

# 組込み機器ネットワークを用いた 太陽光発電監視システムの構築

浦上 美佐子\* ・ 中尾 紗弥香\*\* ・ 村井 祐介\*\*\* ・ 藤井 雅之\*\*\*\*

## A Study on Monitoring system for Photovoltaic Power Generation System using Embedded System Network

Misako URAKAMI\*, Sayaka NAKAO\*\*, Yusuke MURAI\*\*\* and Masayuki FUJII\*\*\*\*

### Abstract

The photovoltaic power generation system is set up in our college. It is known that the temperature of the solar module affect a power-generation efficiency. However, the investigation for temperature is not reported, yet.

In this study, we develop monitoring system for photovoltaic power generation system using embedded system network. The increase of the measuring point of temperature is accomplished by the feature of monitoring system.

Key words: Embedded System Network, Photovoltaic Power Generation System, Monitoring system

### 1. はじめに

環境問題を背景に、クリーンで無尽蔵にある太陽エネルギーを利用した太陽光発電システムの普及拡大への取り組みが世界規模で始まっている。国内において、一般家庭用も広く普及し始めている<sup>[1][2]</sup>。本校(大島商船高等専門学校)の内燃機関実験室の屋上には、3kWの太陽電池モジュールが設置されており、その発生電力は本校の電力系統に接続され、消費されている。その発電状況については、モバイルデータロガー(MV100, YOKOGAWA製)や電力計などを用いて計測されている。MV100は4チャンネルの測定ができる。現在は、日射量、温度、発生電力量、積算電力量の4つを2秒間隔で計測している。この測定データは、電子機械工学科・藤井研究室がWeb上で公開してい

る。

しかしながら、発電状況に影響を及ぼすことが知られている温度については、これまで十分な計測が行われていない<sup>[3]</sup>。

そこで、本研究では、(1)温度センサ等センサ類を手軽に設置できる、(2)センサの種類や数を簡単に変更することができる、(3)計測データを定期的に管理者がネットワークを利用して遠隔地からでも確認することができる、(4)計測データに急激な変化が生じた場合は管理者にすぐにメール等で通知することができる、という特徴を持つ太陽光発電監視システムを構築した。このシステムには、ネットワーク対応型の小型で安価なコンピュータである組込み機器(Java搭載マイクロコンピュータ)を用いる。

## 2. 太陽光発電装置

### 2.1 本校の太陽光発電装置

図1は本校に設置されている太陽光発電装置である。太陽電池モジュールには、単結晶シリコン電池セルが採用されている。一枚の太陽電池モジュールにおいて136Wの電力が見込まれている。この太陽発電モジュールを8枚直列で3系統並列、計24枚設置する事により、標準3kWの発電システムを構築している。

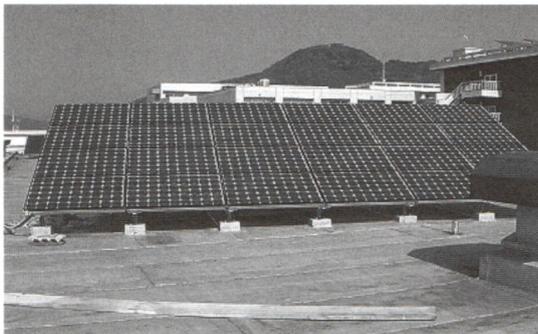


図1 太陽光発電装置

### 2.2 太陽電池モジュールと発電効率

一般的に太陽電池モジュールは気温が高くなると発電効率が低下すると考えられている。発電効率とは、入射エネルギーがどれだけ有効な電気エネルギーに変換されたかを示す量で、一般的には発電量を日射量で除したものを呼ぶ。

文献[3]において、太陽電池モジュールの背面温度と発電効率の関係を調査し、温度の高い範囲では発電効率の低下がみられることが立証されている。しかし、太陽電池モジュールの背面温度のみ一箇所を計測しているだけである。さらに多くの温度計測点を設置することができれば、さらに詳しい調査が可能となる。したがって、手軽に設置でき、温度計測点を自由に増やすことができ、そして、データ収集が手軽に行えるような、ネットワーク接続可能な監視システムが必要となる。

## 3. 組込み機器ネットワーク

### 3.1 組込み機器とは

組込み機器とは、「パソコン・ワークステーション・メインフレームなどを除くそれら以外のあらゆるコンピュータ内臓製品のこと」である。組込み機器が開発された当初は、

工場の生産ラインの制御など産業用途を中心としていたが、現在では通信機器やオフィス機器などの業務機器分野、さらに自動車や携帯電話、テレビ、洗濯機、エアコンなどの家電製品分野にまで拡大し、様々な分野で応用されるようになった。特に、Java言語を用いた開発が主流になってきており、その理由を以下に示す。

#### 1. マルチプラットフォーム

動作機種を選ばないため、同じプログラムが動くことにより開発効率が向上。

#### 2. 異機種相互接続

Java組込み機器同士で相互通信が可能なことにより、データ交換やプログラムのやりとりが簡単。

#### 3. ネットワーク言語

ネットワーク機能やセキュリティ機能を実現するためのAPI (Application Program Interface) が多数存在。

このようなJava言語を用いた組込み機器をJava組込み機器<sup>[4]</sup>と呼んでいる。本研究では、Java組込み機器の一つであるDallas Semiconductor社<sup>1</sup>が1996年に開発したTINI (Tiny InterNet Interface)を用いる。

TINIの特徴には次のようなものがある。

- 手のひらサイズのマイクロコンピュータ
- JavaVM (JDK1.1準拠) を搭載
- メモリは1MB Flash, 1MB SRAM
- 安価
- TCP/IPサポート
- RS-232CやLANに接続可能
- 各種センサを取付可能 (1-Wireデバイス)

TINI (図2) は小型の組込みコンピュータである一方、ネットワーク機能などの多彩な機能やAPIが提供されているシステムである。

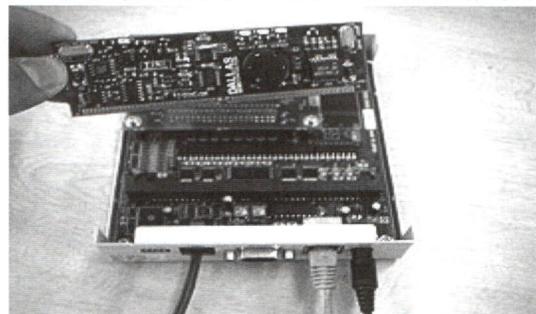


図2 組込み機器 (TINI)

<sup>1</sup> 現 DALLAS MAXIM 社,  
<http://www.maxim-ic.com/>

本研究では、TINIを搭載した機能拡張可能な小型の汎用マイクロノードRS6(横河電機株式会社製, RealSpace6) [5]を使用する(図3)。以下、本研究で用いる組込み機器のことをRS6と呼ぶ。



図3 TINIを搭載したRS6

## 3.2 1-Wireデバイス

### 3.2.1 1-Wireデバイスの概要

RS6からJavaプログラムにより制御できる電子デバイスは1-Wireデバイスと呼ばれる。単一接続で1つのマスタと複数の周辺機器との双方向通信を実行するシンプルな信号方式である(図4)。1-Wireデバイスの特徴を以下に示す。

#### 1. バス上の寄生電源で駆動

RS6から5Vの電源供給で駆動

#### 2. 多くの種類のデバイスがある

温度センサ, A/Dコンバータ, スイッチ等

#### 3. 各デバイスが固有のIDを持つ

ユニークな64ビットIDが工場出荷時にレザで書き込み済み

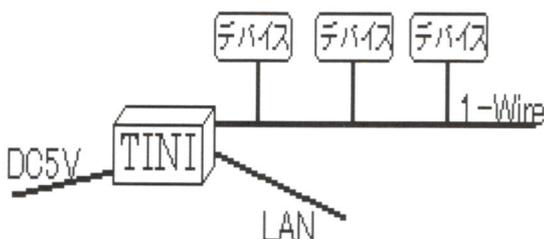


図4 1-Wireデバイスの接続

各デバイスは読み取り専用メモリ(ROM)内に一意の64ビット登録番号を備えている。このアドレスを使うことにより、同一バスワイヤに接続された多数のデバイスの中からどのデバイスでも個別に選び出すことが可能である。

また、通信用に1本のワイヤを複数台の1-Wireデバイスで共有することも可能であり、最大200個程度接続可能である。さらに、各デバイスは、8ビットで表される各デバイス固有のコード(ファミリーコード)を備えており、デバイスの制御と応答に使用するプロトコルを選択することができる。

### 3.2.2 温度センサ

本研究で使用する温度センサ(DS18B20)とは、デジタルI/O温度計である(図5)。この温度センサの特徴を以下に示す。

- 測定精度は $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$
- 他の1-Wireデバイスも同じバスを共有することが可能
- 0.0V~5.5Vのローカル電源で駆動するか、或いはデータラインから直接電源を得ることが可能(寄生電源)

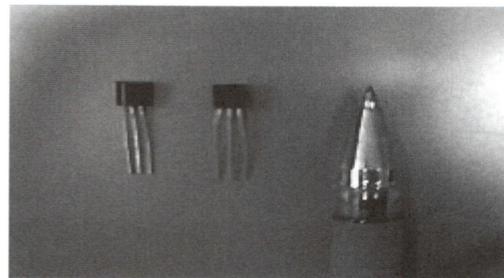


図5 温度センサ(DS18B20)

## 3.3 開発環境の構築

RS6を使ってアプリケーションを開発するためには次の3つソフトウェアが必要である。

#### 1. RS6の開発キット RS6SDK20

<http://www.i-node.co.jp/support/index.html>

#### 2. Java開発キット JDK1.3.1

<http://java.sun.com/j2se/1.3/ja/>

#### 3. TINI開発キット TINI SDK1.10

[http://www.ibutton.com/TINI/software/soft\\_order.html](http://www.ibutton.com/TINI/software/soft_order.html)

## 3.4 RS6用Javaプログラムの作成

RS6用Javaプログラムのコンパイルから実行までの流れを以下に示す。

1. PC側でJavaプログラムを作成し、クラスファイルを作成。その後、RS6用のクラスファイルにコンバートする。
2. FTP転送で、実行ファイルをRS6に転送する。

4. Telnetコマンドで遠隔操作を行い、RS6用のクラスファイルを実行する。

## 4. 太陽光発電監視システムの概要

### 4.1 監視システムの概要

RS6に温度センサ(DS18B20)を接続し、太陽電池モジュールの背面温度を複数箇所計測する太陽光発電監視システムを作成する。計測場所は、現在の太陽電池モジュール表面の1箇所から背面5箇所に増やす。そして、温度状態を監視するために、定期的に管理者に温度データをメールで送信するプログラムを作成する。監視システムのプログラムの大まかな流れを以下に示す。

- (1) 温度センサから温度を取得
- (2) 温度データを保存用ファイルに書き込む
- (3) テキストファイルを読み込む
- (4) 1日分のデータをメールで送信する

## 4.2 監視システムプログラム

### 4.2.1 温度計測プログラム

現在、5つの温度センサを接続し、計測を行っている。

#### 【プログラム内容】

1-Wireデバイスのファミリーコードを読み込み、1つ目のセンサを検出する。デバイスが同一バスワイヤ上に存在するかを確認して、データを取得する。これを、デバイスの個数だけ繰り返す。

### 4.2.2 温度データ書き込みプログラム

4.2.1で計測したデータをテキストファイルに書き込む。

#### 【プログラム内容】

RS6に限らず、組込み機器は一般的にメモリが少ないため、多くの測定データを記憶しておくことはできない。そのため、1日分のデータが蓄積されたらメールで送信し、また新たに1日分のデータを蓄積するようにした。

ファイルの書き込みを行う際には、標準モード(上書き)と追加モードの書き込みの2通りがある。メールが送信されるまでは、追加モードで書き込み、メールを送信した際には標準モードで書き込みを行う。なお、

計測は1分毎に行なった。

### 4.2.3 メール送信プログラム

RS6から自動的に管理者宛にメールを送信する。SMTPコマンドをサーバに送信し、返答コードの確認を行う。そして、返答コードをチェックして、エラーならば再送信を行う。

#### 【プログラムの内容】

- (1) 送信相手のメールアドレスや送信時刻を定義する。
- (2) メール送信時刻ならば、
  - 各コマンドを送付(Hello, Mail From, Rcpt To Data, Subject)する。メッセージを送付するために、4.2.2のプログラムで書き込んだテキストファイルを読み込む。
  - QUITコマンドを送付する。

## 4.3 監視システムの設置

実際に図6、図7のように太陽電池モジュールの裏面にある雨よけの接続箱の中にRS6を設置した。内燃機関実験室から電源コード、LANケーブルを延長した。

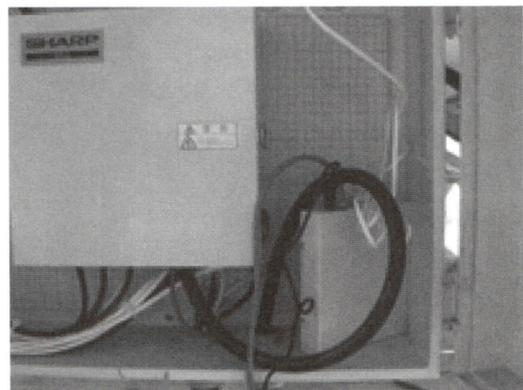


図6 監視システムの設置(1)

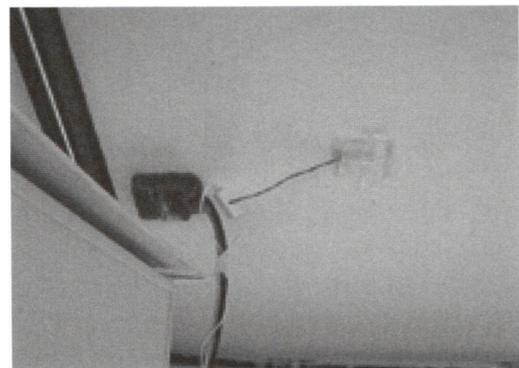


図7 監視システムの設置(2)

#### 4.4 実験結果

太陽電池モジュールは、図1に示すように、日当たりの良い海岸沿いの本校内燃機関実験室の屋上に設置されている。監視システムの温度センサを図8に示すように太陽電池モジュールの背面に設置した。平成15年8月2日に計測した各温度センサによる太陽電池モジュール背面の温度を図9に示す。

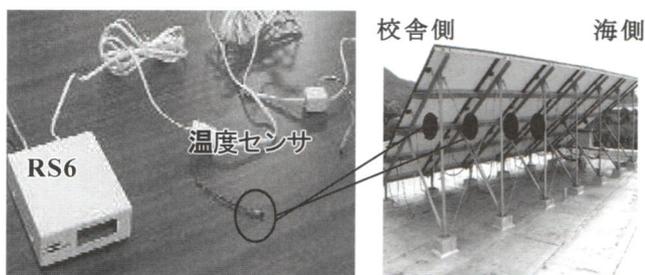


図8 温度センサを接続した監視システムの構築

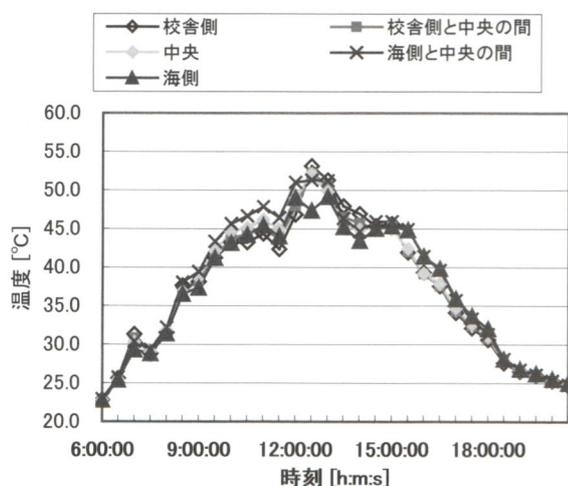


図9 太陽電池モジュール背面の温度

図9より、時間変化とともに、太陽電池モジュールの温度が上昇していることが分かる。各温度センサの設置位置ごとのデータに着目すると、各温度センサのデータには、ばらつきが生じていることが分かる。今後、この原因については、さらにデータを蓄積していき、調査検討をする予定である。

また、気温が上昇する12時付近では、両側を太陽電池モジュールで挟まれている位置の温度データは、他と比べて温度が高くなっていることがわかる。これは、両端を挟まれているため放熱しにくいのではないかとと思われる。今後、太陽電池モジュールの背面付近の気温についても、本監視システムを用いて計測する予定である。

なお、予備実験として、百葉箱内に本システムを設置し、温度測定を行った結果、高い信頼性を得ることができた。

#### 4.5 ケーブルレス化への取り組み

現在、電源コードとLANケーブルを延長しているため設置場所を選ぶことになり、せっかくの小型化のメリットが薄れてしまう。そこで、ケーブルレス化を行うために以下の2つを提案する。

- (1) 独立電源を用いたケーブルレス化
- (2) 無線LANアダプタを用いたケーブルレス化

(1)の方法では、太陽電池モジュールなどを用いることにより、電源の確保が困難な場所でも使用できると考えられる。将来的には、本監視システムが発電効率を上げるために設置している太陽光発電装置を電源供給源とする予定である。

次に、(2)の方法で用いる無線LANとは、ケーブルの代わりに電波や光を使ってデータをやりとりするネットワークのことである。図10のように無線LANアダプタ(NetHawk, Canon製)をRS6につなぐことにより、LANケーブルに束縛されることのないシステムとなる。

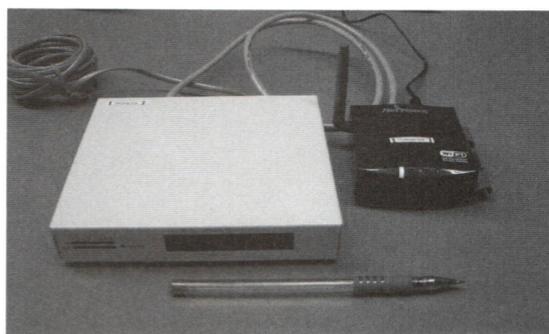


図10 RS6と無線LANアダプタの接続

#### 6. おわりに

ネットワーク対応型の太陽光発電監視システムを構築し、太陽電池モジュール背面の温度を測定した。その結果、太陽電池モジュールの位置によって温度が異なることがわかった。今後、さらに計測を続け、温度と発生電力の関係について検討していく。

本監視システムの改良点としては、以下のことが挙げられる。

- 計測データ収集方法の改善

- ▶ 急激な温度変化(異常値)が生じた際の管理者へのメール送信
- ▶ Web上への計測データの公開

本監視システムは、温度を計測してデータを管理者に送信するというシンプルなものだが、今後、上記で述べたような点を改良していけば、さらに実用性のあるものになると考えられる。これらの機能は、文献[6]で作成しているため随時追加を行なっていく予定である。そして、ケーブルレス化への取り組み方法も検討したことから、本システムは小型でどんな場所でも利用可能なシステムであるといえる。

今後、温度と発生電力の関係が明らかになれば、なんらかの冷却装置を温度情報により自動的にON/OFFする機能があると便利である。このようなスイッチ機能も簡単に追加することが可能なため、さらに改良を行っていく予定である。

## 謝辞

本研究の一部は平成14年度特別経費の援助により行なったものです。共同研究としてご協力頂いた平成14年度電子機械工学科・藤井研究室の菅原君、金田君には大変お世話になりました。また、本監視システムの温度精度確認のため百葉箱の温度データとの比較等でご協力いただきました商船学科・福谷教官に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 資源エネルギー庁, "ニューサンシャイン計画「太陽光発電技術研究開発」プレ最終評価報告書", 2000.
- [2] 太陽光発電協会, "光発電", No. 25, 2002.
- [3] 赤木貴, 森山正和, 芝池英樹, 竹林英樹, "太陽光発電システム発電量の予想方法における太陽電池セル温度の影響に関する研究", 日本建築学会近畿支部研究会, 2001.
- [4] TINI contributor's page in JAPAN, <http://www.tini.prug.or.jp/>
- [5] インターネットノード株式会社, "汎用マイクロノード RS6", <http://www.i-node.co.jp/>
- [6] 清水浩司 著, "組み込み機器による気象観測システムの構築", 平成13年度情報工学科卒業論文, 2001.