

理科の測定実験にタブレット端末を活用する iTesterの開発と実践

光永 法明^{1,2,a)} 仲矢 史雄²

概要: 理科教育で用いられる計器は棒温度計や可動コイル形電圧計・電流計が広く用いられている。一方で表示自由度の高い液晶等の表示パネルの価格が低下し利用しやすくなったことから、そういった計器の表示の置き換えも学校外では進んでいる。現在、タブレット端末が学校へも普及しつつあり、タブレット端末の表示自由度は従来の計器よりも高い。本研究では、その特長を生かし、数値、アナログメータ、棒温度計を模擬、グラフ（オシロスコープ）形式による表示を実現する iTester を開発したので報告する。iTester はタブレット端末に接続する測定アダプタと、専用アプリから構成されている。従来のアナログメータと違い可動部がないため振動に強く、またタブレット端末の読み上げ機能が利用できるといった特徴がある。本報告では iTester の開発経緯と利用状況について報告する。

1. はじめに

計測値の表示には可動コイル形の計器（いわゆるアナログメータ）や VFD, 7セグメント LED や液晶等が使われてきた。最近では液晶, VFD, OLED といった表示形式のドットマトリクス表示器の価格が下がり、表示自由度が高いことから使われるようになってきている。表示自由度を上げるために、ポスターサイズの広告などを目的としたデジタルサイネージ製品では、いわゆる PC と大型ディスプレイが組み合わせられることが多い。また測定器等でも内部にパソコンと同様の構成のコンピュータを内蔵し、処理、表示しているものが従来からあり、最近ではタブレット端末も利用されはじめています。

ところで、理科教育においては、棒温度計や可動コイル形式の電圧計・電流計といった計器が広く使われている。いずれも動作原理が簡単で無電源で動作することが利点であり、数値の大小関係の直感的な把握に優れている。しかし、精密な可動部分があったり、正面から見る必要がある、教卓で演示しても数値が読み取りにくいなど、計器利用の初心者が多数いる授業での利用に向いていない面もある。

一方、学校環境においてもタブレット端末の普及が始まっている。視野角が広いディスプレイを備えている端末であれば、従来の計器よりも視認性に優れる可能性がある。タブレット端末に測定結果をグラフ表示する市販製

品 [1], [2] や作成例 [3] もあるが、実験管理やオシロスコープの実現に重点が置かれており計器の置き換えを目的としてはいない。

それらに対し、本研究では小中高における理科での実験用計器の置き換えを目的とし、iPad 上に電圧・電流・温度を表示する iTester^{*1} を開発したので報告する。iTester は iPad と接続するセンサユニットと iPad 上で動作するアプリケーションソフトからなる。以下、開発に当たったの検討過程と、開発した iTester の利用状況について報告する。

2. 理科実験と計器

理科実験に用いられる計器には温度計、湿度計、電圧計、電流計、pH 計などがある。家庭用の体温計でもデジタル表示が主流となっているが、学校においてはアルコール温度計が広く使われている。これには針式時計の読み方を小学校低学年で習うように、計器の目盛りを読むにも訓練が必要だからというのが一つの理由である。また前述のように、数値の直感的な大小関係の把握にも棒温度計や可動コイル形計器は向いている。また無電源で動作する計器も多く、そういった計器は電源（電池）管理の手間がない。

一方で、棒温度計は割れやすい、可動コイル型計器は強い振動、衝撃や磁力に弱いという構造的な問題がある。さらに棒温度計も、可動コイル形計器も一人で正面から見ることを前提としており、数名で一つの計器を囲むように見るには向かず、教卓実験で計器の様子を見せるにはカメラもしくは拡大投影用の計器などが必要である。また、視覚

¹ 大阪教育大学 教員養成課程 技術教育専攻
4-698-1 Asahigaoka, Kashiwara, Osaka 582-8582, Japan

² 大阪教育大学 科学教育センター

^{a)} mitunaga@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

^{*1} iTester は大阪教育大学の登録商標です

障害をもつ生徒の場合には計器が見えない、あるいは非常に見づらい場合がある。音声で数値を読み上げる計器も市販されているが、需要が少なく高価である。

ところで、小中高の理科実験で使う計器について、タブレット端末を使って表示が実現できるのであれば、正面以外からの読み取りも可能であり、従来型の計器を模した表示をすれば読みの訓練と大小関係の直感的な把握も実現できる。またタブレット端末のディスプレイ出力が利用できれば教卓実験の表示をプロジェクタや電子黒板等で容易に見せられる。

3. iTester の仕様検討

そこでタブレット端末での計器表示を実現する iTester を開発する。タブレット端末は本学附属学校において導入が進んでいる米 Apple Inc. 製の iPad を利用する。iTester の実現にはタブレット端末に接続するセンサユニットが必要である。まずは小学校高学年での実験を可能にするセンサユニットとして、直流電圧・直流電流・温度の測定ユニットを実現する。小学校において利用される市販の電圧計では 3[V], 30[V], 300[V] のレンジを持つものがあるが、高電圧は実際に測定しないと判断し、手回し発電機の電圧が測定できる 10[V] レンジを実現すればよいとする。電流計は 50[mA], 500[mA], 5[A] のレンジを持つものが市販されている。電流については電磁石の実験や電池をショートさせて電流を測る場面も考慮し、5[A] レンジを実現する。温度については水の凝固点降下や沸点が測定できればよいとし、 -10°C から 120°C が測ればよいとする。一方で液体の温度を測るため防水で薬品に対する耐性の高いプローブを利用できる必要がある。

ところで、可動コイル形式では指針の可動範囲が 90 度で、可動範囲を 50 程度に分割した目盛を用意しているものが多い。一目盛りの 1/10 までを読み取るとして、測定範囲内で 500 段階程度、すなわち 9 ビットの分解能があれば十分模擬できる。最大入力電圧が 10[V] であり 12 ビットの分解能があれば、3 ビットの余裕があり、最大 1[V] の表示としても可動コイル形計器と、ほぼ同等の表示が可能である。最終的に設計した iTester のセンサユニットの外観を図 1 に仕様を表 1 に示す。直流電圧入力 (0[V]~10[V]) が 2、直流電流入力 (-5[A]~5[A]) が 1、温度入力 (K 型熱電対用端子) が 2 ある。電圧・電流については仕様外の入力であっても、簡単に壊れないように配慮してある。温度の測定に K 型熱電対を利用するので測定に応じて市販のプローブを自由に選べる。

センサユニットと iPad との間は Camera Connection Kit と USB ケーブルによる有線接続である。センサユニットの電源は iPad から供給し、通信は音声を利用している。これにより、iPad のバッテリー管理がされていれば、計器についてのバッテリー管理が不要となる。つまり iPad を日常的



図 1 iTester センサユニットの外観。左側面に USB 端子と K 型熱電対の端子があり、上面に電圧と電流測定用の端子がある。

に利用しているのであれば、無電源動作の計器と同様に電源の心配は不要である。有線接続となるのはデメリットもあるが、無線接続ではセンサユニットの電源供給の問題が残り、複数の iPad とセンサユニットのいずれを組み合わせられているのかが分かりにくく、また無線接続が常に安定するとは限らない。現在のところ、総合的に有線接続の方がよいと判断している。

4. iTester アプリの表示画面

iPad 上で動作するアプリの画面を図 2 から図 8 に示す。図 2 はデジタル計器の基本的な数値表示である。図 3 と図 4 は、それぞれ従来からの可動コイル形メータと棒温度計を模した表示画面である。いずれの画面にも現在の日時と実験開始からの経過時間を表示する。図 5 と図 6 に表示自由度を生かしたグラフ表示を示す。温度の時間変化と電圧、電流の時間変化を表示する。簡易型オシロスコープとしてトリガ機能は持たず、スワイプ表示のみである。計器の置き換えということを重視し、測定結果の記録機能 (ロギング機能) は持っていない。

メータと温度計の表示範囲は測定に合わせて設定 (図 7) できる。電圧入力については、ゲインとオフセット、単位の設定ができる。電圧出力センサを電圧入力につなぎ、正しく設定すれば、値を直読できる。表記言語は日本語と英語を iPad の言語設定に連動して切り替えられる。各表示画面は iPad の設定アプリ (図 8) から iTester の表示設定を変えれば非表示にできる。たとえば、数値表示を使わずに授業をする場合には、数値表示画面をオフにできる。アプリ内の設定画面と分けているのはメータ表示の設定変更は許すが、画面切り替えは許さないと用途を考慮してである。

5. iTester の利用

iTester を 2013 年 1 月に発表後 [4], 問い合わせのあった小学校 (公立, 本学附属各 1 校), 支援学校 (3 校) に貸し出した。小学校での利用は第 4 学年 (公立) と第 5 学年 (附属) である。第 4 学年では水の沸点・凝固点の測定実

表 1 iTester センサユニットの仕様. 精度は使用部品の仕様から計算される値.

電圧測定	2 入力, 測定範囲 0V~10V, 分解能 2.44mV (12bit), 精度 1%
電流測定	1 入力, 測定範囲-5A~5A, 分解能 6.6mA, 精度 2.5%
温度測定	2 入力, 測定範囲-200 °C~1350 °C (使用センサによる), 分解能 0.25 °C, 精度± 2 °C (-200 °C~700 °C), ± 4 °C (それ以外の範囲)
端子	マイクロ USB B × 1, K 型ミニチュアコネクタ × 2, バナナジャック × 5 (電圧, 電流測定用)
電源	5V (マイクロ USB B コネクタより供給)
寸法 (W×H×D)	141mm × 58.5mm × 81mm
質量	約 290g

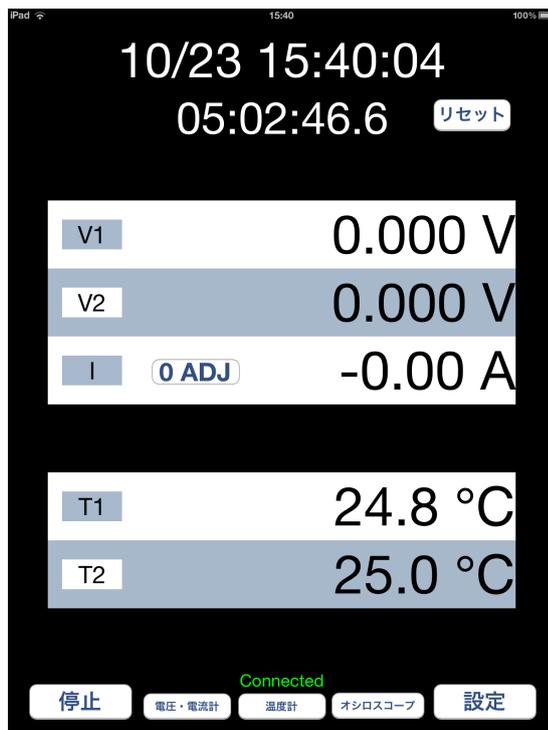


図 2 iTester アプリの数値表示画面

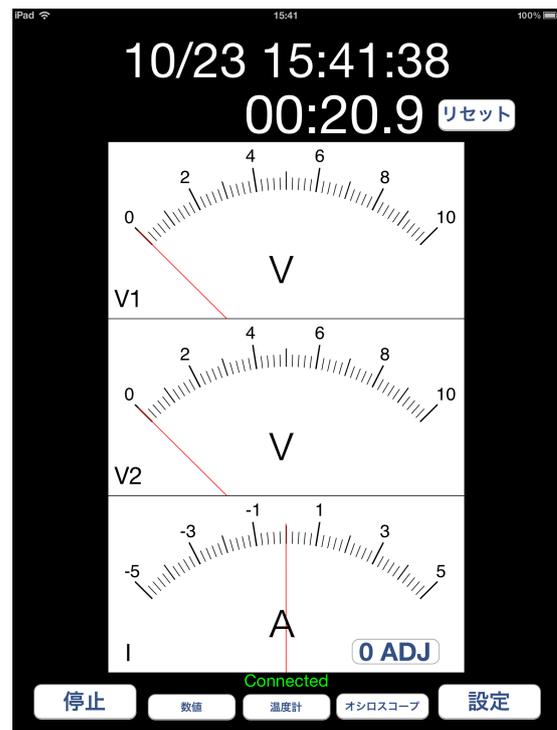


図 3 iTester アプリの電圧・電流のメータ表示画面

験と, 電池の直列つなぎ並列つなぎの実験に, 第5学年では作成した電磁石に流れる電流の測定に使われた. いずれもグループ (3 から 5 人程度) に 1 セットでの利用である. 画面・表示の視認性がグループでの観察に向き, 沸点の測定のために水の加熱中に棒温度計では, のぞき込むように見ることがあり, 夢中になると機材を倒すような危険があるが, 表示部分が分離され機材に近づかないので安心できたと, 教員から報告があった. また棒温度計 (全浸没温度計) は液全体を測定対象に浸す必要があるが, それは難しいため, 誤差が出てしまう. それに対し K 型熱電対のプローブは全体を浸す必要はないため読みと実際の温度の差が減るようである.

電池の直列つなぎ並列つなぎの実験で, 模型用モータを利用したところ, iPad とセンサユニットの接続 (通信) が切れるとの報告があった. これについてはノイズキラーコンデンサ (0.1[uF] の積層セラミックコンデンサを使用) をモータに追加することで対応できた. コンデンサなしでモータ (タミヤ・FA-130) を回すとセンサユニットにつな

がず, USB ケーブルに近づけただけでも接続が切れる程度のノイズであったので, センサユニット側で対応するのは難しいと考える.

6. 支援学校での利用

3 校の支援学校では中学部の生徒の授業での利用があった. iPad のボイスオーバー機能を利用しての数値の読み上げ, 表示のズーム機能を利用しての弱視の生徒のメータの読み取りができています. iTester アプリでは読み上げを考慮して, ボイスオーバー機能を利用時には表記を変更している. 機能を利用しないときには「0.00V」「0.00A」「0.0 °C」と表示しているが, 機能利用時には「0.00 ボルト」「0.00 アンペア」「0.0 ど」としている. 読み取るためにタップが必要だが, それは点字テープを iPad 表面に貼り付けて使用している [5]. またアプリで弱視の生徒を考慮してメータの針を太くすることができる. 一方, 視野狭窄のある生徒の場合に全体の把握のため表示を縮小したいという要望があったが, iPad の支援機能になく対応できていない.

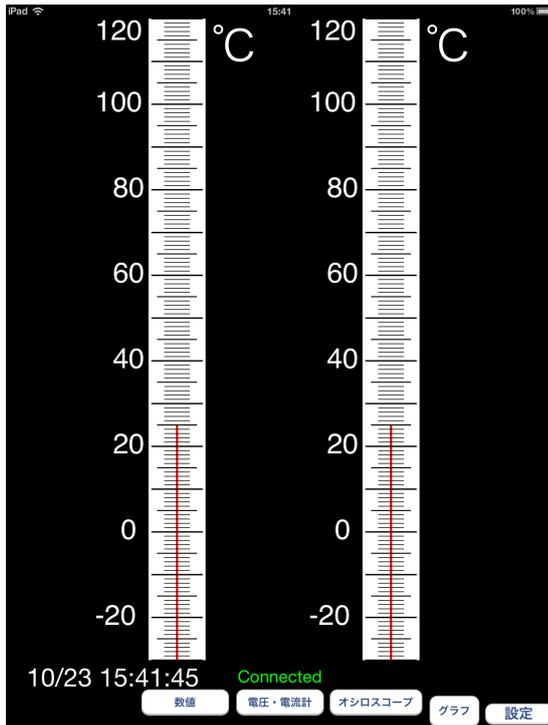


図 4 iTester アプリの温度計表示画面

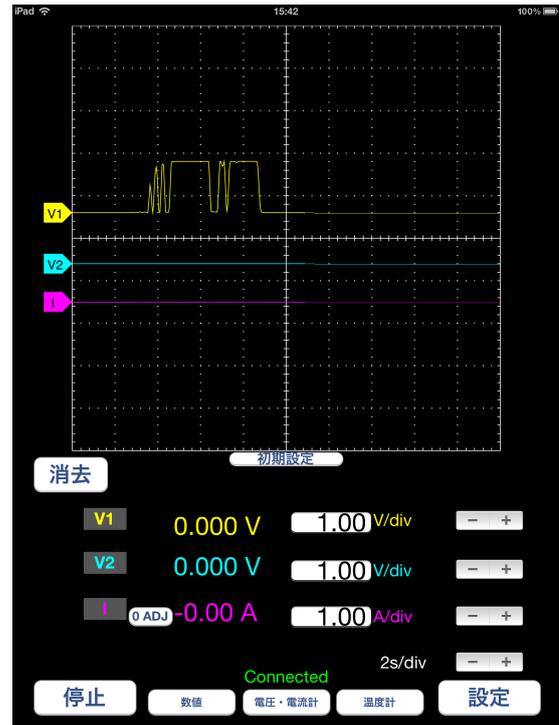


図 6 電圧・電流の簡易オシロスコープ表示

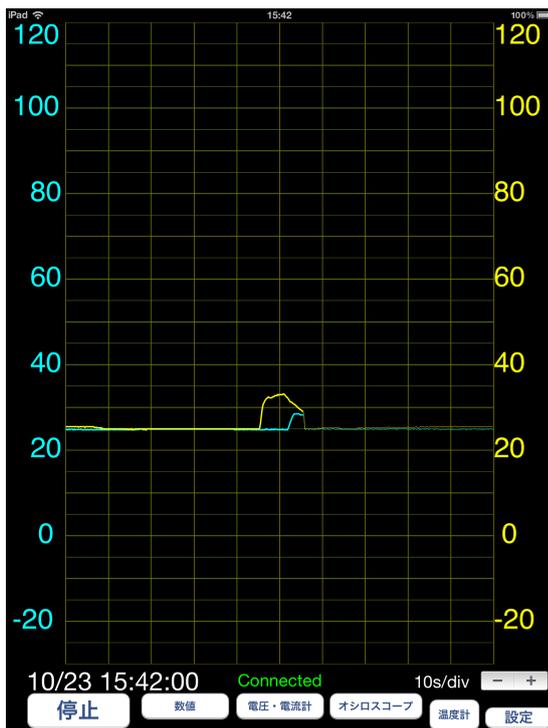


図 5 表示自由度を生かした温度の時間変化表示

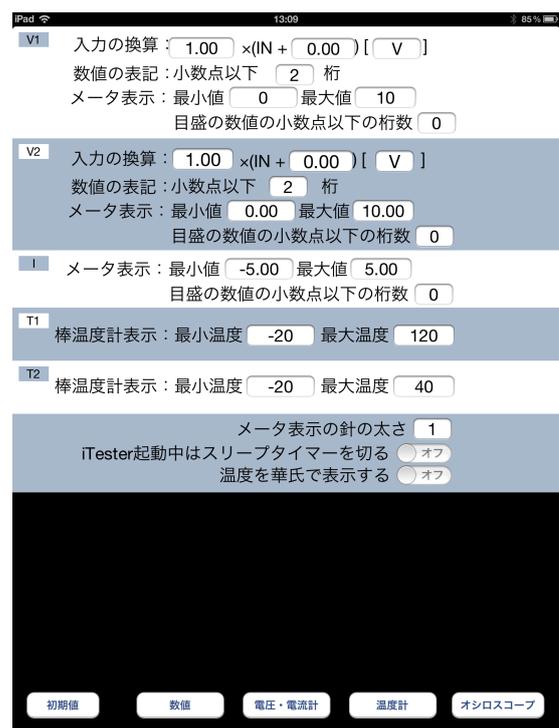


図 7 iTester アプリの設定画面. 電圧入力ゲイン, オフセットと単位や, メータ, 棒温度計の表示範囲などを変更できる.

7. 今後の発展

iTester の貸出先の教員からは今後も使っていきたいとの評価を得ている. それ以外の学校関係者の評価を知るため, 前述の公立小学校で iTester を利用した授業の公開授業に訪れた方たちに質問紙で調査した. 有効回答は 28 名で, 小学校教職員が 15 名, 中学校教職員が 8 名, その他・

無回答が 5 名だった. 28 名の全員が iTester を公開授業前には知らなかった. うち 24 名が iTester を授業で利用してみたいと回答し, 2 名は数値表示やグラフ表示が学習の妨げにならないような使い方でも利用してみたいと回答した. これには前述のように設定で対応できる. 利用してみたいと回答しなかったのは 2 名の小学校教職員だけであった.



図 8 設定アプリから表示する画面を選択する



図 9 試作した微小電流計(測定範囲±3[mA], 分解能0.125[μA]).
写真のコイルと書類止め用磁石で電磁誘導の様子を観察できる。

したがって、iTester の認知度は現在低いですが、今後利用されていくだけの魅力があると考えます。

また iPad と可動コイル形電流計を利用した経験があり、初めて iTester に触れる本学附属小学校の 5 年生の様子を観察したが、教員による児童への説明はそれほど必要なく、すぐに使い方を理解していた。測定範囲の設定については iPad の操作に慣れていない児童が、慣れた児童に任せる場面が見られた。慣れた児童にとっては操作の問題がないようであった。これから iPad のような端末が普及していくことを考えると、従来の計器による実験では不要であった習熟時間がタブレット端末に変わったため必要になることはないと考えます。

iTester を利用した支援学校の教員からは電磁誘導を確認するための検流計として使いたいという要望があった。しかし、表 1 に示すようにセンサユニットの電流入力の分解能が 6.6[mA] であるため、検流計としては利用できない。これについてはセンサユニット外部で電流・電圧変換をし電圧計で測ることで対応した。また微小電流計(測定範囲±3[mA], 分解能 0.125[μA])を試作(図 9)しており、これであれば十分に対応できる。

管理の面では課題が残る。可動コイル形電圧計であれば、機材としては電圧計と被測定回路をつなぐ電線を管

理すればよい。iTester の場合には、iPad, iPad 上のアプリ、Camera Connection Kit(iPad で USB を利用するのに必要)、USB ケーブル、センサユニット、被測定回路をつなぐ電線の管理が必要である。iPad は日常的に使っているのであれば問題は無く、アプリについても十分に利用・検証が進めば問題はないと考える。一方で、故障の可能性がある、しばらく使わない可能性のある機材が 2 つから 4 つへ増えている。いずれも外観では支障が無くても、内部の断線などで動作不良になる可能性がある。実際、著者の一人が観察した授業で、被測定回路とつなぐ電線(外観は問題が無い)の不良を発見するまで試行錯誤に時間がとられる場面があった。理科室にある機材は正常で、児童の作った配線、はじめて使う iTester を疑うという形で動作確認していったが、実際には元からある電線が不良であった。定期的な機材の確認や、問題の切り分けに教員が慣れることがより重要になる可能性がある。

8. まとめ

本論文では、まずタブレット端末 iPad を計器として利用する iTester の開発について報告した。つぎに、実際の小中学校での利用について報告し、今後の展望を述べた。今後 iTester のようなタブレット端末を計器に利用する流れが強まるのではと考えられる。iTester について、ご興味のある方は本学科学教育センターのプロジェクト紹介^{*2}をご覧ください。

謝辞 iTester を利用し利用状況をご報告いただいた先生方ならびに利用していただいた児童・生徒のみなさんに感謝する。

参考文献

- [1] Oscium, A Dechnia LLC.: Oscilloscopes iMSO series, <http://www.oscium.com/oscilloscopes> (2014 年 2 月 17 日閲覧)
- [2] PASCO scientific: SPARKVue HD, <http://www.pasco.com/ipad/> (2014 年 2 月 17 日閲覧)
- [3] 後閑 哲也: 第 4 章 USB ホスト付き大画面タブレットと信号入出力機能付き計測アダプタで作る 10Hz~10MHz, 分解能 1Hz のポータブル周波数特性測定器, トランジスタ技術, 2012 年 9 月号.
- [4] 大阪教育大学: iPad につながる理科実験用センサユニットを開発~教育現場のニーズに応える ICT~, 大阪教育大学プレスリリース, 2013 年 1 月 10 日. (http://osaka-kyoiku.ac.jp/_file/kikaku/kouhou/press_release/2013/130110.pdf)
- [5] 大阪府立視覚支援学校: 電気分野の実験における iPad の利用~電流と電圧の測定(オームの法則), 誘導電流の測定~, <http://www.osaka-c.ed.jp/mou/ipad/ipad2012/zennichi.html> (2014 年 2 月 18 日閲覧)

^{*2} 大阪教育大学科学教育センター 理科実験に iPad を活用する iTester プロジェクト <http://cse.osaka-kyoiku.ac.jp/project/itester.html> また iTester センサユニットの市販もある