2K CCD の温度とバイアスレベルの変動

伊藤信成（東大・木曽観測所）

平成 10 年 2 月 22 日

Abstract

検出器温度の日周変動およびそれにともなうバイアスレベルの変動が再認された。また積分時間を変えると、バイアスレベルが変わるという新たな現象が確認された。さらに、積分中の検出器の温度を調べたところ、読み出しの際に温度が急激に上昇することがわかり、排熱がうまく行なわれていないことが確認された。

1　はじめに

2K CCD カメラの温度は一晩で数K変化することが知られている。またそれに伴ってバイアスレベルも変動する。今回、これまでのチップに変わって Grade-3 のチップに入れ換えたが状況は変わらなかった。現状での 2K CCD カメラの温度およびバイアスの安定性について報告し、その原因を考察してみる。

2　データ

今回用いたデータは 1998 年 2 月 4-5 日にかけて取得された 279 枚の画像 (kcd3834-kcd4112) で、バイアスレベルの値は各画像の over-scan 領域 [2050:2100,50:1950] から求めた平均値である。平均値の算出には IRAF の imexamine を用いた。

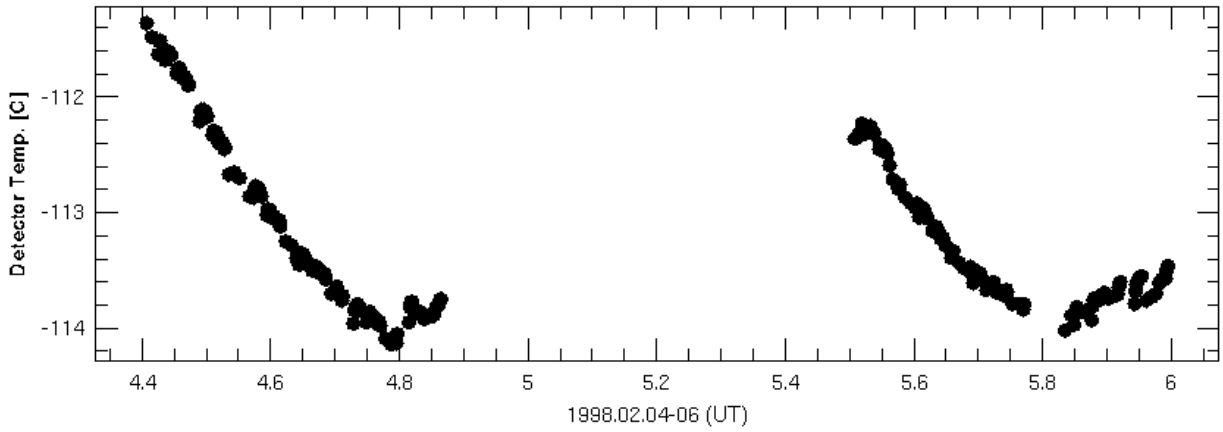
3　結果

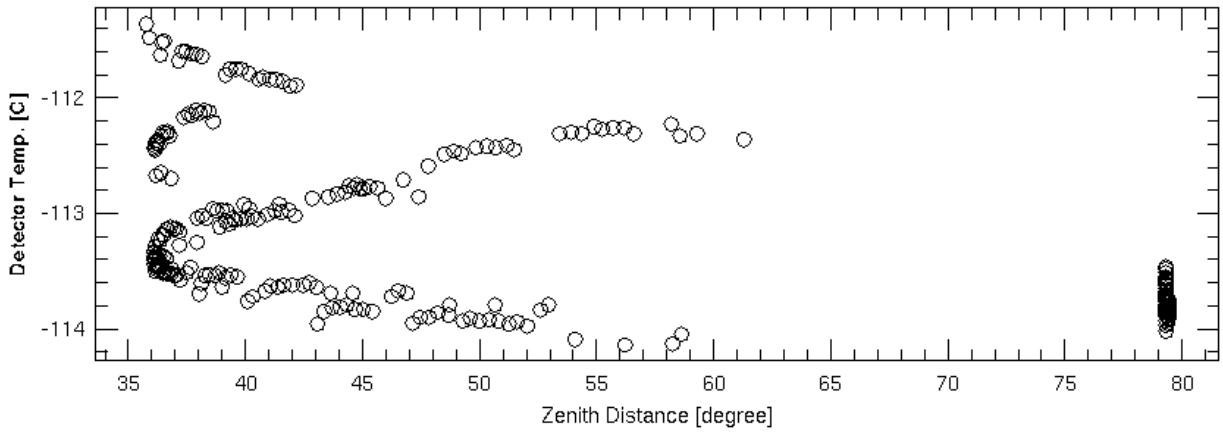
3.1　温度安定性

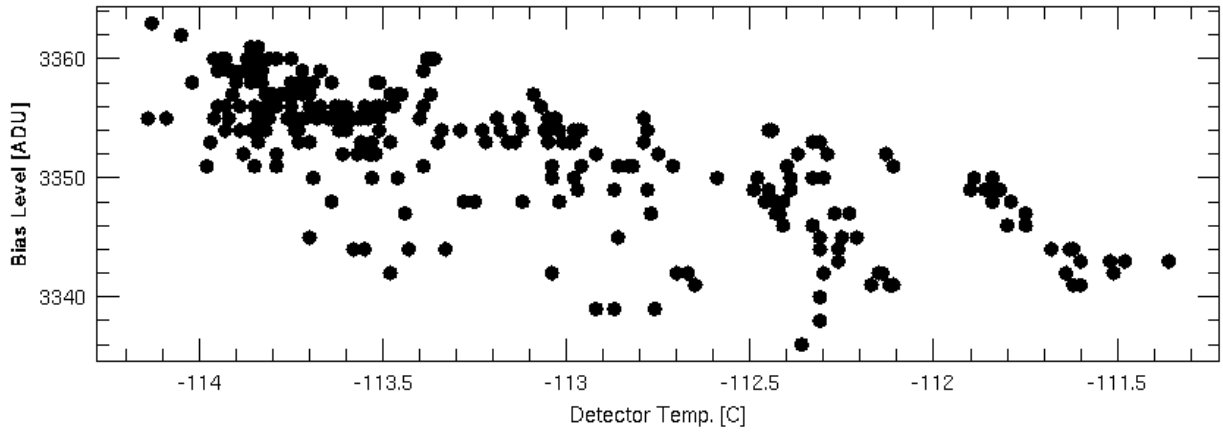
Fig.1 は 2 晩に渡る観測中のチップの温度変化をあらわしたものである。前回のレポートと同様、夜間になるとチップ温度が下がり、夜明けにかけて上昇し始めるという日周変化が顕著にあらわれている。また温度の変化幅は$\Delta T \sim 2$K に及んでいる。また、望遠鏡の天頂距離とチップ温度との間には相関がないことから、液体窒素冷却の場合に見られるような、姿勢依存性はないものと考えられる。
この温度変化は温度コントロールの安定性を大きく超えたものであり、温度コントロールが行なわれていないと判断せざるを得ない。現在、CCD の駆動は-110C°付近であるが、温度コントローラーの設定値を-160C°前後にしないと、この駆動温度にならない（征矢野氏 談）ことが、そもそも温度コントロールが正常でない状況を端的に現している。

3.2　バイアス安定性

バイアスレベルがチップ温度とともに変化することは、以前のレポートで報告している。今回もチップ温度が上がるとバイアスレベルが下がるという前回と同様の傾向が確認された。Fig.2 は全画像の over-scan 領域の値を温度を横軸にプロットしたものである。検出器温度が上がるとバイアスレベルが下がるという傾向が顕著に現れている。

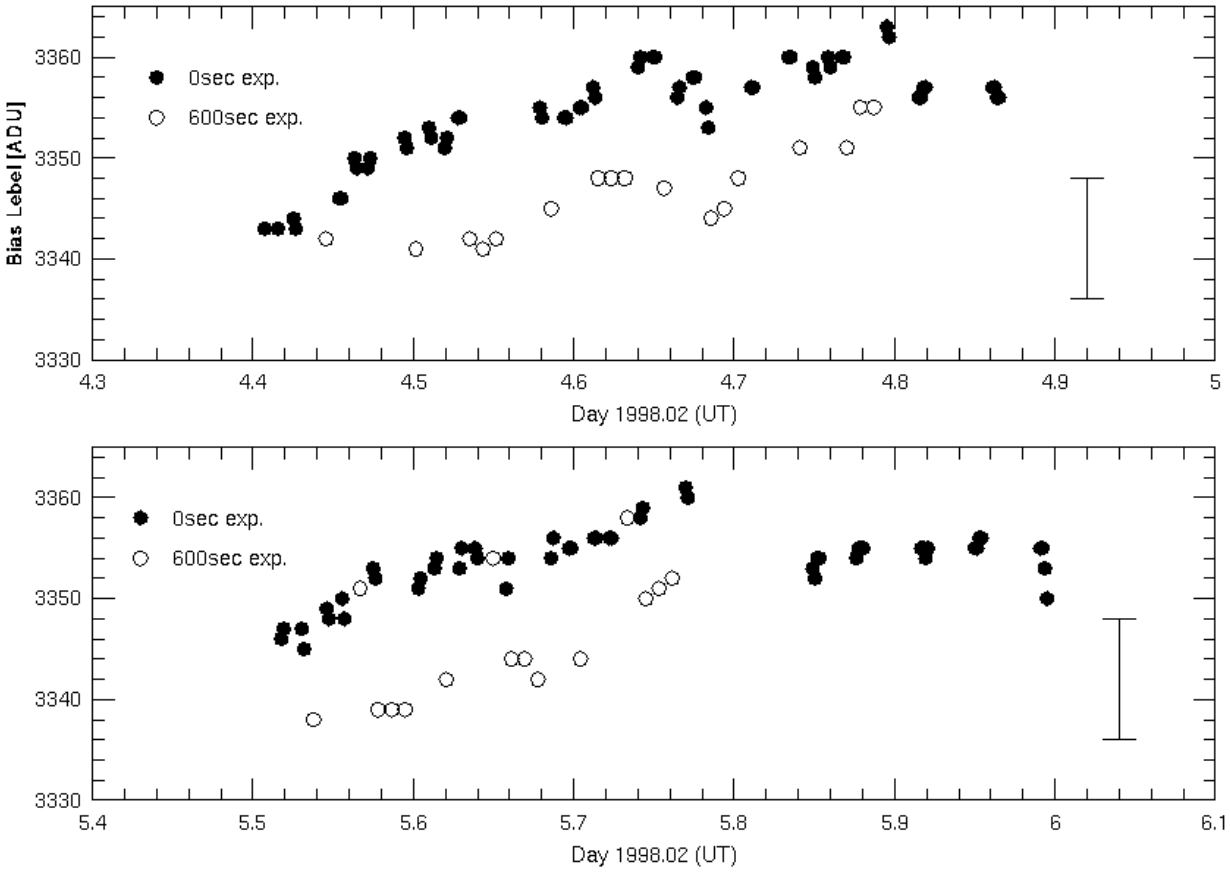






さらにもう少し詳細に解析した結果、バイアスレベルに露出時間依存性があることがわかった。Fig.3 は

露出時間 0sec の場合のバイアス値と露出時間 600sec の場合のバイアス値をシンボルを変えてプロットしたものである (図中の error bar は$\pm 1\sigma$を表している)。

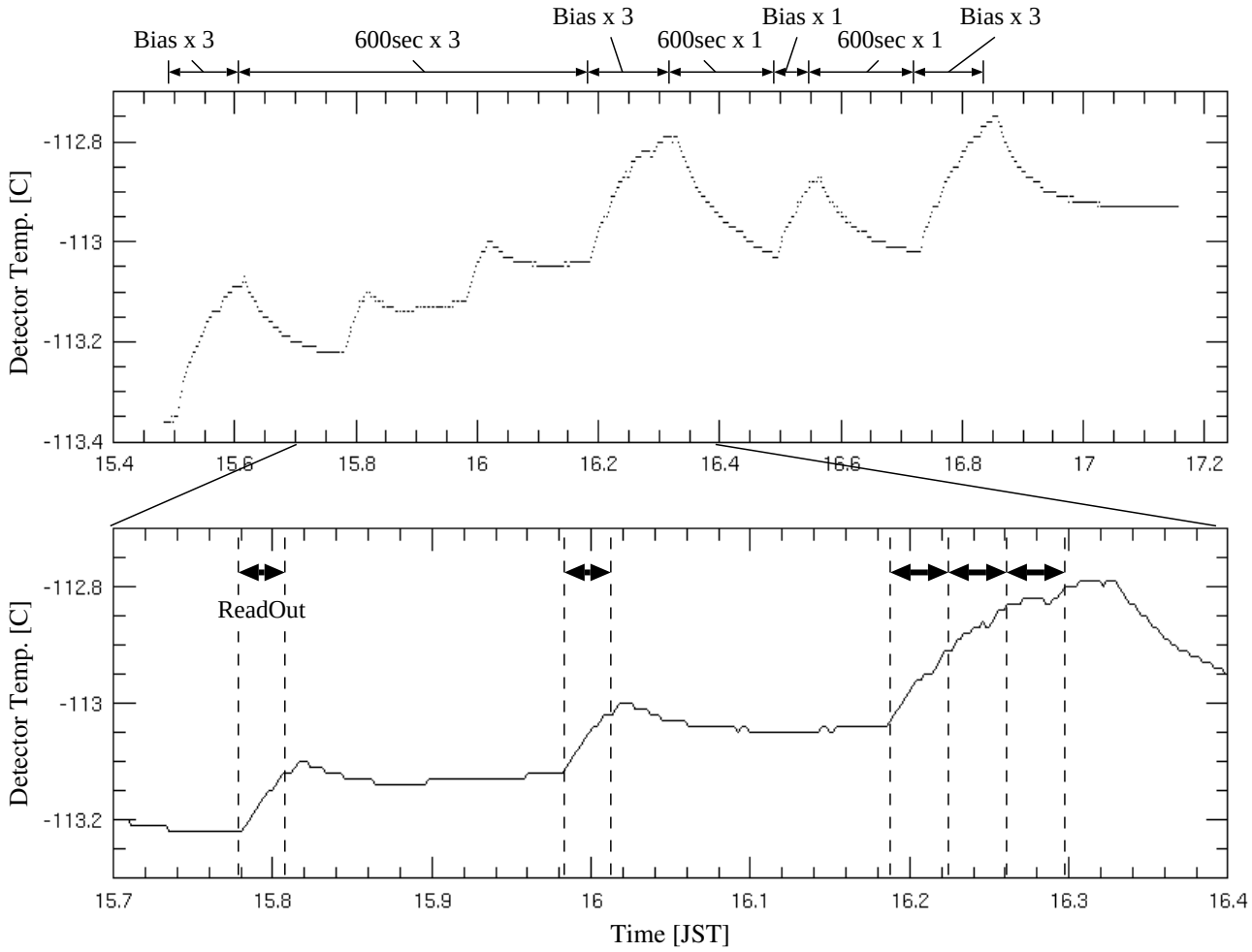


0sec の場合も 600sec の場合も、温度変化に伴うバイアスレベルの変化が見えていることに加え、600sec の場合のバイアスレベルが 10sec の場合に比べ低い傾向にあることがわかる。Feb.05 のデータに 3 点ほど例外があるが、それ以外はすべて 600sec のバイアスレベルの方が 0sec のバイアスレベルよりも低いため、この傾向は有意な現象であると考えられる。
可視 CCD の観測では暗電流が無視できるほど小さいことから、0sec 露出のバイアス画像でバイアスレベルの補正はＯＫと言われてきたが、現 2K CCD カメラに関してはこの標準的 1 次処理手順は系統的な誤差を生じる危険性がある。

4　考察

4.1　積分時間中の温度変化

0sec と 600sec のバイアスレベルの違いの原因を考えるために、積分中の検出器の温度変化を調べてみたのが Fig.4 である。このデータは
Bias×3 → Dark(600sec)×3 → Bias×3 → Dark(600sec)×1 →
→ Bias×1 → Dark(600sec)×1 → Bias×3
の順で画像を取得し、その間の温度変化を lks_monit コマンドで約 3 秒毎にモニターしたものである（望遠鏡はドーム・フラット位置)。



この図から以上の 3 点が特徴として挙げられる。

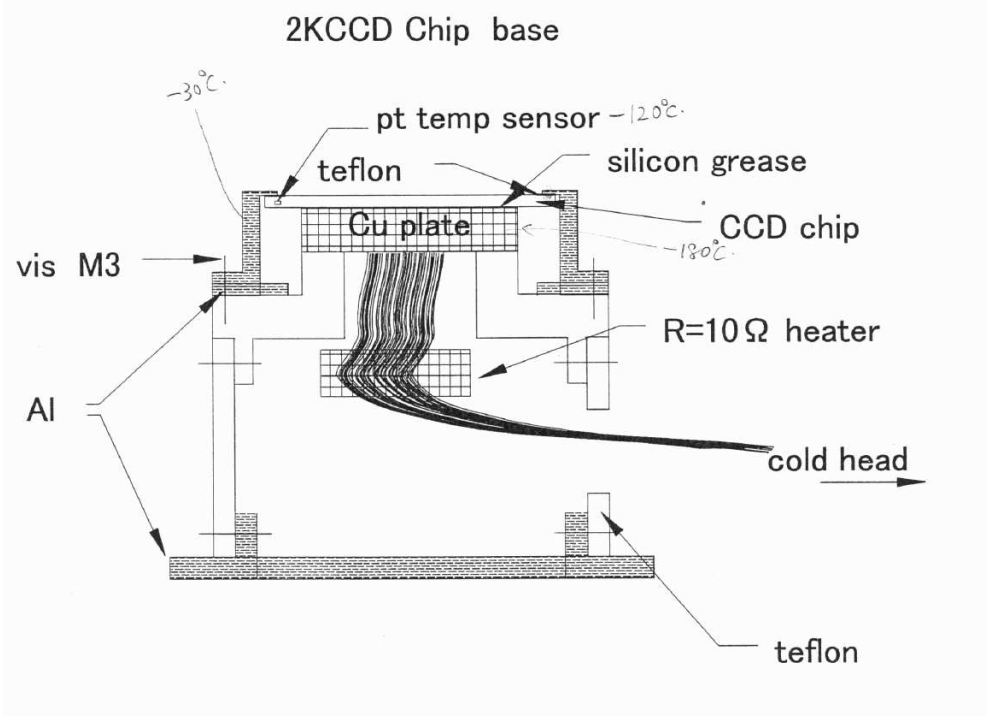
- 読み出し開始と同時に温度が上昇する
- 読み出しが終了してもしばらくは温度上昇が続く
- 長時間露出中は温度が下がるが、読み出しによる熱は完全に排熱されないため、平均温度は時間とともに上昇する

これらは赤外カメラ (KONIC) でも見られた現象であり、熱接触が不十分であることを示している。KONIC の場合、検出器（ベア・チップ）とパッケージの間に熱伝導の良いセラミック（窒化アルミ）を入れることで、劇的に温度変化を小さくすることに成功した。したがって 2K CCD においても同種の改善策を施す必要がある。最も容易な策はヒートシンクに張り付けるかバネのような機構で押えつけることである。

しかし、謎の部分も残る。Fig.4 を見る限り、0sec 露出のバイアス画像と 600sec のダーク画像では検出器の温度は Bias 画像の方が高くなるはずである（読み出し時間のの割合が大きいから)。一方、Fig.2 からは温度が高い方がバイアスレベルは低くなる傾向が見られるので、両者を合わせて考えるならば、0sec 露出画像の方のバイアスレベルの方が 600sec ダーク画像のバイアスレベルより低くなるはずである。ところが Fig.3 は全く反対の傾向を示している。原因は今のところ不明。

4.2 温度コントロール

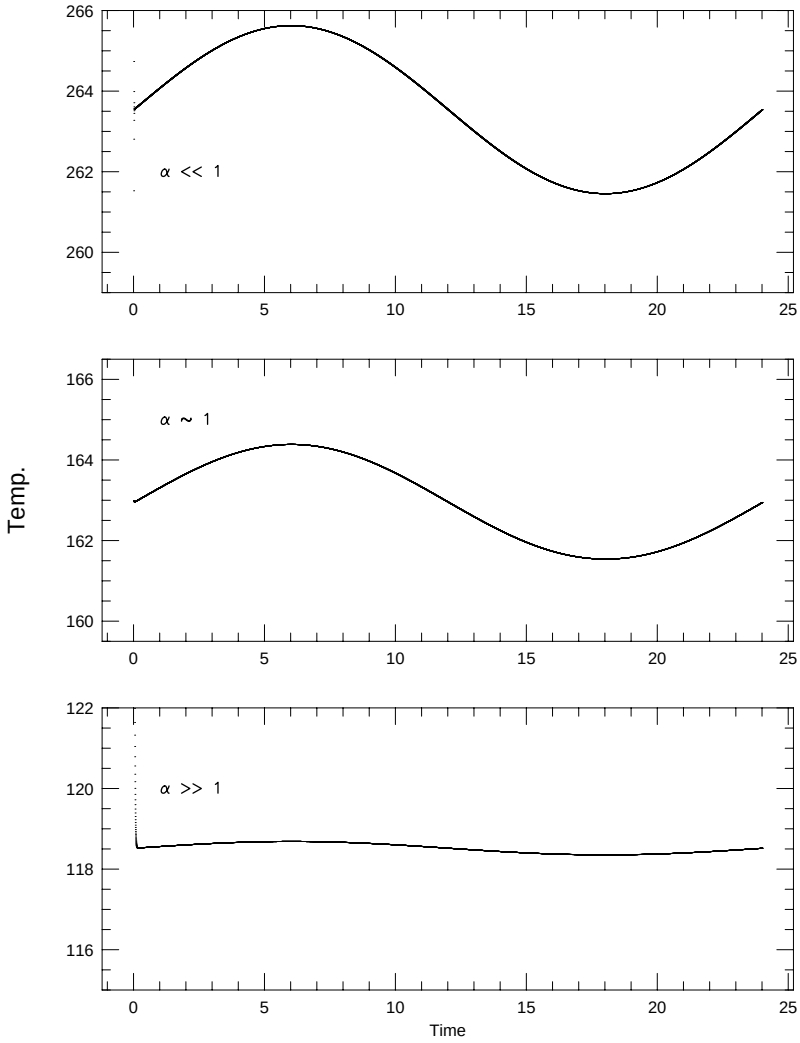
現在の2K CCD カメラの温度変化は、外気温と連動しており、温度コントロールが有効に働いていないことを示している。バイアスレベルがチップ温度と有意な相関を示す以上、温度を安定させることはバイアスを安定させるために不可欠である。
現在、温度コントロールはヒートシンクの温度を冷凍機先端についているヒーターで調節するようになっている（下図)。つまり、コントロールしているのはヒートシンクの温度であって検出器の温度ではない(あってますか ?– >吉田, 征矢野, 樽沢さん)。



この場合、検出器の温度を用いてコントロールしていないので、ヒートシンクの温度が安定していても、検出器の温度が大きく変動することは起こり得る。また、コントロール点（ヒートシンク）とヒーターが離れていることによって生じる熱伝導の Time Delay の問題は、温度コントロールが安定しない一因ではあるだろうが、検出器の温度変化が外気温と相関していることから、検出器の温度変化が温度コントロールの feedback time によるものとは考えにくい（feedback によるものであるなら、外気温の日周変化との相関はないはずである)。
結局のところ、積分中の検出器の温度変化のような局所的な現象も、温度コントロールが正常に働いていないという大局的現象も熱接触がしっかりできていないことで説明ができる。
検出器の温度変化は

$$C\rho\frac{dT}{dt} = \sigma \cdot A \cdot (T_{外気温}^4 - T_{CCD}^4) - \alpha \cdot (T_{CCD} - T_{heat\ sink})$$

で決まるので、αが小さい場合（熱抵抗が大きい場合）には振幅幅が大きくなる。Fig. 5 はαをいろいろに変えた場合のT_{CCD}の温度変化をシミュレートしたもの。$T_{外気温}$を 2K/day 変化させている。縦軸の値は任意。現状の 2K CCD は$\alpha << 1$ の状態に相当すると考えられる。



5 まとめ

Grade-3 チップの温度・バイアス安定性を調べた。その結果、以下のことがわかった。

- 検出器の温度は日周変動しており、その振幅は 2K/day 程度である。
- 検出器温度とバイアスレベルの間には負の相関があることが再確認された。
- 短い時間内でも露出時間が異なるとバイアスレベルが有意に変動することがわかった。
- １回の積分時間内でも温度は変動している。特に読み出し開始と同時に温度が上昇することが確認された。
- 局所的・大局的温度不安定性はいずれも熱接触が原因と考えられる。