

健康自動計測を導入した住宅設計

分担研究者 川原田 淳 富山大学工学部助教授

研究要旨: ウェルフェアテクノハウス高岡において性能評価等を行ってきた在宅健康計測システムの実用化を目指し、住宅内に蓄積されたデータの病院や診療所等への電話回線やインターネット等を利用した双方向データ伝送や外部からの遠隔モニタの可能性について検討した。また、本システムを既存の一般住宅へ導入する際には、コスト面、屋内配線、設置スペース等の面における考慮が必要となるが、システム統合化のために必要となる各機器間のデータ伝送に電灯線 LAN の使用を試みた。

A. 研究目的

在宅健康計測システムは、各種生体情報のためのセンサが内蔵された家庭用調度品を利用し、例えばベッドや浴槽による心電図測定、トイレでの体重・排泄量測定を行うもので、本研究ではこれをウェルフェアテクノハウス高岡に導入し、これらの機器を生活空間内で運用するために必要となるシステムの統合化や自動測定・データ保存のためのハード及びソフトウェア設計を行うとともに、在宅における健康計測システムの開発や性能評価等を行う。本システムでは高齢者を始めとする居住者が快適に健康管理・維持が行えるよう煩わしい電極やセンサ等の装着をしない無意識計測を実現することにより、健康指標の長期間継続的な測定を行うもので、従来の在宅医療における治療や発病後のケアを目的とした方法とは異なる立場から、健康制御（管理）のためのシステム開発を目指している。

本研究では、上記システムの実用化のための第一段階として、住宅内に蓄積されたデータを病院や診療所等に伝送するシステムの構築のために電話回線、インターネット等の利用を試みるとともに、蓄積情報のデータ圧縮、情報の秘匿性、運用コスト等の面を配慮したデータ伝送方式について検討を行う。また、本システムを既存の一般住宅に導入する

ためには、コスト面、屋内配線、設置スペース、機器保守等の面における考慮や、在宅蓄積データを一般にも理解しやすい形で表示・記録する方法に対する検討（健康度の提案・確立）も必要であり、これらの要件を踏まえた上で、従来システムのハード・ソフト両側面における改良・高度化を目指す。

B. 研究方法

在宅健康計測システムを設置する住宅として、富山県高岡市に建設されたウェルフェアテクノハウスを利用した。ここには、便器周囲に高精度体重計を組込んだ体重・排泄量測定装置、浴槽内壁に電極を設置したバスタブ心電図測定装置、ベッドに導電性の布による布帛電極を設置した心電図測定装置が設置されている。今年度は、これらの装置を統合化するために必要となるネットワークの構築のために電灯線 LAN(Local Area Network)の利用を試みた。

1. トイレでの体重測定

トイレのスペースを利用して体重の自動計測を行う。皿秤で用いられるロバーバル機構を内蔵した歪ゲージ式荷重センサ[最大定格容量：50 kgf、検出精度：5 gf 以下]を試作し、これを4個用いた4点支持機構を有する体重計測装置を製作した。装置本体はコの字

型で、便器を取り囲む位置で床面に設置される。また、便座を便器から切り離して、便座支持台により体重計測装置と一体化し、被験者が立位または便座に腰掛けていようと、全体重が本装置で検出できるように工夫した。

2. 浴槽での心電図測定

入浴中における心機能を無意識的にモニタリングするために、浴槽内に設置された電極により心電図測定を行う。心電図は双極誘導とし、二つの動作電極を浴槽の両長側面に、アース電極を浴槽の短側面に設置する。これにより、入浴時において動作電極が胸部の両脇に、アース電極が足のつま先辺りに位置するように配置される。被験者は両肩を湯水に浸したリラックスした状態で測定を行う。浴槽内に設置された電極は、焼結銀／塩化銀の表面をアクリル樹脂ペースを積層した機械的フィルタで覆い、体動等により浴槽中の湯水に揺れが生じてても、安定な心電図測定ができるように工夫した。

3. ベッドでの心電図測定

導電性繊維を織り込んだシート（布帛電極）を頭部と足部に対して使用し、就寝中の心電図の収集を行う。布帛電極は金属銀を蒸

着加工した繊維と絹糸からなり、これをベッドまたは布団のシーツの上の枕（首部）と脚部に設置する。また、商用電源等からの電磁障害を防ぐために、これらの動作電極の下にシーツや敷布団のような絶縁物を介して、シールド用の布帛電極をベッド一面に設置する。測定中、被験者は通常の寝間着を着用し、これら電極の上に自然に横たわる。

4. 電灯線 LAN

上記の1～3までの計測システムを統合化するために各機器間のネットワーク構築が必要となるが、一般住宅において、特に高齢者が居住する住宅は、家屋の老朽化や新規にネットワークを構築するためのスペースがない場合が多い。また、本システムの導入のために新たに家屋の改築等を行うことは、多大の経済的負担を強いることになる。本研究では、在来の住宅の設備を最大限活用するため、電灯線を用いたネットワークの使用を試みた。

図1は電灯線 LAN を用いて統合化した在宅健康計測システムの概要を示している。ここでは本研究事業において開発を行ったトイレ体重測定システム、浴槽やベッドを利用し

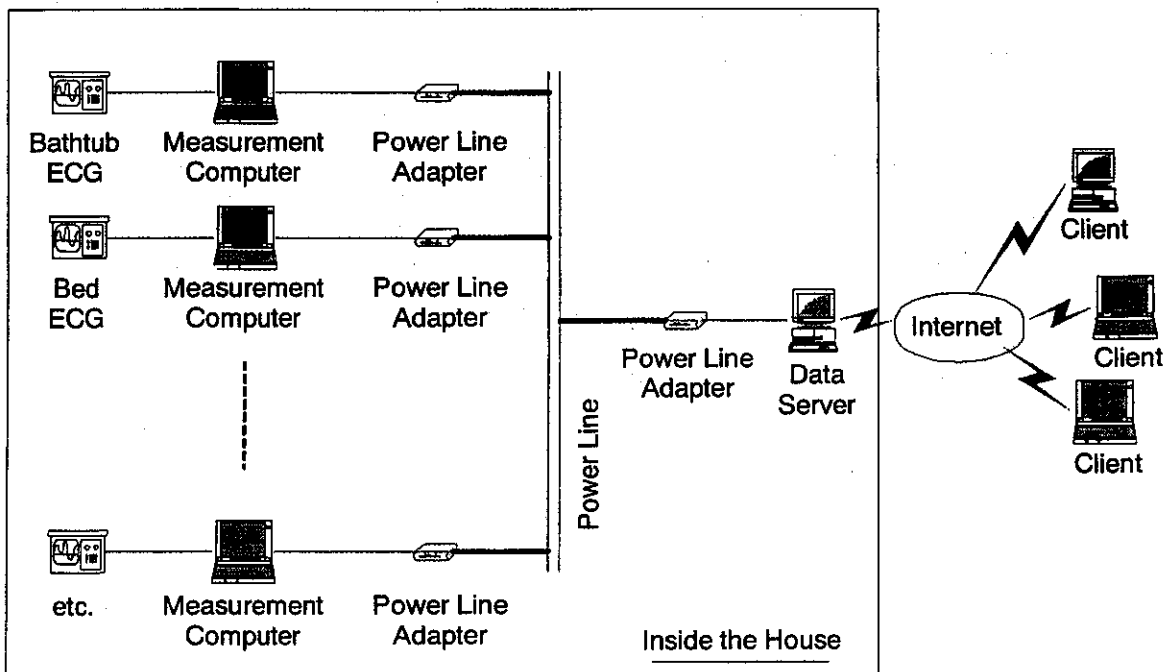


図1 電灯線 LAN を用いた在宅健康計測システムの概要

た心電図測定システムを始めとする各種生体情報計測システムが住宅内の様々な場所に設置されていることを想定した。各計測システムはそれぞれパーソナルコンピュータ(PC)等に接続され、これらの各PCが電灯線LANを経由して、一台のサーバーコンピュータにより統合化される。サーバーは各PCからの計測データを収集し、インターネットを介して、クライアントである病院や診療所等にデータを配信する。今回、電灯線LANとしてはウェルフェアテクノハウス内に電灯線LANアダプタ（BPLM-100B; ピジコン社製）を用いてピアツーピア（1対1）ネットワークを構築した。この電灯線LANは、スペクトラム拡散通信方式を用い、電灯線中の雑音に対して頑健なシステムとなっている。本来、電灯線は電力を搬送するための施設であり、これを通信に用いた場合、内在する雑音の影響を強く受ける可能性があり、今回は特にこれらの影響に対する検討を中心に行った。

（倫理面への配慮）

本研究においては、被験者のプライバシーの確保が大きな問題となるため、被験者の実名、居住地域等が特定されないように注意を払った。また、高齢者による実験では、測定上の危険性が無いことを確認し、終夜実験においては、インフォームドコンセントを書類で確認し、実験に際しては学生等の実験補助者を配置し、安全性を確保する等の倫理面への配慮を行った。

C. 研究結果

1. トイレでの体重測定

健康成人男子において、体重や排泄量を自動的に測定が可能であった。これは、排尿中における体重と体重変化の測定を行い、体重変化の波形変化から排尿開始点、終了点を自動認識し、排尿期間の体重変化から排尿量を決定するものであるが、比較的個人差の大きい排尿パターンを統一化されたアルゴリズムで処理を行い、排尿量を決定する方法について検討した。

2. 浴槽での心電図測定

健康成人男子を被験者として、入浴中において良好かつ安定な心電図波形の測定が可能であった。入浴中は、湯水から大きく身体をはみ出さないように注意はしたものの、多少の体動や浴槽の中で洗顔等を行っても、心電図波形の基線の大きな乱れもなく、良好な心電図測定が可能であった。

また、若年層と高齢層の被験者において測定した浴槽内心電図の比較を行った結果、測定信号のレベルやS/N比の差異や入浴時の心拍数変化パターンの違い等が認められた。

3. ベッドでの心電図測定

睡眠中の姿勢や体動等によって心電図波形が乱されることがあるものの、熟眠中は安定した心電図の検出が可能であった。睡眠中の大部分において安定した心電図の測定が可能であったが、電動ベッド等を使用した場合、動作待機中であっても、モータが発生源と考えられるハムの混入のために測定が困難となることがあった。また、呼吸性動揺を伴う心電図波形から心拍成分を抽出するため、心電図信号をA/D変換後、PC上でデジタルフィルタ処理等を施し心拍成分の抽出を行ったところ、呼吸性動揺を生じていても心拍数変化を良好に記録することが可能であった。

一方、高齢者の生体信号は若年層と比較して、信号レベルの減少や周波数成分の差異等が存在するとともに、ベッド心電図の測定では、高齢者における皮膚の乾燥が布帛電極との接触インピーダンスを増加させる等の測定条件の悪化を引き起こし、心電図波形認識率の低下に影響を与えるため、必要に応じ計測機器の感度を上げ、S/N比の改善を行う等の測定条件や環境に対する配慮や検討が必要であった。

4. 電灯線LAN

電灯線LANシステムの評価のために、既知の packets 長(8 byte)のデータを送受信し通信時間を測定した。データ伝送実験は、ウェルフェアテクノハウス内において実施した。基準となる一台のPC(ベース)に電灯線LAN

アダプタを接続し、これを寝室に設置した。更に、これと対となるPCとして、電灯線LANアダプタを接続したノートブックPCを用意した。データ伝送は、表1に示す住宅内の種々の場所に設置された電灯線ソケットを利用し、各ソケット間におけるデータ伝送時間を測定した。図2にウェルフェアテクノハウスにおける各ソケットの配置の様子を示す。

表1 住宅内に設置された電灯線ソケットの場所

| Name | Location | Distance* (m) |
|----------|-------------|------------------|
| Socket 1 | same socket | 0.1 |
| Socket 2 | same room | 3 |
| Socket 3 | kitchen | 10 |
| Socket 4 | living room | 7 |
| Socket 5 | 2F | 20 |

* Distance from the base computer to the measurement location

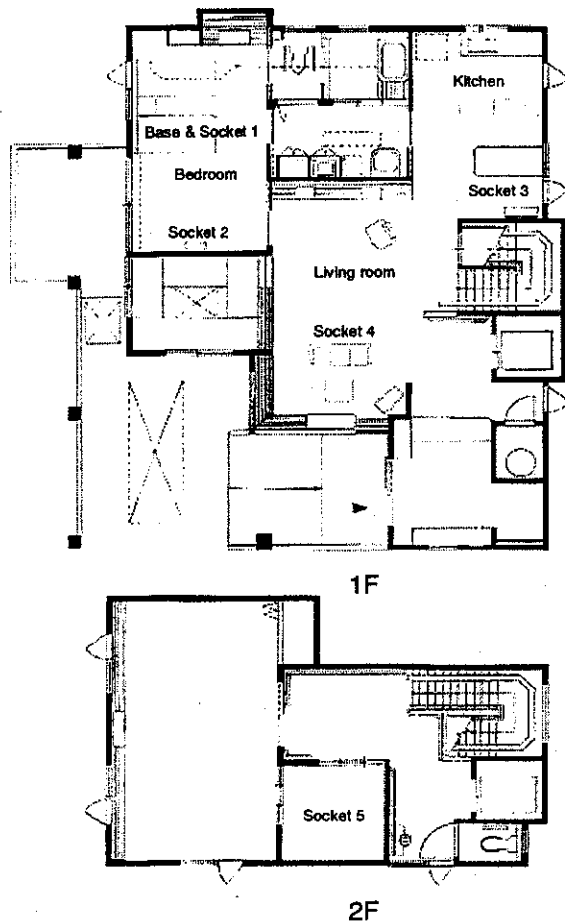


図2 ウェルフェアテクノハウスにおける各ソケットの配置

住宅内の種々の場所からノートブックPCにより、8 byteの packets長のデータを寝室に設置したPCへと伝送し、100回の往復データ伝送に要する時間を計測した。これを3回繰り返し、平均往復転送時間を求めた。その際、電灯線等に由来するノイズを軽減するために、ノートブックPCのAC電源を切断し、バッテリー駆動とした。表2及び図3にその結果を示す。また、伝送距離が長くなるとパケット損失を生じる場合があった。表3に測定場所とパケット損失の生じる割合についてまとめた結果を示す。

表2 通常時のデータ転送時間

| Name | Result 1 (ms) | Result 2 (ms) | Result 3 (ms) | Avg. (ms) |
|----------|------------------|------------------|------------------|--------------|
| Socket 1 | 67 | 71 | 71 | 70 |
| Socket 2 | 121 | 143 | 141 | 135 |
| Socket 3 | 104 | 93 | 109 | 102 |
| Socket 4 | 627 | 535 | 428 | 530 |
| Socket 5 | NA | NA | NA | NA |

NA: Not Available

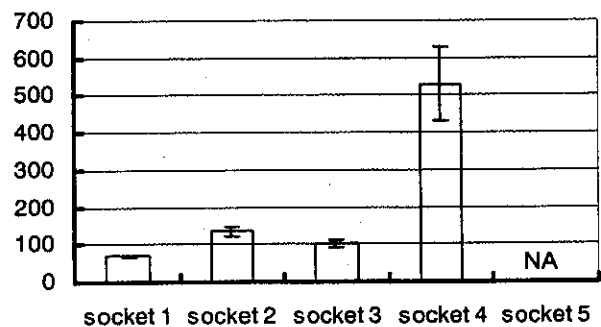


図3 通常時の各電灯線ソケットにおけるデータ転送時間の比較

表3 通常時のパケット損失

| Name | Packet Loss (%) |
|----------|--------------------|
| Socket 1 | 0 |
| Socket 2 | 0 |
| Socket 3 | 0 |
| Socket 4 | 20 |
| Socket 5 | NA |

NA: Not Available

次に、ネットワークの経路中に雑音を発生するスイッチング電源等の機器を設置し、ネットワークに対する通信条件を悪化させた場合について、これら雑音の有無による通信速度の変化や影響を測定した。その実験結果を表4及び図4に示す。また、表5に表3と同様にしてパケット損失の割合を示した。さらに、計測用PCに蓄積された心電図データのファイル(1 Mbyte)をFTP転送し、転送時間や転送前後におけるデータの整合性を調査した。表6は、データファイル転送時の転送時間をまとめたものである。同表において比

較のために、インターネット標準である10Base-Tを利用した場合の転送時間を示している。また、このとき、いずれの場合も転送の前後でデータに変化は生じず、データの整合性が保たれた。

表4 雑音混入時のデータ転送時間

| Name | Result 1 (ms) | Result 2 (ms) | Result 3 (ms) | Avg. (ms) |
|----------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| Socket 1 | 74 | 83 | 80 | 79 |
| Socket 2 | 292 | 478 | 316 | 362 |
| Socket 3 | 222 | 259 | 193 | 225 |
| Socket 4 | NA | NA | NA | NA |
| Socket 5 | NA | NA | NA | NA |

NA: Not Available

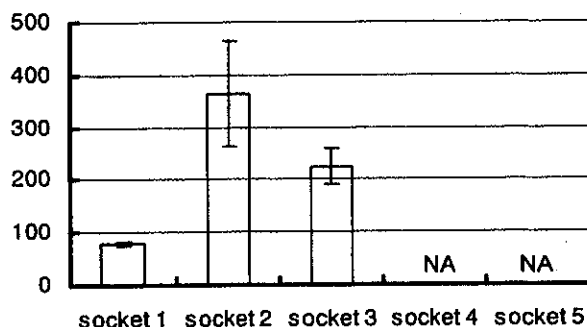


図4 雑音混入時の各電灯線ソケットにおけるデータ転送時間の比較

表5 雑音混入時のパケット損失

| Name | Packet loss (%) |
|----------|-----------------|
| Socket 1 | 10 |
| Socket 2 | 20 |
| Socket 3 | 10 |
| Socket 4 | NA |
| Socket 5 | NA |

NA: Not Available

表6 心電図データファイルの転送時間

| Name | Transfer Time (s) |
|---------------------|-------------------|
| Socket 1 | 105 |
| Socket 2 | 902 |
| Socket 3 | 780 |
| Socket 4 | 2520 |
| Socket 5 | NA |
| Ethernet (10Base-T) | 2 |

NA: Not Available

D. 考察

在宅高齢者の健康状態を常時把握して、疫病の早期発見や日常の健康管理に役立つ情報を得るためには、在宅において健康状態の指標となる生体情報を何らかの方法で常時モニタリングする必要があるが、高齢者自身や介護者に負担無く自動的に施行することが望ましい。この目的のため、被験者の日常活動を拘束せず、本人が意識することなく生体情報の測定・収集が行われる方法（無意識検査）が考案されているが、本研究では、日常生活習慣のうち、排泄時、入浴時、就寝時における生理情報を無意識計測するモニタリングシステムについて検討した。

また、これらのシステムの実用化のためには、各々のモニタリング機器の統合化や住宅に蓄積されたデータを病院やケアセンター等に伝送するシステムの構築が必要となるが、本研究では、システム統合化のために電灯線LANの使用や、住宅外に各種生体情報を伝送する際に必要となる基礎技術について、検討・考察を行った。

1. トイレでの体重測定

トイレを利用して、体重・排尿量の測定を行った。トイレは生体計測を行う上で比較的安定した場所であり、姿勢状態も立位あるいは

は座位という一定条件で測定が行えるとともに、日常生活時における利用頻度も高く、無意識検査の対象として適している。また、トイレ内における高齢者の疫病誘発事故も多いため、トイレに設置するモニタリングシステムは有用である。トイレ内で測定可能なモニタリング項目としては多くのものが考えられるが、日常の体調を簡易に知る情報として体重計測について検討した。トイレのスペースを利用して体重自動計測を行えば、同時に排尿量・排便量の計測も無意識的に行うことが可能で、微妙な体調変化の把握にも有効となる可能性がある。体重に加えて排泄量をも同時測定するためには、大容量で高い分解能を有する高精度な体重計が必要となるが、これを便器周囲の床面に設置して、排尿・排便時において自動的に体重計測が行われるシステムを開発し、トイレにおける体重変化の無意識計測を実現した。

2. 浴槽での心電図測定

浴槽を利用した在宅健康計測システムにより、入浴中の心電図測定を行えた。入浴は日本人の日常生活の中にあって大きな部分を占める行動様式の一つであるばかりでなく、入浴中は体動も少なく、体位も安定していることや、温度等の外的測定環境の変動も少ないため負荷条件が一定であり、生体計測や検査にとって良い条件が整っている場合が多い。さらに入浴中に諸生理量を測定することは入浴中の突発事故を防止するだけでなく、日常の履歴をとることにより疾病の早期発見に役立つ可能性がある。このため、浴槽は在宅高齢者の健康状態を常時監視するシステムの設置場所の一つとして有効である。浴槽内心電図は浴槽内の電極配置や姿勢にもよるが、ほぼ体表面心電図の第Ⅰ、第Ⅱ誘導に近い心電図波形が得られることが報告されている。しかし、湯面が変動した時に心電図の基線動揺を生じたり、身体を取り巻く湯の影響や浴槽の形状、材質、電極の位置や被験者の姿勢によっても波形が変化する。したがって、波形そのものを評価するにはさらに十分なデー

タの蓄積が必要であると考えられるが、心拍数をモニタする場合は心電図のR波ピークのみが測定できれば心拍数を算出できるので、電極位置や、浴槽の形状等を規格化する必要がなく、比較的容易に測定、評価をすることができる。基礎実験として健常成人の入浴中における心拍数のトレンドグラフとスペクトル解析を行った結果、入浴中において心拍数がほぼ直線的に増加するが、心拍ゆらぎは減少する等の知見が得られ、浴槽内心拍数測定が、在宅健康モニタリングとして有用なことや高齢者における適度の入浴のための客観的指標となる可能性が示された。

3. ベッドでの心電図測定

ベッドを利用した在宅健康計測システムとして、就寝中の心電図を測定した。睡眠は一日の生活の中で1/4～1/3の部分占める重要な期間であり、生命維持のために必要不可欠であるばかりでなく、外的刺激の影響が少なく、生理機能が最も安定している状態であり、日常生活において最も基本的な健康状態を示していると考えられる。このため、睡眠中における生体計測や検査は被験者本来の基礎的な生体情報を知るものであり、在宅高齢者の健康状態を把握するために、ベッドに設置するモニタリングシステムを開発することは重要である。睡眠中の健康モニタリングや無意識検査においては、その計測時間が比較的長時間に及ぶため、寝返り等の体動により記録波形にアーチファクト等を生じることがあっても、測定記録に有効な部分の波形を適宜選択することが可能である。しかし、逆に記録データの量が膨大となり、毎日の健康状態の履歴を蓄積するという点においては不都合であり、今後、適当な信号処理法やデータの記録フォーマットの形式等について検討することが必要である。

4. 電灯線 LAN

電灯線 LAN を利用したデータ伝送においては、通信機器が何処の場所に設置されているかによって、転送レートが大きく影響を受ける。また、負荷としてネットワーク経路に

雑音を加えた場合は、雑音のレベルが、同様に転送レートを低減させることが示された。さらに、パケット損失の生じる場合があり、場合によってはデータ伝送が不可能となった。本システムは、見かけ上TCP/IPを用いて通信を行っているが、アダプタ間ではパッシブトークンリング方式を用いて通信を行っている。そのため、通信経路上に存在するアダプタの個数により通信速度が変化するとされている。しかし、本実験では、1対1で通信を行っており、転送レートは100 kbpsに固定されているが、それにも関わらず通信速度が変化するとともに、雑音源の追加によって通信速度が低下した。これらは、雑音の影響により、データエラーが増加した際に、誤り訂正機能により再送が頻繁に発生し、通信速度が低下することに起因すると考えられる。

また、表3や図3に示すように、電灯線ソケット4の位置は、ベースPCに対してソケット3よりも距離が近いにもかかわらず、転送速度はソケット3よりも遅くなった。この遅れは、ソケット4の近くにあった冷暖房装置がノイズの発生源となり、通信条件に悪影響を及ぼしたものと考えられる。さらに、住宅の電気系統の配線図によれば、ベースPCとソケット4の実際の家屋内配線上の距離は、ソケット4の方がソケット3よりも長くなっており、住宅内の間取りやソケット口の位置等により、必ずしも目視上の距離と実際の距離が一致しない場合が存在することが明らかとなった。既存住宅においては、家屋の建て増しや老朽化等により、家屋内の電気系統の配線が複雑化している場合も多く、この点については今後の検討が必要である。

以上のように電灯線LANの使用に際しては、雑音の影響を十分に考慮しなければならず、雑音混入等によりデータ転送に多大の時間を要する場合があるが、データ転送前後においてデータの欠落は発生しておらず、電灯線LANは、本システム統合化の一手段として有効であると思われた。また雑音はフィルタ等を用いて軽減が可能であると思われ、今後

より品質の高いデータ伝送について検討する必要がある。

5. 外部とのデータ通信と遠隔モニタの確立
住宅内に蓄積されたデータを病院や診療所等に伝送することや外部からの遠隔モニタを可能にするために、電話回線やインターネット等を利用した双方向データ伝送システムの構築が必要となるが、現在、富山県高岡市のウェルフェアテクノハウスと愛知県大府市の国立療養所中部病院長寿医療研究センター間においてデータ伝送や遠隔モニタ実現の可能性を探る基礎実験を計画している。

6. データ伝送方式についての検討

在宅健康計測システムにおいて蓄積されるデータ量は、例えばベッドによる心電図計測装置においては一晩で約40 Mbyte程度にも及び、これをそのままデータ伝送したのでは、伝送時間や運用コストにおいて大きな損失となるので、画像伝送等におけるデータ圧縮技術を利用する等の工夫が必要となる。あるいは心電図データをすべて伝送するのではなく、心電図から算出した心拍数データのみを伝送すれば、圧倒的にデータ量を削減することができるので、生データをすべて伝送するのではなく、診断に必要な最低限の情報を抽出する方法についても検討する等、データ伝送方式について多角的な側面からの検討が必要である。

また、データ伝送にインターネット等を利用することは、情報の秘匿性がほぼ完全に失われることとなるので、システム利用者のプライバシーと非常に大きな関わりを持つ生体情報のデータ伝送に際しては、データの暗号化等に対しても配慮が必要である。

7. 既存住宅へのシステム導入の検討

本システムを既存の一般住宅に導入するためには、コスト面、屋内配線、設置スペース、機器保守等の面における考慮が必要であり、本研究で検討した電灯線LANの利用以外にも、無線システムによる屋内配線の省略や、計測装置の簡略化によるコストの低下等に対する検討等も必要と思われる。

8. 健康度の提案・確立

現在、健康度という指標は確立されていないが、心拍数や体重等の日々の変化を記録しておき、そのトレンドを示すことが健康制御（管理）のためには重要となる。このためには、利用者が各自の生体情報トレンドを把握しておく必要があるが、心電図のような専門家にしか理解できない情報の表示では利用が困難なため、在宅蓄積データを一般にも理解しやすい形で表示・記録する方法についても検討が必要である。

E. 結論

ウェルフェアテクノハウス高岡に導入した在宅健康計測システムの使用によりトイレ、浴槽、ベッド等を利用した生体情報の無意識・自動計測を試み、長期連続データの収集や高齢者における測定・記録を行い良好な結果を得た。

また、電灯線LANを用いたシステムの統合化を目的とし、基盤技術となる電灯線LANの通信性能評価を行った。その結果、雑音の影響が大きい場合でも、欠落なくデータの転送が可能であることが示された。

F. 研究発表

1. 論文発表

- ① A. Kawarada, A. Tsukada, K. Sasaki, M. Ishijima, T. Tamura, T. Togawa & K. Yamakoshi, Automated monitoring system of home health care at the "Welfare Techno House", Medical & Biological Engineering & Computing, Vol.37, Suppl.1, pp.112-113, 1999.
 - ② A. Kawarada, A. Tsukada, K. Sasaki, M. Ishijima, T. Tamura, T. Togawa, K. Yamakoshi & M. Shibata, Automatic measurement of health status in daily life at a pilot house, Abstract of 3rd International Conference of Gerontechnology, p.17, 1999.
 - ③ A. Kawarada, A. Tsukada, K. Sasaki, M. Ishijima, T. Tamura, T. Togawa & K. Yamakoshi, Automated monitoring system for home health care, Proceedings of 1st Joint BMES/EMBS Conference, Vol.2, p.694, 1999.
 - ④ A. Kawarada, A. Tsukada, K. Sasaki, M. Ishijima, T. Tamura, T. Togawa & K. Yamakoshi, Evaluation of automated monitoring system for home health care, Medical & Biological Engineering & Computing, Vol.37, Suppl.2, pp.874-875, 1999.
- ### 2. 学会発表
- ⑤ 川原田淳, 中西智美, 高木徹之, 塚田章, 佐々木和男, 石島正之, 田村俊世; 戸川達男, 山越憲一, 高齢者健康支援のための在宅健康自動計測システムの開発, 第38回日本エム・イー学会大会, 1998 [医用電子と生体工学, Vol.37, Suppl., p.133, 1999.]
 - ⑥ 大嶋章寛, 吉田秀成, 岡本明男, 中川原実, 田中志信, 山越憲一, 川原田淳, 体重関連・心機能情報のトイレ内無意識自動計測システム—精度検討と長期計測例について—, 第38回日本エム・イー学会大会, 1999 [医用電子と生体工学, Vol.37, Suppl., p.382, 1999.]
 - ⑦ 小川充洋, 田村俊世, 川原田淳, 無意識計測による健康自動計測システム, 平成11年度電気関係学会東海支部連合大会, 1999 [講演論文集, p.108, 1999.]