

## ウェアラブル機器を用いたヘルスケアサービス

大内 一成 鈴木 琢治 森屋 彰久 亀山 研一

株式会社 東芝 研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー  
〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1

生活習慣病、メタボリック症候群などは、生活習慣が主な発症原因とされ、それらの予防のためには、食事、運動などの日頃の生活習慣管理が重要である。一方、不眠症で悩む人が多い現代社会においては、睡眠状態の管理も健康管理の上で非常に重要となってきた。そこで我々は、昼も夜もユーザの状況をリアルタイムに認識し、ユーザの生活習慣管理、快適な生活環境維持をサポートするウェアラブル機器を用いたヘルスケアサービスについて検討している。ユーザの脈波、加速度などの生体情報を日常生活において連続的に計測する腕時計型ウェアラブル生体センサと、携帯電話などの携帯情報端末で構成される手軽なシステムを想定している。実サービスを目指すに当たり、食事や運動などの生活習慣管理をタイムリーなアドバイスによりサポートするウェアラブル健康管理システム、脈波間隔の周波数解析から自宅でも手軽に睡眠状態をチェックできるウェアラブル睡眠管理システムを開発し、それぞれのシーンにおいてユーザの状況認識が可能であることを確認した。

## Healthcare Services Using a Wearable Device

Kazushige Ouchi, Takuji Suzuki, Akihisa Moriya and Ken-ichi Kameyama

Human Centric Laboratory, Corporate Research and Development Center  
Toshiba Corporation

1, Komukai-Toshiba-cho, Saiwai-ku, Kawasaki, 212-8582, JAPAN

Management of diet and exercise during the daytime has a significant role to play in preventing lifestyle-related diseases or metabolic syndrome. Moreover, it is also important to sleep well during the nighttime in order to maintain good health. We developed a wearable healthcare support system to improve a user's lifestyle by recognizing his/her current context in real time night and day. It is composed of a wristwatch-shaped wearable sensor module for measuring the user's biological data, 3-axis acceleration and pulse wave continuously and a cell phone to serve as a personal gate way analyzing the measured data and bridging between the wearable sensor and the home/center server. We developed two prototype applications for this system. One is diet and exercise management service with timely instruction based on a user's current context. The other is a sleep condition management service that recognizes sleep condition by employing an algorithm based on the autonomic nerve system derived from frequency analysis of pulse-to-pulse intervals.

## 1 はじめに

糖尿病、高脂血症、高血圧、高尿酸血症などの生活習慣病は、心疾患、脳卒中などの主な原因とされている。特に、最近耳にすることが多いメタボリック症候群は、内臓脂肪型肥満に加えてこれらの生活習慣病を合併している状態であり、それぞれ単独の場合に比べて非常にリスクが高くなると言われている。これらの予防のためには、運動、食事、睡眠、ストレスなどの日頃の生活管理が重要である。

しかし、例えば糖尿病の場合、国内患者数 700 万人、予備軍を含めると 2,000 万人とも言われるなど、近年特に増加しているにも関わらず、抜本的な治療法が無く、運動療法、食事療法などを自己管理によって行い、症状を抑えるのが基本的な治療となっている[1]。従って、効果的な治療の持続には非常に強い意志が必要であり、これらの自己管理をサポートするシステムが求められている。

一方、ストレスが多く、かつ 24 時間化した現代社会において、国民の 5 人に 1 人が睡眠に不安を持つと言われ、睡眠障害は現代病の一つとなってきた。しかし、睡眠状態をチェックするためには設備の整った専門機関に宿泊し、脳波計など多数のセンサを身体中に装着して就寝する終夜ポリグラフ検査[2]が一般的で、患者はもちろん、検査する側にとっても非常に負担の大きいものとなっている。よって、自宅などで手軽に睡眠状態をチェックできる装置が求められている。

これらの背景を鑑みると、ユーザの健康をトータルでサポートするためには、日中も夜間も連続的にユーザの状況を把握でき、必要に応じて適切なタイミングで生活改善等のアドバイスを提供するサービスが有効と考えられる。また、日常生活の中で使い続けるためには、手軽な構成で、かつユーザの負担を極力排除したシステムである必要がある。

我々は、図 1 のように腕時計状に手首に装着するウェアラブルセンサと携帯情報端末を連携させたヘルスケアサービスについて研究開発を進めており、これまでに日中の生活習慣管理をサポートするシステム[3,4]、夜間の睡眠状

態管理を行うシステム[5]を開発した。本稿では、まず関連研究を示すと共に我々の目指す方向性を明らかにする。次に、我々のこれまでの取り組みの概要を紹介し、今後の課題、応用について述べる。



図 1 携帯端末と連携したウェアラブルヘルスケアシステム

## 2 関連研究

### 2.1 生活習慣管理システム

日常における生活習慣を管理する取り組みとして、携帯電話やパソコンなどを利用し、インターネット経由で毎日の生活習慣データを記録・管理するサービス[6]、記録されたユーザの状態に応じて健康アドバイスを電子メールで配信するサービス[7]などが実運用されている。この種のネット利用型サービスは、新規に機器を導入する必要なくサービスを受けることが可能であるが、ユーザが別の計測装置で計測し、あるいは自分の行動を思い出しながら手入力しなければならないなど、データ入力に労力を要するため、健康に対する意識の高いユーザでない場合は長続きしにくい。

また、専用機器を利用して食事管理[8]、運動管理[9]をサポートする取り組みも行われている。これらは、いつでもデータ入力できるため、継続的なデータ収集に基づく履歴管理を手軽に実現できるものである。しかし、データ入力の手入力の場合は、入力の手間や入力のし忘れが問題となる。センサを利用しデータ入力の手間を省いたものも、その主眼は履歴管理にある。効果的な生活習慣管理のためには、システムがユーザ状況を把握し、状況に応じた適切なアドバイスを提示することが有効である。

一方、様々なセンサを環境側に多数配置し、ユーザの生活状態をセンシングする試みも行われている[10-12]。ユーザには何も装着せずに環境側からセンシングを行うため、ユーザへの負担は少なく、普段の日常生活に近い状態でのデータ収集が行えるなど、実験、研究目的としては有効である。

これらの取り組みに対し我々は、腕時計型のウェアラブル生体センサを用いた生体情報計測に基づくユーザ状況認識とそれを利用した生活習慣管理、生活改善支援を目指している。ウェアラブルであることは、場所によらずにいつでもどこでもサービスを楽しむことができ、かつ、用途に応じてフレキシブルにシステム全体を構成することが可能となる。

## 2.2 睡眠状態管理システム

一方、前述の通り、現在、睡眠状態をチェックするためには、専門機関で、脳波、筋電、呼吸などのセンサを全身に装着して就寝する終夜ポリグラフ検査が一般的である。これに対し、自宅などで手軽に睡眠状態をチェックするための取り組みがこれまでに行われている。

加速度センサを手首に装着し、手首の体動量から睡眠/覚醒を判定する取り組みがある[13]。これは、非常に手軽に計測を行うことができるものであるが、寝ているか、起きているかの判定を行うのみで、REM (レム) 睡眠、NREM (ノンレム) 睡眠の区別や、睡眠の深さの推定などは行わない。尚、体動のみによる睡眠判定としては、他に赤外線センサを用いる取り組みなども行われている[14]。

これらに対し、心拍/脈拍計測によって睡眠状態を推定する試みが行われている。心拍数/脈拍数の変動に基づくものや、一拍ごとの間隔の揺らぎの周波数解析からわかる自律神経系の活動状態に基づくものなどがあるが、心拍/脈拍を利用することにより、体動だけの場合よりも、睡眠の状態をより詳細に把握できる可能性がある。心拍/脈拍の計測手段としては、ウェアラブル型[15]とマット型[16]に大別できるが、前者に比べて後者は、無拘束で計測できる点では有利であるが、心拍信号のレベルが前者のそれと比べて小さいことが多く、安定して計測することが難しいとされる。よって我々は、

終夜で安定して脈波計測を行い、睡眠状態をある程度詳細に把握することを目的に、ウェアラブル型センサでの睡眠計測に取り組んでいる。また、上述の従来からの簡易的な睡眠計測に関する取り組みは、基本的に計測終了後、一晩分のデータをまとめて解析して結果を表示するオフライン型の解析となっているが、我々はリアルタイムに睡眠状態を解析する手法を考案し、睡眠状態に応じた快適環境制御、さらには心地よく起きられるタイミングでの快適目覚まし機能などについても検討している[17]。

このように、我々が取り組んでいる生活習慣管理システム、睡眠状態管理システムは、共に腕時計型のウェアラブルセンサを用いており、一つの装置で昼夜を問わずユーザの健康と快適な生活をサポートすることを目指している。以降では、我々が開発したシステムの概要について紹介する。

## 3 ウェアラブル健康管理システム

### 3.1 システム構成

図2に示すように、腕時計型ウェアラブル生体センサ(LifeMinder Ver.1)とPDA(Personal Digital Assistant)で構成されるウェアラブル健康管理システムを開発した。

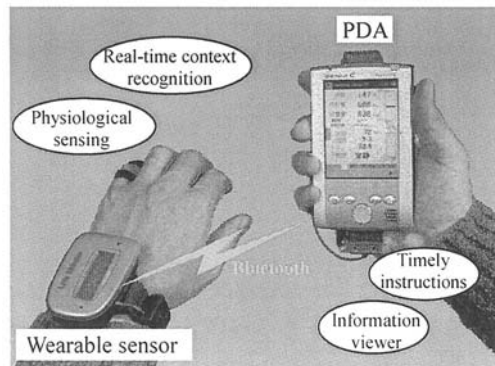


図2 ウェアラブル健康管理システム

ウェアラブル生体センサは、光電脈波センサ、3軸加速度センサ、GSR (Galvanic Skin Reflex: 皮膚電気反射) センサ、温度センサ等を搭載し、ユーザの生体情報を連続計測する。同時に搭載CPUで脈拍数算出、動作状態推定などのコンテキスト認識をリアルタイムに行い、

認識結果を Bluetooth モジュール経由で PDA へ定期的に送信することとし、サンプリングの都度生データをやりとりする方式と比べて、通信データ量削減（消費電力削減）とデータ処理の分散化を実現している。PDA では、受信した現在のデータと過去の履歴をグラフィカルに表示すると共に、それらを利用して食事イベント検出など、より高度なリアルタイムコンテキスト認識を行い、ユーザの状況に応じたタイムリーな生活習慣改善インストラクションを提示する。また、計測データを XML 形式でデータベース化し、例えば、主治医へ PHS を介してデータをアップロードすることも可能とした。

## 3.2 リアルタイムコンテキスト認識

### 3.2.1 動作認識

手首に装着したウェアラブル生体センサに内蔵した 3 軸加速度センサのデータをもとに、センサ内 CPU はリアルタイムに、日常生活におけるユーザの代表的な動作状態（安静，歩行，走行，デスクワーク）の認識を行う。歩行，走行時は，歩数のカウントも行う。

加速度センサを腰や膝などに装着してユーザの動作状態を推定する試みはこれまでも行われている[18,19]。これらの部位による計測は、歩行，走行などの全身運動や姿勢の推定には有効であると考えられるが，着席時の動作状態推定は困難である。我々は，日常における生活習慣管理支援のためには，デスクワーク，食事などの着席時の動作状況推定も重要と考え，手首の加速度を利用した動作認識を試みている。

特徴的な加速度変化の軸方向と，加速度の大きさ，周期性などをもとに，生体センサに内蔵した小型 CPU でも処理可能なシンプルな認識アルゴリズムを開発した。前述の代表的な 4 動作の認識精度は約 90%である。また，歩数の計数精度は 81%と，他の手首型歩数計と同等レベル以上の精度を確保した。

ただし，当初は両手に何も持っていない状態でかつ平地での動作をターゲットとしていた。そこで，物を持ったままの歩行／走行，階段昇降など，様々な状況下での加速度データを収集し，データマイニングのアプローチ（決定木構築）で認識可能性の検証を行った。その結果，

これらの様々な状況下の動作についても，96%の精度で識別可能であることを確認した[20,21]。

### 3.2.2 食事イベント検出

日常生活において，食事内容を継続的に記録しておくことは，効果的な生活習慣管理の上で重要である。しかし，既存のサービスではデータ入力はユーザ任せとなっており，入力の上忘れなどにより確実な管理が難しい。カメラ付携帯電話で食事内容を撮影し，栄養士が食事内容を分析する試みもあるが，コストや栄養士側の負荷が問題で実運用までは至っていない。よって，入力の手間を極力減らすと共に，入力の上忘れを排除する機能が現時点では効果的と考えられる。そこで，まず我々は生体センサで計測した生体情報からリアルタイムに食事イベントを検出する手法を開発した。

食事中は咀嚼運動や内臓の消化活動により脈拍数が増加するが，脈拍数増加を伴う他のタスクと比べて，スパイク状の GSR 変化が顕著に少ないという特徴を利用し，食事イベントを食事開始後 2 分以内に 90%程度検出するアルゴリズムを開発した。さらに，動作認識と同様にデータマイニングの手法を用いて，脈拍数，GSR にあわせて，食事に特有の動作による加速度も検出に利用することで，精度と検出応答性の向上（特に食事終了検出）の可能性も確認できた[21]。検出結果の一例を図 3 に示す。

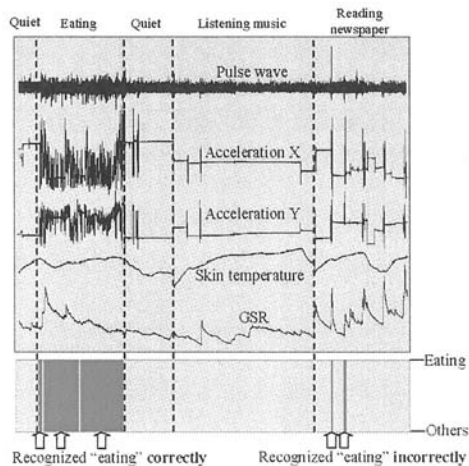


図 3 食事イベント検出結果例

### 3.3 機能概要

これらのリアルタイムコンテキスト認識を利用し、効果的な生活習慣管理を支援するために、以下の機能を実現した。まず、生体センサで計測/認識したデータは、図4のようにPDA画面で閲覧できる。

食事イベント検出機能を利用し、食事終了後一定時間経過しても食事内容の入力がなされない場合は、入力を促すメッセージ表示がされる。尚、本アプリケーション上に食事メニューDBを用意しており、メニューを選ぶだけで摂取カロリーの目安に換算でき、消費カロリーとの兼ね合いからユーザの状態に合わせた食事アドバイスを提示できる。他にも、食後の服薬確認、食後をトリガとした適切なタイミングでの血糖値計測指示などの機能も搭載した。

また、動作内容認識機能により、長時間デスクワークが続いている場合は、休憩を促すメッセージが表示されたり、運動不足のユーザが予定のない休日にも何もしないと、「散歩へ行ってはいかが？」など、運動を促すメッセージが表示されたり、ユーザの状況に応じてタイムリーな生活習慣改善アドバイスを提示する。このようにして、少々お節介な機能と感じられる場合もあるかもしれないが、手軽かつ確実な生活習慣管理をサポートするシステムである。



図4 PDA画面例

## 4 ウェアラブル睡眠管理システム

### 4.1 システム構成

一方、睡眠状態を自宅などで手軽にモニタできるシステムとして、腕時計型ウェアラブル生体センサ (LifeMinder Ver.3) を利用したウェアラブル睡眠管理システムを開発した。本システムも Bluetooth モジュールを内蔵しており、PC、PDA、さらには携帯電話など様々なプラットフォームの計算資源、表示機能を活用できるシステムとした。携帯電話との組み合わせで構成した例を図5に示す。

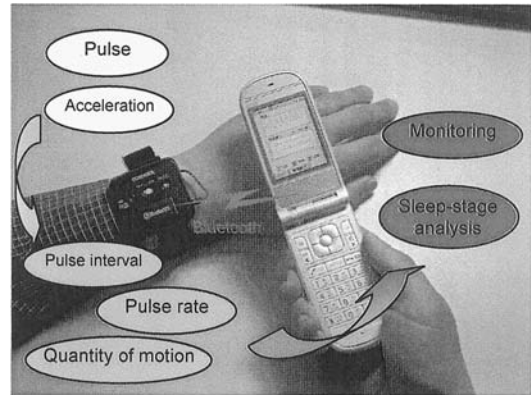


図5 ウェアラブル睡眠管理システム

本システムに使用したウェアラブル生体センサは、睡眠計測をターゲットに開発したもので、光電脈波センサ、3軸加速度センサを搭載した。また、miniSD カードスロットも搭載することで、センサ単体でデータを記録可能とした。よって、リアルタイム解析が必要な状況では、Bluetooth 通信で外部の計算資源を活用し、リアルタイム性が重要でない状況では、データ記録のみとするといった使い方もできるようにし、例えば、日中はリアルタイム、夜間は蓄積といった使い分けなどを可能にした。

生体センサ内 CPU では、脈波間隔検出、体動量算出を行い、脈波検出の都度、あるいは定期的 (例えば1分ごと) に携帯電話など携帯情報端末へそれらを送信する。携帯情報端末では、受信したデータをもとにリアルタイムに睡眠状態認識を行い、認識結果をグラフ表示する。

## 4.2 リアルタイム睡眠状態認識

図6にリアルタイム睡眠状態認識処理の概要を示す。光電脈波センサが検出した脈波波形から一拍毎の間隔を抽出し、周波数解析する。すると、0.1Hz前後(LF: Low Frequency)と0.3Hz前後(HF: High Frequency)にそれぞれピークが出現する。これらは自律神経系の活動を反映しており、前者は交感神経活動(ただし副交感神経活動の修飾も受ける)を、後者は副交感神経活動を表している。睡眠は脳の活動であるため、直接的に計測するためには脳波を計測する必要があるとされているが、図6に示すように自律神経系活動と相関関係があることを利用し、自律神経バランスから睡眠状態を推定することで、脈波計測に基づく睡眠状態認識を実現した。

尚、加速度センサで検出した体動情報は、睡眠/覚醒判定、動きによる脈波波形の乱れに起因する脈波間隔誤検出の除去に利用している。

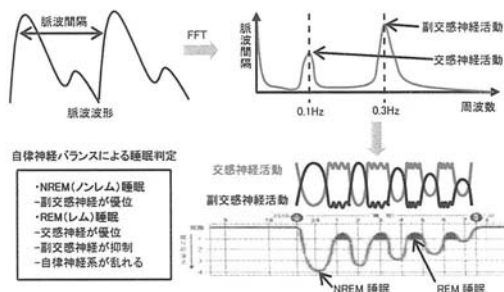


図6 自律神経バランスによる睡眠判定

これらの一連の処理の中で、我々は、時間窓クラスタリング手法の導入により、認識処理のリアルタイム化、個人差やサーカディアンリズム(概日リズム)への適応による認識精度向上を実現した。

本システムにおける睡眠状態認識精度の検証として、終夜ポリグラフ検査との同時計測による相関評価を、40名の被験者で延べ60夜程度実施し、判定結果の一致度は約75%であった。引き続き精度向上のための検討は行いが、検査終了後、技師が一晩分の脳波波形を目視で判定する終夜ポリグラフ検査に対して、手軽な構成でリアルタイムに自動判定するシステムとし

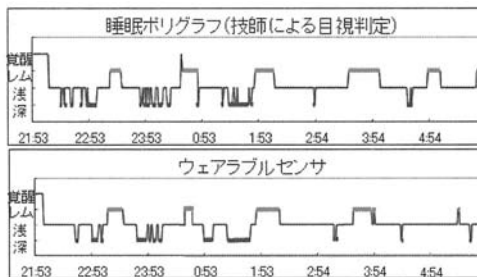


図7 睡眠状態認識結果の一例

ては、実用上十分な性能であると考えている。睡眠状態認識結果の一例を図7に示す。

## 4.3 機能概要

以上のようにして認識した睡眠状態は、携帯情報端末上で閲覧することができる。携帯電話上でのデータ表示、解析結果表示の例を図8に示す。

このような表示以外にも、一週間の睡眠状態一覧表示や、総睡眠時間、寝付きの良さ、中途覚醒の多さ、体動の多さ、リズム性、リラックス度などのパラメータを算出し、数値やレーダーチャートで表示する機能により、一般ユーザーにもわかりやすいものとした。

また、リアルタイムで睡眠状態を認識できる我々の手法の利点を生かし、就寝後の家電機器自動OFF/戸締まり確認、睡眠の状態に応じた快適空調制御、すっきり起きられるタイミングでの快適目覚ましなど、快適な睡眠環境を提供するサービスについて検討を行っていく。

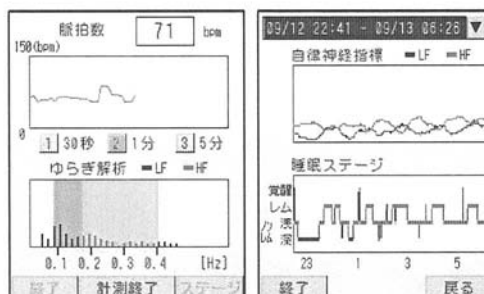


図8 携帯電話上での表示例

## 5 ユビキタスヘルスケアサービスの実現へ向け

以上のように、我々は腕時計型のウェアラブル生体センサと、携帯電話などの携帯情報端末を連携させた、ウェアラブル健康管理システム、ウェアラブル睡眠管理システムを紹介したが、ここで、このような構成をベースに検討を進めている理由を整理する。

まず、表1に腕時計型ウェアラブルデバイスを利用することの利点、制約事項を示す。

表1 腕時計型ウェアラブルデバイスの利点と制約事項

利点	制約事項
<ul style="list-style-type: none"> <li>・腕時計として装着することは、多くのユーザに受け入れられやすい</li> <li>・常に身体に密着しているため、脈波、動作などの生体情報を直接的に計測できる</li> <li>・環境側センサとフレキシブルに組み合わせられる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大きさ、重さなど、日常生活の負担にならないようにする必要はある(一般の腕時計レベル程度)</li> <li>・頻繁に充電(電池交換)しなくて良い連続動作時間を確保する必要がある</li> <li>・大きさに制約があるため、バッテリー容量に限られる</li> <li>・高性能なプロセッサ(演算処理)を使用できない</li> <li>・表示性能、操作性に限界がある</li> </ul>

腕時計は、19世紀後半に誕生し、その後、実用性とともなファッション性としての軸も加わって広く普及し、現在、ウェアラブルデバイスとしては、眼鏡とともに最も受け入れられているものである。よって、腕時計として装着できる大きさ、重さ、外観を確保しつつ、本来の時計機能に加えてヘルスケアに関する機能を追加することは、継続的にユーザをサポートするデバイスとして非常に有力であると考えられる。

その一方で、制約事項も多い。特に大きさに関する制約からバッテリー容量も制限されるため、使い勝手に関する制約である長時間連続動作を確保するためには低消費電力とすることが必須となり、高性能な(消費電力の大きい)プロセッサを搭載できない。また、高性能な表示機能を搭載することも大きさ、描画処理負荷の両面で難しい。よって、我々は外部の情報端末を、手近な計算資源および高機能な表示装置として積極的に活用している。表2に、PC、PDA、携帯電話について、それぞれの特徴を整理する。

表2 各情報端末の特徴

	携帯性	価格	普及率	演算能力
PC	×	×	○	◎
PDA	○	△	×	○
携帯電話	◎	◎	◎	△↑

もちろん、アプリケーション/ターゲットにもよるが、このような各情報端末の特徴を考慮すると、現在、広く一般のユーザに手軽に使用してもらおうサービスとしては、携帯電話を利用する形態が有力と考えられる。特に携帯電話の場合、公衆網との接続機能が標準で備わっており、大きくサービス展開できる可能性を持っている。また、Bluetooth対応の情報家電システム[22]もすでに商品化されており、ウェアラブル生体センサ、携帯電話、情報家電(環境センサ)でシームレスに連携したサービスを実運用できる環境が整い始めている。

一方、実用化に向けて解決しなければ課題もある。特に、電源面で、更なる低消費電力設計はもちろん、リアルタイム性を確保しつつ電力を節約するデータ通信方式(データ蓄積機能との使い分け)や、効率的な充電方法などについて引き続き検討していく。

また、日中はユーザの動きが大きい(多い)ため、連続的に安定して脈波を計測することが現状では難しい。しかし、日中の脈拍数変化はもとより、日中の自律神経の活動状態も健康をサポートするためには有力な情報であるため、日中のロバストな脈波計測方法についても検討を行っていく。

以上のように、ウェアラブル生体センサ(+携帯情報端末)を使用することにより、ユーザの生体情報(内部状況)をセンシングできるわけであるが、より効果的なヘルスケアサービスのためには、ユーザの環境情報(外部状況)も重要である。ウェアラブルで、かつ無線通信機能を搭載していることは、様々な環境との親和性が高く、環境側センサと連携するなど、フレキシブルにシステムを構成できるという特徴も併せ持つ。将来的に、我々は図9のように、腕時計型ウェアラブル生体センサと携帯電話、更には環境側センサ、情報家電と連携し、家庭内だけでなく屋外でも、日中だけでなく夜間も、

いつでもどこでも継続的にユーザの状況を見守り、生活習慣改善をサポートして手軽に健康を維持できるサービスを目指している。例えば、車の運転中は眠気管理やイライラ防止、レストランでは食事管理、スポーツ施設では運動管理、出張先のホテルでなかなか眠れない人の快眠サポートなど、様々なシーンでの快適な生活と健康管理のサポートを実現したい。

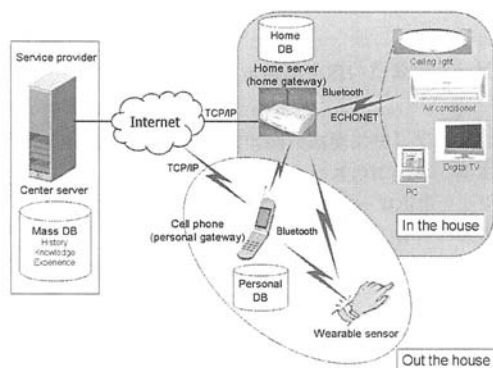


図9 ユビキタスヘルスケアサービスの例

## 6 まとめ

ユーザの健康をトータルでサポートするシステムの実現を目指して、ウェアラブル健康管理システム、ウェアラブル睡眠管理システムを開発し、それぞれのシーンにおいてユーザの状況認識が可能であることを確認した。共に、腕時計型ウェアラブル生体センサと携帯情報端末の手軽な構成でサービスを実現しており、長期的なヘルスケアをサポートするシステムとして有効と考えている。普及に向けて、まずは単機能のシステムでの実用化を切り口に、幅広い応用の可能性を検討していく。

## 参考文献

[1] J. Tuomilehto, et al., Prevention of type 2 diabetes mellitus by changes in lifestyle among subjects with impaired glucose tolerance, *New England Journal of Medicine*, 344, pp.1343-1350, 2001.

[2] A. Rechtschaffen, and A. Kales, *A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects*, Washington D.C. : Public Health Service, U.S. Government Printing Office, 1968.

[3] K. Ouchi, T. Suzuki, and M. Doi, LifeMinder: A wearable healthcare support system using user's context, *Proc. ICDCS2002 Workshops (IWSAWC2002)*, pp.791-792, 2002.

[4] K. Ouchi, T. Suzuki, and M. Doi, LifeMinder: A wearable healthcare support system with timely instruction based on the user's context, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol.E87-D, No.6, pp.1361-1369, 2004.

[5] 鈴木琢治, 大内一成, 森屋彰久, 亀山研一, 心拍変動を用いたウェアラブル睡眠センサの開発, *生体医工学シンポジウム 2004 論文集*, pp.83, 2004.

[6] マイライフ手帳, <http://www.mylifefnote.jp/>

[7] クリエイトヘルス 三健人, <http://www.sankenjin.ne.jp/>

[8] TANITA ボイス de 栄養士, <http://www.tanita.co.jp/products/ck120.html>

[9] スズケン 生活習慣記録機 ライフコーダ, <http://www.suzuken.co.jp/product/equipment/healthcare.html>

[10] 美濃導彦, 家庭におけるユビキタス環境の構築—ゆかりプロジェクト—, *電子情報通信学会 2004 総合大会*, No.A-16-8, p.317, 2004.

[11] 森武俊, 野口博史, 佐藤正, センシングルーム—部屋型日常行動計測蓄積環境 第 2 世代ロボットイックルーム—, *日本ロボット学会誌 Vol.23 No.6*, pp.665-669, 2005.

[12] 松岡克典, 宅内ネットワークを用いた生活見守り技術, 第 49 回自動制御連合講演会論文集 SU1-2-2, pp.1-2, 2006.

[13] Cole RJ, et al., Automatic sleep/wake identification from wrist actigraphy, *Sleep* 1992, 15 461-469, 1992.

[14] 土井滋貴, 長井一郎, 佐久間崇, 高橋晴雄, ニューラル・ネットワークを用いた人の動き情報からの睡眠状態判定法の開発, *電学論 C*, 114 巻 11 号, pp.1160-1165, 1994.

[15] 西井克昌, 白川修一郎, 早野順一郎, 木村禎祐, 酒井一泰, 腕時計型光学式脈波センサを用いた睡眠評価, *日本生理人類学会誌*, Vol.10 特別号(2), 第 54 回大会要旨集, pp.156-157, 2005.

[16] T. Ishikawa, et al., A Study on Sleep Stage Estimation via Non-invasive Air Mattress Sensor, *SICE Annual Conference in Fukui*, pp.1414-1417, 2003.

[17] 森屋彰久, 鈴木琢治, 大内一成, 亀山研一, 自律神経解析を用いた睡眠段階変化検出方法とその応用, 第 21 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp.57-60, 2006.

[18] J. Farrington, et al., Wearable sensor badge & sensor jacket for context awareness, *Proc. ISWC'99*, pp.107-113, 1999.

[19] K. V. Laerhoven, et al., What shall we teach our pants?, *Proc. ISWC2000*, pp.77-83, 2000.

[20] 森田千絵, 佐藤誠, 土井美和子, 加速度データを用いた行動認識, 第 1 回情報科学技術フォーラム (FIT2002) 講演論文集, pp.415-416, 2002.

[21] 佐藤誠, 森田千絵, 土井美和子, 生体データと加速度データを用いた行動認識, 第 65 回情報処理学会全国大会講演論文集, vol.5, pp.239-242, 2003.

[22] 東芝ネットワーク家電 フェミニティ, <http://www3.toshiba.co.jp/feminity/>