表面処理技術におけるパーソナルコンピュータの利用

— 汎用インターフェイスGP I Bの原理と応用 —

馬 場 宣 良^{*1)}, 益 田 秀 樹^{*2)}

Use of Personal Computer in Surface Finishing Research and Technology

— Principle and Application of General Purpose Interface Bus

Nobuyoshi BABA^{*1}, Hideki MASUDA^{*2}

計測・制御機器とパーソナルコンピュータを結ぶ代表的存在であるGP I Bについて解説を行った。GP I Bの基本的な原理・特徴の他、電気化学計測、表面処理技術へと適用した例をもとに、GP I Bの利用法の実際について示した。

1. はじめに

表面処理技術や電気化学関連の文献や記事の中にGP I B, IEEE-488バスといった単語を見る機会が多くなってきた。表面処理技術に携わる研究者や技術者にも急速に身近な存在となってきたパーソナルコンピュータと計測・制御機器を結びつけるインターフェイスの代表的な存在であるGP I Bについて本稿では実務的な面から解説を行う。

2. 電気化学計測・制御における パーソナルコンピュータの利用

マイクロエレクトロニクスの発展にともない高機能化と低コスト化を進めつつあるマイクロ/パーソナルコンピュータは急速に我々の身近な存在となってきた。これにともない従来は汎用大型機

ないしは専用ミニコンの利用に限られていた研究室・実験室内の計算機利用分野もその範囲を広げている。

計測・制御分野におけるマイクロコンピュータの利用は、一つにはマイクロコンピュータ組み込み型装置の発達という形で着実に進行している。従来はツマミとメーターであった機器パネル面がキーボードとディスプレイに置き替わっている例も少なくない。この様な専用装置では測定対象、機能が絞られているため、処理速度、使い勝手等の面では一般にすぐれている。しかし、目的とする機能を持った装置が必ずしも市販されているとは限らず、又、装置の利用の仕方によっては他の測定装置と重複する部分が多くコスト的な無駄も多い。この様な点を考えたとき、ユーザーが好みに合わせて基本的なユニット（信号発生器、電圧・電流測定器等）を組み合わせ計測・制御システムを組むことができればメリットは大きい。しかしながら、デジタル機器間、コンピュータの接続では、アナログ計測器の時代のように各測定機器の信号線を接続し、トリガーのタイミングだけに注意を払えばすぐに測定に入れるというわけにはいかない。一般にパーソナルコンピュータ・機器間の接続には、各機器間で入出力可能な様に信号レベルなりタイミングを合わせてやる必要がある。このような作業をハードレベルで行うためには一般に高度な専門知識が必要であり、専門外の者がこれを行うのは、時間と労力の点からも得策とはいえない。現在、計測・制御機器間の接続を容易に実現するため、機器間のデータのやり取

※東京都立大学工学部工業化学科

(〒158 東京都世田谷区深沢2-1-1 ☎03-717-0111)
Department of Applied Chemistry, Faculty of
Technology, Tokyo Metropolitan University
(1-1, Fukasawa2-chome, Setagaya-ku, Tokyo158)

りを行うための電氣的・機械的な規約を定めたいくつかの汎用インターフェイスが規格化されており、これを利用すれば、ユーザーは、ソフト面での決まりさえ理解しておけば、ハード面にはノータッチで機器間の信号のやり取りを行うことが可能となっている。

3. パーソナルコンピュータ用汎用インターフェイス

パーソナルコンピュータ用汎用インターフェイスの一般的なものを表1にまとめた。これらのインターフェイスは、大きくシリアルインターフェイスとパラレルインターフェイスに分類される。シリアルタイプというのはパーソナルコンピュータ・機器間の信号のやり取りを一本の伝送路で順次行うものであり、他方、パラレルタイプのもものでは複数本（一般には8本）の伝送路を用い、並列に信号の伝送を行う。

一般にパラレルインターフェイスでは信号を並列に伝送するため伝送速度を大きくすることができ、大量の情報を短時間に送ることができるが、伝送路の維持コストが高く、又、ビット間の干渉等が起こり易いため伝送路を余り長くすることはできない。一方、シリアルタイプでは信号線路本数が少なく、耐ノイズ性も高いため伝送路のコストも低く、長距離の伝送が可能である。

シリアルインターフェイスの代表的なものとしては、RS-232Cがある。これは本来、通信用インターフェイスの規格として定められたものであるため、伝送速度は最大20Kb/sと遅い。しかし、伝送路を低コストで長く取れる等の利点がある。

表1 代表的な汎用インターフェイス規格

インターフェイス	転送形式	転送速度	特徴
RS-232C	シリアル	<20Kビット/S	長距離 耐ノイズ性 単方向専用
セントロニクス	パラレル	-----	
GPIB	パラレル	<1Mバイト/S	双方向, 最大15台
入出力ポート	パラレル	<50Kバイト/S	高速転送

があり、又、一般的なパーソナルコンピュータでは、データーのやり取りのための標準インターフェイスとして装備されていることもあり計測・制御用のインターフェイスとして利用されることも多い。しかし、前述のようにデーター転送速度が遅いことから複雑な制御や計測には向かない。

一方、パラレルインターフェイスには、本稿の主題であるGPIBの他、単方向データー転送用のセントロニクス規格等がある。パラレルインターフェイスではいずれも信号のやり取りを8ビット単位でおこなっておりシリアルインターフェイスに比較し高い伝送速度を実現している。

4. GPIBの原理と特徴

GPIB (General Purpose Interface Bus) は、本来、計測・制御機器メーカーであるヒューレットパッカード (HP) 社が自社製品用の伝送規格として定めたものであるが、その優れた特性が認められ、1975年米国電気電子学会 (IEEE) により汎用インターフェイス規格として認定され、正式にはIEEE-488バスと呼ばれる。これ以降多くの計測・制御機器メーカーでも

表2 GPIBの規格と特徴

データー転送 信号論理	8ビットパラレル 負論理 TRUE : < 0.8 V FALSE : > 2.0 V
転送形式	3線ハンドシェイク
転送速度	1MB/s 最大
接続最大機器数	15台
総ケーブル長	20m以下

GPIBの特徴

- 機器の並列接続が可能。2台～15台までの自由なシステムの構築。
- 非同期転送方式であるため高速機器と低速機器を混在できる。
- 比較的高速なデーター転送を実現。又、1台の機器から複数台の機器へデーター同時転送が可能。
- 文字データー (ASCIIコード) を使用するためプログラミングが容易。
- 異なるメーカーの機器間での互換性。

この規格を採用し広く計測・制御の分野で用いられるようになってきている。GPIBは、このように計測・制御を目的として誕生したものであるためこの目的に即した種々の特徴を持っている。表2にGPIB規格の概要とその特徴をまとめた。

GPIBが今日、計測制御用のインターフェイス規格として広まった理由の一つに規約上のフレキシビリティが大きいことがあげられる。すなわち、規格を最小限の部分にとどめ、種々の用途に柔軟に対応できる余地が残されている。反面、細かい部分の規格は、各メーカーに任されており、このためメーカーの異なる機器間の接続は必ずしも保証されていない。しかし、この点は、ホストコンピュータないしは接続機器側である程度対応できるような設計になっている場合が多く、又、各メーカーも互換性への配慮を行っており、GPIBの致命的な欠点にはなっていないとおもわれる。

図1にホストパソコンと計測・制御機器との接続の様子を示す。GPIBの最も大きな特徴は、一つのインターフェイス上に複数台の機器を並列に接続することが可能な点である。これは、例えば、パーソナルコンピュータ上でプリンターとプロッターを一つのインターフェイスで同時に使用したいといった場合を考えればその便利さが理解できると思う。RS-232Cなりセントロニクスでは、複数台の機器を接続使用とした場合、そ

図1 GPIBによる
パーソナルコンピュータと機器の接続

れぞれにインターフェイスを設けるか、何らかの切り替え装置を使用する必要がある。しかし、GPIBでは、あたかもアナログ機器を並列に接続するように各機器をつなぐことが可能である。この特徴は、測定・制御システムに含まれる機器の台数が増えてくるほど強力な利点となる。GPIBではこのような複数台の機器の並列接続を可能にするため、プラグとレセクタクルを兼用できる特別の形式のコネクタを採用している。

次に、GPIBにおける信号のやり取りを簡単に説明しよう。GPIB用インターフェイスケーブルは、8本のデータバスと5本の管理用バス、3本のハンドシェイク用バスの計16本からなっている。これらはグラウンドラインとともに23線のケーブルで結合する構造となっている（図2）。ユーザーが実際にGPIBを使用するに際して、ホストコンピュータなり接続機器にGPIBを自作で組み込む場合を除きこれらの結線を意識する必要はない。ホストコンピュータのプログラム上でデータなり制御命令のやり取りの手順を理解すればこと足りる。以下、GPIB上で、データや制御命令がどのような形でやり取りされるのかを簡単に説明しよう。

GPIBでは各装置に人間で言えば住所に相当するアドレス番号（0～30）が割り当てられる。データのやり取りに当たっては、データの送り手（トーカー）及び受け手（リスナー）更にはそれらを司るコントローラーの役割が各機器に割り当てられ、コントローラー（一般にはホストコンピュータ）の指示に従ってデータの送信・受信が進められる。データ及びコマンドは一般に文字コード（ASCII形式）でやり取りされるが、この時、データの受取手であるリスナー

図2 GPIBコネクタとバスライン

```
10 '
20 '
30 ISET IFC      : 'インターフェイスクリア
40 ISET REN      : 'リモート状態に設定
50 CMD DELIM=0   : 'デリミタコードをCR LFに設定
60 CMD TIMEOUT=5 : 'タイムアウト時間を5秒に設定
70 '
80 PRINT@ 3:"F1,R2" : 'ファンクションを直流電圧、レンジを200mVに設定
90 PRINT@ 3:"IT0"   : '測定時間を"SHORT"
100 '
110 PRINT @3;"E"    : 'トリガー、測定開始
120 INPUT@ 3:D$     : 'エレクトロメーターからのデーターを文字変数DDに読み込む
130 PRINT D$        : 'CRT上にデーターを表示。
140 GOTO 110
150 '
160 '

```

図4 電圧測定プログラム例

の数には制限はないが、送り手であるトーカーは1台に限られる。この様なトーカー・リスナーの指定及び送・受信のやり取りは、5本の管理バスと3本のハンドシェイクバスを介して進められる(図3)。

5. GPIBを実際に使用してみる

5. 1 接続の手順

GPIBにはインターフェイス用ICが何種類か市販されておりこれを用いて自作することも可能であるが、一般には、使用するコンピューター、計測機器用に市販されているインターフェイスを組み込んで使用することになる。前述のHP社のコンピューターではGPIB(HP社の場合HPIB)が標準装備されておりそのままシステムを組み上げることができるが、他のコンピューター、例えばNEC社のPC9800シリーズではオプション

ンとして出されているボードを増設スロットに取り付けることになる。計測器側も最近ではGPIBが標準装備となっている装置も増えてきたが一般にはコスト高となるためGPIBをオプションとしている場合が多い。

コンピューター、測定器双方のGPIBの準備ができたならばそれぞれの機器のGPIBコマンド、データー授受のフォーマット、ファンクション設定コード等をマニュアルにより良く理解する必要がある。前述のようにGPIBは規格上のフレキシビリティが大きく、例えば、データーの区切りを示すコード(デリミタと呼ぶ)にしてもメーカーにより異なっている。GPIB上でプログラミングするにはこの様な点に注意して作業を進める必要がある。以下、実際の使用例をもとに、プログラム手順を示そう。

5. 2 エレクトロメーターによる電圧測定

GPIBの基本的な使用例として、一般的なパーソナルコンピューターの一つであるPC9800シリーズとアドバンテス社社のデジタルエレクトロメーターTR8652を用いた電圧測定プログラム(BASIC)を示す(図4)。PC9800上のGPIB

表3 PC-9800シリーズの主なGPIBコマンド

コマン ド	コマン ドの意味
ISET REN	GPIB機器をリモート状態にする
ISET IFC	GPIB機器を初期化する
PRINT@A;"*"	アドレス番号Aに文字列、数値を送る
INPUT@A;*	アドレス番号Aからデーターを取り込む
CMD DELIM=	デリミタコードの指定
CMD TIMEOUT=	タイムアウト時間の設定
WBYTE A,*;	マルチラインメッセージの送出
ON SRQ GOSUB	SRQの分岐先指定
POLL A,*	ポーリングを行い機器のステータスを読み込む

コントローラー(司会役)の指示に従いトーカー(1台)からのデーターをリスナー(複数台)が受信

図3 GPIBにおけるデーターのやり取り

表4 TR8652のトーカーフォーマット及び
ファンクション設定コード

トーカーフォーマット

*** ddd E+dd CR LF
ヘッダ 仮数部 指数部 デリミタ

ファンクションコード

F1:DCV
F2:ACV
F3:OHM
F4:COULOMB

命令の基本的なものは表3に示すようなものであるが、これらの命令の書式は、使用するパーソナルコンピュータにより少しずつ異なるものの、基本的な部分はそれほど差はない（例えば、データー読み込み命令は、HP社製では、"ENTER"となっている）。

一方、TR8652のトーカーフォーマット（データーの転送書式）、及びファンクション設定コードは表4のように定められており、これらの書式を理解しておけばエレクトロメーターのファンクションを設定し、データーの取り込みを簡単なプログラムで行うことができる。なお、図4のプログラムではTR8652のアドレスは"3"、又、デリミタは、TR8652に合わせPC9801上で"CR LF"に設定している。

GPIB上の各コマンドはプログラム上だけでなくBASIC上のダイレクトコマンドでも無効実行できる。試みに機器接続後、REMOTE ON, PRINT @3;"F2"とコントローラーから入力すれば、エレクトロメーターのリモートランプが点灯し、ファンクションが電流モードに切り替わる様子が分かるであろう。このように、プログラムの前にダイレクトコマンドにより動作を確認しながら作業を進めればコマンドの理解がしやすい。図4のプログラムの結果、パーソナルコンピュータのCRT上にはTR8652から送られた電圧値が刻々と表示されることになる。この後、測定値を時間に対してグラフィック表示するなり他の処理を行う等の手順は、他のBASICプログラムの場合と同様である。

5. 3 サービスリクエスト、タイムアウト処理

ここで、GPIBプログラミングにおいて必要なサービスリクエスト、タイムアウト処理について少し触れておく。

GPIBには接続機器からホストコンピュータに割り込みをかける機能が備わっている。例えば、プリンターの用紙切れ等、何か要求が生じた時ホストコンピュータに対し接続機器から信号が送られる（サービスリクエスト：SRQと呼ばれる）。コンピュータ側では、この時点ではどの機器からSRQがかかったのかはわからないが、サービスリクエストしている機器の点呼をおこない（この作業をボールと呼ぶ）呼んでいる装置を捜し当て、データーの取り込み、その他の適切な処理を行う。

GPIBにはこの他、コントローラーが接続機器を呼んで返事がなかった場合、そのままハングアップしてしまうのを避けるための機能としてタイムアウト処理コマンドが用意されている。これは、一定時間応答がない場合は適切な処理ルーチンにまわし、コントローラーのハングアップを避けるためのもので、これによりデーターの取り込み等に失敗した場合にもコンピュータのハングアップを防止することができる。

5. 4 電気化学計測・表面処理への応用

次に、GPIBの電気化学計測、表面処理技術への応用について触れよう。図5は電気化学測定のための基本的なものの一つである電流電位測定系にGPIBを利用した例である。コントローラーから指示された走引電位範囲、走引速度によりポテン

図5 GPIBを用いた電流電位測定システム

シオスタットの電位設定を行い、各設定電位に対する電流値をコントローラーに読み込む。このようにして得られた電流電位曲線の一例を図6に示す。

この例では、電位設定用のファンクションジェネレーターにはGPIB機能が備わっているもののポテンシオスタットは、GPIB機能を有しない一般的なものを使用している。計測・制御機器のGPIB化が進んでいるとはいえまだGPIBの装備されていない機器を利用する場合も多い。測定システムの中にこのような機器が含まれる場合には、A/DまたはD/A変換能を持つGPIB付装置を介してデーターのやり取りを行う方法が考えられる。

図5の例では、2台のGPIB機能付きのエレクトロメーターを用い電位及び電流を取り込んでいる。このため、ファンクションの設定等、部分的にはマニュアル操作を必要とするが、データーの取り込みは十分可能であり、既存のアナログ機器を測定系に組み込む必要が生じた場合には、このような工夫をしてみるのも現実的な対応策の一つであろう。無論、電気化学計測を効率的に行うためには、すべての機器のGPIB装備が望ましい。表5には最初からGPIB制御を考えて設計された市販のポテンシオスタットの機能例を示す。このような機器では、ファンクションの設定からレンジの調整まですべてコンピューター上から制御が可能であり、試料さえセットすればあとは試料の前処理電解から測定、データー処理まで自動で行うことが可能である。データーの大量処理が不可

表5 GPIB付ポテンシオスタットの機能例
(東方技研 モデル2000)

最大出力	±50 V, ±1 A
応答速度	< 2 μS
電流レンジ	1 μA - 1 A
A/D変換	2 重積分方式
GPIB機能	
SH1, T5, L3, SR1, RL1, DC1, DT0, PP0, C0	
データー	ASCIIコード
デリミタ	CR LF
データーフォーマット	
POTENTIAL	+/- ***** mV
SCAN RATE	** E-*
HOLD TIME	*** E*

欠なインピーダンス解析等では、このような装置の利用が効果的である。

GPIBの表面処理技術への利用例として、アルミニウム陽極酸化皮膜の研究、特に、陽極酸化皮膜を電流回復法といわれる方法によりはく離する技術への応用例を示す。

アルミニウム陽極酸化皮膜は、現在、機能素子としての応用が広い分野で試みられているが、特に、陽極酸化皮膜を地金アルミニウムから取り除いたもの（はく離皮膜）についての研究が関心を持たれている。陽極酸化皮膜を地金から広い面積ではく離する方法としてはいくつかの方法が提案されているが、なかでもアノード電解後、逆電圧を印加し地金からはく離する方法（逆電圧はく離法）は、電解操作のみではく離を行えることから利用度が高い。しかし、この方法では、アノード電解後、逆電圧をかける前に電流回復法と呼ばれる方法により皮膜の地金に接する部分（バリエー層）を薄くする処理を施す必要がある。

図7に電流回復処理時の電圧印加と観測される電流の時間特性を模式的に示した。一定時間アノード電解した後、電圧を数V低下させるとバリエー層にかかる電場が低下し、観測される電流は急減しほぼゼロとなる。しかし、電流を観測し続けると再びアノード電流が流れ始めるようになる。これは、時間とともにバリエー層の溶解が進行し再び電解を進行させるに足る電場がかかるためで、電流

図6 測定結果の一例；
プロピレンカーボネート中のフェロセンの
サイクリックボルタモグラム、電位走査速度
0.2V/秒

図7 電流回復現象における印加電圧と電流の時間特性

図8 陽極酸化及び逆電はく離処理のフローチャート

回復現象と呼ばれている。このような処理を電圧を何段階かにわたって下げながら行うことによりバリア層を徐々に薄くしていくことが可能となり、この後逆電圧を印可すれば容易に陽極酸化皮膜をはく離することができる。

図8はコンピュータにより電流回復及び逆電はく離プロセスを自動化するためのフローチャートを示したものである。基本的には、定電圧電解用の電圧設定部分と、電流測定部分、及び電解をある一定の手順に従って進める部分があればこの様な電解システムを組むことができるわけであるが、この時、コントローラーと電解システムとを結び付ける部分にGPIB機能を有する機器を用いれば容易に電解処理系を実現することが可能となる。

6. おわりに

計測・制御用インターフェイスであるGPIBについてなるべく理解しやすいことを念頭に置いてまとめてみた。このため、細かい部分を省略したり、表現に正確さを欠く部分もあるかと思う。又、本稿では、パーソナルコンピュータを実際に計測・制御システムに接続するという点に視点を置いたため、パーソナルコンピュータを利用する上で最も本質的な、どの様なシステムに導入していくのが適切であるかという点には触れていない。この点に関しては、ユーザー自身がパーソナルコンピュータシステムを導入するために費やされるコスト、労力と得られるメリットとを個々のケースについて常に量りにかけて判断していく必要がある。

GPIBに関してのより詳細な点や不明な点については専門文献を参考にされたい。

参考文献

- 1) 岡村勉夫; "標準デジタルバス (IEEE-488) とその応用", CQ出版社。
- 2) 松田壽夫; "GP-IBインターフェイスの使い方", 日刊工業新聞社。