

第11回 宇宙開発委員会（定例会議）

議 事 次 第

1. 日 時 昭和60年6月19日（水）
正午～12時10分
 2. 場 所 宇宙開発委員会会議室
 3. 議 題 放送衛星2号-b(BS-2b)中継器に講じた対策
及び確認試験結果の評価報告について
 4. 資 料
- 委11-1 放送衛星2号-b(BS-2b)中継器に講じた対策及び
確認試験結果の評価について

プレス発表

放送衛星2号-b(BS-2b)中継器に講じた対策及び 確認試験結果の評価報告について

昭和60年6月19日

科学技術庁研究調整局

宇宙開発委員会は、6月19日、放送衛星2号-b(BS-2b)中継器に講じた対策及び確認試験結果の評価について放送衛星対策特別委員会より報告を受け、これを了承した。その概要は次のとおり。

1. 前回報告(昭和59年10月19日)での指摘

放送衛星2号-a(BS-2a)中継器に生じた不具合については、進行波管(TWT)が真空中では熱の放散が少なくなるため温度が上昇し、内部の絶縁が劣化するため、中継器の動作が停止するものと推定した。

このため、進行波管の温度を下げるための措置を講じ、熱真空試験を行うことが必要であるとの指摘を行なった。

2. BS-2b中継器に講じた対策及び確認試験

(1) 講じた対策

- ・ 進行波管からの熱を逃がすための銅板の取付け
- ・ 進行波管のフィラメント供給電力の変更
- ・ 中継器の動作が一時停止した場合、速やかに回復できるようにするための回路の変更

等の改修をおこなった。

(2) 確認試験(熱真空試験)

① 第1回目(60.1.12~60.2.17)

3系統のうち、1系統の動作に不安定さが見られたため、この1系統の試験は中断。他の2系統の結果は良好であった。

② 予備の進行波管単体試験(60.2.13~60.3.17)

予備の進行波管の単体での熱真空試験を前記試験と並行して、別途

実施し、結果は良好であった。

③第2回目(60.4.23~5.23)

さらに、十分な品質確認を行うため、予備の進行波管を中継器に組み込み、中継器全体としての熱真空試験を実施し、結果は良好であった。

3. 対策及び確認試験の分析

確認試験等で得られたデータを解析した結果、真空中での進行波管の温度を大気中と同程度に下げることができたこと等により、BS-2b中継器に講じた対策は有効であり、軌道上のBS-2a中継器と同様な不具合発生の可能性は少ない。よって、宇宙開発事業団において、打上げのための準備作業を進めることは妥当であると判断した。

委11-1

放送衛星2号-b(BS-2b)中継器に講じた対策
及び確認試験結果の評価について

昭和60年6月19日
宇宙開発委員会
放送衛星対策特別委員会

標記について、第4回放送衛星対策特別委員会(6月19日開催)において、
放送衛星対策特別委員会技術小委員会より別添のとおり報告を受け、これを
了承したので報告する。

放送衛星2号-b (BS-2b) 中継器に講じた対策

及び確認試験結果の評価報告

昭和60年 6月19日

宇宙開発委員会放送衛星対策特別委員会技術小委員会

I. これまでの経過

昭和59年1月23日種子島宇宙センターからN-IIロケット5号機により打ち上げられた放送衛星2号-a (BS-2a) は、東経110度の静止衛星軌道位置に投入された後、搭載した3系統の中継器 (A系統、B系統、R系統) のうち、中継器A系統が同年3月23日に、中継器R系統が5月3日にそれぞれ不具合を生じたため、当初予定していた2チャンネルのテレビジョン放送ができず、1チャンネルにより試験放送を行っている。

本委員会は、この中継器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5月24日以来調査審議を進め、同年10月19日付けの「放送衛星2号-a (BS-2a) 中継器に生じた不具合の原因究明及び対策に関する検討状況報告」 (以下、「前回報告」という。) において、BS-2a中継器に生じた不具合の推定原因及び必要と考えられる対策を示した。

その概要は次のとおりである。

1. BS-2a中継器に生じた不具合の主な推定原因

- (1) 進行波管 (TWT) の電子ビームを出す電子銃部の温度が真空中では予想以上に上昇し、これに伴って進行波管内の電極温度も上昇する。
- (2) このため進行波管の陰極から蒸発したバリウムがいったん電極に付着するが、電極の温度の上昇により再蒸発して絶縁物に付着し、絶縁劣化が生じる。
- (3) 絶縁劣化が生じた部分を流れる電流の影響によって保護回路が作動し、中継器の動作が停止する。
- (4) R系統はA系統に比べてバリウムが多く付着しているため、より絶縁が劣化した状態にあると推定される。

2. 必要と考えられる対策

- (1) フィラメントの電圧を下げる事等により、電子銃周辺の温度を適正に保つ。
- (2) 国内において進行波管単体の熱真空試験等を行うとともに熱解析を実施し、上記対策に反映させる。
- (3) 保護回路の動作特性等を検討し、必要な改良を加える。
- (4) 放送中断が生じた場合、速やかに回復できる機構にする。
- (5) 正常な進行波管を用いて2ヶ月程度熱真空試験を実施し、以上の対策の有効性の確認を行う。

II. 放送衛星2号-b (BS-2b) 中継器に対して宇宙開発事業団が講じた対策

前回報告に基づき、BS-2b中継器に講じた対策は次のとおりである。

- 1.(1) フィラメント電力切換機能 (100%, 95%) を追加した。このことにより、定格の95%で運用した場合、陰極温度は15度低下し、電子銃周辺の電極温度は解析によると約9度低下する見込みである。
- (2) 進行波管の電子銃周辺の温度を下げるために電子銃外囲器とその取り付け用台との間の熱伝導を良くするための銅板 (以下、「熱シャント」という。) を取り付けした (図1参照)。
2. 国内において進行波管単体の熱真空試験を実施するとともに熱解析を行い、上記対策を講ずるうえでの有用なデータを取得した。
3. 保護回路自身の故障に対応するため、これまで機能解除機構がなかった2つの保護回路 (スイッチング電流保護回路及び低電圧保護回路) に機能解除機構を追加した。
4. 保護回路が働き放送中断が生じた場合、速やかに再起動できるように、各保護回路が作動した時、待機モード (フィラメントの電源は断とならず、すぐに起動ができるモード) になるよう改修を行った。

以上の対策の有効性を確認するために、真空度及び食時の温度変化について衛星搭載時の条件を模擬した状況下で、中継器を動作させる確認試験 (長

期熱真空試験) を実施した。

Ⅲ. 宇宙開発事業団が実施した確認試験の結果

1. 第1回目の確認試験 (60.1.12 ~ 60.2.17)

前述の対策を講じたBS-2b中継器についての長期熱真空試験を昭和60年1月12日より開始した。

この試験の1サイクルの温度プロファイルは図2に示すとおりであり、18時間を1サイクルとして3系統ある中継器の各系統をそれぞれ1食期間に相当する40サイクル動作させる計画で進めた。

中継器の各系統の試験状況は次のとおりであった。

(1) 中継器A系統

40サイクルにわたって正常に動作し、ヘリックス電流、アノード0電圧等の特性も良好であった(図3参照)。

(2) 中継器R系統

40サイクルにわたって正常に動作し、ヘリックス電流、アノード0電圧等の特性も良好であった(図4参照)。

(3) 中継器B系統

中継器B系統は、熱真空試験の開始当初4mA程度であったヘリックス電流が、サイクル数を重ねるに連れて増加する傾向を示し(図5参照)、6サイクル目には約5mAに増加した。また、3サイクル目以降の低温動作時に、ヘリックス電流波形にスパイク状のノイズが重畳していることが観測され、さらにその振幅が増大する傾向を示した。7サイクル目に入るとヘリックス電流が当初に比べて約2mA増加し、かつスパイク状ノイズ発生時に保護回路が作動して中継器の動作が停止するようになった。このため、中継器B系統の試験を中止した。

中継器B系統の試験中止後は、A系統とR系統のみの試験を続け、2月17日に両系統とも40サイクルの試験を終了した。

2. 予備の進行波管単体試験 (60.2.13 ~ 60.3.17)

中継器B系統に不具合が生じたため、進行波管を交換する必要が生じ、別途予備の進行波管について単体の熱真空試験を前記試験と並行して実施した。

この単体試験にあたっては、進行波管各部の温度が中継器に搭載した場合とできるだけ同一になるよう試験環境に留意して、2月13日から試験を開始した。

試験開始初期の1~5サイクルの間、起動直後のヘリックス電流のピーク値がやや高めの傾向を示したが、サイクル数を重ねるに連れて鎮静化した。この現象は、予備の進行波管を長時間休止させていた後に急に動作させたこと等によるアウトガスの影響で生じた一時的現象と考えられる。

このほかには、進行波管の動作に特に異常は認められず、3月17日に40サイクルの試験を終了した。

3. 第2回目の確認試験 (60.4.23 ~ 60.5.23)

中継器の十分な品質確認を行うために、予備の進行波管を中継器B系統に組み込んだ状態でさらに40サイクルの長期熱真空試験を実施し、慎重を期した。このため、進行波管の交換作業及び大気中での中継器全体の試験の後、4月23日から5月23日まで、B系統40サイクル、A・R系統20サイクルの長期熱真空試験を実施した。

この第2回目の中継器の確認試験においては、A・R系統は第1回目と

同様に動作特性は良好であり、また、B系統についても、40サイクルにわたって正常に動作し、ヘリックス電流、アノード0電圧等の特性も良好で(図6参照)、先の単体試験での良好な結果を再確認することができた。

IV. 対策及び試験結果の分析

1. 熱対策の効果

フィラメント電力を下げ、熱シャントを付加する対策を講じた結果、進行波管の電子銃部外圍器の温度は、真空中においても、長期間の良好な運用実績(約10,000時間)のある進行波管の大気中における試験時での電子銃部外圍器温度(約70度)と同程度まで下げることができた(表1参照)。

電子銃部外圍器温度と進行波管内の絶縁物に付着するバリウムの量との関係は、電子銃部外圍器温度を高くして行った熱真空試験等のデータを基に解析した結果、次のとおりと推定される。

- ① バリウムは非常に酸化し易いため、いったん管内の絶縁物に付着しても、管内に微量ながら存在する酸素や酸化物と反応して徐々に酸化バリウム(絶縁体)に変化し、
- ② その酸化速度は付着したバリウムの量とともに増大し、付着したバリウムがある量に達した点でバリウムの付着速度と均衡するものと考えられ、
- ③ 導体としてのバリウムの量はそれ以上は増加せず、
- ④ 特に、電子銃部外圍器の温度が低い場合は(約100度以下)、付着するバリウムの量が、進行波管内に導電性のリーク電流を生ぜしめる量にまでは至らずに均衡するものと考えられる。

BS-2b中継器の進行波管電子銃部外圍器温度は、各系統とも70度以下に下げることができたことから、BS-2b中継器に講じた対策は有効であると考えられ、また、これまでの試験及び解析の結果から見て、軌道上のBS-2aのA系統及びR系統と同様な不具合が生じる可能性は少ないものと考えられる。

2. 第1回目の確認試験における中継器B系統の不具合

第1回目の確認試験中に、中継器B系統のヘリックス電流が、試験開始後、サイクル数を重ねるに連れて増加する傾向を示した。また、その後の調査によれば、ヘリックス電流の増加に対応して進行波管の出力ドリフト管部に顕著な温度上昇が認められている(図7参照)。なお、進行波管の他の部分については、顕著な温度上昇は見られなかった。

これらの調査データ等を基に検討した結果、不具合の原因は次のとおりと推定される。

- ① 熱真空試験の温度変化に伴って、管内吸着ガスの放出または進行波管の機械的変形が生じ、
- ② これにより進行波管の出力ドリフト管部における電子ビームの集束が悪くなり、
- ③ このため電子ビームの一部が出力ドリフト管に衝突し、局部的に過熱してガスを放出し、
- ④ この放出ガスが、さらに電子ビームの集束を悪くして、②、③を繰り返しながら、ボディ電流を増大させ、ヘリックス電流検出回路に流入することにより、ヘリックス電流の増加として観測されるものと考えられる。

このようなガスの放出を原因とする異常現象は、熱真空試験環境下で動作させることにより、早期にその徴候が現われ、次第に現象が顕著になっていくものと考えられる。

従ってこのB系統と同様な不具合が発生するか否かは、長期熱真空試験を実施すれば、早期に判別することが可能であると考えられ、第2回目の

確認試験において異常の認められなかったBS-2b中継器については、同様な不具合発生の可能性は少ないものと思われる。

3. 偶発的送信断現象(SSO)

進行波管が動作中、特に食明け時の温度が急激に変化する状況下において、突然放電等が生じて保護回路が作動するが、短時間で正常状態に回復可能な偶発的送信断現象について、その推定発生原因としては、前回報告で次のものを示している。

- (1) コレクタの絶縁体の表面に電荷が蓄積することによって生じる放電
- (2) 低温時、コレクタ材に吸着されたガスが、温度の急激な上昇によって放出されることにより生じる放電
- (3) 食時の温度変化によりコレクタ電極(カーボン)と支持機構との間に摩擦が生じてカーボン粒子が発生し、この粒子とビームとの衝突によるビームディフォーカスまたは放電。
- (4) 進行波管内の残留ガスによるビームディフォーカス

この現象は、今回の試験において時間の経過とともに減少する傾向を示している。また軌道上のBS-2aの中継器B系統についても昨秋の食期間と今春の食期間を比較すると同様の傾向を示しており(表2参照)、かつ、食期間以外では全く発生していない。

これらのことから、SSOの発生は食時における温度変化等と密接な関係があると考えられ、また、時間の経過とともに減少していることから、前記(3)項に挙げたコレクタ電極と支持機構との間の摩擦によって生じるカーボン粒子が関与している可能性が高いと推定されるが、これまでの地上試験において無励振試験時にSSO発生のみん度が高いということもあり、

吸着ガスの放出等によって生じる可能性も否定できない。

なお、SSOの発生による進行波管の性能劣化は、これまでのところ認められていない。また、BS-2b中継器については、たとえ軌道上での運用中にSSOが発生しても、放送中断の時間は1秒程度となるよう保護回路の改修を行った。

4. その他

改修を加えた保護回路については、第1回及び第2回の確認試験を通じ、正常に機能することが確認されており、また、進行波管以外の中継器の電子部品等についても異常は認められなかったことから、これらのものに不具合が生じる可能性は少ないものと考えられる。

V. 総合意見

1. 前回報告に基づき改善策を講じたBS-2b中継器について、その確認試験を実施した結果は良好であった。

このことにより、宇宙開発事業団において、打上げのための準備作業を進めることは妥当であると考ええる。

なお、輸送時等における不慮の事故による進行波管の破損といった万一の事態に備えて、予備の進行波管の整備・試験を実施しておく必要がある。

2. 今後とも進行波管等についての試験を継続して実施し、取得データの解析を行って、軌道上の中継器の最適な運用方法、適切な中継器の試験方法の確立等に努める必要がある。
3. 今後の放送衛星の開発にあたっては、今回の経験を十分に踏まえ、機器・部品の設計、製作、試験・評価の技術のより一層の確立に努めるべきであると考ええる。

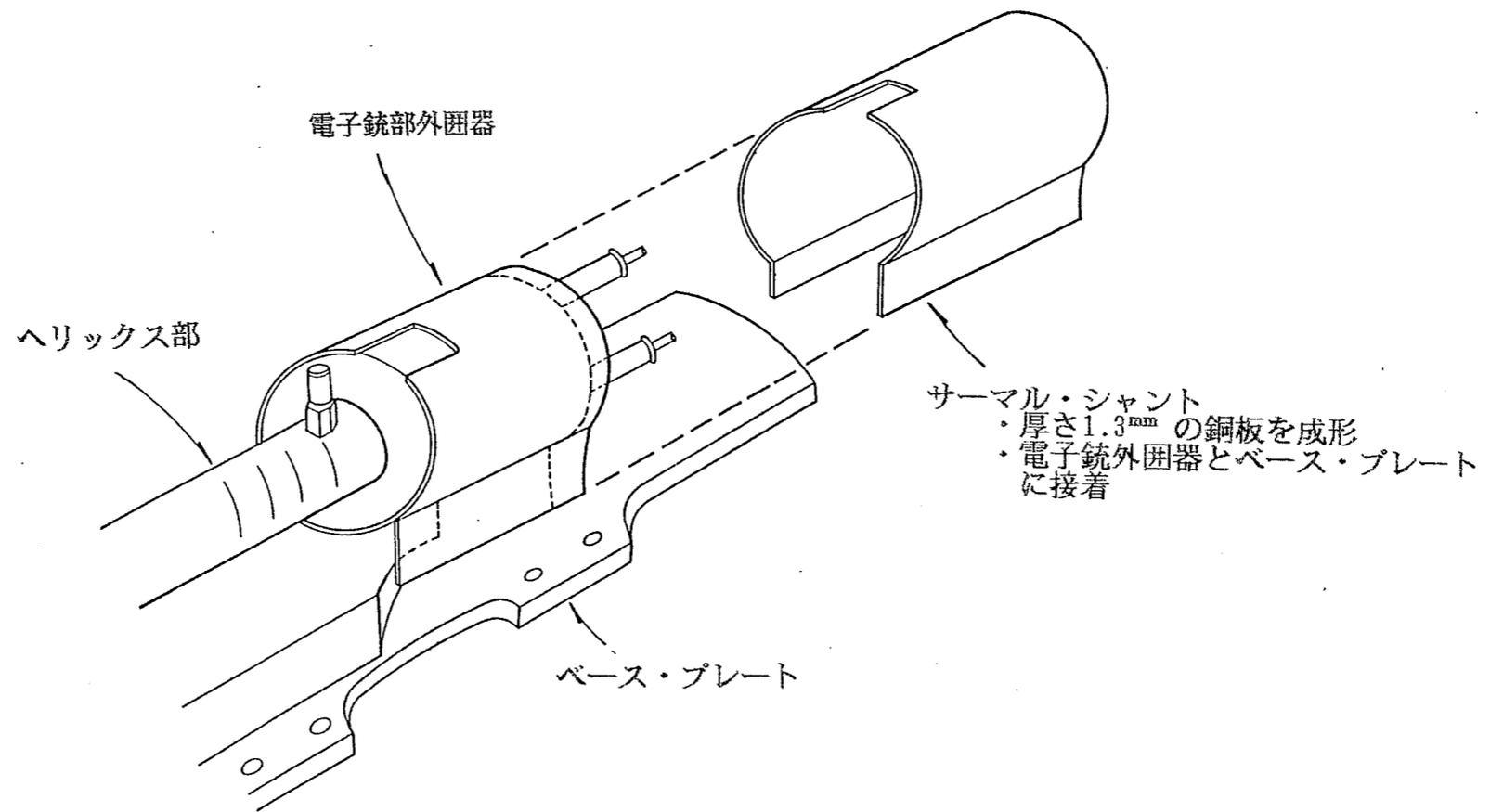


図1 熱シャント取り付け状況

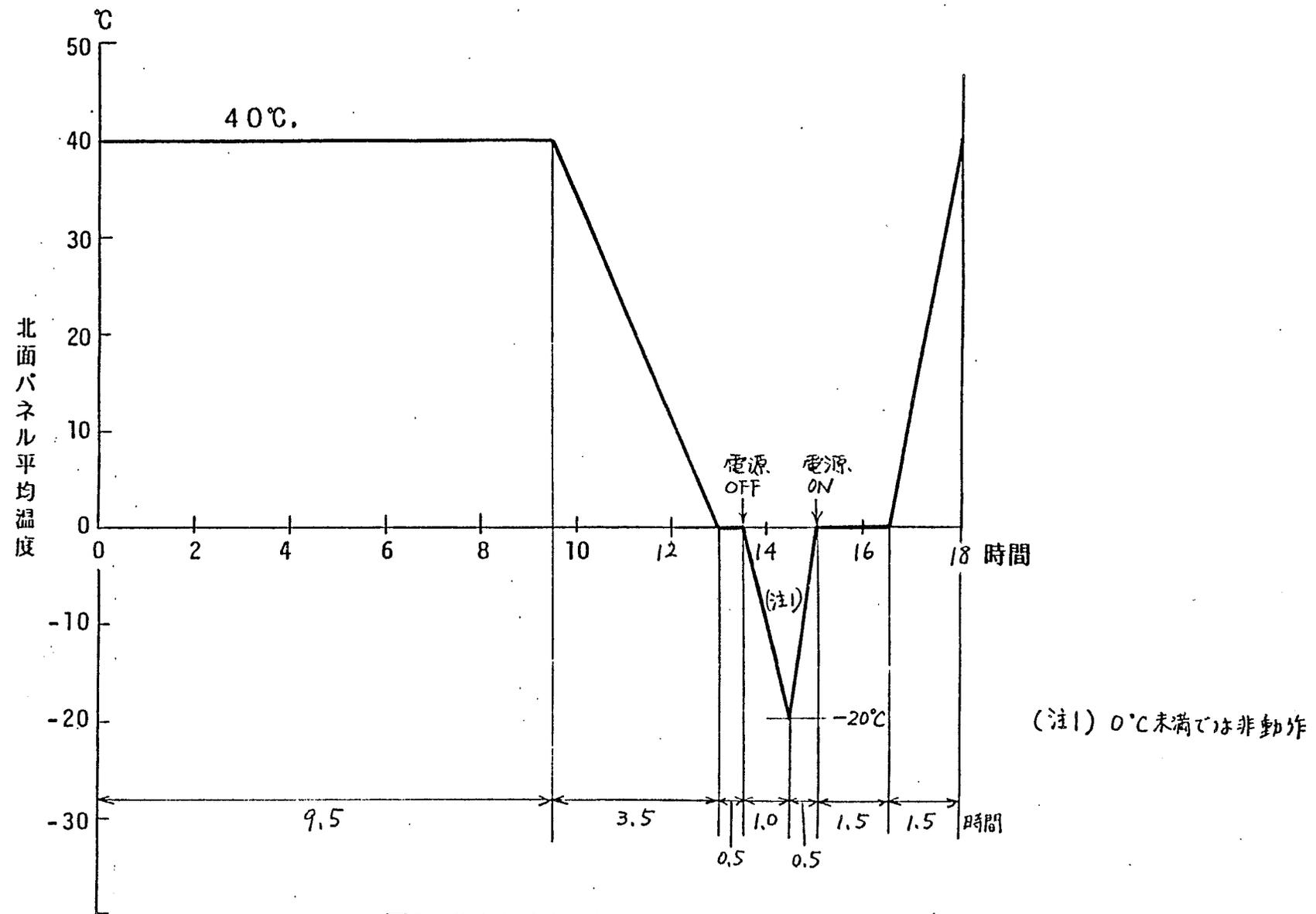
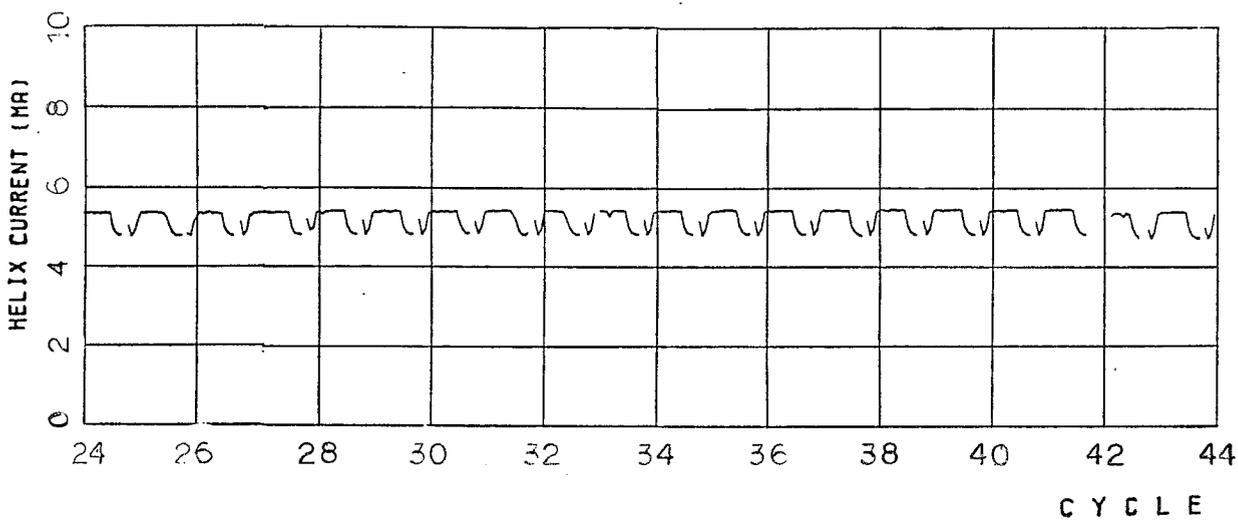
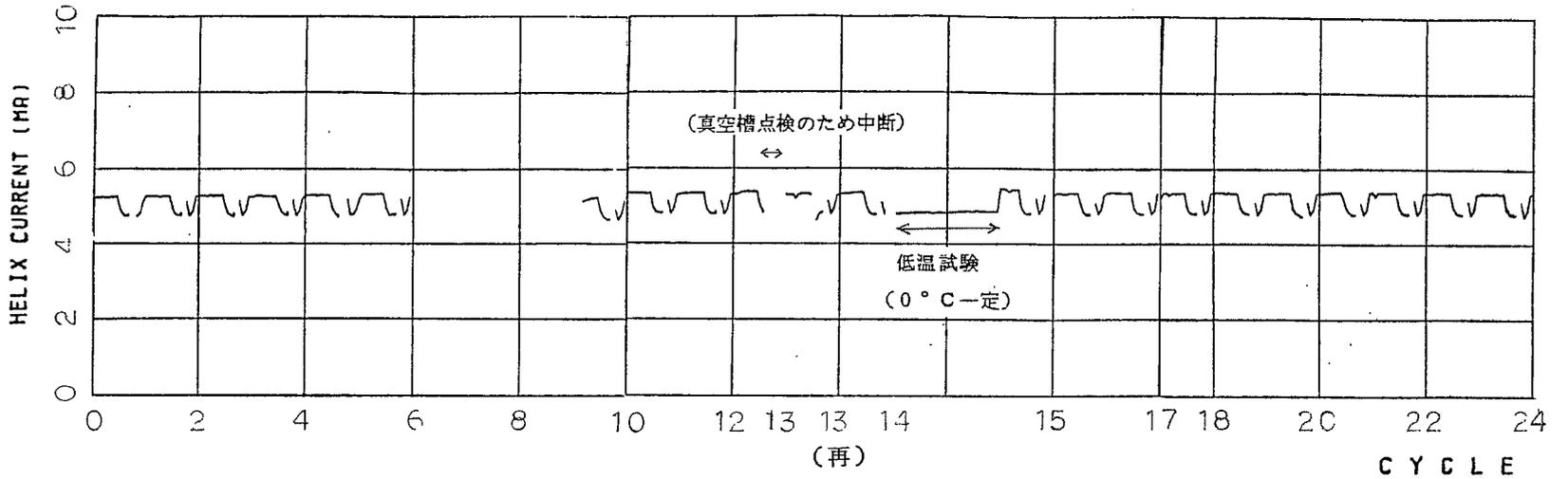


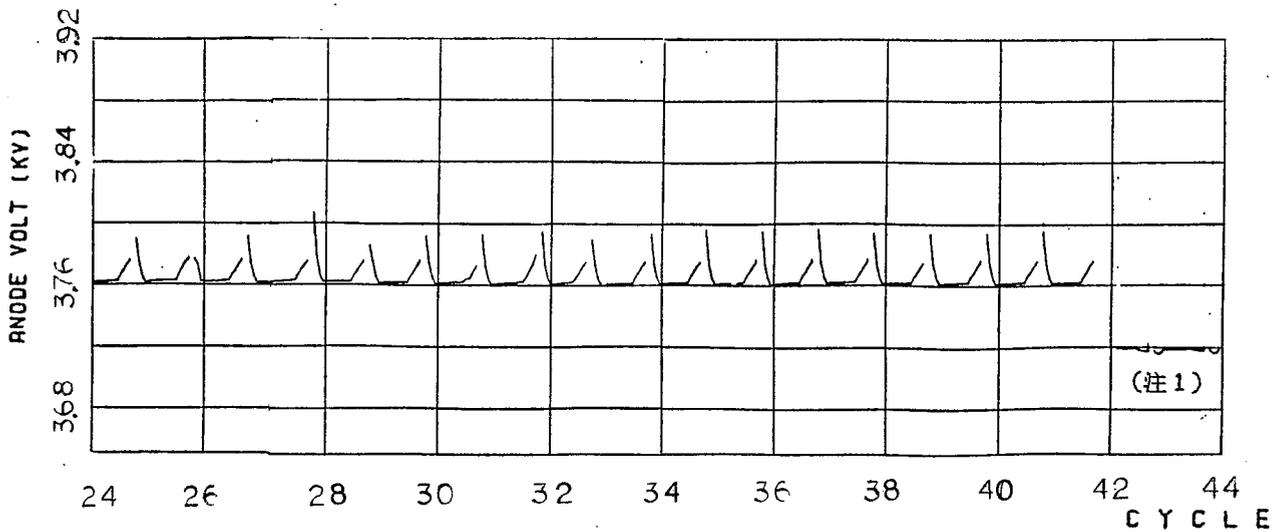
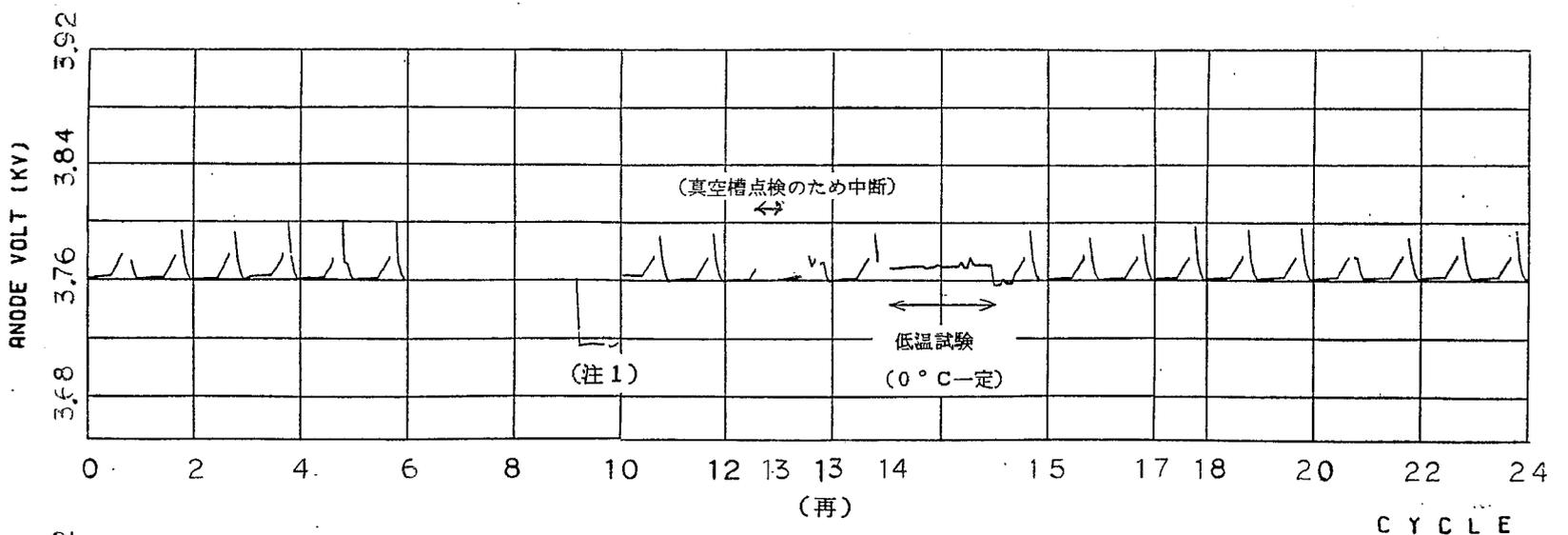
図2 熱真空試験温度プロファイル(1サイクル分)

図3 中継器A系統試験結果 (60年 1月12日～ 2月17日)

ヘリックス電流



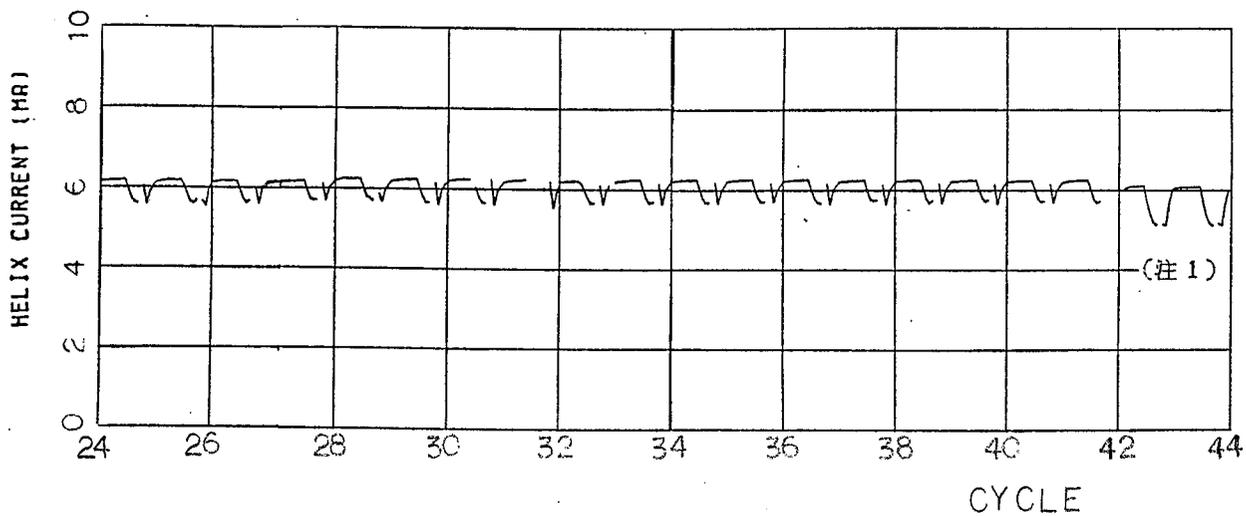
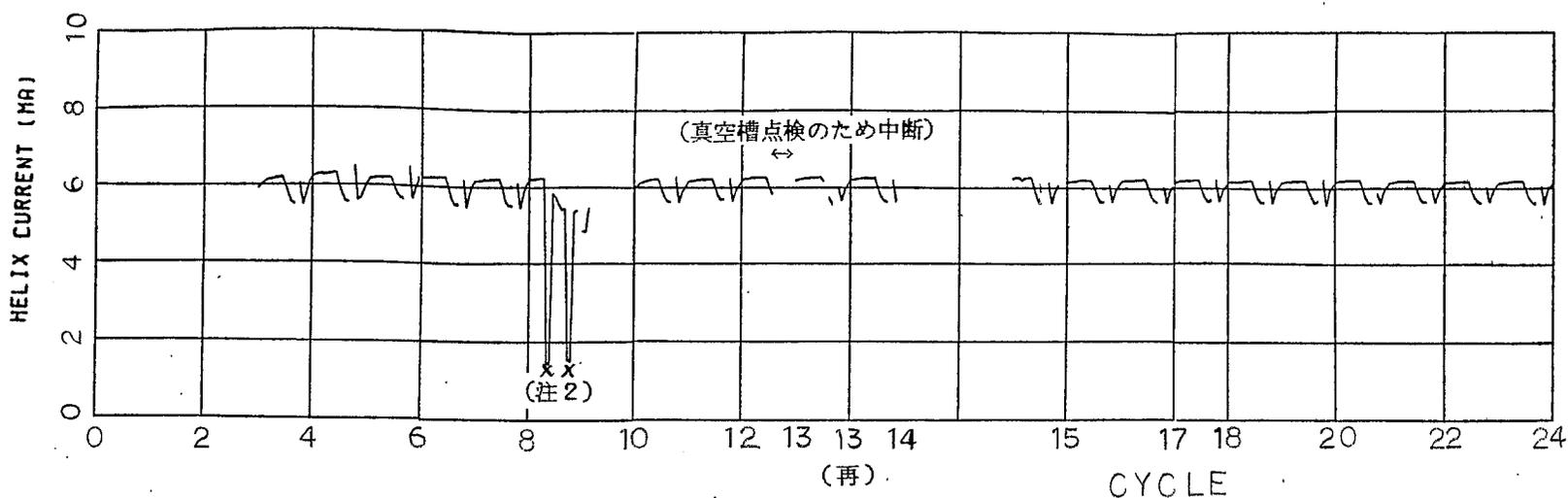
アノード0電圧



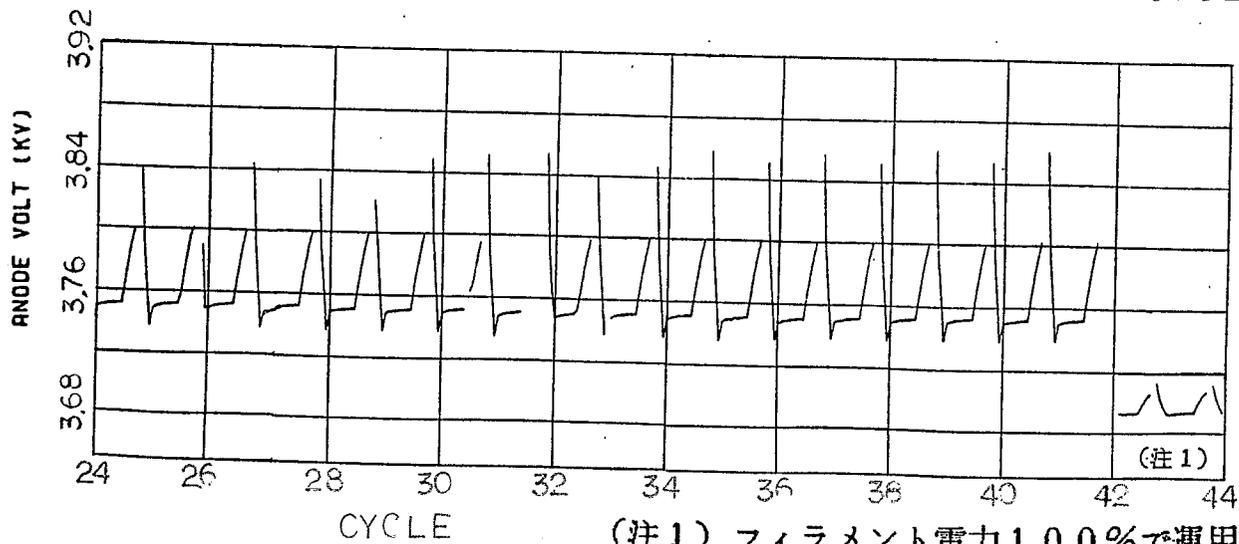
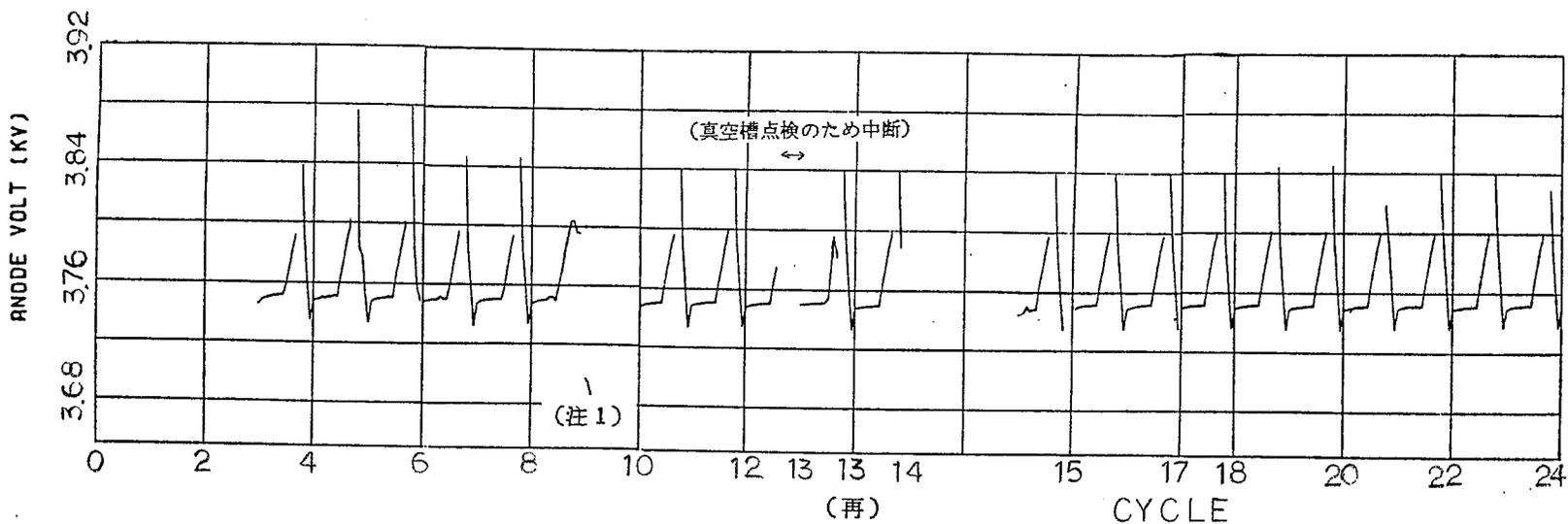
(注1) フィラメント電力100%で運用

図4 中継器R系統試験結果 (60年 1月12日～2月17日)

ヘリックス電流

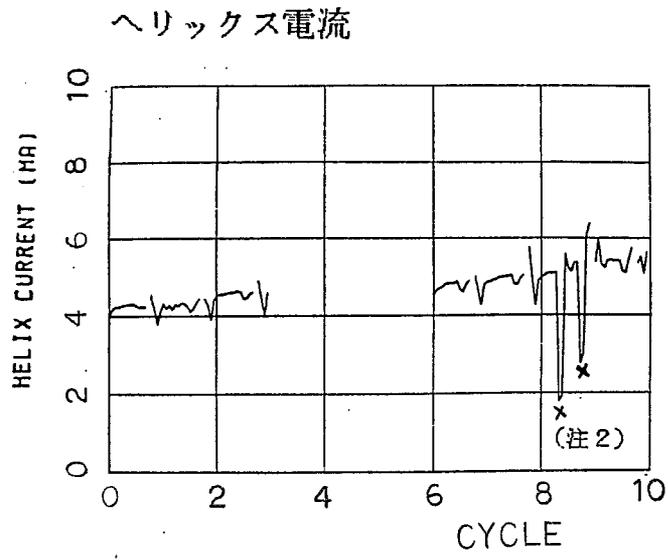


アノード0電圧

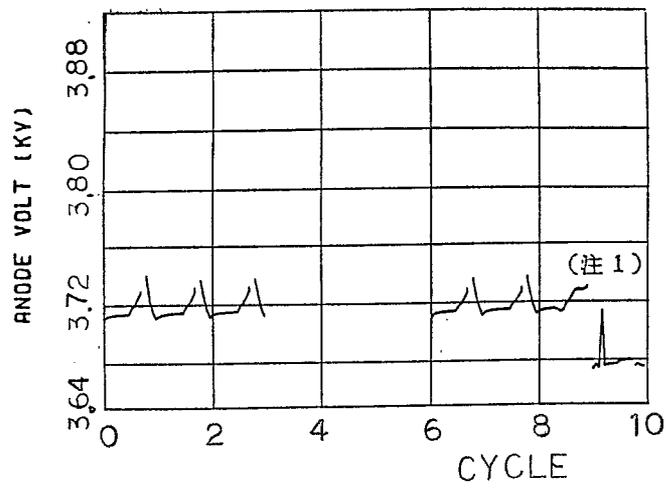


(注1) フィラメント電力100%で運用
 (注2) 無励振のためヘリックス電流が減少

図5 中継器B系統試験結果 (60年 1月12日～ 1月20日)



アノード0電圧

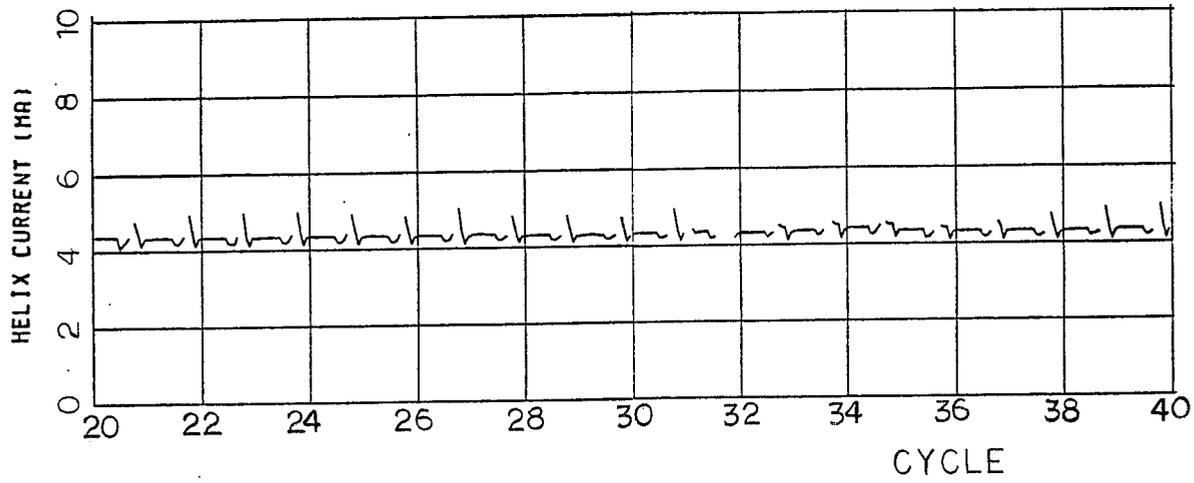
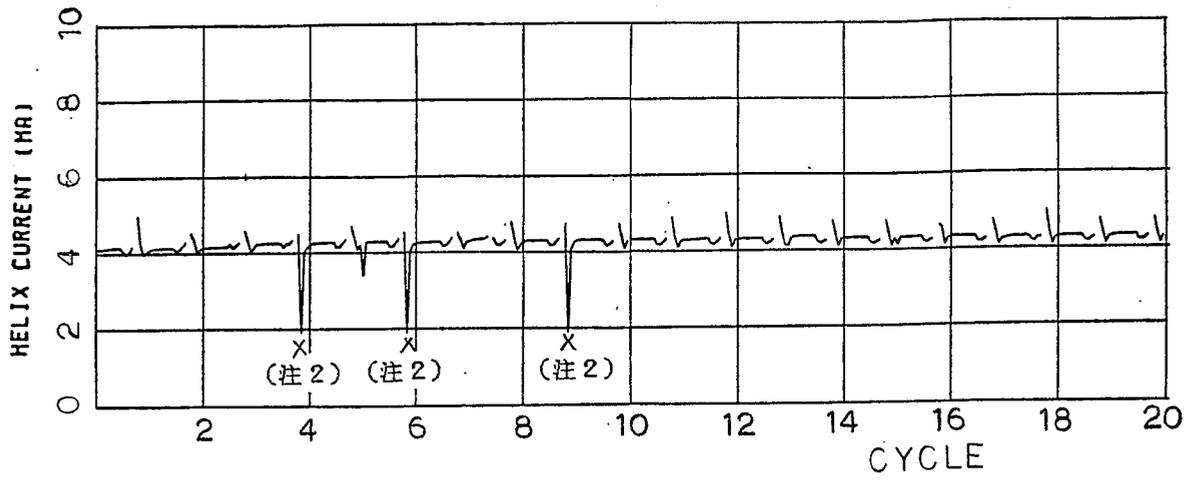


(注1) フィラメント電力100%で運用

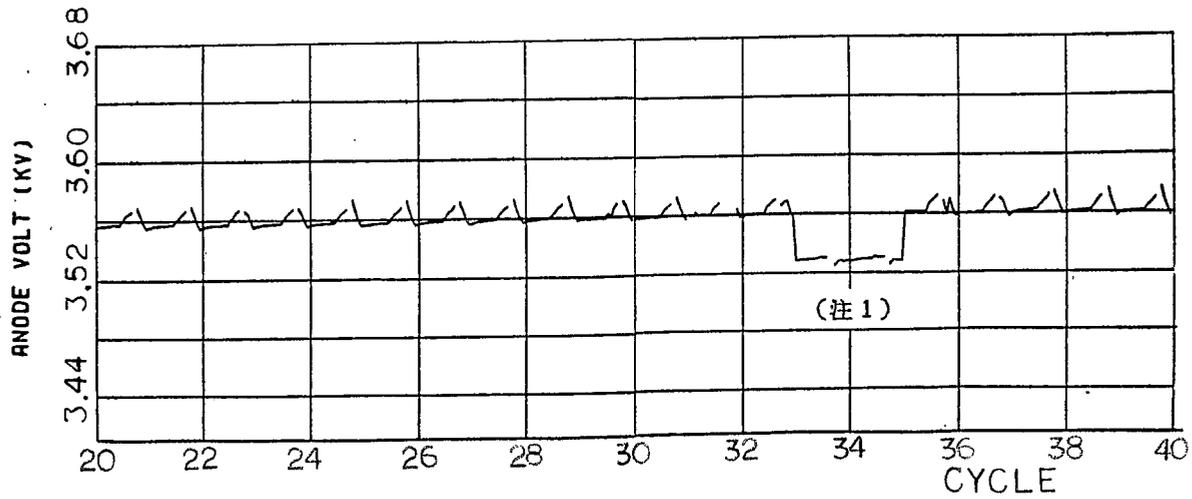
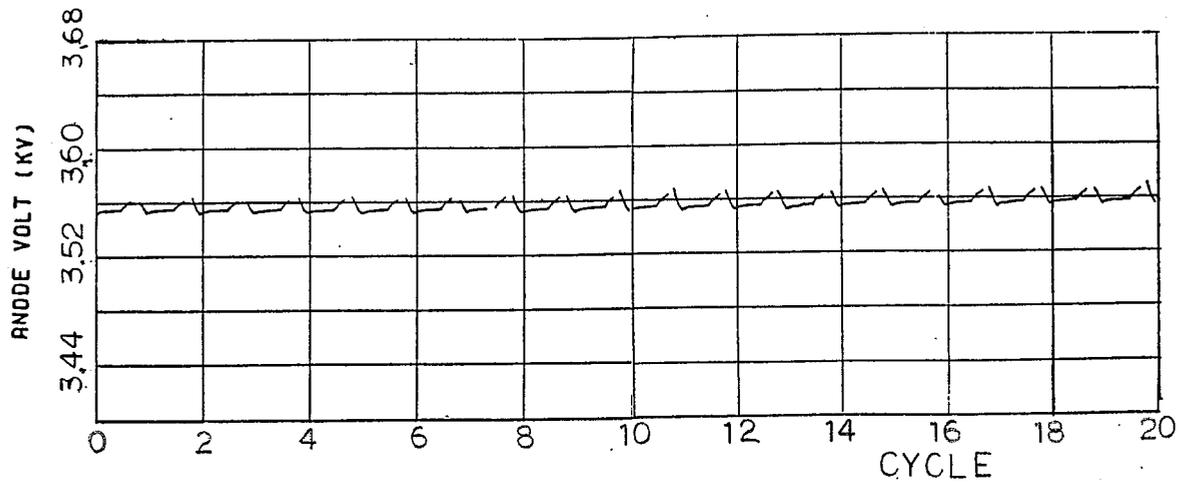
(注2) 無励振のためヘリックス電流が減少

図6 中継器B系統試験結果 (60年 4月23日～ 5月23日)

ヘリックス電流



アノード0電圧



(注1) フィラメント電力100%で運用

(注2) 無励振のためヘリックス電流が減少

表1. 熱シャントを取り付けた進行波管電子銃部外圍器等の温度
(真空中)

	A 系 統		R 系 統		B 系 統	
	ビーム有	ビーム無 (フィラメント スタンバイ)	ビーム有	ビーム無 (フィラメント スタンバイ)	ビーム有	ビーム無 (フィラメント スタンバイ)
電子銃部外圍器温度 (a)	52 °C	46 °C	67 °C	55 °C	56 °C	51 °C
電子銃近傍北面パネル温度 (b)	47 °C	44 °C	51 °C	46 °C	46 °C	47 °C
温 度 差 (a - b)	5 °C	2 °C	16 °C	9 °C	10 °C	4 °C
フィラメント電力(95%値)	4.38 W		4.52 W		4.43 W	

注1. 熱シャントを取り付けた進行波管の電子銃部外圍器の温度は全て70°C以下となっている。

注2. 熱シャントを取り付けていない進行波管の電子銃部外圍器の推定温度は大気中で約70°C、

真空中では約90~115°C (電子銃近傍北面パネル温度が45°Cの場合)。

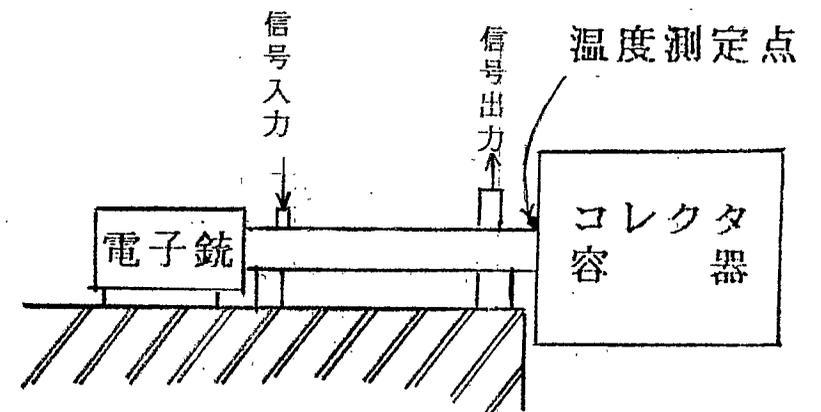
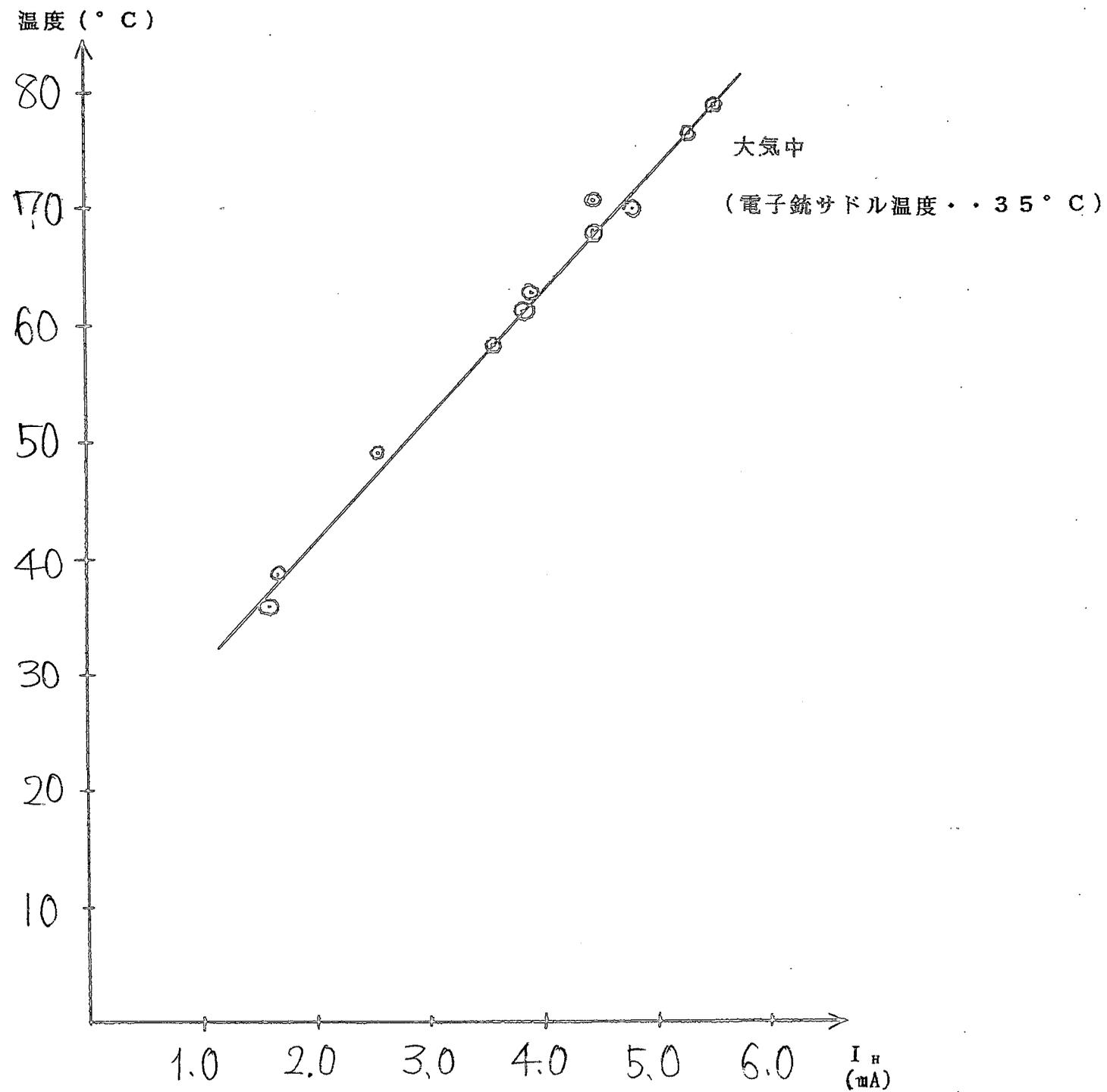


図7 第1回目の確認試験において不具合を生じたB系統の
ヘリックス電流とドリフト管近傍の温度

表2. 1食期間(40サイクル)中における偶発的
送信断現象(SSO)発生回数の推移

(1) BS-2b中継器(熱真空試験)

	第 1 回 目	第 2 回 目
A 系 統	8	4 (注)
B 系 統	22	7
R 系 統	5	1 (注)

(注) 20 サイクルでの試験

(2) BS-2a中継器(軌道上の食)

	59年秋の食	60年春の食
B 系 統	39	19