

平成 21 年 6 月 24 日現在

研究種目：若手研究 B  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18700067  
 研究課題名（和文） 過酷な自然環境下で安全に動作するセンサネットワークの構築  
 研究課題名（英文） Construction of sensor network that operates safely under severe natural environment  
 研究代表者  
 瀬川典久（SEGAWA NORIHISA）  
 岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・講師  
 研究者番号：20305311

## 研究成果の概要：

本研究では、過酷な気象環境下でも動作し、利用者が安全に利用できるセンサネットワークを構築する技術開発したことである。具体的には、（1）厳しい環境でも動作するセンサネットワークの設計手法の開発（2）発電量と消費電力を考慮したプロセススケジューリング手法の開発（3）安全に利用できるセンサネットワークプロトコルによる信頼性の向上（4）実証実験による、現実社会への適用である。この技術で、厳しい自然環境下での情報の収集が行えると考えられる。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	800,000	0	800,000
2007年度	1,500,000	0	1,500,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	270,000	3,470,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：センサネットワーク、スケジューリング

## 1. 研究開始当初の背景

センサネットワークは、Smart Dust 計画 [1] で研究が進み、近年では専用プラットフォームが開発され、センサネットワークプロトコルの開発が行われている。また、農業に置けるフィールドサーバ [2] のように応用研究もすすんでおり、今後コピキタスコンピューティングのプラットフォームとして利用されることが予想される。

近年、センサネットワークの技術を利用し、野外での気温、湿度、風向などの気象情報を取得し、ネットワークで配送するフィールドサーバと呼ばれる技術が開発されており、農業等で広く利用されることが期待されている。しかし、現状のセンサネットワークの動作条件は、電源が確保できる、また太陽電池が安定して動作するなど、さまざまな外的要因に左右されており、過酷な気象環境（例えば、厳冬山間部等）での利用に問題がある。また、

## 過酷な環境で動作

するセンサネットワークは、その利用方法において人間の生命を左右しかねない。そのために、センサネットワークの信頼性、安全性の向上を図る必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、過酷な気象環境下でも動作し、利用者が安全に利用できるセンサネットワークを構築することである。

この目的を具体的に表すとすれば(1) 厳しい環境でも動作するセンサネットワークの設計手法の開発(2) 発電量と消費電力を考慮したプロセススケジューリング手法の開発(3) 安全に利用できるセンサネットワークプロトコルによる信頼性の向上

(4) 実証実験による、現実社会への適用性を得ることである。

従来のセンサネットワークの研究は、利用環境が安定していることを前提にしている。また、電源の取得が容易に行えるか若しくは電池の交換が容易に行えることを前提にしていた。本研究は、屋外で気象条件が厳しいところでの動作を前提に設計を行うために、あらゆる屋外での利用が可能になると考えられる。

従来研究では容量が大きい2次電池の利用を前提にし、システムの安定化を行っていたが、本研究では電源取得方法、電源管理手法を新たに構築するため、センサネットワークノードを

従来の物より小型にできる可能性があり、あらゆる場所での利用が可能になる。

一方、センサネットワークを安全に動作させるための研究分野が存在する。既存の研究は、ネットワークプロトコルの暗号化[3]等が行われている。

本研究は、ネットワークセキュリティプロトコルの従来研究の成果を活用し、それぞれのノードの監視手法の開発、途中のノードが故障した場合の対処等、センサネットワーク全体の動作の安全性に着目する点が新しい。

## 3. 研究の方法

具体的には、以下の4つのことを明らかにする。

(1) 過酷な気象環境でも動作する専用ハード

## ウェアの制作

例えば厳冬山間部では-20℃近くまで温度が下がり、また荒天時が多く晴れの日が少ないのが特徴である。また、電池の起電力が得られにくく、太陽発電などの利用効率が悪いのが現状である。そこで、最初に、考えられる気象状況を考察し、様々な気象環境下で動作するセンサネットワークのハードウェアの構築を行う。

## (2) 電力管理手法の開発

屋外で利用されるセンサネットワークは、一般的には安定した外部電源を取れないために、電源管理が非常に重要である。センサネットワークが、機能を果たすための最低限の電力を考察し、システムの電力コントロールを行うシステムを構築し、発電が難しい状態でも動作することを目指す。

## (3) 安全に利用できるセンサネットワークプロトコルの開発

本研究によって利用されるセンサネットワークは、従来実用化されているシステムより厳しい環境で利用される。途中のノードが安定して動作する保証をせずに、なおかつ安全に動作する仕組みが必要である。センサネットワークが、安全に安定して動作することを保証するために、ネットワークのセキュリティの研究の概念を用いて、新たに安全に利用できるセンサネットワークプロトコルの開発を行う。

## (4) 実証実験による評価

厳しい気象環境での動作状況を調べることによって、本手法の評価を行う。農場では、気象環境によって、病気が発生したり、集荷物が商品価値をなくしたりするために、気象環境情報の収集は非常に重要になっている。本手法の評価を考察することによって、本手法の今後の応用を検討することが可能になる。

本研究の学際的特色・独創的な点は、センサネットワーク分野で問題になっている電源問題に対する一つの解決手法を示すこと、およびセキュリティプロトコルを利用し、センサネットワーク全体の安全性を保つ手法を示すことである。

#### 4. 研究成果

(1)過酷な気象環境でも動作する専用ハードウェアの制作

過酷な環境で動作させるために、(1)センサを設置する専用のケースの制作 (2) 太陽電池、風力発電を利用したハイブリッド発電システムを製作した。

I P X 7 相当で動作するケースを制作した場合、センサノードの単価に対して非常に高価なケースが必要になる。そこで、本研究では、必要最小限の耐久性でかまわないと考え、通常ホームセンターで売られているガーデンライトを改造して作成した (図1)。ガーデンライトは、全国どこでも安価で手に入り、小型のため、ただしく地面に打ち込めば周りの影響を受けにくい。また、重量が非常に軽いため可搬性に優れ、山の中に設置する場合設置するのに適していると考えた。問題は、極低温でも正しく動作するかどうかであり、この点を実証実験で確認した。

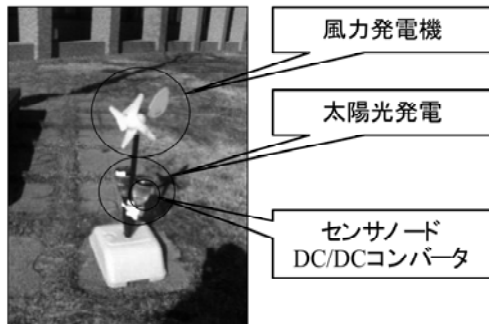


図1 試作センサノード

また、太陽電池、風力発電のハイブリッド発電システムを開発した。これは、野外の環境では、当然のことながら電源はひかれておらず、なおかつ従来のセンサネットワークとは異なり、電池の交換が非常に困難であるからである。また、従来よく利用されている、太陽電池だけのセンサノードであれば、森の中に入れば、屋外が晴天時であったとしても、森の中では十分に発電しないことが考えられる。そこで、本研究では、屋外で容易に発電が可能である、太陽電池と風力発電のハイブリッド型を用いることにした。

市販されているハイブリッド型の太陽電池、風力発電は非常に高価なため、市販の安価のモジュールを利用し、オリジナルの充電回路、制御回路を設計し制作した(図2)。この回路を利用することで、(1)晴天時昼間は、太陽電池によって消費電力分の発電が可能であり (2) 風が 2m/sec 以上吹いている場合には風力発電が可能であることが分かった。なおかつ、ハイブリッドにすることで、地形における発電効率の問題に対して一定の目処を立てることが可能になった。

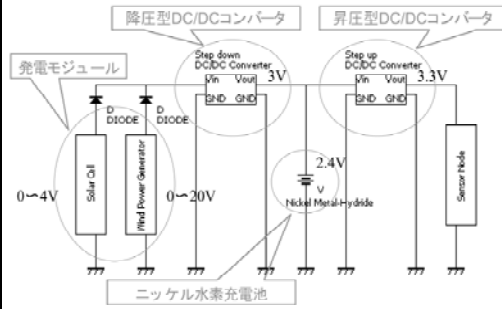


図2 ハイブリッド発電回路

(2)電力管理手法の開発

本研究では、ハイブリッド発電モジュールと2次電池を組み合わせて活用し、なおかつ、発電状態と2次電池の充電量をモニタリングしながら、システムの Duty Cycle を可変させていくシステムを提案する。このことにより、従来のセンサネットワークの使い方とは異なり、十分な発電量があり、2次電池が充電されている場合には、システムの Duty Cycle を向上させ、より高度な計算、無線の利用を行い、発電がおこなわれなくなり、なおかつ2次電池の充電容量が少なくなっていると考えられる場合には、Duty Cycle を落とし、無線を出来る限りつかわない状態に変化させ、発電が行われるまで出来る限り低電力で稼働させる、といった状況に応じての動作が可能になる。

本試作モジュールでは、発電された電力を降圧型 DC/DC コンバータで 3V に降圧した後、1.2V のニッケル水素電池が2本直列につながれたものに供給している。太陽電池、風力発電が機能しているとき、降圧型 DC/DC コンバータからニッケル水素電池に電力が供給される。そのとき、充電電圧としての 3V が電圧として観測できる。

太陽電池、風力発電が機能していないとき、ニッケル水素電池に蓄えられた電力を放電する。そのときは、ニッケル水素電池の電池電圧が出力される。よって、電池残量が 90%程度ある場合には、2.4V 程度の電圧を観測できるが、電池残量が 10%程度になった場合、電圧が 1.8v-2.0v 程度から急激に減少する。

よって、動的スケジューリングを行う際の状態を、(1) 電池電圧 3v (2) 電池電圧 2.4v-2.0v (3) 電池電圧 2.0v 未満の3状態に分けることが可能である。

今回利用するセンサネットワークは、TinyOS によって制御されている。TinyOS とは、従来の PC とは異なり非常にリソースが限られているセンサネットワークを稼働させるためのオペレーティングシステムである。

TinyOS では、機能毎にモジュールと呼ばれる部品群が提供され、ユーザがアプリケーシ

ョンプログラムを書く場合には、このモジュールをアルゴリズムに従い組み合わせ実装する。

一般に、ユーザがアプリケーションプログラムを書くとき、時間を制御する Timer コンポーネント(モジュールを組み合わせる一つの機能をもったもの)を利用する。

Timer コンポーネントは、あらかじめ指定された間隔毎に、イベントを発生させ、別のコンポーネントを起動する。本プログラムでは、サンプリング間隔を定義しておき(SAMPLING\_FREQUENCY)、実行時にそのサンプリング間隔毎に、Timer.fired が呼び出され、センサからデータが読み出される。つまり、Timer コンポーネントを制御するコンポーネントを作成すれば、動的にスケジュールを生成することが可能になる。

よって、動的にスケジューリングを変更するには、

- (a)一定間隔  $\alpha$  秒毎に、電池電圧を読み取る。
- (b)すべての Timer コンポーネントを一時停止
- (c)Timer コンポーネントの時間間隔を電池電圧に従い再設定
- (d)Timer 再スタート  
で実装を行った。

#### (3)安全に利用できるセンサネットワークプロトコルの開発

本システムは、計算能力が低いノードでおこなうため、暗号化を利用した通信は難しいと考える。また、鍵の管理も困難であると考え。そこで本研究では、Information Hiding の考え方を利用し、送りたいデータにたいして電子透かしを埋め込み、それを検出することでデータの信頼性を確認することにした。

今回利用する Information Hiding は、リアルタイムに生成されるデータに対して行うために、そのための技術を利用する必要がある。本研究では、研究協力者を行っている、マルチメディアデータの information hiding の技術を利用し、センサノードで計算できる計算量で実現することを示した。

#### (4) 実証実験による評価

本システムは、crossbow 社製の micaZ および IRIS で実装した。

過酷な環境下での動作であるが、外気温が氷点下以下になったとしても、機械の熱によってケースの中は、一定以上の温度が確保出来ることがわかった(図3)。これは、昼間にセンサノードの発熱で蓄熱されるために、夜から朝にかけて外気温が下がったとしてもその分を昼間の蓄熱で保証するからである。

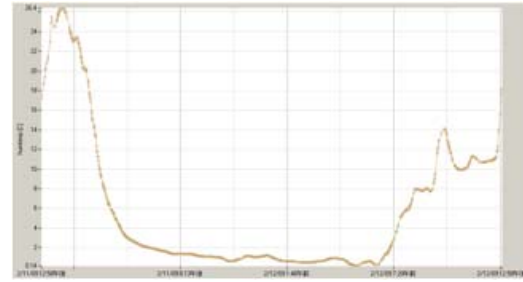


図3 最高気温5.6°C最低気温-4.9°Cの時のセンサノード内の気温

また、ハイブリッド発電ノードも正しく動作することを確認出来た(図4)。

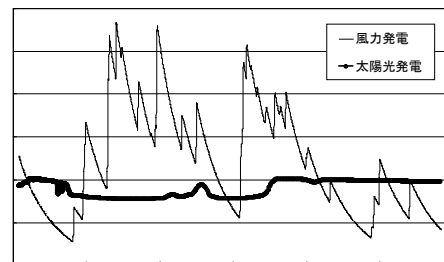


図4 風力発電および太陽発電の起電力

このシステムは、従来のセンサネットワーク拡張として実装しているの、従来のセンサネットワークのセンシングシステムはそのまま利用可能である。

本研究では、野外における得られた温度分布をリアルタイムで3次元表示が可能になるシステムを構築した(図5)。

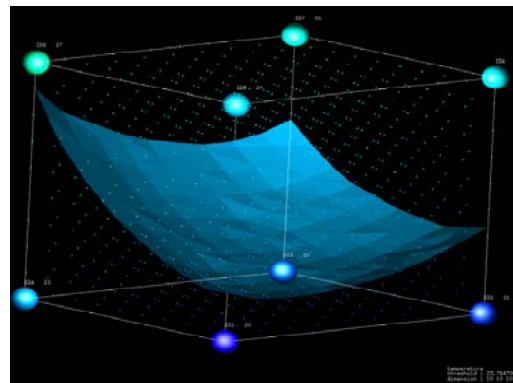


図5 センサ情報の3次元可視化

また、本システムのアプリケーションとして、野外活動における生体情報のモニタリングをとりあげ、本システムのために小型脈波センサーを利用し、20秒に1回脈拍を送信し、利用者の状況を確認するシステムを構築した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

① 浅川 和久, 高橋 孝輔, 瀬川 典久, 澤本 潤, センサネットワークを利用した生体情報伝送システムの構築, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 108, No462, OIS, 2009, 49-54

② 高橋孝輔・浅川和久・瀬川典久・澤本 潤, 過酷な環境で動作するセンサノードの稼動状態に関する調査, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 108, No462, OIS, 2009, 37-42

③ 瀬川典久, 坂本尚久, 小山田耕二, CAVE を利用したセンサネットワークのリアルタイム可視化システムの構築, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol. 108, No. 252, USN, 2008, 7-12

④ 瀬川典久, 高橋功二, 阿部芳彦, センサネットワークを活用したりんごの木の遅霜観測システムの構築, 電子情報通信学会第4回センサネットワーク研究会報告, 査読無, SN2006・3, 2006, 35-40,

⑤ 佐藤友紀, 瀬川典久, 阿部芳彦, センサネットワークを利用した紛失物追跡システムの構築, 電子情報通信学会第4回センサネットワーク研究会報告, 査読無, SN2006・3, 2006, 41-46

## 他2件

[学会発表] (計6件)

① 瀬川典久・高橋孝輔・浅川和久・澤本 潤, センサネットワークにおける電力コントロールの考察, 電子情報通信学会 OIS 研究会, 2009年3月5日, 沖縄

② Huang Xuping, Kawashima Ryota, Segawa Norihisa, Abe Yoshihiko, Design and implementation of real-time acoustic steganography, 2008 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, (ICME 2008), 2008年6月25日, ハノーファー

③ Norihisa Segawa, Daiki Ito, Yoshihiko Abe, Jun Sawamoto, The proposal of the dynamic scheduling in the sensor network according to a production of electricity, IEEE INNS2008, 2008年6月18日, 金沢

④ Norihisa Segawa, Yukio Yasuhara, Naohisa Sakamoto, Tomoki Yoshihisa, Yasuo Ebara, Koji Koyamada, A real-time sensor network

visualization system using KVS: Kyoto visualization system, ACM Sensys 2008, 2007年11月8日, オーストラリア, シドニー

⑤ 瀬川典久, 生体情報を活用するセンサネットワーク防犯システム, CSS 2007 デモセッション, 2007年10月31日—11月1日, 奈良

⑥ Norihisa Segawa, Kiyoyuki Yamazaki, Yoshiaki Hayasaka, Jun Sawamoto, The Proposal of the Digital Plethysmograph Using a Sensor Network, INNS2007, 2007年6月7日, ドイツ ブラウンシュバイグ

[その他]

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀬川典久 (20305311)









(7) ○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計10件)

- ① 学振太郎、半蔵門一郎、学振花子、論文名、掲載誌名、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)、査読の有無
- ② 学振太郎、論文名、掲載誌名、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)、査読の有無
- ③ 学振花子、論文名、掲載誌名、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)、査読の有無

[学会発表] (計5件)

- ①
- ②
- ③

[図書] (計2件)

- ①
- ②

[産業財産権]

○出願状況 (計□件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計◇件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

http://○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

学振 太郎 (GAKUSHIN TARO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：

### (2) 研究分担者

学振 花子 (GAKUSHIN HANAKO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：

学振 次郎 (GAKUSHIN JIRO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：

学振 三郎 (GAKUSHIN SABURO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：

### (3) 連携研究者

学振 四郎 (GAKUSHIN SHIRO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：