

連続観測システムの遠隔監視用小型データ収録装置の開発

森本真司¹・田中洋一²

Development of a small size data acquisition system for monitoring continuous measurement systems

Shinji Morimoto¹ and Yoichi Tanaka²

(2005年1月17日受付; 2005年3月17日受理)

Abstract: A data acquisition system based on an embedded CPU board and Linux/OS has been developed for monitoring continuous measurement systems installed at remote observation sites through a network. This system has several types of Input/Output devices, such as AD converter, parallel and serial IOs. Ethernet ports are also provided so that most network software can be used on the system. It was confirmed that all devices responded within 1 ms after being triggered by user software and the system had been stable for a long time under normal load. This performance is adequate for the purpose of monitoring a measurement system's status.

要旨: 遠隔地で連続稼働している観測装置の状態をネットワーク経由で監視することを主な目的として、組み込み型 CPU ボードと Linux/OS を使用した小型データ収録装置の開発を行った。本装置は、様々な入力データに対応するために AD 変換、デジタル入出力、シリアル入出力ポートを備えており、標準的な TCP/IP プロトコルによるネットワーク機能が使用可能である。各データ入力デバイスの応答時間を調べたところ、すべて 1 ms 以下のデータ取得が可能であった。これは、観測装置の状態データのように比較的遅い変動を監視する目的には十分な応答速度である。標準的な負荷をかけた状態で連続運転試験を行った結果、6 カ月以上にわたって安定動作することを確認した。

1. はじめに

南極・昭和基地では人為起源・自然起源によるデータ汚染が少ないという地理的特質を生かして、各研究観測部門が多数のモニタリング観測を維持してきた。例えば気水圏系大

¹ 情報・システム研究機構国立極地研究所, National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

² ジオシステムズ, Geosystems Inc., Nanyodo Bldg. Hongo 1-14-4, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033.

気グループでは、1980年代半ば以降、大気中の重要な温室効果気体である CO₂、CH₄、地上オゾンの濃度や大気化学的に重要な成分である CO 濃度の連続観測を順次整備し、高精度データを蓄積しつつある (Tanaka *et al.*, 1987; Aoki *et al.*, 1992; Morimoto *et al.*, 2002)。しかし、観測項目の増加と共に、現地越冬隊員のメンテナンスに費やす時間と労力が多くなってきており、現地作業の省力化が課題であった。

近年の昭和基地におけるネットワーク環境および国立極地研究所-昭和基地間のデータ伝送路の整備により、昭和基地で稼働している連続観測システムの状態データ (house keeping data; HK データ) や観測データを日本国内から遠隔監視することが可能になっている。遠隔監視によって観測機器の維持を国内の共同研究者が分担可能になり、現地越冬隊員の負荷軽減に寄与するほか、機器にトラブルが発生した場合にも国内からの確かなサポートを行うことが可能になると考えられる。

一般的なデータ収録には、デスクトップ型あるいはノート型パーソナルコンピュータ (PC) が使用されることが多い。しかし最近の PC は、本体や周辺機器の更新周期が短く、かつ明らかにデータ収録には不要な機能が PC 上に多数搭載されている一方で、(特にノート型 PC では) 観測機器との通信に一般的に使われているシリアルポートが省略される場合もある等、長期間安定した観測データの収録には使いづらくなっている。

我々は観測システムの遠隔監視に使用するために、組み込み用 80x86 系 CPU ボードを使用した小型データ収録装置の開発を行った。本装置は、安定性・信頼性を高めつつも汎用性があるよう機能を選択し、外部とのインターフェースは観測データと機器の状態データを取得するためのアナログおよびデジタル入力端子(接点入力, シリアル入出力), 外部機器の制御用リレー出力, Ethernet(10base-T)ポート, 16文字×4行 LCD キャラクタディスプレイのみとした。また, マルチタスクかつオープンソース OS である Linux 系 OS を使用することによって, 非常に安定した動作を保証できるとともに, ソフトウェア開発とそのデバッグに必要なツールが容易に入手可能である。更に, 一般的な TCP/IP プロトコルによるネットワーク機能もすべて使用できる。

本稿では、小型データ収録装置の仕様・構成、装置用ソフトウェアの開発と国立極地研究所において行った試験・評価結果について報告する。

2. 小型データ収録装置の仕様と構成

本データ収録装置は、昭和基地のような遠隔地で稼働している観測システムの監視を安定して行うために、

- ・長期間安定して動作すること、そのために可動部分をできるだけ少なくすること
- ・様々なデータ (アナログ, パラレル, シリアルデータ) の取得・保存が可能であること
- ・ネットワーク機能が使用可能であること

- ・故障時の復旧が容易であること
- ・ソフトウェア開発が容易であること

に留意して、仕様と構成を決定した。ハードウェア構成と仕様を表1と図1に、入出力に関する仕様を表2に示す。

CPU コア部には、小型 NAT (Network Address Transfer) サーバーとして市販されている i486SX (または i586) 互換の PC104 規格 CPU ボード (WildLab 製 LAMB-EM-01/32; 組込用) を採用した。このボードには、コンパクトフラッシュ (CF) カード用スロットが一つ付加されており、記録媒体として大容量 CF メモリカードや CF 型ハードディスクを使用可能である。更に、Ethernet ポート、RS232C ポートをそれぞれ 2 チャンネルと、16 ビットの PIO (Parallel Input/Output) ポートを備えている。また、CPU が 80x86 系であることから、従来の組み込み機器用ソフトウェア開発に必要であったクロスコンパイルは必要なく、一般的な Linux 搭載 PC 上でソフトウェア開発と簡単なデバッグまで行うことができることも利点の一つである。

CPU ボードのインターフェースを拡張するために、PC104 バス仕様の AD 変換・パラレル入出力ボード (メイトテック製 MPC104-ADC12) を接続した。この IO (Input/Output) 拡張ボードにより、12 ビット 8 チャンネルの AD 変換と 24 ビットの汎用 PIO (TTL レベル) が使用可能になった。ボード上の AD 変換用 IC は、逐次変換型で最大変換周波数 2

表1 小型データ収録装置のハードウェア構成と仕様
Table 1. Specifications of the data acquisition system.

CPU	DIMM-CPU i486SX 66 MHz (i586 133 MHz)
Mother board	LAMB-EM01/32: WildLab PC104 bus RS232C 8251 compatible 2 port 10Base-T RTL8019 compatible 2 port
RAM	16 MBytes (32 MBytes)
HardDisk	MicroDrive 1 GBytes: Hitachi/IBM
AD 変換・DIO	MPC104-ADC12: MateTec Inc. PC104 bus ADconverter 12 bit 10 kHz 8ch. Digital Input/Output 24 bit
LCD	L1634: Seiko 16 characters × 4 lines
Size	W260 × H100 × D180 mm (W150 × H70 × D139 mm)
Weight	2.1 kg (0.9 kg)
Power supply	DC5V or DC9-48V 0.3 A at DC24V (DC5V or DC9-32V 0.3 A at DC24V)

() 内は 2 号機の仕様

Specifications for the system version 2 are shown in parentheses.

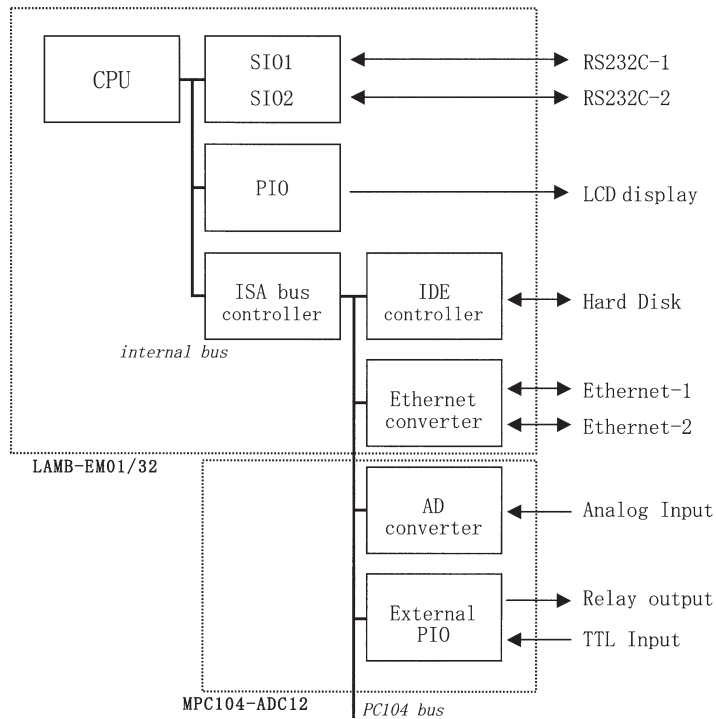


図1 小型データ収録装置の構成
 Fig. 1. Block diagram of the data acquisition system.

表2 小型データ収録装置の入出力仕様
 Table 2. Specifications of Input/Output ports of the data acquisition system.

		No. of channel
Analog input	12 bit (0-5 V, ±5 V, 0-10 V, ±10 V)	8
Digital input	TTL level	12 (8)
Digital output	PhotoMOS relay 1a	12 (8)
Serial I/O	RS232C	2

() 内は2号機の仕様
 Specifications for the system version 2 are shown in parentheses.

kHzの汎用型のものである。また、PIOのDI(Digital Input)側は12ビットの数値入力あるいは12チャンネルのビットパターン入力が可能のようにTTLレベルの入力端子をそのまま外部に引き出し、DO(Digital Output)には、ネットワークを介した外部機器のリモートコントロールができるよう、バッファ(SN74124)を介してフォトモスリレー(松下電工AQZ204V)を接続した。

本装置は小型化のためにCRT等のディスプレイを省いたが、代わりに16桁4行の

LCD キャラクタディスプレイ（セイコー製 L1634）を加えることによって、最低限の取得データ表示やメッセージ表示を可能にした。キャラクタディスプレイは、CPU ボードの PIO ポートから駆動した。

OS 及びソフトウェアとして、CPU ボードに標準で添付されている RedHat 系 Linux パッケージ(カーネルバージョン 2.2.16; サイズ約 32 MBytes)を使用した。このパッケージは、CPU ボードの本来の用途である NAT サーバー用に機能を選択されてサイズを非常に小さくされたものであるが、ネットワーク周辺の必要なソフトウェアはすべて含まれており、本装置の目的には十分な仕様である。例えば、NFS (Network File System) や ftp, telnet, web サーバーソフトウェアも含まれているため、必要な設定ファイルを書き換える

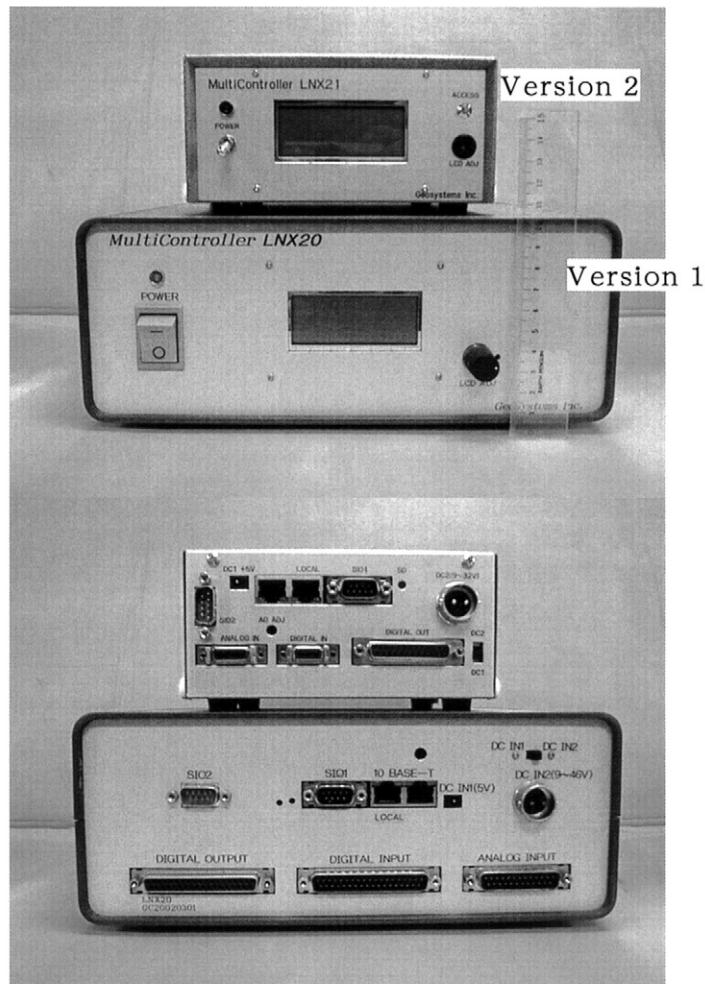


図 2 小型データ収録装置の正面（上図）と背面（下図）の外観
Fig. 2. Photos of the data acquisition system.

だけで、本装置で取得したデータをネットワーク越しに他のサーバーへ転送することや、telnet クライアントソフトや web ブラウザから本装置にアクセスしてデータのリアルタイム監視を行うことも可能である。また、パッケージに含まれていないソフトウェアが必要になった場合でも、RedHat 系 Linux の完全なパッケージ (但し、Kernel2.2.x) から必要なバイナリコード及びライブラリルーチンをコピーするだけでよい。

我々はこの Linux パッケージを、同じく RedHat 系 Linux が動作しているノート型 PC を用いて CF 型 HD (ハードディスク: 日立/IBM 製 MicroDrive 1 GBytes) にインストールし、さらにソフトウェアのデバッグに必要な数種のコマンドを追加した。本装置において可動部品はこの HD のみであり、他のハードウェアが故障する可能性は非常に低いと考えられる。故障確率の最も高い HD を取り外しの簡単な CF 型としたことにより、万が一故障した場合でも、予備 HD と交換して電源を再投入するだけで簡単に復旧することが可能である。CF 型 HD は比較的安価であることから、あらかじめすべてのソフトウェアをインストールした予備ハードディスクを複数個用意することも容易である。

図 2 に、製作した 1 号機、2 号機の外観を示す。1 号機はすべての IO ポートを外部コネクタに引き出した上に標準の Dsub コネクタを使用したため、筐体が大型になっている。2 号機は、外部に引き出す DI、DO をそれぞれ 8 ビットに減らし、更に DI/DO 用に MDR コネクタを使用することによって小型化を図った。

3. ソフトウェアの開発

本節では、外部 IO 制御用デバイスドライバーの作成と、本装置の目的である連続観測システムの HK データ監視用ユーザープログラムの開発、そしてその評価について述べる。なお、本装置にはコンパイラを搭載しなかったため、すべてのソフトウェア開発とコンパイルは RedHat 系 Linux (Kernel2.2.x) が動作する他の PC 上で行い、コンパイル後のバイナリコードを ftp で本装置内の HD に転送した。

3.1. デバイスドライバーの作成

ユーザーが外部 IO を操作する方法として、Linux には、1) ユーザーソフトウェアから直接 IO を駆動する、2) デバイスドライバーを実装し IO の操作を Linux カーネルに任せるといふ二つの方法が使用可能である。しかしながら、1) の方法は IO を操作する部分をユーザーソフトウェアの一部として作成しなければならないことや、システムの高負荷時には IO の反応時間が最悪の場合には数秒必要であること、割り込みを使用できないこと等の問題があるため、我々は 2) の方法を採用した。デバイスドライバーを用意することにより、ユーザープログラムは外部 IO 用ハードウェアをファイルの一種として扱うことができる。つまり、各 IO デバイスに対応するデバイスファイルに対して read/write を行う

表3 デバイスドライバーの仕様
 Table 3. Specifications of the device drivers.

I/O device: device driver	device file	read/write	argument	function
				range
AD Converter: Inxadc. o	/dev/Inxadc0-7	read only	char[2]	analog input ch. 1-8 0-5 V
	/dev/Inxadc8-15	read only	char[2]	analog input ch. 1-8 0-10 V
	/dev/Inxadc16-23	read only	char[2]	analog input ch. 1-8 ±5 V
	/dev/Inxadc24-31	read only	char[2]	analog input ch. 1-8 ±10 V
<hr/>				
Digital Input/Output: Inxprio. o	/dev/Inxprio0	read only	int	12 bit digital input TTL level
	/dev/Inxprio1	write only	int	12 channel relay 1a
<hr/>				
LCD Display: Inxlcd. o	/dev/Inxlcd0	write only	char[16]	LCD line1
	/dev/Inxlcd1	write only	char[16]	LCD line2
	/dev/Inxlcd2	write only	char[16]	LCD line3
	/dev/Inxlcd3	write only	char[16]	LCD line4

ことで外部 IO とのデータのやりとりが可能である。

本装置の IO のうち、CPU ボードに実装されている Ethernet, RS232C, CF カードドライブについて、それぞれのデバイスドライバーが Linux パッケージに標準で含まれている。そのため、新たに作成が必要なのは AD 変換器制御、DIO 制御、そして LCD 表示部分用の三種のみであった。作成したデバイスドライバーの仕様を表 3 に示す。

我々が使用した AD 変換ボードは、ソフトウェア側からの設定によって 4 種類のフルスケール (0-5 V, 0-10 V, ±5 V, ±10 V) が選択可能であることから、それぞれのフルスケールに対応したアナログ入力 8 点分、合計 32 個のデバイスファイルを用意した。表 3 に示すとおり、AD 変換用デバイスドライバー (Inxadc. o) は、デバイスファイルのマイナー番号 (末尾の数字) を用いてチャンネルとフルスケール値を判断し、AD 変換器への変換開始要求の送信と AD データの受信を行う。ユーザープログラムが受け取った文字型 (char) データを数値化するには、符号なし整数型 (unsigned int) へのキャストが必要である。

デジタル入出力用には二つのデバイスファイルを作成し、それぞれを入力 (TTL レベル) および出力 (リレー接点出力) 用に割り当てた。デジタル入出力用デバイスドライバー (Inxprio. o) は、ユーザープログラムによる入力用デバイスファイルへの読み取り要求に対しては DI ポートに入力された数値データ (ビットパターン) を返し、出力用デバイスファイルへの書き込み要求に対しては対応するリレーの on/off を行う。

さらに 4 行×16 文字 LCD キャラクタディスプレイ用ドライバー (Inxlcd. o) を作成し、LCD の 1 行目から 4 行目までの各行に対応する 4 個のデバイスファイルを用意した。ユーザープログラムは、各行に対応するデバイスファイルに表示すべき文字列を書き込むことにより、LCD に英数字と記号を表示させることができる。

3.2. HK データ監視用ユーザープログラムの作成と評価

まず最初に、本装置の外部 IO のうち AD 変換器のみを駆動するテストプログラムを作成し、ユーザープログラムからの要求に IO が応答するまでの時間を測定した。プログラム実行時にはバックグラウンドで無限ループ処理を実行し、CPU に過大な負荷をかけた状態での応答を調べた。その結果、1 チャンネルの AD 変換に必要な時間は最大でも 0.38 ms であり、機器の HK データ取得のように厳密なリアルタイム性が要求されず、かつデータ取得周期が長くて良い (1 秒程度) 用途には、十分な応答速度であることを確認した。また、同様の方法で測定した 12 ビットの DI, リレーの操作 (DO), そして LCD 1 行表示に必要な時間はそれぞれ 0.27 ms, 0.28 ms, 1.65 ms であった。LCD 表示に時間がかかっているが、これは LCD 表示器自身の応答速度が遅いためにデバイスドライバー側で wait を入れていることが原因である。

次に、微量気体連続観測装置の HK データ (アナログデータ) 監視を目的としたユーザープログラム暫定版を作成して本装置上で動作させ、安定性の評価を行った。作成した HK データ監視プログラムのフローチャートを図 3 に示す。この監視プログラムは、Linux がマルチタスク OS である特質を生かして、主関数 (親プロセス) はハードウェアの初期化とデータ受信プロセス (子プロセス) の生成・監視・再起動のみを行い、子プロセスがデータ受信等の実処理を行う。プログラムの具体的な動作は以下の通りである。

- 1) 電源投入後、HK データ監視用主関数 (親プロセス) が起動する。
- 2) 親プロセスは、実際にデータ受信を行うプロセス (子プロセス) を立ち上げた後、子プロセスに不具合が発生するまでスリープする。
- 3) 子プロセスは、60 秒に一度 8 チャンネルのアナログデータを取得し、LCD にデータ取得日時と取得データを表示する。取得データは、OS の日付・時刻情報から得たタイムスタンプを付加して、データ取得日のファイル (yyyymmdd. dat) に保存する。
- 4) 子プロセスに不具合が発生した時点で親プロセスは子プロセスを再起動し、データ受信・保存を継続する。

AD 変換器用デバイスドライバーは、AD 変換器にトリガーをかけた後、「AD 変換終了」割り込みが発生するまでスリープするように設計されているため、何らかの原因で CPU が「AD 変換終了」割り込みを受信できない場合にはユーザープログラム側に制御権が戻らず、データ取得が停止する恐れがある。そのため、AD 変換器にトリガーをかける前にソフトウェア・タイマーを起動して、一定時間以内に AD データが取得できない場合に子プロセスを再起動する仕組みを用意した。取得データをファイルに保存する際、データ書き込みの度に保存ファイルの open/close を行っているため、上記子プロセス再起動の影響は受けない。

通常の負荷をかけた状態での本装置の安定性を確認するために、本装置を国立極地研究

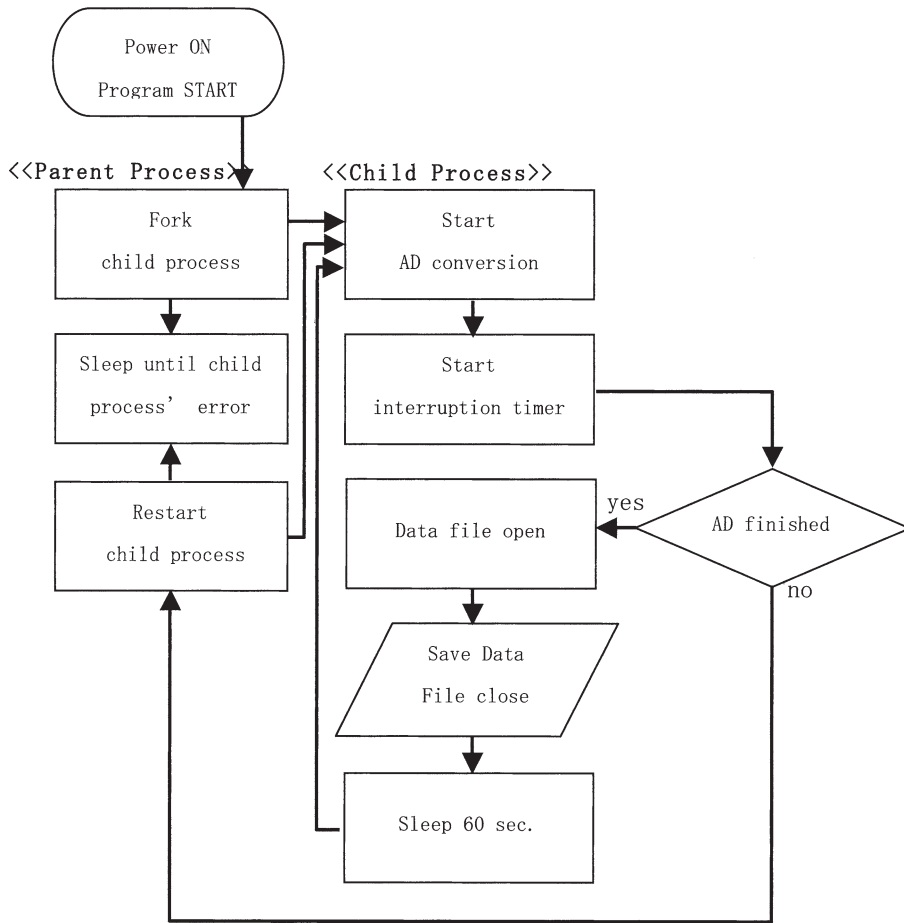


図3 アナログデータ収録プログラムのフローチャート
 Fig. 3. Flow chart of the analog data acquisition program.

所 LAN に接続し，所内 ntp (Network Time Protocol) サーバーを使用した時刻合わせと，適宜，外部から ftp によるデータ転送要求，telnet 接続を行う条件の下で，HK データ監視プログラムを実行した．その結果，本稿作成時点 (2004 年 7 月) までの 6 カ月間は一度も停止せず，連続してデータ取得・保存が可能であった．また，AD 変換器の不具合による子プロセスの異常終了も一度も発生しなかった．以上のことから，本装置のハードウェア，デバイスドライバー，そして試験に用いたユーザープログラムは，長期連続稼働させる際にも十分実用に耐えるものであることが分かった．

性能評価に使用したユーザープログラム暫定版は，本装置が備えている I/O のうちアナログデータ入力のみ使用したものであるが，他の汎用 I/O も同時に使用することができる．例えば，あるシーケンスに従って DO に接続した電磁バルブを ON/OFF し，複数の測

定データをアナログ・シリアルポートで受信・保存する,あるいは1台の測定器データをシリアル1チャンネルで受信し,受信データに時刻ヘッダ,バルブ状態データやHKデータを付加してシリアル2チャンネルからデータ受信専用PCに送信するなど,例えば微量気体連続観測装置等のコントローラーとしても使用が可能である。

4. ま と め

遠隔地で稼働している観測システムの監視を安定して行うために,組み込み用 i80x86 互換 CPU ボードを使用した小型データ収録装置を開発した。本装置は,外部データを取り込むための I/O として,12ビット8チャンネル AD 変換器,それぞれ最大12ビットの DI/DO,さらに2チャンネルのシリアルポート,LANポートを備えており,取得したデータの保存スペースとして容量1GBytesのCF型ハードディスクが接続されている。本装置のOSとしてLinuxを使用しているため,標準的なネットワーク機能はすべて使用できる。外部IO駆動用デバイスドライバーと試験用ユーザープログラムの開発を行い,本装置のハードウェア・ソフトウェアの評価と試験を行った。その結果,ハードウェアとデバイスドライバーの動作,および応答速度は観測機器のHKデータ取得には十分なレベルであり,試験用に開発したユーザープログラムを含めた安定性にも問題がないことを確認した。

謝 辞

本装置の開発は,国立極地研究所・リーダーシップ経費(平成13年度)によって行われた。

文 献

- Aoki, S., Nakazawa, T., Murayama, S. and Kawaguchi, S. (1992): Measurements of atmospheric methane at Japanese Antarctic Station, Syowa. *Tellus*, **44B**, 273-281.
- Morimoto, S., Wada, M., Sugawara, S., Aoki, S., Nakazawa, T. and Yamanouchi, T. (2002): *In-situ* measurements of the atmospheric CO concentration at Syowa Station, Antarctica. *Polar Meteorol. Glaciol.*, **16**, 95-105.
- Tanaka, M., Nakazawa, T., Shiobara, M., Ohshima, H., Aoki, S., Kawaguchi, S., Yamanouchi, T., Makino, Y. and Murayama, H. (1987): Variations of atmospheric carbon dioxide concentration at Syowa Station (69°00'S, 39°35'E), Antarctica. *Tellus*, **39B**, 72-79.