

通信放送技術衛星「かけはし」(COMETS)の 第3回軌道変更の結果について

平成10年5月13日
宇宙開発事業団

1. 概要

通信放送技術衛星「かけはし」について、平成10年5月6日に第3回軌道変更のためのアポジエンジン噴射を実施したので報告する。

2. 軌道変更の目的

7回の軌道変更により、遠地点高度約17,700km、近地点高度約500kmの2日9周回の準回帰軌道に投入することを目指している。今回は、その内の第3回目の軌道変更である。

3. 軌道変更作業の状況

海外局の支援を受けながら準備作業を進めた。アポジエンジン噴射時は、チリ大学サンチャゴ局との短時間の通信リンクの間に実施した。結果は、良好であった。

アポジエンジン噴射開始時刻 : 平成10年5月6日 17時53分
(日本標準時)

アポジエンジン噴射時間 : 10分間

支援を受けた海外局 :

NASA局 : ゴールドストーン(米国西海岸)、キャンベラ(豪東海岸)

CNES局 : クールー(南米ギアナ)、
ハートビーショク(南アフリカ)

チリ大学局 : サンチャゴ(南米チリ)

なお、NASDAの沖縄、増田、勝浦の各宇宙通信所が参加した。

4. 軌道変更の状況

10分間のアポジエンジン噴射により、ほぼ目標通りの軌道に投入できた。

	軌道変更前	軌道変更後	目標値
遠地点高度	約2487km	約4008km	(約4019km)
近地点高度	約395km	約436km	(約436km)
軌道傾斜角	約30度	約30度	(約30度)
周期	約115分	約132分	(約132分)

5. 軌道変更時のアポジ推進系の性能

軌道変更時のアポジ推進系の性能は、前回値と変化なく良好であった。

(図1. 参照)

			前回値
推	力	約 1 6 8 2 N	(約 1 6 8 3 N)
比 推	力	約 3 2 2 秒	(約 3 2 2 秒)
燃 焼	圧	約 8. 4 k g / c m ² a	(約 8. 4 k g / c m ² a)

6. 軌道変更前後の衛星の状況

(1) 各機器の状況

アポジエンジン噴射後、再び軌道面垂直姿勢に戻して運用している。

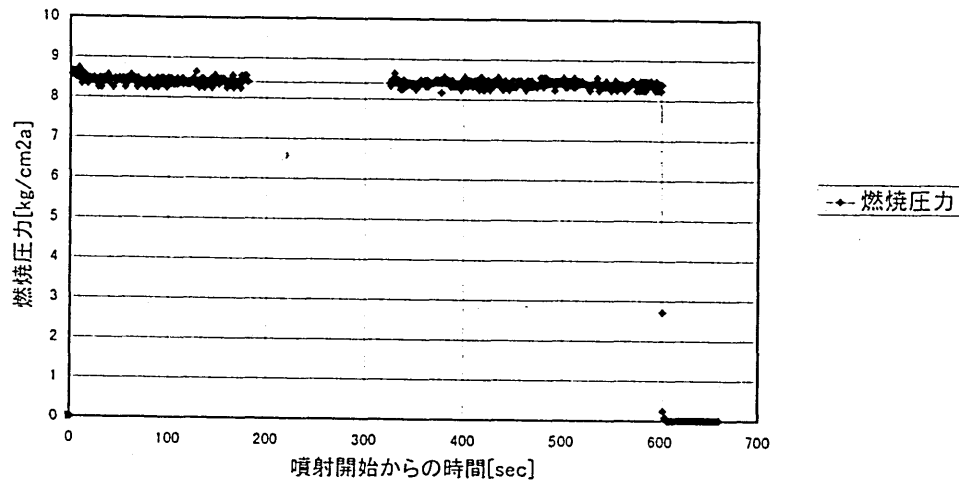
5月7日にジャイロの出力異常による姿勢変動を、また、5月10日に制御パラメータのビット反転による姿勢変動を生じたが、その後衛星の状態は正常である。

(2) 発生電力の状況

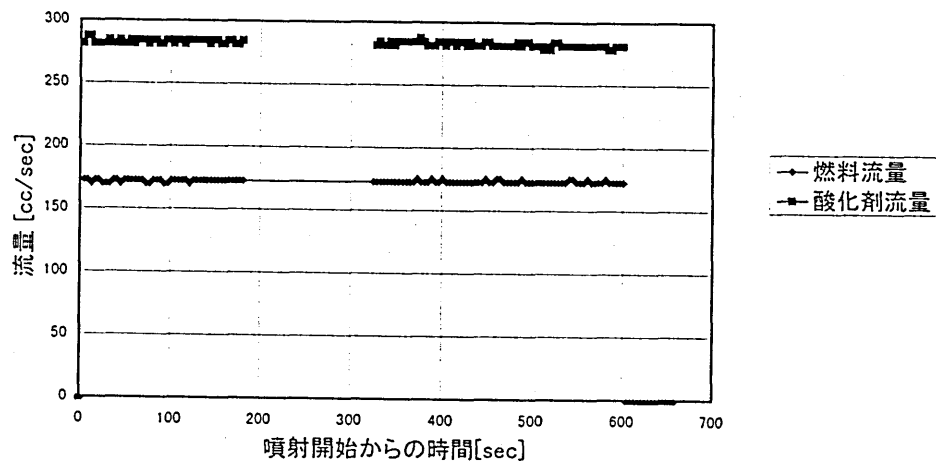
軌道変更前後における発生電力の状況に変化は無く、正常である。(図2. 参照) また、今回の軌道変更運用中に使用したバッテリー電力は5月8日夜に回復した。

図1.「かけはし」第3回AEFアポジ推進系性能

アポジエンジン噴射時の燃焼圧力



アポジエンジン噴射時の燃料、酸化剤流量



アポジエンジン噴射時の推力、比推力

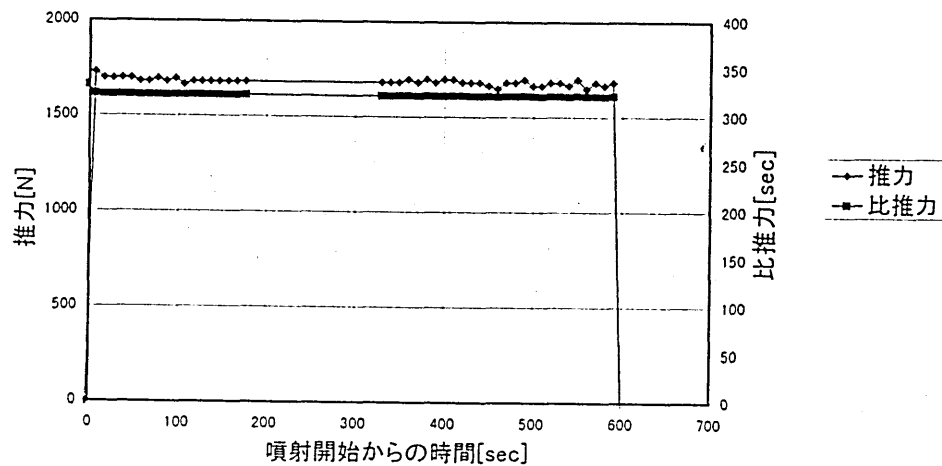
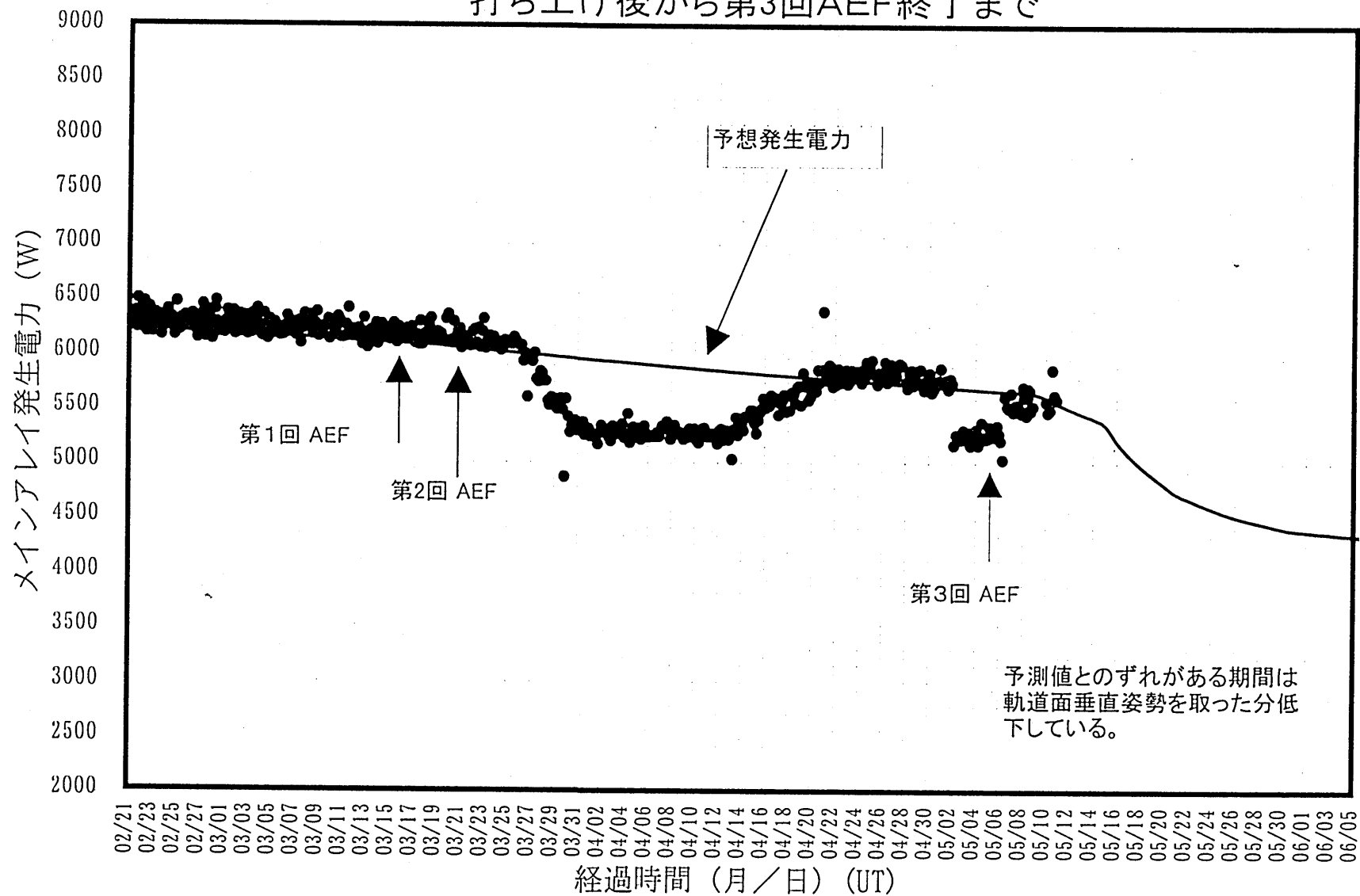


図2. 「かけはし」メインアレイ発生電力の推移
打ち上げ後から第3回AEF終了まで



通信放送技術衛星「かけはし」(COMETS)の
今後の予定について

平成10年5月13日
宇宙開発事業団

1. はじめに

「かけはし」の姿勢制御系について下記事象が発生した。

- ・レート積分ジャイロの出力の一時的な異常
- ・姿勢制御電子回路(ACE)の放射線によるビット反転

これらの事象に対し軌道変更等今後の運用におけるリスクおよびその対策等を検討したので、その結果について報告する。また、この対策等には時間を要するため5月11日に実施予定の第4回軌道変更を延期した。

2. ジャイロ出力異常現象について

2. 1 状 況

「かけはし」はレート積分ジャイロ(以下「ジャイロ」という)を3台搭載しているが、うち2台で運用できる構成としている。この3台のうち、ジャイロ2と3について下記現象が発生した。

- ・4月24日にジャイロ3、5月7日にジャイロ2の角速度出力信号の異常に起因する姿勢変動が発生した。なお、当該ジャイロの設計および構成部品はETS-VI、ETS-VIIと同一である。

2. 2 ジャイロの動作原理

別紙-1に示す。

2. 3 原因調査結果

ジャイロ3および2の出力異常時の特徴的な状況は下記の通りである。

- (1) いずれのジャイロも2軸とも異常な出力であった。
- (2) 通常ほぼ0度/秒を示すはずの出力信号が、0.2~0.6度/秒の範囲でほぼ一定値を示したままとなった。
- (3) 電源を一旦OFFして再立ち上げすることにより正常な出力状態へ復帰した。

原因は究明中であるが、上記の状況から出力信号の異常は下記原因等により生じた可能性が高いと推定している。

- ① S E U (シングルイベント) による H I C (ハイブリッド I C) 誤動作
- ② H I C 等部品の不安定動作

2. 4 今後の運用へのリスク

衛星の機能・寿命に大きな影響を与える可能性があることから、そのリスクについて検討した。

(1) アポジエンジン噴射時およびその前後の 5 0 N スラスト使用中にジャイロの異常動作が再度発生した場合のリスク

- ① ロール軸およびピッチ軸の制御はこの間 5 0 N スラストで行うため、ジャイロが異常動作した場合、同スラストが連続噴射し、異常発生から約 2 7 秒でジャイロの極性保証範囲を超えるレートとなり、衛星の姿勢が収束できずに衛星としての機能を喪失する可能性がある。
- ② 5 0 N スラストが相当時間連続噴射した場合、姿勢復帰までを含めると多量の燃料を消費することとなり、通信実験実施のための燃料を確保できなくなる可能性がある。

(2) 1 N スラストによる制御時(上記(1)以外の時期)にジャイロの異常動作が再度発生した場合のリスク；

- ① 非可視中に異常が発生した場合は、約 2 7 分から 7 5 分(軸により異なる)でジャイロの極性保証範囲を超えるレートとなり、姿勢収束が出来なくなり衛星としての機能を喪失する可能性がある。
- ② 1 N スラストが 1 時間連続噴射した場合、姿勢復帰までを含めると燃料消費量は約 1 0 k g と想定され、衛星の寿命に少なからず影響を与えることとなる。

2. 5 リスクに対する対策

今後の運用におけるリスクをできるだけ最小とするため対策を検討した。

(1) アポジエンジン噴射時(前項(1)に対し)

- ① 5 0 N スラスト制御時のロール／ピッチ軸制御はこれまで異常動作を起こしていないジャイロ 1 とする。ヨー軸は 1 N スラストによる制御であり、万一異常が発生しても可視域での対処が可能である。
- ② 5 0 N スラストでの制御時間帯は極力地上局可視とする。但し、近地点近

傍での制御であること、および実験軌道への投入には制御ポイントが限られることから連続可視は望めないためリスクは存在する。

③ 異常に対応した判断基準、手順およびコマンドを準備する。

(2) 通常運用時（前項(2)に対し）

① 異常発生時にアラーム音等で知らせる機能を設定する。

② 異常に対応した判断基準、手順およびコマンドを準備する。

③ 可能な限り可視局を確保し、モニタを強化する。

④ 軌道変更終了後速やかに再プログラム等を構築し、ジャイロの異常現象を自動的に検出し、切り替える機能を付加する。

3. ACE RAM領域のビット反転について

3. 1 状況

4月24日および5月10日にACEのRAM領域のビット反転により衛星の姿勢変動を生じた。

3. 2 ACE RAM領域の構成

別紙-2に示す。

3. 3 原因調査結果

設計時点において放射線によるビットの反転を自動訂正する機能を有しているが、下記の原因によりこの自動訂正が正常に行われていないものと推定されている。

① 主系メモリまたはパリティメモリの故障

② エラー訂正機能の故障または異常動作

3. 4 今後の運用におけるリスク

メモリ内のクリティカルなビットに反転が発生する確率を下記に示す。

① 冗長系へ切り替わり太陽捕捉モードへ移行する確率 1回／202日

② 地上支援を必要とする異常が発生する確率 1回／224日

3. 5 リスクに対する対策

① 第4回軌道変更実施前までにビット反転に対する自動訂正機能を付加する。

② 異常に対応した判断基準、手順およびコマンドを準備する。

なお、現在のところ、これら対策の準備には5月中旬まで掛かる予定であり、第4回軌道変更は5月20日以降に遅らせる必要がある。

4. 軌道変更実施時期の遅れによる影響

ジャイロの異常事象については、衛星のハードウェアに対処をとることは困難なため、一定のリスクは伴うが、運用により対処することとする。また、RAM領域のビット反転については対策が出来次第、第4回軌道変更を実施することとする。

4. 1 今後の運用への影響

軌道変更を延期することにより下記のリスク等が増加する。この観点から第4回以降の軌道変更を速やかに実施することが望ましい。

① 有効寿命を過ぎた機器等

- ・ N T O の貯蔵寿命：3月23日に寿命切れ
- ・ 気蓄器の加圧寿命：4月4日に寿命切れ
- ・ 高度衛星放送用アンテナ火工品緩衝材：5月3日に寿命切れ

② 発生電力の低下

現在の軌道は運用軌道に比べ太陽電池セルの劣化に影響を及ぼす電子線粒子数が多いため、なるべく速やかに軌道変更を行うことが望ましい。

(別紙－3 参照)

④ S E U (シングルイベントアップセット) 発生確率について

現在の軌道は、陽子線による S E U の発生確率が最も高いため、速やかに軌道変更を実施することが望ましい。(別紙－4 参照)

4. 2 通信実験への影響

軌道変更の実施時期により通信実験の可能期間が影響を受ける。通信実験の観点からは、地上設備の改修後なるべく早く開始できるようにする必要がある。次回の第4回軌道変更が遅れると実験可能期間は早まるため、結果として実験可能期間が短くなる。従って、通信実験実施の観点から早急な軌道変更が必要である。(別紙－5 参照)

なお、前記リスクに対する対策にさらに時間を要することとなった場合は、第4回以降の軌道変更時期を大幅に(約90日間)遅らせることにより、実験時期を確保する案も可能である。この場合は、実験可能期間は短くなり、約3.5ヶ月となる。但し、この案は前記4. 1項で述べたように運用上のリスクが大きいことから、可能な限り採用を避けたい。

5. 今後の予定について

上記2. 5項および3. 5項に示した対策を講じても、なお、リスクは伴うが通信実験を最適な時期に行えるようにするため、なるべく早急に軌道変更作業を開始することとする。しかし、ビット反転に対する再プログラムの完成は、5月中旬に予定されていることから、第4回軌道変更を5月20日以降に実施することとする。

(参考) 当初予定の軌道との運用の違い

「かけはし」は、設計上、静止トランスファー軌道の遠地点でのアポジエンジン噴射(AEF)を予定しており、地上局からの連続可視時間は5時間以上確保できる計画であった。万一、AEF時に衛星の姿勢が約10度変動した場合は、地上からのコマンドによりAEFの停止、ジャイロの切り替え等を行い、かつ、この操作のバックアップとして20度以上変動した場合は自動的にAEFの停止がなされ、衛星の燃料消費を最小限で安全な状態に移行できる計画であった。ところが、現在の低い軌道で、かつ近地点でのAEFにおいては、連続の可視は7分程度しか得られず、地上からのコマンドによる操作が出来ない。

また、静止軌道に上げた後では常時可視であり安全な運用が可能となっている予定であった。また、設計上、異常発生時を除き、ジャイロを使用しないで運用できる制御モードを保有しているが、現軌道では本モードは使用できない。

レート積分ジャイロの動作原理等

図－１はジャイロの動作原理を示したものである。衛星が回転すると、ジャイロはその姿勢を保とうとするためにピックアップとの間の相対距離が変化する。ピックアップで検出した距離を一定に保つよう電流をトルカに流す。この電流値が衛星の角速度に比例することを利用して、角速度信号を出力する。この動作を実施する回路がリバランス回路であり、電源ＯＮ時には一定時間後（ジャイロの回転が安定した後）にこの回路を閉ループとするスイッチが入り、角速度を出力し始める。

本ジャイロはチューンド・ドライ・ジャイロ（TDG）であり、一定の範囲の回転状態では、１台で回転軸に直交する２軸廻りの角速度を検出する。ジャイロの極性保証範囲は１０度／秒であり、これを越す角速度を受けた状態での出力は不定となる。また、ハードウェアとしての耐性は６００度／秒である。

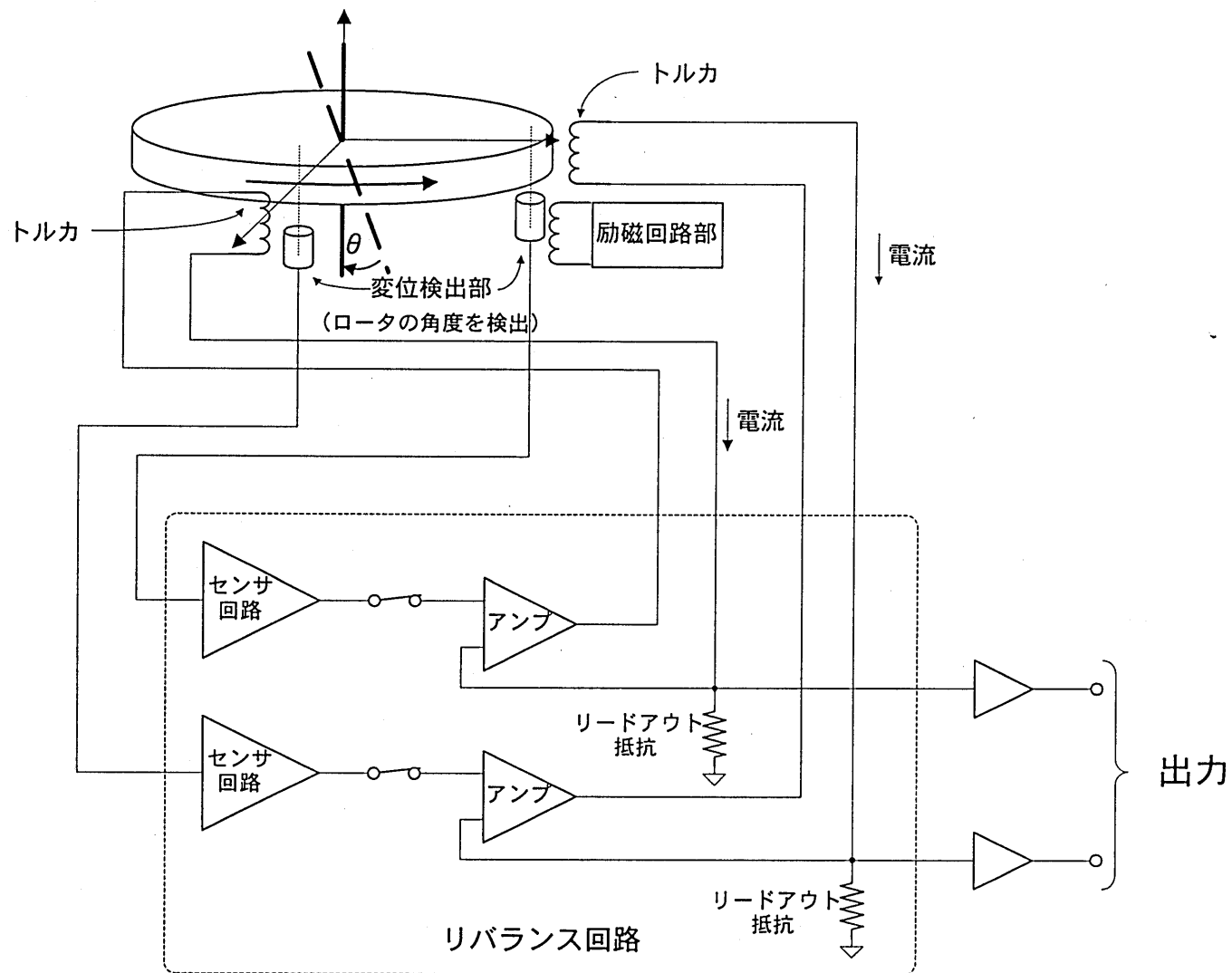
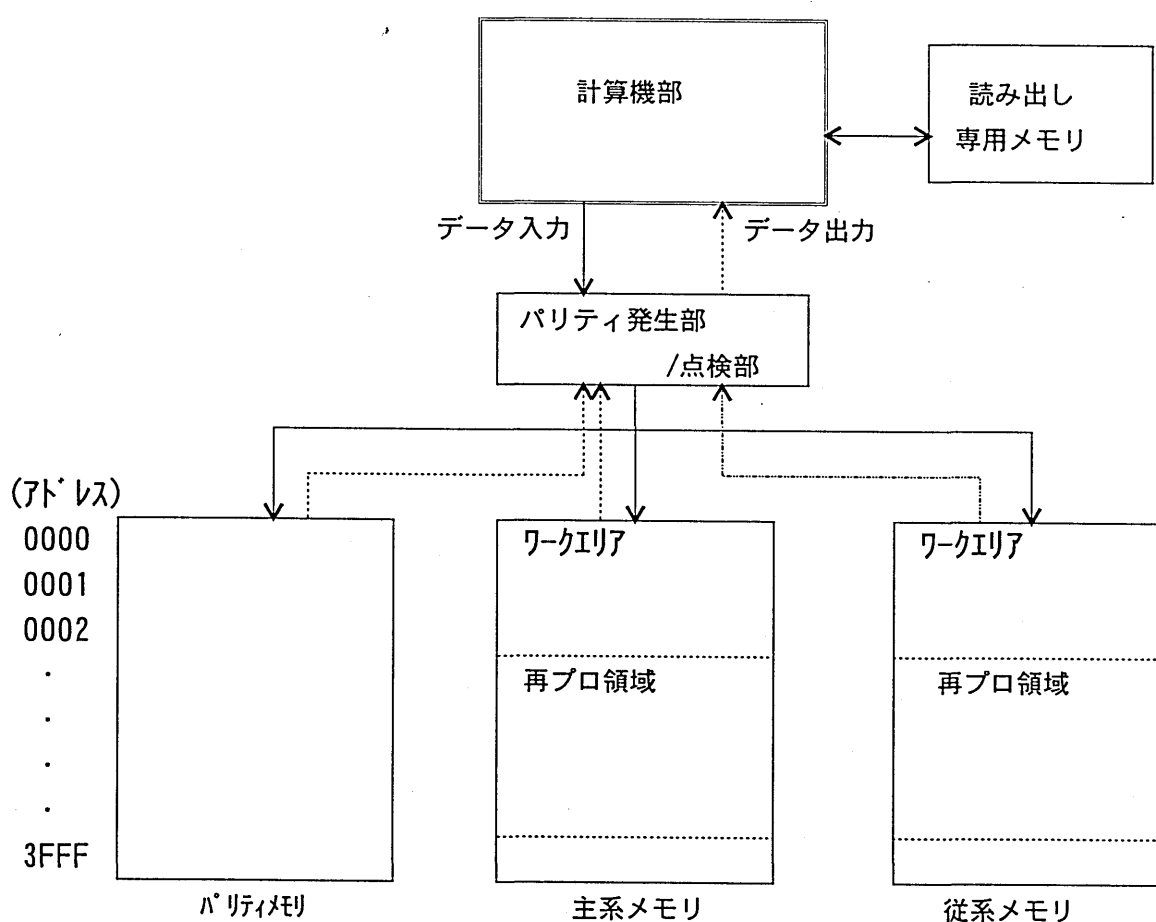


図1 ジャイロの動作原理

ACE RAM領域の構成



書き込み時：主系／従系メモリにデータを書き込むとともにパリティ発生部によりパリティメモリにパリティビットを書き込む。

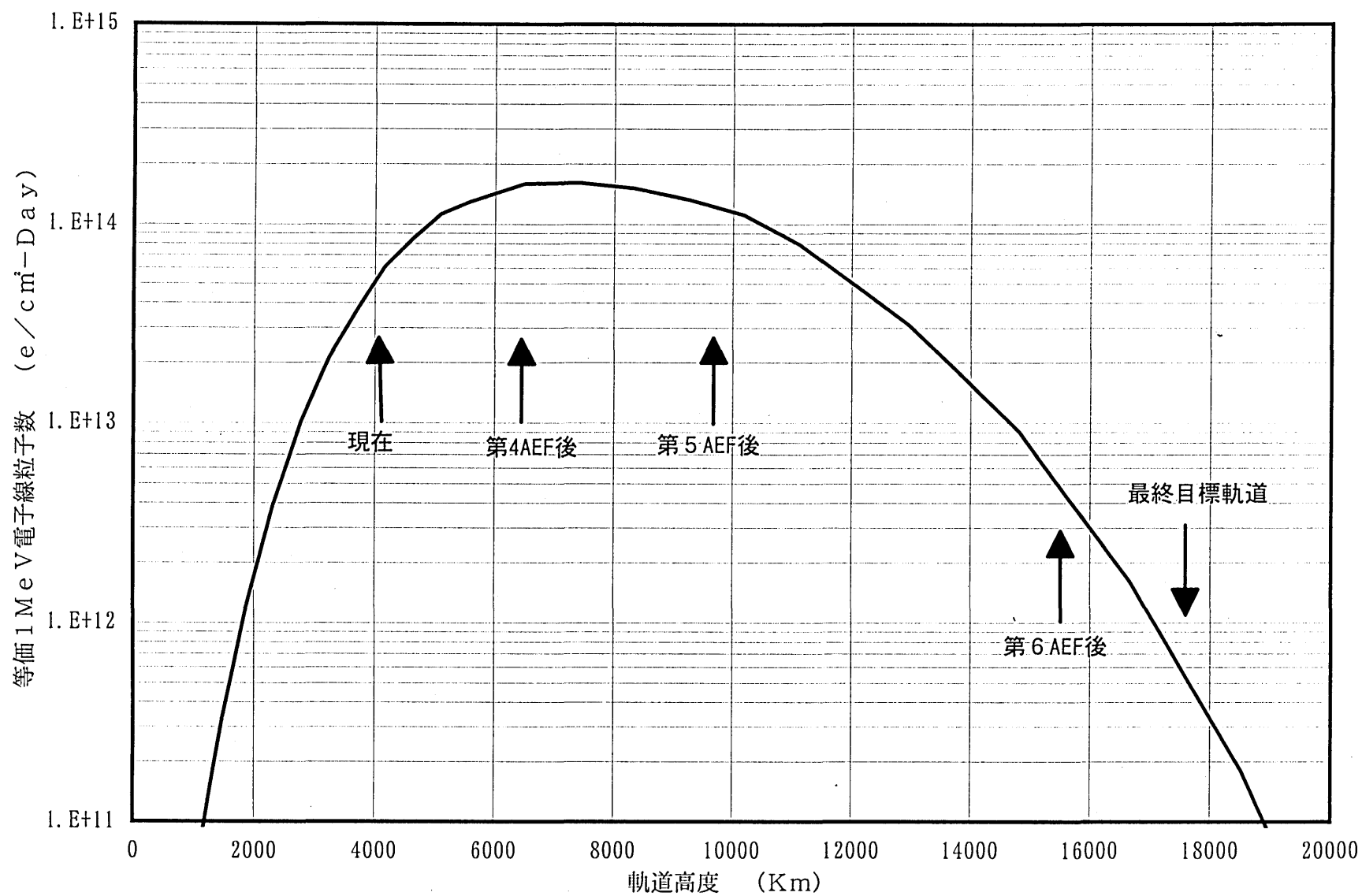
→

読み出し時：パリティ点検部で主系メモリとパリティメモリのデータを確認し、合っていればそのまま出力し、合っていなければ従系メモリのデータを読み出して出力する。

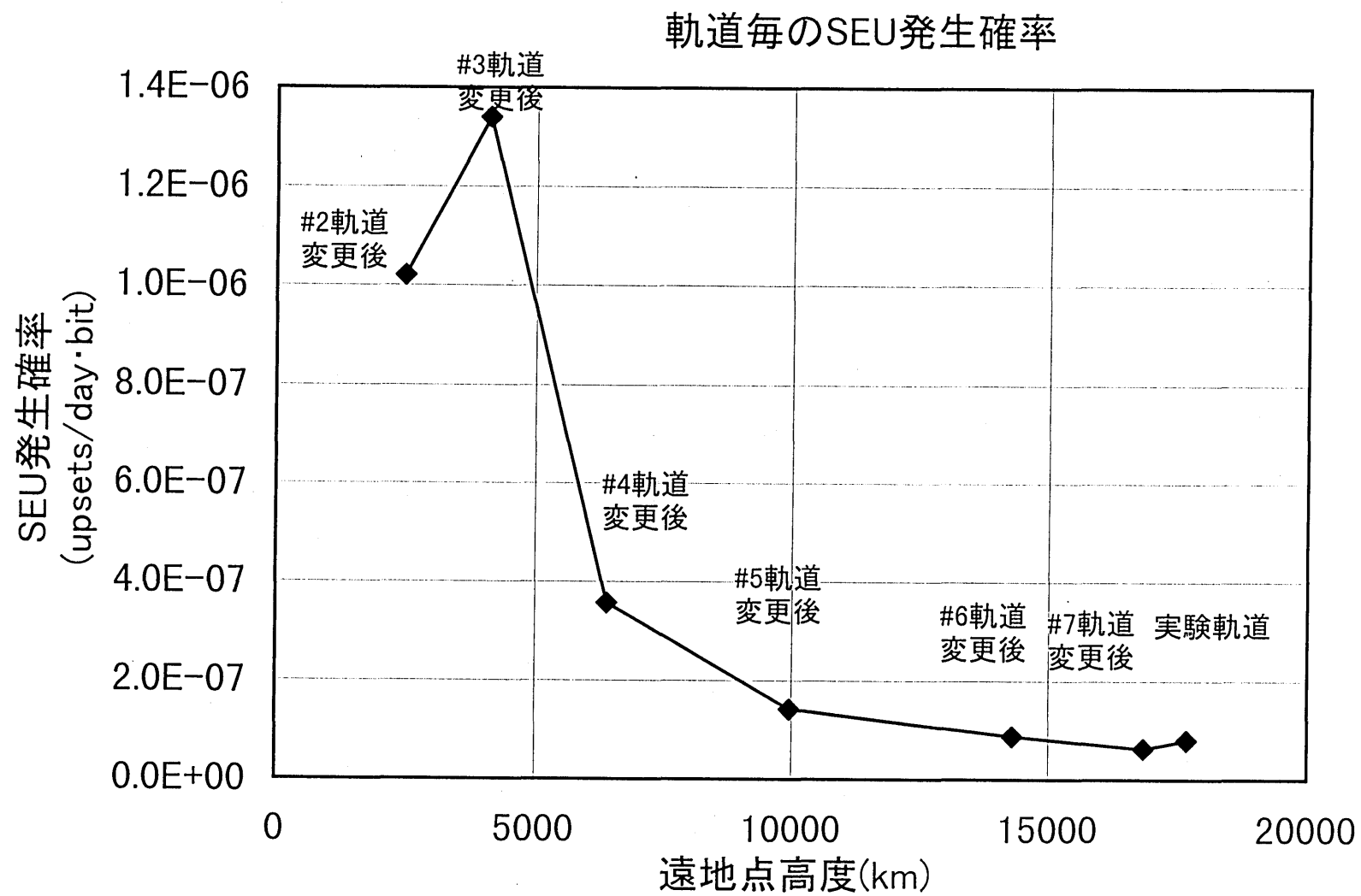
→

→ (従系メモリ読み出し時はパリティ点検は行わない。)

リフレッシュ機能：定期的に上記の読み出し作業／書き込み作業を実施する。これにより、メモリの1ビットのエラーは自動的に訂正される。



各軌道高度における太陽電池セルへ影響を及ぼす放射線量の傾向



(注)但し、近地点高度は400～500kmとする。

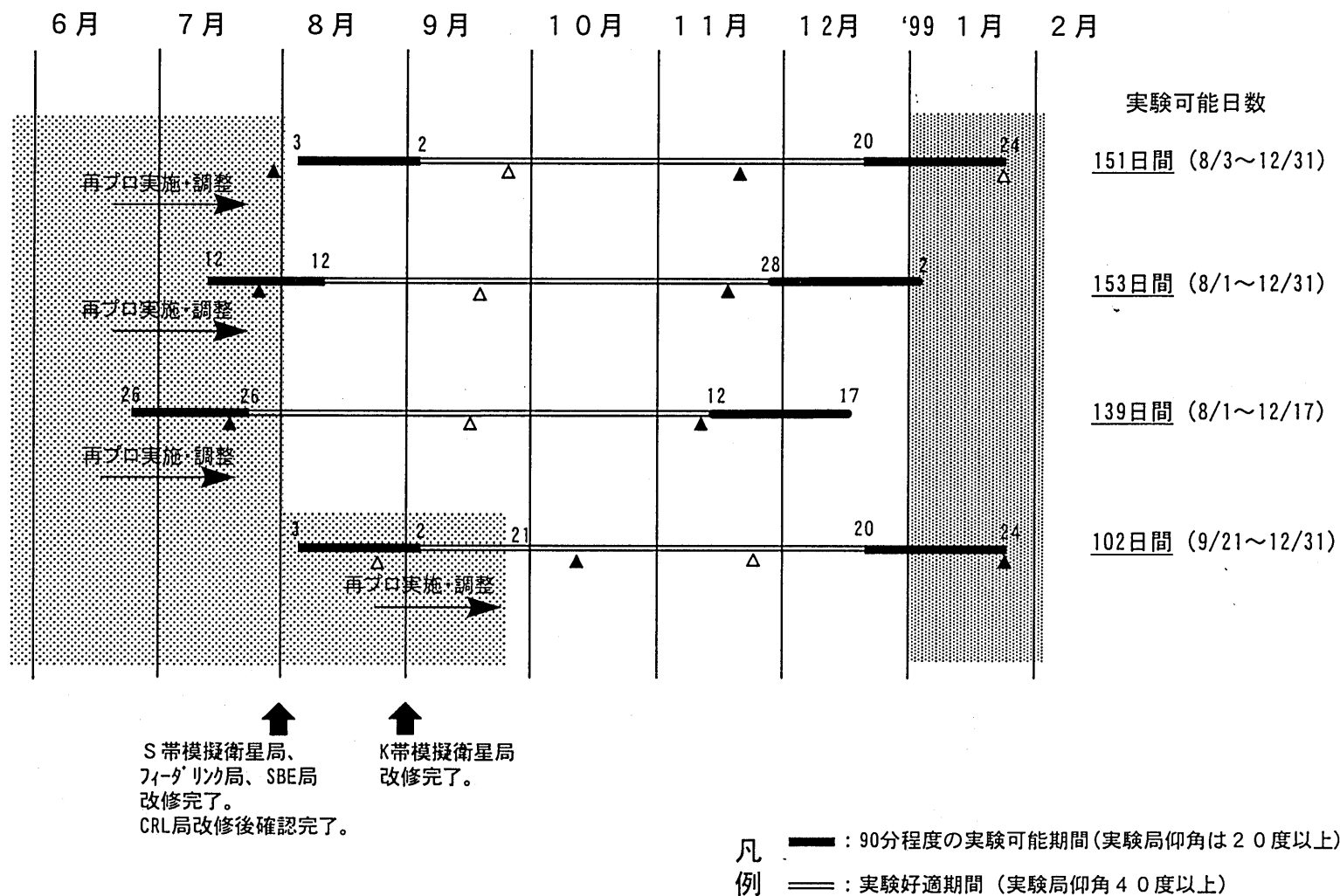
#4軌道制御時期

①現計画
(5/11開始～5/22)

②9日遅れ
(5/20開始～5/31)

③14日遅れ
(5/25開始～6/5)

④90日遅れ*
(8/9開始～8/20)
*実験終了を①に合わせる



第4回軌道変更実施時期と実験期間の比較検討