

静止気象衛星（GMS）の打上げ
結果の評価について（報告）

昭和53年4月

宇宙開発委員会技術部会

静止気象衛星（GMS）の打上げ結果の 評価について（報告）

昭和 53 年 4 月 14 日

宇宙開発委員会技術部会

はじめに

宇宙開発委員会技術部会は、第一分科会において、宇宙開発事業団が行った「静止気象衛星（GMS）の打上げ及び追跡管制」の結果を評価するために必要な技術的事項について、昭和 52 年 10 月 6 日以来慎重に調査審議を行ってきたが、このたびその結果をとりまとめたので報告する。

目 次

1. 打上げの概要	1
2. 打上げ結果の分析と今後の対策	7
3. 総 合 意 見	16

参考1 静止気象衛星（GMS）の打上げ結果の評価について.....	17
-----------------------------------	----

参考2 宇宙開発委員会技術部会第一分科会構成員	18
-------------------------------	----

1. 打上げの概要

(1) 目的

今回の打上げは、静止気象衛星 (GMS) を静止軌道上東経140度付近に米国の協力を得て打ち上げ、世界気象監視 (WWW) 計画の一環として世界気象機関 (WMO) と国際学術連合会議 (ICSU) が共同で行う地球大気開発計画 (GARP) の推進を図り、併せて気象業務の改善に資するため、西太平洋アジア地域における雲写真の撮影、気象データの収集・配布等を行うことを目的としている。

(2) 衛星の概要

GMS は、直径約216cm、高さ約270cm (ただし、衛星分離面からアンテナ上端までの高さ) の円筒形をしている。アポジモータを含む衛星の重量は約670kgであり、静止軌道上の初期重量は約350kg (アポジモータ・ケース切離し後約315kg) である。

GMS のミッション及び概要を表1、表2及び図1に示す。

表1 GMSのミッション機能

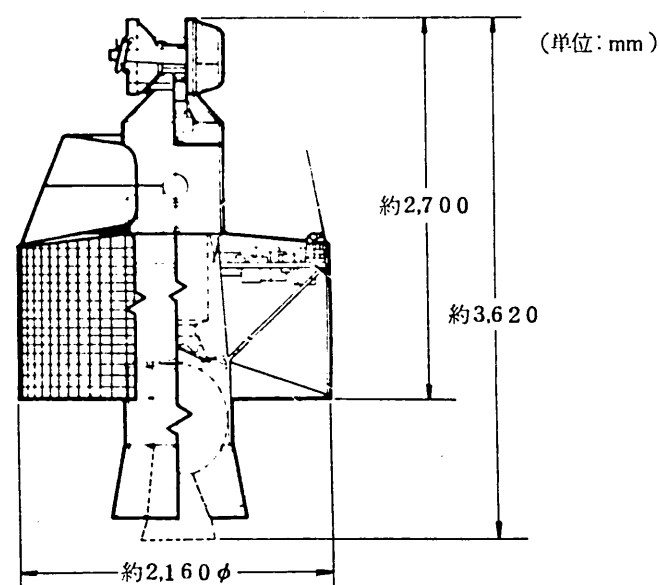
名 称	目 的
1. 可視・赤外走査放射計 (VISSR)	静止衛星高度から地球表面を可視及び赤外スペクトルで観測し、雲の状態や温度分布、雲の高さ等を観測する。
2. 宇宙環境モニタ (SEM)	静止衛星軌道に太陽から到達するエネルギー粒子を測定する。
3. UHF 通信系を使った資料収集	離島、海洋ブイ、船舶等に置かれた通報局で観測した資料を衛星経由で収集する。
4. S バンド通信系を使った中規模利用局向けの高分解能ファクシミリ放送	域内の中規模利用局の施設を備えた気象中枢に高分解能雲画像を送る。
5. S バンド通信系を使った小規模利用局向けの低分解能ファクシミリ放送	域内の小規模利用局の施設を備えた多くの気象機関に低分解能雲画像を送る。

表2 GMSの主要諸元

項 目	諸 元	
形 状	直径約2,160mm, 高さ約2,700mmの円筒形(ただし, 衛星分離面からアンテナ上端までの高さ)	
重 量	約670kg(アポジモータを含む)	
姿勢安定方式	スピン安定方式	
軌 道	静止衛星軌道(赤道上東経140°)	
スピン方向	時計回り(ロケット側から衛星を見て)	
ス ピ ン 率	約100rpm	
基 本 機 器 と 塔 機 器 構 成	可視・赤外走査放射計(VISSR) VISSRマルチプレクサ/モジュレータ(VMM) 宇宙環境モニタ(SEM)	
	通 信 系	Sバンド送信機, Sバンド受信機, UHF送信機, UHF受信機, VHF送信機, VHF受信機, アンテナ
	デジタル・エレクトロニクス系	テレメトリ・エンコーダ, コマンド・デモジュレータ/デコーダ, リレー, ソレノイド, スクイブ及びヒータ・ドライバ
	制 御 系	デスピン制御器, デスピン・モータ, アース・センサ, サン・センサ, 加速度計, ニュートーション・ダンパ
	推 進 系	アポジモータ リアクション・コントロール・システム
	電 源 系	太陽電池パネル, バッテリ, 電力制御器
	構造及び配線	衛星構体, 熱制御系, 電気計装配線
寿 命	3年後の残存確率50%以上	

(1) 静止気象衛星の外形

打上げ時重量約670kg
静止軌道上初期重量
(アポジモータ分離後)
約315kg



(2) 静止気象衛星の構成

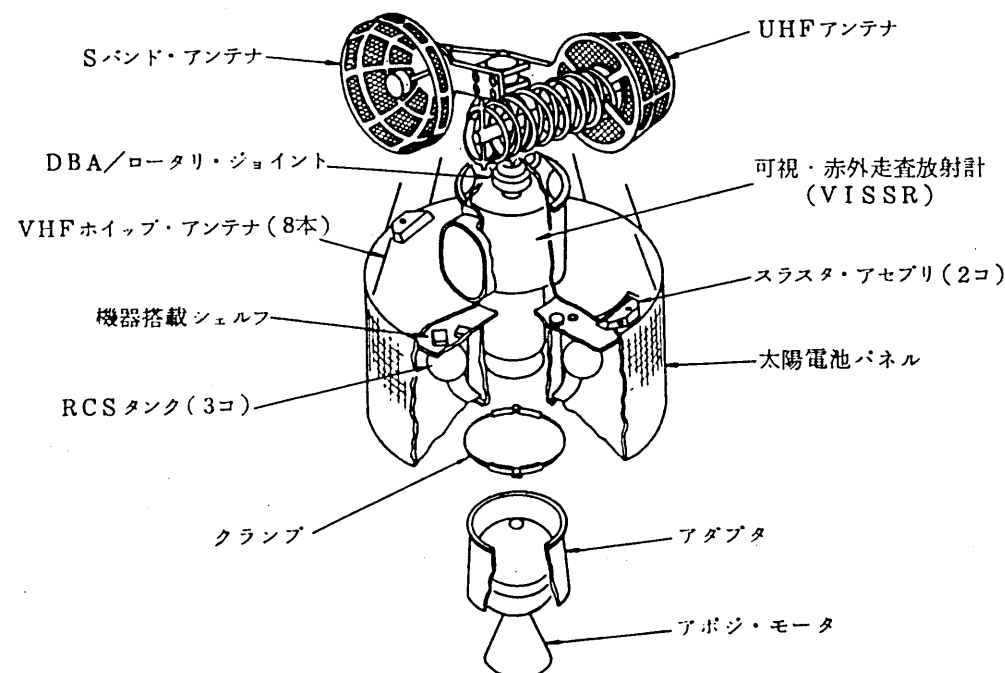


図1 GMSの外形及び構成図

(3) 打上げの経過及び結果

発射時刻：昭和52年7月14日 19時39分

(GMT: 7月14日 10時39分)

打上げ場所：米国東部打上げ射場 (Eastern Test Range : 略称 ETR)

打上げロケット：デルタ2914型ロケット (デルタ132号機)

静止気象衛星 (GMS) は、米国東部打上げ射場からデルタ2914型ロケット (デルタ132号機) によって打ち上げられ、順調な飛行を続けた後、発射後約24分50秒の第3段・衛星分離によりGMSは概ね所定のトランスファ軌道に投入された。

トランスファ軌道投入後、宇宙開発事業団の筑波宇宙センター及び米国カリフォルニア州エルセグンド市のヒューズ社に設けたミッションコントロールセンターは、4回の姿勢制御を行った後、第3アポジ点近傍、赤道上空東経128度付近で、7月15日22時57分にアポジモータを点火して、GMSを計画値に近いドリフト軌道に投入した。

GMSはドリフト軌道上で、アポジモータケースを切り離され、2回の姿勢制御の4回の軌道制御を受けて、7月18日16時35分に予定通り東経140度の静止衛星軌道に投入された。

静止衛星軌道に投入されたGMSは、7月19日から7月31日までの間主として衛星の共通機器に対して、又、8月18日から9月30日までの間主としてミッション機器に対して、それぞれ機能性能の確認が行われた。この結果、衛星のスピン軸が設計軸から約2度ずれており、また、このスピン軸が或る一定の状態の下において大きさ約0.1度の往復運動を生ずることを除いては、電源系、制御系等の衛星共通部分、可視・赤外走査

放射計 (VISSR)、宇宙環境モニタ等のミッション機器とも正常な動作を示し、所定の機能性能を発揮することを確認した。

しかしながら機能確認終了後の52年11月4日及び53年3月8日、VISSRセンサのうち第4チャンネル及び第6チャンネルの出力が出なくなったので、それぞれの予備チャンネルに切り替えて運用を行っている。

現在、GMSはスピン軸が設計軸から約2度ずれていることによる画像歪みに関連し、画像の座標変換等の作業が残されているが、平常時1日8回の画像観測等を行い、53年4月6日から気象庁による本格運用に供されている。

2. 打上げ結果の分析と今後の対策

上述のとおり、GMSは所定の軌道にあり、本格運用に供されているが、スピン軸のずれとその変動及びVISSRセンサの一部不具合が発生した原因及び今後のGMSの運用に与える影響等を分析した結果は次のとおりである。

(1) スピン軸のずれとその変動

(ア) 状況

スピン軸のずれは、52年7月20日、デスパンアンテナを駆動した際、軸方向加速度計出力にスピンサイクルの2倍の成分があったことにより発見され、姿勢センサ、VISSRの情報により確認されている。このスピン軸のずれは、スピン軸が設計軸から約2度ずれているもので、現時点に至るまで殆んど変化していない。

また、スピン軸のずれの変動は、52年10月14日、サン・スピン・アングルデータの長期変動解析の結果判明したもので、VISSRの情報により確認されている。このスピン軸のずれの変動は衛星推進系の燃料(ヒドラジン)用ヒータをONにすると、設計軸とスピン軸の角度が約25分周期で大きさ約0.1度の往復運動をするものである。

(イ) 原因

(i) スピン軸のずれ

本衛星では、雲画像を撮影する主観測機器VISSRが、図2のようにミラーの機械的移動によってスキャンする構造となっている。従って、本衛星の設計に当たっては、ミラーの移動に伴って生ずるニューテーションをできるだけ早くおさえることが要求され、世界で始めてアルコール充てんのフープ状ダンバを用い、その中心を衛

星の設計軸から約 1.4 cm ずらして衛星に取り付けることとした。本衛星のダイナミックバランスは、地上において衛星の推進薬であるヒドラジンを充てんしない状態で確認されたが、ずれの解析の結果、軌道上においてはヒドラジンが 3 個の推進薬タンク間でニューテーションダンパとの相互作用によって移動を生じるため、タンクのヒドラジン残量が当初の量の 3 ~ 4 % となるまでの寿命期間の大部分においてスピン軸のずれが生じることが判明した。

また、このシステムが始めて開発されるものであるため、当初の仕様書において、ニューテーションダンパの直径が 79.0 ± 0.25 インチ (200.7 ± 0.64 cm)、衛星本体への取付け中心設定精度が ± 0.07 インチ (± 0.18 cm) となっており、ダンパの中心に対して、衛星の設計軸から約 1.4 cm ずれた点を中心に約 0.5 cm の半径の円の中に置くというように大きな許容範囲を与えてあったことが、衛星にインバランスをもたらした一因であると考えられる。

さらに、打上げ前の衛星のバランステストを詳細に再検討したところ、衛星全体のバランスは個々のサブシステム毎の質量特性データを電子計算機に入力して、解析により確認されているが、アンテナ・サブシステムの一部を改修したことに関連する入力の変更が的確になされていなかった。これも衛星にインバランスをもたらした一因となっている。

以上 3 つの要因が複合して現在のスピン軸のずれを招来していると考えられる。

(ii) スピン軸のずれの変動

本衛星では、推進薬としてヒドラジンを使用しており、この融点が約 1℃ であることから、日蝕期において燃料が凍結するのを防止する

ため、ヒータを取り付けている。このヒータは図 4 の推進系の燃料配管部分にのみ巻きつけられており、このヒータを ON にした際の熱勾配によって、タンクに 14 グラム程度のヒドラジンの往復運動が生じ、これがスピン軸のずれに変動を招来している可能性が強いと考えられる。

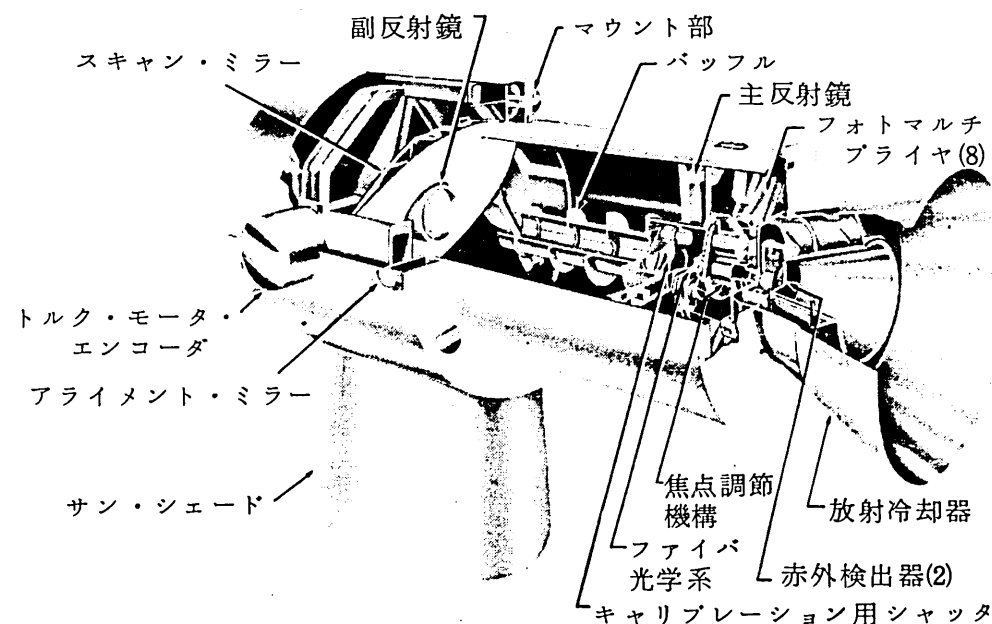


図 2 VISSR の構造

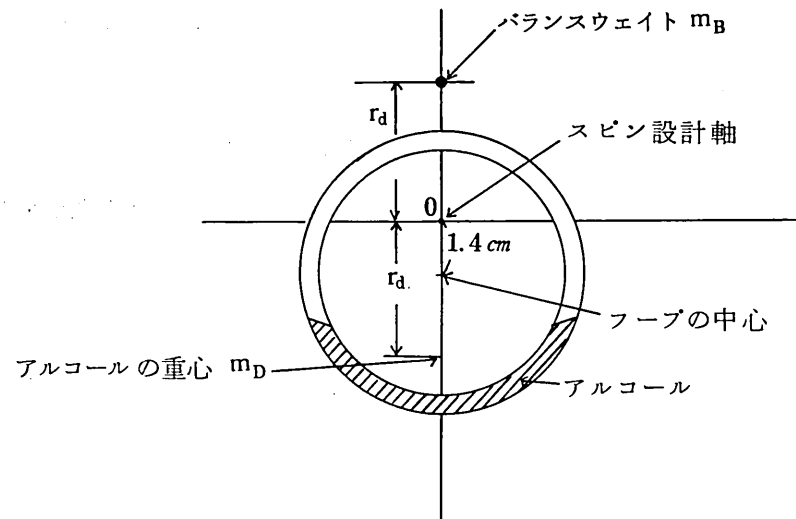


図3 ニューテーションダンパの位置
(ダンパを含む平面について)

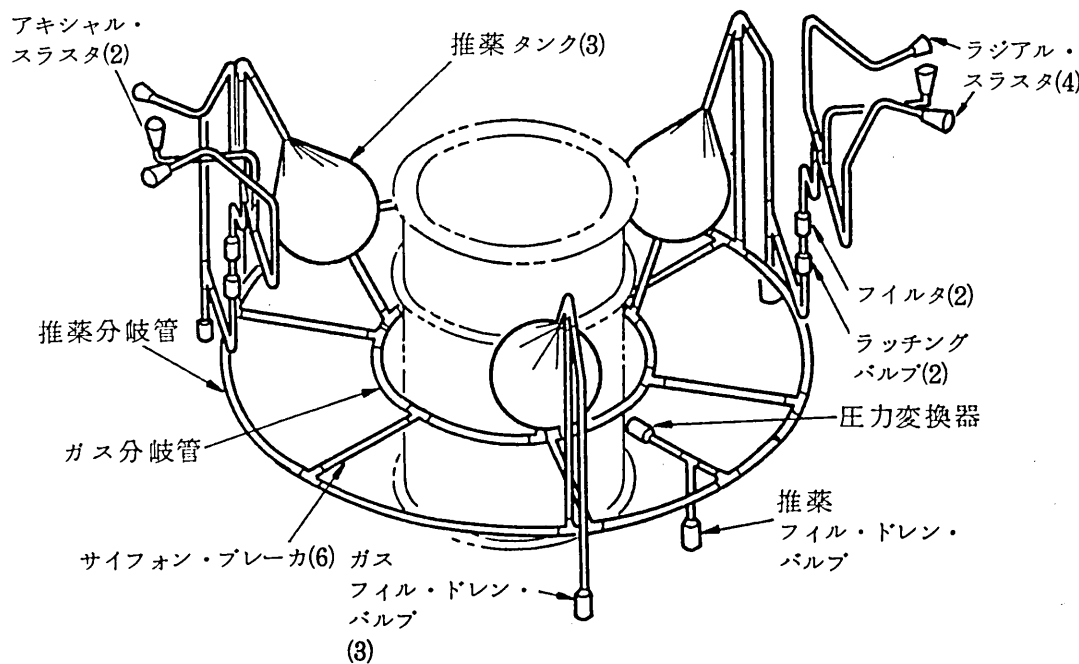


図4 リアクション・コントロール配置図

(ウ) 今後の対策

(i) スピン軸のずれ

今後のスピン軸のずれの動向については、フープ状ニューテーションダンパの製作の際の真円度、直径及び衛星本体への取付け精度が確定できないことから、単一には定まらない。しかし、現在のデータを基にパラメータを仮定して計算を行い、ヒドラジン残量の変化によるスピン軸のずれの予測を行った結果によると最悪条件においても4度を越すことは殆んどないものと考えられる。

スピン軸のずれによっては、(i) VISSR取得画像の歪み及び偏移 (ii) VISSR赤外センサ冷却器への太陽光の入射による冷却能力の劣化 (iii) デスパン・アンテナの指向方向の変動にともなう通信回線の劣化が考えられるが、スピン軸のずれが上述の範囲であれば、(ii)及び(iii)については殆んど影響がなく、また、(i)についても地上側における画像信号の前処理装置であるシンクロナイザ/データ・バッファ装置及びそれを運用するための計算機プログラムの一部を改修することによってGMSの運用には支障を与えないよう措置できる見通しである。

また、今後の衛星の開発に当たっては、特に次のような点に留意する必要がある。

- 衛星のミッション要求に対して適正なニューテーションダンパを開発すること
- 衛星の試験法やインフォメーション・マネジメントにおいて、全

体システムとサブシステム間の連携に万全を期する体制をしくこと

○新規に開発されるサブシステム等については、可能な限り仕様書を厳密にし、その製作データ等を記録すること

○スピン軸のずれの補正は、地上側の処理によってのみ可能であるので、地上側の処理との情報交換を十分に行い、重要な点については地上側の処理能力を仕様の範囲ぎりぎりに設計するのではなく、余裕をもたせた設計を行うように配慮すること

(ii) スピン軸のずれの変動

スピン軸のずれの変動は、前述のとおりヒドラジン凍結防止用ヒータの使用と密接に関連しており、これを使用しない限り発生しない。

スピン軸のずれの変動によっては、VISSR視線方向が変動するため、取得画像に歪みが生ずるが、ヒータを使用する可能性のある日蝕の総合計時間が年間80時間程度しかなく、かつ、予測される日蝕以前にヒドラジンを必要とする運用を行えば日蝕期間中にはヒータをONにしなくても済むので、GMSの運用には支障を与えないと考えられる。

また、今回のスピン軸のずれの変動は、本衛星がVISSR画像、精密サンセンサ及び精密加速度計を搭載していたためやっと発見されたものであり、いわば、ゆらぎと言った程度のものであるが、今後は画像を取得する観測衛星が多くなると考えられるので、衛星姿勢制御の高精度化のため、次期衛星には対策を考慮する必要がある。

(2) VISSRセンサの一部不具合

(ア) 状況

昭和52年11月4日、VISSRセンサの第4チャンネル用光電子増倍管の電圧が低下し、このチャンネルが作動しなくなった。また、続いて昭和53年3月8日、VISSRセンサの第6チャンネル用光電子増倍管の電圧が低下し、このチャンネルが作動しなくなった。

これら2つのチャンネルは、それぞれの予備である第8及び第2チャンネルに切り替えて運用されている。

(イ) 原因

光電子増倍管は、センサでピックアップされた光エネルギーを電気変換し、これを増幅するものであり、この際の電源電圧は-1.1 kVを要する。この構造は図5のようになっており、光電子増倍管とその電源をチャンネル毎にセットとして微小な形状にまとめ、第1から第4までのチャンネル及びこれらの予備チャンネルである第5から第8までのチャンネルの合計8セットがマウント板上にのせられている。この高圧電源の配線には、マイラー絶縁材をそう入するなどの必要な方法は講じているが、微小な形状にまとめたことによりコロナ放電が生じ、電圧の低下を招来したものと考えられる。

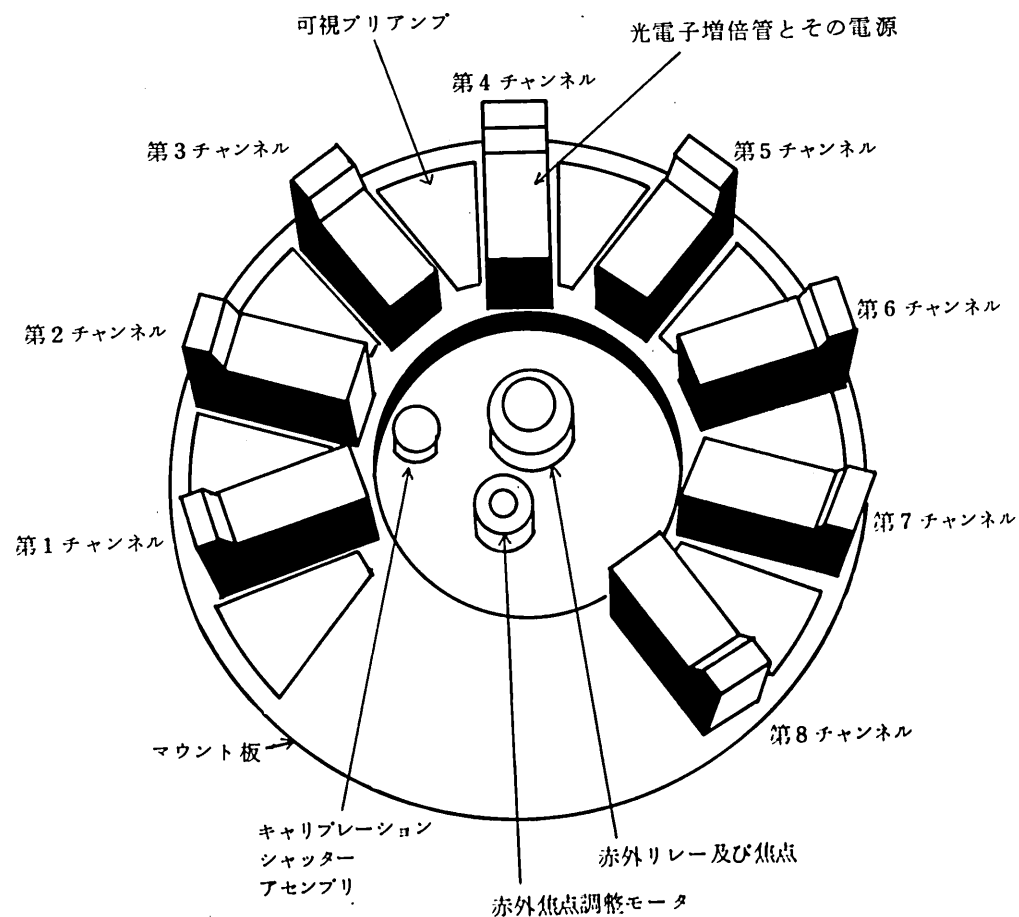


図5 光電子増倍管とその電源構造図 (VISSR センサ)

(ウ) 今後の対策

前述のとおり、不具合の発生した第4チャンネルは第8チャンネルに、また、第6チャンネルは第2チャンネルにそれぞれ切り替えられて運用されているので現時点においては何らの支障を生じていない。

本不具合の発生による打上げ3年後(55年7月)におけるVISSR センサの残存確率を計算した結果、衛星全体としての打上げ3年後の残存確率は当

初の仕様値0.5を満足している。これは、光電子増倍管の電源にコロナ放電が生じやすいことが地上テストにおいて判明したため、先に述べたように第1から第4までのチャンネル(Aグループ)に対応して第5から第8までの予備チャンネル(Bグループ)を設け、AグループとBグループの中から適宜組み合わせて、可視4チャンネルを使用しうるよう適切な措置がなされていたことによる。

今後の衛星開発に当たっては、今回のような適切な措置を講じるとともに、高圧電源の製作、試験法等に細心の注意を払う必要がある。

3 総合意見

今回打ち上げられた静止気象衛星（GMS）は、GARPの推進及び気象業務の改善に資するための適合性が確保されていることから、所期の目的を達成しているものとする。

現在、静止気象衛星2号（GMS-2）が計画されているが、万一、不具合が発生した場合でもその対策を速やかに行いうるよう生産管理を厳密にし、また、次期衛星の開発にその成果をとり入れて改良したものを製作していくため、所要の技術の確立を図る必要がある。

今回発生したスピン軸のずれについては、ニューテーションダンパの設計、製作及び取付けが主原因であろうと判断したが、今後のずれの動向によって確認されていくものであると考えるので、この事象の観測・記録を続行して、仮定しているモデルを検証し、次の衛星の設計に十分反映させることが望ましい。また、光電子増倍管電源については、信頼度の向上を図る必要があるものと考えるが、重量の増加についても勘案しつつ慎重に検討することが望ましい。

なお、今後とも人工衛星を用いて精密な画像データを取得することが多くなると考えられるので、地球観測衛星等の地上システムの整備にあたっては、今回の例にみられるようなスピン軸のずれに対して十分対応しうるよう地上側におけるデータ補正方法を検討準備しておくことが望ましい。

参考1 静止気象衛星（GMS）の打上げ結果 の評価について

昭和52年9月21日

宇宙開発委員会決定

静止気象衛星（GMS）の打上げ結果を評価するため、次により調査審議を行うものとする。

1. 宇宙開発事業団が行った「静止気象衛星（GMS）の打上げ及び追跡管制」の結果を評価するために必要な技術的事項について調査審議を行う。
2. 1の調査審議は技術部会において行い、昭和52年12月末までに終わることを目途とする。

参考2 宇宙開発委員会技術部会第一分科会構成員

分科会長	佐 貫 亦 男	日本大学工学部教授
専門委員	秋 葉 鏑二郎	東京大学宇宙航空研究所教授
	生 島 広三郎	郵政省電波研究所鹿島支所長
	内 田 茂 男	名古屋大学工学部教授
	糟 谷 績	郵政省電波研究所長
	野 村 民 也	東京大学宇宙航空研究所教授
※	平 井 正 一	宇宙開発事業団理事
※	平 木 一	〃 〃
※	船 川 謙 司	宇宙開発事業団追跡管制部長
	山 内 正 男	新技術開発事業団監事
	和 田 正 信	東北大学工学部教授

今回の静止気象衛星（GMS）の審議にあたり、特に下記の専門家の協力を得た。

高 木 幹 雄	東京大学生産技術研究所助教授
村 上 力	科学技術庁航空宇宙技術研究所主任研究官
森 口 繁 一	電気通信大学情報工学科教授

注） ※印の専門委員は、今回の調査審議においては、説明者として参加した。

宇宙開発に関する基本計画

昭和53年4月4日
内閣総理大臣
決 定

我が国の宇宙開発に関する基本計画を下記のとおり定める。

記

近年、宇宙技術の急速な発展により、宇宙の科学研究及び通信、気象観測等の宇宙利用が広く行われるようになってきており、さらにスペースシャトル等新たな宇宙輸送システムが具体化してきたことにより、世界的に宇宙の研究及び利用が広範に促進される新たな時代を迎えようとしている。

一方、我が国においても、これまでの十数年の努力により宇宙開発の基礎固めの段階を終え、科学研究及び実利用の両分野にわたって多様な開発活動が可能となってきたところである。

このような情勢を踏まえ、我が国としてはさらに一層宇宙開発を推進することとし、次により関係各界の総力をあげてこれに取り組むこととする。

1. 開発の実施は、宇宙開発委員会が定めた宇宙開発計画（昭和52年度決定）に基づいて行う。

2. 開発体制については、宇宙開発委員会における重要施策の企画調整機能の一層の充実強化を図る。また、関係各機関は、宇宙開発委員会の方針に沿って、その分担と役割に応じ相互の協力を維持しつつ研究及び開発を進める。
3. 開発を進めるに当たっては、進捗状況の把握及び成果の評価を行いつつ、計画の管理を合理的に行うとともに、特に資金の効率的な運用に配慮する。