

南極ペネトレーターのインターフェイス・ソフトウェアの開発

渋谷和雄*

Development of the interface software for the Antarctic penetrator

Kazuo Shibuya*

(2005年6月10日受付; 2005年9月30日受理)

Abstract: We have developed PC-based interface software which controls ground system segments (GSSs) of the Antarctic penetrator through an automatic data collection system onboard a helicopter. A pen-touch panel was developed for easy operation. There are six basic functions in the interface software; “GSS time synchronization”, “make schedule file”, “send schedule file”, “GSS time calibration”, “data read-out”, and “sleep”. The sleep command enables us to cut off the radio transmitter/receiver to save power during a pre-determined period. After execution of each command, log files are saved automatically. In order to monitor processing by eye, a bar graph appears during execution of “time synchronization” and “data read-out”. As for malfunctioning encountered during the 43rd Japanese Antarctic Research Expedition, the related software bugs were identified and the codes were rewritten.

要旨: 南極域での人工地震探査に使用する投下式地震計(南極ペネトレーター)センサー(GSS)をヘリコプター上の制御装置(ADCS)を通じてコマンド制御するために、タッチパネルディスプレイを持つ、パーソナルコンピュータ(PC)上で動作するインターフェイス・ソフトウェアを開発した。PCパネルの設定画面上でコンボックスボタンをペンタッチし、各種設定やコマンドを実行する。インターフェイス・ソフトウェアが行う基本的な操作はGSS時計のUTC時刻同期、観測スケジュールファイルの作成と送信、GSS時計の較正、メモリーデータの読み出しである。コマンドの実行ログファイルが自動生成される。無線機ONの状態では電力を著しく消費するので、コマンド送受信/データ回収を行わない一定期間、無線機をOFFにして待機状態に入るsleep機能を持っている。通信に時間のかかる時刻較正、データ読み出しについては、実行状況を処理待ち受けダイアログで表示し、正常に機能しているかどうか目視的に判断する。第43次隊の運用においては、指定日時になっても無線モデムに電源が入らないため無線リンクが取れない、という不具合が指摘された。また、年をまたぐスケジュールをセットした時、新年以後のスケジュールが起動しなかった。これらソフトウェアに関する不具合について原因を究明し、対策を行い解決した。

* 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.

1. はじめに

南極域で人工地震探査を行う時、クレバス地帯での安全行動を考慮すると、地上アクセスを必要としない投下式地震計の開発が急務である。そのため、ヘリコプターから GSS (Ground System Segment) と呼ぶ無線モジュール付きの地震計センサー部を投下して設置し、ADCS (Automatic Data Collection Segment) と呼ぶ、ヘリコプター内から無線を用いて GSS の時刻同期を行い、発破に対応したデータ収録開始時刻を設定し (スケジュールを送信し)、GSS のメモリーに保存された波形データを読み出して回収するシステムの開発を進めてきた。このような、投下型地震計を南極ペネレーター (以下ペネレーターと略記) と呼び、第 43 次南極地域観測隊夏隊 (第 43 次夏隊) で使用したが、電源部とソフトウェア (制御ロジック) に不具合が残っていたため、実用に至らなかった。この電源不具合については渋谷 (2004) で原因を明らかにし、対策後、低温 (-15°C) での実用試験を実施し、50 日以上寿命を持つことを確かめた。

一方、sleep コマンドが使用できないと無線機 ON の 130 mA が消費電流の最低ベースになるため、電池寿命が sleep ありの時の寿命に比べ約 6 割の 30 日に減ってしまう。第 43 次隊の運用においては、「wakeup command」がうまく動作せず、指定日時になっても無線モデムに電源が入らないため無線リンクが取れない、という不具合が指摘された。この原因の詳細を含め、インターフェイス・ソフトウェア (以後インターフェイスソフトと略記) の概要について報告する。

2. インターフェイス・ソフトウェア

投下型地震計は複数台の GSS (ここでは 40 台を想定) を 1 台の ADCS を用いて無線制御し、時刻同期や時刻校正しなければならない。また、予定した時刻から爆破地震波形を 60 秒間記録するための収録スケジュール (ここでは 48 回を想定) に合わせ、エリアを設けてデジタル記録しなければならない。そして、ID 番号を付した GSS を必要に応じて呼び出し、必要なエリアの収録データを無線回収しなければならない。さらに、電力節約のため無線機の機能を停止 (sleep) させ、その後、回復 (wake) させる必要がある。

図 1a に ADCS-GSS とその制御を行うインターフェイスソフト搭載パソコン (PC) との関係を示す。ADCS の指定した ID 番号に対応した (ID matching が取れた) GSS のみと通信を行うことが可能である。ヘリコプターの機上で簡単な PC 操作で多岐にわたる命令 (コマンド) を実行するためには、使いやすいインターフェイスソフトが必要不可欠である。そのため、PC 設定画面のタッチパネル上でグラフィカルに、各種設定やコマンドを実行する特別のプログラムを開発した。

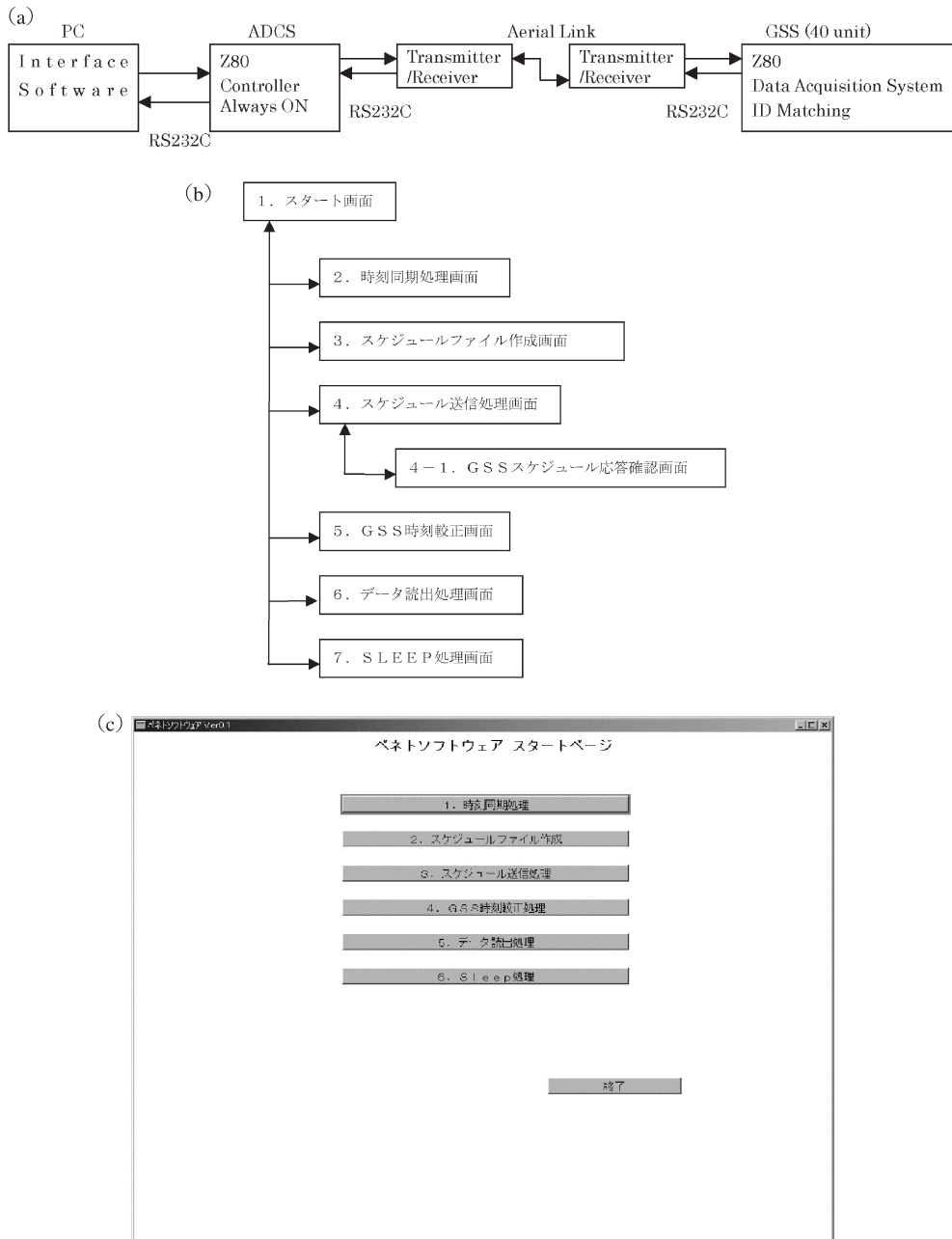


図 1 ペネトレーターのインターフェイス・ソフトウェアの基本構成

(a) 構成図. (b) 基本機能は 6 あり, スタート画面から選択する. (c) スタート画面

Fig. 1. Basic composition of the interface software.

(a) Relation among PC, ADCS and GSS. (b) The interface software has 6 basic functions. Each function can be selected from the start panel. (c) "Start" panel.

2.1. スタート画面

インターフェイスソフトが行う基本的な処理は6あり、図1bの構成図で示される。プログラムが起動されると六つの処理に移るためのスタート画面(図1c)が表示される。誤動作を避けるため、処理画面の間では移行できない設計になっている。たとえばスタート画面「1. 時刻同期処理」を終え、続けてスタート画面「4. GSS時刻較正処理」に移行する場合でも一旦、スタート画面に戻らなければならない。ADCSにアクセスする各コマンドを実行するとログが自動的に保存される。

2.2. 時刻同期処理画面

40本のGSSに対応してIDは40あり、図2aの処理画面上で時刻同期処理を行える。ペンタッチで図2aのパネルボタンのID番号を押すことでコマンドを入力できる。図2bの確認ダイアログで「はい」を入力すると、ADCSはGSSに対してGPS-LS20Kに同期したUTC時刻を送出する。同期処理が行われたIDボタン(図2aではID=3)の色は処理済色(緑色)に変更されるので区別しやすい。右側の「日時」の部分に同期処理を行ったIDと日時が表示

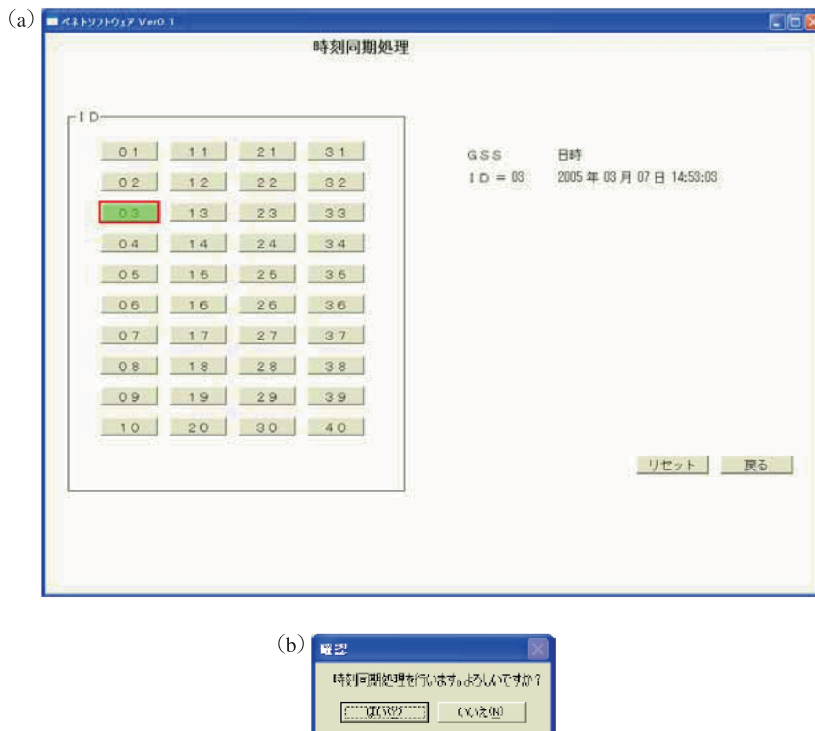


図2 (a) 時刻同期処理画面. (b) 確認ダイアログ

Fig. 2. (a) "Time synchronization" panel. (b) "Dialogue" panel to confirm command execution.

される。この画面の例では2005年03月07日14時53分03秒にADCSがID=3のGSSに対してGPS同期時刻を送り出し、GSSがそのコマンドを受け取って、確認信号を返送して正常終了したことを示す。

「リセット」はすべてのボタンの色を未処理色（灰色）に戻す。リセットしても過去のログは消去されず複数回の送信操作は履歴として時間順に残る。同期処理中は処理待ち受けダイアログ（図8上）が表示される。処理中、何らかの原因でタイムアウトが発生した場合（同期に失敗した場合）、「タイムアウトが発生しました」というメッセージが出て、そのIDボタンが赤色に変わる。

2.3. スケジュールファイル作成画面

図3はスケジュールファイル作成画面である。GSSのID(1~40)を選択して画面左下にあるLOADボタンを押すと、ファイルに保存されている時刻を画面のコントロールに配置する。ソフト起動後はじめてこの画面に来たときは、LOADは行わずデフォルト値として現在時刻が表示される。スケジュールは48のエリアに配置できる。つまり、この画面は40(ID)×48(エリア)の2次元マトリックス・イメージになっている。

「C」ボタン（エリア番号各行の右端のC, P, Aボックス）で選んだエリア（例えば1）の日時を一時的に記憶して、他のエリア（例えば2）へ「P」ボタンで貼り付けることが出来る。



図3 スケジュールファイル作成画面
Fig. 3. “Make schedule file” panel.

あるいはエリア1の右端の「A」ボタンを押すとそのエリアの内容をほかのすべてのエリアへコピーできる。1~30のエリアは1ページ目に、31~48のエリアは2ページ目にある。画面右下の「ページ2へ」ボタンで1ページ目から2ページ目に遷移する。逆も同様にできる。爆破地震記録の場合、エリア1は例えばショット1に対応するから、エリアが48あれば、48回のショットに対応できる。C, P, Aボタンはデータ収録開始時刻のすばやい配置を可能にしている。

スケジュールファイル作成画面においてファイル送信はできない。いちいちの入力操作に対してログは残らず、SAVEされた最新の40ファイル(ID番号に対応)に上書き保存し、スタート画面に戻り、次のスケジュール送信処理画面に移行すれば良い。

2.4. スケジュール送信処理画面

図4aはスケジュール送信処理画面である。例えばID=1のボタンを押すと、ID=1に格納されていた48エリアのスケジュールをGSS=1に対して送信する。送信前には、「ID=1に対してスケジュールを送信します。よろしいですか?」という確認画面が出る。送信される内容はスケジュールファイル作成画面でSAVEされた最新のエリア内容である。送信処理が行われたIDボタンの色が処理済色(緑色)に変更される。

「リセット」はすべてのボタンの色を未処理色(灰色)に戻す。これは事前テストや同一フライト中に同一のGSSに対してスケジュール送信処理をやりなおしたい時のためのもので、どれをやり直したか紛らわしいので、目的的にリセット状態に戻すために用意されている。リセットしても過去の送信ログは消去されず、複数回の送信操作は履歴として時間順に残る。画面左上のラジオボタンで「GSSスケジュール応答確認を表示」を選んでおくと、送信処理終了後にGSSスケジュール応答確認画面が表示される。送信処理中は処理待ち受けダイアログ(図8下)が表示されるが、処理中タイムアウトが発生した(失敗した)場合、「タイムアウトです」というメッセージを出し、IDボタンがたとえばID=2の例のように赤色に変わる。

図4bがスケジュール応答確認画面である。図1の系統図が示すように、スケジュール送信処理画面から移行して表示できる。各IDに応じた40ファイルが用意され、GSSが返送してきた48行のエリア内容(スケジュール)が表示される。この内容はスケジュールファイル作成画面で作成されSAVEされた最新スケジュールに一致しているはずなので、GSSが正常に動作しているかどうかの判断材料になる。ラジオボタンの選択が「GSSスケジュール応答確認を表示」の場合、表示内容が作業ログに追加される形でログとして残る。

2.5. GSS時刻較正画面

図5はGSS時刻較正画面である。必要なIDのボタンを押すと、GSSから現在時刻を読み

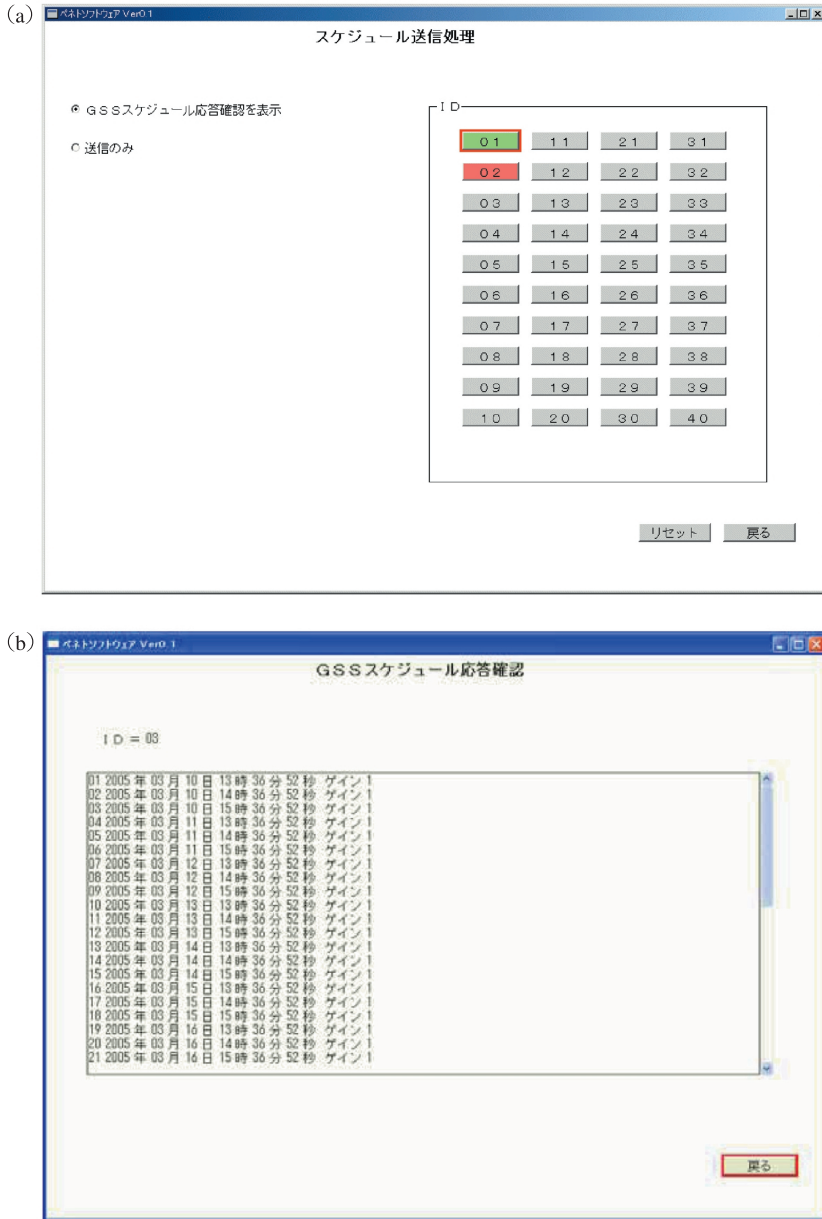


図 4 (a) スケジュール送信処理画面. (b) スケジュール応答確認画面

Fig. 4. (a) “Send schedule file” panel. (b) “GSS response to send schedule file command” panel.

出し, ADCS の GPS 時刻と比較する (較正処理を行う). GSS 時刻と GPS 時刻の時系は同じであることが前提である. 図 5 の例では ID=3 に対して GPS 時刻 2005 年 3 月 7 日 18 時 49 分 04.000000 秒に GSS 時刻の較正を行ったところ, 2005 年 3 月 7 日 18 時 49 分 04.000389 秒



図 5 GSS 時刻校正処理画面
Fig. 5. "GSS clock calibration" panel.

であったことを示している。そのため、GPS と GSS の差 Diff (GSS-GPS) は $389\mu\text{s}$ を示している。表示している差の単位はマイクロ秒である。校正処理中は処理待ち受けダイアログ (図 8 上) が表示されるが、30 秒間経っても読み出せなかった等失敗した場合、「タイムアウトです」というメッセージが出て ID ボタンが赤色に変わる。校正内容はログに保存される。

2.6. データ読出処理画面

図 6 はデータ読出処理画面である。1 回の読み出し通信で最大 8 のエリアを選択できるので、右画面の選択ボタンを用いて、1~48 のエリアをチェックし指定する。この例では、1, 12, 23, 30, 34, 39, 44, 48 を選んでいる。選んだら、左画面で 1~40 の ID ボタンを選んで GSS を指定し、データを読み出す。この例では、ID=2 のデータを読み出している。

読み出したデータはデータ読出用フォルダーにファイルとして保存される。読み出し処理が行われた ID ボタンは処理済色 (緑色) に変更される。また、何らかの原因で読み出せなかった場合は、失敗色 (赤色) に変更される。「処理済色のリセット」はすべての ID ボタン (失敗含む) の色を未処理色 (灰色) にする。処理済み色、あるいは失敗色のボタンを再度押して読み出すことも可能だが、事前テストにおいて処理済み色が増えた状態でリトライを繰り返すと、1 回だけの ID と複数回リトライした ID の区別がしばらく煩わしいために設けたもので、実際のデータ回収飛行で処理済み色が all clear されることは想定していない。但し、



図 6 データ読み出し処理画面

Fig. 6. "Data read-out" panel.

リセットしても GSS から読み出し，ADCS に回収，PC に書き込み保存されたデータファイルが消失することはない。

右画面のリセットボタンでエリア指定のチェックをすべてはずすことも出来る。これは、何らかの原因で読み出しが途中で失敗した場合、最初からやり直すのではなく、メッセージが出たエリア以降だけを回収したい場合に有効なので設定している。ADCS に受信・回収したデータは 512 バイトごとのブロックで逐次ハードディスクに書き込まれる。8 エリアデータの回収に要する時間はふつう、80~100 秒である。

2.7. SLEEP 処理画面

図 7 は SLEEP 処理画面である。必要な ID ボタンを押すと、その ID の SLEEP あるいは SLEEP 中止処理を行う。処理前には確認画面 (Ask はい、いいえ) が出力される。SLEEP 処理が行われた ID のボタンは色が処理済色 (緑色) に変更される。処理が行われると画面右側に処理を行った ID とメッセージが表示される。画面の例は PC の時刻で 16 時 20 分 10 秒に ID=3 に対して SLEEP コマンドを送信したことを示している。

ID ボタンの色別発行コマンドは以下のように分類される。

- ・初期状態 (灰色): sleep コマンド待ちうけ。
- ・SLEEP 受付状態 (緑色): sleep コマンド発行後、中止するかどうか確認中。



図 7 スリープ処理画面
Fig. 7. "Sleep" panel.

- ・ SLEEP 直前状態 (黄色): sleep コマンド発行後、中止するかどうか警告中。
- ・ SLEEP 状態 (青色): 「Sleep 中です。コマンドを送れません。」というメッセージを出力する。文字通り、無線機が sleep しているので、この状態になるといずれのコマンドも受け付けない。

この画面は、無線機 ON の状態では電力を著しく消費するので、コマンド送受信/データ回収を行わない一定期間、無線機を OFF にして待機状態に入るためのものである。この事情は、渋谷 (2004) に詳述されている。sleep は一回だけ実施できる。設定した wakeup 日 (画面右上の表示では 2005 年 3 月 9 日) に起動すると、以後、sleep 状態には入らない。wakeup の日付をデータ回収開始予定日の 1~2 日前に設定すれば、電力を効果的に節約できる。ヘリ飛行開始時刻はふつう、08 LT 以後であるから、wakeup 時刻は 0800 LT に固定してある。

一旦 sleep 状態に入ってしまうと、GSS は wakeup 日時を過ぎるまで制御不能になり、手動で GSS 主電源を OFF-ON しない限り、復帰できない。しかし、クレバス帯に投下後は、地上アクセスできないから、手動での OFF-ON 操作も実際には実行不可能である。従って、SLEEP コマンド発行後、5 分間の猶予を与え、2 段階 (1 回目・確認の緑色、2 回目・警報の黄色) で、SLEEP 中止できるように設定してある。Sleep 状態に入った GSS に対応する ID ボタンは青色に変わる。

2.8. 処理待ち受けダイアログ

図8は処理待ち受けダイアログ画面である。無線機でのコマンド/データやり取りに時間のかかる時刻較正(2.5節)、データ読み出し(2.6節)については、実行状況を処理待ち受けダイアログで表示し、正常に機能しているかどうか目視的に判断する。このダイアログが表示されている間は、ほかの処理は行えない。キャンセルボタンで処理を中止できるが、データが破壊される場合がある。

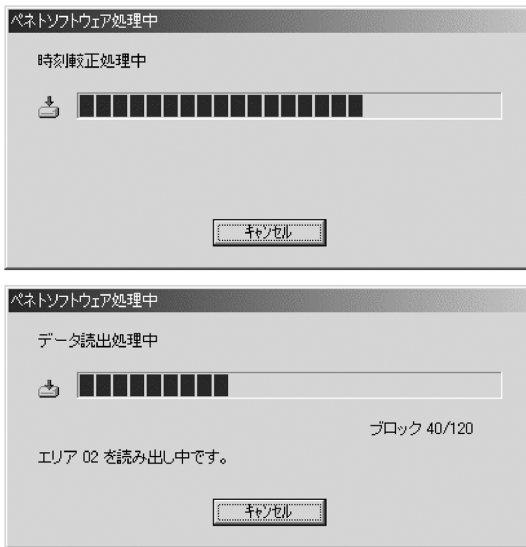


図8 待ち受けダイアログ。GSS時刻較正処理、及びデータ読み出し処理の進行状況をバーグラフで表す。

Fig. 8. “Waiting dialogue” panel. Processing percentage of the “time synchronization” and “data read-out” command can be displayed by a bar graph.

3. インターフェイス・ソフトウェアの使用環境とファイル

3.1. 使用環境と初期設定

インターフェイスソフトはWindows98 OS環境下で、C++言語でプログラムされている。初期設定情報として、(a)無線通信制御ソフトウェア設定(peneto.ini)、(b)無線通信制御ソフトウェア永続化(persist.ini)、(c)GPSアプリオリ設定(penetoGPS.ini)の3ファイルを持っている。詳述はしないが、peneto.iniはGSS-ADCS間のRS232C通信に関係している。persist.iniはIDボタン押し下げのコマンド設定に関係した時間同期IDボタン(date_sync)、スケジュール送信IDボタン(send_sch)、データ読み出しIDボタン(head_data_id)、及びデータ読み出しエリアボタン(read_data_area)で構成されている。

3.2. データファイルとログファイル

スケジュール保存ファイルはスケジュールファイル作成処理画面(2.3節)で作成したデータを保存する。40のIDに応じて48ファイルあり、01.sch~48.schの名前で表す。ASCII

フォーマットで手動による編集が可能である。

PC 上での収録波形データ配列はディレクトリ・イメージで捉えられる。ID 番号で表されるフォルダーの中に、エリア番号を拡張子に持つファイル名の波形データが並んでいると考える。データ読出処理画面で GSS から読み出し、ADCS へ転送し、PC 保存したデータファイルなので、手動による編集は不可能である。ファイルは各 ID、エリアごとに作られるが、リトライを可能にしているのも同一 ID 同一エリアを読み込んだとき、すでにファイルが存在する場合がある。その場合、拡張子を用いた別名で保存し、区別する。そのため、ファイルの命名法があらかじめ決められていて、「ID (数字 2 桁)+エリア (数字 2 桁)+シリアル (アルファベット 1 文字)」になっている。無線によるデータ転送・回収は一度ですべてうまくいくかどうかかわからず、このようにリトライを重ねることを想定して自動命名し、区別できるようにしてある。シリアルは、A, B, C と順番につけられていき、Z まで使用したら以後は Z に上書きされる。データ保存に失敗したファイルのシリアルはアルファベットの変わりに @ が付けられる。

コマンド送受信記録を残すログファイルには 5 種類ある。

(a) 時刻同期ログファイル (SyncDate.log): 2.2 節に応じて時刻同期処理の履歴を残すもので以下のフォーマット形式を持つ。

YYYYMMDDHHmmSS (PC 時刻), nn (ID), YYYYMMDDHHmmSS (同期時刻), エラー番号, CRLF.

(b) スケジュール送信ログファイル (SendSch.log): 2.3 節に応じてスケジュール送信の履歴を残すもので以下のフォーマット形式を持つ。

YYYYMMDDHHmmSS (PC 時刻), nn (ID), nn (エリア), YYYYMMDDHHmmSS (同期時刻), ゲイン, エラー番号, CRLF.

(c) GSS 時刻較正ログファイル (DiffDate.log): 2.5 節の GSS 時刻較正の履歴を残すもので以下のフォーマット形式を持つ。

YYYYMMDDHHmmSS (PC 時刻), nn (ID), YYYYMMDDHHmmSS (GSS 時刻), YYYYMMDDHHmmSS (GPS 時刻), DIFF (GSS-GPS), エラー番号, CRLF.

(d) データ読出ログファイル (ReadData.log): 2.6 節のデータ読み出しの履歴を残すもので以下のフォーマット形式を持つ。エリアは複数個ある場合がある。

YYYYMMDDHHmmSS (PC 時刻), nn (ID), nn (エリア) = status (OK or NG), エラー番号, CRLF.

(e) SLEEP 処理ログファイル (Sleep.log): 2.7 節の SLEEP および SLEEP 中止処理の履歴を残すもので、以下のフォーマット形式を持つ。SLEEP の場合、

YYYYMMDDHHmmSS (PC 時刻), SLEEP nn (ID), YYYYMMDD (WakeUp 日), エラー番号, CRLF. SLEEP 中止の場合は、

YYYYMMDDHHmmSS (PC 時刻), STOP SLEEP nn (ID), エラー番号, CRLF がログとして残る.

4. GSS の時刻同期, 時刻校正について

GPS 受信機 (LS20K) の送出する UTC 同期パルスを, ADCS を通じて無線システムにのせるハンドシェイクは図9で示される. GSS の内部時計をリセットする時, GPS pulse data

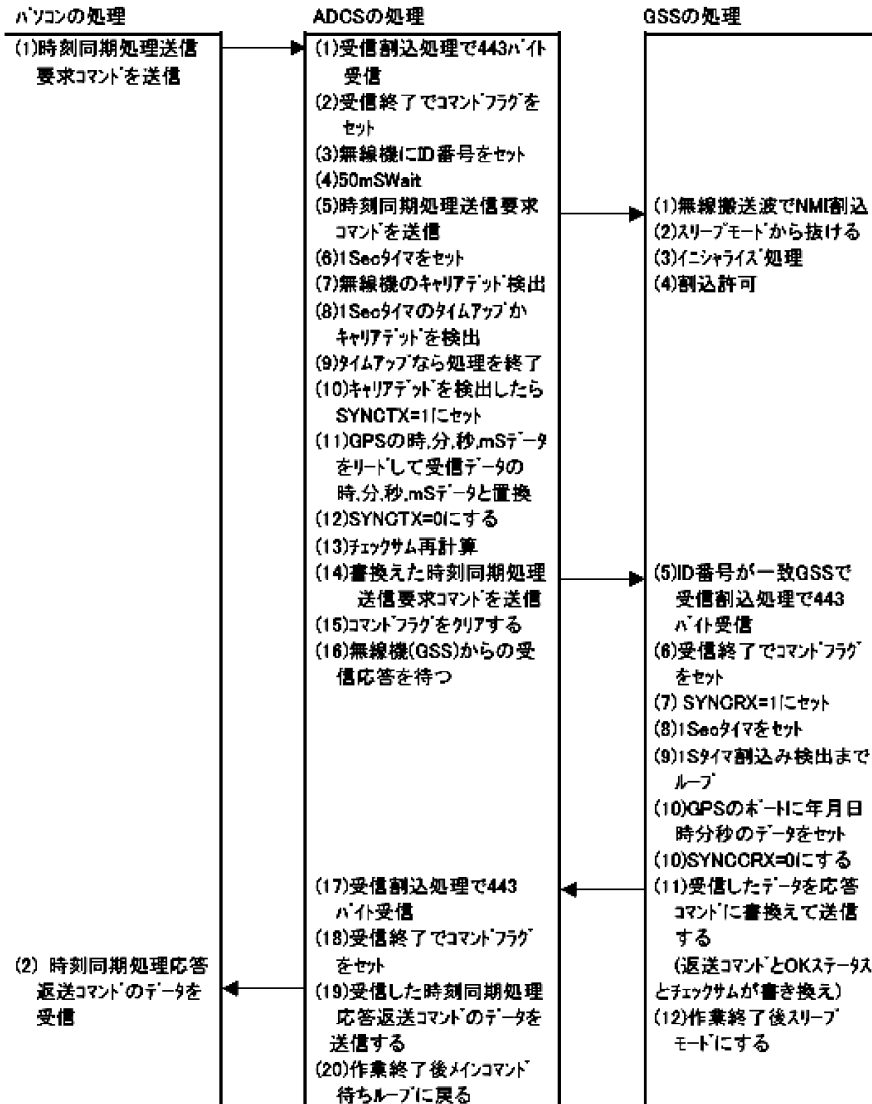


図9 時刻同期処理コマンドの PC, ADCS, GSS 間ハンドシェイク

Fig. 9. Hand-shakes among PC, ADCS and GSS for time synchronization command.

encode—modulate—transmitter—receiver—demodulate—reset command execute というシーケンスをたどると、PC クロックサイクルがからみ、同期精度が保てない。そのため、本システムでは図 10 のような同期コマンド・シーケンスフローを用いている。

落下着地による衝撃で GSS 時計は狂うため、投下前の時刻合わせはほとんど意味がなく、落下・着地後の同期コマンド送出によって GSS40 台の時計合わせを行わなければならない。しかし、GSS 内部時計は時刻同期後、内部の水晶精度に応じたフリーランの状態に入ることから、ドリフト（周波数の経時変化）による遅れ/進みが出てしまう。爆破波形の GSS メモリーへの書き込みは時刻同期操作の後に、スケジュールファイルに従って行われるが、その間にも時計は絶えず、ずれて行き、記録波形の時系は UTC に対してオフセットを持つ。そのため、波形データ回収前に時刻較正を行い、同期と較正の間を内挿し、記録時の GSS 時計の UTC に対するオフセットを特定する。時刻較正を密に行えば、10 ms 精度でオフセットを特定できるだろう。

時刻較正コマンド・シーケンスフローは、読み込み GPS 時刻を保存しておき、その時の GSS 時刻と並べて ADCS を経由してインターフェイスソフトへ返送するところが時刻同期コマンド・シーケンスフローと異なっているが、あとは同じシーケンスフローである。

各 GSS 内部の温度は環境温度の変化に応じて変化する。ドリフト率が 1×10^{-6} 一定で無補正だと 1 日あたり 86.4 ms もずれてしまう。しかし、GSS 内部の温度水晶の精度を上げてドリフトを抑えるより、ドリフト率 $5 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-6}$ のありふれた精度のものを使い、温度変化を検知し、その変化率に追調してドリフトを抑えるロジックを組み込む方が、電源容量の観点からすると得策である。このような時刻較正方法により、すべての爆破記録時の GSS 時刻を UTC に対して 10~20 ms 以内で補正できるようにしたいが、この試験については、別途報告する。

5. 使用無線機について

コマンド送受信、データ回収に用いる無線機は、特別の実験局申請をせず、技術基準適合証明を得るだけで済む無線設備（特定小電力機器）の方が望ましい。このような無線機は空中線電力が小さい（10 mW）ので到達距離が短くなるが、ヘリコプターを用いるので、見通しの確保と距離の制御はしやすい。一般に、周波数が低い VHF 帯域（400 MHz）の方が、既存の無線機での実績が見込まれるので望ましいが、もともと音声交信に用いているヘリ搭載 VHF 無線機と周波数が近くなるので電波干渉の恐れがある。また、アンテナロッドが長くなるため、ヘリコプターへの取り付け方に制約が生じる。このような考察の結果、L バンドで既に適合証明を得ている型式 STR-1200A の無線機（株式会社エス・イー・シー製）を使用することとした。

STR-1200A は、電波型式 F1D（周波数変調、副搬送波を使用しないデジタル信号の単一

チャンネル, データ伝送・遠隔指令)で, 周波数は 1252.05~1253.00 MHz 間に 50 kHz 間隔で 20 波確保している. 双方向同時通信可能なので, ADCS と GSS の制御がしやすい利点がある. また, アンテナロッド長が 10 cm なので, ヘリコプターへの装着も容易である. 第 43 次隊出発前の試験飛行 (2001 年 10 月 22 日, 茨城県守谷飛行場) においても, 高度 200 m, 水平距離 600 m の上空から通信可能であった.

6. 第 43 次隊実験における制御ロジックの不具合について

第 1 章で述べたように電源だけでなく, ソフトウェアにおいても不具合が見られ, 第 43 次隊実験ではペネトレーターは実用にならなかった. 報告された症状は大きく見て下記の 2 点であった.

[症状 1]: 年をまたぐスケジュールをセットした時, 新年以後のスケジュールが起動しなかった.

[症状 2]: ADCS から GSS の時刻同期処理後, 作成したスケジュール送信を行った. Sleep のあるなしに関わらず, スケジュールに従って A/D データを回収し, PC に収録した時, 最後のスケジュールデータ (それが 1 であっても 48 であっても) の回収を実行し終わったあと, すべてのコマンドの受け付けが出来なくなってしまう.

これらについて帰国後, 原因究明と対策を行った.

[症状 1 の原因と対策]: 12 月 31 日から日付が変わるべき時, PLD 内部でタイマーが年度を UP しないで, 12 月 32 日になってしまっていたのが原因だった. PLD のロジックを変更し, 年度 UP するようにした. 付随して, うるう年の 2 月 29 日から 3 月 1 日への更新など, 月切り替わり日の再チェックを行った. また, うるう年として 2004-2036 年を増設した. そして, 修正ソフトが正常に機能することを, シミュレーターで確認した. さらに, 2003 年から 2004 年, 2004 年から 2005 年への切り替わりに問題のないことを実時間で確認した.

[症状 2 の原因と対策]: GSS が無限ループに陥ってしまった. スケジュールされたすべての収録データを回収し終わると, モデム電源が OFF になるシーケンスに陥る場合があった. これについて, キャリア検出用電源は常時 ON になるように改めた. キャリア検出が必ず効くようにした後, 無限ループに入り込む要因を調べたところ, 4 つのコードバグとノイズが絡みあっていることが判った. それらは, (1) [sleep 処理] コマンド実行後の [sleep 解除] コマンド追加による不具合, (2) ADCS のモデムリセットのタイミング不調, (3) GSS の A/D 起動後にスケジュールタイマ割り込み検出フラグが立ったときのクリアタイミング不調, (4) GSS のモデム電源 ON/OFF によるリセット電圧ふらつきの 4 種類だったが, それぞれについて実施した対策は詳述しない.

このようにして制御ロジックの不具合はすべて修正されたが, これらは本来, 実際の使用条件下で十分な運用時間を確保して国内テストする間に症状を発見し, 事前に取りきらなけ

ればならないものであった。しかし、いろいろな事情でそれが実施できず、見過ごしてしまつたものである。上記の不具合の結果、第43次隊の実験に大きな支障をきたしてしまつた。ここに深くお詫びする。

7. 今後の発展に向けて

GSS, ADCS の基本的なソフトは Z80 に書かれている。今後、これらは H8 に変更して行きたい。そうすれば、電源を 5V 系統から 3.3V 系統に切り替えられるので、ユニットをさらに小型・低消費電力化できるだろう。また、本開発は 10 年の長きに渡って行われた関係上、IC, フィルター, 電源素子などでは製品交代が進み、現在では入手できないものもある。開発経過で得たノウハウを生かし、設計の見直しにより、システムの一新を図りたい。

文 献

渋谷和雄 (2004): 南極人工地震観測用ペネトレーター電源部の低温 (-15°C) 試験. 南極資料, 48, 219-235.