ヒト心身状態の計測技術

―― 人に優しい製品開発のための日常計測 ――

工 学 博 士　牧川　方昭
博士（工学）　吉田　正樹
博士（工学）　南部　雅幸　共著
博士（工学）　塩澤　成弘
博士（保健学）　岡田　志麻

コ ロ ナ 社

ま　え　が　き

現在のわれわれの健康管理は定期的な健康診断と，体に不調を自覚した際の病院，診療所での診察に頼っているのが現状である。体重/体脂肪計，歩数計，家庭用血圧計はずいぶん普及したが，日常生活におけるさまざまな体調の変化を定量的にモニタするまでには至っていない。特にわが国を筆頭に，世界の先進国では社会の高齢化が急速に進展しており，いかに高齢者の健康寿命を延伸するかが，国の大きな課題となっている。日常生活における体調の連続的かつ長期にわたる計測技術の開発と，複数かつ長期にわたる健康データの中から異常の徴候を未然発見する技術の開発は，今後も生体医工学分野の大きな課題の1つである。

一方，われわれの暮らす社会は情報化，高度化が長足の勢いで進んでおり，これまでのようなヒトと機械の関係ではすまない事態も出現しつつある。ロボットが高齢者の介護をする未来像がよく語られるが，家庭内にロボットが入り込む状況と工場内でロボットが働く状況とは本質的に異なる。工場におけるロボットのユーザであるヒトは，ロボットの仕様，動作，危険性を熟知したインテリジェンスの高いプロであり，しかもロボットの周りには安全柵が設けられている。そのため，ロボットはヒトにかまうことなく，プログラムに従って動作を続けることができる。一方，家庭内のロボットのユーザは，ロボットに関してアマチュアであり，かつ心身ともに弱者である場合がほとんどである。このような状況において，ユーザの安全，快適性を保証しつつ，ロボットがタスクを実行できるためには，ロボットにユーザの快/不快の検知，ユーザの行動意思の計測など，ロボットにヒトを思いやる機能を装備させる必要がある。ロボットが家庭に入るためにはヒトと機械の関係に大きなパラダイムシフトが必要である。

以上の2つの例以外にも，日常ヒト計測の必要な場面は数多く想定でき，多

くの企業で，このヒト計測技術を自社の製品に取り込もうとしている，あるいは健康計測分野に進出しようとしている。本書はそのような日常生活のさまざまな場面での生体計測を実現したいと思っている大学生，大学院生，企業の研究者の入門書として著したものである。

1 章では，日常生活における各種生体信号の計測の目的，方法，留意点について解説した。2 章では，電撃事故について，そのメカニズムと防止対策について解説した。3 章では，抵抗，コンデンサ，コイルを中心に，生体計測に不可欠な電子回路の基礎技術について解説した。4 章では，OP アンプを中心に，生体計測に必要な電子回路技術について解説した。5 章では，日常生活における生体計測を中心に，生体信号発生のメカニズム，生体センサの計測原理について説明した。6 章では，日常生活のさまざまな場面での生体計測を可能とするための携帯型ディジタル計測システムの設計方法について解説した。7 章では，日常生活における生体計測の 4 つの事例を紹介した。8 章では，本書のまとめとして，近未来の生体計測を解説した。

本書が，この分野の研究の一助になればと願っている。なお，電子回路の記号については，1996 年の国際電気標準会議 IEC（International Electrotechnical Commission）の結果を受けて，1997 年に制定された日本工業規格の電気用図記号 JIS C 0617 に基本的に従うこととしたが，機能を想像しにくい記号，いまだにより広く普及している記号なども多数あり，一部，旧記号を使用した部分もある。付録 A.1 に対応表を示すので，適宜，参照されたい。

2010 年 8 月

著　　者

目　　次

1. は じ め に

1.1　日常計測の目的 …… 1
1.2　日常計測システムの概要 …… 3
1.3　生体計測方法の分類 …… 5
1.4　生体センサの分類 …… 6
章　末　問　題 …… 8

2. 生体の電気の安全

2.1　エネルギーに対する人体反応と極限値 …… 10
2.2　電気ショック事故のメカニズム …… 12
2.3　電気に対する安全確保の方法 …… 16
2.4　計測機器の安全と設備の安全 …… 18
章　末　問　題 …… 21

3. 基礎電子回路

3.1　抵　　抗 …… 23
3.1.1　オームの法則とキルヒホッフの電流/電圧則 …… 23
3.1.2　重ね合わせの理と鳳–テブナンの法則 …… 31
3.1.3　ブリッジ回路とひずみゲージ …… 36

3.1.4 抵抗の交流応答 …… 38
3.2 コンデンサ …… 39
3.3 コイル …… 44
3.4 複素インピーダンス …… 48
章末問題 …… 58

4. 生体計測のための電子回路

4.1 OPアンプとは …… 59
4.2 差動増幅器 …… 69
4.3 フィルタ回路 …… 74
4.4 生体計測でよく使うその他の回路 …… 80
章末問題 …… 84

5. 生体電極と生体センサ

5.1 生体電気信号の計測 …… 86
5.1.1 心電図発生のメカニズムと心電図計測法 …… 87
5.1.2 筋電図の発生メカニズムと筋電図計測 …… 94
5.1.3 脳波の発生と脳計測 …… 97
5.1.4 眼電位の発生と眼電位計測 …… 100
5.1.5 胃電図の発生と胃電図計測 …… 101
5.1.6 電気インピーダンスの計測 …… 104
5.2 電極 …… 107
5.2.1 皮膚表面電極 …… 108
5.2.2 静電容量結合型電極とドライ電極 …… 109
5.3 雑音の発生と対策 …… 112

5.4　生理計測センサ …… 118
5.4.1　血 圧 の 計 測 …… 119
5.4.2　容積脈波，酸素飽和度，血流の計測 …… 123
5.4.3　呼　吸　計　測 …… 127
5.4.4　体　温　計　測 …… 129
5.5　日常歩行計測を例とした運動センサ …… 131
5.5.1　慣 性 セ ン サ …… 133
5.5.2　関節運動の計測 …… 137
5.5.3　外 力 の 計 測 …… 140
5.5.4　活 動 量 の 計 測 …… 141
章　末　問　題 …… 143

6.　日常生活モニタシステム

6.1　ワンチップマイコンを使った日常生活モニタ装置 …… 144
6.2　アナログ回路との結合 …… 148
6.2.1　グラウンドの取り方 …… 148
6.2.2　A/D 変換と接続方法 …… 149
6.3　どこまでアナログ回路による前処理を行うか …… 154
6.3.1　シグナルコンディショニングと較正 …… 154
6.3.2　PC と の 連 携 …… 158
6.4　近距離ディジタル通信と BSN …… 161
6.4.1　近距離ディジタル通信 …… 161
6.4.2　BSN …… 163
6.5　電池と長時間計測 …… 165
章　末　問　題 …… 167

7. 日常生活計測

7.1 睡 眠 計 測 …… 168
7.1.1 PSG 計 測 …… 169
7.1.2 PSG 計測による快適寝具の評価 …… 172
7.1.3 簡易な睡眠計測手法 …… 174
7.1.4 呼吸計測による睡眠状態の推定 …… 175
7.2 焦電型センサ，ドアスイッチなどを組み合わせた日常生活モニタリングシステム …… 178
7.3 筋電図を用いた日常生活における下肢筋活動量の評価身体活動計測 …… 181
7.4 身体活動計測 …… 185
7.4.1 ジョギング支援システムへの応用 …… 186
7.4.2 加速度データを用いた歩行中の体重心軌跡の算出方法 …… 190
章 末 問 題 …… 192

8. お わ り に

付 録 …… 196
A.1 JIS C 0617 電気用図記号（1997） …… 196
A.2 医用機器，設備の表示記号 …… 198
引用・参考文献 …… 199
章末問題解答 …… 201
索 引 …… 221

1 はじめに

本章では，日常生活における各種生体信号の計測の目的，方法，留意点について説明する。生体の内部で起こっている種々の現象の計測は，非常に複雑であり，物理学，化学などで行われる計測とはずいぶん様子が異なる。**生体計測**の難しさに留意しながら本章を読み進めて欲しい。なお，以後，頻繁に使用するので，「日常生活におけるヒトの各種生体信号の計測」を**日常計測**と短く称することとする。

1.1 日常計測の目的

まず，日常計測が求められる生活場面について考えよう。**表 1.1** に日常計測の対象となっている，あるいは期待されている項目を示す。

表 1.1 日常計測の対象となっている項目

1) 診断のための日常データの提供
2) 異常徴候の未然発見のための健康監視
3) 事故の未然防止のための発作監視
4) 持続治療のためのセンシング
5) より日常的で，自然な状態での診断データの提供
6) 新しいマン–マシンインタフェース
7) ヒトの快/不快の定量評価

表 1.1 の項目 1) は診断のための日常生活における生体信号の提供であり，その典型として**ホルター心電計**（Holter monitor）†が挙げられる。不整脈はいつ

† 1961 年に Norman J. Holter によって開発された携帯型長時間心電図記録計である。不整脈，虚血性心疾患の診断に用いられる。

起こるかわからないため，数日間，日常生活における心電図を連続して記録し，長期の心電図データの中から，心機能の異常を発見する。

2) は，日常計測研究の目的としてよく掲げられるもので，数年，数十年にわたる生体信号を記録しておけば，異常徴候が見いだしやすくなる，というものである。ただ，日常計測技術が未熟なこともあり，この異常徴候の未然発見が可能かどうか，ユーザの自覚症状の出現以前に異常徴候が発見できるのかどうかは今後の研究に任されている。

3) は，事故の未然防止のための発作監視に日常計測を使用する場合である。例えば，運転中の交通事故の一定数は突然の心不全による意識喪失であるともいわれる。循環器系の疾患は突然起こる場合が多い。その予兆が検知できれば，自動車を自動停止させるなどの事故回避が可能であろう。

4) は，患者の持続的な治療のためのセンシングが挙げられる。慢性疾患の場合，定期的な来院時の診断に頼っているのが現状であり，患者の日常病態の変化をつねにモニタできれば，より的確な治療が可能になる[1)†1]。

5) は，病院での診断力を向上させるために，日常計測を用いたいとの要求である。医師は，患者の定期的な来院時の診断情報，検査情報しか利用できないのが現状であり，情報学的には時間的に不連続なデータから生体システムの内部状態を推定することに等しい。初めて診る患者より，子供のときからずっと見守ってきた患者に対してのほうが，より正確な診断ができることはよく知られた事実である。時間的に連続したデータのほうが，診断がより正確になることは当然であろう。

6) は新しいヒトと機械のインタフェースとして日常計測技術を使用する場合である。日常計測技術を四肢麻痺患者の環境制御[†2]のコントローラとして使用しようとする研究は古い。また，すでに脳波でコントロールするゲームが市販されている。この例に限らず，日常計測技術は，よりよいヒトと機械のインタ

---

†1　肩付数字は巻末の引用・参考文献番号を示す。

†2　正確には生活環境制御である。TV の on/off，カーテンの開閉，照明の調整など，寝たきりの患者の生活環境を自らがコントロールできる技術。

フェースをもたらしてくれるものとして，多くの研究が開始されている。

7) は，ヒトの快/不快の定量計測への応用である。現在，商品の善し悪しは，主観的なアンケート調査によっているが，ヒトの気分を生体信号として計測できれば，より的確な商品評価が可能となろう。快/不快だけでなく，ヒトの笑い，悲しみなどの感情計測が可能となれば，テレビ番組の視聴者の感想がオンラインでテレビ局に集まるかもしれない。

1.2　日常計測システムの概要

さて，この節では，日常計測システムのハードウェアについて考えよう。前節で解説したように，日常計測では長期に連続した生体信号のモニタが必要な場合，1 日 1 回程度の計測で十分な場合，機械とのインタフェースとして用いられる場合の 3 つの場合に分けて考える必要がある。後者 2 つの場合には据置き型あるいは設備や大がかりな装置に組み込むことが可能であるため，大きな電力が必要な計測も可能であるが，第 1 の場合には，ヒトがつねに身につけて負担を感じない程度に小型軽量化，省電力化しなければばらない。

図 1.1 にこれら 2 つの日常計測のためのハードウェア構成を示す。図 (a) が据置き型の日常計測システム，図 (b) が携帯型の日常計測システムである。いずれの場合も**電極**（electrode）あるいは**センサ**（sensor）で受けた生体信号を**シグナルコンディショナ**（signal conditioner）†で増幅，雑音除去した後，**A/D 変換**（Analog/Digital conversion，アナログ/ディジタル変換）することによってディジタルの世界の信号に持ち込むことは同じである。しかし，携帯型の場合，システムを小型軽量化，小電力化しなければならないため，システム開発は難しくなる。ただ，現在のワンチップ化されたコンピュータ・チップには A/D 変換機能が内蔵されている場合が多く，また省電力化が進んでいる。近い将来，

† アナログ信号の増幅器，不要な周波数成分を除去するフィルタなど，アナログ信号を処理する機器の総称。

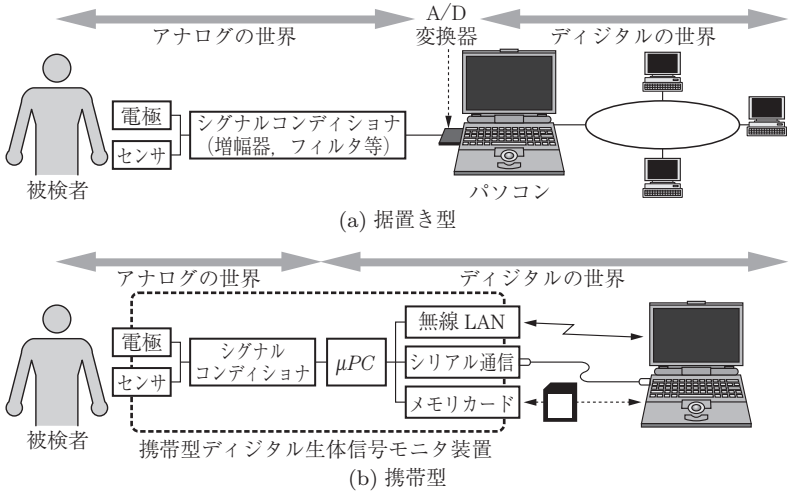

図 1.1　生体計測システムの構成

マイクロプロセッサを内蔵し，ディジタル信号を無線出力する**生体センサ**†も出現するであろう。また，このインテリジェント化された生体センサのネットワークによる 24 時間健康見守りシステムも実用化するであろう。

図 1.2 に据置き型，設備組込み型の日常計測システムの概念図を示す。この図に示されるように，近未来の社会の姿は，住居，自家用車など，ヒトをとりまくあらゆる設備，機器，装置に生体センサが組み込まれ，ヒトの健康，安全を見守り，さらにすべての生体センサ情報が社会ネットワークによって結合し，

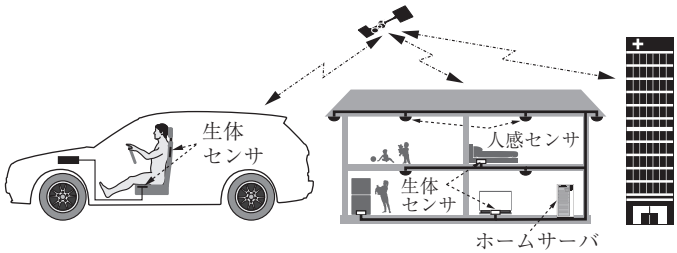

図 1.2　据置き型，設備組込み型の日常計測システムの概念図

† “センサ” 以外に **トランスデューサ**（transducer，変換検出器）なる用語が用いられることも多い。

医療機関，防災センターなどの後方支援機関と連携するような安全・安心な社会の実現である。

1.3　生体計測方法の分類

次に，日常計測に限ることなく，広く生体計測全般について解説する。**図 1.3** は生体計測を分類したものである。図に示されるように，生体計測は，1) 電極あるいは生体センサによって，生体から発する情報を取得する計測，2)，生体の波動媒体としての特性を利用した計測，3) 生体から採取した標本による計測の 3 つに分類できる†。

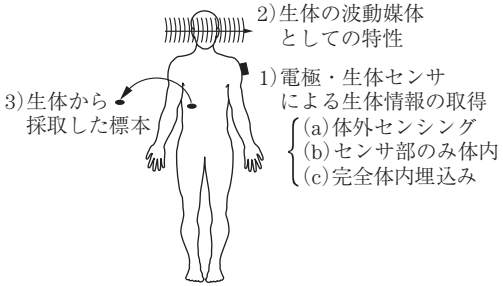

図 1.3　生体計測の分類

このうち，分類 3) は病院で実施される**検体検査**であり，血液，尿，呼気ガスなどの検体に対する検査である。日常計測では対象となりがたい側面もあるが，家庭用の血液検査キット，尿検査キットなども市販されており，**MEMS**（micro electro mechanical system）技術の進展に伴い，これから日常計測に大きく発展する可能性がある。

分類 2) の波動媒体としての特性を利用した計測としては，波動として X 線を用いる**単純 X 線撮影**，**X 線 CT**（X ray computer tomography），超音波を用いる**超音波エコー**（ultrasonography）などが挙げられるが，装置が大規模

† 教科書によっては，分類 1) の電極・生体センサによる計測を，生体から発する情報の計測と，センサによる生体の物理，化学量の計測の 2 つに分ける場合もある。

で，また生体にエネルギーが流れるため，日常計測ではあまり用いられることはない。

したがって，分類 1) の電極，生体センサによる計測が日常計測の主体となる。**表 1.2** に分類 1) の電極・生体センサによる生体情報の取得に関して，主な計測項目を挙げた。ところで，この分類 1) の計測は，用いる電極・生体センサの設置方法の違いによって，さらに図 1.3 に示したように，(a) センサと処理/記録回路全体が体外に位置する場合，(b) センサが体内に，処理/計測回路が体外にある場合，(c) センサならびに処理/記録回路全体が体内にある場合に細分できる。もちろん，(b)，(c) は罹患（りかん）した患者に対して実施される。

表 1.2　主な電極・生体センサによる日常計測

計測項目	電極・生体センサ
生体電気	電極
血圧	ダイヤフラム型圧力計，カフ圧迫による非観血血圧計など
血流	電磁血流計，超音波血流計，プレスティモグラフなど
肺換気	気流速計，スパイロメータなど
呼吸	酸素計，炭酸ガス計，ガス検出器，pH 電極，イオン電極など
体内音	マイクロホン，振動ピックアップなど
運動	変位計，角度計，ロードセル，加速度計，張力計，光位置センサなど
温度	電子体温計，熱流計，赤外放射温度計，サーモグラフィなど
湿度	湿度センサ，水分量計など

1.4　生体センサの分類

表 1.3 に**健康寿命の延伸**の観点から，現在，日常計測の対象となる，あるいは対象となりそうな計測対象と項目をまとめた。表は，基本的に，1) 家庭内事故防止，2) 健康維持・向上管理，3) 予防の観点で分類したが，計測項目は，ユーザの年齢，性別，職種ごとに大きく異なるため，グループごとに，計測目的，計測対象をまとめた。また，同じ計測対象であっても，計測目的が異なる場合には重複記載した。なお，表には当面計測方法が不明なものも記載している。技術の進化，疾病メカニズムの解明が進むにつれて計測が可能となろう。また，

索　　引

【あ】

アーク放電 *15*
アース *9*
アーチファクト *154*
アイソレーションアンプ *116*
アセンブラ言語 *147*
圧受容器 *91*
圧電型加速度センサ *133*
圧電セラミック *136*
アドホックネットワーク *164*
アドミタンス *55*
アナログ乗算器 *105, 126*
安静時狭心症 *90*
安全限界 *11*
アンチエイリアシング *155*

【い】

閾値電流 *14*
位相シフタ *106*
胃電図 *101, 102, 103*
イベント心電図 *91*
インダクタンス *45, 55*
インピーダンス *16, 52, 55, 66, 68, 106, 110*
インピーダンス変換 *66, 67*
インピーダンス・マッチング *29, 31*

【う】

運動指令 *12*
運動負荷心電図検査 *90*

【え】

エイリアシング *150, 155*
腋窩温 *129*
エネルギー消費 *141, 187, 188, 189*
エネルギー不滅の法則 *24*
エポック *170*
エリアシング *150*
演算増幅器 *59*

【お】

オーディオ入力端子 *158*
オシロメトリック法 *119, 121*
オフセット *59, 157, 190*
オフセット電圧 *75*

【か】

回転型可変抵抗器 *137*
外部雑音 *113*
顎筋電図 *116*
覚醒度 *99*
覚醒レベル *171*
角膜反射法 *101*
加算回路 *65, 66*
加速度 *175, 185*
加速度センサ *96, 133, 157, 165, 185, 187, 190*
形別分類 *18*
カットオフ周波数 *75*
カ　フ *119*
眼球運動 *170*
眼　振 *101*
慣性センサ *133*
間接法 *119*
眼電位 *100, 101*
関電極 *89, 111*

【き】

機械語 *147*
機械式歩数計 *134*
記号演算法 *51*
基準筋電図 *183, 184*
基準電位 *9, 22*
機能的電気刺激 *44*
キャパシタンス *40, 55*
キャビテーション *11*
キャリブレーション *156*
共通インピーダンス *17, 118*
鋸状波 *171*
銀/塩化銀 *109*
筋音図 *96*
筋活動量 *181, 182, 183, 184, 185*
筋電計 *185*
筋電図 *94, 95, 164, 170*

【く】

グラウンド *9, 17, 118, 148*
グラウンド線 *14, 16, 118*
クラス別分類 *18*
クラス 0 機器 *19*
クラス 0I 機器 *19*
クラス I 機器 *19*
クラス II 機器 *19*
クラス III 機器 *19*
クリップゲージ *38, 139*

【け】
計装アンプ 74
携帯型酸素消費モニタ装置 141
頸動脈洞 91
血圧計測 119, 121
血中酸素濃度 118, 123
血流計測 126
検体検査 5

【こ】
高血圧 119
国際脳波学会連合標準電極配置法 98
高脂血症 119
高周波電磁波 11
較　正 156
合成コイル 47
合成コンデンサ 41
合成抵抗 26
光電脈波 124
光電容積脈波 123, 124
光電容量脈拍センサ 187
交番磁束 46
交流雑音電流 115
呼吸計測 127
呼吸性不整脈 92
呼吸測定バンド 128
呼吸ピックアップ 128
呼吸流量計 127
鼓膜温 129
鼓膜式体温計 131
コロトコフ 119
コンダクタンス 55
コンデンサ結合型電極 109

【さ】
差圧型呼吸流量計 127
サーミスタ 128, 129, 130
サーモパイル 130
最高血圧 119
最小感知電流 13
最小二乗法 157
最低血圧 119
サウンドレコーダ 159
サセプタンス 55
雑　音 3, 20, 71, 74, 112, 154
雑音除去 3
差動信号 72
差動増幅 156
差動増幅器 69, 70, 72, 73, 87, 98, 102
差動入力 72
左右脚 87
酸素飽和度 125
サンプリング 149
サンプリング周期 150
サンプリング周波数 150, 155
サンプリング定理 151, 155

【し】
ジーメンス 24
シールドシート 114, 115
シールドトランス 116
シールドルーム 114, 115, 117
磁　界 11
紫外線 12
磁気センサ 140
シグナルグラウンド 17, 18
シグナルコンディショナ 3, 37, 67
自乗平均平方 96
姿勢センサ 134, 135
指尖脈波 124
磁　束 46
時定数 43
自動体外式除細動器 21
ジャイロセンサ 133, 136
遮断周波数 75, 78, 155
ジュール熱 15
手掌発汗 104
手掌発汗計測 104
出力インピーダンス 30, 67
シュミットトリガ回路 155
瞬時心拍数 92
順方向電圧 81
昇圧回路 45, 46
乗算器 106
焦電型赤外線センサ 131
焦電型センサ 178
焦電効果 131
消費エネルギー 133
消費カロリー 132
商用交流雑音 156
食道温 129
ショット雑音 113
徐波睡眠 173, 174
ジョンソン雑音 113
シリアルインタフェース 159
シリアル通信 164
心室筋 87
心室細動 13, 14
身体活動量 132, 185, 186
心弾図 93
心電図 2, 71, 86, 87, 89, 111, 117, 121
振動ジャイロ 136
振動ジャイロセンサ 136
振動トランスデューサ 96
心拍間隔 90, 91
心拍数 90, 164, 187
心拍ゆらぎ 91, 92
心拍リズム 87
深部温度 129
深部温度センサ 130

【す】
水銀スイッチ 134
吸い込み型定電流回路 69
スイッチング電源 116
睡　眠 99
睡眠効率 173, 174
睡眠深度 99, 169, 171, 175
睡眠深度の判定基準 170
睡眠段階 173, 176
睡眠紡錘波 169
ステップ応答 75

【せ】

生活習慣病 144
精神的ストレス 104
生体インピーダンス法 104
生体センサシート 128
生体の窓 125
静電誘導雑音 114
静電容量 39, 40
静電容量型加速度センサ 134
静電容量結合型電極 107, 109, 111, 112
静電容量変位計 139
整流回路 63, 81
整流化平均値 95
ゼーベック効果 130
赤外線 12
赤外発光ダイオード 123
積分回路 155
積分器 80
積分筋電図 81
舌下温 129
絶対値回路 82, 83, 84
接　地 9, 16, 17
接地線 19
接地センタ 17, 20
接地用端子 19
セラミックコンデンサ 39
前置増幅器 69
全波整流回路 83, 84

【そ】

双極誘導 90
相対速度 191
相対変位 191
足底圧分布センサ 141
足底スイッチ 135, 154

【た】

ターミナルソフトウェア 160
ダイオード 22, 81
体脂肪計 104
体重心 185
体重心移動軌跡 190
体重心加速度 185
大動脈弓 91
体表面温度 129
第 I 誘導 89
第 II 誘導 89
第 III 誘導 89
多重帰還型ハイパスフィルタ 75
多重帰還型ハイパスフィルタ回路 79
多重帰還型バンドパスフィルタ 75
多重帰還型フィルタ 75
多重帰還型ローパスフィルタ 75
多点アース 118
単極誘導 89, 98, 111

【ち】

チェビシェフ 75, 77
チップコンデンサ 40
チップ抵抗 23, 40
チャタリング 154, 155
チャタリング防止回路 155
超音波 11
超音波ドップラ血流計測 126
超音波メス 11
聴診法 119, 121
超低圧電源 19
直腸温 129

【つ】

追加の保護手段 19
追加保護接地線 20

【て】

低周波電流 11
定電流回路 68
テープスイッチ 135
電圧/電流変換器 106
電圧レベル変換回路 70
電解コンデンサ 39
電気刺激回路 68
電気ショック 9, 12, 13, 14, 116, 117
電気メス 15, 16
電　極 3, 5, 6, 15, 69, 89, 107, 122
電極インピーダンス 108
電撃事故 9
電源ノイズ 148, 149
電源ライン 116
電磁誘導 46
電磁誘導性雑音 115
電力量 29

【と】

ドアスイッチ 178
洞結節 87
透磁率 46
動　線 179
同相除去比 72
同相信号 71
同相入力 72
同相弁別比 72
頭頂部鋭波 169, 171
等電位化 20
導電インク 128
導電率 24
糖尿病 119
動脈圧 119
動脈硬化 124
ドップラ効果 126
ドップラシフト 126
ドライ電極 108, 109, 112
トランジスタ 22, 59, 69
トランスデューサ 4
トロイダルコア 47

【な】

内部雑音 113

【に】

ニーモニック 147

入力インピーダンス 30, 67, 87
入力キャパシタンス 110
入力抵抗 30, 110

【ね】

ネガティブフィードバック 63, 64
熱起電流 131
熱雑音 113
熱線型呼吸流量計 128
熱電対 129, 130

【の】

脳卒中 119
脳　波 86, 97, 99, 170
ノッチフィルタ 55, 156

【は】

バーチャルショート 62
パーマロイ 115
ハイパスフィルタ 75, 78, 80
白色雑音 113
白内障 12
バタワース型のハイパス
　フィルタ 79
バタワース 75, 77
波動媒体 5
ハ　ム 156
ハムフィルタ 156
針筋電図 94
針電極 94, 107
パルスオキシメータ 124, 125
反転増幅器 61, 68
半導体 22
バンドパスフィルタ 78, 80, 102

【ひ】

ピエゾ抵抗型加速度センサ 133
光位置センサ 139
非常電源 20
ヒス束 87
ひずみゲージ 36, 37, 139
ひずみゲージ式加速度センサ 133
非接地配線方式 20
左足接地方式 71
人感知センサ 131
非反転増幅器 65, 102
皮膚抵抗変化 107
皮膚電位活動 107
皮膚電位反射 107
皮膚電気反応 107
皮膚トンネル 44, 46
皮膚表面電極 107, 108, 109, 112
標本化 149, 150
表面筋電図 94
表面電極 94

【ふ】

フィードバック抵抗 68
フーリエ変換 151
フォースプレート 141, 185
フォトカップラ 149
フォトダイオード 149
フォトトランジスタ 124, 149
不関電極 89, 111
複素インピーダンス 48, 51
輻　輳 100
符号化 149
不整脈 90
プリアンプ 69
ブリッジ回路 36, 67, 105, 129
プルキンエ線維 87
フレームグラウンド 17, 18
フレキシブル角度センサ 138
分解能 157

【へ】

ベッセル 75, 77
ペルチェ効果 131
変圧器 46

【ほ】

ポアゼイユの流れ 128
房室結節 87
紡錘波 171
ホール効果 140
歩行計測 132
保護手段 18
ポジティブフィードバック 64
歩数計 132
ボタン電池 165, 166
歩　調 187
ポテンショメータ 137
ポリグラフ 87
ポリソムノグラフィ 168
ホルター心電計 1, 8
ボルテージフォロワ 66

【ま】

マイラコンデンサ 39
マクロショック 10
瞬　き 100

【み】

右足接地方式 89
ミクロショック 10, 13
脈波センサ 122
脈波伝搬速度 122

【む】

無線モジュール 164

【め】

メンタルストレス 104

【も】

網膜損傷 12
モーションディテクタ 178
漏れ電流 18, 114

【ゆ】

誘電体 39
誘導性雑音 115

誘導性リアクタンス 45, 55
床反力 141
床反力計 141

【よ】

容積補償法 120, 121
容積脈波 118, 123, 124
容量性リアクタンス 40, 55

【ら】

ラプラス演算子 51
ラプラス変換 51
ランニングスペクトル 103

【り】

リアクタンス 55, 106, 107
離散化 151
理想 OP アンプ 60, 61, 62
理想ダイオード 82
離脱限界電流 13
リチウムイオン電池 166
瘤　波 169
量子化 149, 151
量子化誤差 152

【れ】

レーザドップラ血流計 127
レーザドップラ血流計測 126
レジスタンス 55, 106
レベル変換 152
レベル変換回路 153

【ろ】

漏洩交流雑音 114, 117
ローパスフィルタ 53, 75, 77, 78, 105, 106, 126, 155, 156

【わ】

ワイヤー電極 107
ワイヤ電極 94
ワイヤ変位センサ 140

【A】

AC 30
A/D 変換 3, 148, 149
A/D 変換器 70, 146, 152, 155, 158, 159
A/D 変換ボード 158
AED 21
Ag/AgCl 109
AMG 96
ARV 95, 182, 183, 184

【B】

B 形 18
BASIC 147
BF 形 18
Bluetooth 161, 162, 163, 164
bps 160
BSN 161

【C】

C 言語 147
CF 形 18
CMR 比 72
CMRR 72
COM ポート 160, 161

【E】

ECG 86, 87
EDA 107
EEG 86
EGG 101
EMG 94
EPR 117
EPR システム 20, 21
Express カード 158

【F】

F（ファラッド） 40, 55
FET 69
FG 17
FIR フィルタ 190

【G】

GPS 187, 188
GPS 受信器 185
GSR 107

【H】

H（ヘンリー） 45, 55
HSP 162
HF 成分 92
HID 162
HRV 91

【I】

IC 22, 59, 146, 152

【J】

JIS T 1022 20

【K】

K 複合波 169, 171

【L】

LED 121
LF 成分 92
LSI 22, 145

【M】

Mayer 波 92
MEMS 5, 133, 134
mho（モー） 24
MMG 96
MRI 11

【N】

NASA 誘導 *90*

【P】

P 波 *88*
PAN *163*
PC *145, 158, 161*
PCI ソケット *158*
PCMCIA *158*
PIO *146*
pn 接合電圧 *81*
PSD *139*
PSG *168, 169, 170, 173, 174, 175*
PSG 計測 *168, 169, 172, 174*

【Q】

Q 波 *88*

【R】

R 波 *88, 112, 122*
RAM *145*
R & K *170*
REM 睡眠 *170, 171*
REMs *171*
RMS *96, 182*
ROM *145*
R-R 間隔 *91*
RSA *92*
RS-232C *159, 164*
RS-232C シリアルインタフェース *160*
RS-232C シリアルコネクタ *160*

【S】

S（ジーメンス） *24, 55*
S 波 *88*
SEMs *171*
SG *17*
SPO2 *118*
SPA *107*
SPP *162*
SSR *107*
SWS *174, 175, 176, 177*

【T】

T 波 *88*
Twin-T 回路 *55*

【U】

U 波 *88*
UART *164*
USB *159*

【Z】

ZigBee *162, 163, 164*

α 活動 *171*
α 波 *169, 171*
δ 波 *169, 171*
Ω（オーム） *52*
θ 波 *171*
%SWS *173, 174*
006P アルカリ電池 *166*
1 点アース *20, 118*
10/20 法 *98, 169*
12 誘導 *89*
2P *14*
2P コンセント *19*
2P プラグ *19*
3 大基礎疾患 *119*
3 点誘導 *90*
3P コンセント *14, 16, 19, 20*
3P プラグ *16*

—— 著 者 略 歴 ——

牧川　方昭（まきかわ　まさあき）

1975 年　大阪大学基礎工学部生物工学科
　　卒業
1982 年　大阪大学大学院基礎工学研究科
　　博士後期課程単位修得退学
　　（物理系生物工学専攻）
1982 年　滋賀医科大学助手
1985 年　工学博士（大阪大学）
1986 年　国立循環器病センター研究員
1990 年　大阪大学助教授
1996 年　立命館大学教授
　　現在に至る

吉田　正樹（よしだ　まさき）

1976 年　大阪大学工学部電気工学科
　　卒業
1984 年　大阪大学大学院工学研究科
　　博士後期課程単位修得退学
　　（電気工学専攻）
1984 年　神戸大学医療技術短期大学部
　　講師
1992 年　神戸大学医療技術短期大学部
　　助教授
1994 年　神戸大学助教授
1995 年　博士（工学）（大阪大学）
1998 年　大阪電気通信大学教授
　　現在に至る

南部　雅幸（なんぶ　まさゆき）

1991 年　東京理科大学基礎工学部
　　電子応用工学科卒業
　　株式会社島津製作所入社
1995 年　同退社
　　奈良先端科学技術大学院大学
　　情報科学研究科入学
1999 年　奈良先端科学技術大学院大学
　　情報科学研究科博士後期課程
　　修了
　　博士（工学）
　　国立長寿医療センター研究員
2000 年　国立長寿医療センター老人支援
　　機器開発部自立支援機器開発
　　室長
2005 年　大阪電気通信大学助教授
2008 年　大阪電気通信大学教授
　　現在に至る

塩澤　成弘（しおざわ　なるひろ）

2000 年　立命館大学理工学部
　　ロボティクス学科卒業
2002 年　立命館大学大学院理工学研究科
　　博士課程前期課程修了
　　（情報システム学専攻）
2005 年　立命館大学大学院理工学研究科
　　博士課程後期課程修了
　　（総合理工学専攻）
　　博士（工学）
　　立命館大学総合理工学研究機構
　　ポストドクトラルフェロー
2007 年　藍野大学特任講師
2009 年　立命館大学准教授
　　現在に至る

岡田　志麻（おかだ　しま）

2000 年　立命館大学理工学部
　　ロボティクス学科卒業
2002 年　立命館大学大学院理工学研究科
　　博士課程前期課程修了
　　（情報システム学専攻）
　　三洋電機株式会社
　　研究開発本部研究員
2008 年　日本学術振興会特別研究員
2009 年　大阪大学大学院医学系研究科
　　博士課程後期課程修了
　　（保健学専攻）
　　博士（保健学）
　　立命館大学助教
　　現在に至る

ヒト心身状態の計測技術
— 人に優しい製品開発のための日常計測 —
Measurement technologies of mind and body condition in daily life for the development of human friendly products
© Makikawa, Yoshida, Nambu, Shiozawa, Okada 2010

2010 年 10 月 28 日　初版第 1 刷発行

検印省略

著　者　牧川方昭
吉田正樹
南部雅幸
塩澤成弘
岡田志麻

発行者　株式会社　コロナ社
代表者　牛来真也

印刷所　三美印刷株式会社

112–0011　東京都文京区千石 4–46–10
発行所　株式会社　コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan
振替 00140–8–14844・電話(03)3941–3131(代)
ホームページ http://www.coronasha.co.jp

ISBN 978–4–339–07226–6　(吉原)　(製本：愛千製本所)
Printed in Japan

無断複写・転載を禁ずる
落丁・乱丁本はお取替えいたします