

## GPS Disciplined Oscillator — Tweaking turning-point GPS 同期オシレータ — OCXO オープン温度の再調整 武安義幸 / JA6XKQ

HP 製の OCXO 10811 に魂を売ったものの、これまで使ってきた OCXO を捨て置くのは悔しいので最後の悪あがきを試してみました。

水晶発振子のカット ( SC と AT )、オープン方式 (ダブルとシングル) が異なるので、10811 との直接比較は適当ではありません。これまで使ってきた「普通の OCXO 」がいかなる性能なのかを確認し、少しでも改善を試みてみたいと思います。改善は核心 (水晶発振子) に近いほうから、オープン温度、サーマル・ゲインと行ないます。サーマル・ゲインの改善ではオープン制御そのものには手を入れず、受動的な熱絶縁を改善します。

### オープン温度の再調整

オープン温度は水晶振動子の周波数温度係数が極小となるポイント (変曲点 = turning point) に設定しなくてはなりません。温度係数の変曲点はカットによって理論値があるようですが、現実的には個体差を考慮しての温度設定となります。 [1] [2] [3] 果たして、オープン温度は適切か？ OCXO のオープンの確認に実験室にあるような恒温槽が必要では洒落になりません。簡単な方法はないものでしょうか？ メーカーの工場出荷時設定を信じるのが平穩無事かもしれませんが、変曲点に経年変

化はないのか？と考えると平穩無事ではられません。

「周波数変動が最小である温度は？」という命題が、温度係数を示すグラフ [1] [2] [3] を眺めてみると、「温度が上がる/下がる途中で周波数変化 (上昇/下降) が反転する温度は？」と言い直せることが判ります。これなら簡単です。つまり、変曲点なので周波数の絶対値は不要で、とにかく周波数が上がっているのか、下がっているのかさえ判れば良い訳です。「温度が上がる/下がる」は、OCXO のオープン自身にやらせれば (既にそうになっている、、、) 外部に恒温槽は不要です。

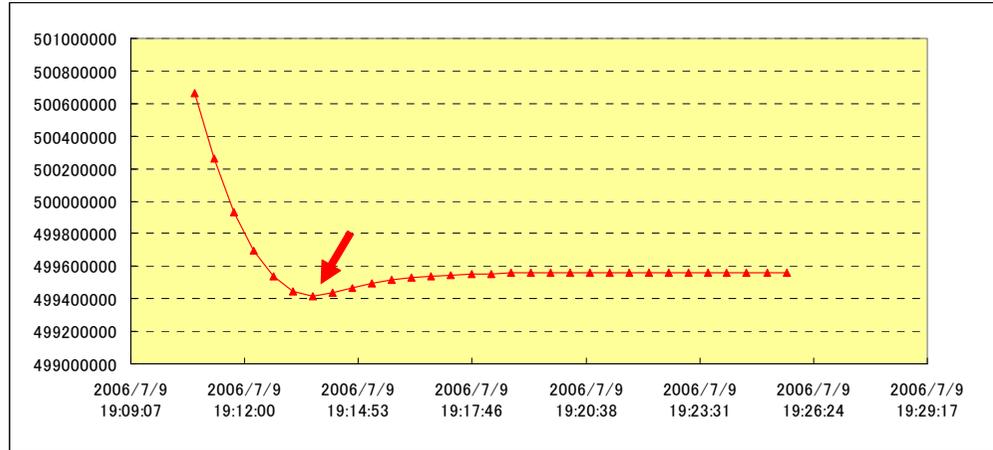
OCXO の起動直後はオープン温度は上昇する一方であり、周波数がドリフトします。オープン温度が落ち着く過程で変曲点があったら、それはオープンの設定温度が高すぎることを、もし変曲点がないならオープン温度が低すぎるか適切であることを示しています。後者の場合、OCXO に加熱して変曲点を通過させることで、いずれであるのかを確認できます。

周波数ドリフトの確認は、これまで使用してきた 1PPS の位相をタイム・インターバル・カウンタで測定する手法で行ないました。簡単な方法として、受信機でビートを出して、それをパソコン・オーディオ・スペアナでウォーターフォールを表示させる手法があります。インターネット検索でこれの実例が見つかりました。誰も考えることは同じです。 [4]

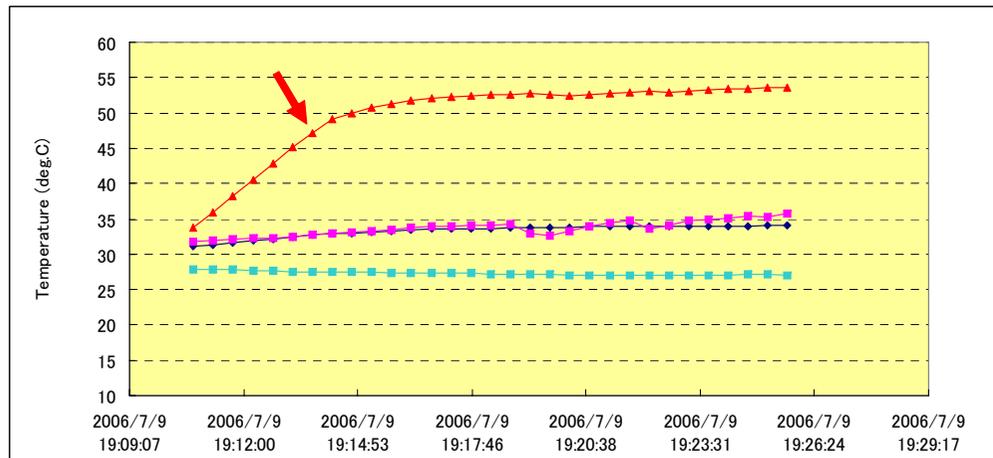
[http://people.freenet.de/dl4yhj/dcf77\\_osc/index.html](http://people.freenet.de/dl4yhj/dcf77_osc/index.html)

図-1 と 図-2 は、実測の例です。図-1 のプロットが周波数変化

を示しており、**図-2** のプロットがオーブンの温度変化を示しています。オープン温度が時間とともに上昇する過程で、最初は周波数が高くなり(1PPSの位相差が小さくなる)、途中で周波数が低くなっている様子が判ります。オープンの温度が落ち着くとともに周波数変動は小さくなっています。



**図-1** : 1PPS の位相変化

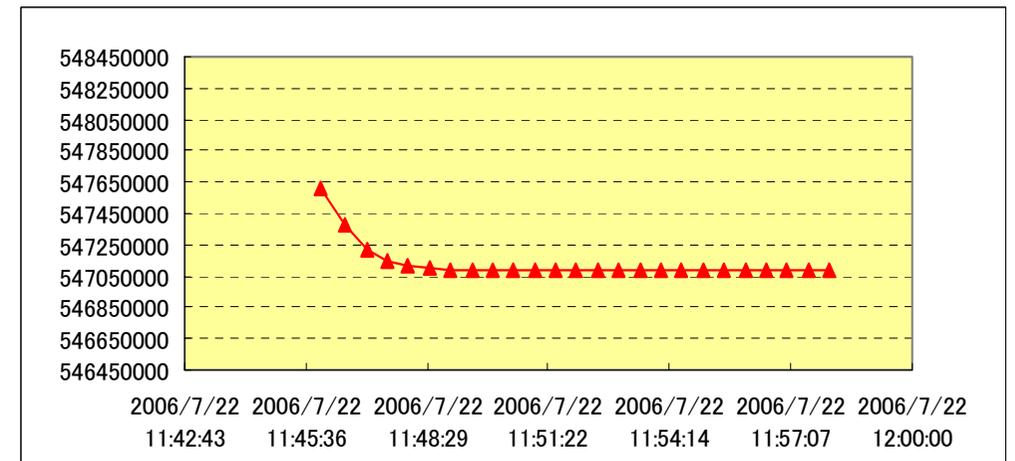


**図-2** : 温度変化 — 赤:オープン温度

**図-1** と **図-2** から、オープンの設定温度が変曲点より高く設定されていることが判明しました。変曲点の温度は、**図-2** から 47.1 °Cと読み取れます。OCXO を分解して、オープン温度を上記温度に設定したものが **図-3** のプロットです。起動時のオープン温度の上昇過程に変曲点がないことが確認できます。

オープン温度の調整で位相変動はどれ位改善されたのでしょうか？ **図-1** と **図-2** を位相差 対 温度にプロットし直したものが **図-4** です。調整前のオープン温度は約 54 °C であり、その近傍での変化量がわかりづらいので、変曲点温度以下のデータを用いて、変曲点の温度前後で位相変動が対称であると仮定して温度係数を計算してみます。調整前のオープン温度に相当する 40 °C 近傍での温度係数は、約 100  $\mu\text{sec}/^\circ\text{C}$  です。一方、変曲点近傍では約 13  $\mu\text{sec}/^\circ\text{C}$  であり、温度係数が 7.7 倍改善されています。

設定温度が当初から最適点になかったのか、あるいは経年変



**図-3** : オープン温度再設定後の位相変化 (図-1に対応)

化を生じたのかは判りませんが、7 °C という温度差と 7.7 倍の改善度は、それぞれ大きな数値です。もう少し吟味が必要な値かもしれません、、、 図-4 を見直してみると、オリジナルの設定温度である 54 °C 近辺で温度係数が小さくなっている点が気になります。オリジナルの設定がやはり最適であったのか？ 再度、調査してみようと思います。

## 熱絶縁の強化

オープン温度の再調整の次は、OCXO の環境温度の変動そのものを小さくすることです。

図-5 は、環境温度が変化したときのケース内温度の経時変動を示しています。4 本のプロットは、温度が低いほうから室温、ケース内雰囲気、内部インターバル・カウンタの基準発振器の温度、そして OCXO のケース温度(オープン温度ではない)を

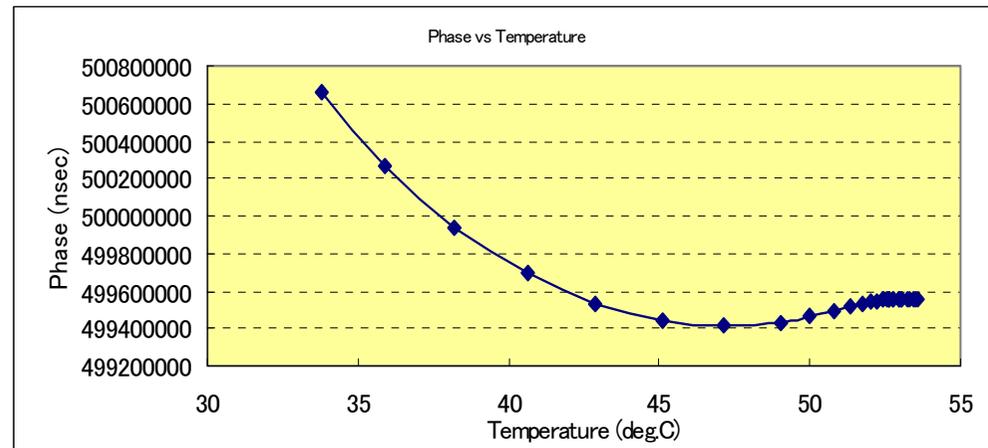


図-4 : 位相対温度特性

(C) 2006, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

示しています。

このプロットから、室温の変化に対して OCXO のケース温度が時間的な遅れ無く、変化量も同等であることが判ります。OCXO は搭載基板とともに真鍮板のシールド・ケースに実装されています。シールド・ケース内の対流による熱伝導を防ぐために、シールド・ケースと OCXO の隙間には脱脂綿をくまなく詰め込んでいます。このような対策をしても前述のように「時間遅れ無し」「同等の変化量」なので、伝熱として輻射が支配的であろうと判断されます。

伝熱の経路に沿って材料表面の放射率  $\epsilon$  を掲げると、[5]

- |            |             |                   |
|------------|-------------|-------------------|
| ● 装置ケース    | アルミニウム+灰色塗装 | $\epsilon = 0.95$ |
| ● シールド・ケース | 真鍮(塗装無し)    | $\epsilon = 0.22$ |
| ● OCXOケース  | 鉄+ニッケル・メッキ  | $\epsilon = 0.11$ |

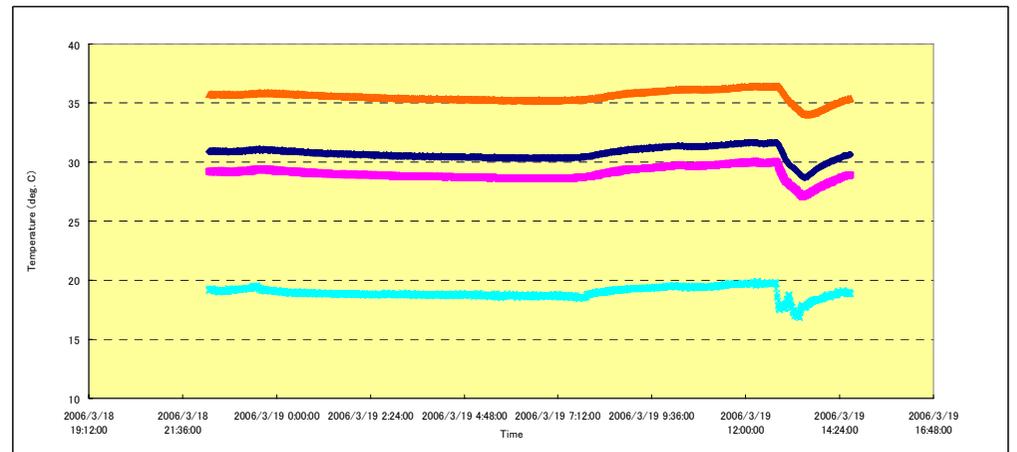


図-5 : ケース内温度変化(改善前)

(C) 2006, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

各材料は表裏ともに同様の仕上げとなっています。OCXO のケース以外は熱絶縁とは言い難く、非常に良い伝熱が輻射によりもたらされていると考えられます。

輻射による伝熱を断つために、各材料表面の放射率を下げる対策を行います。材料の表面に研磨や蒸着の処理を施すことは無理なので、放射率の低い材料を貼り付けることにします。放射率のコントロールにはアルミ蒸着フィルムが専ら使用されるのですが、今回は、フィルムでは薄い故に取り廻しが悪いことと、伝導率も制御したいという二つの観点から、アルミ蒸着フィルム付きスポンジを採用しました。

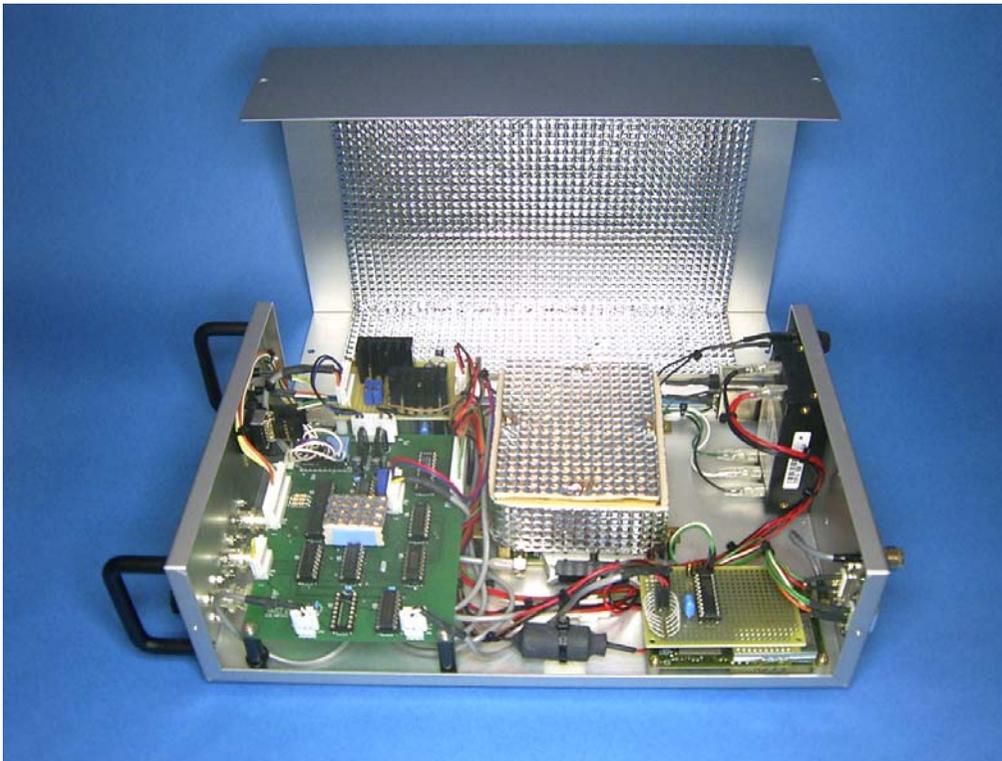


写真-1 : 熱絶縁の様子 - 中央がシールド・ケース

(C) 2006, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

「アルミ蒸着フィルム付きスポンジ」、その実態は、お風呂の保温シートです。スポンジの厚みが適度にあるため粘着テープでの貼付けも簡単、耐熱性も 70 °C と適度、放射率は 0.04 と十分。装置ケースの裏面、シールド・ケースの表裏両面、そして OCXO のケース表面にも貼付けています。その様子を 写真-1、写真-2 と 写真-3 に示します。放熱も必要なため、完全に覆うことは避けています。

写真-2 に示すように、シールド・ケース内部の高さ約 80 % の隙間を発泡ポリエチレンで埋めています。これは、空気の対流による伝熱を防止するためです。これまでの実験で、目の粗い発

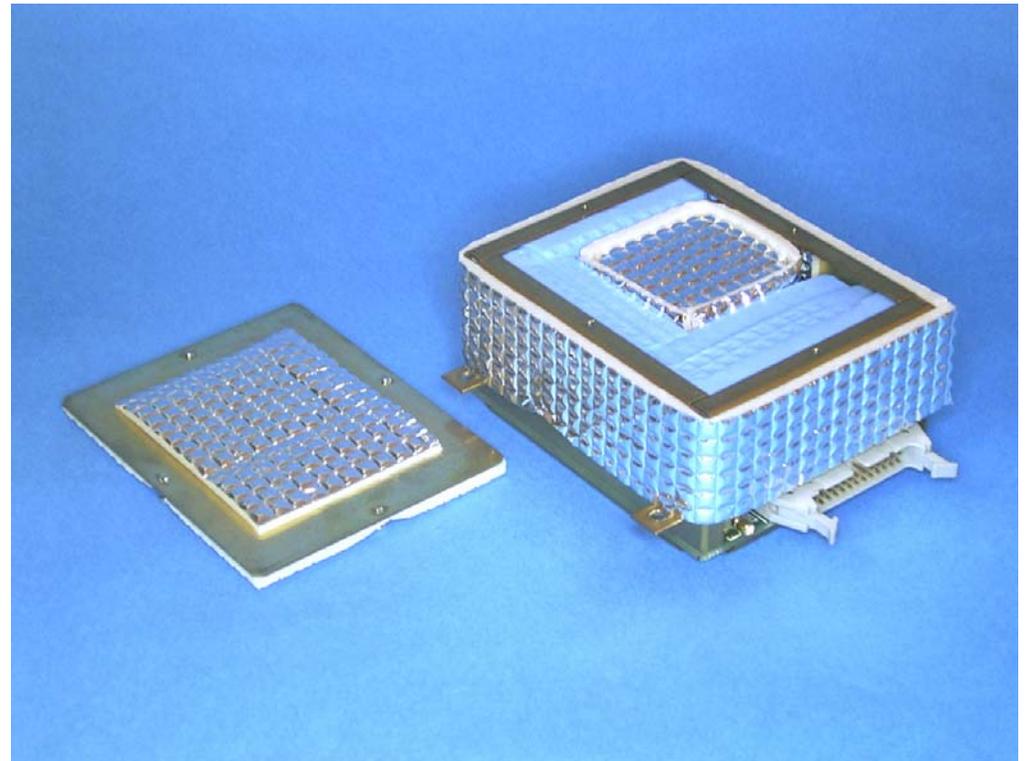


写真-2 : 熱絶縁の様子 - OCXO 周囲は発泡ポリエチレン

(C) 2006, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

泡スチロールと脱脂綿を試してみましたが、充実度の高い(目の細かい)材質の方が熱絶縁効果が高いように感じられたので、発泡ポリエチレンに変更してみました。あとで気付いたのですが、OCXO 内部でも同じ発泡ポリエチレンが使用されていました。

熱絶縁の改善効果を 図-6 に示します。定量的なステップ状の温度変化を外部から与えることが不可能なため(実験用恒温槽がないので、、、)、装置ケースの上カバーをヘア・ドライヤで加熱した時の挙動を示しています。図-5 と 図-6 の比較によりサーマル・ゲインを求めると、室温の 1 °C の変化に対して

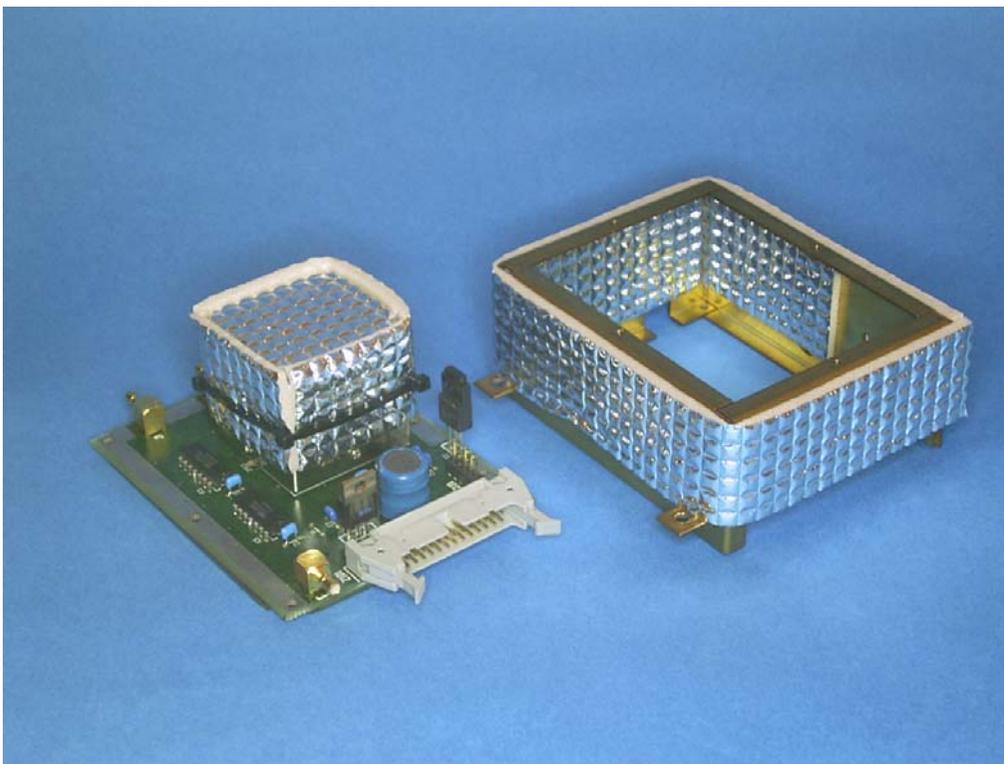


写真-3 : 熱絶縁の様子 — OCXO (左)とシールドケース

(C) 2006, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

OCXO ケース温度の変化率(の逆数=サーマル・ゲイン)は、前者では約 1 倍であり、後者は約 7 倍と改善されています。

## まとめ

OCXO のオープン温度を最適化するとともに、OCXO に対する熱絶縁を改善することで、「普通の OCXO 」でも日常的な温度環境なら GPS 同期のロック外れを生じないものと期待されます。さて、暑い夏の昼下がり、エア・コンで急冷するとどうなることでしょう、、、!?

ここまでの検討を以って HP 10811 に接すれば、その素晴らしさと恩恵も理解できようものです。

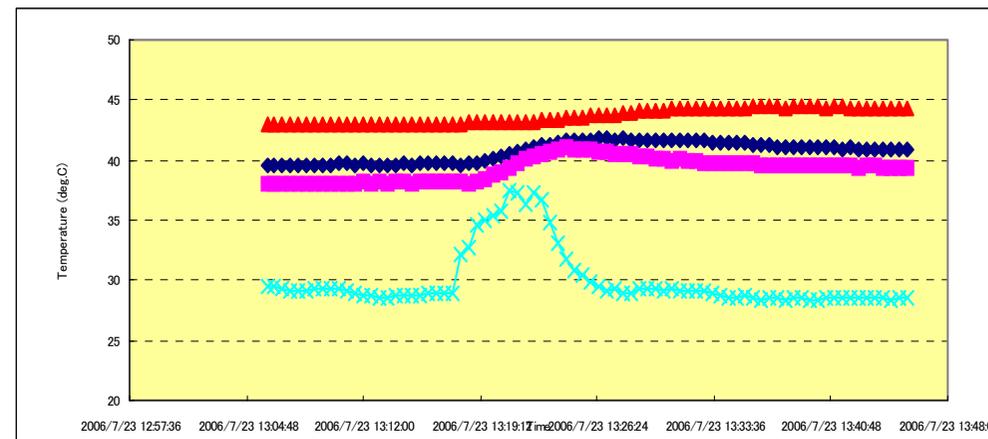


図-6 : ケース内温度変化(改善後)

(C) 2006, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

[1] “Quartz Crystal Resonators and Oscillators for Frequency Control and Timing Applications”, Tutorial, April 2006, John R. Vig, IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Society

[http://www.ieee-uffc.org/freqcontrol/tutorials/vig2/tutorial2\\_files/frame.htm](http://www.ieee-uffc.org/freqcontrol/tutorials/vig2/tutorial2_files/frame.htm)

[2] “OCXO's Oven Controlled Crystal Oscillators“, Application Notes, Vectron International

<http://www.vectron.com/products/appnotes/ocxos.htm>

[3] “PRECISION QUARTZ RESONATORS“, Product catalogue, CROVEN CRYSTALS, Wenzel International, Inc.

<http://www.croven crystals.com/files/CrovenCatalogue.pdf>

[4] “DCF77-synchronized oscillator“, April 2006, Wolfgang Büscher / DL4YHF

[http://people.freenet.de/dl4yhf/DCF77\\_osc/index.html](http://people.freenet.de/dl4yhf/DCF77_osc/index.html)

[5] “Material Emissivity Properties“, Electro Optical Industries, Inc.

[http://www.electro-optical.com/bb\\_rad/emissivity/matlemisivty.htm](http://www.electro-optical.com/bb_rad/emissivity/matlemisivty.htm)