

# I-PD 制御の電動車椅子への応用

松井 稜治\*・山根 彌生\*・落合 積\*・森川 智司\*\*

## On the application of I-PD control to a motor chair

Ryouji MATSUI, Yayoi YAMANE Tsumoru OCHIAI and Satoshi MORIKAWA

abstract: We applied I-PD control to a motor chair. Then, the characteristics of the motor chair was first approximated as a first order lag and dead time system. Next, the system was approximated to a higher order system.. And, the control parameters were decided from the system parameters. The method and the some results are shown here.

Keyword:I-PD control, a motor chair, approximated method,speed control

### 1. まえがき

近年、北森による I-PD<sup>1)</sup>制御が多くの分野で利用されている。ここでは、当研究室にある電動車椅子の速度制御に I-PD 制御を適用するとどうなるかを調べてみた。そのとき、制御対象である電動車椅子の動特性を如何に表現するかは重要である。ここでは、対象のステップ応答から対象を 1 次おくれとむだ時間要素に近似し、むだ時間要素を高次系に展開近似して、最終的に高次要素に近似した。その結果を用いて制御パラメータを北森の方法により決めた。ここでは、その手法と実験結果について報告する。

### 2. 実験システム構成

電動車椅子：スズキ MC-14

制御用パソコン：PC9821Ne（ノート）

D/A 変換ボード：コンテック DA12-16

パルスカウンタ：コンテック CNT24-2A

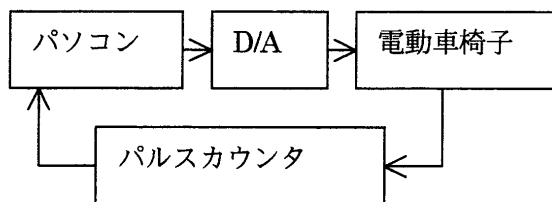


Fig.1 System configuration

実験装置のシステム構成は Fig.1 のようになっている。勿論、パソコンは電動車椅子に装着して、自律走行できるが、パソコン用電源は 100V 電源ケーブルを用いている。車椅子のモータは 0-12V 直流で 6V 以上が前進、以下が逆転となっているが、ここでは前進のみで、D/A 変換が 0-1.0 となっているので、前進は 6-10V となる。

\*宇部工業高等専門学校制御情報工学科

\*\*専攻科生産システム専攻

2000 年 9 月 19 日受理

なお、エンコーダはモータ付属のものを利用した。

ここでは、0.1sec のサンプル時間でのサンプル値制御を行うので、この単位時間当たりのエンコーダからのパルス数をカウントすることにより、速度を検出する。このとき、速度  $V$  (Km/h) は

$$V = 0.054n \quad (n: \text{単位時間あたりカウント数})$$

フィードバック制御ではパルスカウンタからのパルス数をパソコンに取り込み、単位時間あたりのカウント数を計算し、それを用いて車椅子モータへの制御電圧を算出している。

### 3. 電動車椅子の動特性

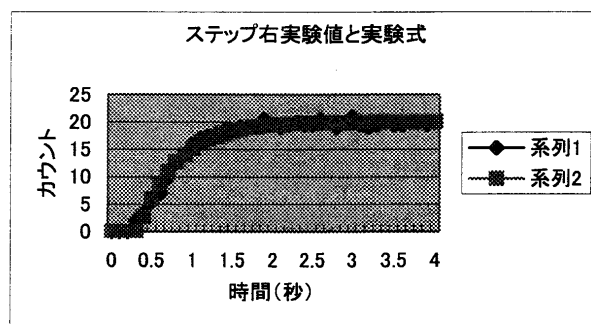


Fig.2 Step response of Motor chair

Fig.2 は本実験における電動車椅子のステップ応答例で、停止時 (6V) から +2V のステップ応答波形であり、これを 2 で除して、1V あたりの応答に換算した。制御対象の動特性  $G(s)$  を

$$G(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts} \quad (1)$$

とすると、その単位ステップ応答  $x(t)$  は

$$x(t) = K(1 - e^{-\frac{t-L}{T}}) \quad (t > L) \quad (2)$$

となる。Fig.2 では系列 1 が実験値であり、系列 2 が実験値と

(2)式の誤差の2乗が最小となるように,(2)式のK,T,Lを推定した結果(実験式)である。その結果,

$$\text{左車輪: } K=21.06, T=0.488, L=0.348$$

$$\text{右車輪: } K=20, T=0.475, L=0.33$$

となった。しかし,北森の方法では制御対象特性を

$$G(s) = \frac{1}{a_0 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3} \quad (3)$$

としている。したがって,(2)式を(3)式のように変形しなければならぬ。そこで,むだ時間要素を

$$e^{-Ls} = \frac{e^{-\frac{L}{2}s}}{e^{\frac{L}{2}s}}$$

$$= \frac{1 - \frac{L}{2}s + \frac{L^2}{8}s^2 - \frac{L^3}{48}s^3}{1 + \frac{L}{2}s + \frac{L^2}{8}s^2 + \frac{L^3}{48}s^3}$$

と近似すると,

$$a_0 = 1/K$$

$$Ka_1 = T + L$$

$$Ka_2 = L(T + \frac{L}{2}) \quad (4)$$

$$Ka_3 = \frac{L^2}{2}(T + \frac{L}{3})$$

となり,上の実験結果から(4)式を計算すると,

	$a_0$	$K \cdot a_1$	$K \cdot a_2$	$K \cdot a_3$
左車輪	0.0475	0.836	0.230	0.0366
右車輪	0.05	0.805	0.211	0.0319

となる。この場合,停止状態から一気に定常速度にするため一定電圧を加えるが,静止摩擦があるため,むだ時間は大きくなる。

#### 4. 北森による I-PD 制御

I-PD 制御系は周知のように, Fig.3 のようになる。

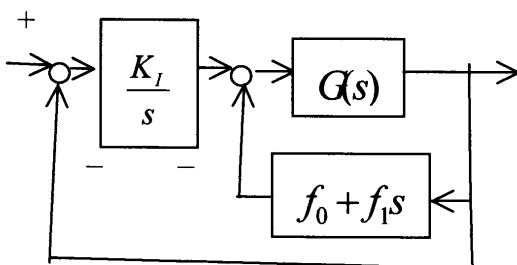


Fig.3 I-PD control system

ここで  $G(s)$  は制御対象特性で(3)式で表される。

北森の方法ではこの制御系が規範制御系とできるだけ等しくなるように制御パラメータを決める。

すなわち,規範制御系は

$$\alpha(s) = \alpha_0 + \alpha_1\sigma s + \alpha_2(\sigma s)^2 + \dots \quad (5)$$

とすると,

$$G_w(s) = \frac{1}{\alpha(s)} \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} \alpha_0 & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_4 & \dots \end{pmatrix} \\ = (1 \quad 1 \quad 0.5 \quad 0.15 \quad 0.03 \quad \dots)$$

前節の結果より

$$\sigma = \frac{0.15a_3}{0.03a_2} = 0.794, 0.754$$

$$K_I = \frac{a_2}{0.15\sigma^3} = 0.146, 0.164$$

$$f_0 = K_I\sigma - a_0 = 0.068, 0.074$$

$$f_1 = 0.5K_I\sigma^2 - a_1 = 0.0062, 0.0064$$

数値は最初が左車輪に対するもので,2番目が右車輪に対するものである。

#### 5. 実験結果および考察

サンプリング周期 0.1sec で I-PD 制御を行った結果が Fig.4 に示されている。目標速度は 40 カウント (カウント数  $n$  とすれば速度  $0.054n$  km/h) である。むだ時間や不感帯(静止摩擦)の影響で操作量が与えられても最初しばらくは動いていないことがわかる。

PID 制御の場合は最初大きい操作量が増えらるため停止時間は若干短くなるが,定常特性は偏差の積分値が効いて平滑化され, I-PD 制御の方が良いようである。この静止時間は 0.4sec である。

また,左右輪の特性のわずかの違いにより,操作量が定常状態で異なっていることも図より読み取る事ができる(図中,系列1が左,系列2が右車輪モータ)。そのため左右輪モータに同一電圧を加えても曲がってしまう。速度フィードバック制御することにより,左右同一速度となり直線的に動かすことが可能となる。

なお,この図を書くに当たって,制御性の評価をするために, IAE および ITAE を計算している。

なお,3節や4節のようなサンプリング制御を行うために,パソコン本体のタイマを用いて割り込み処理を行う関数が用意されているのでこれを利用した。すなわち,

pc98timer(TIME,func) : TIME で指定された時間後に割り込み発生して,関数 func を実行する

ので、この func のなかでも、このタイマ関数を使ってやれば、すなわち再帰的に使ってやれば繰り返し処理がおこなわれる..

制御性の比較のために IAE が最良 (最小) の場合の I-PD 制御の結果も図示する (Fig.5) .

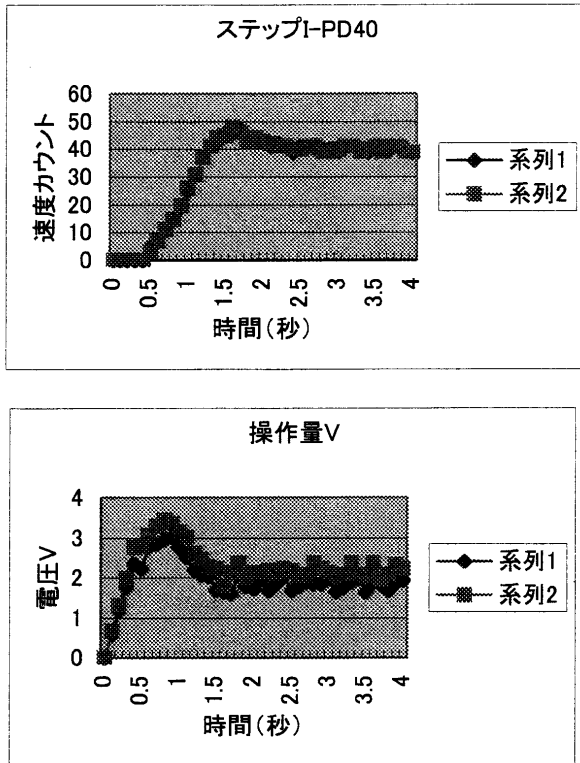


Fig.4 Result of I-PD control

目標値が1の場合に換算して,IAE を比較すると,3節より求めた近似特性を用いた結果が

IAE= 1.042,1.055

で,IAE 最小の場合が (Fig.5)

IAE=0.955, 0.957

となっていて,定常状態では大差ないが,オーバシュートが若干前者が大きいようである.この2例について制御パラメータを表にすると次のようになる.,

	Ki	f0	f1	IAE
Fig.4	0.145	0.068	0.006	1.042
	0.164	0.074	0.006	1.055
Fig.5	0.163	0.09	0.007	0.955
	0.165	0.09	0.007	0.957

3節の方法で対象特性を近似した結果を利用して,制御パラメータを決定しても最良(IAE 最小)の場合に比較的近い値が求められることがわかる.

ただし,この制御(ステップ応答)では車椅子の静止時が初期状態になっているので,車椅子動特性を求めるに当たっても静止時からの特性を用いた.目標値周辺の特性すなわち

動作中の特性は動摩擦の小さいこともあって,特性は変わると思われる.特に,無駄時間は小さくなる.従って,動作中の制御にあたっては特性が変化することを考慮しなければならないと思われる.

また,PID 制御の場合についても,対象特性を考慮した北森の方法<sup>1)</sup>による結果例についてFig.6に示す.前にも述べたように立ち上がり時に大きな違いが生じ,IAE は 0.71,0.72 となっている.これは,静止時における摩擦と車椅子への入力電圧の関係でI-PDとPIDでは不感帯の影響でむだ時間の違いがIAE に表れているからと思われる.

ただし,積分動作による平滑化のため定常特性は I-PD 制御の方が優れているようである.

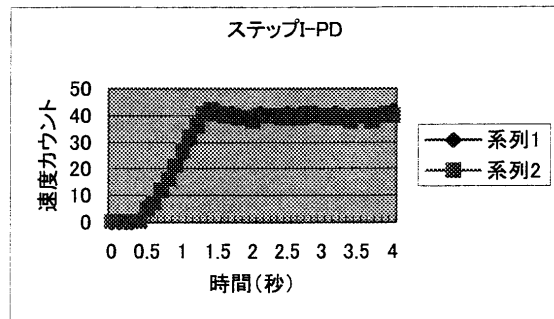


Fig.5 Case of IAE min

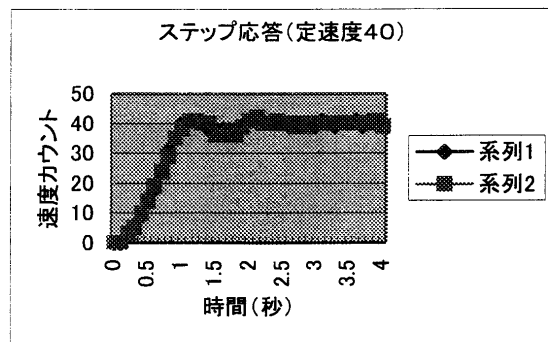


Fig.6 Case of PID control

いずれにしても,フィードバック制御を行うことにより左右輪同一速度で動き直進性が保たれている.いずれにしてもこの電動車椅子に付属のエンコーダを使用して,I-PD 制御が可能であることを示した.

なお,これらの実験については平成 11 年度,平成 12 年度の卒業研究の諸君に,プログラム作成にあたっては平成 11 年度専攻科生の高木功治君に多大の協力を頂いたことに謝意を表します.

参考文献

1)北森 俊行: 制御対象の部分的知識に基づく制御系の設計法, 計測自動制御学会論文集, 15-4,pp135/141,1979