

# #SATI-3SX のアームヒーター改造と冷却実験

沖田博文

2012/2/19

## 1 Abstract

#SATI-3SX のアームヒーターは正常に動作していないことが「超音波風速計の冷却実験」(沖田博文、2012年2月5日)から示唆されていたためその原因を探った。分解の結果 50.0H 温度コントローラーを分解すると回路基板に焦げている箇所を発見した。ヒーターの配線を調べたが断線は見つからなかった。よってアームヒーターが正常に動作しなかった原因はコントロール回路の損傷だったことが分かった。

アームヒーターの電源を TEXIO regulated DC power supply PW18-3ADP に変更して冷却実験を行った。アームヒーターの On/Off、山清ヒーターの On/Off、アームヒーターの保温の有無、山清ヒーターの保温の有無をそれぞれ変えて実験を行った。実験の結果アームヒーター On、山清ヒーター On で山清ヒーターをプチプチで保温した条件で $-77^{\circ}\text{C}$ (冷凍庫の最高出力での温度)で正常に動作することを確認した。アームヒーターの保温の有無は関係ないこともわかった。これらの実験結果からドームふじ基地の $-80^{\circ}\text{C}$ 環境でも #SATI-3SX によって  $C_T^2$  の測定が可能なが分かった。

今回の結果には極低温時に温度が $-99.99^{\circ}\text{C}$ となるデータも含まれていた。これは冷凍庫やアームヒーターのプチプチ保温に起因する現象と考えられる。詳細は今後検討する。

## 2 温度コントローラーの分解

東北大学で購入した #SATI-3SX にはメーカーによって予め極地低温対応改造がされている。図 1 左は #SATI-3SX の写真である。極地低温対応改造とはアーム部・送受信機部分にヒーターを巻き付け、カプトンテープによって取り付けたものと思われる。便宜上このヒーターを以降「アームヒーター」と呼ぶ。アームヒーターは Met One Instruments, Inc Heater Control 50.0H 温度コントローラーによって温度制御される。図 1 右はビニール袋に入れた Met One Instruments, Inc Heater Control 50.0H 温度コントローラーである。アームケーブルと温度コントローラーのケーブル長は約 1m と非常に短いため、温度コントローラーも $-80^{\circ}\text{C}$ での使用を前提としていると思われる。電源は #SATI-3SX の電源 BOX から供給する。

ここで「超音波風速計の冷却実験」(沖田博文、2012年2月5日)から、#SATI-3SX アームヒーターは正常に動作していないことが判明しているため原因を探るべく温度コントローラーを分解した。図 2 は分解した 50.0H 温度コントローラーの電子回路基板である。分解の結果実装してある三端子レギュレーター(もしくはトランジスタ)が焦げたような痕があることが分かる。他にもテスターを用いて各種配線の断線を調べた。しかし断線はどこにも見つけることができなかった。これらからアームヒーターが正常に動作しない原因は温度コントローラー基板の三端子レギュレーターの破損が原因であることがわかった。



図1 図左:#SATI-3SX アーム部分。ヒーターが巻き付けられカプトンテープによって固定されている。  
図右:アームヒーターを制御する Met One Instruments, Inc Heater Control 50.0H 温度コントローラー。

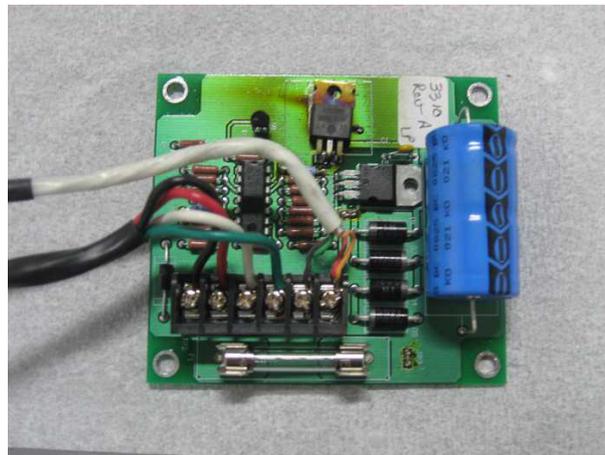


図2 50.0H 温度コントローラーの電子回路基板。実装してある三端子レギュレーター (もしくはトランジスタ) が焦げたような痕があることが分かる。

なお 50.0H 温度コントローラーはどのような制御を行っているか基板を見るだけでは判断できない。今後この 50.0H ヒーターコントローラーを使用せず代替の電源を用いてアームヒーターを使用することとした。

### 3 アームヒーターの加熱実験と分解

50.0H 温度コントローラーからアームヒーターに接続する配線 (HTR+ と HTR- の 2 本) を外して直流安定化電源と繋いでアームヒーターを加熱させてヒーター単独で正常に動作するか調べた。直流安定化電源は TEXIO PW18-3ADP を用いた。電流は 3.000A に固定するように設定した。3.000A 出力した結果電圧は 6.74~6.19V が出力されて指で触ると暖かいのが分かる程度に加熱されることが分かった。アームは全部で 6 本だが、それら全てが同じ程度に加熱されていることもわかった。よってアームヒーター自体は断線しておらず正常に動作することが判明した。なお電圧の値はなぜか不安定であった。

ところでこの実験で測定された電流・電圧からオームの法則を用いて計算すると、抵抗は約  $2\Omega$ 、消費電力

は約 19W であることがわかった。さらにアームヒーターの配線を分解して観察してみるとアームヒーター (合計 6 本) は並列回路となっていた。よってアームヒーター 1 つあたりの抵抗は約  $12\Omega$ 、1 つあたりの消費電力は約 3W となることがわかった。

## 4 冷却実験

アームヒーターが正常に動作するようになったので前回の冷却実験と同様各種条件を変えた実験を行った。

### 4.1 実験方法

冷凍庫に#SATI-3SX 超音波風速計を入れ冷凍庫の電源を On にして徐々に冷却していき何度で使用不可能になるか測定する。(温度降下実験)。また逆に冷凍庫が冷え切った状態で冷凍庫の電源を Off にして徐々に冷凍庫内を暖め、何度で#SATI-3SX が使用可能になるかも測定する(温度上昇実験)。アームヒーターの On/Off、アームヒーターの保温(プチプチ)の有無、山清ヒーターの On/Off、本体の保温(プチプチ)の有無による違いを調べるためにそれぞれ実験し比較する。

### 4.2 実験装置

冷凍庫は日本フリーザー(株)CLN-35C を使用した。CLN-35C は $-80^{\circ}\text{C}$ まで冷却可能である。温度の測定は#SATI-3SX とその近くに設置した Pt100 センサーによって行った。また#SATI-3SX のアーム先端、送受信機付近の温度も Pt100 センサーで測定した。図 3 に Pt センサーの位置を示した。測定精度は#SATI-3SX



図 3 Pt センサーの位置

で約  $\pm 0.016^{\circ}\text{C}$ 、Pt センサーで約  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  である。温度測定データは#SATI-3SX の場合は RS232C で Linux PC に転送し sonic ソフトにて行った。サンプリング周波数 200Hz、測定周波数 20Hz である。また Pt センサーは(株)キーエンス NR1000 データロガーを用いて 1Hz で測定した。

#### 4.2.1 アームヒーター

アームヒーターは前節で述べた通りである。なお実験によっては熱が逃げにくくなるようアームヒーターの周りにエアキャップ(緩衝材、プチプチ)を巻いて保温できるようにした。

#### 4.2.2 山清電気ヒーター

#SATI-3SX 本体部分(アルミパイプ部分)に山清電気(株)L-RHE ヒーター(AC100V・12W、長さ1m)を2本巻いて加熱出来るようにした。便宜上このヒーターを以降「山清ヒーター」と呼ぶ。山清ヒーターにはバイメタルサーモが取り付けられており、5°Cで加熱 On、13°Cで加熱 Offとなる。なお実験によっては熱が逃げにくくなるよう#SATI-3SX 本体部分(アルミパイプ部分)の周りに山清ヒーターを2本巻いた後エアキャップ(緩衝材、プチプチ)を巻いて保温できるようにした。

図4はアームヒーター及び山清ヒーターにエアキャップ(緩衝材、プチプチ)で完全に被った時の写真と山清ヒーターのみエアキャップ(緩衝材、プチプチ)で保温した時の写真である。



図4 図左:アームヒーター及び山清ヒーターにエアキャップ(緩衝材、プチプチ)で完全に被った#SATI-3SX。 図右:山清ヒーターのみエアキャップ(緩衝材、プチプチ)で保温した#SATI-3SX。

### 4.3 実験

2012年2月6日~2月16日にかけて冷却実験を行った。表1、2は冷凍庫の電源を On にする温度降下実験と、冷凍庫を Off にする温度上昇実験に分けて書いた実験一覧である。実験 ID とは実験ノートに記述した実験番号である。アーム・山清はそれぞれアームヒーター、山清ヒーターの On/Off を表し、○が On を、×が Off を意味する。アーム保温・山清保温はそれぞれアームヒーター、山清ヒーターにエアキャップ(緩衝材、プチプチ)による保温を行ったかどうかを表し、○が保温あり、×が保温無しを意味する。

実験 ID	開始時刻	アーム	アーム保温	山清	山清保温
a	2/6 07:40		×	×	×
b	2/6 16:00			×	×
d	2/8 00:30				×
f	2/8 23:45				×
g	2/9 21:24				
i	2/11 19:54				
h	2/10 20:45	×			
m	2/16 16:03		×		

表 1 温度降下実験。アーム・山清はそれぞれアームヒーター、山清ヒーターの On/Off を表し、○が On を、×が Off を意味する。アーム保温・山清保温はそれぞれアームヒーター、山清ヒーターにエアキャップ (緩衝材、プチプチ) による保温を行ったかどうかを表し、○が保温あり、×が保温無しを意味する。

実験 ID	開始時刻	アーム	アーム保温	山清	山清保温
a	2/6 07:40		×	×	×
c	2/7 18:50			×	×
e	2/8 19:15				×
f	2/8 23:45				×
g	2/9 21:24				
i	2/11 19:54				
h	2/10 20:45	×			
m	2/16 16:03		×		

表 2 温度上昇実験。アーム・山清はそれぞれアームヒーター、山清ヒーターの On/Off を表し、○が On を、×が Off を意味する。アーム保温・山清保温はそれぞれアームヒーター、山清ヒーターにエアキャップ (緩衝材、プチプチ) による保温を行ったかどうかを表し、○が保温あり、×が保温無しを意味する。

## 5 結果

### 5.1 温度降下実験

図 5~12 は #SATI-3SX、Pt センサーで測定した温度をプロットしたものである。横軸が実験開始時刻からの経過時間 [hour]、縦軸が温度 [°C] を表す。図中では Sonic は超音波風速計で測定した温度、Pt(air) は超音波風速計付近の (空気) の温度、Pt(arm) は超音波風速計のアーム先端、送受信機付近の温度を意味する。

### 5.2 温度上昇実験

図 13~20 は #SATI-3SX、Pt センサーで測定した温度をプロットしたものである。横軸が実験開始時刻からの経過時間 [hour]、縦軸が温度 [°C] を表す。図中では Sonic は超音波風速計で測定した温度、Pt(air) は超音波風速計付近の (空気) の温度、Pt(arm) は超音波風速計のアーム先端、送受信機付近の温度を意味する。

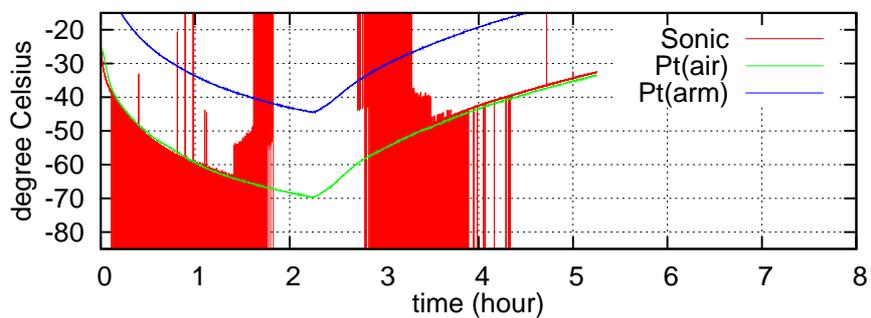


図5 実験 a (アーム、アーム保温×、山清×、山清保温×)

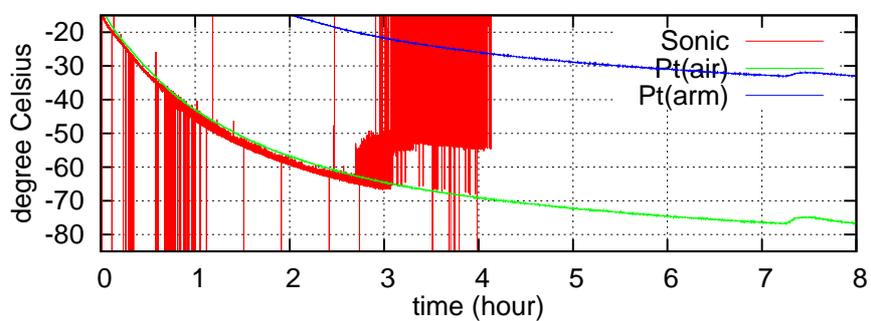


図6 実験 b (アーム、アーム保温、山清×、山清保温×)

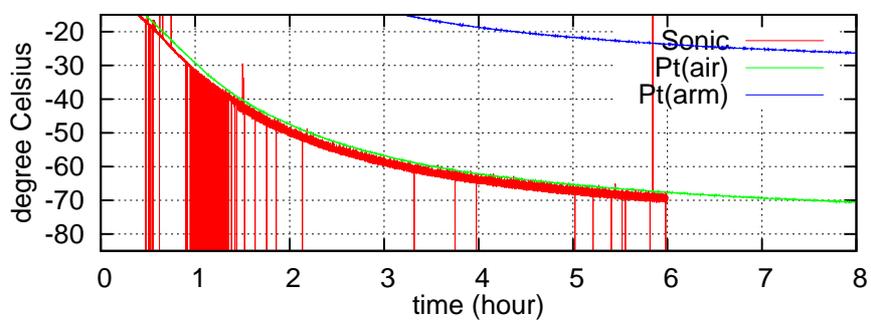


図7 実験 d (アーム、アーム保温、山清、山清保温×)

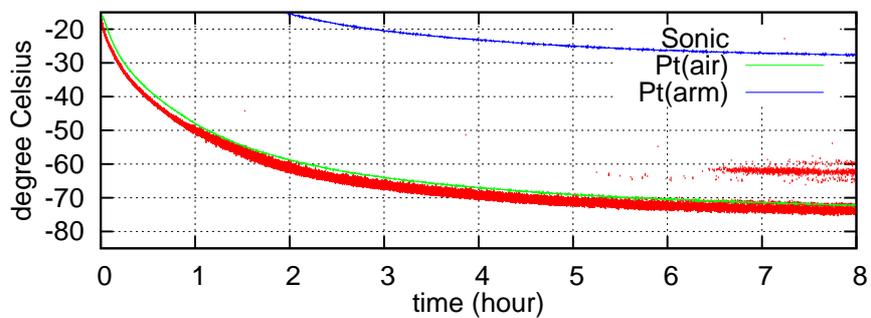


図8 実験 f(前半) (アーム、アーム保温、山清、山清保温×)

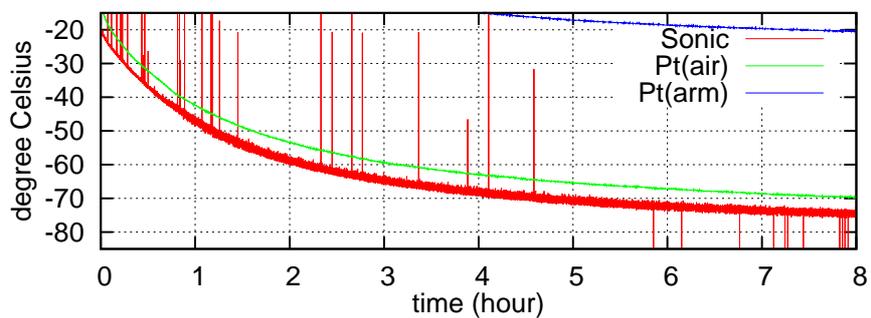


図9 実験 g(前半) (アーム、アーム保温、山清、山清保温)

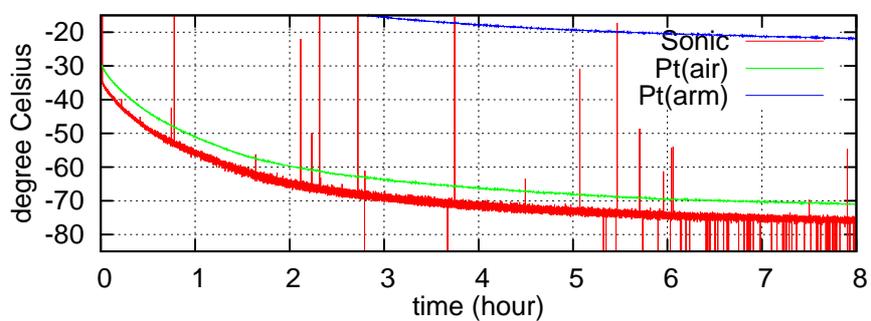


図10 実験 i(前半) (アーム、アーム保温、山清、山清保温)

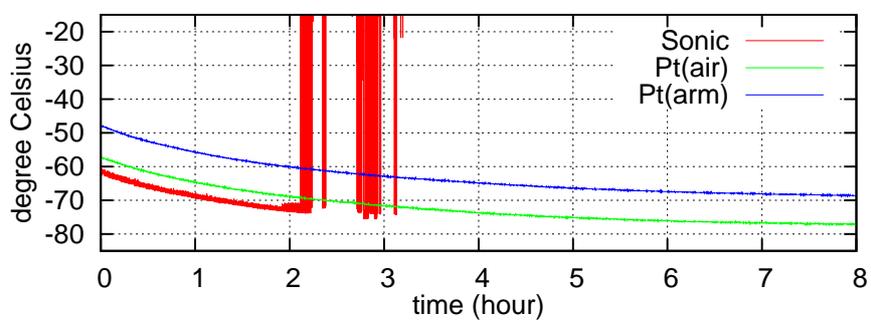


図11 実験 h(前半) (アーム×、アーム保温、山清、山清保温)

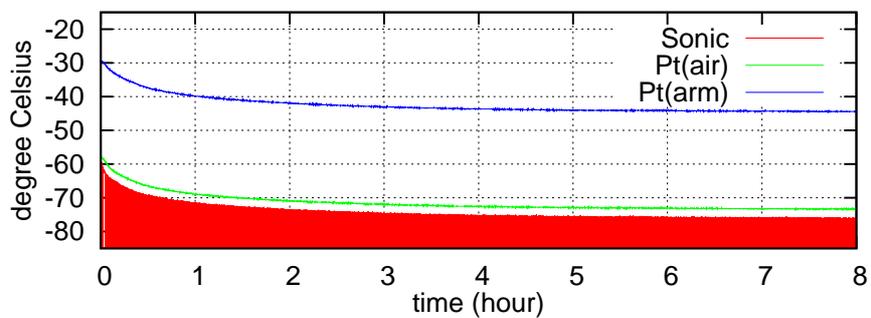


図12 実験 m(前半) (アーム、アーム保温×、山清、山清保温)

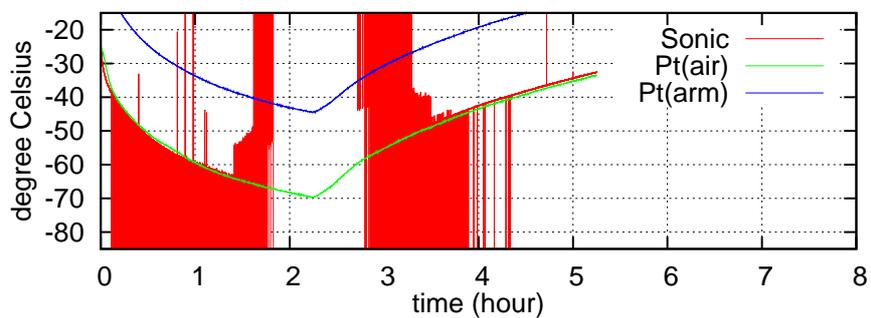


図 13 実験 a (アーム、アーム保温×、山清×、山清保温×)

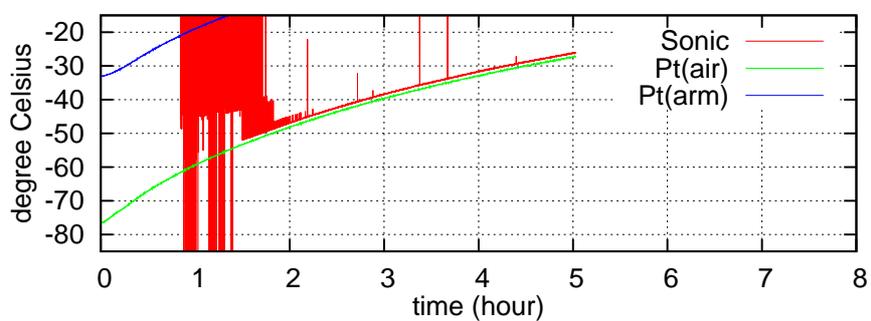


図 14 実験 b (アーム、アーム保温、山清×、山清保温×)

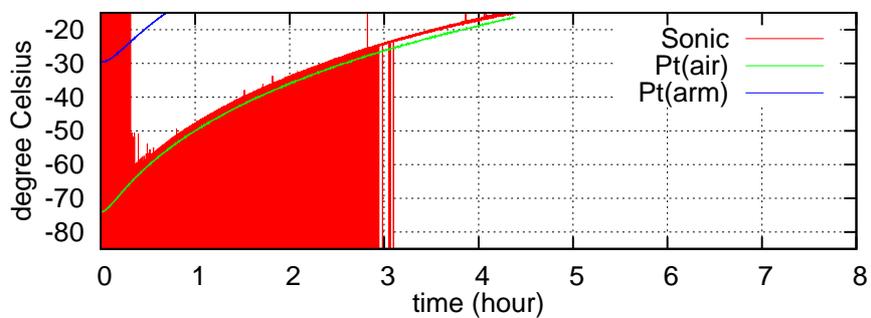


図 15 実験 d (アーム、アーム保温、山清、山清保温×)

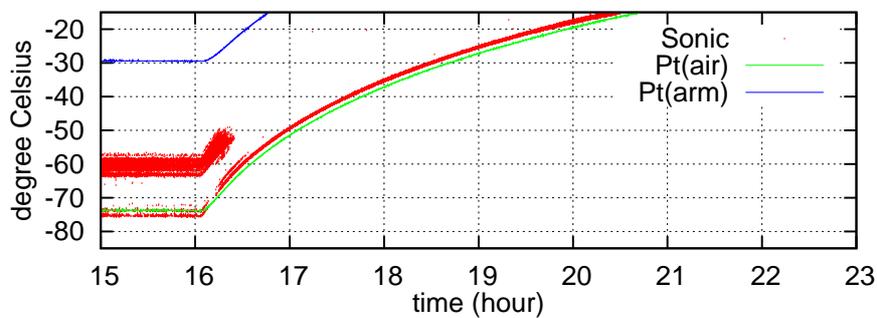


図 16 実験 f(後半) (アーム、アーム保温、山清、山清保温×)

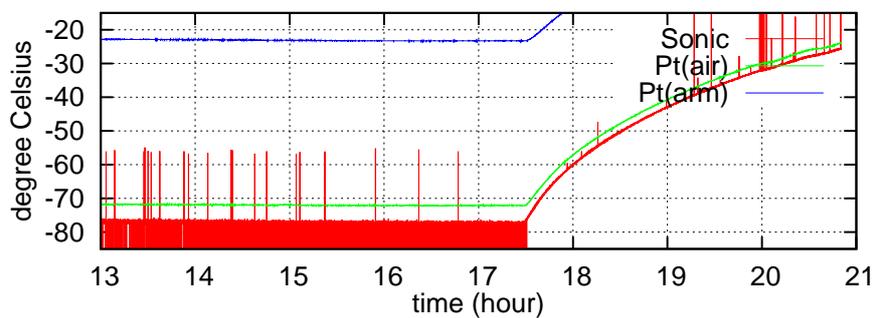


図 17 実験 g(後半) (アーム、アーム保温、山清、山清保温)

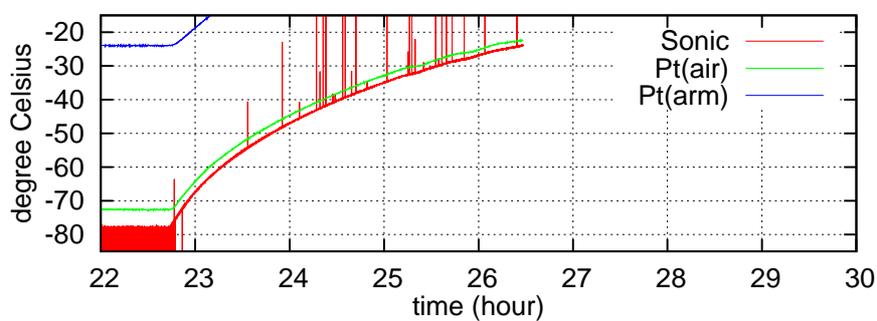


図 18 実験 i(後半) (アーム、アーム保温、山清、山清保温)

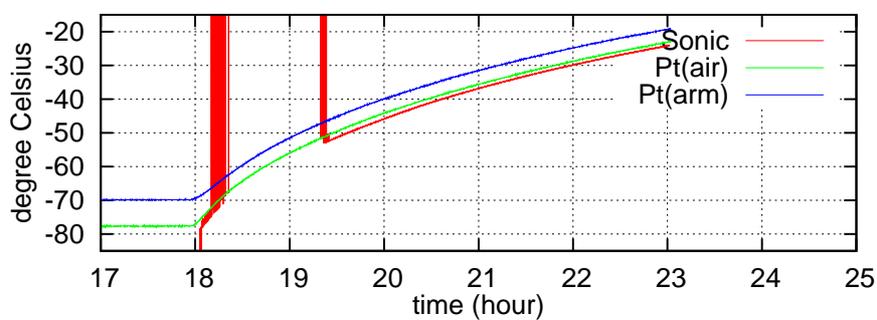


図 19 実験 h(後半) (アーム×、アーム保温、山清、山清保温)

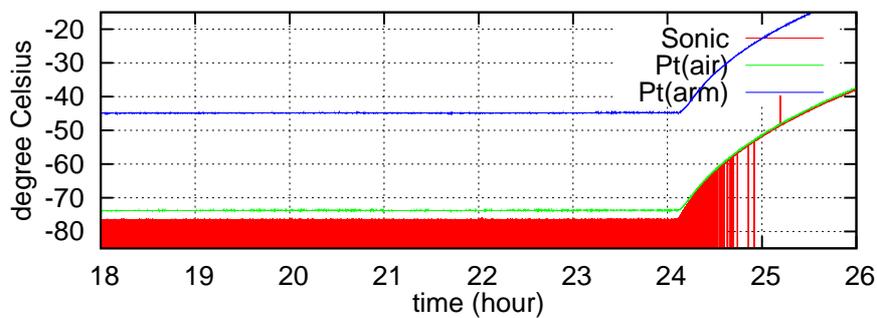


図 20 実験 m(後半) (アーム、アーム保温×、山清、山清保温)

## 6 考察

温度降下実験の結果をまとめると表 3 となる。また温度上昇実験の結果をまとめると表 4 となる。

実験 ID	アーム	アーム保温	山清	山清保温	使用不可能となる温度
a		×	×	×	-63°C
b			×	×	-63°C
d				×	不明 (タイムアウト)
f				×	-70°C
g					-77°C でも使用可能
i					-77°C でも使用可能
h	×				-73°C
m		×			-77°C でも使用可能

表 3 温度降下実験の実験結果

実験 ID	アーム	アーム保温	山清	山清保温	使用可能となる温度
a		×	×	×	-55°C
c			×	×	-45°C
e				×	-45°C
f				×	-60°C
g					-77°C でも使用可能
i					-77°C でも使用可能
h	×				-53°C
m		×			-77°C でも使用可能

表 4 温度上昇実験の実験結果

### 6.1 温度降下実験の結果

アームヒーター On、山清ヒーター On で山清ヒーターをプチプチで保温した状態で-77°C でも正常に動作することが確認できた。アームヒーターの保温のためのプチプチは特に必要ではないこともわかった。なお-77°C というのは冷凍庫の最大出力で得られる温度である。値が-99.99°C となる現象も時々見られるが、この原因はよくわからない。

ところで山清ヒーターが無い場合に使用不可能となる温度は-63°C、またこの山清ヒーターをプチプチで保温した場合はさらに低温でも正常に動作するが、-70°C で使用不可能となることが分かった。またアームヒーターを Off、山清ヒーターを On とした場合は-73°C まで使用出来ていることもわかった。これは 2 月 5 日レポート実験 3 とほぼ同等の条件での実験であるが、結果は大きく異なっている。この原因としては前回の実験と今回の実験では本体に巻き付けた山清ヒーターの位置が異なるの点が挙げられる。今回はよりコネクタ部も加熱されるよう巻く位置を少し下寄りにした。これが重要であったのかもしれない。

## 6.2 温度上昇実験の結果

アームヒーター On、山清ヒーター On で山清ヒーターをプチプチで保温した状態で $-77^{\circ}\text{C}$ でも正常に動作することが確認できた。またアームヒーターをプチプチで保温した場合、低温時に測定値が $-99.99^{\circ}\text{C}$ という値をとることが見られるが冷凍庫を Off にするとそれが激減する傾向がはっきりわかる。しかしアームヒーターのプチプチ保温が無い場合には冷凍庫 Off の状態となっても $-99.99^{\circ}\text{C}$ をとる現象が約 $-55^{\circ}\text{C}$ まで見られた。これらの結果から $-99.99^{\circ}\text{C}$ という値をとる原因は冷凍庫もしくはアーム部のプチプチ保温のどちらか、またはその両方に起因するものかもしれないと類推することが出来る。しかし今のデータからだけではこれ以上議論できない。今後検討したい。

## 7 まとめ

50.0H 温度コントローラーを分解し回路の破損を確認した。ヒーター自体に断線が無いことを確認した。アームヒーターの電源を TEXIO regulated DC power supply PW18-3ADP に変更して冷却実験を行った。アームヒーターの On/Off、山清ヒーターの On/Off、アームヒーターの保温の有無、山清ヒーターの保温の有無をそれぞれ変えて実験を行った。

実験の結果アームヒーター On、山清ヒーター On で山清ヒーターをプチプチで保温した条件で $-77^{\circ}\text{C}$ (冷凍庫の最高出力での温度)で正常に動作することを確認した。アームヒーターの保温の有無は関係ないこともわかった。これらの実験結果からドームふじ基地の $-80^{\circ}\text{C}$ 環境でも#SATI-3SX によって  $C_T^2$  の測定が可能なことが分かった。

今回の結果には極低温時に温度が $-99.99^{\circ}\text{C}$ となるデータも含まれていた。これは冷凍庫やアームヒーターのプチプチ保温に起因する現象と考えられる。詳細は今後検討する。