

(別紙2)

本資料は、電磁誘導方式、およびその発展技術であるワコム独自のペナブル・テクノロジー方式の、各位におけるご理解の補助を目的として添付したものです。ご参考にしていただければ幸いです。

電磁誘導方式デジタイザ

1. はじめに

ディスプレイとデジタイザを重ね合わせて、座標指示器である電子ペンでディスプレイ上のアイコンを動かしたり、手書きの文字を直接認識させてコンピュータを操作する入出力一体型ディスプレイの発想は決して新しいものではない。

「ペンでコンピュータを操作する」というコンセプト自身は、アラン・ケイが1960年代にダイナブック構想を発表した時、既にイメージとして存在していた。このダイナブックと名付けられたコンピュータは、本のような形態をし、ケイ自身の描いたスケッチの中では野原でダイナブックを使う子供達の手に明らかにペンとわかるものが握られていた。

しかしながらその後、実際に普及してきたパーソナルコンピュータは、文字入力にはキーボードが、またメニューの選択などのポインティングにはマウスが使用され、ペンは、電子手帳や専用ワープロなど一部の情報機器に採用されるにとどまった。

やがてオフィスでのコンピュータ普及に伴い、外出先で、あるいは屋外で、更には歩きながら、立ったままでもコンピュータを使いたい、というモバイルコンピューティングの要求が高まり、1991年になってGO社がPenPointというペン入力のOS(Operating System)を発表した。また、これに続いてマイクロソフト社がWindows for Pen Computingを発表し、ペンコンピュータのブームが始まった。

これらのOS上では、ポインティングやドラッグなどのマウスの操作はもちろんのこと、マウスでは困難なインクと呼ばれる自由曲線の入力や手で書いた文字の認識、さらには機能を筆跡に割り当てるジェスチャ入力がペン1本でできた。

一方、ペン入力OSの発表以降、コンピュータメーカー各社からはペン入力コンピュータが続々と発表された。

しかし、多くのペン入力コンピュータは、モバイルコンピュータと呼ぶには、スペックの上だけでなく、通信インフラも未成熟で性能の上から魅力がなかった。

さらに、ソフト面においても手書き文字の認識率が悪すぎるとか、ペンに対応したアプリケーションがほとんどないなどの問題もかかえていた。

しかし、近年、携帯電話、無線LAN、ホットスポットなどのいわゆる通信インフラの急激な成長により、屋外で移動しながら情報を授受するノマディック(nomadic)型ライフスタイルが普及してきた結果、モバイルコンピューティングは再度タブレットPCとして脚光を浴びる。

このタブレットPCは、最新のOSにペン入力の機能や音声認識の機能を付加したものであり、PCとしての性能にも妥協が無い。

勿論、背景には液晶ディスプレイの大型化、高精細化、高性能化をはじめとし、ノートブックPCの低消費電力、小型、軽量化技術などの著しい進歩がこのタブレットPCを支えている。

これらタブレットPCやモバイル端末を見るとき、その操作や文字入力の方法はペンかキーボードである。文字入力の効率の高さから、モバイルであってもキーボードのニーズは否定できないが、机上でしか操作できないマウスは、ペンで完全に代替されている。

ここでは、液晶表示に組み合わせる電磁誘導方式デジタイザの座標検出方式(デジタイザの動作原理)の説明を行い、その発展した技術である、ペナブル・テクノロジー方式の将来性について検討を加える。

2. 電磁誘導方式デジタイザの動作原理

2.1 一般的な電磁誘導方式

デジタイザのセンサ板に張り巡らせた複数のアンテナコイルと座標指示器(以下電子ペン)の電磁誘導を利用した方式である。図1に原理図を示す。

デジタイザのセンサ板には互いに直行する2次元(X軸,Y軸)方向に複数の長方形アンテナコイルが平行に並べられている。このアンテナコイルの巻き数は、単または数ターン程度である。(図1は、略図のためX軸方向の検出用アンテナコイルのみが描かれている)

また、電子ペンには送信用コイルとそのコイルから連続的に交番磁界を発生させるための電源とドライブ回路、発振回路が組込まれる。

デジタイザ本体は、アンテナコイル切替スイッチを順番に切り替え、センサ面をスキャンする。電子ペンが最も近いアンテナコイルからは最も強く、それに隣接するコイルからは比較的弱い信号が検出されるので、電子ペンの位置を算出することができる。

また、電子ペンのペン先スイッチや筆圧などの情報は、電子ペンからの信号を変調するなどしてデジタイザ本体に送られる。

((図1 電磁誘導方式の原理図 の挿入))

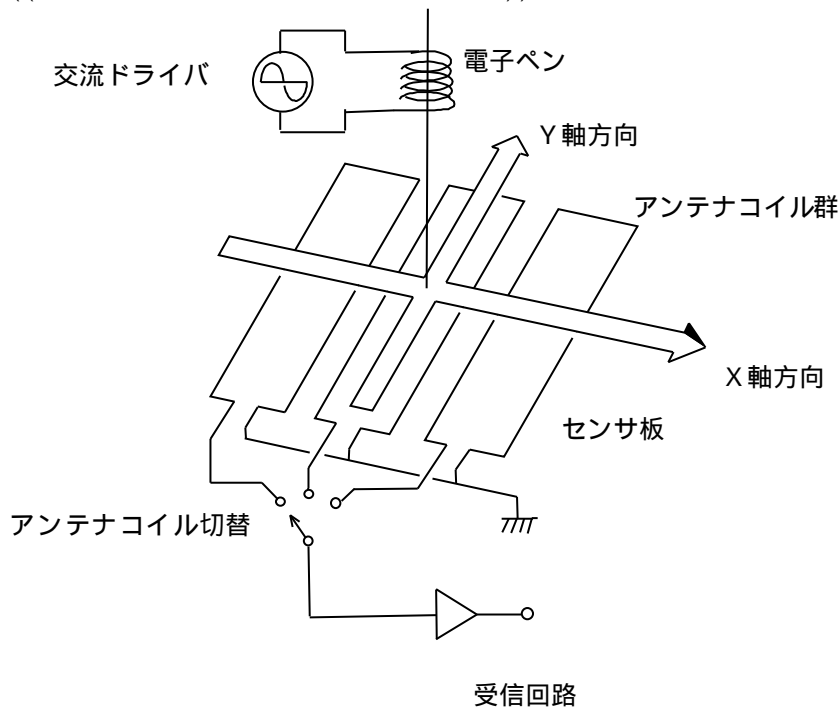


図1 電磁誘導方式の原理図

2.2 電磁誘導方式の特徴

電磁誘導方式は、電磁波による座標検出のため、抵抗膜方式のような接触点を検出する方式とユーザの観点で大きく異なる。

(1) ペンが表示面に近づくだけで座標を検出する

電磁誘導方式は電磁波を用いているので、電子ペンがデジタイザに近づくだけで座標検出が可能である。この機能によりペンを近づけた状態で画面上のカーソルを移動させることができ、デジタイザを液晶画面と重ねて入出力一体型した場合でも、またデジタイザを画面から離しても画面のカーソルを見れば同様の操作が可能である。

抵抗膜方式のように接触点の座標を検出するデジタイザは、接触するまで座標の検出はしないので、カーソルの移動ができずデジタイザを画面から離して使うことができない。

(2) マウス機能の代替が可能である

抵抗膜方式は接触した点の座標検出をするが、ペンのスイッチの概念が無いので、マウスの代替として考えるとマウスの左右ボタンに相当する機能が付加できない。

電磁誘導方式は、座標の検出とペン先の接触(筆圧)は全く独立しており、電子ペンにスイッチの追加が可能で、ペンの脇腹にスイッチを増設すれば、先端スイッチでマウスの左ボタン、増設スイッチで右ボタンも代替ができる。

(3) 電子ペンに機能の追加が可能である

上記のような脇腹のスイッチ(サイドスイッチ)のほか、筆圧の検出、電子ペンに消しゴム付き鉛筆にある消しゴムのような機能の追加が可能である。筆圧はグラフィクスの入力だけでなく、サイン照合など広範なアプリケーションが期待でき、電子消しゴムにより直感的な操作も可能になる。

(4) アンダーレイ構造なので、表示品位を落とさない。

電磁誘導方式デジタイザは、液晶表示装置の裏面に位置するアンダーレイ構造のため、表示装置の上に貼りつける抵抗膜方式のように表示装置の表示品質を落とさない。反射型液晶のように光量に制限がある場合は、特に有用な方式である。

(5) ペンの傾き角度と方位を検出できるものがある。

(6) 複数の座標指示器を同時に検出できるものがある。

2.3 電磁誘導方式の課題

(1) 専用電子ペンを必要とする

抵抗膜方式デジタイザと比較した場合、専用ペンが必要で指先を検出しない、と指摘されることがある。これは、原理的に如何ともしがたいが、指を検出しない欠点は同時に指で触っても誤動作しない、ともいえる。タブレットPCのように大型画面の場合、ペンを持つ手が画面に触れることや、PC本体を支持する手が画面に触れることもある。

電子ペンがメンテナンス・フリーであれば、ペンを使うこと自体は欠点にならないだろう。

(2) 電磁ノイズにより誤動作する

電磁誘導方式デジタイザは、電子ペンのコイルとデジタイザ本体のアンテナコイルがトランスの一次、二次のように磁氣的に結合している。この結合に、他からの交番磁界(磁気ノイズ)が入ると、それを電子ペンからの磁束と間違え、電子ペンがあるかのような挙動をしたり、電子ペンが静止していても座標が細かく振動するジッタと呼ばれる不具合が発生する。

この磁気ノイズ源としては、バックライト用インバータ回路や電源回路のDC-DCコンバータがあるが、適切にシールドをしたり、位置を変更することで解決が可能である。

(3) 価格差

一般的に電磁誘導方式デジタイザは、抵抗膜方式に比べて高価と思われているが、これは専用電子ペンを必要とする点や、制御する回路の構成が複雑なためである。しかし、抵抗膜方式のコストが大型になるにつれて急激に上昇する反面、電磁誘導方式はコントローラ回路と電子ペンにコストが集中しているため、大きさによるコスト増の割合は低い。その結果小型であれば抵抗膜方式が優位になる価格も、大型になると電磁誘導方式が優位になる。これからもコントローラ回路の半導体の集積化がすすみ、電子ペンの製造が改善されるにつれより小型でも電磁誘導方式が有利になるであろう。

3. ペナブル・テクノロジー方式デジタイザ

弊社のペナブル・テクノロジー方式は、上記の電磁誘導方式デジタイザの発展技術で、電子ペンに電源(電池)を必要としない、バッテリーレスを特徴とする。

3.1 ペナブル・テクノロジー方式の概略

図2にペナブル・テクノロジー方式の原理図を示し、その概略を説明する。

弊社のペナブル・テクノロジー方式デジタイザは、電子ペンの内部から一方的に電磁波を出力するのではなく、電子ペンとデジタイザ本体のアンテナコイルが電磁エネルギーを授受することで電子ペンの位置を検出する。

初めにデジタイザ本体にある交流ドライバ回路からアンテナコイルに一定期間交流を流す。デジタイザ本体のアンテナコイルと電子ペン内部のコイルは、トランスの1次、2次のように働き、電子ペンのコイル両端に交流の電圧が発生するが、この電子ペンのコイルは接続されたコンデンサと共振回路をも構成しているので、L-C共振することでエネルギーを蓄える。(勿論、この共振回路の共振周波数とデジタイザ本体がドライブする交流の周波数は同一である)

共振が安定してからデジタイザ本体は、電流ドライブを止め、送信 / 受信スイッチをドライバから受信回路に切り替える。すると、電子ペンの共振回路の電力が、ペンのコイルを1次側、デジタイザのアンテナコイルを2次側としてアンテナコイルに現れるので、これを検出する。

上記のように、送信 / 受信を各アンテナコイルをスキャンさせながら繰り返し、電子ペンの位置をサンプリングする。

デジタイザ本体が初めにエネルギーを電子ペンに授け、その後電子ペンからエネルギーを受けているので、電子ペンには電池などのエネルギー源を必要としない。

((図2 ペナブル・テクノロジー方式の原理図))

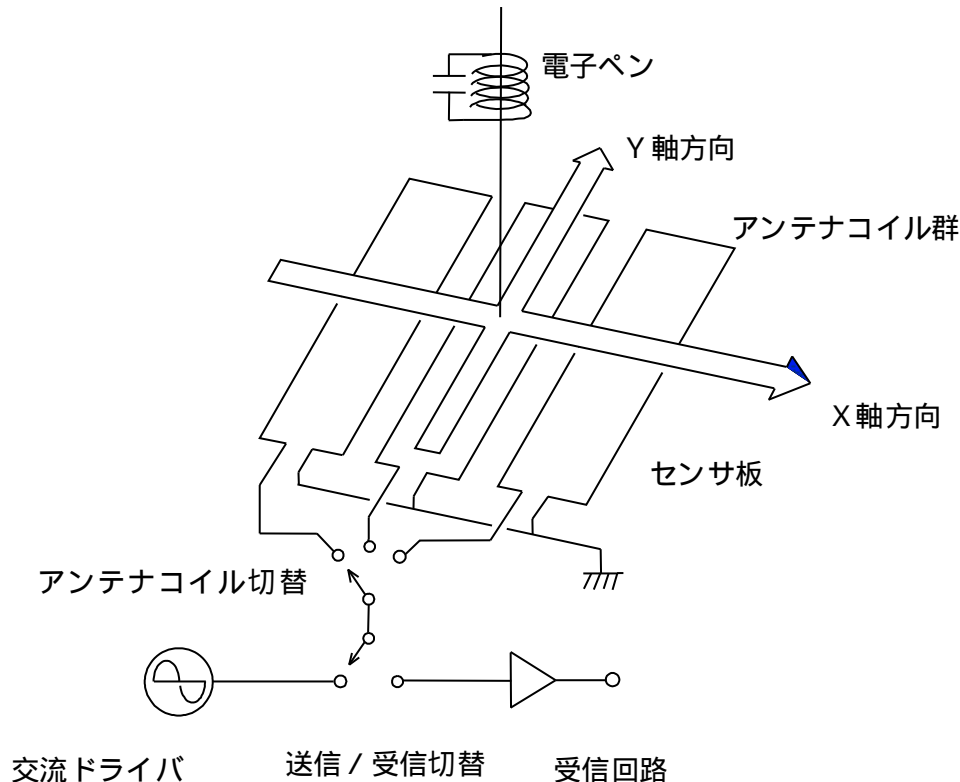


図2 ペナブル・テクノロジー方式の原理図

3.2 ペナブル・テクノロジー方式の特徴

電子ペンに電池を入れる必要が無いペナブル・テクノロジー方式は、下記のような特徴をもつ。

(1)座標指示器の形状に自由度が高い。

現在、ペンの太さは5.5ミリ径の製品を有しているが、更に細い電子ペンも十分可能であり、モバイル用途に最適である。

(2)電池の入手性の考慮がいらぬ。

従来からの電磁誘導方式の電子ペンに使われる乾電池はペンの形状に合わせるため、単4型や単5型より細長くなければならぬ。そのため、国内の規格に無いAAAAと呼ばれる乾電池が一般的に使われるが、入手が困難である。

(3)電池切れの心配が無い。

タブレットPCのように複雑なシステムの場合、ペンの電池切れでカーソルが動かなくなってもユーザがペンの電池切れに思い当たらない場合があり、思わぬクレームになることがある。

(4)電子ペンの構成が簡単で、低コストである。

(5)耐久性が高く、長寿命である

(5)電池がないので、地球に優しく安全である。

3.3ペナブル・テクノロジー方式デジタイザの構造例

ペナブル・テクノロジー方式のデジタイザでは、電子ペン(座標指示器)とアンテナコイルを張り巡らせたセンサ板アッセンブリおよびそのコントロール回路が構成要素となる。センサ板アッセンブリは、センサPCBとシールド板、それを張り合わせる両面テープより構成されている。

シールド板の機能は、背面からの電磁ノイズをシールドする他、電子ペンと磁束をやりとりする磁路の役目もするため、磁性材料に限られる。

センサPCBは、両面2層ガラスエポキシ材を使う。ガラスエポキシ材は、熱膨張が少なく適度な剛性もあり、デジタイザのベース材に適している。

図3にセンサ板とLCDを組み合わせた場合の断面図を示す。

((図3 LCDと組み合わせた断面図 を挿入))

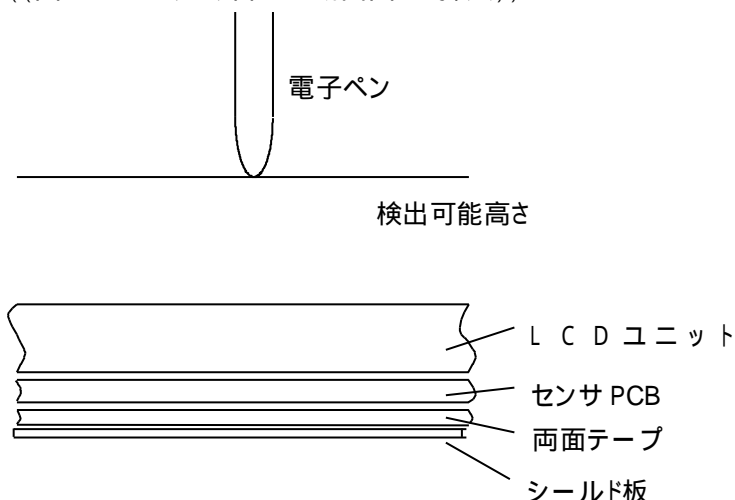


図3 LCD と組合せた断面図

4. ペナブル・テクノロジー方式デジタイザの動作原理

4.1 原理

ここでは、電磁誘導方式の発展技術である弊社のペナブル・テクノロジー方式の動作原理について詳細に説明する。

図4に構成要素各部の信号波形を示す。

下記の構成要素から成る。

(1) 電子ペン

円形コイルLとコンデンサCからなる共振回路から成る。共振回路の共振周波数は、電流ドライバの周波数に一致するように調整されている。

$$\text{電子ペンの共振周波数 } f_0 = \frac{1}{2\sqrt{LC}}$$

(2) センサコイル

細長いコイルで、実際のコイルは隣接するコイルと重なりながら配置されている。

(3) 送信部

コイルに電流*i*を流すための電流ドライバである。

(4) 送信 / 受信切替スイッチ

一定時間(T1, T2)毎にコイルの接続を送信部, 受信部に切り換えるスイッチである。

(5) 受信部

電子ペンからのエネルギーで発生した電圧を増幅するための回路である。

以下に動作の詳細を述べる。

(1) 送信期間(T1)

デジタイザ本体のコイルに交流を流し、電子ペンの共振回路にエネルギーを蓄える。

切替スイッチは送信部とコイルを接続する。

送信部は、コイルに一定振幅, 周波数*f*₀の電流*i*₁を流す。

コイルは、トランスの1次コイルのように働き、磁束を発生させる。

電子ペンが近傍にあれば、共振回路のコイルLがトランスの2次コイルとして磁束 Φ_1 を受け、誘導起電圧が生じる。この電圧によって、L-C共振回路が励振が、この振幅は電子ペンが送信アンテナコイルの近傍であればより強く、離れていればより小さく、あるいは検出不可能な程度に小さくなる。

電子ペンの共振回路の振幅は、この送信期間(T1)徐々に大きくなる。

受信部は、アンテナコイルとは接続されていないので出力は0である。

(2) 受信期間(T2)

電子ペンのコイルLに共振電流が流れ、そのエネルギーをアンテナコイルで検出する。

切替スイッチを受信側にし、コイルと受信部を接続する。

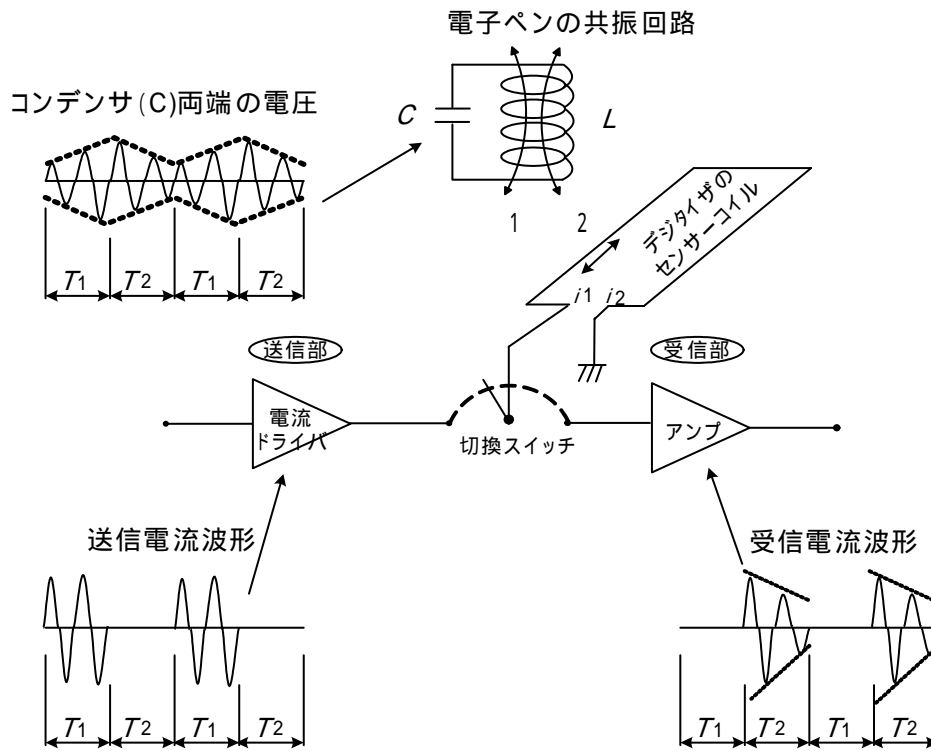
送信部は、アンテナコイルに接続されていない状態なので出力を0にする。

電子ペンの共振回路は、送信期間に蓄えられたエネルギーで共振電流をコイルLに流し磁束 Φ_2 を発生させる。

電子ペンが近傍にあれば、アンテナコイルがトランスの2次コイルとして磁束 Φ_2 を受け、誘導起電圧が生じる。この振幅は電子ペンが送信アンテナコイルの近傍であればより強く、離れていればより小さく、あるいは検出不可能な程度に小さくなる。

受信部は、センサコイルに生じた誘導起電圧を増幅させ、後段の信号処理回路で受信信号の振幅と位相ずれを検出する。

(図4 構成要素の各部の信号波形 挿入)



4.2 座標検出方法

図5に座標算出方法の概略を示す。

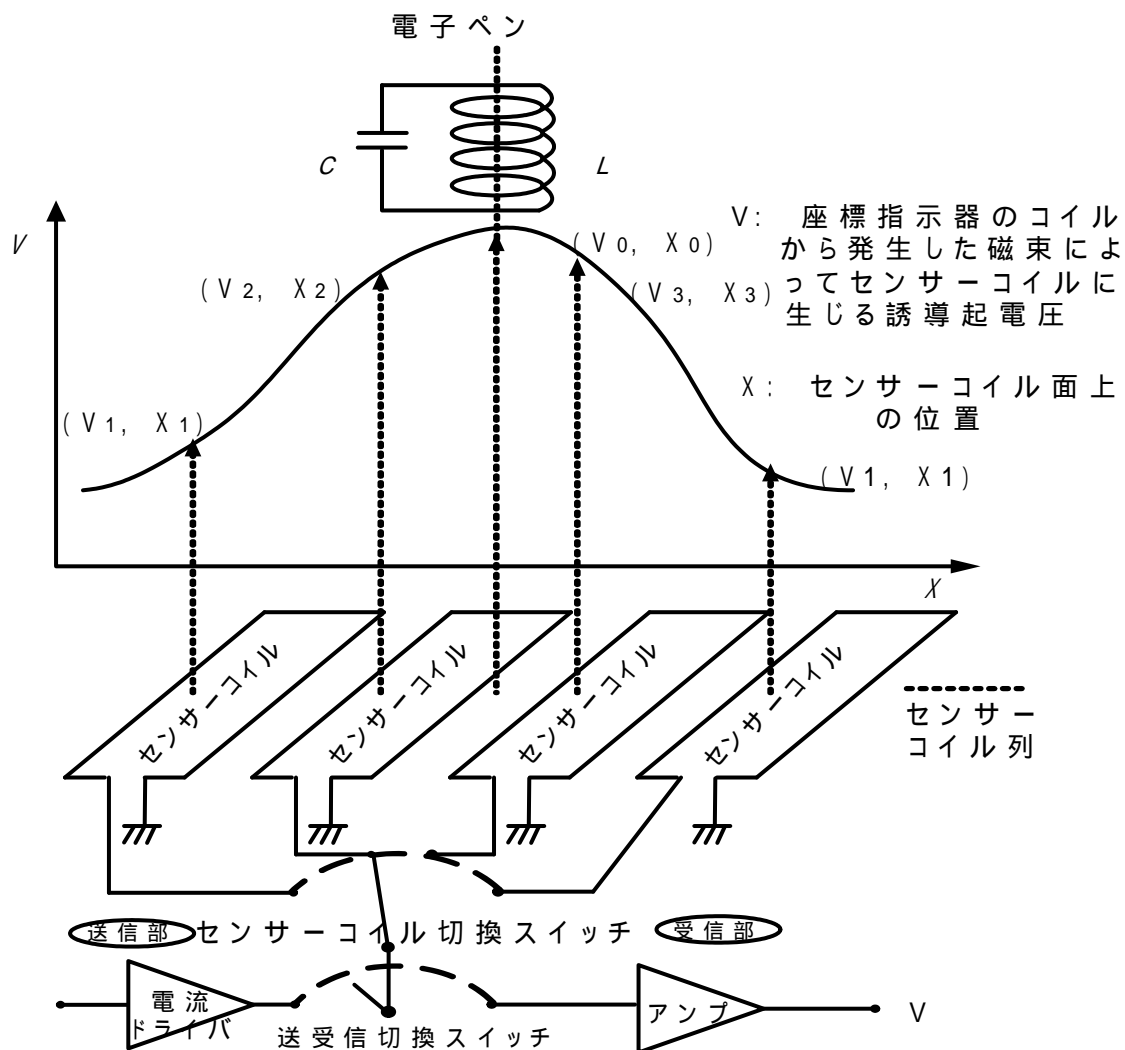
図中のグラフは座標指示器のコイルから発生した磁束によってセンサコイルに生じる誘導起電圧のセンサコイル面上の分布を示す。

デジタイザはセンサコイルを切り換えながら送受信を繰り返し、センサコイル面上の 1, 2, 3, 4 の位置にそれぞれ配置されたセンサコイル , , , に発生した誘導起電圧 V_1, V_2, V_3, V_4 を検出する。そして、その誘導起電圧 V_1, V_2, V_3, V_4

から、誘導起電圧の分布曲線の頂点の位置 C を算出する。これが座標指示器の位置になる。

このような処理を互いに直行した二つの軸(X 軸, Y 軸)に対して行うことにより、2次元平面上の座標指示器の位置を検出することができる。

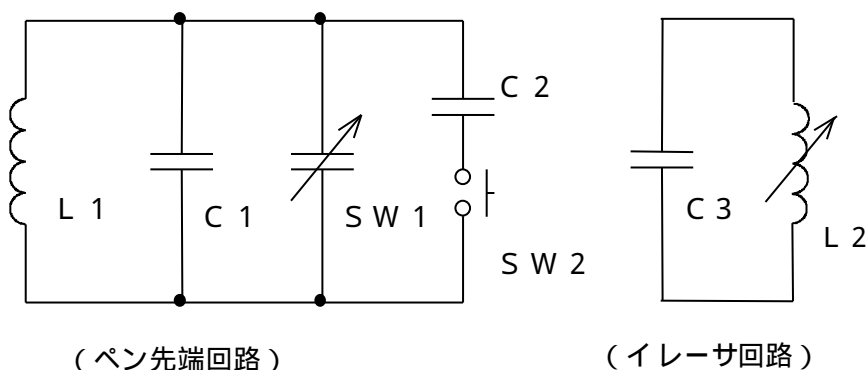
((図5 座標算出方法の概略 挿入))



4.3 電子ペンの動作原理

・1.1 電子ペンは、バッテリーレスを実現するため「ペナブル・テクノロジー方式の概略」に説明したような、共振回路を内蔵している。

イレーサ付き電子ペンの等価回路を図6に示す。



イレーサ付き電子ペン等価回路

- L1 : アンテナコイルと電磁波を受受するコイル
- C1 : L1とLC共振回路を構成するための、主コンデンサ
- SW1 : ペンの先端にかかる圧力で容量の変わる可変コンデンサ。弊社ではこれをコンデンサ・スイッチと呼ぶ。
- SW2 : ペンのサイドスイッチ。
- C2 : SW2によって共振周波数を変える為のコンデンサ。
- L2 : イレーサにかかる筆圧を検出する可変インダクタンスで、アンテナコイルと電磁波を受受するコイルも兼ねている。
- C3 : L2とLC共振回路を構成するための、主コンデンサ。

弊社電子ペンは、先端スイッチのストロークが0.1ミリ以下(平均値40ミクロン)と極めて小さくストロークを感じさせない事の特徴とする。

電子ペンのスイッチは、デジタイザ本体から送信される交流と、ペンの共振回路から返って来た信号を比較して検出するが、先端スイッチとサイドスイッチではその方法が異なる。

また、イレーサは消しゴム感覚を実現するため、比較的大きなストロークをスイッチにもたせている。

・1.1.1(1)先端スイッチ

先端スイッチは、送信信号とペンから返って来た信号の位相差により検出する。

ペン先の圧力は等価回路のSW1の容量を変化させるが、その変化量はわずかで共振周波数もわずかにドリフトする。この周波数のドリフトは、デジタイザ本体に限られた時間窓でサンプリングをすると位相のドリフトとして検出ができるため、その変化量をペン先の圧力として出力する。

・1.1.1(2)サイド・スイッチ

サイド・スイッチ(SW2)は共振回路のコンデンサC2によって、共振周波数を大きく変化させて検出する。共振周波数が先端スイッチの変化に比べ大きく変化するため、先端スイッチの検出と同時に進行することができる。

・1.1.1(3)イレーサ

基本動作は、先端スイッチの動作と同様だが、ストロークでインダクタンスが変わるコイルを使い、筆圧を周波数ドリフトに変換する。

可変インダクタンスは、コンデンサ・スイッチに比べ部品点数が少なく、きわめて高い信頼性と低コストが特徴であるが、加重によるストロークが比較的大きい。

5. デジタイザの性能

デジタイザはアナログ的な位置情報をデジタル的な座標値に変換するA/Dコンバータと考えることができるので、その性能も同様に考えることができる。

5.1 静特性

静特性は、デジタイザ上に電子ペンを静止させた場合の特性(性能)で、A/Dコンバータであれば、DC特性に相当する。

(1) 分解能

デジタイザの分解能は、通常のA/Dコンバータのように総ビット数で表さず、1LSBの大きさを表す。これはデジタイザの生い立ちが写真や手書き図の入力が主だったため、電子ペンの移動量が何ビットに相当するか重要だったためである。

通常のヒューマン・インタフェース用途では、数十ミクロンの分解能で十分であるが、更に高い分解能の製品も見受けられる。しかし、微分非直線性誤差が1LSBを超える、いわゆる単調増加性を保障しないデジタイザでは、高分解能の意味が無くなる。

(2) 座標精度

弊社は検出座標の精度を、「任意の2点間の距離」の誤差で表すが、デジタイザ業界全体としてのコンセンサスは未だ無いようである。通常デジタイザの精度は、周辺部になるほど磁束の強度に影響する金属や電磁ノイズにさらされるため、中心部であれば良好な精度も周辺部で急激に劣化する場合があります、注意が必要である。

また、測定を行うための環境も重要である。一般的な産業用ロボットアームでは精度が足りないため、弊社は液晶製造用のステッパを改造して測定機としている。

5.2 動特性

動特性は、電子ペンの移動をどの速さまで正確にトレースできるかを表す。試験方法は、デジタイザ板面上で電子ペンを高速で回転させ、追従ができる最大の周波数を求める。

信号が減衰するように、ペンの回転半径が小さくなるように見える場合は、その半径が1/2になった周波数をカットオフ周波数とする。

通常は、0から20Hz程度の回転で測定をするが、電池の入った電子ペンの場合は遠心力で壊れてしまうこともある。

6. コンピュータとの接続

デジタイザはコンピュータのシリアルポートに接続されれば、マイクロソフト社の“Plug and Play”をサポートしているので、Windows系のOSであれば自動認識される。

しかし、シリアルポートはレガシーインタフェース(Legacy Interface)と呼ばれ、近い将来USBとIEEE1394に代替される。すでに、ノートPCでは、レガシーフリーとなりシリアルポートが無いのが標準になりつつある。

弊社はグラフィクスタブレットの専門メーカーとして、USBインタフェースのタブレットを業界に先駆けリリースした経験があり、USBインタフェースのサポートも可能である。

また、弊社は北米、欧州、日本の各拠点にデバイスドライバの開発者を配置し、各種OSのサポートが可能である。

7. ペナブル・テクノロジー方式を採用した液晶ペン入力用デジタイザの紹介

ここでは、弊社製品の組込み用デジタイザを紹介する。

7.1 12.1”液晶用SU-029-デジタイザユニット

SU-029-A00は、弊社の12.1インチ液晶用デジタイザのセンサ板ユニットである。SU-029-A00は図6に示す形状で、対角12.1インチ液晶の表示エリアをカバーするだけでなく、座標分解能も2540dpiと高く今後の高精細液晶にも十分対応できる仕様となっている。

図7にSU-029-A00の外形図を示す。

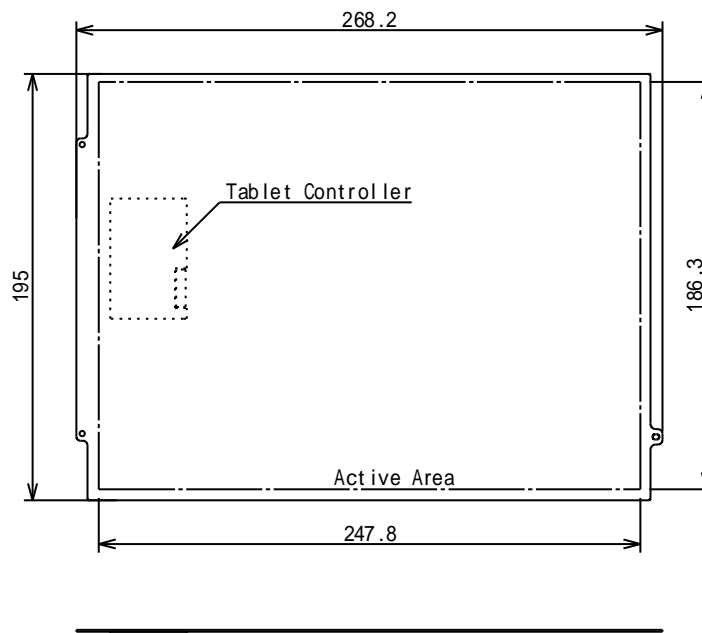


図6 SU-029-A00外形図

基本仕様を表1に示す。

インタフェースは、シリアル通信を用いているが組み込み用なので、RS-232C信号レベルコンバータを無くし、マザーボード上のスーパーI/Oチップに直接接続する。

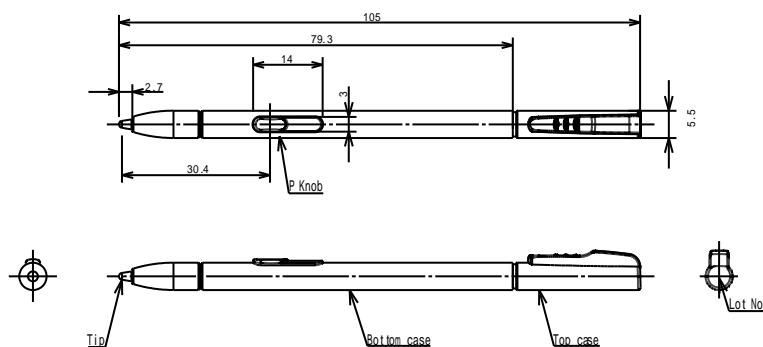
SU-029-A00は弊社の一品种であり、カスタマイズによりあらゆる液晶の大きさに対応できる。

型番	SU-029-A00
対応液晶サイズ	12.1"
検出方式	ペナブル・テクノロジー方式
検出範囲	247.8 × 186.3 mm
インタフェース	調歩同期シリアル通信 (USBオプション)
座標分解能	2450ppi
精度	± 0.4mm
レポートレート	133pps (160ppsオプション)
筆圧分解能	8ビット
傾き精度	垂直から傾き50度まで
読取高さ	デジタイザ表面から 5~14mm
供給電源	DC3.3V (±10%)

表1 標準デジタイザ仕様

7.2 電子ペン

弊社ペンは、動作原理に詳述したように、内部構造が単純なため、工業デザインの自由度が高い。図8に弊社標準 5.5ペン MP-200の外形図を示す。



MP-200 5.5電子ペン

8.おわりに

ペン入力には誰にでも親しまれて来た入力方法でコンピュータの入力手段としても、音声認識に並んで有望であることは、タブレットPCの普及とともに実証されるであろう。

ユーザインタフェースとしての電子化されたペンは、単なる筆記具としてではなく、(文字入力的手段としてだけでなく)人間の意思を伝え、コンピュータを操作する手段になりつつある。

人間の意思を忠実にインタフェースする、とは文字認識だけでなく、言葉にならない人間の仕草など、人間の「思い」を直感的にコンピュータに伝えることであり、その手段としてペンは最適な素材である。

弊社は、電磁誘導方式デジタイザメーカーとして、ユーザインタフェースの観点で、デジタイザの研究、開発を今後も続けていく。

参考文献

- 1)小林修三;「エレクトロニクスエッセンシャルズシリーズNo.17, 入力装置開発・設計・応用の要点」第6章 デジタイザ/デジタイザP.115~132 日本工業技術センター 出版 昭和60年11月30日 初版発行
- 2)Microsoft Corporation Plug and Play External COM Device Specification Version 1.00 February 28, 1995 (Copyright Microsoft & Hayes, 1994 - 1995)
- 3)土田洋一 / 武田和義 / 田中尚文 / 伊澤清吏 「Inter__face」デジタイザ / デジタイザのしくみP.91~95 CQ 出版社1996年5月