

# ビスコスフィンガリング計測システムの改良の試み

○福永 千佳己 (工学部技術部第一技術系第二班)  
山本 みどり (工学部技術部第一技術系第一班)  
山本 好弘 (工学部技術部第二技術系第四班)

## 1. はじめに

2つの流体の界面現象を解明するための手法としてビスコスフィンガリング現象を利用する方法がある。例えば、試料(高分子溶液)に単位時間当たり一定量の水を加えた際の拡散の様子(フィンガー成長)とその時の水の圧力を測定する方法で行うことができる。

今回、これまで使用してきた計測システムの改良を行い、その試みを報告する。

## 2. 計測システムの概要

計測システムは2枚の透明な板を用いた試料ホルダ、水を送出するためのシリンジポンプ、送出された水の圧力を計測するための圧力トランスミッタ及びデジタル指示計、拡散の様子と圧力値を記録

するためのビデオカメラ及びビデオレコーダから構成されている(図2-1)。

観測する試料は2枚の透明な板の間にセットされる。また、上面の板の中心には水を注入するための穴があり、そこに取り付けたチューブは圧力トランスミッタを介してシリンジポンプへ接続される。圧力トランスミッタからは圧力に比例した電圧が出力されており、その電圧値をデジタル指示計を用いて圧力値として直読することができる。拡散の様子を記録するためのビデオカメラは試料ホルダの下面側を撮影する位置にセットする。その際、圧力値も同時に記録できるように、デジタル指示計の表面をビデオカメラに向けて試料ホルダの上面にセットする。

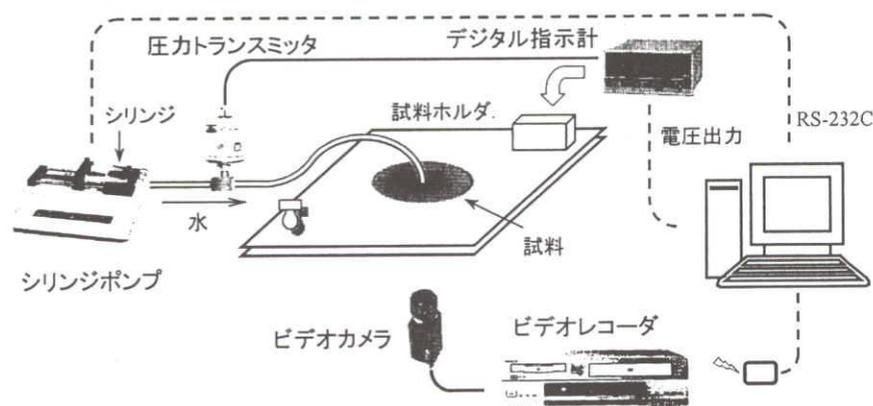


図 2-1 計測システム

### 3. 計測手順

ビスコスフィンガリングの測定は、①ビデオレコーダにて記録開始、②シリンジポンプの起動を行う、③終了条件（水が試料の範囲外へ達する）となった時点でシリンジポンプ、ビデオレコーダを停止する、の順で手動で行う。

### 4. 改良点

この実験に要する時間は長くても数秒と短いにも関わらず、圧力値の計測点が1秒間にたった2.5回と少なく圧力変化を測定するには充分ではない。また、画像データの測定点は1秒間に30フレームあり最低でもこれ以上の測定点が必要と思われる。

また、測定を全て手動で行っているので自動化を行いたい。

### 5. 改良の試み

今使っている個々の器機を調査したところ、デジタル指示計は指示値に比例した圧力が得られるのでPCを使ってA/D変換モード等を組み合わせていることにより圧力値を1秒間に30回がクリアーできるのではないかと考えられる。それにせっきくPCを使うのだからと調べたところシリンジポンプはRS232Cで制御でき、ビデオレコーダは制御用のボードはないが、赤外線リモコンをエミュレートすれば制御できることがわかった。そこで個々について改良の試みを詳しく説明する。

#### 5.1 圧力値の測定回数の改良について

これまでのシステムでは、界面現象と圧力値を記録するためにビデオレコーダを使用していた。その際、画像データは1秒間に30フレーム記録される。そこで

問題となるのは圧力値の表示が1秒間に約2.5回と画像データに比べて1/10の測定回数しか得られないことである。

そこで使用しているデジタル指示計、圧力トランスミッタの仕様（表5.1、5.2）を調べてみると、デジタル指示計から表示値に比例した電圧値が出力されていることが判った。デジタル指示計の表示が4 1/2桁、圧力トランスミッタの圧力レンジが0~0.1 MPaであるので、表示値の最大値は100.00 kPaとなる。その時の電圧出力は表示値の1/10 (mV)となるので、 $10,000 \text{ (表示桁)} \times 1/10 \text{ (mV)} = 1,000 \text{ mV} = 1 \text{ V}$ となる。また、電圧出力がサンプルされたもので無いことを、オシロスコープで出力波形を観測し確認を行った。

表 5-1 デジタル指示計の主な仕様

モデル	GC84-2D1-3
表示	4 1/2 桁
入力信号	4~20 mA DC
サンプリング・レート	約 2.5 回/秒
出力	アナログ出力 (mV) 表示値の 1/10 の電圧出力

表 5-2 圧力トランスミッタの主な仕様

モデル	KH25-133-3511X
圧力レンジ	0~0.1 MPa
出力信号	4~20 mA DC

既存の実験システムに変更を加えずに機能を追加する形で、1秒間に30回以上の圧力値を取得する方法の1つとして、A/D変換器（パソコンとA/D変換ポート）を用いることが考えられる。

A/D変換器を選択するには以下の条件を満たす必要がある。

- ・ 4 1/2 桁 (10,000) を満足する分解能
- ・ 1 秒間に 30 回以上のデータサンプル回

数

分解能については 16 ビット ( $2^{16}$ ) = 65,536 で量子化を行えば、1 ビットあたりの分解能が 0.001523 kPa となる。表示値は小数点 2 桁までとなっているので、16 ビット以上の分解能を持つ A/D 変換器であれば条件を満足することができると思われる。

次にデータサンプル回数であるが、1 秒間に 30 サンプルを行うためのサンプリング間隔は、33.3 ms となる。従って 1 サンプルあたり 33.3ms 以内に変換データをパソコン上に取り込む必要がある。ここで、データを取り込むのに必要となる時間は、A/D 変換器の変換時間とパソコンへのデータ転送時間となる。なお、データ転送速度はパソコンの性能（ハードウェアとソフトウェア）に依存する。

今回のシステム用に用意したパソコンの主な仕様（表 5-3）から判断すると、A/D 変換器の変換速度は  $\mu\text{s}$  以上あれば十分であると推察できる。

表 5-3 パソコンの主な仕様

モデル	
CPU	Pentium 133 MHz
Memory	32 Mbyte
OS	Windows 95

今回の試みでは、条件を満足できる A/D 変換器が用意できなかったため、今回の使用した A/D 変換器の仕様（表 5-4）を示す。分解能は、12 ビットしかないため、分解能は 2.44 kPa となる。なお、変換時間についてはチャンネル固定で 25  $\mu\text{s}$  となっており、条件を満足できる。

A/D 変換器の動作検証を行うためのプログラムを Visual Basic で作成した。A/D 変換器からデータを読み込む際の大まか

な手順を以下に示す（図 5-1）。

表 5-4 A/D 変換ボードの主な仕様

モデル	aiSA-A57S14
A/D 変換分解能	12 ビット
A/D 変換速度	25 $\mu\text{s}$ : チャンネル固定 45 $\mu\text{s}$ : チャンネル切替
入力チャンネル数	8 : シングルエンド入力
入力電圧レンジ	ユニポーラ : 0~10 V
サンプリング・モード	内蔵タイマ : 30 $\mu\text{s}$ ~120 s 外部トリガ入力

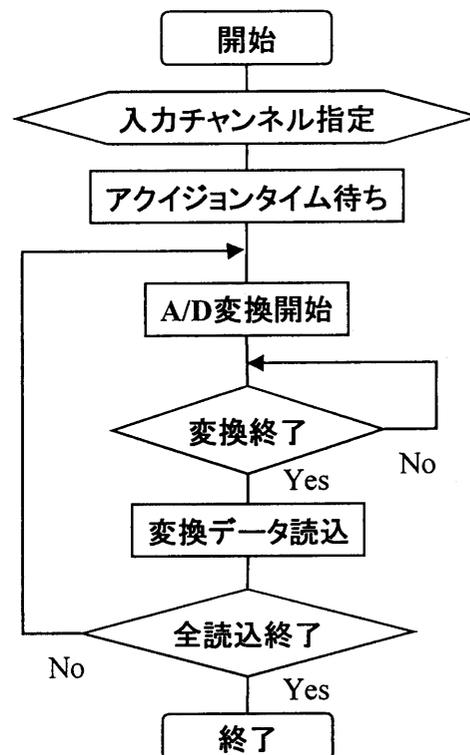


図 5-1 A/D 変換のフローチャート

動作検証を行った際の各条件は以下の通りである。

- ・サンプリング・レイト : 100  $\mu\text{s}$
- ・サンプリング・モード : 内臓タイマ
- ・入力レンジ :  $\pm 5\text{ V}$  (バイポーラ)
- ・CPU : Pentium 200 MHz
- ・データ点数 : 100 個

サンプルクロックは A/D 変換器に内蔵さ

れているタイマを使用した。また、動作検証を行い易くするために、被測定波形としてサンプリング周波数の 1/50 の正弦波を用いた。データ点数が 100 個となっているので、2 周期分のデータとなる。なお、A/D 変換器の入力レンジは正弦波発信器の出力の関係上、± 5 V (バイポーラ) となっている。

図 5-2 に A/D 変換器のテストプログラムの結果を示す。これによると 2 周期分の正弦波が読み込まれていることが確認できた。

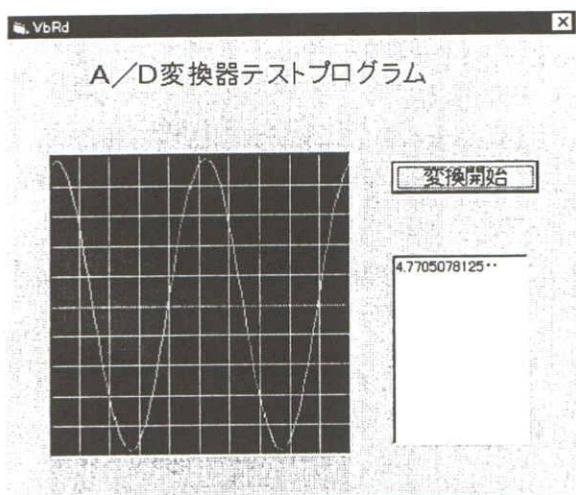


図 5-2 A/D 変換器テストプログラムの結果

今回は時間の関係上、圧力トランスミッタからの出力をサンプルして読み込むための動作検証を行うことが出来なかったが、圧力データ読み込みを行う際の各機器の接続を示す (図 5-3)。デジタル指示計からのアナログ出力が 0~1V(DC)であり、A/D 変換器の入力レンジが 0~10V(DC)となっているので、直流電圧増幅器を用いて電圧値の増幅 (10 倍) を行い分解能の低下を防止している。次に、1 秒間に 30 サンプルを行うためには、33.3ms(30Hz)間隔のサンプルクロックが必要となるが、A/D 変換器に内蔵されて

いるタイマでは 30Hz のサンプルクロックを使用することが出来ないので、外部からパルスジェネレータ等を用いてサンプルクロックを与える必要がある。



図 5-3 各機器の接続

## 5.2 シリンジポンプ

これまでのシステムでシリンジポンプは低粘性流体を時間当たり一定量注入するために手動で注入・停止を制御していた。そこで使用しているシリンジポンプの仕様を調べてみると、PC と連結して RS232C でリモート制御することができ、プログラムは少数の簡単なコマンドで組み上がることが判った。また、シリンジポンプのうしろにある PC との接続用端子は電話用の 4 極モジュラーコネクタであることも判明した (図 5-4)。

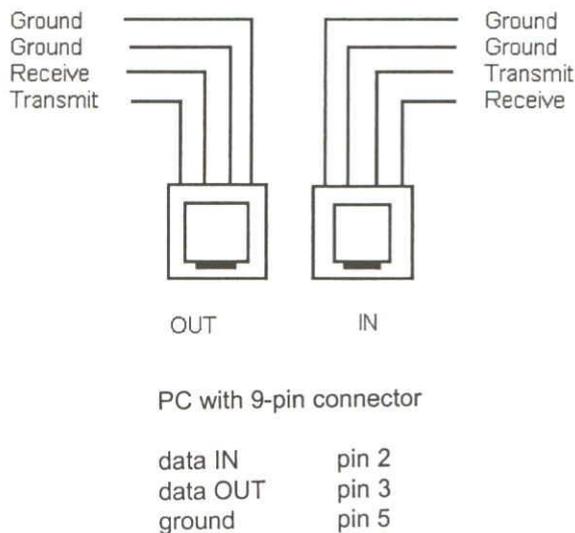


図 5-4 PC との接続用端子

そこでまず、電話用モジュラーケーブルを用い、PC用のRS232Cコネクタ（9ピン）に半田付けを行い接続ケーブルを作成した。これでPCによるシリンジポンプの制御が可能になった。

そこで次にVisual Basicによるシリンジポンプのスタート・ストップのプログラムを作成した（図5-5）。

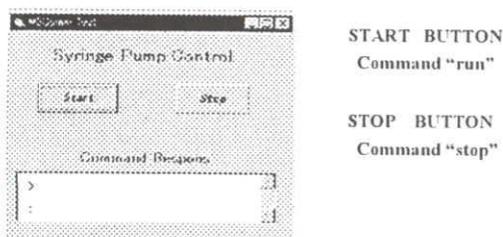


図5-5 シリンジポンプ制御プログラム

今のところ、スタート・ストップのみであるが注入量等もPCで制御できるプログラムの作成を目指している。

### 5.3 赤外線リモコン

フィンガリング実験は実験の様子を画像として取り込み記録することが最重要です。それは低粘性流体の注入によるフィンガー成長速度や面積増加、形態変化などのさまざまな情報が画像処理することにより得られるからです。現在実験の様子はCCDカメラで撮影しビデオデッキ（SONY）を手動操作して録画している。しかし注入圧変化測定と画像処理から得た両データの関連性についてより詳細な知見を得ようとすれば、フィンガリング実験のシステム化が必要になってくる。今回、現在使っている機器を利用して実験のシステム化を考えてみたところ、ビデオデッキには制御端子がないので、リモコン操作で動作させること

にした。まずは実験に必要な「録画」、「一時停止」、「停止」の3つの動作をビデオデッキにさせる赤外線リモコンの作製を目標として、SONYの赤外線リモコンについて調べることから始めた。そして図に示すような2400 $\mu$ sの無信号のリーダ部と8ビットのコマンド部、4ビットの機種コード部から成り立つこと、谷の長い所が「1」を、短い所が「0」を表すこと、山の部分は変調方式が採用されていることが分かった（図5-6）。

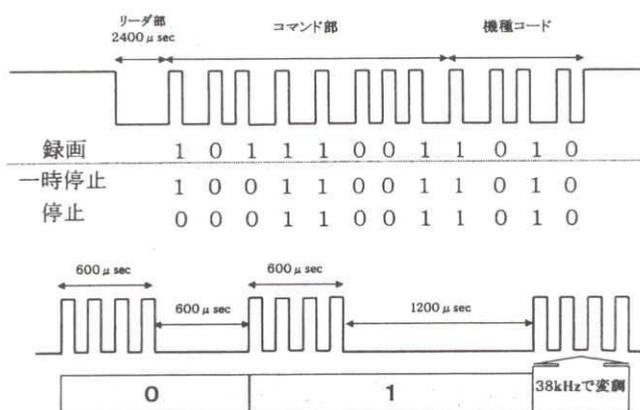


図5-6 赤外線リモコンのフォーマット

次に実際に使っているビデオデッキを操作するためには、ビデオデッキについていたSONYリモコンのコードを知る必要がある。そのために、赤外線リモコン受信モジュール（38kHz用）をデジタルオシロスコープのプロープに接続し、それに向かってSONYリモコンの①録画、一時停止、停止の3信号を送信、②現れた波形をビデオ撮影し録画、③波形をビデオプリンターで写真にする、④写真から送信コードを解析するという順で調べた。その結果、2400 $\mu$ s間無信号のリーダ部と0または1で表せる8ビットコマンド部と4ビットのコード部で構成されていることが分かった（表5-5）。クリア

な波形が現れたことにより変調は赤外線受光モジュールと同じ 38kHz ではないかと推測した。

赤外線リモコンのフォーマットが分かったので、3つのボタンスイッチにより、SONY リモコンの「録画」、「一時停止」、「停止」に相当した赤外線送信をするリモコン作製に進んだ。ボタンスイッチを付けたのは出来上がったときに動作確認を行えるようにするためである。調べた赤外線リモコンフォーマットと同じ送信データを再現するために、ワンチップマイコンの PIC16F84 にプログラムを書き込み、赤外線リモコンに組込んだ(図 5-7)。赤外線リモコンが出来上がったので正しく送信出来ているかを、SONY リモコンのデータを調べたのと同じ①→②→③→④の手順を使い確認した。

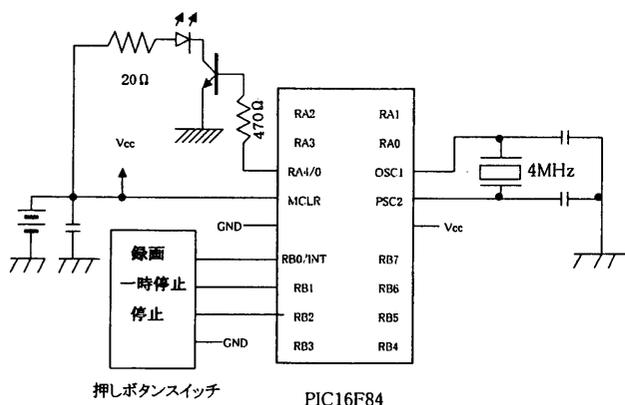


図 5-7 赤外線リモコン送信機回路図

このようにして「録画」について波形を調べたところ、最初は山と谷の長さが逆転していたり、無信号のリーダ部が短かったりと不備な点がいろいろ見つかった。38kHz に変調する部分は変えずにプログラムの書き直しと波形チェックを数回繰り返して、やっと同じような波形が現れた(表 5-5)。出来上がった赤外線リモコ

ンを使ってビデオデッキが正しく動作するか確認したところ、「録画」、「一時停止」、「停止」の3つの機能全部で動作させることができた。偶然ですが変調は 38kHz でよかったです。今後は PC のパラレルポートを使って赤外線リモコンからビデオデッキの「録画」、「一時停止」、「停止」と3つの機能を制御できるように進めたい。

## 6. まとめ

改良の試みは今のところ、圧力値の測定回数の改良、シリンジポンプの PC による制御、ビデオレコーダの赤外線リモコンによる制御と単体では成果が得られることが判った。今後は、システムフローチャート(図 6-1)のようにスタート・ストップのボタンを押すことによって圧力計・シリンジポンプ・ビデオレコーダを制御し、なおかつ取り出せた画像データ及び圧力値データを PC を用いて同時にデータ解析できるシステムを構築したい。

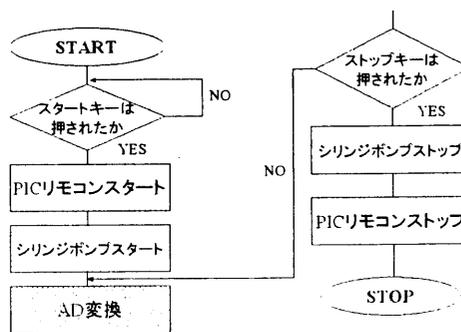


図 6-1 計測システムのフローチャート

表5-5 赤外線リモコン波形比較

	SONYリモコン	製作リモコン
録画		
一時停止		
停止		

参考文献

- (1)金藤 仁著、「自動計測システムのためのVB6入門」、技術評論社、1999.
- (2)後閑哲也著、「たのしくできるPIC電子工作」、東京電機大学出版局、1999
- (3)浅川 毅、「PICアセンブラ入門」、東京電機大学出版局、2001