

# 琉球大学学術リポジトリ

## 手動制御系における人間オペレータの前後におけるゲインと人間の学習特性について

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2012-07-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 喜久山, 勲正, Kikuyama, Norimasa メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/24954">http://hdl.handle.net/20.500.12000/24954</a>

# 手動制御系における人間オペレータの前後に おけるゲインと人間の学習特性について†

喜久山 勲 正\*

## On Gain and Characteristics of Human Learning before and after Human Operator in a manual Control System

Norimasa KIKUYAMA

### Summary

Considering human being as a control element in a feed-back control system, we use as input random noise, in the form of electrical voltage, generated by a noise-generator. We use as controlled system  $1$ ,  $1/s$ ,  $1/s+1$ ,  $1/s(s+1)$ ,  $1/s^2$ , using an analogue computer, and a potentiometer having circularly rotating handle at operation point. We perform experiments in error-compensating manual control system. We let an amateur perform error-compensating operations until he is considered to be sufficiently proficient, and we analyze its process.

What is unique in this study is that we consider the gain which is obtained by taking the difference between the circular transfer function including the human operator and human transfer function; and that we study the human characteristics when we change the gain before and after the Human operator, with the product of the two gains kept constant.

We obtained better control results for controlled systems of first order than those of zero order. We found also that for controlled system of second order it is likely to diverge and it requires considerable proficiency to control. We think it is impossible to control systems of more than second order. For error  $e$ , we take control area  $\int_0^T |e| dt$  and  $\int_0^T e^2 dt$ , and we state progress of learning as effect of human learning.

### 1 まえがき

現代の機械化は「つくり方をつくる」方向に進んでいる。人間は認識、決定、適応、学習などの優れた能力をもっている。サイバネティクス、パーセプトロン、マンマシンなど生体工学的研究や人間工学的研究はこの人間の能力を機械にさせようという努力、更にはそれ以上のことをさせようという努力に他ならないと思われる。

本研究ではマンマシン (man-machine) の立場か

ら人間が閉ループ制御系の制御要素として働いている系を考える。このような系を以後手動制御系と呼ぶ事にする。

手動制御系における人間オペレータについての研究は動作に関する研究、学習特性、適応特性、人間オペレータの伝達関数、性質の異った制御対象に対する特性、等々の研究、更には年齢別、性別、職業別などの分類による研究も考えられる。また手動制御系の実際に与えられた装置、例えば、操作部の構造がハンドル式かペダル式かがたがあるか寸法はいくらかなど、また人間オペレータへの入力が見覚であるか、聴覚であるか、視覚の場合明るいか暗いか等々いろいろの条件が研究の対象となる。従って人間オペレータの

† 受付：1971年9月30日

\* 琉球大学理工学部電気工学科

特性の研究は多岐に亘ると共に、その結論には哲学的配慮が必要であり難しい問題である。

本研究は人間オペレータの制御特性を知るための一方法を示すものであり、東北大学福島研究室に於て河端克躬が「手動制御系における人間の制御性に関する研究」(昭和43年)に於て行った研究装置を使い、その一部を変え、実験条件を変えて行った。即ち、人間オペレータを含む一巡伝達関数から人間の伝達関数を除いたゲインを考え、これを一定に保ちつゝ人間オペレータの前のゲインと後のゲイン(両者の積を一定に保ちつゝ)を変えたとき人間の学習特性、制御特性はどうなるかについて研究するのであるが、制御特性に

ついては稿を改める事とし、こゝでは学習特性を主として述べる。

### 2 実験条件

手動制御系は比較動作を機械が行いその偏差を0にするように人間が動作する補償型と比較動作も人間が行い目標値と制御量の両方を見ながら制御量を目標値に一致させるように動作する追跡型とに分かれる。

本研究では手動制御系の基本と考えられ、かつ数学的取扱いが容易である単一入力、単一出力、単一ループの誤差補償型手動制御系を用いて実験を行った。

Fig. 1 にその構成図を示す。

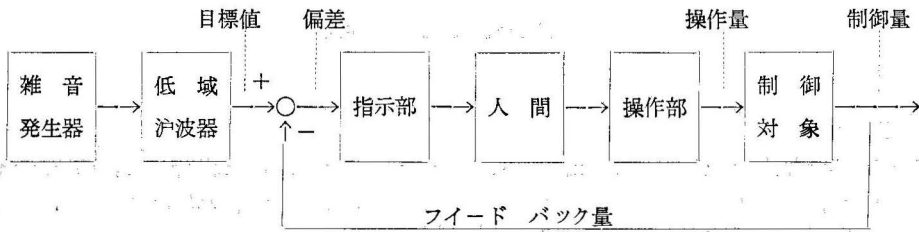


Fig. 1 実験で用いた補償型手動制御系の構成図

指示部、操作部をわかり易く示すとFig. 2 の通りである。

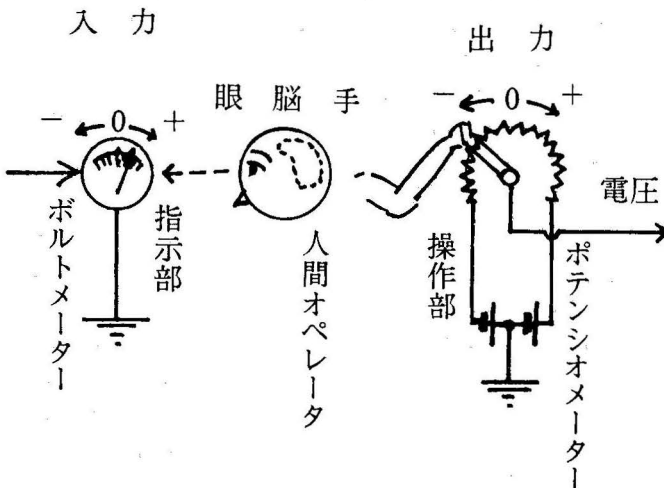


Fig. 2 指示部と操作部

Photo. 1 は実験場面である。

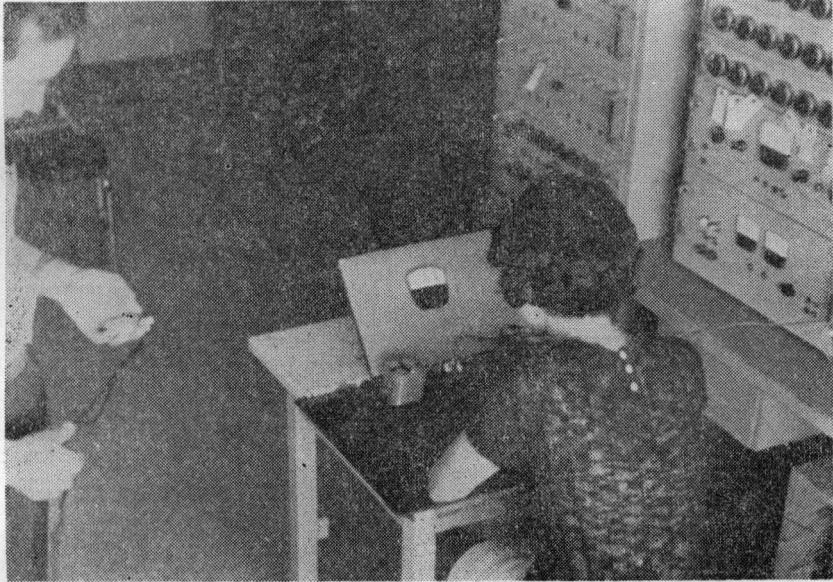


Photo 1 実験場面

Fig. 3 は配線図である。

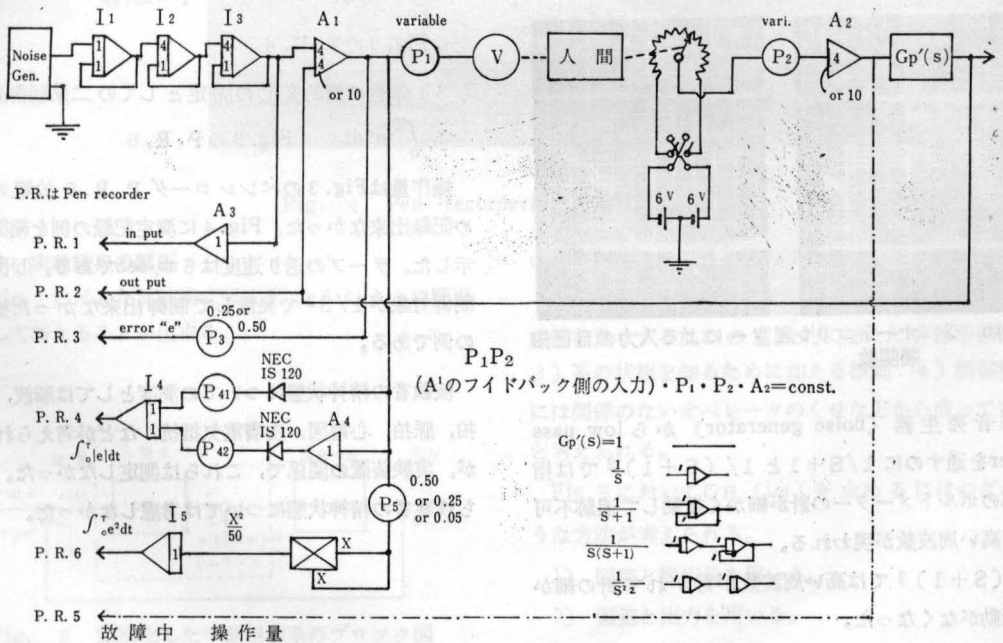


Fig. 3 配線図

制御対象はFig. 3の $Gp'(s)$ で示されている。制御対象 $Gp'(s)$ はアナログ電子計算機でシミュレートし $Gp'(s) = 1, 1/S, 1/(S+1), 1/[S(S+1)], 1/S^2$ の5種類の伝達関数をもつ対象を用いた。

指示部には電圧計を用いた。 $\pm 10$ vのフルスケールでこの電圧計のゲイン $K_m$ は $132/20$  [deg/volt]である。

操作部には半径4.5cm, 復元力のない回転型ポテンシオメーター(最大回転角 $163^\circ$ )を用いた。ポテンシオメーターの設定ゲイン $K_p$ は $25/163$  [volt/deg]である。

$$K_m \cdot K_p = 132/20 \times 25/163 = 1.0$$

となるが、 $K_m \cdot K_p = 1.0$ という事は格別の意味はないものと考察する。

目標値は約 $200$  [rad/sec.]まではほぼ一定のpower spectrumを持つnoise generatorを用い、伝達関数が $1/(S+1)^3$ のlow pass filterでフィルターしたものである。このようなrandom signalを用いた理由は予知トラッキングを防止するためである。 $1/(S+1)^3$ のlow pass filterを通して後のnoise入力自己相関関数をPhoto 2に示す。

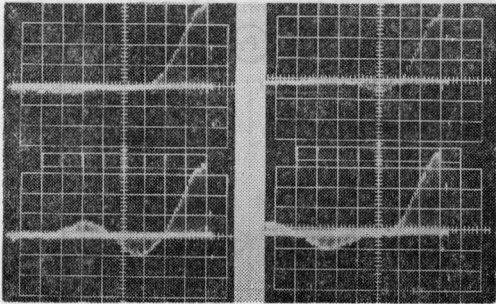


Photo 2 オートコリレーターによる入力の自己相関関数

雑音発生器(noise generator)からlow pass filterを通すのに $1/S+1$ と $1/(S+1)^2$ では指示部のポルトメーターの針が細かく振動して追跡不可能な高い周波数が現われる。

$1/(S+1)^3$ では高い周波数が除かれて針の細かい振動がなくなった。

被験者としては制御理論に関して殆んど知識がな

く、また本研究で行う誤差補償作業に関して全然経験のない電波高校生男子のみを採用した。

### 3 実験方法

被験者に対して「電圧計(指示部)の針の振れをできるだけ小さくする(0を保つ)ように操作器(ポテンシオメーター)を操作せよ。」と指示を与え、約100秒間の操作、約120秒間の休憩をくりかえして1日20~26回の実験を行った。被験者は1日2人ずつとし、日毎に新しい被験者を採用した。

Fig. 3に示すとおり実験では6チャンネルのペンレコーダを用いたが1つのチャンネルは故障のため、つぎの5種の量を測定記録した。

- 1) 目標値(以後 入力という) Fig.3のP. R. 1
- 1) 制御量(以後 出力という) Fig.3のP. R. 2
- 3) 偏差(error "e" で表わす) Fig.3のP. R. 3

- 4) 学習の量的変化の測定としての制御面積

$$\int_0^T |e| dt \quad \text{但し} \quad T=100 \text{秒}$$

Fig.3のP. R. 4

- 5) 学習の量的変化の測定としての二乗制御面積

$$\int_0^T e^2 dt \quad \text{Fig.3のP. R. 6}$$

操作量はFig.3のペンレコーダP. R. 5故障のため記録出来なかった。Fig.4に測定記録の例を縮図で示した。テープの送り速度は5mm/secである。(b)図は制御対象が $1/S^2$ で発散して制御出来なかった場合の例である。

被験者の精神状態についての測定としては脳波、心拍、脈拍、心電図、皮膚電気抵抗、などが考えられるが、実験装置の関係で、これらは測定しなかった。即ち被験者の精神状態については考慮しなかった。

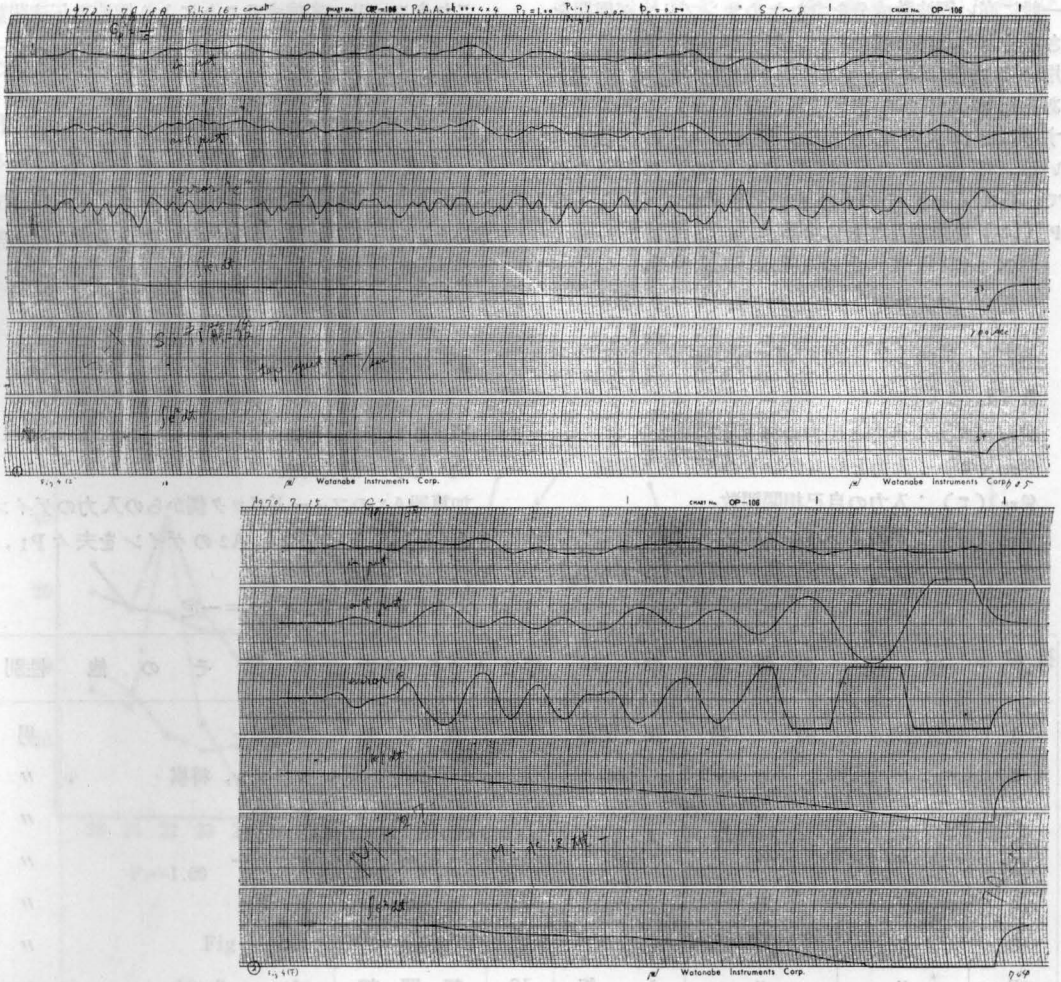


Fig. 4 Pen recorderによる測定記録例

4 実験結果の解析

Fig. 1 に示した実験構成図は Fig. 5 のように単純化して考えることが出来る。

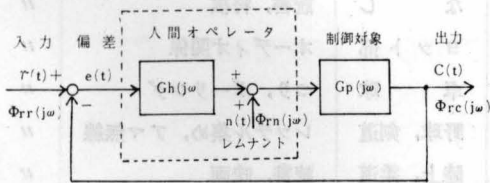


Fig. 5 単純化した手動制御系のブロック図

図中  $G_H(j\omega)$  は人間オペレータの周波数伝達関数（人間の準線形モデル）でありレムナントは操作量

のうち線形要素以外のものである。

このレムナントは 1) 制御動作の失敗 2) 制御成績を良くするための意識的に加えた非線形動作 3) 系の状態を知るために加える振動 4) 制御動作には関係のないオペレータのくせなどから成っていると考えられる。

Fig.5において  $G_H(j\omega)$  を求めるにはつぎのような方法が考えられる。

- 1) 偏差と操作量を用いる。
- 2) 偏差と出力を用いる。
- 3) 入力と操作量を用いる。
- 4) 入力と出力を用いる。

上記の方法のうち操作量を用いる方法は操作量は

一般に高い周波数成分を含むためサンプリング周期をさ小くとらなければならない欠点がある。また偏差を用いる方法は偏差とレムナントの間には必ず相関があるため人間から線形要素  $G_H(j\omega)$  のみを抽出することは不可能である。従って4)の方法を用いる。制御対称の伝達関数  $G_P(j\omega)$  は既知なので、 $G_H(j\omega)$  そのものを計算せず  $G_H(j\omega) \cdot G_P(j\omega)$  を求めることにする。

Fig. 5においてつぎの関係式が成立する。

$$\varphi_{rc}(\tau) = \int_0^\infty g_{rc}(\theta) \varphi_{rr}(\tau - \theta) d\theta + \int_0^\infty g_{nc}(\theta) \varphi_{rn}(\tau - \theta) d\theta \dots\dots(1)$$

ただし

- $\varphi_{rc}(\tau)$  : 入力と出力の相互相関関数
- $\varphi_{rn}(\tau)$  : 入力とレムナントの相互相関関数
- $\varphi_{rr}(\tau)$  : 入力の自己相関関数
- $g_{rc}(\theta)$  : 系のインパルス応答
- $g_{nc}(\theta)$  : レムナントに関する系のインパルス応答

これをフーリエ変換することにより周波数伝達関数  $G_H(j\omega)$  を求めることになるが、この事については稿を改める事にする。

学習の測度及び制御成績としては制御面積  $\int_0^T |e| dt$  及び二乗制御面積  $\int_0^T |e|^2 dt$  を用いることにした。この値は実験中にアナログ電子計算機で求めた。 $\int_0^T |e|^2 dt$  は  $\int_0^T |e| dt$  よりも大きな誤差に対する影響が現われる。

5. 実験結果および考察

Fig. 3に示すように

$G_p'(s)$  : 制御対象

加算器A1のフィードバック側からの入力のゲインをA1とし、P1, P2, A2のゲインを夫々P1, P2, A2とする。

$$A1 \cdot P1 \cdot P2 \cdot A2 = \text{一定}$$

被験者 No.	住 所	学 校 名	学 年	年令	クラブ活動	趣 味 そ の 他	性別
1	仙台電波高校	省 略	第2別科	18	な し	ラグビー	男
2	"	"	"	16	"	マラソン, 将棋	"
3	"	"	"	19	"	野 球	"
4	"	"	"	16	"	サッカー	"
5	"	"	"	21	"	野 球	"
6	"	"	"	20	"	スキー	"
7	"	"	1 年	16	新 聞 部	バレー, サッカー	"
8	"	"	1 年	15	バレー部	つり, 将棋	"
9	"	"	第2別科	19	な し	アマ無線, つり	"
10	"	"	"	18	な し	卓球, 読書	"
11	"	"	"	19	な し	アマ無線, つり, 読書	"
12	"	"	"	19	"	な し	"
13	"	"	"	18	な し	読書, 将棋	"
14	"	"	"	20	ヨット部	オーディオ関係	"
15	"	"	"	18	卓 球	つり, ボーリング	"
16	"	"	"	18	野球, 剣道	レツテル集め, アマ無線	"
17	"	"	"	19	陸上, 柔道	読書, 映画	"
18	"	"	"	19			"
19	"	"	"	20	卓 球	スポーツ, 音楽	"
20	"	"	"	18	ギ タ ー	アマ無線	"

になるようにした。

Table 1は被験者一覧表であるが、被験者の氏名の代りに番号で示した。

Fig. 6で横軸の数字は夫々の被験者について実験

の第何回目かを示す。たて軸は  $\int_0^T |e| dt$  および  $\int_0^T e^2 dt$  を示し、相対的な大きさを示している。  
 $T=100$ 秒である。

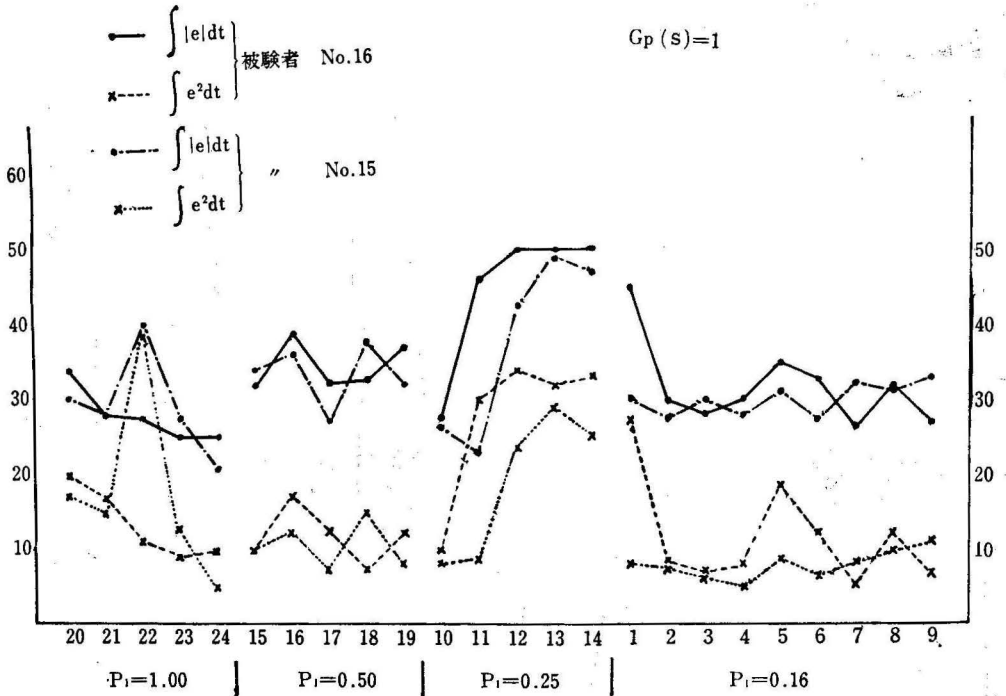


Fig. 6-1  $G_p' = 1$ でPをかえたときの学習および制御成績



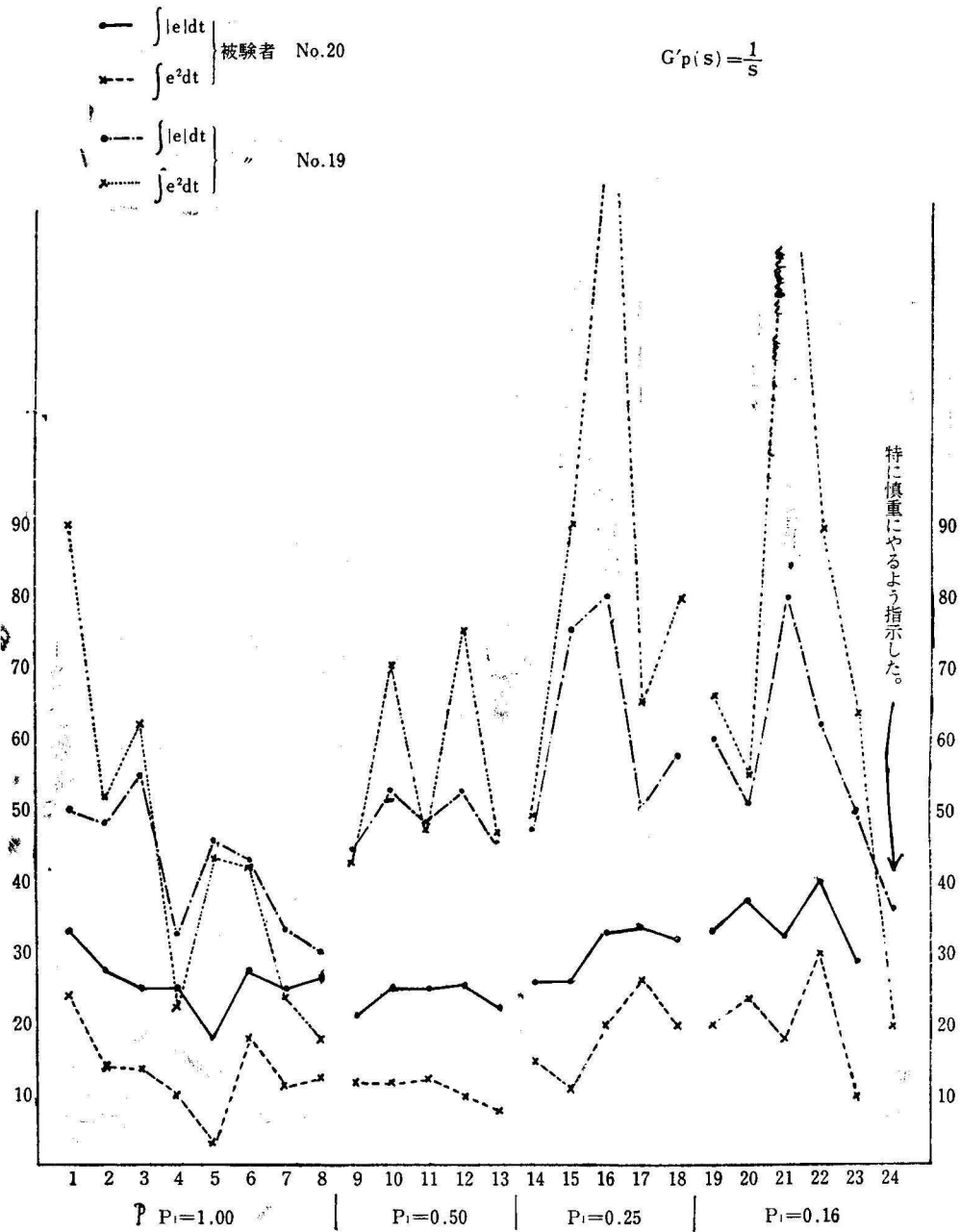


Fig. 6-2  $G'p(s) = \frac{1}{s}$  で  $P_1$  をかえたとき。

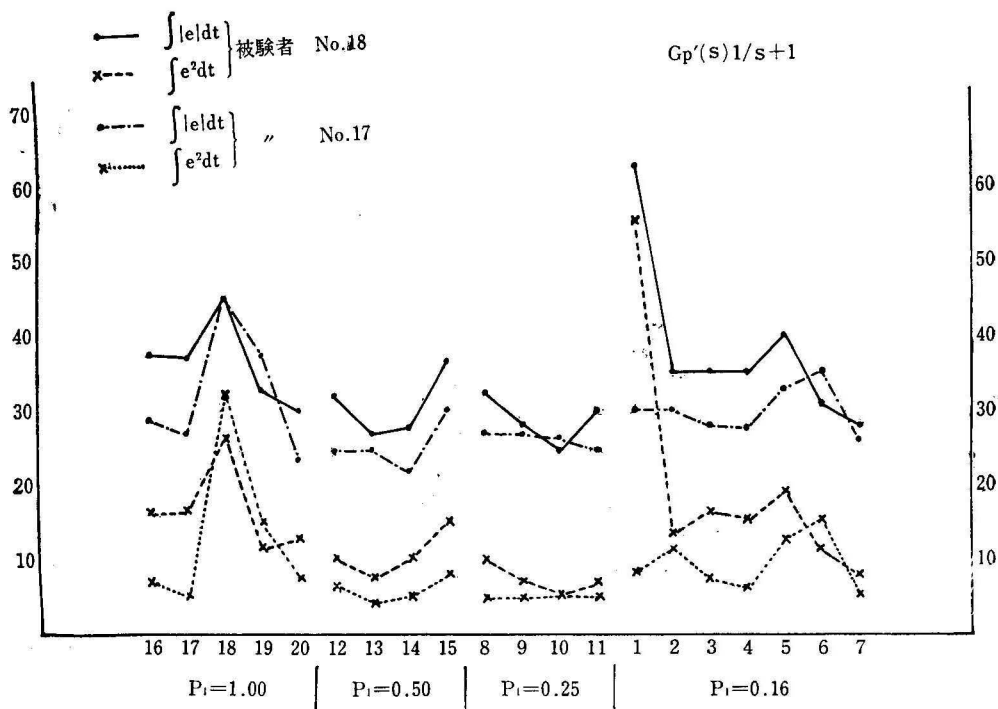


Fig. 6-3  $Gp'(s) = s/1 \pm 1$  で  $P_1$  をかえたとき。

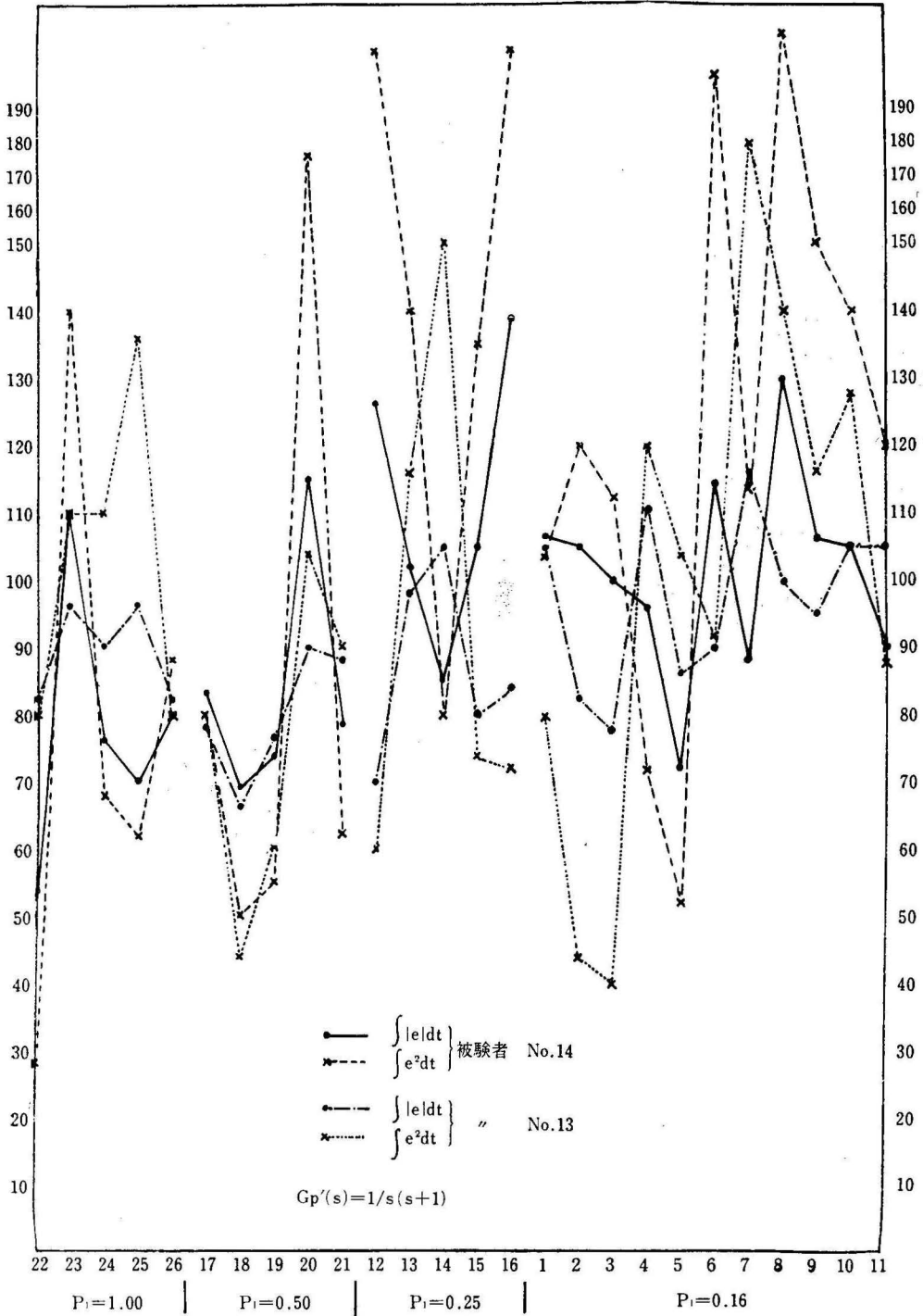


Fig. 6-4  $Gp'(s) = s/1(s+1)$  で  $P_1$  をかえたとき。

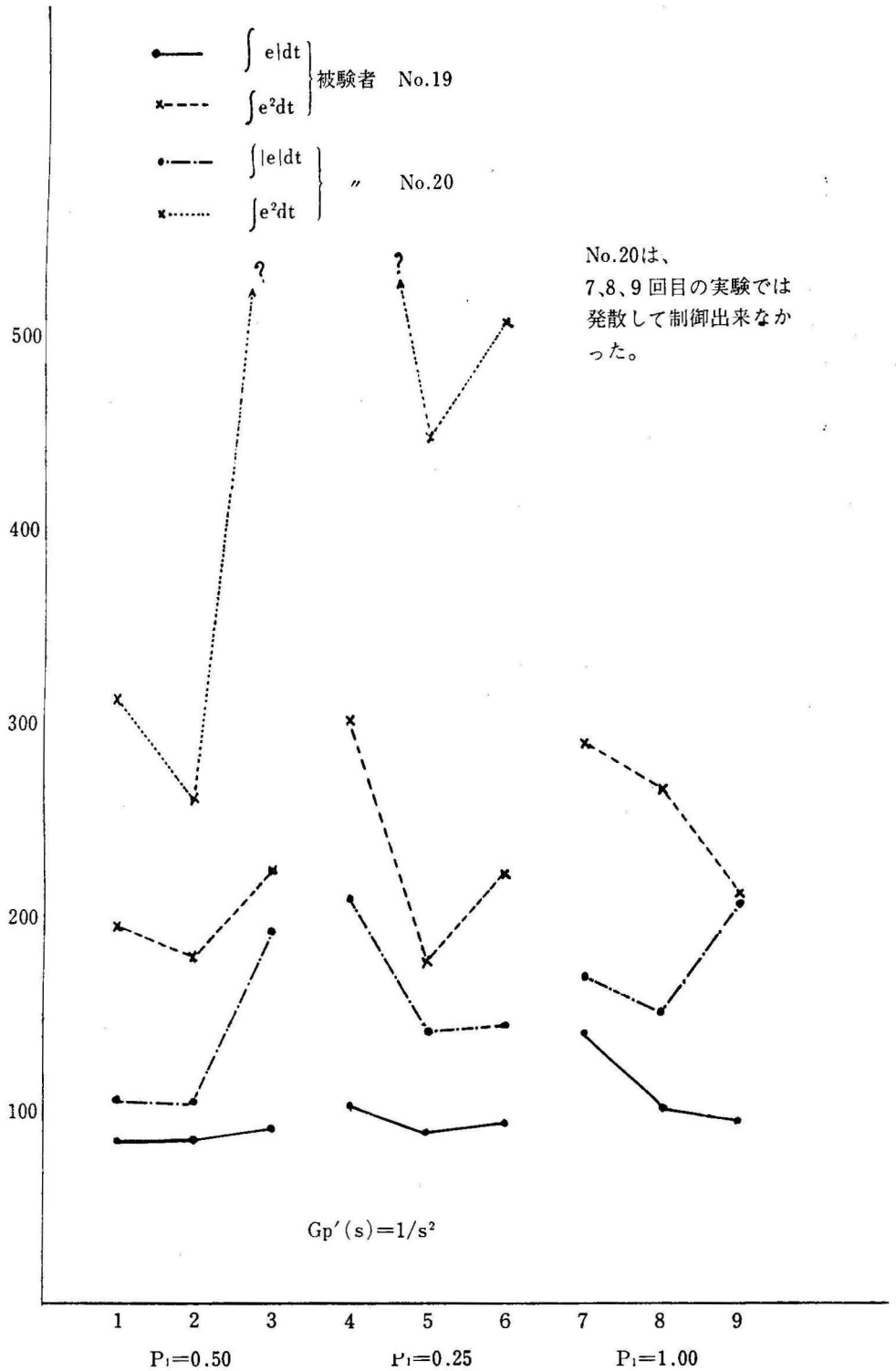


Fig. 6-5  $Gp'(s) = 1/S$ で $P_1$ をかえたとき。

Fig. 6—1からFig. 6—5までは代表例として2人ずつの分を夫々示した。 $Gp'(s) = 1/S^2$ の制御対象に対しては制御困難なので十分に練習をさせ、なお $1/S^2$ の特性を説明してから実験に入った。それでも制御出来ない者が多かった。制御対象が $Gp'(s) = 1, 1/S, 1/S+1, 1/S(S+1)$ の場合には、その特性については説明しなかった。

$A_1 \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot A_2 = \text{一定}$  の条件の下で ( $A_1 \cdot P_1$ ) を大きくするという事はボルトメーターの針の振れを大きくする事であり、このとき ( $P_2 A_2$ ) は ( $A_1 P_1$ ) に反比例して小さくなるから操作器ポテンシオメーターのゲインはおちる。従ってハンドル操作は逆に大きくしなければならぬ。逆に ( $A_1 P_1$ ) を小さくすれば、逆に ( $P_2 A_2$ ) を大きくするから、ボルトメーターの振れは小さく、操作器 (ポテンシオメーター) のハンドルの操作も小さくする事になるから、 ( $A_1 P_1$ ) が大きい方が制御成績は良い筈であると考えられるが、実験結果は、必ずしもそうでないことを示している。この事は人間オペレータの適応の良さを示していると考えられる。一般に実験の最初は学習効果が現われて制御成績が良くなると考えられ、また実験の終りに制御成績が悪くなるのは、単純作業に対する嫌気とか、疲労などの表わと思われる。 $Gp'(s) = 1$  と  $Gp'(s) = 1/S+1$  では、制御の難易はほぼ同程度であり、 $1/S$  では、これよりやゝ難かしく、更に  $1/S(S+1), 1/S^2$  の順に制御は困難となってくる。

## 6 あとがき

手動制御系における人間オペレータの特性について調べるには、いろいろの手動制御系 (装置) について実験を行い、いろいろの被験者、沢山の被験者について実験を行い、結論については統計的な処理、デジタル計算機による処理も必要になってくる。

それでもなお人間には適応能力があるので純粋に人間のみの学習特性、伝達関数などを普遍的なものとして明確にすることは不可能な事である。即ちある与えられた手動制御装置に対する人間の特性としてとらえなければならない。

本研究では被験者は僅か20名で、これを更に制御対象によって分けているので、これでは一般的結論とは云えない。

本研究では手動制御系の人間オペレータの特性を研究する際の基礎的考え方を併せ述べたつもりである。

本研究は東北大学福島研究室で福島弘毅教授と竹田宏博士の御指導および研究室の皆さんの御協力の下に行った。記して厚く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 河端克躬：手動制御系における人間の制御特性の研究 学位論文 東北大学昭和43年
- 2) 井口雅一：人間—機械系 共立出版
- 3) 榎木、添田、中溝：統計的自動制御理論 コロナ社
- 4) 東京大学公開講座10：人間と機械 東京大学出版会
- 5) 宮脇一男：人間工学 オーム社