

GMS-2 のための運用プログラムの改造

The Modification of the Operational Program for GMS-2

野瀬純一*・桃井保清**・坂井武久***・木村光一****

Junichi Nose*, Yasukiyo Momoi**, Takehisa Sakai***
and Koichi Kimura****

Abstract

GMS-2 was launched in August 1981, and has been operational in December that year in place of GMS. In 1979 we started the necessary modifications in the hardwares and softwares in Meteorological Satellite Center in preparation for above satellite change. This report describes briefly about the modification made on the operational program of computers in Meteorological Satellite Center, especially telemetry and command processing.

1. はじめに

GMS-2 (Geostationary Meteorological Satellite. 2) は GMS の後続衛星として昭和56年8月11日、宇宙開発事業団の種子ヶ島宇宙センターから打上げられた。

衛星の切替えに備え、気象衛星センターでは、昭和54年度から3年計画で、地上施設の整備を図り、通信機器の増設と改修、及びデータ処理用計算機プログラムの改造を行ってきた。昭和56年12月21日03時(z)から、GMS-2と改造した運用プログラムを使用し、システム試験と平行して運用を始め、昭和57年4月1日から定常運用に移行した。

ここでは運用プログラムの改造のうち、大巾な改造になった管制系の機能、とくに運用に影響を及ぼす事項を中心に、その概要を報告する。

2. プログラム改造を必要にした事項と影響の程度

(1) 衛星の仕様変更

(ア) 通信系のバックアップ用周波数帯

打上げ時に支援を受ける米国航空宇宙局の追跡管制

* 気象庁気象衛星室 Japan Meteorological Agency

** 気象衛星センター気象衛星通信所 Meteorological Satellite Center

*** 科学技術庁 Science and Technology Agency

**** 気象衛星センターシステム管理課 Meteorological Satellite Center

局の施設変更に伴い、バックアップ用の周波数帯が VHF (Very High Frequency) から USB (Unified S Band) に変わった。気象衛星センターは、バックアップ用の周波数帯の施設を持たないので、ほとんど影響はない。

(イ) 軽量化

N-II ロケットの打ち上げ能力の制約から、10%程度の軽量化が要請され、素材の変更、電子機器のIC化による小型化等が行われた。関連機器の操作を除き、地上施設への影響はさほど大きくない。

(ウ) 送信機の分離

GMS の製作段階で問題になった混変調を防ぐため、冗長構成をとる送信機を3組置き、広帯域のデータ(画像データ、フィクシミリ信号、測距信号)、通報局データ、テレメトリデータの3種について、個別の送信機を使用することになった。

操作だけでなく、関連機器のモニタ項目が大巾に増えたことにより、運用プログラムへの影響も大きくなった。

(エ) スピン軸ずれの防止

動バランスの不釣り合いによるスピン軸ずれを無くすため、ニューテーション・ダンパーを改良した外、燃料パイプの取付場所を変更し、衛星内部の温度変化の影響を受け難くした。また燃料タンクのヒーターを改善して地上からの指令によって燃料の移動を防ぐための操作を可能とした。

更に万一、スピン軸ずれが発生した場合はそれを消去する装置を付けたが、現在のところこれを使用しなければならぬ事態は発生していない。これらにより、スピン軸ずれの発生を抑えるための操作は複雑になったが、運用プログラムへの影響は大きくない。

(オ) VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer) の可視チャンネル高電圧回路の改善
GMS で発生した VISSR 高電圧電源の障害を防ぐため、放電が起り易い部品の間隔を広げ、絶縁シートの形を変えると共にポットングの手順と電気回路の配線に改良を施した。しかし運用プログラムへの影響は全くない。

(カ) テレメトリ項目の増加

衛星の機器が増えたこと、及び有効に衛星の健康状態を解析出来るようセンサーを増設したことにより、テレメトリ項目が GMS より 20% 増え 264 項目になった。処理に際しテレメトリの内部表現形式を、9 ビットから 18 ビットを使用して行うように変更しなければならなくなり、管制系業務のうちテレメトリを処理するプログラムはほぼ全面改造になった外、それらの箇所とインターフェイスを持つプログラムの改造も大きくなった。

(2) 運用形態の変更

(ア) CDAS (Command and Data Acquisition Station) 機器の二重化

GMS-2 の初期段階には GMS の運用と平行して、GMS-2 の機能確認試験が出来るよう。定常段階に入った後は、予備系として運用の信頼性を上げるため、又必要な時は待機衛星の運用が出来るよう。CDAS の機器は一部を除き二重化された。

運用のプログラムは CDAS 機器について、運用されている 1 系統のみを評価や操作の対象とすることにしたので、従来の処理形式を大巾に変える必要はなかった。

(イ) 複数衛星への対処

GMS-2 に運用を切替えた後、GMS は 160° E に待機させることになった。データの混在に備え、衛星の識別、データの仕分け、オペレータへの表示が必要になる。個々の改造量は大きくはないが、運用プログラムの全般に波及する事柄である。

3. 新しい機能

(1) 運用プログラム全般に係わること

(ア) 衛星の識別と表示

140° E の GMS-2 運用だけでなく、160° E に待機する GMS のデータ処理の必要に備え、衛星の識別、データの仕分け、オペレータの表示を行う。

運用パラメータに運用衛星と待機衛星の衛星名、衛星番号等を設定しておき、運用スケジューラから各業務処理に渡す。CDAS から送られるデータのうち、VISSR データには衛星の識別符号がないので、オペレータ管理のもとに受信したデータに、運用パラメータ、又はオペレータが指定した衛星名を書込む。

その他の各処理は、運用スケジューラから渡された衛星名と、CDAS 又は他の処理から受取ったデータの中の、衛星識別符号又は衛星名を照合して処理を進めると共に、表示、リスト等の出力に衛星名を挿入する。

ただし、赤外二次処理の出力については、GMS、GMS-2 共衛星の仕様及び較正の方法は統一されており、観測した衛星を区別する必要がないとの考えから、オンラインで配信するデータ以外は衛星名を挿入しない。

(2) テレメトリ処理に関すること

(ア) テレメトリの処理頻度

テレメトリ項目が GMS より約 20% 増え、264 項目になった。

全データを 2 分ごとにサンプリングすると同時に必要があれば参照出来るようなりのデータを重複して 2 秒ごとにサンプリングする GMS の方法ではデータを収容し切れなくなった。

テレメトリのデータサンプリング時間を、2 秒、30 秒、1 分、2 分の 4 種に分け、データの性格によって望ましいサンプリングの間隔を決め、テレメトリ・フォーマットに割付けられた。GMS の運用ではサンプリング間隔 2 分のデータを対象に 2 分に 1 度まとめて処理を行ったが、触の操作等注意を要する運用にも便利なよう、2 秒ごとに処理を行うよう変更した。なお衛星運用コンソールに PCM テレメトリのうち衛星の環境状態や衛星機器の状態を表わす全てのデータと、衛星の姿勢を表わすデータ等を含むリアルタイムテレメトリの 1 部の項目を表示出来るよう、表示画面を 6 画面に増やし、適宜選択して

そのうちの2面を同時に表示することにした。

(イ) データが正常に復した後のリミットチェックの警告の再開

衛星の状態監視の有力な道具はリミットチェックである。これは衛星機器の状態を表わす温度とか電圧のようなアナログデータについて、予め与えておいた正常値の範囲を越えた値が入電した時は自動的に警告を発するものである。

警告が出た後そのままにしておくと、データが入る度に警告が繰返されることになり、他の項目のモニタに支障を来すことともなるので、オペレータが障害を確認した後はその項目について、リミットチェックの警告を中止するよう指令し、データが復した段階でリミットチェックの警告の再開を命じる、との手順で運用してきた。各々のテレメトリについて、リミットチェックの警告を中止しているかどうかの管理が難かしいので、新しい仕様では、オペレータがリミットチェックの警告の中止を指令した後、データが閾値内に復帰した時点で自動的にリミットチェックの警告を再開することにした。

(ウ) ステータチェック

衛星の動作は衛星上で自動的に処理される一部のものを除き、全て地上からの指令信号(以下コマンド)によって操作する。コマンドの発信に際して、そのコマンドが予定したものであることが確認され、又発信の後コマンドの検証と確認が行われておれば衛星の誤動作はあり得ないことになる。

しかし原因が分からないまま、又は他の衛星向けのコマンドにより誤動作した経験がGMSでも3度あるし、外国からも数多くの例が報告されている。

この現象は対象となる機器によっては、衛星の寿命を縮めかねないものである。そこで衛星の運用モードごとに衛星機器それぞれの標準の作動状態を設定しておき、常時テレメトリで伝達されてくる衛星機器の状態と照合し、設定した条件に合わない機器があった時はその旨を警告する機能を設けた。

なお、このチェックは衛星機器の状態が変動する、モード切替え時は動作しない。衛星の環境や機器の状態については従来からリミットチェックで監視しているが、機器の誤動作についてもチェックが可能になり、衛星の状態監視は強化されることになった。

(エ) テレメトリの良否の判定

CDASではPCMテレメトリの受信に際し、マイナーフレームごとに16ビットから成る同期信号の内

容、及びマイナーフレーム番号をチェックし、テレメトリの良否を判定する材料にしている。一旦不良データと判定すると、同期信号を検出するサーチモード、良好な同期信号が規定回数続けて受信するかどうかを確認するチェックモードを経て良質のデータと判定する迄の間、衛星運用コンソールでは10~20マイナーフレームにわたり、データを入力することが出来ないこともあった。

そこでCDASのチェックモードを省略する形で独自にデータの良否を判定することとし、出来るだけデータを求めることにした。

更に伝播状態が悪い時など、衛星の操作は必要がなく、モニタのみ行う場合はテレメトリ良否の判定基準をゆるめて出来るだけ多くのデータを取込めるようにし、衛星へコマンドを発信する場合は基準を厳しくして、誤操作の原因となることを防ぐなど運用の形態に応じて柔軟に対処出来るよう、同期信号のビット誤りの許容値は可変とした。

(オ) テレメトリ定数の共用

ファイル化した定数を、システムを起動した時や定数変更した際にメモリ上の共通域に展開する機能をもたせ、テレメトリを処理する際の定数を、オンライン系のテレメトリ処理とデータを累積しておき、後刻衛星の状態解析を行うハウスキーピング処理で共用出来るようにした。

又DPCの送受信データを記録してあるジャーナルファイルを使用し、バッチ系でPCMテレメトリを抽出する時やSEM(Space Environment Monitor)データの編集にも、この定数ファイルを使用する。一方操作毎に必要とするコマンドとその順番を定義するコマンドシーケンスや、その他のコマンド処理用の定数についてもファイル化し、合せてテレメトリ、コマンドファイルとした。

これにより、定数の管理が一元化されるだけでなく、衛星の障害や劣化により定数を変更しなければならぬ場合、又は運用の仕方を変えなければならぬ場合にシステムを一時停止することなく対処出来るようになった。

(3) ハウスキーピング処理に関すること

(ア) 姿勢データの処理と表示

解析方法を開発し、リアルタイムテレメトリからスピンドルの動きをかなり詳細に把握出来ることが確認されたので、新たにリアルタイムテレメトリをサンプリングして累積し、PCMテレメトリの1メジャー

フレームの周期に合わせて平滑化し二次元の表現ではあるが姿勢データを作成して累積することにした。オペレータは PCM テレメトリ各項目と同様に、姿勢関連データの項目や期間を指定することにより、グラフィックディスプレイに、姿勢データを表示することが出来る。

(イ) ジャーナルファイルからのデータの抽出と編集
PCM テレメトリは項目により 2 秒, 30 秒, 1 分, 2 分で更新されるが、ハウスキーピング処理は全項目につき、2 分に 1 個抽出して累積する。

リアルタイムテレメトリは 0.6 秒で更新されるが、ハウスキーピング処理ではサンプリングした後平滑化し、2 分に 1 個の割合で累積する。

障害等の際、衛星の状態を解析しなければならない場合、もっと間隔の短いデータを必要とすることが少くない。

そのような時に、衛星から送信された全てのデータを累積しているジャーナルファイルから、必要とする項目を抽出し、物理的に変換する機能を追加した。

なおこのプログラムは、更に詳細なデータを必要とする場合、衛星のテレメトリ装置を切替え、最大 0.03 秒でサンプリングするテレメトリの特殊モードのデータも処理することが出来る。

(ウ) 表示の指定方法の変更

累積したデータをグラフィックディスプレイに表示するには、テレメトリの項目、表示の期間、スケール等を指定しなければならない。

これ迄は計算機が指定項目ごとに順次メニューを表示し、オペレータは示されたものの中から選択していくスタンダードモードを持っていた。

運用の経験を積んだことにより、フォーマットに従い必要事項を直接キーインする、ノン・スタンダードモードの方がはるかに時間も短かく済むようになったため、スタンダードモードを廃止した。

(エ) SEM データの処理

GMS では SEM データの利用形態が確立されていなかったため、SEM データのみを抽出して別のファイルに累積し、処理をしてきた。

処理形式も固まったので新しい仕様では、SEM データのオンライン処理は他の PCM テレメトリと合わせて実施し、バッチ系で SEM 独自のファイルを作ることにした。

(4) コマンドの処理

(ア) オペレータの介入により確認処理の走行を止めることが出来るようにする

色々な障害により、スケジュールに沿った運用が出来なくなった場合、自動的に確認処理が起動され、衛星の機器の状態を判別し、必要なコマンドを発信して衛星を運用待機のモードに移している。この時障害を起した原因がまだ残っていると確認処理も異常終了しその後は確認処理の起動と異常終了が繰返されることになる。

今回の改造でコマンドレジスタの内容を常時衛星運用コンソール上に表示出来ることになり、宇宙開発事業団等他の局からのコマンド操作の状況を把握出来るようになった。また、衛星でのコマンド信号の受信レベルを伝えるテレメトリが増設されたこと等により、コマンドの誤動作が生じた時等にオペレータが点検し処理出来る事柄が多くなった。

障害発生の際、地上装置の状態も含め、コマンドを発信出来ない状況にある時は、オペレータが介入して確認処理を中止し、状況の改善を講じたり又は復旧を待つことが出来るよう。コマンド処理の中で緊急マニュアルコマンドの優先順位を確認処理よりも高くした。

(イ) 予定したコマンドのとりやめ

テレメトリが完備し、作動を把握出来ない機器がほとんど無くなったのを機に、残された SEM, DCE (Despin Control Electronics) についてもアナログデータを参照して電源の状態を判定するようになった。

衛星には勿論、CDAS 機器に対しては不必要にコマンドを出すべきではないので、コマンドの発信に先がけて対象となる衛星と CDAS の機器の状態をチェックし、もし該当する機器がすでに意図する状態になっている時は、予定したコマンドの発信をとりやめるようにした。

これにより GMS では手動でしか対処出来なかった蝕あけ後の VISSR の利得調整が自動で処理出来ることになった外、確認処理の際 CDAS に向け不必要なコマンドを出すことが無くなった。

またこの機能を利用することにより、バッテリーの充電開始のように、操作時の環境に厳しい条件を付されている機器について、条件が満足されなければ、コマンドの発信を抑えることも出来る。

(ウ) コマンドデコーダのアドレス指定

S バンドの受信機とコマンドのデコーダは共に冗長構成となっているが、お互いは交叉結線されず 1 対

1に結ばれている。

コマンド発信の際は使用するデコーダを指定しなければならないが、DPC (Data Processing Center) から見ると、ON になっている受信機を指定するのと同じことになる。そこで GMS では使用中の受信機を判定し、デコーダの指定は自動的に行ってきた。

GMS-2 では、テレメトリを特殊モードに切替えた場合、項目の選択によっては受信機の状態を判定出来ないことも起り得るので、衛星内部状態表を参照してデコーダのアドレス指定を行うこととし、オペレータ管理に切替えた。

(エ) 任意のコマンドを任意の時間にスケジュール発信すること

予め選定して設定しておくことにより、任意のコマンドを任意の時間に自動で発信出来るようにした。これを使うと、蝕のように複雑な操作を行う場合、必要なコマンドを短時間に間違いなく発信することが出来る。

4. まとめ

管制系のプログラムはほぼ全面改造が必要になったので、衛星の変更に伴う受身の改造に止まることなく、システムの見直しによる不備な機能の改善、更には将来の運用形態の変更を見越した機能の追加を目指すことにした。完成したシステムのうち、特に管制系の機能は GMS-2 を運用する上で完備されたものとなり、同種他のシステムに比べても優れたものが出来たと思う。

しかしシステムとして依然大きな問題も抱えている。近い将来計算機の更新を考えなければならない時に当り、此の度の改造の反省を含め、感じているところを記す。

(ア) 衛星の仕様変更に対応し易いシステム

GMS-2 のミッション機能は GMS とほとんど変わらないものでありながら、管制系のプログラムの改造が大きくなったことを反省し、衛星の仕様変更に対応し易いシステム作りを目標にした。その結果、運用形態の変更等に対しては、かなり柔軟に対処出来るようになったものの、GMS-3 の仕様検討で宇宙開発事業団から提案があった姿勢データのデジタル化が実施されていれば、現システムでは矢張対応出来ないことになるところであった。

まだ当分、衛星の製作が米国のメーカーに大きく依存した形で進められ、打上げ時の追跡管制の支援も米国航空宇宙局に頼らなければならないとすると、他の

衛星との部品共通化の動きや、米国航空宇宙局の地上局の変更に対処するための衛星仕様の変更等、今後も予測困難な事項が次々に出てくるものと思われる。

このような状況のもとで運用プログラムの汎用化を目指すことは無理であり、効率的でもないと思われる。

衛星と直接インターフェイスをとる部分を最小限に抑え、その箇所については、衛星の変更に伴って改造することを建前とする一方、その他の運用プログラムへは衛星の変更が波及しないようシステムを見直す方がよいと思われる。

(イ) システム試験の方法

システム試験では、新規に作成したプログラムは全てのルートについて、

改造したプログラムは改造箇所を通る全てのルートについて、

正常な動作と異常な動作の処理を試験することを原則にしている。

完全な擬似衛星を準備することは出来ない、との考えから、

試験装置を使って繰返し試験した後、最後は衛星を使用してこれらのルートごとに試験を実施してきた。

GMS-2 では週用と時分割で、衛星を使用する試験を実施したが、期間は延べ3ヶ月にわたった。

○慎重に操作すべき衛星を試験の道具にするのは適当でない。

○衛星打上げの後は速やかに運用に使用出来るよう。地上設備の準備を図るべきである。

○打上げ後、長期にわたる試験の期間、宇宙開発事業団の支援を頼むことが難しくなる。

の理由から、地上の試験装置を更に整備する等して事前に試験を終了させ、打上げ後はコマンドの照合を一通り行うのみで運用に入れるよう、計画すべきである。

(ウ) コマンド発信自動化の程度

最初のシステムは、気象庁として衛星の操作の経験を持たないまま GMS を運用しなければならなかったため、オペレータの負担を軽くするよう、通常の運用のためのコマンド、及び障害等で業務が続けられなくなった後の衛星の復旧のコマンドを自動で発信するよう構成した。

この方法は、米国 NOAA の気象衛星の操作や、宇宙開発事業団の一般的な衛星の操作に比べユニークなものである。

今回の改造で

- コマンド発信の際、該当機器の環境が規定された条件に達していない時は、発信を止める。
- コマンド発信の際、該当機器がすでにコマンドによって設定される状態になっている時は、そのコマンドの発信を止める。

の点で自動化を一步進め、

- コマンド処理の中で確認処理よりも緊急マニュアル・コマンドの優先順位を高くし、オペレータが確認処理に介入することが出来るようにした。

の点で自動化の見直しを行った。

自動化を進めることはプログラム内のインターフェ

イスをより複雑にし、プログラムの開発と試験に、なお一層経費と時間が必要になるということを認識し、経済効率、衛星を操作する道具としてこの使い易さ、実際に操作する人の評価等を総合して、自動化の内容と程度を考えることが必要であろう。

管制系を除いた他のシステムについても、見直すべき点は多々あるものと思われる。

しかるべき場で、現システムの総点検を行い、気象衛星の利用を一段と進めるための、新しいシステムに反映させることを希望する。