

ビスコスフィンガリング計測システムの構築

山本好弘 福永千佳己 山本みどり (工学部 技術部 計測・制御グループ)

1. はじめに

三重大学工学部技術部では、平成 16 年度より工学部(事務部、各研究分野など)から依頼された業務を行うこととなった。依頼内容に応じて、専門分野別に組織された 6 つのグループにて業務を行う(グループ業務)。また、グループ単位にて行えない業務(学生実験、有資格者による業務)に関しては、技術部として対応する(共通業務)。本報告にて紹介する「ビスコスフィンガリング計測システムの構築」は、計測・制御グループにて担当したグループ業務の一つであり、グループのメンバー3名による共同で行った業務である。

2. ビスコスフィンガリング計測システム

流体の界面物性を調べる方法として viscous fingering (ビスコスフィンガリング)がある。Hele-Shaw cell(ヘレーショウ・セル)と呼ばれる「微少な隙間を空けて平行に設置した2枚の平板」の隙間に高粘性流体を注入しておき、そこへ低粘性流体を注入すると二流体の界面(境界)が指状に拡散していく。この形成された指状の模様を Viscous fingering と呼び、時間経過に伴う模様の観察および形成された面積を求める。また、注入される低粘性流体の注入圧力も計測する。

この Viscous fingering の計測を行うシステム(図 2.1)は、高粘性流体をセットする試料ホルダ(Hele-Shaw cell)に低粘性流体を送り込むためのシリンジ及びシリンジポンプ、流体の圧力を測定する圧カトランスミッタ及びデジタル指示計、流体の拡散の様子を記録するためのビデオカメラ及びビデオレコーダ等で構成されている。

まず、測定を行う前にビデオデッキのセット、

シリンジポンプの設定、試料ホルダへの高粘性流体の注入および低粘性流体をシリンジへ注入した後にシリンジポンプへの取り付けを行う等の準備を行う。また、デジタル指示計の表示部分をビデオカメラに写るようにセットする。

準備の完了後、ビデオレコーダの録画を開始、シリンジポンプをスタート、と同時にスタート位置を記録するためのスタートマーカを点灯させ Viscous fingering の様子を録画する。なお、Viscous fingering が高粘性流体の端に達した時点で録画を終了する。

録画(実験)終了後に Viscous fingering を記録したビデオ画像の PC への取り込み(キャプチャ)を行い、デジタル指示計が示す圧力値の読み取りを行うとともに、計測ソフトウェアにて面積を求める。

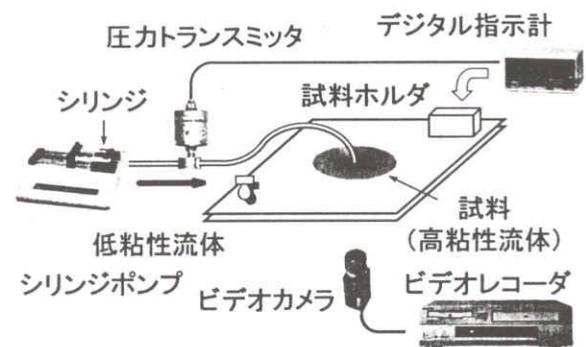


図 2.1 ビスコスフィンガリング計測システム

3. 業務依頼

今回の業務依頼は、このシステムにて圧力値を 1 秒間に 30 回以上(PC 上へ)読み取ることが主な依頼の内容である。現在の指示計のサンプルは 1 秒間に 2.5 回であり、ビデオ画像からの面積の測定点(1 秒間に 30 画像)に比べると遙かに少ないので、ビデオと同等かそれ以上行う必要がある。また、サンプルも指示計

自身が独自に行っているので、サンプルの開始とシリンジポンプのスタート(およびビデオ画像)を一致することも必要となる。

まず、指示計の調査を行い、表示値(圧力値)に比例した電圧が出力されている事を確認した。この電圧を、1秒間に30回以上測定、測定値をPCにて収集の条件を満たすように計測するには、PCとのインターフェースを持った電圧計またはPC用のA/D変換器などが考えられる。今回は、サンプルの開始を一致させることも考慮して、A/D変換器を用いる事にした。

シリンジポンプにはシリアル通信(RS-232C)機能があり、また各種制御コマンドも用意されており、PCからの制御が可能となっている。

しかし、ビデオレコーダには外部から制御を行うための機能としては、赤外線リモコンによる手動操作以外無いようなので、PCから赤外線リモコンを操作することで対応する事とした。また、PCから制御可能な赤外線リモコンはPICマイコンを用い、主な機能のエミュレートを行うことにより実現する。

なお、A/D変換ボードには、I/Oポートの機能を有するものもあるので、この機能を用いてスタートマーカの制御も行うこととした。

また、シリンジポンプ、ビデオレコーダ、スタートマーカの制御及びA/D変換値を記録する為の制御をPCにて行い、これらを新たな機能を含めた新たな計測システムの概要を図3.1に

示す。

4. 計測システムの開発

実際のシステム開発について以下に述べる。

業務の分担

グループとしてまた個人として、このような計測システムの開発についての経験が不足しているので、グループメンバー3名で開発を行うこととした。全員で開発を行うには、スケジュールなど様々な調整が必要となってくるので業務の分担を行い、3名で相互にサポートすることとした。また、定期的にミーティングを行い情報の交換、共有を行った。

なお、次のように業務の分担を行った。

山本(好):

A/D変換器の制御プログラムの開発
システム全体の制御プログラムの開発

福永:

シリアル通信ケーブルの作成
シリンジポンプの制御プログラムの開発

山本(み):

レベル変換器、スタートマーカの制作
赤外線リモコンの製作
赤外線リモコンの制御プログラムの開発

開発環境

システムの開発は、なるべく自分の居室で行うこととし、依頼先での開発を必要最小限に留

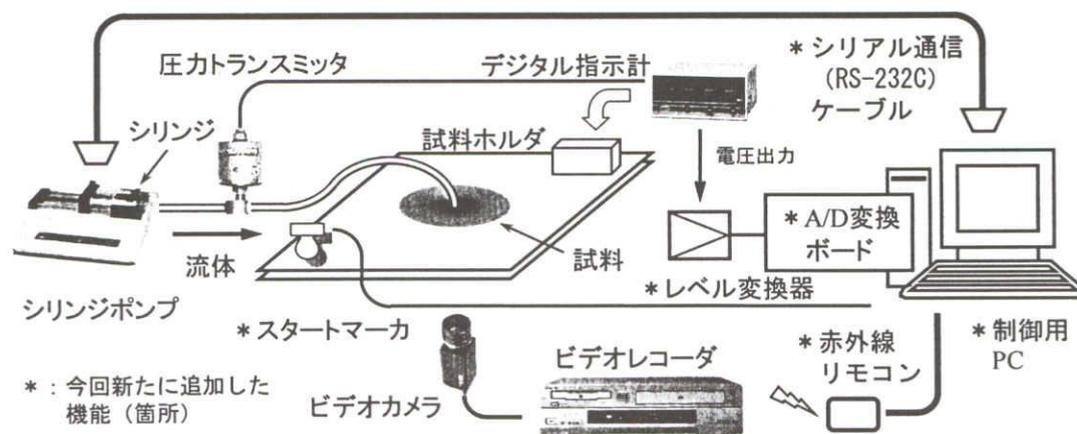


図 3.1 新しいビスコスフィンガリング計測システムの概要

めるように行った。

制御 PC 及び開発環境は以下の通りである。

制御PC:

IBM PC/AT 互換機

CPU Pentium 133 MHz

Memory 64 MByte

OS Windows 95

開発言語: Visual Basic 6.0

シリンジポンプの開発

シリンジポンプにはリモート制御を行う為のシリアル(RS-232C)通信機能が用意されているので、まず PC との接続を行い制御出来るか調査する。最初にシリアルケーブルの制作を行い、その後シリンジポンプが各制御コマンド通りに動作するか確認(検証)を行う。

シリアル通信のコネクタは PC 側が D-sub コネクタ(9 ピン、オス)、シリンジポンプ側が RJ-11 モジュラープラグ(4極、4 芯)となっている。図 4.1 に制作したシリアル通信ケーブルを示す。この RJ-11 のモジュラージャックおよびケーブルは電話用のものを流用した。

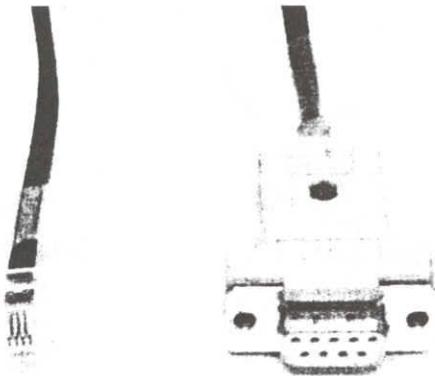


図 4.1 シリアル通信ケーブル

シリアル通信は、baud rate 9600bps、data bits 8bit、no parity、1 stop bit、のフォーマットで、フロー、ハンドシェイク制御を行わない条件で行っている。また、制御コマンドは、文字列(ASCII コード)となっている。

通信プログラムは、Visual Basic の MSComm コンポーネント(OCX コントロール)を用いて、イ

ベントドブリン方式にて行うこととした。この方式は、通信イベント(信号線の状態変化、通信エラーの発生)が発生した時点で割り込みが発生し、あらかじめ用意されていた処理を行うことができる。図 4.2 に送受信の通信手順を示す。「送信」時は、送信するデータ(コマンド)を送信バッファに書き込む。その後、OCX コントロールが通信を行うので、バッファの文字数をチェックする事によりデータ送信の終了を知ることができる。なお、通信の際にエラーが発生すると受信イベントが発生するので、受信データを調べることにより、どのようなエラーが発生したのか知ることができる。「受信」は以下の手順で行われる。まず、受信バッファの文字数のチェックを行うことでデータ受信の有無を確認する。データの受信が確認されれば、受信バッファからデータを読み込み(この際に受信バッファの文字数が減算される)通信エラーかデータかのチェックを行い、エラーであればエラー表示を、データであれば文字変数に格納する。

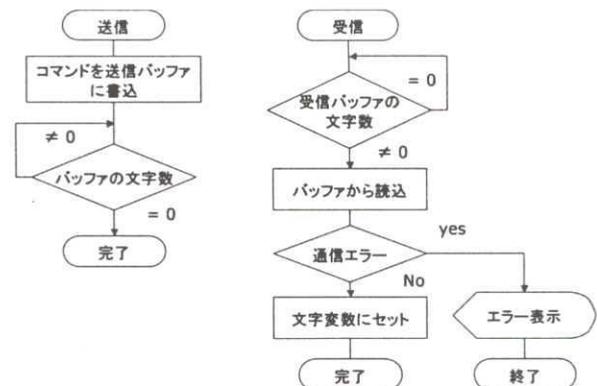


図 4.2 送受信の手順

シリンジポンプには様々な制御コマンドがあるが、今回使用した制御コマンドを表 4.1 に示す。制御コマンドは、主にパラメータの設定と動作を行うためのコマンドに分けられる。また、状態(設定値、動作状況)を取得するコマンドも用意されている。次に主な制御コマンドについて概説する。シリンジ内径は使用するシリンジ(注射器のようなもの)の内径を指定する。注入量

は、1本のシリンジで使用する流体の量である。この量を超えて注入しようとしてもシリンジポンプが自動的に停止する。流量は単位時間あたりの注入量である。運転モードは、シリンジの制御を指定する。注入、吸引をはじめ様々な制御が可能であるが、今回は注入モードのみをサポートする。なお、シリンジポンプの状態を取得するコマンドも用意されている。これは、シリンジポンプ自体がエラーを起こした際のエラーの状態を知るためのもので、またエラーの解除もこのコマンドで行う。

表 4.1 今回使用した制御コマンド

制御内容	動作・設定	状態取得
シリンジ内径	dia	dia?
注入量	voli	voli?
流量	ratei	ratei?
運転モード	model	mode?
運転開始	run	
運転停止	stop	
シリンジポンプ		error?

制御コマンドの書式を次に示す。なお、<SP>はスペース、<NSP>はスペース無、<CR>、<LF>は制御コードである。また、括弧([、])は実際には送受信されない。

送信:

address<SP>command[<SP>data]<CR>

返信:

[<CR><LF>response]<CR><LF>address<NSP>prompt

シリンジポンプは、ディジーチェーン接続により 100 台まで、シリアル通信にて制御が可能である。Address 部でディジーチェーン接続されたシリンジポンプの指定を行うが、接続されているシリンジポンプが1台の場合は省略が可能である(送信時)。また、設定コマンドでは[]内の data 部分が設定値となる。

送信: ratei <SP>1 ml/s<CR>

また、制御コマンド送信後には必ずシリンジポンプからの返信が行われる。prompt は、シリンジポンプの状態(>は動作中、:は停止中 E はシリンジポンプでエラーが発生)を示している。また、[<CR><LF>response]には、存在しない制御コマンドを送信した場合には NA が、通常の状態取得コマンドの場合は、現在の設定値が送られてくる。

送信: ratei?<CR>

受信: <CR><LF>1 ml/s<CR><LF>1:

赤外線リモコンの開発

ビデオレコーダの制御を行うための PC から制御が可能なる赤外線リモコンの開発を行う。計測を行うためには「録画」、「停止」および「一時停止」の機能が最低限必要となる。また、制御 PC の負担を軽減する意味で PIC マイコンを用いて赤外線リモコンのエミュレーションを行うこととする。なお、PC からの制御はパラレルポートを用いて行う。

赤外線リモコンをエミュレートするためには、各機能におけるデータフォーマットが必要となる。今回、ビデオレコーダのメーカーからの資料公開は得られなかったため、独自に調査を行った。

赤外線リモコンは、38kHz 前後の変調波を使用しているため、まず 38kHz の赤外線モジュールに対しリモコンからコマンドの送信を行い、その復調波形をストレージ機能のあるオシロスコープで観測した(図 4.3)。

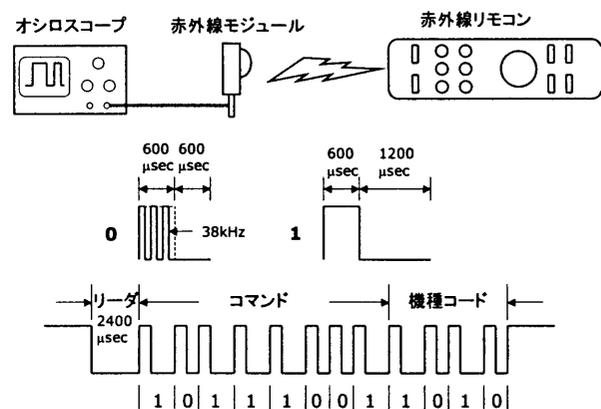


図 4.3 赤外線リモコンのフォーマット

その結果、HとLの間隔がHLとも600 μ secのもの、H=600 μ sec、L=1200 μ secのものが認められた。様々な資料等を調査したの結果、HLが等間隔の場合は0、HLの間隔が異なる(2倍)の場合は1と判断した。また、リーダ部として2400 μ secのLの部分があることも調査結果と一致した。

また、このリモコンのデータは12bitで構成されており、以下に調査したパターンを示す。

録画 101110011010
 一時停止 100110011010
 停止 000110011010

次に制作した赤外線リモコンのブロック図を示す(図4.4)。PICマイコン16F84を使用し、2つのポート(A,B)を用いて各制御を行っている。Aポートは出力として用い、赤外線LED、および動作表示用(録画、停止、一時停止)のLEDの駆動を行っている。Bポートは各bit単位で入出力の使い分けを行い、PCとの通信に用いている。

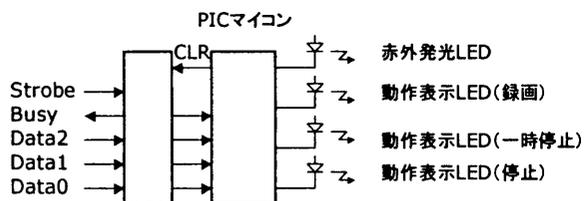


図 4.4 PIC マイコンのブロック図

PCとPICとの通信は以下のように、Busy信号をお互いに監視することにより行っている(図4.5)。

初期化された状態では、PICはデータ待ちの状態(Busyでない状態)のため、PCからはデータの送信が可能となっている。次に、PCはデータをセットしStrobe信号を送信する。するとデータはバッファにセットされ、Busyとなる。以降PCはBusyが解除されるまでデータの送信はできなくなる。

PICもBusy信号を監視しており、Busyになったことでデータがバッファにセットされたことを認

識する。次にバッファからデータを読み込み、赤外線LEDからコマンドを送信した後、CLR信号を送りBusy状態を解除する。

なお、各制御コマンドは、該当するbitが1の時に有効となる(Data2=録画、Data1=一時停止、Data0=停止)。

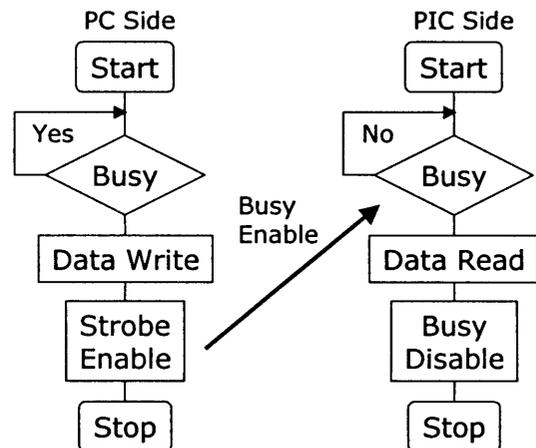


図 4.5 PC、PIC間の通信手順

レベル変換器、スタートマーカの開発

流体の圧力を計測するための圧力トランスミッタは0Paから最大100kPaまで計測が可能である。この圧力トランスミッタからの電流出力を圧力値として直読できるように調整された指示計を用いて圧力値を得ることができる。

今回は、圧力値のデータ数を多く得るために、この指示計からの電圧出力(圧力値に比例)をA/D変換器を用いて取得する。このときの指示計からの電圧出力は100kPa=1Vであり、またA/D変換器の入力レンジが+5Vとなっている。このため、有効な変換を行うためにはレベル変換(5倍)を行う必要がある。実際の測定では、最大でも50kPa以下とのことであるので、100kPa以下用(5倍)、50kPa以下用(10倍)、25kPa以下用(20倍)のレベル変換器を作成し、測定時に選択することとした。

なお、A/D変換器の入力を保護するために、負電圧の除去、レベル制限(+5Vまで)の機能を付加した。また、ノイズ除去とエリアシング対策用にローパスフィルタも付加した。レベル変

換回路のブロック図を示す(図 4.6)。



図 4.6 レベル変換回路のブロック図

A/D 変換器には、デジタル入出力の機能も付加されている。また、出力回路はトランジスタによる出力となっているため、LED 程度であれば直接駆動が可能である。よって、この入出力ポートを使用してスタートマーカの制御を行うこととする。また、A/D 変換器との接続の関係上レベル変換器内にスタートマーカの回路も含まれている。

入出力ポートの制御は、メーカー提供の DLL を用いて行う。対応する bit に 1 を書き込むと LED が点灯し、0 を書き込むと消灯する。

A/D 変換プログラムの開発

A/D 変換器によりデータの収集を行うプログラムは、メーカー提供の DLL を用いて行った。

A/D 変換を行う前にボードの初期化を行う必要がある。まず、ボードの ID チェックを行い、そのボードに対応するドライバソフトかどうかを判断する。次に設定初期設定値が正しくアクセスできることを確認し、初期設定は完了となる。

A/D 変換によりデータの取得を行う手順は図 4.7 に示すように、サンプリング条件(使用チャンネル数、使用チャンネル、入力レンジ、サンプリング周波数、サンプル数)を設定の後、サンプリングを開始する。メモリ上のバッファにサンプルされたデータが格納されているのでサンプリング終了後、バッファ領域より取得する。

サンプリング条件は、使用チャンネル数=1、入力レンジ=+5V とし、使用チャンネルはレベル変換器の各倍率に毎に決められたチャンネルを指定する。また、サンプルデータをメインメモリ上のバッファに一時格納するため、サンプル数の上限を設定し、それを以内の値を設定

する。また、サンプリング周波数は 30Hz(1 秒間に 30 回)以上、変換時間以内となる。

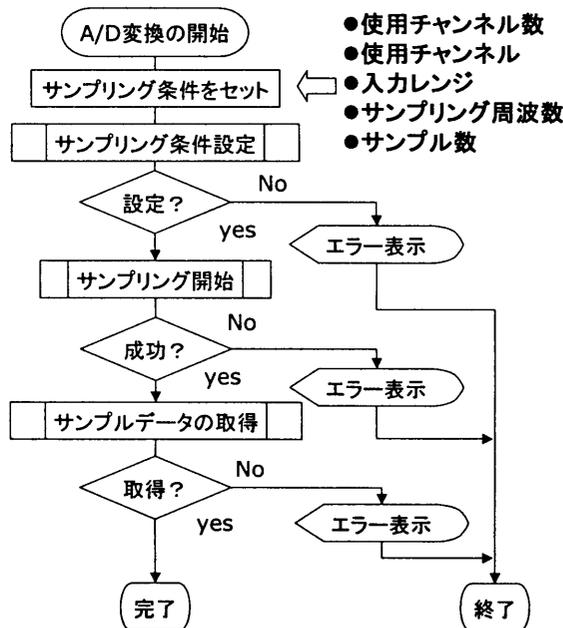


図 4.7 A/D 変換の手順

5. 計測システムの制御プログラムの開発

これまで個別に開発してきたプログラムをまとめて計測システムの制御を行っている。この制御プログラムは、図 5.1 に示すように、現在の設定状況を得るための「設定値」、パラメータを設定するための「設定」、データの収集を開始するための「測定開始」および得られた圧力値をファイルとして書き出す「ファイル出力」からなる。実際の計測手順は、シリンジポンプ等の現在の「設定値」を取得し誤りが無いかを確認する。設定値に誤りがあったなら、正しい値を「設定」し、再度「設定値」の確認を行う。設定値が正しく設定されていれば「測定開始」を行い、圧力値がグラフ表示されれば測定の終了となる。最後に得られたデータの「ファイル出力」を行い測定の完了となる。

また、各機能のテストが行えるように、個別に動作させるためのコマンドを用意している。これにより、テスト以外にも各機能を個別に制御することも可能となっている。

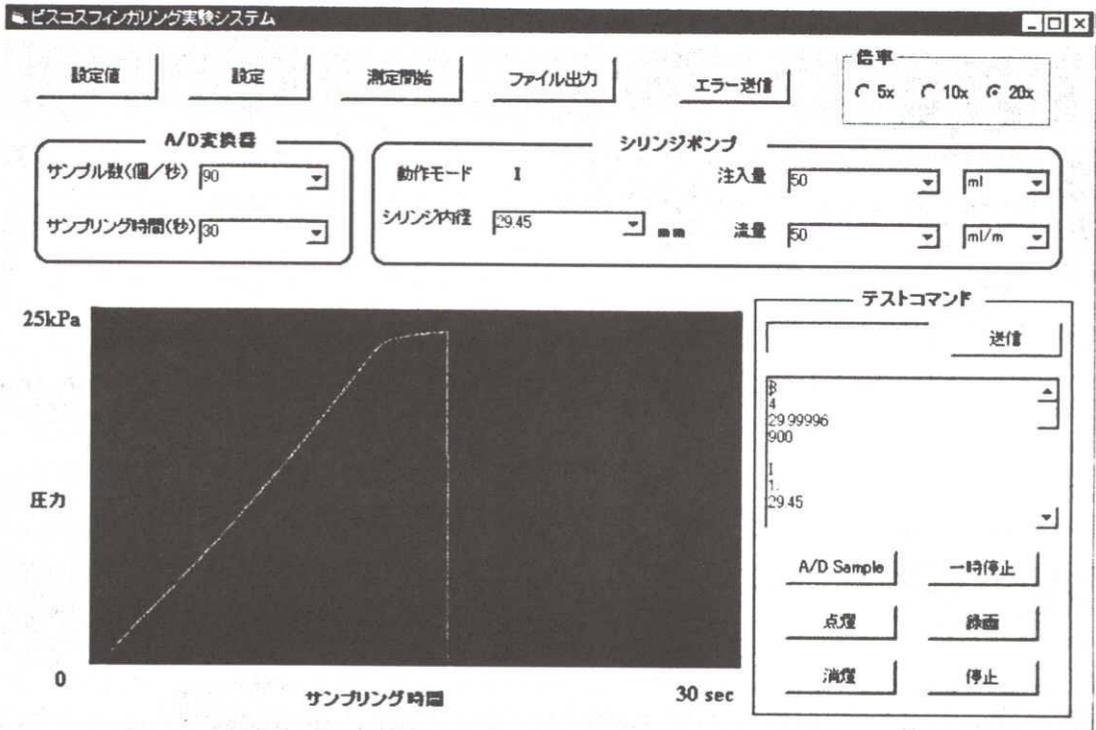


図 5.1 制御プログラムの操作画面

6. まとめ

今回のシステムを用いて、デジタル表示器による圧力値と A/D 変換器による圧力値との比較を行った(図 6.1)。なお、デジタル表示器の圧力値は従来通りビデオカメラによる撮影を行い、キャプチャ後の画像より値を取得している。指示計、A/D 変換器とも同じような傾向を示している。なお、値が同じ位置に無いのは、指示計のサンプリングは指示計のタイミングで行っているため、スタートを一致させることができなかったためである。次に流体を変更した際のグラフ(図 6.2)においては、指示計ではピーク値の検出が行われていないことがわかる。このように変化する時間が短く、また変化量が少ない場合は、1秒間に2.5回のサンプル数では対応できないことを表している。この結果からもサンプル数増加の効果が現れているといえる。

新しい計測システムにおいてはある程度の成果を得ることが出来たが、ビデオレコーダの同期などの改良すべき点がまだまだ残されている。また、この経験を次の依頼業務へ生かすべく各人が行った業務内容の検証、情報交換を行

う必要がある。

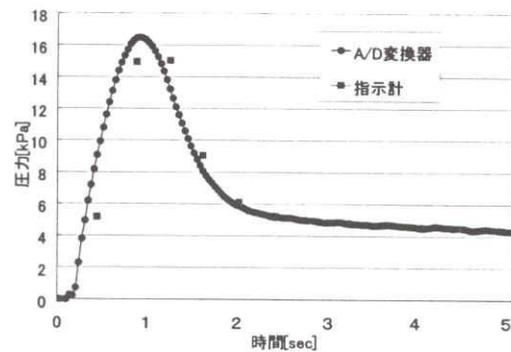


図 6.1 圧力値の比較

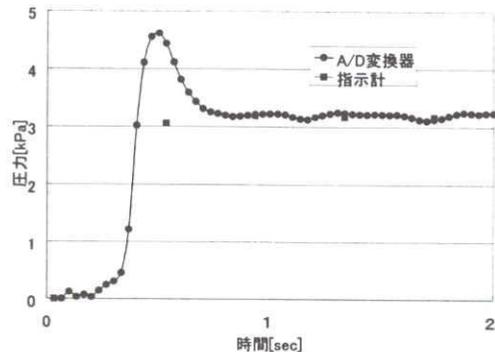


図 6.2 圧力値の比較