

委10-1-1

通信放送技術衛星「かけはし」を利用した
通信・放送実験について

平成10年3月4日

郵 政 省

はじめに

去る2月21日に、宇宙開発事業団種子島宇宙センターから打ち上げられた通信放送技術衛星「かけはし」(COMETS)は、H-IIロケット第2段エンジンの第2回目の燃焼時間が予定より短かったため、所定の静止トランスファー軌道への投入に失敗し、静止軌道へ投入されなかった。

このため、郵政省では、衛星開発の成果ができるだけ上げられるよう、周回軌道上で、可能な限り多くの搭載通信機器の機能確認試験や通信・放送実験の実施を目指して、緊急に「COMETS対策会議」(参考)を設置し、関係者と協力して検討を開始した。

同会議では、これまでに3回の会合を開催し、

- (1) 現在の軌道において実施可能な実験
- (2) 通信・放送実験に望ましい軌道及びその軌道において実施可能となる実験

について、以下のとおり検討を行ってきた。

COMETS対策会議におけるこれまでの検討経緯

第1回会合 2月23日(月) 15:00~17:00

- (1) COMETSの状況
- (2) 投入可能な軌道等

第2回会合 2月27日(金) 10:00~12:00

- (1) COMETSの状況
- (2) 通信・放送実験の優先順位
- (3) 実験実施に最適な軌道等

第3回会合 3月 4日(水) 11:00~12:00

- (1) 軌道変更の内容
- (2) 軌道変更後に実施可能な実験

本報告書は、これまでの同会議の検討結果を取りまとめたものである。

第1章 「かけはし」の打上げ経過及び衛星の状況

1. 1 「かけはし」の打上げ

「かけはし」は、2月21日16時55分、宇宙開発事業団種子島宇宙センターから打ち上げられたが、H-IIロケット第2段エンジンの第2回目の燃焼時間が予定より短く、予定された静止トランスファー軌道への投入に失敗し、静止軌道へ投入することができなくなった。

予定燃焼時間		実際の燃焼時間
3分12秒	→	47秒

1. 2 「かけはし」の状況

(1) 軌道

現在、地球を周回する楕円軌道上を飛行している。

3/3 09:00現在

現在の飛行状況		(計画値)
遠地点高度	1,869km	(36,000km)
近地点高度	255km	(250km)
周期	106分	(636分)

(2) 衛星の機能等

太陽電池パドルが正常に展開し、必要な電力が確保されている。

(図1-1参照)

3/3 16:00現在

		(計画値)
発生電力	6,200W	(6,200W)

現在、太陽捕捉モード運用により姿勢は安定しており、ミッション系機器等これまで作動させていない機器を除き、衛星の機能・性能は概ね正常である。

また、バス機器の温度維持、バッテリー放電深度回復を優先したヒータ運用方法がほぼ確立し、安定した範囲に温度制御が可能となっている。

第2章 現在の軌道で実施可能な通信・放送実験

現在の軌道高度では、通信・放送実験用の搭載アンテナを地上局に向けてること及び衛星に向けた地上局アンテナを指向制御することは容易ではなく、長時間にわたって安定した実験用通信回線を確保することは困難である。

このため、現在の軌道では、テレメトリデータを受信することにより、

①バス機器の状態の確認

②中継器動作及び出力電力の確認

など衛星搭載機器の一部機能確認試験を行うことは可能と考えられるが、通信・放送実験を行うことは極めて困難である。

第3章 通信・放送実験に望ましい軌道等の条件

通信総合研究所（CRL）及び利用実験参加機関が行う実験を可能な限り実施できるようにするため、「かけはし」の軌道等の要求条件について、通信総合研究所においてとりまとめた。

- (1) 高度移動体衛星通信機器（MCE）／関東ビーム又は東海ビームの中心が、CRL鹿島宇宙センター方向を向くような姿勢と軌道にしてほしい。
- (2) 高度衛星放送機器（SBE）／関東ビーム又は九州ビームの中心が、CRL鹿島宇宙通信センター方向を向くような姿勢と軌道にしてほしい。
- (3) 上記1と2の条件が満たされる時間をできるだけ長く（可能であれば、2時間以上）確保できること。
- (4) 周期的に、日本から実験が可能となること。
- (5) ビームの指向方向の変動をビーム半値幅程度に抑えること。
- (6) バンアレン帯通過による実験運用制限が少ないこと。（実験運用に対する制限があれば、明らかにしてほしい。）
- (7) 最終の軌道変換後は、3軸確立前にある期間（数週間）太陽指向クルージングモードとすること。（ETS-VIで実施したようなアンテナパターン測定を行うため）
- (8) 遠地点が北半球にある間は、遠地点が日陰にならないこと。
- (9) 地上局施設の改修に要する期間を考慮した実験開始可能時期に、遠地点が北半球に来るようにすること。

第4章 軌道変更の検討結果

4. 1 運用軌道に対する要求条件

通信・放送実験をできるだけ多く実施可能な衛星の軌道について、宇宙開発事業団を中心に検討を行った。検討に当たっては、第3章の各条件に基づき、

- (1) 遠地点高度をできるだけ高くすること
- (2) 特定の近地点高度と遠地点高度の組み合わせにより準回帰軌道とすること
- (3) 軌道の方向や位相を適切に設定し、実験開始時期に遠地点を北半球に設定すること
- (4) 350km以下では、大気の空気抵抗で遠地点の高度が低下する恐れがあること

を考慮し、使用可能な推薬量から、近地点高度約500km、遠地点高度約18,000km、軌道傾斜角約30度をベースラインとして設定した。これを基に、軌道変更計画として詳細な検討を行った。

4. 2 軌道変更計画の検討

- (1) バンアレン帯の影響で、太陽電池の発生電力が大幅に減少していくこと（図4-1参照）
- (2) 通信実験開始時に十分長い可視時間が得られる軌道を選択しても、5ヶ月後には遠地点が南半球に移動し、可視条件が悪化することから、通信・放送実験が可能な時期は、ほぼ本年末頃までと予測される。

準回帰軌道としては、表4-1の候補が考えられるが、可視時間の関係から、より長く実験時間を確保できる2日回帰（9周回）軌道を選択した。

これに基づき、運用期間は、打上げから約9ヶ月間と設定し、姿勢制御用の燃料に最低限の量を配分し、残りの燃料を軌道制御に配分する計画とした。

3月中旬に近地点の引き上げを行った後、7回にわたって遠地点の引き上げを実施し、最終的には、

遠地点高度17,700km、近地点高度500kmの準回帰軌道

へ投入することを目指すこととする。

なお、遠地点高度を上げる噴射回数が多いのは、燃料を長時間噴射すると、近地点から外れた場所での噴射が長くなり、遠地点高度を上げる効率が低下するため1回の噴射時間は10分程度を目安としたためである。

4. 3 軌道制御に伴うリスク

軌道変更にあたっては、

- (1) 有効寿命が切れる機器があること
- (2) 1日最大で13～14回の日照／日陰の熱サイクルを受けながら太陽電池パドルの収納・展開を8回実施すること
- (3) 低い高度では地球センサが使用できないため、軌道変更時の姿勢誤差が通常の10倍程度となること
- (4) 軌道が低く、可視局から断続的にしかモニタできないこと

などのリスクがある。

宇宙開発事業団において、これらのリスクについて、可能な限り低減を図りつつ、軌道変更を実施する。

第5章 変更後の軌道上において実施を目指す通信・放送実験

第4章で検討した軌道において、本年夏頃から年末頃までの間、実施可能となる通信・放送実験について検討を行った。

衛星軌道及び姿勢制御に関する検討状況から、実験可能な時間は1日当たり最大90分間であり、かつ実験期間も大幅に短縮される見込みとなるので、当初予定していた実験項目に優先順位を設定し、実験の実施に向けて地球局の改修及び短時間での測定方法及び手順等を検討した。

表5-1は、実験実施の可能性について示す。可能性のある項目については、実施の優先順位を3段階で示している。

(1) 第1優先順位の実験項目

「かけはし」の搭載機器について、軌道上で特性測定及びその性能評価を最優先で実施する。

その理由は、以下のとおりである。

- ①新たに開発した機器が実際の宇宙空間において機能することを確認し、当該機器の設計、製造、試験の妥当性及び当該技術の宇宙での適用性を検証することができ、将来、様々なシステム構築への貢献を可能とする。
- ②様々な通信・放送実験を実施する前提として、予め搭載機器の特性を測定していることが必要である。

(2) 第2優先順位の実験項目

様々な通信・放送実験を実施するためには、まず衛星搭載機器の特性測定を実施した上で、地球局と組み合わせて実験データを取得することが必要となることから、地球局の特性に関する実験を第2優先順位に分類している。

(3) 第3優先順位の実験項目

マルチメディア移動体衛星通信、パーソナル衛星通信、地域別衛星放送、統合デジタル衛星放送、超高精細度テレビジョン放送等のように、様々な観点からの評価が必要なものについては、実験実施時間の制約のために、当初想定していたような実験結果を得ることは難しい。画像伝送及び高速データ伝送を単発的に試みるために、第3優先順位と分類している。

(4) 実施が困難な実験項目

降雨による電波伝搬特性や移動体における電波伝搬特性のように、単発な測定は可能であるが、継続的に実施しなければ統計的に意味のある実験結果が得られないものについては、実施困難である。

なお、23GHz帯ビーコンは、グローバルビームで姿勢変動に強いため、例外的に第3優先順位の範疇に分類している。

利用実験は、これらの結果を踏まえて、通信総合研究所、宇宙開発事業団、COMETS通信・放送実験実施協議会等において、今後調整する。

なお、搭載機器の軌道上評価試験の測定及びその所要時間について、併せて検討した結果は、表5-2のとおりである。

第6章 実験開始までに、更に検討すべき事項

通信・放送実験の実施までの間に、以下について検討が必要である。

(1) 実験施設の改修

通信・放送実験を実施するためには、主局アンテナの駆動の高速化、周波数偏移（ドップラーシフト）補償機能の付加、地上ソフトウェアの変更等地上実験施設の改修の準備を行う。

なお、CRLが保有するCOMETS地球局及びアンテナの主要諸元を、表6-1に示す。

(2) 実験実施計画の検討

移動体衛星通信、衛星放送、さらに、衛星間通信実験、それぞれの実験実施における制約条件や軌道変更の結果を考慮して、関係者により、速やかに実験実施計画の見直しを行うこととする。

おわりに

通信放送技術衛星「かけはし」(COMETS)により、情報通信の高度化、多様化に資する様々な高度移動体衛星通信実験及び衛星放送実験が実施され、その成果を通じた早期の実用化に大きな期待が寄せられていただけに、この衛星を静止軌道へ投入できなくなったことは、誠に残念なことである。

今後、郵政省としても、衛星の状況を踏まえ、周回軌道において可能な限り実験を実施するなど、関係者と協力して最大限の成果があげられるよう本対策会議において検討を努めてきた。

これまでの検討の結果から、「かけはし」を利用した通信・放送実験を実施する上で、制約が大きいことが明らかになったが、そうした制約の下で最大限の努力を傾注する所存である。

今後、「かけはし」が目標の軌道に投入され、なしうる限りの実験が実施されるよう強く期待する。

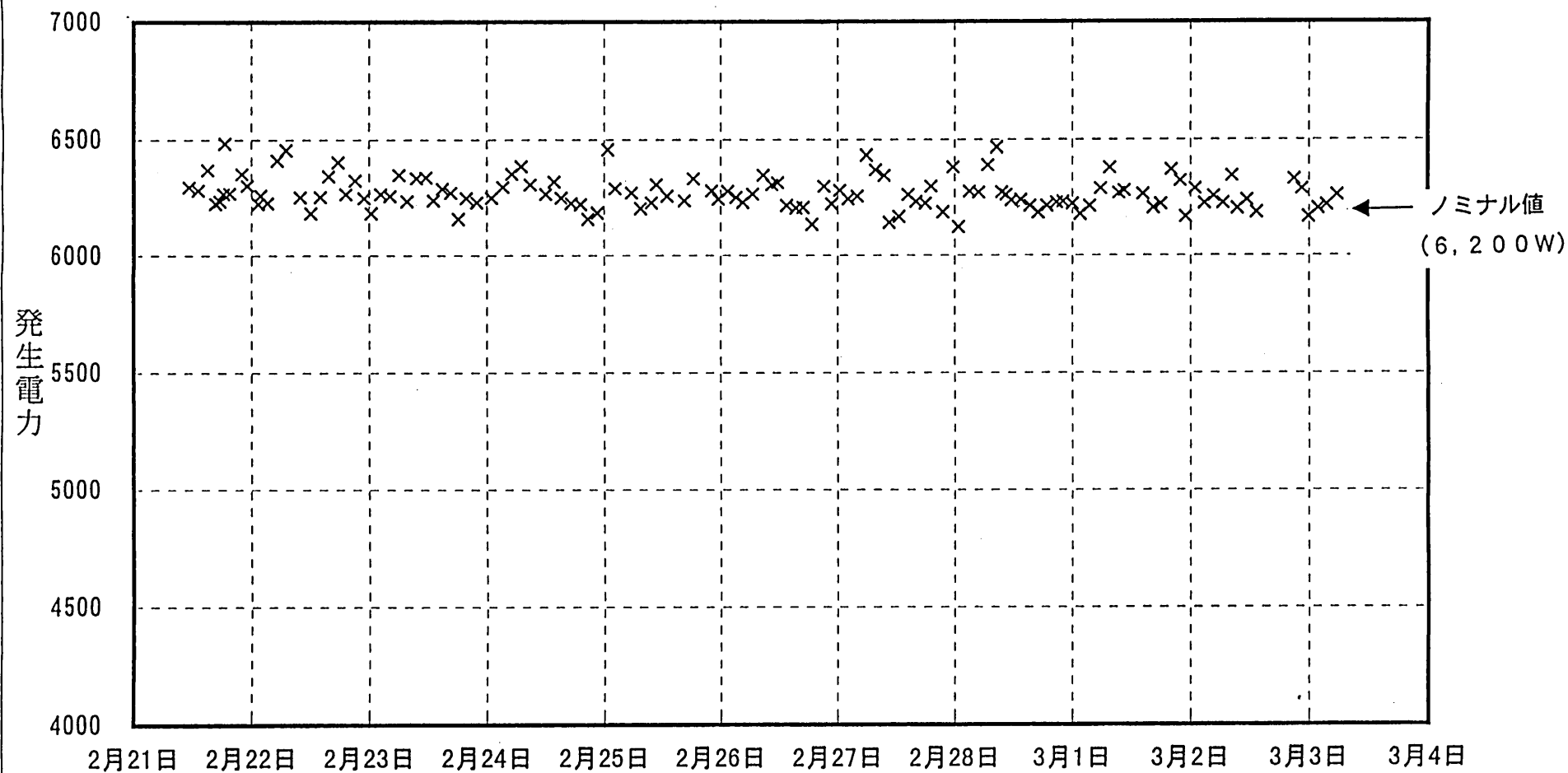


図1-1 「かけはし」の発生電力の推移

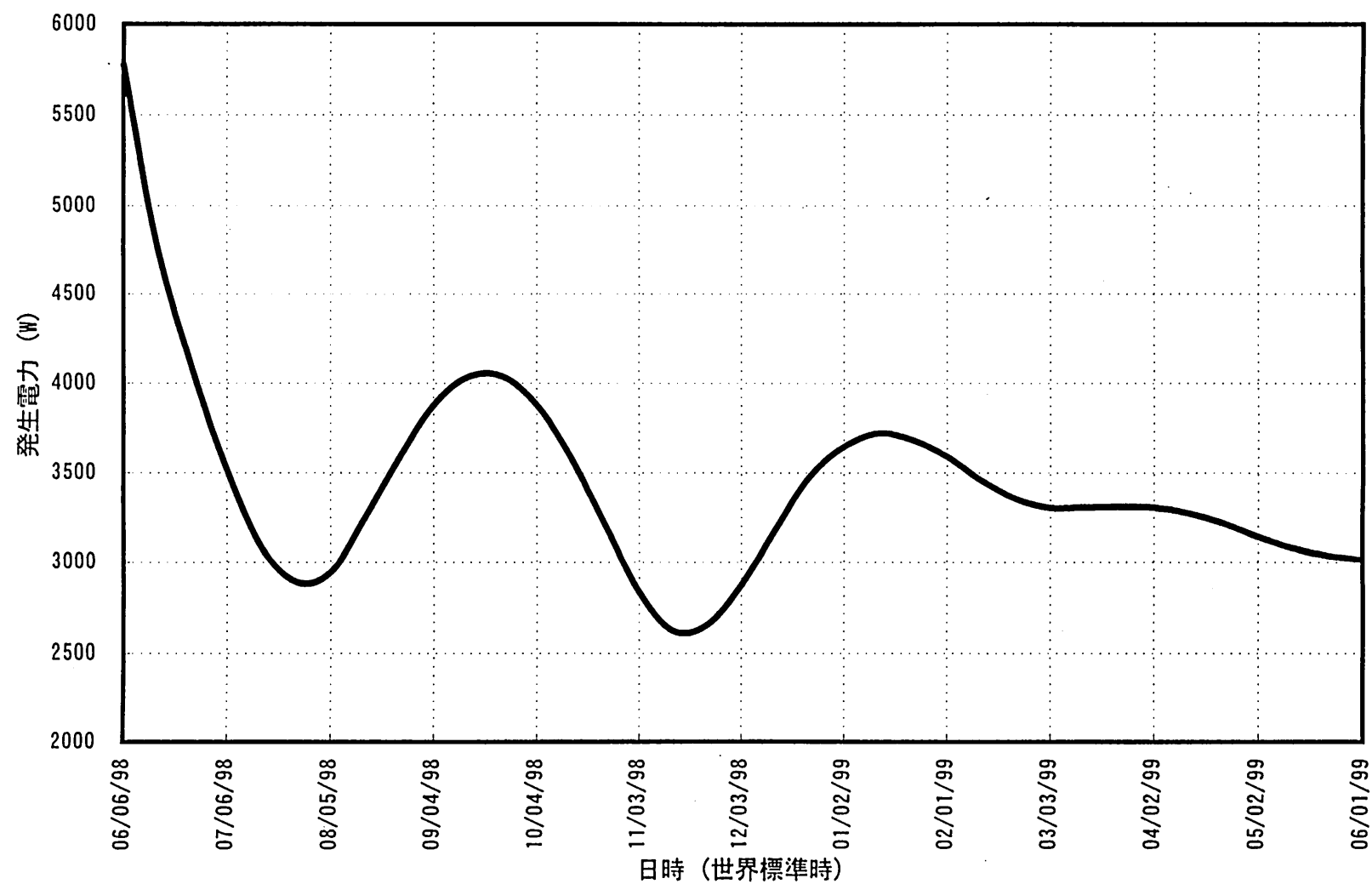


図4-1 「かけはし」の運用軌道投入後のメインアレイ発生電力予測

表 4 - 1 運用軌道のトレードオフ

ケース (注1)	遠地点高度 (km)	姿勢制御 可能期間	通信実験可能期間 (注2)	回帰日数 (周回数)	実験運用可能時間 (1回帰あたり)	実験運用可能時間の総計 (分)(注3)
1	18,500	5ヶ月	5ヶ月	3日 (13周回)	100分	$150 / 3 \times 100 = 5000$ 分
2	17,700	6ヶ月	5ヶ月	2日 (9周回)	90分	$150 / 2 \times 90 = 6750$ 分
3	16,900	9ヶ月	5ヶ月	3日 (14周回)	80分	$150 / 3 \times 80 = 4000$ 分
4	15,600	12ヶ月	5ヶ月	1日 (5周回)	40分	$150 / 1 \times 40 = 6000$ 分

注1: 近地点高度は、全ケース500kmである。

注2: 遠地点が、約10ヶ月で360度回転するので、必要な可視条件はどの軌道でも実験開始後5ヶ月を過ぎると急激に悪化する。また、その後可視条件が良くなったとしても、その時点では太陽電池の劣化により電力が不足し通信実験を行うことは出来ない。従って、どのケースにおいても運用可能な期間は、共通して5ヶ月となる。

注3: 通信実験の可能な期間は、各ケースとも5ヶ月のため、 $30日 \times 5ヶ月 = 150日$ となる。また、実験が可能な日(衛星が遠地点付近で地上局アンテナの指向可能範囲を通過する周回のある日)は、1回帰あたり1回(1周回)であるため、実験可能な周回数は150日を回帰日数で割ったものとなる。これに1周回あたりの実験運用可能時間をかけたものが、実験可能時間の総計となる。

表 5 - 1 通信・放送実験の実施可能性

優先順位 1 > 2 > 3

× 実施が困難

1	高度移動体衛星通信実験		実験内容	備考
1-1	搭載機器軌道上評価実験			
(1)	衛星搭載アンテナの特性	1	アンテナ利得、アンテナ放射特性、 関東・東海ビームクロスポイントに おける利得特性	各種実験の基礎データとして重要
(2)	衛星搭載アンテナの指向性制御特性	×	搭載アンテナの自動追尾指向精度、 オフセット追尾指向精度の測定	高精度な指向制御が困難
(3)	衛星搭載中継器の特性	1	入出力特性、再生中継器ビット誤り 率特性、ビーム間接続特性等の測定	各種実験の基礎データとして重要
1-2	高精度姿勢予測に関する実験	×	搭載アンテナを自動追尾させた状態 での衛星の姿勢予測実験	高精度姿勢制御が困難。
1-3	地球局の特性に関する実験	2	衛星を用いて、主局、車載実験局の 特性を測定	各種実験の基礎データとして重要。 地上施設で測定可能なものにつ いては地上のみで測定。
1-4	電波伝搬特性に関する実験	×	Ka帯、ミリ波での降雨減衰特性の測 定	継続的な測定が困難。
1-5	移動体衛星通信に関する実験	3	車載局走行時の通信品質、アンテナ 制御、ドップラ対策技術の評価	継続的な測定が困難。単発的な実 験は試みる。
1-6	高度衛星通信システム技術に関する実 験	3	携帯局の性能確認、各種通信方式の 評価実験	継続的な測定が困難。単発的な実 験は試みる。
2	高度衛星放送実験			
2-1	搭載機器軌道上評価実験			
(1)	衛星搭載アンテナの特性	1	アンテナ利得、アンテナ放射特性、 関東・九州ビーム間の分離度の測定	各種実験の基礎データとして重要
(2)	衛星搭載機器の特性	1	中継器の入出力特性、広帯域周波数 特性等の測定	各種実験の基礎データとして重要
2-2	電波伝搬特性に関する実験	×	21 GHz帯の降雨減衰特性の測定	継続的な測定が困難。
2-3	電波の受信等に関する実験	×	マルチビームアンテナ内受信信号品 質評価、干渉等の測定	継続的な測定が困難。
2-4	21GHz帯高度衛星放送基盤技術の実験	3	デジタル変復調及び誤り訂正技術 評価実験、スタジオ品質HDTV、立 体HDTV、地域別衛星放送等のため の伝送実験	継続的な実験が困難。単発的な実 験を試みる。
3	その他の実験			
3-1	KFBを用いた電波伝搬特性に関する実 験			
(1)	電波伝搬特性測定実験	3	23 GHzのビーコンによる降雨減衰 特性の測定	継続的な測定が困難。単発的な実 験を試みる。

表 5 - 2 、 搭載機器の軌道上評価試験の測定項目及び所要時間（見積もり）

1 高度移動体衛星通信実験

測定項目	延べ時間	備考
I アンテナ特性		
I-1 アンテナ放射特性		
(1) Ka帯関東ビーム	70 分	35分×2回
(2) Ka帯東海ビーム	70 分	35分×2回
(3) ミリ波関東ビーム	70 分	35分×2回
I-2 広角アンテナ放射特性	60 分	太陽指向クルージングモード
II 中継器特性		
II-1 入出力特性（I F 中継器）	50 分	10分×5ルート
II-2 入出力特性（再生中継器）		
(1) 上り回線	45 分	15分×3ルート
(2) 下り回線	60 分	15分×4ルート
II-3 再生中継器回線制御機能	160 分	40分×4ルート
II-4 送信周波数	50 分	10分×5ルート
II-5 振幅周波数特性	70 分	10分×7ルート
II-6 帯域内スプリアス	70 分	10分×7ルート
合計	775 分	

注：測定時間には、ルート切替等衛星側の制御に要する時間を含んでいない。

2 衛星放送実験

測定項目	延べ時間	備考
I アンテナ特性		
I-1 アンテナ放射特性		
(1) 関東ビーム	70 分	35分×2回
(2) 九州ビーム	70 分	35分×2回
I-2 アンテナ広角放射特性	60 分	太陽指向クルージングモード
II 中継器特性		
II-1 送信EIRP、入出力特性、受信C/N	140 分	10分×14ルート
II-2 帯域内スプリアス	140 分	10分×14ルート
II-3 キャリア近傍雑音、変換周波数	140 分	10分×14ルート
II-4 振幅周波数特性、群遅延	60 分	10分×6ルート
III 増幅器非線形特性	50 分	
合計	730 分	

注：測定時間には、ルート切替等衛星側の制御に要する時間を含んでいない。

表6-1 COMETS用地球局及びアンテナの主要諸元

地球局及びアンテナ	アンテナ 直径	ビーム半値幅 deg. (TX/RX)	追尾方式	指向確度 deg. rms	可動範囲 Az (deg.)	駆動角速度 Az (deg./sec)	可動範囲 El (deg.)	駆動角速度 El (deg./sec)
主局Ka帯地球局	1.8 m	0.42 / 0.52	マニュアル及 びプログラム 追尾	0.1	210 +15.0/-15.9	0.17	44 +11.7/-12.6	0.15
主局ミリ波地球局	1.2 m	0.3	マニュアル及 びプログラム 追尾	0.01	210+/-10	0.1	44+/-10	0.1
Ka帯導波管スロット アンテナ	147.9 cm ²	17.0 El, 5.7 Az (TX) 19.5 El, 6.5 Az (RX)	ステップトラ ック	0.5	0 to 360	90	44 +/- 2	半固定
Ka帯フェーズドアレ ーアンテナ	21*12*14 cm	N/A	プログラム	N/A	0 to 360	高速	0 to 90	高速
ミリ波トーラスアン テナ	20 cm	10 El	プログラム	N/A	0 to 360	N/A	45	N/A
SBE主局	5 m	0.302 Az/ 0.201 El	ステップトラ ック	半値幅/10	210 +/- 60	0.005	0 to 90	0.005
SBE車載局	1.8 m	N/A	マニュアル、 電動	0.1	10 to 360	N/A	23 to 60	N/A

(参考)

COMETS対策会議開催要綱

平成10年2月23日

1 目 的

COMETS対策会議（以下、「会議」という。）は、COMETSの状況を踏まえ、通信・放送実験を可能な限り実施するために、実施可能な実験の選定、実験の具体的な実施方策等について検討することを目的とする。

2 検討事項

- (1) COMETSの状況の把握
- (2) 通信・放送実験の実施の可能性
- (3) 実験の具体的な実施方策
- (4) その他必要な事項

3 構 成

会議の構成員は、別紙に掲げるとおりとする。

4 運 営

- (1) 会議は、必要がある時は、構成員以外の参加を得ることができる。
- (2) その他、会議の運営については、会議において定める。

5 庶 務

会議の庶務は、郵政省通信政策局宇宙通信政策課において処理する。

別 紙

COMETS対策会議構成員

(敬称略)

(郵政省通信政策局)

座長 松本 正夫 通信政策局宇宙通信政策課長
最勝寺 潔 通信政策局宇宙通信調査室長

(郵政省通信総合研究所)

鈴木 良昭 通信総合研究所宇宙通信部長
若菜 弘充 通信総合研究所第三研究チームリーダー

(宇宙開発事業団)

樋口 清司 宇宙開発事業団企画室長
柴藤 羊二 宇宙開発事業団計画管理部長
森河 悠 宇宙開発事業団軌道上技術開発システム本部
衛星システム技術部長

(利用実験参加機関代表)

古川 弘志 COMETS通信・放送実験実施協議会会長