

小電力無線を用いた在宅健康管理のための行動計測 身体活動量

— Development of Home Health Care System for Monitoring —

河田 隆弘 関根正樹 田村俊世
千葉大学大学院自然科学研究科、千葉大学工学部

目次

- 背景と研究目的
- 研究方法
 - 装置の構築
 - 評価実験
- モニタリング実験

Chiba University

研究背景 — 高齢化の現状と予防医学 —

我が国の高齢者人口は2,560万人（総人口に占める割合20%）

総務庁 平成18年度 高齢社会白書

独居高齢者	373万世帯
高齢夫婦	525万世帯

健康を維持するためには疾患を予防することが重要

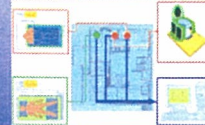
生活環境・活動状況の把握
その変化を検知

有用な予防医学の機会

Chiba University

関連研究と研究目的

◎健康自動計測システム



[Tamura, 1995]

◎行動計測システム



[飯田, 1998]

- 装置が大掛かりである
- 設置に時間がかかる
- 通信ケーブルは生活環境の障害
- データロガーによるオフライン解析
- 長期間用途に不適

研究目的

簡便かつ設置が容易な在宅健康管理システムの開発

無線を用いたオンライン・モニタリングの可能性

Chiba University

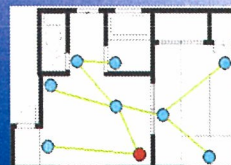
研究方法

- 無線通信の構築
- 室内環境
- 身体活動量
- モニタリング実験
 - 長時間のモニタリング実験

Chiba University

提案するシステム

- > 無線通信 ... センサノードは電池駆動であるため、通信インフラに関係なくネットワークを自由に構築可能
- > アドホック・ネットワーク ... ノード同士が互いに通信し、マルチホップ・ネットワークを構築

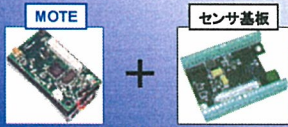


無線センサネットワーク
「MOTE」を採用

Chiba University

無線センサネットワーク「MOTE」

UC BerkeleyのNESTプロジェクトにより開発
研究開発用の小型無線端末



(左)MPR420 (右)MDA300, Crossbow Technology社

- データ通信モジュール
- センサモジュール

mica2 MOTE仕様

CPU Speed	74 MHz
プログラム Flash メモリー	128 Kbit
データ Flash メモリー	512 Kbit
AD Converter	10 bit 8 ch
無線周波数	315 MHz
通信方式	FSK
電圧	1.9V, 3.3V
電流(動作時)	30 mA
電流(sleep)	< 30 μ A
データレート	19.2 Kbps
方法(線空転時)	50 \times 51 \times 20 ms
OS	TinyOS 1.0.4g

Chiba University

各計測項目と使用センサ

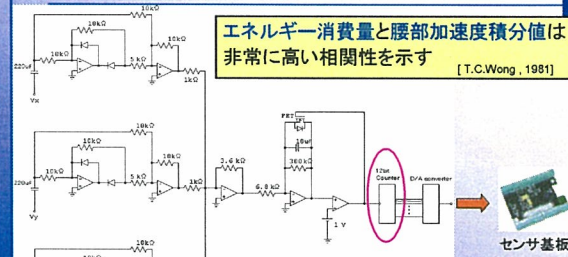
屋内(室内)環境 ... 温度、湿度、二酸化炭素ガス濃度、気圧

身体活動 ... 屋内(室内)行動パターン、屋内外身体活動量

本モニタリングシステムに採用したセンサ

センサ	型番	メーカー	特記事項
加速度センサ	H48C	日立金属	身体活動量評価回路を外部接続
温・湿度センサ	SHT11	SENSIRION	センサ基板MDA300に実装
二酸化炭素ガス濃度センサ	4GS-2-2DR	Texas Instruments	1/4倍に分圧出力
気圧センサ	PTB100A	VAISALA	1/2倍に分圧出力
無電圧紫外線センサ	AMN13112	松下電工	サンプルホールド回路を外部接続

身体活動量評価回路の設計

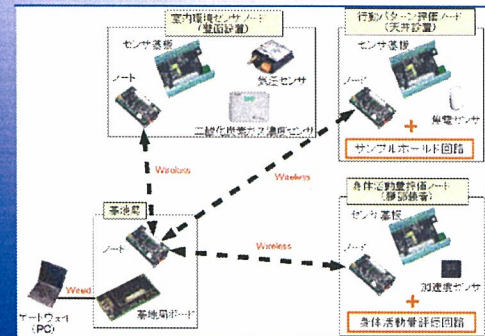


エネルギー消費量と腰部加速度積分値は
非常に高い相関性を示す [T.C.Wong, 1981]

3軸合成加速度積分値を出力
(身体活動量と定義)

Chiba University

モニタリングシステムの開発



Chiba University

評価実験

身体活動量評価実験

被験者は実験に同意を得た健康成人男女6名
(22.7 \pm 1.6歳, 身長171.8 \pm 4.1cm, 体重59.7 \pm 9.0kg)

- 酸素摂取量と身体活動量を同時計測し、
終わり2分間のデータを抽出
- MOTEのサンプリング周波数は0.3Hz
- 酸素摂取量はマスクを装着し、
ブレスバイブレス方式で測定



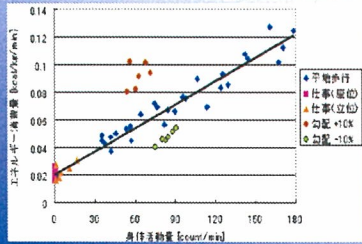
身体活動量評価用ノート

トレッドミル(BM-200, S&ME), 呼吸代謝測定装置(V-max29, SENSORMEDICS)を使用

安静	仕事(座位)	仕事(立位)	安静	歩行 3km/h	歩行 4km/h	歩行 5km/h	歩行 6km/h	歩行 7km/h	安静	勾配 +10% 歩行 4km/h	勾配 -10% 歩行 4km/h
5分	3分	3分	3分	3分	3分	3分	3分	3分	5分	3分	3分

Chiba University

身体活動量評価実験



安静、平地歩行時において

非常に高い正の相関
(相関係数 $r = 0.98$)

身体活動量から
エネルギー消費量を推定

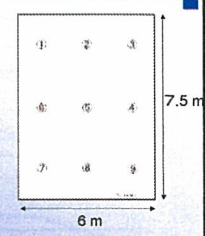
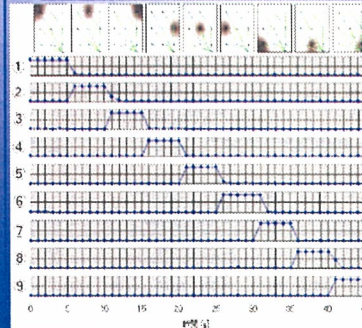
エネルギー消費量推定式

$$EE = 5.7 \times 10^{-4} I_{acc} + 0.02$$

[EE : エネルギー消費量 [$kcal / kg / min$]
[I_{acc} : 身体活動量 [$count / min$]

Chiba University

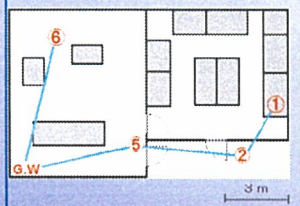
行動パターン評価実験



人体検出グラフにより
行動パターンを評価可能

Chiba University

アドホック・マルチホップ通信実験

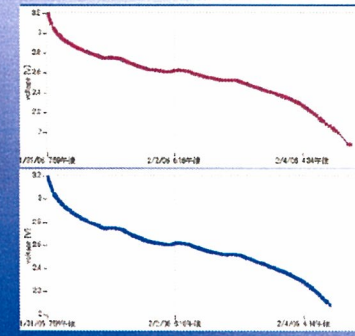


部屋を跨いだ通信実験に**成功**

無線ネットワークシステムの有用性

Chiba University

システム稼働時間の検証



1Hzサンプリング
センサ接続なし

行動パターン評価ノードを接続

最短で約100時間

Chiba University

モニタリング実験

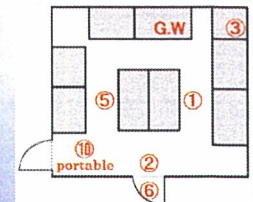
室内環境・身体活動の計測

2006年10月27日 快晴 13時～18時

実験に同意を得た6名の被験者が在室
日常生活行動のモニタリング

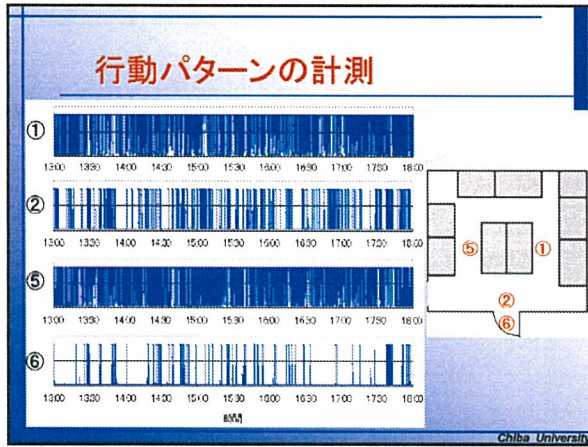
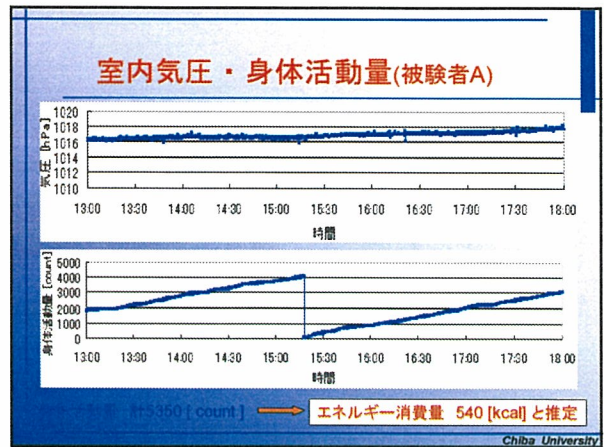
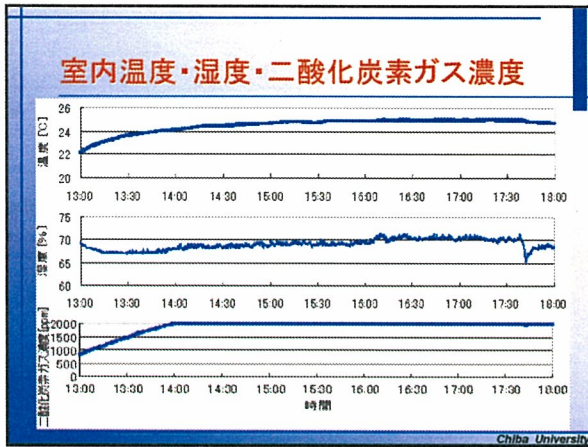
モニタ項目

温度、湿度、二酸化炭素ガス濃度
気圧、行動パターン、身体活動量



- ①, ②, ⑤, ⑥ ... 行動パターン評価ノード* (天井に設置)
- ③ ... 室内環境センサノード (壁面に設置)
- ⑩ ... 身体活動量評価ノード (被験者Aの人体腰部部に装着)

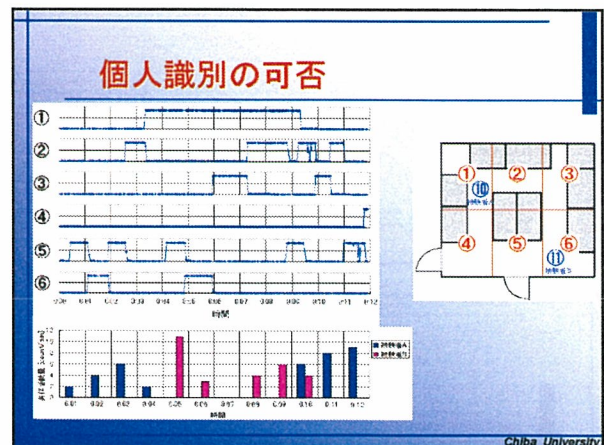
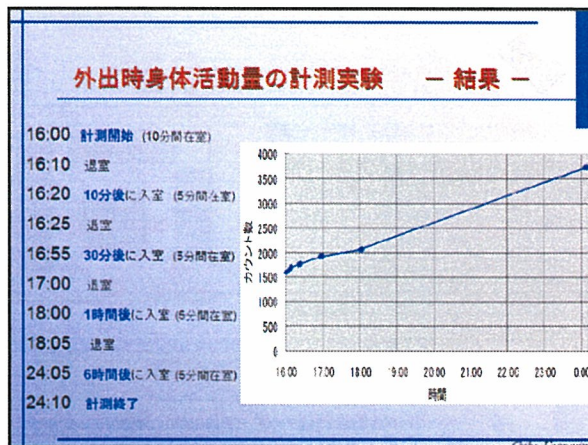
Chiba University



モニタリング実験 (発展)

- 外出時身体活動量の計測実験
 - 外出を想定し通信実験
 - 6時間以内における外出中の身体活動量を計測
 - 再入室とともに計測データを自動取得可能
- 個人識別の推定実験
 - 2人が在室する状況においてモニタ実験
 - 身体活動量と人体検出データから個人識別の可能性を検証
 - 身体活動量は識別可能
 - 行動パターンは識別の可能性が示唆された

Chiba University



個人識別の可否 考察

身体活動量の評価

- 身体活動量評価ノードを装着しているため、ノードIDから個人識別は容易

行動パターンの評価

- 検出した位置が常に互いに離れている場合、識別可
 - 一方が退室した場合、識別可
 - 検出した位置が互いに隣接する領域である場合、識別不可
(ただし、一方が静止状態であれば識別可)
- また、一方の退室後に推定することも可能

Chiba University

検討

有線通信に対する無線通信のメリット・デメリット

メリット	デメリット
通信ケーブル不要	電力制限(電池)
ノードの設置・追加・削除が容易	データ欠損
移動体のセンシング	セキュリティ

電波環境が変化しやすい室内での評価実験においてもシステムは問題なく稼働し、連続的に自動計測可能であった

無線通信による生体情報計測の可能性

Chiba University

まとめ

- 無線センサネットワークにより、屋内環境、居住者の位置・身体活動量がオンライン計測可能
- 既存の家屋に容易に設置できる簡便なシステムを構築
- 機器操作を一切必要としない、自動計測が可能
- 家族や医療従事者による健康管理・緊急時対応など高齢者の遠隔モニタに活かせる

本研究の一部は、平成17年度厚生科学研究費(16-医研-30)ならびに長寿医療委託費(15公-4)による

Chiba University

Easily Installable Sensor Unit based on Measuring Radio Wave Leakage from Home Appliances for Behavioural Monitoring

Sosuke TSUKAMOTO, Yoshinori AKABANE, Noriyuki KAMEDA
Hiroshi HOSHINO and Toshiyo TAMURA*

Tokyo Denki University, Japan
* Chiba University, Japan

Background

- Behavioural information has been shown to be effective for maintaining and improving the QOL.
- Most behavioural monitoring systems are installed when a house is newly built or reconstructed.
- For the elderly who live alone, we sometimes need to install such systems in their houses in case of sudden illness or emergencies.
- **Such a system should be easy to install and remove.**



Method

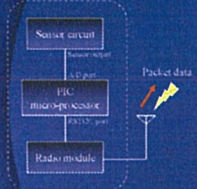
Ad hoc wireless system **IS** Electric field strength meter

- Wiring is not required
- Installation time can be shortened
- Detects usage of appliances
- Usable by simply attaching it to an appliance

Method of data transmission Sensor technology

Engineering expertise is not necessary to install the system

Wireless sensor module



Block diagram of the sensor unit



Prototype module (with sensor circuit)

Specification of the sensor unit

Item	Specification
Microprocessor	PIC16F876 (Microchip Technology Inc.)
Processor Clock	10 MHz
Radio Module	CDC-TR02B (Design Circuit, Inc.)
Radio Frequency	315 MHz
Radio Antenna	RH3 (20-900 MHz, Yamada)
Modulation	Amplitude Shift Keying
Transfer Rate	115.2 kbps
Unit Weight	350 g (battery included)
Size (JTBP)	150 × 100 × 40 mm (battery included)

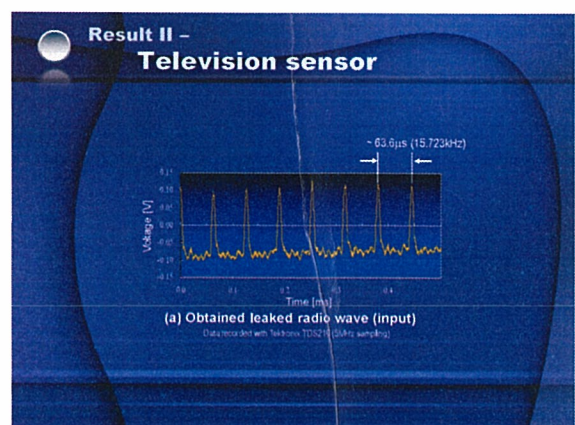
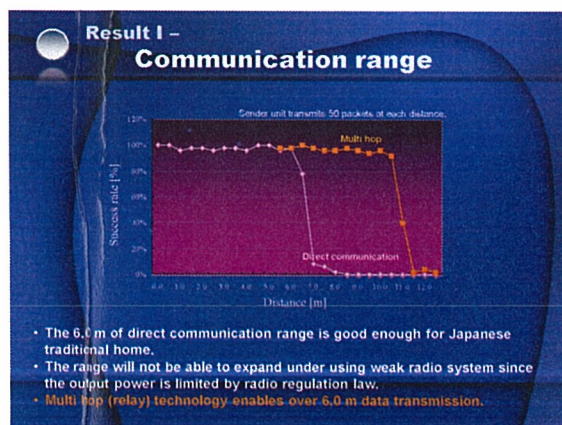
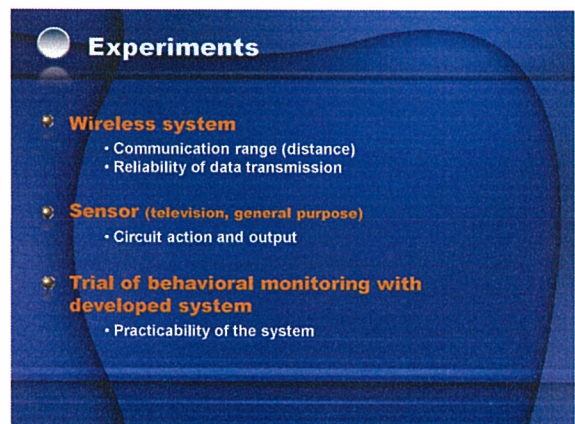
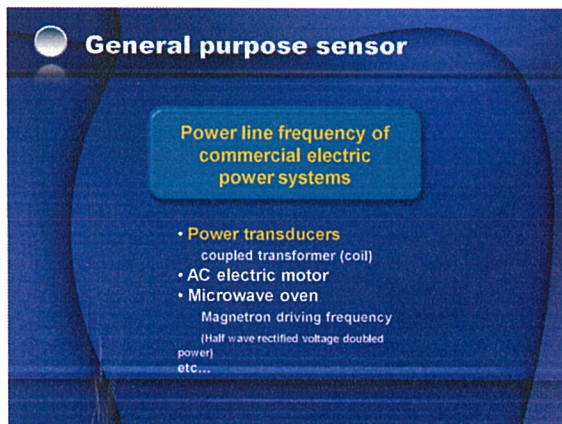
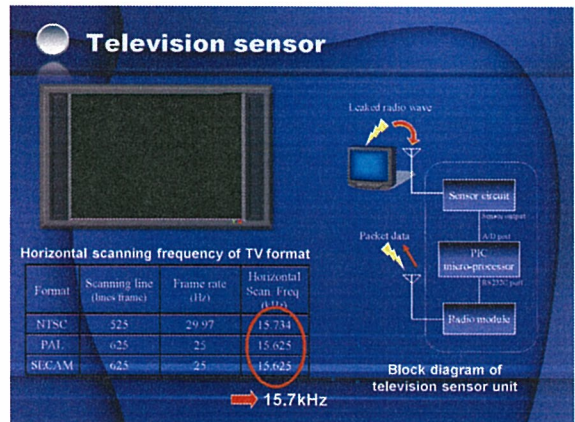
Data transmission / relay (simple type)

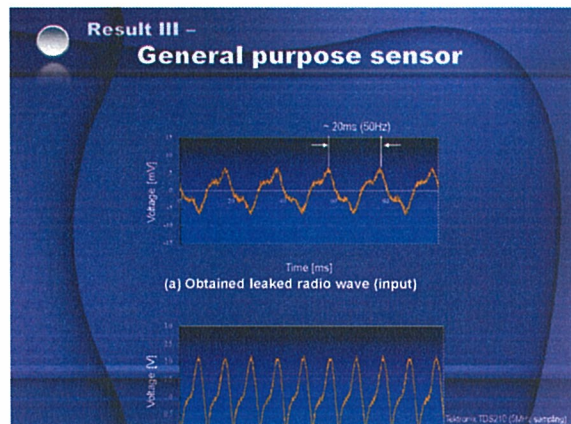
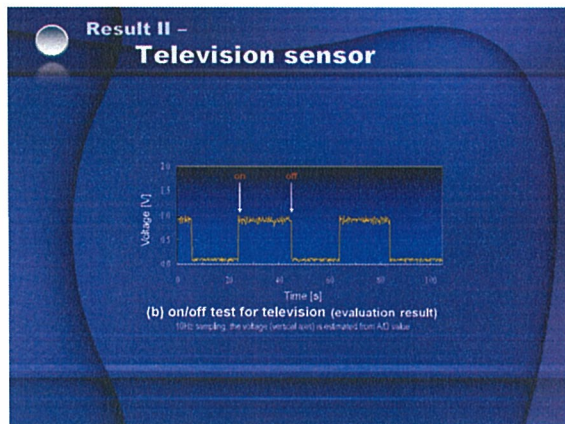
Packet structure

Start Flag (0xAA)	Unit ID (1 byte)	Sequence Number (1 byte)	DATA (1 byte)	Checksum (1 byte)
-------------------	------------------	--------------------------	---------------	-------------------

Simple handshake / relay protocol

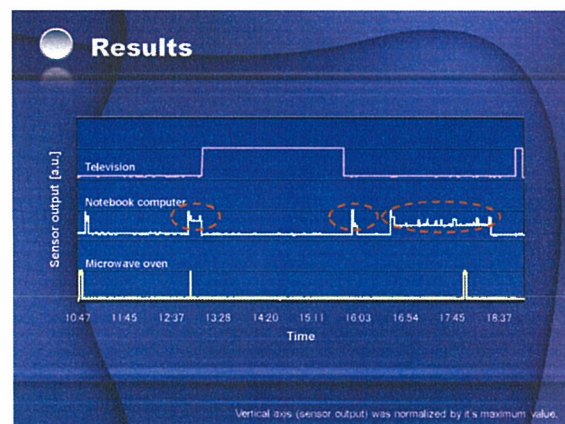
Sensor unit (sender)	Samples output of sensor circuit at a sampling frequency of 0.1Hz, and transmits the data by radio. Until receiving acknowledge (ACK) packet from DST, sender unit will retransmit the packet (retransmission is limited to 20 times).
Data Storage Terminal (DST)	After receiving a data packet, DST stores the data and transmit ACK packet.
Sensor unit (others)	If a packet that not relayed before was received, other unit will relay the packet.





- ### Applicable devices of general purpose sensor
- Electric fan
 - Humidifier
 - Washing machine
 - Vacuum cleaner
 - Coffee maker
 - Electric pot
 - Notebook computer
- etc...

- ### Field study – Trial of behavioral monitoring
- **Method**
 - Three sensors and one data storage terminal were installed
 - The system was installed by an untrained person
 - **Target**
 - Television, Microwave-oven, Notebook computer
-



- ### Results
- Ad hoc wireless system

Electric field strength meter
- Data could be obtained by the wireless system without any trouble
 - Direct communication range was about 6.0 m
 - Multi hop technology enables over 6.0 m communication
 - The sensor could detect usage of many home appliances
 - It was usable by simply attaching to the home appliance
 - Applicability of the sensor was confirmed
- Easily installable monitoring system

Discussions

• This system will be usable in an emergency and behavioural monitor in the elderly

- Simple installation (multi-hop network, sensor)
- Everybody will be able to install the system without technical expertise

• Cause of packet loss (2~3%, distance is in under 6m)

- Unstable electromagnetic field
 - Number of packet retransmission was limited
- Un-limit the number of packet retransmission?
- Radio capacity will be exhausted
 - will cause the congestion

Conclusion

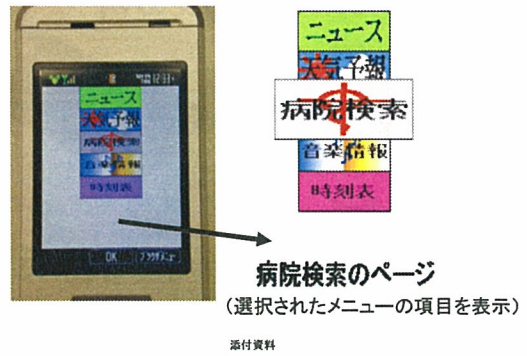
- We developed a sensor unit used in a behavioral monitoring system for ordinary houses with the objective of simple installation and removal.
- Sensor unit for detecting usage of home appliance which based on measuring electric field strength was proposed.
- An experiment that utilized multi sensors showed that the practicability of the system.

• Acknowledgement

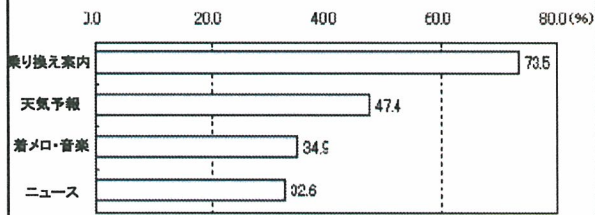
This study was partly supported by a Grant-in-Aid for Scientific Research (16700429) from MEXT (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology) of Japan and Grants-in-Aid from the Ministry of Health, Labour and Welfare, National Institute for Longevity Sciences and Chiba University.

ユビキタスコンピューティングシステム
を用いた
へき地医療体制の充実に関する研究

アイコンによる携帯電話向けメニュー



最もよく利用される情報

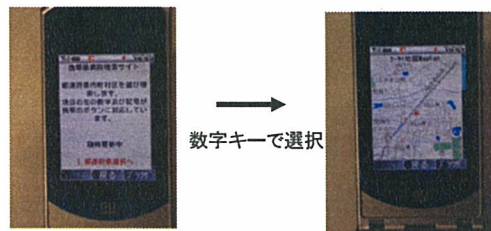


Q. どんなWEBサイトにアクセスすることが多いですか。(複数回答)
<ベース: インターネット機能使用者 (n = 215)>

公開調査データより

添付資料

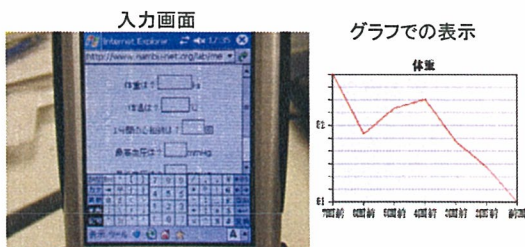
医療情報探索機能



病院検索を行うと連絡先、位置、地図を表示

添付資料

日常的生体情報収集システム



添付資料



Bluetoothの特長

- 短距離だが高速な通信が可能(1Mbps)
- 様々な周辺機器を接続可能
- 自動識別
- 暗号化通信

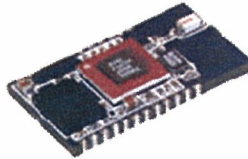


添付資料



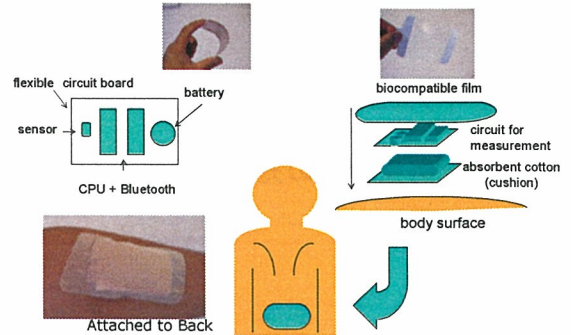
Bluetoothチップの例

- ラビットセミコンダクターAKC21
- Class2
- 出力2.5mW Max30m (10m保証)
- UART 入力可
- 15mm x 27mm x 4mm
- 3V 駆動
- アンテナ オンボード
- プロトコルスタック内蔵
SPPモードで利用することで、仮想シリアルポートとして利用可能。



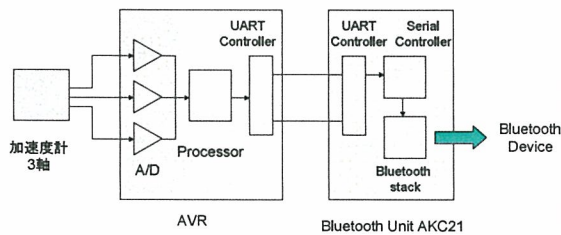
添付資料

体表面添付型計測システム



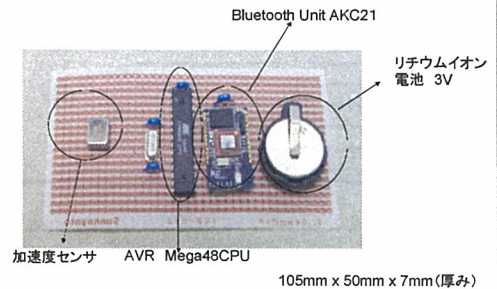
添付資料

システム構成



添付資料

外観



105mm x 50mm x 7mm (厚み)

添付資料

電力消費について

- 消費電流試算 3V 駆動時 (カタログ値)
 - CPU: 1mA
 - Bluetooth unit: 35mA 通信時 (ピーク時100mA)
 - 加速度センサ: 1.5mA
 - 合計 40mA 以下
- 電源CR2032リチウムイオンコイン電池
 - 容量: 220mAh → 5時間の駆動可能
- 実際の計測時における利用可能時間
 - 10回の試行で2-3時間
- 現状では常時計測は不可能である。
- 携帯電話用二次電池の採用を検討
- 省電力制御の導入
- 運用方法の検討 → 一日一回取り替え/リユース



添付資料



A Smart House for Emergencies in the Elderly

Toshiyo Tamura

Department of Biomedical Engineering,
Chiba University School of Engineering
tamurat@faculty.chiba-u.jp

ICOST 2006 Belfast, Northern Island UK

Chiba University

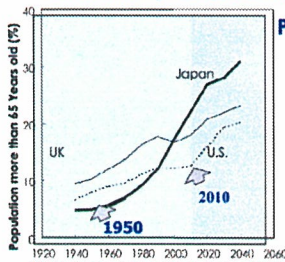


Presentation outline

- Background
 - Elderly Society
- Smart House Project
 - Unawareness monitoring
 - Activity monitoring
 - Questionnaire in the elderly
- Home health care-new attempt
 - Experimental set-up
 - Result

Chiba University

Japan, facing increase in aged people with extremely fast speed which the world never experienced



Population over 65 years old (%)

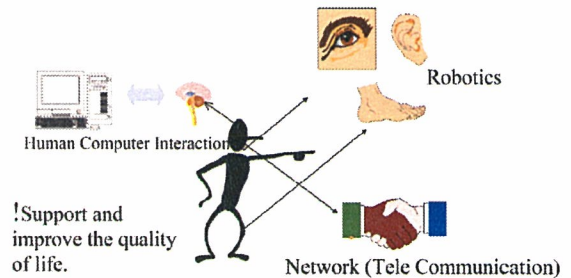
Year	Japan	U.S.	U.K
1950	4.9	8.3	10.73
1975	7.9	10.5	13.48
2000	17.2	12.3	16.12
2025	(29.1)	(17.7)	(24.3)

() Estimated Value

UN: World population Prospects :the 2004 Revision

- 90% of them are very active but, medical expense increase.
- chronic diseases, especially: life-style related diseases
 - Heart Diseases, Diabetes (In Japan Recently especially Increase)

Assistive Technology

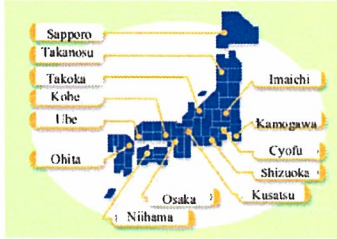


Aim

New concept of health monitoring at home

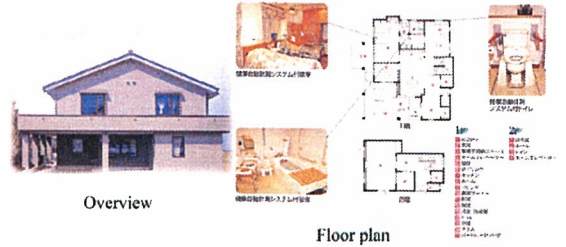
Unawareness monitoring
and Smart house projects

- Generalise the preventing medicine
- Reduce the health insurance cost
- Monitoring without awareness
- Different from general physical examination such as ECG, blood pressure monitors, and blood test



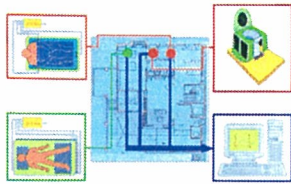
Welfare Techno-Houses in Japan

Welfare Techno House in Takaoka

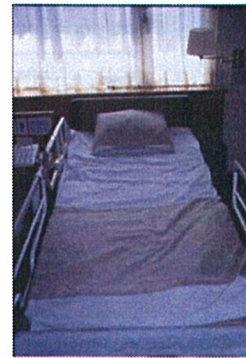


Experimental house for continuous physiological monitoring in the elderly

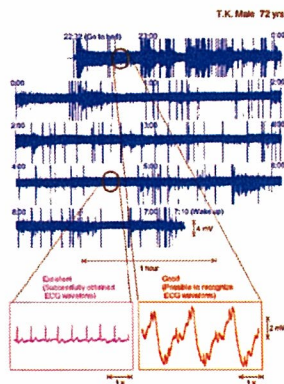
Automated physiological monitoring system



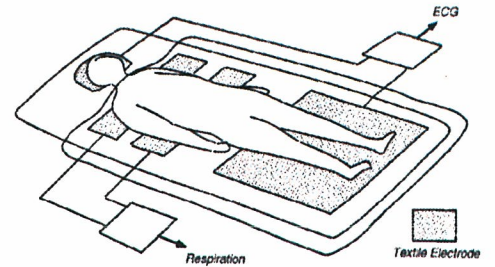
Sensors are attached to furniture and room so as to detect physiological signals without subject cooperation.



ECG and respiration monitoring by textile electrodes



ECG during sleep



An example of the record of ECG and respiration monitoring
(Ishijima 1996)

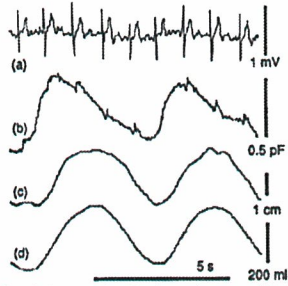
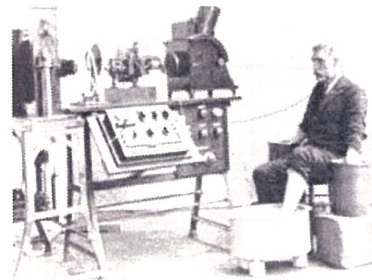
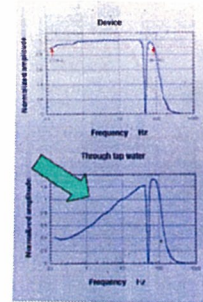


Figure 6. An example of recordings from textile electrodes. ECG: (a) and respiration: (b), compared with the thoracic circumference, (c) and tidal volume: (d) (Ishijima).

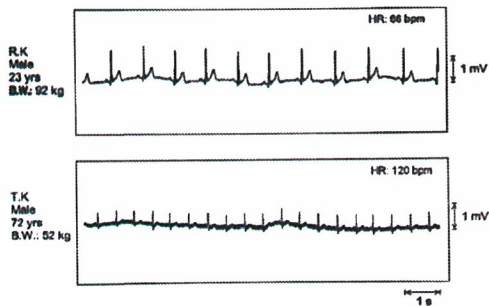
ECG measurement



Frequency characteristics



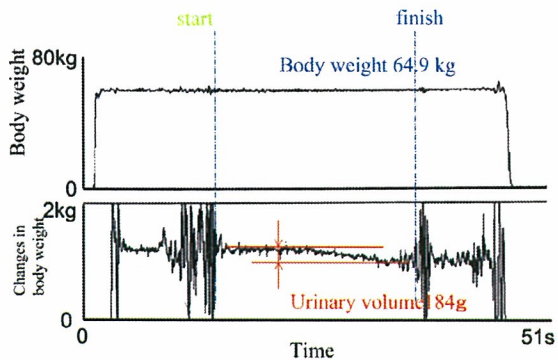
ECG from the bathtub



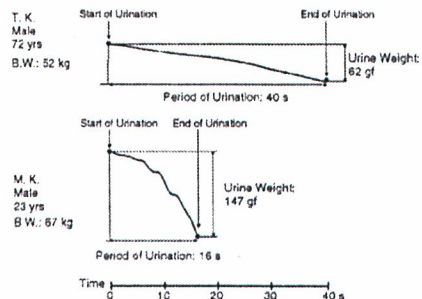
upper: younger, lower: elder subjects



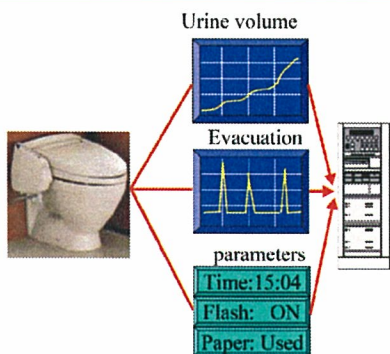
Body weight & urinary volume



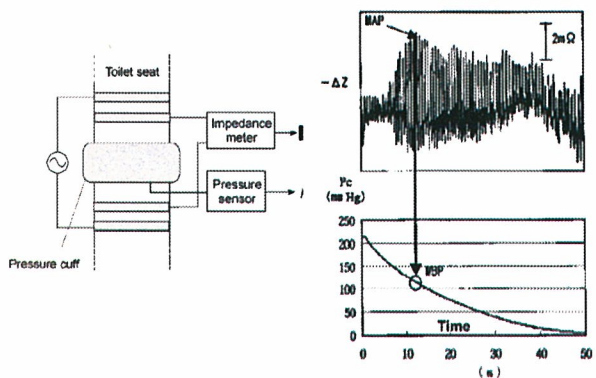
Urinary speed and volume



intelligent toilet



An attempt of toilet-seat blood pressure monitor



Activity monitor

Real Time Sensing

Sensors are installed into a room.

- Pyroelectric sensor
- Magnet sensor
- Temperature sensor
- Humidity sensor
- Carbon dioxide sensor
- (CCD camera)

Digital home electricity

Home Electric Appliances with net work function
(Internet electric oven, Internet refrigerator, Internet thermos)

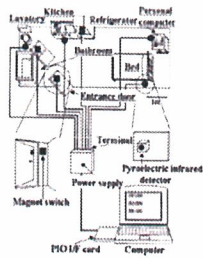


Activity monitoring in the elderly

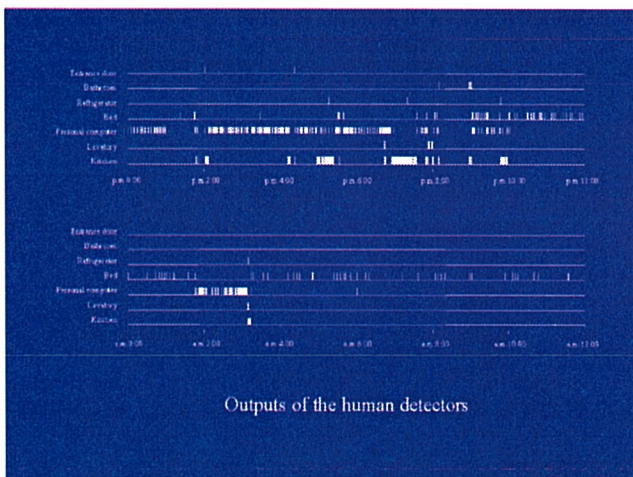
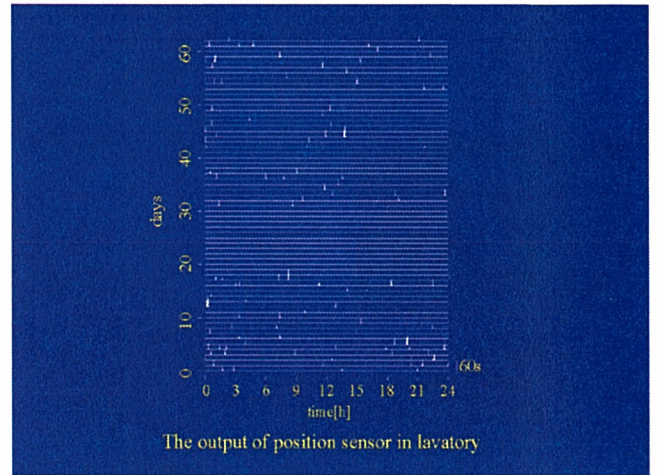
1-ppt Health status of either father and mother can be found by use of thermos



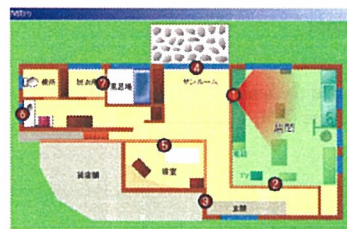
System set-up



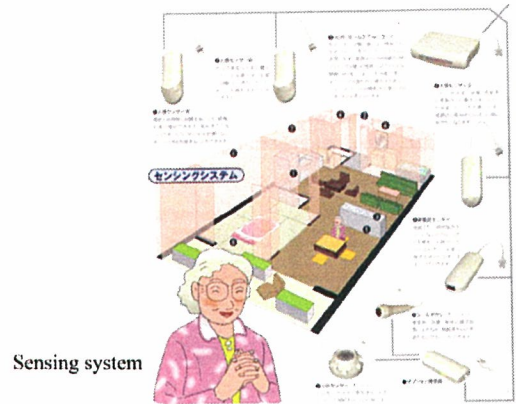
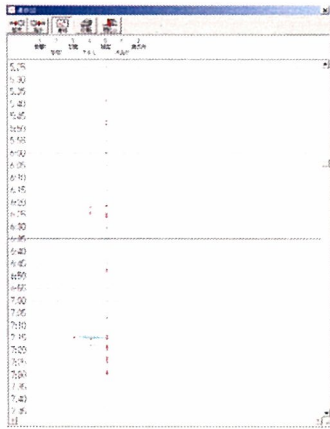
20



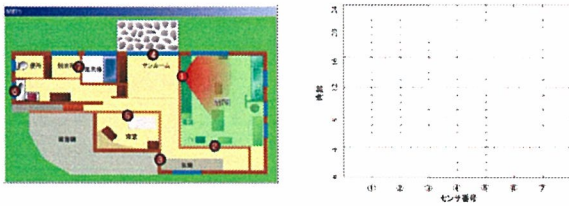
Application



Pyroelectric sensor TV, Refrigerator



Example



- Activity monitored by pyroelectric sensor
- Tracking to the human position
- Limitation of sensor location

Example

no	magswitch	door	magswitch	door	magswitch	door	magswitch	door	
1	7:49	1	12:40	1	0:00	1	10:28	1	10:38
1	10:27	1	13:05	1	0:00	1	10:29	1	10:40
1	10:52	1	13:24	1	0:00	1	10:37	1	10:42
1	10:47	1	13:35			1	11:21	1	10:44
1	11:52	1	13:44			1	12:25	1	12:29
1	11:32	1	13:45			1	12:40	1	12:55
1	11:39	1	20:04			1	12:50	1	12:57
1	12:27					1	13:15	1	12:40
1	12:27					1	13:37	1	12:42
1	12:58					1	13:38	1	12:43
1	12:58					1	14:01	1	12:44
1	12:50					1	14:33	1	12:45
1	12:52					1	12:47		

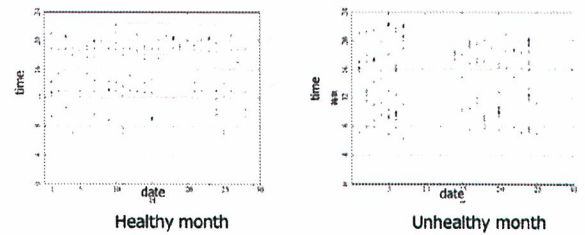
- Operating time of magnet switch installed electric appliance and front & back doors etc.
- No cross-correlation between them

30

Analysis

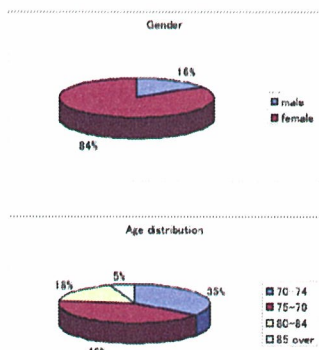
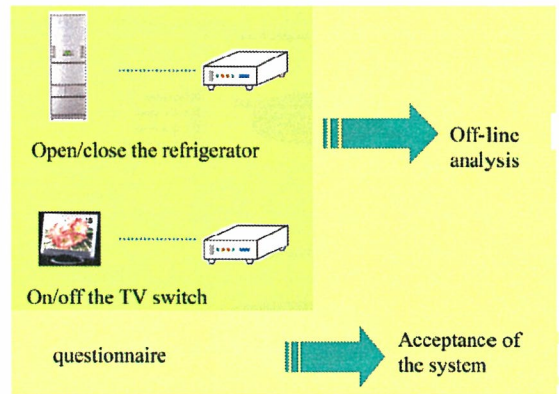
- Intermittent data
- Missing data
 - Still understand the health condition of client by Registered nurse (RN)
- Data mining
 - Histogram
 - Hidden Markov
 - Entropy
 - Same thought of RN AI?

ON/OFF of television switch

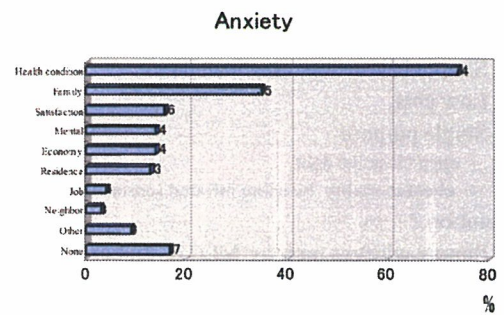
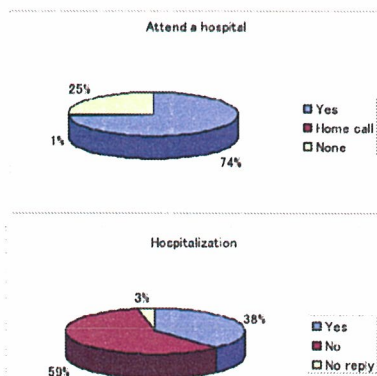
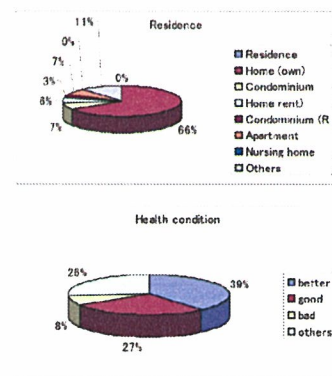


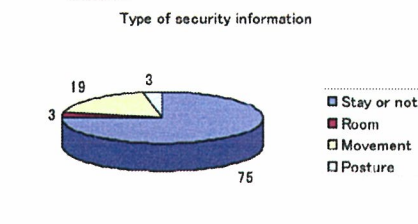
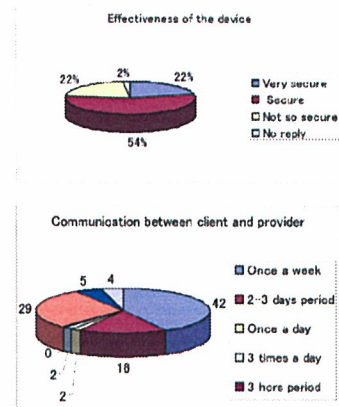
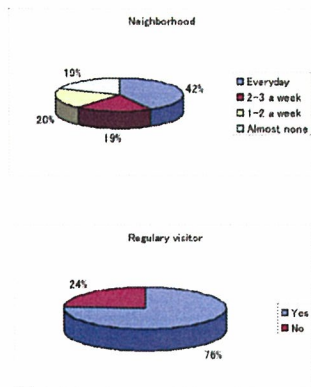
- Same tendency in the healthy month
- Signal randomly distributed

Daily activity monitor and questionnaire of the elderly



Subjects
n=100





Summary I

- Large scale, high cost
- Motivation
- Difficult to get the evidence
 - Data mining
 - No efficient for the physician
 - No understanding of preventing medicine
- Finally smart house project by METI & NEDO has been terminated.
- Only few Welfare techno-houses continue to operate with aids of local community

What is ideal home health care regarding to smart house?

- Simple instruction, easy installation
- Low cost
- Single purpose
 - open/close the door
 - client mortality by using infrared sensor

Solution ?

- Simple wireless monitor MOTE, Zigbee etc
- Go back to the basics!
 - Use home health care appliance and compare the handling
 - Subject: Patients with Chronic diseases

Home health care project

Health strategy in Japan

- Nutrition
- Exercise
- Mental health
- Metabolic syndrome
 - Diabetes
 - Hypertension
 - High cholesterol

Ideal Image for the personal healthcare in Japan

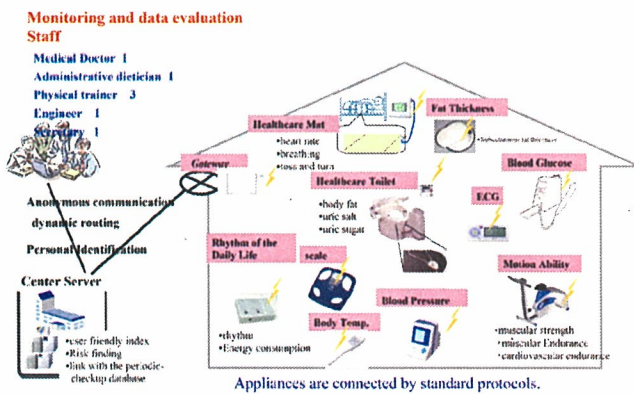


As if your physician or nurse is with you wherever and whenever you go and tells you what to do when your condition has been changed.



Invisible physician? Mobile Nurse?

Home Healthcare Project



The Enterprise Model Project of Home Healthcare

1. Advanced instruments to monitor the health condition non-invasively for people concerned about their health.
2. Common communication system to integrate all instruments and systems using standardized network interfaces and data protocols
3. Self check system for vital data to improve their life style acquired from application and use of those instruments.
4. Supervised remote monitoring system to estimate the risk of lifestyle related diseases and to support the daily management of health inexpensively.

Uric sugar

- Specifications
- Sensor hydrogen peroxide H₂O₂ electrode with GOD membrane
- Range 0-1000 mg/dl
- Accuracy CV<10%
- Response time 70 s
- Life time 4 month or 720times



Healthcare Toilet

Image	Features
	<ol style="list-style-type: none"> ① Accurate ② Quantitative measurements ③ Unconstrained and Non-invasive measurements
	<p>Measurement</p> <ol style="list-style-type: none"> ① Uric sugar ② Uric salts (Na⁺, K⁺)