

## センサネットワークによる生活リズム解析 —一人暮らし高齢者宅の安全確認—

### Analysis of Living Rhythms by Sensor Network — Safety in household of the living-alone aged —

○久慈憲夫\*

○Norio Kuji\*

\*八戸工業高等専門学校

\*Hachinohe National College of Technology

キーワード： センサネットワーク (Sensor networks), 生活リズム (Living rhythms), 高齢者 (the living-alone aged), 安全確認 (Safety)

連絡先： 〒039-1192 青森県八戸市田面木字上野平 16-1 八戸工業高等専門学校 電気情報工学科  
久慈憲夫, Tel.: (0178)27-7288, Fax.: (0178)27-7288, E-mail: kuji-e@hachinohe-ct.ac.jp

#### 1. はじめに

52500  
高齢化社会が急速に進むにつれ、一人暮らしの高齢者世帯が急増している。社会保障によるケアが難しくなっている現状から、在宅のままで高齢者の安全を確保することは、これからの大きな課題になるものと考えられる。特に故郷に老親を残し都会で働く人々にとっては、老親世帯の生活状態を遠隔地から把握でき、対策を打てるような手段は不可欠なものとなる。このような生活状態をモニタする手段として、高齢者のお茶を飲む習慣に着目し、ポットの給湯をモニタし、無線でメール送信するサービスが既に提供されている。しかし、センサにより提供される場所と情報の種類が少ないため、異常検知の確度が低いこと、異常があったとしてもその対処が難しいことなど、高齢者世帯のケアを行う上で、多くの課題が残っている。

一方、遠隔地からの新しい計測方法としてセンサネットワークが注目されている。これはセンサを無線通信で結んだネットワークであり、センサノードを複数配置すると自動的にネットワークを形成するため、無線通信距離の制約を受けず、任意の箇所に配置できるなど、配置の自由度が高いという特長がある。またセンサノード自身がプロセッサを有しており、様々な機能の実現ができる。更にセンサノードは小型で多種類のセンサを搭載することができるため、高密度なセンサの配置が可能である。このようなセンサノードを高齢者の生活リズムの解析に活用するならば、高齢者世帯からの情報量が飛躍的に増加し、より確度の高い生活リズムのモニタができるだけでなく、異常発生時の応急措置を含めた対応が可能になるものと考えられる。本報告では、センサネットワークを用いた高齢者宅のケアシステムを実現することを目的に、遠隔

地からの生活リズムの解析や、解析に基づく機器制御等の実現に必要な要素技術について述べる。第2節では実験システムの構成、第3節ではインターネットによる遠隔モニタ、第4節ではセンサノードの評価、第5節ではセンサノードによる機器制御、第6節でシステムに関する考察を述べる。

## 2. 生活リズム解析の考え方

高齢者の健康度を遠隔地から把握する方法は、高齢者福祉の観点から広く検討されている。しかし、カメラを使うなどの直接的な監視方法はプライバシーの問題があり、高齢者宅には受け入れがたく、遠隔地からのモニタにはなじまない。そこで、生活活動度に着目し、高齢者の不快感が少ない方法で異常兆候を推測する仕組みが必要になる。生活リズムに基づいてケアを行うシステムの考え方を図1に、センサネットワークにより計測可能な生活リズムと必要なセンサを表1に示す。老人の居宅に、音センサ、光センサ、加速度センサを取り付けることで、移動の有無、照明の点滅、室温の変化をモニタし、インターネットを通じて、遠隔地のPCから間接的に生活活動を把握する。自宅にしながらモニタ情報に基づいて標準的な生活リズムとの差異を把握することで、異常を自動検出する。異常の内容に応じて、家庭内電気機器の制御などの対応をとることにより、高齢者は、安心して健康的な生活ができる。また、医療機関や保険・サービス会社との提携により、単独世帯などの居住環境にかかわらず、長期的な健康状態を生活リズムのデータとして無拘束で収集できるため、体調異常の兆候などから異常を予測することも可能になる。

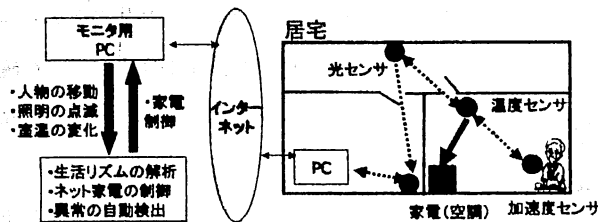


Fig. 1 一人暮らし高齢者宅の安否確認の考え方

Table 1 生活リズムと対応するセンサ

配置箇所	センサ	生活リズム
人	加速度	移動距離
ドア	加速度	ドアの開閉
部屋	光・加速度	照明のオンオフ
暖房機器	光・温度	冷暖房オンオフ

## 3. 実験システムの構成

### 3.1 センサノード

生活リズム解析を行うシステムを実現するために、市販センサノードとしてシリコンセンシング社の Mica MOTE (以下 MOTE) <sup>1)</sup> と、アーズ社の Ni3<sup>2)</sup> を導入し、これを前提とした実験システムの構築を検討した。表2に両者の仕様を示す。生活リズムのモニタ実験には、光、温度、加速度、磁気、音、の複数センサが搭載されている方が都合がよいため、基本システムは MOTE を中心に構成した。一方 Ni3 はセンサをユーザが用意する形態であるが、CPU の出力ポートが直接コネクタに出ており、機器制御の実験には都合がよい。以上のことから、本実験システムでは、両者を実験内容に応じて併用することとした。

Table 2 センサノードの比較

	MOTE	Ni3
CPU	Atmega128	PIC16F877A
周波数	315MHz	303.8MHz
OS	TinyOS	無し
言語	NesC	C
センサ	音、光、磁界、 加速度、温度	ユーザ (I/O 有)

### 3.2 インタネットとのリンク

センサネットワークの測定データをインターネット経由で遠隔地からモニタするため、以下の方針のもとでシステムの開発を行うこととした。

- 1) 各センサノードの計測データや、計測内容をそれぞれ保存して、追加・削除などの操作を行なうためにデータベースを導入する。データベース化することによりノード番号、計測内容、計測データを同種類のデータにまとめて格納することができ、クライアントの必要な形式への変換が容易に行なえる。
- 2) 遠隔地のクライアントからの要求に応じて、センサの計測データの処理を行なうために、センサネットワークのステーションPCをWEBサーバ化し、インターネットに接続する。
- 3) データベースからデータを読み出す機能を実現するため、サーブレットなどによるサーバサイド実行環境をWEBサーバ上に構築する。サーブレットを活用することで、クライアントからのアクセスに伴う起動時間を短縮し高速化を図る。
- 4) コストを削減するため、フリーウェアのソフトウェアを活用する。ウェブアプリケーション開発に適するという観点から、サーバサイドプログラムにはPHP、データベースにはPostgreSQLを用いた。

上記の考え方に基づいて構築したシステム構成を図2に示す。センサノード同士は無線通信によって結ばれている。一つのセンサノードは親機としてRS232C経由でホストコンピュータ(OS:Windows2000)に接続されている。各センサノードの測定データは、親機に集められ、ホストコンピュータ内に用意されたデータベースPostgreSQLに蓄える。データベースへの書き込みは、PHPインタフェースのSQLを使用する。遠隔地からデータベースの測定データを読み出す場合は、WEBブラウザからインターネット経由でWEBサーバをアクセスし、PHPのSQLを起動することでデータベースからのデータ読み出しが行われる。PHPはウェブサーバ(Apache)に組み込まれ、Apache自体がスクリプトを解釈し実行するた

め、クライアントサイドで読み出す方式より動作が速くなる。

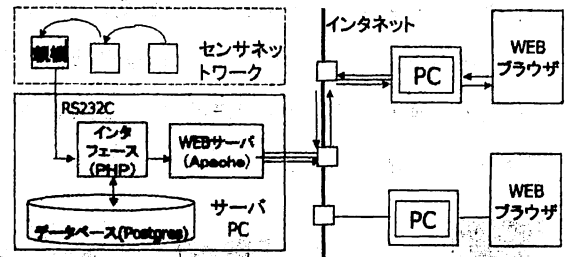


Fig. 2 実験システムの構成

### 3.3 ユーザインタフェース

3.2節のWEBインタフェースを用いて、センサネットワークの測定データを遠隔地でモニタするためのコンテンツとして以下の機能を持つユーザインタフェースを開発した。

- 1) センサノードの位置関係をグラフィック表示し、ノードのアイコンをクリックすることにより測定結果を表示可能にする。
- 2) データベースの情報がすべて参照できるように表形式での表示インタフェースを持つ。
- 3) 測定データの時間変化が観測できるように、測定データを折れ線グラフで表示する機能を持つ。

上記機能を実現するコンテンツの構成を図3に示す。表示画面としては部屋のレイアウトの画面、表の表示画面、グラフィック表示画面を用意し、後者の2画面は部屋のレイアウトの画面にリンクが張られた構成をしている。測定データのデータベースへの書き込みと読み出しは、PHPの関数を使用したC言語によるプログラムにより行い、データベースにアクセスする。表の表示に関しては、あらかじめサーバ上のデータベースにセンサノード毎の測定データの表の型を登録しておく。センサノードのデータの読み込みが要求された場合、データの行数と列数を取得し、TABLEタグで記述したHTMLにより表の表示

を行う。グラフィックの表示には、まず JAVA サーブレットにより測定データの折れ線グラフを作成する。次に折れ線グラフを gif 形式の画像データに変換し、JSP で記述したグラフィック画面作成プログラムに送り、画面にはめ込んで表示する。図 4 にウェブブラウザ上の表示例を示す。

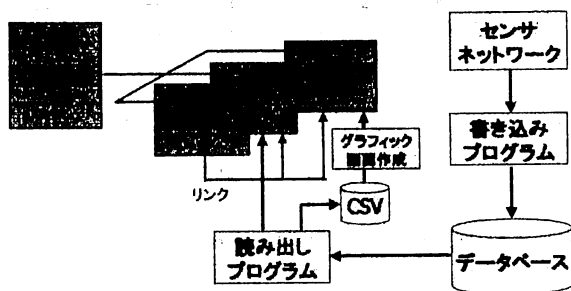


Fig. 3 コンテンツの構成

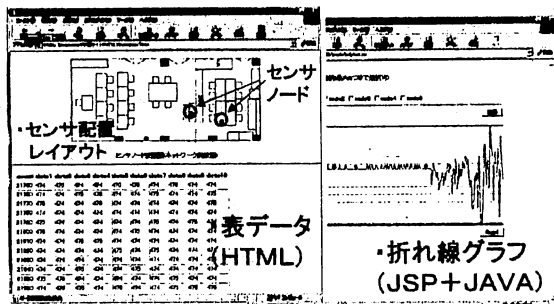


Fig. 4 ウェブブラウザ上の表示例

## 4. センサの評価

### 4.1 光センサ

MOTE について、光センサ出力と実際の照度との関係がどのようなものであるか実験を行った。実験方法は、照度計を用いて照度を計った後、同一箇所に光センサを置き出力を調べるという方法で行なった。校内の実験室において点灯させる蛍光灯の数や、光源からの距離を変化させ様々な照度を実現した。その結果を図 5 に示す。センサ出力と照度の関係は指数関数的であり、200 ルクス以下の照度に対して感度が強いことが分かった。次に、実験室の照明の様子を解析するために、MOTE を実験室の中心に配置し照明

を点灯させない場合の光センサ出力の変化を 1 日に渡って測定した。図 6 (a) は平成 17 年 2 月 27 日の消灯時の明るさの変化を示している。午前 6~8 時の間に明るさを増していき、その後は 650~1000 未満の値となり、16~18 時にかけて暗くなっていくことが分かる。窓は西側にあるので午後は西日が差し込む。その結果が 15 時台の明るさが午前中よりも高いことに表れている。表 3 に照明の点灯時と消灯時のセンサ出力の測定例を示す。以上の結果より、部屋の照明の様子を光センサにより解析できるかを検討した。まず、照明の点灯時のセンサ出力は表 1 より 943 であった。この値より明らかに低い夜間と早朝、夕方においては、点灯と消灯のセンサ出力の差が大きいと判別できると考えられる。次に、昼間は点灯時と消灯時の差はあまりないと考えられるが、判別の可否を判定するため、晴れの日の昼に MOTE を部屋に設置して照明を点灯・消灯させ、測定データから照明の点滅を識別した。いつ点灯し、いつ消灯したのかは MOTE の送出するカウンタ値により識別する。図 6 (b) に照明を点滅させた場合の実験結果を示す。横軸にカウンタ、縦軸にセンサ出力をとっており、1 カウンタは 125[msec] である。センサの出力は、消灯時は 923、点灯時は 965 を指示している。この実験結果より昼間においても判別が可能であると言える。照明の点灯と点滅の変化というのは人工的で変化が急峻であり、急峻な変化はあまり考えにくい。雲の隙間から太陽光が差し込むにしても、その少し前から徐々に明るくなると考えられる。従って、センサ出力の急峻な変化から照明の点滅を判断することは可能と考えられる。

Table 3 点灯時と消灯時の照度とセンサ出力の例

	照度 [lx]	センサ出力
消灯 (夜間)	0	0
消灯 (昼:曇り)	82	618
消灯 (昼:晴れ)	800	920
点灯	1290	943

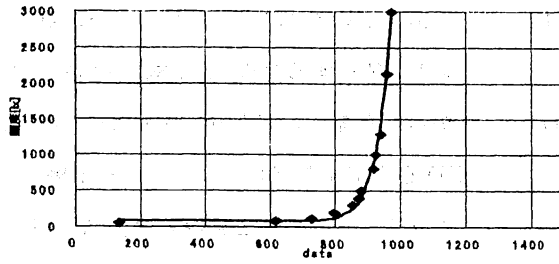
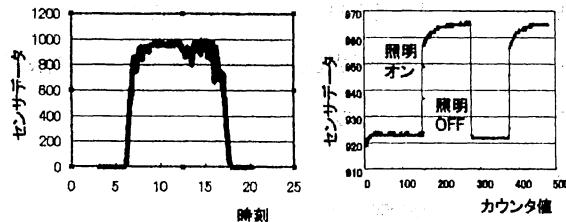


Fig. 5 光センサ出力と照度の関係



(a)

(b)

Fig. 6 光センサの評価結果 (a)は消灯時の部屋の明るさの一日変化、(b)は晴れの日の昼に照明を点滅したときの

## 4.2 温度センサ

MOTEの温度センサは、温度による抵抗値の変化を利用して温度の測定を行なう。二つのMOTEを室内と屋外に各々設置し、1日に渡って温度の測定を行なった。室内のエアコンの設定温度は25[°C]としたときの室内と屋外の温度の測定結果を図7に示す。横軸は時刻であり、室内に関しては温度変化が一定である。室内の暖房設定温度25°Cにほぼ近いため、十分な精度で測定できていると言える。屋外の測定結果において14時付近で10°C近くという1月にしては高い温度を検出したのは、センサに直射日光が当たってしまったためと考えられる。9時前の屋外の温度変化はセンサを外に出した時の変化であり、15分程度で安定した。これは、抵抗の温度変化で温度を測定しており急激な温度変化には追従できないためである。この実験により、温度変化の応答速度に数分の遅れがあるが、長時間の定点観測に十分使用可能であり、この温度センサを家庭内に配置することにより、各部屋の冷暖房の状況確認や安否確認を行なうこ

とができる。

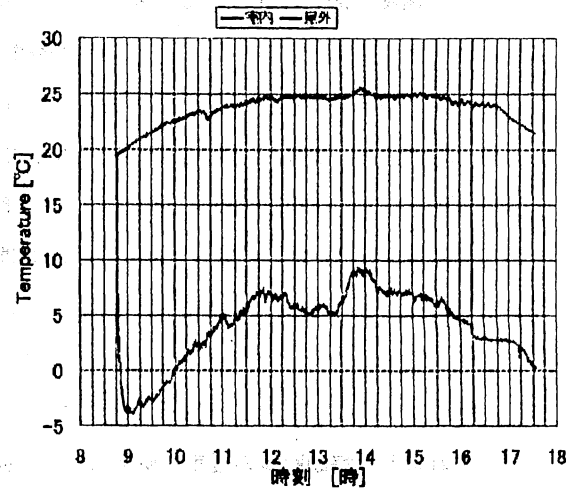


Fig. 7 温度センサによる一日の温度変化

## 4.3 加速度センサ

加速度センサ(加速度による静電容量の変化を利用)を用い、加速度から、速度や移動距離の算出ができるかどうかを検討した。加速度の1階積分を行なうと速度が求められ、2階積分を行なうと距離が得られる。しかしセンサの出力はデジタル信号であり、連続的なデータではない。通常の積分は連続的な信号を対象としているため、デジタル値を扱うことはできない。そこで、デジタル信号などの離散的なデータを扱うことのできる数値積分を用いて積分を行った。任意の点*i*における加速度を $\alpha_i$ 、速度を $v_i$ 、距離を $r_i$ とすると、速度、加速度は次式で表される。

$$v_i = \frac{1}{2}(\alpha_i + \alpha_{i-1})\Delta t + \sum_{n=0}^{i-1} v_n \quad (1)$$

$$r_i = \frac{1}{2}(v_i + v_{i-1})\Delta t + \sum_{n=0}^{i-1} r_n \quad (2)$$

加速度を評価するため、LEGO ロボットにMOTEを取り付け、発進停止を行ったときの加速度を計測した。ロボットのプログラムを変えることでモータのパワーを制御し、小さな加速と大きな加速の2段階の加速を行ない、その後は減速走行に入るようにプログラムした。評価結果を図8に示す。図8(a)は加速度

の測定結果であり、二段階の加速度変化、減速時の負の加速度が測定できている。図 8(b) は 1 階積分して求めた速度を示す。積分による誤差の累積は、最終的な速度が 0 になるという条件で補正した。図 8(c) は、二階積分して移動距離の相対値を求めた結果である。横軸がカウンタ値で時間に比例するため、移動距離の時間変化を知ることができる。図 9 は発進停止を 5 回繰り返したときの移動距離と実際の距離との関係とばらつきを示したものである。両者は比例関係にあり、ばらつきは 7.2% 以下であることがわかった。これより、移動距離の推定に使えることを確認した、

## 5. センサノードによる機器制御

遠隔地から子機に接続した家電機器を制御するため、ホストコンピュータから制御データを送り、子機の LED を点滅させるという実験を行った。これは、データを収集するというセンサネットワークの機能とは逆方向の機能であり、双方向の制御が可能なポー

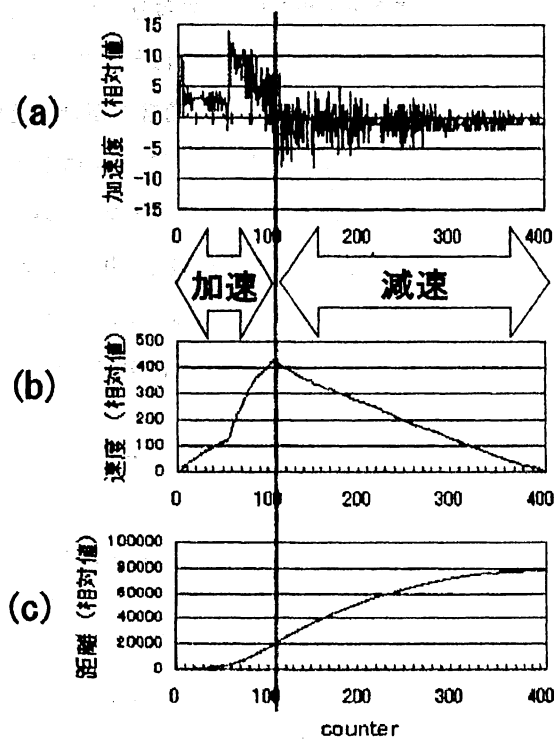


Fig. 8 加速度センサのデータの積分結果。(a) 加速度センサ出力、(b) 一回目の積分結果、(c) 二回目の積分結果。

トを備えている Ni3 を使用した。複数の子機を別々に制御可能にするため、各子機に id 番号を付与し、親機からきた命令が自分宛のものかどうかを判定して LED を点滅するプログラムを、各子機にインストールすることで、これを実現した。図 10 は LED を取り付けたセンサノードであり、IO ポートの制御により、別々の回路ノードの LED が制御できることを確認した。LED を取り替えることで、センサノードにより家電機器を制御し、異常時に緊急対処をすることが可能な見通しを得た。

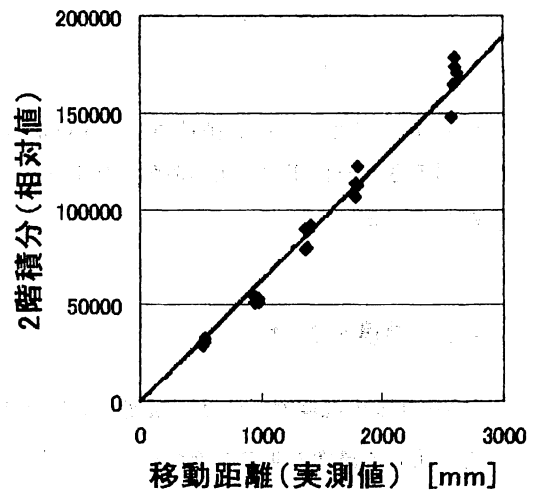


Fig. 9 二回目の積分結果と移動距離との対応

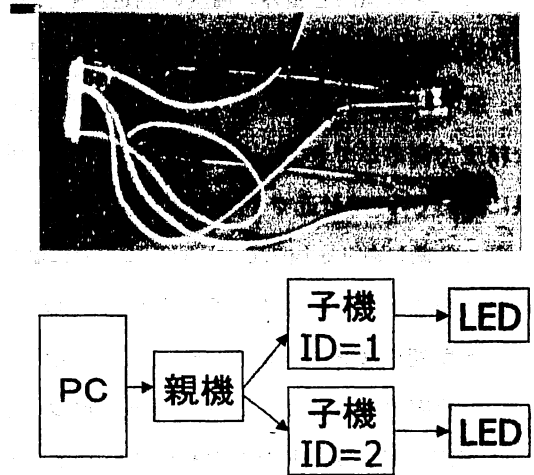


Fig. 10 センサノードによる LED 制御

## 6. 考察

### 6.1 コスト

センサネットワークを家庭内に導入するためには、コストが大きな問題となる。現状では、一台のセンサノードが10万円程度である。トイレ、部屋、台所、風呂場、廊下など、10箇所に取り付けることを想定し、3年リースでのサービスを想定しても、月々の負担が3万円近くになる。現状のサービスが3千円程度であることを考えると、センサノードは1/10以下の低価格化が不可欠であると思われる。コスト低減のためには、CPUや無線通信モジュールを1チップ化し、専用化するための検討が必要である。

### 6.2 マルチホップ通信の利用

センサネットワークの最大の特徴は、多数配置することにより、電波が弱くてもマルチホップ通信によりデータをステーションPCまで送ることができることにある。また生活リズムの観測を行うためのセンサネットワークでは、多くのセンサノードが固定である。以上のことから、センサノードを人体に取り付け、マルチホップ通信を行わせ、通信経路をステーションPCにより解析することで、人体の位置と移動経路を知ることができる。これを生活リズムの解析に取り入れることで、更に詳細な安否確認ができるものと思われる。

### 6.3 パケット抜け

MOTEは無線通信によりパケットデータを送受するため、しばしばパケットが届かないことがある。1パケットには10個(10カウント分)のデータが含まれているため、1回のパケット抜けにより10個のデータが失われることになる。そこでどの程度の頻度でパケット抜けが起きるのかを調査した。パケットヘッダには、そのパケットに納められる最後のデータを計測した時のカウンタ値が記録される。そこで、

このカウンタ情報の間隔を調べることにより、パケット抜けの有無を調査した。10[msec]の時間間隔で3m離れた位置から測定し、その間に失われたパケットの割合を図11に示す。1100~1700個(110~170パケット)のデータを受信したが、パケット抜けはランダムに発生し、失われたパケットの割合は平均3.46%であった。次に、連続してパケットが失われた場合があるかを調査したところ、2パケット連続して抜ける確率は0.1[パケット抜けが起きた場合の対策として、再送制御や、近傍のデータを用いて補間する方法がある。3.3%程度の抜け方であれば、最小二乗法による線形近似によってデータを補間する方法でも十分対応可能と思われる。

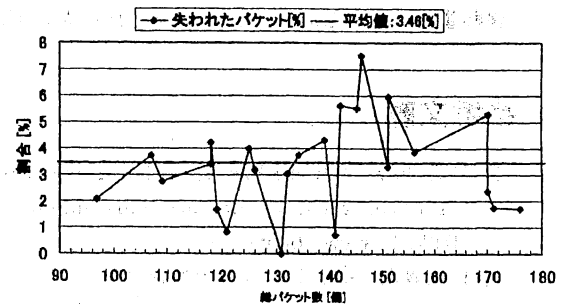


Fig. 11 総パケット数に対する失われたパケットの割合

## 7. おわりに

本報告では、センサネットワークを用い遠隔地から高齢者宅の生活リズムを解析するシステムを提案した。まず、市販のセンサノードをWEBサーバにより制御することで、インターネットによる遠隔地からのアクセスが可能な実験システムを構築し、インターネット経由で外出先から宅内の環境を知ることができることを確認した。次に、生活リズムをモニタするセンサとして、まず光センサによる明るさのモニタにより照明の点滅がモニタできることを確認した。続いて、温度センサにより室内や屋外の温度測定を行い、屋内の冷暖房の状況をモニタできることを確認した。更に、加速度センサを用いて物体の加速度を計測し、動

きのある事象の検出、数値積分による移動距離の算出が可能であることを確認した。一方、センサノードから機器を制御する実験を行い、センサノードによる家電機器の制御や、異常時の緊急対処が可能であることを確認した。以上の結果から、センサネットワークにより生活リズムを解析するシステムの実現が可能な見通しを得た。今後は、本システムを用いて得られた生活リズムから異常を自動的に検知する手法の検討を行う予定である。

本研究を進めるにあたり、協力頂いた H16 年度本校電気工学科卒業生、蝦名祐輔君、工藤雄大君、植村宗和君の各位に深く感謝する。本研究の一部は、平成 17 年度文部科学省科学研究費補助金 萌芽研究 (課題番号 17656136) により実施されたものである。

## 参考文献

- 1) Crossbow: MICA2-Wireless Measurement System Datasheet, 2004, document part number 6020-0042-04, [www.xbow.com](http://www.xbow.com)
- 2) 山内義規: 超小型の双方向無線センサ・モジュール「Ni3」, Computer and Network LAN, July 2004, pp.39-44