

広範囲温度測定ユニットの開発

豊田 朋範（分子科学研究所 技術推進部）

TOYODA Tomonori : Development of wide range thermometer unit

We have developed a wide range thermometer unit which can continuously measure the range from -270°C to 1800°C with a single low-cost and easily available K-type thermocouple, and is compact and lightweight, with an emphasis on "ready-to-measure" functionality. This unit can also be used as a peripheral unit for WAN-WAN (Wireless Alarm Network for Wide Area Notification), a general-purpose simultaneous alarm notification system based on a patent we have acquired.

1. はじめに

真空チャンバーのベーキングや試料の冷蔵／冷凍など、実験現場では温度管理が重要な場面が多い。しかしながら、市販の温度計や温度調節器は(1)電源にAC100Vを必要とする場合がある (2) 据え置きやパネルへの組付けを前提とした形状である (3) 低温を測定できる製品はより高額である (4) 測定した温度データを PC に取り込むにも専用の有償ソフトウェアやデータロガーのような高額な機器が必要である—などの課題がある。

我々は、安価で入手性が良い K 型熱電対 1 本で $-270^{\circ}\text{C} \sim 1800^{\circ}\text{C}$ ^[1]の範囲を連続的に測定でき、小型軽量で「すぐ測定できる」ことを重視した広範囲温度測定ユニットを開発した。本ユニットは、我々が取得した特許^{[A][B][C]}に基づく汎用一斉警報通知システム WAN-WAN(Wireless Alarm Network for Wide Area Notification)^[2]の周辺ユニットとしても利用できる。

2. 広範囲温度測定ユニットの概要

2-1 外観とプリント基板

開発した広範囲温度測定ユニットの外観を図 1 に、プリント基板を図 2 に示す。

ケースは $45 \times 90 \times 25(\text{mm})$ (突起部除く)で、 128×64 ドット有機 EL ディスプレイ(秋月電子通商)、操作ボタン 3 つ、給電・PC との通信用 USB Micro B コネクタ、付属の K 型熱電対接続コネクタ、WAN-WAN 接続用の USB A コネクタと警報出力用 BNC コネクタを搭載している。

本装置の測定温度分解能は 0.25°C 、測定精度は $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ($-200^{\circ}\text{C} \sim +700^{\circ}\text{C}$)、 $\pm 6^{\circ}\text{C}$ ($-270^{\circ}\text{C} \sim +1372^{\circ}\text{C}$)^[1]である。

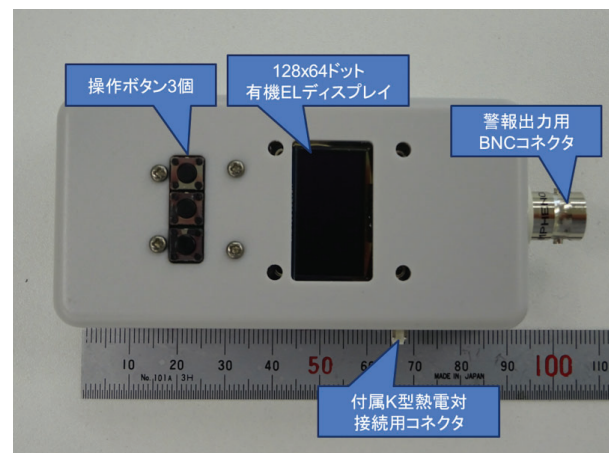


図 1： 開発した広範囲温度測定ユニットの外観

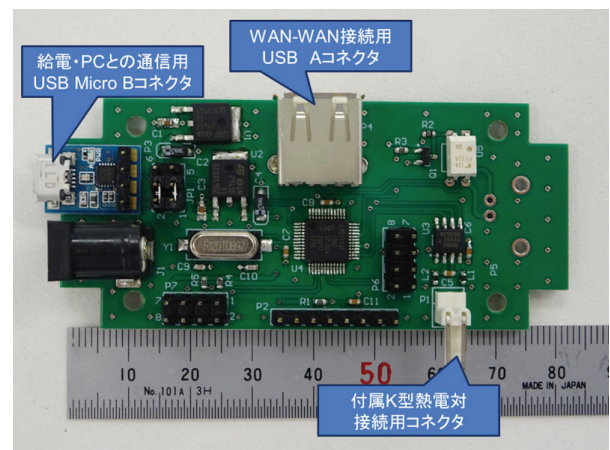


図 2： 開発した広範囲温度測定ユニットのプリント基板

2-2 回路の構成と動作

温度測定は MAX31855KASA+T(Analog Devices 社)に K 型熱電対を接続して行う。MAX31855KASA+T から SPI(Serial Peripheral Interface)で出力される温度のデジタルデータ

を、32bit ARM マイコンの 1 つである LPC1114FBD48/302(NXP 社)で読み込み、温度に換算して有機 EL ディスプレイに表示する。

WAN-WAN との接続の際の起動条件であるしきい値の設定、警報出力の条件(しきい値を上回る／下回る)並びに有効／無効の切り替えは、フロントパネルの操作ボタンで行う。これらの制御はすべて LPC1114FBD48/302 で行なう。

LPC1114FBD48/302 はシリアル通信規格の 1 つである UART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)を 1 系統有するが、USB は有していない。このため、本装置と PC との通信は、USB-シリアル変換モジュール(秋月電子通商)が行なう。このモジュールには USB 対 UART ブリッジ IC である FT234XD(FTDI 社)が搭載されていて、PC と接続すると仮想 COM ポートとして認識される。仮想 COM ポートは Windows の他 Mac や Linux でも使用できる。TeraTerm などターミナルソフトや Python などで作成したアプリからコマンドを送信することで測定が始まり、1 秒間隔で測定温度を取り込める。

3. 現場における温度計測と考察の事例

—高電圧アンプ IC の発熱の推移—

同時期に報告者が開発した機器^[3]で使用した高電圧アンプ IC である PA441DF(Apex Microtechnology 社)を、本装置の実証試験の対象とした。

この機器における PA441DF は、機器内部で生成した±140V を電源として使用する。最大出力電流は連続で 60mA^[4]であることから、最大消費電力≒発熱は $140(\text{V}) \times 2 \times 60(\text{mA}) = 16.8(\text{W})$ と計算できる。この値はパワートランジスタなどで放熱対策が必要な範疇であり、IC や接続する機器の破損が懸念される。現在までそのような事例は報告されていないが、PA441DF の発熱状況や温度の推移を測定したことはなかった。

負荷をオシロスコープの入力端子として(入力インピーダンスは DC1MΩ)、PA441DF の表面と(図 3)機器側面に本装置付属の K 型熱電対を接続し(図 4)、LPC1114FBD48/302 のプログラムで温度分解能を 1℃とした上で、1 秒間隔で約 1 日間、PA441DF の表面温度と室温を測定した。測定時期は、PA441DF 表面のヒートシンクなしが 2023 年

8 月 11 日～8 月 12 日、ヒートシンクありが 2023 年 8 月 12 日～8 月 13 日である。結果を図 5-1～図 5-4 に示す。

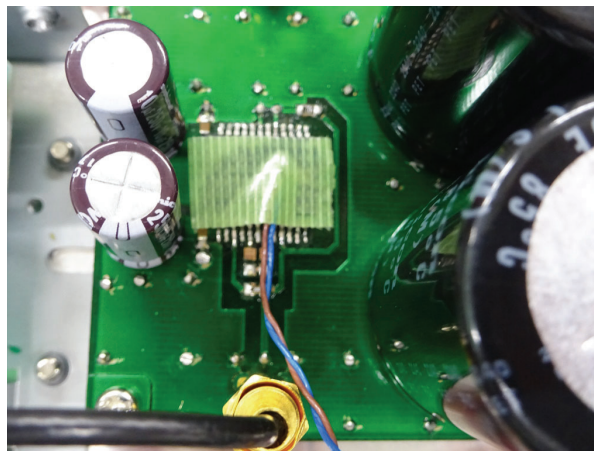


図 3： PA441DF の表面に K 型熱電対を接続した様子

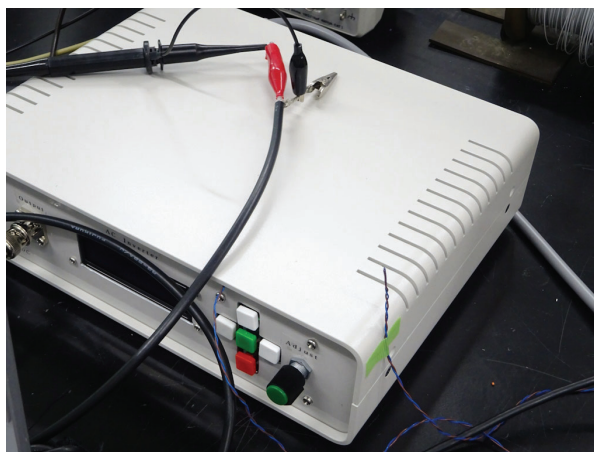


図 4： 機器の側面に K 型熱電対を設置した様子

室温とヒートシンクの有無に関わらず、PA441DF の表面温度は電源 ON 直後から急速に上昇し、60℃付近でほぼ一定になった。これは、(1)PA441DF の Quiescent Current(静的消費電流: IC が待機状態でも消費する電流)が 2.5mA(最大)であり、これによる最大消費電力 $140(\text{V}) \times 2 \times 2.5(\text{mA}) = 0.7(\text{W})$ が IC の発熱となって測定結果に表れた (2)本測定における PA441DF の最大出力電流は、 $140(\text{V}) \div 1(\text{M}\Omega) = 140(\mu\text{A})$ であり、これによる最大消費電力は $140(\text{V}) \times 2 \times 140(\mu\text{A}) = 0.0392(\text{W})$ であるため、(1)で算出した PA441DF の

Quiescent Current による消費電力のほうが支配的である—の2点が原因であると考察した。

4. まとめ並びに今後の展望

—現場の需要に応える機器開発—

安価で入手性が良いK型熱電対1本で-270℃～1800℃を測定でき、小型軽量で「すぐ測定できる」ことを重視した広範囲温度測定ユニットを開発した。本装置は面倒な設定が不要で、USBを用いてPCと接続し、ターミナルソフトやPythonなどで開発したアプリで容易に温度を計測できる。

また、WAN-WANと接続して警報出力の条件を設定することで、たとえば真空チャンバーの温度が200℃を超えたら管理者のスマートフォンに通知することが可能であり、実験や教育に専念できる環境の構築に貢献できる。

本装置のUSB形状はMicro-Bであるが、2022年10月のEU(欧州連合)の立法議会である欧州議会が、スマートフォンなどの充電端子にUSB Type-C搭載を義務付けることを可決した^[5]のを契機に、市販の携帯機器ではType-Cが急速に普及している。この情勢を受けて、報告者がUSB-シリアル変換モジュールとのピン互換性を確保したUSB Type-C搭載シリアル変換モジュールを開発し(図6)^[6]、図2のUSB-シリアル変換モジュールを置き換えることを試みた。その結果、PCと接続して仮想COMポートとして認識することなど基本的な動作を確認できた(図7)。本稿執筆時点でプリント基板を設計中であり、2024年度内のリリースを目指している。

本装置は「すぐ測定できる」ことを重視した開発コンセプトのため、クラウドサービスへのデータ送信・蓄積などの多彩な機能は搭載していない。また、分解能は0.25℃と決して高精度ではない。しかしながら、「そこまで高精度でなくても良いので、面倒な設定なしにすぐ測りたい」「AC電源フリーで持ち運びが容易かつ広範囲の温度を手軽に測定したい」という実験現場の需要は多い。実験現場に足を運び、研究者や学生の要望に耳を傾け、技術で解を提示できることが技術職員に求められる。今後も技術の研鑽と内外の情勢を含む知識の習得を進める所存である。

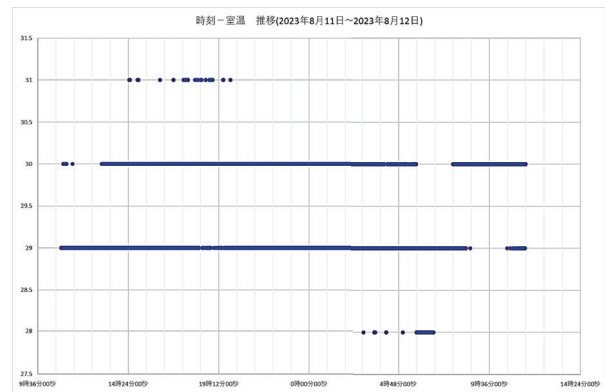


図 5-1：室温の推移(PA441DF はヒートシンクなし)

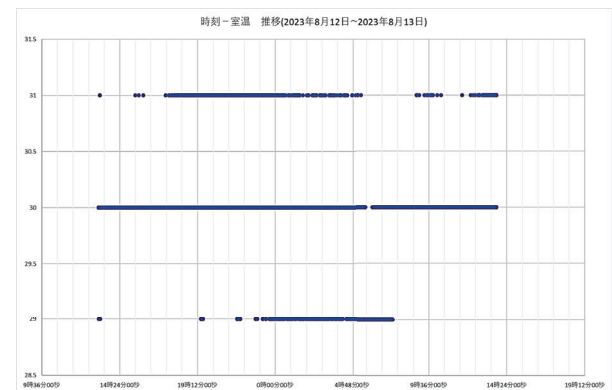


図 5-2：室温の推移(PA441DF はヒートシンクあり)

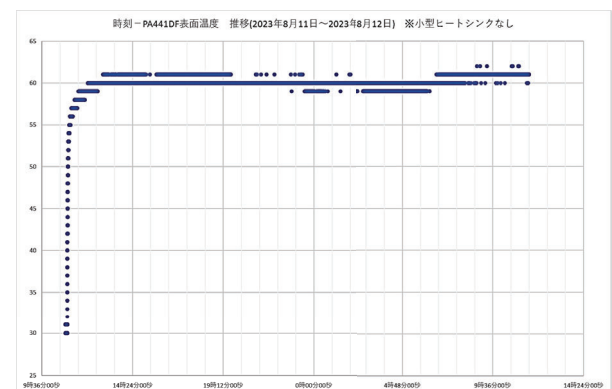


図 5-3：PA441DF の表面温度推移
(PA441DF はヒートシンクなし)

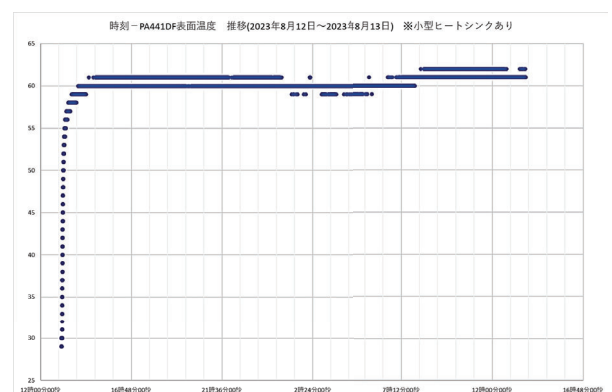


図 5-4：PA441DF の表面温度推移
(PA441DF はヒートシンクあり)

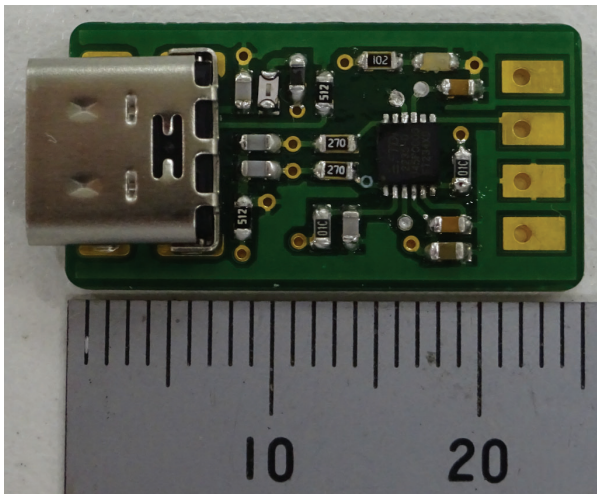


図6：開発した USB Type-C 搭載シリアル変換モジュール

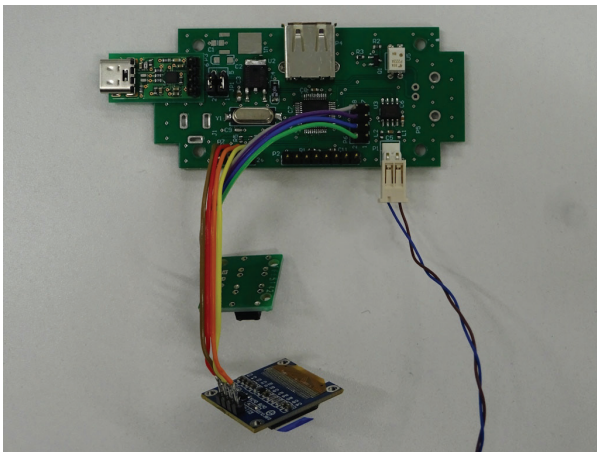


図7：図6のモジュールを使用した次期バージョンの試作評価の様子

注記並びに謝辞

WAN-WAN は、報告者(分子科学研究所)と千葉寿氏、古舘守通氏、藤崎里美氏(以上、岩手大学)が共同開発し、特許を出願、査定(認可)を受けたものである(特許番号は後述)。

本開発では、Python を用いた温度データ取得において松尾純一氏(分子科学研究所)に、筐体設計と制御プログラム改良において木村和典氏(分子科学研究所)の協力を賜った。この場を借りて御礼申し上げます。

参考・引用文献並びに主な関連発表

- [1] MAX31855 データシート, Analog Devices.
- [2] 豊田朋範 他:「汎用一斉通知システム(WAN-WAN)を用いた既存装置の DX 化と活用事例」, 第 28 回静岡大学技術報告会

[3] 豊田朋範:「バイモルポンプ駆動用高電圧アンプの開発」, 装置開発室 Annual Report2017, p30-31

[4] PA441/PA443 データシート, APEX Microtechnology

[5] 「欧州、スマホなどが対象の”USB Type-C 統一法”を 2024 年秋施行へ」, ITmedia NEWS 2022 年 6 月 8 日 公開, <https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2206/08/news065.html> など

[6] 豊田朋範:「USB Type-C 搭載シリアル変換モジュールの開発と狭小部品を用いたプリント基板設計の課題」, 装置開発室 Annual Report2023(2024 年 3 月末発行予定)

特許情報

[A] 特許第 6954530 号「警報連動型防災システム」, 千葉寿, 豊田朋範, 古舘守通, 藤崎聡美.

[B] 特許第 7170260 号「緊急防災ドッキングステーション」, 千葉寿, 豊田朋範, 古舘守通, 藤崎聡美.

[C] 特許第 7341426 号「通知システム、通知システムにおける制御装置、及び通知システムにおける制御方法」, 千葉寿, 豊田朋範, 古舘守通, 藤崎聡美.