

# 制御工学実験 II

## レベル系の同定

提出者

14104064 下松八重 宏太

共同実験者

14101028 梶野 翔平

14104092 中島 美香

16104311 北山 拓夢

13104119 廣瀬 直人

実験日 2016 年 6 月 21 日

提出日 2016 年 10 月 26 日

## 1 目的

制御対象は、サーボ系とプロセス系の二つに分類出来る。ここでは、過渡応答が遅いプロセス系の一つであるレベル系を取り上げ、流入量および水位をそれぞれ入力及び出力とした制御対象の同定実験を行い、プロセス系の理解を深める。

## 2 原理

まず、図 1 に本実験で用いるレベル系のモデルを示す。ただし、図の記号は

$u$ : タンク 1 への流入量

$q_i$ : タンク  $i$  からの流入量 ( $i = 1, 2$ )

$h_i$ : タンク  $i$  の水位 ( $i = 1, 2$ )

$A_i$ : タンク  $i$  の断面積 ( $i = 1, 2$ )

$R_i$ : 流体抵抗 ( $i = 1, 2$ )

を意味する。

本実験では、タンク 1 への流入量  $u$  を入力とし、タンク 2 の水位  $h_2$  を出力とする制御対象の同定を行う。制御対象の伝達関数は

$$\frac{H_2(s)}{U(s)} = \frac{R_2}{(1 + A_1 R_1 s)(1 + A_2 R_2 s)} x \quad (1)$$

となる。したがって対象とする系は二次遅れ系である。ただし、式 1 の  $U(s)$  および  $H_2(s)$  は、それぞれ  $u$  および  $h_2$  に対応するラプラス変換後の変数である。

つぎに、二次遅れ系のゲインおよび二つの時定数の決定法を述べる。まず、ゲイン  $K$ 、二つの時定数  $T_1, T_2$  の二次遅れ系

$$G(s) = \frac{H(s)}{U(s)} = \frac{K}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)} \quad (2)$$

に、大きさ  $r$  のステップ入力を加えたときの時間応答  $h(t)$  は

$$h(t) = rK \left( 1 + \frac{T_1}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_1}} - \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t}{T_2}} \right) \quad (3)$$

となり、また、応答曲線は図??のようになる。ただし、図の点  $C$  は式 3 の変曲点であり、点  $A$  と点  $B$  はそれぞれ点  $C$  における接線が  $h(t) = 0, h(\infty)$  と交わる点である。また、 $T_A = t_b - t_a, T_B = t_b - t_c$  である。

つぎに、式 3 より次の二式を得る。

$$\dot{h}(t) = \frac{rK}{T_2 - T_1} (-e^{-\frac{t}{T_1}} + e^{-\frac{t}{T_2}}) \quad (4)$$

$$\ddot{h}(t) = \frac{rK}{T_2 - T_1} (-e^{\frac{1}{T_1} \frac{t}{T_1}} + \frac{1}{T_2} e^{-\frac{t}{T_2}}) \quad (5)$$

ここで,  $h(\ddot{t}_c) = 0$  より,

$$T_2 e^{-\frac{t_c}{T_1}} = T_1 e^{\frac{t_c}{T_2}} \quad (6)$$

$$t_c = \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}} \quad (7)$$

さらに, 接線  $AB, CB$  についてそれぞれの傾きについて考えると, 式 5 と図??より次の二式を得る.

$$\frac{rK}{T_2 - T_1} \left( -e^{-\frac{t_c}{T_1}} + e^{-\frac{t_c}{T_2}} \right) = \frac{rK}{T_A} \quad (8)$$

$$\frac{rK - h(t_c)}{T_C} = \frac{rK}{T_A} \quad (9)$$

式 6, 8 より

$$\frac{T_A}{T_1} e^{-\frac{t_c}{T_1}} = 1 \quad (10)$$

となり, 式 10 に式 7 を代入すると次式を得る.

$$\frac{T_A}{T_1} \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{-\frac{T_2}{T_2 - T_1}} = 1 \quad (11)$$

また, 式 3, 8, 9 より,

$$T_2 e^{-\frac{t_c}{T_2}} - T_1 e^{-\frac{t_c}{T_1}} = T_C e^{-\frac{t_c}{T_2}} - T_C e^{-\frac{t_c}{T_1}} \quad (12)$$

となるので, 式 12 に式 6 を代入すると次式を得る.

$$T_2 + T_1 = T_C \quad (13)$$

したがって, 式 11, 13 を用いて,  $T_A, T_C$  から  $T_1, T_2$  を求める事が出来る. 式 11, 13 より

$$\frac{T_A}{T_1} \left( \frac{\frac{T_2}{T_A}}{\frac{T_1}{T_A}} \right)^{\frac{\frac{T_2}{T_A}}{\frac{T_2}{T_A} - \frac{T_1}{T_A}}} = 1 \quad (14)$$

$$\frac{T_C}{T_A} = \frac{T_1}{T_A} + \frac{T_2}{T_A} \quad (15)$$

を得るので,

$$x \equiv \frac{T_1}{T_A}, \quad y \equiv \frac{T_2}{T_A}, \quad \alpha \equiv \frac{T_C}{T_A}, \quad (16)$$

と定義すると, 式 14, 15 は,

$$\frac{1}{x} \left( \frac{y}{x} \right)^{-\frac{y}{y-x}} = 1 \quad (17)$$

$$\alpha = x + y \quad (18)$$

となる．また，式 17 より

$$x \log x = y \log y \quad (19)$$

を得る．この式 19 のデータを表 1 に示す．式 18 の  $\alpha$  が与えられれば，図 1 に示すように，式 18 と式 19 の交点の  $x$  座標  $x_1, x_2$  が得られる．したがって， $x_1, x_2$  を用いることにより，式 16 より制御対象の二つの時定数  $T_1, T_2$  を求めることが出来る．

表 1 式 (2.19) のデータ

| $x$ | $y$   |
|-----|-------|
| 0   | 1     |
| 0.1 | 0.73  |
| 0.2 | 0.57  |
| 0.3 | 0.44  |
| 0.4 | 0.34  |
| 0.5 | 0.25  |
| 0.6 | 0.18  |
| 0.7 | 0.12  |
| 0.8 | 0.065 |
| 0.9 | 0.025 |
| 1   | 0     |

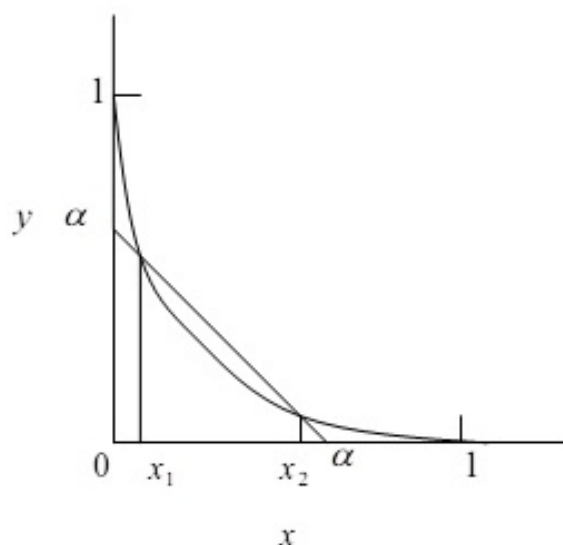


図1 式(2.18)と式(2.19)の関係

### 3 実験装置

まず，図2及び表2にレベル実験装置の構成及び仕様を示す．計算機からD/A変換器を介して入力される電流値によって制御バルブMV1の開度が変化し，このバルブ開度に対応した流量の水がタンク1に入り手動バルブを介してタンク2に流入する．また，タンク2から制御バルブMV3を介して水が排出される．これら入出流量に依存するタンクの水位は差圧変換器によって計測さ

表2 装置の仕様

| 装置        | 数 | 仕様  |
|-----------|---|---|
| タンク1      | 1 | 高さ 1000 [mm]，内径 220 [mm]                                  |
| タンク2      | 1 | 高さ 1500 [mm]，内径 320 [mm]                                  |
| 電流比例制御弁   | 3 | 弁開度信号入力：4～20 [mA]，全開-全閉時間：17 [s] 以下，<br>電源：24 [VDC] ± 10% |
| 流量計       | 3 | オープンコレクタ出力，0.1 [l/Pulse]                                  |
| 差圧変換器     | 2 | 容量：200 [gf/cm <sup>2</sup> ]                              |
| A/D 変換ボード | 1 | 入力：8CH，0～10 [V]，分解能：12 [bit]                              |
| D/A 変換ボード | 1 | 出力：4CH，4～20 [mA]，分解能：12 [bit]，変換速度：10 [μs/CH]             |
| パルスカウンタ   | 1 | 4CH，24 [bit] up/down counter，外部入力：非絶縁 TTL 入力              |
| コンピュータ    | 1 | NEC PC9801RX  |

れ，D/A 変換器を介して計算機に伝送される．

## 4 実験方法

以下の手順で実験準備を行った．ただし，以下の手順 1 から 5 は実験指導担当者が行った．

1. 配電盤のレベル系のスイッチを入れる．

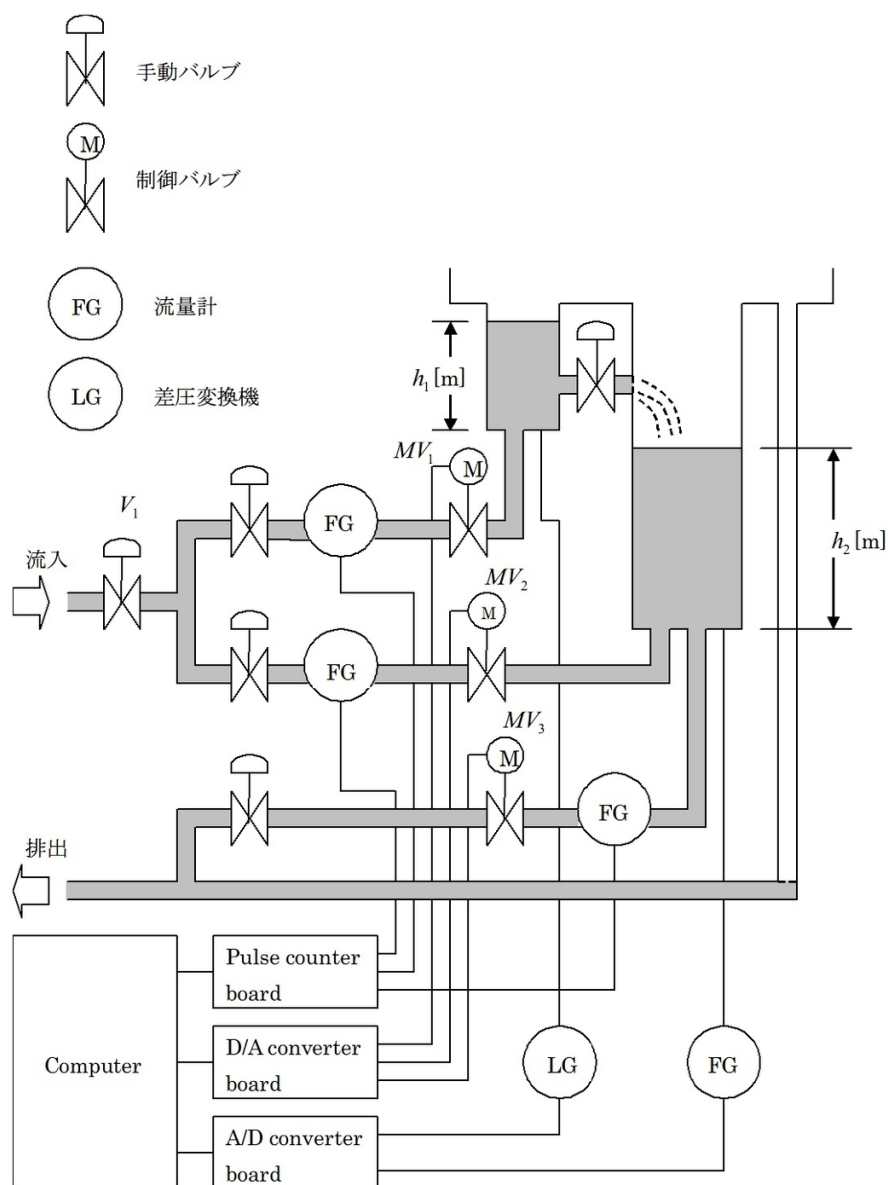


図 2 実験装置の構成

2. コンピュータの電源を入れる．
3. 実験装置の電源スイッチを入れる．
4. 給水用バルブ  $V_1$  を開く．
5. 実験用プログラムを起動して以下の操作を行う．本実験では USER3 のホームディレクトリ exp3 に格納されている下記の 2 種のプログラムを使用する．
  - (a) expapp：差圧変換器特性の調査実験と流量の調整，タンク 2 の水抜きを行う．
  - (b) step：開ループ実験用プログラム．
6. プログラム expapp を実行し以下の操作を行う．
  - (a) 排水用電磁弁 MV3 への入力を 20 [mA] とし全開にする．
  - (b) 入水用電磁弁 MV1 への入力を 20 [mA] とし全開にする．
  - (c) 流量計の指示値が 30 [l/min] になるように手動でバルブ  $V_1$  を調整する．
 操作用コンピュータのディスプレイに表示される図中の記号の意味を表 3 に示す．

#### 4.1 差圧変換器特性の調査実験

以下の手順で差圧変換器特性の調査実験を行った．

1. プログラム expapp を起動する．
2. タンク 2 の定常水位が目的の初期水位となるよう入水用制御弁 MV2 を調整する．
3. 目的の定常水位におけるタンク 2 の差圧変換器出力電圧を記録する．
4. 手順 (2) と (3) を水位がおおよそ 60 [cm] となるまで繰り返す．
5. 差圧変換器の出力電圧と水位の関係のグラフを描く．

表 3 expapp における表示の意味

| 表記        | 意味                  | 備考                        |
|-----------|---------------------|---------------------------|
| MV1       | タンク 1 注水用電磁バルブ指令電流値 | 4 [mA] から 20 [mA]         |
| MV2       | タンク 2 注水用電磁バルブ指令電流値 | 4 [mA] から 20 [mA]         |
| MV3       | タンク 2 排水用電磁バルブ指令電流値 | 4 [mA] から 20 [mA]         |
| SAMPLING  | サンプリング時間            | 1 [s] から 3 [s] まで三段階で設定可能 |
| APPLY     | 設定値の変更を適用           |                           |
| SV* [mA]  | 電磁バルブ指令電流の設定値       | 実験前に表示                    |
| PV* [mA]  | 電磁バルブ指令電流の現在地       | 実験中に表示                    |
| * [l/min] | 流量値                 |                           |
| * [V]     | 差圧変換器出力             |                           |
| IN        | 入水経路                |                           |
| OUT       | 排水経路                |                           |

## 4.2 ステップ応答実験

以下の手順でステップ応答実験を行った。

1. プログラム step を起動する。
2. プログラムの指示に従い (1) 制御弁の初期値, (2) 変化量, (3) サンプリング周期を入力する。
3. [APPLY AND START] をクリックして実験を開始する。
4. タンク 2 の水位が定常値に収束した後に [Recording Start] をクリックする。10 サンプルステップの後に手順 (2) で与えた変化量の値だけさらに制御弁が開き, タンク 2 の差圧変換器出力の計測が開始される。
5. 差圧変換器出力が定常値に収束した後に [STOP] をクリックし, データを保存する。

## 5 結果

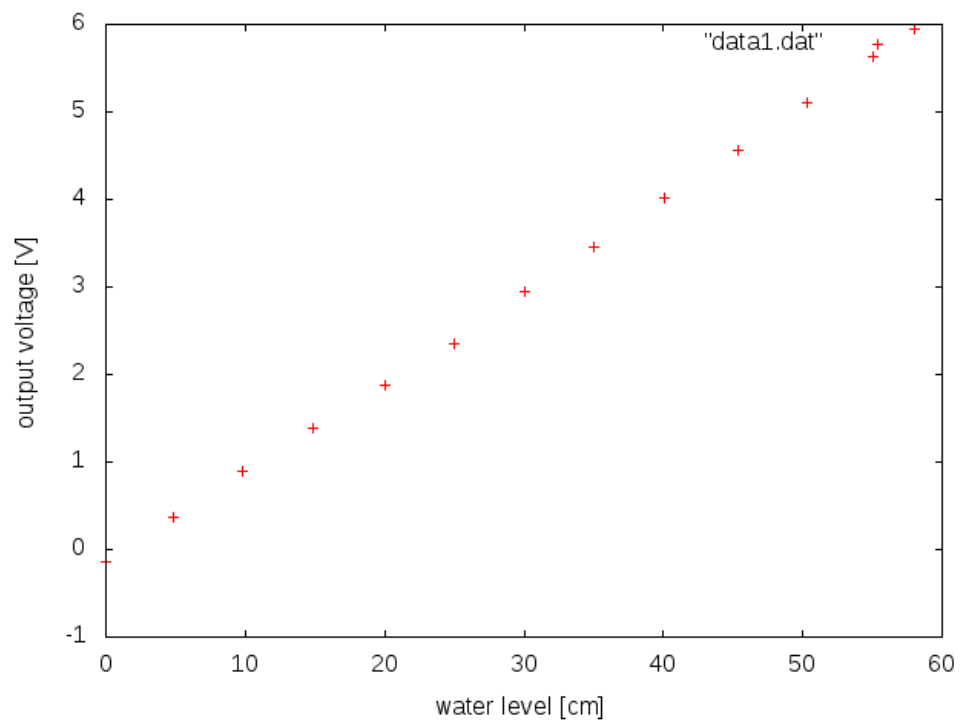
### 5.1 差圧変換器特性の調査実験

タンク 2 の水位と出力電圧を 0[cm] から 58[cm] まで 5[cm] ごとに記録した。その結果を表 4, 図??に示す。

表 4 差圧変換器特性の実験結果

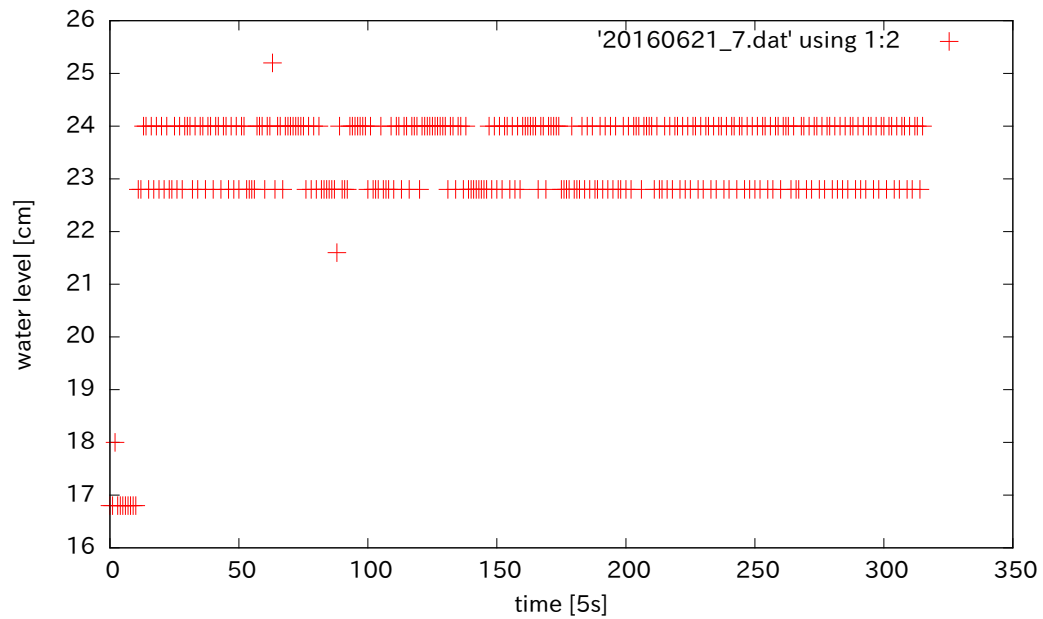
| 水位   | 出力電圧  |
|------|-------|
| 0    | -0.14 |
| 4.8  | 0.374 |
| 9.8  | 0.901 |
| 14.9 | 1.385 |
| 20   | 1.883 |
| 25   | 2.352 |
| 30.1 | 2.947 |
| 35   | 3.455 |
| 40.1 | 4.022 |
| 45.4 | 4.564 |
| 50.3 | 5.106 |
| 55.1 | 5.624 |
| 58   | 5.951 |





## 5.2 ステップ応答実験

制御弁の初期値を  $8[mA]$  , 変化量を  $1[mA]$  , サンプル周期を  $5[sec]$  として実験を行った .  
得られたデータより時間-流入量グラフと時間-出力電圧のグラフを作製した . それぞれ図 3,4 に示す .



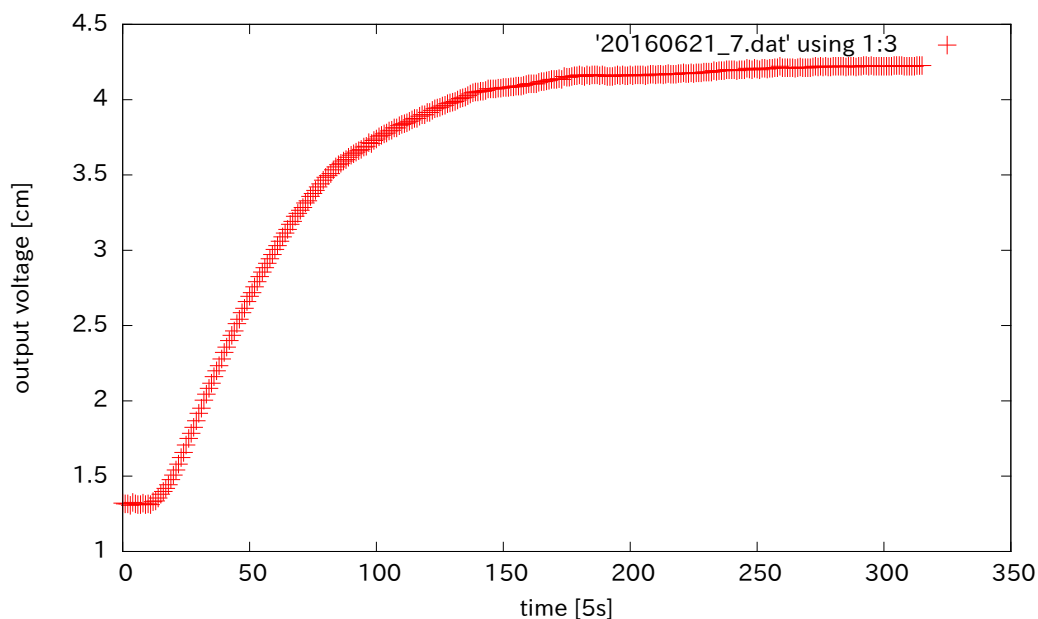


図 4 時間-出力電圧グラフ

## 6 考察及び課題

### 6.1 差圧変換器特性の調査実験について

得られたデータより，最小二乗法を用いて近似直線を求める．図??のグラフについて  $y = ax + b$  とおくと，最小二乗法より  $a$  ,  $b$  はそれぞれ以下のように表せる．

$$a = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (20)$$

$$b = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i y_i \sum x_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (21)$$

これらの式より ,  $a \simeq 0.1046$  ,  $b \simeq -0.1714$  となり , よって , 差圧変換器出力-水位特性の関係式は ,

$$y = 0.1046x - 0.1714 \quad (22)$$

である．実験 1 のデータ点と共にグラフに表したものを図 5 に示す．

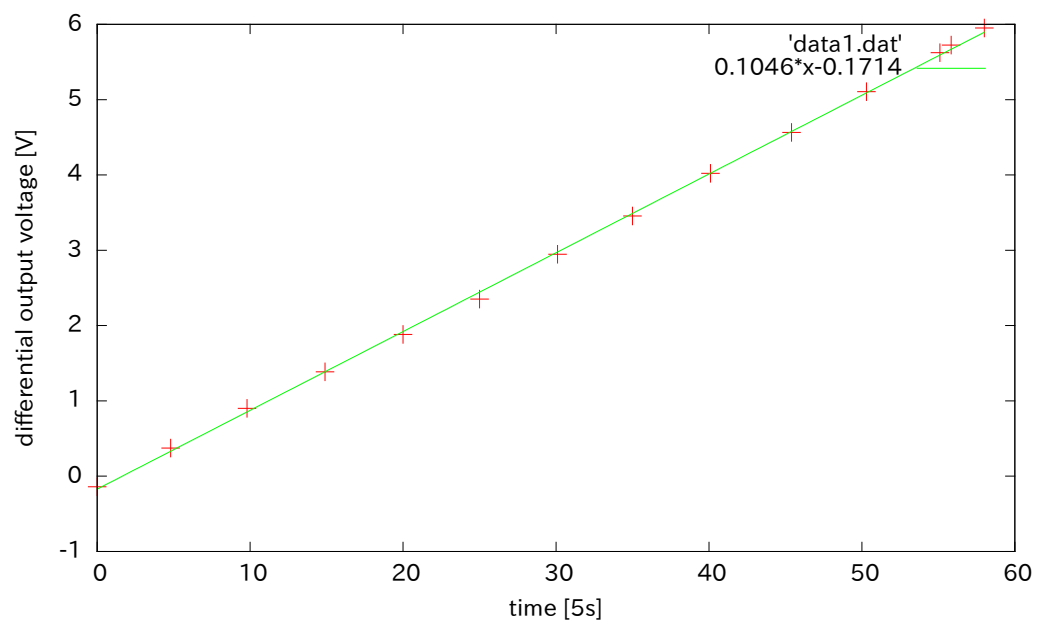


図 5 差圧変換器特性の調査実験の結果と近似曲線

## 6.2 差圧変換器特性について

図 4 の変曲点を見つけるためにそれぞれの点において次の点との差をとり，それが最も大きい点を変曲点とした．これより，変曲点を  $T_c = 155[\text{sec}]$  とした．これより，接線は

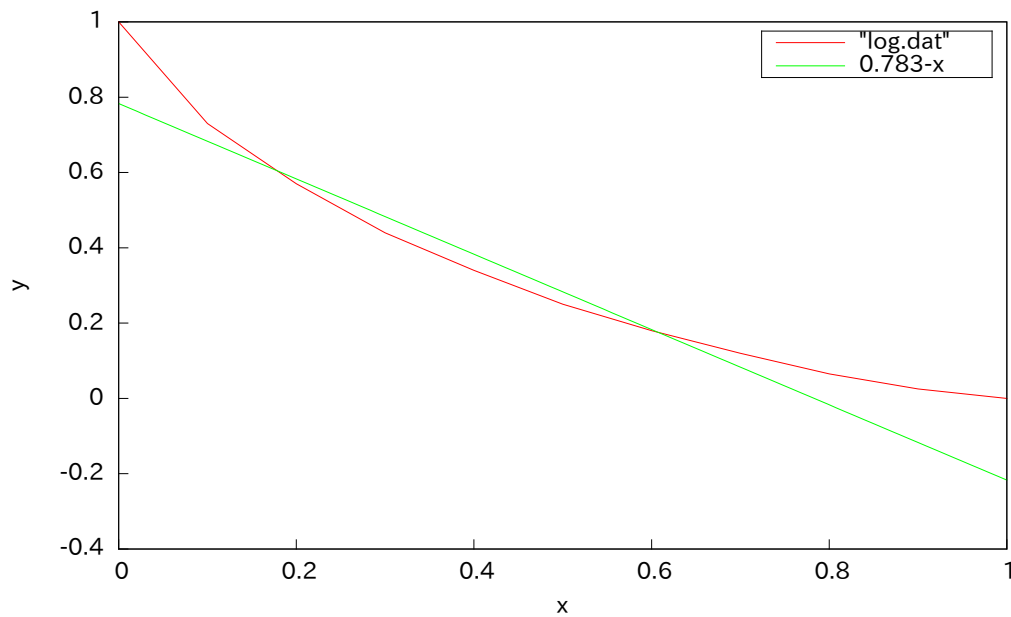
$$y = ax + 1.321 - 31a \quad (23)$$

と求まる．接線として相応しい  $a$  を設定し， $a = 0.03$  とした．これと  $y = 4.227, y = 1.321$  との交点より， $t_a, t_b$  を求めると， $t_a = 50, t_b = 534$  となり，これより  $T_A, T_C$  は以下ようになった．

$$T_A = t_b - t_a = 484 \quad (24)$$

$$T_C = t_b - t_c = 379 \quad (25)$$

式 16 より， $\alpha \simeq 0.783$  となる．ここで，式 19 は解析的な解を求めるのが困難なため，表 2 よりデータをプロットし， $y = 0.783 - x$  との交点における  $x_1, x_2$  をグラフより求める．結果をグラフに表した物を図??に示す．



これより， $x_1 = 0.19, x_2 = 0.6$  として，式 18, 19 より  $T_1, T_2$  を求めると， $T_1 = 91.96, T_2 = 290.4$  である．式 3 より， $t \rightarrow \infty$  として，

$$h(\infty) = rK = 4.227 - 1.321 = 2.906 \quad (26)$$

## 5 結果

### 5.1 差圧変換器特性の調査実験

実験で得られたグラフを図 6 に示す。

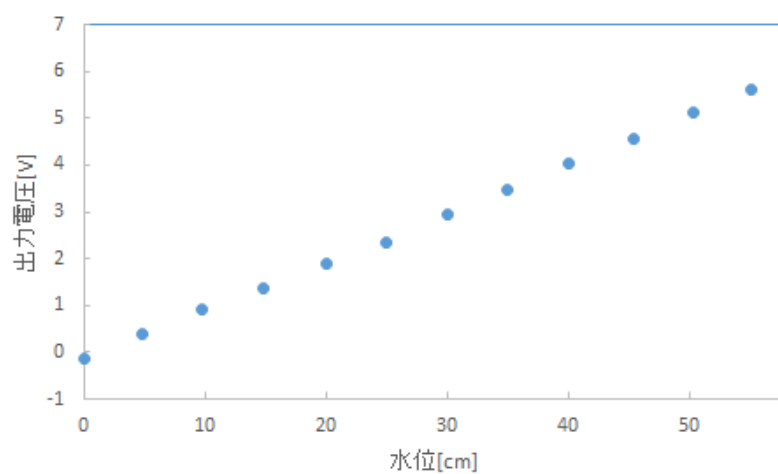


図 6 差圧変換器の出力電圧と水位の関係

## 5.2 ステップ応答実験

得られたグラフを図 7,8 に示す .

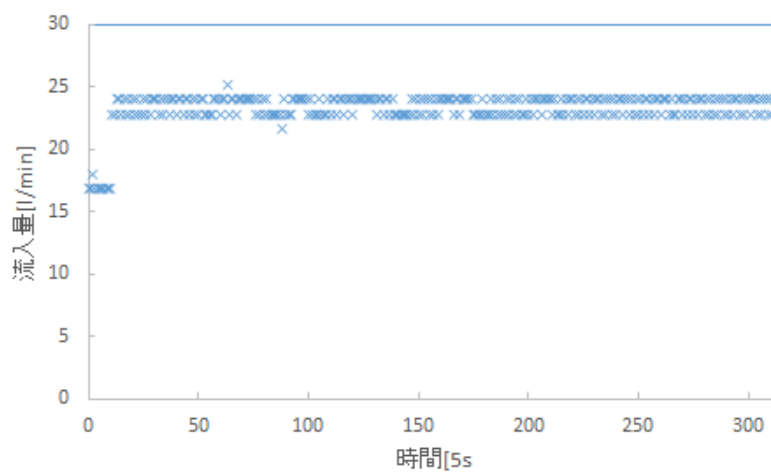


図 7 時間-流入量グラフ

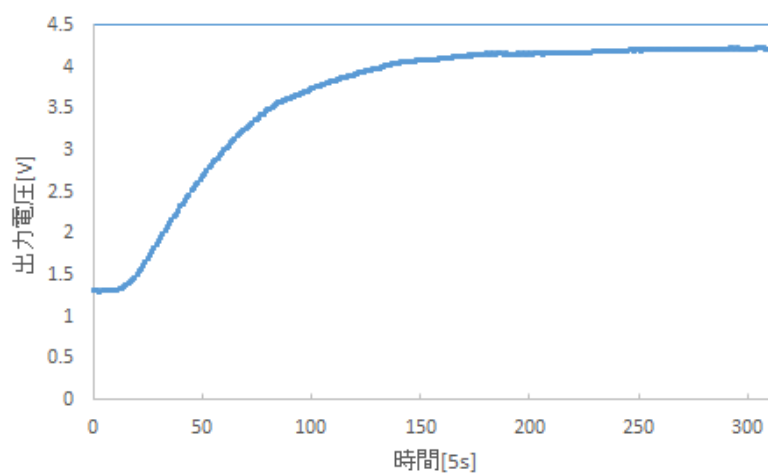


図 8 時間-出力電圧グラフ

## 6 考察について

### 6.1 差圧変換器特性の実験結果について

求めた近似直線をグラフにしたものを図 9 に示す．

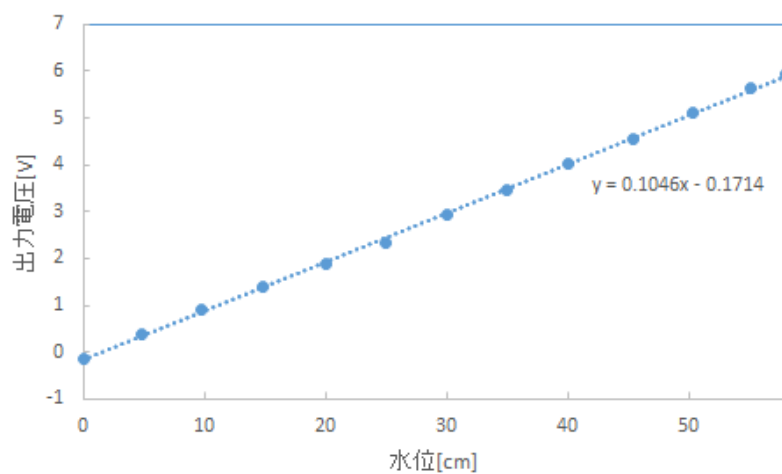


図 9 差圧変換器特性の調査実験の結果と近似曲線



## 6.2 差圧変換器特性について

$\alpha = 0.783$  より, 式 19 との関係をグラフにしたものを図 10 に示す.

式 26 より

$$h(\infty) = rK = 4.227 - 1.321 = 2.906 \quad (27)$$

ここで, 図 7 より,  $r = (23.5 - 16.8) \div 60 = 0.11$  として,  $K \simeq 26.18$ .

よって, 流入量から差圧変換器出力への伝達関数  $G_1(s)$  は

$$G_1(s) = \frac{26.18}{(1 + 91.96s)(1 + 290.4s)} \quad (28)$$

である.

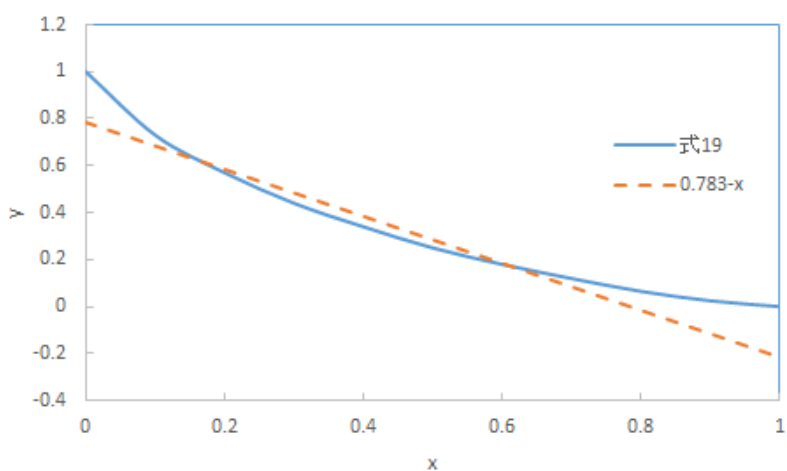


図 10 式 19 と  $y = 0.783 - x$

### 6.3 流入量から水位への伝達関数

実験 1 および 2 の結果から，流入量を入力，タンク 2 の水位を出力とした伝達関数  $G_2(s)$  を求める．伝達関数は初期値を 0 と置くため，式 22 より

$$v(t) = 0.1046h(t) \quad (29)$$

である．これをラプラス変換すると

$$V(s) = 0.1046H(s) \quad (30)$$

となる．これより，伝達関数  $G_2(s)$  は

$$G_2(s) = \frac{H(s)}{U(s)} = \frac{H(s)}{V(s)}G_1(s) \simeq \frac{250.3}{(1 + 91.96s)(1 + 290.4s)} \quad (31)$$

となる．

### 6.4 伝達関数の妥当性

求めた伝達関数について， $G_2(s)$  に大きさ  $r = 0.11$  のステップ入力を加えたときの時間応答は，初期値も考慮して，

$$\begin{aligned} h(t) &= 2.906\left(1 + \frac{91.96}{290.4 - 91.96}e^{-\frac{t}{91.96}} - \frac{290.4}{290.4 - 91.96}e^{-\frac{t}{290.4}}\right) - 0.1714 \\ &= 29.06\left(1 + 0.783e^{-\frac{t}{91.96}} - 1.783e^{-\frac{t}{290.4}}\right) + 14.2 \end{aligned}$$

となった．

この式から時間-水位グラフを作成し，また差圧変換器-水位特性の近似直線を用いて実験で得られたデータから時間-水位グラフを作成した．図 11 に示す．グラフより，定常値には大きな誤差は見られないが，立ち上がり時間において誤差が大きくなっている．また，立ち上がり時間は同定結果のほうが遅い．つまり，同定した伝達関数はゲインに関しては精度よく同定できているが，時定数については実際よりも小さいことがわかる．

時定数に誤差が生じた原因としては式 19 の解析解を求めることが困難なためにデータ点を用いたことや， $T_1, T_2$  を求めるためにグラフから  $x_1, x_2$  を求める際に誤差が生じたためと考えられる．

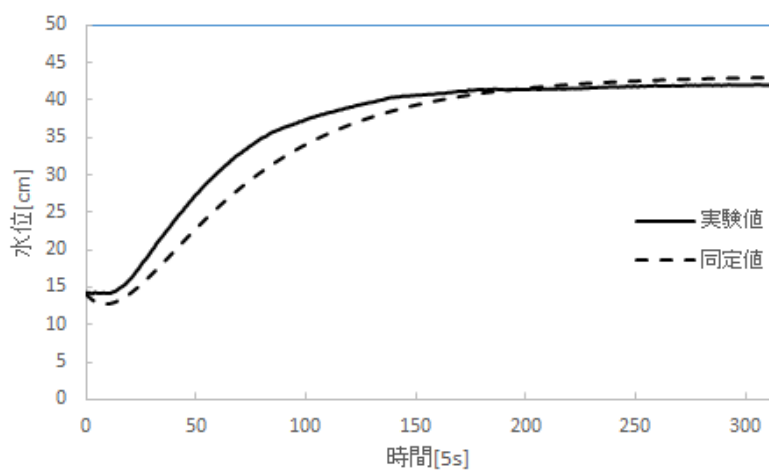


図 11 実験値と同定値

## 7 まとめ

レベル系の同定実験を行うことで、プロセス系への理解が深まった。

表 5: 実験結果

| 時間 [5s] | 流入量 [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] | 出力電圧 [V] |
|---------|-------------------------------|----------|
| 0.000   | 16.800                        | 1.321    |
| 1.000   | 16.800                        | 1.316    |
| 2.000   | 18.000                        | 1.316    |
| 3.000   | 16.800                        | 1.306    |
| 4.000   | 16.800                        | 1.326    |
| 5.000   | 16.800                        | 1.316    |
| 6.000   | 16.800                        | 1.311    |
| 7.000   | 16.800                        | 1.311    |
| 8.000   | 16.800                        | 1.321    |
| 9.000   | 16.800                        | 1.311    |
| 10.000  | 16.800                        | 1.316    |
| 11.000  | 22.800                        | 1.311    |
| 12.000  | 22.800                        | 1.331    |
| 13.000  | 24.000                        | 1.336    |
| 14.000  | 24.000                        | 1.355    |
| 15.000  | 22.800                        | 1.380    |
| 16.000  | 24.000                        | 1.399    |
| 17.000  | 22.800                        | 1.419    |
| 18.000  | 24.000                        | 1.443    |
| 19.000  | 22.800                        | 1.477    |
| 20.000  | 24.000                        | 1.507    |
| 21.000  | 22.800                        | 1.541    |
| 22.000  | 24.000                        | 1.580    |
| 23.000  | 22.800                        | 1.624    |
| 24.000  | 22.800                        | 1.658    |
| 25.000  | 24.000                        | 1.707    |
| 26.000  | 22.800                        | 1.751    |
| 27.000  | 24.000                        | 1.785    |
| 28.000  | 22.800                        | 1.824    |
| 29.000  | 24.000                        | 1.868    |
| 30.000  | 24.000                        | 1.917    |
| 31.000  | 24.000                        | 1.951    |

付録

|        |        |       |
|--------|--------|-------|
| 32.000 | 22.800 | 2.005 |
| 33.000 | 24.000 | 2.044 |
| 34.000 | 22.800 | 2.083 |
| 35.000 | 24.000 | 2.117 |
| 36.000 | 24.000 | 2.161 |
| 37.000 | 22.800 | 2.200 |
| 38.000 | 24.000 | 2.234 |
| 39.000 | 24.000 | 2.278 |
| 40.000 | 22.800 | 2.322 |
| 41.000 | 24.000 | 2.357 |
| 42.000 | 24.000 | 2.400 |
| 43.000 | 22.800 | 2.435 |
| 44.000 | 24.000 | 2.464 |
| 45.000 | 24.000 | 2.513 |
| 46.000 | 22.800 | 2.542 |
| 47.000 | 24.000 | 2.586 |
| 48.000 | 22.800 | 2.615 |
| 49.000 | 24.000 | 2.659 |
| 50.000 | 22.800 | 2.694 |
| 51.000 | 24.000 | 2.718 |
| 52.000 | 24.000 | 2.757 |
| 53.000 | 22.800 | 2.791 |
| 54.000 | 22.800 | 2.825 |
| 55.000 | 22.800 | 2.855 |
| 56.000 | 22.800 | 2.884 |
| 57.000 | 24.000 | 2.913 |
| 58.000 | 24.000 | 2.943 |
| 59.000 | 24.000 | 2.972 |
| 60.000 | 22.800 | 3.006 |
| 61.000 | 24.000 | 3.031 |
| 62.000 | 24.000 | 3.060 |
| 63.000 | 25.200 | 3.089 |
| 64.000 | 22.800 | 3.114 |
| 65.000 | 24.000 | 3.138 |
| 66.000 | 24.000 | 3.172 |

付録

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| 67.000  | 22.800 | 3.192 |
| 68.000  | 24.000 | 3.226 |
| 69.000  | 24.000 | 3.245 |
| 70.000  | 24.000 | 3.265 |
| 71.000  | 24.000 | 3.284 |
| 72.000  | 24.000 | 3.314 |
| 73.000  | 24.000 | 3.328 |
| 74.000  | 24.000 | 3.358 |
| 75.000  | 24.000 | 3.377 |
| 76.000  | 22.800 | 3.397 |
| 77.000  | 24.000 | 3.421 |
| 78.000  | 22.800 | 3.441 |
| 79.000  | 24.000 | 3.465 |
| 80.000  | 22.800 | 3.485 |
| 81.000  | 24.000 | 3.495 |
| 82.000  | 22.800 | 3.509 |
| 83.000  | 22.800 | 3.534 |
| 84.000  | 22.800 | 3.553 |
| 85.000  | 22.800 | 3.568 |
| 86.000  | 22.800 | 3.578 |
| 87.000  | 22.800 | 3.592 |
| 88.000  | 21.600 | 3.602 |
| 89.000  | 24.000 | 3.617 |
| 90.000  | 22.800 | 3.631 |
| 91.000  | 22.800 | 3.641 |
| 92.000  | 22.800 | 3.651 |
| 93.000  | 24.000 | 3.661 |
| 94.000  | 24.000 | 3.670 |
| 95.000  | 24.000 | 3.685 |
| 96.000  | 24.000 | 3.690 |
| 97.000  | 24.000 | 3.714 |
| 98.000  | 24.000 | 3.709 |
| 99.000  | 24.000 | 3.729 |
| 100.000 | 22.800 | 3.739 |
| 101.000 | 24.000 | 3.753 |

付録

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| 102.000 | 22.800 | 3.763 |
| 103.000 | 22.800 | 3.773 |
| 104.000 | 22.800 | 3.778 |
| 105.000 | 24.000 | 3.792 |
| 106.000 | 22.800 | 3.797 |
| 107.000 | 22.800 | 3.812 |
| 108.000 | 22.800 | 3.812 |
| 109.000 | 24.000 | 3.827 |
| 110.000 | 22.800 | 3.836 |
| 111.000 | 24.000 | 3.841 |
| 112.000 | 24.000 | 3.846 |
| 113.000 | 22.800 | 3.856 |
| 114.000 | 24.000 | 3.866 |
| 115.000 | 24.000 | 3.875 |
| 116.000 | 22.800 | 3.875 |
| 117.000 | 24.000 | 3.890 |
| 118.000 | 24.000 | 3.900 |
| 119.000 | 24.000 | 3.900 |
| 120.000 | 22.800 | 3.915 |
| 121.000 | 24.000 | 3.915 |
| 122.000 | 24.000 | 3.929 |
| 123.000 | 24.000 | 3.939 |
| 124.000 | 24.000 | 3.944 |
| 125.000 | 24.000 | 3.949 |
| 126.000 | 24.000 | 3.958 |
| 127.000 | 24.000 | 3.963 |
| 128.000 | 24.000 | 3.973 |
| 129.000 | 24.000 | 3.978 |
| 130.000 | 24.000 | 3.983 |
| 131.000 | 22.800 | 3.988 |
| 132.000 | 24.000 | 3.998 |
| 133.000 | 24.000 | 4.007 |
| 134.000 | 22.800 | 4.012 |
| 135.000 | 24.000 | 4.017 |
| 136.000 | 24.000 | 4.027 |

付録

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| 137.000 | 22.800 | 4.037 |
| 138.000 | 24.000 | 4.046 |
| 139.000 | 22.800 | 4.051 |
| 140.000 | 22.800 | 4.051 |
| 141.000 | 22.800 | 4.056 |
| 142.000 | 22.800 | 4.056 |
| 143.000 | 22.800 | 4.061 |
| 144.000 | 22.800 | 4.071 |
| 145.000 | 22.800 | 4.071 |
| 146.000 | 22.800 | 4.071 |
| 147.000 | 24.000 | 4.071 |
| 148.000 | 22.800 | 4.076 |
| 149.000 | 24.000 | 4.076 |
| 150.000 | 22.800 | 4.081 |
| 151.000 | 24.000 | 4.081 |
| 152.000 | 22.800 | 4.081 |
| 153.000 | 24.000 | 4.085 |
| 154.000 | 24.000 | 4.085 |
| 155.000 | 22.800 | 4.090 |
| 156.000 | 24.000 | 4.090 |
| 157.000 | 22.800 | 4.090 |
| 158.000 | 24.000 | 4.095 |
| 159.000 | 22.800 | 4.100 |
| 160.000 | 24.000 | 4.105 |
| 161.000 | 24.000 | 4.105 |
| 162.000 | 24.000 | 4.105 |
| 163.000 | 24.000 | 4.105 |
| 164.000 | 24.000 | 4.115 |
| 165.000 | 24.000 | 4.120 |
| 166.000 | 22.800 | 4.120 |
| 167.000 | 24.000 | 4.125 |
| 168.000 | 24.000 | 4.129 |
| 169.000 | 22.800 | 4.134 |
| 170.000 | 24.000 | 4.134 |
| 171.000 | 24.000 | 4.134 |



付録

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| 172.000 | 24.000 | 4.139 |
| 173.000 | 24.000 | 4.134 |
| 174.000 | 24.000 | 4.154 |
| 175.000 | 22.800 | 4.149 |
| 176.000 | 22.800 | 4.149 |
| 177.000 | 22.800 | 4.154 |
| 178.000 | 22.800 | 4.159 |
| 179.000 | 24.000 | 4.159 |
| 180.000 | 22.800 | 4.164 |
| 181.000 | 22.800 | 4.159 |
| 182.000 | 22.800 | 4.154 |
| 183.000 | 24.000 | 4.164 |
| 184.000 | 22.800 | 4.159 |
| 185.000 | 24.000 | 4.164 |
| 186.000 | 22.800 | 4.164 |
| 187.000 | 24.000 | 4.164 |
| 188.000 | 22.800 | 4.159 |
| 189.000 | 22.800 | 4.164 |
| 190.000 | 24.000 | 4.159 |
| 191.000 | 22.800 | 4.154 |
| 192.000 | 24.000 | 4.154 |
| 193.000 | 22.800 | 4.154 |
| 194.000 | 24.000 | 4.159 |
| 195.000 | 22.800 | 4.164 |
| 196.000 | 24.000 | 4.159 |
| 197.000 | 22.800 | 4.164 |
| 198.000 | 22.800 | 4.159 |
| 199.000 | 24.000 | 4.159 |
| 200.000 | 22.800 | 4.164 |
| 201.000 | 24.000 | 4.159 |
| 202.000 | 22.800 | 4.164 |
| 203.000 | 24.000 | 4.164 |
| 204.000 | 24.000 | 4.164 |
| 205.000 | 24.000 | 4.164 |
| 206.000 | 22.800 | 4.159 |

付録

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| 207.000 | 24.000 | 4.164 |
| 208.000 | 24.000 | 4.168 |
| 209.000 | 24.000 | 4.168 |
| 210.000 | 24.000 | 4.164 |
| 211.000 | 22.800 | 4.168 |
| 212.000 | 24.000 | 4.168 |
| 213.000 | 22.800 | 4.164 |
| 214.000 | 22.800 | 4.168 |
| 215.000 | 24.000 | 4.173 |
| 216.000 | 22.800 | 4.168 |
| 217.000 | 24.000 | 4.168 |
| 218.000 | 22.800 | 4.168 |
| 219.000 | 24.000 | 4.173 |
| 220.000 | 24.000 | 4.173 |
| 221.000 | 22.800 | 4.178 |
| 222.000 | 24.000 | 4.173 |
| 223.000 | 22.800 | 4.173 |
| 224.000 | 24.000 | 4.178 |
| 225.000 | 22.800 | 4.173 |
| 226.000 | 24.000 | 4.178 |
| 227.000 | 24.000 | 4.178 |
| 228.000 | 22.800 | 4.178 |
| 229.000 | 24.000 | 4.183 |
| 230.000 | 22.800 | 4.183 |
| 231.000 | 24.000 | 4.183 |
| 232.000 | 24.000 | 4.183 |
| 233.000 | 22.800 | 4.193 |
| 234.000 | 24.000 | 4.188 |
| 235.000 | 22.800 | 4.193 |
| 236.000 | 24.000 | 4.193 |
| 237.000 | 24.000 | 4.193 |
| 238.000 | 22.800 | 4.198 |
| 239.000 | 24.000 | 4.198 |
| 240.000 | 22.800 | 4.198 |
| 241.000 | 24.000 | 4.198 |

付録

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| 242.000 | 24.000 | 4.193 |
| 243.000 | 22.800 | 4.198 |
| 244.000 | 24.000 | 4.198 |
| 245.000 | 24.000 | 4.198 |
| 246.000 | 22.800 | 4.208 |
| 247.000 | 24.000 | 4.203 |
| 248.000 | 22.800 | 4.198 |
| 249.000 | 24.000 | 4.208 |
| 250.000 | 22.800 | 4.203 |
| 251.000 | 24.000 | 4.198 |
| 252.000 | 22.800 | 4.208 |
| 253.000 | 24.000 | 4.208 |
| 254.000 | 24.000 | 4.203 |
| 255.000 | 22.800 | 4.208 |
| 256.000 | 24.000 | 4.208 |
| 257.000 | 22.800 | 4.212 |
| 258.000 | 24.000 | 4.212 |
| 259.000 | 24.000 | 4.222 |
| 260.000 | 22.800 | 4.212 |
| 261.000 | 24.000 | 4.212 |
| 262.000 | 24.000 | 4.212 |
| 263.000 | 24.000 | 4.212 |
| 264.000 | 22.800 | 4.212 |
| 265.000 | 24.000 | 4.208 |
| 266.000 | 22.800 | 4.212 |
| 267.000 | 22.800 | 4.217 |
| 268.000 | 24.000 | 4.212 |
| 269.000 | 24.000 | 4.212 |
| 270.000 | 22.800 | 4.212 |
| 271.000 | 24.000 | 4.212 |
| 272.000 | 22.800 | 4.217 |
| 273.000 | 24.000 | 4.222 |
| 274.000 | 24.000 | 4.217 |
| 275.000 | 22.800 | 4.222 |
| 276.000 | 24.000 | 4.217 |

付録

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| 277.000 | 22.800 | 4.222 |
| 278.000 | 24.000 | 4.217 |
| 279.000 | 24.000 | 4.217 |
| 280.000 | 22.800 | 4.222 |
| 281.000 | 24.000 | 4.222 |
| 282.000 | 22.800 | 4.222 |
| 283.000 | 24.000 | 4.222 |
| 284.000 | 22.800 | 4.222 |
| 285.000 | 24.000 | 4.217 |
| 286.000 | 22.800 | 4.222 |
| 287.000 | 24.000 | 4.222 |
| 288.000 | 24.000 | 4.222 |
| 289.000 | 22.800 | 4.217 |
| 290.000 | 24.000 | 4.222 |
| 291.000 | 22.800 | 4.222 |
| 292.000 | 24.000 | 4.227 |
| 293.000 | 22.800 | 4.227 |
| 294.000 | 24.000 | 4.222 |
| 295.000 | 24.000 | 4.227 |
| 296.000 | 22.800 | 4.222 |
| 297.000 | 24.000 | 4.222 |
| 298.000 | 22.800 | 4.222 |
| 299.000 | 24.000 | 4.222 |
| 300.000 | 24.000 | 4.222 |
| 301.000 | 22.800 | 4.222 |
| 302.000 | 24.000 | 4.222 |
| 303.000 | 24.000 | 4.222 |
| 304.000 | 22.800 | 4.227 |
| 305.000 | 24.000 | 4.227 |
| 306.000 | 22.800 | 4.227 |
| 307.000 | 24.000 | 4.227 |
| 308.000 | 24.000 | 4.222 |
| 309.000 | 22.800 | 4.222 |
| 310.000 | 24.000 | 4.222 |
| 311.000 | 22.800 | 4.222 |

付録

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| 312.000 | 24.000 | 4.222 |
| 313.000 | 24.000 | 4.227 |
| 314.000 | 22.800 | 4.227 |
| 315.000 | 24.000 | 4.227 |