

生体情報を利用した信号処理教材の開発に関する研究

職業能力開発総合大学校福祉工学科 花房昭彦, 七尾和之
不破輝彦, 池田知純
職業能力開発総合大学校情報工学科 寺町康昌, 三上直樹
職業能力開発総合大学校東京校生産技術科 下笠賢二

Development of Teaching Materials for Learning Signal Processing that Utilizes Biological Information

Akihiko HANAFUSA, Kazuyuki NANAO, Teruhiko FUWA, Tomozumi IKEDA
Yasumasa TERAMATI, Naoki MIKAMI, Kenji SIMOKASA

Summary

In recent years signal processing becomes an increasingly important technique, as electric equipments like cellular phones and digital appliances become more microminiaturized and highly functioned. It is essential to learn the technique for students who aim at becoming an electronic engineer or instructor. However, the students may feel difficulty to master them, as it is necessary to learn wide range of basic theories and techniques. This paper introduces developed teaching materials for learning signal processing that utilizes biological information. In the material, an electrocardiogram (ECG) is used as a processing target because it is most familiar biological signal and advantages of using signal processing can be demonstrated. The feature of the material is that the students learn not only theory or processing result but "monozukuri" i.e. manufacturing. They learn analog signal processing by designing and assembling their own ECG amplifiers and digital signal processing by developing Windows program using C++ language and the spiral method. Developed teaching materials were used in practices on signal processing I and II of rehabilitation engineering course and the result of questionnaires by the students showed the effectiveness of using an ECG as a processing target. As a result, signal processing technique can be mastered more interestingly and proactively. Also the effect and necessity of signal processing can be recognized more demonstrably and specifically.

1. はじめに

近年、携帯電話、デジタル家電¹⁾を始めとして様々な電子装置の高機能化、小型化が進んできており、それらの装置内で使用される信号処理技術とデジタル化の進展も目ざましいものがある²⁾。電子系の技術者また職業訓練指導員を目指す学生にとって、これらの基礎的な技術を習得することは不可欠であるが、その習得には、アナログおよびデジタル電子回路技術、周波数伝達関数、フーリエ変換、 z 変換などの理論、プログラミングなど多岐にわたる技術の習得が必要であり、敷居が高く感じられていたのではないかと思われる。この課題を解決するためには、これら一連の技術を関連性をもって習得すること

のできる教材を開発することが必要であると考えた。本研究の目的は、実習者自身の生体の情報、主にその生理的な生体信号を利用することによって、より興味深く、信号処理に関連する技術を一貫して習得できる信号処理教材を開発することである。

生体信号³⁾の種類としては、脳波、心電、筋電、皮膚電気反応などがあるが、それらの信号は一般には微弱なためノイズ対策をしながら大增幅する必要があり、また生体に直接電極を装着するため、漏電や感電に対する安全対策が必要であるといった特徴がある。これらの特徴は処理の難しさを示しているが、逆に信号処理技術がこれらの困難を克服するための技術であるという観点からすると、教材の処理対象として適しているということができる。これらの信号は、生体の状態を計測するためには不可欠な信号であり、福祉工学科の学生にとってその信号の性質、特徴、および導出方法、処理方法を学習することは非常に重要である。また対象信号が自らの体から発せられた信号であることから、その処理結果に興味を持って見てもらえるのではないかと学習効果についても期待した。生体信号のうち脳波に関しては、福祉工学実習のなかでフィルタと加算平均処理による誘発電位の解析、時間一周波数解析による α 波、 δ 波の解析を行い、筋電に関しては、全波整流、移動平均、正規化などの処理を行うことにより、主に車いすの駆動動作に関して、駆動時に作用する筋の解析⁴⁾を行った。皮膚電気反応に関しては、心電による心拍変動と共に、自助用マニピュレータの動作が人に与える心理的負担を評価する指標として用いる試みも行った⁵⁾。この心拍変動に関しては車椅子操作時の人体に及ぼす影響の調査にも利用した⁶⁾。またこれら生体信号を、重度障害者が自助用マニピュレータを操作するためのスイッチの入力信号として応用する試みも行った⁷⁾。

本論文では、福祉工学科の4年生の前後期に開講した信号処理実習Ⅰと信号処理実習Ⅱで行った心電を処理対象とした信号処理教材について主に記述する。心電を取り上げた理由としては、福祉工学科の学生にとっては学習することが必須な生体信号であるということの他に、脳波などと比較して計測しやすい、実習者も健康診断などで見慣れているためより興味をひきやすく、正常に計測されているかどうか計測波形をみて判断がしやすい、また信号処理を行った結果の「見える化」を行うことができ、その効果もわかりやすい、といった点が挙げられる。

信号処理の実習教材として取り扱う対象信号としては、一般には特殊な増幅回路の必要の無いファンクションジェネレータで生成した信号や音声を用いる場合が多い。生体工学や医療工学、臨床工学士を対象とした学科では心電の計測、その信号処理を行う実習が展開されている場合もあるが、多くは、心電計測装置や信号処理装置については、市販の装置やソフトウェアを使用している。本研究での教材では、「ものづくり」を体験することも大切であると考え、心電計測を行うための信号処理回路の製作からデジタル信号処理を行うためのプログラム開発までを行う教材とした。このように心電を対象として信号処理の理論、電子回路の設計と製作、ソフトウェア開発の方法までを一貫して学習するような教材の開発は、他には無い試みと考えられる。

信号処理実習Ⅰでは、アナログ回路による差動増幅、フィルタ処理を行うアナログ信号処理部の教材とテキストを作成した。信号処理実習Ⅱでは、Windows上のC++言語を使用して、心電計測回路の出力をA/D変換して計算機に入力し、FIRフィルタによるフィルタリング、FFT処理を行うデジタル信号処理の教材とテキストを作成した。この一連の実習により、実習者自身の手で心電計測回路の設計、製作、信号処理プログラムの作成を行い、自身の心電波形により実験を行うことが可能となる。以下そのアナログ信号処理教材、デジタル信号処理教材の順にその概要を説明する。

2. アナログ信号処理教材

心電計測のためのアナログ信号処理としては、雑音の影響をなるべく受けない差動増幅処理、および雑音を除外するフィルタ処理を行った。また安全のため電源は電池駆動によるものとした。基本的な仕様と回路は提示するものの、使用する抵抗、コンデンサなどの値、回路調整用抵抗の挿入方法、基板パターン設計など、なるべく実習者自身で考え、各自が設計したものを使用するようにした。以下、実習で取り上げた項目を挙げる。

(1) 生体信号の種類と特徴、心電とその計測方法

心電計測では、皮膚を通して心臓に電流が流れるマクロショックと心臓に直接接している電極やカテーテルを通して電流が流れるマイクロショック⁸⁾の危険性があるため、計測時には安全に注意する必要があることを説明する。本実習では皮膚に接着する表面電極を使用するため、マイクロショックが発生する危険性はないが、AC100Vの電源と計測アンプの直流電源側の短絡によるマクロショックが発生すると危険なため、本実習では電池と三端子レギュレータによる電源で駆動する回路とした。

(2) 生体信号伝送時にのるノーマルモード、コモンモード雑音とその対策⁹⁾

シールド線の効果とその使用方法、差動増幅の基本回路について学習する。

(3) 製作する心電計測回路の仕様とその説明

心電計測回路の仕様は、表面電極で導出した心電を0.1~200Hzのバンドパスフィルタにかけ、1,000~10,000倍に差動増幅することである。図1に示すように心電は、手首と足首に電極を設置する第I誘導、または胸部に電極を設置するCM5誘導を用いた双極誘導法¹⁰⁾で測定する。また図2に製作した心電計測回路の基本回路を示す。回路は2次のローパスフィルタと1次のハイパスフィルタからなるバンドパスフィルタと3段の差動増幅回路から構成される。

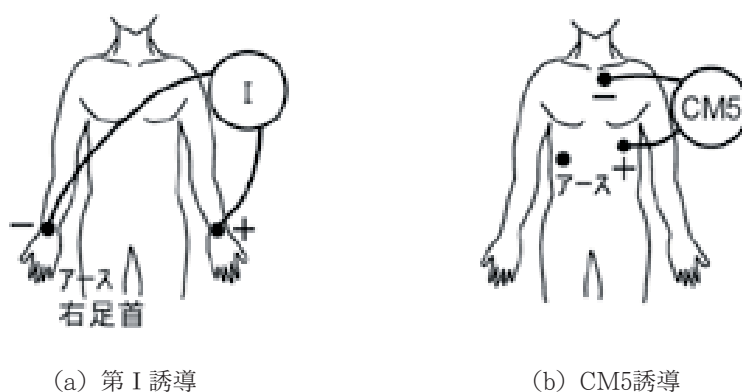


図1 双極誘導法による心電の導出

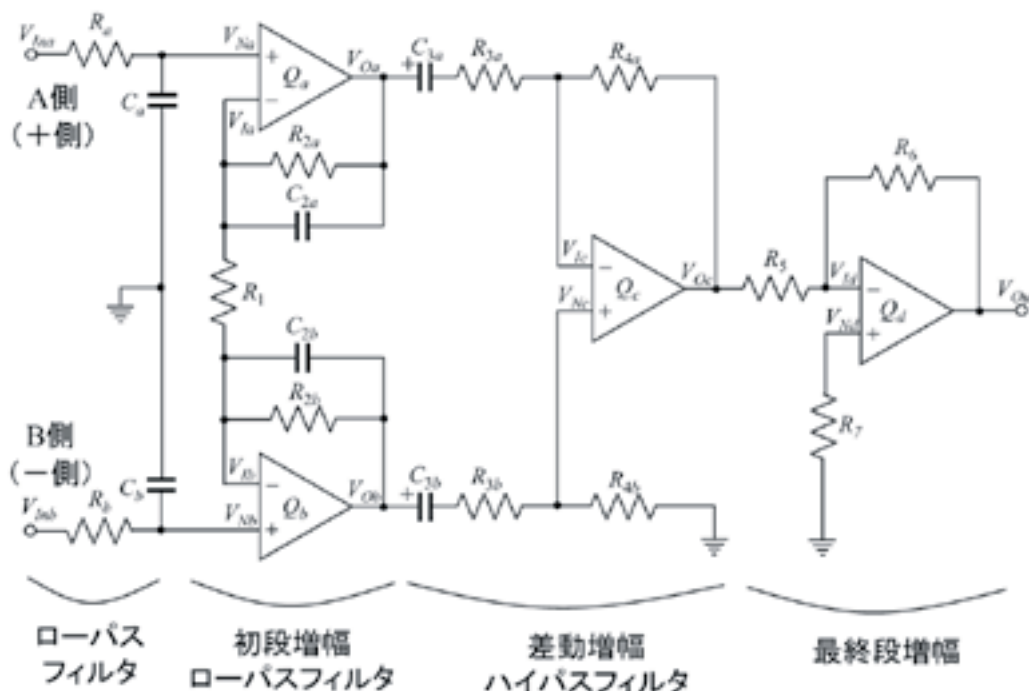


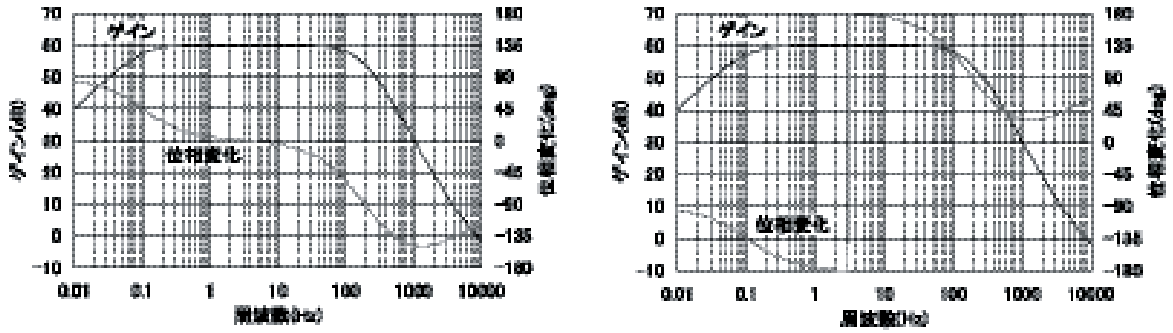
図2 製作した心電計測回路の基本回路

(4) 心電計測回路の設計

電子回路理論の復習を行いながら、机上で周波数伝達関数の導出、周波数特性図の概略の作図を行わせた。また、部品の電気特性のばらつきへの対応が重要であることを認識させ、オフセット電圧、差動増幅バランス調整、ゲインの調整回路の挿入方法の検討を行う。その後、仕様を満たす抵抗値、コンデンサーの値を各自導出させた。以降、各自が異なる値の抵抗値等でシミュレーション、基板製作を行う。

(5) 心電計測回路のCAD入力とシミュレーション

電子回路の設計に当たってはCAEツールが使いこなせることがますます重要となっているため、心電計測回路をOrCAD-PSpice (Cadence社) を利用して入力し、主に過渡解析とAC解析のシミュレーションを行う。各自が自分で計算した抵抗値、コンデンサーの値を使用するため、シミュレーションにより仕様を満足しているかどうかを確認しておく必要がある。主要な端子間 ($V_{Ina} - V_{Na}$, $V_{Na} - V_{Oa}$, $V_{Oa} - V_{Oc}$, $V_{Inb} - V_{Nb}$, $V_{Nb} - V_{Ob}$, $V_{Ob} - V_{Oc}$, $V_{Oc} - V_{Out}$) の周波数特性をシミュレーションにより求め、机上での計算結果との比較を行わせた。以下にA側 ($V_{Ina} - V_{Out}$) およびB側 ($V_{Inb} - V_{Out}$) の入力から出力までの周波数特性のシミュレーション結果を示す。ゲイン変化をみると、A側、B側ともに0.1~200 Hzのバンドパスフィルタとなっており、低域側は+20dB/decの傾き、通過域は+60dBで1,000倍のゲイン、高域側は-40dB/decとなっていることがわかる。またA側とB側の位相変化の差は180[deg]となり、一方が反転される状態となっている。

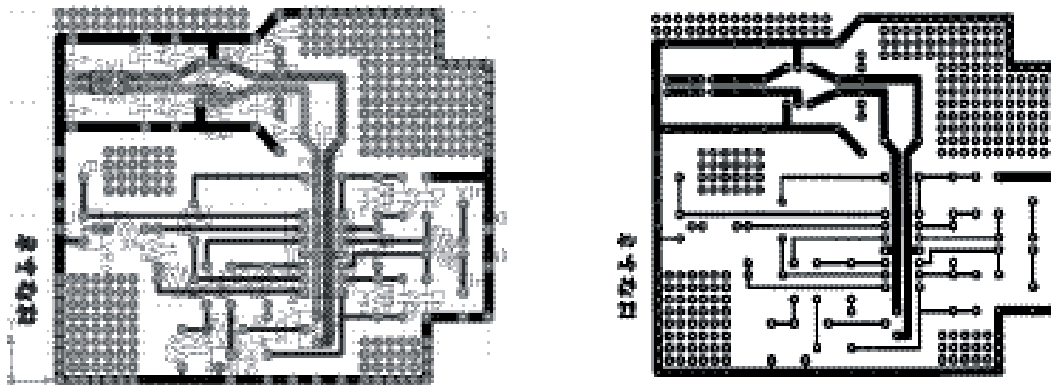


(a) A側 ($V_{Ina} - V_{Out}$) (b) B側 ($V_{Inb} - V_{Out}$)

図3 心電計測経路の入出力間の周波数特性シミュレーション結果

(6) 基板配線パターンとの設計と基板の製作、半田付けによる組み立て

基板も学生各自がパターン設計と露光、エッチング、穴あけ、半田付けを行い、基本的な基板製作方法が理解できるようにした。図4にパターン設計時の画面、露光用のパターン、図5に組み立て後の基板を示す。



(a) パターン設計時の画面 (b) 露光用のパターン

図4 基板のパターン設計例

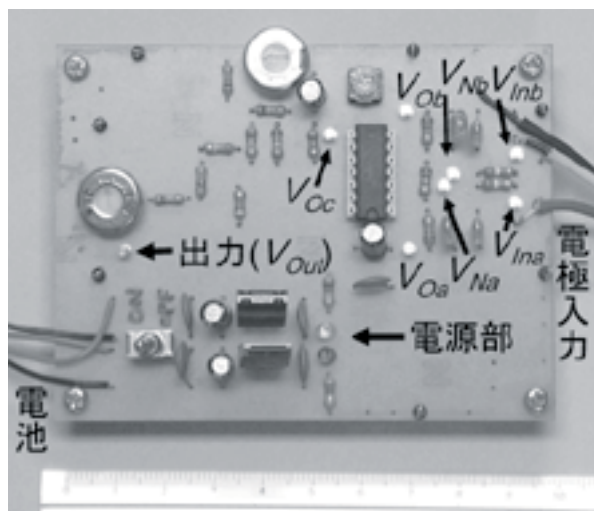


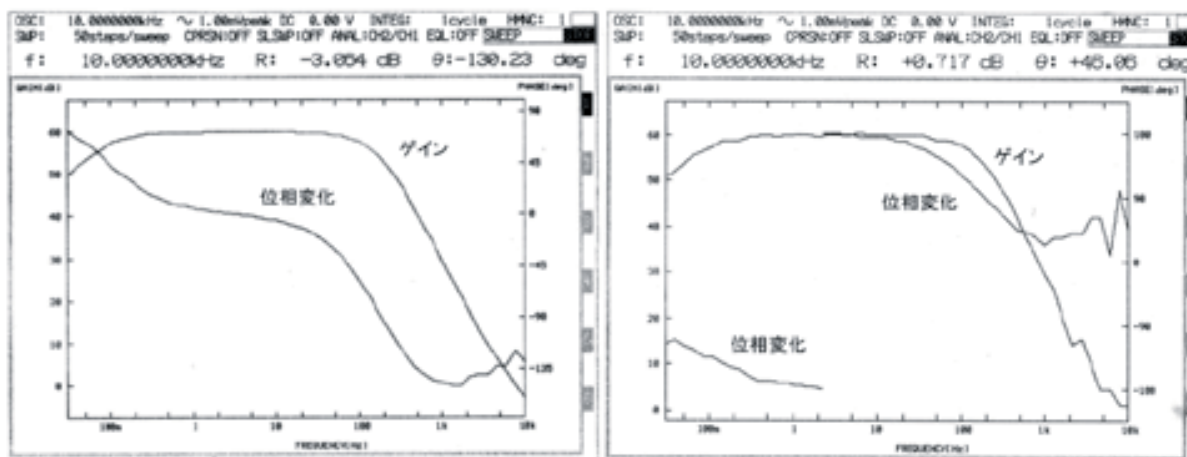
図5 組み立て後の基板例

(7) 製作した回路基板の評価

回路製作では、製作した回路の動作確認、調整、動作しないときのトラブルシューティングの方法を理解させることが重要である。基本的な動作確認は以下の手順によった。

- ICを搭載しない状態で電源部のスイッチを入れ、電源LEDが点灯するか、ICの電源ピンなどに必要な電源が供給されているかどうか確認する。
- ICを搭載して電源を入れ、A側、B側共に0Vを入力したとき、出力が0Vとなるように、オフセット電圧調整用の可変抵抗を調整する。
- B側を0Vにし、A側から振幅3mV、100Hzの正弦波を入力し、出力端子から1,000倍に増幅された正弦波が出力されるようにゲイン調整用の抵抗を調整する。また周波数が0Hzとなる一定電圧を入力したときは出力がほぼ0Vになること、周波数を100Hzから上げていくと出力端子の振幅が小さくなることを確認する。以上でゲインとバンドパスフィルタの機能を確認したことになる。
- A側を0Vにし、B側でも上記と同様の動作確認を行う。
- A側とB側を接続して、同相の振幅3mV、100Hzの正弦波を入力し、出力がほぼ0Vとなるよう、差動増幅バランス調整用可変抵抗を調整する。これで、差動増幅器としての基本動作を確認したことになる。
- この確認動作中、正常に動作しないときには、入力端子側から順に信号を確認してトラブルシューティングを行わせる。

以上の基本動作を確認後、シミュレーションを行った主要な端子間同士の周波数特性を周波数特性計測装置 (FRA5110 NF回路設計ブロック) にて計測し、結果を比較する。以下にA側 ($V_{Ina} - V_{Out}$) およびB側 ($V_{Inb} - V_{Out}$) の入出力間の周波数特性計測結果例を示す。周波数2kHz以上で位相特性に多少乱れが観測されるが、シミュレーション結果とほぼ同じ特性が得られていることがわかる。



(a) A側 ($V_{Ina} - V_{Out}$)

(b) B側 ($V_{Inb} - V_{Out}$)

図6 心電計測回路入出力端子間の周波数特性計測結果

(8) 心電の計測

ディスプレイ電極 (Ambu社P-00-S) を手首に装着した第 I 誘導法および胸部に装着したCM5誘導法により、心電を計測した結果を図7に示す。サンプリング周波数は1 kHzで、第 I 誘導法では約8,000倍、CM5誘導法では約2,000倍に信号を増幅した結果である。第 I 誘導法の信号は、心臓より遠位のため信号レベルが小さく、増幅率を大きくするためSN比も小さくなる。CM5誘導法では心電図のP, Q, R, S, Tの各波が観測可能である。このアナログ信号処理で除去しきれないドリフトとハム (電源) ノイズは、デジタル信号処理で除去を行う。

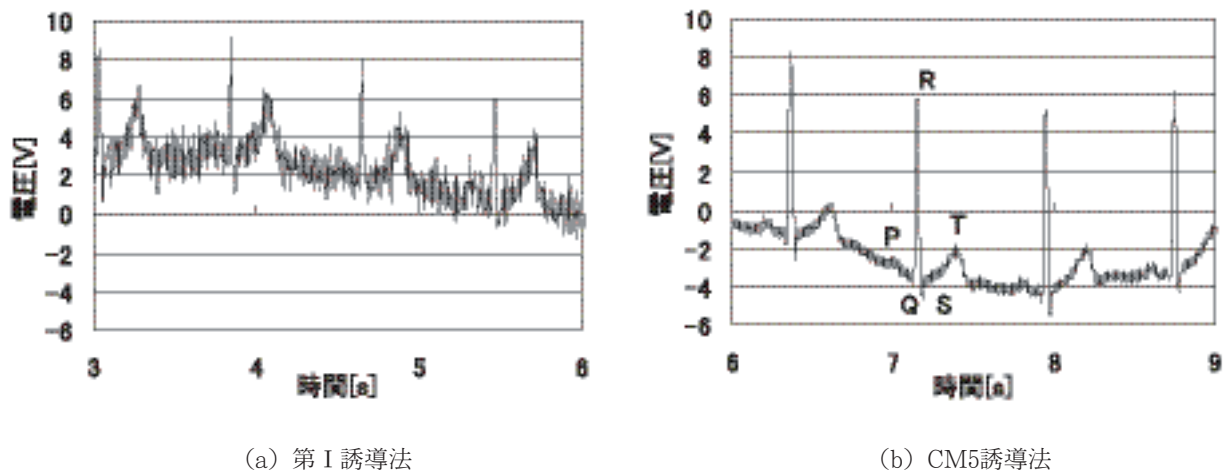


図7 心電計測結果

以上の実習により、学生各自が設計した回路を、各自が設計した基板上に実装して、各自の心電の計測を行うことが可能となる。また心電を中心とした生体信号の種類と特徴、雑音の種類とその対策方法、差動増幅回路とフィルタ回路、アナログ回路の設計手法、シミュレーション、基板の作成とその評価の一連の作業を学習することが可能である。

3. デジタル信号処理教材

デジタル信号処理では、AD変換による標本化の方法、 z 変換、FIRフィルタ、DFT、FFTなどのデジタル信号処理の理論¹¹⁾を学習するだけでなく、Windows上のC++言語を使用して信号処理プログラム¹²⁾を作成することにより、C/C++言語、Windowsプログラミングについても学習することを目的としている。そのため、図8に示すように理論修得、プログラム開発共にスパイラル方式で学習していく教材とした。また作成するプログラムのダイアログもビルディングブロック式とし、プログラムの各部をダイアログ上のブロックに分けて積み上げていながら完成させる方式とした。以上より無理なく多くの機能を持ったプログラムを完成させることができるため、実習者の達成感も上がることが期待される。

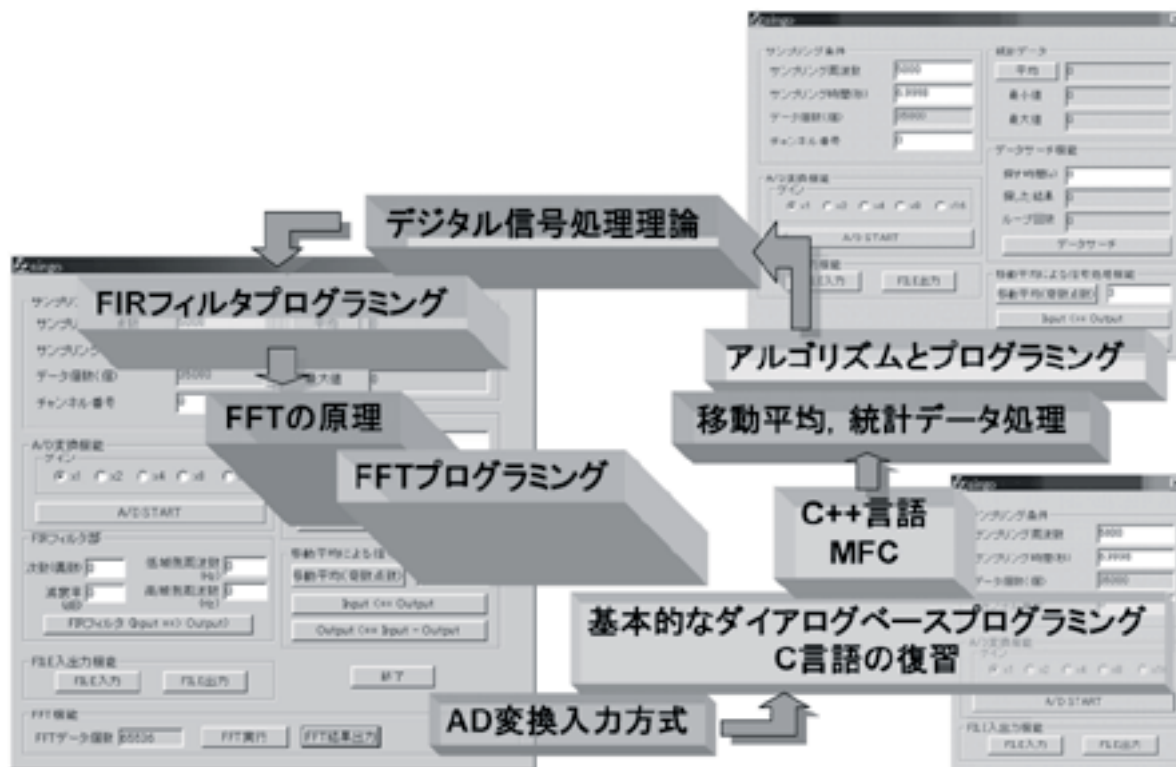


図8 スパイラル方式により学習するデジタル信号処理教材

まずAD変換入力のプログラミングを行い、AD変換による標本化について学習するとともに、C言語の復習と基本的なダイアログベースのプログラミングの方法を学習する。このダイアログベースのプログラミングはWindows上のVisual C++ (Microsoft社)を使用しているため、C++言語とMicrosoft Foundation Classes (MFC)の基本についても学習する。次に移動平均処理、データの平均値、最小値、最大値、データをサーチするといった基本的な統計処理、データ処理のアルゴリズムを学習するとともに、そのプログラムを作成する。移動平均処理はFIRフィルタの一種であるため、次に学ぶデジタル信号処理理論とFIRフィルタへの導入ともなる。次の段階ではz変換、その伝達関数と周波数特性の求め方、FIRフィルタについて学習し、バンドパスの機能を持つFIRフィルタを作成する。最後にDFT、FFTの原理を学習し、FFTのプログラミングを行う。これらC/C++言語で作成した信号処理のための関数はDSPのプログラムへの応用¹³⁾も可能である。この実習を通して、作成した信号処理プログラムにより各自計測した心電の信号処理結果を確認することにより、信号処理の効果や意味合いの理解が深まるようにした。以下各内容について記述する。

(1) AD変換プログラムの作成と心電波形のAD変換による取り込み

AD変換ボードにはINTECO社製RT-DAC4/PCIを使用した、12bitのAD変換回路が搭載されており16CHの入力が可能である。またゲインのプログラムによる設定も可能である。その他12bit4CHのDA変換回路、32bitデジタルIOポート、4CHエンコーダ入力回路、32bit2CHタイマー/16bit2CHカウンターが搭載されている。このタイマーにプリセットした値が0となることを利用して、サンプリング周期を計測した。

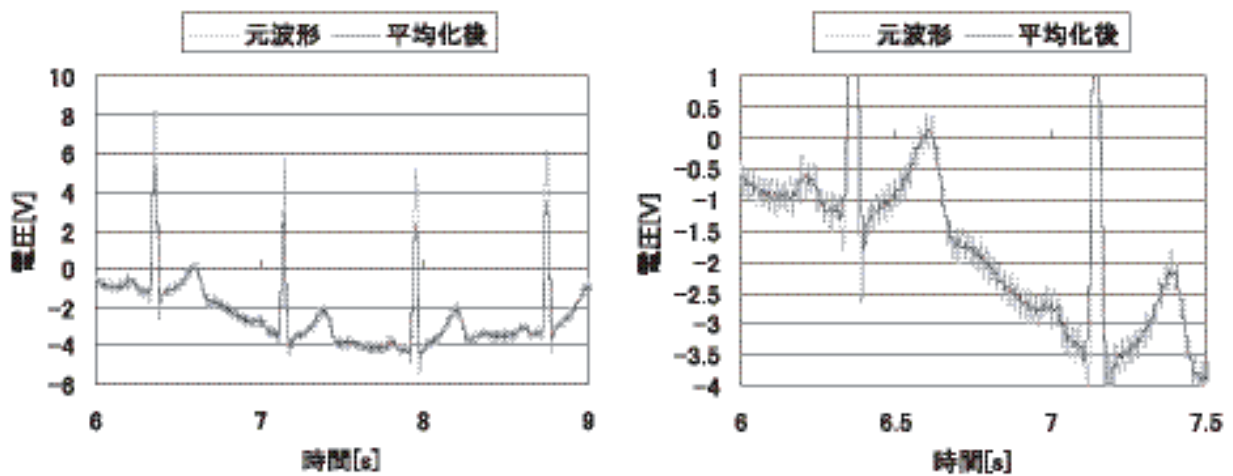
プログラムにはコンパクトなネイティブコードが出力可能で、高速な処理の可能なMicrosoft

Foundation Classes (MFC) を用い、ダイアログベースのWindowsプログラミングを行った。取得したデータをCSV形式でファイル出力する機能、入力する機能も設け、後ほど作成するデジタル信号処理でそのデータを利用できるようにした。アナログ信号処理の実習で作成した基板を利用して、心電を本プログラムにより入力する。このとき、サンプリング周波数を変えた時に入力波形がどのように変わるかを観測させ、取得した波形の周波数の数倍程度のサンプリング周波数が必要なことを示す。

また、構造体を中心としたC言語の復習とC++言語の拡張部分についても実習する。主にクラスとクラスの継承機能を中心に行い、複素数クラス、複素数クラスを継承した四元数クラスに関しての演習も実施した。

(2) データの平均値、最小値、最大値を求める関数、データサーチ関数、移動平均関数の作成

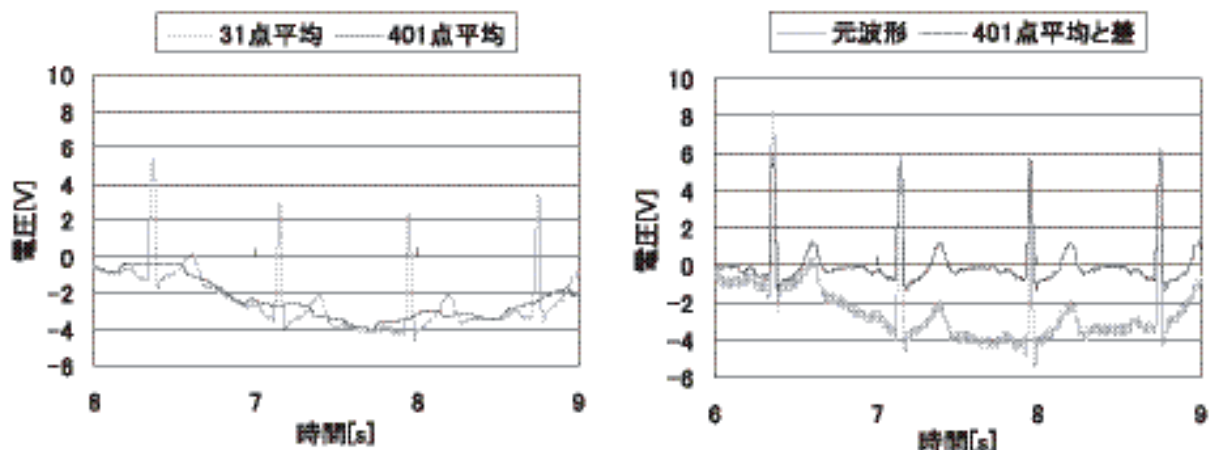
データの平均値、最小値、最大値を求める関数、データサーチ関数、移動平均関数など基本的なデータ処理を行う関数を作成してプログラムに組み込む。これら基本的なデータ処理のためのアルゴリズムを学習する。また移動平均を利用することによって、計測した心電のハム雑音が除去可能なこと (図9)、さらにドリフト成分を抽出し、元の信号との差を取ることによって、ドリフト雑音も除去できることも示す (図10)。ローパスフィルタの機能とハイパス機能のフィルタを実現したことになる。ただし、この移動平均処理は積和演算の全係数値を等しくしたFIRフィルタであるが、この簡単な係数値を用いる手法ではR波のピーク値が約3V小さくなってしまう。



(a) 6～9秒部分の表示

(b) 6～7.5秒部分の拡大表示

図9 31点 (30ms) の移動平均によりハムノイズを除去



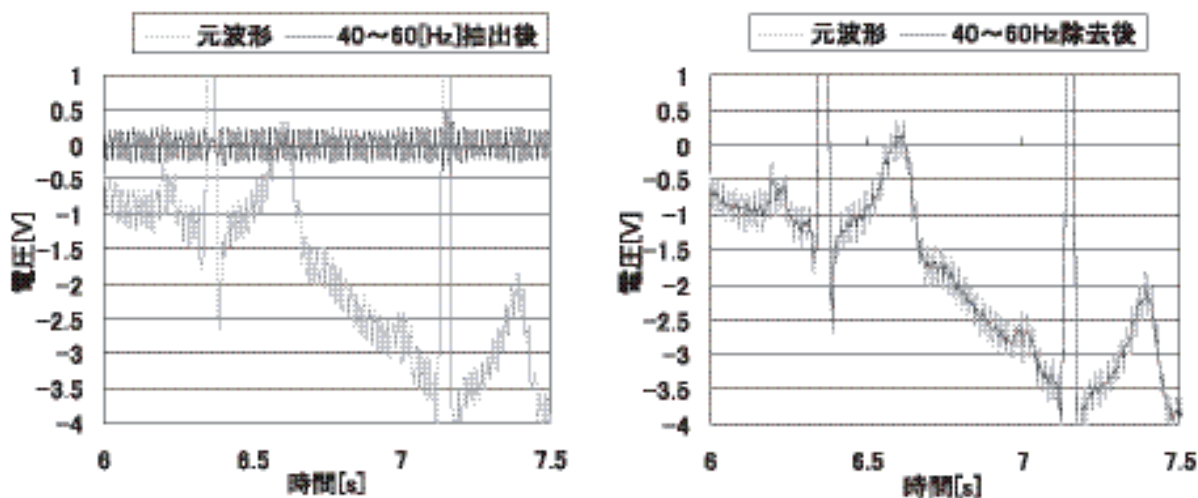
(a) 401点移動平均

(b) 401点移動平均との差をとった結果

図10 さらに401点（400ms）の移動平均によりドリフト成分を抽出後、除去

(3) デジタル信号処理理論の基礎の学習とFIRフィルタプログラムの作成

デジタル信号処理の差分方程式、 z 変換、伝達関数と周波数特性図の求め方など基本的な理論の学習、およびFIRフィルタと所望の周波数特性を得るための係数値の求め方の学習を行う。その後FIRフィルタによるバンドパスフィルタプログラムを作成する。高域側と低域側の遮断周波数、および次数と遮断領域のサイドローブの減衰量（窓関数の形状を変化）も指示可能とした。まず1, 10, 100, 1,000Hzを重ね合わせた正弦波のデータを入力して、作成したフィルタにより分離可能なことを確かめさせた。また次数を変化させて実行することにより、FIRフィルタでは処理したい周波数に相当する周期分以上のデータ数（次数）が必要なことを理解させる。心電波形を入力して、40~60HzのバンドパスFIRフィルタでハムノイズの抽出と除去（図11）、その後1~200HzのバンドパスFIRフィルタでドリフト雑音の除去（図12）可能なことを示す。心電のPQRST波を明瞭に観察することが可能となり、移動平均を使用した図10（b）と比較するとR波の振幅も元波形の振幅の大きさを保っていることがわかる。



(a) 40~60Hzバンドパスフィルタ抽出後

(b) 元波形と40~60Hz抽出波形との差

図11 計測した心電に40~60HzのバンドパスFIRフィルタ（次数1000）をかけ、ハムノイズを抽出し、その後除去した結果

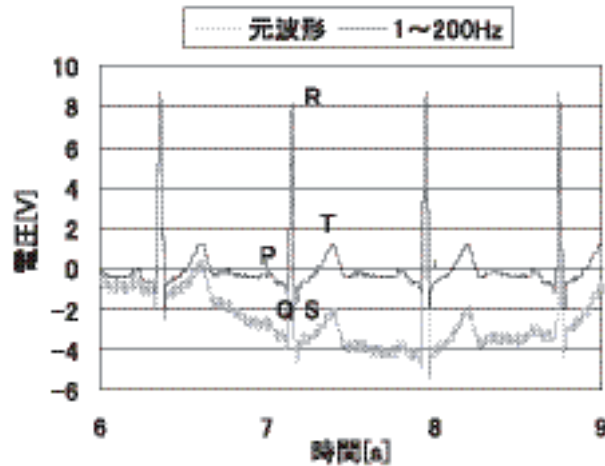


図12 さらに1～200HzのバンドパスFIRフィルタをかけた結果

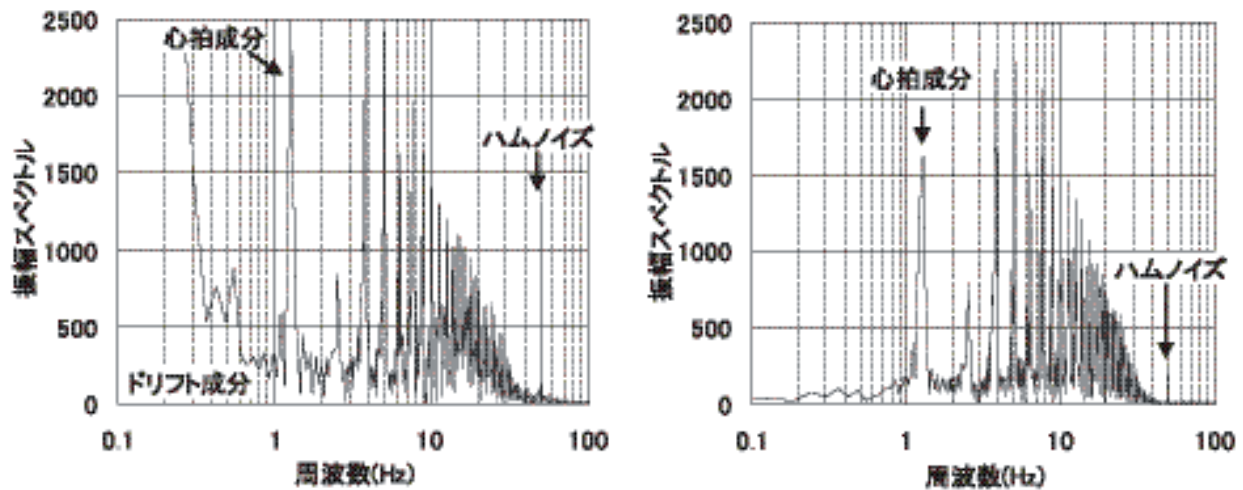
(4) DFT、FFT理論の学習とFFTプログラムの作成

DFT、FFT理論の学習を行った後、これまでのダイアログに組み込む形でFFTのプログラムを作成する(図13)。まず1, 10, 100, 1,000Hzを重ね合わせた正弦波のデータを入力してスペクトラム解析を行った時に、その周波数でピークが現れることを確認する。心電波形に対してもFFTを実行してスペクトラム解析を行い、どの周波数成分の強度が大きいかを確認する。元波形に対して実行した結果と、図12に示す40～60Hz除去後、1～200HzのバンドパスFIRフィルタをかけた波形に対してFFTを実行した結果を図14に示す。元波形に存在する1Hz以下のドリフト成分、50Hzのハムノイズ成分がFIRフィルタ実行後には大幅に低減されていることがわかる。また最初の1.3Hzのピークが心拍周期を示している。その後の、2.6, 3.8, 5.1, 6.3Hzの引き続くピークはこの心拍の基本周波数の高調波成分を示す。

以上の実習により、デジタル信号処理の基本理論と信号処理プログラミングの方法だけでなく、C++言語の基本やWindowsプログラミングの方法も学習することが可能となる。また計測した心電に対して処理を行い、その効果を「見える化」することにより、より具体的に理解させることが可能となった。



図13 FIRフィルタ、FFTの機能を組み込んだプログラムのダイアログ画面



(a) 元波形に実行した結果

(b) 40~60Hz除去後、1~200HzのバンドパスFIRフィルタをかけた波形に実行した結果

図14 FFTの実行結果

4. アンケート結果

実習を受けた学生の評価として、マークシート方式のアンケートが開始された平成15年度から平成17年度までの結果を以下に示す。回答者数はアンケート実施時の出席状況により、受講者数よりも1～2名少なくなっている場合がある。各項目は基本的には、良かった5点、まあ良かった4点、普通3点、やや不満2点、不満1点の加重平均の結果であり、点が高いほど良い評価であることを示す。あなたの取り組みについては、出席度、予習、復習、積極的に取り組んだか、基礎学力は充分だったかという実習に取り組む姿勢に関する項目、授業の内容については、理解できたか、課題や準備は適切だったか、授業は計画的だったか等の項目、授業方法については、教員の授業はわかりやすかったか、学生の理解を確認しながら進めていたか、質問に的確に答えていたか等の項目、有用性については将来役に立ちそうか、さらに学習したいかの項目、実験実習については、教材はわかりやすかったか、教員の指導は適切だったか、設備・器具は充分だったか等の項目に関するアンケートであり、総合評価は全体としてどうだったかという総合的な評価である。

表1 授業評価アンケート結果

	信号処理実習Ⅰ(アナログ信号処理)			信号処理実習Ⅱ(デジタル信号処理)		
	15年度	16年度	17年度	15年度	16年度	17年度
回答者数	12	9	9	11	10	7
あなたの取り組みについて	3.3	3.4	3.4	3.6	3.3	3.3
授業の内容について	3.9	4.5	4.1	4.1	4.0	3.7
授業方法について	4.1	4.9	4.2	4.1	4.1	3.8
有用性	3.9	4.4	4.1	4.0	4.3	4.1
実験実習について	4.1	5.0	4.6	3.9	4.4	4.5
総合評価	4.3	4.9	4.1	4.3	4.8	3.6

総合評価などの結果によると、平成16年度の評価が最も高く、平成17年度の結果が最も低い結果となった。徐々に評価が高くなっていくのが望ましいが、平成17年度の評価が下がってしまった理由としては、総合評価に1名だけ1点の不満と記入した学生がおり、学生数が少ないためその影響が平均に現れたこと、教員側の反省点として多少慣れが生じて緊張感が下がった可能性があることが挙げられる。授業方法について、有用性について、実験実習については、3.8点以上の評価でおおむね高い評価が得られたと考えられ、全学の平均点と比較すると約0.5点は高い評価のようであった。ただし、あなたの取り組みについて、授業の内容について、の評価を詳細にみると、積極的に取り組んだかどうかについては平均で3.9点と比較的高かったものの、基礎学力は充分だったかについては3.3点、授業の内容は理解できたかについては3.4点と他の項目より低く、学生にとっては授業方法や教材は適切で積極的に取り組めたが、それでも内容については多少ハードルが高く感じられたようであった。

レポートに書かれた感想の一部を以下に示す。心電を課題として取り上げることにより興味深く取り組めたこと、信号処理の必要性や、自ら考えることの大切さ、大変さを認識できたことを示す感想を得られたのではないかと思う。

- 心電波形は身近であり、今まで身体検査で行ってきたことを自分たちの手で実習の中でできたことはよかった。
- 心電図のとり方を学べたので、これからはどれが心電の波形かわかるようになった。

- 自ら抵抗値やコンデンサーの値を、仕様を満足するように考え、さらにコンピュータでシミュレーションを行い、配線図を考え、プリント基板を製作し、実験を行うといったおおがかりな実習でした。大変な部分もありましたが、最終的に心電波形を観測したり、周波数解析装置を使って仕様を満足した周波数特性を観測できて良かったです。
- いろいろと忘れていた部分があり、今後の社会で必要になると思われるので、よく復習するべきだと感じられた。
- 精密機器の回路にはノイズが入りやすく、医療機器を製作することはとても大変な作業であることがわかりました。実際に心電計測回路を作成し、様々な測定機器を用いて心電図を計測することができて勉強になりました。
- 計測結果に対してなぜそのような結果となったのか、その原因を考える力の乏しさを感じた。このようなことで設計などの技術系の職につくことは、甘い考えであると自覚している。
- アナログフィルタについてこれまで数回実習で取り組んできましたが、2次、3次フィルタを設計したことはとても勉強になりました。来年度から電子系の職につくことに決まりましたが、私に足りないことはまだまだたくさんあります。この実習の経験は今後必ず活きると思いました。

5. まとめ

本研究で開発した教材により、学生各自がアナログ信号処理用回路と基板の設計、製作を行い、自身の心電の計測をしてスパイラル方式でデジタル信号処理とプログラミングの学習を行うことが可能となった。また計測した心電に対して信号処理を行い、その処理効果の「見える化」を行った。その結果、信号処理に関して、学生がより興味深く、その処理の意味と効果、必要性を具体的に理解できるようになったと考えられる。

ただし、前提条件となる基礎的な知識が不足している、あるいは忘れていることにより、充分理解できない学生もいたので、復習する部分も取り入れながら実習を進めていく必要性のあることが判明した。

謝 辞

本研究は平成15年度～17年度の組織研究「生体情報を利用した信号処理教材とCAE教材の開発に関する研究（組22）」の補助を受けた成果の一部です。

信号処理の対象として心電を取り上げることについては、元職業能力開発総合大学校 福祉工学科教授、現神奈川工科大学 工学部教授の磯村恒先生のご発案で、基本回路も磯村先生によるものです。本実習の展開と実施に関して、ご協力とご指導いただきましたこと、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 浅見直樹, "2000年代のエレクトロニクス産業 デジタル家電時代の幕開け そしてネットに", 日経エレクトロニクス創刊35周年特別編集版, pp.176-179,2006.
- 2) 菊池隆裕, "次世代ケータイ1Gビット/秒の青写真", 日経エレクトロニクスno.907, pp.83-103,2005.
- 3) 内山明彦, "医用電子工学", 昭晃堂, pp.10-28,1997.
- 4) Akihiko Hanafusa, Motoki Sugawara, Teruhiko Fuwa, Kazuyuki Nanao, Kohji Itoh, Tsuneshi Isomura, Naoki Suzuki, Yoshito Otake, "Muscular Force Evaluation of the Entire Propulsion Period by Human Model Using the Wheelchair Propulsion Analysis System", The First International Conference on Complex Medical Engineering - CME2005, pp.548-553,2005.
- 5) 佐々木丞太, 花房昭彦, 不破輝彦, 塩田泰仁, 鷺田浩子, "自助用マニピュレータの動作生成とベッド上の被験者に与える影響に関する研究", 第3回生活支援工学系学会連合大会(第21回ライフサポート学会大会)講演予稿集, pp.35, 2005.
- 6) 大口智暁, 花房昭彦, 七尾和之, 不破輝彦, "車椅子操作時の生理的変動の計測", 第11回職業能力開発研究発表講演会予稿集, pp.141-142, 2003.
- 7) 池田知純, 鷺田浩子, Zulkefli Bin Ab Manan, 依田光正, 垣本映, 花房昭彦, 七尾和之, 塩田泰仁, "生体信号を利用した自助用ロボットシステムの開発", 第18回ライフサポート学会大会講演予稿集, pp.36,2002.
- 8) 池田謙一, 谷島一嘉, 石田明允, 古川孝, 高杉成一, 野城真理, 宮崎信次, 田中博, "医用電子工学", コロナ社, pp.267-269,1980.
- 9) 遠坂俊昭, "計測のためのアナログ回路設計", CQ出版, pp.104-121,1997.
- 10) 阪本捷房, 保坂栄弘, "ME〈医用工学〉入門", 東京電機大学出版局, pp.61-75,1974.
- 11) 三上直樹, "デジタル信号処理の基礎", CQ出版, 1998.
- 12) 秋月影雄, 松山泰男, 吉江修, "C言語/デジタル信号処理", 培風館, 1989.
- 13) 三上直樹, "C言語によるデジタル信号処理入門", CQ出版, 2002.