

## P-12:2013-2014 に行う富士山山頂越冬データ取得システムの概要

須藤雄志<sup>1</sup>、東郷翔帆<sup>1</sup>、田中利佳<sup>1</sup>、中村真帆<sup>1</sup>、藤原博伸<sup>2</sup>、稲崎弘次<sup>3</sup>、  
岩崎洋<sup>4</sup>、川原庸照<sup>4</sup>、土器屋由紀子<sup>4</sup>、鴨川仁<sup>4</sup>

1.東京学芸大学、2.私立女子聖学院高等学校、3.東山技研、4.NPO 富士山測候所を活用する会

### 1.はじめに

地震や火災等の災害や様々な環境問題が表面化する現代において、人工衛星を使った地球観測はもはや必要不可欠な技術といえる。特に災害情報や環境データを宇宙から効率よく取得する技術は現在様々なミッションが模索されている。

一般的に、地球観測衛星や惑星探査衛星は打ち上げから運用終了まで非常に長期間となる場合が多い。一度打ち上げてしまった衛星は運用期間中、技術者が再び直接的に手を加えることはできない。よってこれらの場合、あらかじめ長期運用に耐えられるだけの機器設計や観測技術が不可欠となる。しかし現在の宇宙技術者の教育の場においては、CAN-SAT や BALLOON-SAT 等の短期的な打ち上げ訓練の場は充実していても(川島ら, 2004)これらの長期観測を十分に経験することのできる場は非常に少ない。せっかく打ち上げた大学衛星においても運用がうまくいかずにももとのミッションを達成できない場合がほとんどである。

彼らが長期観測を経験するにおいて、まず観測機器が一つの障害となる。観測においては物理量を継続的に観測するためのデータロガーと呼ばれる自動デジタル記録計は必須の装置といえるが、商用の場合これらの多くは複雑化されており教育現場に適しているとはいえない。これらの高機能化に伴う高価格化はもとより、機能のほとんどがブラックボックス化されており、学習者が観測状況に即して自由に最適化できないことが大きな問題となる。長期観測を目的とする場合においては特に必要な機能を選定し、消費電力を操作することは非常に大切である。

これらの現状から、宇宙技術者を目指す学生が自らの学習のために使用することのできる長期観測用環境データ記録システムが開発されれば彼らの学習に役立つことはもちろん、現在教育の場としてのみ消費されつつある大学衛星をより有用な技術的・科学的研究の場として昇華させることも可能である。よって本研究では、教育活動に利用可能なシステムとして以下の3つの特性を合わせ持ったデータロガーの設計を目標とする。

- 1).様々な観測に対応可能な凡庸性
- 2).過酷な宇宙環境でも運用が期待できる安定性
- 3).学習活動に利用可能な安価性

本稿ではこれらの設計の詳細と実験的な運用の初期データを報告する。

### 2.データロガーの設計

本研究では鴨川らが過去に極地観測用に設計し数回の性能実験を行ったもの(鴨川ら, 2012)に改良を加える形での設計を行った。データロガーは単体で動作するものから、パソコンに接続して記録するものまでさまざまなものが存在する。パソコンを用いるものは記録と同時にグラフ化等の処理も行うことができるといった利点を持つが、OS 自体の動作が不安定であることや過酷な環境で長期間電源を確保しながらパソコンを起動し続けなければならないという難点がある。よって本研究では単体で動作可能なデータロガーの設計を行う。なお、前章の目標を踏まえ①凡庸性のあるシンプルな構造、②過酷な環境での長期運用が可能な安定性、③一般に流通している部品を使って安価に製作すること、の3点に配慮した。図 1. 2 に開発したデータロガーの回路図、図 3 にブロック図を示す。

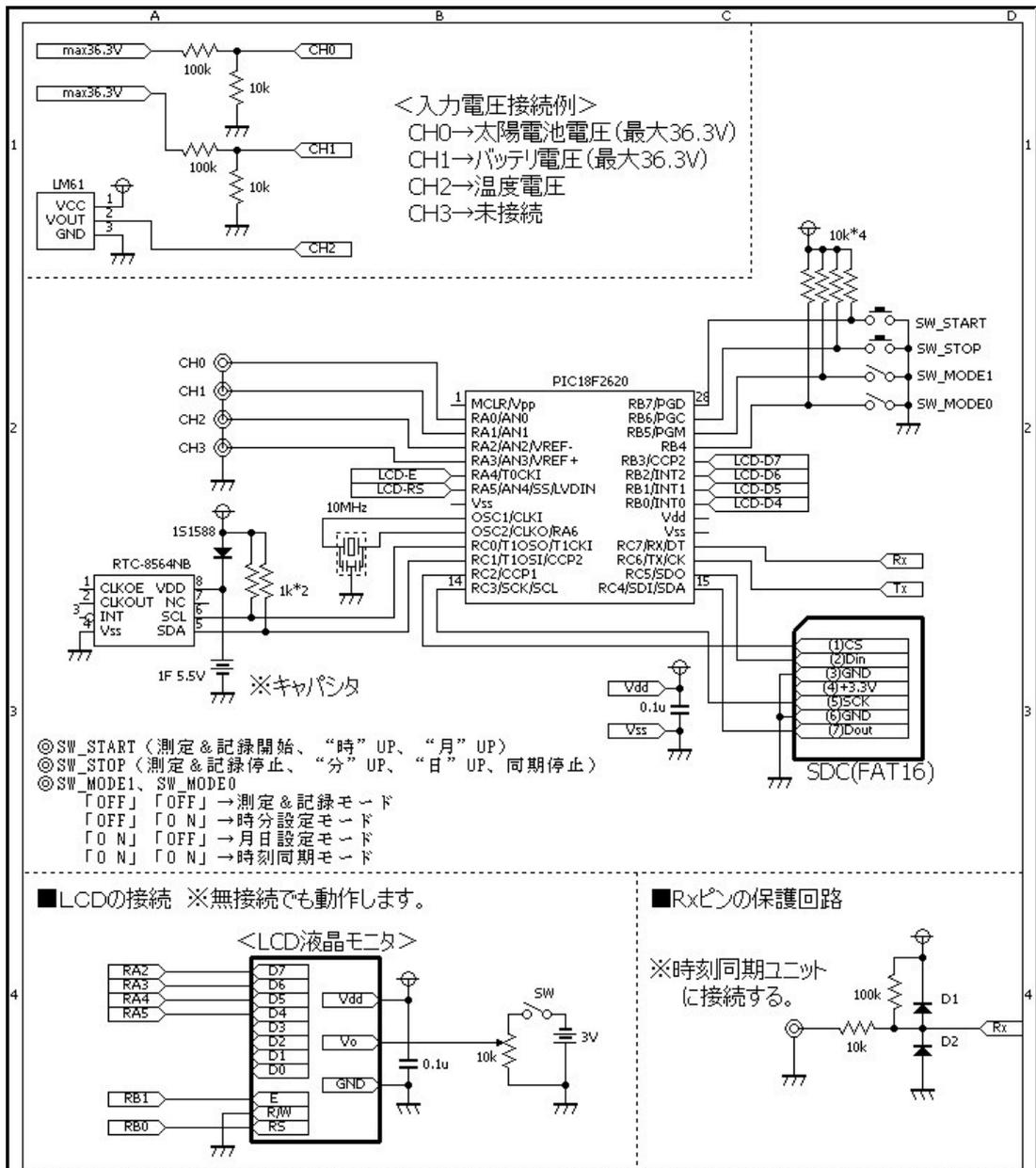


図 1.ロガー回路図(システム部)

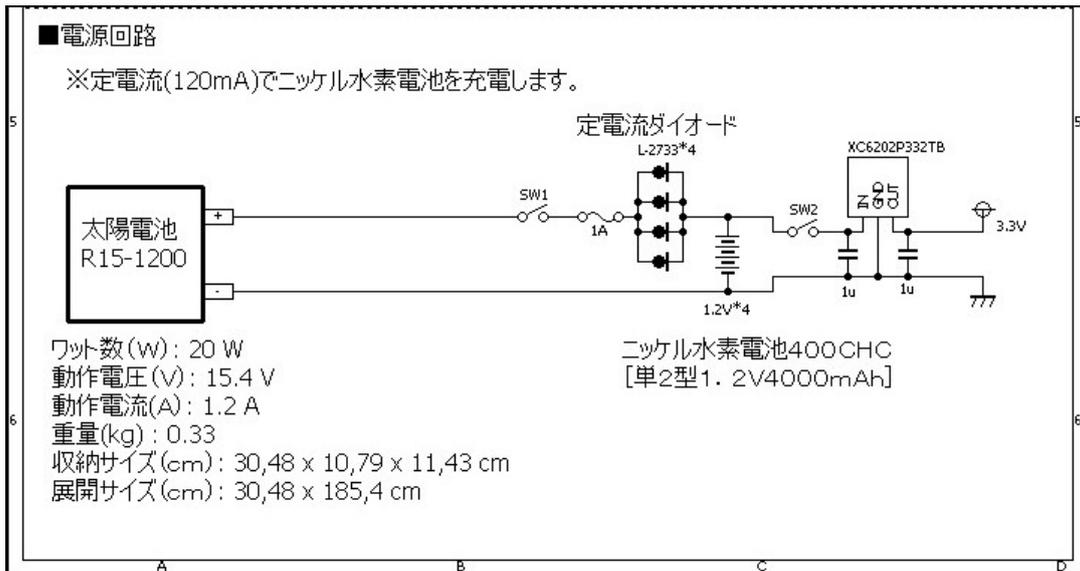


図 2.ロガー回路図(電源部)

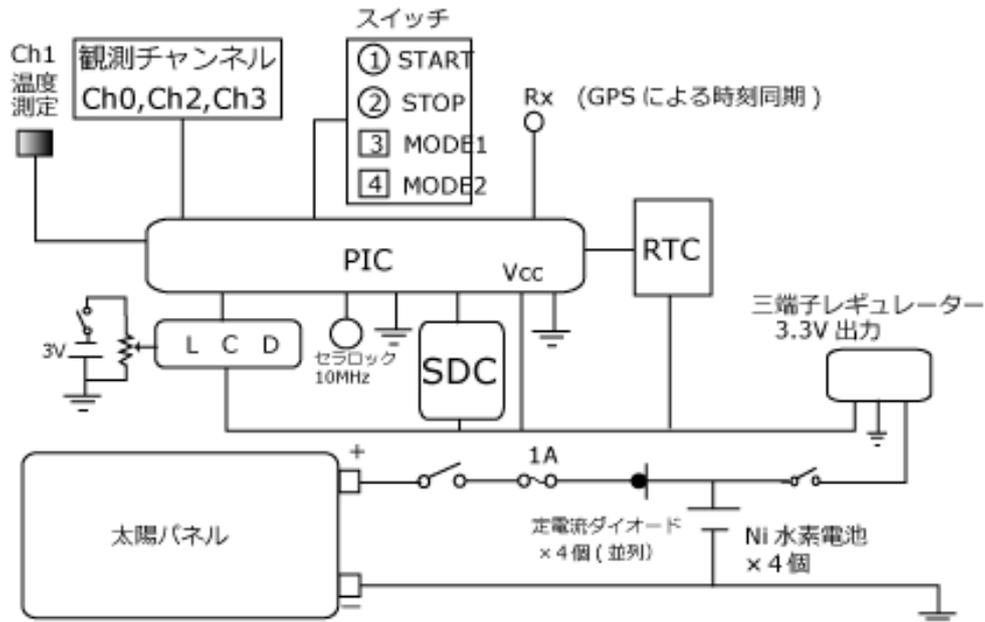


図 3.データロガーのブロック図

## 2.1. 凡庸性における設計

技術者として長期運用を経験するうえで、機器のシステムを理解することは非常に大切である。また、様々な観測目的に合わせて技術者が自由に最適化できる構造も望ましい。よって本研究ではシステム上でブラックボックス化されている部分が非常に少なく、様々な観測への凡庸性のあるシンプルな構造の設計を行った。

本データロガーは観測した値が電圧値で出力されるように設計してある。これにより校正の作業は必要になるが、電圧値で出力する計器を接続すれば様々な物理量を観測可能である。4チャンネルの出力が可能であるため、一度に様々な物理量を観測することもできる。また入力電圧範囲は初期設定で0~5Vだが、分圧抵抗を設置することで容易に範囲を変更することも可能である。

なお、内蔵するプログラムの言語は最も凡庸性が高いであろうC言語ベースを使用している。これにより後述するサンプリング周期等の設定も含め、様々な設定をユーザーが自由に変更することも可能だろう。

## 2.2. 安定性における設計

本研究では宇宙空間に近い過酷な環境でも運用可能な機器の設計を行う。この場合、特に注意すべき点として電源と熱の管理が挙げられる。よって今回は十分に商用の電源も確保できないような厳しい温度環境での長期運用を想定して設計を行った。

設計したデータロガーには、低消費電力における測定を目指すためにプログラマブル IC である PIC(Peripheral Interface Controller)マイコンを用いた。これにより運用時は 0.4W ほどの低消費電力となっている。また、接続した太陽光パネル等から充電できるように設計しており、商用の電源や大型のバッテリーを使わずとも 1.2V の単 1 電池 4 本ほどの内部バッテリーで長期観測が可能である。特に太陽光パネルによる充電は衛星を運用するうえで欠かせない設計であるため、衛星運用の訓練機器として非常に有用な機能といえる。なお、鴨川らの設計したデータロガーは約 1 年程度の運用を想定して電源計画がなされていた(鴨川ら, 2012)。しかし本研究は衛星運用に近い長期間の運用を視野に入れているため、運用期間や日照条件に合わせて外付けの外部バッテリーも接続が可能ないように設計した。

非常にシンプルな構造を持つ本データロガーにとって、過酷な温度状況で最も心配されることはバッテリーの出力効率低下である。しかし近年の電池の機能向上により-20 度でも使用可能なものが増えてきているため、将来的にこの問題は大きく改善されるだろう。なお、時刻管理を行う RTC(リアルタイムクロック)も動作温度範囲が-40 度~+85 度という温度変化に耐性のあるものを使用した。また、これ以外の使用機器に関しても、東郷らの富士山頂での観測実験から強い温度変化耐性を持つことがわかっている(東郷ら, 2014)。

サンプリング周期は 10 分と 1 分から選択可能であり、データ記録媒体には SD カードを使用する。1 分サンプリングで記録した場合、テキストデータで 1 日当たり 40kB ほどのデータ量になるが、SD カードの FAT16(File Allocation Table)というフォーマットを使えば 2GB までの記録が可能であるため、十分に数年の長期観測が可能である。時刻管理は RTC によって周波数偏差( $5 \pm 23$ ) $\times 10^{-6}$ (月差 1 分相当)の精度で行われるが、それに加え GPS による時刻同期を行うこともできる。

## 2.3. 安価性における設計

本研究では、基本的に一般に入手可能なもののみを使用して安価にデータロガーを設計した。今回使用した PIC もそのものの価格は数百円程度であり、内蔵するプログラムも C 言語ベースであるために無料のコンパイラも多く公開されている。運用期間中にパソコンを占有しないという前提の設計も、教育目的での気軽な利用を後押しするものと考えられる。

## 3. 実地観測

本研究で設計したデータロガーの性能を確かめるために、富士山頂の閉鎖環境での性能実験を行った。利用した富士山測候所は山頂の剣ヶ峰に建設され、3776 m に位置する日本最標高の気象観測所である。毎年 9 月~6 月の期間は封鎖され、冬の過酷な温度状況での閉鎖された環境となる。また、取得することのできる電源が太陽光によるものに制限されることから、擬似的な宇宙空間として運用実験をするには最適な環境である。今回は設計したデータロガーを使用して 2013 年 8 月 25 日から翌年 7 月にかけての越冬観測を行った。なお、観測にあつては NPO 法人富士山測候所を活用する会に観測環境の提供等のご協力をいただいた。

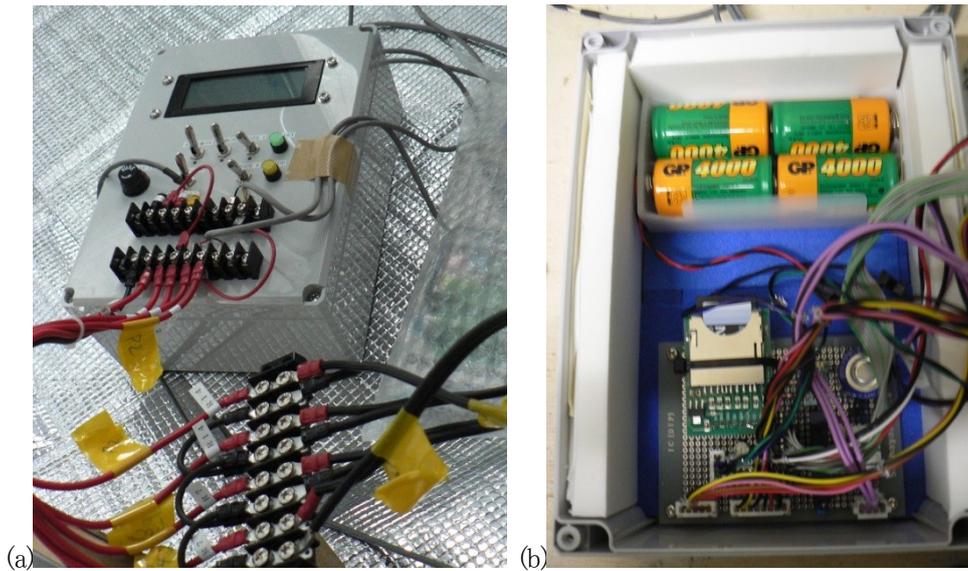


図 4.作成したデータロガー (a)概観 (b)本体内部

観測においてデータロガー(図 4)は測候所 3 号庁舎に設置し、並列に接続した 2 枚の太陽光パネルによる外部電圧値とバッテリーによる内部電圧値を 10 分サンプリングで測定した。太陽光パネルは過去の観測により屋外設置による劣化が激しいことがわかっているため(図 5)、図 6 のように庁舎の 2 重窓内に直接張り付けた。なお越冬中、この 2 重窓は断熱材によって覆われ太陽光パネルは完全な孤立状態となる。

バッテリーは内部バッテリーに加え、内部バッテリーと同様の電池ボックスを 10 個並列に接続した外部バッテリーを用意した。内部電圧値を測定することでこれらのバッテリーが正常に動作していることを確認する。なお、太陽光パネルによる外部電圧はデータロガー内に充電される。



図 5.屋外設置で劣化した太陽光パネル 図 6.太陽光パネルの設置状況

#### 4.観測結果

観測機器は 2014 年 7 月まで越冬観測中であるため、初期報告として機器設置から我々が下山するまでの約 1 日(8 月 26 日～)で取得したデータを報告する。

得られたデータは ch.0 に外部電圧値、ch.1 に内部電圧値が出力される。なおそれぞれ得られた生データは、一緒に接続していた商用電圧ロガーの値との相関係数を計算したうえで校正を行った。それによって得られた外部電圧値と内部電圧値を図 7 が示す。なお、これらの値と商用ロガーとの相関係数は 0.9998 であり、十分に信頼できる測定値であると判断できる。

得られたデータの外部電圧値は太陽光パネルからの出力値とともにデータロガー内に充電される電圧

を示す。図 7で、日照時は電圧が高くなり日没ではほぼ0Vに近づくことから正しく測定できていることがわかる。また、バッテリーの出力電圧値を示す内部電圧値がほぼ一定に保たれていることから電源が正常に動作していることもわかる。

これらの結果によって短期間であるが、本研究で設計したデータロガーに富士山頂の過酷な環境下であっても継続的に観測をする性能が備わっていることが検証できた。

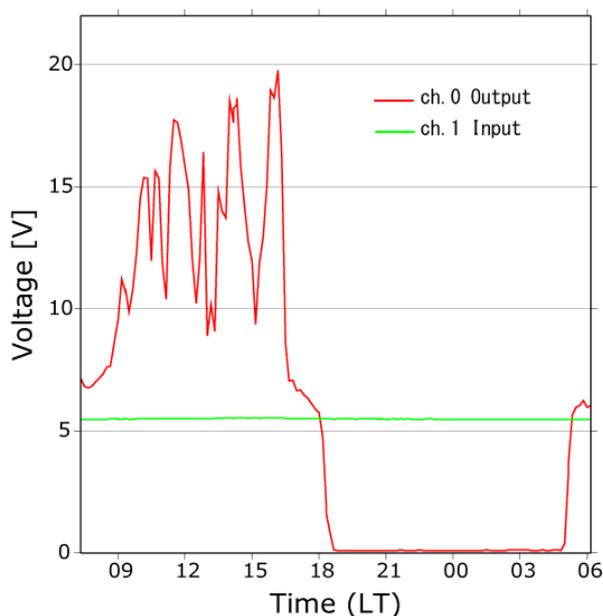


図 7.測定した電圧値

## 5.まとめ

本研究により宇宙技術者教育に必要な①凡庸性のあるシンプルな構造、②過酷な環境での長期運用が可能な安定性、③一般に流通している部品を使って安価に製作すること、の3点を十分に満たすデータロガーの設計を行うことができた。また短期的な観測であるが、②の過酷な環境での運用が実際に可能であることを富士山頂での性能実験により示した。2014年7月に越冬観測を終えたデータを回収すれば本データロガーの長期観測に対する有用性を示すことができるだろう。また、今回性能実験のために利用した富士山頂の環境は、宇宙での機器運用を目指す技術者たちの前段階の訓練環境として非常に優秀であるということも本研究から確認することができた。今後は様々な教育プロジェクトの場としての利用が期待される。本研究において今後さらに様々な環境での観測を視野に入れた改良や性能実験を繰り返していくことで、将来的には宇宙技術者を目指す多くの学生が長期観測経験の場を得ることができるだろう。

## 参考文献

- 川島レイ, (2004) 上がれ! 空き缶衛星 -CANSAT PROJECT-. 新潮社.
- 鴨川仁, 藤原博伸, 稲崎弘次, 織原義明, 岩崎洋, 川原庸照, 鈴木優子, 大洞恒星, 土器屋由紀子. (2012) 小型化した環境データ記録システムの製作. 東京学芸大学環境教育研究センター 研究報告 環境教育学研究 第22号. 3-10.
- 東郷翔帆, 須藤雄志, 田中利佳, 中村真帆, 藤原博伸, 稲崎弘次, 岩崎洋, 川原庸照, 土器屋由紀子, 鴨川仁. (2014) 2012-2013に行った富士山山頂越冬用気象環境データ記録の動作結果. 第7回NPO成果報告会予稿集.

\*連絡先: 須藤 雄志(Yushi SUTO), a110342x@st.u-gakugei.ac.jp