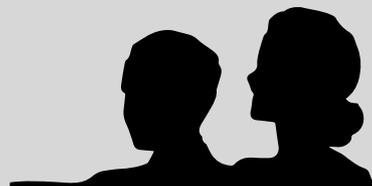




《新連載》

講座：ディスプレイユーザインタフェース [全6回]

開講にあたって



編集幹事 高橋 修一

人の意志をディスプレイに伝え、人とディスプレイを繋ぐ…。長年に渡りその役を担ってきたのはリモコンでした。現在でも多くの機器やシーンで使用され、リモコンがわれわれの日常生活に欠かせない道具の一つであることに変わりはありません。リビングのテーブルの上にリモコンが所狭しと並んでいる、という読者の方もいらっしゃるのではないのでしょうか。

一方で、スマートフォンやタブレットの操作に代表されるように、ディスプレイに直接触れて操作するというスタイルは瞬く間に一般的になりました。小さな子どもからお年寄りまで、予備知識がなくても直感的にタッチ操作を楽しんでいる光景は、街角でも頻繁に目にします。さらに最近では、デバイスに話しかけて必要な情報を入手したり、自分の身体自身を動かしてゲームを操作したりすることも、身近な環境で実現されてきています。

このような従来にはないユーザインタフェースは、信号処理技術の進化、デバイスの性能向上と低価格化、そしてそのインタフェースを必要とするサービスやアプリケーションの登場によって、普及が加速するものと思われます。全6回の本講座では、信号処理技術やデバイス技術に関して、実際の製品に搭載された事例も数多く取り入れながらわかりやすく解説していただきます。

ディスプレイユーザインタフェース技術には、実際の製品に応用されているものから研究段階のものまで、非常に幅広いアプローチが存在します。今回は全6回という限られた期間ですので、読者の方に多少なりとも馴染みがある技術を選定しました。第1回は音声を用いたユーザインタフェースを、第2回はイトラッキング技術を活用した次世代ナチュラルユーザインタフェースを、第3回はジェスチャ等の空間ユーザインタフェースを、それぞれ解説していただきます。第4回から第6回は、タッチインタフェースを実現する方式の違いに焦点を当て、抵抗膜式、静電容量式、光学式について解説して頂きます。

これら全6回の講座を通して、最新ユーザインタフェース技術の基礎を身につけて頂き、新たな技術の着想にも繋げていただければ幸いです。

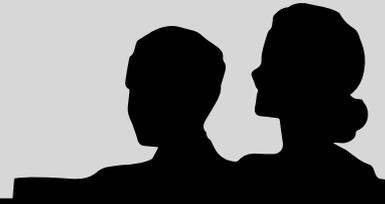
なお、本講座の企画は、高取憲一、本山靖両編集幹事ならびに私が担当しました。

予定目次 (全6回)

7月号 (第1回) 音声インタフェース	平沢純一 (ニュアンス・コミュニケーションズ・ジャパン)
8月号 (第2回) 視線インタフェース	蜂巣健一 (トビー・テクノロジー)
9月号 (第3回) 空間インタフェース	勢川博之 (ソニー・コンピュータエンタテインメント)
10月号 (第4回) 抵抗膜式タッチインタフェース	選定中 (タッチパネル研究所)
11月号 (第5回) 静電容量式タッチインタフェース	選定中
12月号 (第6回) 光学式タッチインタフェース	選定中



音声インタフェース



平 沢 純 一†

1. まえがき

音声認識、音声合成を始めとした音声インタフェースに関する技術開発の歴史は長く¹⁾、コンピュータに人間の音声認識・理解させたり、人間のように喋らせたりすることは長年の目標であった。近年、スマートフォンに搭載された音声対話エージェント機能の存在が広く知れわたったこともあり、音声インタフェースに注目と期待が高まっている²⁾。テレビ端末、セットトップボックス(STB)、タブレット端末などのディスプレイ機器のユーザインタフェースに音声を用いることが期待されるのも自然な展開と言える。

ディスプレイ機器に対して行われる操作は大別すると、

- (1) 文字入力
- (2) ボタン、スイッチ、上下左右方向のカーソル移動
- (3) ポインティング、フリーカーソル

などがあるが、このうち音声インタフェースがもっとも有用と考えられるのは「(1) 文字入力」である。画面上にソフトウェアキーボードを配置して文字入力を行う、ハードウェアのリモコンにキーボード相当のボタンを設置してしまう、などの試みもあるが、音声認識による文字入力が可能であれば、画面やリモコンの限られた面積をキーボード機能に占有されてしまうこともない。

「(2) ボタン・スイッチ」を音声インタフェースが担うことの是非は自明ではない。「リモコンにチャンネルボタンがあるのに、わざわざ音声認識を使わない」といった類の主張が根強いのも事実であるが、言葉を用いる音声インタフェースなら、ボタンやスイッチの機能に適切に名前(言葉)が割当てられていれば、音声認識をボタンやスイッチの代わりに用いることができる(音声コマンド)。音声コマンドであれば、機能を担わせるのに物理的に面積を占有することなく、画面上に表示されていない機能にもダイレクトに指示を出せる。

「(3) ポインティング」はおそらく音声認識に向かない用

途かもしれない。音声で指示しながら背中を搔いてもらうことのもどかしさは想像しやすい。ただし、ブラウザ画面上のリンクを選択するのに、リンクを表す言葉でリンクを選択できてしまえば、カーソルを動かさずに済むため、音声認識も便利である。

本稿では、音声インタフェースについて音声認識技術を中心に、第2章でこれまでの発展と現状を紹介し、第3章で基本的な仕組みを、第4章でディスプレイ機器のユーザインタフェースに使用する際の利点と課題を解説する。さらに、第5章で実際の導入事例について、第6章では音声認識以外の音声インタフェースについても言及する。

ユーザインタフェースの選択は唯一絶対の正解が存在する、というよりは、それぞれのインタフェース技術の特性を踏まえた上で適切に使分けしていくことが求められる。本講座の連載を読み終えた時、音声インタフェースを採用すべきシーンや用途を的確に見きわめられるようになっていることが本稿の目的である。

2. 音声認識技術 ～これまでの発展と現状～

機器とのインタフェースとして音声期待される理由の一つは、音声人間同士の日常的なコミュニケーションの手段であるため、特別なトレーニングを必要とせずに使え方を習得でき、人間同士の日常生活と同等の使い勝手を得られると考えられてきた点が挙げられる。音声インタフェースは「自然」で「直感的」と評されることが多い。

しかしながら、実際にこれまで音声認識技術がインタフェースとして導入されてきた事例や分野を注意深く考察すると、必ずしも「習得トレーニングが不要な自然なメディアだから」という理由からとは限らない。

例えば、コールセンターでの自動応答装置は、プッシュトーンや人間のオペレータによる対応であったところに音声認識技術が導入されてきた。これは音声自然なインタフェースであったからという理由よりは、電話機では音声以外の手段に限界があるという、デバイス自体の制約が理由であると考えられる。

カーナビゲーションを始めとした車載機器には音声認識技術が数多く導入されてきた³⁾。目的地を設定する、運転

† ニュアンスコミュニケーションズ

"Display User Interface (1); Speech Interface for Display Devices" by Jun-ichi Hirasawa (Nuance Communications Japan K.K., Tokyo)



しながら電話を掛ける、車内で聴く音楽を選ぶ、などの用途に音声インタフェースが採用されてきたが、これは運転している状態で、手操作や視線を占有しない手段として、音声採用されてきたという側面が強い。物流の現場でピッキング作業の検品に音声インタフェースが使われているのも手作業や視線を占有しないことが理由である。

医療分野での電子カルテの入力や、議会での議事録の作成に音声認識が使われているのは、手書きやキーボード、速記などの入力手段と比較した結果、入力速度や認識精度といった作業効率が優れていたためであると考えられる。同様に、ハードウェアのキーボードを搭載できず、画面上のソフトウェアキーボードにも十分な面積を確保しにくく、移動中の利用も多いスマートフォンも、文字入力の作業効率の観点から、音声インタフェースが重宝される必然があったと言える。今後普及が予測されるメガネや腕時計などのウェアラブル機器、さらにはロボットとのコミュニケーションでも、同じ理由から音声インタフェースが重要な役割を担っていくことになるだろう。

また、言葉を扱う音声インタフェース技術には言語依存性があり、それぞれの言語ごとに技術開発が必要となる。したがって、音声インタフェースの導入を検討する際には、対象となる言語(国・地域)に音声認識が対応しているか、という制約を受けることになる。例えば、ニュアンス社の音声認識エンジンでは現在、**図1**に示した40近い言語に対応している。主要な言語の多くをサポートできているが、それでも世界のすべての言語からすればまだ一部に過ぎない。

3. 音声認識の仕組み

本章では、現状の普及を支えている音声認識技術の基本的な仕組みを解説する。

音声認識エンジンの基本的な構成を**図2**に示す。

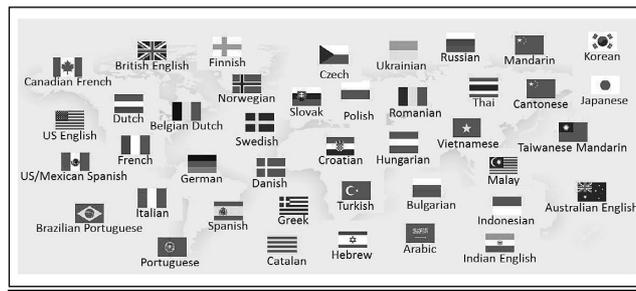


図1 音声認識に対応している言語一覧(例)

入力された音声信号(音声波形)は、まず「特徴抽出部(音響分析部)」と呼ばれるモジュールで解析されて特徴量の列に変換される。この特徴量の列が、音声認識エンジンの核とも言える「探索部(デコーダ)」に送られる。デコーダでは二つの情報(モデル)を用いることで、入力された特徴量の列をパターンマッチにより「認識結果(単語列)」へと変換する。これが音声認識の基本的な挙動である。

デコーダでは二つの情報(モデル)が用いられる。一つめのモデルは「音響モデル(acoustic model)」と呼ばれ、大量の音声データから得られた音(音素)の特徴を蓄えている。例えば、「/a/(ア)」という音一つをとっても、さまざまな年齢、性別、地域の話者から/a/を含む発声を大量に収集する。音素は先行する音素、後続する音素の違いから影響を受けるため、例えば、音素/t/が先行する/a/、音素/k/が先行する/a/、さらには/a/に後続して音素/t/が出現する例、/a/に/k/が後続する例…といったように、先行する音素、後続する音素も含めた三つ組の音素列(triphone)を大量に収集し、統計的にモデル化する。音響モデルは、音声認識エンジンの性能を決めるもっとも重要な要素の一つであり、どれだけ大量に多様な発声データから作成されているかが、音声認識エンジンの性能を決めるとしても

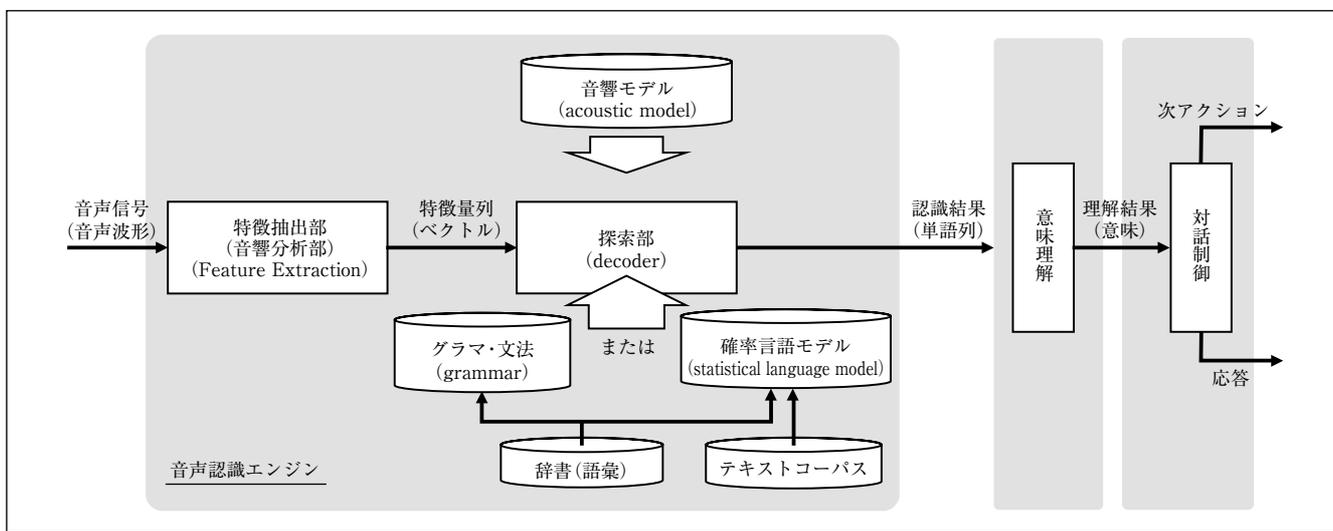


図2 音声認識エンジンの基本構成



過言ではない。

デコーダでは、音の特徴をモデル化した音響モデルに加えて、二つめの情報として言語の特徴を利用する。言語的な特徴のモデル化には、現在、主に二つの手法が用いられている。

一つめの手法は「グラマ(文法)」を用いる方法である。グラマとは、語と語の接続の仕方を記述したルール集合である。つまり、入力される発話は、どの語とどの語が並び可能性があるのか、どの語の次にはどの語は並ばないのかを記述した規則をグラマとして作成しておく。デコーダでは、グラマ規則から予測される言語的な特徴(語の並び方)と音響的な特徴とを合わせて、入力された発話がどんな単語列である可能性が高いのかを探索して認識結果として出力する。音声コマンドで機器を操作する場合など、発話が単語や短いフレーズ程度の複雑さであり、発話される内容(音声認識させたい対象)をあらかじめ規定できる場合には、グラマによる音声認識の手法が有用である。

しかし、語順や表現が自由な話し言葉や、長めの文章のような自由文を音声入力したいなど、音声認識の対象が大規模で複雑になってくると、開発者がグラマ規則を人手によりすべて書き出すことは現実的に難しくなってくる。そこで用いられるのが「確率言語モデル(statistical language model)」を用いた音声認識である。確率言語モデルによる音声認識では、語と語の並び方の制約を開発者が人手でグラマ規則として記述する代わりに、単語が出現する頻度や、語と語が接続する頻度を大量のテキストデータ(コーパス)から抽出して、語の並び方を確率的にモデル化する。現在主流となっている大語彙の音声認識は、大量のテキストコーパス(発話例)を収集し、語の並び方を確率的にモデル化することで実現している。

音声認識という技術は、発声された音声を入力として、認識結果(単語列)を出力するまでを担う技術であるが、対話的なインタフェースを実現するためには、単に音声認識で単語列を返すだけでなく、「意味理解部(Natural Language Understanding: NLU)」を用いて単語列から意味を抽出する処理が後続する。ここで「意味」とはユーザの意図(テレビを見たい、録画したい、など)や対象となるキーワード(チャンネル名、番組名、日時など)などを指す。つまり、ユーザ発話から要件となるメッセージを抽出する処理である。さらに対話システムとして応答を返すためには「対話制御部(Dialog Management)」も必要となる。これは意味理解結果から、返すべき応答内容を決め、機器側が次に取るべきアクションを決める処理である。

実際に、音声認識を用いたシステムやサービスでは、音声認識エンジンを搭載する位置に応じて二つのタイプが存在する。一つめのタイプは、カーナビなどの端末機器自体に音声認識エンジンを搭載するタイプで、「組み込み型(embedded)」と呼ばれる。もう一つのタイプは、発話さ

れた音声ネットワークを経由してクラウド側に送られ、クラウド側で音声認識エンジンが運用される「クラウド型」と呼ばれるタイプである。

4. ディスプレイ機器での音声インタフェース

本章では、テレビ端末やSTB、タブレット端末など、ディスプレイ機器に音声インタフェースを導入する際のポイントを解説する。本章を通じて、現状の音声認識技術により何が可能で、何が課題となるかを明らかにする。

4.1 音声区間検出とマイク搭載位置

音声認識が良好な認識精度を達成するための大きな要因の一つに、音声区間検出(Voice Activity Detection: VAD)がある。音声区間検出とは、マイクから入力される音声信号のうち、どこ(始端)からどこ(終端)までが実際に発声されている音声を特定する処理である。音声区間の始末端を適切に特定することができていれば、安定した音声認識精度が期待できる。言い換えるならば、音声が発声されておらず、背景音しか存在しない箇所を音声部分と取り違える、発声が始まっているのにその始端を取り損ねる、発声が終わってからも終端を検出し損ねて音声部分がっていると誤認する、などの場合、途端に音声認識の精度は劣化する。

一般的には、マイク位置が音源(口元)に近ければ(close talk microphone)、音声部分と背景音(周辺雑音)の識別がしやすく、音声区間検出の精度が高まる一方、マイク位置が口元から遠くなる(distant talk microphone)ほど、音声区間検出に失敗する危険が高まる。

また、より確実な音声区間検出のために、マイクからの入力信号のみから始末端を判定するのではなく、ユーザによる手操作を導入してしまうことも行われる。この手法は、Push-To-Talk (PTT: ユーザが自らボタンを押下することで音声区間の始端を明示する)や、Push-While-Talking (ユーザが発声している間だけボタンを押下し続けることで始末端の特定を助ける)と呼ばれる。

また終端検出の感度の設定は、ユーザが体感する認識速度にも影響する。感度(閾値)設定を長めにすれば、音声区間の途中に現われる短い無音区間(促音“ッ”や語と語の間での短いポーズなど)を誤って終端と判定して認識結果を返してしまう危険を減らせる一方、少し間延びして応答をする印象を与えてしまう。

ディスプレイ機器に音声インタフェースを導入する際には、ユーザの利便性と音声区間検出の精度、導入コストなどの観点から、主に三つのケースから選択することになる(図3)。

・セカンドスクリーン端末に搭載のマイクを使用する

スマートフォンやタブレット端末などのセカンドスクリーン端末に、あらかじめ搭載されているマイクを活用して音声認識を行う。この場合、テレビ端末やリモコンにマイクを新たに搭載するコストを削減できるのがメリットで

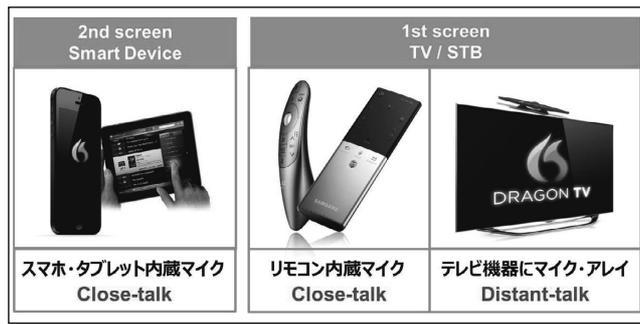


図3 マイク搭載位置のバリエーション

ある。またセカンドスクリーン端末は手持ちで利用するスタイルを取ることで、close talk microphoneを実現することができる。

・リモコンにマイクを搭載する

ディスプレイ機器の利用シーンでは、リモコンなどを併用することが多いため、リモコンに新たにマイクを搭載して音声認識を行う。リモコン搭載のマイクで取り込まれた音声は、テレビ端末やSTBなどへ転送される。リモコンは、自然な動作でマイクを口元に近づけることができるため、close talk microphoneを実現できる点が大きな利点である。リモコンにPTTのマイクボタンを設置できれば、音声区間検出はいっそう確実になる。さらに、PTTボタンを押下したタイミングでテレビ本体のスピーカから流れている音声の音量を一時的に下げるなどの実装を施すことができれば、音声認識にはさらに有利となる。

・テレビ端末にマイクを搭載する（ハンズフリー）

リモコンにマイクを搭載してPTTを実装する構成は、音声認識にとっては好都合であるが、リビングルームでリラックスした環境ではユーザの使い勝手を損ねると考え、セカンドスクリーン端末もリモコンも持たせたくない（ハンズフリー）、というニーズが存在する。この場合、音源（ユーザ）から離れたテレビ端末にマイクを設置する構成（distant talk microphone）となる。このような構成では、得られる音声信号のレベルが低くなる、音声認識の対象としたい発声以外の環境音（周囲の雑音、他者の発声など）が混ざる、機器に対する発声なのか人間同士の会話なのかの識別が必要となるなど、音声認識には不利な条件が加わる。

そこでハンズフリー環境では、音声強調（Speech Enhancement）と呼ばれる技術が導入される。例えば、テレビ端末に複数のマイクを搭載し（マイクロフォンアレイ）、マイクまでの音声信号の到達距離の違いから音源方向を同定することで、マイクの指向性を制御する（ビームフォーミング）、マイク入力に混在しているスピーカからの回り込み音を除去する（エコーキャンセル）、など、入力される音声信号から音声認識の対象とする音声部分だけを抽出する工夫を施す。

またハンズフリー環境では、ディスプレイ機器に対して

発声しているのか、それとも人間同士で会話をしている音声なのかを識別することが必要となる。単に入力されてくる音声を認識しているだけでは、残念ながら「人間同士で話していたのにテレビが勝手に反応してしまう」、「いくらテレビに話しかけてもウンともスンとも反応しない」などの事態を招くことがある。

そこで特定のフレーズ（wake up フレーズ）を定めておき、wake up フレーズが高い認識スコアで認識された場合のみ、後続する音声を音声認識の対象であると見なす手法を採用する。この「wake up フレーズ」という手法は、単フレーズだけの音声認識を行うことにより認識スコアを高め、機器に対する発声と、それ以外の音声を識別する精度を高めるというアプローチである。PTT ボタンや手持ち機器を必要としない利便性の高さは実現できるものの、音声認識を行いたい場合には、必ずその前にひとこと決まったフレーズを発声しなければならぬ煩わしさは残ってしまう。

4.2 語彙の拡充

3章で解説したように、音声認識とは音響モデルに言語モデルやグラマを掛け合わせて、入力された音声に対して、最も尤もらしい単語列を探し当てる技術である。したがって、言語モデルやグラマに登録されていない語彙は基本的に認識させられない。これを「未知語（未登録語、Out of Vocabulary: OOV）」の問題と呼ぶ。あらかじめ想定可能な範囲の語彙のみを認識対象とすればよい場合（音声コマンドなど）には未知語は問題になりにくいが、ディスプレイ機器で音声インタフェースを必要とする用途では、日々新たな語彙が認識の対象となるケースが大半であろう。

例えば、テレビ番組情報の検索やVOD（Video On Demand）では番組名、タイトル、出演者名などの新たな語彙に継続的に対処することが必須である。新たな語彙を追加登録していくには、何らかのデータベースからインポートすることが考えられるが、音声認識のために辞書登録する語彙は文字表記（綴り）だけでなく、発音（読み）の情報が必要となる。一般に表記から発音を推定する変換処理は必ずしも自明でないため、音声認識の辞書に登録する発音を取得・整備する作業には手間が掛かっている。

さらに、通常のユーザは必ずしも正式名称を発話するとは限らず、部分称や略称への対処も必要となる。例えば、施設名称の検索に音声認識を用いる場合、データベースには「医療法人〇〇会東京●●病院」のような正式名称で登録されているケースが多いが、実際の発声では部分称や略称などが平然と多用されるため、データベースに登録されている正式名称以外にも対応する必要がある。

また今後は、語の発音（読み）の多国語化も課題となる。例えば、テレビ会議（ビデオチャット）で相手を呼び出すための音声認識では、アドレス帳の中に外国語の人名が登録されているかもしれない。Michael という表記にマイケル、ミハヤエル、ミハイルのどの読みを当てはめればよいのか、



など多国語対応には未解決の課題が多い。

5. 導入事例と音声インタフェースの意義

5.1 音声インタフェースの導入事例

本章では、テレビ端末に音声インタフェースを搭載して、実際の市場に導入している事例として、パナソニックのスマートビエラ⁴⁾を紹介する。2013年春に発売されたモデルでは、チャンネルを替える、音量を制御するなどの基本操作を音声コマンドで行えるほか、テレビ番組表や録画されている番組の検索、インターネット検索(web search)に音声認識が対応している。

スマートビエラでは、標準リモコンのほかに、タッチパッドとごく少数のボタンだけが付いたリモコンが付属しており、この音声タッチパッドリモコンに音声認識で用いられるマイクが搭載され、PTTボタンも設置されている(図4)。

スマートビエラの音声認識機能では、ハイブリッド型音声認識という実装が採用されている。これは3章で紹介した組込み型とクラウド型の2種類を同時に実行させる方式である。チャンネルや音量の操作などの定型の音声コマンドには、テレビ端末内の組込み型音声認識が用いられ、インターネット検索やテレビ番組表検索などの大語彙の認識には、音声ネットワークを介してクラウド側に送られて、クラウド型音声認識が用いられる。

ハイブリッド型音声認識では、組込み型エンジンで文法による確実に反応時間の早い音声認識を実現しつつ、クラウド型エンジンで確率言語モデルによる大規模な音声認識を実現している。基本的な操作は組込み型エンジンで認識されるため、万が一テレビ端末がネットワークに接続されていなくても動作可能である。一方、クラウド型エンジンでは、インターネット検索やテレビ番組表の検索に用いられる語彙を、日々クラウド側で更新する体制が取りやすい。ハイブリッド型はこれら両者の長所を融合した実装方法と言える。

ディスプレイ機器に音声インタフェースが導入された際、ユーザが直面しがちな混乱は「音声認識ができるのはわかったが、何をしゃべればよいのかわからない」というものである。これに対してスマートビエラでは、「音声認識は検索のために使ってもらうことを第一とする」という製品コンセプトにしたがって、「検索語」だけが発声された場合には、次に検索手段(web, 番組表, 画像, 動画など)を示して選択しやすくしたり、「ヘルプ」と発声すると、画面上に利用可能な発話例の一覧を表示してユーザを誘導したりする(図5)ことでこの問題を解決している。

音声インタフェースを搭載したテレビ端末を実際に市場に投入したところ、テレビ端末のネット接続率が上昇し、ユーザからの支持を受けているという。これは、音声機能を搭載していなかった従来モデルでは敷居の高かった検索キーワードの入力が、例えば、「○○の画像をネットで検



図4 マイクとPTTボタンを内蔵したリモコン

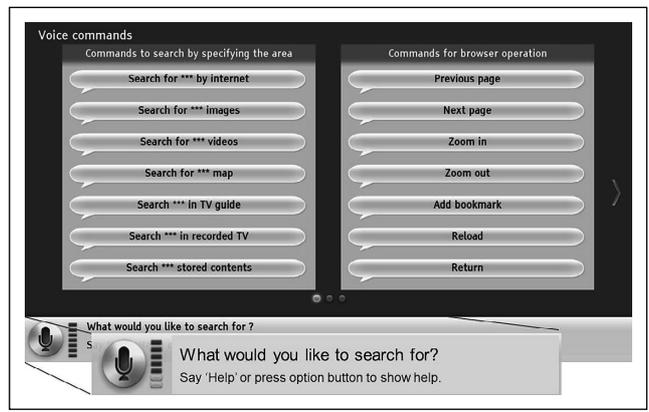


図5 音声認識のためのヘルプ画面(例)

索」のような発話で可能になったことにより、格段に簡単になった結果である。さらに、「もっとこんな操作も音声でできないか」というフィードバックも聞かれるという。昨今の多機能リモコンが複雑になり過ぎている中、音声インタフェースを採用することによるメリットは意外に大きいと言える。

5.2 音声インタフェースを採用する意義

音声インタフェースが、ディスプレイ機器での検索キーワードの入力を容易にしたことで支持されたことから、文字入力を担うインタフェース技術として、音声があることが確認できた。また、音声コマンドをさらに多くの機能に対応させるリクエストがあったことから、ボタン、スイッチのような機能にも音声インタフェースへの期待があると言える。音声インタフェースならば、画面を占有する面積を増やすことなく、新たな機能を拡張することも容易である。

その一方で「面積を占有しない」というメリットは、音声がどの機能に対応しているのか画面上で見えにくい、何を話してよいのかわかりにくい、という弱点にもなる。スマートビエラでのヘルプ画面(図5)は、この課題への一つの解決である。また、対話的なやりとりが可能なインタフェースにすることで音声の「見えなさ」を克服するのも、



今後の発展の方向性と考えられる。

6. その他の音声インタフェース技術

ここまで、音声インタフェースとして一番中心的な役割を果たす「音声認識」について見てきた。本章では、音声認識以外の音声インタフェースとして、「音声合成」、「声紋認証」の二つを紹介する。

6.1 音声合成

ユーザの入力音声をコマンドや単語列に変換するのが音声認識技術であるのに対して、逆に「入力テキストを音声に変換して出力する」のが「音声合成(Text To Speech: TTS)」技術である。機器との間で対話的なインタラクションをするようになると、音声による出力も重要な機能となる。

従来、音声出力は定型表現に対してあらかじめ録音した音声を編集して再生する「録音再生方式」を用いることが多かった。駅の自動アナウンスなどが典型である。しかし、対象とする読み上げテキストが、ニュースやテレビ番組表の内容といった動的な内容になると、録音再生方式では対応することができず、音声合成技術が用いられる。

テレビ端末は、放送自体が音声を出力しているため、音声合成の必要性を感じにくいかもしれない。しかし、前述のスマートビエラは、音声合成機能を搭載することで、番組名や番組内容を読み上げる、行われた操作を復唱する、現在の状態(チャンネル番号)を音声で知らせる、などの機能に対応したことにより、英国王立盲人協会(RNIB)から表彰を受けている⁵⁾。テレビはもはや見るためだけに使われるものではない。

従来の音声合成は「機械的」、「ロボットボイス」のような悪評を得ることも多かったが、昨今は合成音声の自然性、理解性も高まってきている。単に読み上げに用いる「聞いて理解できる」レベルにとどまらず、情感も含めた会話調の音声や、音声合成ベンダが提供する以外のオリジナルな音源(タレント)を用いるカスタムボイスへのニーズもトレンドとなっている。

6.2 声紋認証

音声認識が「何を話したか」を特定する技術であるならば、「誰が話したか」を特定するのが「声紋認証(Voice Biometrics)」である。声紋認証は、ユーザがあらかじめ声紋(voice print)を登録しておき、入力された音声本人であるかを判定する「認証(verification)」と、入力された音声登録されている声紋の中の誰であるかを判定する「特定(identification)」の二つの使い方があ

る。(identification)などの使い方があ

る。声紋認証は、本人確認を行う際に発声してもらうパズルの種類に応じて、「固定パズル型(あらかじめシステム側で定めてあるパズルを発声する)」、「ユーザ設定の固定パズル型(ユーザが任意のパズルを定めて使用する)」、「変動パズル型(固定パズルを録音されて詐称されることを避けるため、ランダムな数字列などを動的にパズルにする)」、「テキスト非依存型(自由に発声している一定時間の音声データから認証を行う)」などの種類が存在する。

声紋認証技術は必ずしも100%の精度を保証できるとは限らないため、「他人受け入れ率」(False Acceptance: FA, 本人以外を誤って認証してしまう率)と「本人拒否率」(False Rejection: FR, 本人なのに誤って拒否してしまう率)のトレードオフを考慮して、安全性と利便性のバランスを最適化した閾値の設定が必要である。

7. むすび

ディスプレイ機器に用いられる音声インタフェースとして、主に音声認識技術の基本的な仕組みを解説した。音声認識技術のこれまでの発展と現状を踏まえつつ、ディスプレイ機器を利用する際のポイントと実際の搭載事例を紹介し、音声合成や声紋認証についても述べた。

音声インタフェースは、実用レベルに耐える技術として、ようやく普及が本格化してきていると言える一方で、話し方の自由度、対話内容の知的レベル、使用環境の制限など、さらなる技術開発の進展により、ユーザとディスプレイ機器の関係をいっそう変えていく可能性を秘めている。

(2014年3月31日受付)

〔文 献〕

- 1) 古井貞照：“人と対話するコンピュータを創っていますー音声認識の最前線”，角川学芸出版（2009）
- 2) 野澤哲生：“人に近づく音声インタフェース”，日経エレクトロニクス，2012年12月24日号，日経BP社（2012）
- 3) 平沢，村上：“音声認識技術の実用化への取り組み：11. 組込み機器向け音声インタフェース技術の開発プロセス”，情報処理，51，11，pp.1464-1471（2010）
- 4) パナソニック，スマートビエラ，<http://viera.jp>
- 5) http://www.rnib.org.uk/livingwithsightloss/tvradiofilm/tvradiofilmnews/pages/rnib_award_panasonic.aspx

* 画像・情報協力：パナソニック株式会社 AVC ネットワーク社。



ひらさわ じゅんいち
平沢 純一 1995年、奈良先端科学技術大学院大学修了。同年、日本電信電話(株)入社。音声対話システムの研究開発に従事。2005年、スキャンソフト(現ニューアンスコミュニケーションズ)入社。音声インタフェース技術の提案、開発支援に従事。



次世代ナチュラルユーザインタフェース 『視線入力』



蜂巢健一†

1. まえがき

アイトラッキングは、どこを見ているか、厳密にいうと、眼球の向きを測定する技術である。この技術は、およそ半世紀にわたり、主に学術研究の分野で育まれてきた。2000年頃、技術的な革新があり、より簡単に測定できるようになるとともに、被験者の負担も軽くなって、取得データの精度も格段に改善された。その頃から、アイトラッキングを使った学術論文の数が飛躍的に伸びた。さらには、学術研究に留まらず、マーケティングリサーチやインタフェースでの応用も加速度的に広がっている。

2. 眼球運動とアイトラッキング

アイトラッキングは、被験者が、対象物の上を視線がどのように移動するかについて計測する。人間の目は、どこかに注目するまで絶えず動いている。目の動きには、サッカー、停留、滑らかな追跡など、10種類以上のタイプがある。その中で、何かをじっと見つめるために視線が留まっている状態を“停留”と呼ぶ。また、停留間の移動を“サッカー”と呼ぶ。停留において視線が留まっている時間は約100～600 ms、この間に脳は目から受けた視覚情報を処理する¹⁾。

サッカーは、停留から停留までの非常にスピードの速い視線移動である。また、サッカーの平均時間は約20～40 msである。この間、視線の情報は脳に伝達されない。人間の目は、約200°の視野を持っているが、網膜の明るさを検知する細胞の大部分は、中心窩と呼ばれる部分に位置している。色を認識できるのは、この中心窩だけである。中心窩は、視覚のわずか1～2°しかカバーしていない（これは例えば、腕の長さほど先の、親指の爪の大きさぐらいである）。脳に高解像度の視覚情報を届けられるのは、この中心窩の細胞だけである。

人の認知可能なエリアは、中心窩による視野、すなわち、

中心視野よりやや広く、例えば、横書きの文字列を読むときには、右に12～15文字、左に3～4文字、すなわち、約18文字分の知覚可能なエリアが中心視野のまわりに非対称的に存在するというを示している。中心視野の外側にある周辺視野では、低解像度のイメージを見ることができない。周辺視野は低解像度だが、動きやコントラストを判別することはできる。目を休めている時、目を動かすことなく、ものを見ることもできる。しかしながら、多くの場合、脳は中心窩の外側にある複雑な情報はほとんど処理することができない。そのため、中心窩による中心視野を知るとは有効である²⁾。

さらに、周辺視野からの不鮮明な視覚情報は、中心窩からの視覚情報と比べてより多くの処理が必要となるため、周辺視野より中心窩からのデータに集中する方が効率的である、と脳は考えている。視線が停留すること（目標物上に留まるか、目標物にとっても近づくこと）は、それがはっきりと見えているということの意味する。視線が商品棚の商品パッケージに停留する、あるいは近づくことがなければ、商品は見られることがない、例えば、その商品パッケージに書かれたテキストは読まれなかったといえる。アイトラッキングは、中心視野の移動や停留した点を記録する。視線の動きを分析することで、消費者行動を明らかにすることができるかもしれない。通常、停留の長さは、脳が目からの視覚情報を解釈するだけではなく、情報処理や認識処理をする時間でもある。例えば、リーディング調査においては、なじみのある言葉の方があまりなじみのない言葉に比べ、停留の長さが短いということが証明されている。また、停留点の数は、見つけやすさを表す。例えば、検索プロセスが効率的な商品パッケージの方が、停留点の数が少ないということになる。

3. アイトラッキング技術を活用した 「視線入力」

図1に示すのは、アイトラッキングの技術構成と手法である。近年、アイトラッキングでは、主に角膜反射法という方法が用いられている。イルミネータで近赤外線を発光して角膜に照射し、その角膜の様子をセンサで捉えて解析

†トビー・テクノロジー株式会社

"Display User Interface (2): Next Generation Natural User Interface, Tobii Eye Tracking: Eye experience" by Kenichi Hachisu (Tobii Technology K.K., Tokyo)

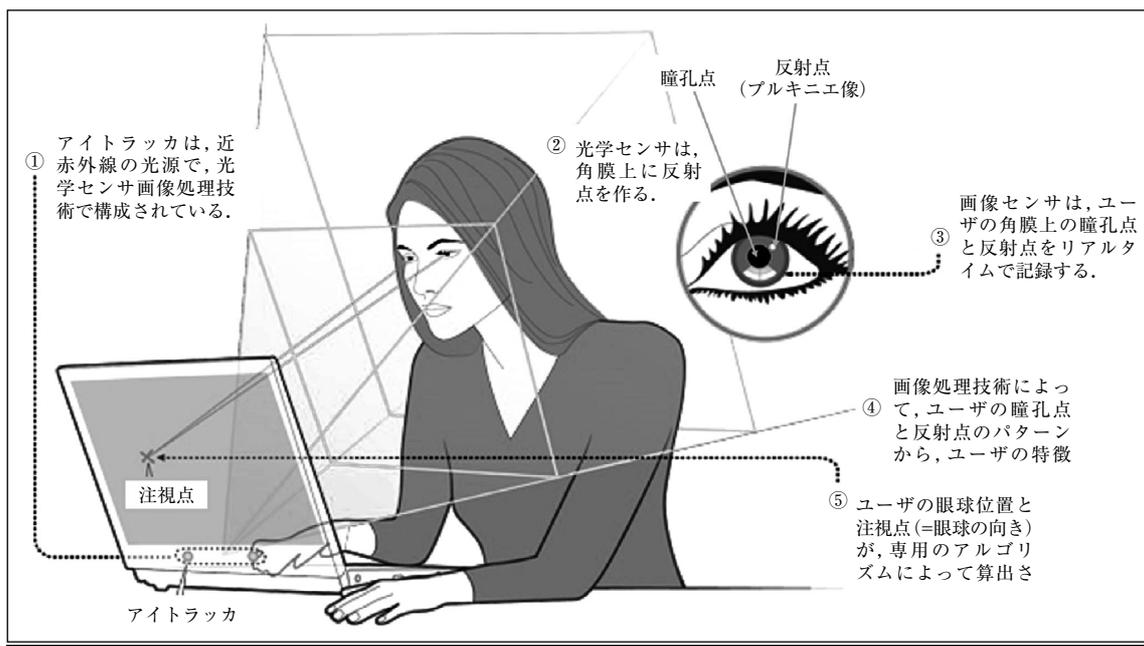


図1 アイトラッキングの技術構成と手順

するというものである(図1①)角膜に近赤外線を照射する目的は二つある。一つは瞳孔点を捉えることであり、もう一つは反射点を作ることである。

角膜反射法の場合、近赤外線が角膜に届かないと話にならない。まずは眼瞼(まぶた)を避けるため、イルミネータをやや下側に配置することが望ましい。下側に配置しないとまったく機能しないという訳ではないが、視線データの取得率が格段に落ちる可能性がある。目が細い、目が小さい、というレベルでは大きな問題にならないが、眼瞼が重くなっている高齢者などでは支障がある可能性がある。また、逆さまつ毛、マスカラなども近赤外線の照射を妨げ得る。

アイトラッキングの場合、瞳孔点、すなわち眼球の位置を捉えることができなければ始まらない。瞳孔を捉える方法には、明瞳孔法、暗瞳孔法の二つがある。明瞳孔法は、カメラの“赤目現象”と同じで、瞳孔を明るくすることで瞳孔の位置を捉える方法である。逆に暗瞳孔法は、瞳孔を暗くすることで瞳孔の位置を捉える方法である。明瞳孔法は、白人などの虹彩の色が薄い人に向いていて、暗瞳孔法は、アジア人などの虹彩の色が濃い人に向いている。すなわち、アジア人でも、月齢の低い幼児の場合は明瞳孔法の方が向いている。歴史的に、欧米メーカーは明瞳孔法に強くアジア系メーカーは暗瞳孔法に強い、という傾向があるが、一人でも多くの人の瞳孔点を捉える、すなわちロバスト性を高めるためには、ユーザの眼球の状態に応じて明瞳孔法と暗瞳孔法を使い分ける必要がある。さらには、使用するデバイスに応じて、近赤外線の当て方、イルミネータの数や位置など、用途に応じたシステム構成が必要となる。

仮に、明瞳孔法あるいは暗瞳孔法を用いて、動き回る瞳孔点を捉えることができたとしても、それだけでは眼球の

向きはわからない。眼球の向きを割り出すためには、近赤外線の照射によってできるもう一つの点、基準点(反射点、あるいはプルキニエ像)が必要になる(図1②)。角膜上の2点、動き回る瞳孔点と動かない基準点の位置関係を捉える(図1③)ことで、眼球の向きを計算することが出る。ただし、この2点は“円”の上にあるのではなく“球”の上にある。しかも、その“球”は人によって大きさが異なる。眼球の向きを正確に計算するためには、前提として、その人の眼球の大きさを想定しなければならない。そのためには、3Dモデルのデータベースと、そのデータベースの中から最適な3Dモデルを選ぶための補正(キャリブレーション)が必要となる。すなわち、何点かポイントを見てもらい、それぞれのポイントのときの眼球の状態を踏まえて、3Dモデルを特定する(図1④)。瞳孔点と基準点、2点の位置関係と、選ばれた3Dモデルをベースに、専用のアルゴリズムを用いて眼球の向きを計算する(図1⑤)。この一連のプロセスにより、60cm先であれば直径1cm単位で、腕の長さほど先であれば親指の爪の大きさぐらいの精度で、どこを見ているかを探り当てることが可能になる。

この精度に悪影響を与えるものとして、眼鏡が挙げられる。近年対策と改善が進んでいるが、いまだ課題は残る。例えば、眼鏡によって眼球の大きさを誤認識することがある。乱視や遠視用の眼鏡の場合、この傾向が強まる。また、直射日光等により眼鏡のレンズが全反射してしまえば、眼鏡の向こうの眼球の様子を捉えること自体ができなくなる。コンタクトレンズも悪影響を避けられない。ソフトコンタクトレンズであれば、角膜全体を覆い、ほぼ固定されているため、影響は少ないが、ハードコンタクトレンズの場合は、眼球とともに動くので誤認識の元になる。また、



図2 福祉分野におけるアイトラッキング技術の活用

カラーコンタクトレンズで着色型のものも、角膜の正しい状態を把握する妨げとなり、精度に悪影響を与える。

アイトラッキングの場合、眼球の動きだけでなく、頭の動きも影響する。かつては、顎台などを使用して頭を固定しないと眼球の向きを計算できなかったが、現在は頭を固定しなくても、頭の動きも考慮して眼球の向きを計算することができる。頭を固定しなくても視線を計測できるようになったことで、人の自然な動きを大きく妨げることがなくなったといえる。

アイトラッキングが記録する、中心視野の移動や、停留した点は、調査だけではなく入力としても活用できる。前述の通り、アイトラッキング技術を使えば、60 cm先で直径1 cmという精度で、どこを見ているかがわかる。すなわち、直径1 cm程度のボタンであれば、そのボタンを○秒間見ていたらクリックしたことにするとか、瞬きしたらクリックしたことにすると定義することで、眼球の動きでパソコンを操作できるようになる。

4. 「視線入力」応用例

筆者らは、2004年から、福祉の分野でアイトラッキング技術を活用したパソコンを提供している。図2にその一例を示す。ALS(筋萎縮性側索硬化症)、SMA(脊髄性筋萎縮症)等の運動ニューロン疾患(MND)、脳性まひ、脳卒中などの脳血管障がい、筋ジストロフィー、レット症候群、脊髄小脳変性症・多系統萎縮症、せき髄損傷など、手足の自由がきかない、発語できない方を対象としている。手足の

自由がきかず発語できなくても脳は正常に機能していて眼球は動く、という方は少なからず存在する。アイトラッキング技術を活用したパソコンがあれば、眼球の動きでパソコンを操作でき、そのパソコンを車いすに装着することで移動もできる。さらにパソコンに発語させて、他の人とコミュニケーションをとることもできる。

ただ、アイトラッキング技術を福祉ではなく、マスマーケットで活用しようと考えれば話は変わる。福祉の分野では、眼球しか動かないというユーザが多数存在するため、眼球の動きだけですべての操作を行わなければならない。マスマーケットの場合には、眼球以外に例えば、手足も使えるため、眼球の動きだけですべてをやり切る必要はない。アイトラッキング技術は眼球に向けた操作にのみ使い、他の操作は他の入力技術に委ねるとするのが常道である。

一例を挙げると、アイトラッキング技術は、何かをポインティングするにはとても向いている。一定の分解能であれば、正確にポインティングすることが十分に可能であるからである。そのため、次のような操作に向いている。まず「セレクト」が挙げられる。何かを選択する時に視線を用いるのである。選択した後のクリック動作は、タッチ、音声など、他の入力装置で行うのが望ましい。視線で決定させようとする、特定の箇所を数秒間見続けたり、瞬きしたり、不自然な操作が必要となったりするためである。また、「スクロール」や「パン」など、画面を上下左右にスライドさせる操作にも向いている。画面の上側を見ると上方向にスクロールし、下側を見ると下方向にスクロールす



る。読み進めるのも読み返すのも自然に行うことができる。

次に、画面の左側を見ると左方向にパンし、右側を見ると右方向にパンする、という操作も可能である。テキストを読んだり、Webサイトをブラウジングしたりするのにとても便利である。「スクロール」や「パン」の場合、自動で操作するのがいいときと悪いときがある。ついては、オートに加えてマニュアル、すなわち、例えば、何か他のボタンを押していないと「スクロール」や「パン」をしないというように、オートとマニュアルを切替えられるようにするのが望ましい。それは、オートであるがためにデバイスが本人の意思に反した動きをすることを防ぐためである。

さらに、アイトラッキング技術は「ズーム」にも便利である。ズームをする場合には、どこを中心にズームインするか、決めないといけない。この中心を決める作業をマウスで行おうとすると、右クリックをしながらドラッグするというのを何度か繰り返す必要があり、操作が面倒である。アイトラッキング技術を使えば、中心としたいところを見ていると、中心としたいところが中心にきて、そこを中心にズームインをする、という一連の操作を直感的かつスムーズに行うことができる。地図の操作などにとっても便利である。加えて、アイトラッキング技術ではないが、頭の動きをトラッキングし、視線の動きと頭の動きを組合せることで、中心の決定とズームイン/ズームアウトを直感的に行うこともできる。

また、複数の作業を同時に行う場合、複数の画面を開いて画面を一覧したり、特定の画面に切替えたりするのは煩わしい操作である。そんな時も、アイトラッキング技術を使えば、作業したい画面を見ることで、直感的に「画面切替え」を行うことができる。

しかしながら、アイトラッキング技術は、決定や実行といったコマンドには向いていない。福祉の分野では、〇秒間見続けたり瞬きしたりということで決定を行うが、マーケットにおいては、視線入力による決定を強いるとユーザにとって過度の負担となり、日常的な使用には耐えられないと考えられるからである。

ここまで紹介した操作は、すべて視線だけで行うことも可能である。しかしながら、前述の通り、視線だけで完結するのはユーザに大きな負担をかけかねない。また、視線で操作しようという意思がないのに、デバイスが視線を拾って勝手に動作してしまうのは避けないといけない。したがって、他の入力方法と組合せるマルチモーダルとするのが一般的である。

では、アイトラッキング技術はどのようなデバイスに向いているのだろうか。アイトラッキング技術は、デジタルサイネージのような不特定多数のユーザを対象にするものには向いていない。現時点では、複数の人や視線を捉えることを想定しておらず、また、一人一人に対して補正(キャリブレーション)を行う必要もあるからである。すな

わち、1デバイスに対して1ユーザであれば、どのようなデバイスでも実装の可能性があると思われる。

想定されているのが、ノートブックやAIO(オールインワン)パソコンである。アイトラッキング技術を実装すれば、前述のような「セレクト」、「スクロール」、「パン」、「ズーム」、「画面切替え」を視線入力で行うことが可能になる。マウスによる能動的な入力が不要になるので、操作がより自然になり、作業の効率性向上や生産性向上が期待できる。

次に想定されるデバイスはタブレットである。雨で傘をさしている時、混み合う電車の中で吊革につかまっている時、手提げ鞆を持っている時、子供を抱いている時など、片手がふさがっている時、タブレットやファブレットなどはスマートフォンと違い、残った片方の手だけでは操作できない。タッチするにも、デバイスを握りながら、唯一自由であろう親指だけでは画面のいろいろなところをタッチするのは難しい。加えて、静かな場所や混み合う場所など、音声認識やジェスチャ操作など、他の方法がふさわしくない場合も多い。その点、アイトラッキング技術を用いれば、第3の手ともいえる、視線でポインティングして親指で画面のどこかをタッチして決定する、ということが可能である。

さらには、両手がふさがっている場合も有効である。医療現場では、施術のために両手がふさがっていたり、手術室の細菌汚染防止のため両手を使えなかったりする場合がある。両手がふさがっているために、ジェスチャ操作は難しいし、マスクをしていることも多いため音声認識も難しい。その場合、視線を入力に使えるととても便利である。医療に限らず、両手を使う作業は数多くあり、その場合に視線を入力に使えるのは有用である。

自動車の運転も、両手がふさがる一例である。カーナビゲーションシステムは、運転者の正面にあるとは限らない。かなり下方で、見にくく操作しづらい場所にあることが珍しくない。カーナビゲーションシステムのディスプレイは、遅かれ早かれヘッドアップディスプレイに置き換わり、フロントガラスの内側付近に投影されることになる。その場合、カーナビゲーションシステムをタッチで操作するのはさらに難しくなる。そこで視線入力を使えば、ヘッドアップディスプレイを視線でポインティングし、ハンドル上の決定ボタンや音声認識で決定する、という自然な操作が可能となる。運転中は両手がふさがっているため、ジェスチャ操作はあまり向いていないと思われる。自動車の運転の場合、眼球の動きを計測するメリットは、カーナビゲーションシステムに留まらない。よそ見や居眠りなどを検知し、その状況に合わせて自動車自体が警告したり減速したりして、運転者をサポートする動きをすることも可能になる。

5. 「視線入力」今後の方向性と可能性

アイトラッキングモジュールのサイズとコストを踏まえ



ると、まずはゲームや医療など、法人向け製品での採用が先行する可能性が高い。

ゲームは、家庭用ゲーム機よりは、アーケードゲーム機やパチンコ・パチスロなど、業務用ゲーム機への実装検討が進んでいる。ゲームにおいても、前述のような「セレクト」、「スクロール」、「パーン」、「ズーム」、「画面切替え」などを視線入力で行うことになると思われる。既存のゲームタイトルに視線入力機能を付加することもできるが、アイトラッキングならではのゲームタイトルの登場が望まれる。家庭用ゲーム機搭載のためには、一層のダウンサイズとコストダウンが必要となるが、一部のプロゲーマには、新しいゲームエクスペリエンスとして、いち早く受け入れられそうである。本年には、アイトラッキング技術を使ったPCゲーム用周辺機器の販売開始が予定されている。

医療分野では、前述のように、施術のために両手がふさがっていたり、手術室の細菌汚染防止のため両手を使えなかったりする場合に視線入力が役に立つ。加えて、両手がふさがっている場合に限らず、増え続ける患者の診察の効率性を高めるためのツールとしても有用である。また、キオスク端末、案内ディスプレイ、ベッド脇のテレビやパソコンなど、病院や病室のいたるところに存在するインタフェースを、患者にやさしいユニバーサルなものにするために使われる可能性もある。例えば、松葉づえで両手がふさがっていたり、手足が不自由だったり、自力で起き上がることが困難だったりする患者にとって、現在の病院のインタフェースは必ずしもやさしくない。

その次に実装が期待されるのは、前述のように、デスクトップ、AIO、ノートブックなど、個人向けのパソコンである。すでに、一部メーカの製品に実装されているが、アイトラッキング技術の実装がさらに広がれば、前述のような「セレクト」、「スクロール」、「パーン」、「ズーム」、「画面切替え」などを視線入力で行うことが一般的になり、マウスはなくなるか、補助的な入力装置になるかもしれない。

片手で使用することもあり得るタブレットは、視線を使えると便利であることは間違いない。ただし、パソコンと異なり、デバイスと人の距離や位置関係、さらには、屋内に限らず屋外での使用も想定されるなど、使用環境のバリエーションが格段に増える。パソコンに比して、クリアしなければいけない課題は多いと思われる。

ウルトラブックになると、筐体の厚さが薄くなるため、パフォーマンス以前に、イルミネータやセンサの厚さが問題になる。しかしながら、アイトラッキングモジュールの一部は、チップ化が視野に入っているため、サイズの柔軟性は高まる。またチップ化によって、サイズだけではなく、大きなコストダウンも実現するものと思われる。

また、アイトラッキング技術の相性のよい端末として、グラス型のウェアラブル端末が挙げられる。グラス型の場合、言うまでもなく操作に視線を使うのはごく自然である。

バーチャルに広がるディスプレイを見ながら操作する時、音声認識やボタンでは快適な操作は難しい。視線でポインティングし、音声認識やボタンで決定するという組み合わせが有効であると思われる。

前述の通り、自動車とアイトラッキング技術は相性がよく、すでに実際に搭載する試みは始まっている。しかしながら、ロバスト性、精度、確度など、通常、アイトラッキング技術に求められることだけをクリアしても製品化は難しい。温度、湿度、振動など、自動車ならではの要求に添えていく必要がある。一方で、必要条件を満たすことができれば、アイトラッキング技術がもたらす付加価値は大きい。具体的には、カーナビゲーションシステムの操作に留まらず、歩行者や交通標識の見落としを検知したり、視線の動きから運転者の疲労度などの状態を把握したり、その情報を受けて、自動車が能動的に運転者をサポートしたりすることも可能になる。

ゲーム、医療に始まり、パソコン、タブレット、ウェアラブル端末、自動車など、ありとあらゆる端末にアイトラッキング技術が採用されていくと、膨大な量の視線データがクラウドに吸い上げられることになる。吸い上げられた視線データの活用範囲は広い。何を見たかということは人々の注意や興味を表しているため、視線に応じて広告を表示することにより、一層効果の高い広告サービスが登場するかもしれない。また、人々の生体情報を把握しているため、いろいろな健康管理サービスを提供することができるかもしれない。

以下に、さまざまなタイプのアイトラッキング製品の例を示す。上述の目的や用途に応じて、適切な装置が選択できるようになっている。

ソフトウェア開発キット (SDK) と組み合わせることにより、視線入力アプリをすぐに開発できる。視線データ分析も可能である。

図3、図4は、従来の眼鏡型アイトラッキングのような突起物がなく、スタイリッシュなデザインの次世代モバイルアイトラッキングで、被験者に負担をかけずに自然な振る舞いのなかでデータ収集ができる。

図5は、産業用のインタグレーションのための組込型アイトラッキングシステムで、ゲーム、コンピュータインタ



図3 ポータブルアイトラッキング



図4 グラス型アイトラッキング

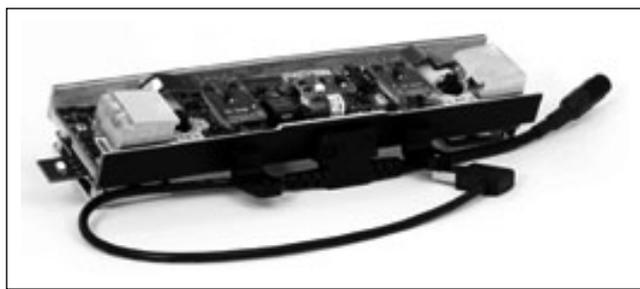


図5 組込型アイトラッキングシステム

ラクシオン、医療、自動車、セキュリティなど、さまざまな分野の製品への組み込みを手軽に行うことができる。

図6は、録音した会話、メッセージ、音声・音楽などを注視またはタッチするだけで再生できる拡張・代替コミュニケーション装置である。



図6 アイトラッキング技術を利用したコミュニケーション装置

6. むすび

アイトラッキング技術は、学術研究で生まれ、その後、マーケティングリサーチに広がった。時を経ずして、インタフェースとしての活用が始まり、今、福祉からマスマーケットに広がろうとしている。業務用機器、ノートブック、タブレット、ウルトラブック、ウェアラブル端末、自動車など、ありとあらゆるデバイスに広まっていくことで、膨大な視線データが蓄積されていく。やがて、視線計測データに留まらず、他の生理計測データ、脳計測データなども追加されていくだろう。倫理面も整備しながら、データが正しく活用され、人々の生活を豊かにしていくことが期待される。

(2014年4月25日受付)

〔文 献〕

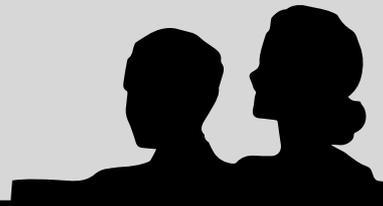
- 1) K. Rayner: "Eye Movements in Reading and Information Processing", 20 Years of Research (1998)
- 2) R. Pieters and M. Wedel: "Informativeness of eye movements for visual marketing", six cornerstones (2007)



はちや けんいち
蜂葉 健一 早稲田大学法学部卒業。東京工業大学大学院中退。伊藤忠商事に約10年在籍し、マッキンゼー・ジャパニーズを経て、その後、技術ベンチャー企業の経営に携わる。検索エンジン、デジタルメディア、アイトラッキングなど、最先端技術を軸にした事業推進に強み。2011年より、トビー・テクノロジー日本法人代表取締役社長。



空間ユーザインタフェース



勢川博之†

1. まえがき

空間ユーザインタフェースとは、3次元空間上の位置情報を活用したインタラクションの手段である。最近NUI (Natural User Interface) という言葉が流行しているが、人間にとってより自然なインタラクションを実現するための方法の一つとして、空間ユーザインタフェース技術が脚光を浴びつつある。

具体的な例として、2013年11月に販売が開始されたMicrosoft社 Xbox Oneに同梱されているデバイスの新世代 Kinect やソニー・コンピュータエンタテインメント社 (以降SCEと略す) のPlayStation®4と同時発売されたデバイス PlayStation®Cameraのように、コンシューマ用ゲーム機への採用があげられる。また、PCなどに接続して手指の位置を検出する機器として、Leap Motion社のLeap Motion Controllerが話題となった。

本記事では、ユーザの3次元位置をハンドフリーで(デバイスを身に着けずに)計測することを特徴とするユーザインタフェース技術にフォーカスし議論する(第3章では歴史を語るうえで他の技術についても少し触れる)。

2. 技術分類

空間ユーザインタフェースの入力のためのセンシング技術を分類しつつ紹介していこう。製品化されている空間センシング技術の主たるものをまとめると、表1のようになる。アクティブ型とは照射光(特に非可視光を用いる場合が多い)を対象物に当てる方式を指し、パッシブ型とはイメージセンサが受けた光情報のみを使用する(すなわち照射光を用いない)方式を指す。以下、それぞれの方式について詳細に説明する。

2.1 パッシブ方式

2.1.1 ステレオカメラ

二つのカメラを用いてその視差情報により距離を測定する方法である。技術の歴史は古く、理論的には30年前から

表1 空間センシングの技術分類

	小分類	製品	企業
パッシブ型	Stereo	PlayStation® Camera	SCE
		BumbleBee	Point Gray(カナダ)
	Light Field	raytrix [∞]	Raytrix(ドイツ)
アクティブ型	Structured Light	PrimeSense 3D	PrimeSense(イスラエル)*
	Time of Flight	Kinect 2.0	Microsoft(米国)
		DepthSense	SoftKinetic(ベルギー)
IR LED + Stereo	Leap Motion Controller	Leap Motion(米国)	

* Appleにより買収

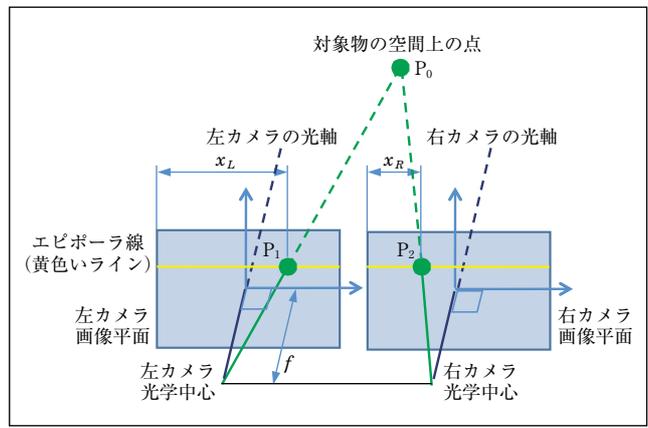


図1 ステレオカメラの原理

提案されている。

車載への応用としては富士重工業社のEyeSightにステレオカメラが使われていることが広く知られている。

距離測定の原理を図1に示す。図1で対象物の空間上の点 P_0 は平行におかれた二つのカメラの画像上でそれぞれ P_1 と P_2 に結像する。図1のように P_1 と P_2 は必ず同一直線上に存在するので、その直線上で対応する点を探せばよいことになる。この直線(図1中で黄色で示した線)のことをエピポーラ線と呼ぶ。カメラのrectification(平行化)を行うことにより、エピポーラ線は画像平面上のx軸と平行になるので、対応点探索の処理速度を高められる。探索において

†株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント 研究開発本部
"Display User Interface (3): 3D User Interface" by Hiroyuki Segawa
(R&D Div., Sony Computer Entertainment, Inc., Tokyo)

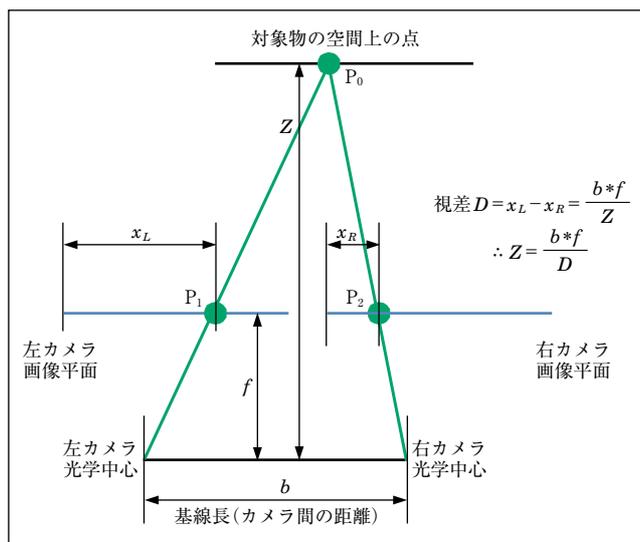


図2 ステレオカメラの視差から距離への変換

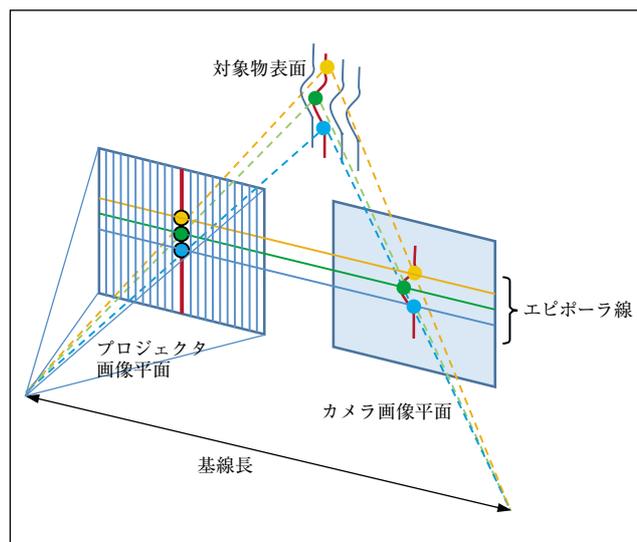


図3 Structured Light方式の原理

はテンプレートマッチングのように小領域の相関が多く使われている。

図2は、ステレオカメラ方式における視差と距離の関係を示したものである。対応点が求まると、図2の関係と次式で定義される視差 D の定義

$$D = x_L - x_R$$

を用いて、対象物までの距離 Z は

$$Z = \frac{b * f}{D}$$

で計算できる。

基本的な原理の紹介は以上である。いわゆる三角測量を原理としているので、ステレオ方式では一般に対象物との距離が長くなると検出分解能は低下する。これについては、サブピクセルマッチング(ピクセル精度以下でマッチングを行う技術)などの手段によって分解能確保が図られていることが多い。

2.1.2 Light Field

二つを超えるカメラあるいは光学部品により複数の方向からの光線をとらえることで、ステレオカメラよりオクルージョン(一方のカメラでは見えるが他方のカメラでは見えないこと)の影響が少なく、距離情報を得ることができる方法である。イメージセンサの解像度が光線方向の数量に分散されてしまうことや、ステレオカメラよりも距離算出に計算コストがかかることなどから、得られる距離情報の品質とのトレードオフとなる。

ここ数年 computational photography の分野で注目されている技術で、例えば、撮影後に refocus や微小範囲での視点移動を行うカメラとして Lytro 社の Lytro が話題になった¹⁾。その他には、Raytrix 社が産業用に Light field camera を提供したり²⁾、Pelican Imaging 社が Mobile 向け

のセンサモジュールを提供したりしている³⁾。

2.2 アクティブ方式

2.2.1 Structured Light

パターン光を照射し、三角測量で対象物までの距離を測定する方法である。Apple 社に買収されたイスラエルの PrimeSense 社の技術はこの Structured Light 方式であり、Microsoft 社の Xbox360 用 Kinect ではその技術が採用されている。

Structured Light 方式で使われるパターンには、ストライプであったり格子であったりいろいろなバリエーションがある。

Structured Light 方式による距離測定は、プロジェクタを「逆カメラ」、すなわち光線方向を逆にしたカメラと理解すると、実はステレオカメラと同じ原理として理解することができる。図3に、ストライプ(縦縞)を照射する方式で説明する。図3は、縦縞パターンを対象物に照射し、その像をカメラで撮影する様子を示している。プロジェクタから対象物に当たっている光線を逆にトレースすると、「対象物表面にあるラインを仮想カメラ(実はプロジェクタ)で撮影すると仮想カメラ画像平面上で縦に走る直線が見られる」と解釈することができ、これにより、「カメラと仮想カメラ(プロジェクタ)によるステレオカメラである」という解釈ができる。プロジェクタ上の縦線とカメラ上の曲線との対応(時分割や空間的な変調などさまざまな方法がある)さえできれば、それぞれの線とエピポーラ線との交点同士の視差を求めることにより、対象物との距離情報を得ることができる。

なお PrimeSense 社の技術では、ストライプパターンではなくランダムドットパターンが使われている。

2.2.2 Time of Flight (TOF)

光を対象物に当てて、その往復の時間を計測することにより距離を測定する方法である。原理的には超音波の跳ね

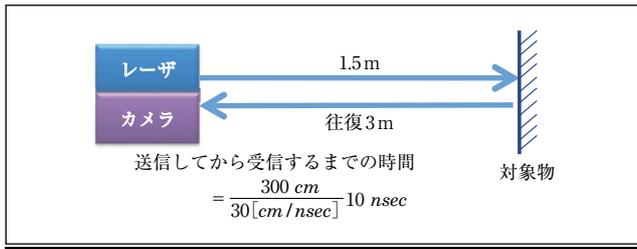


図4 Time of Flight方式の原理

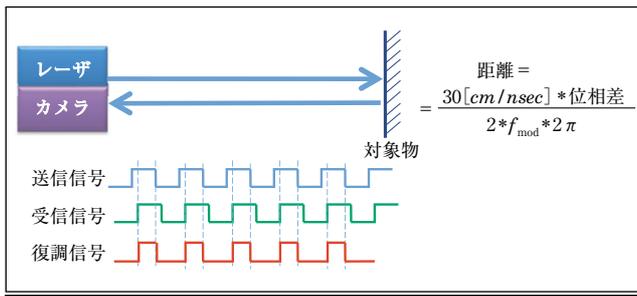


図5 Time of Flight位相差の測定(1)

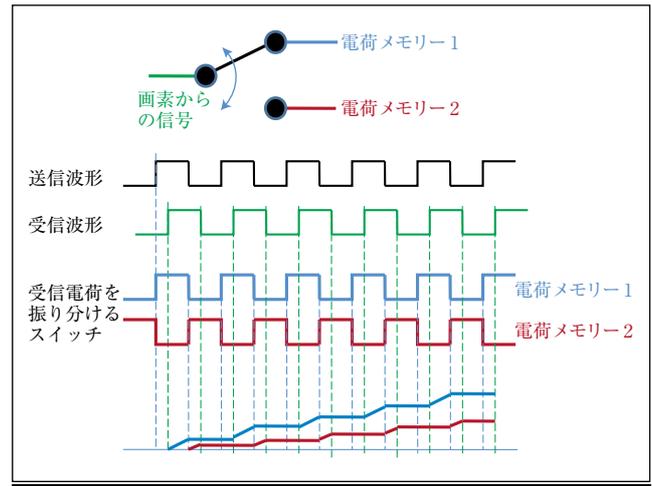


図6 Time of Flight位相差の測定(2)

返りの時間を計測したソナーセンサと近い。処理クロックの向上により、音よりはるかに速い光を使えるようになった。音と違い温度依存もなく、直進性の高い光を使えるようになり精度を高めることができた。Microsoft社のXbox One用新世代KinectではTOF方式が採用されている。

本方法では、対象物に反射させて帰ってくるまでの時間を測ることとなるのだが、図4のように1.5m先にある対象物であると10nsecで帰ってきてしまう。この場合、15cmの分解能を持たせようとする0.5nsecの判定をしなければならない。処理クロックが高まったとはいえ、その時間分解能での計測は容易ではない。そこでTOFでは、往復時間そのものを測定するのではなく、送信信号(光源)と受信信号(カメラ)の位相差などを用いて間接的に光の往復時間差(=光路差)を測定している。

その実現例を二つ紹介する。図5に示す方法では、受信信号で送信信号をゲーティング(受信信号が高いときだけ送信信号を通すこと)したものを復調信号とする。その位相差に応じて復調信号のパルス幅が短くなるので、この復調信号を積分した値により位相差が計算できる。また図6に示す方法では、センサ各画素の電荷の行先をフレーム内でスイッチすることでそれぞれ2カ所に繰り分け、そのたまった電荷の比によって距離を算出する。

原理的にTOF方式は、検出分解能が測定距離に依存しないところがステレオ方式とは異なる点である。

2.2.3 赤外線+ステレオ

基本的な計測原理はステレオ方式と同一であるが、textureの弱い対象物や暗いところでのマッチングに強くするように、赤外線パターン光を照射する方法である。

Leap Motion社のLeap Motionでは下から赤外線を照射することで指の位置を検出している。赤外線情報のみでステレオマッチングをかけているということに加え、空間を狭く絞ることでロバスト性を上げている⁴⁾。

3. ビジネスへの応用の歴史

Point Grey社のステレオカメラであるBumblebeeシリーズは、主に産業用あるいは研究用に活用されてきている。文献5)にある応用例では、展示会での参加者の3次元位置の検出・トラッキングや製造業への適用、また自動車の自動運転の研究について述べられている。

前述のとおり、空間ユーザインタフェースが最も脚光を浴びている分野の一つはゲーム業界である。

カメラなどを活用し自然なインタラクションをゲームのユーザインタフェースに取り入れることは、これまでゲームコントローラになじみがないユーザにゲームを楽しんでいただくために有用な戦略である。また、より直感的な入力により没入感の高いゲーム体験を供給できる可能性がある。

ゲーム機にとって直感的なインタフェースを導入しようという試みは長くなされており、2004年にはSCEよりPlayStation®2向けの周辺機器としてEyeToy®というカメラによるユーザインタフェースの提案があった(図7)。EyeToy®は単眼カメラであり、差分画像や認識技術を応用してさまざまなゲームが作られた⁶⁾(PlayStation®3向けには後継機種PlayStation®Eyeが発売されている⁷⁾)。

2006年には任天堂によりWiiが発売され、そのコントローラはラケットのように振ったり、弓矢のように画面上の一点を狙ったりという直感的な操作を可能として、ゲーム人口の拡大に寄与した⁸⁾。2010年にはSCEからPlayStation®3用USBカメラPlayStation®Eyeと組合せて使用するPlayStation®Moveが発売され、精度の高いコントロールを実現した(図8)。PlayStation®Moveは全世界



図7 EyeToy®とPlayStation®Eye



図9 PlayStation®4とPlayStation®Camera



図8 PlayStation®Moveモーションコントローラ

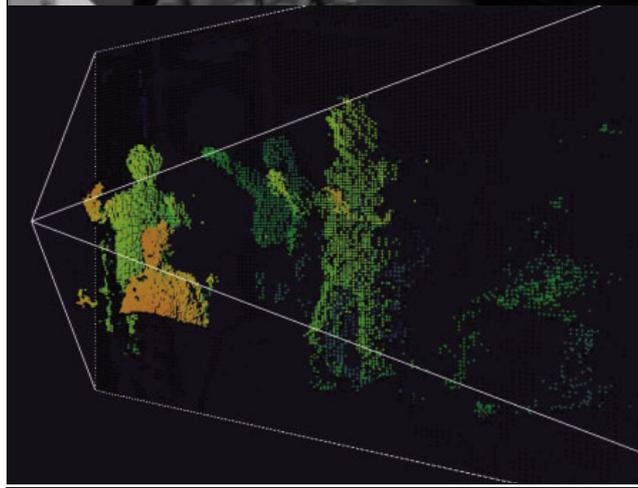


図10 PlayStation®Cameraの入力から生成された距離マップ

で1,500万台以上を販売している(2012年11月時点)⁹⁾。

その後、手にデバイスを持たずに操作できるユーザインタフェースとして、2010年にMicrosoft社からXbox360向け周辺機器として前述のStructured Light方式センサのKinectが発売された。スケルトントラッキング(ユーザの関節位置の推定)を行えるライブラリーも供給することで、ダンスゲームなどが作られた。コントローラを持たずに遊べるゲームの可能性を示した¹⁰⁾。

4. 最近の製品技術動向

最新のゲームプラットフォームではMicrosoft社はXbox One用の新世代Kinect(Time of Flight方式を採用)¹¹⁾、SCEはPlayStation®4用にPlayStation®Camera(ステレオカメラ方式)¹²⁾をそれぞれ世に出している(図9)。このように、空間ユーザインタフェースが新世代のプラットフォームにとって存在感を高めている。

図10に示すのが、PlayStation®Cameraで取り込んだ画像(上段)からリアルタイムに生成された距離情報を少し斜め右からの視点でレンダリング(映像化)した画像(下段)である。前述のように、30年の歴史を持つステレオカメラがここにきてリアルタイム用途として実用化できたのは、プロセッサの処理能力の向上が重要な役割を果たしている。元来、どのアクティブ方式と比べても処理負荷が多いとされていたステレオ方式であるが、PlayStation®Cameraではステレオマッチングの処理をPlayStation®4本体側のGPUで行っており、図10で示した距離情報算出に対して1.5msecの短時間で算出が可能になっている。これは、いわゆるGPGPU(General-Purpose computing on

Graphics Processing Units:元来グラフィックス用の処理プロセッサであるGPUをそれ以外の目的に応用する技術)によって、演算の並列性をうまく生かすことで実現できたといえる。

また、ステレオカメラに代表されるパッシブ型は、暗い環境となるとイメージセンサのS/Nが劣化することによりマッチングさせたい特徴量がノイズに埋もれてしまい、結果として mismatchingのため正しく計測されない面積が増加するという問題を持つ。さらにTextureの弱い(すなわち特徴量の少ない)対象物に対してマッチングが難しいという問題を持っている。実は欧米では、リビングルームは照明を暗くすることが好まれるので、例えば、ユーザの位置でカメラ方向の照度を測った場合に、10lxを下回る場

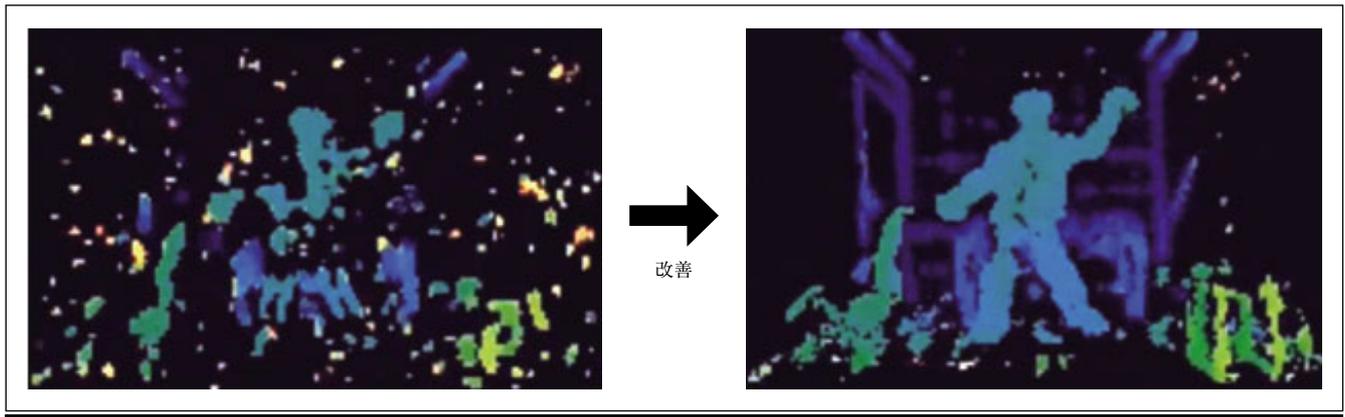


図11 暗所でのノイズ耐性ならびにマッチング品質の改善



図12 距離マップの応用例「プレイルーム」

合が珍しくなく、そのような環境下ではパッシブ型は性能低下を起こす弱点を有していた。そのためマッチングの品質を高めるための研究開発（本稿では詳細な説明は省略させていただきます）を行うことでその弱点を克服しつつあり、欧米でも楽しんでいただけるようになってきている（図11）。

このように計算された距離マップを実際に応用とした例として、PlayStation®4にプリインストールされているアプリケーション「プレイルーム」(THE PLAYROOM)¹³⁾を紹介する（図12）。プレーヤの行動が、ダイレクトに、わかりやすい形で返ってくるのがこのアプリケーションの魅力となっており、「ASOBIとあそぶ」では仮想的に表示されたロボットに触れることでさまざまなインタラクション（なでるとロボットがうれしそうな反応をするなど）が行える。このロボットとのインタラクションは、距離マップに基づいて行われている。

距離マップは前述のとおりGPUで算出しているの、ソフトウェア処理であることから演算内容をスケラブルに変更が可能である。ゲームによって必要な解像度を使えばよく、「プレイルーム」では上に示したものより小さな解像度の距離マップを活用している。

次に、今起こりつつあるトレンドを紹介しよう。これま

で据え置き系で使われることの多かった空間センサの技術は、最近のトレンドでモバイルデバイスと組合せた試みが始まっている。

ベンチャー企業のOccipital社は、Structure SensorというStructured Light方式センサを、iPadの周辺機器としてKickStarter経由で販売した^{14) 15)}。PrimeSenseの技術を使っているようであるが、AppleがPrimeSenseを買収したこともあり、今後どのようになるか不透明である。Appleも同様の展開を考えている可能性もある。

また、Google社がProject Tangoを発表している¹⁶⁾。スマートフォンにコンピュータビジョンの機能を加えるプロジェクトである。まだプロトタイプ段階であるが、イメージセンサ以外に、赤外線センサとモーショントラッキング用のカメラならびに二つのコンピュータビジョン用プロセッサを積み、3次元空間としての環境の把握とそれとのインタラクションを標榜している。

5. むすび

今後の技術展望について述べる。

ユーザと機器のインタラクションで重要視されるべきこととして反応性があるが、その要素の一つとして遅延(latency)があげられる。インタラクションは操作対象の機器とユーザの間でループを形成し(ある意味サーボがかかっている状態で)制御を行うことになるので、遅延が少ないほど制御が容易となり、すなわちユーザにとって操作しやすくなる。

また、サンプリングレートを高めることは制御性を高めることとなる。ゲームコンソールの場合、ユーザへの情報提示は現行のテレビのフレームレートにより最大60fpsとなっているので、空間センシングとしてはこれと同等になることが望ましい。さらに高いサンプリングレートでセンシングできると、速い動きの予測精度を高められる。例を挙げると、野球などの投球動作におけるリリースポイントを特定したり、リリース後のボールの動きをコントロール



したりすることも容易となる。そのため、このように低遅延と高サンプリングレートが心地よいインタラクションのためにますます重要になると考える。

今回の記事ではセンシングに絞って話を進めてきたが、ユーザへのフィードバックは重要で、これから技術開発がますます盛んになる分野であると考ええる。

第3章で紹介したWiiリモコンやPlayStation® Moveは、デバイスを手に持たなくてはならない反面、振動によるフィードバックをユーザに与えることにより臨場感を与えることができるという利点もある。したがって、デバイスを持ったり持たなかったりは適材適所使い分けることになるであろう。今後は、振動によって現在実現されている以上の表現力を持つ触覚・力覚フィードバックの方法の開発が進むと思われる。

また、デバイスを持たないユーザに対する触覚提示の方法も研究されつつある。例えば、Disney ResearchのAirealというプロジェクトでは、空間上のある位置に向け狙って空気を送ることにより、触覚を体験させることを実現させている¹⁷⁾。

センシング技術の高まりとともに、このようなさまざまなフィードバック技術の向上が、今後空間ユーザインタフェースをさらに進化させていくことに期待したい。

(2014年5月30日受付)

〔文献〕

- 1) Lytro社, <https://www.lytro.com/#>
- 2) RayTrix社, <http://raytrix.de/index.php/Cameras.html>
- 3) Pelican Imaging社, <http://www.pelicanimaging.com/>

- 4) Leap Motion社, <https://www.leapmotion.com/>
- 5) PointGrey社 Technical Application Note TAN2008005 Stereo Vision Introduction and Applications, http://www.ptgrey.com/support/downloads/documents/TAN2008005_Stereo_Vision_Introduction_and_Applications.pdf
- 6) SCE (US) EyeToy®紹介サイト, <http://us.playstation.com/ps2/accessories/eyetoy-usb-camera-ps2.html>
- 7) SCE PlayStation®Eye紹介サイト, <http://www.jp.playstation.com/ps3/peripheral/cejh15007.html>
- 8) 任天堂社Wii紹介サイト, <http://www.nintendo.co.jp/wii/>
- 9) ソニー・コンピュータエンタテインメントジャパンプレスリリース, http://www.jp.playstation.com/info/release/nr_20121116_ps3_70million.html
- 10) Microsoft社Xbox360用Kinect, <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect/>
- 11) Microsoft社Xbox One技術紹介サイト, <http://www.xbox.com/ja-JP/xbox-one/innovation/>
- 12) Microsoft社Xbox One技術紹介サイト, <http://www.xbox.com/ja-JP/xbox-one/innovation/>
- 13) SCE「プレイルーム」紹介サイト, <http://www.jp.playstation.com/software/title/playroom.html>
- 14) Occipital社Structure SensorのKickStarterサイト, <https://www.kickstarter.com/projects/occipital/structure-sensor-capture-the-world-in-3d>
- 15) Occipital社Structure紹介サイト, <http://structure.io/>
- 16) Google社Project Tango紹介サイト, <https://www.google.com/atap/projecttango/>
- 17) Disney ResearchのAireal紹介サイト, <http://www.disneyresearch.com/project/aireal/>



勢川 博之 せがわ ひろゆき 1988年、ソニー(株)入社。1993年、スタンフォード大学コンピュータサイエンス学科修士号取得。本社研究所などを経て、2004年より、(株)ソニー・コンピュータエンタテインメントにて、映像入出力を活用したUI技術の研究開発に従事。現在、同社研究開発本部に所属。ソニー(株)の任命するDistinguished Engineer(主任研究員)でもある。



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 μm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

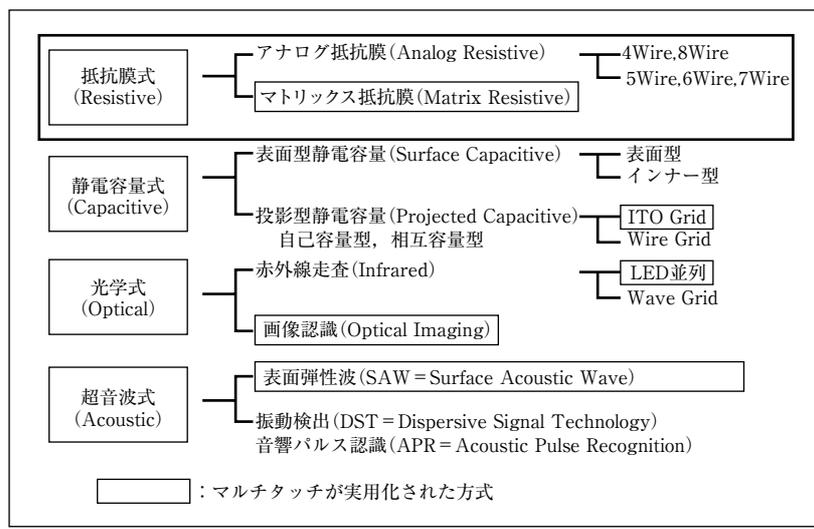


図1 タッチパネル方式

† 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)

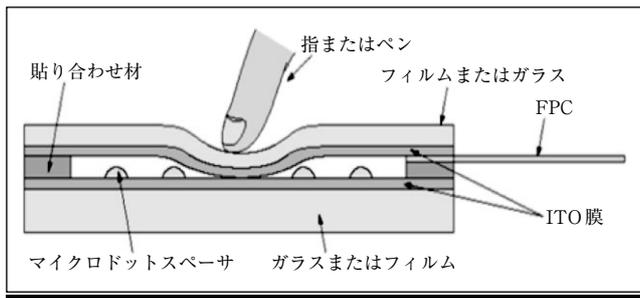


図2 抵抗膜式TPの構造

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)。

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。上下電極の貼り合せ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。

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

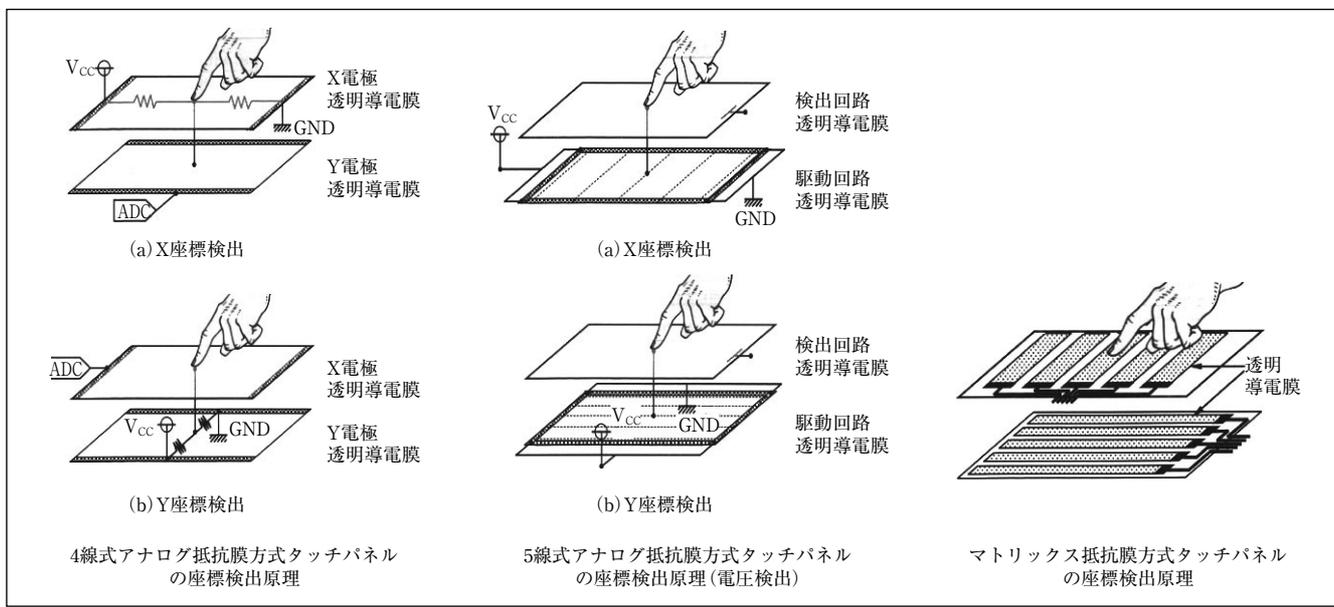


図3 検出原理 (文献1)より

		透明導電膜 (ITO等)		
方式	4線式	8線式	5・6・7線式	
上部電極の配線	X1, X2	X1, X2, X3, X4	Z	
下部電極の配線	Y1, Y2	Y1, Y2, Y3, Y4	A, B, C, D	

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

検出配線	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処理フイラーレス	・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	・表面撥水処理 ・親水処理
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、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イラーの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、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							
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, キャンコーダ	カーナビ, DSC, キャンコーダ	カーナビ, DSC, キャンコーダ

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20MΩ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⁾。導電膜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

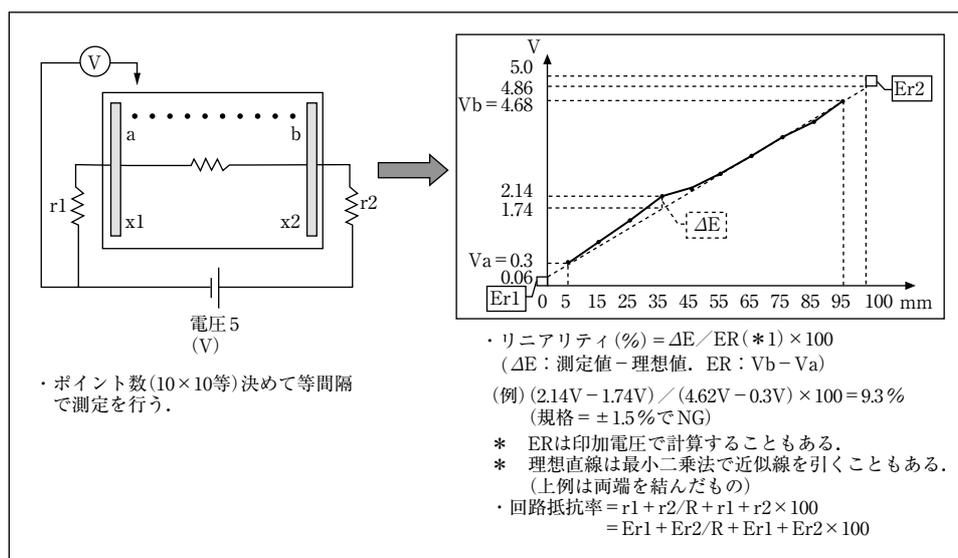


図6 アナログ方式電気特性試験 リニアリティと回路抵抗率について(文献5)より一部抜粋)

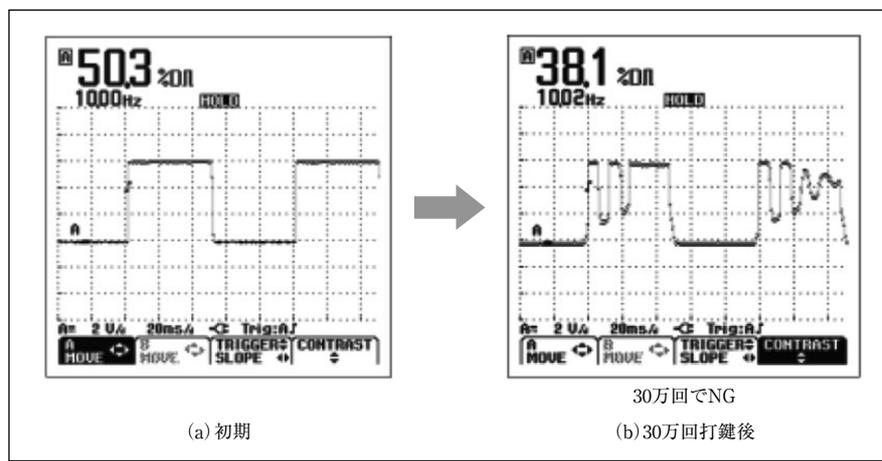


図7 打鍵試験 打鍵経過波形

い場合がある。一度破損したITO膜は一度試験を中断して、再度同一箇所です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、額縁付近での入力には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	< 20k Ω
	隣接電極間絶縁抵抗	25V DC	20M Ω
	上下電極間絶縁抵抗	25V DC	20M Ω
打鍵寿命	250g荷重, 3V印加, 0.8Rペン or 3Rゴム		100万回
ON荷重	5V DC, 0.8Rペン or 3R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

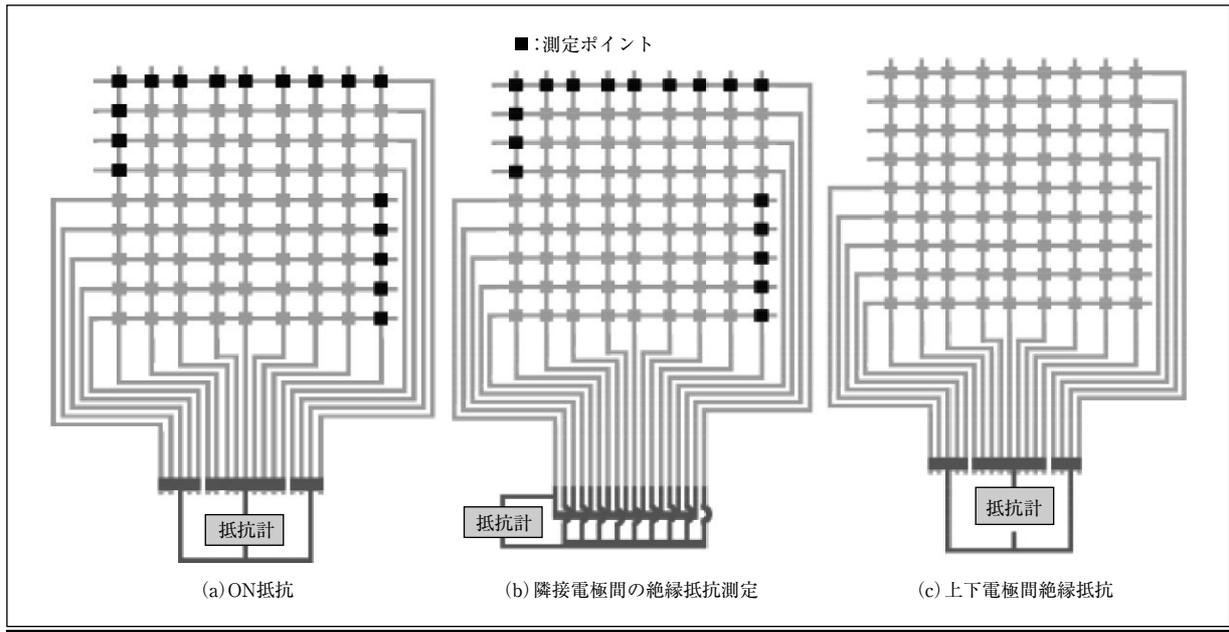


図8 マトリックス方式電気特性試験

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．最近では静電容量式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〕

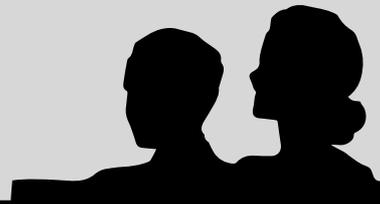
- 1) 越石健司，黒澤理編集：“第2章 抵抗膜方式と静電容量方式の原理と技術動向”，タッチパネルがわかる本，オーム社（2011年5月20日）
- 2) 監修三谷雄二：“タッチパネルの基礎と応用”，テクノタイムズ社（2001年12月26日発行）
- 3) 吉田博：“ガラス基板のITO膜を語る”，月刊ディスプレイ（1996年9月号）
- 4) 板倉義雄，三谷雄二，高野瀬弘二：“抵抗膜式タッチパネルの評価装置”，月刊ディスプレイ（2002年12月号）
- 5) 三谷雄二，高野瀬弘二：“月刊ディスプレイ”，抵抗膜式タッチパネルの評価装置（2000年6月号）
- 6) 板倉義雄，中谷健司：“LCD搭載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



おおしろ さん
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．



静電容量タッチインタフェース



中谷 健司†

1. まえがき

タッチパネルは、これまでは駅の券売機や銀行のATMなどの公共的な分野で主に使用されていたが、ニンテンドーDSやアップル社が2007年に発売したiPhoneを期に個人用途分野へと拡大した。さらに、2010年のiPadの発売、2012年秋のマイクロソフト社のWindows 8の発売へと発展し、タッチパネル付の入力機器が当たりまえの世界が出現した。この発展を支えている技術が静電容量タッチパネルでのマルチタッチ化によるジェスチャ機能の実現と大型化である。本稿ではマルチタッチタッチパネルを中心に基本を解説する。

2. 各種のマルチタッチパネル

代表的なタッチパネルの種類を図1に示した。この中で2重の線で囲った方式は、10指同時入力可能な真のマルチタッチが実用化されている¹⁾。赤外線カメラを利用する光学式の画像認識式タッチパネル以外のマルチタッチタッチパネルの構造は基本的には、パターン化されたXセンサとYセンサの2層構造で、X、Yの信号強度からタッチ位置を算出している。シングルタッチか、マルチタッチかはパネルの構造により異なり、2点タッチか、10点タッチかはパネルによらず、位置を検出する方式と、制御用ICによって左右される。

3. 静電容量式タッチパネルの原理と構造

多くのスマートフォン、タブレットで採用されたのが投影型静電容量タッチパネル (Projected Capacitive Touch Panel) で多点入力が可能で、指の動きで写真などの拡大、縮小のジェスチャ機能が話題を集めた。この投影型の静電容量タッチパネルがタッチパネル市場の80%以上を占め、今後とも拡大が期待されている。投影型タッチパネルでは透明導電性膜のITO (InSnOx：酸化インジウム錫) 層を、例えば、図2に示すようなダイヤモンド形状にパターン化

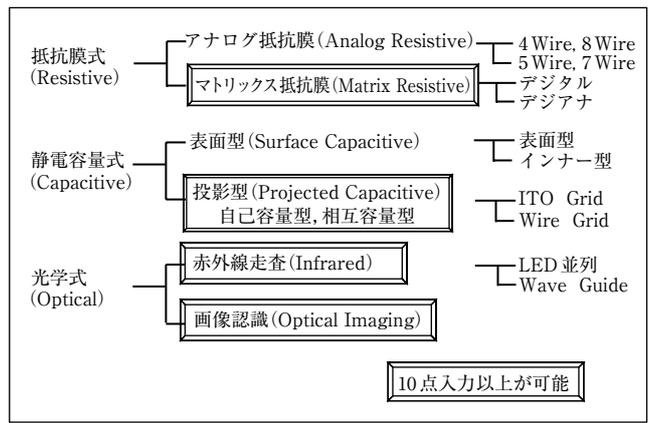


図1 マルチタッチタッチパネルの種類

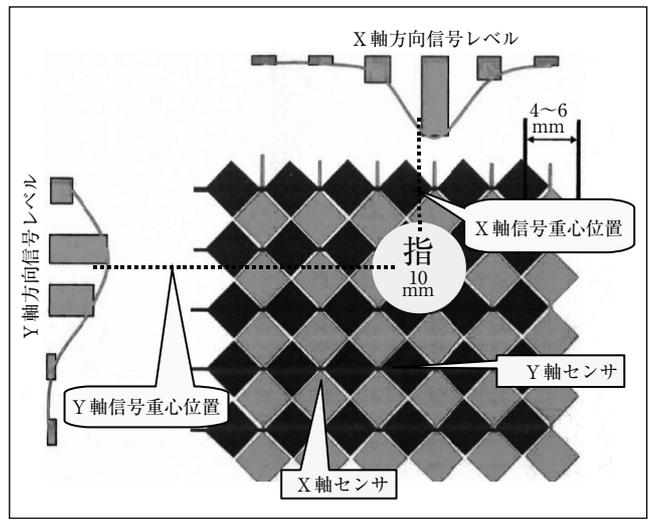


図2 投影型静電容量タッチパネルの表面形状と検出方法。センサパターンがダイヤモンド形状の場合

して、マトリックス (X、Yセンサ) に配列した構成である。ダイヤモンド形状以外にも格子模様やスノーフレイク模様など各種のパターンが提案されているが、X、Yセンサのマトリックスが基本である。位置検出にはパネル面にタッチした時に生じる、指とセンサ (ITO層) の間の静電容量 ($C = \epsilon S/d$: ϵ = カバー材の誘電率, S = センサの面積, d = 指とセンサの間の距離) の変化を検出し、その変化強度分布の中心位置を計算してタッチ位置とする。静電容量の

† 株式会社タッチパネル研究所

"Display User Interface (5): Capacitive Touch Panel Interface" by Kenji Nakatani (Touch Panel Laboratories, Co.Ltd, Tokyo)



表1 投影型静電容量タッチパネルの検出方法

投影型パネル	検出	スキャン回数	入力数	模式図
自己容量型 Self Capacitive	指とITO層との容量変化	ITO層の行+列 (X+Y)	2点入力 (同時は不可)	
相互容量型 Mutual Capacitive	指によるITO層間 (行, 列間)の容量変化	ITO層の行×列 (X×Y)	真のマルチタッチ	

変化を検出するのでタッチする材料としては指や導電性のあるものに限られる。位置精度を向上するためにはタッチする指の接触面積(約10mmφ)を考慮して、X、Yセンサのピッチを指よりも狭く設計する必要があるが、ピッチが狭いとセンサの面積が小さくなり、感度(静電容量の変化量)が低下する。そのため、現状では6~4mm程度のピッチでセンサを配列している。最近ペン入力が必要され、細いペン先でも検出できるようにセンサピッチを狭くする場合もある。

投影型静電容量タッチパネルには検出方法に二つの方式がある。表1に示したように指とITO電極間の静電容量の変化を検出するのが自己容量型であり、ITO層のXセンサとYセンサを順次スキャンして位置を検出する。この方式では同時に2点をタッチするとゴーストが生じる課題がある。もう一つが相互容量型でITO層のXとYセンサの間に生じている静電容量が指の接近によって変化することを検出する。この場合は、例えば、Yセンサに電圧を印加してXセンサを順次スキャンし、次に隣のYセンサに電圧を印加してXセンサを順次スキャンするので、スキャン回数はXセンサ本数とYセンサ本数の掛け算になる。自己容量型では2点入力であり、相互容量型は真の多点入力が可能である。タッチパネルが大型になるとセンサ本数が増加するので相互容量型ではコントロールICへの負荷が増加する。そこで、自己容量型と相互容量型を切替えて使用するタイプのコントローラも利用されている。タッチの有無とおおよその位置を自己容量型で検出し、正確な位置を得るために相互容量型でタッチ位置周辺に限定してスキャンを行うことで検出スピードを向上している。さらに、最近このような順次スキャン型ではなく、同時駆動電圧印加型のコントローラが開発され、センサ本数が増える大型パネルでの感度アップが図られている²⁾。

パネル構成では1枚の基板の両面にITO層を設けたものから、片面2層ITOや、基板/ITO層を2枚貼合した構成まで、図3に示すようさまざまな構造が実用化されている。一般的な構造は、(a)に示すOut-Cell構造のディスクリートタイプで、タッチパネルにカバーガラスを貼り合わせ、それをディスプレイに組合せて完成する。最近話題のパネルは、(b)に示すカバーガラスにセンサを形成した

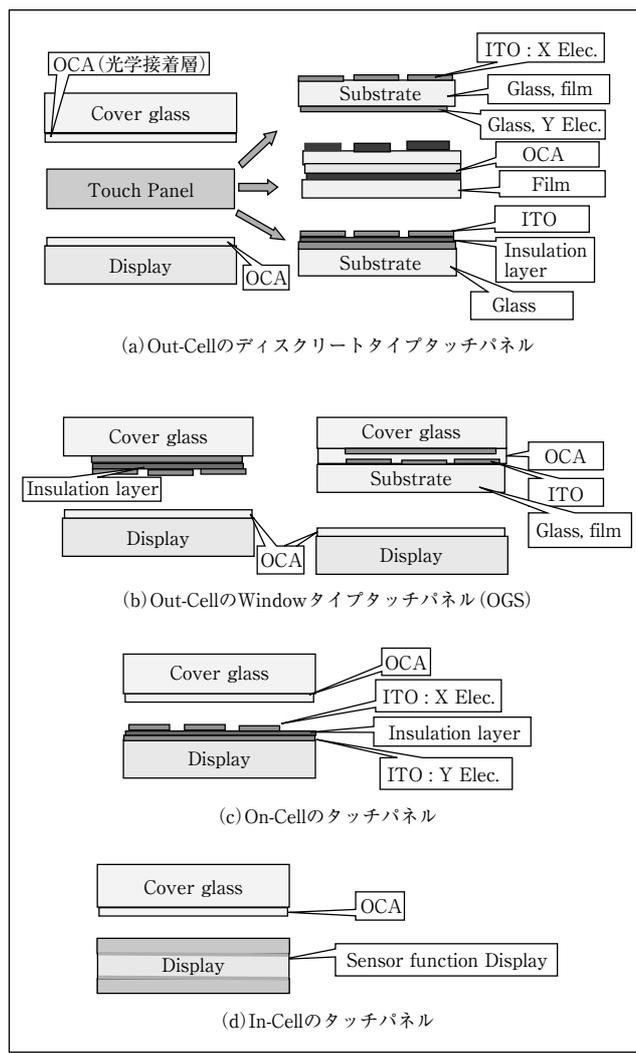


図3 各種のタッチパネル構造

Windowタイプのカバーガラス一体型でOGS (One Glass Solution) と呼ばれる構造である。OGSではカバーガラスとタッチパネルの貼合わせ工程を省略することができる構造である。OGSの製造工程例を図4に示した。カバーガラス上のITO層をフォトリソグラフィでダイヤモンド形状にパターン化し、次に絶縁層を成膜・パターン化してX、Yセンサの交点部分を絶縁化し、さらに金属層を成膜・パターン化してYセンサの導通と配線電極を設ける。フォトリソグラフィが3回と成膜が4回必要な長い工程となって

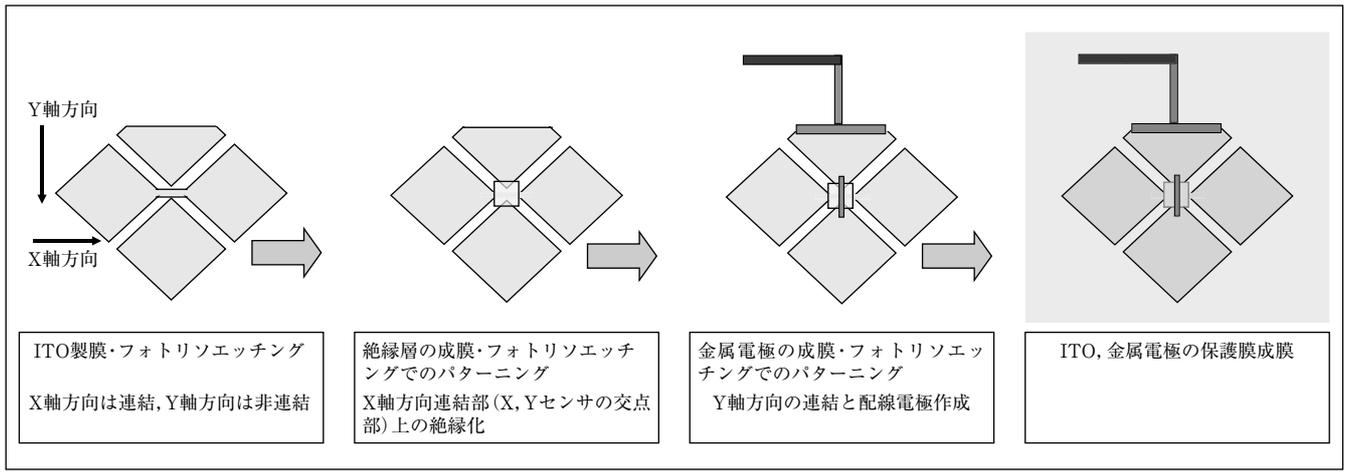


図4 Windowタイプタッチパネルの作成方法(OGS向けの1面4層構成パターン)ジャンパー方式(ブリッジ方式)

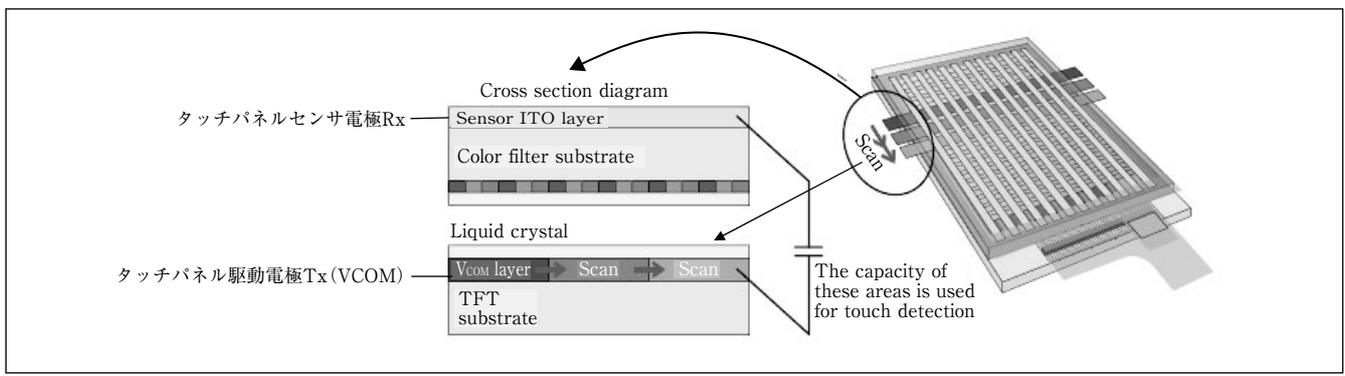


図5 SonyのIn-Cell (Pixel Eyes)の構造

いる。

OGSでは化学強化したカバーガラスの大判上にITOを成膜・センサパターンを形成し、その後カットして個片化する方式が量産には望ましいが、強化ガラスのカット方法とその歩留まりの問題に直面している。そのため、個片化したガラスをまず化学強化し、その後ITO層の成膜・パターンニングする方式を採用するメーカーもありコストアップ要因になっており、OGSからディスクリートタイプへの見直しが生じている。

さらに工程を簡略化するために有機ELディスプレイの基板の上にセンサを形成した、On-Cellタイプが図3(c) Samsungによってスマートフォンに採用された³⁾。

2012年には、タッチパネル機能をIPS液晶ディスプレイの中に組込んだ、図3(d)、図5に示されるようなIn-CellタイプタッチパネルがSonyによって発売された⁴⁾。IPS液晶の上部カラーフィルタ基板ガラスの上にタッチパネルの一方のセンサを設け、もう一方のセンサは液晶駆動用電極を兼用する。液晶駆動とタッチパネル駆動は時間分割して行われる。SonyのIn-Cellは厳密にはOn-CellとIn-Cellのハイブリッドタイプと呼ばれる場合もある。In-Cellの別の構成では、液晶駆動用のTFTガラス基板の上にタッチパネル用のセンサ面を別途設けて、これと液晶駆動用電極との間に静電容量タッチパネルを形成したスマートフォン

(iPhone5)がApple社から発売されている⁵⁾。In-Cell化によってLCDを含めた厚みを0.4~0.9mm程度薄くできるとともに、従来あった接着界面がなくなることで界面反射も減少でき、光学的な特性も向上している。

In-Cell型タッチパネルはLCDメーカー内で完結するタッチパネルであり、タッチパネル専門メーカーを必要としないが、大量生産しないとコストダウンが困難である。

タッチパネルの性能、例えば、位置精度や分解能、耐久性などに関しては世界的な共通仕様は存在しない。タッチパネルメーカーと機器メーカーの話しあいで決まるので、最終ユーザーの個人の感覚で、「この機種はタッチがスムーズだ」、「あの機種は動きが悪い」と言った評価が聞こえてくる。公表されている仕様としてはマイクロソフトのWindowsロゴ認証テスト仕様が有名である⁶⁾。表2に示すように、接触位置誤差(位置精度)はシングルタッチでは2.5mm以内、マルチタッチでは5mm以内、分解能(Parallel Swipe Distance)はX,Y方向は12mm、斜め方向は15mmである。耐久性に関しては規定がないが、多くのメーカーでは抵抗膜式タッチパネルでの耐久性仕様を踏襲している。

4. 静電容量式マルチタッチパネルの課題

静電容量式のマトリックスタイプタッチパネルの課題の一つはITO層の低抵抗化であり、もう一つの課題が額縁と



表2 Microsoft Windowsにおけるタッチパネルの規格
(Device.Digitizer.Touch Requirements (2012年版)より抜粋)

項目	規格
Touch Points	ミニマム5点同時入力
Jitter	最大1 mm (10 mm 走行時)
適応Screen Size	30インチ以下
Sample Rate	50 Hz 以上 (1点につき)
位置精度 (Single Touch)	2.5 mm 以内 (Target Point から)
位置精度 (2点以上 Touch)	5 mm 以内 (Target Point から)
Touch Contact Area	12.5 mm φ
Parallel Swipe Distance (2-finger 以上)	水平, 垂直時は 12 mm
	斜め時は 15 mm
Reporting Rate	100 Hz 以上 (All Touch Input)
Z-axis for Touch	0.5 mm 以内で検出

呼ばれる配線電極配置部の狭額縁化である。

画面が大きくなると X, Y センサの ITO 電極長さが長くなり、ITO の一端から他端の取出し電極までの抵抗値が大きくなりすぎて検知不能になる。すなわち、センサの回路は抵抗 (R) と容量 (C) の二つからなる回路で、この回路の時定数 (信号の立ち上がり時間) τ は $\tau = R \times C$ の積で表される。指がタッチした時の信号変化もこの時定数で動作するので、信号検出に許される短時間 (μ s オーダ) で信号を検出するためには $R=10 \sim 15 \text{ k}\Omega$ 程度以下にする必要がある。6 mm ピッチのダイヤモンド形状でセンサライン端子間の抵抗値を $10 \text{ k}\Omega$ とした時、パネルサイズとそれに必要な ITO の面積抵抗を計算した関係を図 6 に示した⁷⁾。10 インチサイズのタッチパネルには $100 \Omega/\square$ (抵抗率/厚み) 程度以下の ITO の面積抵抗が必要になり、40 インチサイズの大型タッチパネルでは $20 \Omega/\square$ 以下の ITO 膜が必要になる。市販されている ITO/PET フィルムは $140 \Omega/\square$ 程度で 10 インチ程度のパネルが作成できる。一方、ITO/ガラスでは ITO 成膜時にガラス基板を 300°C 近くに加熱できるので、フィルム基板より低抵抗化が可能で、約 $20 \Omega/\square$ 程度の透明導電性膜が得られている。しかし、低抵抗化のためには ITO 層の膜厚も大きくする必要があるので、ITO 特有の薄

黄色が目立ち、パターン化した時の骨見え (ITO 層の有無の差が目視で確認できること) が顕著になる。通常はインデックスマッチング層 (IM 層) と呼ばれる屈折率の異なる層を複数積層して骨見えを防止することなどが行われる。

最近のディスプレイの流れでは高精細、大型化、可とう性、軽量化が要求されている。これらのディスプレイに対応するインタフェースとしてのタッチパネルにも同じ課題が要求されており、可とう性、軽量化のためにはフィルムタッチパネルが重要になっている。

5. ITO 代替センサフィルムの開発

大型化に適した $100 \Omega/\square$ 以下の透明導電性膜が必要となるが、その方策としては、① ITO 層を用いた低抵抗化、② ITO 層以外の材料を用いた低抵抗化が考えられた。ITO 層を用いた低抵抗化では高耐熱透明フィルム基板が必要であり、 250°C 以上の耐熱性を持つフィルムが提案されている。しかし、フィルムコストを考えると採用が難しい。一方 ITO 以外の材料で低抵抗化が可能な候補としては、図 7 に示すように、導電性高分子フィルム、カーボンナノチューブ (CNT)、グラフェン層、銀ナノワイヤ、金属メッシュが上げられる。ITO より導電性とコストで優れた材料としては、

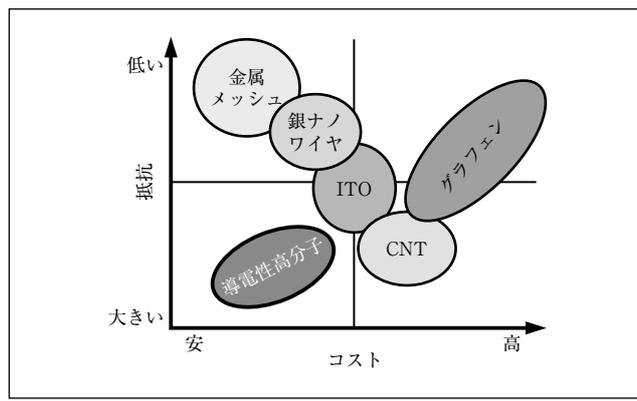


図7 ITO 代替材料の電気抵抗とコストの関係

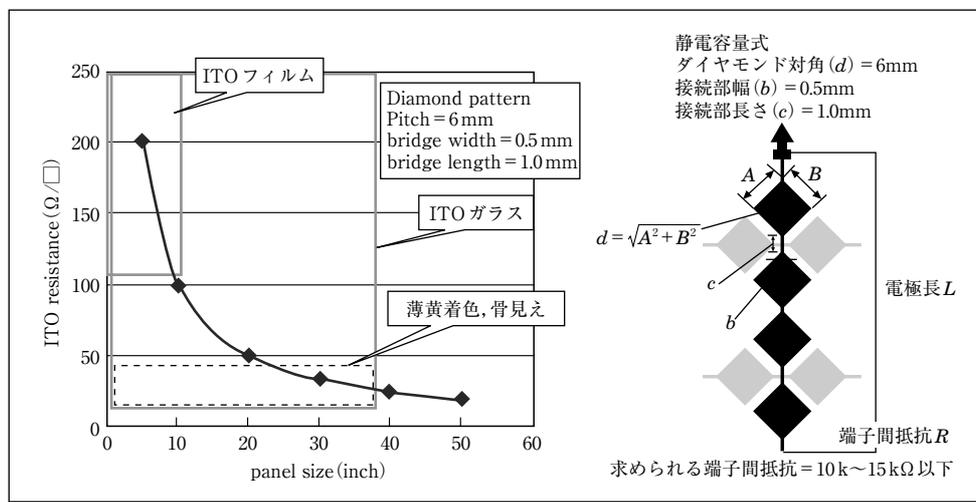


図6 ダイヤモンド形状の静電容量タッチパネルのパネルサイズとそれに必要なITO層の抵抗の関係

表3 ITO, ITO代替材料の特性等の比較

ベース基板	フィルム			
	ITO	銀ナノワイヤ	Agメッシュ	Cuメッシュ
製法	スパッタ膜/エッチング	塗布/エッチング	塗布・印刷 など	蒸着膜/エッチング
メリット	量産実績, 信頼性	低抵抗, 屈曲性, 高透過率	低抵抗, 屈曲性, 高透過率	低抵抗, 屈曲性, 高透過率
抵抗	~100Ω/□	~50Ω/□	~数十Ω/□	~0.数Ω/□
光線透過率	~90%	~90%	85%以上	85%以上
骨見え	IM層形成で回避	OC,パターンで回避	線幅縮小	線幅縮小
回路部分	Ag印刷など 別工程	Ag印刷など別工程	センサと一体形成	センサと一体形成
原反価格	2,500~3,000円/m ²	50Ω品で3,000~40,000円/m ² 前後	センサでITO並み	ITOの2/3程度
原反メーカ	日東電工, 尾池, 帝人, O-filmなど	Cambrios (Clear Ohm) など		東レKPなど
センサーフィルム作成	J-touch, O-filmなど	日立化成, 大倉工業, TPK, LGE	富士フィルム, 三菱製紙, LGC	凸版, DNP, パナソニック, TPL, J-touchなど
採用状況	現在のフィルムセンサの大部分	LGE AiOPC NEC スマートフォン	SEC 23" AiO-PC Lenovo ノートPC	SEC ノートPC, AiO-PC HTC スマートフォン Sony 20" AiO

銀ナノワイヤを塗工したフィルムや金属メッシュが上げられる。ITOと銀ナノワイヤ塗工フィルム、金属メッシュ(Agメッシュ, Cuメッシュ)の比較を表3に示した。抵抗値の低さや配線電極工程が不要なこと、さらにコストを考えると金属メッシュの透明導電性膜が主流になると思われる。金属メッシュでは、金属線が視認可能で透明ではないとの疑問が生じるが、金属線の線幅が5μm程度以下になると人間の目で識別することが困難になる。現在は実用レベルで5~3μm線幅に到達し、実験レベルではサブμmも報告されている。メッシュ方式の透明導電性フィルムとしてはAgメッシュとCuメッシュがある。Agメッシュでは、富士フィルムなどがハロゲン化銀をPETフィルム上に塗工し、直接露光で銀を析出させる方式を提案している。われわれはSpiderNetと名づけて、Cuメッシュのフィルムタッチパネルを提案している⁸⁾。

6. Cuメッシュ (SpiderNet) タッチパネルの特徴

その構造と作成工程を図8に示した。PETフィルム上の1~2μm厚みのCu膜をフォトリソグラフィーで線幅4~5μm程度の細線のメッシュパターンに加工する。Cuの配線電極も20~50μm程度の線幅でセンサと同時に設ける。このように作成したXセンサフィルムとYセンサフィルムを光学接着剤(OCA)で貼合するだけでタッチパネルが完成する。もちろんPETフィルムの両面にCu膜を設けたフィルムを使用してタッチパネルを作成することも可能である。タッチパネルの製造工程もCu膜の成膜、フォトリソグラフィーなどにロールツーロール法が適応でき、大幅なコストダウンが可能である。

CuメッシュフィルムではITOフィルムでは得られなかった優れた可とう性が得られている。図9にCuメッシュでの曲げテストによる抵抗変化結果を示した。折り曲げても抵抗の増加が見られない。このような優れた可とう性のセンサを用いると、配線部分をディスプレイの側面あるいは裏面に配置することで、額縁無(フレームレス)タッ

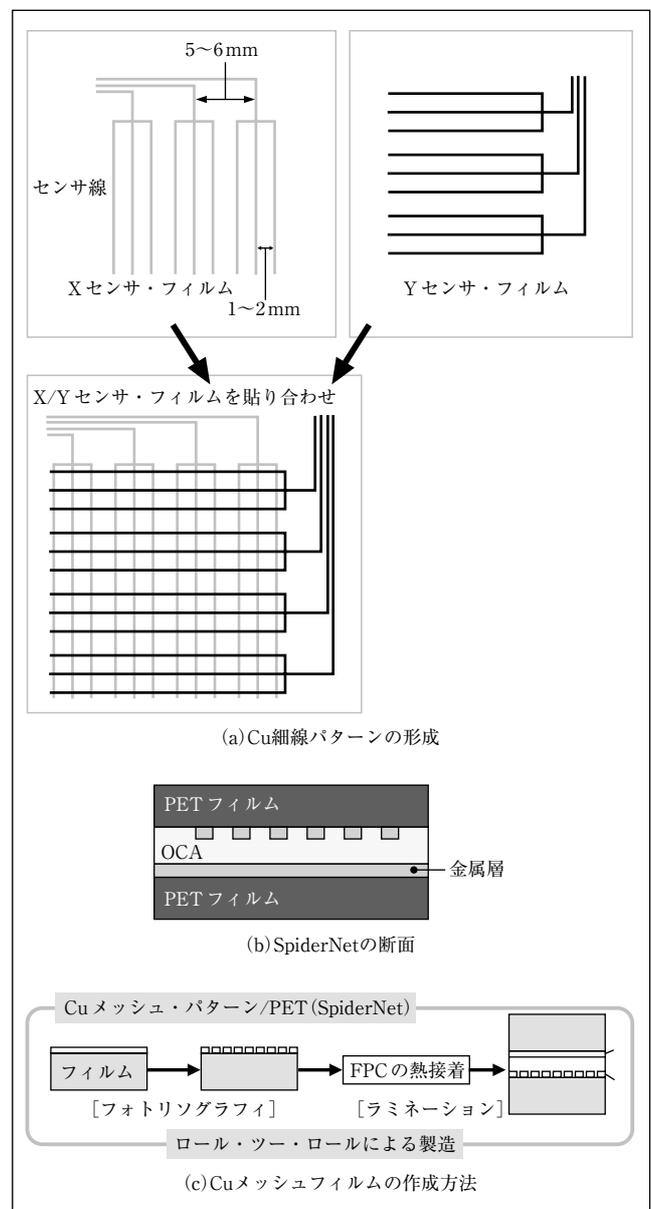


図8 Cuメッシュパターン方式の透明導電性フィルムを用いたタッチパネル構造と製造法

X, Yセンサ線をロールツーロールによるフォトリソグラフィー法(c)でPETフィルム上に描く(a)、これをOCAで貼り合わせてパネルを作成(b)。

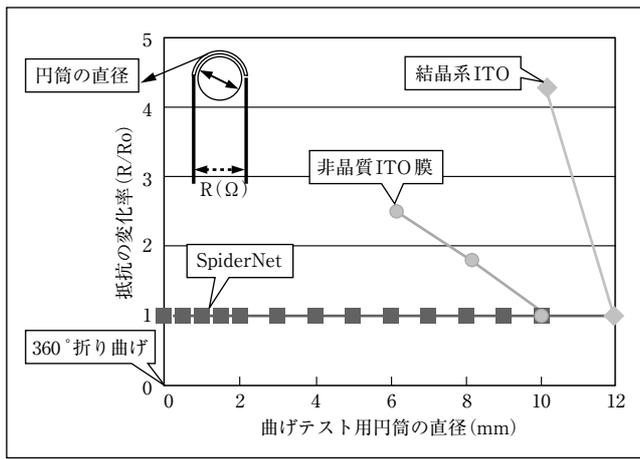


図9 SpiderNet フィルムの曲げ特性

チパネル (図 10 (b)) が可能になり、また巻物として使用できるロールスクリーンタイプタッチパネル (図 10 (a)) が作成できる。可とう性 OLED ディスプレイ用のタッチパネルが可能である。

さらに、メッシュフィルムを圧縮成型などで成型することで、2.5次元、3次元形状のタッチパネルも可能と予想され、デザインの自由度の拡大になる。カバー材料との一体成型化も生産性の向上、コストダウンのために期待される技術である。

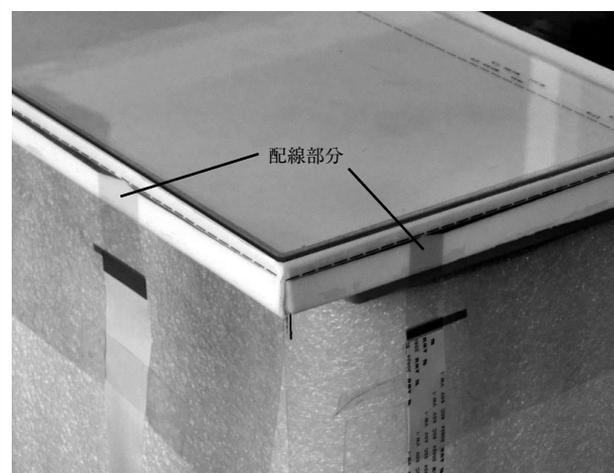
メッシュフィルムの作成は、フィルム上の金属層をフォトリソグラフィでパターン化するのが普通であるが、パターンを一括して作成する方法として、オフセット印刷法やインクジェット法、ナノインプリント法などが検討され、数 μ 線幅のパターンが作成できるとの報告が寄せられている。どの方式が最終的に採用されるかは、どの方式の製造コストが一番安いにかかっている。

7. むすび

10インチ以下の小型のタッチパネルではITO膜をセンサに使用したOGSやIn-Cellが注目を浴びたが、大型のタッチパネルではITO代替材料としてメタルメッシュなどをセンサに用いたパネル化が始まったばかりである。小型においても2.5次元や3次元形状、ウェアブルが要望され、大型でも軽量、可とう性が要望されるようになり、カバー材にガラスを用いるのではなく、硬質プラスチックシートを用いたオールプラスチックタッチパネルが開発されている⁷⁾。一方、静電容量タッチパネルの特徴を活かして、非接触でも検知ができるホバー入力採用されたり、逆に接触感を与えるために超音波振動を利用してパネル表面の摩擦力を変化させたりする技術が開発されている⁹⁾。このように静電容量タッチパネルをインタフェースとして使いやすくなるための技術が次々と開発されており、市場の拡大とともに今後の発展が楽しみである。 (2014年8月4日受付)



(a) ロールスクリーンタッチパネル



(b) フレームレス(ベゼルレス)タッチパネル

図10 可とう性を活かしたタッチパネルの応用例

〔文 献〕

- 1) 中谷：応用物理，82，10，p.886 (2013)
- 2) M. Miyamoto: Proceeding of the 20th International Display Workshops 2013 (IDW '13)，p.1630 (2013)
- 3) 鶴飼：“タッチパネル最前線2013-2014”，日経BP社刊，p.57 (2012)
- 4) Sony：“CX-PAL”，冬号，91，New Products ACX433BLN (2012)
- 5) 日経エレクトロニクス，2012年11月12日号，p.60 (2012)
- 6) Microsoft Windows Hardware Certification Requirements，<http://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/hardware/jj134351.aspx>
- 7) 中谷：日経エレクトロニクス，2013年4月15日，p.75 (2013)，K. Nakatani: Proceeding of the 19th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2012 (IDW/AD'12) pp.807-810 (2012)
- 8) 中谷：月刊ディスプレイ，テクノタイムズ，12，p.23 (2013)，中谷：プラスチック，日本工業出版，7 (2014)
- 9) 富士通 Press Release，2014年2月24日



なかたに けんじ
中谷 健司 1977年，大阪大学大学院基礎工学研究科修士。同年，帝人(株)入社。PETフィルム基板の可とう性a-Si:H太陽電池の開発，PDLCディスプレイの開発，相変化型記録光ディスクの開発を担当。2008年，同社定年退社。同年，(株)タッチパネル研究所入社し，現在，同社開発部長。工学博士。



光学式タッチインタフェース



西川 武士†

1. まえがき

恐らく日本にはそんなに沢山はいないであろう“タッチパネル・オタク”の筆者にとって、タッチパネルに関する記事を書かせていただけるというのはこの上ない喜びであり、うれしい限りである。

「タッチパネルは？」と問いかければほとんどの方は「投影型静電容量方式」という名前をご存じなくとも、「スマートフォン/タブレットに使われている“あれ!”」といった認識をお持ちではないだろうか？

当然のことであろう。

いま日常で目にするタッチパネルといえば先にも述べたようにスマートフォン、タブレット製品であり、それらに搭載されているタッチパネルは、ほぼ例外なく投影型静電容量方式タッチパネルなのだから。

そのような世の中の認識のため、今回筆者がお話させていただく赤外線方式タッチインタフェースのお話への導入は、いまだきのタッチパネルの話題からは難しい。

そこで、まずはiPhone登場以前のタッチパネルのお話から入らせていただきたい。

タッチパネルの世界では、以下の4方式が使われる時代が長く続いていた(前号¹⁾、図1参照)。

- ・抵抗膜方式(4W, 5W, 8W等)
- ・表面型静電容量方式
- ・超音波方式(表面弾性波方式)
- ・赤外線方式(遮断方式)

タッチパネルといえば通常上記4方式であり、それらを適材適所で使い分けてさまざまな要望に対応してきた。

それは各方式ともに長所と短所を持っており、完璧なタッチパネルというものは存在しなかったためである。

そんな中でも抵抗膜方式タッチパネルはその特徴である、“入力デバイスを選ばない”、“文字入力対応可能”、“他の方式と比べて安価”、という点から圧倒的なシェアを占める時代が続き、タッチパネルといえば抵抗膜方式という認

識が一般的であった。

そして抵抗膜方式では、諸々難ありといった使用用途に対して表面型静電容量方式、超音波方式、赤外線方式(カメラ方式、遮断方式)といった方式が検討されていた。

しかしながら、iPhoneの登場した2007年以降では投影型静電容量方式タッチパネルがそのシェアを伸ばし続け、今では投影型静電容量方式が抵抗膜方式に取って替わり、さらにこの傾向は当面続くことであろう。

では、投影型静電容量方式以外のタッチパネル方式は消えてなくなったのか、といえままったくそのようなことはなく、タッチパネルという製品の認知度が高まったおかげで、各方式ともに使用されている場面は増え続け、そして各方式タッチパネルともに技術的進化を遂げ続けている。

ただし大きく変わったのは、かつてタッチパネルの搭載を考える時には、まず抵抗膜方式の検討から始まっていた流れが、今ではまず投影型静電容量方式タッチパネルが使えないかどうかを考え、それが価格面や性能面で難しい場合に別の方式を検討するという流れが多くなった点であろうか。

もう数年もすれば、物心がついたころからスマートフォンやタブレットを使いこなしていた世代が製品の設計者となる時代がやってくる。先に述べたような、まず投影型静電容量方式の検討から始めるという選択の流れはますます加速することであろう。

しかしくどいようだが、各タッチパネル方式ともに確実に進歩を遂げており、そのころには投影型静電容量の絶対的優位性は崩れているかもしれない。

すでに抵抗膜方式も厳密な意味でのマルチタッチは難しいものの、ジェスチャくらいであれば対応可能であるし、表面弾性波方式もマルチタッチは難しいと考えられていたが2点マルチはすでに完成、さらにはフルフラット形状の表面弾性波方式タッチパネルモニターも完成している。

各方式ともに驚くべき進化を遂げており、これから紹介する赤外線タッチインタフェースも然りである。

今回は赤外線方式タッチインタフェースということでお話をさせていただくにあたり、4つの方式を紹介、その4方式を通して赤外線方式タッチインタフェースの簡単な動作原理

† 株式会社タッチパネル研究所

"Display User Interface (The Last Chapter): Optical Touch Interface" by Takeshi Nishikawa (Touch Panel Laboratories, Tokyo)



から進化していく様を紹介，さらには今後の展望についてお話しさせていただくことにする。

2. 赤外線方式タッチインタフェースとは

筆者は，赤外線を使用して位置情報を取得するデバイス全般を赤外線方式タッチインタフェースと呼んで差支えないのでは？と考えているので，KinectやLeap Motionといったジェスチャ系のデバイスも赤外線を利用して位置検出を行っているので広義的には範囲に含まれる。しかし，ジェスチャに関しては本誌別号にて特集があるということなので，ここではジェスチャを除く赤外線方式タッチインタフェースに限ってお話を進めてゆきたい。

また，かつては実用化されたものの，現在ではほとんど使用されなくなった方式や，現時点で開発段階のものについては割愛している。

3. 赤外線方式タッチインタフェース

赤外線方式タッチインタフェースとして実用段階にあるものとしては以下の4方式があげられる。

- ・カメラ方式 (イメージング方式)
- ・赤外線遮断方式 (赤外線走査方式)
- ・PIT方式 (Projected Infrared Technology)
- ・PSD方式 (Planar Scatter Detection)

3.1 カメラ方式 (イメージング方式)

赤外線投影装置と赤外線カメラが搭載されたカメラユニットをタッチエリアの上部2カ所に設置，さらにタッチエリア周辺に帰反射板を設置するものである。

本方式が一躍有名になったのはWindows7の登場が大きいであろう。

Apple社のiPhoneが世間を騒がしている頃，Microsoft社からも2009年にタッチに対応した新OSとしてWindows7がリリースされた。その特徴としては単なるタッチ対応というだけではなく，マルチタッチに対応していることが大きな話題として取り沙汰された。

そのためモニターメーカー各社からはWindows7のリリースにあわせて，タッチパネルを搭載したタッチパネルモニターが相次いで発表されることになる。

Windows7のリリース以前のタッチパネルモニターはほぼ産業用途に特化した製品であり，コンシューマ向け製品という位置づけではなかった。

そのため，タッチパネルはキーボード/マウス代替を目的として搭載されており，タッチ点数はシングルタッチが基本であり，タッチパネル方式としては抵抗膜方式，超音波方式，表面型静電容量方式が搭載されたものであった。

それゆえすでに巷では主流になったマルチタッチやジェスチャ操作といった“エンタテインメント性”の高いタッチパネル操作には対応できておらず，従来方式のシングル認識のタッチパネルをそのまま搭載してリリースする，とい

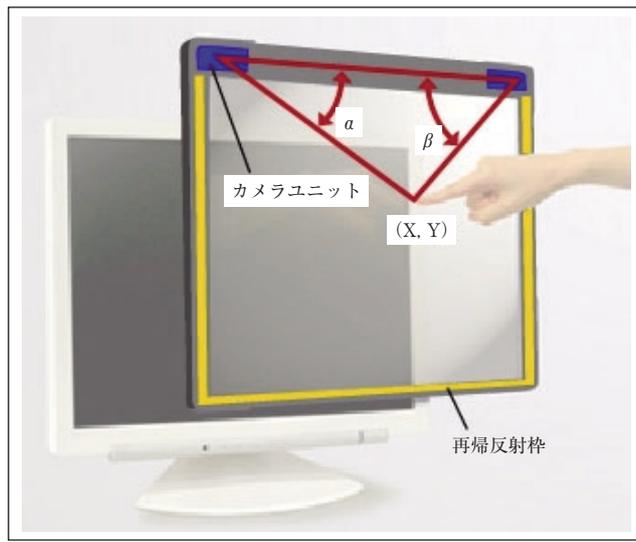


図1 カメラ方式タッチパネル動作原理(シロク社HPより引用)

うわけにはいかなかった。

Windows7がリリースされた当時のタッチパネルモニターの主流サイズは21.5インチであり，一方iPhone，iPadやスマートフォン等に搭載されている投影型静電容量方式タッチパネルは8インチクラスが主流で，21.5インチサイズのタッチパネルはまだ量産には至っていない状況であった。

そこで唯一，当時21.5インチサイズでマルチタッチに対応できる方式であったカメラ方式に白羽の矢が立った。

その結果，各社から一斉にカメラ方式タッチパネルを搭載したタッチパネルモニターがリリースされることになる。

そうして，21.5インチクラスの中型から大型サイズのマルチタッチパネルはカメラ方式が主役の座を射止めることとなった。

カメラ方式の動作原理を図1に示す。

- (1) 図1中に示される2カ所のカメラユニットからは赤外線が帰反射棒に対して放出される。帰反射棒に当たった赤外線は入射方向に反射される。
- (2) カメラユニット内には赤外線カメラも搭載されており，常時帰反射棒で反射された赤外線のスキャンを実施。
- (3) タッチがない場合には，カメラは帰反射棒すべての位置からの赤外線を検出する。
- (4) タッチパネルが指等でタッチされると，帰反射棒から反射された赤外線の一部がタッチにより遮蔽され，その部分の赤外線は検出できなくなる。
- (5) 帰反射棒から赤外線の反射が返ってこない角度を2台の赤外線カメラを使って求め，その角度をもとに三角法を用いてタッチされた位置を計算して求める。カメラ方式では上記のようにしてタッチ位置を求めることができる。



この方式では、2台のカメラにより斜めの検出軸が多数存在するためにマルチタッチを認識することが可能となっている。さらにはタッチのおおよその大きさも認識することができる。

また、構成面ではカメラユニットをディスプレイの2隅に設置できればよいので、大型対応が容易であることもカメラ方式の大きな利点である（実際にはタッチパネルサイズが大きくなれば、それに伴い再帰反射枠の設置精度の難しさ等の難しさ出てくるものの、それでも他の方式に比べればはるかに容易である）。

一般的にタッチパネルは、サイズ毎に設計し、部材を用意する必要がある。

しかしカメラ方式では上に述べたようにカメラをディスプレイの2隅に設置、あとは再帰反射テープを周辺に設置すれば完成なので、タッチパネルサイズ毎の部材を必要としない。そのためカスタムサイズや超大型タッチパネル対応が比較的容易となる。

さらには大型化に有利な点を生かして、100インチを超えるような超大型タッチパネルや、大型異型（細長タイプ等）に多く用いられている。

なお、2台のカメラでスキャンを行う場合には、どうしてもタッチ認識数としては2点が限界となる。しかしながら、カメラを6台（上部2台、中央部2台、さらには下部に2台）設置することで2点以上のタッチ点数を認識することが可能となっている。

ただし、6台もしくはそれ以上のカメラの設置はコストアップと正確な取付け精度が避けられない問題となる。

3.2 赤外線遮断方式（赤外線走査方式）

赤外線遮断方式（図2）は赤外線走査方式とも呼ばれる方式で、抵抗膜方式タッチパネルに次いで古くから実用化されたタッチパネルである。

ATMや自動券売機等に広く使用されてきたタッチパネル方式であり、現在も幅広く使われ続けている。

タッチパネルとしての必要基本構造はタッチパネルサイ

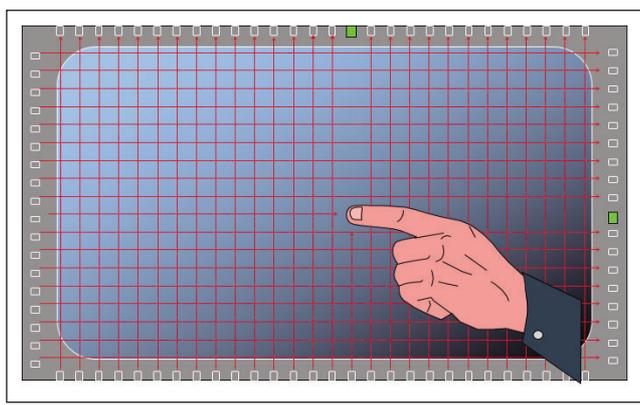


図2 赤外線遮断方式動作原理図

ズのいわゆる「枠」だけあり、タッチエリアに必要とされるものは何もないため、カメラ方式に次いで大型化に有利なタッチパネル方式である。

しかし4～5年前までは原理的にマルチタッチの実現が難しいとされており、マルチタッチやジェスチャが全盛の時代にやや取り残されたような状況が続いていた。

もちろんマルチタッチを実現するために、2点のタッチされるタイミングのわずかな差を検出して認識させる技術も開発され、ジェスチャ操作であれば問題なく操作できるものは現れたが、それでもまったく同時にタッチされた場合には2点の認識ができないため、擬似マルチタッチパネルと呼ばざるを得ないものであった。

赤外線遮断方式の動作原理を以下に示す。

- (1) タッチエリアを挟み、赤外線発信素子と受光素子が向かい合って配置された状態で発信素子から発信された赤外線を向い合う受光素子が受光する。
- (2) タッチがない場合には、発信素子から発信された赤外線は全量受光素子に届くが、タッチがあると赤外線はその位置で遮断され、向い合う受光素子に届く量は減少する。
- (3) 赤外線の受光量が減少した受光素子の場所情報から、タッチされた位置を検出する。

上記が赤外線遮断方式のタッチ位置検出の基本動作原理である。

この説明にあるように、赤外線遮断方式の原理ではタッチ位置の検出に縦軸と横軸しか利用できず、このことが2点以上の位置を同時に検出するのが難しかった原因となっていた。

2点同時にタッチされたときに、以下図3に示すような2通りのタッチパターンを、縦軸と横軸の検出だけでは区別をすることは不可能である。なぜなら赤外線が遮断された受信素子の場所情報は、図にある2パターン共にまったく同じであるためである。その結果、タッチしていないにもかかわらずタッチしたと認識される、いわゆる「ゴースト」（図3中に黄色で示される点）と呼ばれる現象が発生していた。

これでは真のマルチタッチパネルと呼ぶことはできなかった（ジェスチャのみと割り切れれば使用できるが…）。

それに対して、現在広く使用されている赤外線遮断方式はいわゆる「多軸検出」とも呼ぶべき方式で、図4に示す通り1カ所の発信素子からの赤外線を複数個所の受信素子で検出するというものである。

図4に示すように「多軸検出」では、1カ所の発信素子からの赤外線を複数個所の受信素子で検出する。

図3では受信素子から得られる場所情報は左図と右図でまったく同じで区別がつかなかったが、「多軸検出」方式では、受信素子から得られる位置情報は、右図と左図で異なるので図3では認識できなかった2つのタッチパターンを認識することができる。

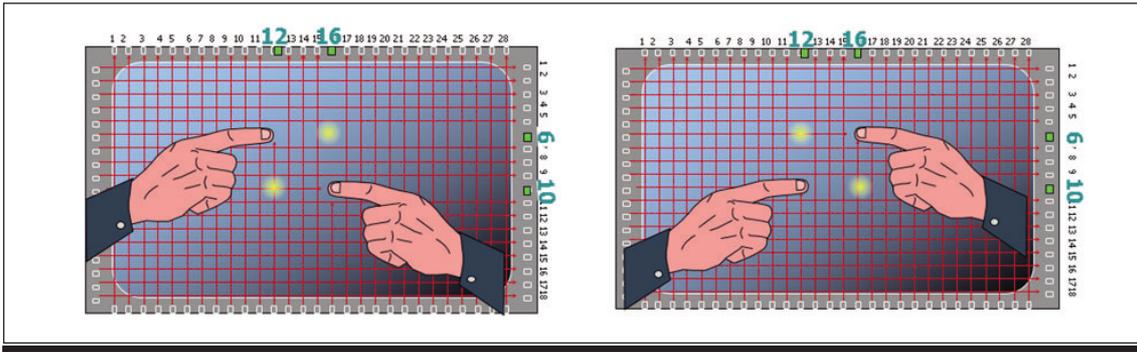


図3 ゴースト現象

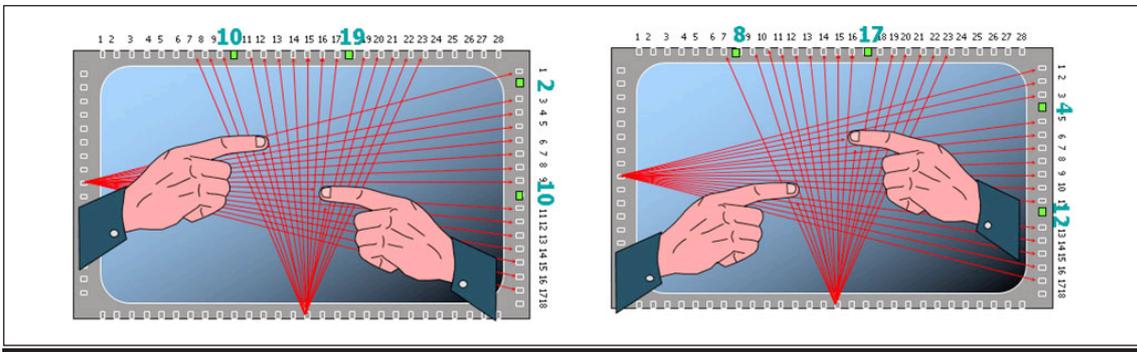


図4 赤外線遮断方式「多軸検出」

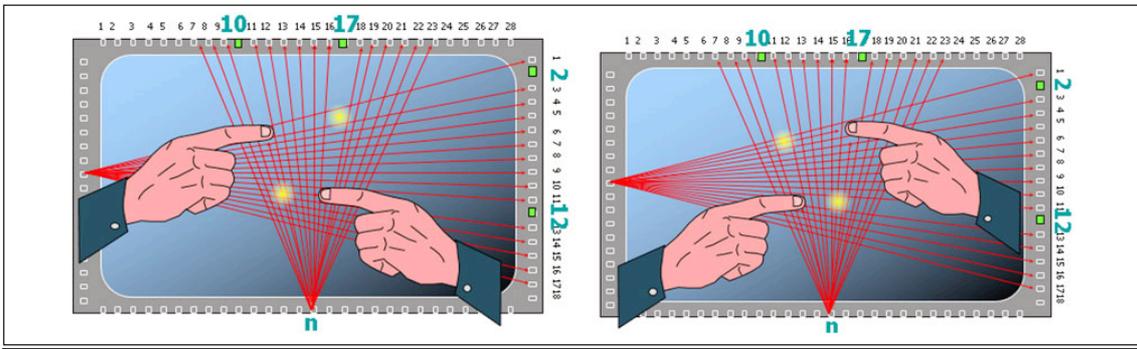


図5 赤外線遮断方式「多軸検出」ゴーストの懸念？(1)

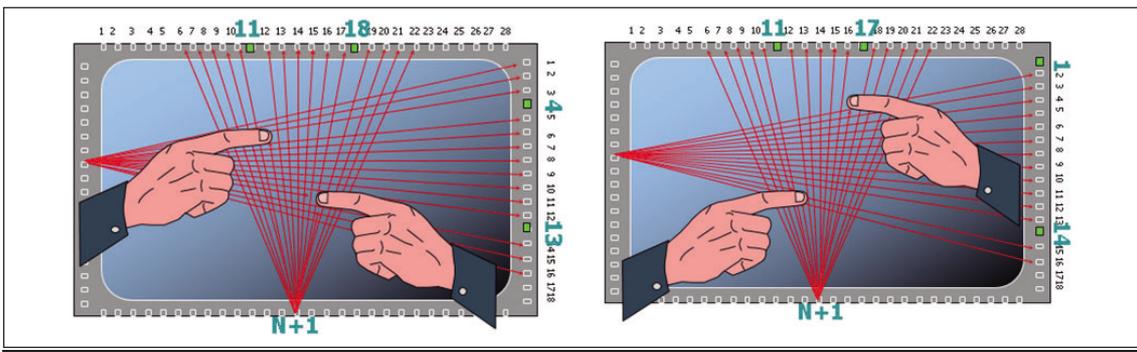


図6 赤外線遮断方式「多軸検出」ゴーストの懸念？(2)

ただし図4の説明だけでは図5に示すような場合に、図3と同様な現象が発生するとの疑問を持たれるかもしれない。

しかし、図4に示すような「多軸検出」は、すべての発信素子に対して行われるので、例えば、図5で示される瞬間

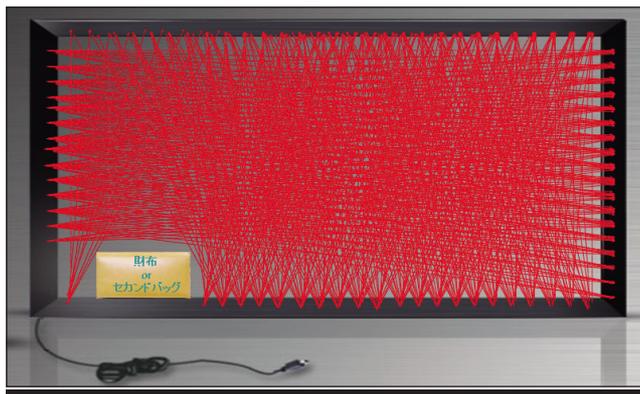


図7 障害物が置かれたときの様子(概念図)

の発信素子を n 番目とすると、次の瞬間には $n+1$ 番目の発信素子のスキャンが始まっており(図6)、そこでは受信素子の位置情報から左右で別情報が得られ、右図と左図は完全に区別することができる。

このように、各発信素子の赤外線を複数の受信素子で受け取る操作を行うことで、タッチエリアをくまなく赤外線が走査することができる。

そのため、タッチエリア内に例えば、財布やセカンドバックといった障害物が置かれても少し離れた場所であればタッチを認識することができるようになっている。

その概念図を図7に示す。

ここまで走査軸が多くなれば、タッチ認識数も劇的に増え、10点認識どころか100点以上の同時認識も可能である(タッチ位置の計算方法は複雑になるが)。

とはいえ、現実的には10点程度認識できれば充分との声が多い。最近の大型マルチタッチパネルを名乗る赤外線遮断方式タッチパネル製品の多くは10点マルチが多く見受けられる(両手の指、すなわち10本が認識できれば充分、とのことである)。

しかし超大型ディスプレイでのマルチタッチには何十点ものマルチタッチが要望されることが多くなり、その場合にはここで述べた赤外線遮断方式の「多軸検出」が用いられることになる。

ここまでカメラ方式、赤外線遮断方式について述べてきたが、これら2方式は、現在主流である投影型静電容量方式と比べると以下の点があげられる。

長所：耐ノイズ性(電磁ノイズ)性、意匠性(透明性)に優れる

タッチパネルはLCD等、何らかのディスプレイ上に置かれることが多い。

ディスプレイは電磁ノイズを発生することが多い。カメラ方式、赤外線遮断方式はこれら電磁ノイズに対して影響を受けにくいという特性を持つが、投影型静電容量方式はそれに比べて電磁ノイ

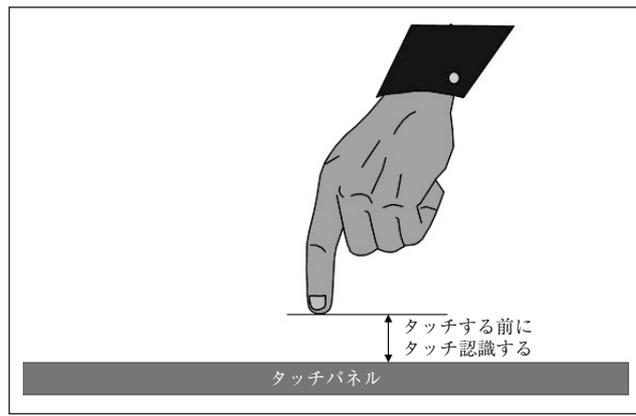


図8 タッチ認識高さ

ズの影響を受けやすい。

また、カメラ方式、赤外線遮断方式はタッチエリアにはガラスのみ(ガラスも必須ではない)で、ディスプレイ映像に影響を与えないが、投影型静電容量方式はタッチエリアに電極パターンが存在するため「電極特有の色目」や「骨見え」(電極パターン見え)といったディスプレイ映像に対してマイナスの影響がある。

短所：タッチ認識高さ(図8)、外観構造

赤外線方式タッチパネルは、実際のタッチ面にタッチする前にタッチを認識する。そのため画面上で選択を行っている途中でタッチを認識されるという問題が発生する。

また、外観構造としては、タッチ面上に発信素子、受光素子を配置するためにどうしてもそれらを収納する「枠」が必要となり、昨今のスマートフォンやタブレット製品に見られる「フルフラット構造」の実現は困難で、「フルフラット構造」が可能な投影型静電容量方式に劣ってしまう。

これから紹介するPIT方式、PSD方式では上記のような赤外線遮断方式の欠点がほぼ克服されており、今後は投影型静電容量方式にとって代わる方式になる可能性を秘めているタッチパネルとして期待されている。

3.3 PIT方式

PIT方式は、赤外線遮断方式と同様に、相対する発光素子からの赤外線がタッチにより減少する受光素子の場所情報からタッチ位置検出を行うために、動作原理的には赤外線遮断方式の一種ととらえることができる。

しかしながらその外観が通常の赤外線遮断方式タッチパネルとまったく異なることから別扱いとした。

図9に示す通り、従来の赤外線遮断方式では発信素子と受光素子はタッチパネル面上に配置されていたが、PITでは発信素子と受光素子は、それぞれLCDパネルの裏側に設置される。

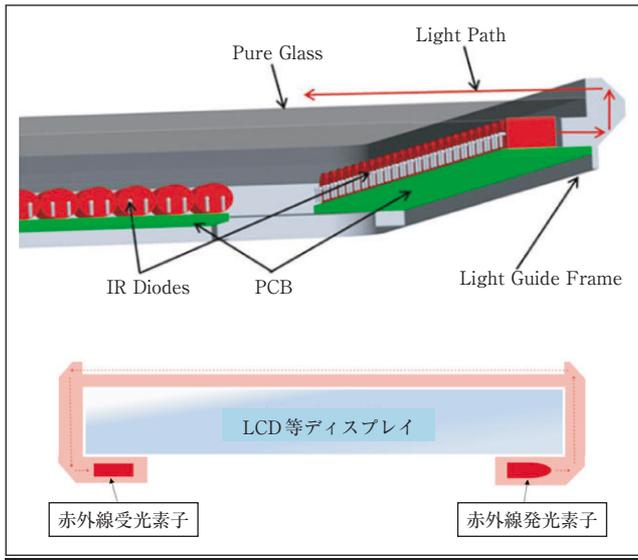


図9 PIT説明図
(上図はGeneral Touch社HPより引用、下図は筆者作図)

裏側に設置された発信素子からの赤外線はタッチパネル端面に設置されたプリズム構造体によってタッチ面に発信され、さらに対するプリズム構造体によってタッチ面裏面に設置された受光素子に到達する。

そのため発信素子と受光素子の向きは従来方式のまったく逆方向に設置される。すなわち発光素子はタッチパネルの外側に向かって赤外線を発射し、受光素子も受光面はタッチパネル外側に向いている。

発信素子、受光素子をディスプレイの裏に隠してしまったことで、タッチ面には発信素子、受光素子を格納するための「枠」の必要がなくなったことが本方式の最大の特徴である。

その結果、タッチ面上に現れる、いわゆる「枠」と呼ばれる機構はこれまでのカメラ方式や赤外線遮断方式が10mm以上の高さがあったのに対してわずかに2mm程度となった。

20インチを超えるサイズのディスプレイにおいて、端部にある2mmの構造体はもはや邪魔とされるレベルではなく、PITタッチパネルを使用することで、ほぼフラットと呼べるタッチパネルモニター製品を提供することができるようになってきている。

また、「枠」が小さくなるに伴い、タッチ認識高さもおおよそ1mmを切るレベルとなっており、これも投影型静電容量方式と遜色ないレベルに達している(最近の投影型静電容量方式タッチパネルは、爪の長い女性や、手袋をはめた状態でもタッチが認識できるようにタッチ感度を高めているものも多く、そのためタッチ認識高さは高くなっており、投影型静電容量方式タッチパネルの中にはタッチ認識高さ1mmを超えるものも見受けられる)。

実際PIT方式タッチパネルを搭載したタッチパネルモニターを持参して、なんの注釈もなく見てもらうと、タッチパ

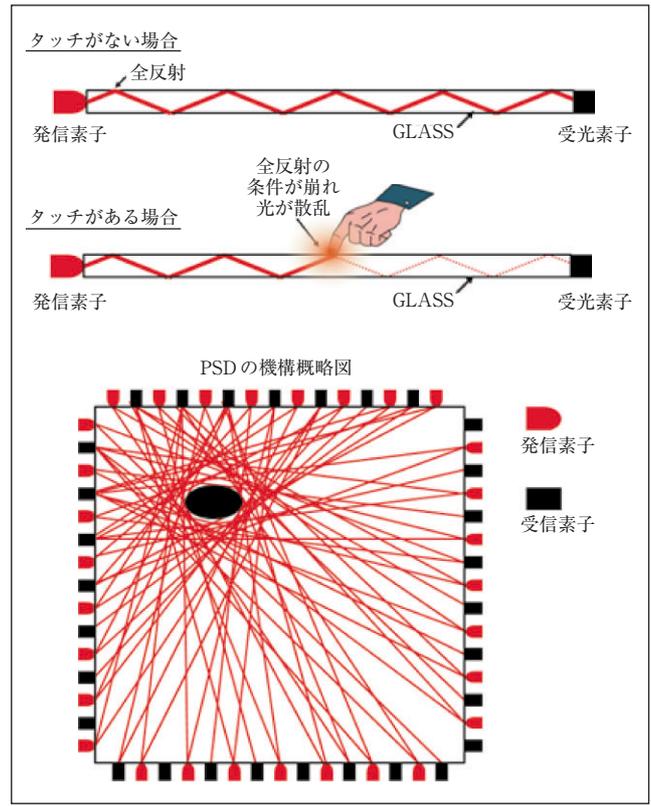


図10 PSD方式の動作原理図
(FlatFrog Laboratories社発表資料を参考に筆者作図)

ネルに精通した人であっても「ごくごく普通の投影型静電容量方式タッチパネルモニターですよ? その割に色目がいいですね!」といった評価をいただき、筆者が「赤外線方式ですよ」と告げると一様に驚きの声が返ってくる。

それほどにPIT方式は投影型静電容量方式に近いものに仕上がっている。

なお、タッチ位置の検出方法に関しては、4.2節で説明した方法と基本的には同様であるので、マルチタッチも対応できる。

3.4 PSD方式

先に述べたPIT方式では、「枠」はわずかに2mm、タッチ認識高さも1mm以下となり、赤外線遮断方式の概念を覆したといっても過言ではないが、さらに究極の赤外線方式タッチパネルがこれから紹介するPSD方式である。

PSD方式でも「枠」は存在するが、それはタッチエリアの幅方向のみであり、高さ方向には必要ない。

すなわちフルフラットのタッチパネルが可能となる。

さらにタッチ認識高さも0mm、すなわちタッチしない限りタッチ認識もないといった具合で、もはや投影型静電容量と比べてみてもその違いを見分けることは困難である。

簡単な動作原理図を図10に示し、タッチ認識原理を説明する。

- (1) 赤外線発信素子は、タッチパネルに使用するガラス端部に設置し、ガラス/空気界面で赤外線の全反射現

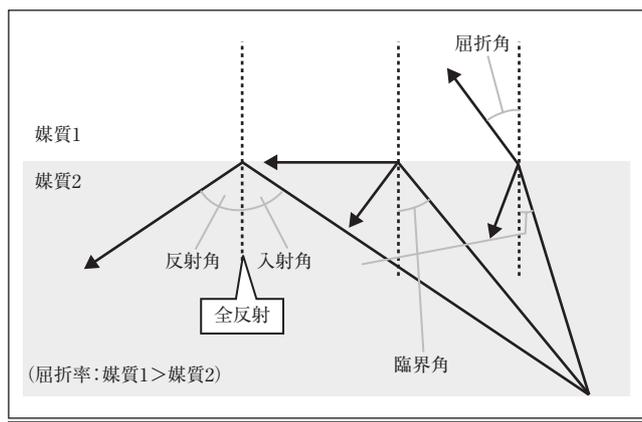


図11 全反射説明図

象*を発生させ、ガラス中に赤外線を充填させる。

- (2) その状態のガラス面を指等でタッチすると、タッチされた界面での全反射条件が崩れ、光が散乱する。その結果、タッチされた部分で全反射を起こしていた赤外線の光量が減少する。
- (3) その時に受光量が減少した受光素子の場所情報からタッチ位置を検出することができる。

PSDの最大の特徴は、赤外線はガラスの中を通過しているという点である。カメラ方式、赤外線遮断方式、PIT方式いずれも赤外線はタッチ面上を通過していた。そのためどうしてもタッチ寸前でタッチと認識することを避けることは困難であった。

しかしながらPSDでは赤外線はガラス中を通過しているため、タッチを認識するには必ずタッチ面への実際のタッチが必要である。

この特性は、例えば、タッチパネルで商品等を選択する際に「タッチパネル表面を指でなぞっているだけの段階で商品が選択されてしまう」というトラブルを防ぐのに有効である。

また、PSD方式は構造概略図にある通り、受信素子と発信素子を交互に配列しているため、外乱光の入射方向の影響も受けにくい設計がなされている（これはPSD方式に限定される技術ではないが、現状当該方式にのみ見られる方法である）。

ここまで赤外線方式タッチインタフェースに関して述べてきた。

しかしながら、冒頭に述べたように、多くの読者の方々にとってなじみの深いタッチパネルは投影型静電容量方式タッチパネルだと思うので、今回取り上げた赤外線方式

表1 各タッチインタフェースの比較

	カメラ	赤外線遮断	PIT	PSD	投影型静電容量
タッチパネル枠	×	×	○	◎	◎
画質(画面への影響)	○	○	○	○	△
対応サイズ(~32インチ)	○	○	○	○	△
対応サイズ(~84インチ)	○	○	△	△	△
対応サイズ(84インチ以上)	○	○	×	×	×
耐電磁ノイズ	○	○	○	○	△
タッチ認識高さ	△	△	○	◎	◎
マルチタッチ(2点)	○	○	○	○	○
マルチタッチ(10点以上)	×	○	○	○	○
タッチ感(タッチ軽さ)	○	○	○	△	○
設置場所(半屋外)	△	△	△	△	○
設置場所(屋外)	×	×	×	×	△
価格	◎	○	△	△	△

タッチインタフェースについて、より興味を持っていただくために投影型静電容量方式タッチパネルと、今回の赤外線方式タッチインタフェース4方式の比較を表1にまとめた(投影型静電容量方式タッチパネルの材料はITOを前提にしている)。

なお、タッチパネルの進歩は目覚ましく、数年後にはこの比較は逆転現象が起きていることは容易に想像できる。

そのためこの比較表はあくまでも現時点での比較ということをご了解願いたい(現段階でも開発レベルでは逆転も発生していると思われるが、あくまで各タッチパネル方式の一般性能での比較である)。

やはり各タッチパネルには長所と短所があり、適材適所での使用が望ましいことがわかるが、一般的には完全屋外設置なら投影型静電容量方式、それ以外であればPIT、PSDがバランス面で優れていることが見て取れる。

さて、最後に赤外線タッチインタフェースの今後について述べてみたい。

赤外線方式タッチインタフェースの特徴が最も生かせるのは大型でマルチタッチが望まれる製品ということで間違いはないであろう。

そこで真っ先に思い浮かぶのは電子黒板、最近では“IWB”(Interactive White Board)としゃれた名で呼ばれる製品である。

これは専門家ではない筆者の個人的な感想であるが、IWBの学校への導入は、近隣のアジア諸国と比べても日本は普及が遅れているのではないかと感じている。

ではなぜ日本では普及が思うように進んでいないのだろうか？

いろいろな裏話的面白い理由は巷に多々あるが、ここではあくまでハードとしてのIWB、特にタッチパネル側に問題があると仮定して話を進めたい。

以前のIWBのサイズは42インチクラスが主流であったので、従来のホワイトボードよりも小さく、黒板の代わり

* 全反射とは図11のように屈折率の異なる界面で発生する現象。屈折率の低い物質から屈折率の高い物質へ光が入るときに、入射光が界面を通過しないで、すべて反射する現象。PSDの場合には、それぞれの物質が、光：赤外線、媒質1：空気、媒質2：ガラス、に該当する。



の“板書”をするには至らなかったと推測するが、今では84インチサイズのIWBも、導入可能な価格帯に入ってきていると感じている。

しかしながら、それでもなお、まだ本格的導入モードに入ったとは思えない状況である(お隣の国では84インチクラスのIWBが飛ぶように出荷されている状況を耳にするにつれ、日本の状況には困惑すら感じている)。

筆者なりに考えたところでは、おそらくサイズ的には板書する気になるサイズながら、筆記性、いわゆる“書き心地”が従来の黒板とチョークを使ったものとはまったく異なっているという点が大きいのではないだろうか。

価格的にこなれてきたとはいえ、まだまだ従来の黒板に比べればはるかに高価なIWBを導入するのであるから、当然これまでの黒板の代替は果たせて、さらにその上に写真や動画を表示できるとても便利な道具であることが求められるであろう。

写真や動画を表示、さらにそこへ○を書いたり線を引いたりすることは現状のIWBでも実現できるが、文字を書込むのは今のIWBでは難しい(不可能とまでは言わないが、かなり高度なコツをつかんで文字を書く必要がある)。

その解決にはタッチパネルがキーとなる。

やはり”板書“に求められるのは“止め”“撥ね”を忠実に再現することに尽きる。

現状の赤外線方式タッチインタフェースでは、まだそれを忠実に再現できるレベルには達していない。

現状ではタッチパネルと特殊なペンの合わせ技で実現している例はあるが、やはり特殊ペンを必要とするのでは、これまでの「黒板にチョーク」という黄金コンビ(費用面等、いろいろな意味で)にはかなわないであろう。

IWBの普及は日本の教育の質の向上につながり、その意義は極めて高いものである。

物事を理解するには文字よりも絵、絵よりも動画が優れている、と考えているのは筆者だけではないであろう。

その普及動向をタッチパネルが左右する、というくらいの意気込みと気概をもってこれからもタッチパネル業界に携わり、新しい技術の提案を続けてゆきたい。

最後に、このような“タッチパネル・オタク”に執筆の機会を与えてくださった映像情報メディア学会の皆様と、最後まで我慢強くお読みいただいた読者の方々々に心よりお礼申し上げます。

(2014年9月4日受付)

〔文 献〕

- 1) 中谷健司：“講座(第5回)：静電容量タッチインタフェース”，68, 11, pp.868-873 (2014)



西川 武士 にしがわ たけし 関西大学大学院修士課程修了。1987年、諸星インキ(株)(現(株)DNPファインケミカル)入社。2000年、タッチパネル・システムズ(株)入社。2011年、(株)タッチパネル研究所に入社し、現在に至る。大学院修了後は専攻の有機化学に関する研究テーマにいそしむが、タッチパネルの魅力に取り憑かれて以来、タッチパネルの技術、生産、営業の実務を経験し、幅広い知識とスキルを習得。現在はタッチパネルの可能性をユーザとともに探ることを至福とする“タッチパネル・オタク”として日々活動中。