

人体内通信を利用した e-健康コンサルティング・サービス

石井克典¹ 栗政明弘² 小谷和彦³ 富田祐一郎⁴ 徳田寿教⁵

¹鳥取環境大学環境情報学部情報システム学科

²鳥取大学大学院医学系研究科機能再生医科学専攻

³鳥取大学医学部健康政策医学

⁴(株) eBASE Solutions Laboratory

⁵鳥取ケーイーシー (株)

E-mail: ishii@kankyo-u.ac.jp

あらまし 少子高齢化社会の進展に伴い、生活習慣病を中心とした中高年の健康が大きな問題となっている。生活習慣病ならびにその予備群を減らす最も有効な取組は、食事・運動などの日々の生活習慣を改善することである。しかし、これには強い動機付けとその維持に強い意志が必要となる。即ち、e-サービスを駆使して個人の健康を増進させる補助システムの開発が重要課題である。

本稿では、身体情報を簡易に収集しデータベースに自動転送することのできる人体内通信技術と、個々の健康データを基にした診断情報を利用者に自動提供する医学人工知能とから成る e-健康コンサルティング・サービスについて述べている。これまでに、基本要素技術を確立し、生活の変動記録を習慣化することが健康管理に効果的であることを明らかにしている。

キーワード 人体内通信 パーソナルエリアネットワーク 健康 予防医学 生活習慣病 医学人工知能 データベース 情報技術 (IT) 情報通信技術 (ICT) e-サービス

e-Healthcare Consulting Service using On-the-Body Network

Katsunori Ishii¹, Akihiro Kurimasa², Kazuhiko Kotani³, Yuichiro Tomita⁴, Toshinori Tokuda⁵

¹Department of Information System, Tottori University of Environmental Studies,

²Institute of Regenerative Medicine and Biofunction, Tottori University,

³Division of Health Administration and Promotion, Tottori University,

⁴eBASE Solutions Laboratory Corporation,

⁵Tottori K.E.C. Corporation

E-mail: ishii@kankyo-u.ac.jp

Abstract A new e-healthcare consulting service is proposed for health promotion and life-style related disease prevention. The healthcare cost in Japan has surpassed the economic growth due to the increasing number of elderly people, the decline in the number of births, and also due to the technological progress in medicine. However, continuing the health-conscious and to make the life-style changes require exertion. A forceful e-assistant based on information-communication technologies is desired to promote health. The system consists of an automatic database creation using the on-the-body networking technologies for automated vital-data-gathering in the human body, and an automatic consulting system using medical artificial intelligence technologies based on the health database.

Key Word on-the-body network, intra-body communication, personal area network, health, disease prevention, life-style related disease, artificial intelligence, database, information technology, information and communication technology, e-service

1. まえがき

糖尿病やメタボリックシンドロームに代表されるように生活習慣病は、良くない食習慣、日頃の運動不足、飲酒や喫煙などに起因し、加齢とともに発症する疾患である。この疾患を予防し、発病を遅らせ、また病気を改善するためには、誤った生活習慣を変えることが最も重要で効果的な方策である。食生活を改善し適正な運動を続けるには、強い動機付けとその維持に強い意志が必要となる。これらを補助するには、情報通信技術（ICT）を利用した個人健康データベースの自動生成システムと、医学人工知能を利用した健康意識維持・向上のための自動コンサルティング・システムが望まれる。特に、データベース作成時に必要となる身体情報（体重、体脂肪、血圧、運動量、食事量等）を、誰もが簡単に入力できるシステムを提供することが課題である。

従来のセンサを用いたモニタリング手法では、センサの装着・結線やサーバへのデータ転送などが煩雑であり、24時間非侵襲にデータ収集・入力することが困難である。そこで、本システムでは人体内通信の技術を利用して、老若男女だれでも携帯電話などの端末機器を用いて種々の身体情報を簡単に入力できるシステムや、身体情報を24時間違和感なく採取し、かつ携帯電話などの通信機器に人体内通信を用いて転送できるセンシング・システムを開発している。

これにより、日頃のデータベース管理に煩わされることなく、より多くの人々が快適に利用出来る自立型のデータベース構築とヘルスケア情報管理基盤を実現することができると考えられる。

2. 健康情報データベースと医学人工知能コンサルティング・サービス

2.1 システムの概要

健康管理を行う上で必要なことは自身の身体状態を把握することである。これは体重・血圧・心拍数などの具体的数値として表れるバイタル情報や、顔色が悪い、頭が痛い、気分が悪いなどの自覚症状、気持ち・感情の状態を表すメンタル情報などを知ることによって把握できる。さらに、食事量・食事内容などの食生活を代表とする生活習慣に基づく情報や、運動量・運動時間などの運動習慣を中心とした情報も重要である。加えて定期健康診断で得られる血液検査値、胸部X線検査、尿検査などの結果も統合化することも望まれる。

これら全てのデータを一元的に管理することが理想的であるが、その入力是非常に煩雑であり、また個々人の必要とする情報にそぐわない可能性が高い。そこで、個人の特定目的毎にデータベースを構築し、必要に応じてそれを組み合わせて利用できるシステムを開発している。具体的には、(A)肥満・運動(メタボリックシンドローム対策)、(B)糖尿病、(C)高血圧、(D)妊娠・出産データベースとしての母子手帳、(E)子供の発育成長管理システムなどを対象とした構築を初期の目的としている。これらのデータベースにより、中高年、若年、女性、アスリートなどの幅広い年齢層を取り込むことが可能となり、多くのユーザが利用できる基盤を確立することができる。肥満対策用のデータベース構築イメージを図1に示す。

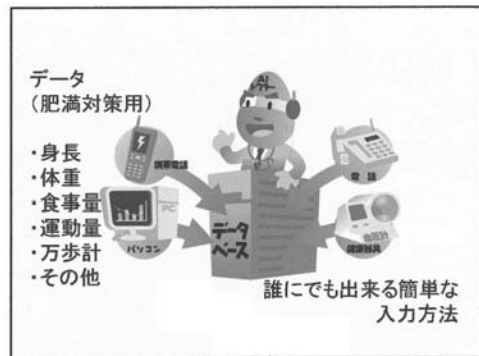


図1 健康情報データベースの構築

利用者は、PCや携帯電話を用いてインターネット経由で身長・日々の体重・食事量・運動量や、その日の症状・体調・定期検診の数値などを入力する。また、肥満対策や糖尿病対策、高血圧症対策などのサブシステムごとに、それぞれ特有の数値を入力する。幅広い利用者を想定し、数値の入力方法をできるだけ簡単なものにするよう改良を進めており、高齢者や障害者などでも気軽に利用できるシステムを目指している。その一環として、後述の人体内通信を利用したバイタル情報自動収集システムを開発している。

また、ソーシャル・ネットワーク・システム（SNS）を利用して、肥満対策や糖尿病対策などの参加しているプロジェクトごとに、情報共有やコミュニケーションのできる場を提供する。システム概念を図2に示す。

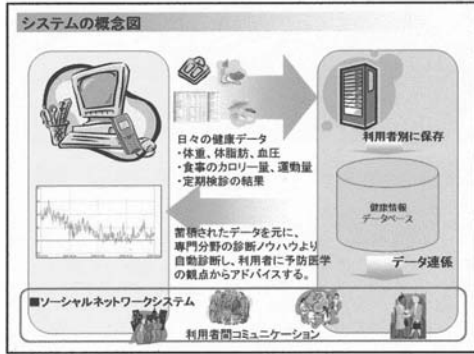


図 2 SNS を利用したサービス

日々の健康データだけではなく、その日の記録や反省なども書き残すことができ、また他の利用者と交流することができるため、より一層健康意識を高めることができる。登録されている利用者の健康データを、いろいろな視点から閲覧することのできる機能がある。登録された数値データを折れ線グラフなどで可視化表示するとともに、他者データも重ね合わせて対比することができるため、日々の登録に対する動機付けに貢献する。

さらに、登録されている個々の健康データを基に、医学人工知能を利用した診断情報を自動的に提供する機能を有している。この機能により、日々のデータから早期に健康状態を把握して病気に対する注意を喚起することができるため、予防医学に大いに貢献すると考えられる。

2.2 バイタル情報自動収集システム

ユビキタス社会の構築を目指した種々の技術が開発されているが、携帯電話は比較的高年齢層まで浸透した高機能端末と言える。本システムでは携帯電話をネットワーク端末と位置付け、中高年が簡単に入力できるシステムを導入する。

従来方法を用いてデータベース化するには、血圧・脈拍・体温などの身体情報の数値を手入力するか、あるいは PC にデータ転送可能な健康器具を利用することになる。しかし、このデータ転送も USB インターフェイスなどを用いたものであり、ネットワークへの転送操作が面倒で誰もが簡単に使えるシステムではない。また、システム間の結線が必要であるため、各種センサを装着する手間が煩雑であり 24 時間継続して記録することが困難である。システムに必要なことは、毎日のデータ入力であり、このためには誰もが簡単に利用できるシステムを開発しなければならない。毎日継続して行うことができるシステムとは、ネットワークへのデータの転送が簡易であることが必要で、

人体内通信を利用したデータ自動転送システムは利用者に負担をかけることはない。人体内通信は、皮膚に密着した電極を介して通信端末やセンサから送信されたデータを体内に流入するものである。そのため、センサ・端末間の結線が不要であり、また信号が人体の中を通るため、電磁波ノイズや人体の近くにある障害物などの影響を受けにくく外部への漏れ量が少ない。人体内通信を利用したバイタル情報自動収集システムの構成を図 3 に示す。

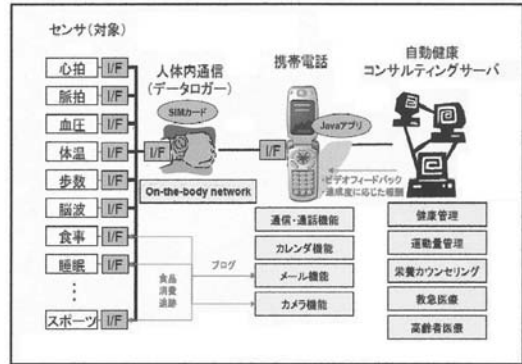


図 3 バイタル情報自動収集システム

主なシステム構成要素は、(A) 心拍、脈拍、血圧などの基本的な身体情報を収集する各種センサ (バイタルサイン・モニタ) に人体内通信技術を実装するためのインターフェイス・アダプタ、(B) 人体に配置した複数のセンサからの多重データを人体内通信技術によってリアルタイムかつ自動に収集し、比較的長時間にわたって記録するデータロガー、(C) 携帯電話に人体内通信技術を実装するためのインターフェイス・アダプタ、(D) コンサルティング・サーバとのデータ送受信用 Java アプリケーションなどである。

本システムでは、人体内通信用データロガーに記憶されたデータをサーバに転送する際、携帯電話に接触するだけでデータ転送を行うことができるため、誰でも簡易に操作することができる。将来的には、携帯電話の核となる SIM カードと人体内通信を融合した次世代の携帯電話開発を視野に入れている。多機能化する携帯電話のアプリケーション (カレンダー、メール、カメラ、メディア・プレイヤなど) を連動すれば、ビデオフィードバックや健康スケジューリング、報酬 (ポイント・サービス) を用いたインセンティブ向上などきめ細かいカウンセリングが可能になると考えられる。

3. 人体内通信 (On-the-body Network)

現在、携帯電話や音楽プレーヤ、PDA (Personal Digital Assistants) など情報端末の小型・高性能化が進み、持ち運ぶ形態 (ポータブル) から身につける形態 (ウェアラブル) に進化しつつある。また、あらゆるモノに IC タグが組み込まれ、モノが情報化・コンピュータ化されるとともに、これらコンピュータ同士が協調動作することが可能となってきた。コンピュータの存在を意識することなく高い利便性を獲得出来るユビキタスネットワーク社会の環境が整いつつあるといえる。

個人へのユビキタスネットワークを実現するには、人を中心とした数十 cm から数 m 以内のデバイス同士を相互に接続するパーソナルエリアネットワークを構築することが課題であり、赤外線や無線技術を用いたデバイス開発が盛んに行われている。しかし、データの秘匿性や通信の安定性などの課題がある。一方、これらの課題を解決する有用な技術として人体内通信が注目されているが [1], 人体への安全性やデータの伝達性能など未知の分野が多い。そこで身体情報を自動収集するシステムへの応用をねらいに、生体インピーダンスや人体接触電流安全指針に基づいた送受信アンプの回路を設計・製作して人体のデータ伝送特性を実験検証し、基本技術を確認した。

3.1 人体内通信の原理

人体内通信は皮膚に密着した電極を介して通信端末やセンサから送信されたデータを体内に流入するものである。信号は人体の中を通るため、電磁波ノイズや人体の近くにある障害物などの影響を受けにくく外部への漏れ量が少ない。そのため、他の通信方式に比べ秘匿性の面で優位性をもつことなどから、セキュア通信効果が期待できる。しかし、体内に電流を流し通信を行うことから、人体への安全性やデータの伝達性能などの未知の分野を明らかにすることが課題である。

人体内通信では、回路型・静電結合型・伝播型の3種類に分類することが出来る [1]。

回路型は人体を導線として扱い、通信を行う際には体外にも導線が必要になる。体脂肪計や心電計の生体計測機器に実用化されているが、通信を行う際に体外にも導線が必要となるためパーソナルエリアネットワークを構築する上では不向きである。

静電結合型の場合、回路型と同様に人体を一本の導線と扱う。通信を行う際は、地面などの周囲環境と人体との静電結合を用いるため、外部に導線を必要としない。指先で触れた機器へデータを

送るなど、人体を通じて外部の機器へ情報を伝えることに適している。しかし、周囲の環境に左右されやすいためパーソナルエリアネットワークには不向きである。

伝播型は図 4 に示すように、人体を導波管として扱い、体内に微弱な電磁波を発生させることで入力側から出力側へと情報を伝送する方法である。静電結合型のように外部の導線を必要とせず、周囲の環境変化の影響も受けにくいという点からパーソナルエリアネットワークに適していると考えられる。

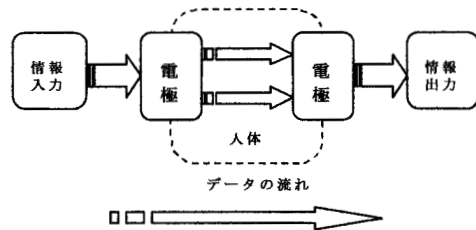


図 4 伝播型人体内通信の基本構成

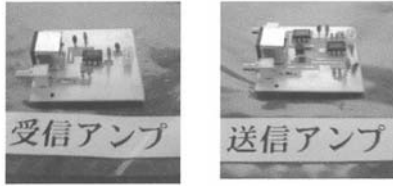
以上のことから、ここでは伝播型の送受信アンプの回路を設計・製作し、人体内通信の伝達特性について実験検証している。

3.2 人体内通信回路の設計

安定した信号を伝播させる実験回路を製作するため、生体インピーダンス [1] の周波数特性を考慮して設計した。

細胞の持つ絶縁性の膜は低周波数の信号に対してインピーダンスが高いため、信号は体内を伝播しない。これは生体内の細胞が持つ絶縁性の膜が低周波数成分を通さないためである。インピーダンスは周波数が高くなるに伴い低下し $1\text{k}\Omega$ で安定することから、高周波数の信号は絶縁膜を透過し体内伝播が行えると考えられる。

設計した受信アンプ (RX 回路) と送信アンプ (TX 回路) の製作写真をそれぞれ図 5 (a), (b) に示す。100MHz までの帯域幅を持つナショナル・セミコンダクタ製のオペアンプ LM6172 を使用し、増幅率は 10 倍に設定した。また、国際非電離放射線防護委員会による人体接触電流の安全基準 [2] に基づき、送信アンプには電流モニタを内蔵させ、接触電流 $500\mu\text{A}$ で電流リミッタが動作するように設計した。



(a)RX回路

(b)TX回路

図 5 製作した人体内通信回路

受信アンプの周波数帯域は DC~900kHz であり、2kHz 以下の低域利得は当初設計値の 20dB を満足している。また送信アンプでは、接触電流 500 μ A 以上の電流が制限されている。所望の回路性能を実現していること、人体での安全な伝送実験に使えることを実験確認した。

3.3 伝達特性

人体内通信の伝達特性や人の個体差を実験により明らかにした。

伝達特性の測定系と写真をそれぞれ図 6、図 7 に示す。

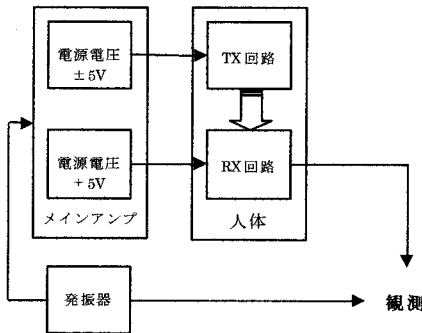


図 6 伝播型人体内通信の測定系



図 7 実験風景

送受信実験では、左右の手首にそれぞれ送信アンプ (TX 回路) と受信アンプ (RX 回路) を取り付けている。

測定は信号発振器で発生した正弦波の振幅電圧を 0.1V に固定し、周波数を 100Hz から 1MHz まで変化させ、回路の出力電圧と入力電圧の比から成る利得を測定した。人体内通信の伝達特性を図 8 に示す。なお、実験モニタは成人男性 4 名で、BMI (body mass index) は以下の通りである。

- ・標準体型 : BMI=21.5 (171cm, 63kg)
- ・痩せ体型 : BMI=17.9 (167cm, 50kg)
- ・肥満体型 : BMI=29.4 (170cm, 85kg)
- ・筋肉体型 : BMI=22.3 (172cm, 66kg)

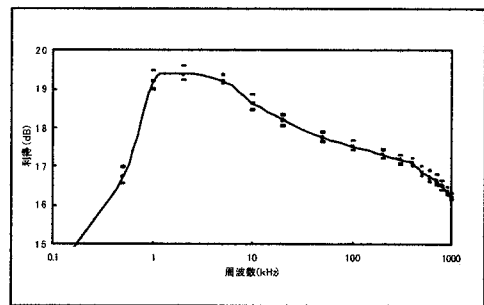


図 8 人体内通信伝達特性の個体差

標準体型の伝達性能は 4 者の中で平均的であり、筋肉体型が最も優れている。また、平均を下回るのは痩せ体型と肥満体型であり、肥満体型が最も劣っている。これは、筋肉や水分は電流を通しやすいが、脂肪はほとんど電流を通さないという性質と相関があると考えられる。しかし、4 人の個体差は殆ど見られず、周波数が高くなるにつれてその差も収縮していることから、総合的な伝達性能において問題はないと考えられる。

また、受信アンプの周波数帯域限界である 900kHz における信号対雑音比は約 30dB であり、良好な信号品質でデータ伝送できることが明らかとなった。

信号の伝達性能は外部雑音や人の個体差に影響されず人体は良好な伝送メディアとして利用できることから、人体内通信はバイタル情報収集システムとして応用できるものと考えられる。

4. 鳥取県における地域健康教育事業とIT

鳥取県内においても肥満ならびにそれに起因する疾患保有者は増加している。この項では、地域肥満教育に対する取り組みと、本年度より開始している携帯端末を利用した健康情報データベースや、肥満対策におけるIT利用の展望を紹介する。

昨今、生活習慣病対策におけるITプログラムの提供機会は、内外で急速に増えつつある。特に肥満者の減量支援はその代表格と言える[3]。米国の状況を見ると、商業ベースのIT減量プログラムの中では、eDiets.comが有名である。低エネルギーのレシピを利用者の好みに合わせて選定する支援内容で、他の利用者とのチャットや、心理・栄養の専門家からのアドバイスをe-mailで受けられる。この効果については、無作為割付試験で検討されており、減量効果は認められるが現状ではそれほど著明ではないとされている。また、研究機関によるITを用いた減量研究の報告もいくつかあり、基本的には行動療法やe-counselingを加えるプログラムの有用性が示唆されている。国内でも同様の報告が増えている。また、国家プロジェクトとして、健康フロンティア「糖尿病予防のための戦略研究」の一翼として、電話・インターネットによる非対面式の糖尿病予防支援「2型糖尿病発症予防のための介入試験(J-DOIT1: Japan-Diabetes Outcome Intervention Trial-1)」(研究リーダー: 国立病院機構京都医療センター元院長葛谷英嗣)が2007年より開始されている[4]。今後、このようなプログラムの充実がますます求められ、2008年度から始まる新しい健康診断制度(特定検診、保健指導)にも活かされると考えられる。

現状では、IT減量支援の長期的効果は不明であるが、少なくとも半年から1年でみると認められる場合がある。ITによる減量介入は、ハイリスク者のみならず多数の対象に提供される可能性を持っている。従来の医療・保健機関にアクセスしなかった新たな対象に機会を提供できる利点は特筆すべきものと考えられる。

より効果的なIT支援を確立するにはいくつかの課題がある。まず、プログラム内容に工夫や進化が必要である。飽きによってプログラム途上で放棄すれば、その長期効果は望めない。リバウンド防止策をいかに行うかが模索されている最中である。シンプルな支援の方が長く続くという意見もある。次に、どのような対象にITを活用した場合

に最も有用になるかの研究が必須である。この点の研究が不足している。高齢化社会にあつて、比較的高齢者がITを駆使できる方略を模索すべきである。

こうした背景を踏まえて、現在、鳥取県の農村の町で、減量を一日は達成した中高年から成る自主グループを主対象に、リバウンド防止期にIT支援を行う短期予備試験を開始した。ITを用いてセルフチェックを行う群と、振り返りシートに記載し手紙を用いて通信する群とに分けて、IT支援の効果を観察中である。いずれの群においても、チェックする生活習慣関連項目は、体重、食習慣、運動習慣、睡眠習慣であり、IT群では日または週単位でこれらを記録し、一方の手紙群では月単位で記録している。また、各群とも、専門職からのコメントを週または月単位で受けている。

中高年の減量対象者においてIT支援が有効に機能するかどうかを検証するとともに、ITの即時記録性を生かした減量支援効果が手紙よりも上回るかどうかを観察している。これらは我々が提唱するe-健康コンサルティング・サービスの初期段階と言える。

参考文献

- [1] 石井 克典: 「人体内通信とスマート・コミュニケーション」, 社団法人自動車技術会 2005 春季大会, 2005 年 5 月 18 日
- [2] 国際非電離放射線防護委員会: 「時間変化する電界, 磁界及び電磁界による曝露を制限するためのガイドライン (300GHz まで) 」, 1998 年 4 月, <http://www.icnirp.de/documents/emfgdljap.pdf>
- [3] 小谷和彦: 「欧米の肥満者に対する IT の活用とは?」, 特集「IT でどこまでわかるか?」, 肥満と糖尿病, Vol.6 No.3 p.455, 2007
- [4] 「非対面式支援による生活習慣の是正」, 「今春からの効果の検討始まる」, Medical Tribune, p.52, 2007.3.8 号