

高SNRの大型タッチディスプレイシステム およびタッチコントローラICの開発

Development of Large Format Touch Display System with High SNR
and Touch Controller IC

濱口 睦*¹ 宮本 雅之*²

Mutsumi Hamaguchi Masayuki Miyamoto

224chのセンサチャンネルを持つタッチコントローラ用アナログフロントエンド集積回路 (AFE_IC) を0.18 μ m CMOS, デジタルバックエンド集積回路 (DBE_IC) を90nm CMOS プロセスにて開発した。並列駆動方式および差動読出を採用することにより, 大型システムにおいても高SNRを確保し, レポート周波数240Hzでのペン先直径1mmのパッシブペンを用いた入力を可能とする32インチおよび70インチのタッチディスプレイシステムを実現した。32インチシステムは, 自社開発のAFE_IC, DBE_ICおよび138 \times 78のセンサチャンネルを持つ銅メッシュタッチセンサを用いて実現し, 70インチシステムは, FPGA_ICを用いたデジタルバックエンド処理回路, 自社開発の248 \times 140の銅メッシュタッチセンサおよびAFE_ICを3つ用いて実現した。

An Analog Front End (AFE) IC for mutual capacitance touch sensing with 224 sensor channels and a Digital Back End (DBE) IC have been developed in 0.18 μ m and 90nm CMOS technologies.

A 32-in and a 70-in touch display systems which can detect input signal by a fine tip stylus at 240Hz reporting rate are realized. These systems have the AFE IC that adopts parallel drive and differential sensing architecture. The 32-in system is built up from a single AFE IC, a companion DBE IC and 138x78 metal mesh touch sensor, and is mounted on a 4K2K LCD. The 70-in system is built up from three AFE ICs, a DBE implemented in an FPGA and 248x140 metal mesh touch sensor, and is mounted on a FHD LCD.

1. はじめに

スマートフォンやタブレットなどには, 液晶パネル等を使った表示装置 (以後, ディスプレイ) とフルフラット化および多点タッチの検出が比較的容易な静電容量方式の入力装置 (以後, タッチシステム) を組み合わせたタッチディスプレイシステムが, 多く使用されている。タッチディスプレイシステムでは, ディスプレイによって表示された部分に, 指やペンなどでタッチ, または, タッチしたまま画面上を動かすことで端末への入力指示を行う。直感的な入力が可能なため, 多くの用途で使用されており, 今後も幅広い分野での使用が期待されている。図1に示すように, スマートフォンなどに使用されているユーザインタフェースがデファクトスタンダードになっているため, 大型タッチディスプレイシステムにおいても, 同様のユーザインタフェースが期待されている。

しかしながら, 大型タッチディスプレイシステムを実現するには, 後述するいくつかの技術課題があり, (例え

ば30インチ以上の) 大型のタッチディスプレイシステムの実現は困難であった。本論文では, 大型タッチディスプレイシステムに求められる要求項目, 技術課題, 解決手法, ICおよびシステム構成について述べ, 開発した32インチと70インチタッチディスプレイシステムで得た性能を紹介し, 今後の展開について説明する。



図1 統一されたユーザインタフェース
Fig.1 Unified touch interface.

*¹ 電子デバイス事業本部 技術開発センター

*² 電子デバイス事業本部 システムデバイス事業部

2. 大型タッチディスプレイシステムへの要求項目

赤外線方式の大型タッチディスプレイシステムは既に存在している。赤外線方式は額縁部分に赤外線LEDや光検出器などを配置し、タッチによる赤外線の状態変化を観測することにより、タッチ動作を検出する。額縁部に赤外線LEDなどを配置する必要があるため、一般的にフルフラット化、狭額縁化が難しいとされている。また、日光が入る屋外や、屋内でも窓際に配置した場合の使用が困難とされている。

一方、スマートフォンやタブレットなどでよく使用されている静電容量方式は、タッチによる静電容量の容量変化を観測することにより、タッチ動作を検出する。赤外線方式と比較して、フルフラット化、狭額縁化、多点タッチの検出が容易であり、多くの用途で使用されている。

近年、タッチ機能を搭載した大型の電子黒板が注目されているが、上記静電容量方式の特長を持つ大型タッチディスプレイシステムが期待されている。電子黒板では、指だけの入力機能だけでなく、ペンでの入力機能が望まれることがある。紛失の可能性や相互利用性、電池寿命等を考慮すると特別に設計された専用ペンではなく、入手が容易で、且つ、調達コストの安いパッシブ型のペンが望まれる。また、寒冷地や冬での使用状態を考慮すると、手袋を着用したままの指入力機能が望まれることがある。

3. 技術課題

3.1 センサチャネル数の増大に伴うSNRの劣化

一般的なタッチセンサは、直交するX軸電極とY軸電極で構成されている。当社のタッチシステムは、直交するX軸電極とY軸電極の間に形成される相互容量の（タッチによる）容量変化¹⁾を検出する投影型静電容量方式を採用している。

従来の検出方法（逐次駆動方式）を図2に示す。この検出方法においては、タッチセンサのドライブレインを1本毎にドライブし、センス回路（Charge to Voltage Converter (CVC)）出力を、Analog to Digital Converter (ADC) を通して容量（変化）を検出する。センス回路は電荷積分器と電荷積分器出力を保持しADCに出力するサンプルホールド回路から構成されている。

タッチセンサのセンサラインピッチを一定とする場合、タッチディスプレイのサイズとセンサライン数は比例する。したがって、従来の検出方法では、タッチディスプレイが大型化すれば、容量検出に要する時間が増大するといった課題がある。

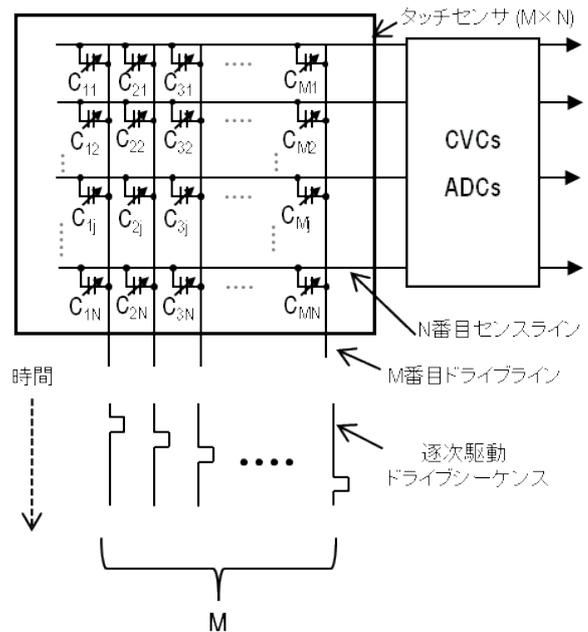


図2 逐次駆動方式
Fig.2 Sequential drive.

一方、自然な書き味を実現するには、レポート周波数は、100Hz（望ましくは200Hz）以上が望ましいとされている。この制約を満たそうとすれば、タッチセンサのライン数が増大するほど、平均化処理の回数を減らす必要があるため、結果としてSignal Noise Ratio (SNR)の劣化を招く。SNRの劣化を補う一つの方法は、タッチセンサをドライブするドライブ電圧を上げることであるが、高耐圧プロセスの集積回路や部品を使用することになるため、システム構成が複雑になり、コストが高くなるため望ましくない。

3.2 微弱な信号強度と（ディスプレイなどの）外来ノイズ

指がタッチパネルにタッチした時の相互容量変化は、概ね200fF程度である。一方、ペン先直径1mmのパッシブペンによるタッチによる容量変化は、一桁小さい10fF程度となる。また、手袋を着用した指タッチによる容量変化も10fF程度のオーダーであり、通常の指タッチと比較して信号レベルが小さい。

上記に加えて、タッチセンサは、ディスプレイと近接した位置に実装されることが多い。タッチセンサのセンスラインとディスプレイを駆動するための信号線との間に、意図しない寄生容量が形成されている。

図3を用いて、j番目ドライブレインとk番目センスラインの間に形成されている相互容量 (C_{jk}) を読み出す時の、電荷積分器出力について説明する。図3において C , ΔC_{jk} , C_{pk} , C_{ci} は非タッチ時の相互容量、タッチによる容量変化、センスラインとノイズ源との間の寄生容量、

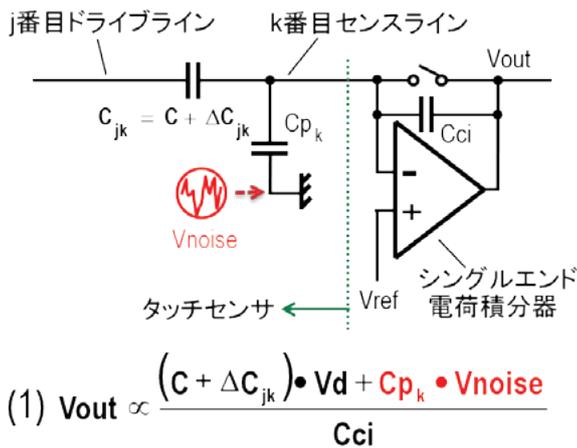


図3 従来（シングルエンド）回路読出方式
Fig.3 Conventional single-ended sensing.

フィードバック容量を表し、 V_d , V_{noise} , V_{ref} , V_{out} はドライブ電圧、ノイズ源電圧、電荷積分器の基準電圧、出力電圧を表している。式(1)が示すように、ディスプレイを表示するための制御信号等が寄生容量を介して、タッチシステムに混入する。一般的には、タッチセンサから得られる容量（変化）信号は微弱なため、ノイズ影響を無視できなく、容量（変化）信号とノイズとを区別するために、容量検出の動作を複数回平均化処理することで、後段の信号処理に必要なSNRを確保している。

3.3 タッチセンサの応答速度の低下

図2に示したように、理想的なタッチセンサは、容量(C)がマトリクス上に配置された等価回路で表現することができる。実際のタッチセンサは配線抵抗が存在するため、応答速度が律速されるが、使用されるタッチコントローラの性能を十分引き出せる応答速度を持つことが望ましい。タッチパネルの応答速度は、RCの積(Rはセンサラインの抵抗値、CはセンサラインとAC接地間に形成される容量値)で規定することができる。仮に70インチタッチシステムと10インチタッチシステムを同じセンサパターンで形成すると、RCともに7倍になるので、RCの積は約50倍となる。Cを減らすことは難しいので、RCの積を1/50倍にするには、Rを1/50倍にすることが必要である。10インチクラスのタッチディスプレイシステムでは、透明導電膜のIndium Tin Oxide (ITO) が使用されることが多いが、ITOを使った配線の抵抗値を1/50倍にすることは困難を伴う。

4. 解決手法

4.1 並列駆動方式

3.1に記載した技術課題を解決するために、図4に示

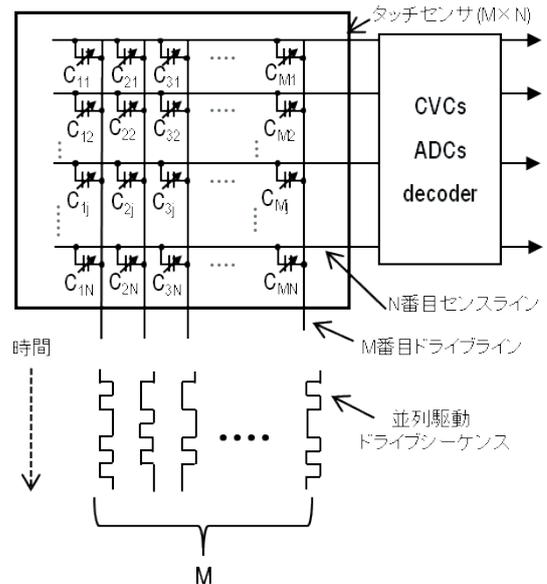
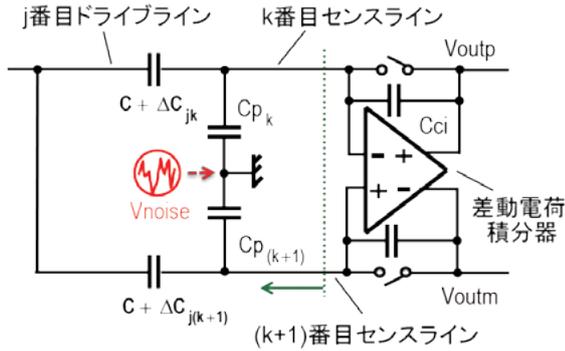


図4 並列駆動方式
Fig.4 Parallel drive.

す並列駆動方式をタッチコントローラICに採用した。この検出方法においては、同時に複数本のタッチセンサのドライブラインをドライブする。センス回路は、複数のドライブライン情報を含んだ信号成分を観測するが、適切なドライブ符号で駆動すれば、復号回路(decoder)にて、復号演算を行うことによって、各ドライブラインの情報を復元できる。図4の例では、ドライブライン数がM本なので、少なくともM回駆動することによって、各ドライブラインの情報を復元できる。図2の方法では、1本のドライブラインにつき、1回だけの測定になるのに対し、この検出方法においては、1本のドライブラインにつき、M回測定している。したがって、ホワイトノイズを考えた場合、並列駆動方式と逐次駆動方式を比較すると、並列駆動のSNRは \sqrt{M} 倍改善する。

4.2 差動読出方式

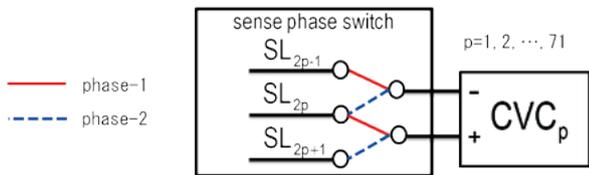
3.2に記載した技術課題を解決するために、図5に示す差動読出方式をタッチコントローラICに採用した。図5において、 $\Delta C_{j(k+1)}$, $C_{p(k+1)}$ は、(k+1)番目のセンスラインとj番目ドライブラインの間に形成されている相互容量のタッチによる容量変化、(k+1)番目のセンスラインとノイズ源との間の寄生容量を表し、($V_{outp} - V_{outm}$)は差動電荷積分器の差動出力電圧を表している。理想の場合、隣接したセンスラインとノイズ源の間に形成される寄生容量が同じとなり、ノイズはキャンセルされ、差動出力にはノイズ成分が現れない。タッチセンサの製造ばらつきやディスプレイの表示画面に依存するが、差動読出方式により、ディスプレイ起因のノイズ成分は1/10倍以下に抑圧される。また、差動読出方



if $Cp_k = Cp_{(k+1)}$

$$(2) Voutp - Voutm \propto \frac{(\Delta C_{j(k+1)} - \Delta C_{jk}) \cdot Vd}{Cci}$$

図5 差動読出方式
Fig.5 Differential sensing.



CVC No.	phase-1	phase-2
CVC ₁	SL ₂ - SL ₁	SL ₃ - SL ₂
CVC ₂	SL ₄ - SL ₃	SL ₅ - SL ₄
...
CVC _p	SL _{2p} - SL _{2p-1}	SL _{2p+1} - SL _{2p}
...
CVC ₇₁	SL ₁₄₂ - SL ₁₄₁	SL ₁₄₃ - SL ₁₄₂

図6 センスラインとセンス回路 (CVC) の接続図
Fig.6 Connection diagram of sense line and CVC.

式の出力は、従来方式のシングルエンド方式と比較して、不要な成分が現れないので、利得を上げることができ、信号処理がより容易となる。

図6を用いて、タッチセンサとセンス回路との接続状態を説明する。開発したAFE_ICには71個のセンス回路が配置されている。AFE_ICはphase-1とphase-2の2つの動作フェーズを持っており、2つの動作フェーズで全ての隣接センスライン間の差出力を得ることができる。具体的には、sense phase switchの接続状態を切り替えることにより、phase-1のタイミングにおいては、p番目のセンス回路の+入力には(2p)番目のセンスライン(SL_{2p})が接続され、-入力には(2p-1)番目のセンスライン(SL_{2p-1})が接続され、phase-2のタイミングにおいては、+入力には(2p+1)番目のセンスライン(SL_{2p+1})が接続され、-入力には(2p)番目のセンスライン(SL_{2p})が接続される。

4.3 メタルメッシュセンサ

タッチセンサにメタルメッシュセンサを採用することによって、3.3に記載した技術課題を解決することができる。金属材料を用いたメッシュセンサとITOを用いた場合の比較を図7に示す。メタルメッシュセンサを採用することのより、タッチセンサの応答速度を大幅に改善することができる。

■抵抗比較

		シート抵抗	メタル幅
メタルメッシュ	Copper (Thickness: 7um)	0.003Ω/sq.	7um
	Silver Paste (Thickness: 9um)	0.2Ω/sq.	6um
ITO	on Glass	20Ω/sq.	-
	on Film	150Ω/sq.	-

■センサパターン比較

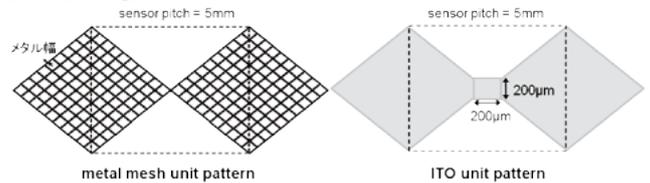


図7 メタルメッシュセンサとITOセンサの比較
Fig.7 Comparison between metal mesh sensor and ITO sensor.

5. ICおよびシステム構成

5.1 AFE_IC構成

0.18μm 1P5M CMOSプロセスで開発したAFE_ICのブロック図を図8、チップ写真を図9に示す。AFE_ICは224本のセンサチャンネルと接続可能である。224本のセンサチャンネルは、チャンネルスイッチ(channel switch)を介して、81本はドライブ回路(driver)、62本はドライブ回路もしくはセンス回路、残りの81本はセンス回路に接続される。最大143本分の隣接センスラインの差

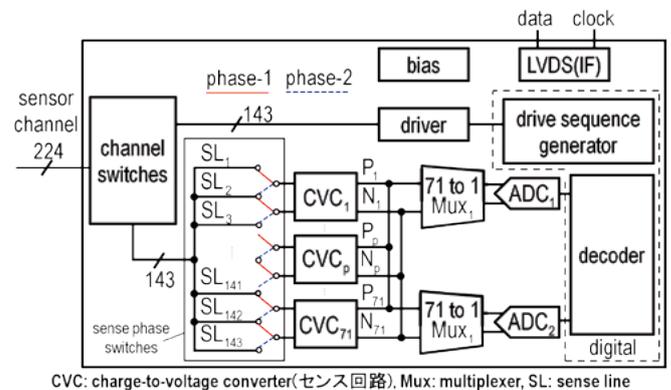


図8 AFE_ICブロック図
Fig.8 AFE_IC block diagram.

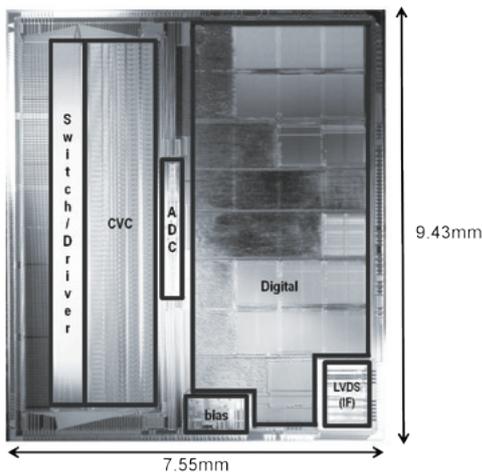


図9 チップ写真
Fig.9 Chip micrograph.

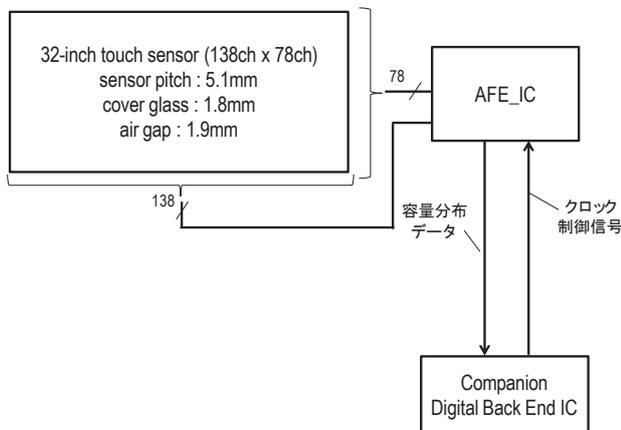
成分の信号処理を行うため、71個のセンス回路が配置されている。143個のドライブ回路 (driver) が配置されており、タッチセンサを3.3Vでドライブする。センス回路の出力は、後段のマルチプレクサー (Mux) を介して、ADCに入力される。12bit ADCは20MHzでサンプリングしたセンス回路出力を後段の復号回路に出力する。復号回路は、ドライブ符号に応じた復号演算を行い、容量 (差) 分布データを算出する。容量 (差) 分布データは、Low Voltage Differential Signaling (LVDS) インタフェースを介して、後段のDigital Back End (DBE) 回路に送付される。DBE回路は不要なノイズ成分を除去、ピーク値の抽出、ピーク値周辺のデータから積分することによって容量分布データ、座標やタッチIDなどのプロパティを算出する。

5.2 タッチディスプレイシステム構成

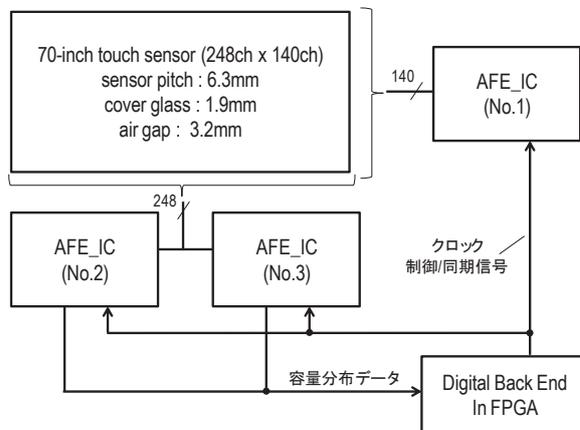
大型タッチディスプレイシステムブロック図を図10に

示す。32インチタッチディスプレイシステムは、AFE_IC, AFE_ICから出力される容量 (差) 分布データを信号処理するDBE_IC, 138×78のセンサチャネルを持つメタルメッシュタッチセンサから構成される。70インチタッチディスプレイシステムは、3つのAFE_IC, AFE_ICから出力される容量 (差) 分布データを信号処理するFPGAに実装されたDBE, 248×140のセンサチャネルを持つメタルメッシュタッチセンサから構成される。3つのAFE_ICは、FPGAからのクロックおよび同期信号を元に同期した動作を行う。カバーガラス厚1.8mmの32インチタッチセンサは、4K2K LCD上に1.9mmのエアーギャップを持って配置され、カバーガラス厚1.9mmの70インチタッチセンサは、FHD LCD上に3.2mmのエアーギャップを持って配置されている。エアーギャップは、カバーガラス自体の重さやタッチによる歪みによって、LCDの表面にタッチしない様に考慮して設定した。

両タッチディスプレイシステムのタッチセンサは、視覚に影響を与えない太さを考慮して7μmとし、銅メッシュを用いて実現した。太さ7μmの銅メッシュセンサを用いた場合のRC積はITOと比較して二桁以上低く、タッチセンサ起因による応答速度の劣化を抑えることができる。両タッチディスプレイシステムともに、ドライブ符号に、符号長255のM系列を採用し、各フェーズの時間を2μsとしたので、全ての相互容量 (差) 分布データを得るのに必要なフレーム時間は1.02ms (= 2μs × 2phase × 255) である。なお、ペン先直径1mmのパシブペンなどの微弱な信号を精度よく取得するために、タッチシステムは4フレームの平均値を用いて、タッチレポートを出力する。この時のレポート周波数は240Hzとなる。



(a) 32-inch touch display system



(b) 70-inch touch display system

図10 大型タッチディスプレイシステムブロック図
Fig.10 Large format touch display system block diagram.

6. まとめ

6.1 タッチ性能

32インチタッチディスプレイシステムにペン先直径1mmのパッシブペンでタッチした時の容量（差）分布データを図11に示す。

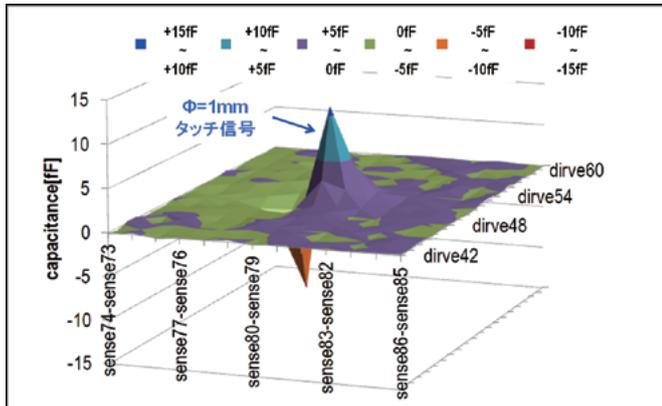


図11 ペン先直径1mmのタッチ信号
Fig.11 Touch signal of a 1mm diameter stylus.

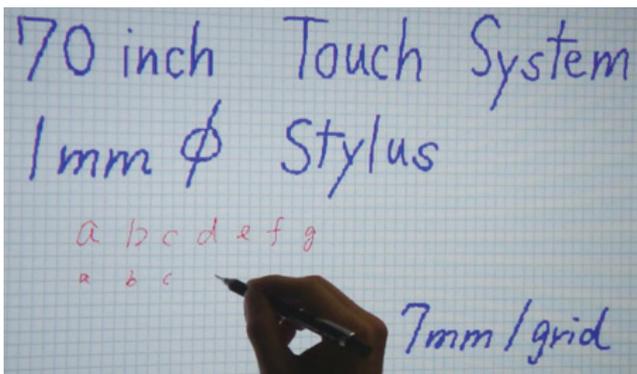


図12 ペン先直径1mmのシャープペンシルでの文字入力
Fig.12 Text entry by a 1mm diameter stylus.

前述した通り、差動読出方式を採用しているので、両極性（プラスおよびマイナス）の容量差信号を観測することができる。信号のピーク値は10fF程度である。¹⁾で定義されているノイズとSNRの指標を用いると、レポート周波数を240Hzとした時のノイズは0.15fF程度、SNRは37dB程度となる。

図12は70インチタッチディスプレイシステムに直径1mmの市販のシャープペンシルを使って、文字を書いた時の写真である。

また、微弱な信号の読み取り精度があるので、導電性

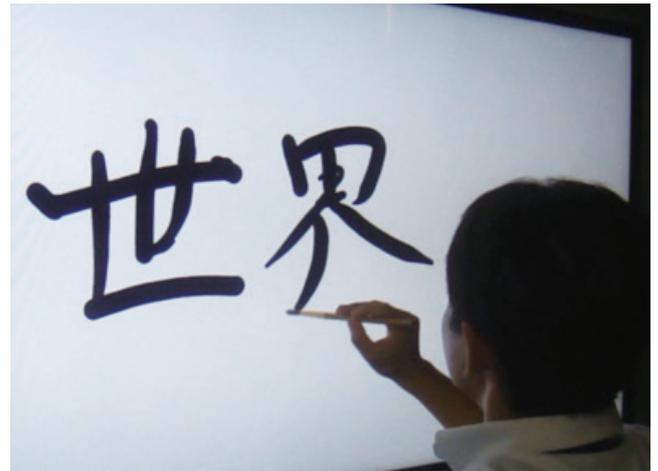


図13 導電性材料で作成した筆での文字入力
Fig.13 Text entry by a conductive brush.

材料で作成した筆を用いた入力も可能である。筆を使った文字入力の例を図13に示す。

6.2 今後の展開

現状の大型タッチディスプレイシステムの一部は、DBE回路をFPGAで実現しているため、実装面積、消費電力、コストなどの面で改善の余地がある。特定用途向け集積回路（ASIC）を開発することにより、これらの課題を解消していきたいと考えている。また、パッシブペンでの対応が難しい、ペンのボタン情報の送付や（ペンをタッチパネル表面から離して操作する）ホバー機能を実現するアクティブペンに対応するタッチディスプレイシステムを開発し、市場の要求に応じていきたい。

参考文献

- 1) S.-H. Ko, et al., "Low Noise Capacitive Sensor for Multi-Touch Mobile Handset's Applications," IEEE ASSCC, Nov. 2010, pp.1-4
- 2) M. Miyamoto, "Linear Device Value Estimating Method, Capacitance Detection Method, Integrated Circuit, Touch Sensor System, and Electronic Device," JP Patent 4927216, Feb. 2012.
- 3) M. Hamaguchi, et al., "A 240Hz-Reporting-Rate 143 × 81 Mutual-Capacitance Touch-Sensing Analog Front-End IC with 37dB SNR for 1mm-Diameter Stylus," IEEE ISSCC. Dig. Tech. Papers, Feb. 2014, pp. 214-215.
- 4) 濱口陸, 木田和寿, 森下貴弘, 芳田真一, 林省吾, 銭岩“ペン入力, マルチタッチ操作が可能なタッチパネルシステム”, シャープ技報, 通巻105号, pp.60-61, (2013)