抵抗膜式タッチパネル

大輪 早苗[†]

1. まえがき

タッチインタフェースは駅の券売機や銀行のATMといった産業機器だけでなく、電化製品やゲーム機、携帯電話といったコンシューマ向け製品への利用によってより身近なものとなった。

タッチパネルの技術は2007年のiPhoneの発売により大きく変化した。それまで主流であった抵抗膜方式から静電容量方式にシフトし、マルチタッチ入力が可能となった。さらに、タブレットによるキーボードレス化、金属メッシュ等のITO代替によるタッチパネルの大型化や曲面デザインへの応用といったタッチインタフェースの用途が変化拡大している。本稿では抵抗膜式タッチパネルの原理や構成から主材料である透明導電材について説明する。

2. タッチパネルの各種方式

タッチパネル（以下TPとする）の方式を図1に示す。TPは大きく4つの方式に分類することができる。各方式でさらに細分化されるが、主力方式はアナログ型抵抗膜式、投

影型静電容量式、光学式である。抵抗膜式は小型端末やPDAで使用されており、指だけでなくペン入力が可能であり分解能は高いが、入力点数は原則1点である。一方、静電容量式はスマートフォンやタブレットで用いられマルチタッチは可能だが、検出原理により導体でしか入力できない。光学式はATMや券売機で使用され高透過性、耐久性に優れ大型化も可能だが、検出原理により屋外での使用には適さない。各方式の特徴を理解した上で、使用用途に合わせたTPの選定が必要となる。

3. 抵抗膜式TPの構造

抵抗膜式TPの構造を図2に示す。主な構成材料は透明導電材（ITO膜）、絶縁材、粘着剤（貼り合わせ材）、銀ペースト、FPC（Flexible Printed Circuits）である。抵抗膜式TPは、2枚の透明導電材の導電面が向かい合わせに構成される。下部電極には10 μ mほどの高さのマイクロドットスペーサ（以下MDSとする）と呼ばれる絶縁体が印刷され、MDSは上下電極の誤入力を防止する役割がある。MDSの設計も重要であり、高さが高すぎると入力の際に引っかかりが生じ書き

図1 タッチパネル方式

[†] 株式会社タッチパネル研究所

"Display User Interface (4): Resistive Touch Panel" by Sanae Owa (Touch Panel Laboratories Co., Ltd., Tokyo)

図2 抵抗膜式TPの構造

味に影響し、低すぎると絶縁不良になる場合がある。引き出し配線は銀インキを用いたスクリーン印刷により形成される。上下電極の貼り合は引き出し配線部の外周部を粘着剤で貼り合わせるため、上下電極間には空間が生じる。

配線の取出しはFPCと異方性導電材を圧着する。

4. 検出原理

抵抗膜式にはアナログ方式とマトリックス方式の2種類の方式がある。代表的な検出原理を図3に示す。アナログ方式は指やペンの入力による押圧で上部電極が下部電極と接触した時の導通時の電圧を検出している。これはTPに電圧を印加し電位勾配を設けるため、検出電圧と位置座標が比例関係となるためである。アナログ方式の標準は4線式と8線式であるが、他に5線式、6線式、7線式がある(図4)。

4線式は上部電極と下部電極にそれぞれ2本の平行な配線 X1, X2とY1, Y2を形成し、上下電極で各々X軸あるいはY軸の位置検出をする。一方、5線式の場合は、上部電極は電圧検出のみを行い、下部電極にX軸とY軸の両方の配線

図3 検出原理 (文献1)より)

図4 アナログ方式の検出配線図

表1 アナログ方式とマトリックス方式の特徴

	アナログ方式			マトリックス方式
	4線式	8線式	5, 6, 7線式	
検出配線	4線式	8線式	5, 6, 7線式	—
耐久性	△	○	○	○
位置精度	△	◎	5, 6線○, 7線◎	◎
寿命	○	○	◎	○
打鍵耐久性	≥100万回	≥100万回	≥3,500万回	
入力点数	1点	1点	1点	マルチタッチ可能*
上部電極の破損の影響	機能NG	機能NG	ほとんど影響しない	機能NG
透明導電材への要求事項	筆記および打鍵耐久	筆記および打鍵耐久	抵抗の均一性, 高透過率	低抵抗, 高透過率, 打鍵耐久

△:標準, ○:良い, ◎非常に良い *コントローラによる

表2 ITO膜質の結晶化度と特性の関係(神奈川県ものづくり技術交流会 発表資料より)

結晶化度	結晶(大)	結晶化(中)	結晶化(少, サイズ小)	非 晶
結晶サイズ	大	大	微結晶(少)	—
結晶化法	スパッター時加熱	別工程加熱	TP工程熱利用(150℃1hrs)	—
例	ガラスITO	某社ITO	後結晶タイプのITOフィルム	一般品
環境特性	◎	◎	○	△
変形追従性	×	×	○	◎
打鍵耐久(抵抗膜式TP)	◎	◎	○	△
エッチング特性	困 難			容 易
抵抗値	低			高
用 途	抵抗膜式TP	車載・一般用下部電極	車載・高耐久用電極基板	一般用電極基板
	静電容量式TP	○	—	○

を設け位置検出をする。6線式と7線式は5線式と同様なしくみであるが、6線式はノイズ除去、7線式には電圧をモニタする4本の補助電極が加わる¹⁾。8線式にも主電極の他に4本の補助電極が存在する。TPの抵抗には導電膜の抵抗の他に配線抵抗やコネクタの接触抵抗等が含まれる。補助電極には配線抵抗と接触抵抗をキャンセルする機能があり²⁾、配線にあったコントローラを使用すれば自動補正を行うことができる。ただし、擬似8線式は配線の接触抵抗は補正できない。

マトリックス方式は導電膜を短冊状にエッチングし、2枚の電極が導電面を向かい合わせに直行に交差するように配置される。引き出し配線は各電極の片側から取出される。マトリックス方式の位置検出はX電極とY電極の導通があったポイントを検出する。

アナログ方式とマトリックス方式の特徴を表1に示す。耐久性は4線式を標準とすると、5～8線式は4線式より耐久性がある。補助電極のある7線式と8線式は位置精度も向上するが、引き出し配線が多くなれば額縁(非可視部領域部)が広がってしまう欠点もある。打鍵耐久性からもわかるように、上部電極を電圧検出に使用している5～7線式は寿命が長く、上部電極が破損してもほとんど機能に影響しないが、4線式や8線式は機能不良となる。そのため、4線式や8線式に用いる透明導電材には筆記と打鍵の耐久性が要求される。また、入力点数は、アナログ方式は

原則1点なのに対し、マトリックス方式はコントローラによってマルチタッチ入力が可能である。

5. 透明導電材

TPの主材料である透明導電材の導電膜はほぼITO(Indium Tin Oxide)が使用されている。ITO膜の成膜方法は膜特性や平滑性からスパッタ法が主流である³⁾。

基板はフィルムあるいはガラスが用いられる。フィルム基板はほぼPETフィルムだが、光学等方性フィルムが使用されることもある。一方、ガラス基板は未強化あるいは一般強化のソーダライムガラスが使われる。抵抗膜式の場合、一般的に導電膜の表面抵抗はリニアリティや回路抵抗率より400～500Ω/□程度が望ましい。ガラス基板の場合は250℃ほどの高温成膜が可能のため、導電膜の導電率を低くすることができ、フィルム基板に比べ透明な膜質が得られる。また、ITO/ガラス基板間にSiO₂層を設けて、さらに透過性Upを図っている場合もある。一方、フィルム基板は成膜可能な温度が限られているため、ガラス基板のように低抵抗な導電膜は得られない。しかし、耐熱性のあるフィルム基板を使用すれば抵抗値を下げることも可能である。抵抗膜式ではそこまで低抵抗は求められないが、静電容量式では200Ω/□以下の低抵抗が必須である。

ITOの膜質と結晶化度の関係を表2に示す。結晶化度によって膜の特性は大きく変わる。結晶化度が高いほど耐久

表3 タッチパネル用ITOフィルムでの機能向上
(2009.6.29 日経BPセミナータッチパネル研究所資料より一部変更)

項目	光学関連					耐久性			その他	
	ギラツキ	高透過率	干渉縞	低反射率	色 相	打鍵寿命	筆記寿命	信頼性	狭額縁対策	防汚/耐指紋性
目 的	①入射光の散乱 ②画像鮮明	画像鮮明	上部/下部電極 の反射を乱す	入射光の 反射低減	黄色味 低b*値		上部電極	高温高湿環境	画面広く	耐指紋
ITOフィル ムでの改良	①上部電極 表面のHC層 ⇒AG処理 ②・干渉縞層 微細構造 ・AG処理フ ィラーレス	・表面AR層 付与 ・光学調整層 付与	ITO層直下に 干渉縞対策	・円偏光使用 ・高透過率	・ITO膜質 ・光学調整層 付与	・ITO結晶化 ・下塗り層の 設計	・HC処理 ・ITOフィル ム2層構造 ・下塗り層の 設計	・ITO結晶化 ・フィルムTg	・ITOフィル ムの2層構造 ・下塗り層の 設計	・表面撥水处理 ・親水处理
TPでの 改善策			・上部/下部電 極間隔 ・TPサイズに よって太鼓 橋形状	TP/LCD貼り 合わせ						

性や環境特性は優れるが、エッチング特性や変形追従性には乏しくなる。このように耐久性とエッチング特性はトレードオフの関係となる。ITOフィルムの場合は、後結晶タイプのITOフィルムが多く、ITO成膜時は非結晶であるが使用前にTP工程にてアニール処理を行い、ITOを結晶化させている。

ITOフィルムはフィルム基材に直にITOを成膜しているわけではなく、さまざまな処理や機能を付与することで、TPとしての機能も向上する。そこで表3にITOフィルムでの項目別の機能向上方法をまとめる。光学関連での主な対策を下記に紹介する。

- (1) ギラツキ防止：タッチ表面のギラツキは上部電極表面のHC（ハードコート）層をAG（アンチグレア）処理することで改善される。画像のギラツキはノンフィルターのAG層の使用あるいは干渉縞層を微細構造とする方法がある。
- (2) 高透過性/低反射：ITOフィルムの場合は、HC層等の機能層が付与されるため、各層の屈折率が異なる場合は層間で反射し、ITOフィルムの透過率が減少する。そこで、表面に反射防止としてAR（反射防止）層の付与や、ITO/フィルム間に光学調整層を設ける。マトリックス方式や静電容量式では導電膜をエッチングするため、ITOの骨見え対策として光学調整層を付加する場合がある。また、TP構成に円偏光板を取り入れることで反射率を下げる方法やTP/LCD間の貼り合わせをダイレクトボンディングにすることで低反射にする方法もある。
- (3) 干渉縞（ニュートンリング）：抵抗膜式の場合、反射した光が干渉することで干渉縞が生じる。そこで、干渉縞対策として基板上に凹凸形成をした上にITOを成膜したり、TPの上下電極間の距離を広げる方法がある。TPサイズが大きくなると、上部電極が撓む

ことで干渉縞を起こすことがあるので注意が必要である。TPの干渉縞は三波長蛍光灯で目視観察して確認する。

6. 抵抗膜式TPの構成例

抵抗膜式TPの構成例を図5に示す。基板は前述のとおりフィルム（F）あるいはガラス（G）のため、構成は限られてくる。一般的にはフィルムとガラスを組合せたF/G構成（図5の1）が主流である。高い信頼性が必要となる車載用途ではG/G構成が採用されるが、車載用も静電容量式へ移行している。ポータブルゲーム機のように持ち運びもあり万が一壊れても怪我をしないような用途では、軽量でかつ割れないオールプラスチックのF/F/P構成（図5の2）が採用され、プラスチックは支持板として用いられる。また、図5の構成5～7は円偏光板を付与することで反射対策となる。構成5は上部電極のガラス基板の上の円偏光板はガラスが割れた際の飛散防止の役割も兼ねている。フィルム基板と偏光板を併用する場合は、光学等方性フィルムを使用する。その他にはLCDからの電磁波をシールドするノイズ対策として、構成1の下部電極の裏面に低抵抗ITOや金属メッシュ等のEMI（電磁妨害）層を付与することもある。さらに、TPの裏面に視野角調整フィルムを付けることで覗き見防止や個人情報の保護機能を付与することもできる。

7. 標準仕様と試験方法

抵抗膜式TPの評価項目と一般的仕様を表4に示す。抵抗膜式の要求項目には光学特性、電気特性、物理特性がある。光学特性は全光線透過率80%以上、ヘイズ値はグレアあるいはノングレアによって変わるが3～10%ほどである。電気特性項目にはリニアリティ、端子間抵抗、回路抵抗率、絶縁抵抗がある。リニアリティはTPの直線精度であり、TPの動作領域を等間隔で測定し、最大値が表示されるこ

	1	2	3	4	5	6	7
構成	F G	F F 粘着層 P	F F 粘着層	F P	偏光板 1/4A 粘着層 G G 1/4A	偏光板 1/4A 粘着層 OF G 1/4A	偏光板 1/4A-F 粘着層 1/4A-F 粘着層
特徴	従来実績あり	軽薄、割れない	軽薄、割れない、低コスト	軽薄、割れない	低反射	低反射、割れない	軽薄、割れない、低反射
採用機種	基本的構成 + PDA等殆どがこの構成	携帯電話、ゲーム	携帯電話	ゲーム	カーナビ、DSC、カメラコード	カーナビ、DSC、カメラコード	カーナビ、DSC、カメラコード

F: フィルム
 G: ガラス
 P: プラスチックシート

— 上部電極
 — ドットスペーサ
 — 下部電極

OF — 光学等方性フィルム電極

図5 抵抗膜式TPの構成例 (文献6)より

表4 抵抗膜式TPの評価と一般的な仕様～アナログ方式～

項 目	測定条件の例	一般的な仕様 (代表値)
光学特性		
全光線透過率	JIS K 7361	≥ 80%
ヘイズ	JIS K 7136	3～10%
干渉縞	3波長蛍光灯 目視観察	実用上支障なき事
電気特性		
リニアリティ	5V印加	-1.5%～+1.5%
端子間抵抗	—	導電膜の抵抗値による
回路抵抗率	—	長手電極 ≤ 10%, 短手電極 ≤ 20%
絶縁抵抗	25V DC	≥ 20 MΩ
ON荷重	0.8R ペン, 3R ゴム	5～100g (TP構成, MDS配列, 接触抵抗による)
打鍵寿命	250g 荷重, 3V, 10Hz, 0.8R ペン or 3R ゴム	≥ 100万回
文字筆記耐久性	250g 荷重, 0.8R ペン, ひらがな筆記	10万文字筆記後, 筆記箇所の電気特性試験合格
信頼性試験	高温高湿, 高温, 低温, 熱衝撃	試験後, 光学特性および電気特性に支障なきこと

とが多い(図6)。導電膜が不均一な場合や導電面に傷が生じるとリニアリティは悪化する。リニアリティの悪化は位置ズレが大きくなることを意味するため、リニアリティ分布でリニアリティが悪化しているポイントを確認することで位置ズレの原因を推定することができる。

回路抵抗率は銀配線抵抗とコネクタの接触抵抗を含んだ値である。リニアリティの悪化は導電面の不具合だけでなく、配線起因によることもある。配線の接触抵抗が大きくなり回路抵抗率が高くなることで、動作領域の配線付近のリニアリティが悪化し検出エリアは小さくなる。補助電極がある8線式は配線の接触抵抗起因による位置ズレは、補助電極の自動補正によって回避することができる。端子間抵抗は導電膜の抵抗値であり、絶縁抵抗は20 MΩ以上が望ましく、信頼性試験後も絶縁状態を維持する必要がある。抵抗膜式は上下電極間に空間があるため、TPによっては信頼性試験後に上部電極が下部電極に接触してショート状態になることもある。使用用途によってはTPの上部電極に空気孔を設け外部と内部の気圧を一定にする方法もある。

物理特性としては入力荷重と耐久性がある。ON荷重はTPのMin入力荷重であり、導電膜の接触抵抗だけでなくMDSのサイズやMDSがドット密度(MDS1個当たりの面積)、TP構成によっても変わる。通常では100g前後だが、軽入力設計TPでは20g程度以下である。G/G-TPでは100gr以上、F/Gでは40gr以下の軽入力が一般的である。また、外周部やMDS付近はON荷重が高くなる傾向にある。

耐久性試験は、指入力を想定した打鍵寿命を評価する打鍵試験とペン筆記を想定した筆記耐久性を評価する摺動試験がある。打鍵試験は下部電極のMDSの周辺間の同一箇所を繰り返し0.8Rポリアセタールペンあるいは3Rシリコンゴムで打鍵し、電流をモニタリングする⁴⁾。導電面が正常な状態では矩形波が観測されるが、繰り返し打鍵によりITO膜が劣化し波形が崩れた状態が打鍵寿命にあたる(図7)。また、打鍵試験は電圧印加の有無により寿命が大きく変わる。電圧をかけずに試験をした場合は電圧印加時の4～5倍ほど打鍵寿命が伸びる。またITOフィルムの打鍵寿命はITOの結晶化度因子より、ITO層/基板間の下塗り層の影響が強

図6 アナログ方式電気特性試験 リニアリティと回路抵抗率について(文献5)より一部抜粋)

図7 打鍵試験 打鍵経過波形

い場合がある。一度破損したITO膜は一度試験を中断して、再度同一箇所で試験すると最初は正常状態に戻る現象も見られるが、しばらくするとNG状態となる。また、TP表面の打鍵ポイントを観察することで、HC層への打鍵による影響も確認できる。

筆記耐久性はペンにて20mm角範囲を繰り返し文字筆記し、筆記後の筆記箇所の電気特性とTP表面の筆記跡を評価する。筆記耐久性は電気特性がNGとなった時点での文字筆記数に相当する。筆記文字は、当社では同一範囲内にまんべんなく筆記できるひらがな文字で10万回筆記後異常なきを合格としている。筆記を繰り返すと、ペン先が磨耗し、TP表面の筆記跡からHC層の表面状態も確認できる。

抵抗膜式はエッジ部の耐久性が弱いことが知られている。外周部で銀配線や上下電極間の貼り合わせを行っているため、額縁付近での入力上部電極に負荷がかかる。エッジ部の耐久性を評価する方法としてエッジ摺動試験が

表5 抵抗膜式TPの評価項目～マトリックス方式～

項目	測定条件の例	特性値
電気特性	ON抵抗	5V DC
	隣接電極間絶縁抵抗	25V DC
	上下電極間絶縁抵抗	25V DC
打鍵寿命	250g荷重, 3V印加, 0.8Rペンor3Rゴム	100万回
ON荷重	5V DC, 0.8Rペンor3Rゴム	用途による

ある。エッジに沿って直線摺動試験を行いエッジの耐久性を評価する。エッジの耐久性をあげる方法として、ITOフィルムの2層構造品を使用したり、耐久性のあるITO代替の導電膜を使用する方法がある。

マトリックス方式の評価項目を表5にまとめる。マトリックス方式の場合は4. 検出原理で述べたように、導電膜はエッチングされてX軸とY軸が直交している。電気特

図8 マトリックス方式電気特性試験

性試験項目はON抵抗，隣接電極間絶縁抵抗，上下間絶縁抵抗がある．ON抵抗は導電膜の端子間抵抗で決まる．取出し配線から最も遠いポイントは抵抗値が高いため，図8のように最遠点にてON抵抗を測定する．隣接電極間の絶縁抵抗は短冊状の電極に+-交互に電圧を印加し絶縁抵抗を測定する．導電膜のエッチング不足があると誤動作の要因となる⁵⁾．上下間絶縁抵抗は上下部電極間あるいはFPC回路上で電氣的接触がある場合は動作に影響する．

8. むすび

抵抗膜式TPの原理から試験方法までを簡潔に述べた．抵抗膜式TPは機能が材料に起因するところが多く，材料選定がポイントとなる．最近は静電容量式TPの急成長であるが，ペン入力や正確な入力タッチが必要なFA機器には抵抗膜式TPが今後とも存在していくであろう．特に非英字国での携帯端末としてはペン入力と低コストの抵抗膜式TPが静電容量式より市場ニーズがあると聞く．TPは1点入力からマルチ入力へ，形状も平面から曲面となりウェアラブル端末への応用，タッチから3次元の入力へ，さらにはモーション入力・音声入力にも展開されている．TP

業界はスピードが速く技術も急速に進歩していることから，今後もTPの更なる応用が期待される．

(2014年7月30日受付)

〔文 献〕

- 1) 越石健司，黒澤理編集：“第2章 抵抗膜方式と静電容量方式の原理と技術動向”，タッチパネルがわかる本，オーム社（2011年5月20日）
- 2) 監修三谷雄二：“タッチパネルの基礎と応用”，テクノタイムズ社（2001年12月26日発行）
- 3) 吉田博：“ガラス基板のITO膜を語る”，月刊ディスプレイ（1996年9月号）
- 4) 板倉義雄，三谷雄二，高野瀬弘二：“抵抗膜式タッチパネルの評価装置”，月刊ディスプレイ（2002年12月号）
- 5) 三谷雄二，高野瀬弘二：“月刊ディスプレイ”，抵抗膜式タッチパネルの評価装置（2000年6月号）
- 6) 板倉義雄，中谷健司：“LCD搭載用タッチパネルの光学設計”，最新タッチパネル技術（2009年7月6日）

おおくわ かなた
大輪 早苗 2006年，信州大学大学院工学系研究科機能高分子学専攻修了．同年，（株）ネオス中央研究所入社．その後，（株）人財開発などを経て，2011年より，（株）タッチパネル研究所にて，主に材料やタッチパネルの評価業務に従事．