

2モード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 2mode control to a motor chair

Ryouji MATSUI, Yayoi YAMANE, Tsumoru OCHIAI and Satoshi MORIKAWA

abstract: We applied 2mode 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. We used PID control in transient state and I-PD control in steady state. The method and the some results are shown here.

Keyword: 2mode control, a motor chair, approximated method, speed control

1. まえがき

近年, 北森による I-PD¹⁾制御が多くの分野で利用されている。昨年度は, 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, 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。その結果, PID 制御は立ち上がりの特性が優れ, IAE は比較的小さかった。一方, I-PD 制御は立ち上がりが多少劣り, 従って IAE が多少大きかったが, 定常状態には優れたものがあった。そこで両者の長所を取り入れた新しい手法が考えられた。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 (ノートパソコン)

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

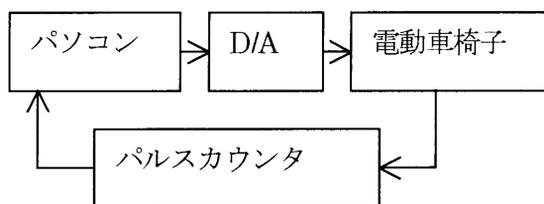


Fig.1 System configuration

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,

* 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

2001年9月11日受理

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 0-10V となっているので, 前進は 6-10V となる。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, このサンプル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

$$V = 0.054n \quad (n: \text{サンプル時間あたりカウント数})$$

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, サンプル時間当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

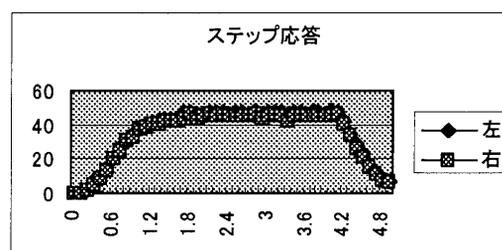


Fig.2 Step response of a Motor chair

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 から, (2)式の K, T, L を推定した結果,

左車輪: $K=24.35, T=0.466, L=0.26$

右車輪: $K=23.2, T=0.43, L=0.28$

となった. しかし, 北森の方法では制御対象特性を

$$G(s) = \frac{1}{a_0 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3} \quad (3)$$

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,

$$a_0 = 1/K$$

$$Ka_1 = T + L$$

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

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

となる.

ここでは, PID 制御も北森の方法で制御パラメータを決めるが, 制御実験の結果, 動作点周辺での特性が有用であった.

そのときの特性 (動作点周辺での単位ステップ応答結果) は

左 $K=22.1, T=0.427, L=0.153$

右 $K=20.7, T=0.415, L=0.163$

である, (バッテリー交換のため, 前報²⁾とは異なっている.)

4. 北森による I-PD 制御および PID 制御

I-PD 制御系は前向き要素は I 動作で, その係数 K_I , フィードバック部が PD でこの係数 f_0, f_1 の計 3 個の制御パラメータを対象特性から決めればよい. 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.

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

とすると, 規範制御系は次のようになる.

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

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

前節の結果を使用して, I-PD 制御パラメータはつぎのように計算される.

$$K_I = 0.194, 0.173$$

$$f_0 = 0.076, 0.068$$

$$f_1 = 0.0054, 0.0051$$

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.

また, 北森の方法による PID パラメータは

左 $K_P=0.1016, \dots, T_I=0.474, T_D=0.043$

右 $0.100, 0.466, 0.045$

となる.

5. 実験結果および考察

サンプリング周期 0.1sec で, 北森の方法によるパラメータを用いて PID 制御した応答が Fig.3 に, I-PD 制御を行った応答が Fig.4 に示されている. 目標速度は 40 カウントである. I-PD 制御ではむだ時間や不感帯 (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静止したままであることがわかる. 一方, PID 制御の場合は最初大きい操作量が増えらるため静止時間は若干短くなる. 一方, 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. 操作量においても, 定常状態では PID 制御の場合は振動気味であるが, I-PD 制御ではほぼ一定となっていることがわかる.

左右輪のゲインの違い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が, 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. このゲインの違いのため定常状態では操作量 (入力電圧) が左右で異なることもわかる.

なお, サンプリング制御を行うにはパソコン本体のタイマを用いて割り込み処理を行うタイマ関数が用意されているのでこれを利用した. このタイマ関数を再帰的に使えば繰り返しの処理を行うことができる.

目標値を 1 と換算して, IAE を比較すると, 3 節より求めた近似特性を用いた PID 制御の結果 (Fig.3) が

$$IAE=0.725 \quad 0.72$$

で, I-PD 制御の結果 (Fig.4) が

$$IAE=1.01, 1.00 \text{ である.}$$

IAE は I-PD 制御の場合より PID 制御の場合が小さいことがわかる.

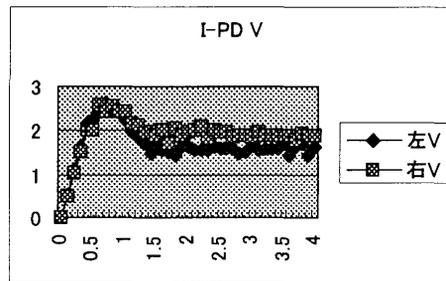
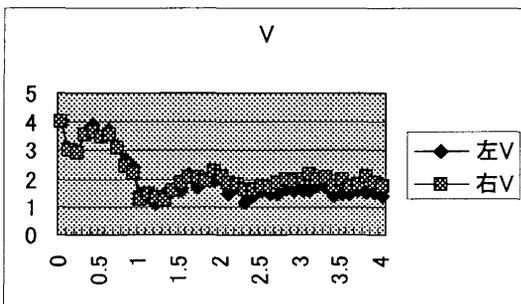
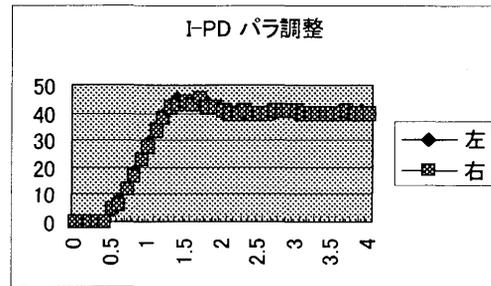
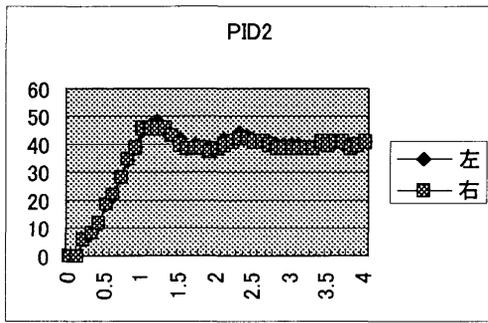


Fig.3 PID control by Kitamori's method

Fig.5 I-PD control by Adjusted parameters

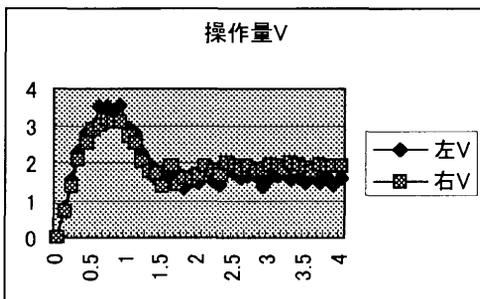
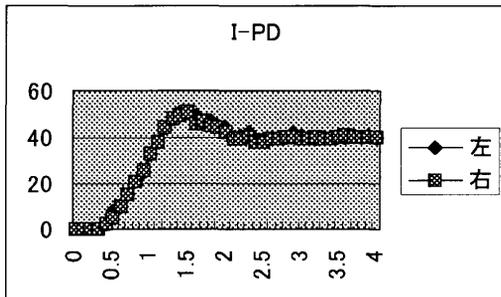


Fig.4 I-PD control by Kitamori's method

一般的には I-PD 制御は定常特性が優れているが, Fig.4 ではI-PDの定常特性の優れた性質が十分には表れていない.そこでI-PDパラメータを多少調整(小さく)すると,

(0.136 0.127, 0.068 0.051 0.005 0.005)

定常特性が良好となり (Fig.5), IAE も 0.97, 0.97 となり, 多少改良されるが, PID 制御程には改良されていない.

一般的には, PID 制御に比べ, I-PD 制御では IAE の値がかなり大きくなる.これは主として立ち上がり特性の違いによるものである.すなわち, I-PD 制御では特にスタート時のむだ時間が大きいことに起因する.しかし一方, 定常時の操作量(入力電圧)の変動は小さい.その出力としての速度変動も小さくなる長所も持っている.結局, 立ち上がり時は PID 制御が優れ, 定常時は I-PD 制御が優れているといえる.そこで, 両者それぞれの優れているところを取り入れる新しい制御方法が考えられる.すなわち, 最初は PID 制御, 定常時は I-PD 制御となるような制御方法である, ただし, 滑らかに移行させるため, 切り替え時は両者を折衷する次の,

1. PID 制御
2. 切り替え時 PID と I-PD の折衷

$$\frac{i}{3}(PID) + \frac{3-i}{3}(I-PD) (i = 1, 2)$$

3. I-PD 制御

のような PID と I-PD との 2モードの制御が考えられる.

Fig.6 は北森による PID, I-PD 制御のパラメータによる 2モード制御の結果である.このとき

$$IAE = 0.71 \quad 0.72.$$

また, 定常時の操作量の変動は PID 制御に比べ小さい.この場合は PID 制御の結果より若干 IAE は良くなっているが, それほどの差異が見られない.そこで, I-PD 制御部において IAE の幾分良好であった調整された I-PD パラメータに変えてみると, IAE はかなり向上した.この改良 2モードの制御での IAE は

$$IAE = 0.658 \quad 0.675$$

となり、PID 制御の場合より、かなり IAE が改善された。また、定常時の操作量も速度も PID のみの制御ではやや振動気味であるが 2 モード制御では変動はほとんどなくなっている。

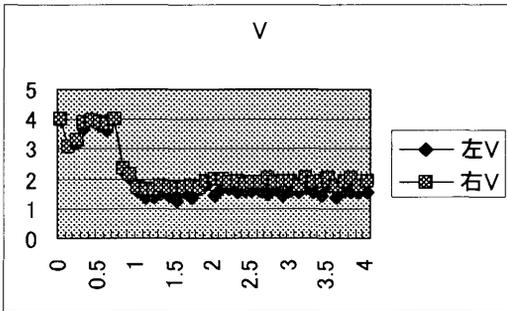
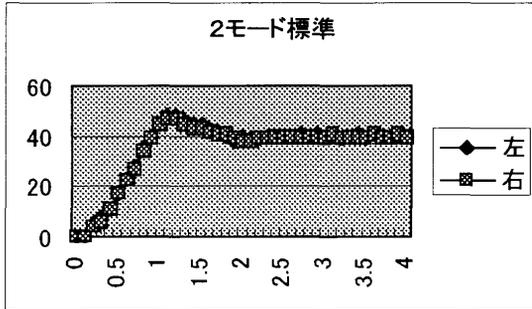


Fig.6.2 mode control by Kitamori's parameters

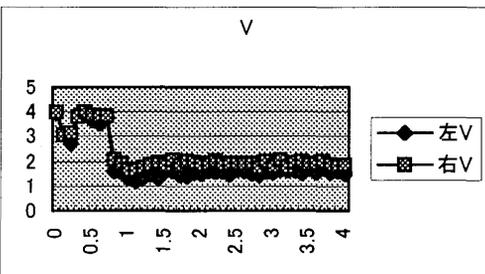
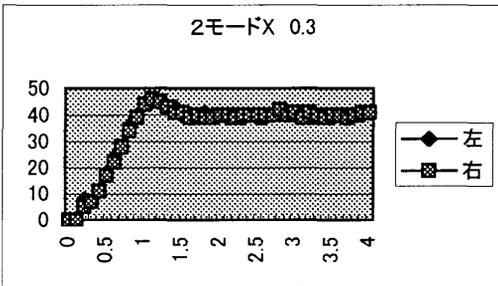


Fig.7.2 mode control by adjusted parameters.

以上、この 2 モード制御法は PID と I-PD との長所を取り入れたものとなっている。IAE を小さくする制御法としては優れている方法といえよう。いいかえれば、定常時での安定性には優れている I-PD に IAE を向上させるために立ち上がり特性の良好な PID を散りいれた方法ともいえる。

しかし、IAE を評価基準としてとると、立ち上がりの良いもの、すなわち、多少行き過ぎのあるものが最良となっている。搭乗者の乗り心地を配慮すると、行き過ぎがあると加速度が正から負に変わり、その加速度変化に違和感を覚えることもあり、行き過ぎはできるだけない方が良い場合もある。そのような場合は多少の IAE の悪化は避けられないが、変動の少ない I-PD 制御がふさわしいと思われる。例えば、北森の方法によるパラメータを約 1/2 程度にすると、

(I-PD パラメータ 0.09 0.087, 0.04 0.034, 0.003 0.003)

Fig.8 のように行き過ぎはほとんどなくなる。ただし、IAE の値はかなり悪化する (IAE=1.07 1.07) ことは避けられない。このような場合は制御評価基準を他に求めなければならないものと思われる。

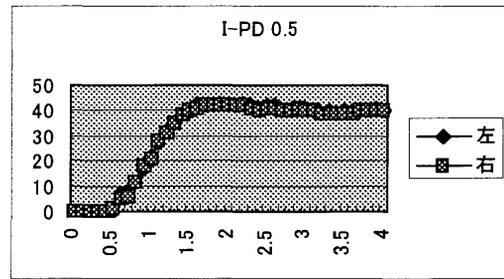


Fig.8 Example without over-shoot

6.おわりに

立ち上がり特性がよく、定常特性も優れている制御方法として、立ち上がりは PID、定常時は I-PD、切り替え時は両者を折衷した 2 モード制御を提案し、実験を行った。その結果 IAE の優れた方法であることがわかった。

なお、本研究に当たって、平成 12,13 年度卒業研究の学生諸君に多大の協力を戴いたことに謝意を表す。

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
- 2) 松井ほか : I-PD 制御の電動車椅子への応用, 宇部高専研究報告, 第 47 号, pp39/41, 2001