

静止気象衛星 2 号 (GMS-2) の
可視赤外走査放射計 (VISSR)
に生じた不具合の原因究明及び
今後の対策について

(報 告)

昭和 59 年 4 月

宇宙開発委員会 第四部会

静止気象衛星 2 号 (GMS-2) の可視赤外走査放射計
(VISSR) に生じた不具合の原因究明及び今後の対
策について

昭和 59 年 4 月 27 日

宇宙開発委員会第四部会

宇宙開発委員会第四部会は、静止気象衛星 2 号 (GMS-2) の可視赤
外走査放射計 (VISSR) に生じた不具合について、昭和 59 年 3 月 23 日以
来、その原因究明及び今後の対策に係る技術的事項を慎重に調査審議して
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. 静止気象衛星 2 号 (GMS-2) の可視赤外走査放射計	
(VISSR) の概要	1
(1) 衛星の概要	1
(2) VISSR の概要	1
(3) VISSR 走査鏡駆動系の概要	4
2. 不具合発生状況	3
3. 不具合原因の究明	5
(1) 不具合の分析及び原因究明	5
(2) 不具合発生要因の詳細検討	7
(3) まとめ	10
4. 今後の対策	12
5. 総合意見	13

参考 1 静止気象衛星 2 号 (GMS-2) の可視赤外走査放射計 (VISSR)
に生じた不具合の原因究明及び今後の対策について

参考 2 宇宙開発委員会第四部会構成員

1. 静止気象衛星 2 号 (GMS-2) の可視赤外走査放射計 (VISSR) の概要

(1) 衛星の概要

静止気象衛星 2 号 (GMS-2) は、気象衛星に関する技術の開発及び我が国の気象業務の改善に資することを目的とした衛星で、昭和 56 年 8 月 11 日、N ロケット 8 号機 (F) (N-II ロケット 2 号機 (F)) により東経 140 度の静止軌道に打ち上げられ、気象庁による気象業務に供されてきた。衛星の形状及び主要諸元は、それぞれ図 1 及び表 1 のとおりである。

(2) VISSR の概要

可視赤外走査放射計 (以下「VISSR」という。) は、地球を可視及び赤外スペクトラムで観測するための装置で、その構造は図 2 のとおりであり、その大部分は宇宙空間に露出されている。

地球画像の取得に当たって、地球からの可視及び赤外スペクトラムを光学軸に対し 45 度の角度をなす位置を中心に約 10 度の範囲で可動な走査鏡と呼ばれる平面鏡を介して光学軸方向へ導いた後、検出器により画像信号に変換する。

地球画像全体の撮影は、衛星の 100 回転/分のスピンと走査鏡のスピン毎の約 0.004 度の回転 (以下「ステッピング」という。) とを組み合わせた二次元走査により行われる。すなわち、図 3 に示すとおり、衛星のスピンにより地球を西から東へ、走査鏡のステッピングにより北から南へ 25 分かけて 2500 ステップを走査し画像取得を行っている。

ステッピングの速度には、この画像取得の際のノーマルレートのほかにも、約 10 倍の速度のラピッドレートがあり、通常走査鏡を南から北へ

戻す際に用いられる。

(3) VISSR走査鏡駆動系の概要

VISSR走査鏡駆動系は、図4に示すとおり走査鏡、エンコーダ部、ランプレギュレータ等からなり、システム構成は図5のとおりである。

エンコーダ部には、トルクモータ、軸受及び光学式の走査鏡走査位置検出機構（以下「エンコーダ」という。）が収められており、左右一対の冗長構成となっている。

走査鏡の走査位置の検出は、エンコーダで行われ、走査鏡回転軸に固定されたガラス円盤（以下「エンコーダディスク」という。）のパターン（図6）を透過するランプ光を円盤の半径方向に並んだ15個の検出器で読み取り明暗を判定することによって行われる。走査位置データは、VISSR画像データとともに処理されて地上へ送られ、同時にVISSRエレクトロニクス内の走査駆動論理回路にも入力され走査鏡の駆動制御に用いられる。

各部への電源は、衛星バス電源よりVISSRプリレギュレータ及び電圧供給回路を経由し供給されており、電圧供給回路、走査鏡駆動論理回路及びモータ駆動回路は、シェルフ上に設けられたVISSRエレクトロニクス内に収められている。

なお、ランプレギュレータはVISSRの外側に取り付けられたボックス内に収められている。

2. 不具合発生状況

GMS-2では、打上げ後2年3ヶ月を経過した昭和58年11月3日、VISSRの走査鏡の動作に異常が発見された。異常は地球画像の取得後走査鏡を元の位置へ戻すリトレースの際、途中で走査鏡のステッピングが一時的に停止するというもので、この現象発生の頻度及び発生時の停止時間ともに日を経るに従い増加の傾向を示した。

昭和58年12月13日、冗長系に切り替えたが、冗長系でも最初のリトレース中同様に停止する現象が発生したため、主系による運用を継続した。しかし、リトレースに要する時間が数時間となるに至り、昭和59年1月21日、GMS-2による運用を打ち切り、GMSによる運用を再開した。

なお、リトレース中のVISSR走査鏡の不具合現象の発生状況は、次のとおりであった。

(1) 主系

- ① 初期の一時停止は数十秒間で自然に回復したが、停止時間は長くなる傾向を示し、昭和59年1月には回復するまでに数時間を要するに至った。
- ② 停止位置は2ヶ所であり、走査ライン番号1499及び475に対応する位置であった。停止中のテレメトリにより地上へ送られてくる走査位置のデータは、画像取得などにより検証した停止位置とは異なる表示をした。すなわち1499及び475の走査ライン番号の位置で停止した場合、それぞれテレメトリデータでは、1623及び599を示した。
- ③ 一時停止はノーマルレートで行っても発生し、ラピッドレートと同じ位置での停止がみられた。

- ④ 停止した場合、駆動系の電源を切って放置すると、リトレースの動作の回復がみられたが、次第に効果は減少した。

(2) 冗長系

- ① 主系の不具合に伴い冗長系を作動させたところ停止が生じ、主系の場合と異なり自然に回復することはなかった。
- ② 停止位置は走査ライン番号 2420 で、テレメトリデータによる表示は 2292 であった。
- 停止は、このほか 4 ケ所で確認され、テレメトリデータでは、それぞれ停止位置とは異なる表示であった。
- ③ 一時停止はノーマルレートで行っても発生し、ラピッドレートと同じ位置での停止がみられた。
- ④ 駆動系の電源を投入した当初は停止が認められなかった位置で、時間が経過するとともに停止するようになるという現象が認められた。

3. 不具合原因の究明

主系及び冗長系の不具合発生状況に着目して、原因究明を行うため、GMS-2 の各構成要素について、Fault Tree Analysis (FTA) の手法を用い分析を行った (図 7)。

また、GMS-2 及び現在開発中の GMS-3 を用いた試験データ、軌道上で運用中の GMS との比較データ等も使用し検討を行った。

(1) 不具合の分析及び原因究明

① サブシステムの検討

テレメトリデータ等から、衛星の電源系、通信系、テレメトリコマンド系、VISSR デジタルマルチプレクサ系、姿勢制御系、推進系の各サブシステムは正常であり、不具合は VISSR 自体に起因することが分った。

さらに、VISSR の構成要素のうち VISSR エレクトロニクス及び VISSR 電源のプリレギュレータについては、テレメトリ等のデータにより正常であることが確認され、VISSR 走査系に原因があることが判明した。

② VISSR 走査系の検討

VISSR 走査系につき、さらに検討を行った。このうち、画像取得に係る放射冷却器及び VISSR 光学系は、走査鏡の駆動には関与していないので原因とはならない。

また、走査鏡駆動に関与する機械的部分であるトルクモータ及び軸受は、主系及び冗長系の走査鏡の停止位置の相違及び停止の際テレメトリデータが停止位置と異なる表示をしていることにより、不具合の原因とはならない。従って、残る要素としては、走査鏡の位

位置を検出する機能を持つエンコーダのみであり、VISSR走査鏡の不具合は、これに起因するものである。

また、停止する位置とテレメトリデータの表示との関連について検討を行った結果、主系及び冗長系に発生する不具合は、すべてエンコーダディスクのパターンが明と暗の境界で明を暗と読み誤ることと生じていることがわかった。

従って、エンコーダに起因する不具合は、VISSR走査鏡の位置検出を誤り、その誤った走査位置データによって走査鏡の駆動が制御されるために発生するものと考えられる。

③ エンコーダについての検討

エンコーダの構成要素についてさらに検討を進めたところ、特定の走査ラインで停止が生じていることから、エンコーダディスク及び検出器のアライメントのずれ、レンズのずれ、検出器出力処理回路のタイミング回路及びアナログ出力の異常並びにコード変換ロジックの誤りが原因とは考えられない。

一方、不具合は光量低下と等価の現象であり、ランプ光量の増加、ランプレギュレータの電圧上昇、検出器における他のラインからの光の漏れも原因とは考えられない。

このほか、テレメトリデータからランプレギュレータの温度変化による電圧低下が、電圧・動作時間で停止位置が変化することからエンコーダディスクのきず・損傷が、エンコーダの構造からエンコーダディスクの変形及びレンズのきず・損傷が、それぞれ原因とは考えられず、またエンコーダが動作していることからランプの断線が否定された。

以上の結果、位置検出を誤る要因としては、次のものに絞られた。

- i) エンコーダランプの経年劣化による光量低下
- ii) エンコーダランプのフィラメントの変形による光量低下
- iii) ランプレギュレータの電圧低下による光量低下
- iv) エンコーダランプ光源から検出器に至る光透過部分での光量低下
- v) 検出器の感度低下
- vi) 検出器の出力処理回路のスレッシュホールド電圧の変動
- vii) エンコーダ部電子回路に対する電波干渉

(2) 不具合発生要因の詳細検討

これまでに絞り込まれた前記7項目の要因について、さらに詳細な検討を行った結果は、次のとおりである。

① エンコーダランプの経年劣化による光量低下

エンコーダランプについては、通電試験による電流低下傾向を基にスクリーニングと寿命予測がなされているが、精密な予測は困難なことから、主系については2年3ヶ月使用したので経年劣化による光量低下が相当進行している可能性が考えられ、位置検出の誤りの要因の1つになり得ると考えられる。

② エンコーダランプのフィラメントの変形による光量低下

エンコーダランプのフィラメントが変形した場合、各トラック間の相対的な検出位置がずれ、あるいは検出器の受ける光量に影響があり、位置検出に誤りが生じる可能性がある。

変形の要因としては打上げ時等の振動の影響が考えられるため、周波数100～4000Hzの範囲、100Gの試験条件で振動試験を繰り返し実施したが、変形は認められなかった。従って、フィラメントの変

形による光量低下の可能性はほとんどないと考えられる。

③ ランプレギュレータの電圧低下による光量低下

GMS-2のランプレギュレータはGMSと同様に放射線の影響を受け易い位置に搭載され、かつ、回路的には同一であるが、配線、コネクタ数、オペアンプ等回路部品の取付け方などに実装上の差がある。このため、GMS-2のランプレギュレータ内の回路素子に対する放射線の影響はGMSの場合よりも大きいおそれがあると考えられたので検討を行った。

放射線が電子部品、特に半導体デバイスに影響を及ぼすことは良く知られている。従って、ランプレギュレータの素子のうち、パワートランジスタ及びオペアンプに対し放射線照射試験を行った。その結果、素子については若干の性能低下が認められたが、回路動作上機能低下は観測されず、位置検出の誤りの要因とは考えにくい。

④ エンコーダランプ光源から検出器に至る光透過部分での光量低下

ランプ光源から検出器に至る光線が通過する部分には、ランプガラス、レンズ、エンコーダディスクが置かれている。これらの不透明化によって光量が低下すれば位置検出に誤りが生じる可能性がある。

ガラスは強い放射線を受けると着色することが知られているので、ランプガラス、レンズ、エンコーダディスクについて放射線の影響を検討した。これらのものについて放射線照射試験を行った結果、軌道上5年間の推定放射線量では極わずかな変化しか認められなかった。

従って、放射線によってエンコーダランプから検出器に至る光透過部分に不透明化が生じ、位置検出誤りを起すほどに光量が低下した可能性はほとんどないと考えられる。

⑤ 検出器の感度低下

エンコーダランプからの光量が十分あっても、検出器の劣化により感度が低下した場合、走査鏡の位置検出に誤りが生じる可能性がある。検出器（フォトダイオード）は放射線により影響を受け易く、かつ防護効果の低い宇宙環境に近い位置に搭載されているため、放射線による検出器の感度低下について試験を行った。

その結果、軌道上で予測される放射線レベルに近いレベルで性能低下が認められた。従って、検出器が放射線により劣化していた可能性があるので位置検出の誤りの要因の1つとなり得ると考えられる。

⑥ 検出器の出力処理回路のスレッシュホールド電圧の変動

スレッシュホールド電圧は、走査鏡の停止が生じる直前のランプ入力電圧を測定することにより求めており、この電圧とランプ電圧定格値（5V）との差がスレッシュホールドマージンとなる。検出器出力電圧と比較して明暗の判定を行うための規準電圧は、VISSRエレクトロニクスから検出器出力処理回路に供給される。

開発段階では、エンコーダ単体により試験用の電源を用いてスレッシュホールドマージンを測定し、その値が主系及び冗長系それぞれについて差はあるものの、規定内と確認されていたが、衛星に組み込まれた後の電圧の変動あるいはラインドロップ等インタフェイス上の問題から、スレッシュホールドマージンがそれぞれ低下していた可能

性があると考えられた。

このため、検出器出力処理回路に入る電圧を変化させる試験を行ったところスレッシュホールド電圧が変動することがわかった。スレッシュホールドのマージンの誤差等も考慮すれば明暗の判定を誤る可能性があり、位置検出誤りの要因の1つとなり得ると考えられる。

⑦ エンコーダ部電子回路に対する電波干渉

エンコーダ部は他の部分に比べ電波干渉に対し遮へい効果が少ない環境におかれていることから、軌道上の不具合が電波干渉によるものか否かを調査するため、GMS-2を用い試験を行ったところ、電波をすべて停止してもなお走査鏡の停止は生じた。しかしながら、GMSでは開発途上において電波干渉による走査鏡の停止が生じた経緯もあり、電波干渉が電子回路に影響を与えていた可能性は否定できない。

(3) まとめ

以上の検討の結果をまとめると、GMS-2のVISSR走査鏡の駆動系に生じた不具合の原因は、次のとおりであると推定される。

① 主系及び冗長系のVISSR走査鏡駆動系で走査鏡が停止するのは、その不具合の状況に若干の差が認められるものの、ともに走査位置を検出するエンコーダにおいて走査位置データの検出を誤り、その誤った位置データによって走査鏡の駆動が制御されるため生じるものであると考えられる。

② エンコーダで走査位置データの検出を誤る要因としては、次のものに絞られる。

i) エンコーダランプの経年劣化による光量低下

ii) 放射線による検出器の感度低下

iii) 検出器の出力処理回路のスレッシュホールド電圧の変動

iv) エンコーダ部電子回路に対する電波干渉

③ 主系については上記4つの要因、冗長系については運用を行っていないため i) 項を除く他の3つの要因が考えられる。主系と冗長系ではそれぞれ影響は同じでないにしても、これら要因のいずれか、またはいくつか为重なり合うことによってスレッシュホールドマージンが低下し、不具合が生じたものと考えられるが、これ以上の特定を行うことは困難である。

なお、今後より長期間の試験を行っていく必要があると考えられる。

4. 今後の対策

以上の検討結果からGMS-3において同様の不具合が発生しないよう、前記4つの要因すべてに対し、有効と考えられる次の対策を講ずる必要がある。

- ① エンコーダランプの経年劣化については、ランプ供給電圧を可変とすることにより長寿命化を図るとともに、できるだけ信頼性を確認したランプを選定すること。
- ② エンコーダの検出器に対する放射線対策については、耐放射線性を高めるためシールドを追加すること。
- ③ スレッシュホールドマージンを確認するため、十分な試験を実施すること。
- ④ エンコーダ部電子回路に対する電波干渉については十分な試験を行い、必要があればシールド等を追加すること。
- ⑤ 上記の対策に加えて、仮に走査位置データの検出に誤りが生じたとしても、継続して画像取得が可能となるよう、コマンドによりステップを続行させる機能を付加すること。

5. 総合意見

昭和56年8月に打ち上げられ約2年5ヶ月にわたり気象業務等に用いられてきたGMS-2は、昭和58年11月から発生したリトレース時のVISSR走査鏡の駆動停止という不具合により地球画像取得が困難となり、昭和59年1月21日運用を打ち切り、GMSと交替した。

この不具合の原因は、前述のとおり最終的には特定できなかったが3つないし4つの要因に絞られ、主系と冗長系ではそれぞれ影響は同じでないにしても、これらのいずれか、またはいくつかが重なり合うことによってエンコーダのスレッシュホールドマージンが低下したことによるものと推定される。このことからエンコーダが走査位置データの検出を誤り、その誤った位置データによって走査鏡の駆動が制御され走査鏡の停止が生じたものと考えられる。

従って、当面のGMS-3の開発に当たり、今回と同様の不具合が生じないように4で述べた対策を実施する必要がある。

さらに、スレッシュホールドマージンの低下に影響を及ぼすおそれのある諸要因について、より一層の評価を行い、今後の気象衛星の開発に際し、設計段階から十分な解析試験を実施し、万全を期することが必要である。

また、ミッション機器の方式、部品材料の信頼性の向上等についてもさらに検討を行っていくことを期待する。

図1 GMS-2の形状

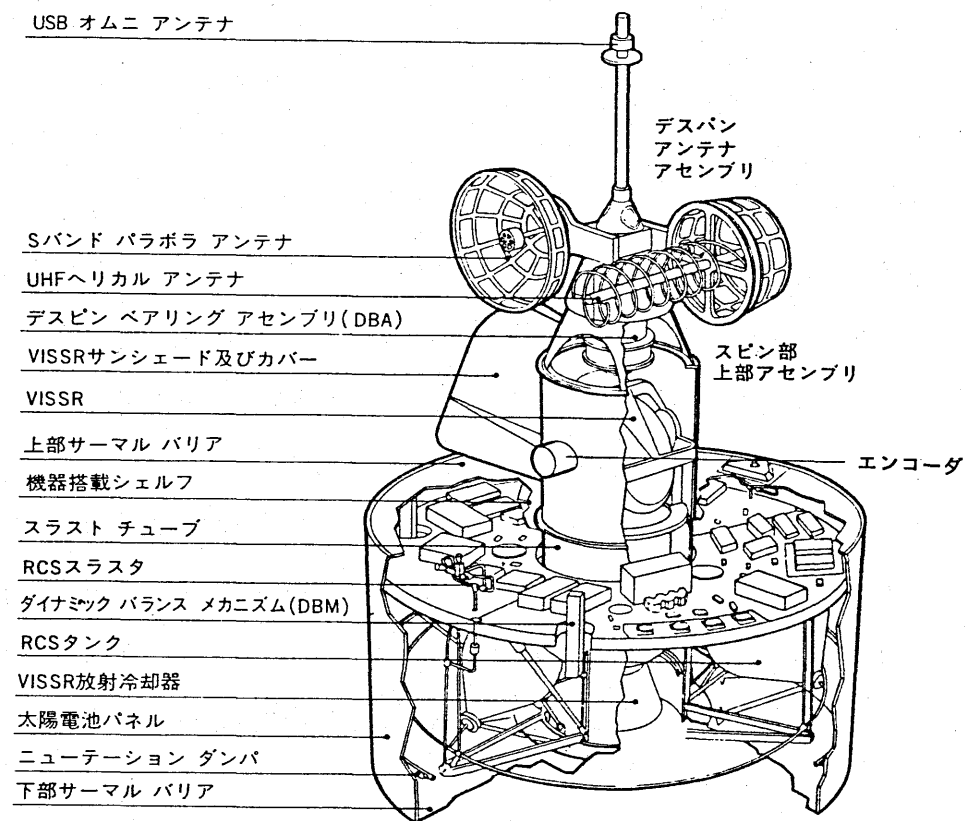


表1 GMS-2の主要諸元

形 状	円筒型 直径	215 cm
	高さ	444 cm (AKM分離前)
		345 cm (AKM分離後)
重 量	打上げ時	653 kg
	静止時寿命初期	294 kg
	寿命末期	286 kg
観 測 系	可視・赤外走査放射計 (VISSR) 宇宙環境モニタ	
通 信 系	Sバンド送受信系 UHF送受信系 SバンドTT&C送受信系 (USB)	
姿勢安定	スピン安定方式 (スピン速度100rpm)	
熱 制 御	受 動	
寿 命	ミッション寿命	3 年
	設計寿命	5 年
信 頼 度	3年後	0.78
	5年後	0.64
軌 道	静止衛星軌道	東経140°

図2 GMSの可視赤外走査放射計(VISSR)の構造

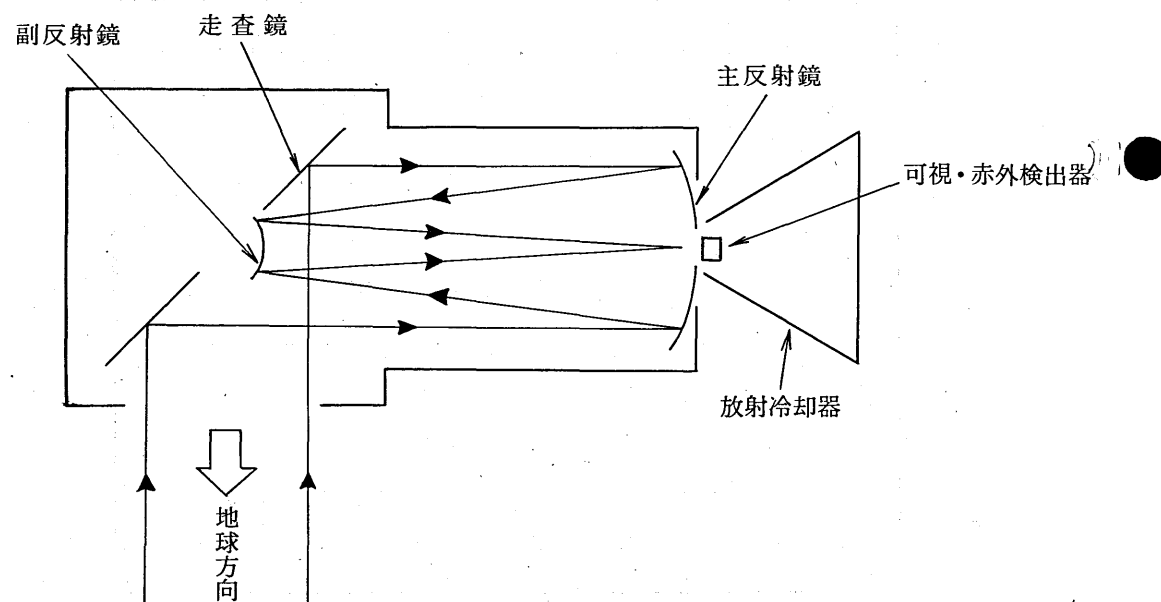
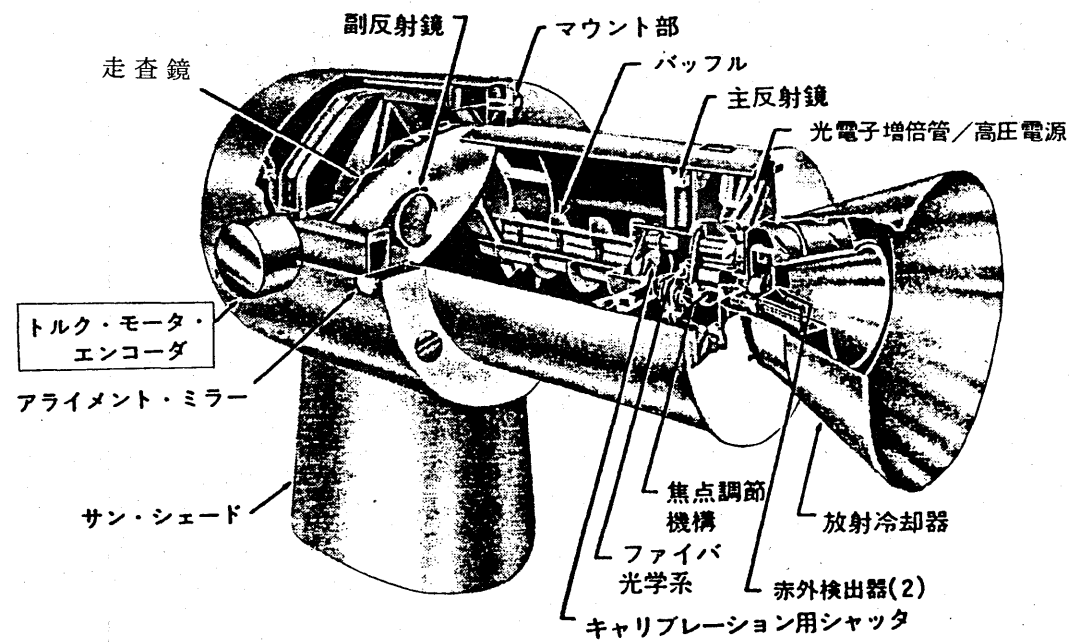


図3 VISSR 走査方式

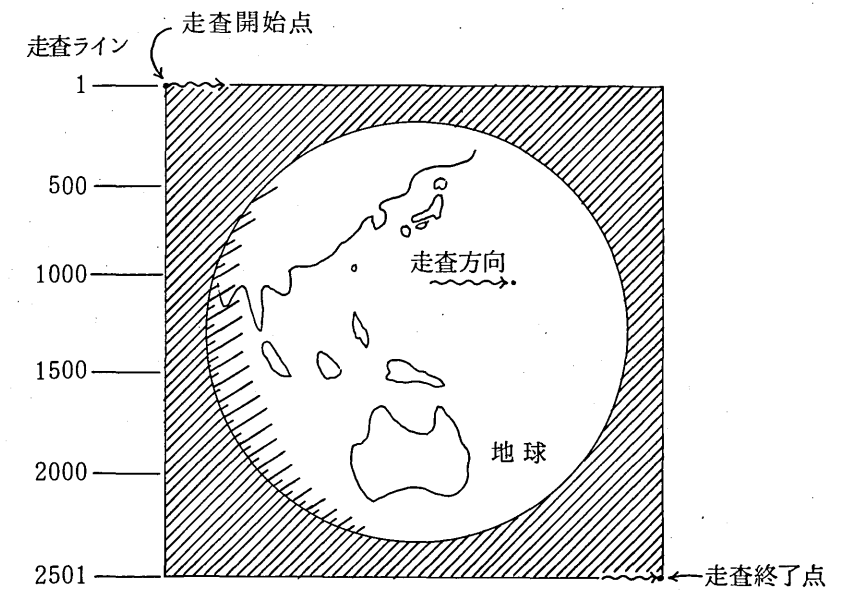
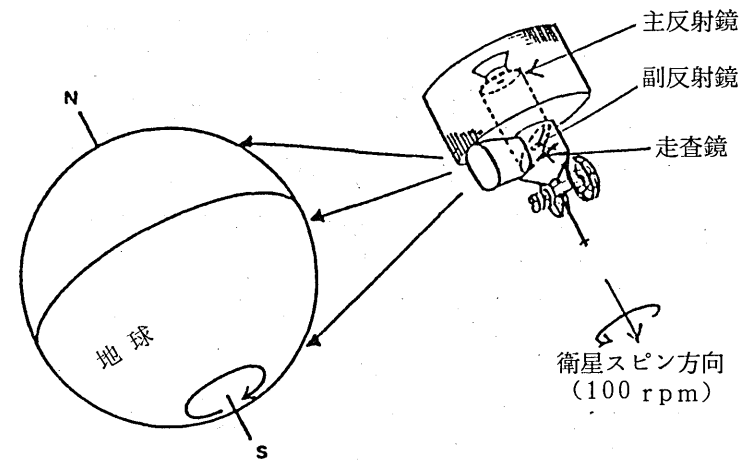


図4 VISSR 走査鏡駆動系の配置

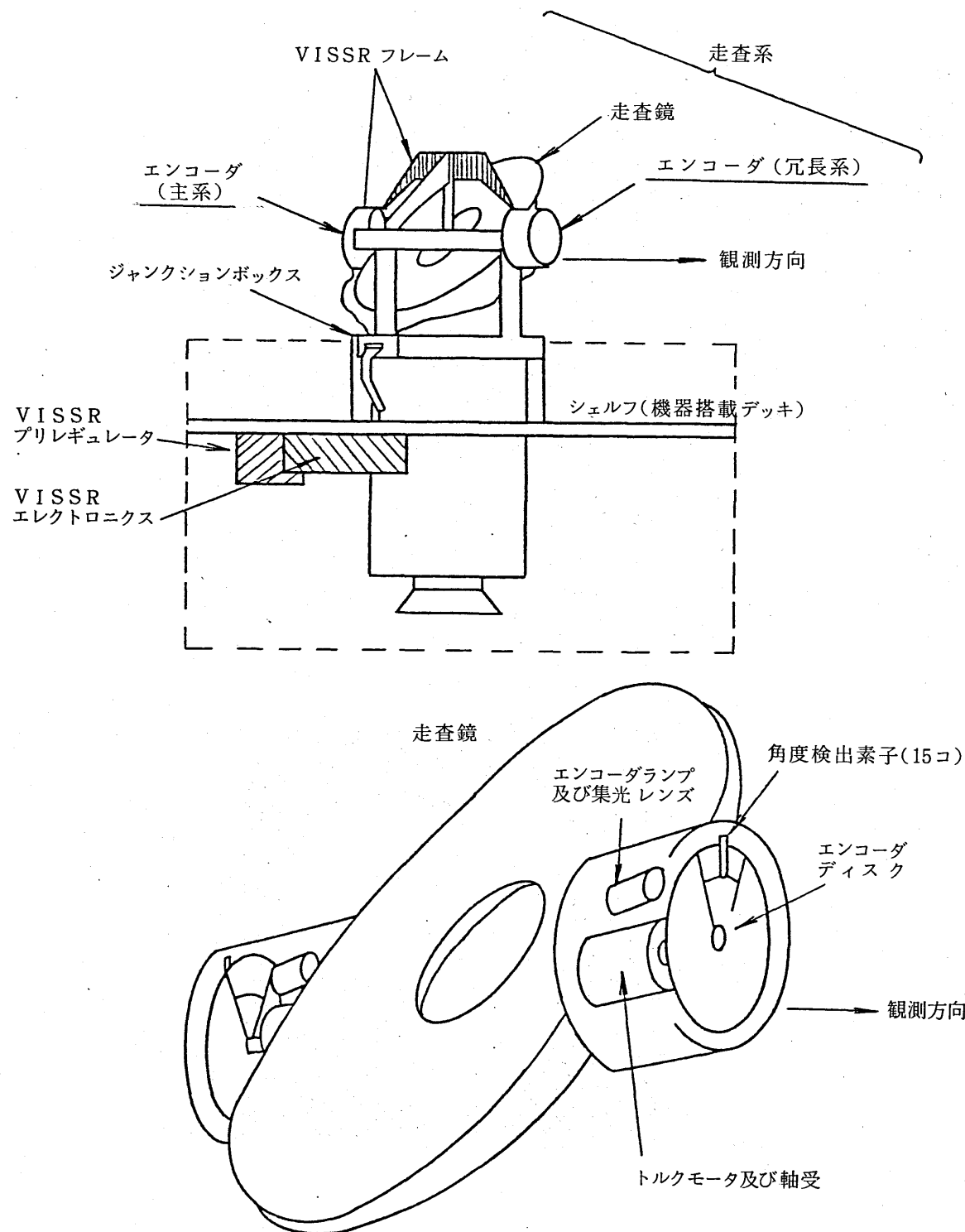


図5 VISSR 走査鏡駆動系 システム構成

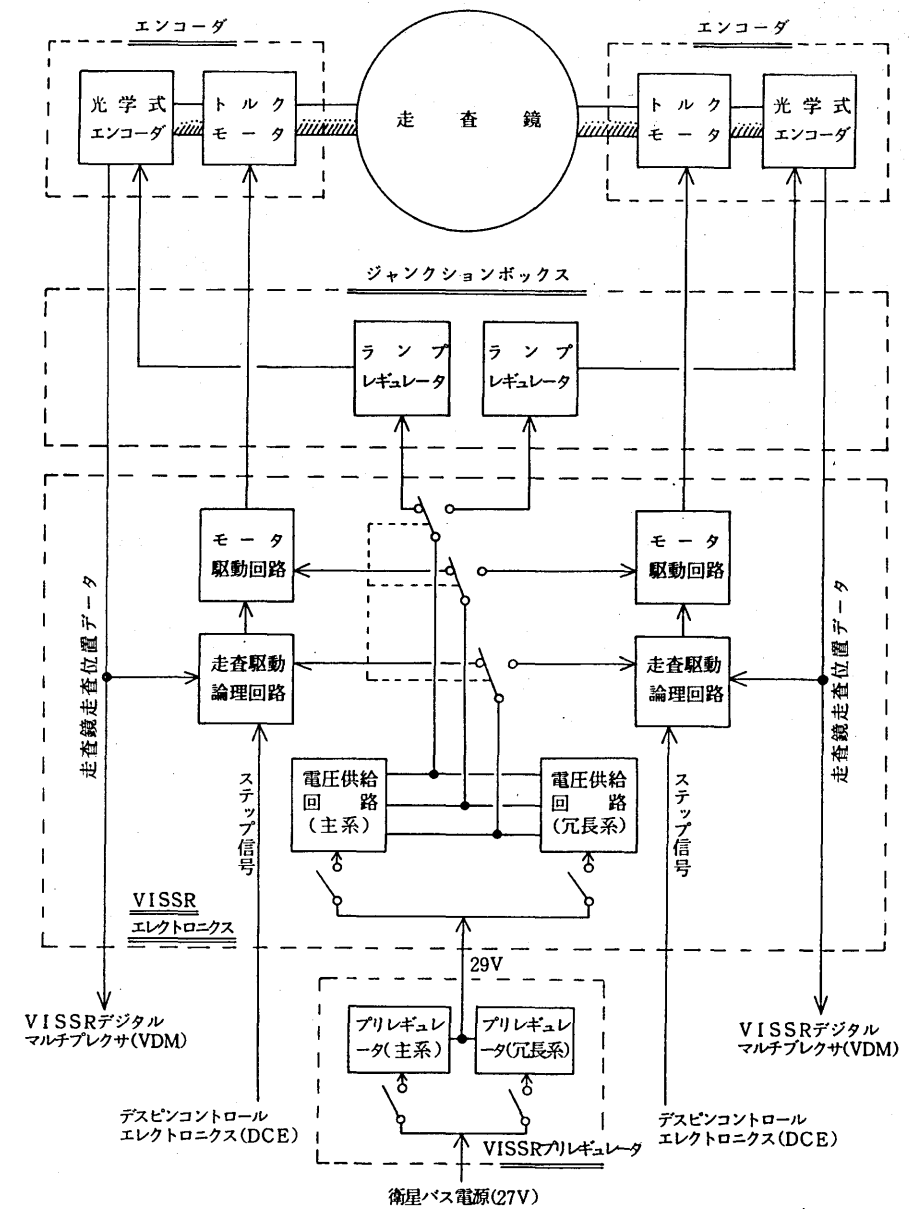


図 6 エンコーダディスクのパターン

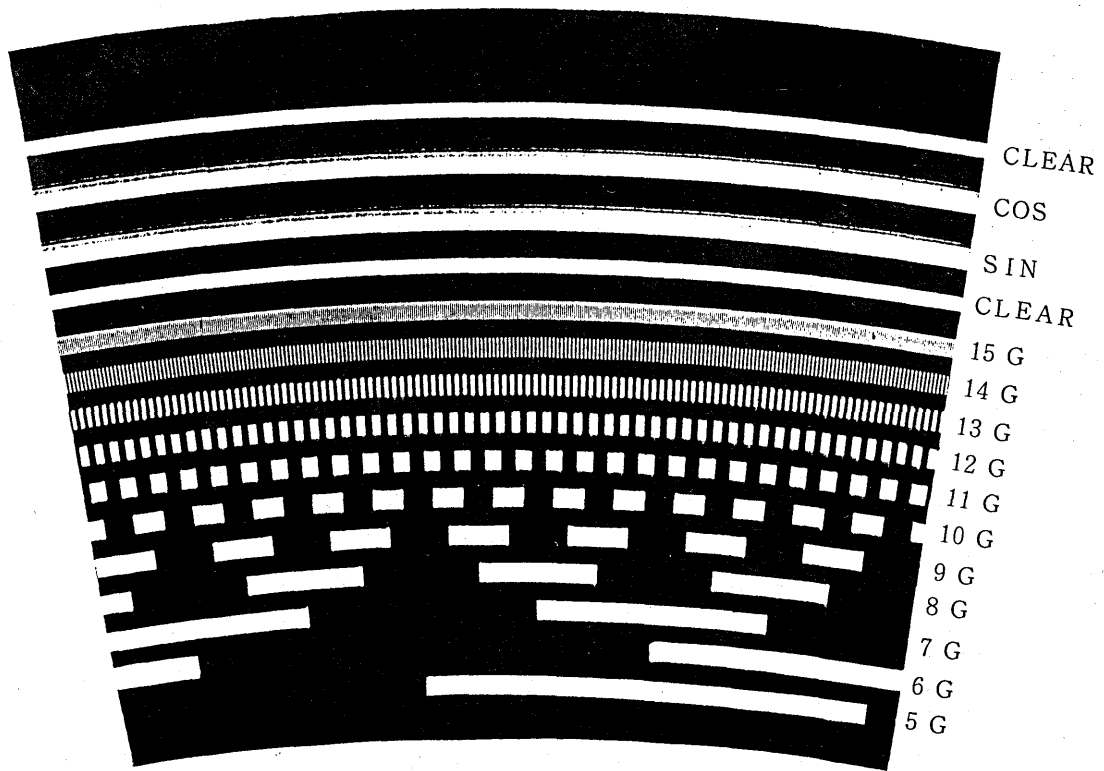
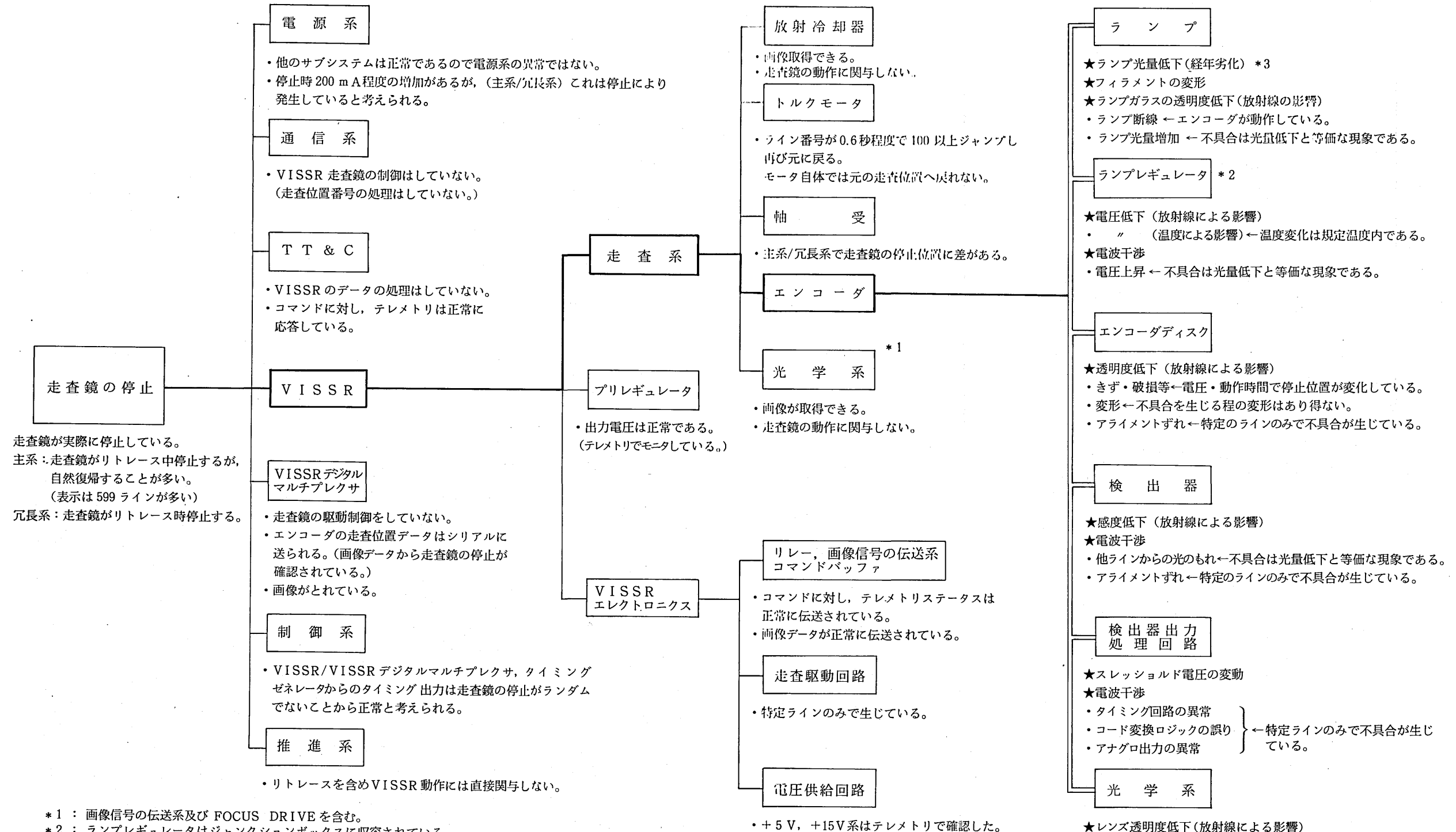


図7 VISSR 軌道上不具合 FTA



*1 : 画像信号の伝送系及び FOCUS DRIVE を含む。
*2 : ランプレギュレータはジャンクションボックスに収容されている。
*3 : 冗長系については考えられない。
無印 : 本現象の原因ではないと判断される項目、理由。
★ : 本現象に関連あると考えられる項目。

静止気象衛星2号（GMS-2）の可視赤外
走査放射計（VISSR）に生じた不具合の
原因究明及び今後の対策について

昭和59年3月21日
宇宙開発委員会決定

1. 昭和56年8月に打ち上げた 静止気象衛星2号
（GMS-2）の可視赤外走査放射計（VISSR）
に生じた不具合に関して、その原因の究明及び今後の
対策について調査審議を行うものとする。
2. このため、原因究明及び今後の対策に係る技術的事
項について、第四部会において調査審議を行うものと
する。この調査審議は、昭和59年4月中旬までに終
えることを目途とする。

宇宙開発委員会第四部会構成員

(5 0 音 順)

部 会 長	佐 貫 亦 男	日本大学理工学研究所顧問
部会長代理	内 田 茂 男	名城大学理工学部教授
専 門 委 員	秋 葉 鏑二郎	文部省宇宙科学研究所教授
	大 島 耕 一	文部省宇宙科学研究所教授
	小 林 繁 夫	東京大学工学部教授
	※ 竹 中 幸 彦	宇宙開発事業団理事
	中 込 雪 男	国際電信電話株式会社取締役
	長 洲 秀 夫	科学技術庁航空宇宙技術研究所 科学研究官
	林 友 直	文部省宇宙科学研究所教授
	※ 船 川 謙 司	宇宙開発事業団理事
	前 田 弘	京都大学工学部教授
	虫 明 康 人	東北工業大学長
	若 井 登	郵政省電波研究所長

今回の審議に当たって、特に次の放射線の専門家の協力を得た。

和 田 雅 美 理化学研究所宇宙線研究室主任研究員

注) ※印の専門委員は、今回の調査審議については、

説明者として参加した。

委 13-3

H-II ロケットのコンフィギュレーションに関する審議について(案)

昭和59年5月9日

宇宙開発委員会

決 定

H-II ロケットの開発に資するため、次により調査審議を行う。

1. 宇宙開発政策大綱（昭和59年2月23日改訂）において1990年代における大型人工衛星の打上げ需要に対応するため、静止軌道で2t程度の人工衛星打上げを可能とする能力を有するものとして開発することとされているH-II ロケットのコンフィギュレーションについて調査審議を行う。
2. 調査審議は第二部会において行い、昭和59年7月中旬までに終えることを目途とする。

第 二 部 会 構 成 員 (案)

部会長 宮 憲一 (国際通信施設社長)

秋葉 鐸二郎(文部省宇宙科学研究所教授)
内田 茂男 (名城大学教授)
金田 秀夫 (郵政省電波研究所次長)
木村 誠 (通商産業省工業技術院機械技術研究所次長)
倉谷 健治 (文部省宇宙科学研究所教授)
興石 肇 (科学技術庁航空宇宙技術研究所総合研究官)
小林 繁夫 (東京大学教授)
城水 元次郎(電電公社研究開発本部長)
鈴木 昭夫 (科学技術庁航空宇宙技術研究所角田支所長)
武田 峻 (科学技術庁航空宇宙技術研究所所長)
竹中 幸彦 (宇宙開発事業団理事)
田島 稔 (建設省国土地理院長)
船川 謙司 (宇宙開発事業団理事)
鍋島 泰夫 (運輸省気象庁気象衛星センター所長)
西 周次 (運輸省電子航法研究所衛星航法部長)
野村 民也 (文部省宇宙科学研究所教授)
平山 博 (早稲田大学教授)
前田 弘 (京都大学教授)
森川 汎士 (経団連開発部長)
矢橋 幸一 (NHK技師長専務理事)
寄水 義雄 (宇宙開発事業団計画管理部長)