

温泉ボーリング調査における計測（その 1） — 計測システムとプログラム —

Drilling measurement for geothermal investigation (part1) — measurement system and measurement program —

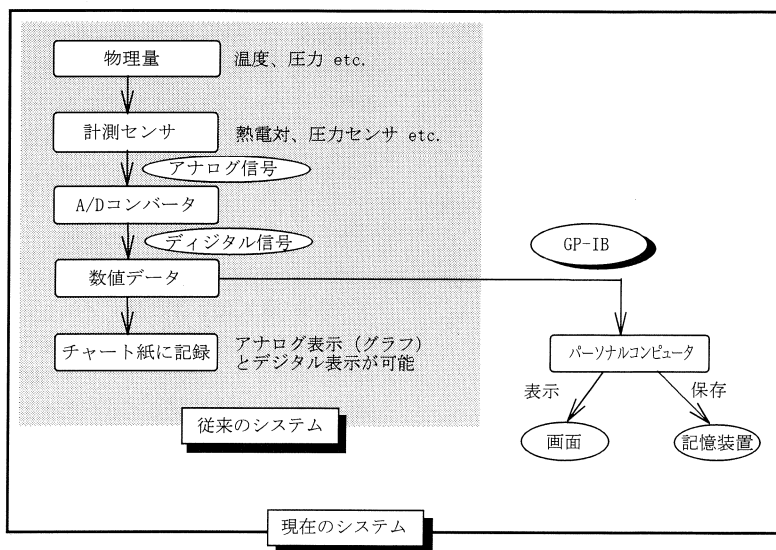
大 津 直
Sunao OHTSU

はじめに

温泉ボーリング調査で観察される様々な現象の計測・記録 (driller's log) は、地上設備の保守・点検や作業の安全の為だけではなく、温泉開発の成否を分ける重要な資料となる (例えば、宮田, 1984; 若浜, 1985; 高橋, 1990)。具体的な例として、溢逸泥現象をあげる。この現象は、送泥量と排泥量の均衡が坑井内の要因で崩れることによって現れるもので、一般に泥水タンク中の泥水面の急激な上昇・下降の現象として検知され、温泉ボーリング技術者

(driller)の間では、温泉貯留層を検知するための主要な要素になると考えられている。特に火山岩類が貯留層の場合は、亀裂の有無を判断する材料となっている。したがって、この現象を計測する事により、温泉湧出の有無や貯留層の規模を概略的に把握する事ができると予想される。

ところで、ボーリング調査に関する各種計測の対象となる被計測物は、アナログデータであるため、計測データの「デジタル化」を行わなければならない。当所における従来の計測システム(高橋, 1990)は、様々なアナログデータ (温度・圧力など) を A/D コンバータ内蔵のハイブリッドレコーダに取り込



第 1 図 従来 (GSH-DS) と拡張された計測システム (GSH-DS/2)

Fig.1 Relationship between the basic system (GSH-DS) and expanded system (GSH-DS/2).

み、記録紙にアナログ出力を行う方法をとってきた(第 1 図)。よって上記にあげた溢逸泥現象も定量的に捉えられていた。

しかしながら、従来のシステムでは、計測データの最終的な形はチャート記録紙であり、記録後のデータ解析をおこなうには記録紙から読み取らねばならず、非常に不便であった。そこで、従来の計測システムを拡充する方法として、ハイブリッドレコーダとパーソナルコンピュータ(以降パソコンと略称する)を GP-IB (General Purpose Interface Bus) で接続し、数値データをフロッピーディスク等の記憶装置に保存する方法を試みた(第 1 図)。本報告では、本システムの概要をしめし、本システムの拡充と応用に向けた方向性を提示する。

I 従来の計測システムの概要

当調査所では昭和 57 年度以降、深度 1 000 m クラスのボーリングに対応した簡易マッドロギングの開発・改良を進めてきた。特に平成元年度以降は、ドリリングモニターシステム (GSH-DS) としてマッドロギングを実施してきた(高橋, 1990)。これまでの計測項目を第 1 表に示す。

平成 6 年度地熱ボーリング調査で実施した計測項目は第 1 表のうち①～⑥の 6 項目で、さらにフック荷重と総荷重から計算によって求めたビット荷重を計測項目に含めた。これら被計測物の物理量は、計

第 1 表 GSH-DS の計測項目一覧
Table 1 Measurement items of GSH-DS.

計測項目	計測センサ
①外気温 (°C)	熱電対 (C-C タイプ)
②排泥温 (°C)	熱電対 (C-C タイプ)
③送泥温 (°C)	熱電対 (C-C タイプ)
④ピットレベル	
マノメータ式	マノメータ
フロート式	ポテンシオメータ
⑤フック荷重 (ton)	
ウォークラインの張力変化	圧力センサ
⑥掘進率	
スイベル高さ測定方式	
掘削ストロークマーカース	
⑦ロータリートルク	トルクセンサ
⑧原動機 (モーター) 負荷	トランスデューサ
⑨送泥量	パルス検出センサ
⑩排泥量	ポテンシオメータ

注) 各計測方法・計測器の詳しい仕様についてはここでは省略する。

測センサによってアナログ信号に変えられ、A/D コンバータ内蔵の変換器を通してデジタル信号にかえられる(第 1 図)。変換器にはハイブリッドレコーダ(横河北辰電機製 3087 形)を使用した。

このハイブリッドレコーダは積算型 A/D コンバータを内蔵しており、記録はレコーダの設定により、アナログ記録、アナログ記録/デジタル記録、デジタル記録を選択できる(横河北辰電機, 1984)。レコーダの諸設定は機器前面のパネルスイッチによって行う。入力は、測点点数 12 点 + 1 チャンネル (DMM 機能) 入力、直流電圧・熱電対・測温抵抗体でさらに DMM 機能として直流電圧、交流電圧、抵抗の画面表示および記録を行うことができる。

従来のシステムでは、入力チャンネルにそれぞれ直流電圧、熱電対と DMM 機能に抵抗を設定し、5 秒毎にスキャンする様に設定し、チャート記録紙へデータを印字記録させ保有していた(第 1 図)。

II 計測システムの拡充について

1. GP-IB (IEEE-488) の概要

GP-IB とは、もともと米国 Hewlett-Packard 社で開発された HP-IB を IEEE (米国電気学会) が標準化した IEEE-488 標準バスのことをさす。したがって、GP-IB の呼称は俗称ではあるが、広く一般に用いられていることから、本報告でもこの名称をもちいる。GP-IB の最大の特徴は、高速なデータ転送能力と 1 台のコンピュータで最大 15 台の計測・制御機器をコントロールできることである。近年の計測機器は、標準またはオプションで GP-IB などの標準インターフェースを装備するのが普通となってきた。したがってパソコン側にも GP-IB が装備されればよい。

2. ノート型パソコンとの接続

使用したパソコンは日本電気製のノート型パソコンである(第 2 表)。本計測にノート型パソコンを使用した理由は、小型・軽量のため場所をとらず持ち運びが容易なことや、バッテリー内蔵のため停電に強いなどの長所をあげることができる(河村ほか, 1992; 河村ほか, 1993)。

本パソコンは、標準では 1.2 Mbyte の RAM (Random Access Memory)、すなわち 2 HD のフロッピーディスク 1 枚分の記憶容量しか持たない(日本電気はこれをラムドライブと呼んでいる)。これは「計測システム部分」のプログラムのみならば

十分な容量であるものの、「データ格納領域」も含めると記憶容量に余裕がみられない。また、計測システム領域とデータ格納領域を同じ記憶装置に置くのは、何らかの原因でファイルが壊れたときに、両方も使えなくなる可能性が高くなり、システムの保守性の点からも好ましくない。

このような理由から、当初は計測項目数7点を測定間隔30秒毎にデータをフロッピーディスクに直接書き込むようなプログラム内容にしたが、24時間の連続運転でフロッピーディスクドライブが壊れてしまった。

そこで、物理的動作を入れないためにRAMへの書き込み方法を採用することにした。RAMへの書き込みは半導体内部で行われるため、フロッピーディスクに比べて、書き込みの速度・安定性が高い。本パソコンには、専用のスロットに「増設ラムカード」を差し込むことによってRAMを増設することが可能であり、今回は8Mbyteの増設ラムカードで対処した（第2表）。なお、この増設ラムカードは、ソフトウェアの設定でハードディスク互換の記憶媒体として使用でき、そのように設定している。

ノート型パソコンに限らず、GP-IBを標準装備する機種は少なく、本パソコンもGP-IBを装備していない。そこでI/O拡張ユニットを接続することによって、多く市販されているPC9801シリーズのGP-IBボードを使用できる様にした（第2表）。

3. 計測プログラムについて

プログラムはMS-DOS*1上で開発できるN88日本語BASIC(86)(MS-DOS版)*2を使用した。プログラムリストを巻末の付録に示す。なお、プログラムの作成についてはGP-IBボード付属の解説書(コンテック, 1993)に従った。また、GP-IBについての一般的な解説やプログラムについては岡村

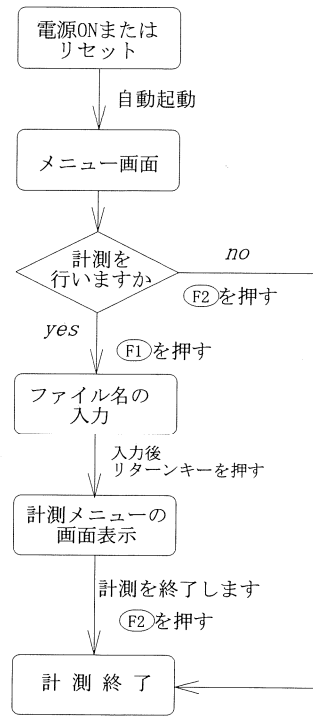
第2表 使用機器一覧

Table 2 List of the drilling measurement equipments.

機器名	機種名の型名	メーカー名
コンピュータ	PC 9801 NV	(株)日本電気
I/O拡張ユニット	NOTE-PAC(98)H-2 A	(株)コンテック
GP-IBボード	GP-IB-T(98)	(株)コンテック
増設ラムカード	98 NT-II 8 MB	(株)アイ・オーデータ機器

*1 米国マイクロソフト社の登録商標である。

*2 日本電気株式会社の登録商標である。



第2図 計測作業のフロー図

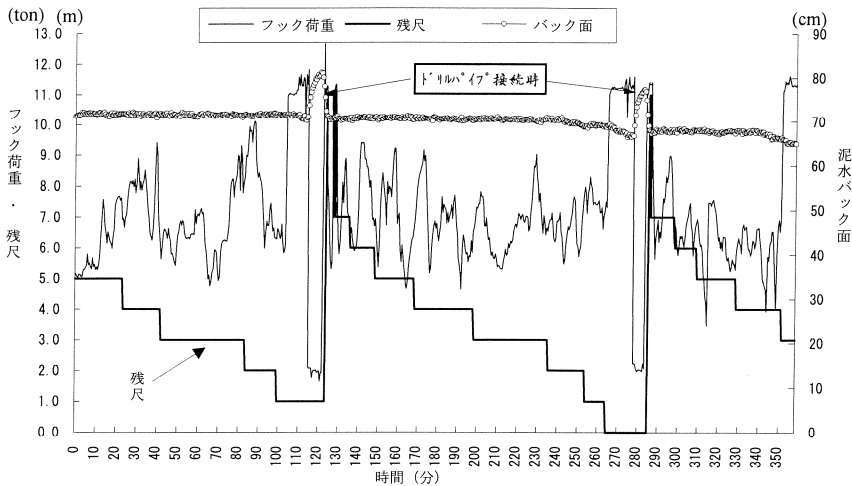
Fig.2 Flow chart of measurement work.

(1988), 亜樹 (1990), 河村ほか (1992), 河村ほか (1993) を参考にした。

本システムでは、起動後自動的に計測プログラムが立ち上がるようにバッチファイルを書いてある。

第2図に示す様に、計測プログラムは起動後にメニュー画面が表示されるので、メニュー表示に従いファンクション・キーF1を押すとファイル名の入力が促される。ファイル名を入力しリターン・キーを押すと計測作業が始まり、画面への表示とファイルへのデータの保存を行う。終了は、ファンクション・キーF2を押すだけでよい（第2図）。

計測されたデータはASCII形式のシーケンシャル・ファイルとして保存され、ファイル形式はカンマ区切り(CSV形式)である。このデータファイルから作成したグラフの1例を第3図に示す。グラフは、先に述べた計測項目の中からフック荷重、泥水バック面、掘進率のデータを抜き出している。



第3図 グラフの一例。フック荷重、残尺、泥水バック面の経時変化

Fig.3 Example of measurement chart. Variation of weight, residual kelly length and pit level.

4. 拡充された計測システムの長所と問題点

従来のシステムでは、印字設定やアナログ表示の視認性からチャート紙の送りを120 mm/hとしていた。仮に1日のボーリング調査時間を9時間とすると、チャート紙の長さにして約1 mに相当する。これでは非常に長すぎて閲覧性が悪い。

本システムで得られたデータは、第3図のように全体または一部をグラフ化したり、そのグラフの拡大縮小および印刷することは容易であり、閲覧性の問題は解消された。また、プログラムを介することによって、これまで得られなかった値も簡単な計算によって得ることができた（例えばビット荷重など）。今後も掘進率や逸泥量の自動計算など期待される計測項目は多い。

現在のシステムの問題点として以下の4つの点、①リアルタイムのグラフ表示を行っていないので、計測センサの故障等による計測値の誤りに気づきづらいこと、②常時、計測データのバックアップが必要であり、記憶媒体はどれも基本的に紙以上に安定でないこと、③パソコン自身が現場計測用の防塵・防振対策が施された機種でないこと、④現場の電力は発電機から得ていることが多く、商用電力相当の安定電力の供給がパソコンにとって必要であることが上げられる。

これらの問題点は、プログラムの改良やデータの印字を行うことによる紙へのバックアップおよび無停電源装置の採用によって解消される見通しである。

III 拡充と応用

拡充された計測システム（これをGSH-DS/2とよぶ）は、従来のシステムに比べて以下の点で優れている。計測データをパソコンの記憶装置に取り込むことにより、データの共有性・保守性・閲覧性が高くなった。共有性や保守性については、これまでは媒体が紙でありそれ自身の安定性は高いが、データの加工という観点からは非常に不便な形であった。現システムでは、ファイルのコピーでいくつでもバックアップをとることができるようになったため、複数の人が同じデータを共有したり、保管したりする事が可能となった。また、閲覧性については、先に述べたようにグラフなど様々な形にデータを加工し、様々なレベルで見ることが可能になったことがあげられる。得られたデータは、市販の表計算ソフトウェアなどで使いやすいカンマ区切り（CSV）形式であり、パソコン上での整理・解析作業が容易になった。

このシステムの応用として揚湯試験をあげる。エアリフトによる予備揚湯試験では、コンプレッサーの压力容器に圧力センサを接続する事によって、動水位の経時変化と湧出パターンを記録することが可能である。また、段階揚湯試験では、動水位（圧力センサ）と揚湯量（流量計）および揚湯温度（熱電対など）を連続測定し、経時変化を記録する事が可能である。これらについては、現在試験中であ

るのでデータがまとまり次第報告する予定である。

本システムは現在、当所で安定した計測項目を対象として構築した。今後は、送・排泥量や掘進率および掘削深度と各種計測項目との連動などシステムのさらなる拡充を図る必要がある。

謝辞 本報告を終えるに当たり、当所の秋田藤夫研究職員・藤本和徳^{*3}企画調整係長にはシステム構築からプログラミングまで丁寧なご教示を頂いた。ただし、プログラム中の間違い（バグ）は私の責任である。また、川森博史^{*4}開発技術科長と高橋徹哉研究職員には粗稿を読んでいただき多くの有益な指摘を頂いた。以上の方に名前を明記し謝辞とします。

文 献

- 亜樹智耶(1990)：GP-IB プログラミング入門. 工学図書, 168 p.
- 河村純一・下川繁三(1992)：ノートブックパソコンによる科学計測入門. HFS 出版, 200 p.
- コンテック(1993)：PC-MODULE GP-IB (98) D シリーズ サポートソフト解説書. 145 p.
- 宮田 厚(1984)：温泉ボーリングにおける計測. 第22回試錐研究会講演資料集, 北海道立地下資源調査所, 7-8.
- 岡村勉夫(1988)：IEEE-488 (GPIB) とその応用. CQ 出版社, 271 p.
- 高橋徹哉(1990)：温泉ボーリングにおける計測の事例. 第28回試錐研究会講演資料集, 北海道立地下資源調査所, 60-64.
- 若浜 洋(1985)：掘削中の計測データに関する考察. 第23回試錐研究会講演資料集, 北海道立地下資源調査所, 25-27.
- 横河北辰電機(1984)：3087形ポータブルハイブリッドレコーダ Instruction Manual. 44 p.

^{*3} 現開発技術科長.

^{*4} 現企画情報課長.

付録 プログラムリスト

Appendix Program list for drilling measurement.

```

10 ' save "DS2_21J.BAS",A
20 '*****
30 * MASTER MODE PROGRAM FOR DS/2 *
40 * MY ADDRESS = 1 INTLEVEL = 1 *
50 * TARGET ADDRESS=3 *
60 * DMA=TRUE DMACH=3 *
70 * I/O ADDRESS=200H *
80 '*****
90 CLS : CONSOLE 0,25,0,0
100 LOCATE 15,5:PRINT TAB(10) "*****G P I B通信メニュー*****"
110 LOCATE 15,6:PRINT TAB(10) "***** D S 2 VER2.1J*****"
120 LOCATE 15,7:PRINT TAB(5) "通信開始→f-1"
140 LOCATE 15,8:PRINT TAB(5) "終了→f-2"
170 ON KEY :GOSUB *GPINIT,*TEND
180 KEY ON
190 GOTO 190
200 *GPINIT
210 CMD PORT 0,1,1,&H2D0,1,3
220 ISET IFC
230 ISET REN
240 CMD TIMEOUT = 15
250 CMD DELIM = 0
260 CLS
270 CONSOLE 0,5,0,1
280 INPUT "ツール名を入れてください(EX: C:\Y906_1.DAT)", FL$
290 OPEN FL$ FOR OUTPUT AS #1 : CLS
300 LOCATE 15,1
310 PRINT "温泉ボーリング計測システムGSH-D S VER2.1J"
320 PRINT "地下資源調査所・開発技術科"
330 LOCATE 0,3
340 PRINT "時刻 外気温 排泥温 送泥温 フック荷重 ボック面 フェック 総荷重 W O B"
350 PRINT #1,"TIME,CH7,CH8,CH9,CH10,CH11,CH13"
360 N=0
370 LINE INPUT@ 3,1:A$

```

```

380 IF MIDS$(A$,5,3) = "C07" THEN T7 =VAL(MIDS$(A$,10,5))/10!
390 IF MIDS$(A$,5,3) = "C08" THEN T8 =VAL(MIDS$(A$,10,5))/10!
400 IF MIDS$(A$,5,3) = "C09" THEN T9 =VAL(MIDS$(A$,10,5))/10!
410 IF MIDS$(A$,5,3) = "V10" THEN T10 =VAL(MIDS$(A$,10,5))/1000!
420 IF MIDS$(A$,5,3) = "V11" THEN T11 =VAL(MIDS$(A$,10,5))/1000!
430 IF MIDS$(A$,4,4) = "N013" THEN T13% =VAL(MIDS$(A$,10,5))/1000 :COSUB *PRT
440 GOTO 370
450 *PRT
460 FW=(T10-1)*14.98 'FW:フック荷重
470 IF T13%=11 THEN TW=FW 'チャック13が11の時,フック荷重=総荷重の割り込みをかける
480 BW=TW-FW 'ピット荷重=総荷重-フック荷重
490 G=250*(T11-1) 'G:バック面
500 CONSOLE 4,18,0,1
510 IF N=0 THEN PRINT TIMES$:
520 IF N=0 THEN PRINT USING "#####.##";T7,T8,T9,FW;
530 IF N=0 THEN PRINT USING "#####.##";G;
540 IF N=0 THEN PRINT USING "#####.##";T13%;
550 IF N=0 THEN PRINT USING "#####.##";TW;
560 IF N=0 THEN WRITE #1,TIME$,T7,T8,T9,FW,G,T13%,TW,BW
580 N=N+1
590 IF N=6 THEN N=0
600 RETURN
610 *TEND
620 CONSOLE 0,25
630 CLS
640 CLOSE #1
650 KEY OFF
660 SYSTEM

```

'ハイブリットから文字列を受信