

## 指の近接/接触検知が可能な3次元タッチパネル

岡野 祐一 鷲野 浩之 川又 武典

三菱電機(株)  
情報技術総合研究所

本稿では、静電容量検出型のタッチパネルを用いて、指の近接、及び接触を検知可能な3次元タッチパネルについて述べる。指の近接を検知する場合は、静電容量検出感度を高めるため電極を複数結合する。また、指の接触を検知する場合は、高い解像度で指の位置を検出するため電極を分離する。評価の結果、タッチパネル面から20mmの高さで指の近接を検知することが可能で、指の近接、接触位置を実用的な精度で検出できることがわかった。

### 3-Dimensional Touch Panel System which can detect the proximity and contact of the finger

Yuichi Okano, Hiroyuki Washino, Takenori Kawamata

Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corp.

This paper describes a 3-Dimensional Touch Panel System constructed by projected capacitive type touch panel which can detect the proximity and contact of the finger. This system combines the electric sensors in order to increase the ability to detect the proximity of the finger and separates the electric sensor in order to detect touch point of the finger with high resolution. In the result of the experiments, this system can detect the proximity of the finger at 20mm above from the touch panel surface, and can detect the position of the finger with practical accuracy.

#### 1. はじめに

近年、タッチパネル機能付きの各種小型情報端末が製品化されている。タッチパネルの検出方式には、抵抗膜方式や静電容量方式、赤外線方式、超音波方式など各種方式があり、用途に応じて最適な方式が採用されている。この中で、静電容量方式はタッチパネルと指との間に生じる静電容量を検出することで指の位置を検出するもので、非常に軽い操作での入力が可能であるため、今後もさらに広く普及していくものと考えられる。

ところで、静電容量方式の小型情報端末では、タッチパネルを指で操作することによる直感的操作が

可能である反面、小型液晶画面に表示した小さなボタン等の操作が難しいという課題があった。これを解決するため、画面に表示する操作ボタンを大きくするなど、指操作に適したコンテンツにする方法があるが、この場合、コンテンツの変更が必要であり、また限られた数のボタンしか表示することができないため一度に表示できる情報量が大きく低下するという問題がある。そこで、我々は静電容量方式のタッチパネルを用いて、指が近づいた場合に、容易にボタン選択等の処理ができるよう表示内容を拡大し、その後タッチパネルに触れることで処理の実行を可能と

する3次元タッチパネルの試作を行った。

## 2. 関連研究

タッチパネル面への指の近接を検知し、画面拡大、情報表示などに活用する技術としては Layered Touch Panel[1]がある。これは通常のタッチパネルディスプレイの上に赤外線タッチパネルを配置し、赤外線タッチパネルによって指の近接を判定することで、指近接周辺を拡大表示したり、ドラッグ&ドロップ操作を可能とするものである。しかし、これを実現するためにはタッチパネルディスプレイの他に赤外線センサを配置する必要があった。

一方、タッチパネル自体を用いて指の近接を検知するものとしては、Smart Skin[2]がある。これは、ウレタン被覆銅線電極を格子状に配置したセンサ部を用いて、送受信方式により各格子点における銅線電極と指との間の静電容量を検出するものであり、タッチパネルに触れる前の指の位置を検出することが可能である。我々も静電容量方式のタッチパネルを用いて指の近接を検知する試作システムの検討を行った。ただし、Smart Skinではセンサ部分が透明ではないため、操作画面の表示は、上部に設置したプロジェクタから投影した映像を用いている。我々は液晶パネルの上に配置して表示一体型での操作が可能のように、ITO透明電極によるタッチパネルを用いた試作を行うこととした。銅線電極でセンサ部分を構成する場合に比べて、ITO透明電極を用いたタッチパネルの場合には、ITO透明電極の抵抗成分が大きいため、静電容量検出の感度が低下するという課題がある。そこで、我々は、次章に述べる電極制御により静電容量の検出感度を向上することで、ITO透明電極のみで指の近接・接触を検知可能なシステムを試作した。

## 3. 検出処理

### 3.1 静電容量検出

指の近接検知の処理について簡単に説明する。

図1に今回試作したシステムの概略構成を示す。実際のタッチパネル部の電極数はX軸方向検出用12本、Y軸方向検出用9本であり、各電極はXYの重なり部分を最小にするため、ダイヤモンド型を連ねた一般的な形状とした。また、パ

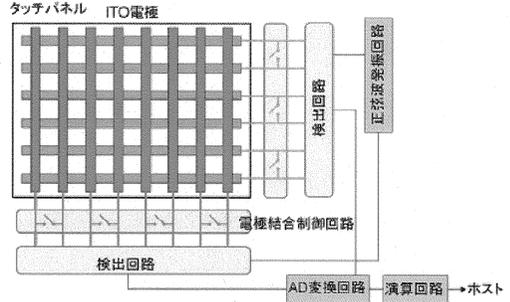


図1 概略構成図

ネルサイズは5.7インチとし、1本の電極の幅は約10mmのものを用いた。

まず、タッチパネル面に配置された電極に正弦波の信号を印加する。ここで、タッチパネル面に指が近づくと、電極と指との間に静電容量が生じる。この静電容量結合を介して電極から指へわずかに電流が流れ込む。このため、検出回路において、電極からの信号を測定すると、印加した信号に比べて出力レベルが低下する。この値をAD変換回路にて取得し、指が近接していない状態の出力レベル（ベースライン値）との差分AD値を演算回路で求め、これを出力信号とする。正弦波信号を印加する電極を順次切り替えることで、各電極での出力信号を求める。X軸方向電極、Y軸方向電極それぞれで最も出力信号が大きい電極を求めることで、指の近接位置を検出する。

なお、銅線電極に比べて、ITO透明電極を用いる場合には、感度が低下する。そこで、次節に述べる電極結合制御、シールド電極制御により静電容量検出の感度向上を図る。

### 3.2 電極結合制御

電極と指との間の静電容量の大きさは2つの間の面積に比例し、距離に反比例する。従って、電極の面積が大きいほど指との間に生じる静電容量は大きくなり、指を近接させた場合の静電容量変化の検出感度向上を図ることができる。そこで、指の近接を検知する場合は、図1の電極結合制御回路部分において、隣り合う2本の電極を結合して1つの大きな電極として動作させる。これにより、タッチパネル面と指との間に生じる静電容量を感度良く検出することが可能となる。

一方電極を結合して1つの大きな電極とする

と、物理的な電極の数が減少することとなり、指位置検出の分解能が低下する。指の近接を検知する際には、わずかな静電容量変化を検出するため電極面積を大きくする必要があり、タッチパネル面に指が接触した場合には、近接時に比べて大きな静電容量が生じるため、電極面積が小さくても十分指の接触位置を検出することが可能である。そこで、指の接触を検知する際には電極を1本毎に分離して動作させる。すなわち、指の近接を検知する場合は、電極を結合して動作させることで、微弱な静電容量変化を検出し、指がタッチパネル面に接触した後は、電極を分離して動作させることで、位置検出の分解能を向上させる。図2に電極の結合/分離の概念図を示す。

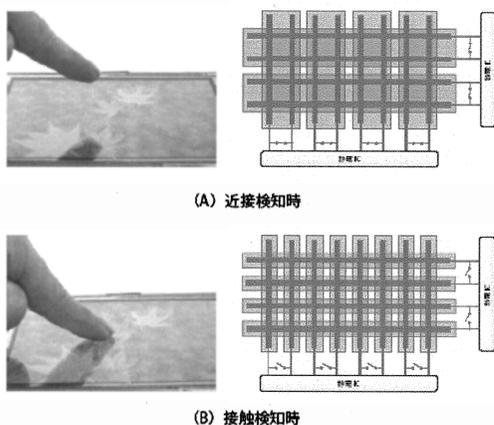


図2 電極結合制御

### 3.3 シールド電極制御

指と電極の間の静電容量を感度良く検出するためには、周囲の寄生容量を抑制することが重要である。今回試作したタッチパネルのようにXYの位置を検出するため複数の電極を配置した場合、指近接を検知している電極（検出電極）と、周囲の電極の間に電位差があると寄生容量が生じる（図3の $C_{f1}$ ,  $C_{f2}$ ）。この場合、検出電極から寄生容量  $C_{f1}$ ,  $C_{f2}$  を介して周囲の電極に信号が流れ込む。このため、指近接による静電容量  $C_s$  分に起因する差分 AD 値の出力レベルが低下する。そこで、検出電極と周囲の電極が同電位となるようシールド電極制御を行う。具体的には図3に示すように、X軸方向検出用電極を検出電極と

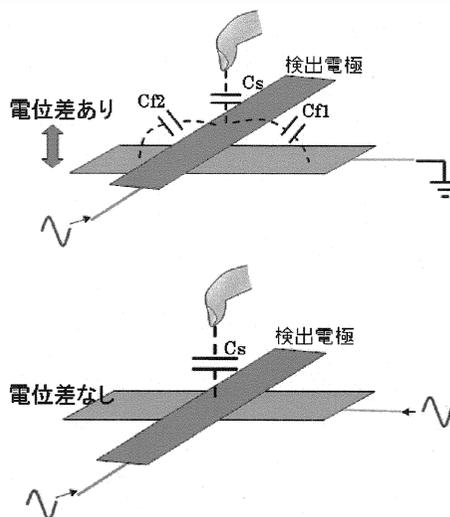


図3 シールド電極制御

した場合、それと直行する Y 軸方向検出用の電極には、検出電極と同じ振幅、位相を持つ信号を印加する。これにより検出電極と周囲の電極の電位差をなくし、寄生容量による感度低下を抑制する。

### 3.4 ノイズ除去

電極から得られた出力信号には各種のノイズ成分が含まれる。特に指の近接を検知する場合は、微弱な静電容量変化を検出するため、信号中のノイズ成分の除去が必要である。図4に予備実験で得られた指近接時の検出電極の出力信号を示す。これは、特定の電極の上に指を近接（図中の矢印の区間）させた場合の出力信号を示したものである。図から、指近接の信号には高周波ノイズが重畳していることがわかる。

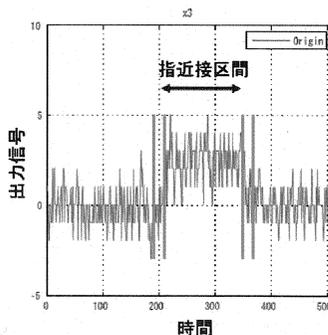


図4 指近接時の出力信号

この出力信号に対してスペクトル解析を行った結果を図5に示す。指の近接に伴う出力信号変化の成分は低周波帯域(本試作ではほぼ正規化周波数0.1以下)に現れることがわかった。そこで、デジタルフィルタにより高周波ノイズ成分の除去を行う。なお、タッチパネルの応答性を考慮し、群遅延の影響が比較的小さいIIRフィルタを適用した。

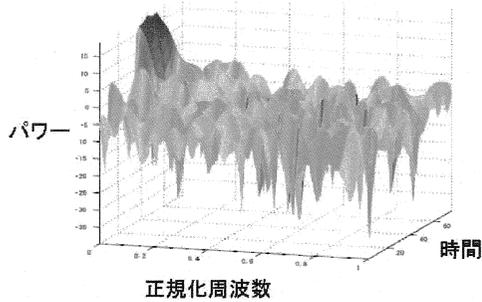


図5 指近接信号のスペクトログラム

### 3.5 座標算出

ノイズ除去後の出力信号から座標を算出する。3.2節で述べたように指近接検知の場合は電極結合により座標分解能が低下する。そこで、各電極の出力信号の分布から座標を補間することで座標分解能の向上を図る。今回は、[2]と同様に各電極の出力値を滑らかに結ぶ曲線を求め、その曲線が極大値となる位置を補間座標値とした。具体的には図6に示すように、各電極の出力値を通過し、全区間で2階連続微分可能となる3次スプライン曲線を求め、その極大値から座標を算出する。

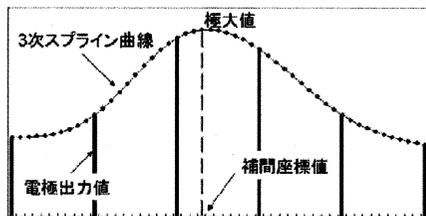


図6 3次スプライン曲線による座標補間

以上の処理により、指の近接/接触の検知を行う。次章では、今回試作のタッチパネルの評価実験について述べる。

## 4. 実験

### 4.1 実験環境

試作した3次元タッチパネルの性能評価の実験を行った。指の近接検知性能を定量的に評価するため、XYZの3軸操作が可能なタッチパネル評価機(図7)を用いて実験を行った。この評価機は荷重測定器の先に取り付けた金属製の擬似指を用いて、タッチパネル面から一定の距離に近接させた状態、あるいはタッチパネル面に一定の荷重で接触させた状態で信号を検出できるようになっている。

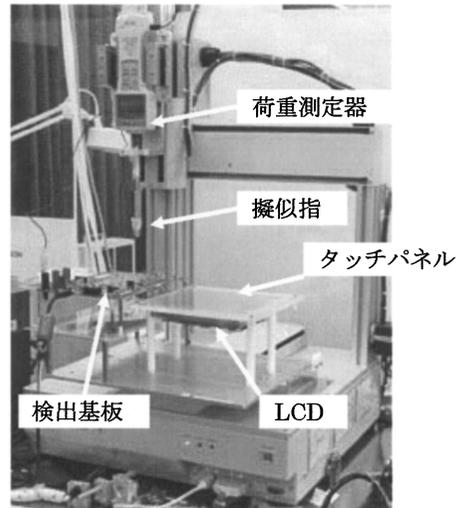


図8 タッチパネル評価機

なお、評価の際は、擬似指をタッチパネル面に近接、あるいは接触させた状態で一定時間(2秒間)のデータを取得し平均を求める。今回は、タッチパネル面から高さ20mmの位置での近接検知性能評価、および、近接、接触の座標算出精度の評価を実施した。

### 4.2 実験結果

まず、電極結合制御による感度向上の効果を確認するための実験を行った。具体的には電極を2本結合した状態と、電極を1本ずつに分離した状態で、タッチパネル面の上部20mmから1mmまで1mm刻みで擬似指を近接させた場合の検出電極の出力信号を測定した。結果を図9に示す。

電極を2本結合する場合は、結合スイッチ部分のわずかな寄生容量のため若干感度低下が生じ

るが、電極面積が大きいことにより、電極を 1 本毎に分離した場合に比べて検出できる出力信号が大きくなることわがわかる。

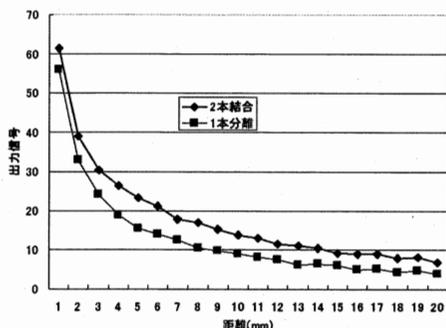


図9 電極結合/分離の出力信号測定結果

また、近接検知状態(電極を2本結合した状態)で擬似指をタッチパネル面に接触させた場合の検出電極の出力信号を測定した。図10は擬似指をタッチパネル面上20mmから1mm刻みでタッチパネル面接触(0mm)まで移動させた場合の出力信号を示したものである。タッチパネル面に接触した場合は近接時に比べて大きな出力信号が得られることがわかる。これより、近接状態と接触状態を判定することが可能であり、接触状態と判定した場合には電極を1本毎に分離するよう制御することができる。なお、20mm近接時の出力信号の大きさは、0mm接触時の1/65程度である。20mm近接状態を検知するためには、このようなわずかな静電容量変化を検出する必要がある。

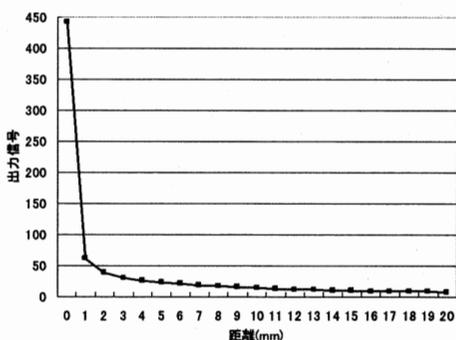


図10 近接/接触の出力信号測定結果

次にタッチパネル上20mmの高さで、指の近接を検出できるか評価した。

図11は、タッチパネル上のX軸方向電極(X3)に、タッチパネル面上50mmの位置から20mmの位置まで擬似指を近接させた場合のX1からX6の電極の出力信号のノイズ除去前のデータ(rawデータ)と、ノイズ除去後のデータを示したものである。図中の赤矢印は、擬似指が20mmの位置に達した時刻を示す。ノイズ除去後のデータでは20mm近接時に周囲の電極(X2、X4)に比べて指を近接させた電極(X3)では大きな出力値が得られることがわかる。この結果、閾値処理により20mmの指の近接を検知することが可能であることがわかった。なお、本試作でのXY各電極の出力信号を検出する際のサンプリングレートは約70サンプル/秒であった。

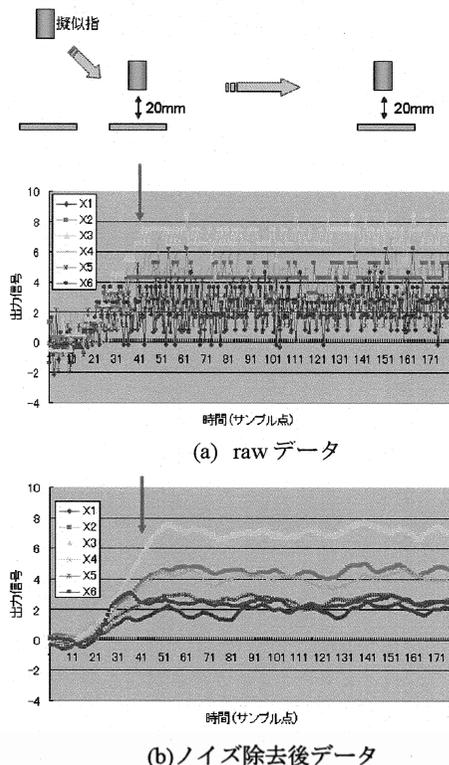
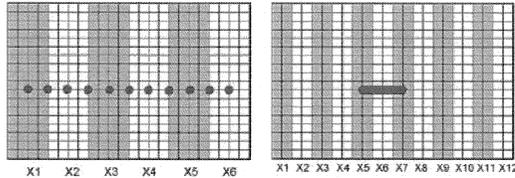


図11 指20mm近接時の電極出力値

次に、近接/接触時の検出信号から算出した座標値の精度の評価を行った。図12に座標算出精度を評価するために擬似指を近接/接触させたタッチパネル面上の位置を示す。近接時は、電極幅の1/2ピッチ(約10mmピッチ)毎にタッチパネ

ル面上 20mm の高さにて擬似指を近接させて座標算出結果を取得する。また、接触時は、図に示すように 2 本の電極間を電極幅の約 1/54 ピッチ(約 0.2mm ピッチ)毎に擬似指を接触させて座標算出結果を取得した。



(a) 近接時評価位置 (b) 接触時評価位置  
図 12 座標精度評価位置

表 1 に取得した座標結果と、正解座標位置との平均誤差、最大誤差を示す。なお、表 1 ではタッチパネルを 5.7 インチサイズ、VGA(640x480 pixel) の解像度とした場合の、pixel 単位での誤差値、及びタッチパネル面上の実際の距離での誤差値 (mm) を示した。

表 1 座標誤差評価結果

	平均誤差	最大誤差
近接	18pixel (3.2mm)	37pixel (6.6mm)
接触	9.4pixel(1.7mm)	17pixel (3.1mm)

また、図 13 に近接時の取得座標と正解 X 座標の比較グラフを示す。

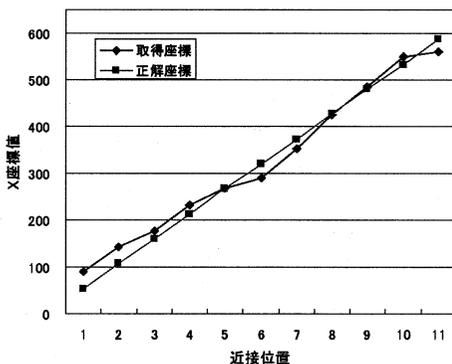


図 13 近接座標算出結果

表 1 から平均誤差は、近接時で 3.2mm、接触時で 1.7mm 程度であり、指入力を考えると実用的な精度で座標位置の算出が可能であると考えられる。

#### 4.3 課題

表 1 で最大誤差をみると、近接時で 37pixel、6.6mm となっている。このデータを詳細に見ると、電極の出力値の分布により、3 次曲線の極大値が正解位置から大きくずれるケースであることがわかった。一例を図 14 に示す。これは X2 の電極より X1 側に擬似指を近接させたデータであり電極の出力値の大きさは  $X2 > X1 > X3$  であるが、X4 の出力値が小さいため、求めた 3 次曲線は X2 と X3 の間に極大値を有する曲線となり、実際の擬似指近接位置に比べて誤差が大きくなるケースである。今後は周辺センサの出力分布を考慮した座標補間処理を検討することで座標検出精度の更なる向上を行う予定である。

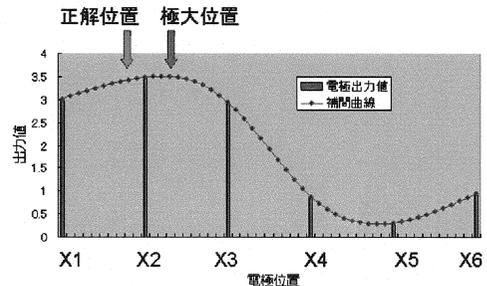


図 14 電極出力値と補間曲線

#### 5. おわりに

ITO 透明電極で構成したタッチパネルを用い、静電容量検出の感度を向上する仕組みを導入することで、指の近接・接触を検知可能な 3 次元タッチパネルの試作を行った。評価の結果、タッチパネル面上部 20mm での指の近接を検知可能であり、近接/接触時に実用的な精度で座標検出が可能であることがわかった。今後は更なる性能向上を行うとともに、3 次元タッチパネルを用いて、例えば指の近接検知により操作ボタンを拡大表示し、指の接触により機能実行する等のユーザインタフェースについても検討を行う予定である。

#### [参考文献]

- [1] Tsukada, Y and Hoshino, T.: Layered Touch Panel; The Input Device with Two Touch Panel Layers, CHI2002(2002)
- [2] Rekimoto, J.: Smart Skin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces, CHI2002(2002)