

超音波風速計の冷却実験

沖田博文

2012/2/5

1 Abstract

Applied Technologies, Inc. の Sonic Anemometer/Thermometer Model #SATI-3SX 超音波風速計の冷却実験を行った。アームヒーターの On/Off、ヒーターコントローラーの設置場所 (冷凍庫内/外)、山清ヒーターの On/Off といった条件を変えて実験を行った。その結果温度降下実験では使用不可能となる温度はいずれも約 -60°C であった。逆の温度上昇実験では条件によって使用可能となる温度は $-55^{\circ}\text{C}\sim-40^{\circ}\text{C}$ までばらつきがあった。これらの測定結果を総合すると、超音波風速計のある部分 (アーム?) の温度がある一定値を下回ったときに使用不可能になると類推される。しかし今回の実験データから使用不可能になる原因を特定するには至らなかった。

なお、今回の実験結果からアームヒーターは正常に作動していないことも判明した。今後は#SATI-3SX を分解・改造し、アームヒーターが正常に動作する状態で冷却実験を再度行い -80°C で確実に動作するよう開発を進める計画である。

2 イントロダクション

第 54 次日本南極地域観測隊 (2012 年 11 月 ~ 2013 年 3 月に実施、以降 JARE54) では内陸ドームふじ基地への旅行が計画されている。JARE54 での主目的は先の第 53 次隊 (JARE53) において砕氷船「しらせ」によって輸送した赤外線望遠鏡観測システムをドームふじ基地に設営し、無人リモート観測装置を立ち上げることである。これに加えて JARE52 に引き続き JARE54 においても天文学的なサイト調査を実施する必要があると筆者は考えている。

そこでサイト調査として冬期の DIMM 観測及び C_T^2 の測定を提案する。これらの測定を行うためには装置は -80°C でも正常に動作する必要がある。本レポートは C_T^2 の測定を行う#SATI-3SX の低温特性について、冷凍庫内で -80°C まで冷却することでそれを評価するものである。

3 実験原理

電子機器や機械製品は一般に使用可能な温度範囲がメーカーによって設定されている。一般に物質は温度によってその物性が変化するため、特定の物理現象を利用応用する「装置」には必ず使用可能な温度範囲がある。しかしメーカーの指定する使用可能な温度範囲は安全を十分考慮にいたした「動作保証範囲」であって、必ずしもその温度範囲外で使用出来なくなるという訳ではない。経験上、多くの製品は -80°C 程度であれば若干

の改造で使用可能となる場合が多い。

今回の実験は#SATI-3SX を冷凍庫に入れて -80°C まで冷却し、その動作を観測することで低温特性を調べるものである。なおマニュアルによると#SATI-3SX の使用温度域は $-40^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ である。

4 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)。さらに、アームヒーターの On/Off、ヒーターコントローラーの温度(冷凍庫内/外)、山清ヒーターの On/Off によって実験結果に違いが生じるかどうか調べるため、これらの条件を変えた実験を行った。

5 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°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 の本体部分(アルミパイプ部分)の温度も Pt100 センサーで測定した。測定精度は#SATI-3SX 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。

5.1 アームヒーター

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たものである。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られたものと思われる。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



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。

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(と思われる)。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°C での使用を前提としているものと思われる。電源は#SATI-3SX の電源 BOX から供給する。

5.2 山清電気ヒーター

#SATI-3SX 本体部分(アルミパイプ部分)の内部にはアナログデジタル変換して RS232C で通信するための回路が仕込まれていると予想される。しかし極地低温改造ではこの部分は特に加熱するような構造となっていない。そこで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)を巻いて保温した。図 2 は山清ヒーターを巻いた#SATI-3SX と山清ヒーターを巻いた後、エアキャップ(緩衝材、プチプチ)で巻いて冷凍庫に入れた状態の#SATI-3SX の写真である。



図 2 図左:山清ヒーターを巻いた#SATI-3SX。 図右:山清ヒーターを巻いた後、エアキャップ(緩衝材、プチプチ)で巻いて冷凍庫に入れた#SATI-3SX。

6 実験

2012 年 1 月 30 日 ~2 月 3 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。コントローラーはヒーターコントローラーの設置場所を表し、冷凍庫の内か外かを示した。なおアームヒーターを Off にした場合はヒーターコントローラーは使用しないためその場合は - と記した。

なお Pt100 による温度測定はデータロガーの設定を誤ったため実験 1~3 では Pt100 のデータの取得が行えなかった。

実験 ID	開始時刻	アーム	コントローラー	山清
ii	2/3 11:49	×	-	×
B	2/1 09:50		外	×
1	1/30 16:10		内	×
3	1/30 23:40	×	-	
4	1/31 00:22		外	
D	2/1 23:24		内	

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。コントローラーはヒーターコントローラーの設置場所を表し、冷凍庫の内か外かを示した。なおアームヒーターを Off にした場合はヒーターコントローラーは使用しないためその場合は - と記した。

実験 ID	開始時刻	アーム	コントローラー	山清
i	2/3 01:52	×	-	×
C	2/1 18:00		外	×
2	1/30 19:15		内	×
A	2/1 03:54		外	
E	2/2 11:45		内	

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。コントローラーはヒーターコントローラーの設置場所を表し、冷凍庫の内か外かを示した。なおアームヒーターを Off にした場合はヒーターコントローラーは使用しないためその場合は - と記した。

7 結果

7.1 温度降下実験

図 3~8 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) 温度、Pt(body) は超音波風速計本体のアルミパイプ部分の温度を意味する。

7.2 温度上昇実験

図 9~13 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。Pt(AIR) は超音波風速計付近の温度を、Pt(BODY) は超音波風速計本体のアルミパイプ部分の温度である。

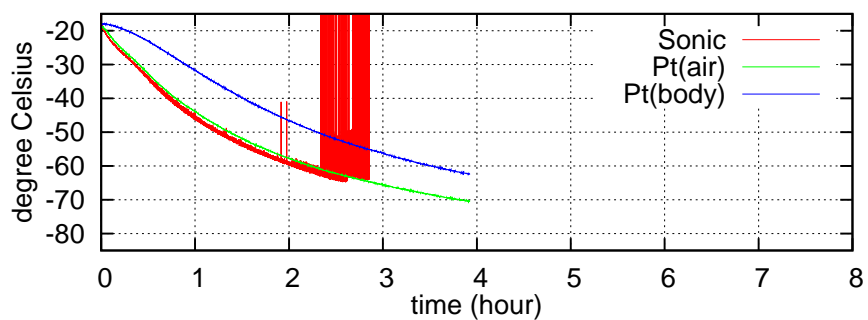


図3 実験 ii (アーム×、コントローラー-、山清×)

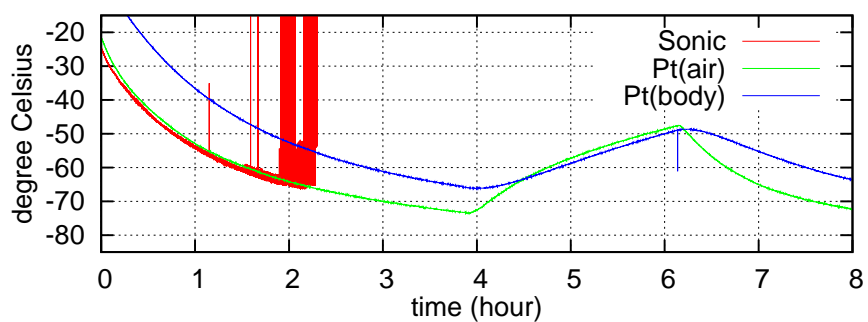


図4 実験 B (アーム、コントローラー外、山清×)

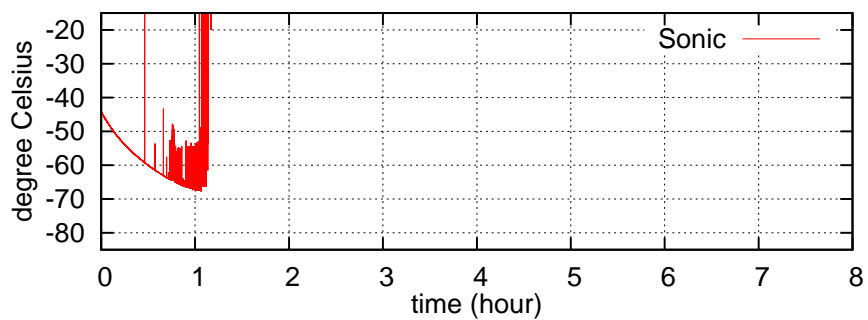


図5 実験 1 (アーム、コントローラー内、山清×)

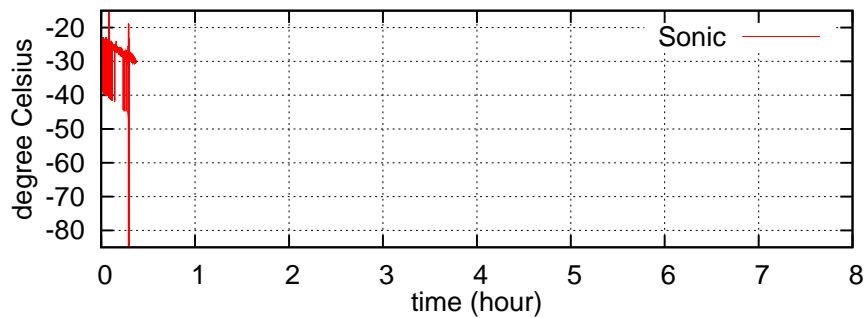


図6 実験 3 (アーム×、コントローラー-、山清)

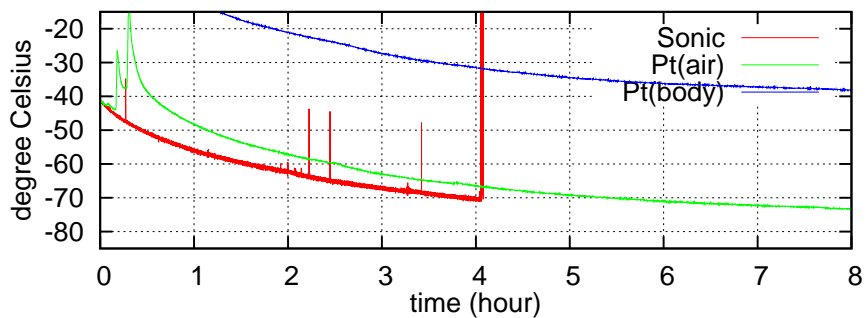


図7 実験4 (アーム、コントローラー外、山清)

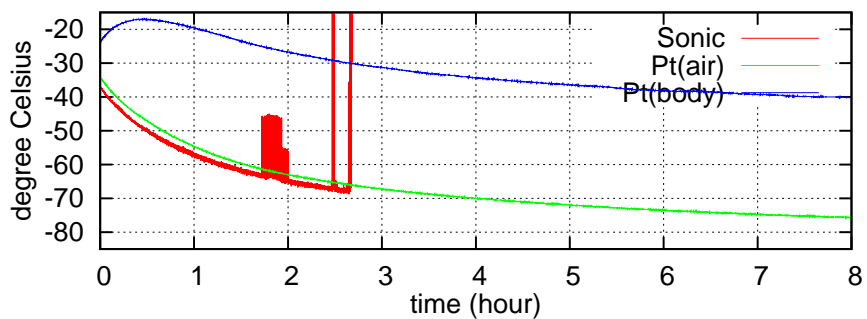


図8 実験D (アーム、コントローラー内、山清)

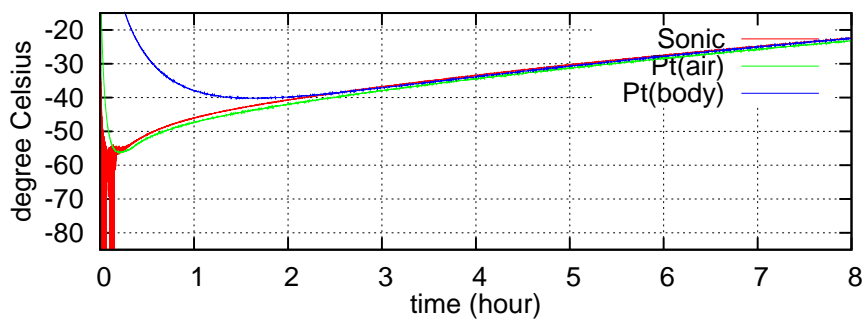


図9 実験i (アームx、コントローラー、山清x)

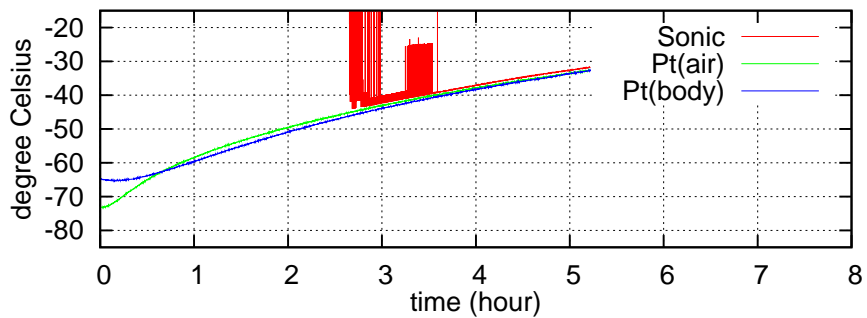


図10 実験C (アーム、コントローラー外、山清x)

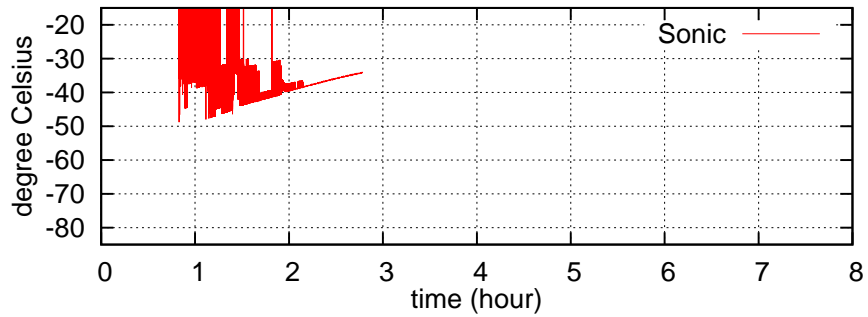


図 11 実験 2 (アーム、コントローラー内、山清×)

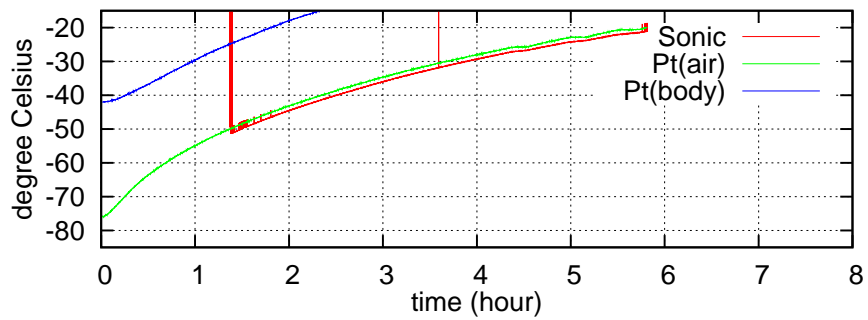


図 12 実験 A (アーム、コントローラー外、山清)

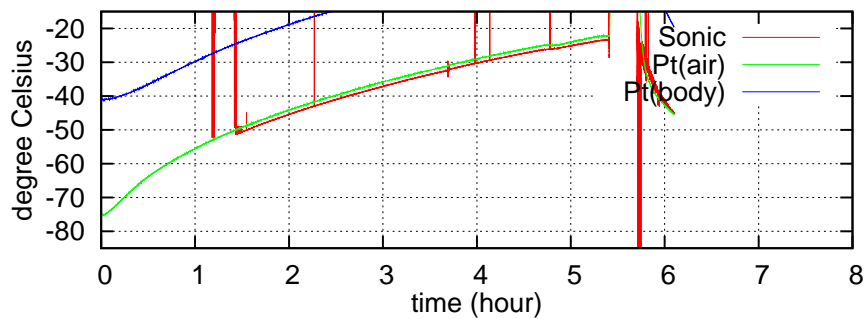


図 13 実験 E (アーム、コントローラー内、山清)

8 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	コントローラー	山清	使用不可能となる温度
ii	×	-	×	-60°C
B		外	×	-60°C
1		内	×	-63°C
3	×	-		-
4		外		-70°C
D		内		-63°C

表 3 温度降下実験の実験結果

実験 ID	アーム	コントローラー	山清	使用可能となる温度
i	×	-	×	-55°C
C		外	×	-40°C
2		内	×	-40°C
A		外		-50°C
E		内		-50°C

表 4 温度上昇実験の実験結果

まず温度降下実験の結果を考える。ヒーターの On/Off を変えて様々な条件で実験を繰り返したが、使用不可能となる温度はいずれも約-60°C とほとんど変化が見られなかった。これはヒーターの有無は#SATI-3SX の使用可能温度と何ら関係ないことを意味すると思われる。なお図 6 からは実験 3 では-25°C から使用不可能となっている。しかしこれは冷凍庫内が-70°C 以下の状態の時に#SATI-3SX を入れて実験開始したときのデータであり、正しいデータが得られているとは考えにくい。

次に温度上昇実験について考察する。温度上昇実験では温度降下実験とは異なり、ヒーターの On/Off 等の条件を変えると使用可能となる温度が-55°C ~-40°C とその値が大きく異なっていた。しかしデータをよく見ると全く加熱を行わなかった実験 ii のみ-55°C から使用可能で、他は山清ヒーター On で-50°C から使用可能か、もしくは山清ヒーター Off で-40°C という結果が得られた。この結果から、#SATI-3SX が使用可能となるためには本体部分 (アルミパイプ部分) をある程度暖めれば-50°C からでも使用可能であることを意味する。もしそうであれば本体部分 (アルミパイプ部分) の温度が使用可能となる温度を表すはずである。しかし本体部分に取り付けた Pt(body) の測定結果は実験 C では-40°C から使用可能になったのに対し、実験 A, E では-25°C と大きく異なる。よって本体部分 (アルミパイプ部分) の温度が使用可能となる温度を表すのではなく、他の異なる部品の温度がある一定温度を超えると使用可能になると考える方が自然である。

ところでメーカーの極地低温対策改造ではアーム部分のみヒーターを取り付けてあった。つまりメーカーは低温で使用するとき最も重要になるのはアーム部分であると考えていると言える。今回の測定結果を総合すると、超音波風速計はある部分 (アーム?) の温度がある一定値を下回ったときに使用不可能になるのではないかと類推される。しかし今回の実験データだけでは使用不可能になる原因を特定することは出来ない。

なお実験結果からはアームヒーターの On/Off は、温度上昇実験・温度降下実験共に特に変化を生じなかったことから、アームヒーターは正常に動いていなかったものと考えられる。

9 まとめ

Applied Technologies, Inc. の Sonic Anemometer/Thermometer Model #SATI-3SX 超音波風速計の冷却実験を行った。アームヒーターの On/Off、ヒーターコントローラーの設置場所 (冷凍庫内/外)、山清ヒーターの On/Off といった条件を変えて実験を行った。その結果温度降下実験では使用不可能となる温度はいずれも約 -60°C であった。逆の温度上昇実験では条件によって使用可能となる温度は $-55^{\circ}\text{C}\sim-40^{\circ}\text{C}$ までばらつきがあった。これらの測定結果を総合すると、超音波風速計のある部分 (アーム?) の温度がある一定値を下回ったときに使用不可能になると類推される。しかし今回の実験データから使用不可能になる原因を特定するには至らなかった。

なお、今回の実験結果からアームヒーターは正常に作動していないことも判明した。今後は#SATI-3SX を分解・改造し、アームヒーターが正常に動作する状態で冷却実験を再度行い -80°C で確実に動作するよう開発を進める計画である。