

2008 年度 修士論文

宇宙線望遠鏡計画におけるデータ通信塔の電源供給システム

学籍番号：G07MM007

氏名：岩本 祥平

指導教員：本田 建

修了年月：2009 年 3 月

第 1 章 緒論

1 - 1	宇宙線とは	3
1 - 2	超高エネルギー宇宙線とは	4
1 - 3	TA 計画とは	5
1 - 4	地表検出器 Surface Detector (SD) について	7
1 - 5	目的	10

第 2 章 通信塔の電力設計

2 - 1	通信塔とは	11
2 - 2	通信塔のモジュール構成	12
2 - 3	通信塔の電力設計	14

第 3 章 通信塔の電源供給システム

3 - 1	通信塔の電源供給システム	21
3 - 2	太陽電池	22
3 - 3	バッテリー	26
3 - 4	チャージコントローラー	31
3 - 5	DC-DC 周辺機器	
	ポリスイッチ	34
	12VDC-5VDC、12VDC-12VDC	39
	コンデンサ	41
	その他(箱、基板など)	41

第 4 章 モニタリングシステム

4 - 1	モニタリングシステム概要	44
4 - 2	ADC	45
4 - 3	分圧器、分流器	49
4 - 4	Nport	51
4 - 5	無線 LAN ルーター	52
4 - 6	データフォーマット	53
4 - 7	データ解析	54

第5章 まとめ

5 - 1 まとめ	61
参考文献	62
付録1 モニタリングプログラム	63
付録2 太陽電池遮蔽実験	75
謝辞	77

第 1 章 緒論

1-1 宇宙線とは

宇宙線は宇宙からやってくる放射線の一種であり、そのほとんどが水素の原子核の陽子（90%）で中にはヘリウムの原子核（9%）や鉄の原子核も含まれている。この宇宙線は地球が誕生する以前から存在し、人類は自然の現象として宇宙線を浴びている。

エネルギーが 10^9eV 以下の太陽宇宙線と呼ばれるものは太陽の活動で創られているという事が分かっている。それ以上のエネルギーを持つものは、銀河系の中で創られているのか、銀河系外の宇宙で創られているかはまだ分かっていない。銀河系の磁場の大きさから、 10^{19}eV を超えるエネルギーの宇宙線は銀河系外の天体、または宇宙空間で創られていると考えられている。

宇宙線の大きさを表す単位として eV （エレクトロン・ボルト）という単位を使う。 1eV とは 1 ボルトの電位差で、電子が陽極に到着したときに得るエネルギーの大きさをいう。

10^{14}eV 以上のエネルギーを持つ宇宙線は、地球大気に飛び込むと空気中の酸素や窒素の原子核と衝突を繰り返し、2次・3次粒子を噴出し、はじめは 1 個だった宇宙線は膨大な粒子となって地上に到達する。この現象を「空気シャワー」（図 1-1-1）という。この空気シャワーの末端の粒子はほとんどが電子かミューオンか光子である。この「空気シャワー」現象を観測することにより、高いエネルギーを持つ宇宙線を研究することになる。

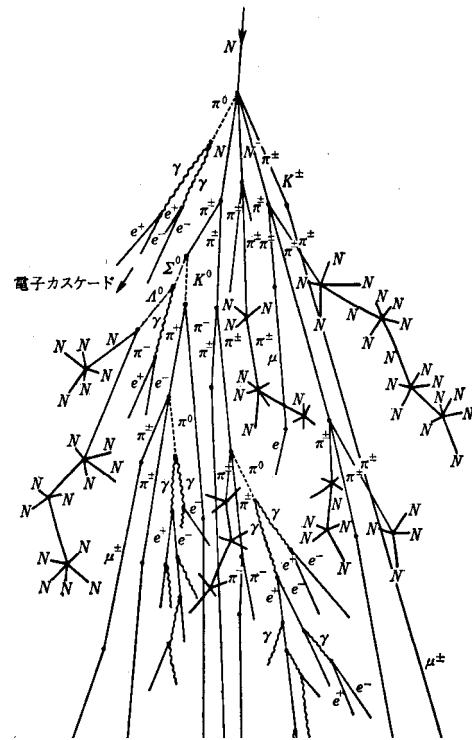


図 1-1-1 空気シャワーの様子

1-2 超高エネルギー宇宙線とは

山梨県北杜市明野にて行われた明野広域空気シャワーアレイ (Akeno Giant Air Shower Array: 略称 AGASA) 計画は、 10^{20} 電子ボルト (16 ジュール) を越える超高エネルギーの宇宙線を 13 年間の観測で 11 例観測することができた。

一方、これまでに行なわれた他の宇宙観測実験によって宇宙はビッグバンの痕跡であるマイクロ波 (3K 放射といわれる) で満たされていることがわかっている。もし、超高エネルギー宇宙線の源がわれわれの銀河より外にあるならば、このマイクロ波と反応し、遮られてほとんど地球に届くことができないと理論的に予想されている。これを提唱者の名前から GZK (グライセン、ザツェッピン、クズミン) 効果と呼んでいる。

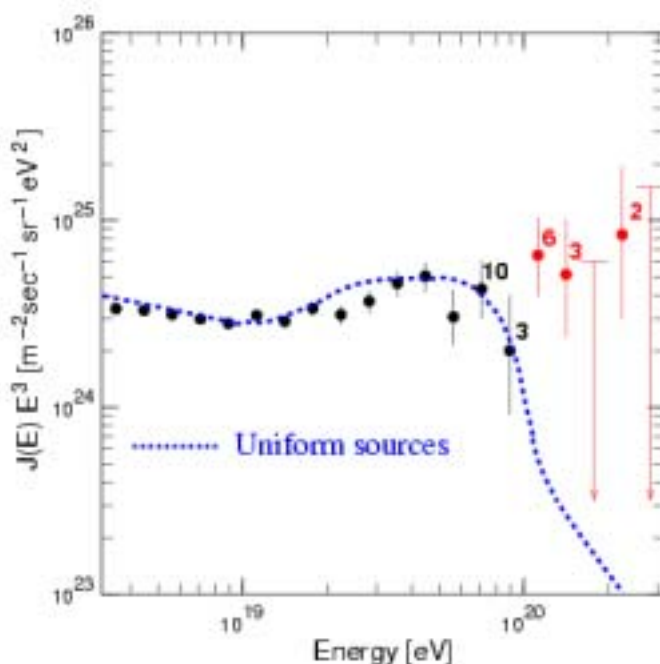


図 1-2-1

AGASA で観測された超高エネルギー宇宙線のエネルギー分布。

青線が理論予想、赤点が理論予想を超える領域のデータを示す。

しかし、地球の近くには超高エネルギーに粒子を加速できる天体が見当たらず、また超高エネルギー宇宙線の到来方向を、他の望遠鏡などで観測してみても特異な天体は見つかっていない。すなわち AGASA で観測された 11 例はこれまでに知られていない物理あるいは天体現象によって生まれ、伝播して来たと考えられる。ではこの超高エネルギー粒子はどのようにして生まれて、どのようにしてやって来たのだろうか？ AGASA では統計的に少ないので、統計量を増やすために観測面積を大きくし、さらに上空の空気シャワーを観測する方法も加えて、GZK 効果を越えるエネルギーの宇宙線が存在するかを検証するための計画がテレスコープアレイ計画 (TA 計画) である。

1-3 TA 計画とは

テレスコープアレイ計画とは、AGASA 計画と同様に空気シャワー中の粒子を測定する実験である。地面に置いた地表粒子検出器(プラスチックシンチレータ検出器, Surface Detector 略してSD)により地表面での空気シャワー中の粒子数を測定し、口径 3m の反射望遠鏡 (Fluorescence Detector 略してFD) により空気シャワー粒子が発生する微弱な大気蛍光を測定する(図 1-3-1 参照)

大気蛍光望遠鏡を用いた観測は月のでていない暗夜のみ可能で、観測時間効率率は 10 ~ 12 % 程度であるが、宇宙線の到来方向やエネルギーを精度良く測定できる。

一方、地上粒子検出器による観測はエネルギー・到来方向の決定精度は若干落ちるが、観測効率がよく、より多くの超高エネルギー宇宙線(面積は AGASA の約 9 倍)をつかまえることが出来る。これらSD、FDの両方を同時に稼働させ、効率の良い宇宙線観測を行なうことがTA計画の目的である。

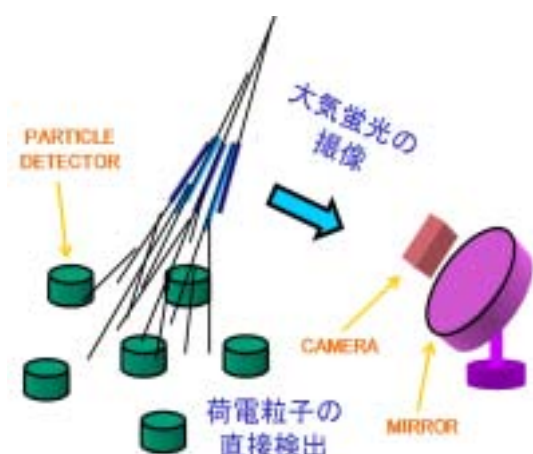


図 1-3-1 TA 計画 概要図

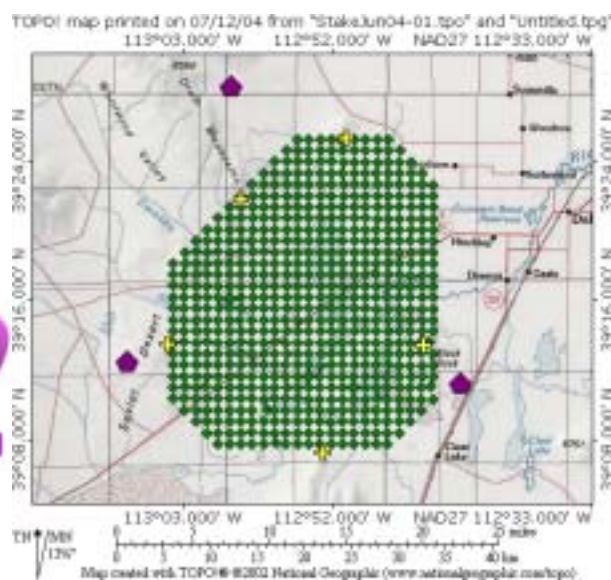


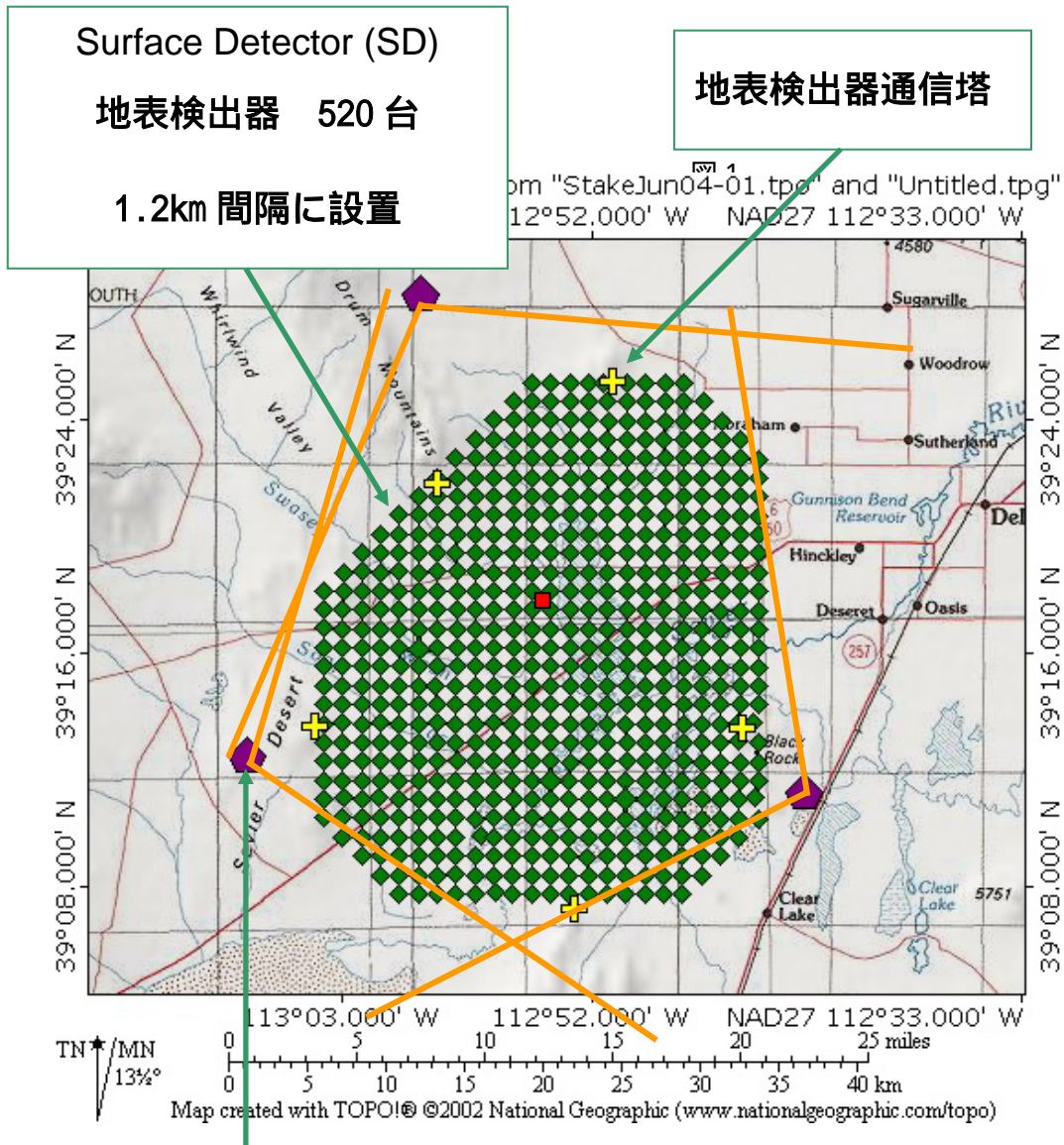
図 1-3-2 TA 計画予定地 概要

観測装置はアメリカのユタ州ミラード郡の標高 1400 メートルの荒野地帯に設置する。図 1-3-2 のように空気シャワー粒子を検出する地表検出器 520 台を碁盤の目のように配置する。

大気蛍光観測のための反射望遠鏡ステーションは、図中のピンク色の部分に設置する。

この地表検出器 (SD) を稼働させるために、太陽光発電システムを使用する。

では TA 実験の検出器等が分かり易いように図を図 1-3-2 を拡大して図 1-3-3 に示す。



Fluorescence Detector (FD)
大気蛍光望遠鏡

図 1-3-3 実験配置拡大図

図 1-3-3 中にある緑色の四角の点に地表検出器が設置される。地表検出器は 1.2km 間隔に設置される。また黄色の十字点は地表検出器の通信塔を示している。通信等は全部で 5 箇所設置される予定だったが 3 箇所に変更された。地表検出器で観測されたデータを中継して中央基地に伝送する予定である。そしてオレンジ色のラインで囲まれた範囲が大気蛍光望遠鏡(1 ステーション)の観測範囲である。

1-4 地表検出器 Surface Detector (SD) について

ここではSDの構造、しくみについて述べる。

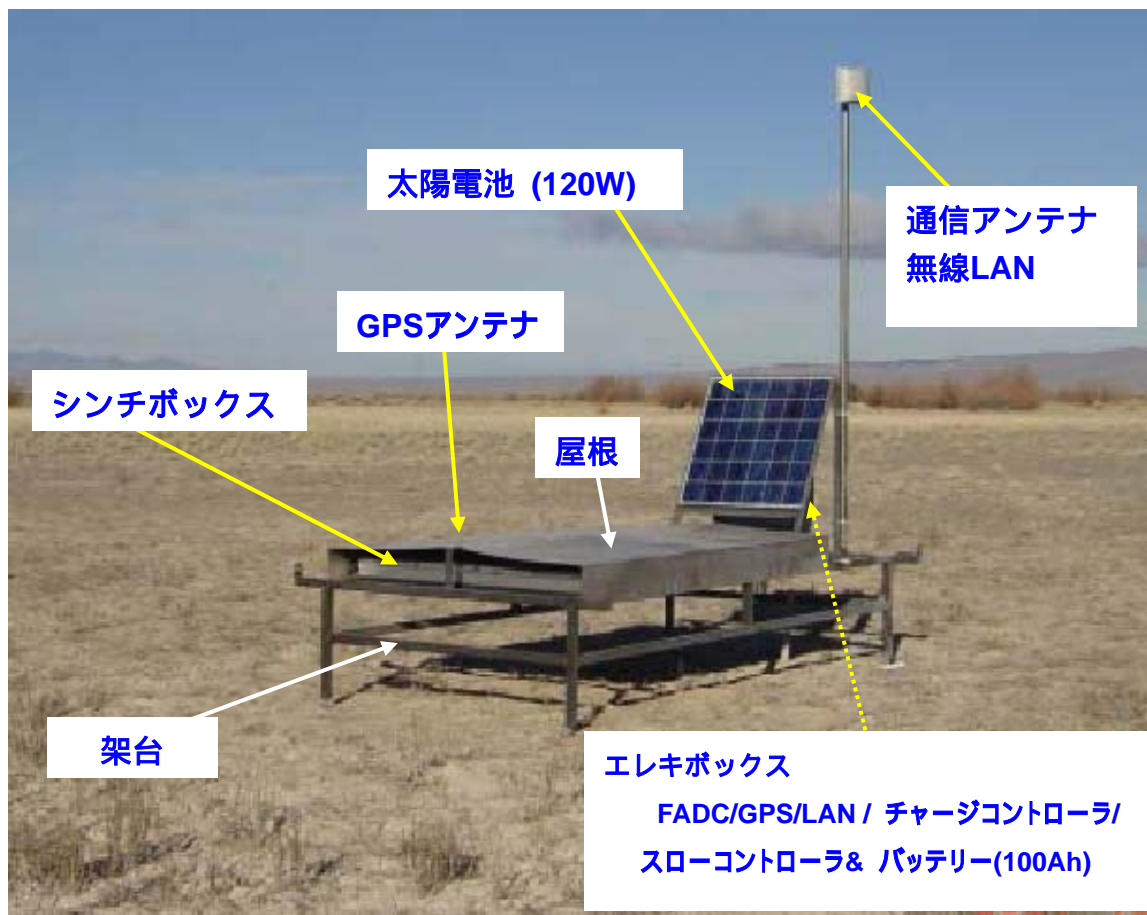


図 1-4-1 地表検出器

図 1-4-1 が実際に使用されるSDである。ステンレスで覆われた平たい箱の中(以後シンチボックスと呼ぶ)には、宇宙線を光に変換するためのプラスチックシンチレーター(図 1-4-3 参照)シンチレーターにより得られた光信号を伝達するための光ファイバー(図 1-4-2 参照)光ファイバーにより運ばれた光信号を電気信号に変換するための光電子増倍管などが入っている。またソーラー電池パネルの下にあるのはエレキボックスであり、電源供給のためのバッテリー、システム制御用の電気部品や回路が収納されている。

空気シャワーの大まかな観測の流れは次の様である。

- 1 シンチボックスの中に入っているプラスチックシンチレーターを空気シャワーの荷電粒子が通過すると、荷電粒子が通過した長さに比例する電離損失エネルギーによりシンチレーターが発光し、光に変換される。
 - 2 1によって得られた光を光ファイバーで拾い、光電子増倍管まで伝搬する。
 - 3 2により伝搬されてきた光信号を、光電子増倍管により電気信号に変換する。
 - 4 3によって得られた電気信号（宇宙線データ）を無線により集計基地まで飛ばす。
- ここでシンチボックスとプラスチックシンチレーターについて述べる。

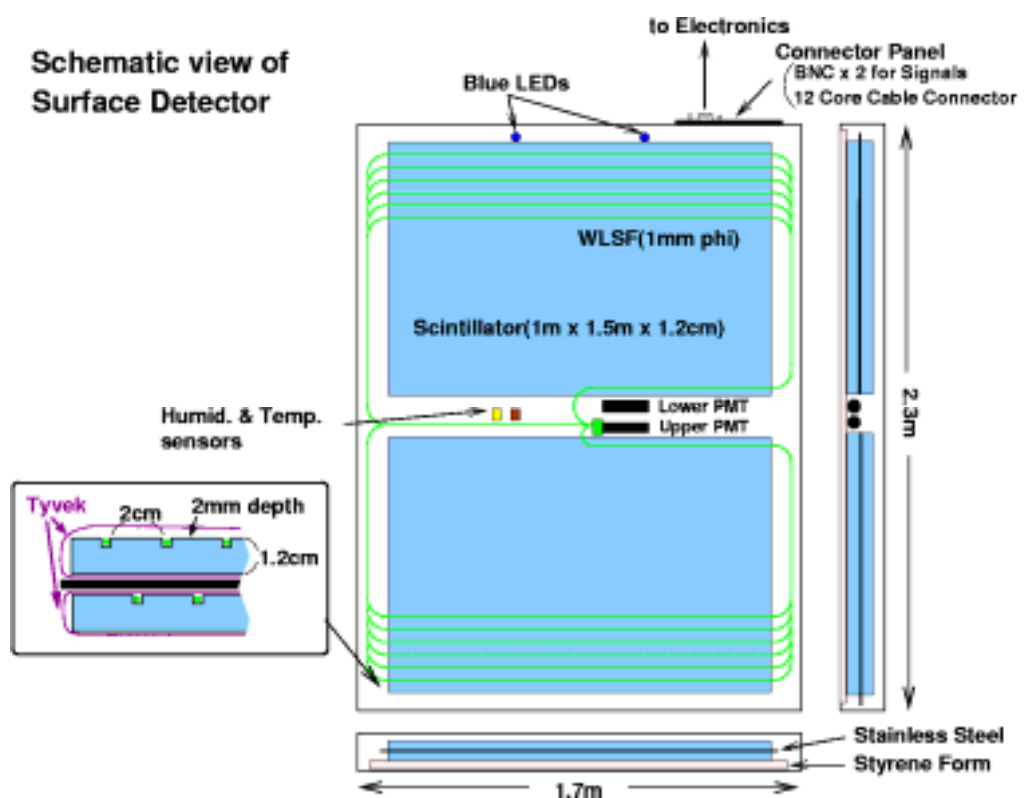


図 1-4-2 地表検出器内部

図のようにSDの面積は 3m^2 でシンチレータは $1.5\text{m}^2(1\text{m} \times 1.5\text{m})$,厚みは 1.2cm が2枚である。



図 1-4-3 プラスチックシンチレーター

図 1-4-3 のブルーの半透明板がプラスチックシンチレーターである。プラスチックの中に蛍光物質が含まれており、荷電粒子が通過すると蛍光する。また図 1-4-2 はシンチボックスの内部構造を示した図である。プラスチックシンチレーターの一枚につき 13 本の溝が作られており、その溝に光ファイバーを張る。プラスチックシンチレーター 4 枚で上の図のような 1 面を構成する。この面が左右上下に作られるので、SD 一台は 4 面で構成されることになる。そして上段 (upper) の左右 2 面、下段 (lower) の左右 2 面の光信号は、それぞれ一つの光電子増倍管に伝達される。つまり upper 用の光電子増倍管、lower 用の光電子増倍管の二つで一台の SD を構成する (図 1-4-2 参照)。

以上のような工程を経て宇宙線が観測されるわけであるが、SD のデータ通信で重要な役割を持つ通信塔の電源システムは、当初地表検出器と同じ 120W の太陽電池と 100Wh のバッテリーを 1 対 1 に対応させ、複数組使用していた。しかし、電源システムの不具合で SDDAQ が停止することが何回もあった。通信塔の不具合は SD、ひいては TA 計画そのものを脅かす危険性がある。したがって、通信塔の専用の電源システムを作る必要があった。

1 - 5 研究目的

地表検出器(SD)のデータ通信を行う通信塔の電源供給システムがより安全に、停止することのないように設計し、システムの建設及び電源供給システムのモニタリングを行うことが本研究目的である。

第 2 章 通信塔の電力設計

2-1 通信塔とは

通信塔は SD(Surface Detector)のデータ収集、トリガー作成、長距離間のデータ転送や無線機器の中継地点として使われる。

SD におけるデータ収集では、各 SD でデータを取得してトリガーを生成し、通信塔にデータやトリガー情報を送信する。各 SD のエレクトロニクスは PMT からの波形データを 50MHz の FADC によってデジタル化する。FADC の前に 9.7MHz (- 3 dB) のローパスフィルターを通すことにより波形を引き伸ばし、50MHz でも十分な精度で測定することができる。トリガーには level-0,1,2 の 3 種類が存在する。各 SD では level-0,1 のトリガーを生成し、level-1 トリガー情報を通信塔に送信する。通信塔では level-1 トリガー情報を受信すると、level-2 トリガーの判定を行う。level-2 トリガーが成立すると、level-1 トリガーを送った各 SD について level-0 トリガーでバッファされているデータを取得する[1]。

・ level-0 トリガー

level-0 トリガーとはエレクトロニクスによる波形データのバッファリングを意味する。FADC でデジタル化した波形データについて FPGA を通してトリガー判定を行う。8bin 分の FADC 値の和と前の 8bin の和とを比較し、閾値を超えているかを判定する。トリガー条件はシンチレーター上下 2 層が反応し、0.3MIPs(Minimum Ionizing Particle:物質中でのエネルギー損失が最小となる荷電粒子)以上がシンチレーターでエネルギー損失した場合の PMT 出力電荷量を持つ場合である。0.3MIPs により PMT 光電面から入射する光電子(photo electron:p.e.)は 8p.e.程度である。トリガーを生成した場合、閾値を越えた部分から 35bin 遡った所から 128bin の時間(=2.56 μ s)分のデータが記録される。このトリガー条件でのイベント頻度は 700Hz 程度である。

・ level-1 トリガー

level-1 トリガーのトリガー条件はシンチレーター上下 2 層が反応し、3MIPs 以上がシンチレーターでエネルギー損失した場合の PMT 出力電荷量を持つ場合である。トリガーを生成した場合のデータ記録方法は level-0 トリガーと同様である。このトリガー条件でのイベント頻度は 40Hz 程度である。

- ・ level-2 トリガー
- ・ level-2 トリガーは通信塔に設置したエレクトロニクスで判定する。エレクトロニクスは各 SD のエレクトロニクスと同等である。各 SD における level-0,1 トリガーの情報は 1 秒毎に通信塔に送信される。トリガー条件は 3 台以上の検出器から level-1 トリガーが送信された場合である。

2-2 通信塔のモジュール構成

通信塔で使われる機器は以下の通り。

SD DAQPC	SD 解析用 PC	0.4W
12VDC-12VDC	PC や Amp に 12V を安定に供給	
Wireless LAN Bridge	Hub として使用	4.5W
Long Distance Wireless LAN Bridge	長距離間通信	8.2W
12VDC-5VDC	Wireless LAN Bridge に 5V を安定に供給	
Host Electronics	トリガー判定	0.35W
Serial Protocol Converter	通信方式の変換	0.31W
Amplifier for Radio	無線の中継地点として	15W
ADC	測定用機器	

* DC-DC コンバーターは変換効率が約 80%

* ADC は PC から電源供給をし、かなりの低電力消費なので電力は考慮していない

通信塔は Black Rock Mesa(BRM)、Long Ridge(LR)、Smelter Knolls(SK)という地名の 3ヶ所に、それぞれ若干構成モジュールに相違がある。長距離通信の接続は図 2-2-1 のようになっている。

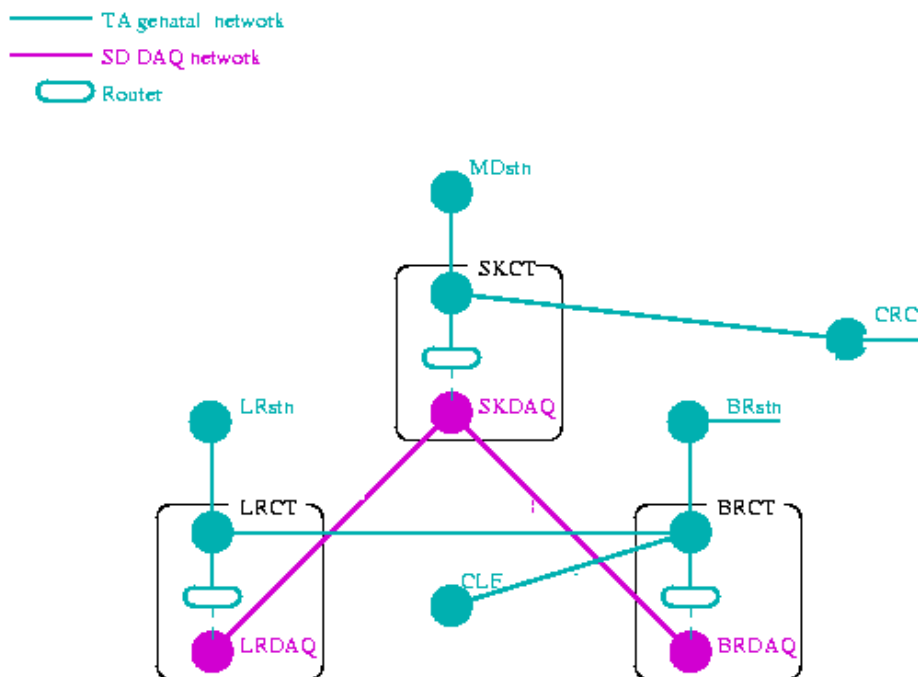


図 2-2-1 長距離通信接続図

図 2-2-1 のように BRM、SK では長距離通信モジュールが 4 つ、LR では 3 つとなっている。また BRM には無線リピータがある。

表 2-2-1, 2-2-2, 2-2-3 から各場所での消費電力の合計は LR = 67.3W、SK = 77.6W、BRM=96.3W となる。

表 2-2-1 LR 電力消費

LR	接続	消費電力	数量
SDDAQPC	+	5W	1
Wireless LAN Bridge	+	5.6W	3
Long Distance Wireless LAN Bridge	+	10.3W	3
Host electronics		4.2W	1
Serial Protocol Converter		4.7W	1

LR total 67.3W

表 2-2-2 SK 電力消費

SK	接続	消費電力	数量
SDDAQPC	+	5W	1
Wireless LAN Bridge	+	5.6W	4
Long Distance Wireless LAN Bridge	+	10.3W	4
Host electronics		4.2W	1
Serial Protocol Converter		4.7W	1

SK total 77.6W

表 2-2-3 BRM 電力消費

BRM	接続	消費電力	数量
SDDAQPC	+	5W	1
Wireless LAN Bridge	+	5.6W	4
Long Distance Wireless LAN Bridge	+	10.3W	4
Host electronics		4.2W	1
Serial Protocol Converter		4.7W	1
Amplifier for Radio	+	18.8W	1

BRM total 96.3W

2-3 通信塔の電力設計

これまで電力システムは各消費に対して、太陽電池 1 枚とバッテリー 1 個で電力を補い 1 対 1 の対応か、消費が大きいものには太陽電池 2 枚とバッテリー 2 個の対応だった。しかしこの 1 セット以上の電力を消費する場合は度々あり、システムが停止することがあった。

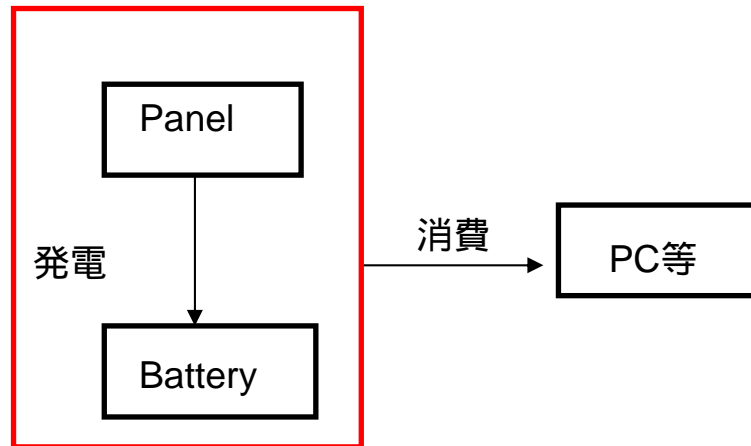


図 2-3-1 変更前の電力システム概略図

そこで、各太陽電池で発電した電力を 1 度集めてから各バッテリーに充電し、夜間の消費はバッテリー全体から消費するシステムに変更した。この変更によって消費による効率化（消費の少ない機器の余剰電力分を他の機器の電力に充てることができる）と太陽電池の故障やバッテリー異常など不足の事態が起きてもすぐに止まることのないように安全性が高められた。

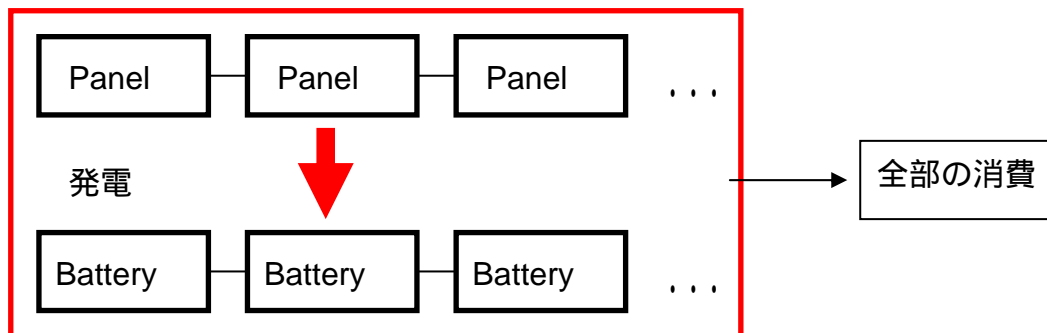


図 2-3-2 変更後電力システム概略図

ここで前年度富田氏が作成したシミュレーションを使って太陽電池とバッテリーの数を決定した[2]。

図 2-3-3 はデータ欠損のない 2005 年でパネル 8 枚、バッテリー 8 個でまず LR でシミュレートした結果である。電力消費は LR では 67.3W であるが安全率を 1.5 程度考慮し 100W 消費として計算した。横軸は日数、縦軸にバッテリー残量を示している。したがってこれが 0 になればシステムは停止することを意味する。

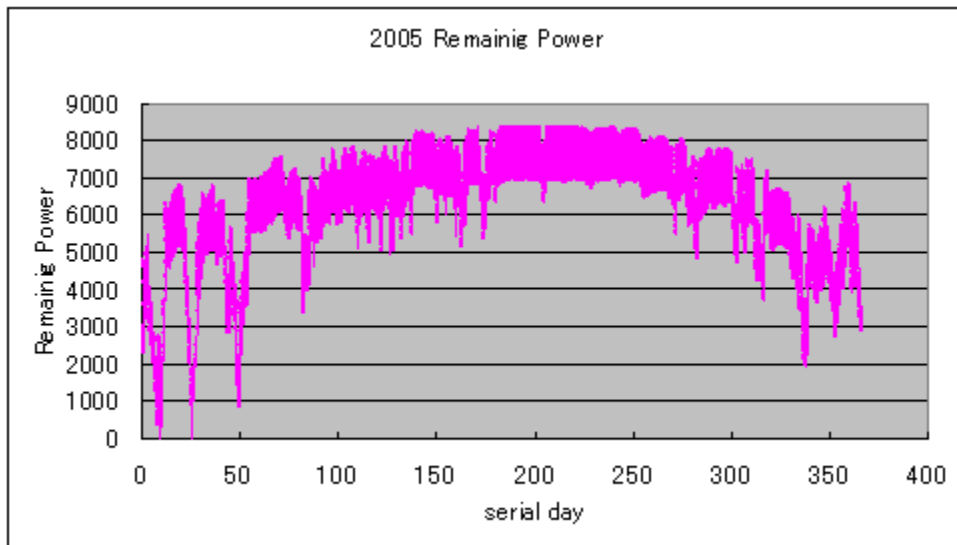


図 2-3-3 Remaining Power(2005, panel 8, battery 8, Discharge 100W)

図 2-3-3 からバッテリー残量が 0 になっていので 2005 年では 2 回停止することが分かる。他の年でも同様に計算した結果が表 2-3-1 である。

表 2-3-1 停止回数(2005, panel 8, battery 8, Discharge 100W)

Year	2003	2004	2005	2006	2007
Stop Frequency	0	4	2	2	0

* 2004 年では欠損 95 h r (1/27 13:00 ~ 1/31 11:00)

* 2006 年では欠損 121 h r (3/9 18:00 ~ 3/14 19:00)

データ欠損を考慮しても何回か停止することが分かる。打開策としてパネル 1 枚の発電量に余裕があるため、パネル 2 枚に対してバッテリー 3 個の対応にした。バッテリーの数を増やすことで全体の電力を強化することにした。このシステムでシミュレートしたものを(パネル 8 枚、バッテリー 12 個)、図 2-3-4 に示す。

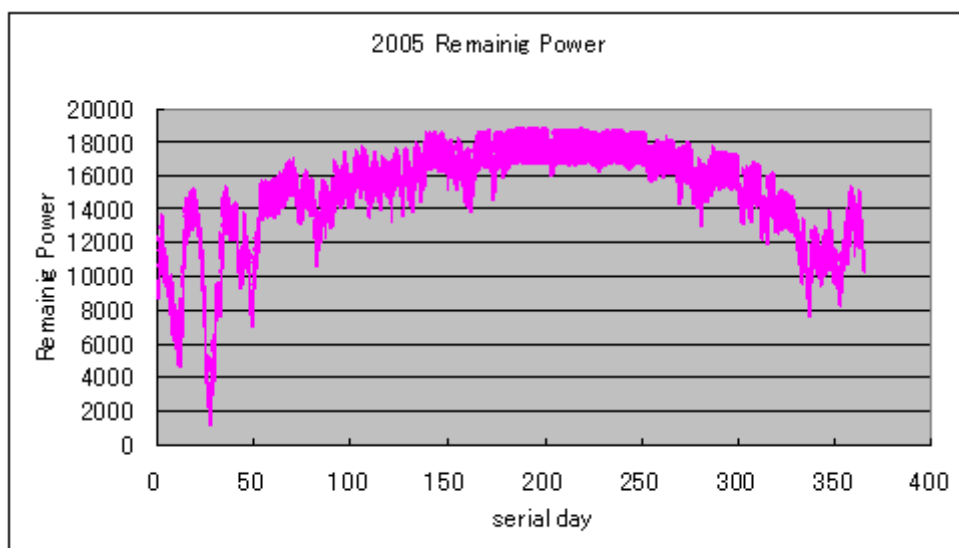


図 2-3-4 Remaining Power(2005, panel 8, battery 12, Discharge 100W)

図 2-3-4 で明らかなように 2005 年ではこのシステムの場合 1 度も止まらない。
同様に 2003 年から 2007 年までシミュレートした結果が表 2-3-2 である。

表 2-3-2 停止回数(2005, panel 8, battery 12, Discharge 100W)

Year	2003	2004	2005	2006	2007
Stop Frequency	0	2	0	1	0

2004 年,2006 年はデータ欠損があり、停止時期がこれと合致するため、実際はこのシミュレーションでは止まらないことを示している。

通信塔のスタンド 1 つには最大でもパネル 4 枚しか設置できないが、BOX にはバッテリーを 6 個収納できる。これが 2BOX 設置されているので最大でパネル 8 枚、バッテリー 12 個置くことが可能である。



図 2-3-5 1BOX の写真(パネル 4 枚、バッテリー 6 個)

変更前は BOX 下段にバッテリーが全て置かれていたが、図 2-3-5 のように上段にもバッテリーを置くことで BOX の中に収めた。

SK では全体の消費電力が 77.6W である。LR 同様安全率を 1.5 と見積もって 120W 程度である。同様にシミュレートした結果が図 2-3-6 である。

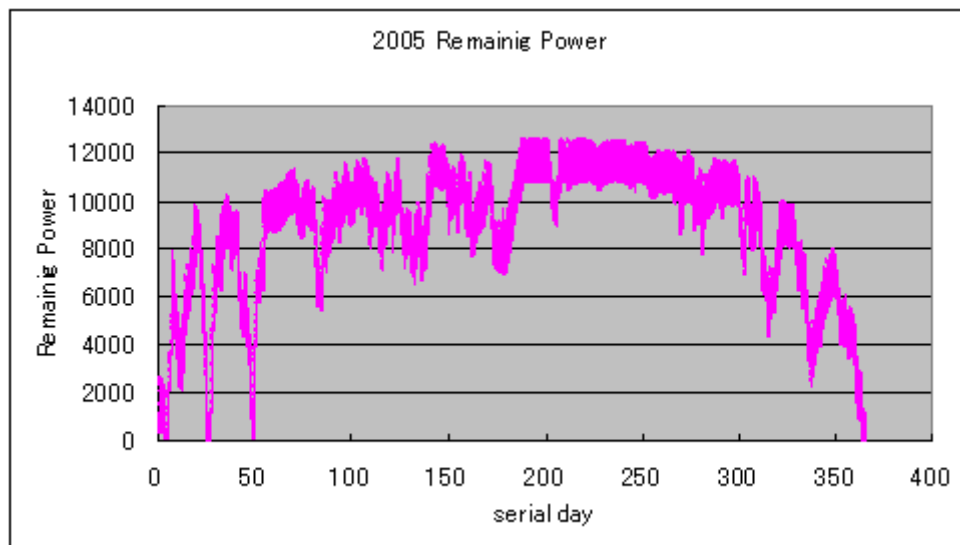


図 2-3-6 Remaining Power(2005, panel 8, battery 12, Discharge 120W)

図 2-3-6 から 2005 年の場合、停止回数が 4 回あることが分かる。他の年での結果は表 2-3-3 のようになる。

表 2-3-3 停止回数(2005, panel 8, battery 12, Discharge 120W)

Year	2003	2004	2005	2006	2007
Stop Frequency	0	3	4	3	0

2004,2006 は欠損があるがそれでも何回か停止する可能性があるといえる。したがって新たに BOX を追加し 12 枚の太陽電池と 18 個のバッテリーで構成するように提案した。

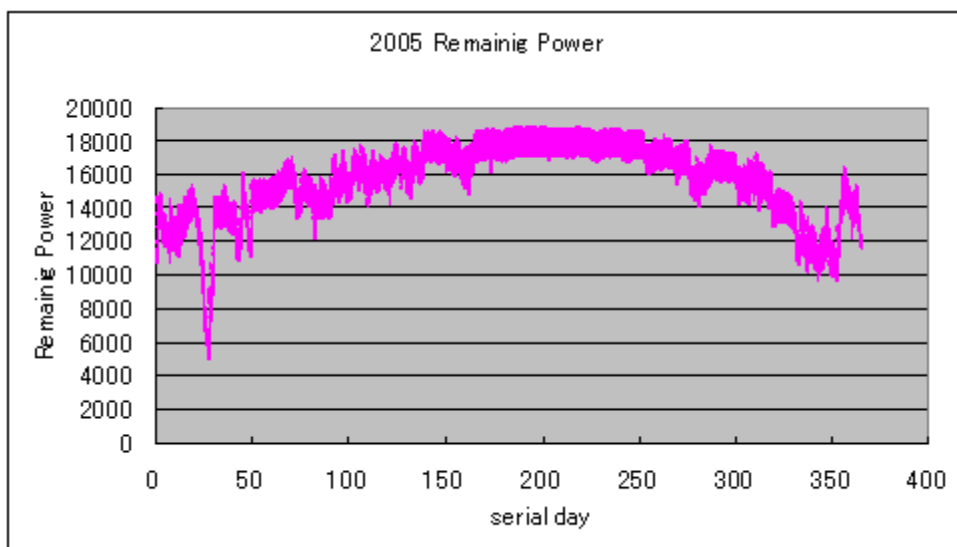


図 2-3-7 Remaining Power(2005, panel 12, battery 18, Discharge 120W)

表 2-3-4 停止回数(2005, panel 12, battery 18, Discharge 120W)

Year	2003	2004	2005	2006	2007
Stop Frequency	0	1	0	1	0

このように 1BOX 追加することで停止しないことがわかる。

BRM でも同様に電力消費が 96.3W なので安全率を考慮すると 150W 程度である。

SK 同様 1BOX を追加した結果、図 2-3-8 のようになる。

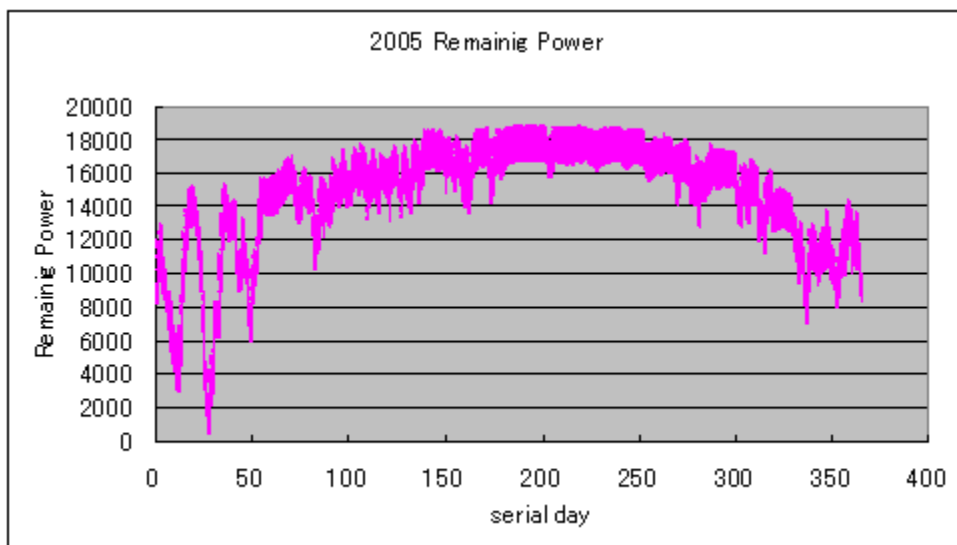


図 2-3-8 Remaining Power(2005, panel 12, battery 18, Discharge 150W)

表 2-3-5 停止回数(2005, panel 12, battery 18, Discharge 150W)

Year	2003	2004	2005	2006	2007
Stop Frequency	0	2	0	1	0

表 2-3-5 からデータ欠損を考慮すればほぼ停止しないことが分かる。

これらのことから各場所における使用電力を考慮して太陽電池とバッテリーの数は表 2-3-6 のように決定した。

表 2-3-6 太陽電池とバッテリーの個数

	Panel	Battery
LR	8	12
SK	12	18
BRM	12	18

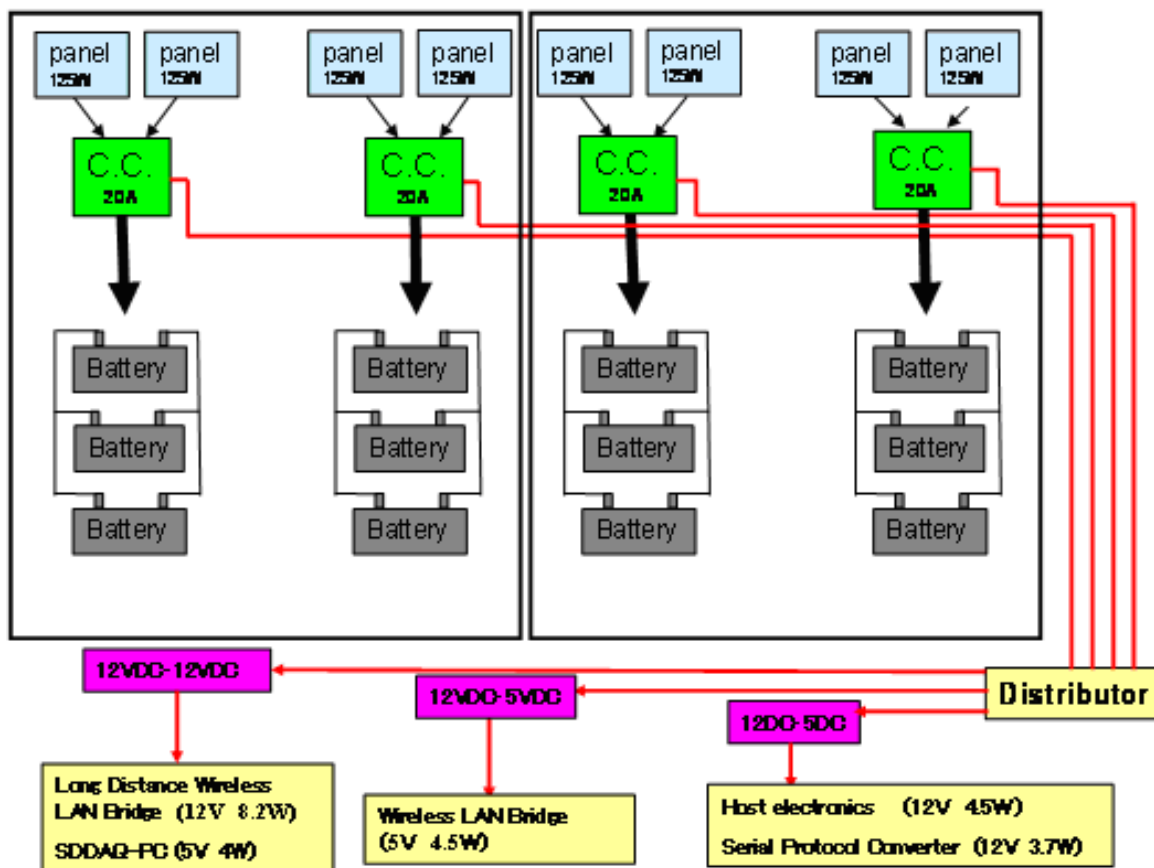
第 3 章 通信塔の電源供給システム

3-1 通信塔の電源供給システム

最終的な電力システムの構成は（LR を例に挙げれば）図 3-1-1 になる。

2 枚の太陽電池で発電された電力が 1 個のチャージコントローラーによって制御される。これを 1 セットとすれば、4 セットで発電し、制御された電力を 1 箇所に集める。

発電のある昼間は直接、各消費機器に電力を供給する。余剰分が各バッテリーに供給され、充電される。また夜間は並列に繋がっている各バッテリーから電力を消費する。そのため電圧は全てのバッテリーが一定であるが、電流はバッテリーの劣化状況に拠る。劣化状況に拠りバッテリーの内部抵抗値が変化し、電流値に差が出る。したがって、この電流値の差をモニタリングすることでバッテリーの劣化度の推定を行う。



- * SDDAQPC は 12V 入力があり内部で 5V に変換する
- * 各機器の入力電圧幅によって 12VDC-12VDC を使うときとそうでないときがある。
- * SK, BRM では Panel 12 枚、Battery 18 個で構成される

図 3-1-1 電力システム構成

3-2 太陽電池

通信塔では KC120J、KC125TJ の二種類の太陽電池を使用しており、共に KYOCERA 社製である。KC120J に比べ KC125TJ の方が出力は大きくなっている。ここで図 3-2-1 に 2 種の太陽電池の写真を載せておく。



図 3-2-1 KC120J - KC125TJ

左の KC120J の方が光沢が強く、鮮明な青色である。KYOCERA に問い合わせたところこれは KC125TJ が表面にプラズマと反応性ガスによってミクロン単位の微細な凹凸をつくり、太陽光の反射を少なくし、より多くの太陽光を吸収することで発電効率を高めたためだそうだ。

表 3-2-1 KC120J と KT125TJ

	KYOCERA 社製	KYOCERA 社製
型式	KC120J	KC125TJ
最大出力	120 W	121 W
開放電圧	21.5 V	21.7 V
短絡電流	7.45 A	8.00 A
最大出力動作電圧	16.9 V	17.4 V
最大出力動作電流	7.1 A	7.2 A
質量	11.9 kg	11.9 kg

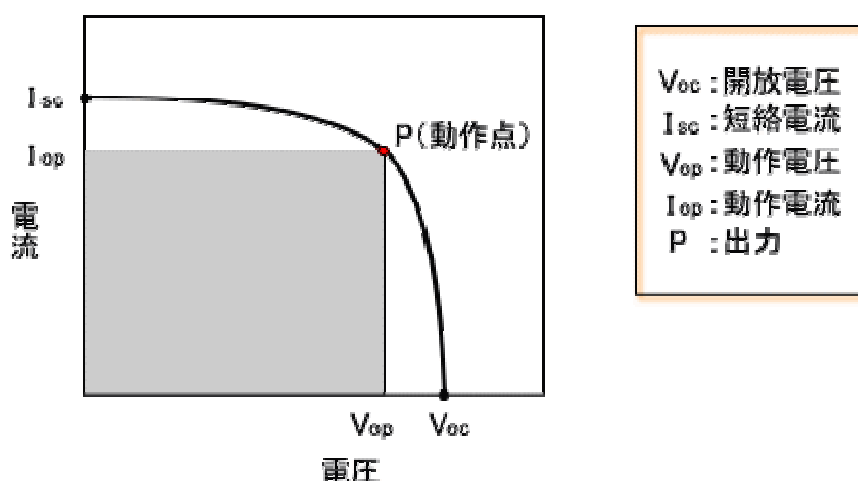


図 3-2-2 太陽電池の電流と電圧の関係

一般に太陽電池の出力は、図 3-2-2 に示すように、発生する電圧と電流の相関関係曲線で表される。太陽電池の出力は I_{op} と V_{op} と原点を結ぶ面積（上図のグレー部分）で示される。太陽電池を効率よく使うということは、グレー部分の面積を最大にする I_{op} と V_{op} を設定する必要がある。

開放電圧（ V_{oc} ）とは太陽電池に何もつながらない状態で、太陽電池の両端に発生する電圧を示す。短絡電流（ I_{sc} ）とは太陽電池の両端をショートさせた状態で流れる電流を示す。また、太陽電池の出力が最高となる動作点を最大出力動作点と言う。このときの出力を最大出力（ P_{max} ）、電圧を最大出力動作電圧、電流を最大出力動作電流と呼ぶ。また仕様に表示されている値は、次のような一定の基準により測定した値で表されている。基準状態：モジュール温度 25、分光分布：AM1.5、放射照度 $1000W/m^2$

モジュール温度とは、太陽電池モジュールは温度が上昇すると発電電圧が下がる特性がある。また、冷えると発電電圧が上がるといった特性を持っている。そのため、太陽電池の仕様を決めるにあたって、一定の温度で測定しないと比較にならない。そこで、25 を基準状態としている。

分光分布とは、どのような波長分布の光を当てるかを規定したものである。太陽光は大気圏を通過することにより大気中のオゾンや水蒸気などにより、光の一部が吸収される。AM（Air Mass：エアマス）とは大気通過量のことで AM1.0 とは光の入射角が 90 度（真上）から入射した光を意味し、AM1.5 はその通過量が 1.5 倍（入射角 41.8 度）での到達光を表している。

放射照度とは、 $1m^2$ 当たりには到達した太陽光エネルギーの強さを表し、単位は（ W/m^2 ）を用いる。大気圏外ではおおよそ $1400W/m^2$ ある太陽光エネルギーも大気を通過して地表に到達すると $1000W/m^2$ 程度になり、この $1000W/m^2$ という値を、放射照度の基準状態としている。

太陽電池の種類としては、シリコン半導体を材料に使用するものと化合物半導体を材料にするものに大別され、さらにシリコン半導体によるものは、結晶系とアモルファス(非結晶系)に分類される。また結晶系はさらに単結晶と多結晶に分類される。

現在、太陽光発電システムに一般的に使われている太陽電池はシリコン半導体によるものが大部分であり、特にシリコン半導体結晶系の単結晶および多結晶太陽電池は、変換効率の良さ、信頼性、価格などから広く用いられている。

また最近開発されているもので色素増感太陽電池というものがある。有機色素を用いて光起電力を得る太陽電池。代表的なものはグレッツェル型(または湿式太陽電池)と呼ばれる型式のもので、2枚の透明電極の間に微量のルテニウム錯体などの色素を吸着させた二酸化チタン層と電解質を挟み込んだ単純な構造を有している。製造が簡単で材料も安価なことから大幅な低コスト化が見込まれ、最終的には現在主流の多結晶シリコン太陽電池の1~数割程度のコストで製造できると言われている。また軽量、着色も可能、などの特長を持つ。現在の課題は効率と寿命であり、技術的改良が進められている。電解液の蒸発を如何に防ぐかが重要であり、固体化などの技術開発が進められている

他にも球状シリコン型太陽電池は無数の球状シリコン粒子(直径1mm程度)と、集光能力を上げる直径2~3mmの凸面鏡(電極を兼ねる)を組み合わせた太陽電池のことである。一般的な結晶シリコン型の1/5程度のシリコン使用量で、アモルファスシリコンよりも高い変換効率が期待できる方式である。2007年初めの時点で10%を超える発電効率が報告されている。球状シリコンの生産方法は、プラズマで溶かしたシリコン液滴を1~2秒程度自由落下で滴下させ、表面張力でシリコン液滴を球状とし、落下中にレーザー照射により結晶化させることにより生産される。個々のシリコン粒子は単結晶である。高純度シリコン原料の供給が追いつかない状況が続く中、シリコンの供給状況に影響されにくく、生産工程も簡易なことから、コストを下げやすい方式として普及が期待されている。



図 3-2-3 (左) 色素増感太陽電池と(右) 球状シリコン型太陽電池

これは本実験には使用されないが、約2年のエンジニアリングを終え回収したモノの中に図3-2-4、図3-2-5の写真のように太陽電池の裏に穴の開いたような破損が見られたことを報告しておく。実験地では一般人の銃の携帯許可があるため、おそらく銃で撃たれたものだと思われる。前項の図2-3-1で示したように以前のシステムでは1枚の太陽電池がなんらかのトラブルで破損した場合、消費機器が停止する可能性が高かったが、図2-3-2のようなシステムに変更したのでこのようなトラブルにも対応できる。



図 3-2-4 破損パネル



図 3-2-5 破損パネル(拡大)

また太陽電池、バッテリー、チャージコントローラーの性能実験を山梨大学A-1号館屋上で行った。太陽光発電パネル(KC120J)を屋上に仰角60°で設置し、チャージコントローラー-SS-10L-12Vを介してバッテリー(日本電池社製SEB-100)に充電し、その充電量を記録するものである[3]。また、太陽光発電パネルの発電量は日射強度の大きさによるので、同時に気象観測機(米国DAVIS社製「バンテージプロ」)使用し日射強度も

記録している。

実験による日射強度と電力の関係を図 3-2-6 に示す。

黄砂等の汚れによって各月によって若干の発電効率の差があるが、基本的には太陽電池の公称スペックである $1000(\text{W}/\text{m}^2)$ のとき $120(\text{W})$ という値通りの結果が得られた。

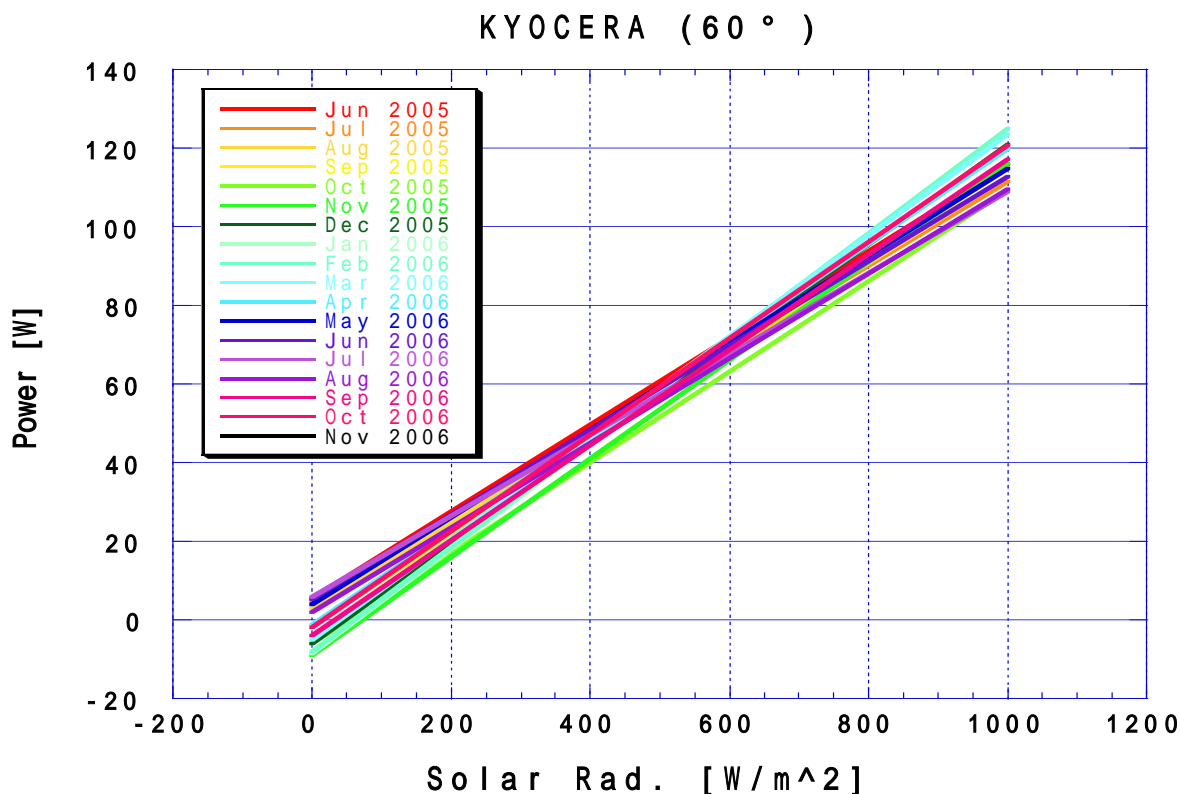


図 3-2-6 発電量の変化

3-3 バッテリー

本実験は長期に亘って、夜間や悪天候に関わらず、継続して行われることが望まれる。また実験地が非常に広大であり、保護区であるので、電解液の補充等のメンテナンスなども控えたい。これを実現するため使用するバッテリーは DYNASTY 社製の DCS100L(密閉式ディープサイクル)。密閉式とは電解液が密閉されているバッテリー方式のことである。密閉されているため電解液の蒸発がなく、液漏れの心配もない。つまりメンテナンスが不要である。

ディープサイクルとは放電と充電を交互に繰り返し使用される電源として、深い放電にも耐えられるバッテリー方式のことである。蓄電能力の低下が微小で、深い充放電を繰り返し行えるという特徴を持っている。バッテリーの仕様を表 3-3-1 に示す。

表 3-3-1 バッテリー仕様

型式	DCS-100L
電解物	H ₂ SO ₄
最大放電電流	800Amps
稼働温度範囲	-40 から 71 (放電) -23 から 60 (充電)
適正温度範囲	23 から 27
浮動充電電圧	13.5 から 13.8V(25)
重量	31kg
寸法(mm)	172.7×340.9×213.1
容量	5 時間率 84Ah、20 時間率 100Ah

*バッテリーの容量 Ah (電流量) と Wh (電力量)

1Ah とは 1A の電流を 1 時間にわたって供給できる能力を示す。今回使用したバッテリーの容量は 100Ah である。

電流量は一般的にバッテリーの容量を表すのに使用されている。我々は太陽光発電パネルの発電を電力で解析しているので、電力に統一して電力量を用いた。

*時間率

20 時間率が 100Ah、5 時間率が 84Ah となる。これは満充電の状態から、5A の電流を 84 時間連続で流すことが可能であるが、16.8A の電流ならば 1 時間で空になってしまうという意味である。



図 3-3-1 バッテリー(DYNASTY 製 DCS-100L)

・温度特性

バッテリーは化学反応によって電力を生み出している。DCS-100L も鉛蓄バッテリーである以上その例外ではない。実験地のように気温の変化の大きい屋外での使用では温度特性についての情報を得ることで、停止などの異状時に問題を切り分けることができる。また本項は放電時のみの解析なので電流値および電力値は絶対値で表記する。

山梨大学でバッテリーの特性試験を行った。実験システムはバッテリーを充電器で充電を行い、充電が終了するとスイッチを切り替えSDの消費電力を6Wとした時の10倍にあたる 12V-60W の電球での消費を繰り返すといった非常に単純なものを基本とし、充放電の組み合わせで1回の試験毎に、100回目の充放電には test100 という具合にシリアルに番号を与えていく。これを、通常時はSDの1日の使用電力量である144Whとなるよう144分の消費と充電を繰り返し、定期的に長時間の放電を様々な温度で行い、その変化を追うものである。測定は1分間隔のサンプリングでバッテリー電圧、電流、雰囲気温度を対象とした。雰囲気温度はバッテリーに貼り付けた熱電対温度計で測定している。バッテリーは2005年度春に購入した2台のDYNASTY製DCS-100Lであり、それぞれにNo.1、No.2と割り振った[4]。

図3-3-2は比較的試験回数の少ないNo.2バッテリーのtest222～245(2006/6/16～7/18)の放電データを基に各電圧までに取り出せた電力量の関係である。試験は放電時間を一律10時間とし、バッテリー温度を室温から始め数回の試験の後に冷蔵庫により10、0、-7.5、-15度で安定させて行っている

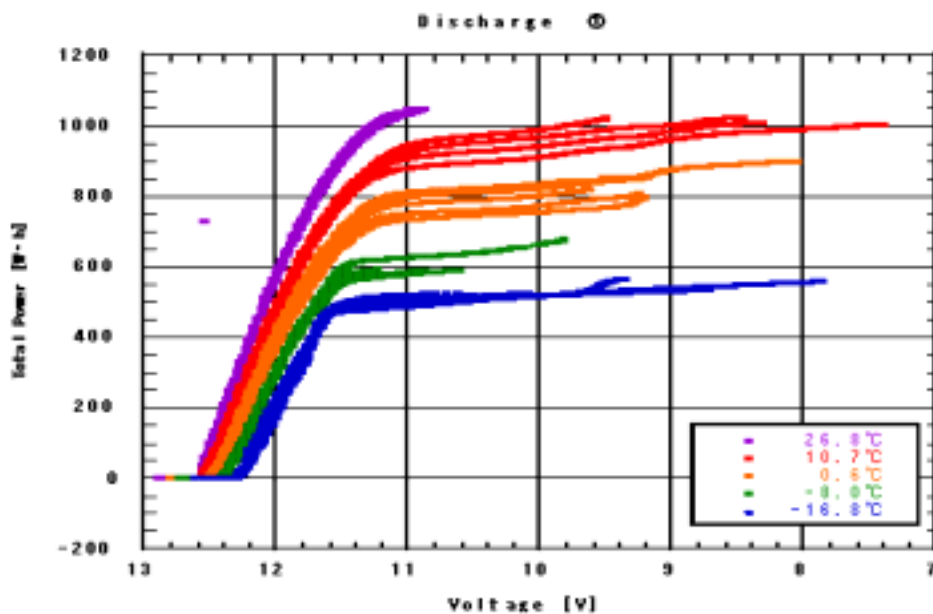


図 3-3-2 Battery 放電特性 1 - 1

図 3-3-2 からわかるように温度別に色を変えて描写しているが、どの曲線においても、放電開始から約 11.6V までは直線でバッテリー電圧と積算電流は比例関係をとる。その後、約 11.3V 付近において傾きは小さくなり、ある電圧値以降はほとんど電力が取り出せなくなる。また温度の低下がバッテリー容量の低下にそのまま繋がっている。まず、放電初期の直線部分のみにして横軸に電力量、縦軸に電圧をとったものが図 3-3-3 である。

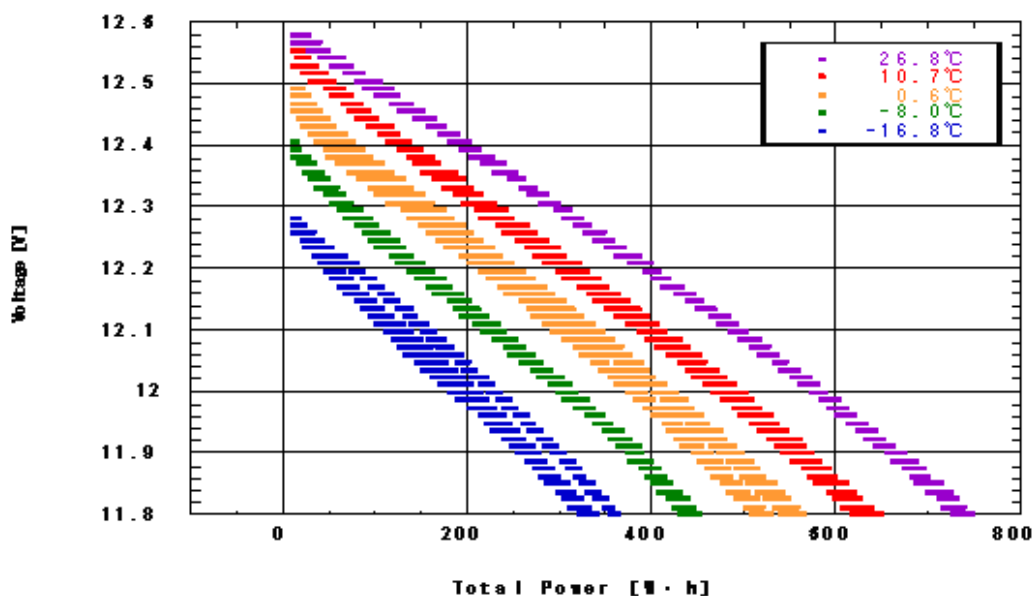


図 3-3-3 Battery 放電特性

この回帰直線を $y = ax + b$ とすると温度に対する係数 a 、 b は図 3-3-13 の通りとなる。

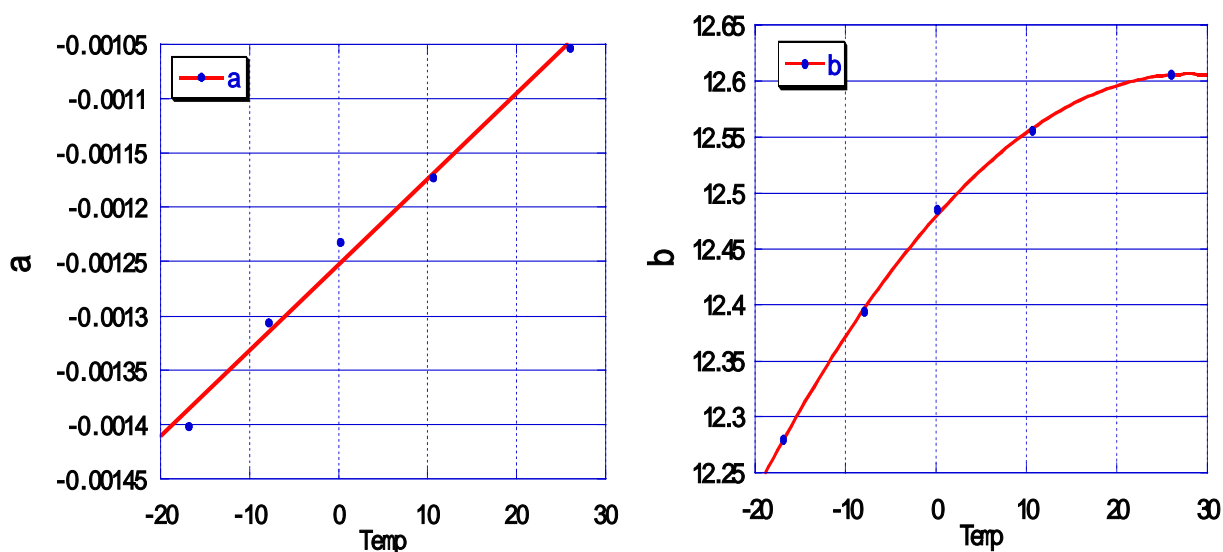


図 3-3-4 放電初期直線変化時の係数

$$a = 7.8839T - 0.001525$$

$$b = -1.6305 \times 10^{-4} T^2 + 9.1099 \times 10^{-3} T + 12.479$$

T は温度()

また図 3-3-3 を各電圧 (11.0V , 11.2V , 11.4V , 11.6V , 11.8V , 12.0V) で区切り、それまでの放電量と温度の関係を図 3-3-5 に描写しなおした。

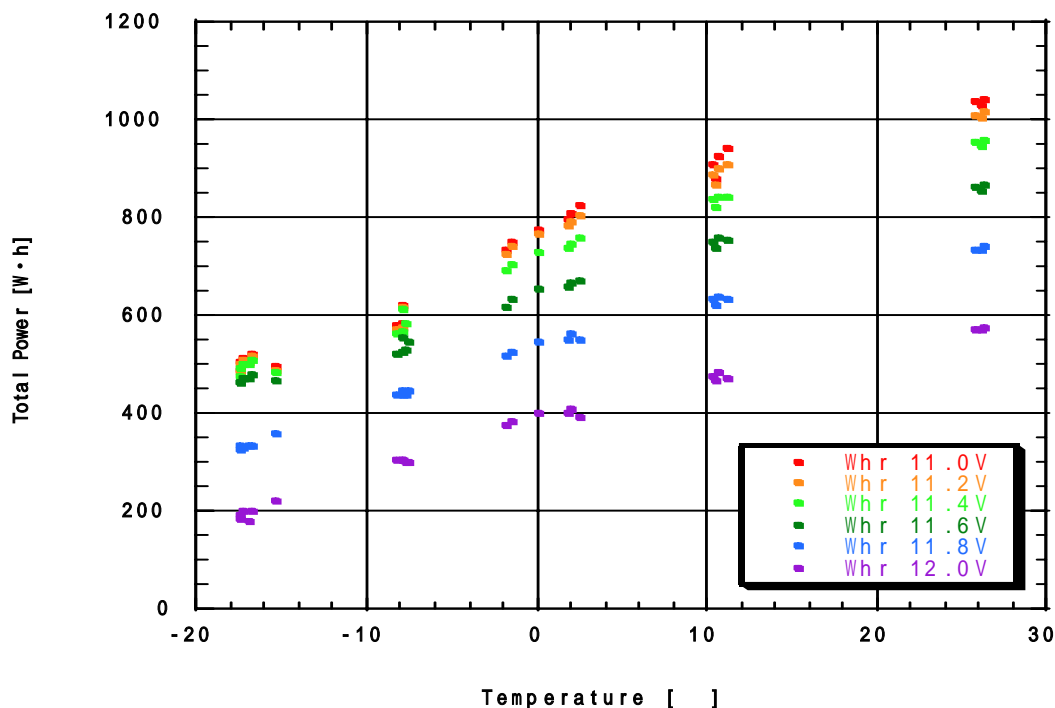


図 3-3-5 Battery 温度特性 1 - 2

まず 11.4V を境にそれ以下の電圧まで放電しても、それまでに比べて放電量は大きく増加しない。また -10 ~ 0 の間で変化の仕方が変わっているようである。よってこれを -10 ~ 30 、 -20 ~ 5 の 2 区間に分けてそれぞれの電圧まで放電した際の回帰曲線を求めた。

回帰曲線を $y = ax^2 + bx + c$ とすると係数 a, b, c は表 3-3-3 になる。

表 3-3-3 Battery 温度特性回帰曲線の係数 1

- 10 <Temp<30	11.0V	11.2V	11.4V	11.6V	11.8V	12.0V
a	-0.292	-0.278	-0.200	-0.134	-0.108	-0.087
b	18.0	17.0	14.4	12.0	10.6	9.5
c	766	752	714	642	534	386

- 20 <Temp <5	11.0V	11.2V	11.4V	11.6V	11.8V	12.0V
a	0.550	0.051	0.338	0.283	-0.033	-0.130
b	24.7	23.5	18.8	14.9	11.2	9.2
c	765	753	715	640	535	388

12.0V ~ 11.6V までは温度による曲線間隔の差は少なく、ほぼ平行だと言える。逆に 11.4V ~ 11.0V では大きく異なり、温度が下がるにつれて取り出せる電力量も低下していくことが判る。特に 0 以下では急激に低下を見せ、- 18 付近では 11.4V、11.2V、11.0V の曲線はほぼ重なり、これ以上の電力量の取得は望めない。

3-4 チャージコントローラー

チャージコントローラーの役割は、太陽電池の発電電力を効率良くバッテリーに充電し、過充電ならびに過放電も防止することである。また、夜間などのバッテリーから太陽電池に電流が逆流することを防止する機能も備えている。

今回は太陽電池 8 枚に対して 12 個、もしくは 12 枚に対して 18 個のバッテリーで構成される。太陽電池は 1 枚の公称最大電流が 7.2A なので 8 枚の場合でも全体では最低 60W 程度の電流容量がなくてはならない。しかし、市販品では 60W ほどの大容量チャージコントローラーはコスト面でも動作温度範囲や作動モードなどで難点があるため、今回は全体ではなく 1 つのチャージコントローラーで 2 枚の太陽電池と 3 つのバッテリーをひとまとめに扱うことにする。

使用するチャージコントローラーはモーニングスター社 SS-20L-12V である。密閉型バッテリーに対応し、動作温度範囲も広く、山梨大学での実験でも SS-10L-12V を使っていたので扱いやすい理由からである。他にも大容量の C40(Trace 社)などのチャージコントローラーも候補に挙がったが、充放電のモード切替が不可であるために SS-20L-12V を採用した。この外観を図 3-4-1 に、仕様を表 3-4-1 に示す。



図 3-4-1 チャージコントローラー

表 3-4-1

SS-20L-12V	
システム電圧	12VDC
最大入力電圧	30VDC
最大入力電流	20A
最大負荷電流	20A
バッテリー充電電圧	14.1V
負荷遮断電圧	11.5V
負荷復帰電圧	12.6V
動作温度範囲	60 ~ -40
制御機能	充放電
寸法	152 × 55 × 34mm
重量	230g

- ・システム電圧：システム運転時の動作電圧のこと。今回の実験では回路供給に 12V のバッテリーを使うシステムなので、システム電圧は 12V D C となる。
- ・最大入力電流：panel 1 枚の性能が最大で 7.2A なので、panel 2 枚分は扱える。
- ・最大負荷電流：消費時に流すことが出来る電流の最大値のこと。
- ・P W M 充電方式：P W M とはパルス幅変調のことである。もしバッテリーが満充電になった場合（充電電圧 14.1V（密閉型））過充電を防ぐため充電電流をパルス状（O N、O F F 状態）にして満充電の状態を維持するしくみである。つまり P W M 充電中に発電量が低下した場合は、パルス幅を広くしてより多くの電流を通過させ、発電量が増加した場合はパルス幅を狭くして電流の通過量を制限する。



満充電になると P W M 充電に切り替わり、電流を制限して充電電圧を維持しているのが分かる。

図 3-4-2 PWM 充電方式

- ・負荷遮断電圧：負荷による電力消費によってバッテリーの容量が低下してくると、バッテリーの過放電を防ぐために、バッテリー電圧がある一定値になると負荷を遮断する。負荷遮断電圧とはその時の電圧値（この機種は 11.5V）。
- ・負荷復帰電圧：バッテリー電圧が負荷遮断電圧に達し負荷を遮断した後、バッテリー容量が増加し過放電の心配がなくなって再び負荷を接続する時のバッテリー電圧を言う。

また山梨大学で SS-10L-12V の性能実験が行われた。

発電電力 日射強度の相関を図 3-4-3 に示す。

また緑の線は太陽光発電パネルでの発電電力の予定値である。これによると、日射強度が 600 W/m^2 以下の際、日射強度に対して充電電力は太陽光発電パネルでの発電電力の予定値よりも約 5% 落ちで線形的に変化し、非常に効率的に充電されていることが分かる。しかし、それ以上になると充電電力は頭打ちとなっている。これもバッテリー保護のために過充電を防いだ結果だと考えられる

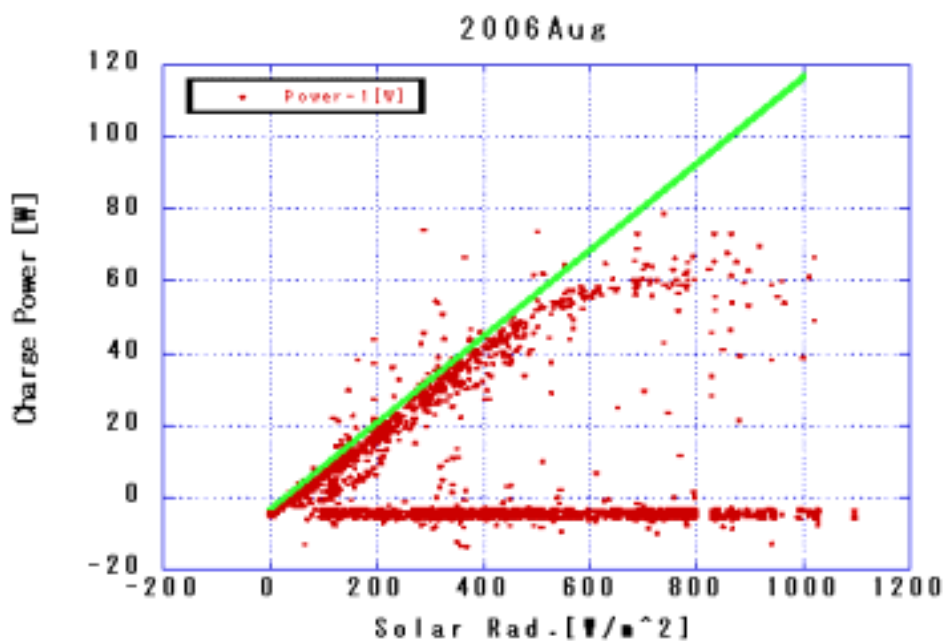


図 3-4-3 SS-10L-12V 充電特性

3-5 DC-DC 周辺機器

太陽電池で発電し、チャージコントローラーで調整された電圧は 12V~15V 程度である。PC や Wireless LAN Bridge などの各消費の適正電圧にするために 12VDC-12VDC、12VDC-5VDC が必要であることから、これに保護装置を取り付けパッケージングした。

構成パーツは

- 、ポリスイッチ（リセット可能デバイス）
- 、12VDC-5VDC、12VDC-12VDC
- 、コンデンサ
- 、その他(箱、基板など)

ポリスイッチ

ポリスイッチとはリセット可能デバイスであり、過剰な電流、電圧、温度から電気回路や電子回路を保護する。このデバイスがわずかに減る自己発熱電流によって高抵抗の保護状態にラッチされる。デバイスは温度が下がり障害が取り除かれた場合のみリセットするため、連続サイクルによる回路障害を防止する。そのため手動でリセットしたり、交換する必要はない。ここで使用される DC-DC は故障してもすぐに修理に行くことが困難なことがあるため、この特徴がこのデバイスを選んだ主な理由である。

図 3-5-1 に外観を、図 3-5-2 に温度と抵抗の相関図を示す。

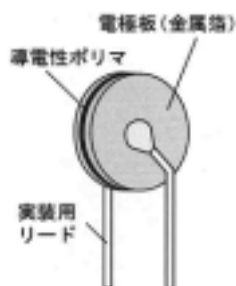


図 3-5-1 ポリスイッチ

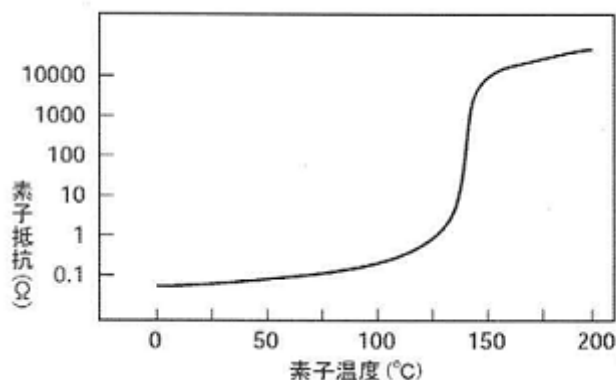


図 3-5-2 温度と抵抗の相関

図 3-5-1 のようにポリスイッチは2枚の金属電極箔で導電性ポリマのシートを挟み込んだ構造をしていて、使用用途に応じて電極部分に半田付けや溶接等を利用して、実装用のリードが接合されている。

このポリスイッチが高抵抗状態になることを”トリップ”という。トリップ現象は過電流や過熱によって発生し、一度トリップ状態になるとポリスイッチは高温平衡点でバランスす

るため、電源が ON の状態では自己復帰しない。電圧を十分に下げるか電源を OFF にして素子が冷えるのを待たねばならない。図 3-5-3 はポリスイッチの周囲温度特性を示すものである。2本のカーブは、周囲温度に対する保持電流(IH)とトリップ電流(IT)の関係を示している。保持電流とトリップ電流はそれぞれ周囲温度が高くなるにつれて低くなる。IH と IT に囲まれた領域は素子のばらつき、熱履歴などによって素子がトリップするか分からない領域である。

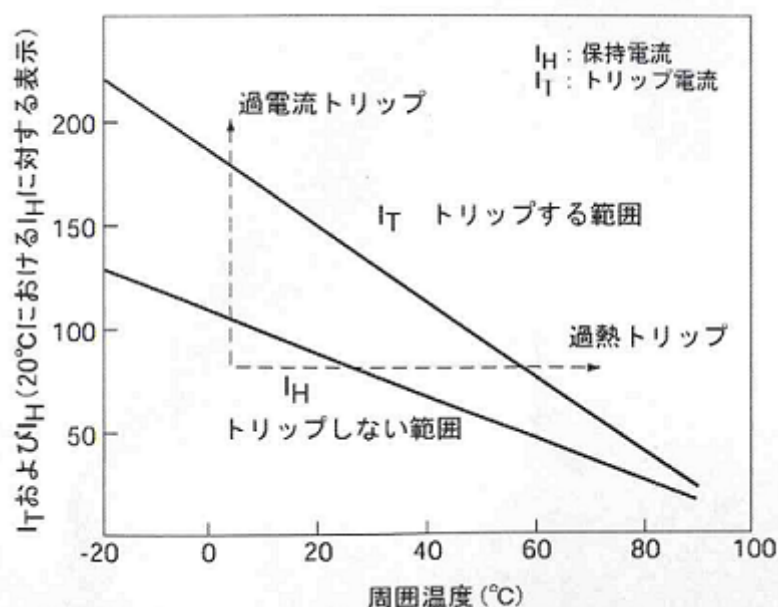


図 3-5-3 周囲温度に対する保護電流とトリップ電流

素子に過電流が流れると、縦軸方向に移動し IT の電流以上でトリップする。また、周囲温度が上昇して素子が過熱されると横軸方向に移動し、IT の電流が流れた時に相当する温度に達したときトリップする。各周囲温度に素子にどれくらいの電流が流せるか、過電流がどのくらい流れると素子がトリップするのかの 2 点が、素子選定の重要な要素となる。

最大電圧値、定格電流値、最大電流値、温度特性などから消費に合わせポリスイッチを選定した。選定方法は

回路電圧 12V が素子の定格電圧を超えないこと

周囲温度特性から 40 (実験地での最高温度)における保持電流値を調べ、素子の保持電流値を超えないこと

その中で一番小さい電流容量を持つ素子を選ぶ

また表 3-5-1 に各デバイス表を示す。表 3-5-1 と表 3-5-2 の温度に対する保持電流を参照した結果、

12VDC-5VDC は回路電圧 12V、最大消費電流値 1A 程度、周囲温度-20～40 から RXEF110 が妥当である。

また 12VDC-12VDC は回路電圧 12V、最大消費電流値 0.7A、周囲温度-20～40 から RXEF90 が妥当である。

表 3-5-1 各デバイス表

型式	IH	IT	Vmax	Imax	Pdtyp	トリップ 時間 (max)		Rmin	Rmax	R1max
	(A)	(A)	(V)	(A)	(W)	(A)	(S)	()	()	()
RXEF075	0.75	1.5	72	40	0.92	3.75	6.3	0.25	0.4	0.6
RXEF90	0.9	1.8	72	40	0.99	4.5	7.2	0.2	0.31	0.47
RXEF110	1.1	2.2	72	40	1.5	5.5	8.2	0.15	0.25	0.38
RXEF135	1.35	2.7	72	40	1.7	6.75	9.6	0.12	0.19	0.3

IH:保持電流値(20 静止空気中でトリップせずに流せる最大電流値)

IT:トリップ電流値(20 静止空気中でトリップする最小電流値)

Vmax:最大定格電圧

Imax:最大定格電流

Pdtyp:トリップ時の消費電力

Rmin:最小抵抗値(20 静止中での抵抗値の最小)

Rmax:最大抵抗値(20 静止中での抵抗値の最大)

R1max:緩和抵抗値(ポリスイッチを一度トリップさせた後、20 の環境に 1 時間放置したときの抵抗値の最大)

表 3-5-2 温度に対する保持電流

温度()ごとの保持電流(A)						
	周囲温度()	-20	0	20	25	40
RXEF075	保持電流(A)	1.22	0.89	0.95	0.72	0.61
RXEF90	保持電流(A)	1.22	1.07	0.9	0.86	0.73
RXEF110	保持電流(A)	1.5	1.31	1.1	1.06	0.89
RXEF135	保持電流(A)	1.84	1.61	1.35	1.3	1.09

またポリスイッチに関する信頼性を確かめる試験が公表されているのでそれを図 3-5-4、
 図 3-5-5、図 3-5-6、図 3-5-7 にそれぞれ示す[5]。

● 常温・高温保存試験

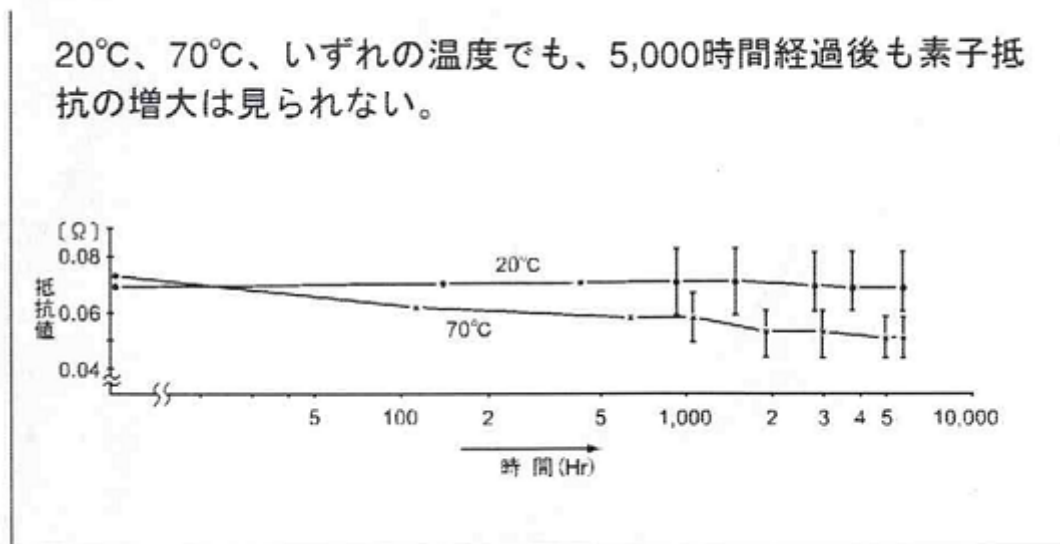


図 3-5-4 温度に対する時間と抵抗値

● 高湿保存試験

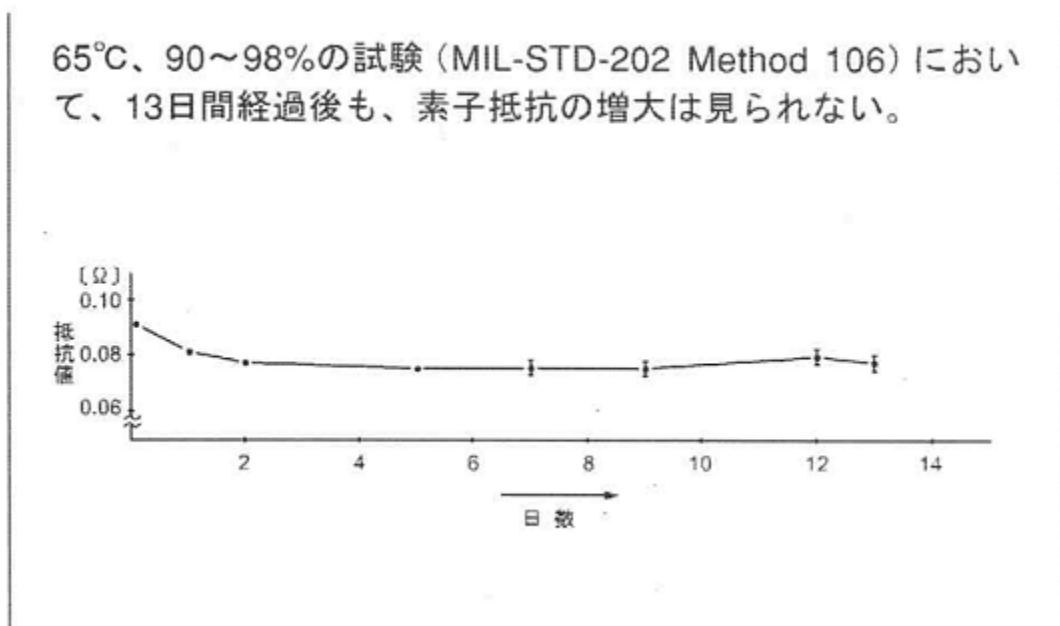


図 3-5-5 保存試験

●温度サイクル試験

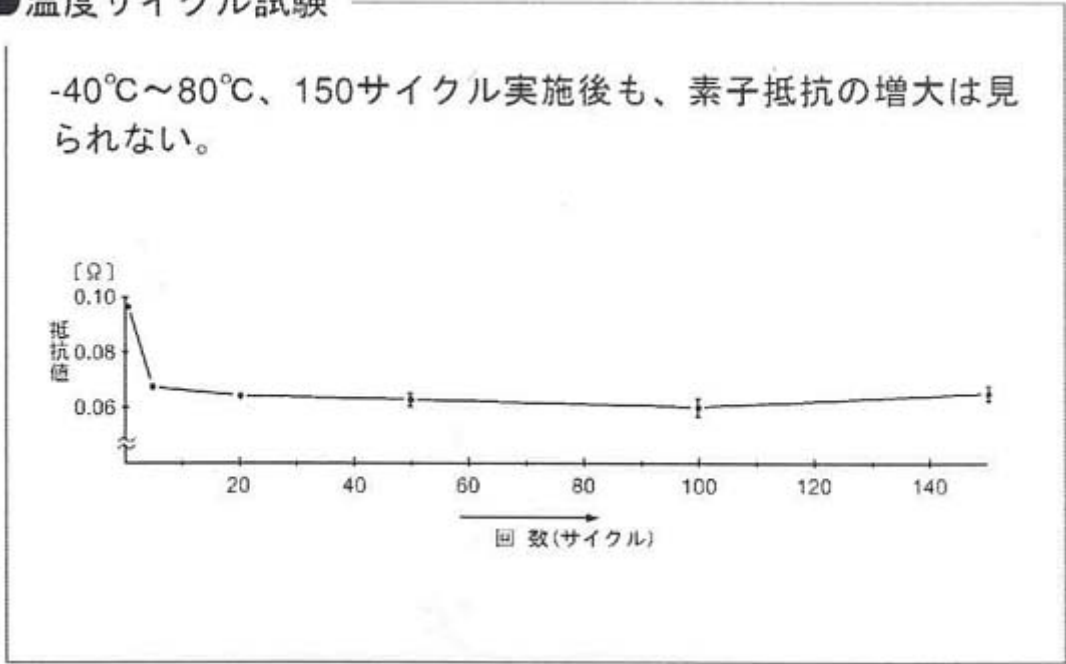


図 3-5-6 温度サイクル試験

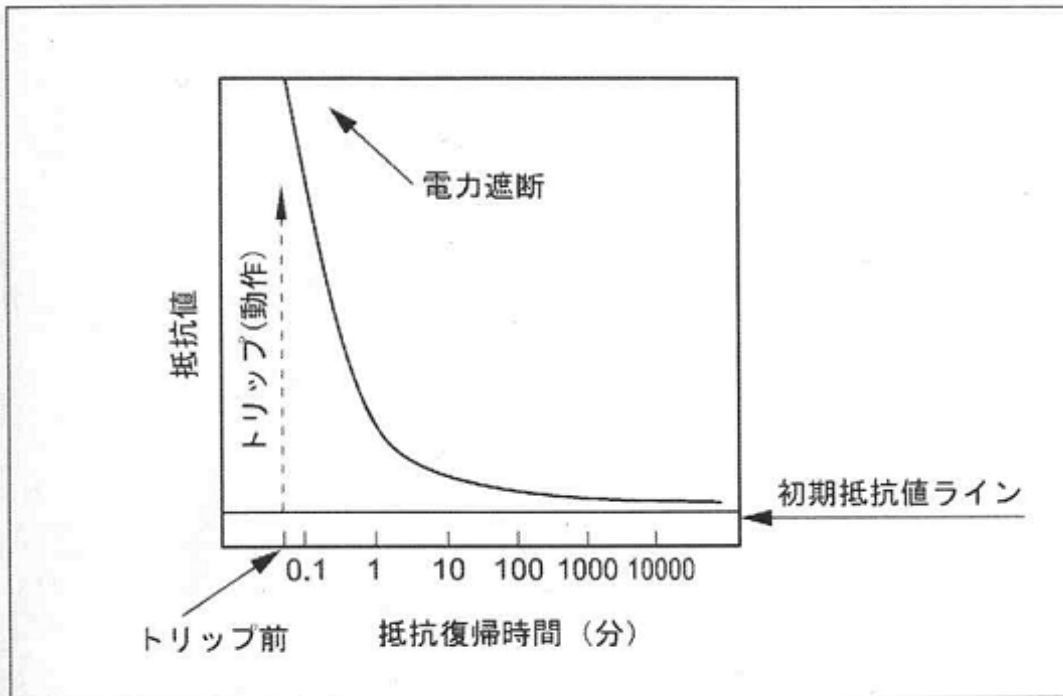


図 3-5-7 抵抗復帰試験

図 3-5-8 に RXEF110 の外観を示す。



図 3-5-8 RXEF110

DC-DC

今回 12VDC-5VDC と 12VDC-12VDC を選定するにあたり、
砂漠地帯特有の - 20 ~ 40 という広範囲な温度特性を持つ
消費電力に対する電力容量が十分にあること
パッケージに収まるように小型であること
に注意した。

12VDC-5VDC は RECOM 社製 RP20-1205SE、12VDC は RP30-2412DEW に決定した。

表 3-5-3 DC-DC 仕様

	RP20-1205SE	RP30-2412DEW
入力電圧範囲	9-18VDC	10-40VDC
出力電圧範囲	5V	± 12V
出力電流	4000mA	± 1250mA
入力電流	2193mA	1543mA
変換効率	80%	85%
最大負荷容量	6800 μ F	± 1000 μ F
使用温度範囲	85 ~ -40	85 ~ -40
重量	48g	48g
寸法	50.8 × 40.6 × 10.2mm	50.8 × 40.6 × 10.2mm

また山梨工業試験所で RP30-2412DEW を恒温槽試験した。

図 3-5-9 のような装置を自作して実験した。

電源電圧に 12V、抵抗 60 Ω 、DC-DC の前後で電圧、電流を計測した。

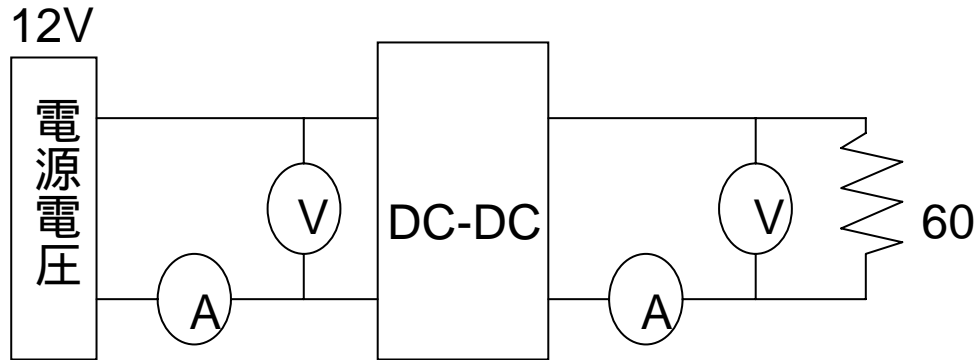


図 3-5-9 恒温槽実験装置

表 3-5-4 実験結果

time	memo	電源電圧は 12V		10 分後		変換効率
		input	output	input	output	
17:00:01	-20 計測開始	input	output	input	output	
17:11:04	-20 終了	0.23A	0.20A	0.23A	0.20A	87%
17:12:39	-10 に設定					
17:15:00	-10 になった	input	output	input	output	
17:15:04	-10 計測開始	0.23A	0.20A	0.23A	0.20A	87%
17:25:04	-10 終了					
17:26:04	20 に設定					
17:31:04	20 になった	input	output	input	output	
17:31:09	20 計測開始	0.21A	0.20A	0.21A	0.20A	95%
17:41:09	20 終了					
17:41:49	40 に設定					
17:46:00	40 になった	input	output	input	output	
17:46:04	40 計測開始	0.22A	0.20A	0.22A	0.20A	91%
17:56:04	終了					

この表を見る限り温度による電流値の変化は見られなかった。

また変換効率も 87% ~ 95% とスペック値を上回るようないい結果が得られた。

コンデンサ

コンデンサは一時的に電流を蓄え放出することからノイズを除去する効果がある。通常は電解コンデンサを使うが今回は温度特性や周波数特性に優れている $10\mu\text{F}$ のタンタルコンデンサを使用する。耐電圧は 50V

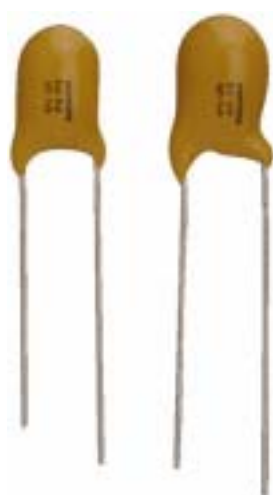


図 3-5-10 タンタルコンデンサ

その他(箱、基板など)

DC-DC やコンデンサ、ポリスイッチを基板に乗せ、ひとつの箱に収納する。基板はサンハヤテの ICB90(1.6t×45mm×91mm 1.0 2.54mm ピッチドット片面) パッケージ用 BOX には READ 社の P4(100mm×40mm×70mm アルミシャーシ) を使った。

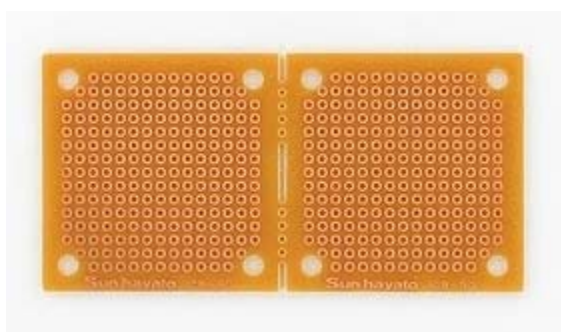


図 3-5-11 基板(ICB90)



図 3-5-12 アルミシャーシ(P4)

また入出力の端子は安全性や汎用性からコンセントで行うことにした。
完成品は図 3-5-13 である。初期に作ったものなので DC-DC が RECOM 社製ではなく DENSEI LAMBDA 社製の PP25-12-5 である。形状、性能共に RECOM 社 RP20-1205 とほぼ同じである。仕様の際はオス-オスのコンセントコネクタを電源システムと in 側に繋ぎ、out 側と消費機器にあったコネクタを繋げて使用する。安全性を考慮してコンセントコネクタは陽極と陰極で大きさが異なり、ショートを防止している。

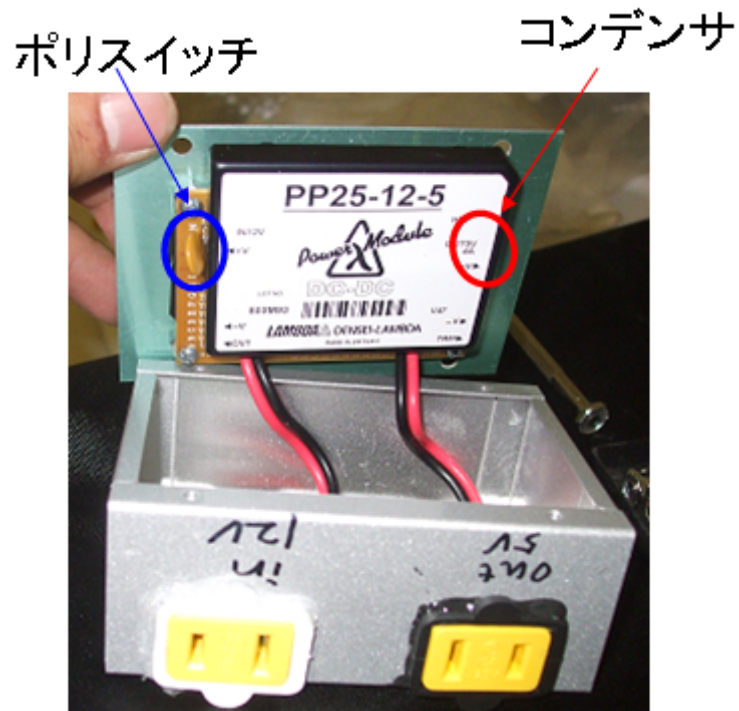


図 3-5-13 12VDC-5VDC(完成品)

またこれらをパッケージしたのが図 3-5-14 である。図 3-5-14 は LR タワーで、BOX 間は筒が通されている。この筒の中をケーブルが通されていて、8 枚の太陽電池と 12 個のバッテリーが繋がれている。3-3 項で説明したようにバッテリーは 0 以下になると取り出せる容量が急激に低下することからクーラー-BOX の中に入れられていて、上段のクーラー-BOX の中にはチャージコントローラーも入っている。また上段クーラー-BOX 上にあるのがモニタリングセンサー-BOX で、ここでバッテリー電圧、電流を測定している。またバッテリーに ADC のシグナル順に番号を振った。



図 3-5-14 LR 電力システム

4 章 モニタリングシステム

4-1 モニタリングシステム概要

回路に流れる電流、電圧からバッテリーが劣化したかどうか、異常がないかどうかを判断するためにモニタリング装置を作った。この装置の基本単位の構成図を図 4-4-1 に示す。図 4-1-1 にあるように電流、電圧を読み取る ADC と uPC(通信プロトコルを独自のモノから RS232C プロトコルに変換するアダプタ)と分圧器(図中の V)、分流器(図中の A)が内蔵されている。またここで計測されたデータを Nport で IP ベースのプロトコルに変換し、長距離通信モジュールで遠隔地の PC に送る。この PC に日本からアクセスして、操作することができる。2 枚の太陽電池と 1 つのチャージコントローラーが並列に接続した 3 つのバッテリーを 1 セットとし充電しているので、この共通バッテリー電圧とそれぞれの電流値をモニタリングする。ADC は 8 チャンネル仕様で 6 つのバッテリー電流と 2 セットの電圧が読み取ることができる。電圧はバッテリーの両極で取り、電流はグラウンドを共通にして抵抗を流れる電圧差を取っている。充電しているときはプラスの値、放電時にはマイナスの値をとる。

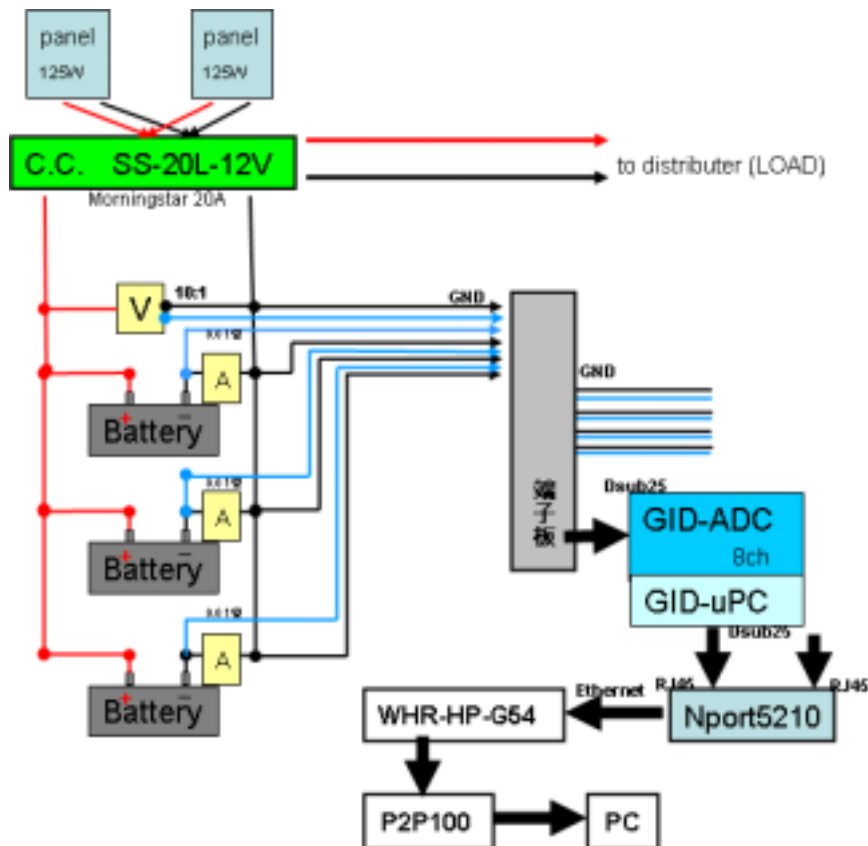


図 4-1-1 モニタリング構成図

4-2-1 ADC

異常やバッテリーの劣化等を見極めるためにバッテリーの両極間の電圧、電流を測定する。バッテリーは並列に接続されているので、電圧値はどのバッテリーもほぼ変わらない。しかし、電流値は各バッテリーの劣化度によって内部抵抗値が変化するので数値を見ればある程度の判断はできる。

今回使用する AD コンバータは GID-ADC という 12 ビット 8 チャンネル入力のものである。GID-ADC の仕様を表 4-2-1、外観を図 4-2-1 に示す。測定するのは 3 つのバッテリーの各電流と一セットの電圧で 4 チャンネル。1BOX の 4 枚のパネルと 6 個のバッテリーで 8 チャンネルとなる。

表 4-2-1 シリアル接続汎用 ADC (GID-ADC)

分解能	1mV ステップ 12Bit 分解能
絶対精度	±2LSB 直線性は保証
測定範囲	0 ~ +4095mV または -2048 ~ +2047mV
速度	486DX 以上のパソコンで 8000 測定/秒、2ch 測定なら各々 4000 回程度
入力	8ch, 18PF+10k が直列、測定毎に電荷が完全放電するように入力電流が流れるので 8000cnv/sec の場合 6M ほどに見える
出力	1ch、RS232C レベルおよび、0-5V フルスイングのデジタル出力端子を 同一制御 ±5V の電圧出力端子
保護	MAX186 の入力端子がそのまま出ているので外部保護回路が必要になることが多い
接続	D-sub25pin コネクタ オス = PC 側 メス = アナログ入力側。PC の COM ポートに接続可能 通信プロトコルが独自のものとなるため RS232C プロトコルで接続するには GID-uPC が必要
電源	消費電流 1mA, RS232C からの電源供給で動作。外部から ±7V 以上の電源供給可能



図 4-2-1 GID-ADC

通信方式を RS232C プロトコルにしたいので GID-uPC にも接続する。

GID-uPC の外観を図 4-2-2 に示す。図中で赤丸は DC-DC、緑丸はダイオード、黄丸は IC チップである。

uPC の特徴を下記に示す。

- : GID-ADC と接続して使用する遠隔計測用アダプタ
- : 任意の間隔(1,5,10 分)で自動計測、結果を RS232C で送信
- : 12 ビット 8 チャンネル
- : 小型、低消費電力、外部電源不要
- : GID-ADC と TNC やモデムの間接続して使用

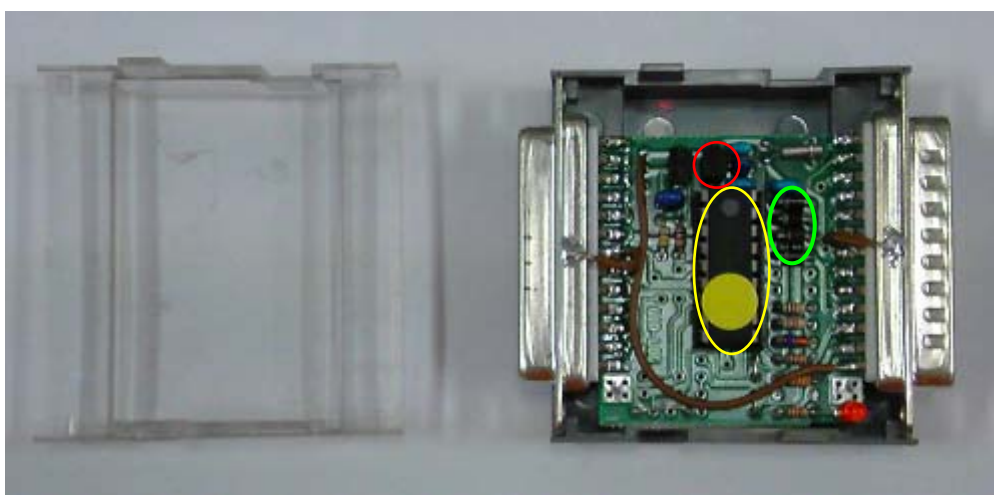


図 4-2-2 GID-uPC

日本で GID-ADC と uPC を接続し、PC で計測した試験では常に動作し続けたが、実験地で図 4-1-1 のように Nport と無線 LAN に接続し、遠隔操作したときは動作しなかった。この原因を調べるために IC チップ(PIC16F84A、図中の黄丸)周辺の電圧を計測した。IC チップの電源は ADC 内にある DC-DC で 5V が入力される。計測箇所は Nport の RS232C から入力されるダイオード直前の電圧(表中の入力時)、ADC 内の DC-DC に入力される前の電圧(表中の DC-DC 前)、DC-DC で 5V に調整された後の電圧(表中の DC-DC 後)である。試験は 10 毎に計測した。この結果を表 4-2-2 に示す。また回路図を図 4-2-4 に示す。

表 4-2-2 DC-DC 前後の電圧

一つ目の GID-ADC,GID-uPC			
入力時(V)	DC-DC 前(V)	DC-DC 後(V)	
5.172	4.935	4.832	
5.198	4.975	4.837	
5.196	4.945	4.833	
5.196	4.948	4.832	
5.198	4.955	4.836	
5.195	4.945	4.983	
平均	5.193	4.951	4.859

GID-ADC と uPC に個体差があるかどうかを調べるために、GID-ADC、uPC を他のものと交換して再度計測した結果を表 4-2-3 に示す。

表 4-2-3 交換後の DC-DC 前後の電圧

二つ目の GID-ADC,GID-uPC			
入力時(V)	DC-DC 前(V)	DC-DC 後(V)	
5.147	4.897	4.786	
5.151	4.905	4.791	
5.15	4.847	4.788	
5.15	4.898	4.786	
5.016	4.85	4.79	
5.149	4.842	4.784	
平均	5.128	4.873	4.788

ADC を動作させるのには IC チップに 5V の電圧を供給しなければならない。この 5V を供給するための DC-DC が入力電圧 6~20V を出力電圧 5V に変換するものなので、最低でも DC-DC 直前に 6V は必要であるが上の表からわかる様に 5V を下回っていた。したがって入力電圧を上げるように改造した GID-ADC を図 4-2-3 に示す。

ダイオードの直前(黄丸で囲った箇所)に RS232C からではなく別電源(コンセントから 12V)を入れることで必要な電力を補った。またケースに穴をあけてコードを通した。

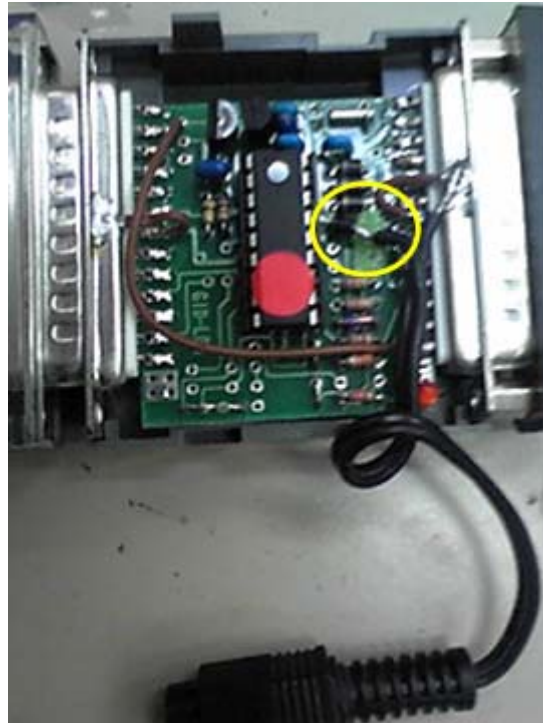
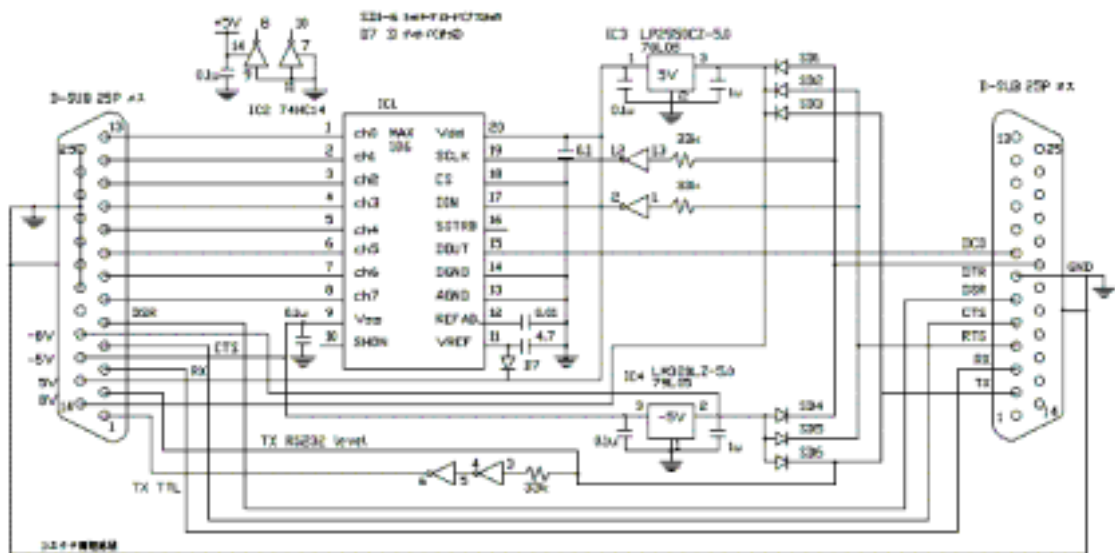


図 4-2-3 改造後の GID-ADC



GID-ADC 数理設計研究所

図 4-2-4 GID-ADC 回路図

4-3 分圧器、分流器

バッテリーの電圧が 12～15V で ADC の測定範囲内(0～4095mV)に収まらないので電圧を 1/100 に分解する分圧器を使う。また電流を測るために分流器を使用する。これは精度の良い抵抗であり、抵抗を流れる電流を電圧で読み取る。これは 20A/200mV の分流比である。分圧器の外観を図 4-3-1 に、分流器の外観を図 4-3-2 に示す。



図 4-3-1 分圧器



図 4-3-2 分流器

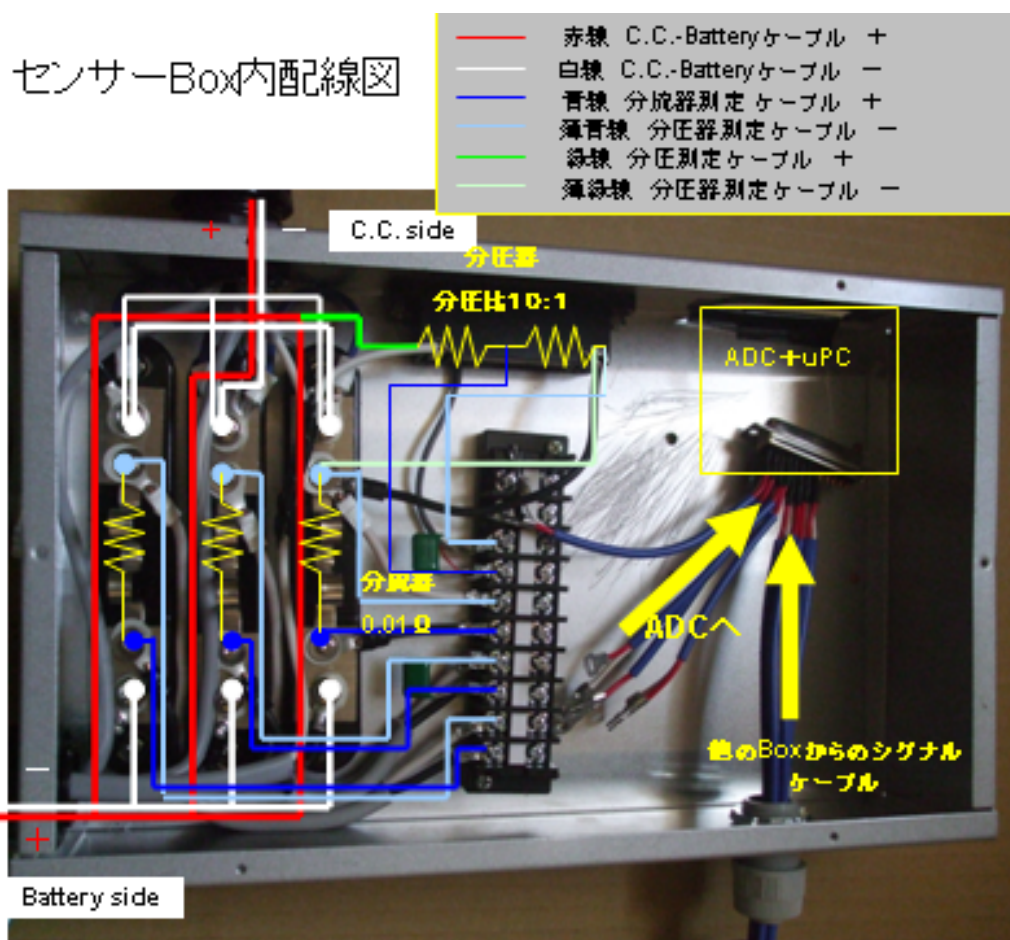
これらのセンサー群をまとめてパッケージングした。

パッケージするための箱は LEAD 社 P11(300mm×70mm×180mm)を使用した。



図 4-3-3 アルミシャーシ(P11)

図 4-3-4 に示されるようにセンサーBOX 内に分圧器が 1 個、分流器 3 個、コンデンサ、ADC、uPC が収められている。またこの後グラウンド線を何箇所か繋げて基準値の誤差を小さくした。



4-4 Nport

GID-ADC では通信方式が独自のモノになっているので、ADC-uPC で RS232C プロトコルに変換し、Nport で IP ベースのイーサネット LAN に接続できるようにする。これにより遠隔地でのデータ収集を可能にした。Nport の外観を図 4-4-1 にその仕様を表 4-4-1 に示した。

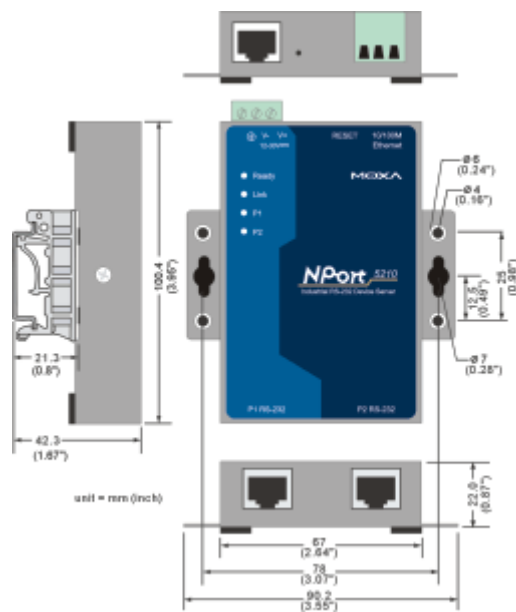


図 4-4-1 Nport の外観と寸法

表 4-4-1 Nport の仕様

イーサネット	10/100Mbps, RJ45
インターフェイス	RS-232C ポート
ポート数	2
ポートタイプ	RJ45 8 ピン
信号	TxD, RxD, RTS, CTS, DTR, DSR, DCD, GND
電源入力	12 ~ 30 VDC
消費電力	305mA (@ 12VDC)
サイズ (W x D x H)	90 x 100.4 x 22 mm (取付金具付) 67 x 100.4 x 22 mm (取付金具なし)
重さ	0.135kg
動作温度	0 ~ 55 , 5 ~ 95% RH
保管温度	-20 ~ 85 , 5 ~ 95% RH

4-5 無線 LAN ルーター

Nport で TCP/IP プロトコルに変換しこれを無線 LAN ルータ(WHR-HP-G54)で長距離通信モジュールまで送る。無線 LAN ルーターの外観を図 4-5-1、その仕様を表 4-5-1 に示す。



図 4-5-1 無線 LAN ルーター

表 4-5-1 無線 LAN ルーター

[無線 LAN インターフェース部]	
規格	IEEE802.11g/IEEE802.11b(無線 LAN 標準互換 プロトコル)準拠、ARIB STD-T66(2.4GHz 帯小電力 データ通信システム規格)
伝送方式	直接拡散型スペクトラム拡散(DS-SS 方式)、 直交波周波数分割多重変調(OFDM 方式)、 単信(半二重)
周波数範囲	2,412 ~ 2,472MHz(1 ~ 13ch)
データ転送 速度(規格値)	6 / 9 / 12 / 18 / 24 / 36 / 48 / 54Mbps(IEEE802.11g)、 1 / 2 / 5.5 / 11Mbps(IEEE802.11b)
アクセス方式	インフラストラクチャモード、WDS モード
リピータ機能	対応(最大 6 台)
電源	AC100V 50/60Hz
消費電力	最大 4.5W
外形寸法	W28 × H130 × D144mm(スタンド、アンテナ含まず)
重量	245g(スタンド、アンテナ含まず)
動作環境	温度 0 ~ 40 、湿度 10 ~ 85%(結露なきこと)

4-6 データフォーマット

使用したモニタリングプログラムは GID-ADC の公式サイトにあるプログラムを改造した。このモニタリングプログラムは付録に載せている。

GID-ADC は 8ch あるので、図 4-4-1 の基本単位の構成図の 2 セット分(バッテリー6 個の 1BOX 分)が計測できる。(電圧値 2ch、電流値 6ch)

データフォーマットは表 4-6-1 になる。時間は秒単位でデータを取り始めてからの積算である。電圧は 1 カウント=1mV となっているが、分圧器によって 1/100 になっているので、赤で表示したようにカウント 1257 なら電圧は 12.57[V]となる。電流は分流器によって 20A/200mV になっているので青のようにカウント - 8 なら電流は - 0.8[A]となる。正の値はバッテリーに充電電流が流れているときで、負の値のときはバッテリーから消費電流が流れているときである。

図 3-4-14 でバッテリーに振った番号順にデータが出力される。

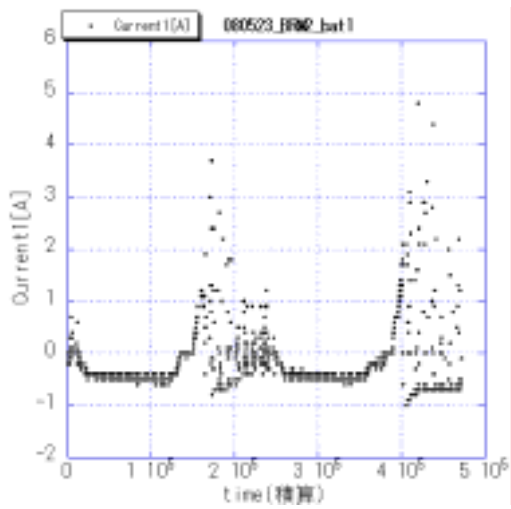
表 4-6-1 データフォーマット

日付け	時間 [s]	電圧 123	電流 1	電流 2	電流 3	電圧 456	電流 4	電流 5	電流 6
80717	80320	1257	-8	-5	-10	1257	-9	-9	-8
80717	80336	1256	-8	-4	-10	1257	-8	-9	-7
80717	80406	1257	-8	-4	-10	1257	-8	-9	-7
80717	80420	1257	-8	-4	-10	1257	-7	-9	-8
80717	80436	1256	-8	-5	-10	1257	-9	-9	-7
80717	80506	1257	-9	-4	-10	1257	-8	-9	-8
80717	80520	1257	-8	-4	-10	1257	-8	-9	-8
80717	80536	1256	-7	-5	-10	1257	-8	-9	-7
80717	80606	1257	-9	-5	-10	1257	-8	-9	-8
80717	80620	1257	-9	-4	-10	1256	-7	-9	-8
80717	80636	1257	-8	-4	-10	1256	-7	-10	-8
80717	80706	1257	-8	-5	-10	1257	-6	-10	-8
80717	80720	1257	-9	-4	-10	1257	-7	-9	-7
80717	80736	1257	-8	-4	-9	1256	-7	-9	-8
80717	80806	1257	-9	-5	-10	1257	-8	-9	-8
80717	80820	1257	-9	-4	-10	1257	-7	-10	-7
80717	80836	1257	-8	-4	-9	1257	-7	-10	-7

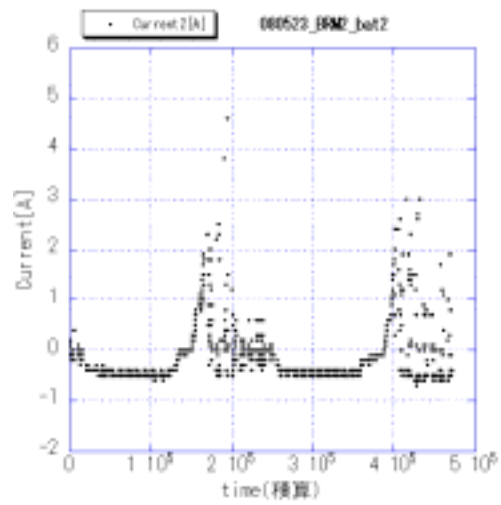
4-7 データ解析

前項で説明したように、モニタリングはバッテリー6個(1BOX分)の電流、電圧を計測している。また計測は2BOX分だけを計測していて、BOX裏側から見て右を1、左を2としている。したがって、3BOXある通信塔でも2BOX分しか計測していない。図4-7-1~図4-7-6まではBRM2の08/05/23から約2日間の電流値をプロットした。横軸はデータを取り始めてからの秒単位のシリアル時間、縦軸に電流値[A]を取っている。昼間は充電されているので電流値は正の値を取り、満充電になるとチャージコントローラーの影響で波形が崩れている。夜間はバッテリー毎に消費分の電流値が流れ、負の値を取っている。どのバッテリーもほぼ同じ波形(特に消費の部分)をとっていることからバッテリーの劣化度はどれも同程度だといえる。

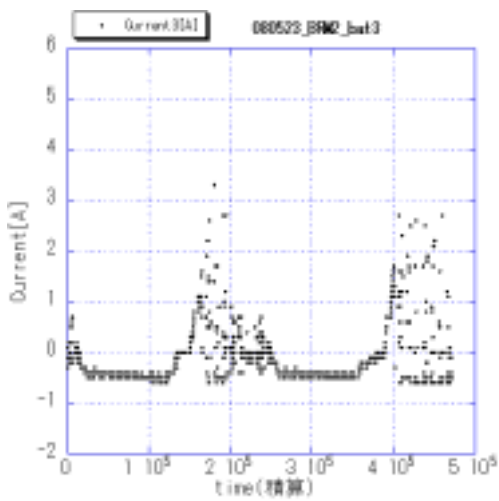
図4-7-7,図4-7-8は横軸にシリアル時間、縦軸に電圧[V]をとっている。昼間はチャージコントローラーの影響で若干ばらつきがあるが14.1~3[V]の値をとる。夜間は12.7[V]から徐々に消費され電圧降下していき、約8時間後には12.5[V]で充電が開始される。つまり、1時間で0.25[V]電圧が下がっていることが分かる。



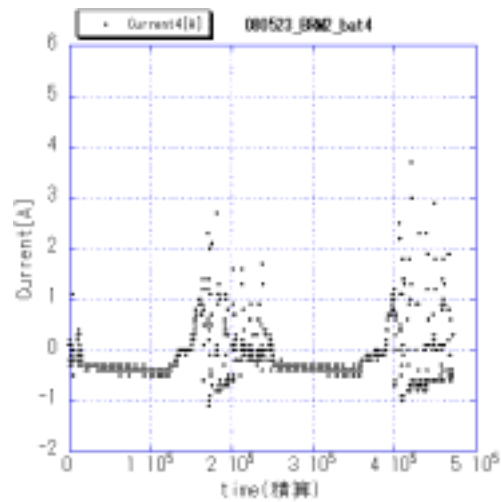
☒ 4-7-1 BRM2_Current1[A]



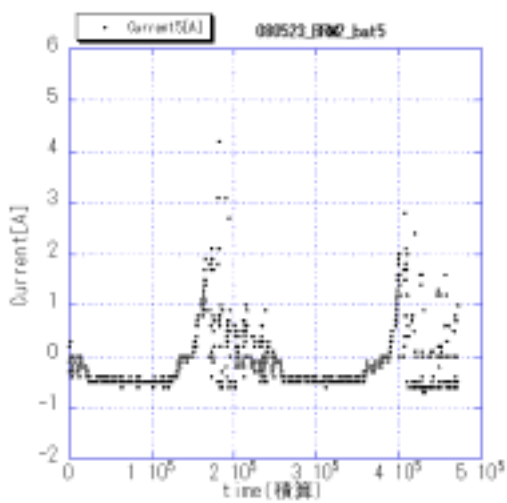
☒ 4-7-2 BRM2_Current2[A]



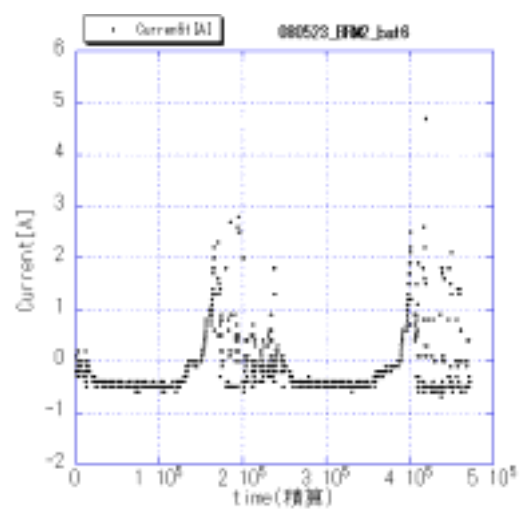
☒ 4-7-3 BRM2_Current3[A]



☒ 4-7-4 BRM2_Current4[A]



☒ 4-7-5 BRM2_Current4[A]



☒ 4-7-6 BRM2_Current6[A]

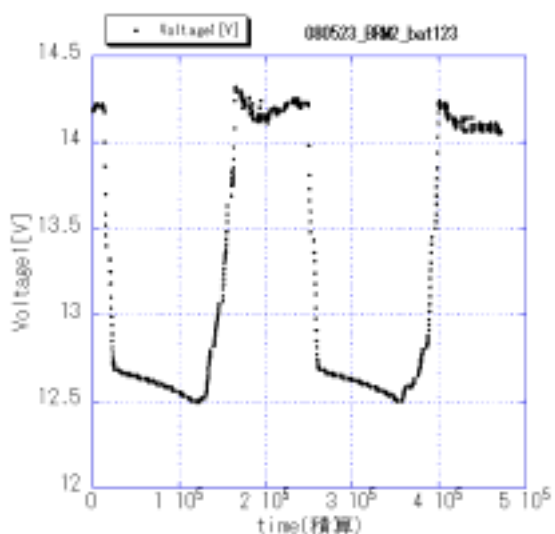


図 4-7-7 BRM2_Voltage1[V]

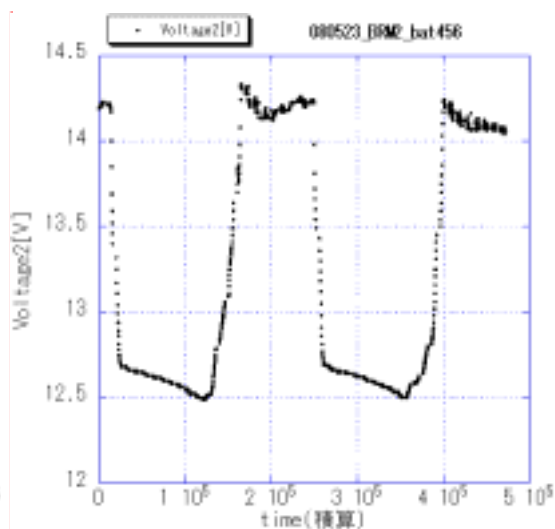


図 4-7-8 BRM2_Voltage2[V]

夜間の電流値、電圧値、電力値の平均を(消費だけの電流値)表 4-7-1 に示す。表 4-7-1 から BRM2(1BOX)の消費電力は 34.5[W]であることが分かった。電流値は絶対値表記である。

表 4-7-1 消費電力

	電流値[A]	電圧[V]	電力[W]
battery	0.46	12.59	5.79
battery	0.46	12.59	5.79
battery	0.46	12.59	5.79
battery	0.39	12.59	4.91
battery	0.49	12.59	6.17
battery	0.48	12.59	6.04
Total			34.49

図 4-7-9~図 4-7-14 までは LR2 の 08/05/23 から 2 日間の電流値をプロットしたものである。BRM2(図 4-7-1~図 4-7-6)と比べると全体的に消費電流が大きいことが分かる。顕著なのは図 4-7-10 の赤でプロットしたものである。消費電流が最大で 1.7[A]でその後、電流値が上がっていく(消費量としては下がっていく)。また昼間の充電電流も他と比べると 4[A]を超えていて異常であることが分かる。センサーの異常やグラウンドの取り方がおかしいのか考察してみたが波形そのものが異常であるため、バッテリーの劣化によるものと判断した。LR にバッテリーをインストールしたとき、新品のバッテリーの数が足りず、バッテリー NO 〇〇 は古いバッテリーを使用したのが背景にあるからだ。バッテリー 〇〇 はどれも電流値が大きいことがわかる。ただし、直前に電圧値は測っていてそこからは判断が付かなかった。

LR2(080523)

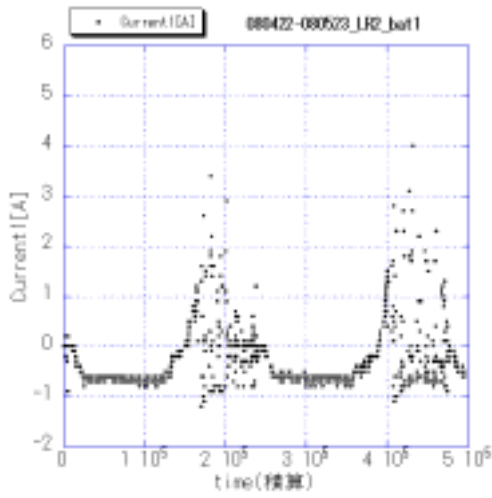


図 4-7-9 LR2_Current1[A]

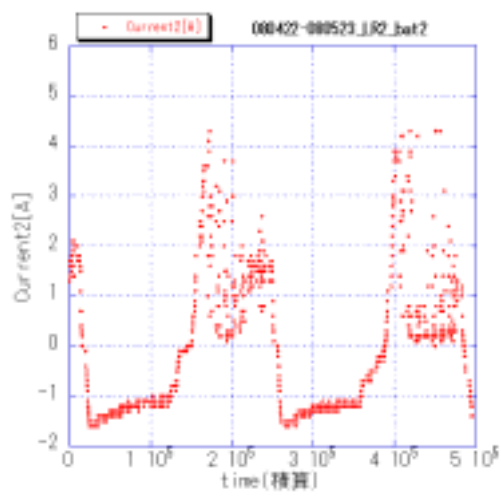


図 4-7-10 LR2_Current2[A]

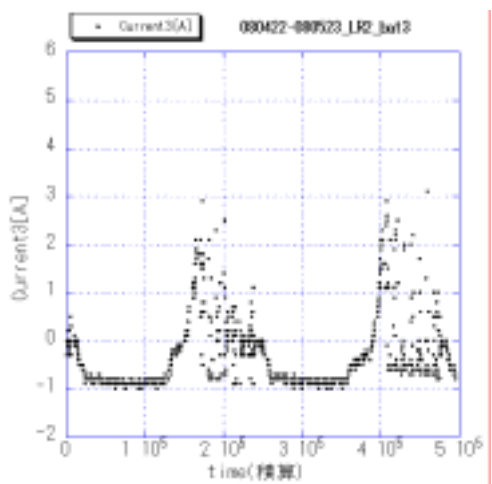


図 4-7-11 LR2_Current3[A]

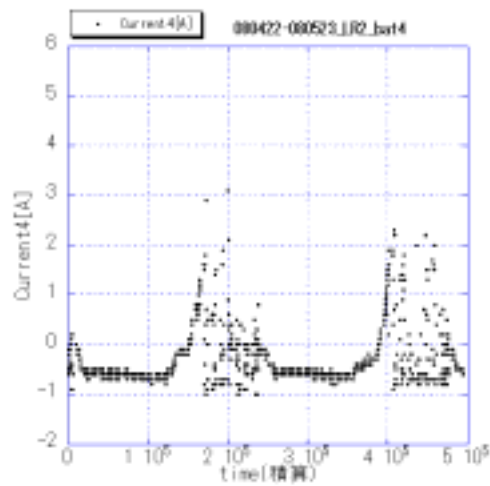


図 4-7-12 LR2_Current4[A]

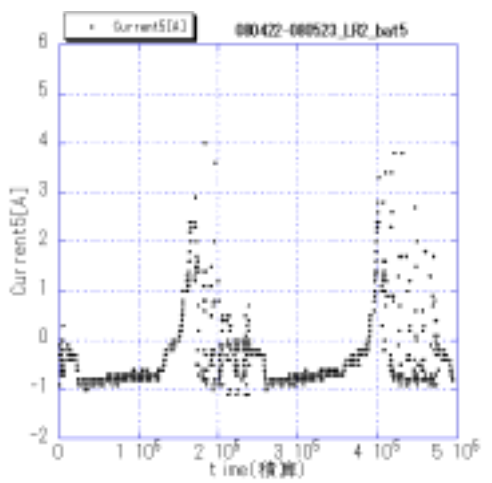


図 4-7-13 LR2_Current5[A]

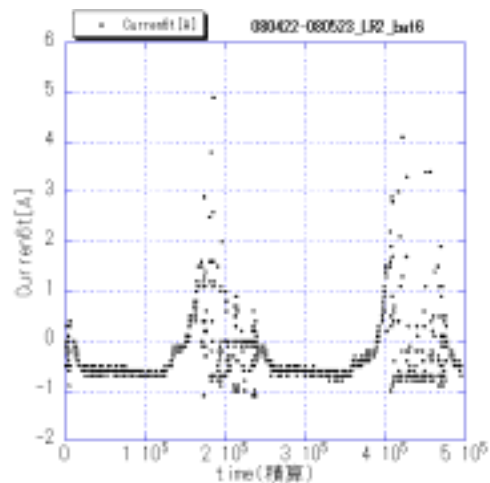


図 4-7-14 LR2_Current6[A]

また LR2 の 08/05/23 から 2 日間の消費電圧をプロットしたものが図 4-7-15,図 4-7-16 である。BRM2 の電圧(図 4-7-7,図 4-7-8)と比べると波形や値に変化は見られない。やはりバッテリーが劣化した兆候は電流値に依存することが分かった。

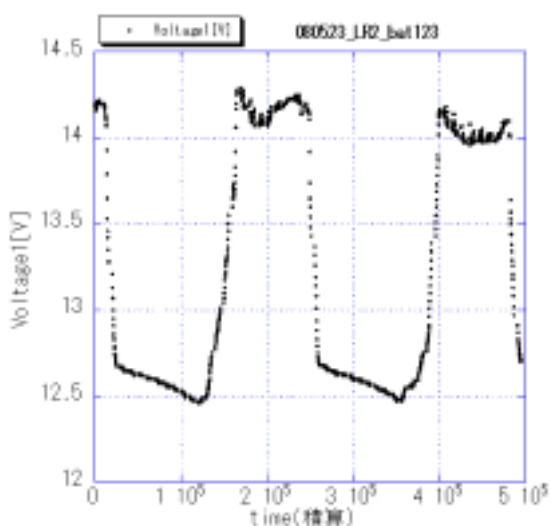


図 4-7-15 LR2_Voltage1[V]

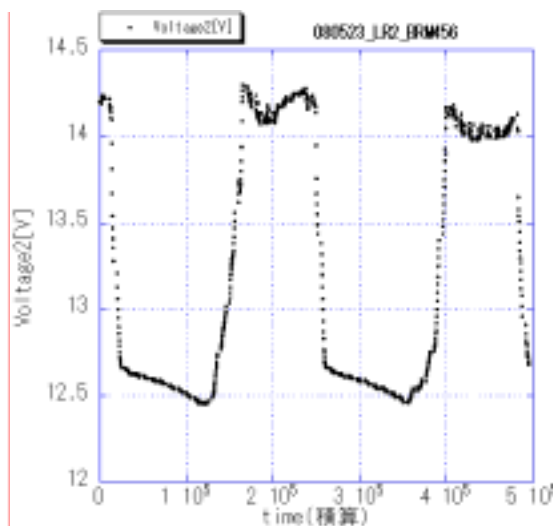


図 4-7-16 LR2_Voltage2[V]

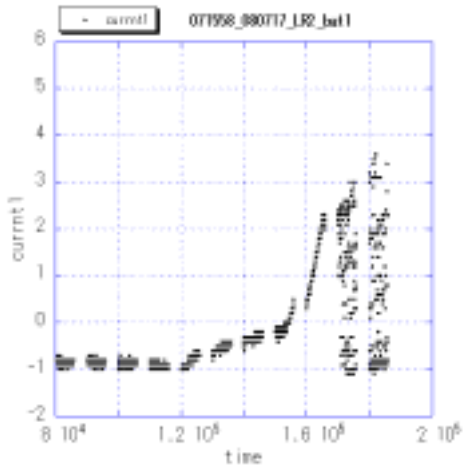
また夜間の消費電流、電圧、電力を示したのが表 4-7-2 である。電流値が大きいので消費電力は通常では考えられないほど大きな値を取っている。2 章の表 2-2-1 で示したように本来は LR の場合 2BOX で 67.3[W]なので、1BOX の消費が 30 数[W]になるはずである。これは劣化したバッテリーに引っ張られて、他のバッテリーも実際の電流値よりも大きい値を取っていると考えられる。

表 4-7-2 消費電力

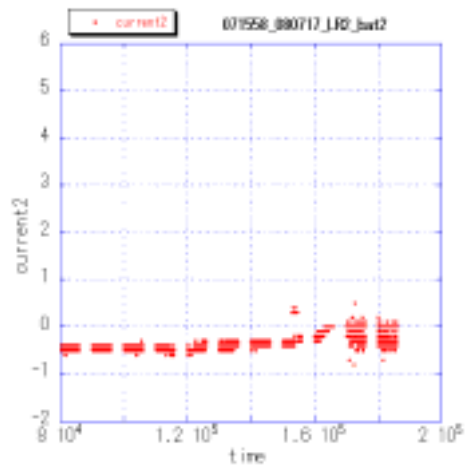
	電流値[A]	電圧[V]	電力[W]
battery	0.66	12.57	8.30
battery	1.2	12.57	15.08
battery	0.86	12.57	10.81
battery	0.62	12.56	7.79
battery	0.77	12.56	9.67
battery	0.63	12.56	7.91
total			59.56

考えにくいですが、もしこの電流値が本当だとしたらシステムが止まる可能性がある。そこで、確認するためバッテリー をはずしてデータを取った。それが 08/7/17 のデータで図 4-7-17~図 4-7-22 である。消費が分かりやすいように夜間のデータを拡大している。

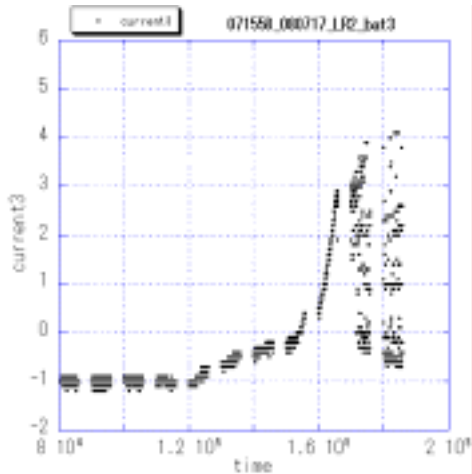
080717_LR2



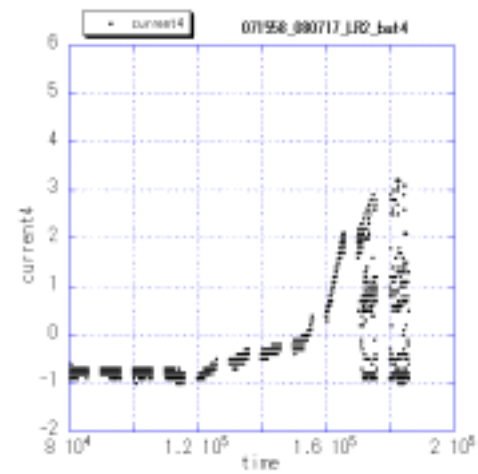
☒ 4-7-17 LR2_Current1[A]



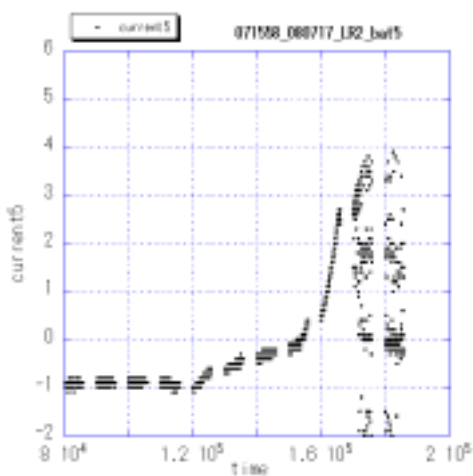
☒ 4-7-18 LR2_Current2[A]



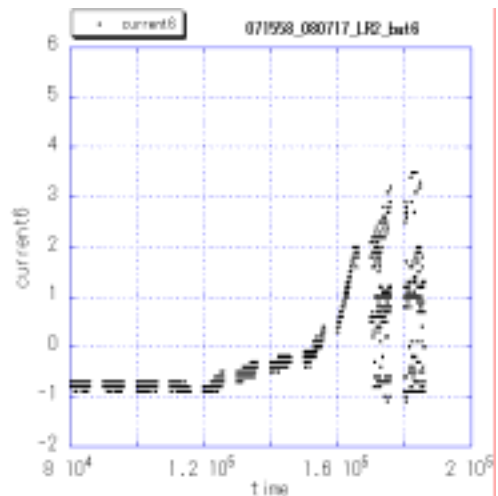
☒ 4-7-19 LR2_Current3[A]



☒ 4-7-20 LR2_Current4[A]



☒ 4-7-21 LR2_Current5[A]



☒ 4-7-22 LR2_Current6[A]

図 4-7-18 ではバッテリーが繋がっていないにも関わらず消費電流があることがわかる。他の電流値も電力設計よりも大きい値を取っている。ここで他のバッテリーが、消費するはずのないバッテリーの電流値に引っ張られていると考え、バッテリーの消費分を引くと表 4-8-3 のようになる。

表 4-7-3 補正後の電力

	電流[A]	補正後の電流[A]	電圧[V]	電力[W]	補正後の電力[W]
battery	0.85	0.41	12.54	10.66	5.14
battery	0.44	0	12.54	5.52	0
battery	1.1	0.67	12.54	13.79	8.40
battery	0.77	0.33	12.54	9.66	4.14
battery	0.9	0.46	12.54	11.29	5.77
battery	0.78	0.34	12.54	9.78	4.26
total				60.7	27.71

表 4-7-3 のように補正後の電力合計は 27.71[W]となり、電力設計に近い値をとった。したがってバッテリーはすでに劣化したもので、他のバッテリーが引っ張られた値を取っているという予測が正しい可能性は高い。今の LR での消費量ではバッテリーが 11 個でも止まらないことはシミュレーションから分かっているので他のバッテリーが劣化したタイミングで交換しようと思っている。

第 5 章 まとめ

5-1 まとめ

TA 計画の地表検出器(SD)のデータ収集、トリガー作成、長距離間のデータ転送や無線機器の中継地点として 3 ヶ所の通信塔が設置されている。この通信塔への安定した電源供給システムを構築するために以下のことを行った。

- 1、 3 ヶ所の通信塔の消費電力に見合う太陽電池とバッテリーの数をシミュレーションにより、安定して稼働できるように適正値を求め、システムを設計した。
各通信等の消費電力の合計は LR=67.3W、SK=77.6W、BRN=96.3W となる。
太陽電池とバッテリーの数は
LR : 太陽電池 8 枚、バッテリー12 個。SK,BRM : 太陽電池 12 枚、バッテリー18 個。
- 2、 バッテリー電圧は 12~15V で変動するので、各機器に安定した電圧を供給するために DC-DC にリセット可能デバイス(ポリスイッチ)を実装し、遠隔地で交換する必要がないように設計した。またアルミシャーシ内にコンパクトに納めた。
- 3、 電源供給システムのバッテリー状況をモニタリングするシステムを開発、実装した。
バッテリーの充放電時の電流、電圧値が計測され現地の PC に保存される。この PC に日本からアクセスすることで制御、解析することができる。主に電流値を解析することでバッテリーの劣化などの不具合を検知することができる。

今現在、通信塔の電源供給システムは 1 度も止まることなく動いている。

参考文献

- [1] テレスコープアレイ実験における地表粒子検出器の性能評価 宮田 孝司
- [2] 太陽光発電を利用した宇宙線実験電源供給システム 富田 孝幸
- [3] 山梨大学におけるパネル仰角60度の太陽光発電に関する研究 岩本 祥平
- [4] バッテリーの温度特性及び耐久試験(2) 望月 靖仁
- [5] ポリスイッチ取扱説明書

付録 モニタリングプログラム

```
/*
 *   GID-uPC からのデータを受信する
 *
 *   改定履歴 Aug 18 2004
 *           新規作成
 *
 *   通信条件：1200bps, 8N1, フロー制御なし
 *   通信条件を設定後、GID-uPC に 'z' を送信する。
 *   その後、受信したデータをファイルへ出力する。
 *
 *   # gcc -o rs232c -O2 -Wall rs232c.c
 *
 */

#include <sys/types.h>
#include <errno.h>
#include <fcntl.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <termios.h>
#include <unistd.h>
#include <time.h>
#include <string.h>

static int readData( int fd );
static int getData( int rdchr, int fd );
static int wait05( void );
static int chkconf( void );
static int chkrs232c( void );

#define FnLOGNAME      "/var/Therm/log/Therm.log"
#define FnCONF         "/var/Therm/conf/Therm.conf"
```

```

/*
 *      POSIX 準拠のソース
 */
#define _POSIX_SOURCE 1

/*
 *      RS-232C ポート
 *          COM1 : /dev/ttyS0
 *          COM2 : /dev/ttyS1 <== 我が家は既に com1 を使用しているので COM2 を
使用する
 *          USB-RS-232C : /dev/ttyUSB0 <== /bin/dmseg の指示に従って記述す
る
 */
#define MODEMDEVICE "/dev/ttyS1"

/*
 *      通信速度 1200bps
 */
#define BAUDRATE B1200

/*
 *      受信バッファ
 */
#define BUFSIZE 255
static unsigned char buf[ BUFSIZE + 1 ];

/*
 *      yyyy.mm.dd hh:mm:ss
 */
static char today[64];

/*
 *      main routine
 */

```

```

int main( void )

{
    /*
     *   RS-232C : ファイルハンドル
     */
    int    fd;

    /*
     *   ポート設定用
     */
    struct termios pts;

    /*
     *   ポート復元用
     */
    static struct termios pots;

    /*
     *   起動確認ファイル調べる
     */
    if ( chkconf() == 0 ) {
        fprintf( stderr, "Stop : Config¥n" );
        exit( 0 );
    }

    /*
     *   二重起動のチェック
     */
    if ( chkrs232c() ) {
        fprintf( stderr, "Already started¥n" );
        exit( 0 );
    }

    /*
     *   Daemonize

```

```

    */
switch(fork()) {
case 0: /* Child */
    setsid();
    break;
case -1: /* Error */
    fprintf( stderr, "Fork error [%d : %s]¥n", errno,
strerror(errno) );
    exit( 1 );
default: /* Parent */
    exit( 0 );
} /* switch(fork())
*/

/*
 * RS-232C ポートのオープン
 */
if ( ( fd = open( MODEMDEVICE, O_RDWR | O_NOCTTY ) ) < 0 ) {
fprintf( stderr, "Port open error [%d : %s]¥n", errno, strerror(errno) );
return 1;
}

/*
 * GID-uPC が起動するまで若干の時間待機する
 */
sleep( 8 );

/*
 * port 設定の保存
 */
tcgetattr( fd, &pots );

/*
 * port 設定の初期化
 */
bzero( &pots, sizeof( pts ) );

```

```

/*
 *   port 設定の変更
 *
 *   BAUDRATE : ボーレートの設定
 *   CS8      : 8N1 (8 ビット、ノンパリティ、ストップビット 1)
 *   CLOCAL   : ローカル接続、モデム制御なし
 *   CREAD    : 受信文字を有効にする.
 *   ***** : 出力のフロー制御なし
 *             CRTSCTS を設定すればハードウェアフロー制御となる.
 */
pts.c_cflag = ( BAUDRATE | CS8 | CLOCAL | CREAD );

/*
 *   IGNPAR : パリティエラーのデータは無視する
 *   ICRNL  : CR を NL に対応させる(これを行わないと他のコンピュータ
で
 *           CR を入力しても入力が終りにならない)
 *           それ以外の設定では、デバイスは raw モードである(他の入力処理は行
われない)
 */
pts.c_iflag = ( IGNPAR | ICRNL );

/*
 *   Raw モードでの出力
 */
pts.c_oflag = 0;

/*
 *   set input mode ( canonical, no echo,... )
 */
pts.c_lflag = ICANON;

pts.c_cc[VTIME] = 0;    /*   キャラクタ間タイムは未使用
 */
pts.c_cc[VMIN]  = 1;    /*   1 文字受け取るまでブロックする */

```



```

/*
 *   port 設定を有効にする
 */
tcflush( fd, TCIFLUSH );
if ( tcsetattr( fd, TCSANOW, &pts ) < 0 ) {
    fprintf( stderr, "Set termios error [%d : %s]¥n", errno, strerror(errno) );
    close( fd );
return 1;
}

/*
 *   4, 9, 14, ... の各分になるまで待機する
 */
while ( wait05() ) {
    /*
     *   データ受信とログの記述
     */
    if ( readData( fd ) ) {
        /*
         *   エラーの場合は処理を中止する
         */
        break;
    }
    sleep( 50 );
}

/*
 *   端末設定を復元して終了
 */
tcsetattr( fd, TCSANOW, &pots );
close( fd );
return 0;
}

```

```

/*
 * GID-ADC から 10 秒間隔で 3 回データを受信する
 * 受信したデータは、ログに追加する
 *
 * 戻り値
 *   0 : 正常
 *   1 : 異常または終了
 */

static int readData( int fd )

{
    int          i;
    FILE        *fp;

    /*
     *   10 秒間隔で 3 回データを取得する
     */
    for ( i = 0; i < 3; i++ ) {

        /*
         *   GID-uPC へデータの送信を指示する
         */
        strcpy( buf, "z" );
        write( fd, buf, 1 );

        /*
         *   K を受信するまで待機する
         */
        if ( getData( 'K', fd ) ) {
            fprintf( stderr, "Read K timeout error [%d : %s]¥n", errno,
strerror(errno) );
                return 1;
        }

        /*

```

```

        *      先頭が 0 の行を受信する
        */
        if ( getData( '0', fd ) ) {
            fprintf( stderr, "Read Data timeout error [%d : %s]¥n", errno,
strerror(errno) );

                return 1;
        }

        /*
        *      受信したデータを LOG へ出力する
        */
        fp = fopen( FnLOGNAME, "a+" );
        fprintf( fp, "%s %s¥n", today, buf );
        fclose( fp );
        sleep( 10 );
    }
    return 0;
}

/*
*      rdchr で指定された文字を受信するまで待機する
*      受信したデータは、buf へ格納する
*
*      戻り値
*      0 : 正常
*      1 : 異常
*/
static int getData( int rdchr, int fd )

{
    /*
    *      select 関数で待機するディスクリプタ
    *      (RS-232C からの入力)
    */
    fd_set ready;

```

```

/*
 *   select 関数用待ち時間設定
 *   ( 1 0 秒)
 */
struct timeval tv;

/*
 *   select 関数の戻り値
 */
int          rc;

int          sz;

while ( 1 ) {

    FD_ZERO( &ready );
    FD_SET( fd, &ready );

    /*
     *   10 秒間監視する
     */
    tv.tv_sec  = 10;
    tv.tv_usec = 0;
    rc = select( fd + 1, &ready, NULL, NULL, &tv );
    if ( rc == 0 ) {
        return 1;
    }
    /*
     *   データ受信
     */
    sz = read( fd, buf, BUFSIZE );
    if ( sz > 0 ) {
        *( buf + sz - 1 ) = 0x00;
        if ( *buf == rdchr ) {

```

```

        return 0;
    }
}

/*
 *   5分の倍数の -1 の(つまり、4、9、14分,...)時刻になるまで待機する
 *   しかし、返す時刻の分は5分とする。
 *   today : yyyy.mm.dd hh:mm:ss
 *
 *   戻り値
 *   0 : 終了
 *   1 : 処理継続
 */

static int wait05( void )

{
    struct tm *ldate;
    time_t ltime;
    int      mm;

    if ( chkconf() == 0 ) {
        return 0;
    }

    while ( 1 ) {
        time( &ltime );
        ltime += 60;
        ldate = localtime( &ltime );
        if ( ( ldate -> tm_min % 5 ) == 0 ) {
            sprintf( today, "%04d.%02d.%02d %02d:%02d:%02d",
                    ldate -> tm_year + 1900, ldate ->
tm_mon + 1, ldate -> tm_mday,

```

ldate -> tm_hour, ldate ->

```
tm_min, ldate -> tm_sec );
        return 1;
    }
    sleep( 5 );
}

/*
 * 処理を継続するかどうかを判断する
 *   FnCONF で指定されたファイルの行の先頭に start の記述があれば処理を継続する
 *   start の記述がなければ処理を終了する
 *
 * 戻り値
 *   0 : 終了
 *   1 : 処理継続
 */
static int chkconf( void )

{
    FILE    *fpc;
    char    bf[256];

    fpc = fopen( FnCONF, "r" );
    while ( fgets( bf, 255, fpc ) != NULL ) {
        if ( memcmp( bf, "start", 5 ) == 0 ) {
            fclose( fpc );
            return 1;
        }
    }
    fclose( fpc );
    return 0;
}
```

```

/*
 *      2重起動のチェックを行う
 *
 * 戻り値
 *  0 : 2重起動ではない
 *  1 : 2重起動だ
 */

static int chkrs232c( void )

{
    FILE    *fp;
    char    bf[256];
    int     cnt;
    int     rc;

    rc = 0;
    cnt = 0;
    fp = popen( "/bin/ps ax | /bin/grep rs232c", "r" );
    while ( fgets( bf, 255, fp ) != NULL ) {
        if ( strstr( bf, "rs232c" ) != NULL ) {
            if ( strstr( bf, "grep" ) == NULL ) {
                cnt++;
                if ( cnt >= 2 ) {
                    rc = 1;
                    break;
                }
            }
        }
    }
    fclose( fp );
    return rc;
}

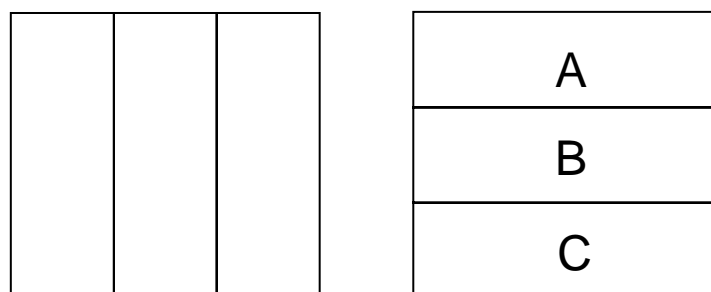
/*# gcc -o rs232c -O2 -Wall rs232c.c */

```

付録 遮蔽の影響

遮光試験

冬期になると積雪による太陽電池表面の遮蔽が考えられる。また、図 3-2-4、図 3-2-4 のように何らかの原因で破損し一部のセルが機能しないことも考えられる。そこで発電面を遮蔽物で被い発電への影響について KC120J で調査を行った。実施日は 2007/3/9 である。遮蔽した面積を分かりやすくするため、36 枚 (6 × 6) の太陽電池で構成されているパネルを 2 列毎に組分けし縦横それぞれ 3 つの組とし以下のように番号とアルファベットを割り振った。太陽電池の区分けを図 6-1 に結果を表 6-1 にまとめた。



裏面にある接続端子のある部分を上辺とする

図 6-1 パネルの区分け

表 6-1 遮蔽による発電効率の低下

Time	遮蔽部分	発電電力[W]	発電効率 [%]
9:01 ~ 9:09		12.222	19.3
9:11 ~ 9:19	,	-0.75	0
9:21 ~ 9:29	close	-0.55	0
9:31 ~ 9:39	A	-0.44	0
9:41 ~ 9:49	A, B	-0.42	0
9:51 ~ 9:59	close	-0.5	0
10:51 ~ 10:59	close	-1.67	0
11:01 ~ 11:09	B, C	-1.15	0
11:11 ~ 11:19	C	-1.3	0
11:22 ~ 11:29	open	73.15	100
11:31 ~ 11:39	close	-1.62	0
11:41 ~ 11:49	,	-0.93	0
11:51 ~ 11:59		9.7	13.2

遮蔽面積率と発電電力には相関は見られず、遮蔽された時点で発電は皆無となってしまうようである。発電が唯一見られたのは縦方向に 33%（2 列分）遮蔽された状態であったが、それも本来の 20% 未満であり通常の発電に遠く及ばなかった。この件について後日、Kyocera に問い合わせたところ、やはり接続はセル 12 個（縦 2 列）が直列で繋がれており、1 枚の太陽電池が発電しなくなれば 12 個のセルが発電せず、残りのセル 24 個で発電はするものの充電するほどの高電圧は得られないとの回答であった。これより、一定以上の積雪の影響は非常に大きくなることが予想され、またパネルに損傷があった際には即時交換を必要とする事を示している。

DELTA での積雪の変化

遮蔽は直接、発電量に影響してくる事が判ったので、宇宙線望遠鏡計画の実験地（UTAH 州 DELTA、Cosmic Ray Center）で 2007/ 1/21 の積雪の残量の変化を追った写真を参考までに添付しておく（図 6-2）。この日は晴天ではあったが気温は終日氷点下であり 8、9、10 時台の平均気温はそれぞれ - 10.0、- 9.3、- 8.6 であったことや屋根などの他の場所の雪が融けていなかったことを考えると、少々融けるのが早いように感じられる。また、翌日以降はパネル下部には残雪があったものの表面からは 10 cm ほど融けて離れており翌日以降は全面に日射が得られ十分な発電があったと推測される。



図 6-2 時間経過と残雪

謝辞

本研究を進めるにあたり、本田教授をはじめ多くの方々の御世話、御協力を頂き、深く感謝の意を示させていただきます。

シミュレーションやモニターシステム製作にあたっては富田孝幸氏、露口勇輔氏に多くの助言、御協力を頂いたことを深く感謝します。

通信塔の建設にあたっては東京大学宇宙線研究所の福島正己教授、佐川宏行助教授、林田直明助手、竹田成宏助手、櫻井信之特任助手、小澤俊介研究員、野中敏幸研究員、有働慈治研究員、得能久生研究員、柴田達信研究員、武多昭道氏、池田大輔氏、木戸英治氏、山川雄一氏、東京工業大学の多米田裕一郎氏、大阪市立大学の荻尾彰一准教授、奥田剛司氏の方々には現地で大変お世話になったことに深く感謝します。

楽しく充実した学生生活を送り、論文を完成させることが出来たのは本田研究室の皆さんのおかげです。石井孝明准教授、鵜飼久氏、相田龍太氏、田中孝尚氏、西盛祐平氏、矢口貴紀氏に感謝します。