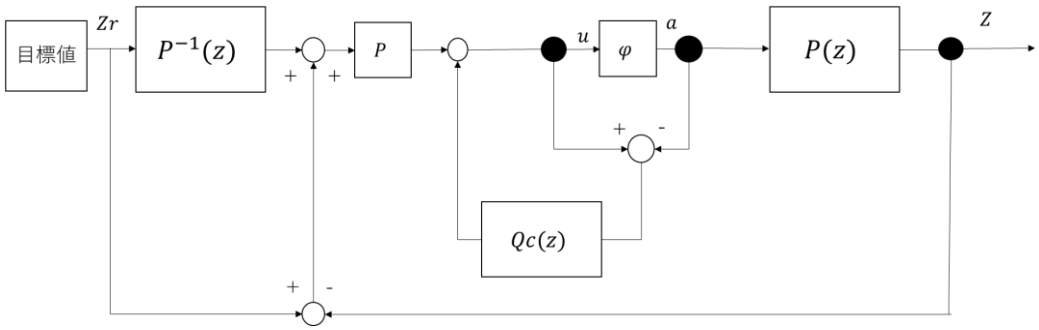


図 18. 逆システムを導入したシステムのブロック線図③

4.2.6 FF 制御

実験装置にて実験していた際, センサを経由せずに実験装置の制御とモデル化した制御系の数値シミュレーションを並行して実行し, 数値シミュレーション上の制御対象へ入力される入力波形を実験装置にフィードフォワード制御で入力するという方法を考案し検討した. 実行したブロック線図を図 19 に示す.

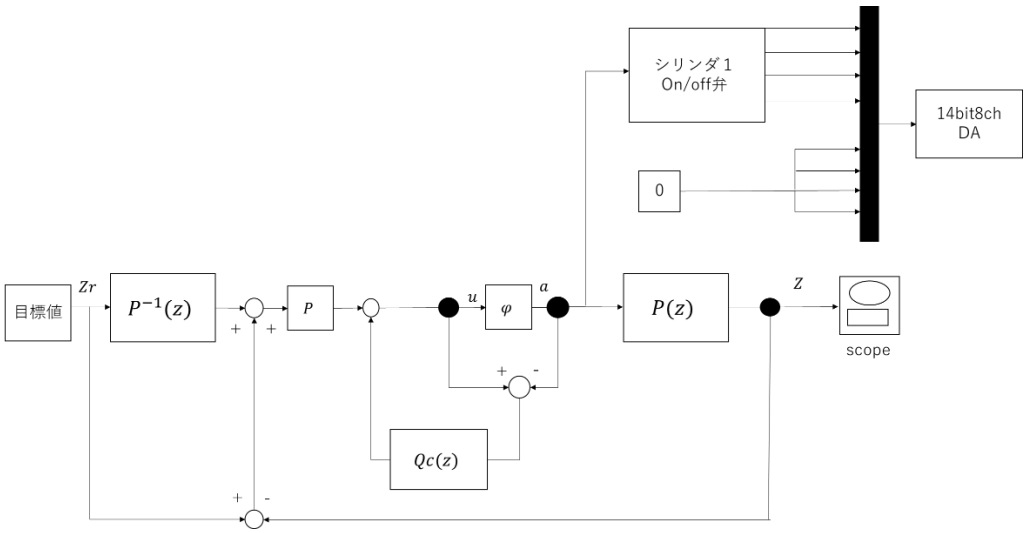


図 19 フィードフォワード制御に用いたブロック線図

4.3 数値シミュレーションによる検証

追従性能を目標値に対する時間の遅延の最悪値と最大値と周期が合致しているかで評価していく

4.3.1 理想的な制御系の数値シミュレーション

理想的な制御系の数値シミュレーションの結果を図 20, シリンダ 1 の制御対象への入力を図 21 に示す.

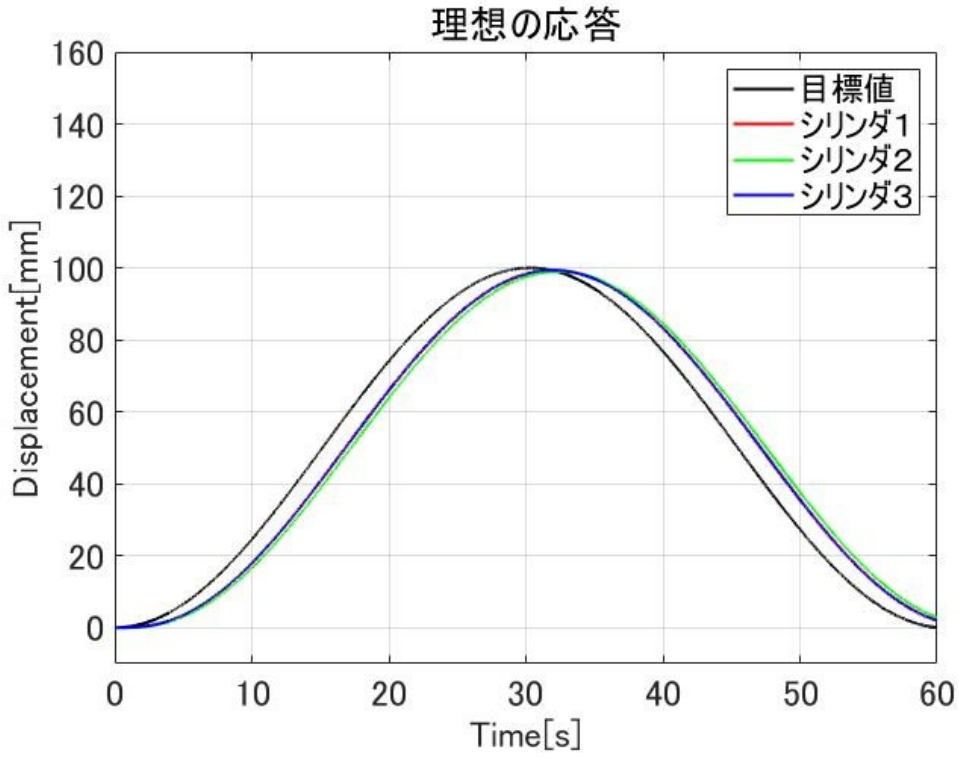


図 20. 理想の状態での出力

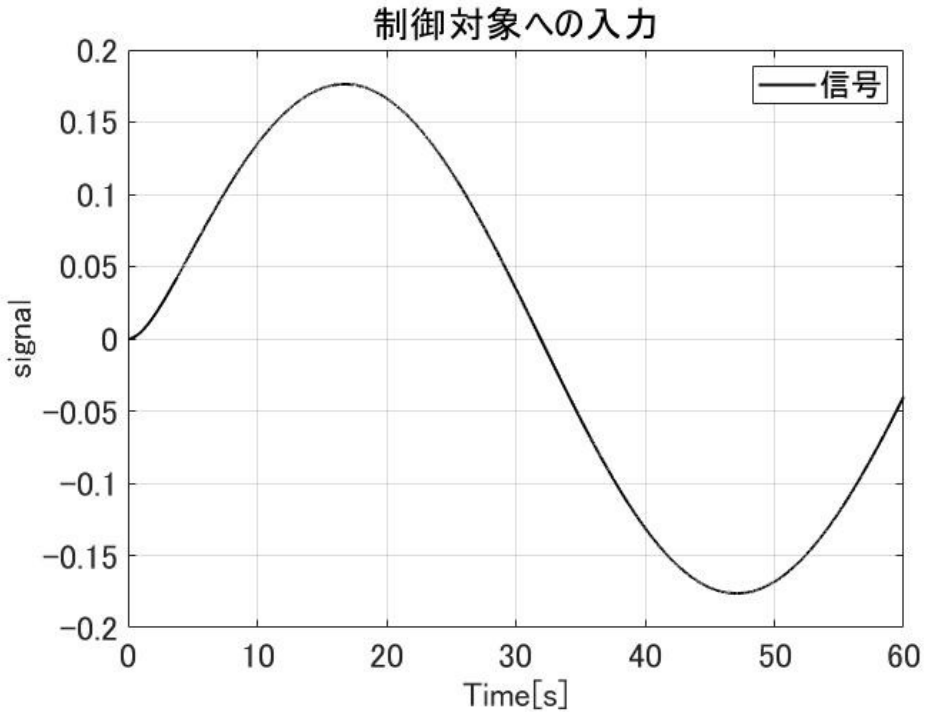


図 21. 理想状態での制御対象への入力

図 21 より出力の正弦波の振幅も目標値の関数と等しく収束しており, 周期も等しいとみなせるため, この制御系は妥当であると考えられる. 図 22 より入力も連続に行われていることが分かる.

4.3.2 量子化器の入った制御系の数値シミュレーション

量子化器の入った状態の制御系の数値シミュレーション結果を図 22, シリンダ 1 の制御対象への入力を図 23 に示す.

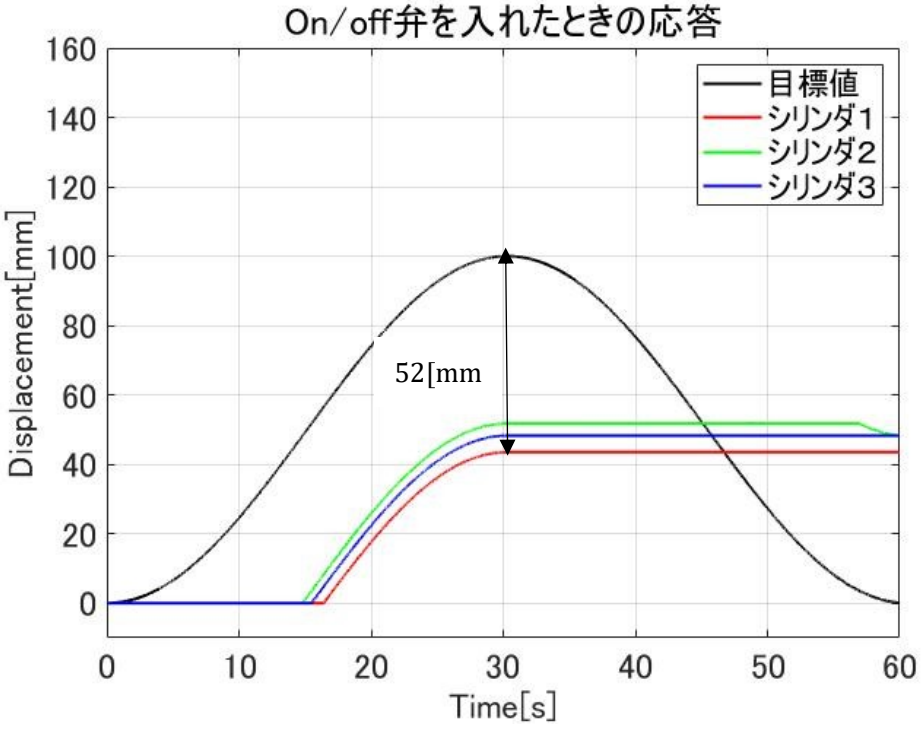


図 22. 量子化器が入ったシステムの出力

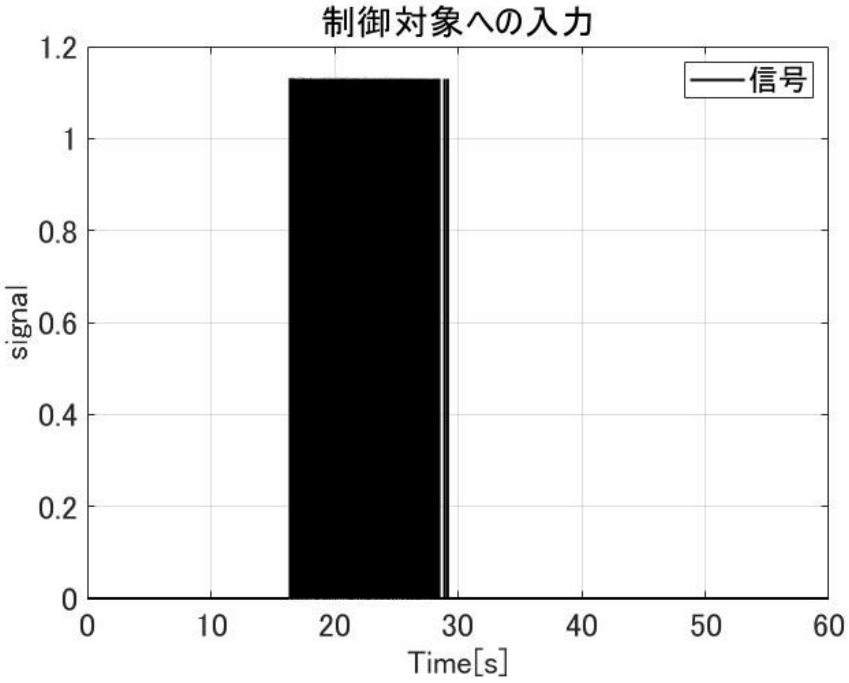


図 23.量子化器が入った状態での制御対象への入力

量子化器を挟んだ結果最大値で平均 52[mm]の偏差が残り,最大値に到達したのち正弦波も描かず目標値の関数には追従しない出力となった.また図 24 から上昇時にのみ入力が入っておりそれ以降入力も入っていない.これは目標値と出力の誤差は量子化器による量子化誤差によるものだと考えられる.

4.3.3FBM を導入した制御系の数値シミュレーション

量子化誤差を抑制するために FBM を導入した制御系の数値シミュレーションの結果を図 24 に,シリンダ 1 の制御対象への入力を図 25 示す.

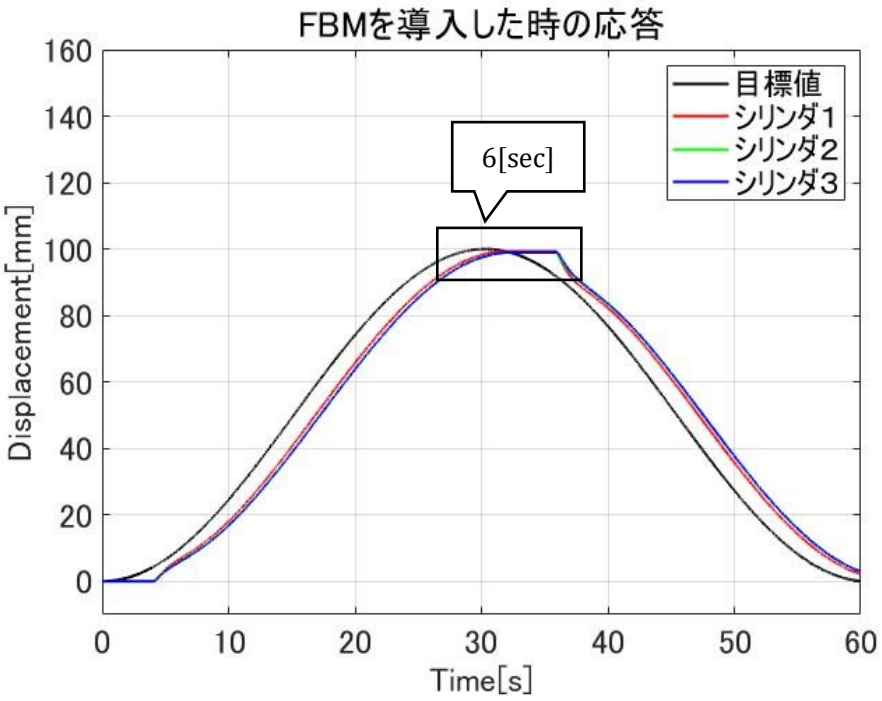


図 24. FBM を導入したシステムの出力

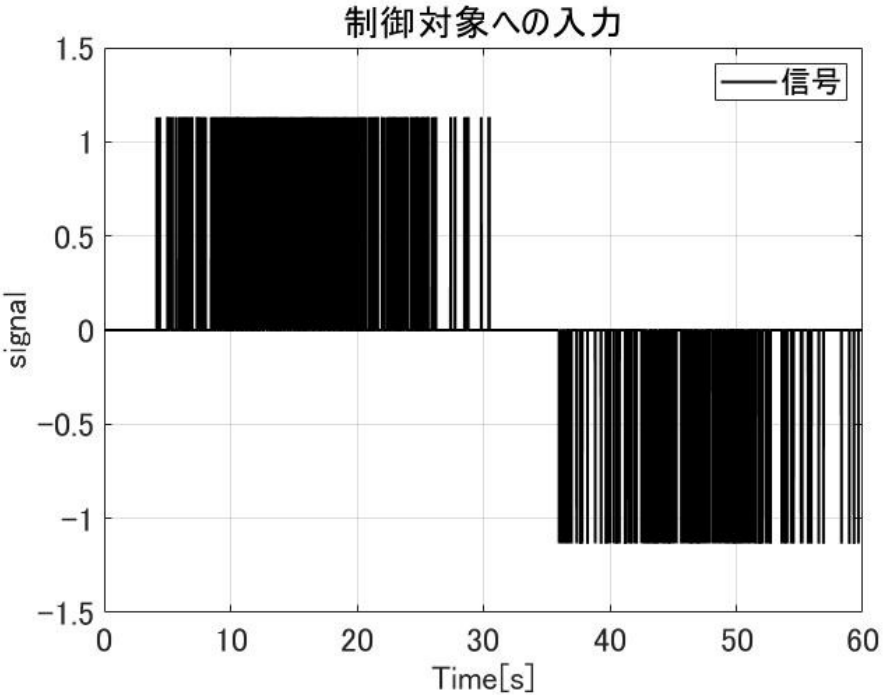


図 25.FBM を導入したシステムの制御対象への入力

図 25 より,最大値到達後に 6 秒出力の停滞が見られるが最大値と最小値は一致しておりそれ以外の箇所は目標値の波形と等しいとみなせることから追従していると考えることが出来る.制御対象への入力を図 25 で見ると図 21 の正弦波を疎密派に直したような波形になっていることが分かる

4.3.4 離散時間系での FBM を用いた制御系の数値シミュレーション

離散時間系での制御系の数値シミュレーションの結果を図 26,離散時間でのシリンダ 1 の制御

対象への入力を図 27 に示す.

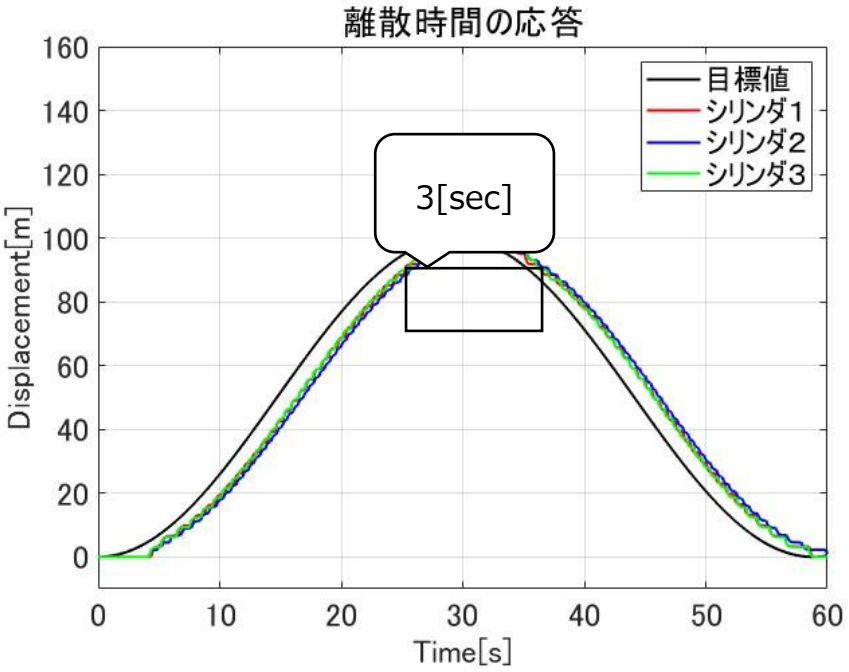


図 26. 離散時間系でのシステムの出力

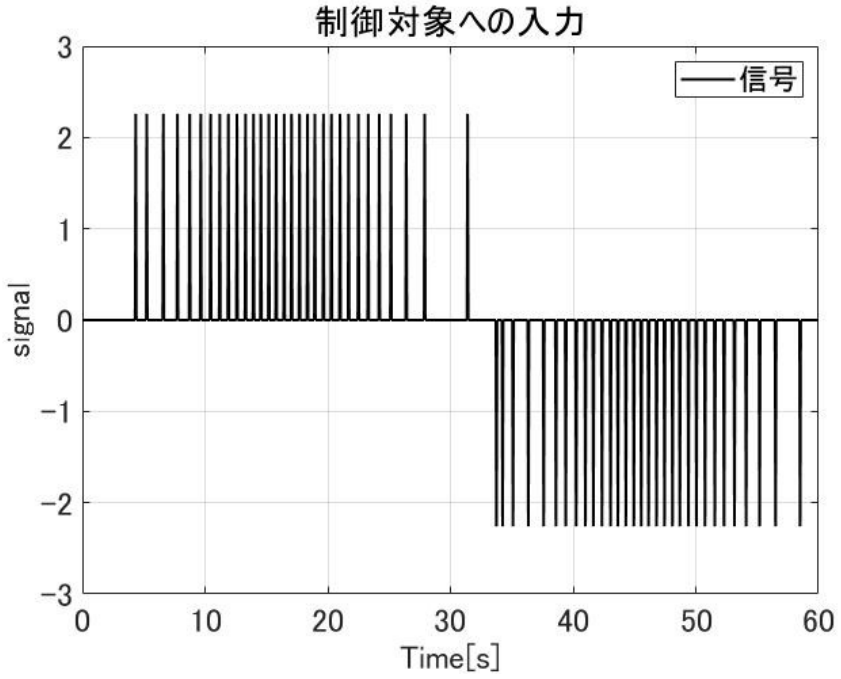


図 27. 離散時間系での制御対象への入力

On/off 弁の制約条件よりサンプル時間が 0.05 秒と粗いため出力が階段状の応答になって最大値に到達したのち 3 秒停止しているが出力の正弦波の周期と最大値は等しいと見なせるため追従していると評価できる. 図 27 より離散時間になったことで制御対象への入力が図 25 と比較して減っていることが分かる.

4.3.5 逆システムを導入した際の離散時間制御系の数値シミュレーション

シリンダ 1 での離散時間における制御対象直前に逆システムを導入した制御系の数値シミュレ

ーションの結果を図 28 に, フィードフォワードに逆システムを配置したシステムの数値シミュレーション結果を図 29 に, シリンダ 1 の制御対象への入力を図 30 に示す

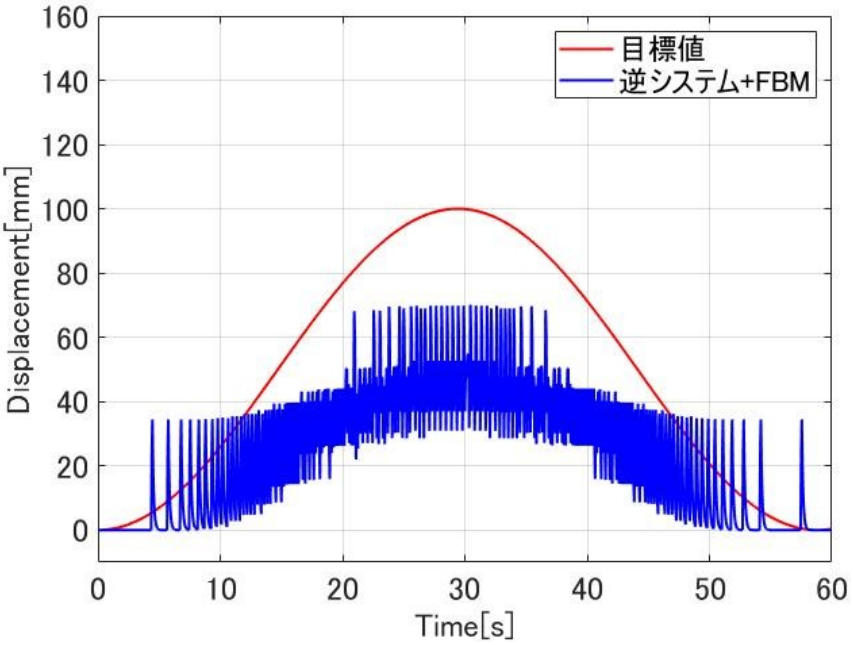


図 28. 制御対象直前に逆システムを導入した場合の出力

図 29 より制御対象直前に逆システムを配置した結果細かい振動を繰り返してしまい追従できていなかった. これは逆システムによって制御対象が打ち消されてしまったため P 制御が余計に働いたと考えられる.

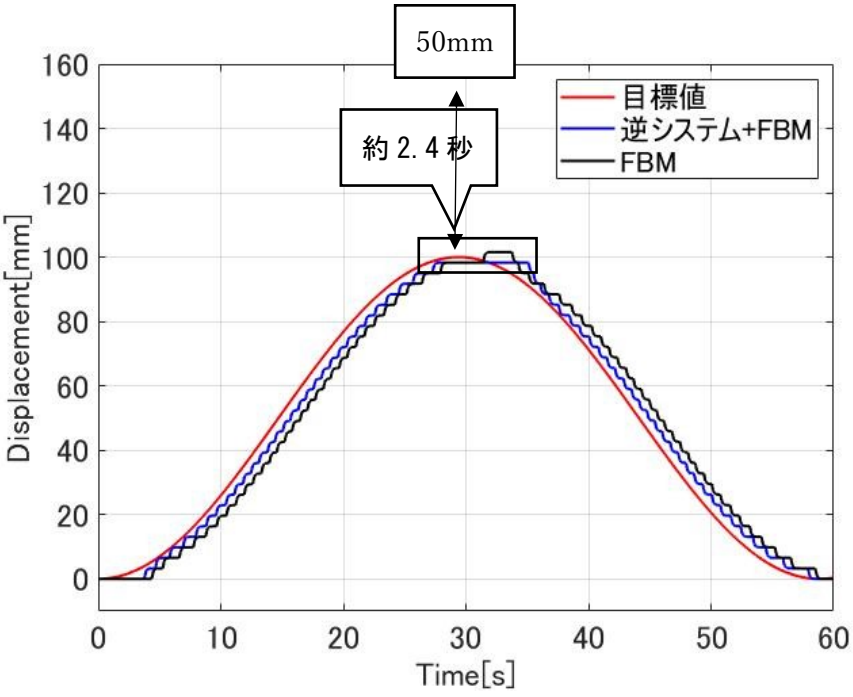


図 29. フィードフォワードに逆システムを配置した場合の出力

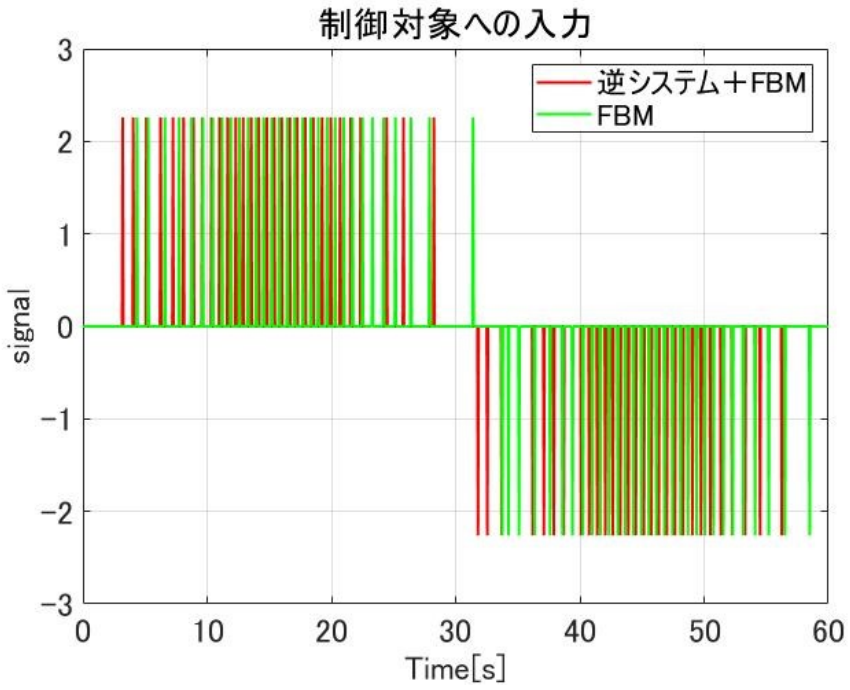


図 30. フィードフォワードに逆システムを配置した場合の制御対象への入力

以上の結果よりどのシリンダでも逆システムを導入した制御系の方が約 2.4 秒応答速度の向上が見られる. よって逆システムは一定の効果があることが分かった.

4.4 実機実験による評価

以上のシミュレーションを踏まえ実際に実験装置を動かし, 追従性能を評価する.

シリンダの目標関数は$50\sin\left(\frac{\pi}{30}t+\frac{3}{2}\pi\right)+50$ [mm], ポンプの圧力は 0.7[MPa]で始動させる.

(実機実験のブロック線図は付録に記載)

はじめに 4.2.5 のシミュレーション通りの数値で実験する

結果を図 31 に示す.

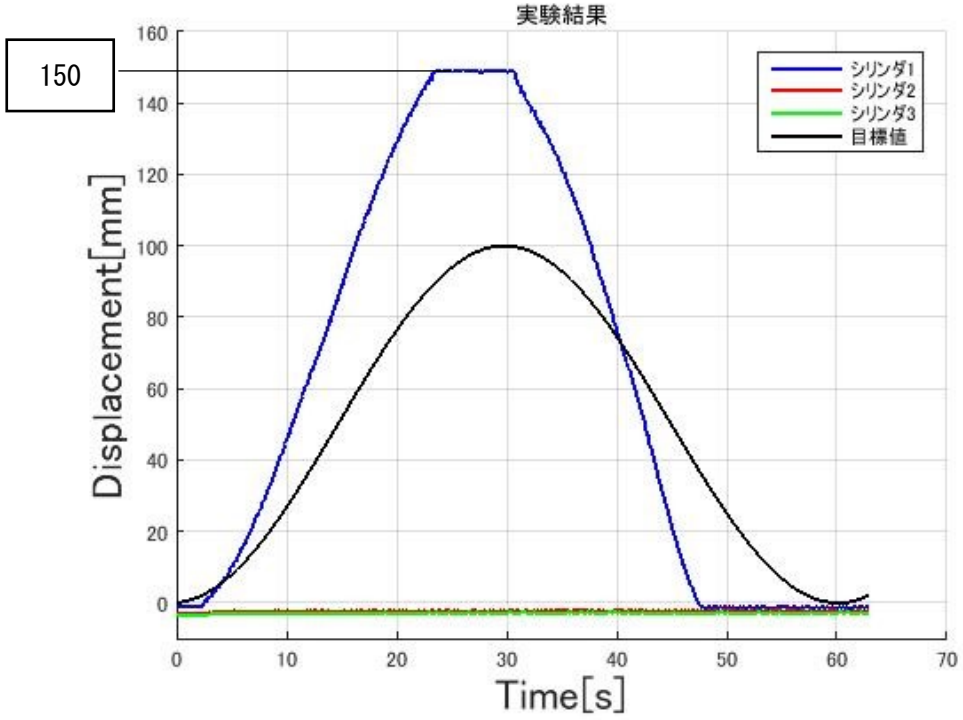


図 31.実機での出力

結果シリンダ 1 は 150[mm]まで発散してしまい,シリンダ 2,3 は動かなかった.

4.5 実験結果の考察

目標値に追従しなかった原因としてシリンダ 2,3 は On/off 弁を駆動させる回路の不具合,或いはシリンダ 2,3 は DIDO で動いているため 16bit の D/A 変換で動いているシリンダ 1 のプログラムとは違ったプログラムを用意する必要があったと考えられる.シリンダ 1 に発信された信号を図 32 に示す. シリンダ 1 は上昇下降は出来ており正弦波のような波形が描けていることから P 制御のゲインを調整すればうまくいくと考えられる.

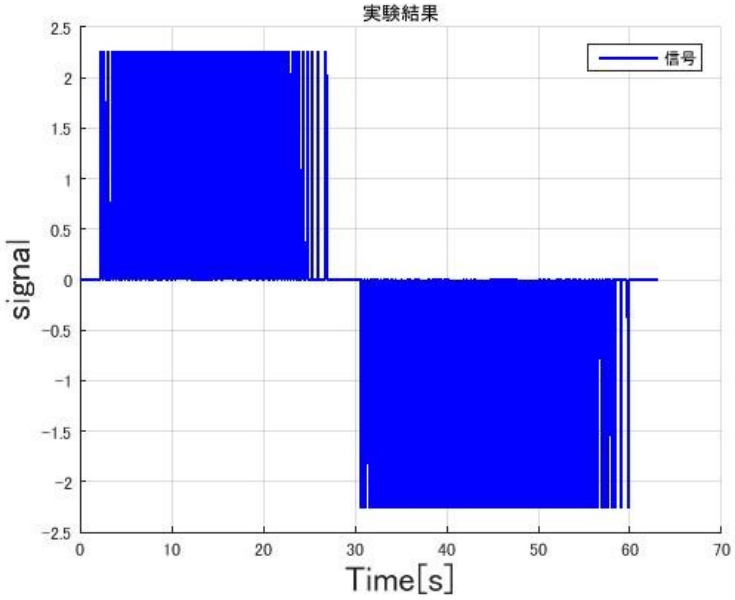


図 32. シリンダ 1 に発信された信号

次に 4.2.5 のブロック線図における P 制御の比例ゲインを調整していく
はじめはシミュレーションの 10 分の 1 から実験していき出力を見ながら調整した.
調整した結果 P 制御のゲインは 0.0022 となった.
出力結果を図 33 に, シリンダ 1 に発信された信号を図 34 に示す.

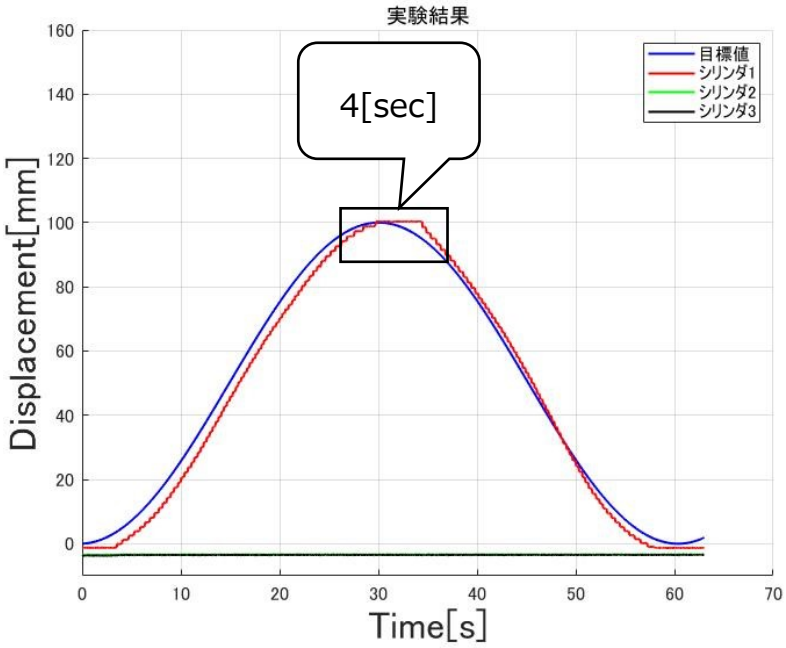


図 33 ゲインを調整した場合の出力結果

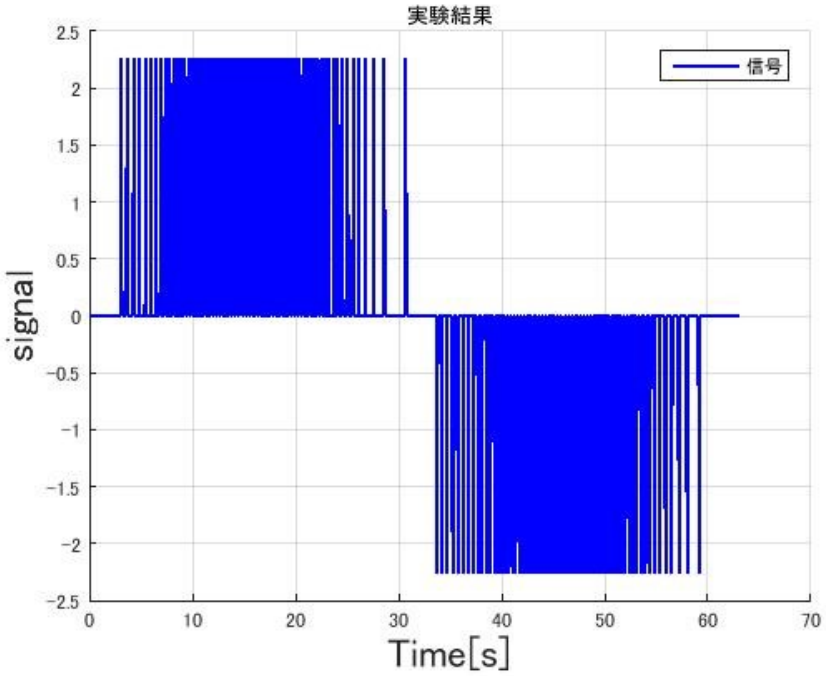


図 34. ゲインを調整した際のシリンダ 1 への入力

図 33 より最大値到達後 4 秒ほど停止しているが周期,最大値ともに目標値と等しい正弦波を出力できた図 32 と図 34 を比較すると上昇下降の各動作の始まりと終わりのころの信号が減少しているのが分かる

また上昇と下降でどれだけの入力がされているかを調べたところ上昇には 69 回下降には 67 回の入力がされていることが分かった. この入力の差はシリンダが受ける重力によるものと考えられる.

また 4.2.6 のブロック線図を用いて図 28 の信号を実験装置にフィードフォワード制御で入力してみた

結果を図 35 に示す.

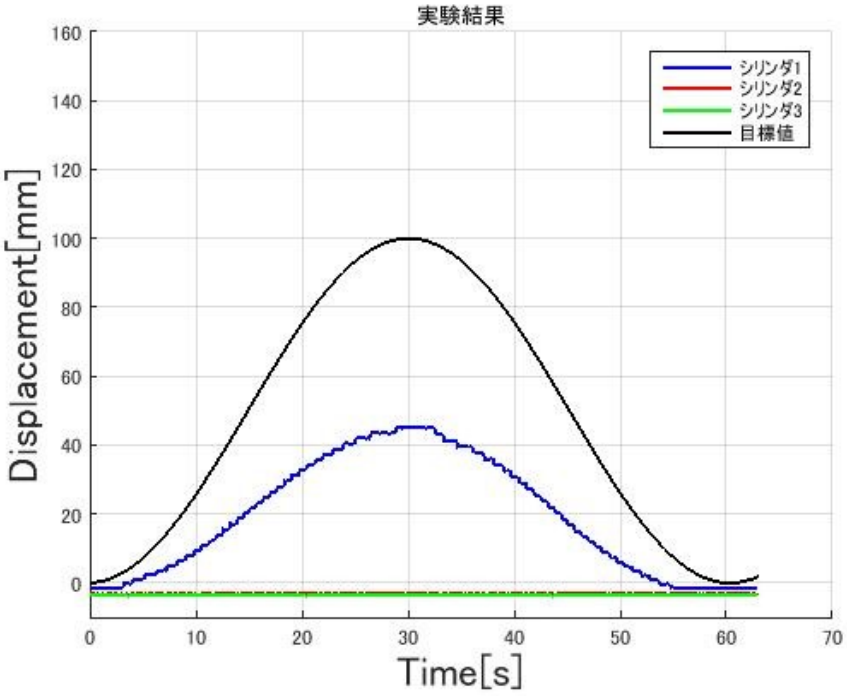


図 35. シミュレーションの信号によるフィードフォワード制御結果

上図よりフィードフォワード制御を用いた結果周期が等しい正弦波は出力することが出来たが出力させた正弦波の最大値は目標の関数の最大値の半分にも届いていないことが分かる. これは On/off 弁の応答速度に対してサンプル時間がまだ十分には足りておらず最大流速になる前に弁が切り替わってしまっていることが原因と考えられる.

4.6 追加実験

4.6.1 追加実験

追加の実験として 3.2.6 フィードフォワード制御のサンプル時間を変化させ同様の圧力で実験してみた. その際シミュレーションで比例ゲインを調整した. サンプル時間と比例ゲインの組み合わせを表 9 に示す.

表 9. サンプル時間と比例ゲイン

サンプル時間	比例ゲイン
0.1	0.02
0.15	0.006
0.2	0.005
0.225	0.005

各サンプル時間で実験した結果を図 36 から図 39 に示す

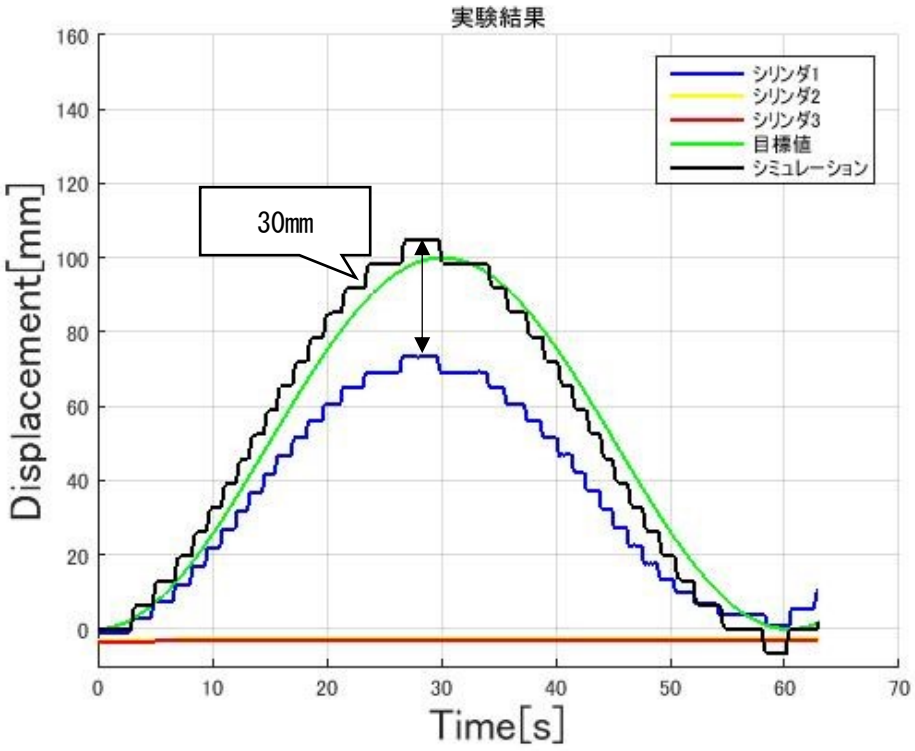


図 36. サンプル時間 0.1 秒での結果

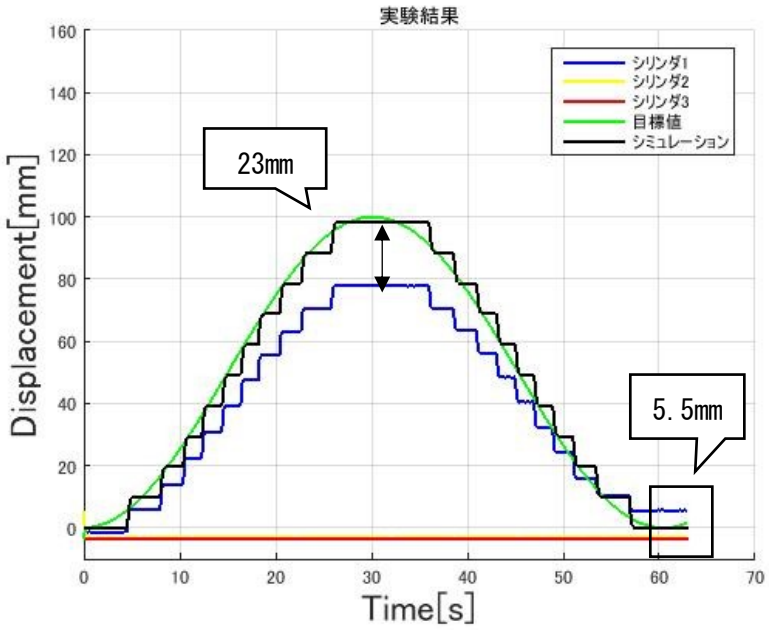


図 37. サンプル時間 0.15 秒での結果

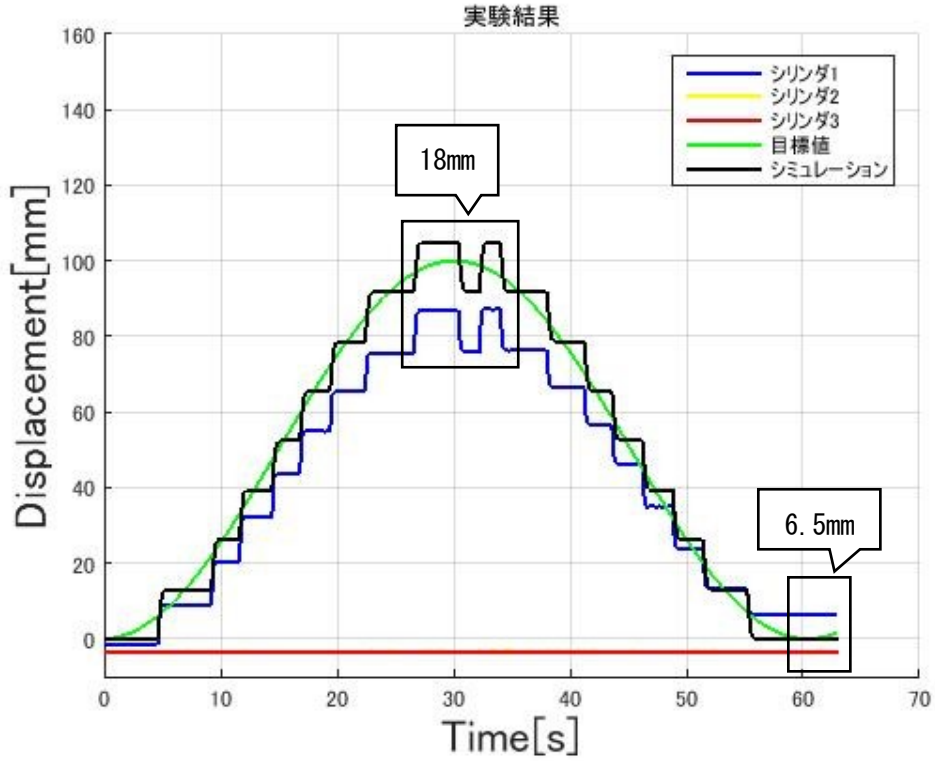


図 38. サンプル時間 0.2 秒での結果

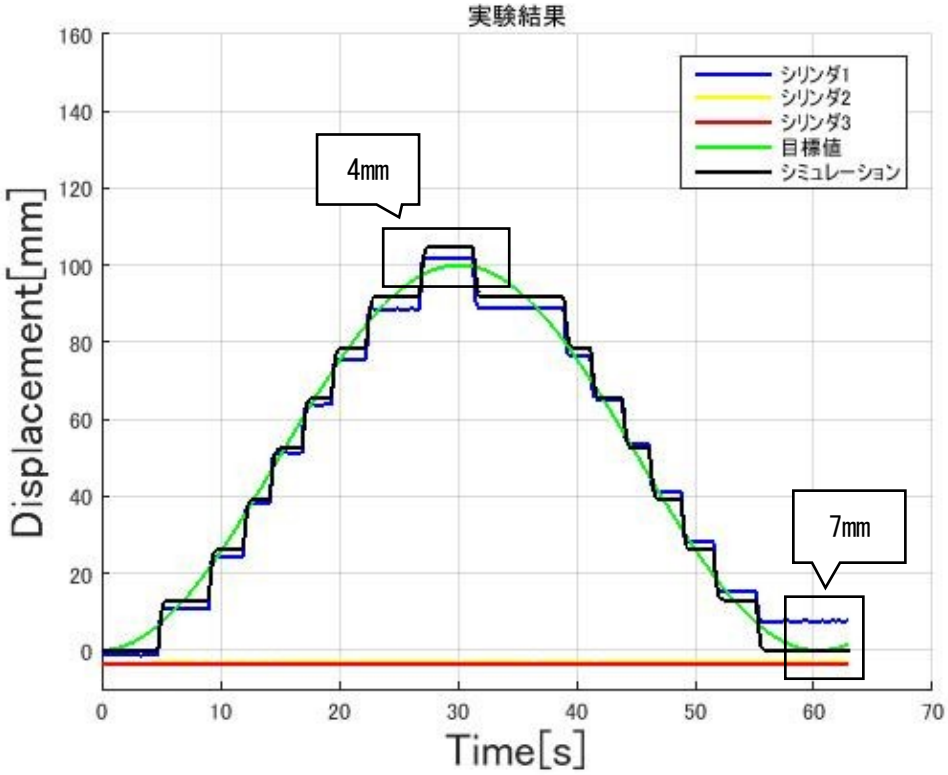


図 39. サンプル時間 0.225 秒での結果

4.6.1 追加実験の考察

結果より,サンプル時間を増やしていくとシミュレーションに近い波形を得られるようになり,サンプル時間が 0.225 秒の時最も数値モデルと実験装置との誤差が少なかった.しかし最終値や最大値に誤差が生じるなど完全にシミュレーションの出力波形とは一致しなかった. この誤差は数値モデルと実験装置の動作特性の誤差によるものだと考えられるため完全になくすことはできないと考えられる.

5章　結論と今後の課題

ON/OFF 弁により動作する水圧シリンダー3 軸で,構成されるパラレルリンク機構を制御する方法として FBM に加えて逆システムを導入する方法を提案,試行した.結果としてシリンダ 1 はシミュレーションとは異なるゲインではあるが FBM と逆システムを用いて追従させることに成功した.また,特定のサンプル時間で FBM と逆システムを用いたシミュレーションにおける制御対象に入力される信号をフィードフォワード制御で制御対象に入力することで目標値に近い波形を出力することも出来た.こちらはセンサの周辺機器が故障してしまった時の非常手段として機能することが予想される

今後の課題としてセンサの感度を変更できるような仕組み又はセンサからの信号を減らして伝えるプログラムを作ることと DIDO を用いた信号制御についてより探求する必要があると考えられる.

参考文献

[1] 石川将人,丸田一郎,杉江俊治:”フィードバック変調器を用いた離散値入力制御系の設計”,計測自動制御学会論文集,Vol.43,No1,31/36,2007.

[2] 廣野善信:”FBM を取り入れた水圧シリンダの位置決め制御”,2019.

[3]制御工学チャンネル【H.Okajima】 【制御工学】逆システム(制御理論#10)
https://www.youtube.com/watch?v=90mzEg2qpv4

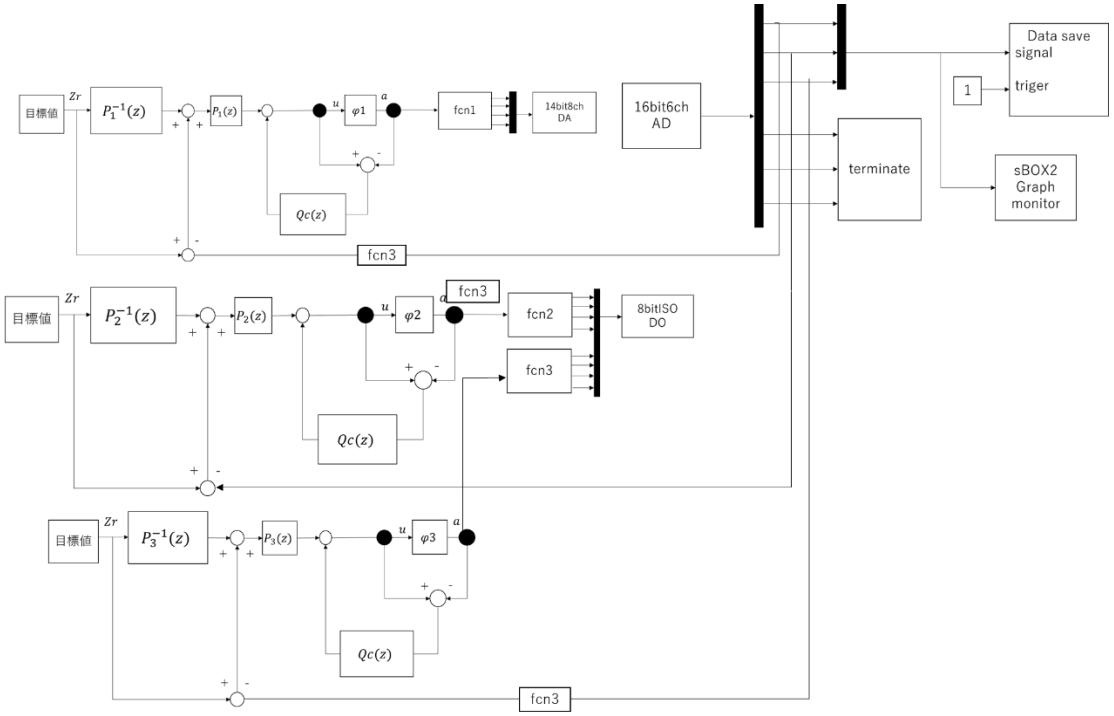
謝辞

本研究をすすめるにあたり，ご指導を頂いた章ふぇいふぇい教授，小池雅和准教授，また，多くのご指摘を頂いたオートマティクス研究室の皆様に心より厚く御礼を申し上げます.

付録

実験装置の電子回路

実機実験でのブロック線図



各シリンダーの制御系の状態空間表現

FBM

$$Q_{c(z)} \cdots \begin{cases} X(n+1) = EX(n) + Fu \\ Y(n+1) = GX(n) + Hu \end{cases}$$

$$E_1 = \begin{bmatrix} 1.3406 & -0.4493 \\ 1.000 & 0 \end{bmatrix}$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$G_1 = [0.5978 \quad -0.4891]$$

$$H_1 = 0$$

シリンダー1

$$P_1(\mathrm{z}) \cdots \begin{cases} X(n+1) = A_1X(n) + B_1u \\ Y(n+1) = C_1X(n) + D_1u \end{cases}$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1.1353 & -0.2707 \\ 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C_1 = [1.6462 \quad 1.7226]$$

$$D_1 = 0$$

$$P_{1(z)}^{-1} \cdots \begin{cases} X(n+1) = iA_1X(n) + iB_1u \\ Y(n+1) = iC_1X(n) + iD_1u \end{cases}$$

$$iA_1 = 1.0 \times 10^{-8} \begin{bmatrix} 0.4122 & -0.2281 \\ 0.1863 & 0 \end{bmatrix}$$

$$iB_1 = \begin{bmatrix} 32 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$iC_1 = [-1.0776 \quad 22.6561]$$

$$iD_1 = 34.4828$$

シリンダー2

$$P_2(\mathrm{z}) \cdots \begin{cases} X(n+1) = A_2X(n) + B_2u \\ Y(n+1) = C_2X(n) + D_2u \end{cases}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1.2397 & -0.4793 \\ 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C_2 = [1.0992 \quad 1.3752]$$

$$D_2 = 0$$

$$P_{2(z)}^{-1} \cdots \begin{cases} X(n+1) = iA_2X(n) + iB_2u \\ Y(n+1) = iC_2X(n) + iD_2u \end{cases}$$

$$iA_2 = 1.0 \times 10^{-8} \begin{bmatrix} 0.4122 & -0.2281 \\ 0.1863 & 0 \end{bmatrix}$$

$$iB_2 = \begin{bmatrix} 32 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$iC_2 = [-1.8617 \quad 40.3193]$$

$$iD_2 = 59.5745$$

シリンダー3

$$P_3(\mathrm{z}) \cdots \begin{cases} X(n+1) = A_3X(n) + B_3u \\ Y(n+1) = C_3X(n) + D_3u \end{cases}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1.181 & -0.3619 \\ 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C_3 = [1.5678 \quad -0.3619]$$

$$D_3 = 0$$

$$P_{3(z)}^{-1} \cdots \begin{cases} X(n+1) = iA_3X(n) + iB_3u \\ Y(n+1) = iC_3X(n) + iD_3u \end{cases}$$

$$iA_3 = 1.0 \times 10^{-8} \begin{bmatrix} 0.4122 & -0.2281 \\ 0.1863 & 0 \end{bmatrix}$$

$$iB_3 = \begin{bmatrix} 32 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$iC_3 = [-1.2147 \quad 25.9296]$$

$$iD_3 = 38.8704$$

実機実験のプログラム

fcn1

```
 function [y1,y2,z1,z2]= fcn(d1)

if d1 >= 1.13
    y1=0;
    y2=0;
    z1=5;
    z2=5;
elseif -1.13 <  d1 && d1 < 1.13
    y1=0;
    y2=5;
    z1=0;
    z2=5;
else
    y1=5;
    y2=5;
    z1=0;
    z2=0;
end
```

fcn2

```
function [y1,y2,z1,z2]= fcn(d1)

if d1 >= 0.965
    y1=0;
    y2=0;
    z1=5;
    z2=5;
elseif -0.965 <  d1 && d1 < 0965
    y1=0;
    y2=5;
    z1=0;
```

```
    z2=5;
else
    y1=5;
    y2=5;
    z1=0;
    z2=0;
end
  fcn3
function [y1,y2,z1,z2]= fcn(d1)

if d1 >= 1.035
    y1=0;
    y2=0;
    z1=5;
    z2=5;
elseif -1.035 <  d1 && d1 < 1.035
    y1=0;
    y2=5;
    z1=0;
    z2=5;
else
    y1=5;
    y2=5;
    z1=0;
    z2=0;
end
  fcn4
function y= fcn(u)
y=37.5*(u-1);
```

グラフプロットプログラム

```
width=700;
bottom=500;
font_size=18;
font_color1='k-';
font_color2='r-';
font_color3='g-';
font_color4='b-';
```

```
figure('Position',[100 100 width bottom])
%---スコープ-----------------------------------------------------
x1=ScopeData1(:,1);
y1=ScopeData1(:,2);
y2=ScopeData1(:,3);
y3=ScopeData1(:,4);
y4=ScopeData5(:,5);

plot(x1,y1,font_color1,'linewidth',1.5);
hold on
plot(x1,y2,font_color2,'linewidth',1.5);
hold on
plot(x1,y3,font_color3,'linewidth',1.5);
hold on
plot(x1,y4,font_color4,'linewidth',1.5);
hold on
ylim ([-10 160])
set(gca,'FontSize',[font_size]);
xlabel('Time[s]','Fontsize',[font_size]);
%ylabel('Displacement[mm]','Fontsize',[font_size]);
ylabel('signal','Fontsize',[font_size]);
title ('逆システム+FBMを導入した時の応答')
%legend('目標値','逆システム+FBM','FBM','シリンダ３')
legend('信号')
hold on
grid on
```