

厚生科学研究費補助金  
長寿科学総合研究事業

在宅健康計測システムの高度化に関する研究

平成13年度 総括研究報告書

主任研究者 戸川 達男

平成14(2002)年 3月

# 目 次

I. 総括研究報告	
在宅健康計測システムの高度化に関する研究	1
戸川達男	
II. 分担研究報告	
1. 浴槽に設置するモニタリングシステムに関する研究	7
戸川達男	
2. 在宅での心磁図計測に関する研究	12
上野照剛	
3. トイレに設置するモニタリングシステムに関する研究	17
ートイレ設置型生理機能モニタリングー	
山越憲一	
4. 在宅での行動のモニタリングに関する研究	23
ー加速時計を用いた健康モニタリングに関する研究ー	
太田 茂	
5. ベッド内心電計に関する研究	27
ー入浴温度刺激による発汗作用の時系列的同定に関する研究ー	
石島正之	
6. 健康自動計測を導入した在宅設計	29
川原田淳	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	36

厚生科学研究費補助金（長寿科学総合研究事業）

総括研究報告書

在宅健康計測システムの高度化に関する研究

主任研究者 戸川達男 東京医科歯科大学教授

研究要旨

高齢化社会において、すでに発症した疾病に対処する以前にそれを予防することはより望ましい。本研究では、外見上健康な高齢者の日常の生理機能状態を日常の在宅での生活環境下で計測し、長期にわたって蓄積されたデータを個人の健康管理に活用する機器・システムの開発を目的とした。本年度は具体的には、在宅において運用可能なモニタリング機器の開発、それらの機器を統合する計測システム、2つの方向で研究を行った。本年度はモニタリング機器の開発においては、携帯型加速度計を用いた健康状態モニタ、便座を利用した血圧モニタのそれぞれの開発を行なうとともに、在宅での心磁図計測および浴槽内に設置した電気化学的センサによる発汗計測の可能性について検討した。システムに関しては、無線機器を用いたセンサのテレメトリ化システムの開発と、家庭に設置されたセンサ機器の故障自動検知法の開発を行った。

分担研究者

石島正之 東京女子医科大学助教授

山越憲一 金沢大学教授

太田茂 川崎医療福祉学教授

川原田淳 富山大学助教授

上野照剛 東京大学教授

用可能な機器・システムの開発を目的とする。本年度においては本研究は具体的には、在宅において運用可能なモニタリング機器の開発、それらの機器を統合する計測システム、2つの方向での研究を行なう。

本年度はモニタリング機器の開発においては、携帯型加速度計を用いた健康状態モニタ、便座を利用した血圧モニタのそれぞれの開発を行なうとともに、浴槽内に設置した電気化学的センサによる発汗計測と在宅での心磁図計測の可能性について検討した。

統合計測システムに関しては、計測機器を設置可能な住宅設計に関する研究として、

A. 研究目的

高齢化社会に向かい、すでに発症した疾病に対処する以前にそれを予防することはより重要であると考えられる。本研究では、外見上健康な高齢者の日常の生理機能状態を日常の生活環境下で計測し、長期に渡って蓄積されたデータを個人の健康管理に活

無線機器を用いたセンサのテレメトリ化システムの開発と、家庭に設置されたセンサ機器の故障自動検知法の開発を行った。

本年度においては本研究では、これまでに行なわれた研究よりもより高度な技術を用いて、在宅での心磁図や血圧の無自覚的な測定を行なうことを目的とする。また、高度技術を導入する一方で、これまでに開発された機器群の実際の家庭への導入に関しても検証実験を行い、実際の家庭でのモニタリング機器およびシステムの運用可能性について検討し、実際に家庭へのシステムの導入を容易とすべく既存システムの改良や新規システムの開発を試みた。

## B. 研究方法

### 1) 携帯型加速度計を用いた健康状態モニタの開発

歩行時の体軸の揺れを立体的に把握するため3軸化した加速度計を被験者の腰背部に装着し、心拍数と酸素摂取量との相関関係が既知の被験者を用いて精度を検証した。また、若年の被験者に対し歩行を制限する負荷を加えて加齢の影響を模擬し、歩行時の計測結果を解析した。さらに、幅広い年代の被験者について歩行の計測を行い、その結果と年齢の関係を解析した。なお、全実験においては、歩行速度を一定に保つためトレッドミルを用いた。

### 2) 浴槽内に設置した電気化学的センサによる発汗計測法の検討

温度刺激による発汗作用はおもに交感神経活動に支配されるが、副交感神経の緊張も発汗量を増大させることが知られている。さらには交感・副交感神経のバランスが崩れることにより発汗障害が発生する。本年

度は、分泌過程を一定温度の湯の入浴時に観察することで、自律神経活動を長期的に推定する基礎を築くことを目的として実験を行った。浴槽内に各種の電気化学的センサ（電気伝導度、pH、塩換算濃度、酸化還元電位）を設置し、その出力の経時的変化を計測分析した。計測条件として、センサの浴槽内での設置位置、気泡ジェットの有無、入浴剤の有無を設定した。

### 3) 便座を利用した血圧測定

血圧は生理情報として非常に有用であるが、これを在宅で無自覚的に計測可能なモニタ機器は存在しない。本研究では、在宅での日常生活環境下での血圧計測法として、洋式トイレの便座を利用する方法を検討している。間接血圧計測法および測定部位は容積振動法および便座と接触する大腿部後面とし、容積検出には指向性が広く、光センサの受光面積を大きくした反射形光電容積脈波法を用いた。

システムは大腿部圧迫用カフユニット、ギアポンプを用いた加圧制御部、光電容積検出回路部、および汎用パーソナルコンピュータから構成されている。大腿部と接触する便座には42φの開放口を設け、カフユニットは、反射形光電センサを内臓した加圧板（加圧有効径;30φ）、流体封入チャンバ、圧計測用カフから構成され、加圧板が大腿部長軸方向に対して垂直に押し上げるようにスライドガイドを設けて、安定した加圧ができるように製作した。また、チャンバから加圧板までの機械的摩擦による圧損失を考慮し、両者の間に圧計測用カフを設置し、加圧板に作用する圧力を直接検出する方式とした。カフ圧、および光電脈波の信号は100Hzのサンプリング周波数によりA/D変換してパソコンに取り込んで解析を行っ

た。被験者は健常男子大学生15名とし、実験主旨を説明、承諾を得られた後に行った。普段の日常生活でトイレ使用する自然な状態で便座に座ってもらい、血圧計測を行った。このとき、参考までに手首部で容積振動法による血圧計測を同時に行い、大腿部血圧との比較資料とした。

#### 4) 心磁図計測

心磁図の計測は非接触で行われるため、在宅での日常生活環境下での計測にこれを応用できれば理想的である。本年度は心筋梗塞の検知を目標とし、ラットに冠状動脈閉塞術を施し、人工的に心筋梗塞モデルを作った。梗塞前後、並びに梗塞後時間経過に対する心磁図の変化を、12ch マイクロSQUID で測定し、ミニマムノルム法を用いて心筋内に流れる電流分布を求めた。

#### 5) 住宅設計に関する研究

今年度はこれまでに開発されてきた在宅に設置可能な生体・行動計測システムを一般家庭に導入する際に、長時間の生体計測や健康状態のモニタを行う面で重要な問題となる測定環境の整備に関する検討を行った。無拘束・無意識計測の測定環境を改善するために、コードレスセンサの開発を行うとともに、在宅健康計測システムとコードレスセンサによる屋外無拘束計測システムでのデータ収集や記録方式・形態に関するプラットフォームを共通化し、統一されたフォーマットとしてデータ管理が行われるように、屋外・在宅計測システムの統合化及び測定環境のシームレス化を試みる。

#### 6) 故障自動検知

これまでに、在宅に各種のセンサを設置し、被験者の生理データおよび行動データを被験者に非侵襲的かつ無意識的に計測可

能であることが示されている。実際にそれらのモニタを家庭に設置して計測するにあたって、センサ・システムの故障を遠隔から自動的に検知する技術の開発は必須であると考えられる。本年度は、昨年度までに開発された家庭に設置可能な行動モニタリングシステムを用い、システムに統合されたセンサ群を模擬的に故障させ、故障時のデータより故障検知が可能かどうかを検討し、故障検知のためのアルゴリズムの開発を試みた。

#### (倫理面への配慮)

各研究において、必要ある場合は倫理面への配慮を行った。具体的には、被験者への実験参加の意志の確認、実験趣旨の説明を徹底した。また、被験者のプライバシーに配慮し、実験結果の公表にあたっては被験者の氏名が特定できないようにした。

### C. 結果

#### 1) 携帯型加速度計を用いた健康状態モニタの開発

3軸加速度計の計測結果は最大酸素摂取量を基準とした運動強度と高い相関を示した。また、20代から70代までの被験者に対し実施した実験結果では年齢差よりも個人差の大きさが目立った。

#### 2) 浴槽内に設置した電気化学的センサによる発汗計測法の検討

センサの設置位置を浴槽上部に置くことでpHと導電度を、浴槽の底部に設置することで酸化還元電位を経時的変化として得ることができた。それらは指数または対数関数で回帰できる再現性のある応答であった。塩換算濃度はその変化はとらえることが出来なかった。拡散イオンの平均を計測

するための気泡ジェットでは出力変化を見ることが出来なかった。入浴剤は基点を変動させたが同様の変化を見た。

### 3) 便座を利用した血圧測定

全ての被験者に対し、加圧に伴う容積脈波信号は、通常の座位姿勢において、容積振動法で典型的に観測される脈波振幅変化パターンが良好、かつ安定して得られた。中枢側血圧値の差異は生理学的に不可避と思われるが、手首平均血圧とは比較的良く一致した結果が得られたが、最高血圧については大腿部血圧が高値を示した。

### 4) 心磁図計測

ラットの心筋梗塞は、左冠状動脈を結紮することによりおこしたが、結紮直後より心磁図には変化が見られ、その異常心磁図の発生が結紮部位の周囲から発生していることがわかった。電流推定はミニマムノルム法を用いて行ったが、梗塞部位がはっきりと特定できた。

### 5) 住宅設計に関する研究

極近距離テレメトリを利用した1チャンネルコードレスセンサは、PFM（パルス周波数変調）方式を利用し、重量：32.5 g、消費電流：8.8 mA、大きさ：W 45 x L 45 x H 10 mmを実現し、軽運動時や送受信器間の距離を4-5m程度離れた時もシステムは安定しており、十分に実用に供し得ると思われた。また、多チャンネル化のためにPFM方式に加えて、PWM（パルス幅変調）方式を併用し、複数の生体情報を重畳させた。本システムにより、心電図波形、身体加速度、呼吸波形、体温の測定を行ったところ、全体的としてほぼ完全な波形の記録が行われ、安定かつ良好な4チャンネル同時通信が可能であった。

### 6) 故障自動検知

環境情報を計測するセンサにおいては、模擬故障時のデータより故障判別が容易に可能であった。また、被験者の行動モニタ用のセンサ群については、各センサ単独の出力を観測しての故障検知は不可能であると考えられたが、複数のセンサの出力の比較が可能である場合は故障検知が可能であった。また、センサではなくデータ収集システムの故障においては、遠隔にデータが転送されないことによって検知は容易に可能であるものと考えられた。

## D. 考察

### 1) 携帯型加速度計を用いた健康状態モニタの開発

本研究においては、計測された加速度を用いて酸素摂取量と高い相関を示す指標を見出したが、歩行を制限する各種負荷に関しては、姿勢等の変化では調整しきれない足関節の錘が膝関節屈曲制限器具や腰背部の錘よりも歩行に影響を及ぼすものと考えられた。

### 2) 浴槽内に設置した電気化学的センサによる発汗計測法の検討

pH、導電度酸化および還元電位について、計測のために最適な設置位置を求めることができた。今回導入したセンサ群は使用上安定性があるため、長期の観測に適するものと考えられた。

### 3) 便座を利用した血圧測定

無意識な血圧計測において、便座と大腿部接触面とに隙間が生じるような座り方の場合、大腿部の加圧が有効に行われず、血圧計測が困難となる場合もあり、計測法の改良が必要と考えられた。

#### 4) 心磁図計測

本研究ではMNE電流源推定法を用いた。本推定法は、予め電流源の位置を仮定するため、電流分布が正確に求まるという利点と、センサー配列に近い方向に推定される電流分布が歪む傾向があるという欠点を持つが、心筋梗塞の早期発見を目的とした心磁図計測のためには本推定法は有効であると考えられた。

#### 5) 住宅設計に関する研究

本年度開発したテレメータの評価のために携帯用センサへの導入を行ったが、本テレメータは家庭内に設置される固定式センサ群のネットワーク化にも有用であるものと考えられた。

#### 6) 故障自動検知

設置されたセンサ群の出力に含まれる情報が冗長であれば（複数のセンサが同一の行動に由来する事象をモニタしていれば）、複数のセンサの出力を比較することによってセンサの故障検知は容易であるものと考えられた。一方、センサ出力に含まれる情報が冗長でない場合（唯一のセンサが、何らかの行動に由来する事象をモニタしている場合）は、センサの故障検知は困難となるものと考えられた。われわれはこれまでに、センサを用いた行動モニタリングにおいては、冗長なセンサの選択および配置が有効であることを示しているが、故障検知においても、冗長なセンサの選択および配置が有効であるものと考えられた。

#### E. 結論

携帯型加速度計を用いたモニタでは、歩行時および走行時において2軸以上の加速度計を用いて被験者の脚筋力や平衡機能を

推測可能と考えられた。浴槽内に設置した電気化学的センサによる発汗計測法の検討においては、発汗過程を浴槽内に設置した電気化学的モニタによって経時的に計測可能であった。本方式により、突然死などに関与するとされる自律神経活動の一端を、時間医学的な長期間にわたり無自覚的に推定できる可能性があると考えられた。便座を利用した血圧測定では、便座を用いてトイレでの無意識的な血圧計測が実現できると考えられた。とくに、手首平均血圧とは比較的良く一致した血圧を得た。在宅での心磁図計測については、ラットの心筋梗塞モデルを用いて、心磁図、及び心電図を計測し梗塞前後の信号の変化を調べた結果、以上の有無の検出には心磁図が有効であると考えられた。また、ミニマムノルム法による電流源推定により梗塞部位の特定が可能であった。住宅設計に関する研究に関しては、在宅健康計測システムとコードレスセンサを統合することにより、住宅内ばかりではなく、屋外においてもより詳細で連続的な長時間生体情報収集や健康モニタを実現する屋内外のシームレスな測定環境を提供できる可能性が示された。故障自動検知では、環境パラメータを計測するセンサの故障は容易であること、行動検知用センサの故障についてはセンサが冗長に選択・配置されている場合には容易であることを示した。また、これより、センサを冗長に選択・配置することが実用的であることを実証した。本年度の研究により、モニタ機器、モニタ機器を統合するシステム、の各分野において一定の成果が得られ、システムの実用化のために有用な技術の開発ができたものと考えられる。

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

- [1] 山越憲一、田中志信: 高齢者支援のためのセンサ技術, 計測と制御, vol.40(5), p343-350, 2001
- [2] 谷川智宏、太田茂、長尾光城: 携帯型3軸加速時計を用いた運動量計測への試み, 川崎医療福祉学会誌, vol.11(1), p99-105, 2001
- [3] 谷川智宏、品川佳満、藤谷恭信、太田茂、長尾光城: 携帯型加速時計を用いた運動強度の計測, 川崎医療福祉学会誌, vol.11(2), p313-318, 2001
- [4] 川原田淳: 在宅における各種生理機能の無意識計測, 運動・物理療法, vol.12(4), p301-308, 2001
- [5] A. Tachikawa, S. Uchida, K. Iamina, S. Ueno Measurements of magnetic fields associated with end plate potentials induced from neuromuscular junctions in frogs, Proceedings of Biomagnetism 2000, 1003-1005, 2001
- [6] S. Uchida, K. Goto, A. Tachikawa, K. Iramina and S. Ueno, Magnetocardiographic Imaging for Ischemic Myocardial Muscles on Ratsm IEICE Transactions on Information and Systems, E85-D(1): 30-35, 2002.

### 2. 学会発表

- [1] Mitsuhiro Ogawa, S. Ochiai, K.Otsuka, T.Togawa: Remote Monitoring of Daily Activities and Behaviors at Home , 23rd Annual Inter. Conf.IEEE Eng. in Med. Biol.
- [2] 落合嗣郎, 小川充洋, 戸川達男: 在宅健康モニタリングにおける生活パターンの定量解析の試み, 第40回日本エム・イー学会大会
- [3] 小川充洋、鈴木亮二、井筒岳、辻隆之、岩谷力、戸川達男: WTH 水沢における健康モニタリングー生活時間調査との比

較-,第40回日本エム・イー学会大会

- [4] 高橋裕子、小川充洋、大竹佐久子、井筒岳、辻隆之、戸川達男: 独居高齢者宅における健康・生活モニタリングの一例, 第40回日本エム・イー学会大会
- [5] 戸川達男、小川充洋: 家庭における生活習慣のモニタリング, 第12回臨床モニター学会総会
- [6] 内田誠也、伊良皆啓治、上野照剛: マイクロ SQUID の医療応用, マグネティックス研究会
- [7] 立川光、内田誠也、伊良皆啓治、上野照剛: 神経筋接合部の自動磁場計測, 第16回日本生体磁気学会

## H. 知的所有権の取得状況

### 1. 特許取得

特願 2001-150545 運動機能測定装置および運動機能測定システム

特願 2001-353935 運動機能測定装置および運動機能測定システム

### 2. 実用新案取得 なし

### 3. その他 なし



厚生科学研究費補助金 (長寿科学総合研究事業)  
分担研究報告書

浴室に設置するモニタリングシステムに関する研究

主任研究者 戸川達男 東京医科歯科大学学生体材料工学研究所教授

研究要旨

本年度は、宅内にモニタリングシステムを設置・運用するために必須と考えられるもモニタリングシステムの故障検知技術の開発を試みた。本年度は、宅内に設置されるセンサの故障検知にとくに着目した。実験として、独居若年被験者宅にセンサ群を設置し、日常生活において行動モニタリングを行ない、各種センサを模擬故障させた際のデータより、故障検知が可能であるかどうかを検討した。結果、環境パラメータを計測するセンサの故障検知は容易であること、行動検知用センサの故障についてはセンサが冗長に選択・配置されている場合には容易であることを示した。また、これより、センサを冗長に選択・配置することが実用的であることを実証した。この結果より、長期間のモニタリングにおいて不可避であると考えられるセンサの故障を検知する技術の実現は可能であるものと考えられた。

A. 研究目的

生活習慣のモニタの一つとして行動モニタリングが考えられる。これまで、家庭にセンサ群を設置し、データをパーソナル・コンピュータによって計測・集積することにより、生活行動をモニタする試みが行なわれている。われわれはこれまでに、

1. 高齢者宅にセンサ群を設置することによりデータを被験者に無意識に収集可能であること。
2. 収集されたデータを目視で観察することによって生活行動を定性的に把握できること。
3. 収集したデータ間の距離を適切に定義することによって、休日と平日の行動パ

ターンを客観的に弁別する指標が導入可能であること。  
を示している。

われわれは、高齢者の在宅におけるモニタリング技術の開発のために、これまでに在宅に設置可能なセンサの開発と選択、遠隔から自動的にデータ収集を行なうためシステムの開発、および収集されたデータの解析技術を開発してきた。これらの技術により、原理的には高齢者の在宅モニタが可能であることを実証できたと考えている。

しかし、これまでの実験において、センサの故障が度々発生した。実際に高齢者の在宅モニタを施行するにあたっては、センサなどのシステムの構成要素の故障に対応

することが必須であると考えられる。今回、われわれは、入浴行動をはじめとする日常行動のモニタリングにおいてシステムの故障検知技術の開発を試みた。

## B. 研究方法

昨年度までに構築した行動モニタリングシステムに改良を施し、実験に用いた。システムはハードウェア（各種センサおよびデータ収集用パーソナル・コンピュータ）とソフトウェア（データ収集プログラム）とにより構成された。

センサには、昨年度までに実績のある以下を選定した。

- (a)人の接近、通過を検知するための焦電型赤外線センサ（H5526 HAMAMATSU）
- (b)ポットなど家電製品を使用する際、指や手が触れる部分に取り付け、身体に帯電する静電気や静電誘導を増幅させることで接触を伴う行動を検知する接触センサ
- (c)ドアの使用を検知するドア開閉センサ（GSM-1、オムロン）
- (d)室温と台所排水温度計測のためサーミスタ（44108、日機装 YSI）を用いた温度センサ
- (e)室内湿度センサ（HMP45A、VAISALA）、
- (f)人の呼気に含まれる二酸化炭素ガスを検知するための二酸化炭素ガス濃度センサ（4GS Carbon Dioxide Gas Sensor、Texas Instruments）

計測用ソフトウェアの構築には、言語系として LabView ver 5.0（National Instruments）を用いた。また、これまで

に、信号毎にサンプリング周波数が個別に設定でき、不測の事態におけるデータ損失にも対応可能な記録形式を開発している。各センサの出力信号収集は、ノート型パーソナル・コンピュータを用い、これに（CPU: MMXPentium266MHz、Memory:96MB）に取り込んだ。計測ソフトウェアは昨年度までに開発したものをを用いた。本システムを用いることにより、収集されたデータを公衆 ISDN 回線を利用したインターネット経由で、遠隔地のサーバへ1日1回の頻度で自動的に転送可能である。

使用されたセンサはいずれも被験者に無意識のうちに計測が可能なものであり、計測ソフトウェアは完全自動で動作し、被験者による操作を要しなかった。用いられたノート型パーソナル・コンピュータは作動音も小さく、被験者の生活を妨げないという要件を満たした。

構築したシステムを用いて、若年健康成人1名の住居にて、行動モニタリングを行なった。ドア開閉センサは、玄関ドア・居間ドア・冷蔵庫ドア部、トイレ・浴室ドアに、接触センサは、台所流し台蛇口のノブ・ガスコンロのスイッチ・炊飯器・電気ポット・洗面台蛇口のノブに、焦電型赤外線センサは、流し台前と居間に、温度センサは流し台の排水部・洗面台の排水部にそれぞれ設置した。室内温度、湿度、二酸化炭素ガス濃度センサは台所付近に設置した。各センサのサンプリング周波数は、開閉センサ・接触センサ・焦電型赤外線センサは1[Hz]、温度センサ・湿度センサ・二酸化炭素ガス濃度センサは1/60[Hz]とした。

本年度は行動モニタ実験において、作為的にセンサの一部を模擬的に故障させ、デ

ータ収集を行った。センサからのデータ収集用ケーブルを断線させること、およびセンサを所定の設置位置から脱落させることによって、模擬的な故障を発生させた。この際の実出力信号の変化から、故障を自動検知できるアルゴリズムが構築可能であるかどうかを検討した。

#### (倫理面への配慮)

被験者には予め実験の主旨と方法について説明を行ない、実験に参加する許諾を得た。また、実験中止・中断は被験者の任意とした。計測ソフトウェアは被験者による操作無しで動作するが、ソフトウェア停止手続きについては被験者に説明を行ない、任意に実験を中止・中断できるよう配慮した。

また、今回は特別に、センサの模擬的な故障発生時に断線させたセンサ部に以上発熱・漏電などの異常が発生しないかどうか留意した。

### C. 研究結果

(d)温度センサ、(e)室内湿度センサおよび(f)二酸化炭素センサについては、模擬故障発生時に一定の値を連続して出力した。これらのセンサは環境情報を計測するものであるが、実際にはそれらの環境パラメータは1日内においても変動を免れない。したがって、長時間にわたって一定の値を出力するような故障の検知は容易であるものと考えられた。これらのセンサは、各センサ単独の出力の観測によって、故障検知が可能なものと考えられた。

また、(a)焦電赤外線センサ、(b)接触センサ、(c)ドア開閉センサについては、各セン

サ単独の出力を観測しての故障検知は不可能と考えられた。これは、これらのセンサがヒト行動に由来する情報を出力するため、検知すべきヒト行動が存在しなかった状態とセンサが模擬故障した状態の判別が困難であったためである。

これらのセンサの故障は、他のセンサの出力との比較を行なうことによって可能であった。例えば、台所流し台前に設置された焦電赤外線センサの故障は、台所蛇口に設置された接触センサの出力と比較することによって可能であった。これは、台所蛇口を利用する際には、必ず焦電赤外線センサの出力も有感となるため、蛇口部接触センサのみ出力を示した場合は、焦電赤外線センサに異常があるという論理を構築することが可能となるためである。また、蛇口部接触センサの故障は、流し台に設置された温度センサとの比較で可能であった。これは、蛇口使用時の排水により、流し台排水部に設置された温度センサの出力が環境による変化よりも短い時定数で変化するためである。

一方、こうした論理を構築できないセンサの故障の検知は困難であった。例えば、冷蔵庫ドアの開閉を検知するドア開閉センサおよび浴室ドア部の開閉センサの模擬故障は検知できなかった。これは、冷蔵庫および浴室の使用がなかったのか、センサが故障したのかを判断する論理を構築できなかったためである。実際には、これらの故障は、例えば1週間異常の冷蔵庫開閉がなかった場合には異常など考えることによって可能となることも考えられるが、被験者の生活履歴を考察しつつ判断することが必須であると考えられた。

また、センサではなくデータ収集システムの故障においては、遠隔にデータが転送されないことによって検知は容易に可能であるものと考えられた。

#### D. 考察

環境パラメータを計測するセンサにおいては、故障の検知は容易であると考えられた。

また、設置されたセンサ群の出力に含まれる情報が冗長であれば（複数のセンサが同一の行動に由来する事象をモニタしていれば）、複数のセンサの出力を比較することによってセンサの故障検知は容易であるものと考えられた。一方、センサ出力に含まれる情報が冗長でない場合（唯一のセンサが、何らかの行動に由来する事象をモニタしている場合）は、センサの故障検知は困難となるものと考えられた。われわれはこれまでに、センサを用いた行動モニタリングにおいては、冗長なセンサの選択および配置が有効であることを示しているが、故障検知においても、冗長なセンサの選択および配置が有効であるものと考えられた。行動検知においては、しばしば唯一かつ完全かつ冗長度を持たないセンサ・システムを選択・配置するようなシステムないしはコンセプトを構築しようと志向する場合がある。しかし、実際に長期間連続で動作可能な堅牢なモニタリングシステムを設計・開発するためには、冗長なセンサの選択・配置が有効であるものと考えられ、システム設計にあたって重要な指針となるものと考えられた。

#### E. 結論

より堅牢な在宅におけるモニタリングシステムを構築するために、センサの故障検知技術の開発を試みた。結果、環境パラメータを計測するセンサの故障は容易であること、行動検知用センサの故障についてはセンサが冗長に選択・配置されている場合には容易であることを示した。また、これより、センサを冗長に選択・配置することが実用的であることを実証した。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

[1] Mitsuhiro Ogawa, S. Ochiai, K.Otsuka, T.Togawa: Remote Monitoring of Daily Activities and Behaviors at Home, 23rd Annual Inter. Conf.IEEE Eng. in Med. Biol.

[2] 落合嗣郎, 小川充洋, 戸川達男: 在宅健康モニタリングにおける生活パターンの定量解析の試み, 第40回日本エム・イー学会大会

[3] 小川充洋, 鈴木亮二, 井筒岳, 辻隆之, 岩谷力, 戸川達男: WTH 水沢における健康モニタリングー生活時間調査との比較ー, 第40回日本エム・イー学会大会

[4] 高橋裕子, 小川充洋, 大竹佐久子, 井筒岳, 辻隆之, 戸川達男: 独居高齢者宅における健康・生活モニタリングの一例, 第40回日本エム・イー学会大会

[5] 戸川達男, 小川充洋: 家庭における生活習慣のモニタリング, 第12回臨床モニター学会総会

#### H. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得 なし

2. 実用新案取得 なし

3. その他 なし

## 在宅での心磁図計測に関する研究

分担研究者 上野照剛 東京大学大学院医学系研究科

### 研究要旨

本研究では、超高感度の磁気センサである SQUID 磁束計を用いて、ベッドに横になるだけで手軽に心磁図を計測することができるシステムの開発を目指している。本年度は、心筋梗塞モデルのラットを用い、梗塞前後、並びに梗塞後時間経過に対する心磁図の変化を調べ、心磁図解析システムの開発を行った。ラットの心筋梗塞は、左冠状動脈を結紮することによりおこした、心筋梗塞直後より心磁図には変化が見られ、心磁図の発生部位を解析すると、異常心磁図が、心筋梗塞部位の周囲から発生していることがわかった。心磁図の測定で心筋梗塞部位の推定はでき、心磁図計測の有用性が確かめられた。しかし、その実用化にあたっては、取り扱い簡便な高温超伝導 SQUID の開発など、まだ問題が残されている。

### A. 研究目的

心臓の電気活動から発生する磁場、MCG(心磁図: magnetocardiogram)に関して、心筋梗塞や狭心症等のような虚血性心疾患の病巣部位の推定に注目されている。心磁図は心電図の測定のように電極を体表面につける必要がなく、非接触で測定することが出来る。このため、ベッドに磁束計を備え付け、ベッドの上に横になるだけで心磁図が簡単に測定できるようになると、睡眠中など通常の生活の中で全く気にせず、健康状態を計測することができ、在宅で心臓の異常をモニターできるようになり、心臓疾患の早期発見につながる。そこで、本研究では、超高感度の磁気センサである SQUID 磁束計を用いて、ベッドに横になるだけで手軽に心磁図を計測することができるシステムの開発を目指している。

本年度は、心臓異常、特に、急性の心筋梗塞や虚血状態の心疾患に着目し、心筋梗塞モデルのラットを、用い、閉塞直前直後の心

磁図変化および電流源変化を調べた。また、測定した心磁図の解析を行い、異常心磁図の発生源と心筋梗塞の対応を調べた。

### B. 研究方法

本研究では、ラットの左心室の冠状動脈を閉塞し、閉塞直前直後の心磁図を動物用の 12chSQUID 磁束計を用いて測定し、心磁図の変化および推定される電流源の変化を調べた。

心磁図の発生源である電流分布の推定には、最小ノルム法 (MNE : minimum norm estimations) を用い、閉塞前後の電流分布の変化を求めた。

#### 1. 装置およびシールドルーム

高分解能 SQUID 磁束計 (セイコーインスツルメンツ) のピックアップコイルは、直径 5mm の 12 個のコイルが中心間の距離 7.5mm 離れて格子状に配置されている。デュワーの

底面とピックアップコイル間の距離が 5mm であり、ピックアップコイルはベースライン 15mm の 1 次微分型であり、コイルの巻き数は 1 ターンである。計測は、1mm 厚のパーマロイ 5 層、0.035mm 厚の銅箔 1 層の構造からなる磁気シールドルーム内で行った。

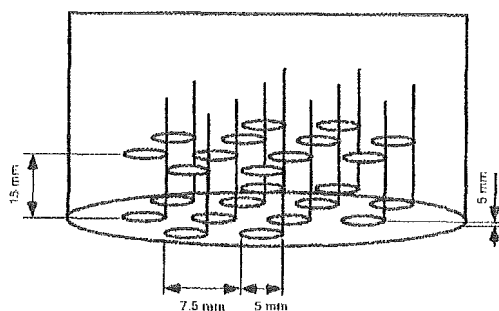


図 1 SQUID 磁束センサ

## 2. 冠状動脈閉塞

実験では、平均重量±STD が 209±11g の 7 匹の Wister 系の牡ラットを用いた。ラット開胸後、開胸器によって心臓が表に出され、左冠状動脈に絹糸が掛けられ軽く結ばれラットの冠状動脈閉塞術が施された。ラットの状態が安定した後、頸部および胸部の切開部が縫合された。冠状動脈に掛けられた絹糸は引かれると閉塞される用に胸部表面に出された。

## 3. 心磁図測定方法

デュワーの底面の中心がラットの心臓部の直上の皮膚表面に接触するように置かれ、実験中固定したままであった。約 10 分間閉塞前の心磁図が計測された後、ラットの位置が動かないように冠状動脈が閉塞され、その後 30 分間以上、心磁図が計測された。解析データ区間は、閉塞前 5 分間 (pre) と閉塞後 5 分から 10 分までの 5 分間(post)とした。

計測終了後に解剖して、心臓の大きさや位置の計測、冠状動脈閉塞状態の確認を行った。

心磁図は、四肢から計測した心電図(ECG)

の R 波に同期して 1000 回加算平均された。MCG および ECG はバンドパスフィルター 0.5-500Hz で処理された。R 波の出現した時刻を 0 ms とおき、P 波の前(-90 ms~-80 ms) で MCG 波形のオフセット処理を行った。

## 4. 解析

電流源推定は MNE を用いて計算された。磁束密度  $B=[b_1, b_2, \dots, b_M]^T$  は電流分布  $Q=[q_1, q_2, \dots, q_N]^T$  は次のような関係にある。

$$B=LQ \quad (1)$$

ここで、L はリードフィールド行列を示す。M は測定数を示し、今回は 12 である。N は推定電流源の数を示す。実際に、推定電流源数は測定数より大きく ( $N>M$ )、一般解は無数に存在する。そこで、ノルム二乗和を最小にするように解を求めた。

$$Q=\Gamma^{-1}BL \quad (2)$$

ここで

$$\Gamma=LL^T \quad (3)$$

ただし、解を求める際、ノイズによって数値的に不安定になるため、 $\Gamma$  の小さな固有値を無視した。その時の特異値のランクを K と定義した ( $K \leq M$ )。電流源は、Fig.2 のような楕円球の半球の表面に仮定した。楕円球の大きさや位置は解剖して実測した。

## C. 結果

図 2 は左冠状動脈閉塞前後に関するラットに心磁図の変化を示す。細線は閉塞前、太線が閉塞後の波形である。4ch、5ch、9ch、12ch において ST 部および T 波にかけて磁場の大きさが閉塞後増加している。電流源推定は ST 部 (5ms から 20ms 区間の磁場分布の平均) および T 波のピークに関して行った。

図 3 は、ST 部および T 波における等磁界線図を示す。

図 4、図 5 に ST 部、T 波それぞれの電流分布の結果を示す。上図は閉塞前、下図は閉

塞後の電流分布を示す。矢印は電流源の大きさと向きを示す。ST 部、T 波ともに閉塞前、全体的に目立った電流源は存在しなかった。

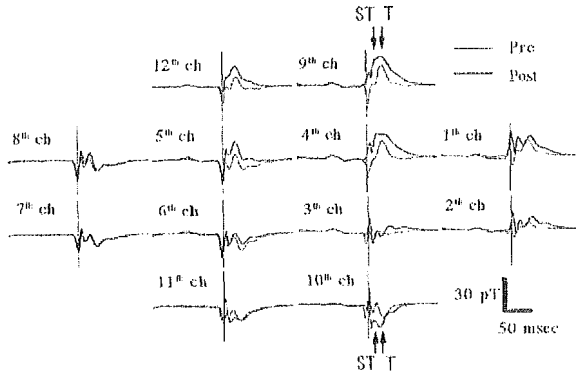


図 2 12chSQUID による心筋梗塞前後の磁場計測 (太線：心筋梗塞後 細線：心筋梗塞前)

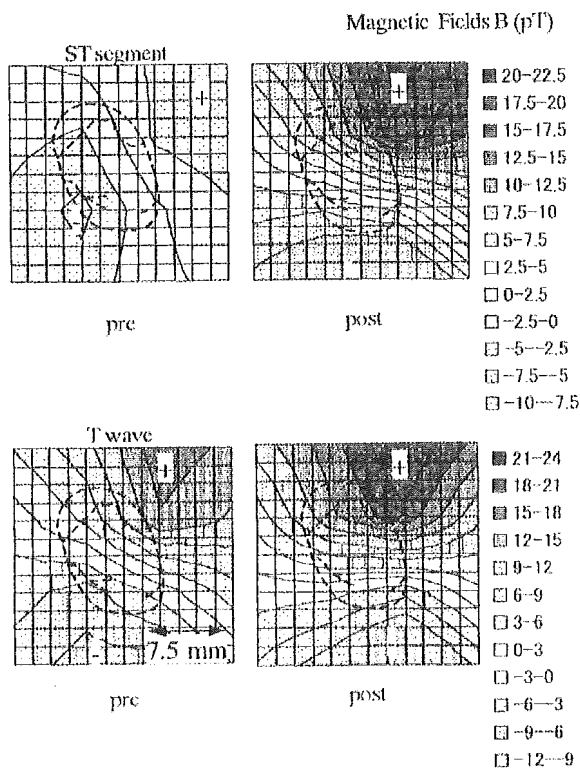


図 3 ST 部、T 波における等磁界線図

閉塞後、心室心尖部において、左向きの電流双極子の大きさが増大した。左冠状動脈は先突部および左心室の心筋に血液を循環させており、電流双極子の増加領域と左冠状動

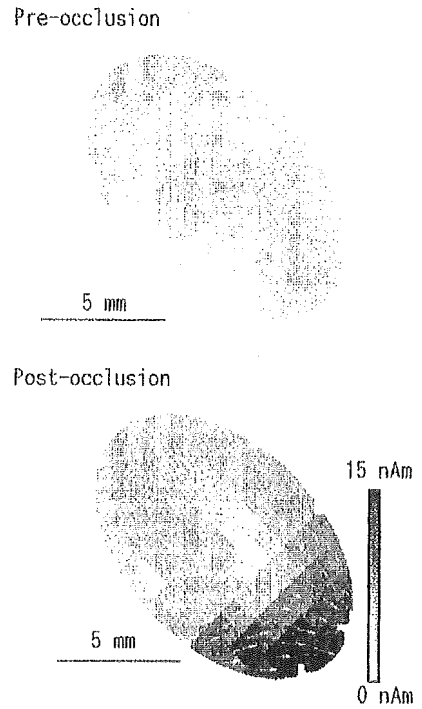


図 4 ST 部における心筋梗塞前後の電流分布

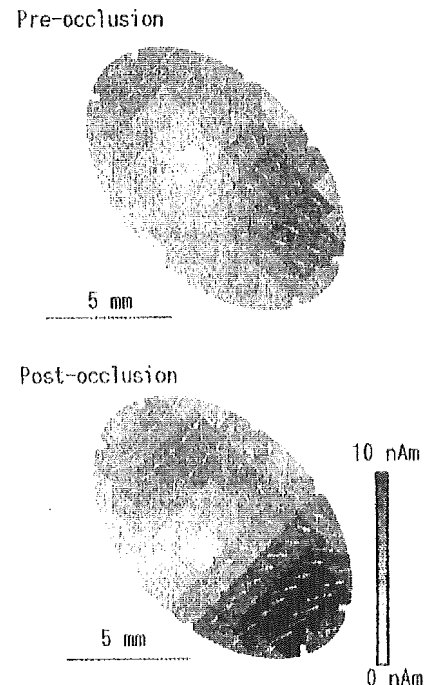


図 5 T 波における心筋梗塞前後の電流分布の支配心筋領域が一致していた。T 波においては、閉塞前後で電流の向きが下向きから左



向きに変化していることがわかる。

閉塞によって、ST 部の電流双極子が中央先突領域で有意に増加した。この領域は左冠状動脈の支配心筋領域と一致し、この部位に異常な電流が流れたことを示す。

#### D. 考察

左心室の心筋に血液を循環している左環状動脈を結糸したときのラットの心磁図を計測し、ST 部および T 波を MNE を用いて解析した。ST 部における電流分布の有意な増加、T 部における電流分布の有意な偏向（左向き電流）が明らかにされた。

本研究では、結果には示さなかったが MNE 法の他、ベクトルアローマップ、単一電流双極子推定法を用いてラットの心磁図を解析した。単一電流双極子推定法、最小のノルム推定は逆問題であるのに対して、ベクトルアローマップは計測面上の解析である。複数の電流源や広がりを持って分布している電流源から発生している磁束密度を解析する場合、ベクトルアローマップは  $xy$  軸座標についてかなり正確に解析できる。WPW 症候群および左右心室肥大、右脚ブロックの患者の心磁図をベクトルアローマップで解析したところ、特徴的なパターンが見つかっている。しかし、 $z$  軸つまり深さ方向の座標は欠如している。

双極性が高い電流源の場合、単一双極子電流源推定は電流源の  $xyz$  軸座標を正確に解析できる。人の心機能の解析には広く用いられ、WPW 症候群の副伝導路や期外収縮の異常興奮個所、再分極過程のモーメントの解析等に持ちいられている。人の心磁図の QRS 波双極子性は QRS 波の始めから 30 数 msec まで高いことが報告されている。また、T 波の双極子性も高いことから、単一双極子電流源推定の有効性が報告されている。しかし、心筋活動を一個の一個の双極子と仮定するに

は、心臓生理的に矛盾がある考えられる。そこで、本研究では MNE 法を用いて心磁図の解析を行った。

ラットの心磁図では、P 波、QRS 波のピークおよび T 波において双極子性が高く、電流源の  $xy$  座標とベクトルアローマップの極大値と相関があった ( $p < 0.0001$ )。相関係数が低いところでは、2 つの電流源や広がりを持った電流源（ループ電流）が、ベクトルアローマップや MNE で推定された。

MNE 電流源推定は、予め電流源の位置を仮定するため、電流分布が正確に求まる。解が非一意性を持つため、2 乗ノルムが最小になるように解くため、センサー配列に近い方向に推定される電流分布が歪む傾向がある。

ラット心臓の電流源解析は、人の心臓と比較して双極子性が低い時間が多く、単一双極子で解析するには問題が多いと考える。ベクトルアローマップおよび MNE 解析の方が有益であると考え。しかし、それらは深さ情報についての欠点を持つが、測定面を変えることによって解決できると考える。ラットの胸は人と比較すると円形に近いので、左右側方および背面からの心磁図も計測できるためである。

#### E. 結論

本研究では、心筋梗塞疾患モデルのラットを用い心磁図を計測し、心磁図計測による心磁図の変化が、心筋梗塞の早期発見につながる可能性があることを示した。心磁図が非接触で計測できるため、心磁図が測定できる環境を整えば心電図よりも容易に、異常のモニタが可能である。

本研究では、心磁図を在宅医療に応用することであるが、在宅医療における計測システムの開発にあたり、まだ多くの問題が残されている。現在、心磁図の測定に多く用いられ

ている磁束計は、液体ヘリウムを用いる SQUID 磁束計である。この磁束計は液体ヘリウムを用いるため簡便に扱えるものではなく、より操作性の良い高温超伝導 SQUID 等が必要となる。

#### F. 健康危険情報

特になし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

S. Uchida, K. Goto, A. Tachikawa, K. Iramina and S. Ueno, Measurement of magnetic fields and current source localization in auditory cortical activity of rats by a 12-channel dc-SQUID gradiometer, Proceedings of Biomagnetism 2000, 137-140, 2001

S. Uchida, K. Goto, A. Tachikawa, K. Iramina and S. Ueno, Measurement of high spatial resolution magnetocardiogram and source localization in rats with occlusion, Proceedings of Biomagnetism 2000, 534-538, 2001

A. Tachikawa, S. Uchida, K. Iramina, S. Ueno Measurements of magnetic fields associated with end plate potentials induced from neuromuscular junctions in frogs, Proceedings of Biomagnetism 2000, 1003-1005, 2001

S. Uchida, K. Goto, A. Tachikawa, K. Iramina and S. Ueno, Magnetocardiographic Imaging for Ischemic Myocardial Muscles on Rats, IEICE Transactions on Information and Systems, E85-D(1): 30-35, 2002.

##### 2. 学会発表

マイクロSQUIDの医療応用 マグネティック研究会2001, 12, 仙台

神経筋接合部の自動磁場計測  
第16回日本生体磁気学会, 2001, 6, 東京

厚生科学研究費補助金（長寿科学総合研究事業）  
分担研究報告書

トイレ設置型生理機能モニタリング  
ートイレ便座を利用した血圧計測に関する実験的検討(第3報)ー

分担研究者 山越憲一（金沢大学工学部・教授）

予防・健康維持管理支援システムの一つとして、これまで分担者は、家庭の調度を利用した在宅健康自動計測システムの構築を目指し、特にトイレ設置型体重関連・心機能情報自動計測システムの開発研究を行い、当初の目的を達成してきた。本年度は昨年度に引き続きこれまでの研究成果に基づき、セルフヘルスケアの上でより重要な生理情報である血圧を取り上げ、トイレ便座を利用した血圧計測について、実際の使用場面を想定して、計測システムの構築を行い、その使用性能について実験的検討を加えたので報告する。

キーワード：トイレ便座、血圧計測、容積振動法、反射型光電容積検出、局所加圧、大腿部血圧

#### A. 研究目的

高齢化と長寿化が進む我が国は、2015年には高齢化率が約25%という超高齢社会となることが確実視されている。高齢人口の増加と共に、国民医療費は年々増加の一途をたどっており、その削減の上でも、従来の病院や医療施設のみに頼らず普段の日常生活の中で自己の健康維持や疾病予防を管理する自立型の医療、すなわちホームセルフヘルスケアの急進展が期待されている。

このようなセルフヘルスケアの実場面を考えると、測定のためのセンサ類を身に付けさせず、測定操作等も一切行わず、普段の日常生活下で無意識のうちに各種健康情報を自動的に入手できる方法(無意識生体計測と呼ぶ)が最も望ましいと考えられる<sup>1-3)</sup>。

このような無意識計測では、ベッド、浴槽、ソファなどの家庭の調度にセンサ類や計測器を組み込み、生体情報を自然な状態で計測する方法が有望視されている<sup>1-3)</sup>。著者らも、これまでこのようなセルフケア計測技術の確立を目指し、特に家庭に常設されているトイレ内のスペースに着目し、日常の健康状態をモニタするバイタルサインとして体重・排尿/排便量・排尿速度、および心臓の血液駆出

機能を反映するバリストカーディオグラムを取り上げ、無意識的にこれらを自動計測し、かつデータ収集するトイレ設置型体重関連・心機能情報自動計測システムの開発を行ってきた<sup>4-9)</sup>。

本研究は前年度までの成果を踏まえ、システムの高度化を図ることを目指し、健康維持・管理の上で重要な生理量である血圧情報に注目して、実際使用を想定したトイレ便座からの血圧計測システムを新たに構築した。さらに、被験者による実使用を通してその性能評価を行い、システムの有効性を確認したので、今後の課題についても触れながら、研究成果の概要を報告する。

#### B. 研究方法

##### 1. 血圧計測システムの構築

血圧計測部位は、平成11-12年度の長寿科学総合研究報告でも述べたように、トイレ使用時において、カフやセンサを身に付けず、血圧計測という一連の操作とデータの記録までを自動化するには、便座と接触する大腿部後面が計測部位として唯一の箇所であり、今回構築するシステムについても当該箇所を採用した。この部位は、解剖学的に比較

的表層に近い貫通動脈血管床の血圧が計測対象となることが考えられる。容積脈波の検出には、前年度（平成12年度）の検討結果を踏まえ、種々の光源および光検出センサの組み合わせを検討した結果、最終的には指向性が広く、受光面積の広い反射形近赤外光電容積脈波センサ（光源；高輝度LED、TLN102x6個、ピーク波長940nm、東芝；光検出器；高感度Siフォトダイオード、S1366-8BK、指向性120°以上、サイズ5.8mmx5.8mm、浜松ホトニクス(株)）を用いた。

間接血圧計測法は、これまでと同様に容積振動法<sup>10)</sup>を採用し、大腿部への加圧方式は局所加圧法とした。

システムは大腿部圧迫用カフユニット、ギアポンプを用いた加減圧制御部、光電容積検出回

路部、および汎用パーソナルコンピュータから構成されている（図1）。大腿部と接

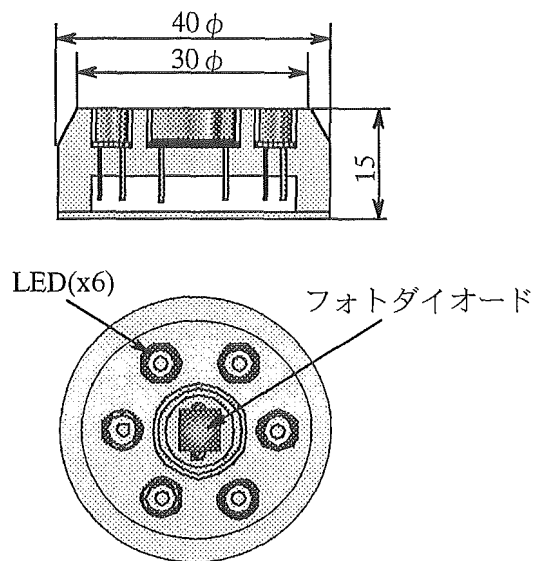


図2：光電容積脈波検出用センサ内臓形加圧板の形状寸法

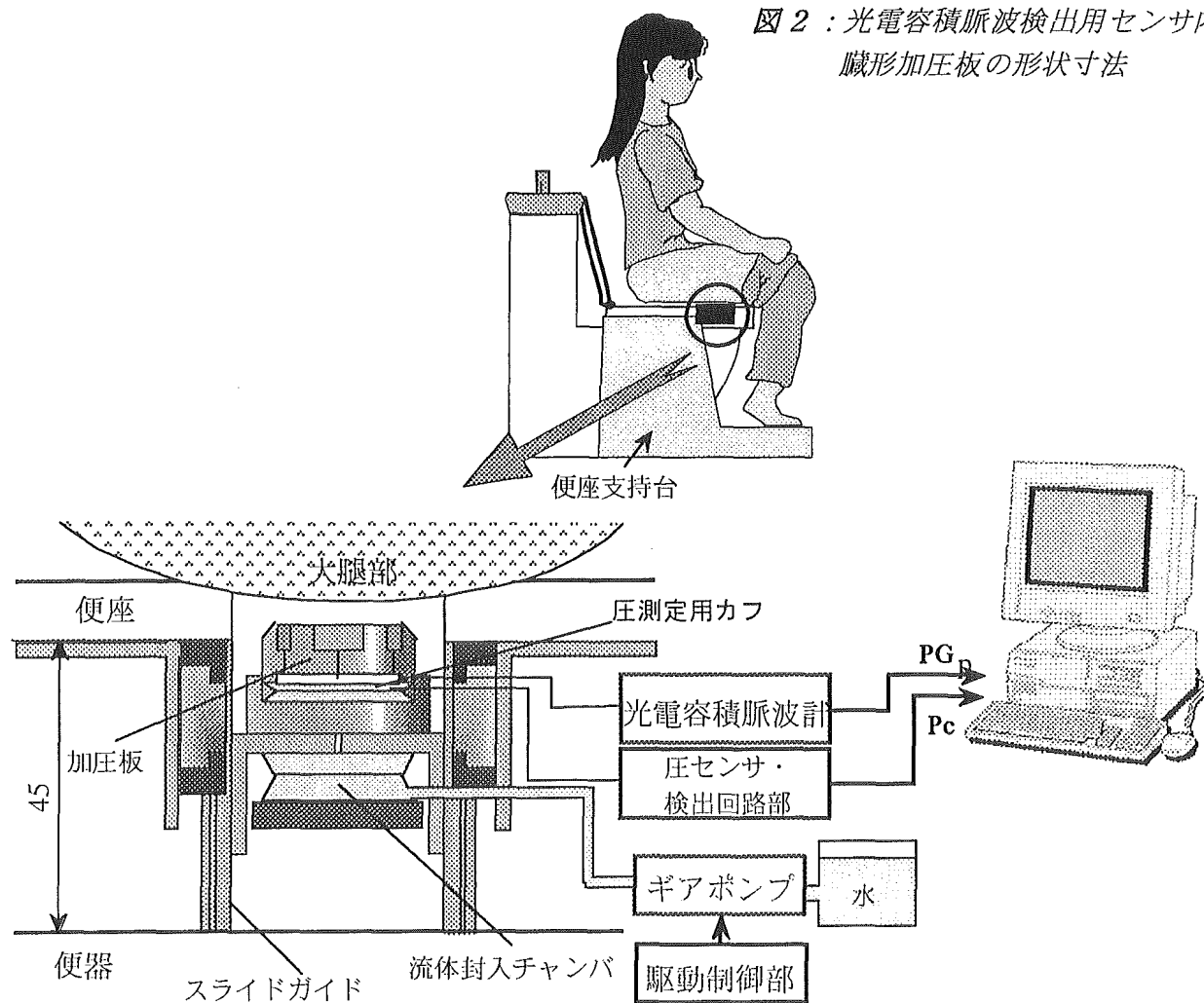


図1：トイレ便座からの血圧計測システムの全体概要