

タブレット端末を理科の測定実験に活用する iTester の開発と実践

光永 法明^{†1}

^{†1} 大阪教育大学技術教育講座

学校での理科教育では棒温度計や可動コイル形電圧計・電流計といった計器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が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る。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、その特長を活かし、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。本報告では、まず iTester の開発経緯を述べる。そして、実際の小中学校での利用結果から、表示器としてのタブレット端末の利用が 1) 視認性の面で従来の計器よりも学校教育現場に適していること、2) 従来より精度の高い測定の可能性と、3) 教育の質的な変化をもたらす可能性を報告し、支援学校での利用結果から、4) 計器のユニバーサルデザインの実現について報告する。

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（蛍光表示管）、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（有機発光ダイオード）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されることが多い。また測定器等でも内部にPC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始めている。

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、開発にあたっての検討過程と、開発した iTester を学校で利用した結果を報告し今後の展望を述べる。

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1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。

^{☆1} iTester は大阪教育大学の登録商標です。

さらに棒温度計も、可動コイル形計器も1人で正面から見ることを前提としており、数名で1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、視覚障害を持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良いとする。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良いとし、-10[°C]から120[°C]が測れば良いとする。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、可動コイル形式の計器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。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。電圧・電流については、手回し発電機を高回転させる、逆回転させるなどのほか、いたずらによる仕様外の入力でも、簡単に壊れないように配慮する。具体的には電圧入力抵抗分圧後に保護ダイオードを入れ、計算上はAC 100[V]を短時間入力されても、測定回路だけでなく、分圧抵抗、保護ダイオードも耐えられるようにする。実験的にもDC±30[V]をかけたが破壊していない。電流入力については基板の銅箔厚さを厚くし、ヒューズで保護する。またホール素子を使ったセンサICで測定しているので電流入力と他の測定回路(iPad含む)は絶縁している。

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



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

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, パナナジャック × 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	141mm (W) × 58.5mm (H) × 81mm (D)
質量	約 290g

いずれを組み合わさ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。したがって、現在のところ、総合的に有線接続の方が良いと判断している。

4. iTester の実装

センサユニットには米 Microchip Technology Inc. のマイクロコントローラ PIC18F2553 を採用している。これはワンチップで USB デバイスとして動作し、12 ビットの A/D 変換器を内蔵している。USB デバイスとして動作させるためのサンプルプログラム (C 言語) が Microchip Technology Inc. から提供されており、ファームウェアに利用している。PIC18F2553 に保護回路と電圧リファレンスを組み合わせれば電圧計のみのセンサユニットが構成できる。図1のセンサユニットは、これに電流測定用 IC と熱電対測定用 IC を組み合わせて構成している。

iPad 上のアプリは Objective C で記述しており、アプリケーションの規模としては、それほど大きくなく画面の構成や遷移に難しい点はない。音声通信部分は Core Audio を利用しているが、Core Audio を利用するアプリ開発者は多くないようである。

5. 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



図3 iTester アプリの電圧・電流のメータ表示画面

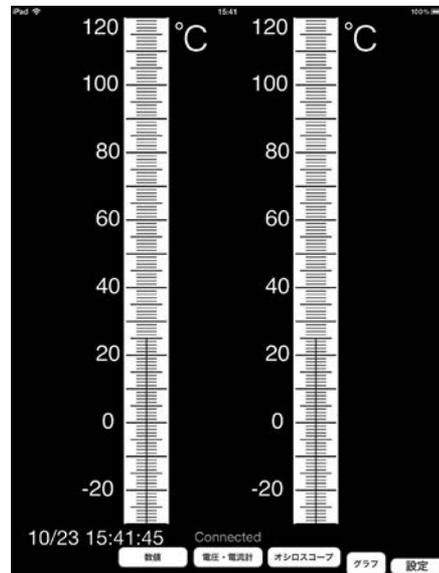


図4 iTester アプリの温度計表示画面

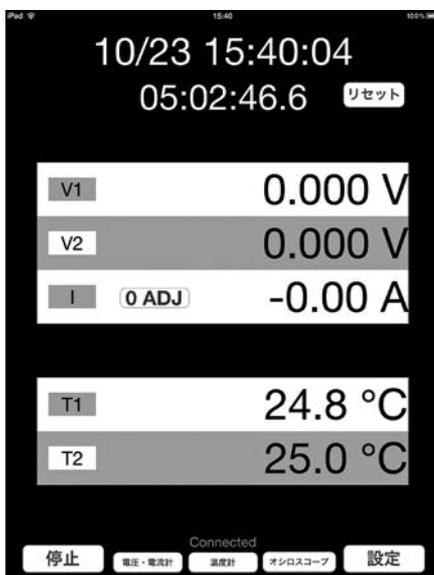


図2 iTester アプリの数値表示画面

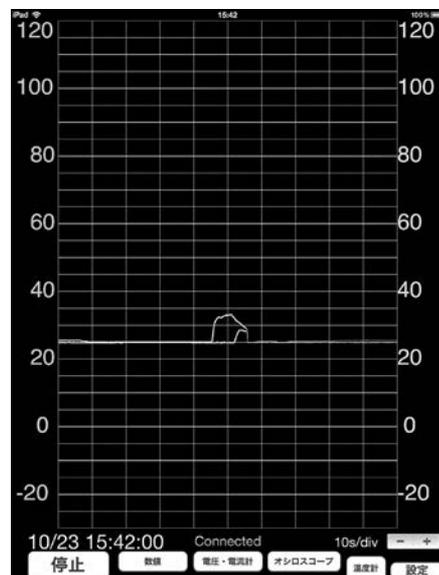


図5 表示自由度を活かした温度の時間変化表示

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に表示自由度を活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トリガ機能は持たず、スイープ表示のみである。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いった用途を考慮してである。

6. 学校での iTester の利用結果

iTesterを2013年1月に発表後[4]、問合せのあった小学校（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（3～5人程度）に1セットでの利用である。公立小学校（第4学年）で沸点の測定と電池の直並列実験（模型用モータ使用）に利用した教員からは、1）画

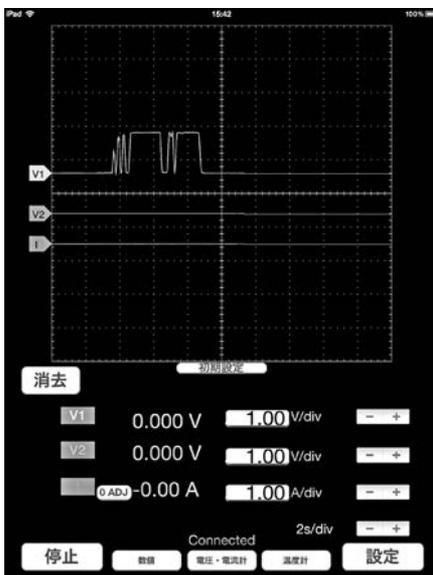


図6 電圧・電流の簡易オシロスコープ表示

面・表示の視認性が良いのでグループでの観察に向き、2) 沸点の測定のための水の加熱中に、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、報告があった。したがって従来の計器よりも、視認性の面で多人数教育をする学校教育現場での利用に適していると考える。

また、よく利用されている棒温度計は全浸没温度計で、温度計の液体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。小学校では液に全体を浸さず、誤差を無視することが多い。それに対しK型熱電対のプロローブは全体を浸す必要はないため、3) 読みと実際の温度の差が減るので良かったと教員の報告があった。報告にはないが従来の計器よりも電圧計の内部抵抗は高く、電流計の内部抵抗は低い。また針を正面か

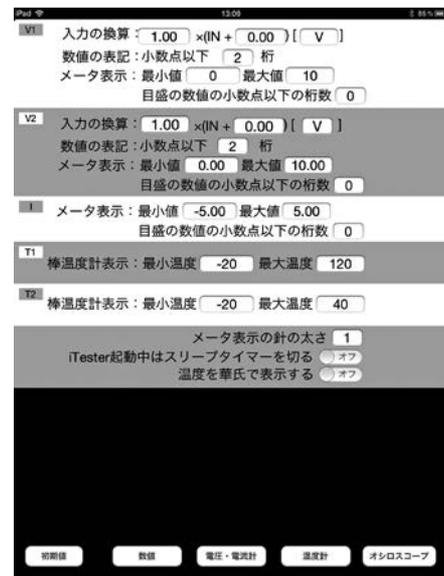


図7 iTester アプリの設定画面。電圧入力のゲイン、オフセットと単位や、メータ、棒温度計の表示範囲などを変更できる



図8 設定アプリから表示する画面を選択する

ら見て目盛りを読む必要がない。したがってセンサ部の構成にもよるが、従来より容易に精度の高い測定ができる可能性がある。

さらに4) メータ表示を数値表示に切り替えられるので、メータの読みの確認が簡単にできるとともに、メータの読みの習得ができていない生徒も実験に参加できるとの教員の声と、5) 温度の時間変化表示により、温度が変わる様子が分かりやすかったという小学生の感想と教員の報告があった。このように表示の自由度が上がることで、教育の質的变化をもたらす可能性がある。

一方、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[μ F]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。

7. 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。したがって、完全ではないが、教育現場での計器のユニバーサルデザインができたと考ええる。

8. 今後の発展と課題

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を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。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られる。

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。一方、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られる。

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、検流計としては十分な分解能がない。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[μ A])を実現(図9)しており、それであれば十分に対応できる。

支援学校での利用から分かるようにiTesterのような方式であれば計器のユニバーサルデザインが可能である。それによって支援学校での学びに特別な機器が不要となる可能性がある。また現在は、従来からの計器の置き換



図9 試作した微小電流計(測定範囲 ± 3 [mA], 分解能0.125[μ A])。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。

え利用であるが、このような方式であれば、温度の時間変化や、電圧・電流の時間変化を小学生でも観察できる。それによって、グラフを描く意味、熱量と加熱時間の関係や、温度差が小さいと温度の変化が緩やかになること（熱量の移動速度が温度差に比例）などを直感的に把握でき、将来の学びにつなげられる可能性がある。今後は、こういった機器の進化をうまく利用したカリキュラムが求められるのではないだろうか。

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良い。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なく、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、故障の可能性があり、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なくても、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（外観は問題がない）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、初めて使う iTester を疑うという形で動作確認していったが、実際には理科室に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。

9. まとめ

本稿では、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。次に、実際の小中学校での利用結果から、1) 視認性の面で従来の計器よりも学校教育現場に適していること、2) 従来より精度の高い測定の可能性と、3) 教育の質的な変化をもたらす可能性を報告し、支援学校での利用結果から、4) 計器のユニバーサルデザインの実現について報告し、今後の展望を述べた。今後 iTester のようにタブレット端

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 の開発に多大なご協力をいただいた、大阪教育大学科学教育センター 仲矢史雄特任准教授に感謝する。また 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8月5日現在)
- 2) PASCO scientific: SPARKvue HD, <http://www.pasco.com/ipad/> (2014年8月5日現在)
- 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ーユニットを開発～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8月5日現在)

光永 法明 (正会員) mitunaga@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

1997年大阪大学大学院工学研究科電子制御機械工学専攻博士前期課程修了。同年同研究科知能・機能創成工学専攻博士後期課程進学。2002年同単位取得済み退学。同年同大学科学技術振興特任教員。2003年博士後期課程修了。同年同大学院工学研究科助手。2004年よりATR知能ロボティクス研究所研究員。2008年より金沢工業大学機械系ロボティクス学科講師。2011年より大阪教育大学教員養成課程技術教育講座准教授。情報処理学会, 日本ロボット学会, 人工知能学会, 日本産業技術教育学会各会員。

投稿受付: 2014年8月5日

採録決定: 2015年2月27日

編集担当: 相田 仁 (東京大学)

☆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.osakakyoiku.ac.jp/project/itester.html> また iTester センサユニットの市販もある。