

Original Article

ステレオマイク入力端子を用いた低コスト 2ch 筋電図バイオフィードバック装置

村岡慶裕^{1,2} 石尾晶代¹ 武田湖太郎²¹ 早稲田大学人間科学学術院² 国立病院機構村山医療センター臨床研究センター

要旨

Muraoka Y, Ishio A, Takeda K. Low-cost 2ch EMG biofeedback device using a stereo microphone port. Jpn J Compr Rehabil Sci 2014; 5:1-6.

【目的】筋電図バイオフィードバック (EMG-BF) 療法を行うためには、高額な装置を購入する必要がある。そのため医療機関によっては購入が困難であり、EMG-BF 療法は十分に普及していない。本研究は、十分な工学的知識を有していなくても自ら部品を調達して、製作することが可能な一般 PC のステレオマイク入力端子を用いた低コスト EMG-BF 装置を開発することを目的とした。

【方法】本装置は、電極、コード、筋電アンプ、マイク入力端子付汎用 PC より構成した。必要最小限の部品数で極力平易な設計とした。

【結果】アンプ本体部の部品数は、20 点程度で容易に入手可能であり、その総額は約 1,600 円であった。製作した機器を用いて、健常成人の橈側手根伸筋と尺側手根屈筋の EMG を PC 画面上に表示することができ、筋収縮量を十分に視認可能であった。

【結論】本装置により、EMG-BF 療法の普及が促進し、臨床現場や自宅におけるリハビリテーションの質の向上をもたらすことが可能であると考えられた。

キーワード: 筋電図モニター、筋電図バイオフィードバック療法、運動学習、ニューロリハビリテーション

はじめに

筋電図バイオフィードバック (以下、EMG-BF) 療法は、Marinacci ら [1] が神経筋再教育に用いて以来、運動学習のための一手法としてリハビリテーション医

療では重要な治療技術の一つとなっている。欧米では広く汎用されているが、日本では使用頻度はまだ少なく臨床研究も乏しいのが現状である [2]。本療法は、筋収縮量を光や音などの知覚信号に変換して患者に提示し、この情報を頼りに制御させることによって目的とするパフォーマンスの向上を図る治療法である。目標とする筋肉の収縮を、促進 (facilitation) させるのか、抑制 (inhibition) させるのかによって大きく分類することができ、その適応は、書痙や顔面神経麻痺、嚥下訓練など多岐にわたっている [3]。また、主働作筋と拮抗筋など複数の筋活動を同期してフィードバックし、各筋肉の収縮や弛緩をトレーニングするなど、複数チャンネルによる EMG-BF [4,5] も行われており、その有効性が確認されている。

EMG-BF 療法には、筋電アンプと視覚や聴覚などへの提示機能を備えた機器が必要である。これらの EMG-BF 装置は、様々なメーカーより、一般者や医療従事者向けに製造・販売されているが、その価格は、数万円から百万円近くにも及び、医療施設において機器購入が困難になっている。2008 年に日本リハビリテーション医学会 [6] が、日本全国のリハビリテーション医療施設 253 施設を対象にして行った関連機器に関する実態調査によると、EMG-BF 機器の施設所有率は 33% となっており、ハバートタンクなど現在ほとんど使用されていない機器と同程度になっている。一方で、購入希望率は、調査を行った運動療法機器 26 機器中最も高く、予算があれば導入が促進される臨床現場のニーズの高い機器といえる [2]。このように、EMG-BF 機器の価格は、EMG-BF 療法の普及の阻害因子になっていると考えられる。そこで、療法士や医師が、患者の自助具を作成するように少ない費用負担で EMG-BF 装置を手軽に自作できれば、EMG-BF 療法の普及を促進し、リハビリテーション医療のレベルアップにつながると考えられる。さらに、患者家族が自作可能となれば、家庭において、より質の高いリハビリテーションの普及にも繋がると考えられる。

本研究においては、工学的知識を十分に有していない医療スタッフらが、自ら部品を調達して製作することが可能な低コストの 2chEMG-BF 装置を開発することを目的とした。

著者連絡先：村岡慶裕
早稲田大学人間科学学術院
〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15
E-mail: y.muraoka@waseda.jp
2014 年 1 月 6 日受理

本研究において一切の利益相反はありません。
本研究の一部は、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の助成を受けて行われた。

方法

1. 装置概要

本装置の構成を図1に示す。本装置は筋電アンプ本体（通常は熱収縮チューブ等で被覆しているが、平易な回路であることを確認できるように、図においては被覆を取り除いた。）、電極、電極コード、ステレオマイク入力端子付パーソナルコンピュータ（以下、PC）より構成され、PC画面に、音声波形表示ソフトを用いてEMG波形やそのパワースペクトラムを表示する。筋電アンプ本体の部品代は、総額1,600円程度であり、その他、電極コードが1chあたり約800円、消耗品である電極が1chあたり約1,300円であった。

2. 筋電アンプ回路

筋電アンプ本体の回路を図2に、その部品表を表1に示す。この筋電アンプ本体は、医療スタッフが自分で組み立てる必要がある。筋電アンプは、1chにつき

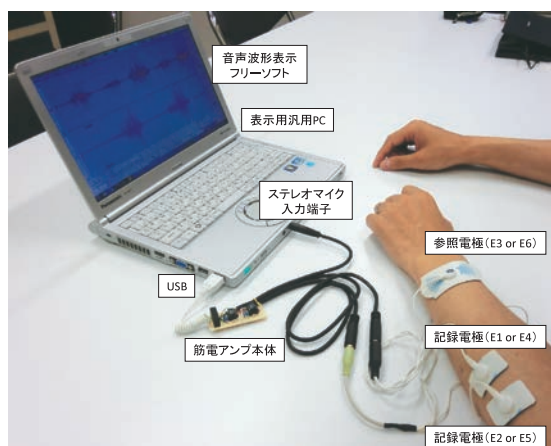


図1. 装置構成

本装置は、筋電アンプ本体、記録・参照電極、電極コード、ステレオマイク入力端子付PCより構成される。PC画面に、音声波形表示ソフトを用いてEMG波形やそのパワースペクトラム、筋収縮レベルメータを表示する。

表1. 2ch筋電アンプの部品・価格表

回路記号	部品名	型番, 規格, 個数	参考価格	小計
基板	ユニバーサル基板	×1	60円/枚	
電源部	IC3 DCDCコンバータ	MAU109×1	370円/個	
	USB-A1 USB電源コード	×1	105円/個	
マイク入力部	Plug3 3.5φステレオプラグ	×1	50円/個	筋電アンプ部 約1,600円
筋電増幅部	R1-4 炭素被膜抵抗	1kΩ×2, 820Ω×2	2円/本	
	C1-6 積層セラミックコンデンサ	1μF×4, 0.1μF×2	15円/本	
	IC1-2 計装アンプ	LT1167×2	400円/個	
	Jack1-2 3.5φステレオジャック	×2	60円/個	
電極(消耗品)	E1-E6 電極2セット入り	HV-3DPAD×1	1,320円/セット	電極部 約3,600円
電極部	低周波導子コード	HV-CODE-A×3	735円/本	
	Plug1-2 3.5φステレオプラグ	×2	50円/個	

筋電アンプ部内訳：電源等共通部：約600円、アンプ：約500円/1ch、

計装アンプ(図2のIC1, IC2: LT1167) 1個を用いた。各アンプには、増幅率調整抵抗(図2のR1, R3) 1kΩを配置し、約50.4倍に増幅した。また、接触インピーダンスの不均衡による直流バイアス電圧の増幅による飽和を避けるために、調整抵抗と直列に、コンデンサ(図2のC1とC2, C4とC5) 1μFを2個並列に配置し、ハイパスフィルタ特性(低域遮断周波数: 79.6 Hz)を持たせた。これにより、直流成分は等倍に抑えられた。シールドルーム内の筋電図検査などでは、EMG検出時の低域遮断周波数は20 Hzと設定されることが多いが、本設計ではEMG-BF療法として用いる訓練室での使用を想定し、商用周波数によるノイズや動作時の基線の揺れを極力除去するために、若干高めめの80 Hzの低域遮断周波数とした。さらに、アンプの出力部に、受動CRローパスフィルタ(図2のR2とC3, R4とC6: 広域遮断周波数: 1940.9 Hz)を配置し、高周波ノイズを低減した。

計装アンプへの電源供給は、利便性を考慮し、PCのUSB端子から得られるようにUSB type-A端子を用いた。絶縁型DCDCコンバータ(図2のIC3: MAU109)はUSB端子からの5V電源を±15Vに昇圧し、各計装アンプに電源を供給した。絶縁型DCDCコンバータは、PCのUSB端子に接続時に、マイク端子のグラウンドレベルと、USB端子のグラウンドレベルが異なった場合に、内部短絡を防ぐために用いた。

アンプへの入力端子は、電極コードを接続する3.5φステレオジャックへ、アンプからの出力端子は、マイク端子に接続する3.5φステレオプラグに接続した。

なお、本装置製作にあたり、抵触する特許権利は存在しない。

3. 画面表示

マイク端子より取り込まれた筋電波形をPC画面上に表示するために、Windows用音声波形表示のフリーソフトをダウンロードし、PCにインストールした。今回はPC画面表示用ソフトとして、ハンディ・オシロスコープ[7](動作OS: Windows 8/7/me/XP)を用いた。PCにMacintoshを用いる場合には、MacintoshのOSに対応した画面表示用ソフトが必要

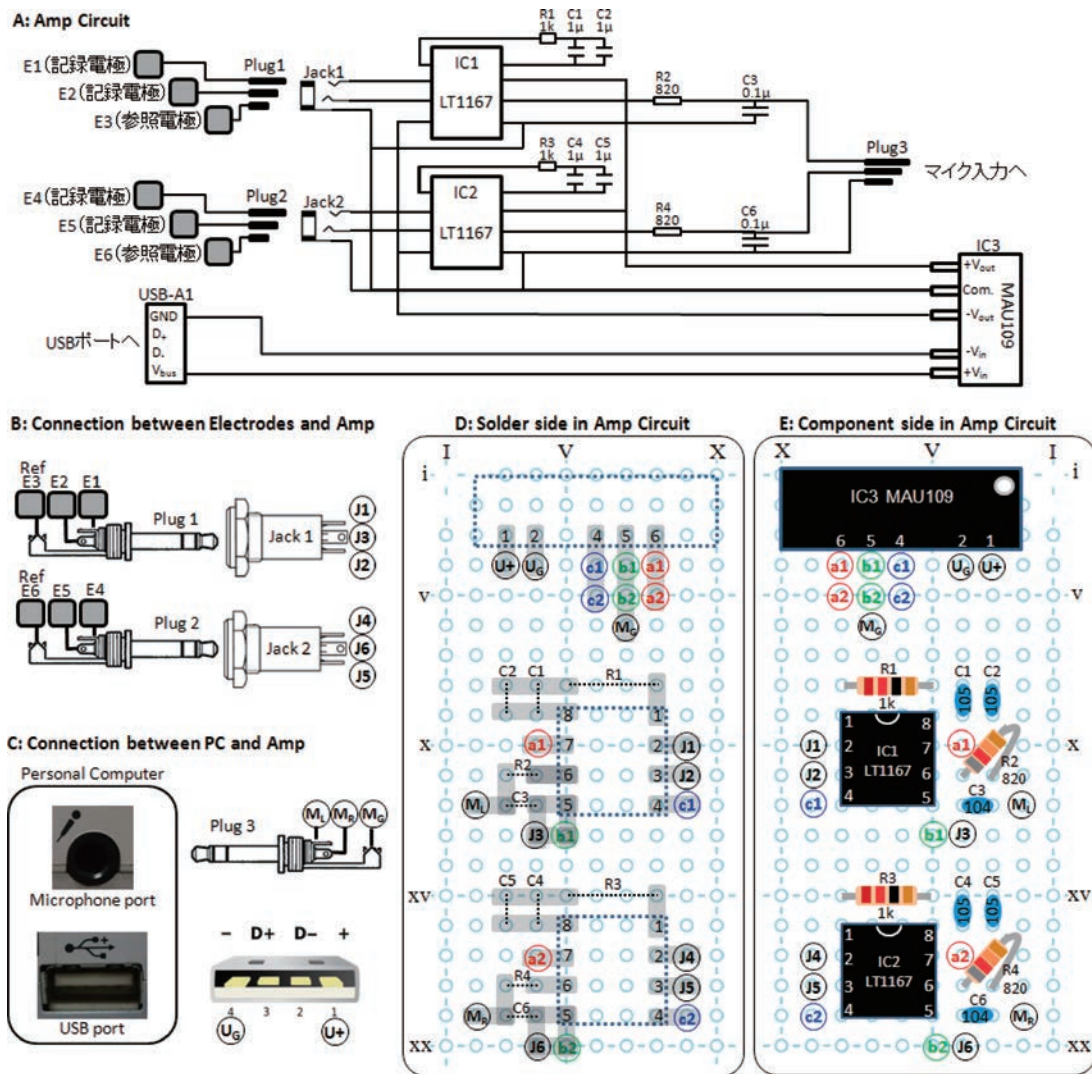


図2. 筋電アンプ回路

A：筋電アンプ回路図。R1-R4 と数値はそれぞれ抵抗と抵抗値 (Ω) を、C1-C6 と数値はそれぞれセラミックコンデンサと電気容量 (F) を示す。B：参照電極（アース）および記録電極（E1-E6）はイヤホン用のプラグとジャックで回路と接続される。各電極は Jack1 および 2 の J1-J6 と対応する。C：筋電アンプからの出力はマイクロホンポートから PC へ取り込まれ、USB ポートからは 5V が筋電アンプへ供給される。D・E：ユニバーサル基板のハンダ面 (D) と実装配置図 (E)。ローマ数字は基板の行番号 (小文字) と列番号 (大文字) を示し、IC1-3 に記載されたアラビア数字は IC のピン番号を示す。○内の記号が同じもの同士をリード線やケーブルで接続する。小文字は回路内の接続部位、大文字はプラグやジャックなどとの接続部位を示す。ハンダ面において灰色で示された部位をハンダ付けする。なお、参照電極は、E3 か E6 の一方のみの貼付で計測可能。

である。

4. 動作確認試験

製作した装置を用いて著者自身が被験者となり動作確認を行った。健常成人男性の左前腕部の橈側手根伸筋（総指伸筋）および尺側手根屈筋の各筋腹に筋電検出用電極各 1 対の計 2 対、手関節背側部に参照電極 1 枚の計 5 枚の電極を貼付し、手関節掌背屈運動および、手指の伸展動作を約 1 秒毎に繰り返し行った。電極は、一般家電量販店でも入手可能な粘着性のオムロン社製低周波治療器用電極 HV-3DPAD を 3 分割して用いた。記録電極のサイズは、約 30 mm×20 mm になるよう

切り抜いた。掌背屈反復運動時に、製作した装置を経由して、PC 画面上に表示された筋電波形をキャプチャし、画像として記録した。

画面表示用の PC は、OS として、Windows 7 の搭載された Panasonic 社製 CF-SX1 を使用した。

結果

PC 画面に表示された筋電波形を図 3、および図 4 に示した。図 3 は、手関節の掌背屈反復動作時の筋電波形であり、上段が橈側手根伸筋の筋電波形、下段が尺側手根屈筋の筋電波形を示している。図 4 は、手指

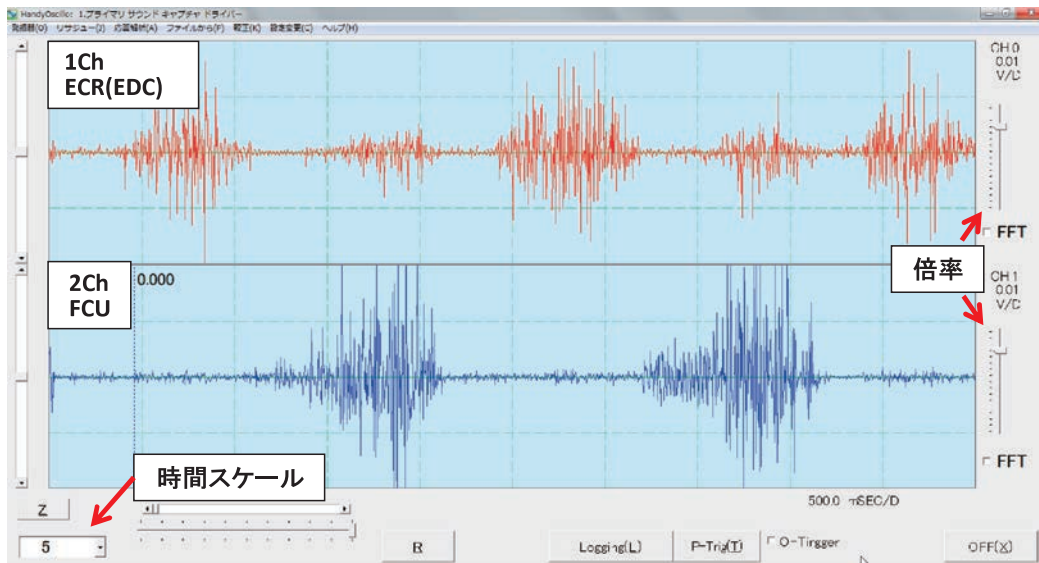


図3. PC 画面に表示された筋電波形 (2ch 表示)
手関節の掌背屈反復動作時の筋電波形. 上段が橈側手根伸筋の筋電波形, 下段が尺側手根屈筋の筋電波形を示している.

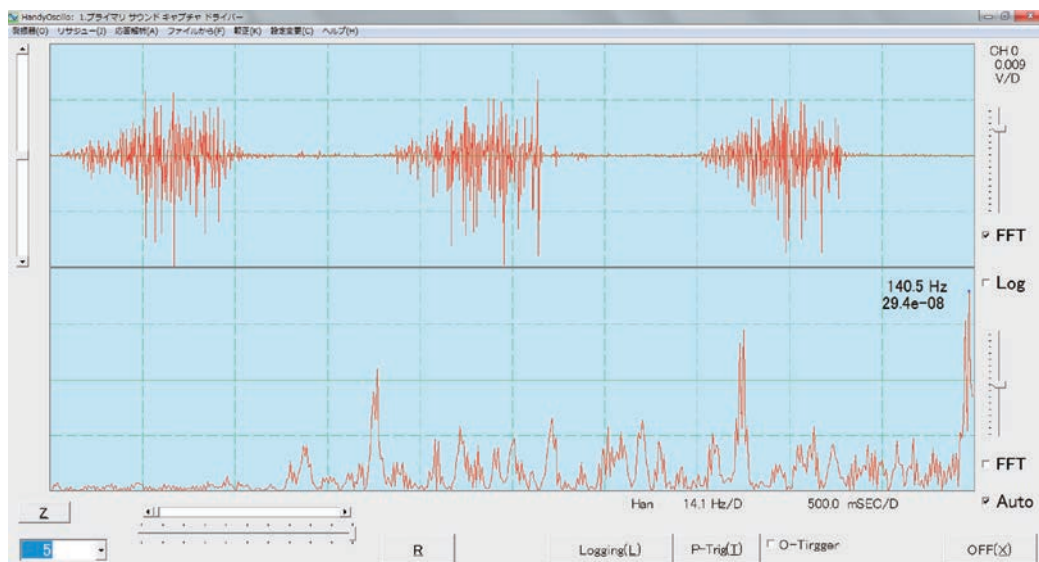


図4. PC 画面に表示された筋電波形とその周波数スペクトル
手指反復伸展時の筋電波形. 上段が筋電波形, 下段がそのパワースペクトラムを示している.

反復伸展時の筋電波形であり, 上段が筋電波形, 下段がそのパワースペクトラムを示している. 両者とも筋電波形の時間スケールは, 500 ms/div に調整した. 振幅のスケールは右側にあるバーにより, 連続的に調整可能であり, 本計測では, 視認しやすい約 10 mV/div に調整した.

ノイズレベルの低い, 良好な筋電波形を表示でき, 筋収縮量を十分に視認可能であった.

Windows 7において, コントロールパネル→ハードウェアとサウンド→サウンド→録音→マイクという順にクリックし, マイクのプロパティを開いた後, 聴くタブを選択し, このデバイスを聴くにチェックを入れて OK をクリックした. その後, 音声出力端子にスピーカあるいはヘッドフォンを接続したところ, 筋電量に

応じた筋電音を確認できた.

考察

今回提案した EMG-BF 装置は, 必要最小限の部品点数により, 極力平易な回路で筋電アンプ部を設計し, 一般個人に普及している PC のステレオマイク端子から 2ch の EMG 波形を入力し, 画面表示した. 筋電アンプ部の部品は, 主要な IC として, 計装アンプと絶縁型 DCDC コンバータの 2 点であり, その他の抵抗器やコンデンサ, USB 端子など細かい素子などを含めても 20 点程度の部品点数であった. また, それらの部品は, 容易に入手可能であることから, 工学知識を十分に有していない医療従事者や一般者であって

も、部品を入手し、製作できるものと考えられる。したがって、これまで施設単位においても、高価で入手することが困難であったEMG-BF装置を複数台所有して、個々の患者の訓練において、使用することが可能になると考えられる。また、患者家族が自作することで、家庭での普及が進み、在宅で、より質の高いEMG-BF療法を行うことが可能になることが予想される。本装置は、低コストで、病院あるいは家庭でのリハビリテーションの質を高め得る、コストパフォーマンスの優れた装置となり得ると考えられた。

本設計は、筋電信号を音声信号と見立てて、マイク端子より入力したことで、インターネット上などに遍在している音声表示ソフトを利用することが可能となった。音声信号と、筋電信号を比較すると、マイク入力の電圧レベルは、通常最大で1 mV程度であり、筋電位が約10 μ Vであるため、筋電信号をマイク入力レベルに相当させるためには、50倍程度の増幅率で十分であった。また、周波数帯域については、可聴音の帯域に相当するマイクの帯域は20-20,000 Hzであり、筋電の帯域20-5,000 Hzを包括している。したがって、サンプリング周波数などを特に意識することなく、筋電位信号全体を検出することが可能であった。マイク端子より取り込まれた筋電位信号は、画面上に表示するのみでなく、スピーカやヘッドフォンなどとリンクするようにソフト上で設定することで、聴覚からフィードバックすることも可能である。

本装置は、ステレオマイク端子を用いたことにより、2chの筋電取得が可能であった。近年、主働筋とその拮抗筋、あるいは、その協働筋など。複数の筋電位を検出し、一方の筋肉を弛緩させながら、特定の筋肉を収縮させるなどのトレーニングの有用性も確認されており、複数チャンネルの筋電バイオフィードバック装置も市販されている。本研究で開発した装置も、そのようなトレーニングに対応できる。

マイク端子から入力し、リアルタイムに世界中に普及している情報通信機器への接続も可能とする。例えば、検出した筋電信号をリアルタイムに遠隔地で観察することも可能であるし、メディアに記録し保存することも可能である。スカイプなどを通じて、遠隔医療も可能とするものであり、医療機関にいる療法士が自宅にいる患者に対し、スカイプ越しに患者の様子を見

ながら、EMG-BF訓練を行うということも可能である。遠隔では、触診による収縮の確認が困難であるため、今回提案したEMG-BF装置を筋電図モニターとして有効に活用できる場面もありうると考えられる。患者自身が自主訓練を行うことも可能であり、在宅でより質の高い訓練が実施可能となる。

近年注目されているニューロリハビリテーションの基本となるEMG-BF療法において、必要不可欠であるEMG-BF装置は、高価であるため医療機関において十分に導入することができず、EMG-BF療法の普及を阻害していた。そこで本研究においては、工学的知識が十分に有していなくても自ら部品を調達して、製作することが可能なマイク入力端子を用いた低コストEMG-BF装置を開発した。本装置により、EMG-BF療法の普及が促進され、臨床現場や自宅におけるリハビリテーションの質の向上をもたらすことが期待される。

文献

1. Marinacci AA, Horande M. Electromyogram in neuromuscular re-education. Bull Los Angeles Nerrol Soc 1960; 25: 57-71.
2. Erik P, Tsujishita M, Nakagawa T. Electromyographic Biofeedback Therapy, Kinpodo; 2010, pp. 1-4. Japanese.
3. Hase K. Electromyographic biofeedback therapy. Sogo Rihabiriteshon 2004; 32: 1167-73. Japanese.
4. Erik P, Tsujishita M, Nakagawa T. Electromyographic Biofeedback Therapy, Kinpodo; 2010, pp. 89-133. Japanese.
5. Shiwa S. Two-channel EMG biofeedback therapy for writer's cramp. Jpn J Biofeedback Res 1996; 23: 7-13, Japanese
6. The Committee of Rehabilitation Devices of the Japanese Association of Rehabilitation Medicine. The result of questionnaire survey about "use frequency and effect of physical therapy devices and occupational therapy devices". Jpn J Rehabil Med 2008; 45: 559-68. Japanese.
7. Handy oscilloscope. Available from: <http://www.vector.co.jp/soft/dl/win95/art/se376225.html> (cited 2013 Dec 13).