

通信衛星 3 号-b (CS-3b) の打上げ結果の評価及び
放送衛星 2 号-b (BS-2b) のテレメトリ・エンコーダ
の作動状況について (報告)

平成元年 2 月

宇宙開発委員会 第四部会

通信衛星3号-b (CS-3b) の打上げ結果の評価及び
放送衛星2号-b (BS-2b) のテレメトリ・エンコーダ
の作動状況について

平成元年2月23日

宇宙開発委員会第四部会

宇宙開発委員会第四部会は、昭和63年9月16日に宇宙開発事業団が行ったH-Iロケット(3段式)2号機による通信衛星3号-b (CS-3b) の打上げ結果を評価するために必要な技術的事項について、また、昭和61年2月12日に打ち上げた放送衛星2号-b (BS-2b) のテレメトリ・エンコーダの作動状況について、昭和63年12月8日以来、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

[illegible]2. 打上げ結果の分析

Journal of Management Education 30(6)p.789-804

エンコードの作動状況について	4
1. 放送衛星2号-b (BS-2b) の概要	4
(1) 衛星の概要	4
(2) テレメトリ系の概要	4
2. テレメトリ・エンコードの作動状況	5
(1) 不具合の状況の概要	5
(2) テレメトリ・エンコードの概要	5
(3) 不具合の状況	6
(4) 不具合部位の推定	7

3. 調査分析及び不具合原因の推定	9
(1) 基板	10
(2) IC	10
(3) 絶縁シート	11
(4) エッジコネクタ	12
(5) マザーボード	12
(6) コーティング材等	13
(7) IC下部のプリント配線	13
(8) ICのリード部及び絶縁シート	14
4. 今後の課題	16

III. 総合意見 17

参考1 通信衛星3号-b (CS-3b) の打上げ 結果の評価に関する審議について	47
参考2 放送衛星2号-b (BS-2b) のテレメトリ エンコーダの作動状況に関する審議について	48
参考3 宇宙開発委員会第四部会構成員	49

I. H-I ロケット (3 段式) 2 号機による 通信衛星 3 号-b (CS-3b) の打上げ

1. 打上げの概要

(1) 目的

今回の打上げは、H-I ロケット (3 段式) 2 号機により通信衛星 3 号-b (CS-3b) を打ち上げ、赤道東経 136 度の静止衛星軌道に投入することにより、通信衛星 2 号 (CS-2) による通信サービスを引き継ぎ、また、増大かつ多様化する通信需要に対処するとともに、通信衛星に関する技術の開発を進めることを目的としたものである。

(2) H-I ロケット (3 段式) 2 号機の概要

H-I ロケットは、全長約 40.3 m、直径約 2.4 m、発射時の総重量約 140 トンの 3 段式ロケットで、重量約 550 kg の静止衛星を打ち上げる能力を有している。

今回打ち上げた H-I ロケット (3 段式) 2 号機は、前回通信衛星 3 号-a (CS-3a) を打ち上げた H-I ロケット (3 段式) 1 号機と同じコンフィギュレーションをもち、第 1 段及び第 2 段に液体燃料を、特に第 2 段には液体酸素及び液体水素を推進薬とするエンジンを使用するとともに、第 3 段及び第 1 段補助ロケットに固体推進薬を使用し、また、誘導方式として慣性誘導方式を採用している。

ロケットの形状及び主要諸元は、それぞれ図 1 及び表 1 に示すとおりである。

(3) 通信衛星3号-b (CS-3b) の概要

通信衛星3号-b (CS-3b) は、直径約2.2m、高さ約3.6mの円筒形のスピン安定方式の衛星であり、静止衛星軌道初期の重量は約550kg、打上げ時の重量は約1099kgである。

CS-3bの形状、主要諸元及びシステム構成は、それぞれ図2、表2及び図3に示すとおりである。

(4) 打上げの経過及び結果

発 射 時 刻 : 昭和63年9月16日 18時59分

(日本標準時、以下同じ。)

打 上 げ 場 所 : 宇宙開発事業団 種子島宇宙センター

発 射 方 位 角 : 92.5度

発射時の天候 : 快晴、北西の風5.6m/s、気温25.3℃

第1段ロケット及び固体補助ロケットの燃焼は正常で、固体補助ロケットの切離し、第1段ロケットの切離しに引き続いて第2段ロケットの燃焼も正常に行われた。また、この間、慣性誘導も正常に行われた。

その後、第3段スピンアップ、第2段ロケットの切離し及び第3段ロケットの燃焼が正常に行われた。続いて、発射後約26分3.3秒に衛星と第3段ロケットとの分離が正常に行われ、衛星は所定のトランスファ軌道に投入され「さくら3号-b」(SAKURA-3b)と命名された。

トランスファ軌道上での4回の姿勢制御の後、9月18日9時54分17秒に第4遠地点近傍でアポジモータが点火された。アポジモータは約54秒間正常に燃焼し、衛星は所定のドリフト軌道に投入された。ドリフ

ト軌道投入後、軌道面逆垂直姿勢制御及びアンテナデスピン等を行った後、8回の軌道制御を経て、10月4日に東経149度の暫定静止衛星軌道に投入された。その後、4回の軌道制御を経て、11月28日に衛星は東経136度の静止衛星軌道に投入された。この間、電源系、熱制御系、二次推進系等の基本機器及び通信用アンテナ、通信用中継器の機能確認が順次行われ、CS-3bは所要の性能を満たしていることが確認された。

軌道計算による衛星の軌道は次のとおりであり、計画された軌道に正確に投入された。

(昭和63年11月28日、静止衛星軌道投入時)

	実 測 値	計 画 値
近地点高度 (km)	35786	35786
遠地点高度 (km)	35789	35789
軌道傾斜角 (度)	0.057	0.057
周 期 (分)	1436	1436

(実測値：静止後の実測データから算出した軌道
計画値：トランスファ軌道投入後に計画した軌道)

2. 打上げ結果の分析

前述のとおり、H-Iロケット(3段式)2号機により、CS-3bは所定の静止衛星軌道に投入され、ミッション機器をはじめ衛星各部は順調に機能している。

なお、技術試験衛星V型(ETS-V)及びCS-3aの打上げ時には、第3段ロケットの比推力の誤差等により、トランスファ軌道の軌道要素が計画値と比べてやや異なったが、今回はそれらの結果を飛行経路の設定に反映した結果、軌道精度が改善された。

II. 放送衛星2号-b (BS-2b) のテレメトリ・

エンコーダの作動状況について

1. 放送衛星2号-b (BS-2b) の概要

(1) 衛星の概要

放送衛星2号-b (BS-2b) は、放送衛星に関する技術の開発を進めるとともに、テレビジョン放送の難視聴解消等を図ることを目的とした衛星であり、昭和61年2月12日、N-IIロケット8号機により打ち上げられ、東経110度の静止衛星軌道に投入された。

BS-2bの形状及び主要諸元は、それぞれ図4及び表3に示すとおりである。

(2) テレメトリ系の概要

BS-2bのテレメトリ・コマンド系は、衛星各部の状態等を示すテレメトリ・データの編集、送信等を行うテレメトリ系と、受信したコマンドの解釈、衛星各部への伝送等を行うコマンド系から構成されており、その概要は図5に示すとおりである。このうちテレメトリ系は、テレメトリ・データを所定の伝送形式に編集するテレメトリ・エンコーダ、Sバンド送信機、Sバンドアンテナ、SバンドからKバンドに周波数変換を行うS/Kアップコンバータ、Kバンドアンテナ等から構成されており、このうち、テレメトリ・エンコーダ、Sバンド送信機及びS/Kアップコンバータについては、A系及びB系の2系統による冗長構成となっている。なお、Sバンド系は主として打上げ後の初期段階における追跡管制に使用され、定常運用においてはKバンド系が使用される。

2. テレメトリ・エンコーダの作動状況

(1) 不具合の状況の概要

BS-2bは、打上げ以降、A系のテレメトリ・エンコーダを用いて運用されてきたが、昭和62年12月24日、不具合が発生したためB系に切り換えられた。

その後、B系のテレメトリ・エンコーダは正常に作動していたが、昭和63年11月19日、テレメトリ・データの一部が欠落する不具合が発生した。欠落しているデータは、衛星各部の温度、電流値及び機器のオン・オフ情報等のうちの一部である。なお、4日後の11月23日、一時的にテレメトリ・データが正常な状態に回復したが、約3分後、回復前と同様の状態に戻っている。

(2) テレメトリ・エンコーダの概要

テレメトリ・エンコーダの構成は、図6に示すとおりである。テレメトリ・エンコーダは、衛星各部の状態等を示すテレメトリ・データを所定の伝送形式(テレメトリ・フォーマット)に編集し、次段の送信機へ出力する機能を持つ。

テレメトリ・エンコーダには、テレメトリ・データとして、温度、電流値等のアナログ・データ(151項目)、機器のオン・オフ情報等のバイレベル・データ(171項目)及び角度等のシリアル・データ(55項目)が入力される。これらのデータは、テレメトリ・フォーマットの編集に必要な順に適宜選択され、また、アナログ・データはデジタル信号に変換され、最終的にデータ・セクタにおいて、同期信号等とともに、テレメトリ・フォーマットに編集される。

テレメトリ・フォーマットは、図7に示すとおり、64ワード(1ワー

ドは8ビット)のマイナーフレーム1・6個から成る1個のメジャーフレームにより構成される。テレメトリ・エンコーダ内には、ワード番号及びフレーム番号を示すワード/フレームカウンタが配置されており、このカウンタの出力を基にROM及びROMデコーダにおいてデータセクタ等を制御する信号が作成され、テレメトリ・フォーマットの編集に必要なデータの選択が行われる。なお、カウンタの出力はROMのほか24ビットストレージレジスタにも供給され、テレメトリ・データ中のマイナーフレーム及びメジャーフレーム番号に変換される。

データ・セクタから出力された信号は、Bi-φ (Bi-level-split-phase)変換器及びBi-φ変調器によって、NRZ信号から、搬送波周波数192kHzのPSK信号に変換され、Sバンド送信機へ出力される。

(3) 不具合の状況

i) 不具合発生時の状況

不具合発生時の状況は、以下のとおりである。

発生時刻：昭和63年11月19日12時35分16秒

発生時の現象：マイナーフレーム番号が6の次に7に変化すべきところ、3に変化し、以降、0、1、2、3、12、13、14、15と変化。

その後の状況：0から15まで変化すべきマイナーフレーム番号が、0から3までの変化を3回繰り返した後、12から15まで変化。

正常時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
現状	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	12	13	14	15
					異常値											

温度：T2：43.3℃、T3：35.6℃ (図8参照)

欠落データ数：バイレベル・データ 171項目中16項目
アナログ・データ 151項目中63項目
(合計 79項目)

マイナーフレーム番号が異常値を示している時、異常なマイナーフレーム番号に対応するテレメトリ・データが取得されている。このため、マイナーフレーム番号4～11に対応するテレメトリ・データ130項目が欠落する状態となっているが、この内51項目が正常に送られているマイナーフレーム中のスペア領域に重複して送られているため、実質的な欠落テレメトリ・データは、全テレメトリ・データ377項目中79項目である。異常時のマイナーフレーム番号及びデータ取得不能な領域を図9に示す。

なお、マイナーフレーム番号が正常値の時は、テレメトリ・データはすべて正常である。また、メジャーフレーム番号は正常である。

ii) 自然回復時の状況

自然回復時の状況は以下のとおりである。

回復時刻：昭和63年11月23日11時42分51秒

回復時の状況：マイナーフレーム番号4から正常。

その後の状況：およそ3分後の11時46分05秒、マイナーフレーム番号が6の次に3に変化し、回復前の異常な状態に戻る。

温度：T2：42.2℃、T3：35.0℃ (図1.0参照)

(4) 不具合部位の推定

i) 発生した現象の検討

不具合部位の推定に当たり考慮すべき現象は、次のとおり整理される。

① ワードカウンタは正常に動作している。

② マイナーフレーム番号は、0から15まで1ずつ変化すべきところ、0から3までの変化を3回繰り返した後、12から15ま

で変化している。(図11参照)

- ③ マイナーフレーム番号が異常値を示している時には、異常なマイナーフレーム番号に対応するテレメトリ・データが取得されている。
- ④ メジャーフレームカウンタは正常に動作している。

このことから、以下のことが説明できる。

- (a) 上記②の現象について、正常時と異常時を比較すると、マイナーフレームカウンタの上位2ビットが、異常時には正常時の論理積に変わっている。(図11参照)
- (b) 上記①、②及び④から、マイナーフレームカウンタについても内部のカウント動作は正常である。
- (c) 上記③から、24ビットストレージレジスタから出力されるマイナーフレームカウンタ値及びメジャーフレームカウンタ値とROMの制御は対応している。

以上から、ROM及び24ビットストレージレジスタを共通制御しているワード/フレームカウンタの出力回路系のうち、マイナーフレームカウンタ上位2ビットの出力回路系に不具合が発生したものと推定される。

なお、11月19日に発生した不具合と、11月23日に一時的に回復した後再度発生した不具合は、不具合の状況が同一であることから、同一の現象によるものと推定される。

ii) 地上における再現実験による検討

上述の不具合は、出力回路系がショート状態となったときに発生するものと考えられることから、以下のとおり再現実験を行った。

再現実験の構成は図12に示すとおりである。図の回路において、マイナーフレームカウンタ上位2ビットの出力回路系をショート状態に徐々に近づけたところ、抵抗値が1~1.2 k Ω 以下のときに今回の不具合と同様の現象が発生することが確認された。

このことから、BS-2bのB系テレメトリ・エンコーダに発生した不具合については、テレメトリ・エンコーダ内のマイナーフレームカウンタ上位2ビットの出力回路系がショート状態に至った結果、発生したものと推定される。

また、実験の結果、抵抗値を0 Ω としたときの電流値等は表4に示すとおりであり、このときのICの出力部の消費電力は、図13に示すとおり最大4 mW程度である。これに対し、最大定格電力は周囲温度が-55~+125 $^{\circ}\text{C}$ において100 mWであることから、十分な余裕が認められ、消費電力によるストレスについては問題はないものと考えられる。なお、再現実験に使用したテレメトリ・エンコーダは、実験用中型放送衛星(BS)のPFM用に製作され、その後、BS-2のテレメトリシステムの機能試験用シミュレータ内蔵エンコーダの予備として用意されていたもの(以下「予備エンコーダ」という。)であり、BS-2のエンコーダと設計は同一である。

3. 調査分析及び不具合原因の推定

推定された不具合部位における故障要因として考えられる全ての項目を分類整理したもの(故障要因分析(FTA))を図14及び表5に示す。このうち、回路がオープンとなる故障要因については、その故障要因では不具合の現象が説明できないため、可能性は考えられない。それ以外の故障要因に

関し、図14に基づき、不具合部位の部品及び実装状態等について詳細に調査、検討した結果を以下に示す。

(1) 基板

基板のプリント配線のうち、推定された不具合部位の範囲内にあるのは、図15に示すとおりである。予備エンコードに関する顕微鏡（40倍）及びX線撮影による詳細な調査の結果、目視不可能なIC下部及び基板とエッジコネクタ間以外の部分については、配線間隔、異物等に関し、問題点では認められなかった。なお、基板の材質はガラスエポキシ樹脂である。

(2) IC

(i) リード部（リード及びメタライズ部）
例えばICのリード部近傍に導電性物質があった場合、例えばマイグレーション（17ページ脚注参照）が発生しショート状態に至る可能性が考えられることから、国内に保有している予備エンコードのIC（1974～1975年製造）について、メタライズ部（リード取付部）の顕微鏡（40倍）による検査を行った。この結果、ICのメタライズ部近傍に微小な異物が発見された。

このうちの1例は図16に示すとおりである。ICの13、14ピン間が異物によりショート状態となっており、X線マイクロアナライザ分析の結果、この異物はタングステンと認められた。（但し、このICでは、13ピンが空ピンのため、動作は正常である。）他の例としては、メタライズ部と金属リッド間又は隣接するメタライズ部間に異物が点状に連なっているものがあり、成分を分析したところ、タングステンが認められた。

次に、国内に保有している1979年製造のICについて調査したところ、異物の付着しているものが発見され、成分を分析したところ、銀

銅ろう付け材である銀及び銅、リード線材である鉄、ニッケル及びコパルド、メタライズ部のメッキ材であるニッケル及びリン並びに半田の錫及び鉛等が検出された。

また、米国において調査した結果、ICのメタライズ部近傍に導電性物質の発見された例のあることが明らかとなった。これらの状況から、

BS-2のテレメトリ・エンコードに使用されたIC（1980～1982年製造）にも導電性物質の付着しているものが含まれている可能性は高いと考えられる。

なお、BS-2を製造した米国メーカはこれまで1万個以上のICを使用しているが、ICのリード部の異物が原因で不具合の発生した例は報告されていない。

(ii) 内部ショート
内部ショートについては、構造上の理由及び前述の自然回復の状況等

から、可能性は極めて低いと考えられる。

(3) 絶縁シート

ICと基板の固定及び絶縁のため、絶縁シートが使用されている。ICの取付方法としては、金属リッドが基板に対して反対側に向けられている通常の方法のものと、通常とは異なり金属リッドが基板側に向けられているものがあり、予備エンコードに使用されているICについては、それぞれ、図17及び図18に示すとおりである。図に示すとおり、ICにより絶縁シートが圧迫され、樹脂が周辺に押し出されて盛り上がっているのが

認められた。IC1は、図15に示すように、基板の裏側に貼付されている。

絶縁シートは、ガラス繊維に樹脂を浸み込ませたものであり、材質については特に問題は認められなかった。この絶縁シートは、使用前は粘着性の保持のため両面がテープで保護され、また、樹脂が常温硬化型のため

-40℃で保管されている。接着の際は、まず基板に絶縁シートを貼り、次にICを絶縁シートに載せICの4隅のリードを基板に半田付けし、全てのICをこの状態にしたところで、硬化が74℃において3時間行われた。0.1mmの溝が、ICのリードの間に形成されている。

また、エッジコネクタの固定用に接着剤が使用されている。接着剤は、

(4) エッジコネクタ 図15に示すとおり、A1基板においてエッジコネクタの3、4、3ピン

間が隣接している。この部分は目視調査ができない構造のため、予備エンコーダを用いてX線撮影等の詳細調査を行った。この部分の状況は図19に示すとおりである。半田付けの際に使用されるフラックスは、残留すると腐食によるショート等の発生の原因となるため、フラックスの洗浄用に、3、4、3ピン間の部分に深さ0.25mmの溝が凹状に切られている。

予備エンコーダによる調査の結果、エッジコネクタ取付部のプリント配線は適正に製作されていること、半田付けは適正であること、残留フラックスは存在しないことが判明したが、図19(c)に示すとおりフラックス洗浄用の溝と基板の間隔が狭いことから、BS-2bのエンコーダについてはフラックスの洗浄が不十分であった可能性は残されている。

また、マザーボードの裏側の配線に鋭い曲がりがある場合、被覆が破れ芯線が

(5) マザーボード 図15に示すとおり、A1基板においてエッジコネクタの3、4、3ピン

マザーボードの裏側の配線に鋭い曲がりがある場合、被覆が破れ芯線が露出し、隣接するピンに接触し、ショートする可能性が考えられる。しか

しながら、配線処理後に目視検査が行われていることから、この可能性は低いと考えられる。また、ソケットのピン間のショートについても、目視

検査が行われており可能性は低いと考えられる。

また、エッジコネクタの固定用に接着剤が使用されている。接着剤は、

(6) コーティング材等 図15に示すとおり、A1基板においてエッジコネクタの3、4、3ピン

コーティングはスプレー式で行われ、硬化は1時間室温で放置された後、65℃で2時間行われた。硬化後は175℃まで安定であり、問題となる点は認められなかった。

また、エッジコネクタの固定用に接着剤が使用されている。接着剤は、-40℃で保管されており、硬化は65℃において2時間行われた。硬化後は175℃まで安定である。接着剤は、プリント配線に接触しているが、配線の間隔が十分あることから不具合の発生は考え難い。

また、エッジコネクタの固定用に接着剤が使用されている。接着剤は、

(7) IC下部のプリント配線 図15に示すとおり、A1基板においてエッジコネクタの3、4、3ピン

図15のとおり、IC13は金属リッドが基板側となるように取り付けられており、金属リッドの下を通っているプリント配線との絶縁のため、絶縁シートが使用されている。絶縁シートの貼付状況は、図18に示すとおりである。

この部分でショートが発生する可能性としては、金属リッドと各配線間のショート及び配線間のショートがあるが、前者についてはガラス繊維があること、また、後者については配線間隔が十分あることから、ショートの発生は考え難い。したがって、IC13下部のプリント配線に不具合の発生した可能性は考え難い。

また、エッジコネクタの固定用に接着剤が使用されている。接着剤は、

また、エッジコネクタの固定用に接着剤が使用されている。接着剤は、

(8) ICのリード部及び絶縁シート

i) IC5

IC5は、図17のとおり、金属リードが基板に対して反対側に向けられて取り付けられている。ICと絶縁シートの接着状況は、同図(b)のとおりであり、絶縁シートがICにより圧迫を受けて樹脂が盛り上がりリード部まで達している。

この絶縁シートは、前述のとおり接着前は -40°C で保存されており、IC取付作業が短時間で行われたため低温の絶縁シートに空気中の水分が結露し、これがICのメタライズ部近傍にトラップされた可能性がある。ICの表面はセラミックのため凸凹しており、この部分に水分の結露した樹脂が接触した場合、この上からさらにIC全体がコーティングされるため、真空中においてもトラップされた水分が蒸発しにくい。また、絶縁シートそのものに混合不良等によって電解質が含まれていたことも考えられる。

ICのメタライズ部は 0.3 mm の間隔が確保されているため上記の条件のみでは不具合の発生は考え難いが、これに加えてメタライズ部近傍に導電性物質が付着していれば実質的な間隔が狭まり、ここに電圧が印加されれば、例えばマイグレーションが発生し得ると考えられる。

ii) IC13

図18のとおり、IC13は金属リードが基板側に向けて取り付けられている。この取付方法の場合、ICのリード部は同図(b)にあるとおり直接コーティングされることとなるが、仮にコーティングによって水分がトラップされてもコーティング材のみでは水分は真空中では早期に蒸発するため、メタライズ部に導電性物質が付着していたとしても、

マイグレーションの発生は考え難い。

しかしながら、図18のとおりICの圧迫によって樹脂が押し出されメタライズ部に接触又は極めて近接し、そこに水分がトラップされ、さらにメタライズ部間に導電性物質が付着していたこと等が重なり、例えばマイグレーションが発生した可能性は考えられる。

以上のとおり、ショート状態の発生する故障要因について、基板、IC、絶縁シート、エッジコネクタ、マザーボード及びコーティング材等の調査分析を実施した結果、単体としては特に問題となる点は認められなかった。しかしながら、実装状態を含めさらに検討した結果、IC5及びIC13において、絶縁シートの樹脂及びコーティング材がICのリード取付部を覆い、蒸発しにくい部分に水分の残留した可能性のあることが認められた。

ICのリード取付部近傍には、まれに微小な導電性物質の付着しているものがあり、これ自体が不具合の原因となった報告例はないが、これにリード部間の電位差及び残留した水分等が複合的に作用した場合、マイグレーションが発生することが考えられる。このことから、本件不具合については、このような複合的な要因によってICのリード部間がショート状態となるに至ったことが可能性として高いと考えられる。

また、エッジコネクタについては、フラックス洗浄度等の試験結果によれば不具合に結びつく点は見出せなかったが、フラックス洗浄用の溝が狭いことから、残留フラックスによる不具合も、可能性は否定できない。

なお、不具合が一時的に自然回復した現象については、原因の特定は極めて困難であるが、不具合の原因がマイグレーションである場合には、ショート状態となっている不具合箇所の抵抗値がマイグレーションの進行等により微妙に変化したことが可能性として考えられる。

4. 今後の課題

BS-2b テレメトリ・エンコーダの不具合の原因としては、①トラップされていた水分及びICのリード取付部近傍の導電性物質等による複合的な要因が可能性として高いと考えられる。この場合、特に水分の寄与が問題になるものと考えられる。なお、②エッジコネクタ取付部の残留フラックスについても可能性は否定できない。

放送衛星3号(BS-3)をはじめとする他の実用衛星においては、①については、ICの固定には低温保管の絶縁シート等の材料は使用しておらず、ポリウレタン材を用いた一般的な作業工程によるフォーミングを行っていること、②については、コネクタは、同様なエッジコネクタではなく取付け後に十分な洗浄、目視検査のできる構造のものを使用していることから、同様の不具合の発生する可能性はないものと考えられる。

なお、宇宙用電子機器については、小型化、高密度化が図られる傾向にあることから、マイグレーション等の不具合の要因につながるおそれのある技術の採用については十分な注意が必要とされる。今後このような要因に関する研究が実施されることが望ましい。

Ⅲ. 総合意見

宇宙開発事業団が実施したH-Iロケット(3段式)2号機による通信衛星3号-b(CS-3b)の打上げについては、H-Iロケットによる静止衛星軌道への投入に成功し、搭載機器も正常に動作していることから所期の目的を達成したものと考えられる。

放送衛星2号-b(BS-2b)のB系テレメトリ・エンコーダに発生した不具合については、不具合の状況及び地上における再現実験等から、テレメトリ・エンコーダ内の回路の一部がショート状態に至った結果、発生したものと推定される。

このようなショート状態の発生する故障要因について、基板、IC、絶縁シート、エッジコネクタ、マザーボード及びコーティング材等の調査分析を実施した結果、単体としては特に問題となる点は認められなかった。しかしながら、実装状態を含めさらに検討した結果、絶縁シートの樹脂及びコーティング材がICのリード取付部を覆い、蒸発しにくい部分に水分の残留した可能性のあることが認められた。

ICのリード取付部近傍には、まれに微小な導電性物質の付着しているものがあり、これ自体が不具合の原因となった報告例はないが、これにリード部間の電位差及び残留した水分等が複合的に作用した場合、マイグレーション(脚注参照)が発生することが考えられる。このことから、本件不具合については、このような複合的な要因によってICのリード部間がショート状態となるに至

(注) マイグレーション：一種の電解作用と考えられ、電圧の印加された電極間に電解液が存在した場合、電極の金属が溶出し、電極に析出する現象をいう。

ったことが可能性として高いと考えられる。

このほか、エッジコネクタについても、フラックス洗浄用の溝が狭いことから、残留フラックスによる不具合も、可能性は否定できない。

放送衛星3号(BS-3)をはじめとする他の実用衛星においては、BS-2で用いられたような絶縁シートは使用しておらず、また、コネクタは、同様なエッジコネクタではなく取付け後に十分な洗浄、目視検査のできる構造のものを使用していることから、同様の不具合の発生する可能性はないものと考えられる。

なお、宇宙用電子機器については、小型化、高密度化が図られる傾向にあることから、マイグレーション等の不具合の要因につながるおそれのある技術の採用については十分な注意が必要とされる。今後このような要因に関する研究が実施されることが望ましい。

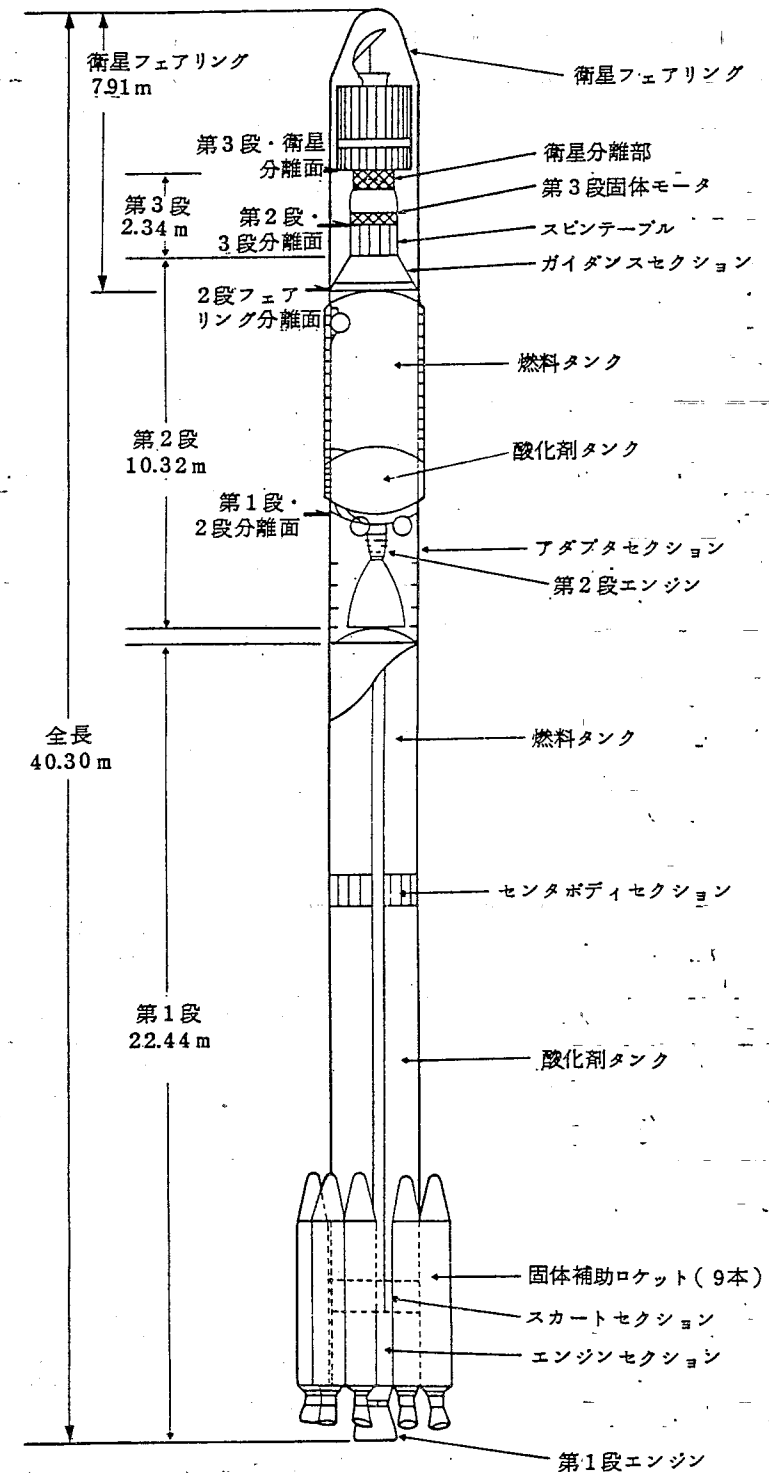


図1 H-Iロケット(3段階)2号機の形状

表1 H-I ロケット (3 段式) 2 号機の主要諸元

	全 段
名 称	H-I ロケット 4 号機 F (H19F)
全 長 (m)	40.30
外 径 (m)	2.49
全 備 重 量 (t)	139.3 (人工衛星の重量は含まず)
誘 導 方 式	慣 性 誘 導 方 式

		各 段				
		第 1 段	固体補助ロケット	第 2 段	第 3 段	衛星フェアリング
全 長 (m)		22.44	7.25	10.32	2.34	7.91
外 径 (m)		2.44	0.79	2.49	1.34	2.44
各 段 重 量 (t)		85.7 ㊦1	40.3 (9 本分)	10.7	2.1	0.6
推 薬 重 量 (t)		81.3	33.7 (9 本分)	8.8	1.8	
平 均 推 力 (t)		メインエンジン 76.5 ㊦2 バーニアエンジン 0.9 ㊦2.5	135.0 (6 本分) ㊦2 ㊦4	10.8 ㊦3	8.6 ㊦3	
燃 焼 時 間 (s)		メインエンジン 266 バーニアエンジン 272	40	358	62	
推 進 薬 種 類		液化酸素/RJ-1	硝酸アンhydride 系 コンボジット 固体推進薬	液化酸素/液化水素 コンボジット 固体推進薬	硝酸アンhydride 系 コンボジット 固体推進薬	
推 進 薬 供 給 方 式		ターボポンプ	—	ターボポンプ	—	
比 推 力 (s)		メインエンジン 253 ㊦2 バーニアエンジン 209 ㊦2	235 ㊦2	452 ㊦3	291 ㊦3	
姿 勢 制 御	ピッチ・ヨー	ジンバル	—	(推進飛行中) ジンバル (慣性飛行中) ガスジェット	—	
	ロール	バーニアエンジン	—	ガスジェット	—	
搭 載 電 子 装 置		1) テレビカメラ送信器 290 MHz 帯 PCM-PM 2) 指令破壊受信機 2.6 GHz 帯 トーン変調	—	1) レーダ送信器 5 GHz 帯 2 台 2) テレビカメラ送信器 2.2 GHz 帯 PCM-PM 3) 指令破壊受信器 2.6 GHz 帯 2 台 トーン変調	1) テレビカメラ送信器 290 MHz 帯 PAM-FM-PM	

㊦1: アダプタセクションを含む。 ㊦2: 海面上。 ㊦3: 真空中。
 ㊦4: リフトオフ時は6本のみ点火し、6本の燃焼終了後残りの3本に点火する。
 ㊦5: 再着火燃焼を含む。

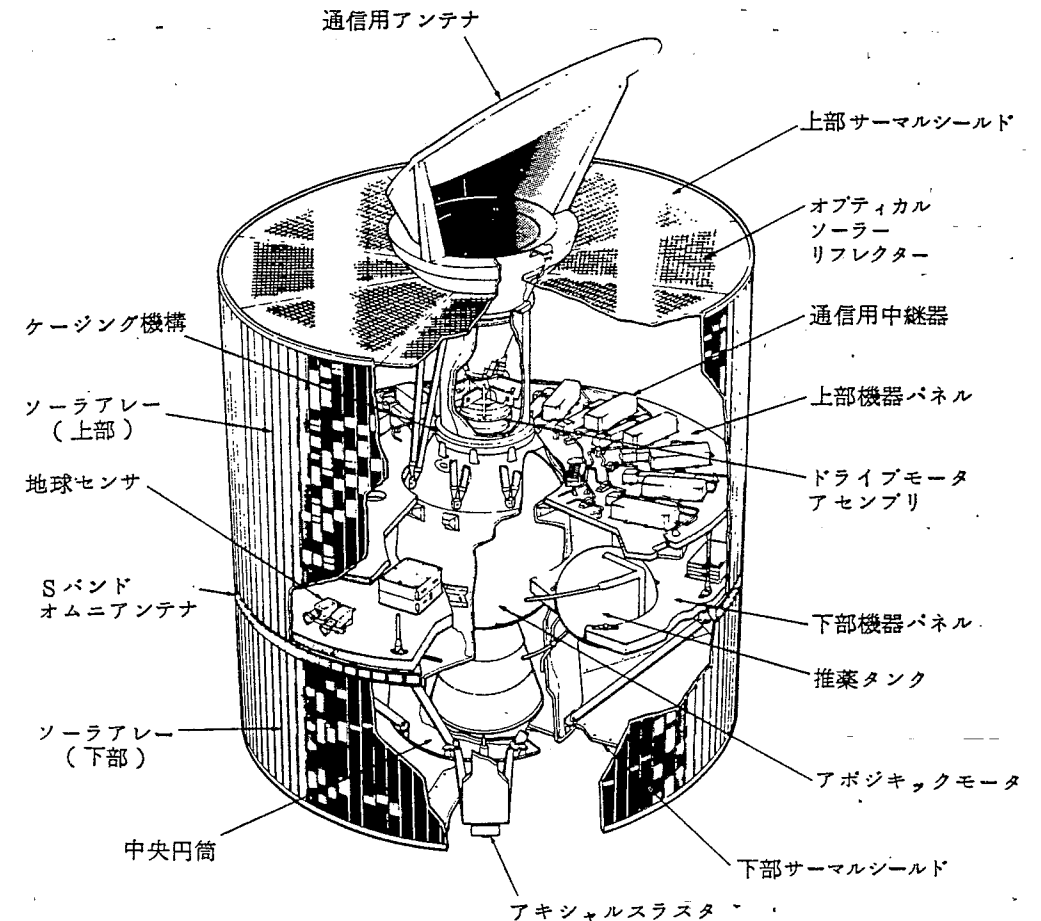


図2 通信衛星3号-b (CS-3b) の形状

表2 通信衛星3号-b (CS-3b) の主要諸元 (1/2)

項 目	機 能	性 能
形 状	・H-I ロケットのフェアリングに適合	・直径約 218cm, 高さ約 243cmの円筒形通信用の機械的デスパンアンテナを含む高さは約 356cm
重 量	・H-I ロケットの打上げ能力	・打上げ時 1,099kg
姿 勢 安 定	・スピン安定方式	・スピン率90±9 rpm(打上げ時) ・慣性モーメント比1.05以上
通 信 系	・多周波数共用フィード方式 デスパンアンテナ ・Kバンド10チャンネル ・Cバンド2チャンネル ・Kバンドビーコン ・Kバンド上り/下り回線周波数 ・Cバンド上り/下り回線周波数	雑音指数 出力 帯域 (dB) (dBm) (MHz) ・Kバンド 9.0以下 36.2以上 100 ・Cバンド 4.2以下 36.0以上 180 ・19.45GHz ・30/20GHz帯 ・6/4 GHz ・アンテナ利得 Kバンド33dB以上 (但し沖縄は27dB以上) Cバンド25dB以上
テレメトリ コマンド系 (TT&C)	・Deep Space Network(DSN) に適合するSバンド送受信機及びSバンドオムニアンテナ ・Cバンド信号をSバンド信号に変換 (コマンド及び測距) ・Sバンド信号をCバンド信号に変換 (テレメトリ及び測距) ・測距方式 ・テレメトリデータ ・コマンドデータ	・送信出力 1~3 W ・受信周波数 2096.73MHz ・送信周波数 2276.99MHz ・受信周波数 6.175GHz ・送信周波数 3.950GHz ・トーンレンジング方式 ・64ワード/マイナフレーム ・125ビット/秒

表2 通信衛星3号-b (CS-3b) の主要諸元 (2/2)

項 目	機 能	性 能
電 源 系 (EPS)	・上下2分割された円筒形ソーラアレー ・独立したバッテリー充電制御アレー ・NiCdバッテリー2個 ・シャントセットにより安定化された主 バス電圧	秋 分 夏 至 寿命初期 835W(943W) 756W(855W) 7 年 後 833W 750W 放電深度 55%以下 バス電圧 29.4±0.2V_{DC} * 太陽電池を一部切り離した状態
姿 勢 及 び アンテナ制御系 (AACS)	・地球幅, スピン率及び太陽角による姿勢決定情報。2 台の地球センサ及び太陽センサ使用 ・ワブルコレクタによる慣性主軸調整 ・ドライブモータ及び制御エレクトロニクスによるアンテナ指向主軸の制御 ・受動形ニューテーションダンパ	太陽角 ±87° 地球副測定精度 ±0.26° (静止軌道) 調整範囲 0.12° (OBM 2 個使用) アンテナバイアス ±4° (東西方向) ステップ角度 ±0.03° 減衰時定数 15分以下
二 次 推 進 系 (RCS)	・ヒドラジンモノプロペラント方式 ・姿勢制御及びステーションキーピング 用スラスタ (公称推力20ニュートン)	推進タンク容量 118.5kg 90msec パルスモード又は連続モード 噴射 (30s)
アポジモータ (AKM)	・STAR-30B 固体燃料モータ	全推力 約1,449,626N・S (最大能力)
構 体 (STR)	・上下2枚の機器プラットフォーム ・モノコックシェル構造 ・DMAにケーシング機構採用	
熱 制 御 系 (TCS)	・受動形, 一部ヒータ使用	
ア ン テ ナ 指 向 精 度		0.2° (3σ) (半頂角) 以内
軌 道 保 持		緯度方向 ±0.05° 以内 経度方向 ±0.05° 以内
寿 命		7 年以上

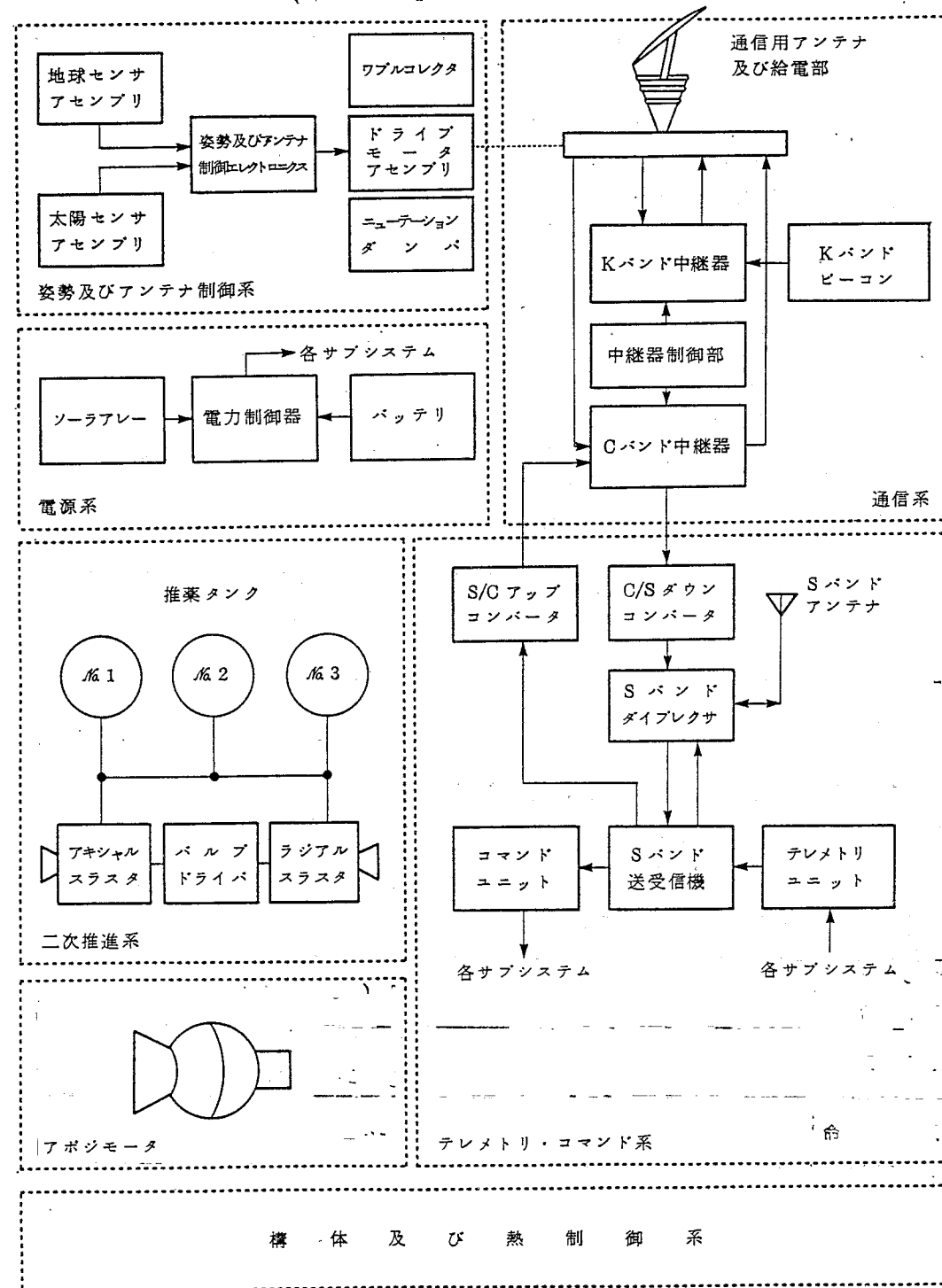


図3 通信衛星3号-b (CS-3b) のシステム構成

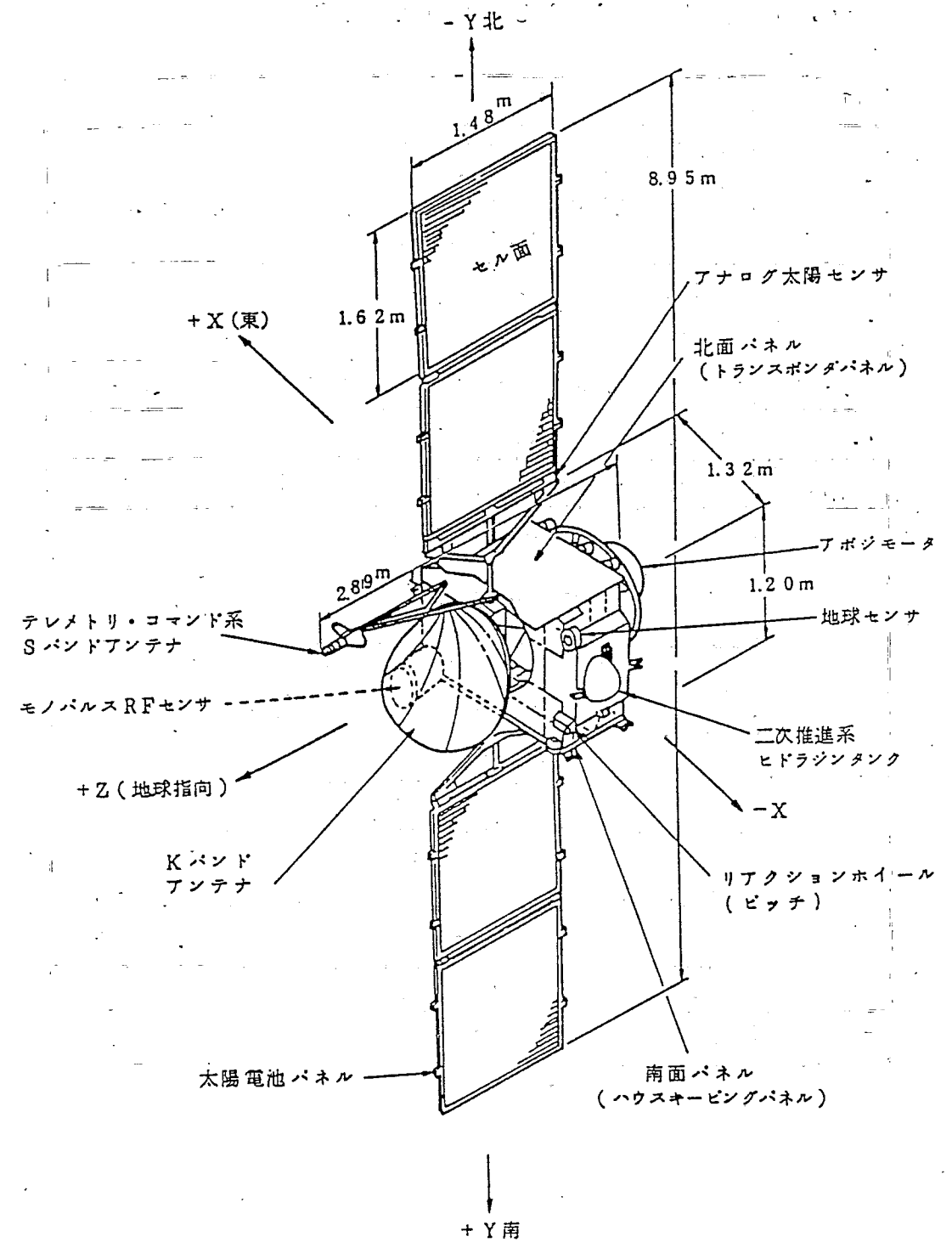


図4 放送衛星2号-b (BS-2b) の形状

表3 放送衛星2号-b (BS-2b) の主要諸元

項 目	諸 元	
形 状	展開型太陽電池パドルを有する箱型 (1) 箱型本体部 $1.2\text{ m} \times 1.32\text{ m} \times 0.77\text{ m}$ (2) アンテナ・ヒドラジンタンク・アポジモータを含む寸法 $1.55\text{ m} \times 2.17\text{ m} \times 2.89\text{ m}$ (3) 太陽電池パネル展開長 8.95 m	
重 量	打 上 げ 時 約689 kg 静止衛星軌道初期 約350 kg	
姿勢安定法	ゼロモーメント三軸制御方式(トランスファ軌道ではスピン安定方式)	
軌 道	静止衛星軌道, 静止位置 東経約110度	
放送チャンネル数	カラーテレビジョン 2チャンネル(同時運用)	
搭載機器	通 信 系	放送用Kバンドアンテナ 放送用中継器(受信機1系統及び予備1系統) 送信機2系統及び予備1系統
	テレメータ・コマンド系	Sバンド送受信機, Sバンドアンテナ コマンド・ユニット, テレメータ・ユニット K/Sコンバータ
	電 源 系	太陽電池パネル, バッテリ, 電力制御器
	姿勢制御系	姿勢センサー(地球センサー, ミノバルスRFセンサー, アナログ太陽センサー, ユーレートジャイロ, 地平線検出器, デジタル太陽センサー), リアクションホイール, 姿勢制御電子装置
	推 進 系	アポジモータ, 二次推進系
	寿 命	4年以上5年目標(5年後の残存確率0.7以上)

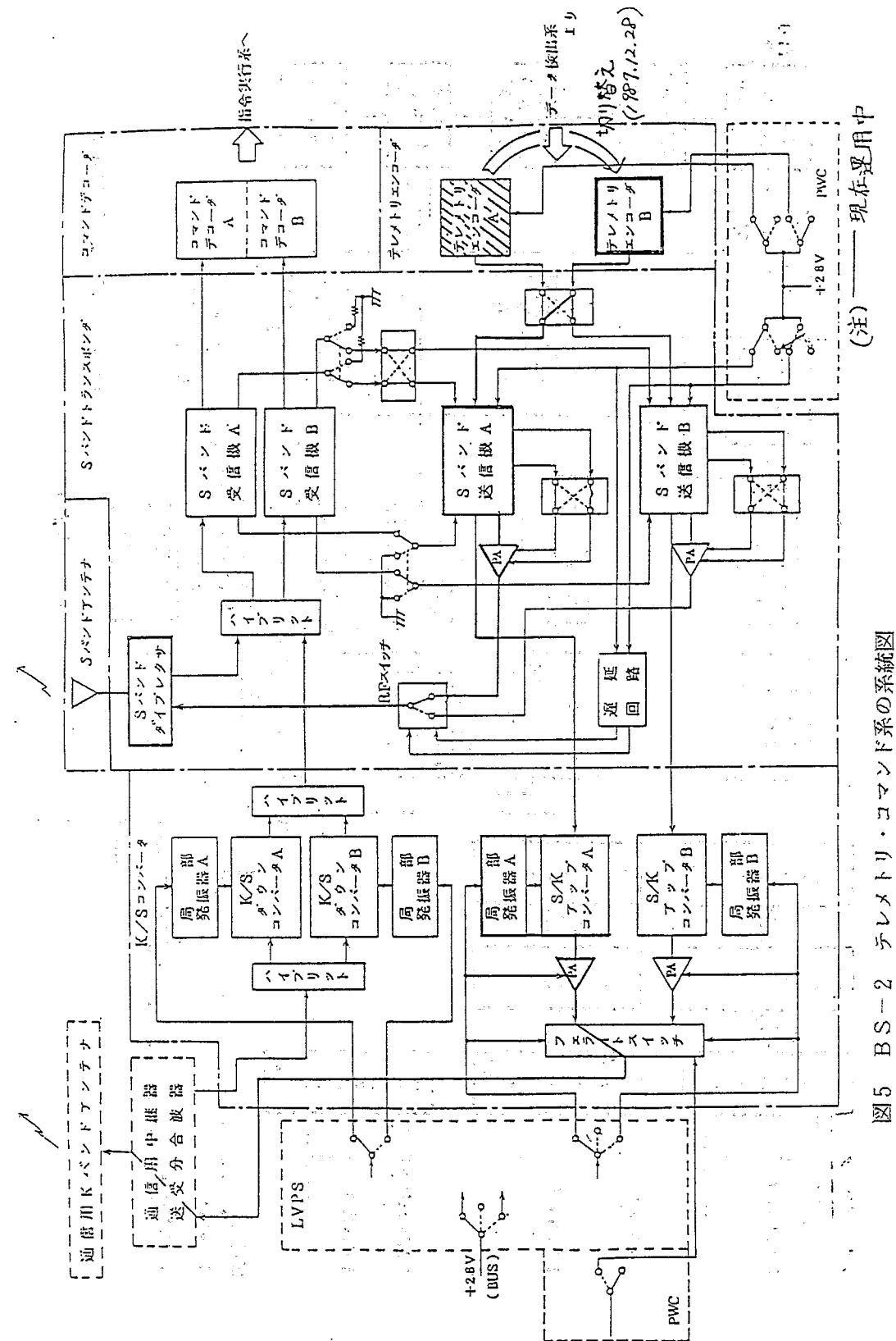
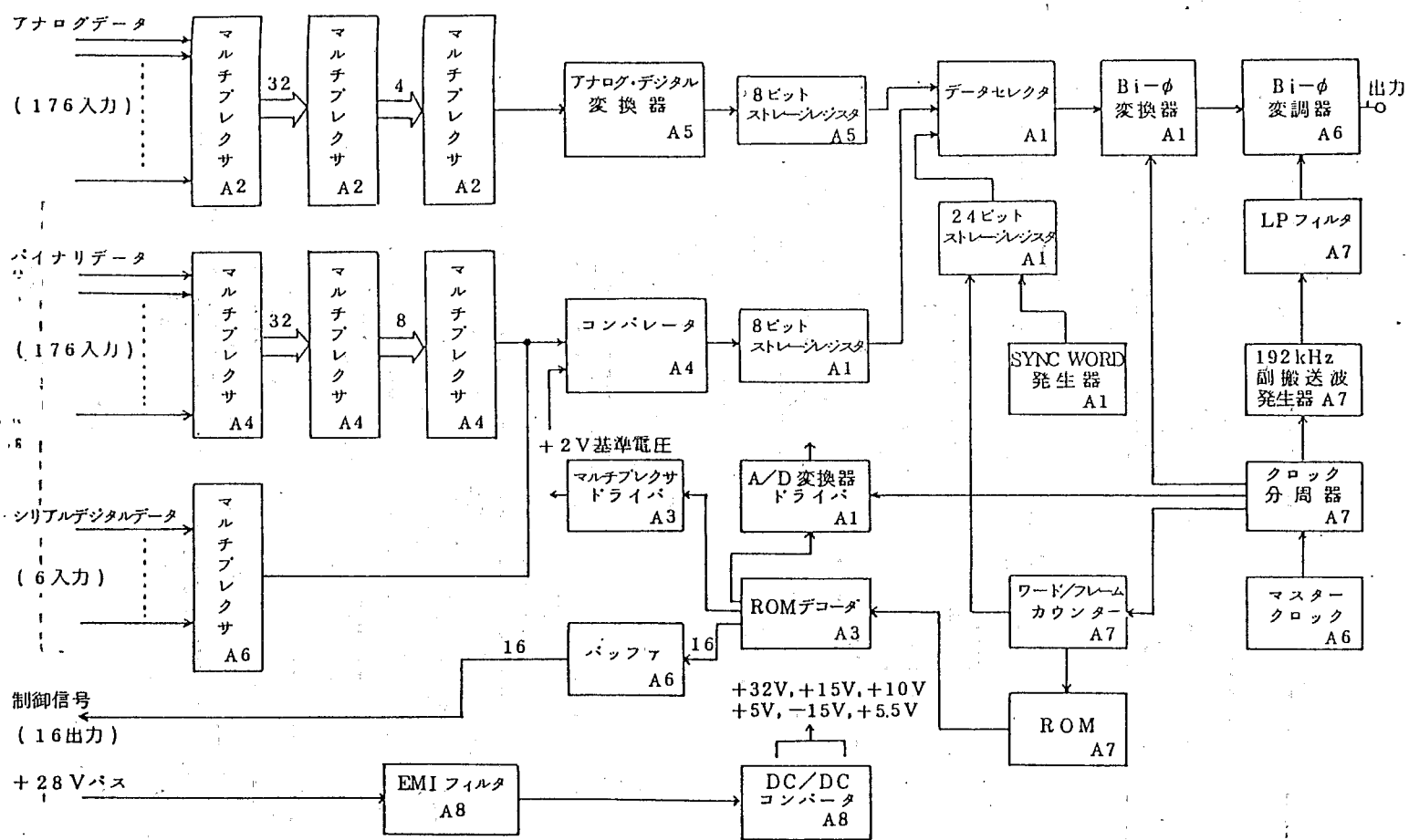


図5 BS-2 テレメトリ・コマンド系の系統図



注 A1～A7は基板番号を示す。

図6 テレメトリ・エンコーダの構成

		ワード番号 (カラム)										
		W ₀	W ₁	W ₂	W ₃	W ₃₀	W ₃₁	W ₃₂	W ₃₃	W ₃₄	W ₃₅	W ₃₆
マイナーフレーム番号 MIF	0	フレーム同期 パターン	MAF MIF ID ID	テレメトリ 情報	テレメトリ 情報	テレメトリ 情報	テレメトリ 情報	テレメトリ 情報	テレメトリ 情報	テレメトリ 情報	テレメトリ 情報	テレメトリ 情報
	1	"										
	2	"										
	13	"										
	14	"										
	15	"										

W₂₄ビット5～8;衛星識別

1 0 0 1 PFM (2a)
5 6 7 8
0 1 1 0 FM (2b)

メジャーフレーム 識別	マイナーフレーム 識別
1 2 3 4	5 6 7 8

マイナーフレーム識別: 00～15 (毎秒/更新)
メジャーフレーム識別: 00～15 (16秒/更新)

1メジャーフレーム	: 16マイナーフレーム×64ワード=1024ワード				
1マイナーフレーム	: 64ワード				
1ワード	: 8ビット				
更新時間	: メジャーフレーム (16秒毎) マイナーフレーム (1秒毎)				
ビットレート	: 512 BPS				
データフォーマット	: スプリットフェーズ (Bi-φ-L) PCM				
副搬送波	: 192 KHz, PSK変調				
フレーム同期パターン	: <table><tr><td>W₀</td><td>W₁</td></tr><tr><td>1 1 1 0 1 0 1 1</td><td>1 0 0 1 0 0 0 0</td></tr></table>	W ₀	W ₁	1 1 1 0 1 0 1 1	1 0 0 1 0 0 0 0
W ₀	W ₁				
1 1 1 0 1 0 1 1	1 0 0 1 0 0 0 0				

<参考>

テレメトリデータ項目数

- ・パイルベル 171
- ・アナログ 151
- ・シリアル 55
- (計) (377)

図7 テレメトリ・フォーマット

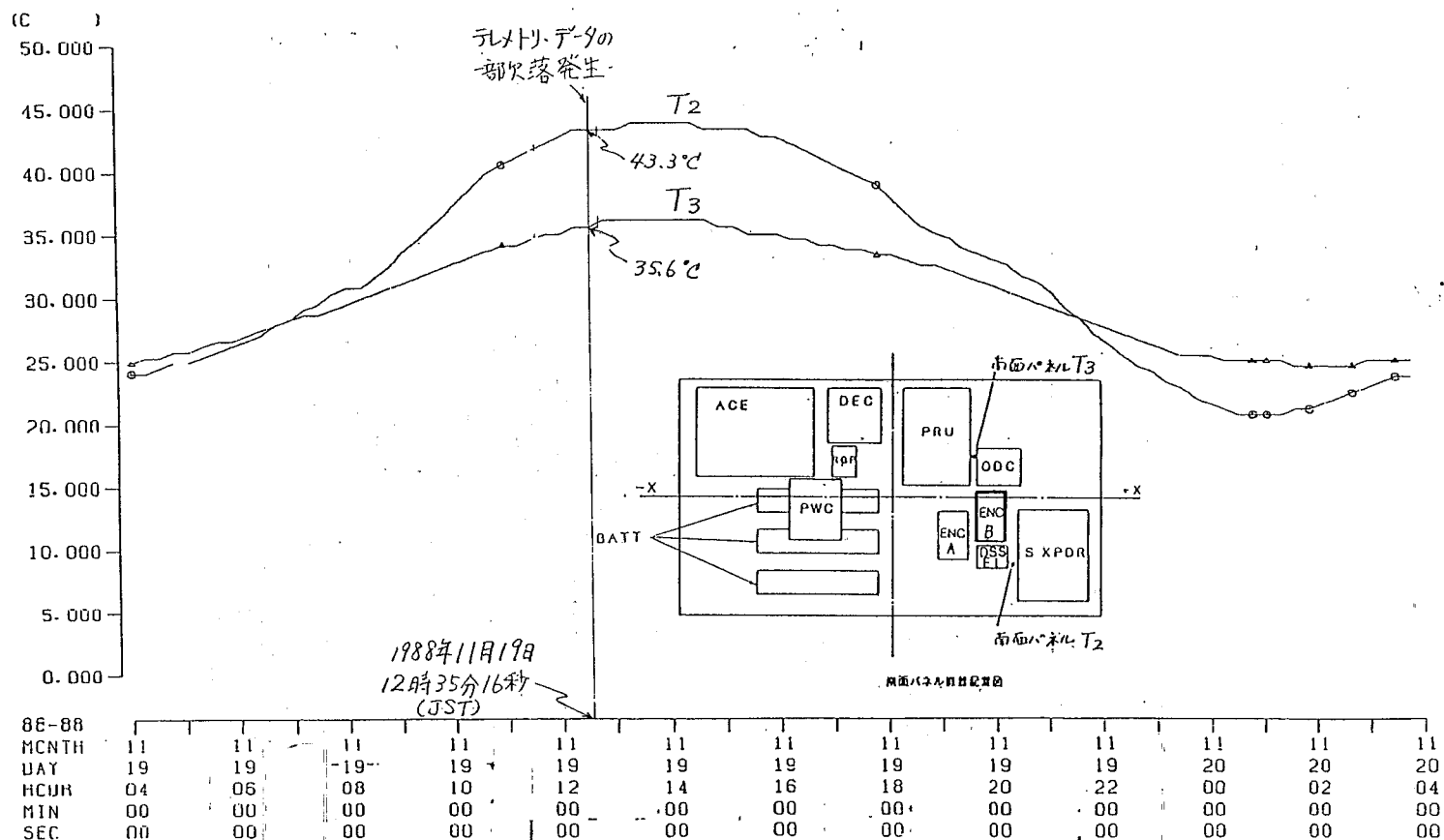


図8 南面パネルの温度データ (BS-2b)

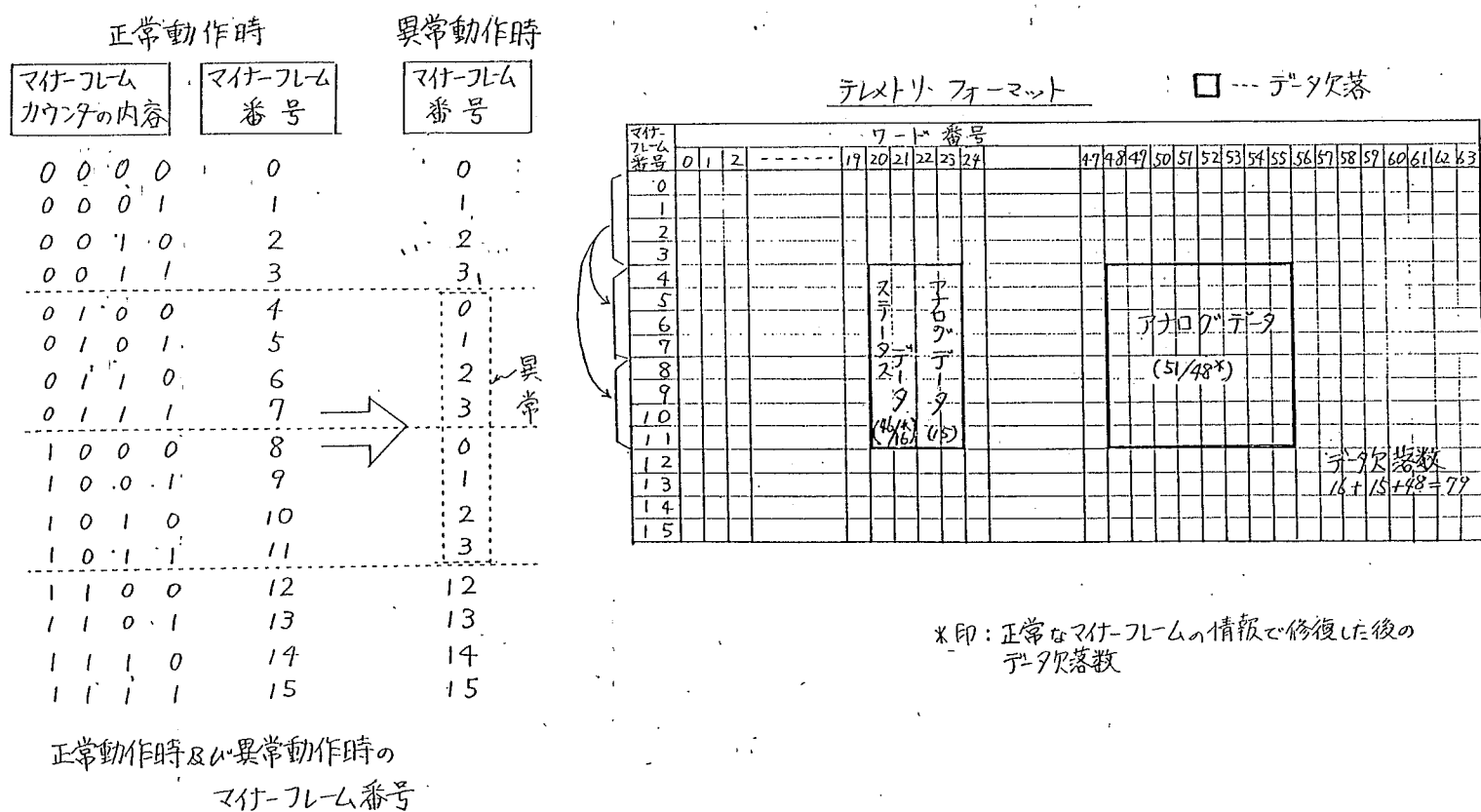


図9 異常時のマイナーフレーム番号とデータ取得不能領域

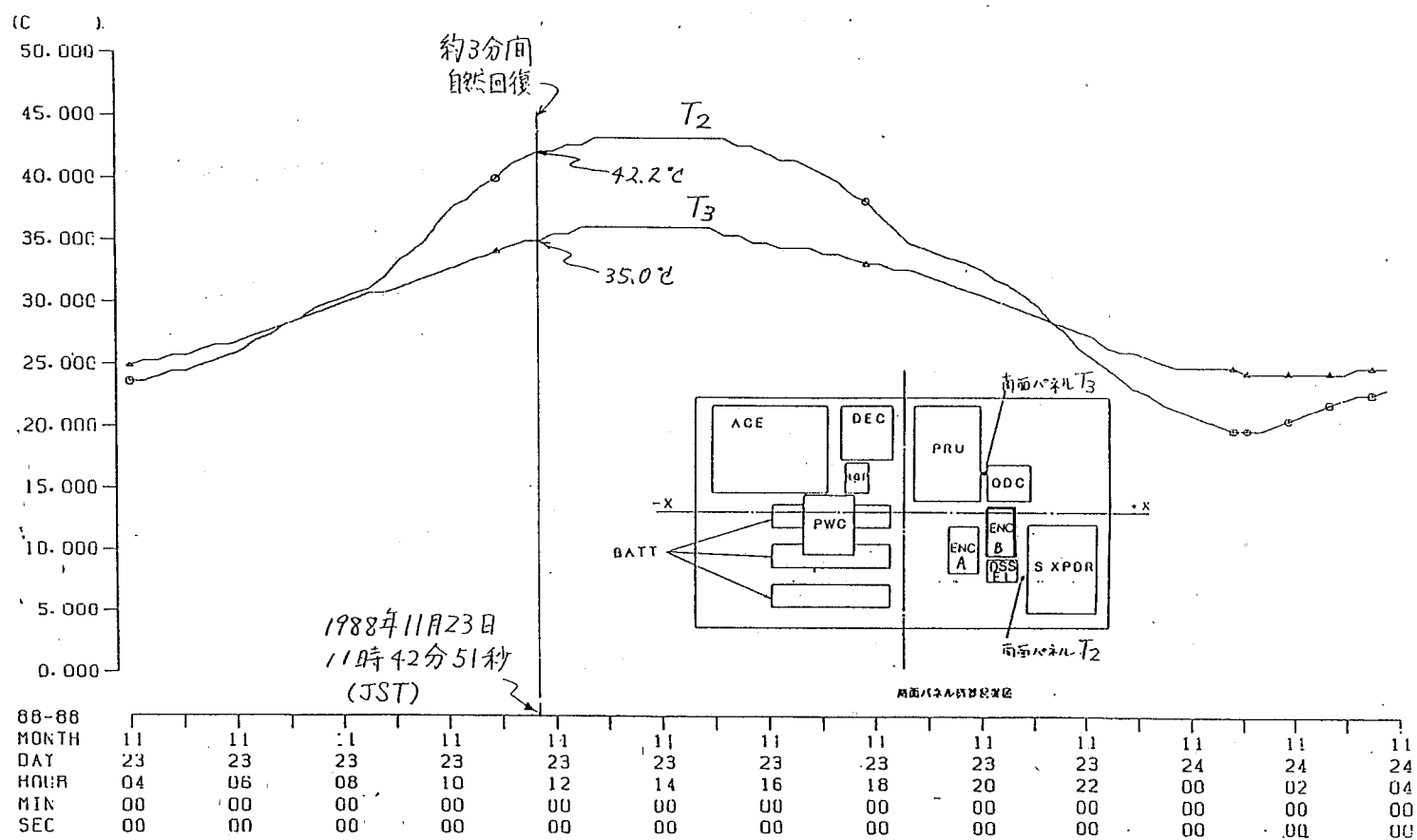


図10 後面パネルの温度データ (BS-2b)

正常動作時					異常動作時				
マイナーフレーム番号	2進値				マイナーフレーム番号	2進値			
	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰		2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
2	0	0	1	0	2	0	0	1	0
3	0	0	1	1	3	0	0	1	1
4	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	1	1	0	0	0	1
6	0	1	1	0	2	0	0	1	0
7	0	1	1	1	3	0	0	1	1
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	1	1	0	0	0	1
10	1	0	1	0	2	0	0	1	0
11	1	0	1	1	3	0	0	1	1
12	1	1	0	0	12	1	1	0	0
13	1	1	0	1	13	1	1	0	1
14	1	1	1	0	14	1	1	1	0
15	1	1	1	1	15	1	1	1	1

図11 正常動作時と異常動作時のマイナーフレーム番号

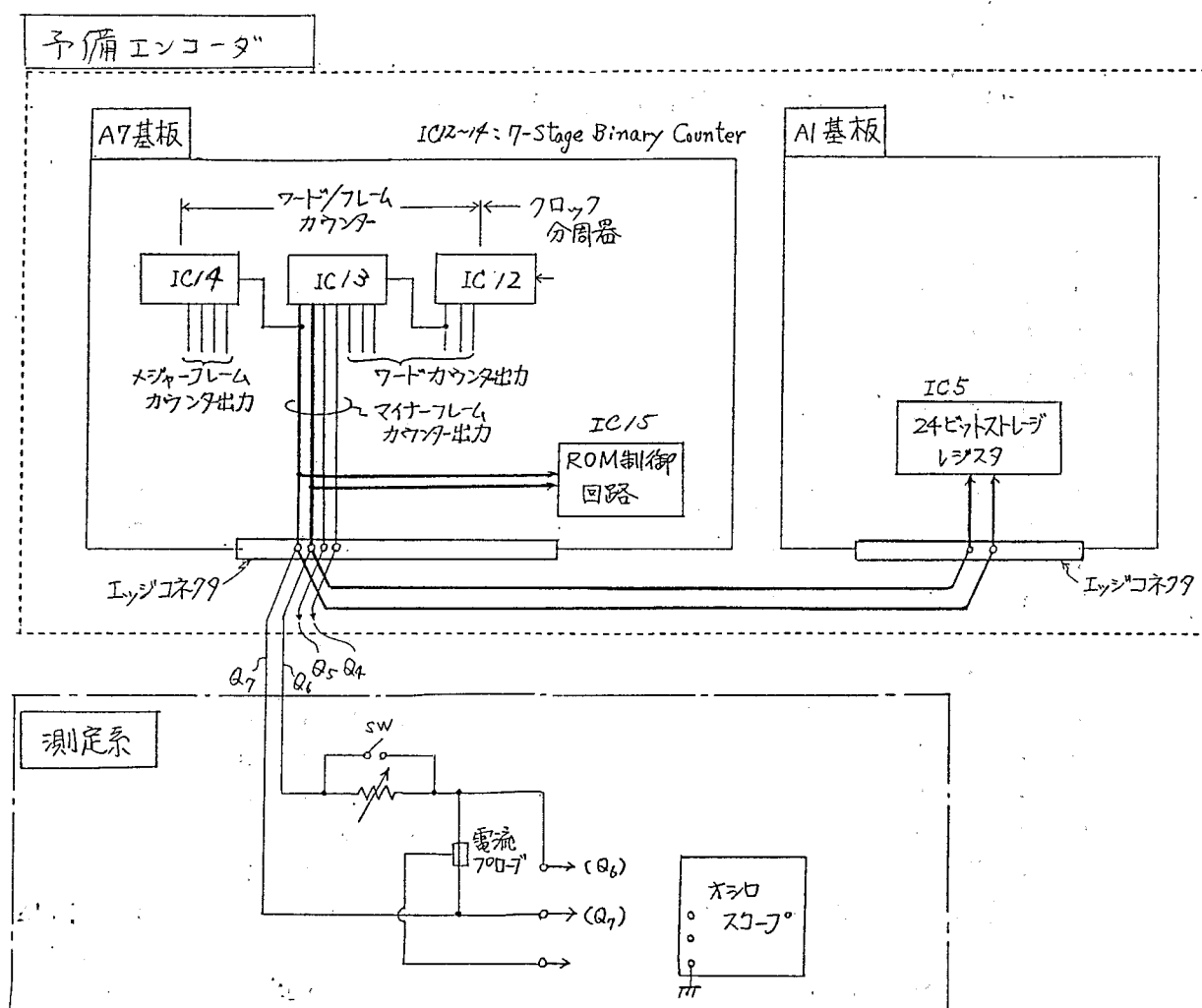
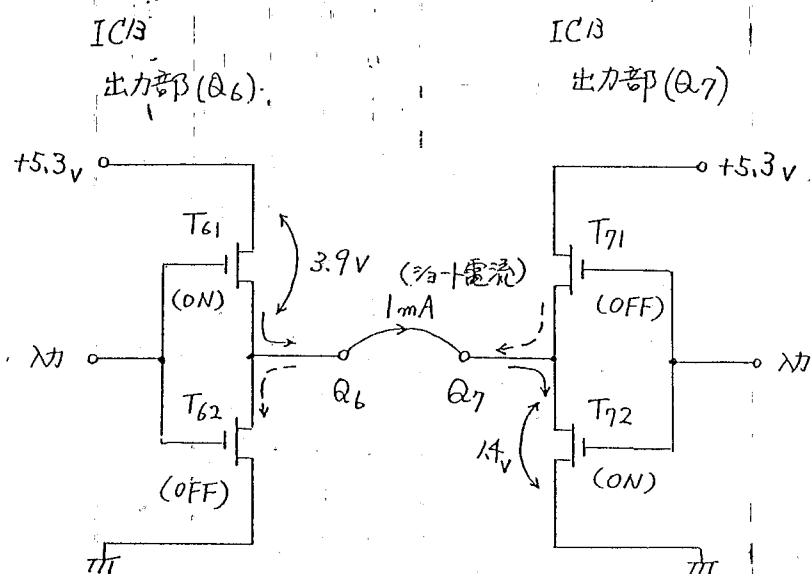


図12 予備エンコーダを用いた実験構成図

表4 測定結果

マイナーフレーム番号	マイナーフレーム カウンタ出力 Q_7 Q_6 Q_5 Q_4	Q_6, Q_7 の 電圧 (対アース)	Q_6, Q_7 間 の電流 (*)	Q_6, Q_7 出力に対する ROM等の判定結果	マイナー フレーム 番号
0	0 0 0 0	0	0	0 0	0
1	0 0 0 1				1
2	0 0 1 0				2
3	0 0 1 1				3
4	0 1 0 0	1.4V	1mA	0 0	0
5	0 1 0 1				1
6	0 1 1 0				2
7	0 1 1 1				3
8	1 0 0 0	1.2V	-1mA	0 0	0
9	1 0 0 1				1
10	1 0 1 0				2
11	1 0 1 1				3
12	1 1 0 0	5.3V	0	1 1	12
13	1 1 0 1				13
14	1 1 1 0				14
15	1 1 1 1				15

* 電流の方向は $Q_6 \rightarrow Q_7$ を正とする。



トランジスタ	消費電力 (通電時)	備考
T ₆₁	3.9 mW	3.9V × 1mA
T ₇₂	1.4 mW	1.4V × 1mA
T ₇₁	4.1 mW	4.1V × 1mA
T ₆₂	1.2 mW	1.2V × 1mA

図13 IC出力部の消費電力

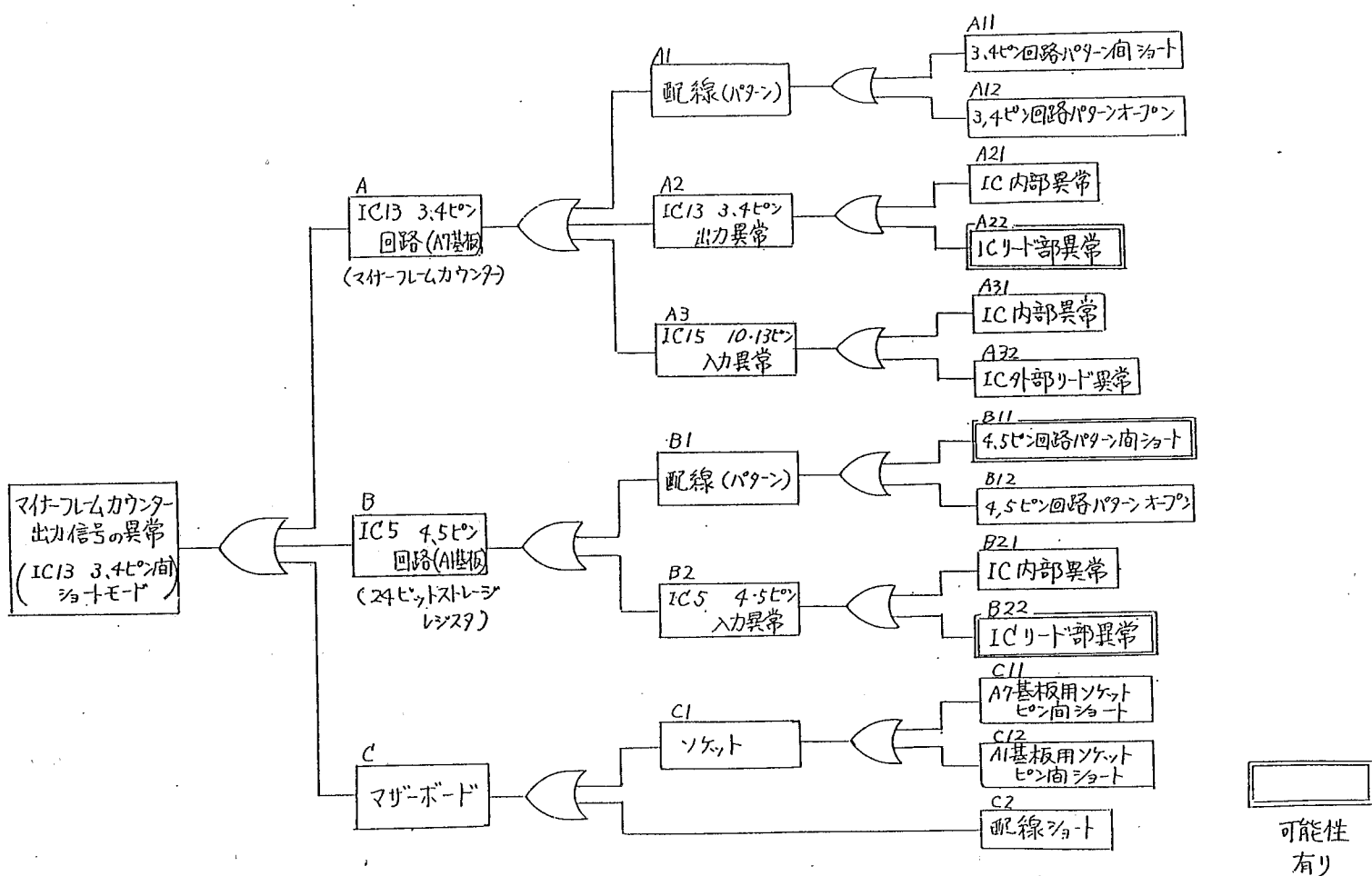


図14 BS-2bテレメトリ・エンコーダ (B系) 不具合に関するFTA

表5 BS-2bテレメトリ・エンコーダ(B系)不具合に関するFTAサマリ

(1/4)

判定
○:可能性がある
△:可能性は低い X:可能性は無し

故障 部位	故障要因	検討内容・評価	不具合現象 との一致性	判 定	参照図
A IC13 3・4ピン 間回路	A11 3、4ピン回 路パターン間シ ョート	3、4ピンの回路パターン間ショート時に同一の不具合現象となる。 ア) 半田クズ等によるパターン間のショートが考えられるが、コーティング前後の目視検査に合格しているので可能性は考えにくい。 イ) 図・15に示すとおり、IC13の下に3、4ピン回路パターンがあり、金属リッドを介してショートすることも想定されかつ、この部分は目視検査ができないが絶縁シートがあるためショートすることは考えにくい。 ウ) IC13の下のパターン間のショートは、パターン間隔が十分大きいので考えにくい。	○	X	図・15 図・18
	A12 3、4ピン回 路パターン オープン	オープンとなった回路側の信号は"0"又は"1"となり、不具合現象と一致しない。	X	X	
	A21 IC内部異常	3、4ピンのボンディングワイヤ間のショート時に同一の不具合現象となる ア) ボンディングワイヤのショートについてはキャップ前にボンディングワイヤの配線状態について全数チェックしており可能性は考えにくい。 イ) ICパッケージ内の導電性異物によるショートについては、キャップ前に全数目視チェックし、ICスクリーニングで全数PIND試験を実施済みあり、可能性は無い。 - ICチップ内でリーク状態となるような故障は考えられない。 - ICの特性劣化によりマイナーフレーム番号の0～3、12～15は正常、4～11が異常となるような現象は考えにくい。	○	X	

表5 BS-2bテレメトリ・エンコーダ(B系)不具合に関するFTAサマリ

(2/4)

判定
○:可能性がある
△:可能性は低い X:可能性は無し

故障 部位	故障要因	検討内容・評価	不具合現象 との一致性	判 定	参照図
A IC13 3・4ピン 間回路	A22 IC13リード 部異常	- ICリードの3、4ピン間ショート時に同一の不具合現象と一致する。 ア) 半田クズ等による外部リード間のショートが考えられるが、コーティング前後の目視検査に合格しているので可能性は考えにくい。 イ) IC下部の絶縁シートの樹脂がICメタライズ部に接触又は極めて接近し、そこに水分をトラップしたことと、3、4ピンメタライズ部間に導電性物質が付着していたことが重なり、例えばマイグレーションが発生しショートした可能性がある。	○	○	
	A31 IC15の内部 異常	10-13ピン間ボンディングワイヤ間は物理的距離からショートは考えられない。 - ICチップ内でIC15の10、13ピンの入力回路部分がリーク状態となるような故障は考えられない。	X	X	
	A32 IC15リード部異常	10-13ピン間は物理的距離からショートは考えられない。	X		
B IC5 4・5ピン 間回路	B11 4、5ピン回 路パターン間シ ョート	4、5ピンの回路パターン間ショート時に同一の不具合現象となる。 ア) 半田クズ等によるパターン間のショートが考えられるが、コーティング前後の目視検査に合格しているので可能性は考えにくい。 イ) 図・15に示すとおり、IC5の下に4、5ピン回路パターンがあるが、この部分は目視検査できないがパターン間隔は十分大きいので可能性は考えにくい。 ウ) 図・19に示すようにエッジコネクタ取付面のA1基板3、43ピンのランド間の半田ブリッジ等は半田付け後目視検査が出来ていないということで可能性を否定できない。なおエッジコネクタの取付け面の構造は図19に示すように、各ピンのランド間には適切な間隔となるようパターン設計がなされていることが分った。	○	△	図・15 図・19
	B12 4、5ピン回 路パターンオープン	オープンとなった回路側の信号は"0"又は"1"となり、不具合現象と一致しない。	X	X	

表5 BS-2bテレメトリ・エンコーダ (B系) 不具合に関するFTAサマリ
(3/4)

判定
○: 可能性がある
△: 可能性は低い X: 可能性は無し

故障 部位	故障要因	検討内容・評価	不具合現象 との一致性	判 定	参照図
B IC5 4,5ピン 間回路	B 2 1 IC 5内部異 常	4、5ピンのボンディングワイヤ間のショート時に同一の不具合現象となる ア) ボンディングワイヤのショートについてはキャップ前にボンディングワイヤの配線状態について全数チェックしており可能性は低い。 イ) ICパッケージ内の導電性物質によるショートについては、キャップ前に全数目視チェックし、さらにICスクリーニングで全数PIND試験を実施済みであり、可能性は無い。 - ICチップ内でリーク状態となりショート故障に至ることは考えにくい。 - ICの特性劣化によりマイナーフレーム番号の0～3、12～15は正常、4～11が異常となるような現象は考えにくい。	○	X	
	B 2 2 IC 5リード 部異常	ICリードの4、5ピン間ショート時に同一の不具合現象と一致する。 ア) 半田クズ等による外部リード間のショートが考えられるが、コーティング前後の目視検査に合格しているので可能性は考えにくい。 イ) ICを固定するための絶縁シートの樹脂がICメタライズ部を覆い、そこに水分をトラップしたことと、4、5ピンメタライズ部間に導電性物質が付着していたことが重なり、例えばマイグレーションによりショートした可能性がある。(図・17参照)	○	○	図・17

表5 BS-2bテレメトリ・エンコーダ (B系) 不具合に関するFTAサマリ
(4/4)

判定
○: 可能性がある
△: 可能性は低い X: 可能性は無し

故障 部位	故障要因	検討内容・評価	不具合現象 との一致性	判 定	参照図
C マザー ボード	C 1 1 A 7 基板用ソ ケットピン間シ ョート	17-66ピン間は物理的距離から短絡は無い。	X	X	図・15
	C 1 2 A 1 基板用ソ ケットピン間シ ョート	3-43ピンは隣接しているので半田クズ等による短絡も考えられるが半田付け後の目視検査に合格しているので可能性は低い。	○		
	C 2 配線ショート	配線はカプトンでコーティングしたテフロン被覆線であり、コールドフローが発生して隣接ピンにショートすることも考えられるが、配線の状況は検査されているので可能性は低い。	X		

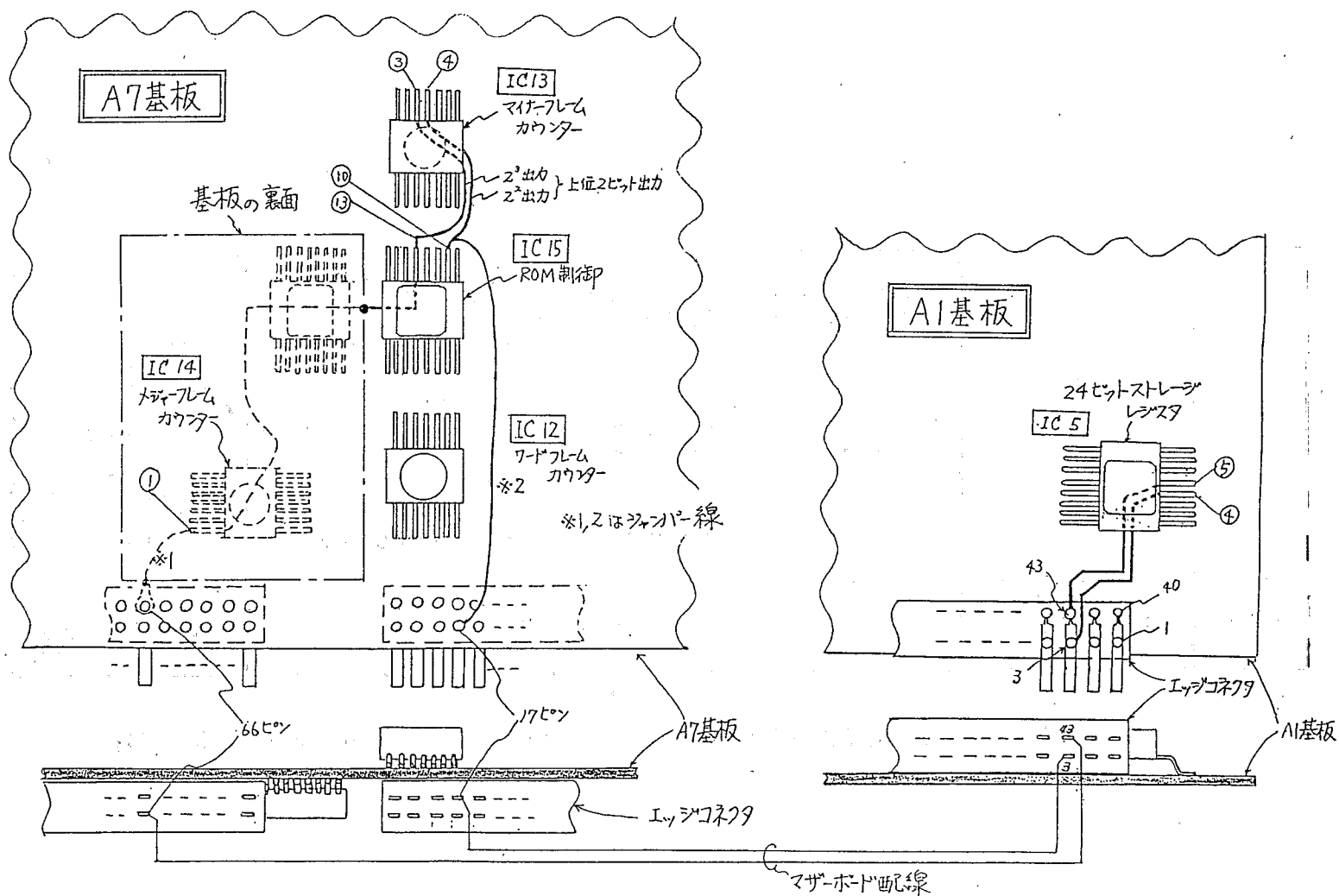


図15 マイナーフレームカウンタ上位2ビット出力回路系

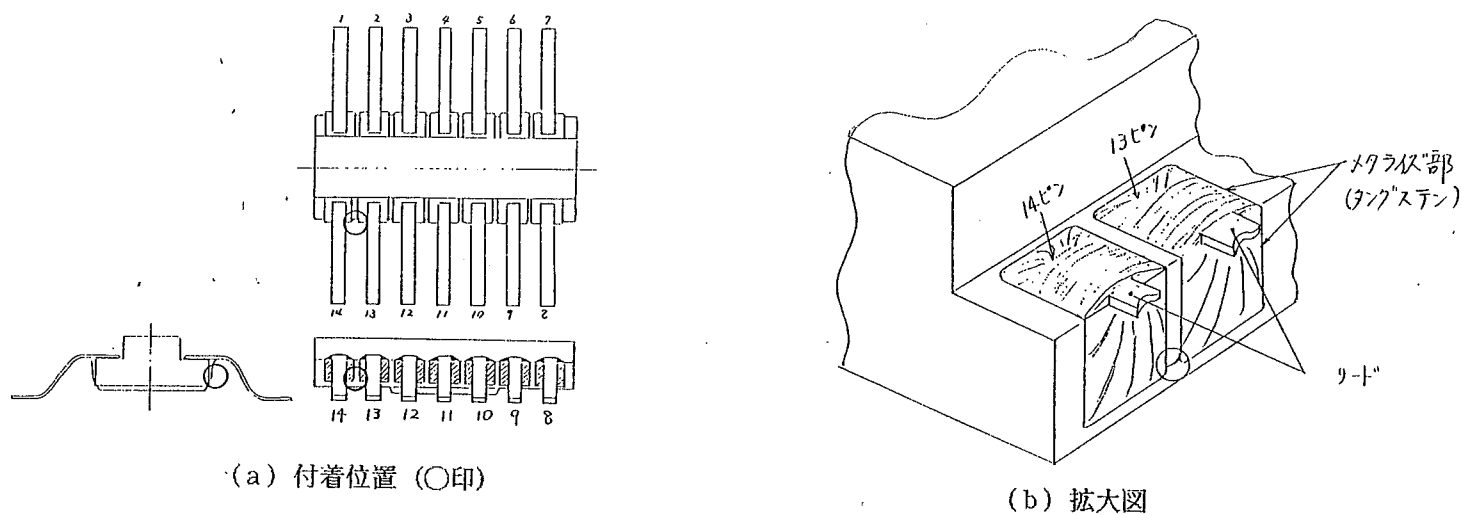


図16 ICに付着した導電性物質の例

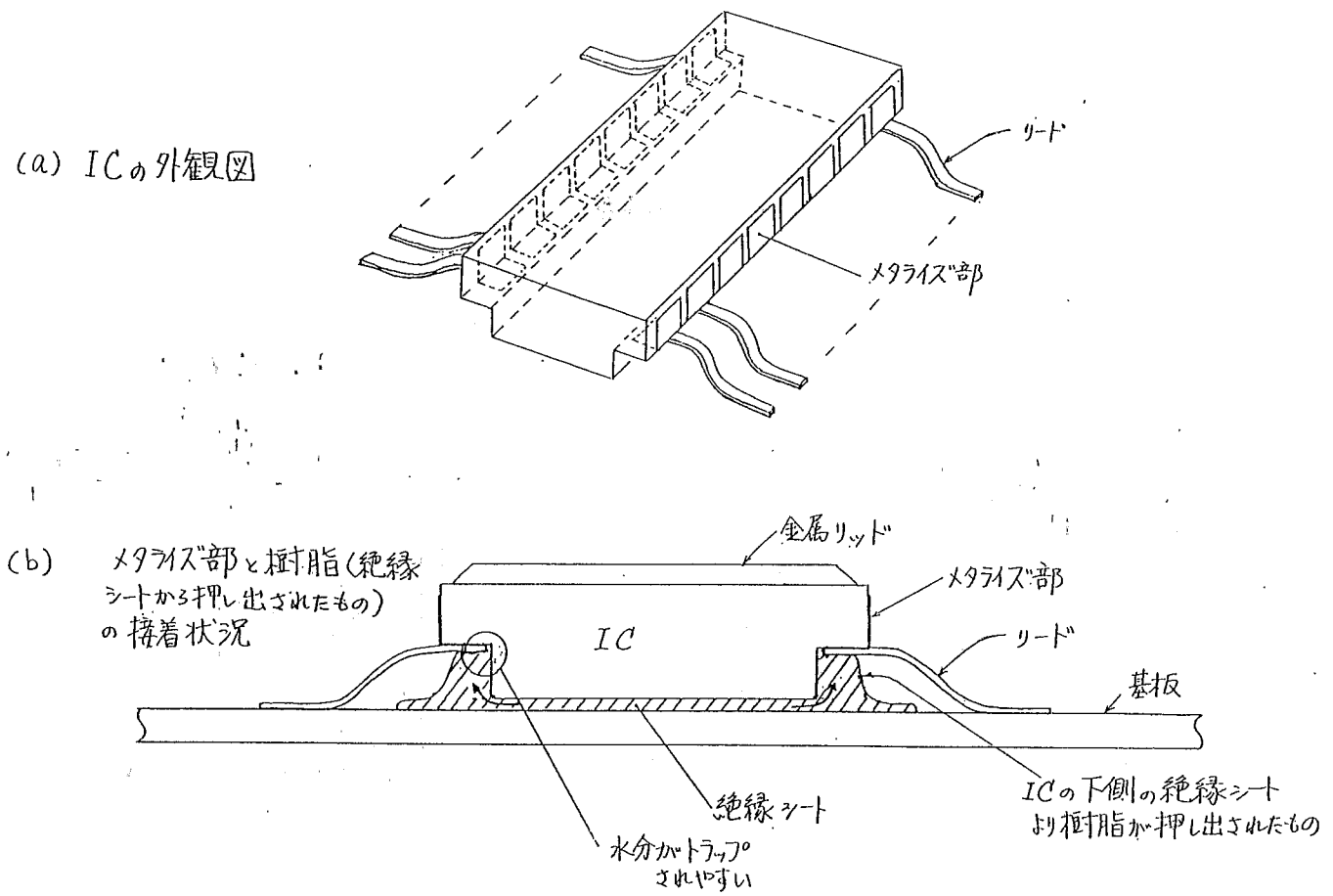


図17 ICメタライズ部と樹脂の接着状況

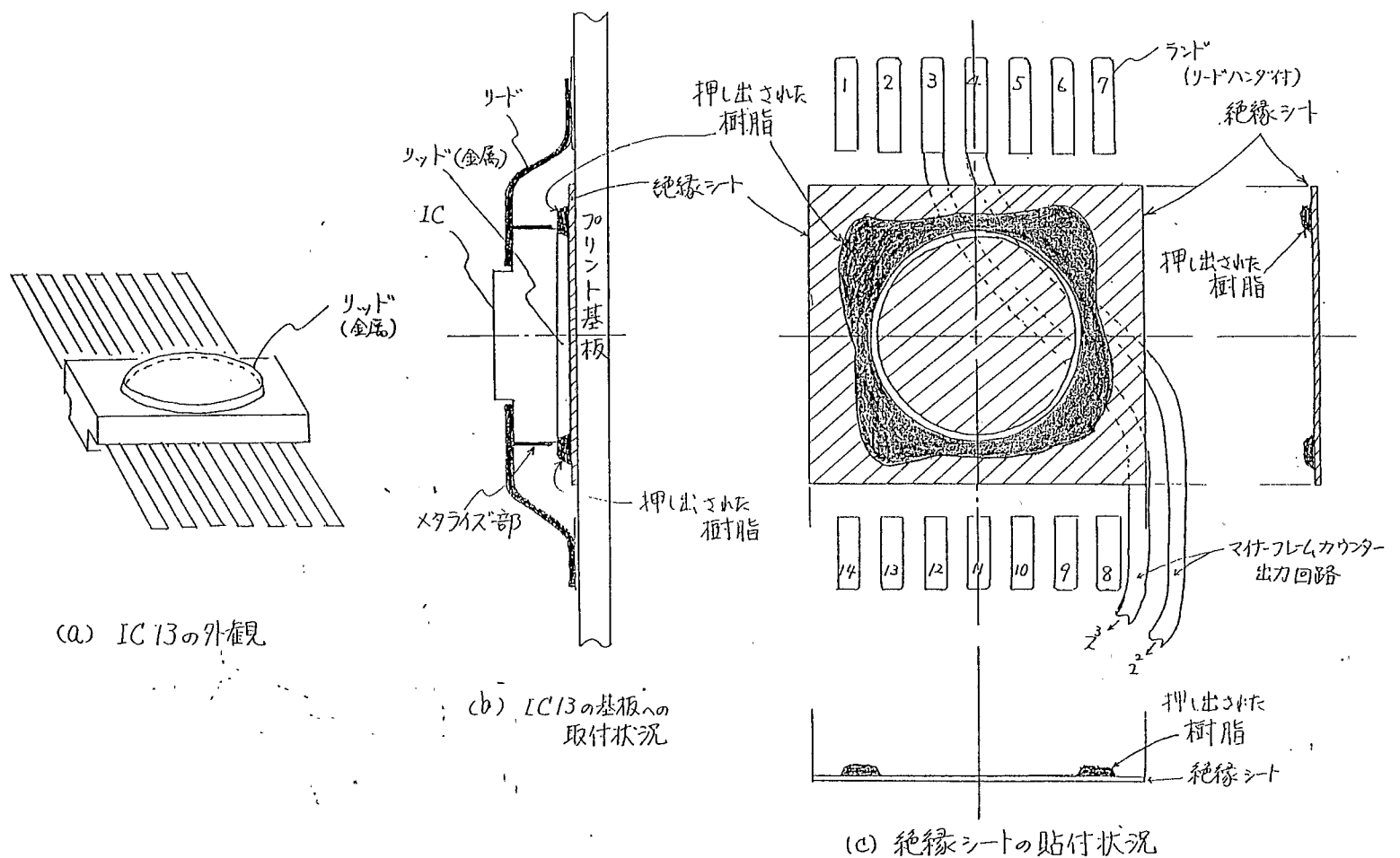


図18 IC13の取付け及び絶縁シートの貼付状況

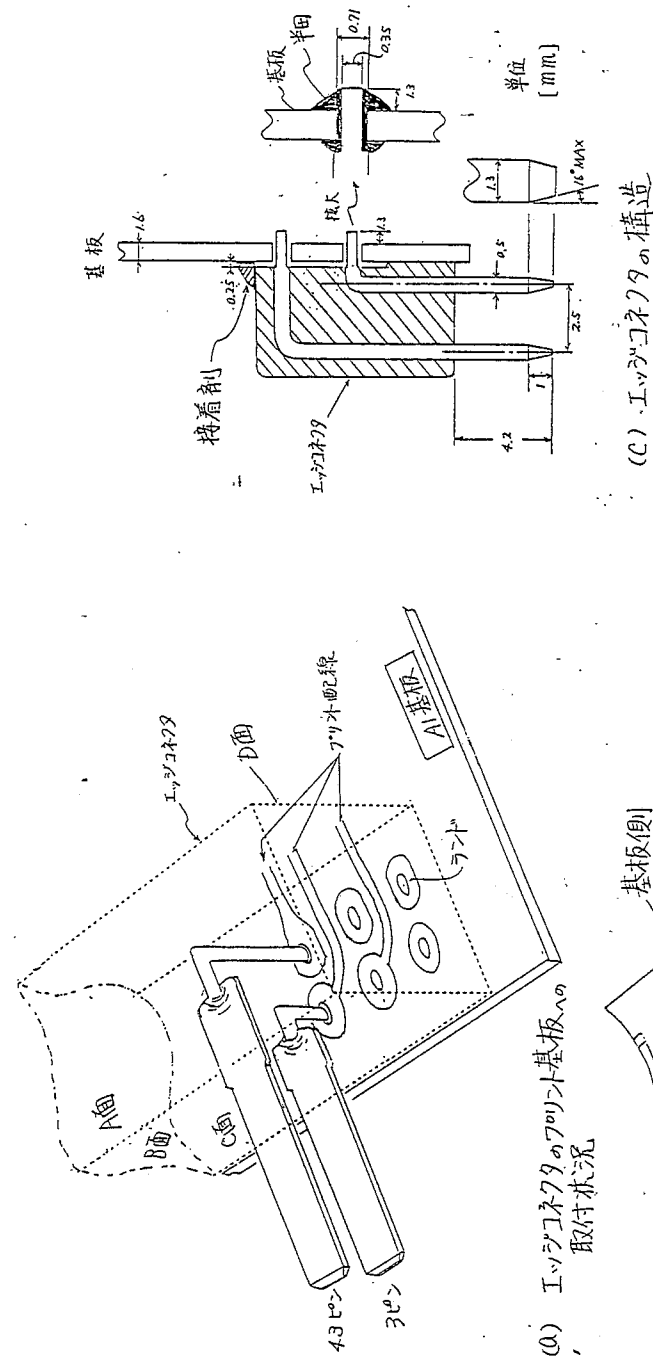


図19 エッジコネクタの基板への取付状況

参考1

通信衛星3号-b (CS-3b) の打上げ
結果の評価に関する審議について

昭和63年11月16日
宇宙開発委員会決定

1. 昭和63年9月16日に宇宙開発事業団が行ったH-Iロケット(3段式)2号機による通信衛星3号-b (CS-3b) の打上げの結果を評価するために調査審議を行うものとする。
2. このため、評価に必要な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64年1月末までに終わることを目途とする。

参考2

放送衛星2号-b (BS-2b) のテレメトリ・
エンコーダの作動状況に関する審議について

昭和63年11月30日

宇宙開発委員会決定

1. 昭和61年2月に打ち上げた放送衛星2号-b (BS-2b) の
テレメトリ・エンコーダの作動状況に関して調査審議を行うものと
する。

2. 上記の調査審議は第四部会において行い、昭和64年2月末まで
に終わることを目途とする。

参考3

宇宙開発委員会第四部会構成員

(五十音順)

部会長	佐貫 亦男	前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 鏖二郎	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
	※五代 富文	宇宙開発事業団理事
	小林 繁夫	東京都立科学技術大学 航空宇宙システム工学科教授
	小林 康德	筑波大学構造工学系教授
	鈴木 誠史	郵政省通信総合研究所長
	垂井 康夫	東京農工大学工学部教授
	中込 雪男	国際電信電話株式会社副社長
	長洲 秀夫	科学技術庁航空宇宙技術研究所長
	原島 文雄	東京大学生産技術研究所教授
	廣澤 春任	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	関西大学工学部教授
	虫明 康人	東北工業大学長

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。