

水泳用タッチ板の製作

山本 崇弘* 橋本 俊裕**

Design of Touch Panel for Swimming Pool

Takahiro Yamamoto*, Toshihiro Hashimoto**

Abstract: In this paper, the methods of designing a touch panel for swimming pool using CSD touch sensing and of the tuning of the panel are discussed. As the results, we obtained that the panel we made works quite stable in laboratory experiments. And also the timer attached to the panel works well, the time the timer measured includes relatively big errors. One of the causes of the errors may be guessed that the oscillator used in the microcontroller is not so precise.

キーワード: タッチセンサ、タイマ、PSoC

Keywords: touch sensor, timer, PSoC

1. はじめに

熊本高等専門学校八代キャンパス水泳部の練習では、日々の練習の中でタイムを計ることで水泳部員が自身の到達の度合いを確認するという事は残念ながらあまり多くないし、そのタイムを記録として残すことは現在まったくと言っていいほどしていない。もしそれができれば後日の反省に大いに役立つ。しかし、それをするには相当数の計時および記録担当者が必要であるが、それを揃えることは難しいし、それでも実行するとなれば水泳部員は練習時間を相当犠牲にすることになるであろう。このような事情から、現在はマネージャが計時を担当しているが計時は秒単位までであり、記録のコールを聞き逃すことも多い。マネージャの不足から記録を残すことはしていない。

この課題は、自動計時・記録装置により解決するが、高専に限らず一水泳部が持つには高価すぎる。自動計時装置への希望は八代市内の水泳関係者からも聞いたことがあり、それは「試合用の立派なものである必要はない、記録の精度もそう高いものでなくてもよい。自作のもので十分である、気軽に使えるものが欲しい。」というものであった。

近年、携帯音楽プレーヤに採用された静電容量型タッチセンサは大きな話題となり、その後続くタッチディスプレイへと発展していく先駆けとなった。この静電容量型タ

ッチセンサとマイクロコントローラ（以下マイコンと略す）のタイマ・カウンタ機能をうまく組み合わせれば我々の希望は実現できるのではないかと考えて取り組んだのが本研究である。もし、うまく実現できればタッチ板1枚あたり1～2万円程度で作製することが可能である。

ところで、現在普及しているタッチセンサ用ボタンは1cm四方程度のものが殆どで水泳用タッチ板用としては小さすぎる。これは、人体の持つ浮遊容量が10pF程度と極めて小さいためタッチを検出するにはボタンの静電容量も同程度でないと安定した動作が期待できないからである。それに対し水泳用タッチ板は1m×2m程度の大きさがないと用をなさない。また、タッチはかなり強くなされるので機械的強度も確保する必要がある。

その点に主眼を置いてΣ-Δ型AD変換器を用いた静電容量型タッチセンサとストップウォッチを製作し、それらを組み合わせて水泳用タッチ板を製作することが本研究の目的である。

製作するタッチ板は、センサ、ストップウォッチ共にCypress Semiconductor社のオリジナル・ワンチップ・マイコンであるPSoC (Programmable System on Chip) を用い、静電容量型タッチセンサにより1m×2m程度の大きさのタッチ板へのタッチの検出を行う。開発には同社が無償で提供している開発環境PSoC Designerを用いた。我々の目指すタッチ板の大まかな動作は、センサであるタッチ板に人間が触れたのを感知し、ストップウォッチで100分の1秒単位まで計時するものとする。

本論文の中ではプールは熊本高等専門学校八代キャンパスのプールを指すこととする。

* 九州電力長崎支店
〒852-8509 長崎県長崎市城山町3番19号
Kyusyu Electric Power Co. Inc. Nagasaki Branch,
3-19 Shiroyama-tyo, Nagasaki-shi, Nagasaki, Japan 852-8509.

** 機械知能システム工学科
〒866-8501 熊本県八代市平山新町2627
Dept. of Mechanical and Intelligent Systems Engineering,
2627 Hirayama, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan 866-8501

2. タッチ板の製作

本研究で行ったタッチ板の製作を以下に述べる。

2.1 静電容量型タッチセンサの製作

今回製作するタッチ板の用途を考えると、タッチ部分のボタンは極力薄くなくてはならない。コース長は 50.00m 未満が許されていない⁽¹⁾上にプール自体がタッチ板を設置するようには作られていないのでタッチ板を設置すれば確実に 50.00m より短くなるからである。目標は 5mm とする。

ところで、静電容量型タッチセンサを 1 から作ろうとすると、基板や配線などの外部回路が場所を取り、タッチ板が厚くなったり、実装が難しくなったりする。更に、タッチ板システムの開発を容易にしかつ将来の改良のしやすさをも視野に入れるとすると回路部品を極力減らしたい。それらを解決するために内部に静電容量型タッチセンサモジュール (CapSense と呼ばれる) を内蔵するタイプの PSoC を採用することとする。PSoC は品種が多く、ここでは基板として入手が容易であった CY8C21434 を用いた⁽²⁾。PSoC はソフトウェアモジュールも充実しており、少し勉強するだけで十分プログラムはできるので組み込みプログラムに慣れていない水泳部員でも改良に参加できると思われることと、他のマイコンと比べても十分安価に入手できることが選定の理由である⁽²⁾⁽³⁾。

CY8C21434 はこれ 1 つで 8 個程度、うまくボタンを設計すれば 10 数個のタッチ用ボタンを取り扱うことができる。CY8C21x34 のタイプの PSoC は CapSense モジュールとして Σ - Δ 型 AD 変換器と逐次変換型 AD 変換器、それに 8kB のフラッシュメモリおよび 512B の SRAM を内蔵している⁽⁴⁾。図 1 は CSD 方式 CapSense の検出回路である。C_{PAR} にかかる電圧が設定値を超えるとスイッチを切り替えて放電する。放電の回数をカウントしてタッチ検出用ボタンを監視する仕組みになっている⁽⁵⁾。

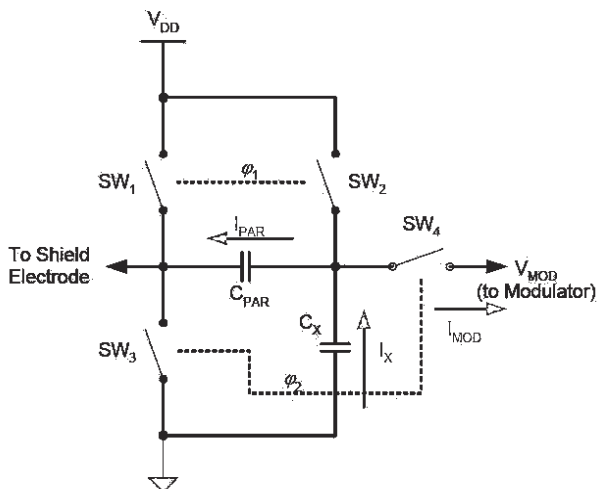


図 1 CSD 方式 CapSense の検出回路

PSoC のアプリケーションノート⁽⁶⁾は推奨するタッチ検出用ボタンとして矩形ならば 1 辺の長さが 6mm 以上の銅板を推奨している。が、決して大きいボタンを許容しているわけではなく、アプリケーションノートに描かれた図からは大きさとして指の幅程度を想定していることがわかる。その理由は人体の持つ浮遊容量が 10pF 程度なのでボタンの容量もそれと同程度でないと安定したタッチ検出が難しくなるからである。この問題に対応するためには電極の面積を大きくしたうえで静電容量を数 10pF 程度に抑えたタッチ検出用ボタンを作る必要がある。金属板のままではこれは満たすことができないので、コンデンサとしての実効面積を小さくする必要がある。そこで検出用ボタンとして大きさ 30cm×40cm のアルミニウム製網板を採用しこれを 2 枚使うことで面積を確保することとした (図 2)。網板を採用することで導体の占める面積を小さくすればボタンの静電容量を小さくすることができると思ったからである。もう少し小さいボタンでも数を増やせばタッチ板としての面積は確保できるが、ボタンを多くするとボタンのスキャンに時間がかかり 10msec を超えることを恐れたからである。図 2 中上部の細長いアルミニウム板は接地側電極である。ここでは実験結果を挙げていないが 10cm 四方のアルミ板で行った実験では安定動作しなかった。

上述の問題を克服できれば電極の静電容量をさらに小さくでき、それだけ安定した動作を期待できる。実際、PSoC Designer の初期設定のままでは近接センサ動作をすることが観察された。2 枚の電極および接地電極を厚さ 2mm のアクリル板で挟んでタッチ板とした。これで目標のタッチ版厚 5mm 以下という当初の目標は達成される。プールがアルミニウム製であることや選手の安全を考えればもう少し柔らかい材質の板が望ましい。選定は将来の課題である。

試作用 CapSense 基板は市販のもの⁽²⁾を使用した (図 3) が、回路自体は単純なので専用の基板を作成し全体をコンパクトにすることは容易であろう。

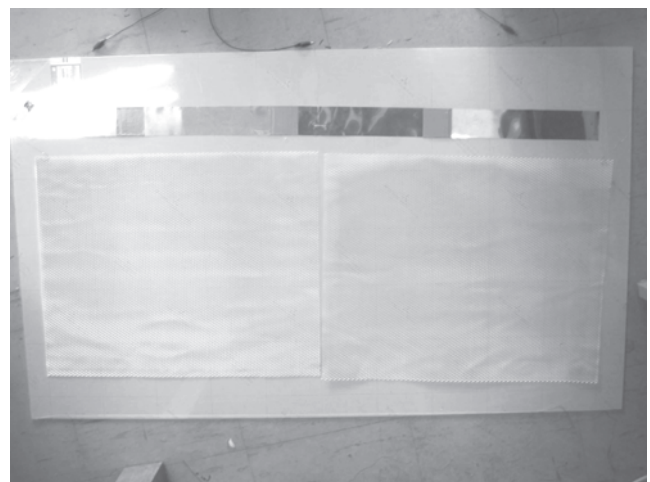


図 2 電極板

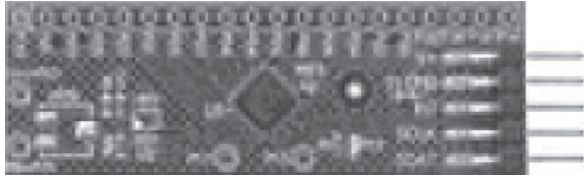


図3 センサ基板

CapSense の諸パラメータは開発環境で表示される初期値のままとし、不具合はデバッグ時に調整することとした。ここでは CSD12 ビットを用い以下のように設定した（必要な項目のみ示す）。

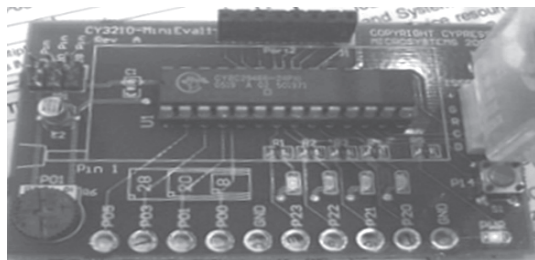
Finger Threshold	40
Noise Threshold	20
Scanning Speed	Normal
Low Baseline Resolution	50

Scanning Speed を変えれば 1msec まで計れるが精度を犠牲にすることになるのでここでは 10msec まで確実に計ることができると考えられるパラメータを選んだ。

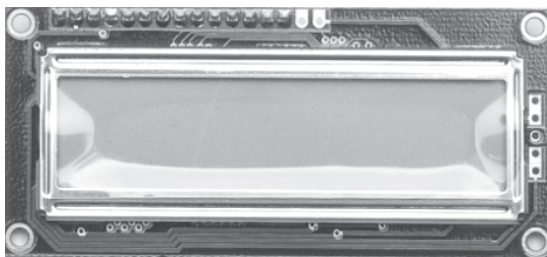
CY8C21x34 の品種では CapSense を使用するとほぼ全てのリソースを使い切ることになり他の機能を使うことは殆ど出来ないため、センサ基板は CapSense 専用とし、基板は計時スタートのときとタッチを検出したときにストップウォッチに向けて 1 ビットの信号を割り込み信号として出力するように設計した。

2.2 ストップウォッチの製作

ストップウォッチは開発の容易さを考慮し、やはり市販の PSoC 試作用基板に CY8C29466 を挿して作成した（図



(a) CY3210-MiniEval 基板



(b) タイム表示用 LCD

図4 タイマ基板

4(a) . CY8C29466 は汎用の PSoC であり、12 個のアナログブロック、16 個のデジタルブロック、32kB のフラッシュメモリ、2kB の SRAM を内蔵している⁽⁷⁾。

作製するストップウォッチは電源を入れた時点から電源が落ちるまで時間を計り続ける。電池での駆動を考えるとスタートスイッチ（スタータ用ピストル）が押された時点から時間を計測するほうがよいであろう。時間は図 4(b) に示すような 16 文字 2 行表示 LCD(Liquid Cristal Display) の第 1 行に表示する。さらに、CapSense 基板からの 1 ビット出力をストップウォッチ基板に割り込み信号として入力し、割り込みが発生した時点でのラップタイムを LCD の第 2 行に表示する。

ストップウォッチは CY8C29466 の持つ 8 ビット割り込みタイマを 8 個使用して構成する。PSoC はタイマ用システムクロック 10kHz を持っているため第 1 タイマで 100（周期値は 99）をカウントして 10msec を作り、カウントし終わったところで割り込みを発生させ第 2 のタイマへ入力して 10 カウントすると 100msec が出来る。この要領で全ての桁にタイマを割り当てることで時間を計測する。このやりかただとタイマがカウントし終わってもカウンタ動作は止まらない仕様になっているので時間の空白が生じず、時間の設計が容易になる。各桁にタイマを割り当てたのは、CPU による処理時間の増加を抑えたかったからである。全ての桁が 10 進 1 桁にしておくことでラップタイムの計算がバイト長の減算で済み、LCD 表示のためのデータ移動もバイト単位なので数クロックで終わることになり、これら全ての処理にかかる時間が 10msec 内で済むことになる。

タイム表示用 LCD は図 4(b) に示す 16 文字 2 行表示が可能な最も広く使われているタイプのものについては PSoC 側にソフトウェアリソース、即ちライブラリが用意されており、そのライブラリを呼び出して初期設定するだけで使用可能である。この点は汎用の組み込み用コントローラのように各端子のタイミングを調べて時間を稼ぎながら使うとは異なりソフトウェア開発においては大幅な手間の節約になる。

2.3 データ採取と動作の評価

PSoC には周辺のデバイスとして、専用の USB-I²C ブリッジ（図 5）が用意されており簡易デバッグとしても使用できる。

ここでは PSoC が持つ Ez I²C モジュールをセンサ基板側 PSoC に設定し、タッチ検出に関するパラメータ値を採取し、その値をグラフ化して、センサの動作確認と評価を行う。なお、Ez I²C モジュールは LCD モジュールと同じくソフトウェアリソースなのでハードウェアリソースを消費せず、常に利用可能である。この機能を使うにはユーザ・プログラムで仮想共有メモリを設定し Ez I²C を呼び出すだけである⁽³⁾。仮想共有メモリを介してデータのやり取りができるので CapSense のパラメータを変更することも可能となり、動作の微調整が容易になる。これら一連の動作は PSoC Designer で全てできるようになっている。

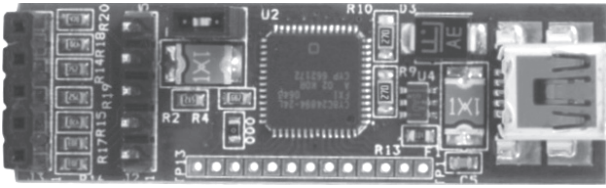
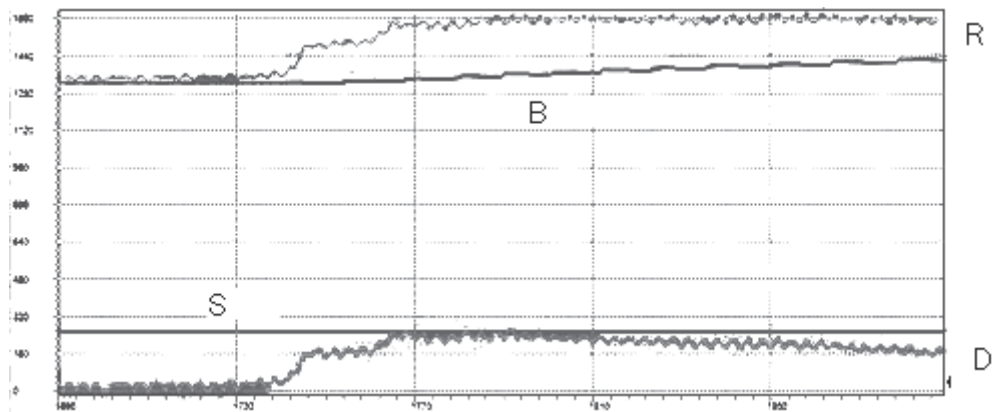
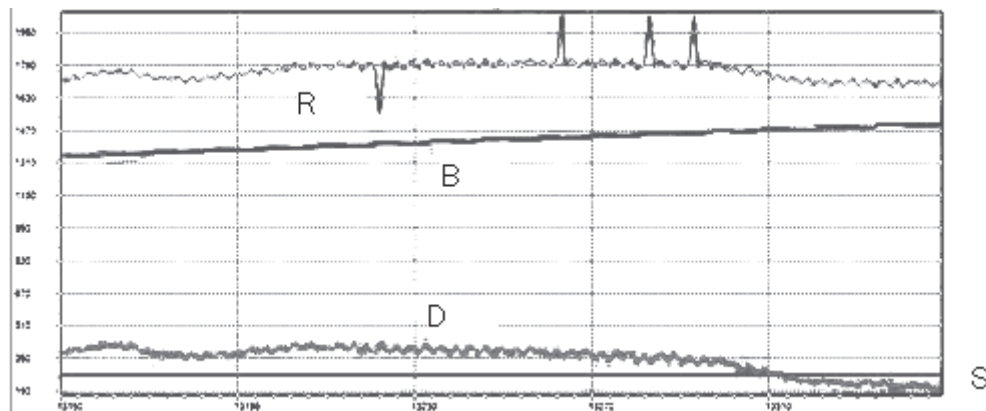


図5 USB-I²Cブリッジ CY3240-I²CUSB

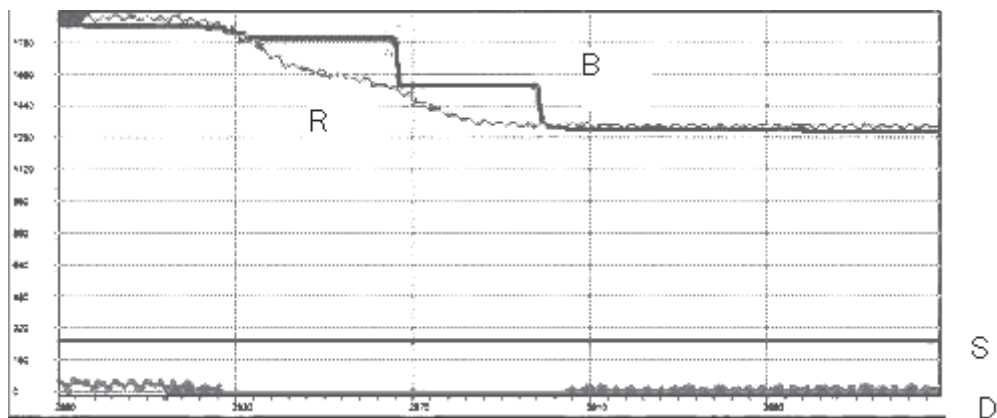
実際に共有メモリを設定しEz I²Cモジュールを動作させてタッチ板を動作させたときの様子を図6に示す。図6はスクリーンショットなので見辛いけれどもシステムの動作を見るのには十分である。



(a) 水泳のタッチ (ノイズ無し)



(b) タッチ板全体を押しタッチ (ノイズ有)



(c) 立ち下がり

図6 タッチ時のタッチセンサの応答

図 6 中、R で示した線は RawCount, B の線は Baseline, D の線は DifferentCount, S の線は Swsts であり, それぞれ CSD のカウント値, RawCount の緩やかな変化に追従する変数, RawCount と Baseline との差分から算出される値, スイッチの ON/OFF の状態を表わす変数, を表わす. 図の横軸は時間であるが縦軸はタッチセンシングに合わせて加工したデータを元としているので絶対値はあまり意味が無い.

図 6(a)を見ると, RawCount が上昇すると DifferentCount も同様に上昇しているのがわかる. また, DifferentCount が Swsts を上回るとタッチがあったとしてスイッチが ON になる. ただし, タッチの判定の時点は図からは判断し難いが, センサ基板の LED を点灯するようプログラムをしており, タッチの判定は LED の点灯で判定した. 視認の結果は極めて正確にタッチを検出していることが認められた.

図 6(b)はタッチ板に急に座り込んだときの様子であるが, 今度は RawCount の変化が大きいので Baseline の変化も大きくなっている. RawCount が安定すると DifferentCount も下がってスイッチは OFF となる.

図 6(c)はタッチ板に座った状態から急に飛びのいたときの様子である. RawCount が減少しているが, Baseline はそれには追従せず一定以上 RawCount と差が出るとその時点での RawCount の値になる. これは LowBaselineReset を設定しているからである. RawCount が Baseline を下回ったとき DifferentCount は 0 になる. なお, LowBaselineReset は DifferentCount が Baseline をアップデートするための閾値を超えたときにセットされるパラメータである.

実際にタッチ板に座り込むことはないが図 6(b), (c)は(a)の場合との比較のために行った実験の結果である. 実際に記録を取る場面ではクロールのターンのように足で強く蹴ることも多く、(b)、(c)の場合よりも強くタッチすることは多く、参考になる実験である.

以上によりタッチ板は基本動作としては安定して動作することが確認できた. しかし, ここまでの実験は陸上で行ったものであり本来動作させたい環境とは異なっているのでこれ以上の動作追求は一旦停止することとする. これから先はフィールドテストのときに追及すべきであり将来の課題である.

最後に, 市販のストップウォッチと作成したストップウォッチで誤差の程度を確認する.

水泳部が所有する市販のストップウォッチと今回製作したストップウォッチとを同時にスタートさせ, 市販のストップウォッチが5分になるのを見計らって両方のストップウォッチを停止させそのときのラップタイムを記録した. 結果は

市販のストップウォッチ	5' 00" 08
製作したストップウォッチ	4' 58" 21

であった. 誤差は 1.87sec, 率にして 0.63%であった. これは 100m 泳いだときに 0.5sec 弱の誤差がであることを意味しており, 試合には到底使えない. しかし練習で使用するのであれば十分実用の範囲にあると考

えられる.

これだけの誤差が出た理由としてまず挙げられるのは, PSoC では精度の高い発振器が使われておらず精度が $\pm 2.5\%$ までしか保証されていないことである. PSoC ではタイマ用発振器は外付けのオプションが用意されているのでタイマ用の精度の高い発振器を用意すれば解決する. その他の理由としてはタイマ割り込み時にクロックのロスが入った可能性も疑う必要がある. これについては, プログラム動作中の消費クロック数をもっと正確に数える必要もあるであろう.

3 まとめ

本研究では, 水泳用タッチ板の製作を行った.

今回は, PSoC マイコンの CSD 方式 CapSense と割り込みタイマを用いて, タッチセンサとストップウォッチを作成し, それらを合わせたタッチタイマとして動作させることができ, 実用化を考えたときの問題点は残るものの, 1 つのシステムを完成させることができた.

タッチセンサ用電極にアルミの網板を採用して安定動作を実現できたので, この対応は 1 つの正しい対応であったと考えられる. この点は将来タッチボタンを大きくする必要が出てきた場合の 1 つの解決法であると考えられることがわかった. タッチセンサのシステムは, 精度はよく動作も安定していた. しかし, 防水・防圧加工などは時間の関係で出来なかった, 実用化までには至らなかったとはいえ, 変数パラメータの採取もできるようになったので, 実用化を考えたときの課題をハードウェアに絞ることができた.

ストップウォッチのシステムは, 時間を計ることができたけれども誤差が大きかった. しかし, その誤差は手動計時と比べれば良好ではないかと思われる. 特に 2 名の選手が相次いでタッチする場合は手動では殆ど計時できないのに比べれば明らかに良いと考えられる.

本研究は平成 21 年度卒業研究として行ったので時間的な制約が多く, 残された課題も少なからずあった.

その 1 つはタッチ板の水中での動作の確認である. 特にタッチ板を設置する場合は一部空中に出るので水の誘電率がどれだけタッチ検出に影響を与えるか予測できない. すなわち, 空中でのタッチと水中でのタッチで検出に違いが出る可能性が残されており, その確認が出来なかったのは大きな課題である.

第 2 に計時データの記録機能の追加である. 誤差に関しては, システムクロックの問題であるから, クリスタル・オシレータなどの精度のよいクロックを使えばすぐに改善できるだろう. しかし計時結果の記録機能はまったくできないまま課題として残ってしまった.

以上の点を実用化に向けた課題とし、それらを解決することができれば、かなり実用的な水泳用タッチ板が完成すると思われる。

（平成 22 年 9 月 27 日受付）

参考文献

- (1)財団法人日本水泳連盟：“財団法人日本水泳連盟ルール公認規則”，財団法人日本水泳連盟.
- (2)桑野雅彦 他；“PSoC マイコン・スタートアップ“，CQ 出版社，2009.
- (3)桑野雅彦；“PSoC マイコン・トレーニング・キット解説書”，CQ 出版，2008.
- (4)Cypress Semiconductor:”PSoC Programmable System-on-Chip”，Cypress Semiconductor, 2009.
- (5)Ted Tsui ；“Capacitance Sensing - Migrating from CSR to CSD”，Cypress Semiconductor, 2007.
- (6)Mark Lee:”CapSense Best Practises”，Cypress Semiconductor, 2009.
- (7) Cypress Semiconductor:”PSoC Mixed-Signal Array”，Cypress Semiconductor, 2008.