

図2. 9名の被験者による睡眠不足 (sleep deprivation) と8時間睡眠 (control) の比較

A:心拍数

B:RR 間隔の標準偏差

C:RR 間隔変動の高周波成分

D:スペクトル密度関数の傾き

E:平均血圧

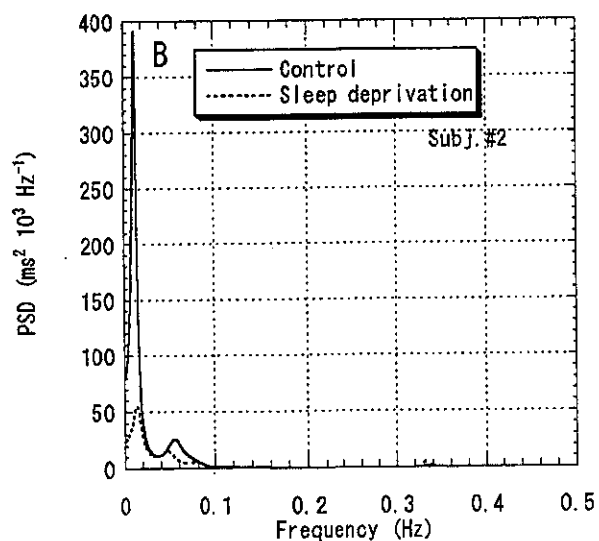
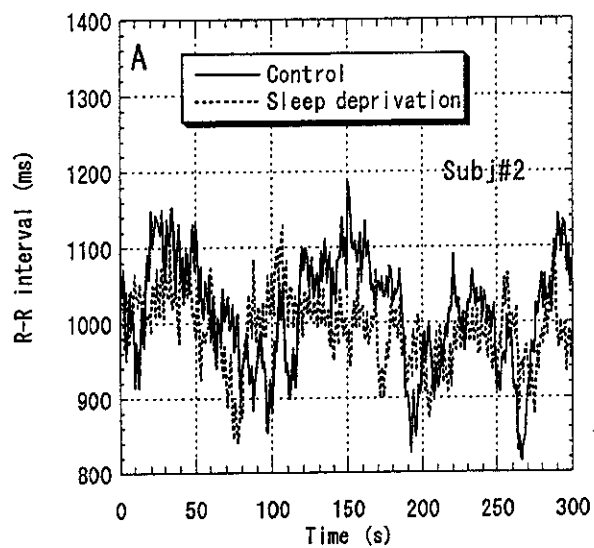


図3. A:心電図 RR 間隔の代表的な一例  
 実線がコントロール、破線が睡眠不足  
 B:A 図のスペクトル密度関数

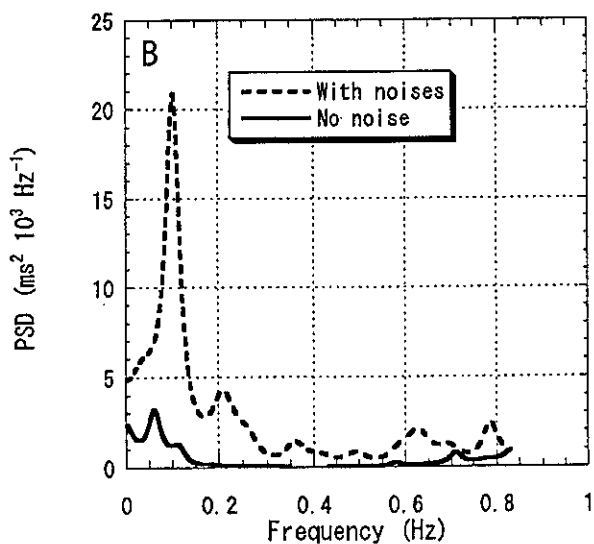
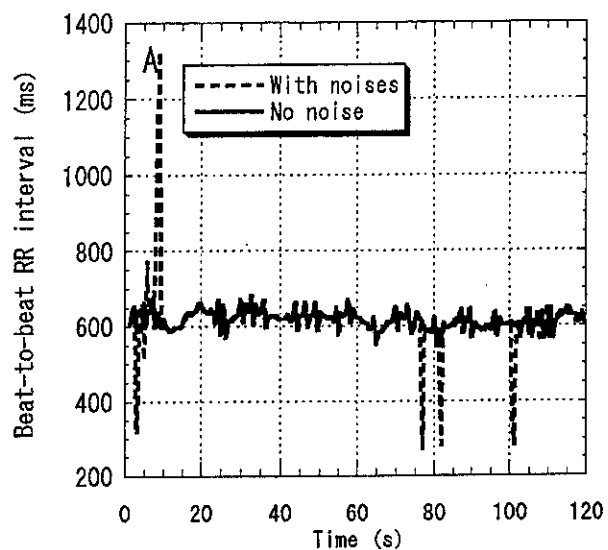


図4. A:老年者一例の期外収縮を含む RR 間隔データと期外収縮ノイズを除去したデータ  
 B:図 A のスペクトル密度関数

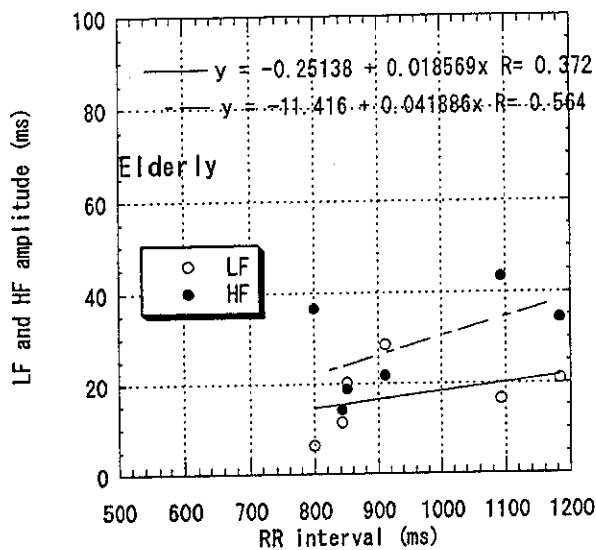


図5. 老年者における平均 RR 間隔と HF 成分の関係 (A) と平均 RR 間隔と LF 成分の関係 (B)

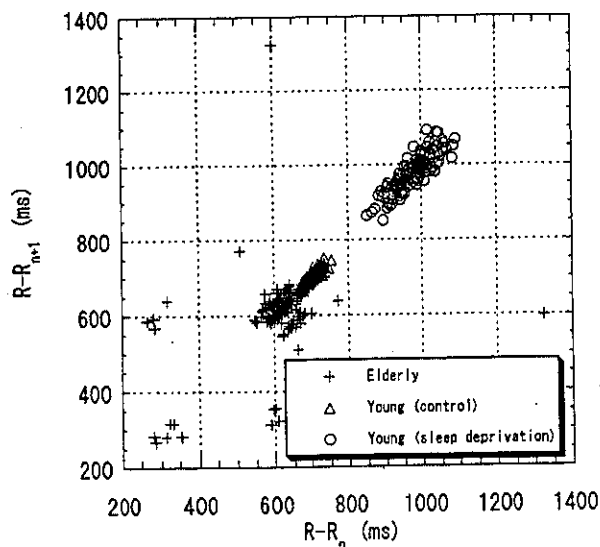


図6. 老年者の期外収縮を含む RR 間隔の Lorenz Plots

#### D. 考察

心拍変動のスペクトル解析は、これまで安静状態のチルト試験で確認されている自律神経活動の変化から解釈がなされてきた。運動時への適応も一部試みられてはいるが、その解釈にはまだ解決されていない問題が残されている。自律神経活動と心拍変動の関係を解明する上で、臨床学的には薬理的神経遮断による方法も行われている。しかし、この方法も日常生活の活動変化に伴う生体反応のダイナミズムを解析するには十分な方法とは言えない。神経遮断の際にはベースラインが変わること、またダイナミックな応答を再現できない点が問題となる。これら問題点をふまえ実験1では、運動ストレス後の回復期における心拍数の変化と姿勢変化に伴う心拍数の変化を組み合わせることによって心拍変動の HF (高周波成分) との関係を観察し、間接的ではあるが心拍変動の周波数成分 HF (心臓迷走神経活動) が循環器系に加わるストレスの指標として十分有用であることを示したと言える。一方、LF 成分については迷走神経活動の影響からか、HF 成分と同様の傾向を示し交感神経活動を示唆する兆候を得るのは困難と考えられた。しかし、睡眠中など臥位姿勢時の LF 成分の相対的变化については、十分に見当の余地があると考えられる。呼吸数や一回換気量は心拍変動の解析に影響をもたらすことは良く知られている事実であるが、同一被験者の呼吸パターンにあまり大きな変化が認められない場合には、結果に大きな違いをもたらすとは考えられない。

実験2では睡眠不足の循環器系への影響について調べたが、心拍数や平均血圧には差は認められなかったが、心拍変動の HF 成分に関しては、睡眠不足群で高値を示す傾向が確認された。過労 (睡眠不足) と突

然死の関係を調べた研究では、心拍数と酸素消費量の減少が指摘されているが、本実験の睡眠不足時の心臓迷走神経活動増加と何らかの関係があるのか、更に例数を増やし検討を重ねることによって重要な情報が得られるものと期待される。また、ストレスホルモンの指標である血中カテコラミン量は睡眠不足時には増加傾向にあり、心拍数減少を補償するための静脈還流の増進を促すために末梢循環の調節が積極的になされていることを示唆している。このことから、心臓迷走神経活動や心臓交感神経活動の推定のみでは十分ではなく、生体情報のモニタリングに際しては末梢血管の交感神経活動あるいは末梢血管抵抗などの情報も総合的に評価する必要があると考えられる。RR 間隔の標準偏差は、通常心拍変動の HF 成分と良い相関があるとされているが、睡眠不足時の状況では必ずしも一致しないことが示唆された。しかし、これは HF 成分がより変動パターンの違いを抽出しうる可能性を示唆していると思われる。

老年者群の実験 3 では、生データの周波数解析には、洞調律以外の心収縮のノイズを除去し前後の RR 間隔データで補完する必要があることを示した。この処理をソフト上で行うには定量的な基準の策定を行わなければならないと考えられる。例えば、補間率 1% につき振幅が何% 変化するか、あるいは欠損部分を関数補間によって置きかえることによって振幅がどのように変化するか、あるいは欠損率を何% まで許容するかなどである。しかし、不整脈などの心拍変動そのものにも重要な情報があることも確かである。Lorenz Plots に示されたように老年者の期外収縮応答も含めたデータでは健常者のプロットに比べ分布が広がり、心電図異常の定量化を容易にするものと考

えられる。例えば、近似直線からの最小二乗誤差やボックスカウンティング法（フラクタル解析）などによって分布の程度を定量化することが可能である。

## E. 結論

心電図波形のモニタリングにより得られた心拍変動の周波数解析の結果から、運動後のストレス反応の回復程度や心臓迷走神経活動の変化が推定可能であることが示唆された。また同時に姿勢変化に伴う心臓迷走神経活動の変化も推定可能であることが示唆された。睡眠不足による循環器系のストレス反応については、心拍数と平均血圧に変化が現れないものの、心臓迷走神経活動の指標である心拍変動 HF 成分に変化が認められ、睡眠不足時に迷走神経活動が亢進することが示唆された。老年者の心拍変動の解析には Lorenz Plot が有効であることが示唆された。また、老年者の心拍変動のスペクトル解析においては洞調律以外の心収縮の影響を考慮したアルゴリズムの策定が必要である。

## F. 研究発表

### 1. 論文

1.1 高橋龍尚、宮本嘉巳、田村俊世： 自転車エルゴメータの制御負荷を利用した膝屈伸運動時の大腿動脈血流速度の変化、第 14 回生体・生理シンポジウム論文集 pp.453-456, 1999

1.2 Tatsuhiisa Takahashi, Akiyoshi Okada, Junichiro Hayano, Yoshimi Miyamoto: Influence of posture change on cardiac recovery from upright exercise. Proceedings of the European Medical and Biological Engineering Conference 1999. pp. 1430-1431

1.3 Tatsuhiisa Takahashi, Akiyoshi Okada, Tadashi Saitoh, Junichiro Hayano, Yoshimi Miyamoto: Difference in human cardiovascular response between upright and supine recovery from upright cycle exercise. European Journal of Applied Physiology 81: 233-239, 2000

1.4 Tatsuhiisa Takahashi, Akiyoshi Okada, Junichiro Hayano, Toshiyo Tamura, Yoshimi Miyamoto: Influence of duration of cool-down exercise on recovery of heart rate in humans. Therapeutic Research 21: 170-175, 2000

## 2. 学会発表

2.1 高橋龍尚、宮本嘉巳、岡田暁宜、早野順一郎： 運動後の姿勢変化による循環動態への影響、第10回日本臨床モニター学会総会、平成11年4月、東京

2.2 高橋龍尚、宮本嘉巳、岡田暁宜、早野順一郎、田村俊世： 運動後の整理運動による心拍数への影響、第5回非観血的循環動態モニター研究会、平成11年7月、東京

2.3 高橋龍尚、宮本嘉巳、田村俊世： 自転車エルゴメータの制御負荷を利用した膝屈伸運動時の大腿動脈血流速度の変化、第14回生体・生理シンポジウム、平成11年10月、神戸

2.4 Tatsuhiisa Takahashi, Akiyoshi Okada, Junichiro Hayano, Yoshimi Miyamoto: Influence of posture change on cardiac recovery from upright exercise. Proceedings of the European Medical and Biological Engineering Conference. Vienna, Nov. 1999

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

## G. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

なし

## バイタルサインモニタリングシステム

分担研究者 清水 孝一（北海道大学大学院工学研究科 教授）

高齢者とくに独居老人や在宅患者のバイタルサインを日常生活に支障なくモニタリングすることをめざし、バイオテレメトリ技術を基本とする手法を考案した。バイタルサインの検出法および無拘束モニタリング法に関し基礎的検討を行った。その結果、指輪型センサによる光電脈波計測、PHS端末による屋内屋外共通の広域生体情報伝送方式を具体的に設計した。

キーワード：高齢者，バイタルサイン，モニタリング，自動監視，PHS，脈波，バイオテレメトリ

### A. 研究目的

近年、高齢化の進展に伴い、独居老人や在宅患者のバイタルサインを常時自動監視（以下「モニタリング」）する必要性が高まっている。日常生活の制約を最小限にしつつバイタルサインをモニタリングするには、テレメトリ技術を用いて無拘束的に遠隔計測する手法と、可搬型ロガーにデータを蓄積記録する方法とが考えられる。バイタルサインに生じた異常により緊急時の自動通報を目的とする場合には、リアルタイムモニタリングが可能な前者の方法が必要となる。

テレメトリによるバイタルサインモニタリングは既存技術で十分可能であるが、通常の方法では、計測可能範囲は家屋内程度に限られる<sup>1)</sup>。しかし在宅高齢者の場合などには、普段は健康であり、外出することも考慮する必要がある。これに対し、家屋内に加え広域の外出範囲をもカバーする実用的テレメトリ手法は、現在のところ見あたらない<sup>2)</sup>。

またバイタルサインをモニタリングする手法も種々考えられている<sup>3,4)</sup>。しかし、日常生活に支障なく長時間にわたるリアルタイムモニタリングを可能とする方法で、実用性の高いものも知られていない。

本研究は、このような状況に対し、日常生活で利用可能なバイタルサイン検出技術およびその信号を屋内屋外共通に伝送してモニタリングを実現する技術を新たに開発することを目的とする。

### B. 研究方法

本手法は、大きく分けて、高齢者のバイタルサインを検出する技術、およびその情報を情報処理部へリアルタイム伝送する技術により構成される。前者では、高齢者の脈波を小型軽量のセンサ装置で検出し、電気信号に変換する。後者では、現在普及の著しいPHSを利用してテレメトリシステムを構成し、広域のバイタルサインモニタリングを実現する。

具体的システムの概要をFig.1に示す。このシステムは、対象者に携帯してもらう移動体部分、伝送された生体信号を解析し自動監視を行う固定局部分、およびそれらを結ぶ伝送回線部分より成る。

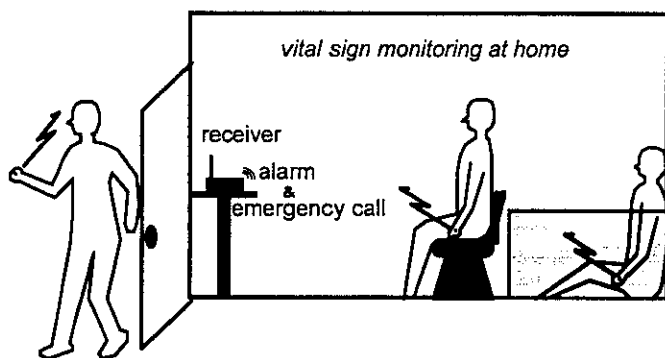


Fig.1 Principle of ambulatory vital sign monitoring.

移動体部分では、対象者から脈派を取得し、変調後 PHS 端末を用いて送信する。固定局側では、受信信号を復調後、コンピュータで処理解析を行い、異常時にはその結果をホームドクターや別居家族に自動通報する。伝送回線としては、対象者が在宅時には、ホームステーションを介してコードレスホン回線を用い、屋外では PHS として公衆回線を利用する。PHS は、屋外では移動体通信端末として、屋内では通話料の不要な送受信機として両方を同じ端末で使用できる。したがって、経済性の面からも実用性の高いモニタリング手法が期待できる。

初年度は、この原理の基本的可能性を確かめるため、本手法の各部分技術に関し基礎的検討を行った。

(倫理面への配慮)

本年度の研究は、実験室における理論的ならびに基礎的検討が中心であり、ヒトや実験動物を対象とする実験は行わなかった。また、研究内容自体にも、何ら倫理面に関する問題はないものと判断された。

## C. 研究結果

### 1. バイタルサイン検出法

これまで、高齢者の日常生活に常時使用可能なバイタルサインセンサーがいくつか提案されてきている<sup>1)</sup>。それらはそれぞれ有用なもの、体動に影響されない、装着感が少ない、安価な装置で実現できるなどの条件を十分満たすものとはなっていないのが現状である。そこで、これらの諸条件を満たすものとして、指輪型バイタルサインテレメータを考案した。

本手法の概略を Fig.2 に示す。バイタルサインとして、指輪型光センサで検出した光電脈波を用いることとした。光電脈波は、指輪に装着された一対の LED とフォトダイオードにより、受光強度の変化として検出する。指輪からの信号は、高齢者の携帯する PHS 端末に、電波により伝送される。PHS 端末は、この信号をさらに無線伝送し、家屋内に設置されたパーソナルコンピュータに入力する。コンピュータでは、脈波間隔が連続的にモニタリングされる。頻脈、徐脈や無脈状態が一定時間続いた場合には、警報が発せられる。警報は、緊急事態を大きな警報音で周囲に知らせるとともに、ホームドクターや別居親族に自動電話で通報される。

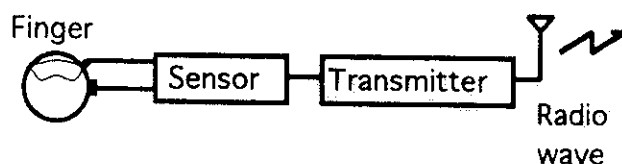


Fig.2 Measurement of photoelectric pulse wave.

### 2. バイタルサインセンサの配置

光電脈波を安定に効率よく検出することは、本手法の有用性を大きく左右する。脈波の検出感度は LED とフォトダイオードの配置に依存するため、Fig.3 に示す配置でその依存性

を調べた。この図は、左手の指尖方向から手根方向を見た場合の模式図である。LEDとフォトダイオードは、図のように第4指に配置し、それぞれ指の表面に沿って矢印方向に移動させる。θおよびφは、それぞれ手背側の法線および手掌側の法線からの角度を示し、LEDとフォトダイオードは常に指の中心を向いているものとする。

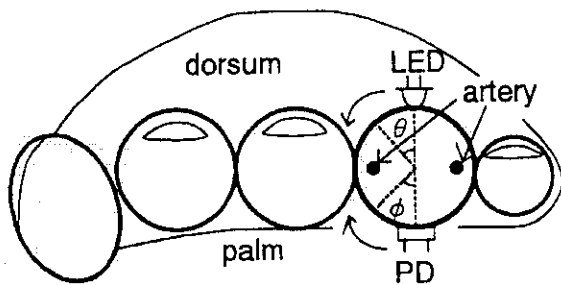


Fig.3 Arrangement of LED and photo-sensor.

θおよびφの変化に伴う脈波強度の測定結果を Fig.4 に示す。図中、縦軸は光電脈波のAC成分の強度である。この結果に見られるように、最も検出強度が高い条件は、θ=50°、

φ=90°の場合であった。解剖学的に考えると、この配置が、固有掌側指動脈から周囲組織に後方散乱した光を最も有効に検出できるためと考えられる。

### 3. 広域テレメトリ法

バイタルサインのような低容量のデータをテレメトリすること自体は、既存技術で十分可能である。しかし、病院内テレメトリなどで利用されている実用技術では、伝送可能範囲が家屋内程度に限られる。これを高齢者の外出にも対処できるようにするには、新たな方法の開発が必要となる。

一方、近年の移動体通信技術の進歩は著しく、携帯電話やPHSの広域通信網が完成しつつある<sup>5,6)</sup>。これを利用できれば、高齢者の外出にも対処できる広域テレメトリが実現できる。ただし現在のところこれらの通信網は音声伝送を主目的としており、高度な信頼性と実時間性の要求されるバイタルサインモニタリングなどには、特別な工夫が必要となる。

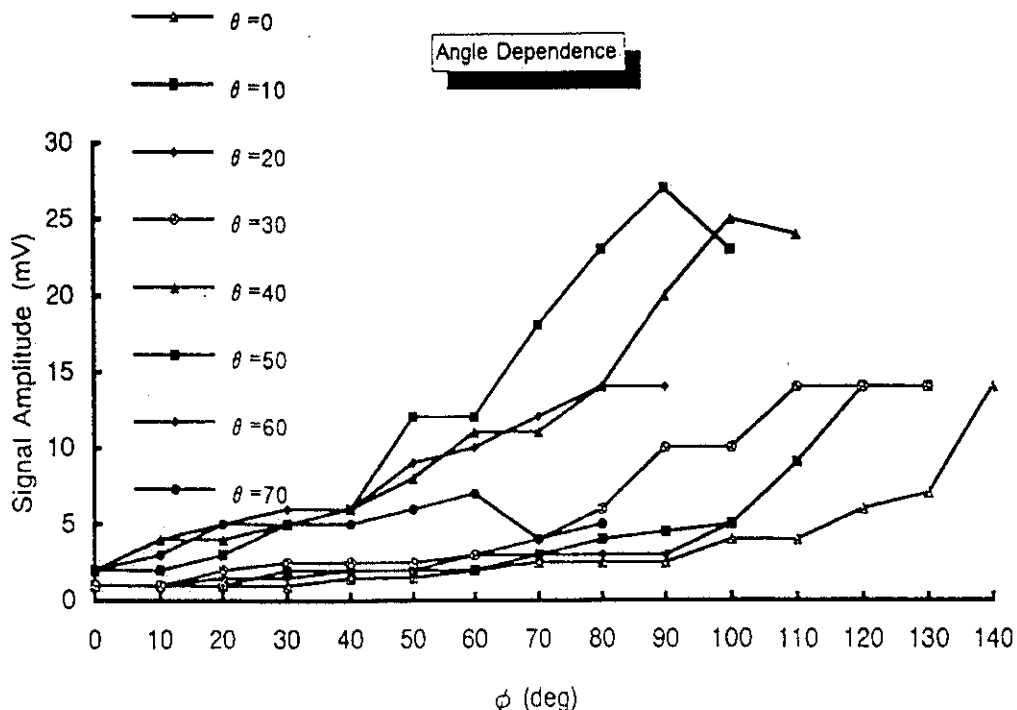


Fig.4 Dependence of received signal on positions of LED and photo-sensor.



そこで我々は、現在普及の著しいPHSに着目し、これをバイオテレメトリに利用できるようにすることを考えた。PHSは、屋外では移動体通信端末として、屋内では回線使用料の不要な送受信機(コードレスホン)として、両方を同じ端末で使用できる。ただし上述のように、PHSも音声通話を本来の目的とするものであり、バイオテレメトリにそのまま利用するには問題点も多い。本研究では、新たなバイオテレメトリ手法として、PHSによる屋内屋外共通バイオテレメトリの実現に向け、基礎的検討を行った。

本手法の原理を Fig.5 に示す。移動局では、まず生体から脈波などの生体信号を電気信号として取得する。次にこれを変調し、PHS 端末を用いて固定局側に送信する。伝送回線としては、対象者が在宅時にはコードレスホン回線を用い、屋外にいる時は通常の PHS として公衆回線を利用する。

固定局は、通常住居内に設置され、受信端末およびホストコンピュータによって構成される。コードレスホン回線あるいは PHS 回線から受信した信号は、ターミナルアダプタを介してホストコンピュータに送られる。コンピュータ内では、受信信号から生体信号を再生し、その処理解析が行われる。

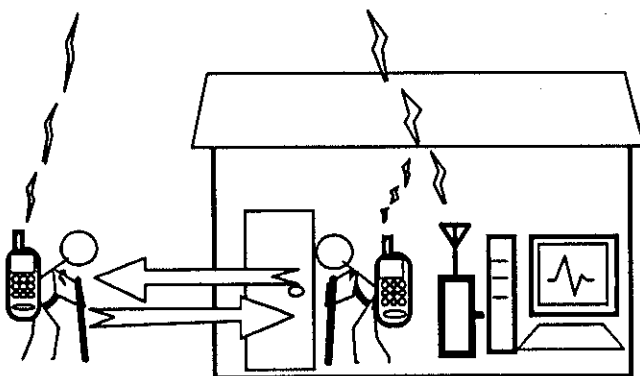


Fig.5 Principle of indoor/outdoor telemetry.

## D. 考 察

本手法をより実用的なものとするためには、センサ部の小型軽量化が重要な問題となる。センサ部の体積や重量の大部分をを占める電池を小型化するためには、光電脈波検出における消費電力を極力小さくしなければならない。そのためには、LED発光の発振周波数と duty ratio を小さくすることが考えられるが、同時に信号検出のSN比も低下する。このトレードオフの解析が、今後必要と考えられる。

もう一つの問題として、テレメトリに用いる PHS の問題がある。PHS は、本来音声通話を目的とするものであり、常時バイタルサインモニタリングに利用するには、克服すべき課題も多い。例えば、屋内-屋外移動時の回線自動切り替えの工夫、その際の再接続に要する時間が実用範囲内かどうかの検討、端末携帯者の活動や PHS 基地局の切り替わりなどによって生じる信号伝送回線の瞬断対策などがあげられる。本手法実用化のためには、これらの問題に対する検討や対策が不可欠である。

## E. 結 論

高齢者の日常生活を妨げることなくそのバイタルサインを常時リアルタイムモニタリングすることをめざし、バイタルサインの検出法および無拘束モニタリング法に関し基礎的検討を行った。

バイタルサインには、指輪型センサで検出可能な光電脈波を利用することとした。光電脈波を検出するのに適したLEDとフォトダイオードの配置につき調べたところ、固有掌側指動脈から周囲組織に後方散乱した光を効

率よく検出する配置が適当なことを見出した。

高齢者が外出した際にも継続して無拘束のバイタルサインモニタリングを行う方法として、PHS回線を利用することを考えた。PHSは、屋内では回線料不要な送受信機(コードレスホン)として共通の端末で使用でき、実用的なテレメトリが期待できる。

以上、今年度の研究をとおり、実用的なバイタルサインモニタリング手法を開発するとともに、それを実現するシステムの具体的設計を開始した。今後は、システム各部の製作およびそれらのシステム化に向け、研究を継続していく予定である。

#### <参考文献>

- 1) K. Ikeda, A. Watanabe and M. Saito : A vital sign sensor for elderly people at home, *Biotelemetry*, 11 : 373-377, 1991.
- 2) 稲田 紘, 若松 秀俊, 山本 博美, 清水 孝一, 鈴木 真, 土肥 健純 : 高齢者に優しい技術, *電子情報通信学会誌*, 80 : 812-821, 1997.
- 3) 清水 孝一, 河村 邦明, 山本 克之 : 徘徊者定位システムの開発, *BME*, 10 : 3-10, 1996.
- 4) 稲田 紘, 堀尾 裕幸 : 在宅医療におけるME技術の応用の現状と課題, *BME*, 7 : 1-7, 1993.
- 5) 羽鳥 光俊 : 移動通信の変遷と展望, *電子情報通信学会誌*, 82 : 102-107, 1999.
- 6) 高畠 達美 : 移動通信ネットワークの進展, *電子情報通信学会誌*, 82 : 153-160, 1999.

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

- ① 鈴木 崇慎, 清水 孝一, PHSを用いた屋内外共通バイオテレメトリのための基礎的検討, *電子情報通信学会技術研究報告*, MBE98-139 : 99-104, 1999.
- ② Koichi Shimizu, *Telemedicine by mobile communication*, *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 18 : 32-44, 1999.
- ③ Koichi Shimizu, Kuniaki Kawamura and Katsuyuki Yamamoto, Practical considerations for location system of moving person, *Biotelemetry*, in press.
- ④ 戸谷 伸之, 清水 孝一, 間接散乱光を用いたスペクトル拡散多重化伝送の基礎特性解析—光バイオテレメトリの多重化をめざして—, *電子情報通信学会論文誌*, in press.
- ⑤ Koichi Shimizu, Kuniaki Kawamura and Katsuyuki Yamamoto, Location system for dementia wandering, *Proceedings of World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, in press.
- ⑥ Koichi Shimizu and Takanori Suzuki, Development of indoor-outdoor common biotelemetry technique, *Biotelemetry*, in press.

### 2. 学会発表

- ⑦ 鈴木 崇慎, 清水 孝一, PHSを用いた屋内外連続バイオテレメトリ手法の開発, 第38回日本ME学会大会, 仙台, 1999.
- ⑧ 戸谷 伸之, 清水 孝一, 間接散乱光によるテレメトリのための多重化方式Ⅱ—スペクトル拡散方式による多重伝送実験—, 第38回日本ME学会大会, 仙台, 1999.

- ⑨ Koichi Shimizu and Takanori Suzuki, Development of indoor-outdoor common biotelemetry technique, International Symposium on Biotelemetry, Juneau, USA, 1999.
- ⑩ Koichi Shimizu, Kuniaki Kawamura and Katsuyuki Yamamoto, Practical considerations for location system of moving person, Biotelemetry, International Symposium on Biotelemetry, Juneau, USA, 1999.
- ⑪ 戸谷 伸之, 清水 孝一, 間接散乱光によるテレメトリのための多重化方式Ⅲースペクトル拡散データ伝送の基礎特性解析ー, 平成 11 年度電気関係学会北海道支部大会, 室蘭, 1999.
- ⑫ 清水 孝一, 医療福祉における光・通信応用, 日本機械学会バイオエンジニアリング部門研究会, 札幌, 2000.