

ヘリコプターからの HDTV 伝送（高画質伝送）のための
衛星通信技術に関する調査検討報告書

平成 21 年 3 月

スカパーJSAT株式会社

第1章	調査検討の概要.....	1
1.1	調査検討の目的.....	1
1.2	調査検討会の体制及び運営.....	2
1.3	調査検討会の活動実績.....	3
1.4	調査検討会の活動内容.....	4
第2章	ヘリサットシステムの技術.....	5
2.1	ヘリサットシステムの特徴.....	5
2.2	ヘリサットシステムの現状と将来の展望.....	5
第3章	理論検討.....	7
3.1	システムの基本設計.....	7
3.1.1.	バースト伝送.....	7
3.1.2.	バーストフォーマット例.....	8
3.2	ブレードによる遮断率に適応した送信バースト長及び符号化可変技術.....	9
3.3	バーストデータの最適パラメータ.....	17
3.4	ブレードによる干渉予測.....	25
3.5	理論検討の課題及び課題解決の検討.....	27
3.6	局内折り返し及び衛星システムによる電波伝送試験の実施項目.....	27
3.6.1	試験で使用する無線局.....	28
3.6.2	変調及び復調諸元.....	30
3.6.3	ヘリコプターの基本性能（参考）.....	32
3.6.4	機能確認試験の項目.....	32
第4章	局内折り返しによる機能確認試験.....	36
4.1	モデム等の個別機器による室内単体試験.....	36
4.1.1	キャリア送信タイミング制御の確認試験.....	36
4.1.2	バースト変調器のキャリア ON・OFF 比.....	37
4.1.3	位相雑音.....	38
4.1.4	キャリア周波数及びキャリアレベル安定度.....	39
4.1.5	電波の質（占有周波数帯幅、スプリアス発射の評価）.....	41
4.2	送信系システムの室内組み合わせ試験.....	43
4.2.1	変調精度確認試験.....	43
4.3	受信系システムの室内組み合わせ試験.....	44
4.3.1	復調精度確認試験.....	44
4.4	送信系－受信系による総合接続試験.....	45
4.4.1	IF 折り返しによるブレード回転数、遮断率をパラメータとした BER 特性..	45

4.4.2	レベル偏差に対する BER 特性	47
4.4.3	周波数偏差に対する BER 特性	49
4.4.4	トランスレータ折り返しによるブレード回転数、 遮断率をパラメータとした BER 特性	51
4.4.5	送信系－受信系による総合接続試験	53
4.5	その他必要な項目	55
4.5.1	標準方式の BER 特性との比較	55
第5章	衛星システムにおける電波伝送試験	55
5.1	送信系－受信系による総合接続試験	55
5.1.2	ブレード回転数、遮断率をパラメータとした BER 特性	55
5.1.2	レベル偏差に対する BER 特性	58
5.1.3	周波数偏差に対する BER 特性	60
5.1.4	エンコーダ、デコーダを組み合わせた映像伝送試験	62
第6章	総合評価及びまとめ	65
6.1	理論検討	65
6.2	局内折り返し試験	65
6.3	衛星伝送試験	66
6.4	総合評価	66
6.5	まとめ	67
	おわりに	70
	略語・解説	71

付録

試験データ集

第1章 調査検討の概要

1.1 調査検討の目的

広域災害時において、災害現場の映像、救助活動や救急医療画像等の情報を効率的に伝送するためには、ヘリコプターから衛星を通じて画像を伝送するヘリサットシステムを活用した通信手段の確保が有効である。

近年のデジタル放送の普及等に伴い、ドクターヘリや防災ヘリ、さらには放送局の取材ヘリなどから、HDTVクラスの伝送（高画質伝送）を行う需要が高まっているが、ヘリサットシステムにおけるHDTV伝送は、SDTV伝送技術に比べ、伝送速度の高速化のためローターブレードのブロッキング率に応じて通信効率を最適化するなど、伝送効率の一層の向上を図り周波数を有効利用することが不可欠である。

このため、ヘリサットシステムにおいて HDTV 伝送を行う上で必要となる誤り制御手法や他の衛星への混信防止のための電波輻射特性等の最適化を行い、これらの技術的データを取得し、必要な分析を行うことを目的とする。ヘリサットシステムの概要を図 1.1 に示す。

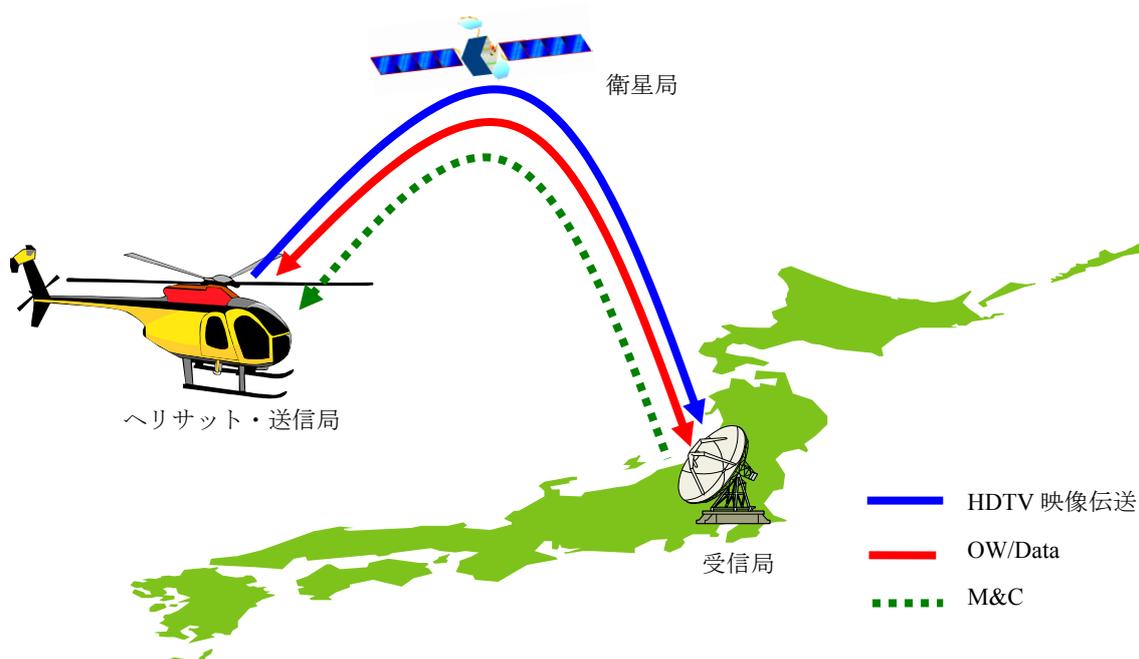


図 1.1 ヘリサットシステムの概要

OW: Order Wire

M&C: Monitor and Control

1.2 調査検討会の体制及び運営

スカパーJSAT 株式会社は、学識経験者、関連する省庁、放送事業者、メーカーの専門家による「ヘリコプターからの HDTV 伝送（高画質伝送）のための衛星通信技術に関する調査検討会」（以下、調査検討会という）を設置し、調査検討活動を実施した。構成員名簿を表 1-1 に示す。

表 1-1 調査検討会の構成員（敬称略、順不同）

氏名	機関／所属名
(主査)	
水野 秀樹	学校法人 東海大学 開発工学部 情報通信工学科 教授
(主査代理)	
井家上 哲史	明治大学 理工学部 電気電子生命学科 教授
(委員)	
芦屋 秀幸	国土交通省 大臣官房 技術調査課 電気通信室 課長補佐
竹内 勲	警察庁 情報通信局 通信施設課 専門官（基幹通信） 警察庁技官
大西 弘幸	日本放送協会 技術局 報道施設部 チーフ・エンジニア
木村 好信	株式会社フジテレビジョン 技術開発局 デジタル技術推進室 担当部長
佐藤 正樹	独立行政法人 情報通信研究機構
坂戸 美朝	三菱電機株式会社 IT 宇宙ソリューション事業部 事業部長代理（衛星通信システム統括）
(事務局)	
安藤 清武	スカパーJSAT 株式会社 技術部門 通信技術本部 技術主幹
田島 慶一	スカパーJSAT 株式会社 技術部門 通信技術本部 技術開発部 部長
武田 養造	スカパーJSAT 株式会社 技術部門 通信技術本部 技術開発部 マネージャー
伊東 正道	スカパーJSAT 株式会社 技術部門 通信技術本部 技術開発部 マネージャー
小橋 浩之	スカパーJSAT 株式会社 技術部門 通信技術本部 技術開発部

1.3 調査検討会の活動実績

平成 20 年度における調査検討会の活動実績を表 1-2 に示す。

表 1-2 平成 20 年度 調査検討会活動実績

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
理論検討	<p>(ブレードによる遮断率に適応した送信バースト長及び符号化率可変技術の検討)</p> <p>(バーストデータの最適パラメータの検討)</p> <p>(ブレードによる干渉予測の検討)</p>								
局内折り返し試験 (IF 試験含む)	<p>(地球局システムの評価)</p> <p>(標準方式変復調器 IF ループ試験)</p> <p>(バースト変復調器 IF 折り返し試験)</p> <p>(トランスレータ折り返し試験)</p>								
衛星システムによる電波伝送試験	<p>(衛星実通試験)</p>								
調査検討会			○ (18日)			○ (10日)			○ (5日)

1.4 調査検討会の活動内容

平成 20 年度に実施した調査検討の活動内容を表 1-3 に示す。

表 1-3 平成 20 年度 調査検討の活動内容

調査検討会	活動内容
第一回	<ul style="list-style-type: none">・ 主査選出、主査代理の指名・ SDTV 伝送ヘリサットシステムの紹介及び質疑応答・ 調査検討の実施要領及び計画の議論
第二回	<ul style="list-style-type: none">・ 報告書の目次案の議論・ 理論検討の結果報告と議論（検討項目は以下の通り）<ul style="list-style-type: none">① ブレードによる遮断率に適應した送信バースト長及び符号化可変技術② バーストデータの最適パラメータ③ ブレードによる干渉予測・ 送信地球局の紹介・ 今後の実施計画の議論
第三回	<ul style="list-style-type: none">・ 局内折り返し試験による機能確認試験の結果報告・ 衛星システムによる電波伝送試験の結果報告・ 総合評価の結果報告・ 衛星システムによる電波伝送試験の映像伝送デモンストレーションの実施・ H20 年度調査検討報告書案の審議

第2章 ヘリサットシステムの技術

2.1 ヘリサットシステムの特徴

ヘリコプターはその機動性から、災害・事故等の情報収集において優れた成果をあげており、防災を考える上で必要不可欠ものとなっている。災害時にヘリコプター上から撮影した画像は、防災関係のみならず、放送の素材としてたびたびニュースや番組で取り上げられている。また、平時においてもヘリコプターからの画像伝送は、イベント、スポーツ、番組等に欠かせないものとなっている。

このような画像はヘリコプターに備え付けられた小型無線送信機により地上の中継基地局に向けてマイクロ波を使って送信される（ヘリテレシステム）。中継基地局は、受信した信号をさらに地上ネットワークを経由して所定の拠点まで伝送するが、ヘリコプターからのマイクロ波を受けることが出来るよう全国に数多く展開する必要がある。しかしながら、遠隔地や山岳による遮蔽等、伝送が困難な地域が残ることがあり、このような問題を解決する手段として、衛星を利用するヘリサットが検討されている。

ヘリサットは次のような特徴がある。

◆運用地域に制限が無い

衛星を中継するため、カバーエリアに制約が無く全国どこでも画像伝送が可能

◆中継基地局が不要

①中継基地局の設置・運用に掛かる費用が不要

②中継基地局の操作用員が不要

◆連絡回線が常時利用可能

画像伝送と同様に連絡回線も衛星を中継するため、常時、どこでも利用可能

◆複数運用が容易

災害現場等で複数のヘリコプターが運用する場合、ヘリテレでは中継基地局に備えられたアンテナの数により回線数が制約されるが、ヘリサットでは、衛星中継器が空いている限り何機でも同時伝送が可能

2.2 ヘリサットシステムの現状と将来の展望

ヘリサットシステムは、世界的に見ても一部の軍用ヘリコプターを除いて実用化された例は無い。これは、ヘリコプターの搭載能力（重量、大きさ）に制限があることから、従来の衛星通信機器に比べて大幅な小型軽量化が必要なこと、技術面では回転するブレード間隙をぬって送信する技術やヘリコプターの振動・動揺に耐えながら衛星を自動追尾する技術など解決困難な問題が多くあったためである。小型軽量化に加えて、ヘリコプターの飛行性能を維持するために衛星通信用パラボラアンテナを小型にして投影面積を小さくすることが求められてきた。

アンテナを小型化することは送信能力が制限されることから、送信能力を補うために、より進んだ誤り訂正方式等の採用等、伝送時の要求を低く抑えることが必要となった。HDTV 画像を効率良く圧縮する技術として H.264/AVC により従来の MPEG-2 と比べて 2 倍程度の改善が期待されること等、より少ない帯域・電力で HDTV の伝送ができるような技術の開発も進められてきた。

以上のように、アンテナの小型軽量化や高性能の誤り訂正方式、高効率な画像圧縮技術等、周波数を有効に利用する技術に加えて、これらの新技術が最新の LSI 技術等により機器を小型軽量化が可能となるなど、これらを複合した結果としてヘリサットの利用がより実現性を持つようになった。

今後は、ヘリサットシステムの導入が進むと共に、ヘリサットを前提としたアプリケーション開発が進むものと期待される。

第3章 理論検討

3.1 システムの基本設計

ヘリサット伝送を行うための、伝送諸元、バースト伝送、バーストフォーマットを検討するための基本的な条件を以下に示す。

- 衛星送信アンテナはヘリコプターのブレードの下に配置される。そのため、回転ブレードの間隙をぬって、バースト状に伝送を行う。(ブレード回転同期間欠伝送)
- ヘリコプターブレードは主に4枚であるため、本検討ではブレードを4枚とする。
- ヘリサットのサービスエリアは日本領土とする
- その他、ヘリサットの基本的な条件はSDTV伝送の検討に用いられたパラメータおよび検証された成果を活用する。

3.1.1. バースト伝送

バースト伝送のタイミング例として、消防防災で検討されている機種のうち、最もブレードの回転が遅いシコルスキーS-76B (314rpm) の場合を図 3.1 に示す。

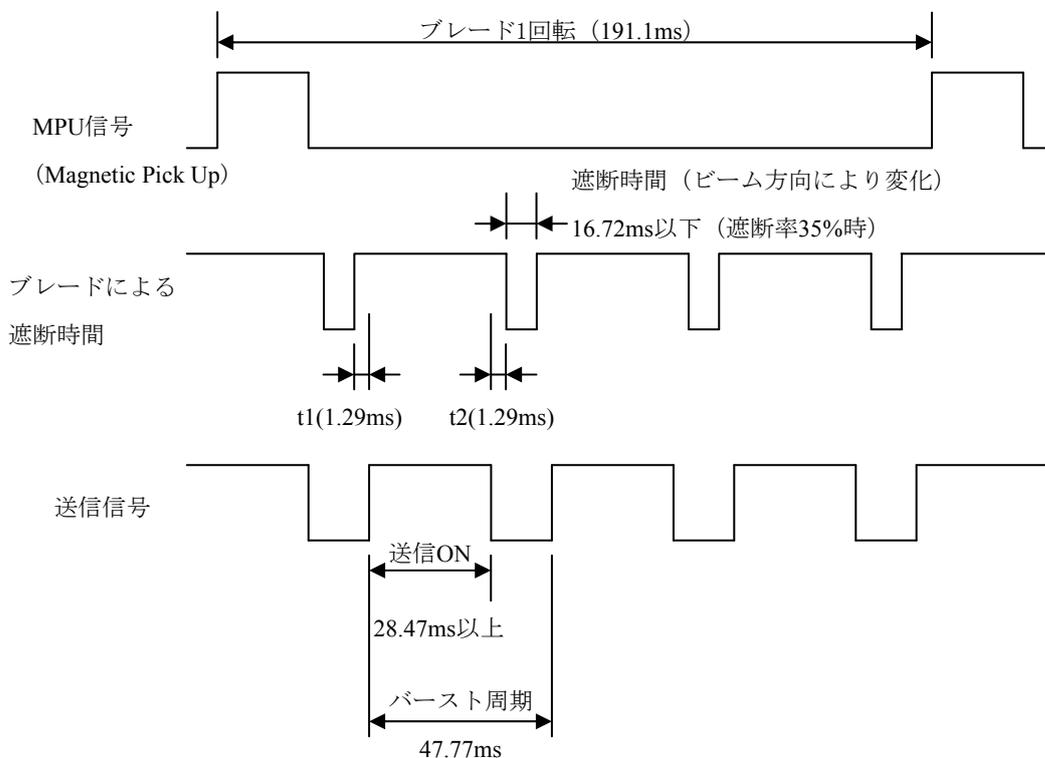


図 3.1 バースト伝送タイミング

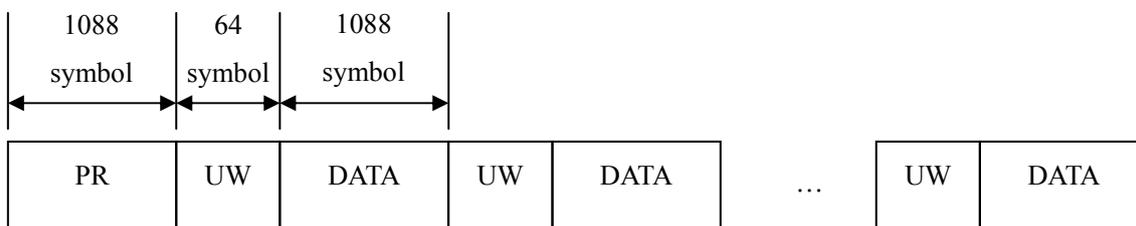
ブレードの間隙をぬって送信するために、ヘリコプターが持っているマグネチックピックアップ (MPU) からブレード 1 回転毎に 1 回出力される信号から、ブレードによる遮断率、MPU の検出誤差、ブレード回転の揺らぎ、検出誤差、その他を加えた送信可能時間が算出される。(この事例では 28.47ms) また、t1, t2 のマージン設定は、SDTV 伝送の検討と同様に表 3-1 の通りに算出した。

表 3-1 t1, t2 マージンの内訳

項目	時間	備考
MPU の検出誤差	0.08ms	
ブレード揺らぎ	1.01ms	ブレードのリードラグ角、ブレード回転時のコーニング誤差、回転周期誤差を含む
マージン	0.2ms	
合計	1.29ms	

3.1.2. バーストフォーマット例

バーストフォーマットは PR 部、UW 部、DATA 部から構成され、各々のシンボル数は図 3.2 の通りである。



PR : プリアンブル

DATA : データ (伝送したい情報を符号化した後のデータ)

UW : ユニークワード (フレーム同期用ビット列)

図 3.2 バーストフォーマット例

3.2 ブレードによる遮断率に適応した送信バースト長及び符号化可変技術

(1) 現在までの検討の経緯と今回の目的

本試験事務においては、上記結果をベースに HDTV 伝送（6Mbps, 10Mbps）の実現において有効な方策の検討を実施する。

ヘリサットで HDTV 伝送(6Mbps, 10Mbps)を実現するためには、SDTV 伝送(1.5Mbps)時に比べ送信データ量を増加する必要があり、このために送信伝送速度の増加及び送信可能な時間の有効利用が望まれる。送信伝送速度を増加する場合、同等の回線品質を得るためには送信電力の増加が必要となるが、ヘリサットでは、ヘリコプター搭載を考慮するとアンテナの大きさ及び送信機の出力能力等が制限されるため、十分な回線マージンを確保することが難しい場合が想定される。よって、送信伝送速度の増加には限界があり、これと合わせて送信可能な時間の有効利用が重要となる。

これより、本節ではブレードによる遮断率に適応して効率の良い伝送を実現する方策について検討する。

(2) 前提条件

ヘリサットに関する検討の前提条件を下記に示す。

このうち(b)、(c)、(d)、(f)は、ヘリコプターの運用に関する事項であり、SDTV、HDTV いずれの伝送方式においても同一と考えられるため、SDTV 伝送の検討において用いられた条件を適用する。

(a) 伝送諸元

- ・ 変調方式 QPSK
- ・ 伝送速度 6Mbps, 10Mbps
- ・ 符号化率 3/4、1/2

(b) ヘリサット運用条件

運用条件を表 3-2 に示す。

(c) ヘリコプターからの撮影方法

ア) 旋回撮影

旋回撮影は右旋回が基本とされており、撮影時の運航条件は以下

- ・ バンク角：10-15°程度
- ・ 高度：500-1500ft 程度
- ・ 速度：40-60kt 程度

イ) 直進撮影

直進撮影時の運航条件は以下

- 高度：1000ft 程度
- 速度：40-60kt 程度

ウ) ホバリング

機体への負担や、騒音等の問題から、あまり行われたい。

ホバリング撮影時は、後方からの風を避けるように機体向きを考える必要がある。

撮影時の運航条件は以下

- バンク角：30°（風による急激な揺れの影響を考慮）

エ) 巡航高度

一般的な巡航高度は 2000-3000ft 程度であるが、高いときには 8000-10000ft 程度の運航があり得る。それ以上の高度の場合、酸素量の問題から航行時間が 30 分未満と制限されていることから、通常の運航における高度は 11000ft が上限となっている。

表 3-2 ヘリサット運用におけるヘリコプターの運航条件（抜粋）

項目	ヘリサット運用条件	単位	備考
飛行最大速度	160	Kt	
最大高度	11000	ft	
バンク角	±30	°	
ピッチ角	±20	°	
角速度条件			
ロール	±30	°/s	
ピッチ	±30	°/s	
ヨー	±30	°/s	
機体加速度条件			
上昇	1000	ft/min at 5sec	
加速（水平）	5	kt/s	
減速（水平）	5	kt/s	
下降	1000	ft/min at 5sec	

(d) ヘリサット搭載条件

ヘリコプターへのアンテナの搭載状態の一例を 19 年度に実施された「消防防災ヘリコプターに搭載する直接衛星通信システムの実用化に向けた共通仕様書策定等に関する検討会 報告書 平成 20 年 3 月」に示されたユーロコプター A365-N3 での検討例を図 3.3 に示す。

アンテナは遮断率をできるだけ小さく抑える為、ヘリコプターのブレード回転中心部からできるだけ離れた場所、かつブレード回転面に近く、機体バランスが確保できる場所に設置することが望ましい。

また、設置された場所からブレード中心方向が最も遮断率が大きくなる方位角度となる。

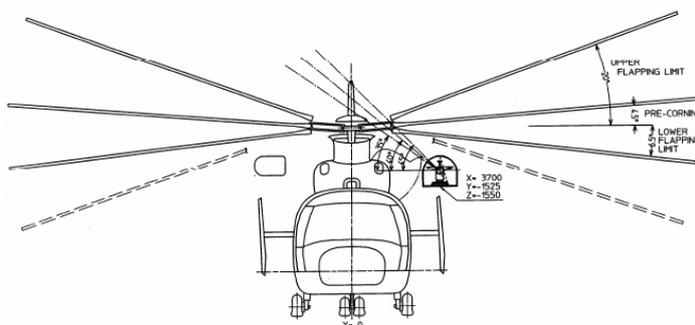


図 3.3 アンテナ搭載例

(e) 使用衛星

ヘリコプターから追尾する衛星として下記国内主要衛星を想定する。

SB-B2、SB-C2、JCSAT-1B、JCSAT-2A、JCSAT-5A

主要な衛星の方位角及び仰角の例を表 3-3 に示す。最も仰角が低くなるのは、SB-B2 衛星の稚内における角度 34.2°である。

表 3-3 各地域における衛星方向

衛星	SB-B2		SB-C2		JCSAT-1B		JCSAT-2A		JCSAT-5A	
	AZ	EL	AZ	EL	AZ	EL	AZ	EL	AZ	EL
稚内	152.5	34.2	176.7	37.9	168.4	37.1	163.2	36.3	193.5	36.9
札幌	151.0	36.3	176.1	40.5	167.5	39.5	161.7	38.7	193.6	39.4
青森	149.2	38.2	175.1	42.9	165.9	41.9	160.2	40.9	193.2	42.0
東京	144.9	42.5	172.7	48.5	162.5	47.1	156.6	45.9	192.9	47.8
新潟	145.3	40.1	171.9	46.0	162.4	44.6	156.8	43.5	191.3	45.5
広島	134.7	39.3	160.0	48.4	150.8	45.9	145.1	43.9	180.9	50.0
鹿児島	130.4	40.1	155.3	50.6	146.1	47.6	140.3	45.3	177.3	53.2
那覇	122.8	41.4	146.3	54.5	137.1	50.6	130.7	47.0	170.3	59.0

※AZ:方位角、EL:仰角 (単位:度)

(f) 実運用の遮断率

次にヘリサットの日本国内における運用を想定した場合の実運用の遮断率について検討する。

アンテナ取り付け面から見た衛星仰角（以下、アンテナ仰角と呼ぶ）に対する遮断率の一例を図 3.4 に示す。本検討結果は、図 3.3 に示すヘリの側面にヘリサット用アンテナを水平に実装した場合の概略検討結果である。

東京の衛星仰角を 42.5° とすると、ヘリコプターのアンテナ取り付け面が、機体に水平に取り付けられている時、ヘリサット運用条件で示された旋回撮影を考慮した場合のバンク角 $10^\circ \sim 15^\circ$ を考慮した場合、衛星方向が機体側となる方位におけるアンテナ取り付け面から見た最小衛星仰角（EL）は約 $52.5 \sim 57.5^\circ$ となる。衛星仰角、バンク角度の関係を図 3.5 に示す。

よって図 3.4 より遮断率の最大値は約 50% となる。

仰角の最も低い稚内では 34.2° であり、この時にバンク角を $10^\circ \sim 15^\circ$ とすると、衛星方向が機体側となる方位におけるアンテナ取り付け面から見た最小衛星仰角（EL）は $44^\circ \sim 49^\circ$ となり遮断率の最大値は約 70% となる。

遮断率はアンテナ位置をブレード中心位置から遠方に配置するほど改善される傾向があり、実際の設置についてはヘリの機種ごとに具体的な検討が必要である。

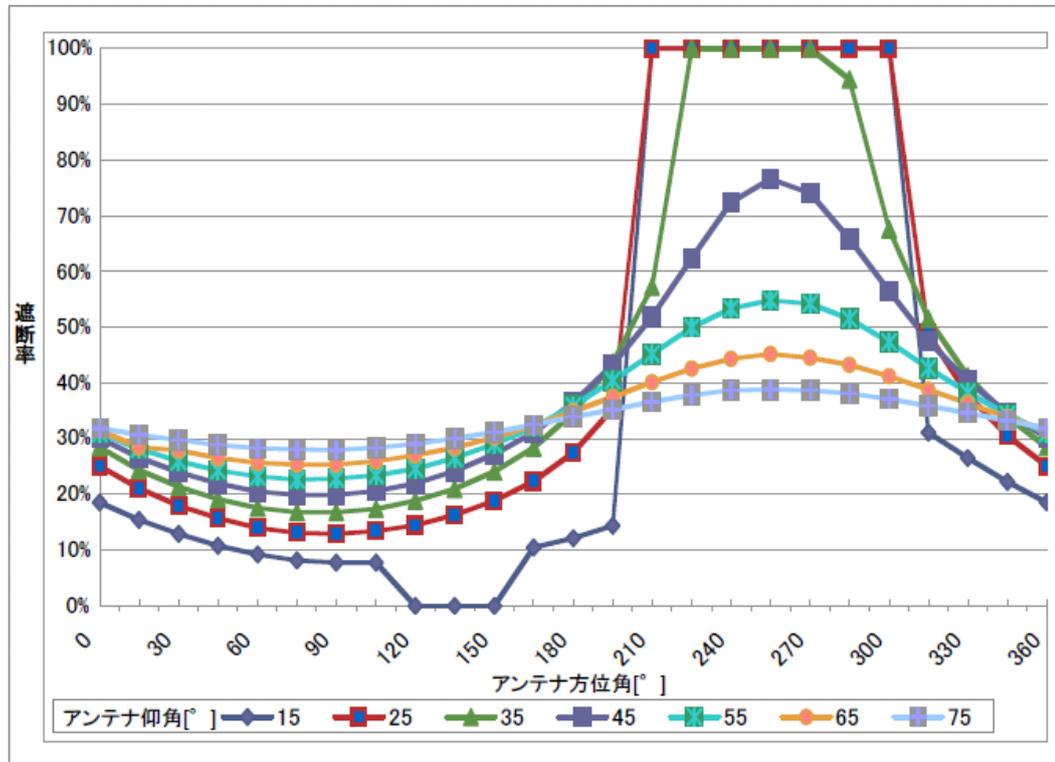


図 3.4 アンテナ取り付け面から見た衛星仰角の遮断率

(「消防防災ヘリコプターに搭載する直接衛星通信システムの実用化に向けた共通仕様書策定等に関する検討会報告書」より)

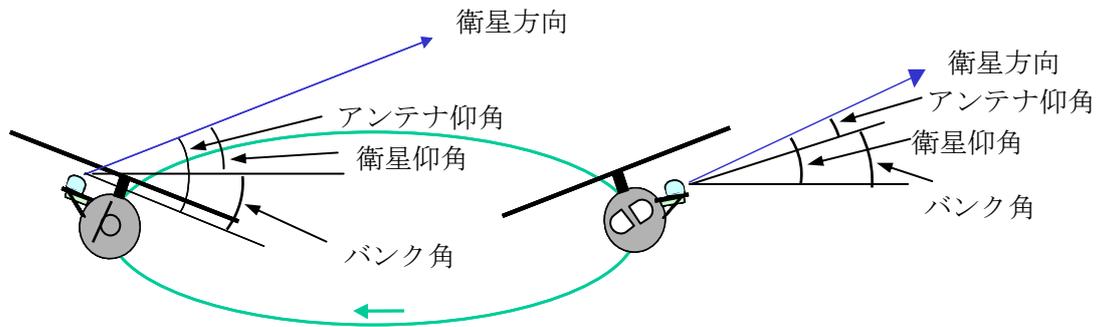


図 3.5 旋回飛行時のアンテナ取り付け面から見た最小衛星仰角

(3) ヘリサットによる HDTV 伝送における伝送効率に関する課題

図 3.4 に示すとおりヘリサットによる信号伝送においては、アンテナから衛星を指向した時にブレードにより通信路が遮断される時間率（遮断率）が、ヘリコプターの姿勢/方向及び衛星の位置関係に応じてリアルタイムに変化する。

ヘリサットでは、上述したブレードによる通信路が遮断される期間を避けてバースト送信を行うブレード回転周期に同期した間欠送信方式を採用している。

SDTV 伝送におけるバースト送信概念図を図 3.6 に示す。

ヘリサットの送信対象である映像データについては一般的に画像符号化装置（画像エンコーダ）より一定の情報速度でデータが出力されるため、SDTV 伝送においては、バースト波の長さを遮断率の最も厳しい条件に合わせて固定長としていた。

しかしながら、HDTV 伝送では遮断がない時間を有効に利用することにより効率的な伝送を実現することが望まれるため、この実現方策について検討する。

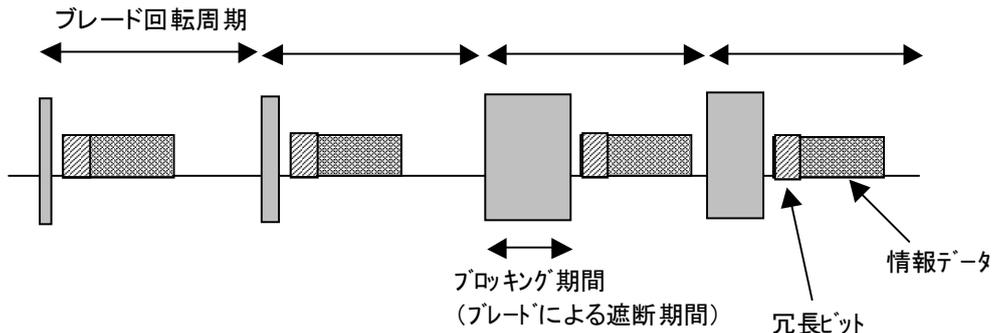


図 3.6 SDTV 伝送におけるバースト送信概念図

(4) 符号化可変技術の動作と効果

遮断がない時間を有効に利用することにより効率的な伝送を実現する方策として、ブレードによる遮断率に応じてリアルタイムに送信バースト長及び符号化率を切替える方法を検討する。

ここでは一例として遮断率が大きい場合と小さい場合について符号化率 $3/4$ と $1/2$ の 2 段階に符号化率を切替える場合を用いて検討を進める。条件として、前述したとおり画像エンコーダより一定の情報速度でデータが出力されることを考慮し、情報データ量は一定とする。

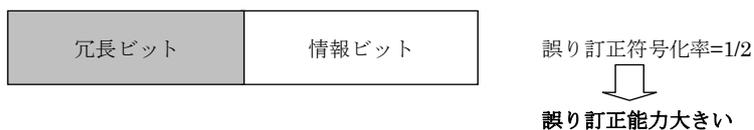
符号化率の切替は遮断率に閾値を設け、この遮断率より小さい時は符号化率 $1/2$ とし、大きい時は符号化率 $3/4$ とし、動的に切替えるものとする。この条件による符号化率の切り替えの概念を図 3.7 に示す。また、符号化率可変方式によるヘリのバースト送信概念図を図 3.8 に示す。

本技術により、情報データ量は一定とし、伝送路の誤り訂正符号の符号化率を変化させて、遮断率が小さい時には誤り訂正の符号化率を上げて誤り訂正能力を高めることができる。この結果、符号化率を固定にする場合に比べ、遮断率が小さい時は回線の所要 C/N を下げることができ、結果として遮断率が小さい時の回線の稼働率を上げることが出来る。

以下に、符号化率 $3/4$ と $1/2$ のそれぞれの BER 特性を踏まえて、効果の検討を行う。



(a)ローターによるブロッキング率が大きい場合



(b)ローターによるブロッキング率が小さい場合

図 3.7 バースト長可変による符号化率変更の説明図

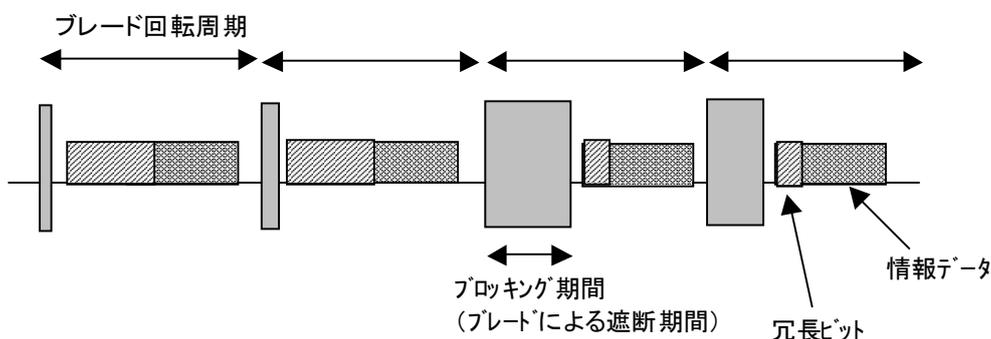


図 3.8 符号化率可変方式によるヘリのバースト送信概念図

(a) C/N 対 BER 特性

図 3.9 に今回の符号化率切り替え方式の検討に用いる、2 段階の符号化率 R が $3/4$ と $1/2$ の代表的な C/N 対 BER(Bit Error Rate)特性のグラフを示す。変調方式は QPSK、誤り訂正方式は LDPC 符号化とする。

図中、 $R=1/2$ は“設定された遮断率の閾値よりも遮断率が小さい区間”で用いる符号化率であり、 $R=3/4$ は“設定された遮断率の閾値よりも遮断率が大きい区間”で用いる符号化率である。本検討ではこれらを動的に切り替えるものとする。

- R=1/2 において、BER=1E-7 の特性を得るのに必要な C/N は 2.8dB、
 - R=3/4 において、BER=1E-7 の特性を得るのに必要な C/N は 5.6dB
- としている。

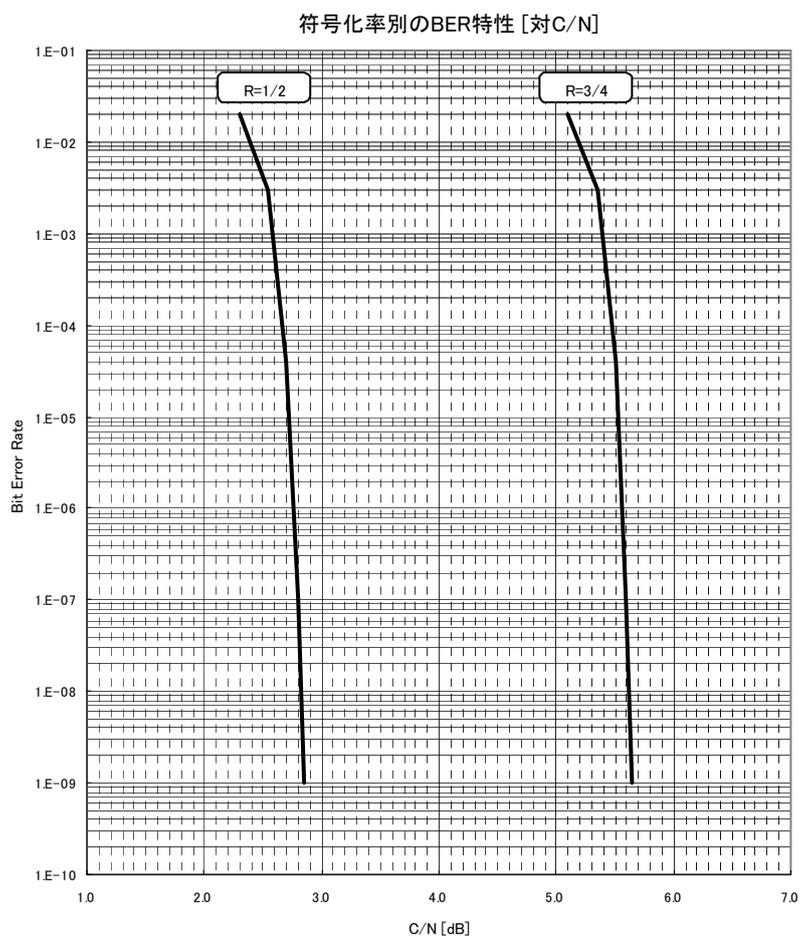


図 3.9 符号化率別の BER 特性 (対 C/N)

(b) 効果の検討

ここでは、本方策による効果の検討のために、一例として符号化率を切替える遮断率の閾値として 55%を設定し、稚内および東京での運用を想定した場合を例に検討する。

図 3.10 に、上記条件における遮断率と符号化率切替えの動作概念を示す。

稚内で運用した場合は、(2) (f) にて示したとおり衛星方向が機体側となる方位におけるアンテナ取り付け面から見た最小衛星仰角 (EL) は約 46°~51°となるため、遮断率が 55%以下の領域と 55%を超える領域が発生するが、本技術の適用により各領域においては適応的に符号化率が切替えられることにより、安定かつ効率の良い伝送が実現される。

一方、東京の場合は、衛星方向が機体側となる方位におけるアンテナ取り付け面から見た最小衛星仰角（EL）は約 56～61°となり、遮断率が全周において 55%以下となるため、全周、符号化率 1/2 で運用される。

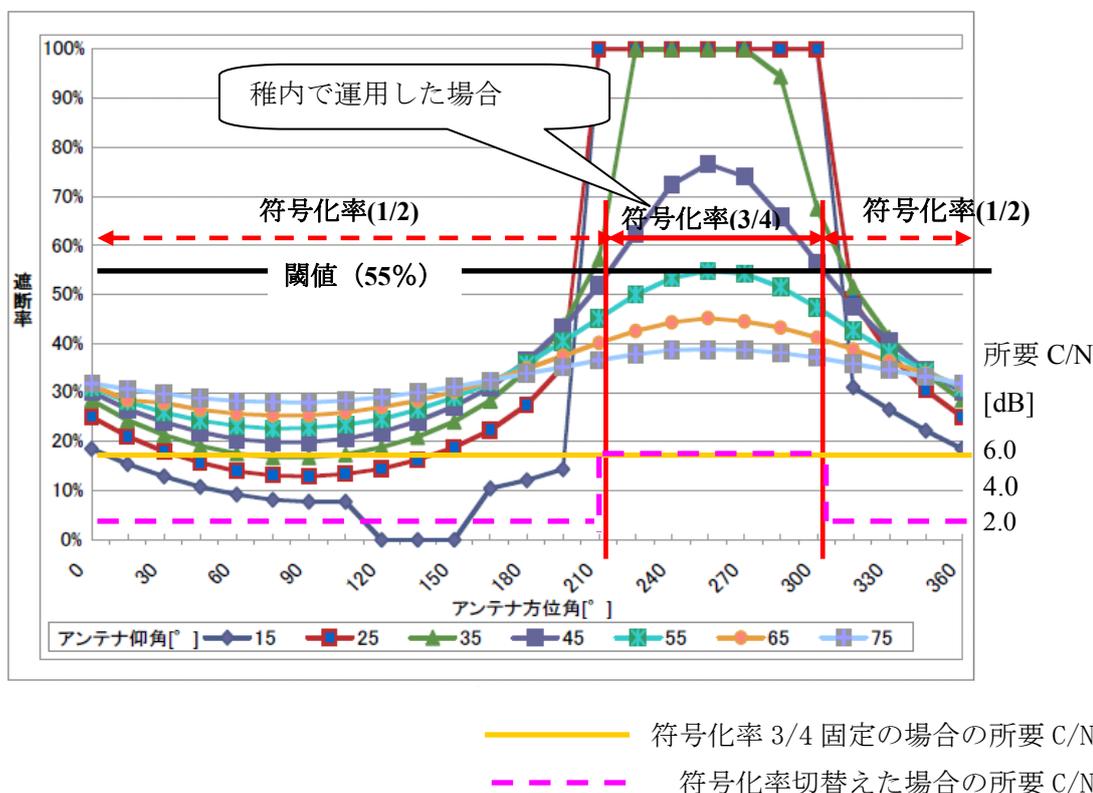


図 3.10 符号化率切替えによる C/N の改善概念図

(5) 本技術による効果の考察

以上のとおり、ブレードによる遮断率に応じてリアルタイムに送信バースト長及び符号化率を切替える機能を適用することにより、地域及びヘリの方位に応じて適応的に適切な符号化率が選択されることにより、柔軟かつ効率的な運用が実現できることが理論上可能であることを検証した。

3.3 バーストデータの最適パラメータ

ヘリサットで HDTV 伝送(6Mbps, 10Mbps)を実現するためには、SDTV 伝送(1.5Mbps)時に比べ送信データ量を増加する必要がある、このために送信伝送速度の増加及び送

信可能な時間の有効利用が望まれる。送信伝送速度を増加する場合、同等の回線品質を得るためには送信電力の増加が必要となるが、ヘリコプター搭載を考慮するとアンテナの大きさ及び送信機の出力能力等が制限されるため、送信電力も制限され、十分な回線マージンを確保することが難しい場合が想定される。よって、送信伝送速度の増加には限界があり、これと合わせて送信可能な時間の有効利用が重要となる。

また、検討により得られた最適なバーストフレーム長に対して、3.2 で検討した「符号化率可変技術」の適用例を示すことにより、運用に応じた柔軟かつ効率のよい通信の実現性を検討する。

以下に以降で述べる検討の流れを示す。

- バーストフレームの構成について
- バーストフレームにおける PR(プリアンブル)長と UW(ユニークワード)長の最適化
- バーストフレームにおけるバーストフレーム長の最適化
- 最適なバーストフレーム長における符号化率可変技術の適用例
- パラメータ最適化についての考察

(2) バーストフレームの構成

図 3.11 にヘリサットにおけるバーストフレームの構成の概念図を示す。

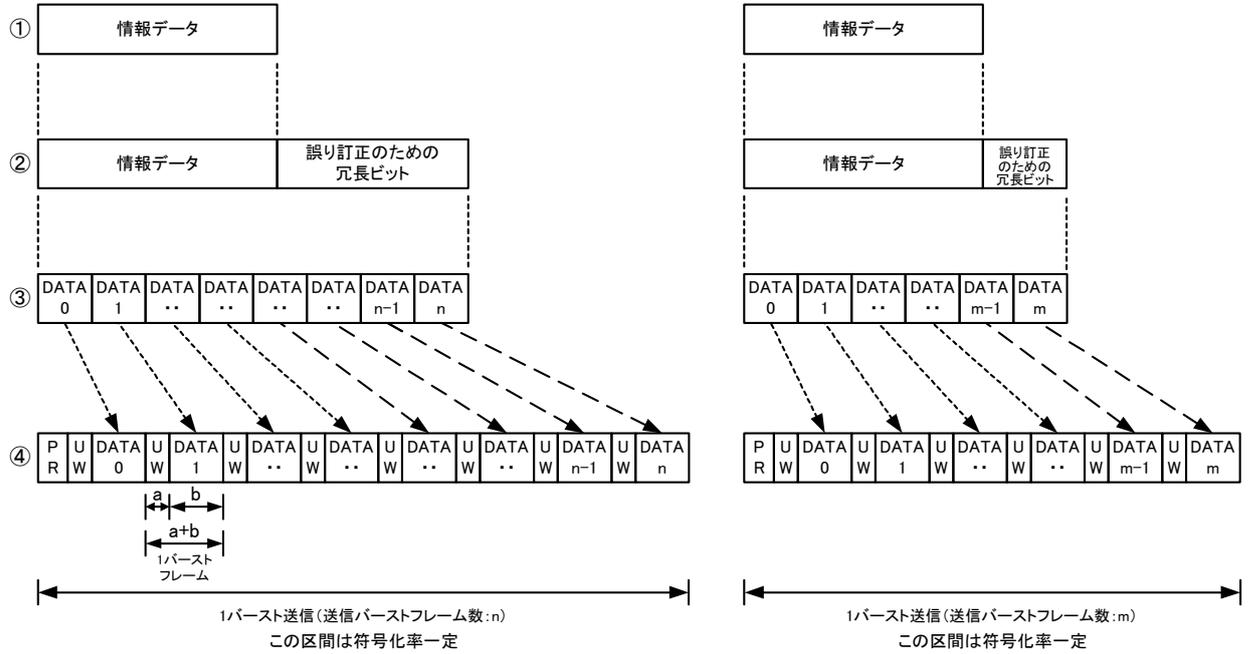


図 3.11 バーストフレーム構成の概念図

①は主に画像符号化装置より一定の速度で出力される情報データである。

②は情報データに対して誤り訂正符号化を行った後のフレームである。

(本図では2種類の符号化率の場合について示している)

③は符号化後の②のフレームを、1バーストフレーム中のDATA長単位に区切ったものである。

④は③の各々のDATA部にUWを付加し、バーストの先頭にPRを付加した、衛星送信用のエアフレームである。

④でUWを各々のDATA部に付加する理由は以下である。

ヘリサットはヘリブレード同期のバースト通信であり、地上局ではバースト受信を行っている。この地上局において、UW毎にバーストフレームの同期を取り、UWの次に続く“決められたシンボル数”だけのDATA部を正確に受信するためにUWを用いている。

(3) バーストフレームの最適化

ヘリサットによる HDTV 伝送におけるバーストフレームの最適化においては、バーストフレームを構成するパラメータとして、図 3.11 の④の構成要素である下記の 3 種類を考える。

- ・PR(プリアンブル)長
- ・UW(ユニークワード)長
- ・バーストフレーム長

(4) PR 長と UW 長の最適化

PR 長と UW 長は、一般的に図 3.12 に示すような誤検出確率と不検出確率のトレードオフを各々のシンボル数に対して実施し、その最適シンボル数を求める。

図 3.12 では、シンボル数を増やすことにより、誤検出の確率は下がるが、検出に必要なシンボル数が多くなるので、不検出の確率がある時点から増加している。

従って、両者の確率が共に小さくなるシンボル数が最適なパラメータとして求まる。

誤検出確率と不検出確率に影響するパラメータとしてはその他に、求まったシンボル数中の許容誤り数などのパラメータがあるが、バーストフレームの構成には直接係わらないので、ここでは省略する。

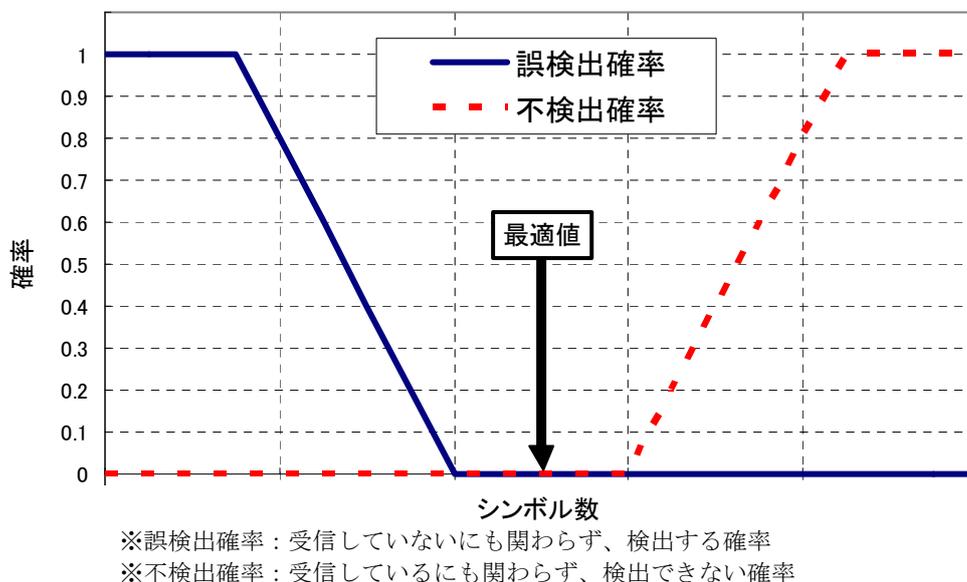


図 3.12 一般的な誤検出確率と不検出確率のトレードオフ

(5) バーストフレーム長の最適化

ヘリサットによる HDTV 伝送ではヘリコプターのブレードにより通信路が遮断され、送信可能な時間が遮断率により制限される。そのため、バーストフレーム長は送信可能な時間に送信可能なデータ量を左右する重要なパラメータとなる。

ここで、1 バーストフレーム中に占める DATA 部の長さはフレーム効率と呼ばれ、図 3.11 の④では、フレーム効率= $b/(a+b)$ で表される。言い換えると、フレーム効率はバーストフレーム長に対する DATA 部の比率となり、この比率が大きいほど効率が良いことになる。よって、(4) で最適化した UW 長を適用することを前提とすると、バーストフレーム長が長いほど効率がよくなる。

一方、バーストフレーム長が長くなると、時々刻々と変化する遮断率に応じてバーストフレーム数を小刻みに設定することができなくなり無駄な時間が発生するため、効率が悪くなる。

つまり、送信可能なデータ量の総合的な効率は、送信可能なバーストフレーム数およびフレーム効率に依存する。これより、この総合的な効率が最大となるバーストフレーム長について以下に検討する。検討の具体的手順を以下に示す。なお、本検討においては、最適化した UW 長を正規化し、1 として単純化する。

- ① バーストフレーム長とフレーム効率の関係を求める
- ② 各遮断率における、バーストフレーム長と送信可能なフレーム数の関係を求める。
- ③ ①と②で求めたフレーム効率と送信可能なフレーム数から、各遮断率における、バーストフレーム長と送信可能なデータ量の関係を求め、最適なバーストフレーム長を決定する。

(5)-1. フレーム効率

図 3.13 にバーストフレーム長とフレーム効率の関係を示す。横軸はバーストフレーム長 (UW 長で正規化) であり、縦軸はフレーム効率である。例えば、フレーム長が 25 の場合、DATA 部は 24 となり、フレーム効率は、 $24/25=0.96$ となる。図中、大きい◆マークは以降の検討で用いる 4 つのケースを示す。

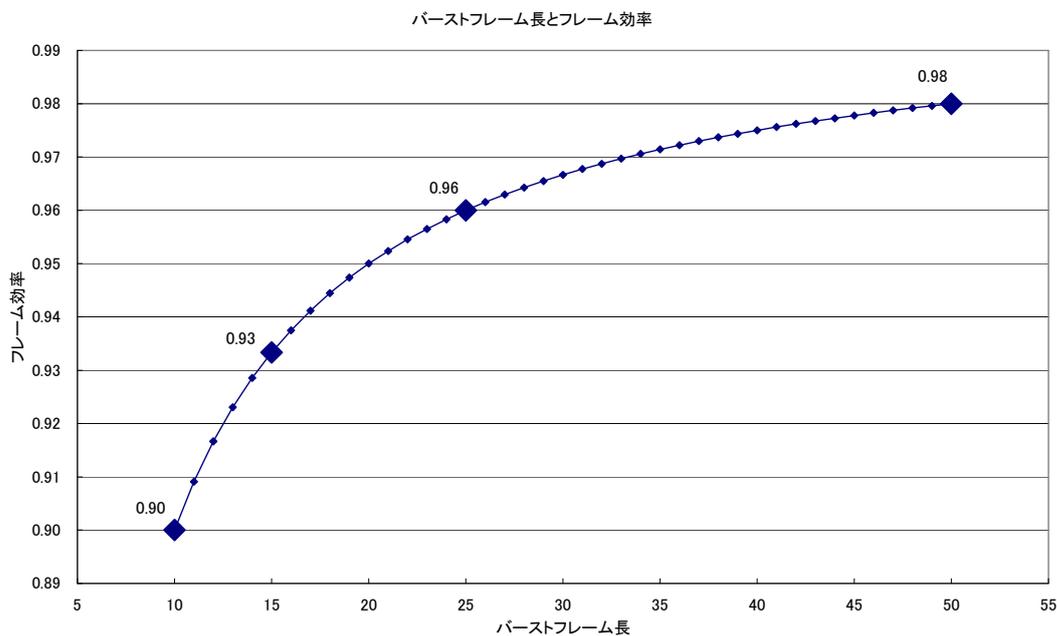


図 3.13 バーストフレーム長とフレーム効率の関係

(5)-2. 送信可能なバーストフレーム数

図 3.14 に各遮断率におけるバーストフレーム長と送信可能なフレーム数の関係を示す。

本図では、遮断率 50% の時の送信可能時間がバーストフレーム長 50 と一致するものと仮定した場合についてグラフ化して示している。本検討は、各遮断率、UW 長及びバーストフレーム長の相対的な値を最適化する手法に関するものであるので、上記仮定により一般性を損なうことはない。

図からバーストフレーム長が短い場合は、遮断率に応じて送信フレーム数を小刻みに変化させることにより、遮断率が低くなるにつれより多くのフレームを送信できることがわかる。

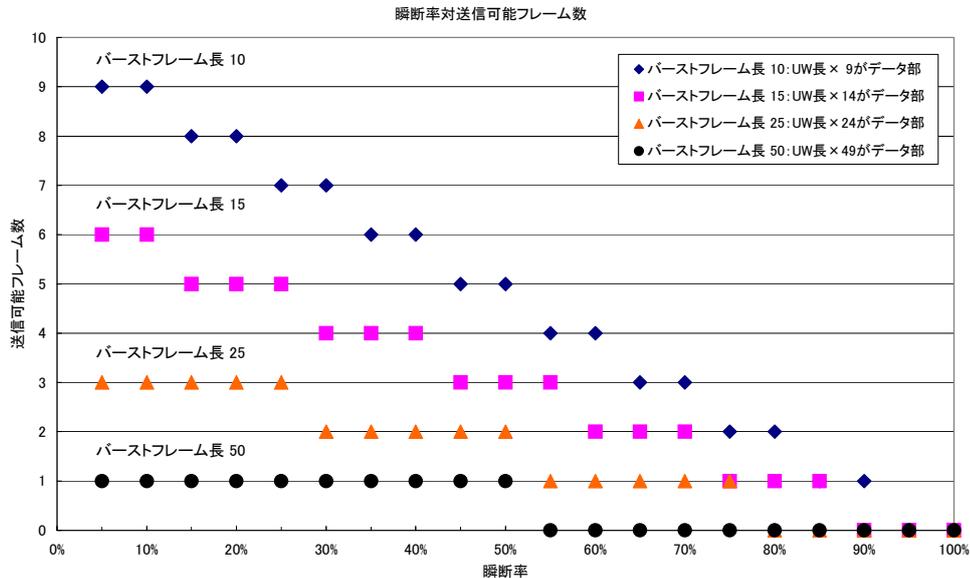


図 3.14 各遮断率における送信可能なフレーム数

(5)-3. 各遮断率における送信可能なデータ量

(5)-1, 2 で求めたフレーム効率と送信可能なフレーム数から、各遮断率における、バーストフレーム長と送信可能なデータ量の関係を、図 3.15 に示す。

各遮断率における送信可能なデータ量は、その遮断率において送信可能なフレーム数にバーストフレーム長とフレーム効率を乗じることにより算出できる。

以下に、遮断率 35% でバーストフレーム長 15 の場合について送信可能なデータ量の算出例を示す。

送信可能なデータ量

$$\begin{aligned}
 &= \text{送信可能なフレーム数} \times \text{バーストフレーム長} \times \text{フレーム効率} \\
 &= 4 \times 15 \times 0.93 \\
 &= 56
 \end{aligned}$$

図 3.15 より、比較的発生頻度の高い遮断率 5~40% の領域における総合的な効率を考慮して最適化すると、バーストフレーム長 10~25 が送信可能なデータ量が多く適当なバーストフレーム長であることが分かる。

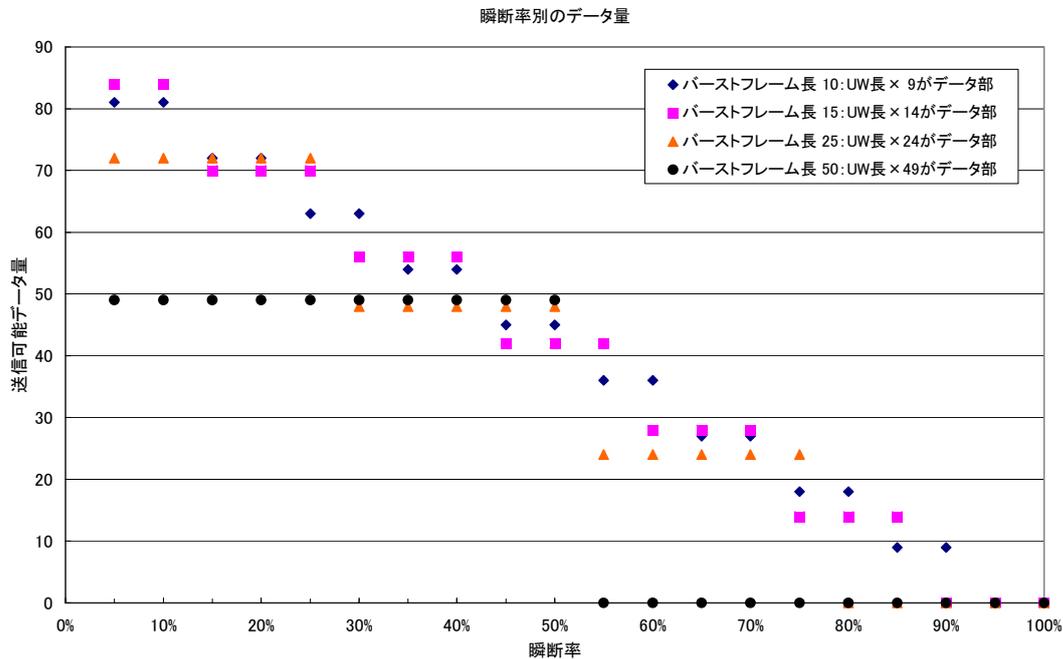


図 3.15 各遮断率における送信可能なデータ量

(6) 符号化率可変技術の適用例

前述の(5)ー3. より、バーストフレーム長の最適値は、比較的発生頻度の高い遮断率 5~40%の領域では、バーストフレーム長 10~25 程度の場合であることが分かった。

ここでは、上記で最適化したバーストフレーム長において、遮断率に応じて送信フレーム数を変化させる上で、3.2 で示した符号化率可変技術を適用する場合について検討する。

具体的には、情報データ量は一定とし、送信フレーム数の変化分を誤り訂正用冗長ビットに割り当てることにより、符号化率を可変する。

ここでは一例として、4 段階の符号化率可変を行った場合の例について、各符号化率の設定例を以下に示す。

遮断率 5~10%でフレーム数 6 の場合、符号化率を 5/12 : 情報データ量は 2.5 フレーム相当

遮断率 15~25%でフレーム数 5 の場合、符号化率を 1/2 : 情報データ量は 2.5 フレーム相当

遮断率 30~40%でフレーム数 4 の場合、符号化率を 5/8 : 情報データ量は 2.5 フレーム相当

遮断率 45~50%でフレーム数 3 の場合、符号化率を 5/6 : 情報データ量は 2.5 フレーム相当

また、細かく変化する送信フレーム数毎に対応した符号化率を全種類用意せず、例えば2段階に簡略化した場合について、フレーム数と符号化率の一例を以下に示す。

遮断率 5～25%でフレーム数5の場合、符号化率を1/2：情報データ量は2.5フレーム相当

遮断率 30～50%でフレーム数3の場合、符号化率を5/6：情報データ量は2.5フレーム相当

(7) パラメータ最適化の考察

本節では、ヘリサットにおける効率のよい伝送が可能なバーストデータの最適パラメータを求める手法を示し、それにより、最適なバーストフレーム長を検討した。

このバーストフレーム長に対して、符号化率を切り替える「符号化率可変技術」を適用することにより、3.2で示した通り、運用に対応した柔軟且つ効率のよい通信が実現できる可能性が示された。

3.4 ブレードによる干渉予測

(1) 目的

SDTV 伝送ヘリサットにおける干渉に関する検討結果をベースに HDTV 伝送 (6Mbps 以上) における干渉に関する検討を行う。

(2) ブレードによる干渉

ヘリコプターへのアンテナ搭載例を 図 3.16 に示す。アンテナはヘリコプターの側面に装備され、衛星追尾を行う。これより、特定の方位・仰角の範囲内ではヘリコプターのブレードがアンテナの指向方向を遮蔽することとなり、この範囲で電波を送信した場合、電波の反射・散乱を生じ、アンテナ放射特性の劣化を生じる恐れがある。また、ブレードによる反射波が地上系システムに干渉し障害を引き起こす可能性がある。よって、この放射特性への影響と地上への干渉の2点について検討が必要である。

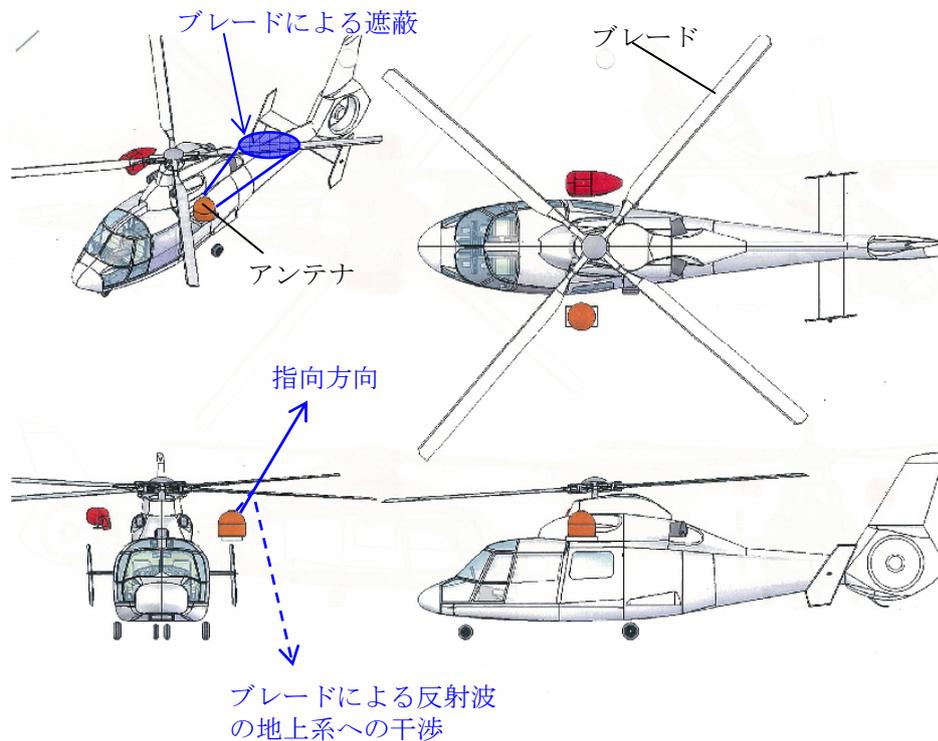


図 3.16 ヘリコプターへのアンテナ搭載例

(3) 現在までの検討経緯

(3) - 1 SDTV 伝送における検討結果

SDTV 伝送の検討においては、ブレードによるアンテナ放射特性の劣化について、ビーム回折およびサイドローブレベルの上昇の観点で検討し、放射特性への影響がないためのタイムマージンを設けることで問題ないことが確認されている。また、SDTV 伝送を想定した送信 EIRP にて軸外輻射電力の制限値に対する検討を行い、問題ないレベルであることが確認されている。

地上への干渉については、電波天文業務に対する制限値に対して改善が必要であり課題としてあげられている。

(3) - 2 情報通信審議会における検討結果

21 年度 1 月の情報通信審議会答申において、SDTV 伝送ヘリサットにおける地上への干渉についてヘリサットの実運用を想定した条件における固定業務および電波天文業務に関する周波数共用条件の検討がなされ、周波数共用条件を満足できることが示された。

(4) HD ヘリサットに関する検討

地上への干渉については、上述した情報通信審議会ヘリサット作業班における SDTV 伝送に対する周波数共用条件の検討結果をベースに、高速大容量伝送について検討する。情報通信審議会においては、SDTV 伝送における送信電力およびヘリ搭載用小型アンテナの軸外放射特性を想定した場合に、この時の軸外 E.I.R.P が ITU-R 勧告 S.728-1 を満足できることを前提とし、ITU-R 勧告 S.728-1 の規定値以下の軸外 E.I.R.P が地上へ放射されるレベルを検討し、フィルタで抑圧することにより、14.4GHz 以上の帯域外放射による不要発射電力が ITU-R 勧告 M.1643 の周波数共用条件を満足できることが示された。高速大容量伝送においては、より伝送速度を上げるために BPSK から QPSK 等の多値変調方式の採用が想定され、送信電力の増加が考えられるが、これを考慮して高速大容量伝送の実運用を想定したシステム条件においても、軸外 E.I.R.P が ITU-R 勧告 S.728-1 を満足できることから、SDTV 伝送の検討結果と同様にフィルタで抑圧することにより 14.4GHz 以上の帯域外放射による不要発射電力が ITU-R 勧告 M.1643 の周波数共用条件を満足できる。これより高速大容量伝送においても地上への干渉については問題ない。

アンテナ放射特性の劣化については、前述のとおり SDTV 伝送において適切なタイムマージンを設けることにより問題ないことが示された。この検討方法を HDTV 伝送に適用し、更に本検討においては、ヘリ搭載用小型アンテナで HDTV 伝送を行う場合を想定して検討を行った。想定されるアンテナについて放射特性のシミュレーションにより、アンテナの放射レベルがメインローブから 20dB 低くなるレベルになる領域の外側では、電波をさえぎるものがあってもアンテナ放射特性への影響は無視できるレベルとなった。これより、アンテナとブレードが光学的に重なる領域よりも広い領域として、アンテナの放射レベルがメインローブから 20dB 低くなるレベルになる領域を設定し、この領域の内側にブレードがかかる時に送信を停止するように送信 ON/OFF 制御を行うことで放射特性への影響を回避することができ、ブレードの影響による干渉の問題なく HDTV 伝送を実現できる。以上の検討結果より、HD ヘリサットにおいてもブレードによる干渉の問題なく送信が実現できることが示された。

3.5 理論検討の課題及び課題解決の検討

バーストデータの最適パラメータの検討として、プリアンプル長、ユニークワード長及びバーストフレーム長の最適化手法の検討と最適化を行い、ヘリサットにおける効率の良い伝送が可能なパラメータ検討を実施した結果、バーストフレーム長により効率が変化することが明らかになり課題となった。この課題を検討した結果、比較的発生頻度の高い遮断率 5~40%の領域における総合的な効率を考慮して最適化すると、バーストフレーム長 10~25 が送信可能なデータ量が多く、適切なバーストフレーム長であることが分かった。

3.6 局内折り返し及び衛星システムによる電波伝送試験の実施項目

試験で使用する無線局、変復調器の諸元、ヘリコプターの基本性能例、次章以降で実施

する試験項目について説明する。

3.6.1 試験で使用する無線局

試験で使用する衛星局と地上の送受信局の諸元を示す。

3.6.1.1 衛星局

本調査検討で使用する周波数は Ku 帯とする。衛星局は地球局より送出された 14GHz (Ku) 帯信号を 12GHz (Ku) 帯信号へ周波数変換して、地球局へ送出する。

* 主要諸元

- ・利用衛星 : JCSAT-1B : 東経 150 度
- ・送信周波数 : 12.25~12.75GHz
- ・受信周波数 : 14.0~14.5GHz
- ・周波数帯幅 : 36MHz 以下
- ・システム雑音温度 : 27.5dBK
- ・EIRP : 51dBW (東京)
- ・偏波 : 垂直/水平偏波

3.6.1.2 地球局

地球局は、ヘリサットを模擬した送信地球局と、受信地球局の 2 局で構成される。送信地球局はヘリ局用バースト変調器から出力するデジタル変調信号を、Ku 帯への周波数変換及び電力増幅を行い、衛星局に送出する。また受信地球局では、衛星局より折り返されてきた信号を受信し、地上局用バースト復調器装置にて、これを復調、評価する。

送信地球局の系統を図 3.17 に、アンテナの外観を図 3.18 に示す。また受信地球局の系統を図 3.19 に、アンテナの外観を図 3.20 に示す。

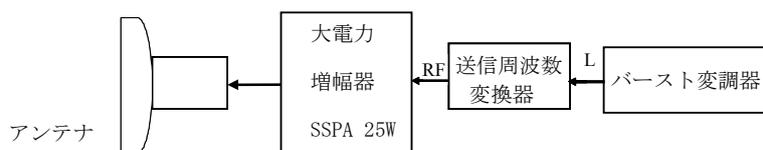


図 3.17 送信地球局の系統図



図 3.18 送信地球局アンテナ (1.0φm)

送信地球局主要性能

- 送信周波数 : 14.0～14.5GHz
- EIRP : 最大 55.0dBW
- 偏波 : 垂直／水平偏波

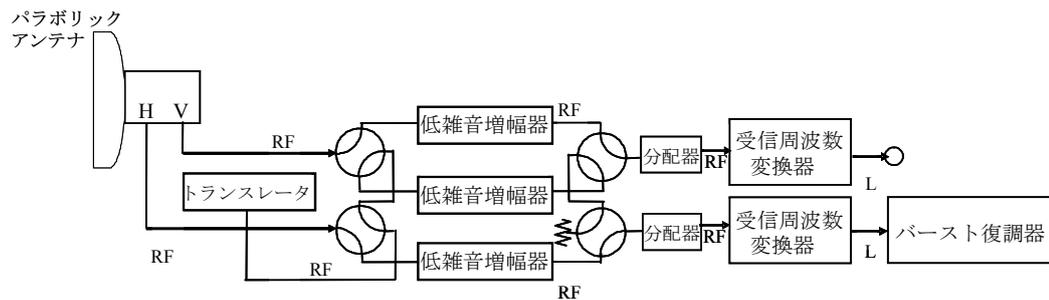


図 3.19 受信地球局系統図



図 3.20 受信地球局アンテナ (5.5φm)

受信地球局主要性能

- ・受信周波数 : 12.25～12.75GHz
- ・システム雑音温度 : 32.1dBK
- ・偏波 : 垂直／水平偏波

3.6.2 変調及び復調諸元

本調査検討で使用するバースト変調器の諸元を表 3-4 に、バースト復調器の諸元を表 3-5 に示す。

表 3-4 変調器の諸元

項目	10Mbps 伝送	6Mbps 伝送
1. 変調方式	QPSK	QPSK
2. 誤り訂正方式および FEC パラメータ	LDPC rate 3/4	LDPC rate 3/4
3. シンボルレート	11.85Msps	7.02Msps
4. 情報速度	10.368Mbps	6.144Mbps
5. 占有帯域	13.5MHz	8.0MHz
6. ブレード回転数	306rpm～391rpm	
7. 遮断率	0%～35%	
8. バーストフレーム長	18	
9. IF 周波数	1GHz 帯 (950MHz～1350MHz)	
10. IF レベル (参考 送信側)	-10dBm (送信 EIRP47.7dBW 時)	-10dBm (送信 EIRP47.7dBW 時)

表 3-5 復調器の諸元

項目	10Mbps 伝送	6Mbps 伝送
1. 変調方式	QPSK	QPSK
2. 誤り訂正方式および FEC パラメータ	LDPC rate 3/4	LDPC rate 3/4
3. シンボルレート	11.85Msps	7.02Msps
4. 情報速度	10.368Mbps	6.144Mbps
5. 占有帯域	13.5MHz	8.0MHz
6. IF 周波数	1 GHz 帯 (950MHz～1350MHz)	
7. 受信レベル	-39dBm (標準レベル時)	-41dBm (標準レベル時)
8. AGC	±10dB	±10dB
9. AFC	±30kHz	±30kHz
10. 所要 Eb/No	3.8dB@10 ⁻⁷ (C/N=5.6dB)	3.8dB@10 ⁻⁷ (C/N=5.6dB)

3.6.3 ヘリコプターの基本性能（参考）

ヘリコプターの基本性能例を表 3-6 に示す。

表 3-6 ヘリコプター基本性能例

	ユーロコプター AS365-N3 注1	川崎重工業 BK-117 C-2 注2	ベル 412-EP 注3	シコルスキー S-76B 注4	単位
最大速度	175	150	140	155	kt
(速度条件)	(総重量 3000kg Sea level)	(総重量 2400kg Sea level)	—	(総重量 5307kg Sea level)	
制限高度	20000	18000	20000	15000	ft
最大温度	+50	+50	+51.7	+49	℃
最低温度	-40	-30	-40	-34.4	℃
ブレード数	4	4	4	4	枚
ブレード 回転方向注5	CW	CCW	CCW	CCW	上から 見て
ブレード 回転数	340~370	360	324	314	rpm

注1：メーカー資料をもとに作成

注2：メーカー資料をもとに作成

注3：飛行規程をもとに作成（－：速度条件における総重量の記載無し）

注4：飛行規程をもとに作成

注5：CW（クロックワイズ：時計回り）、CCW（カウンタークックワイズ：反時計回り）

※表 3-6 及びその注釈は「消防防災ヘリコプターに搭載する直接衛星通信システムの実用化に向けた共通仕様書策定等に関する検討会報告書，平成 20 年 3 月，総務省 消防庁 防災情報室」より抜粋

3.6.4 機能確認試験の項目

- 試験項目のパラメータを以下に設定する。
ブレード回転数は、表 3-4 から最大、中央、最小として 306rpm、348rpm、391rpm にて測定。
- 遮断率は、運用上比較的発生頻度の高い範囲から 20%と 35%、これに 0%を加えた 3 種類にて測定。
- レベル偏差は、運用上、送受信局及び伝送路における変動を考慮して±10dB の変動について測定。
- 伝送速度は、H.264/AVC による画像圧縮技術により従来の HDTV 伝送より伝送速度を 1/2 程度に下げても十分な画質であると言われている。本試験では、放送局等の利用において高品質を要求されることを想定し、10Mbps クラス（実レートは 10.368Mbps）により試験を行った。尚、一般の業務用用途としては 6Mbps クラス（実レートは 6.144Mbps）を想定し、これについても主要な項目について試験を行い、結果を別紙に添付する。

3.6.4.1 局内折り返しによる試験項目

- ・ 局内折り返し試験の内、IF 折り返し試験は変復調器単体の性能が評価できる。そのため、個別のパラメータの特性を伝送時に関係する他の機器や、伝送路上の外乱等のパラメータの影響を除いて測定できる。この試験による個別パラメータの特性は総合試験時の特性評価のために必要であるため、上記に示したブレード回転数、遮断率の全ての組み合わせについて試験する。
- ・ トランスレータ折り返し試験は、伝送時に発生する周波数変換を模擬する伝送試験であるが、周波数に直接関係しないパラメータであるブレード回転数と遮断率は、ブレード回転数の中央値である 348rpm、遮断率は運用上最も条件の厳しい 35%の組み合わせで試験を行う。

表 3-7 に局内折り返しによる機能確認の試験項目を示す。

表 3-7 局内折り返しによる機能確認試験項目

NO	調査検討項目	試験内容	測定パラメータ	評価基準
1	モデム等の個別機器による室内単体試験	1-1.キャリア送信タイミング制御の確認	伝送速度：10.368Mbps, ブレード回転数：348rpm 遮断率：35%	送信制御信号に同期しているか
		1-2.バースト変調器のキャリア ON・OFF 比	伝送速度：10.368Mbps, 6.144Mbps ブレード回転数：348rpm 遮断率：35%	40dB 以上
		1-3.位相雑音	中心周波数：1GHz	70dBc@1kHz 80dBc@10kHz
		1-4.キャリア周波数及びキャリアレベル安定度	中心周波数：1GHz 出力レベル：-11dBm	周波数：周波数 ×5E10-7 レベル：±0.5dB/日 (温度特性除く)
		1-5.電波の質（占有周波数帯幅、スプリアス発射の評価）	伝送速度：10.368Mbps, 6.144Mbps 周波数：14.22635GHz	占有周波数帯幅：所要帯域内に信号電力の 99%が入ること スプリアス発射：-60dBc 以内
2	送信系システ	2-1.変調精度確認	伝送速度：10.368Mbps,	EVM 5%以内

	ムの室内組合 せ試験		6.144Mbps 周波数：1GHz	
3	受信系システ ムの室内組合 せ試験	3-1.復調精度確認	伝送速度：10.368Mbps, 6.144Mbps 周波数：1GHz	EVM 5%以内
4	送信系－受信 系による総合 接続試験	4-1.IF 折り返しによるブ レード回転数、遮断率を パラメータとした BER 特性	伝送速度：10.368Mbps, 6.144Mbps ブレード回転数： 306rpm, 348rpm, 391rpm 遮断率：0%, 20%, 35%	1E-7 以下 @C/N 5.6dB
		4-2.IF 折り返しによるレ ベル偏差に対する BER 特性	伝送速度：10.368Mbps ブレード回転数：348rpm 遮断率：35% レベル偏差：±10dB	1E-7 以下 @C/N 5.6dB
		4-3.IF 折り返しによる周 波数偏差に対する BER 特性	伝送速度：10.368Mbps ブレード回転数：348rpm 遮断率：35% 周波数偏差：±30kHz	1E-7 以下 @C/N 5.6dB
		4-4.トランスレータ折 り返しによるブレード回 転数、遮断率をパラメ ータとした BER 特性	伝送速度：10.368Mbps, 6.144Mbps ブレード回転数： 306rpm, 348rpm, 391rpm 遮断率：20%、35% ※遮断率 20%に関して は回転数 348rpm のみ	1E-7 以下 @C/N 5.6dB
		4-5.トランスレータ折 り返しによるエンコーダ、 デコーダを組み合わせ た映像伝送試験	伝送速度：10.368Mbps, 6.144Mbps ブレード回転数： 306rpm, 348rpm, 391rpm 遮断率：0%, 20%, 35%	C/N=5.6dB におい て、フリーズ、プロ ックノイズがない こと
5	その他必要な 項目	5-1.標準方式（DVB-S） の BER 特性との比較	伝送速度：10.368Mbps FEC3/4, ロールオフ率 0.2	標準方式と同等又 はそれ以上の性能

3.6.4.2 衛星システムによる電波伝送試験項目

- ・ 衛星システムによる電波伝送試験においては、複数の変動パラメータが実環境で変

化している環境であり総合的な評価が行える。測定項目は、局内折り返し試験の組み合わせの中から、代表的なパラメータの組み合わせを試験する。遮断率は厳しい条件を想定し 35%にて試験を行う。エンコーダ・デコーダを用いた映像伝送試験は総合試験として、遮断率 0,20,35%にて測定する

表 3-8 に衛星システムによる電波伝送試験の測定項目を示す。

表 3-8 衛星システムによる電波伝送試験項目

NO	調査検討項目	試験内容	測定パラメータ	評価基準
1	衛星システムによる電波伝送試験	1-1. ブレード回転数、遮断率をパラメータとした BER 特性	伝送速度：10.368Mbps, 6.144Mbps ブレード回転数：306rpm, 348rpm, 391rpm 遮断率：20%, 35% ※遮断率 20%に関しては回転数 348rpm のみ	1E-7 以下@C/N 5.6dB
		1-2. レベル偏差に対する BER 特性	伝送速度：10.368Mbps, 6.144Mbps ブレード回転数：348rpm 遮断率：35% レベル偏差：±10dB	1E-7 以下@C/N 5.6dB
		1-3. 周波数偏差に対する BER 特性	伝送速度：10.368Mbps, 6.144Mbps ブレード回転数：348rpm 遮断率：35% 周波数偏差：±30kHz	1E-7 以下@C/N 5.6dB
		1-4. エンコーダ、デコーダを組み合わせた映像伝送試験	伝送速度：10.368Mbps, 6.144Mbps ブレード回転数：306rpm, 348rpm, 391rpm 遮断率：0%, 20%, 35%	C/N=5.6dB において、フリーズ、ブロックノイズがないこと

第4章 局内折り返しによる機能確認試験

4.1 モデム等の個別機器による室内単体試験

モデム等の個別機器による室内単体試験として IF 折り返しにより、キャリアの送信タイミング制御、変調器のキャリア ON・OFF 比、位相雑音、電波の質（占有周波数帯幅、スペリアス発射の評価）の確認を行う。

4.1.1 キャリア送信タイミング制御の確認試験

4.1.1.1 測定系の構成

測定系の構成を図 4.1 に示す。

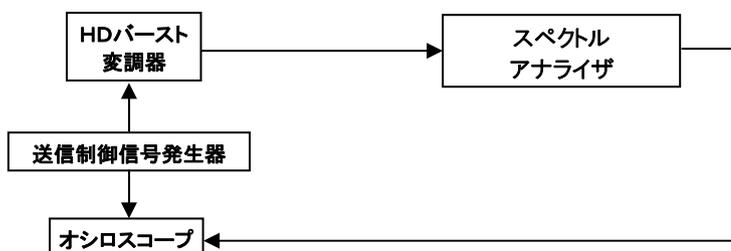


図 4.1 キャリア送信タイミング制御の確認試験の構成

4.1.1.2 測定方法

- ・ 測定系を図 4.1 の通りにセットアップする。
- ・ 送信制御信号発生器（ファンクションジェネレータ）の遮断率を 35%、ブレード回転数を 348rpm に設定する（ブレード数は 4 枚）。
- ・ オシロスコープに送信制御信号と変調器の出力をスペクトルアナライザのゼロスパンで測定した信号を入力し、両者を観測する。

4.1.3.1 測定結果

送信制御信号と送信キャリアのタイミングを図 4.2 に示す。

送信キャリアは送信制御信号に同期して送信されており、問題なく動作していることが確認できる。

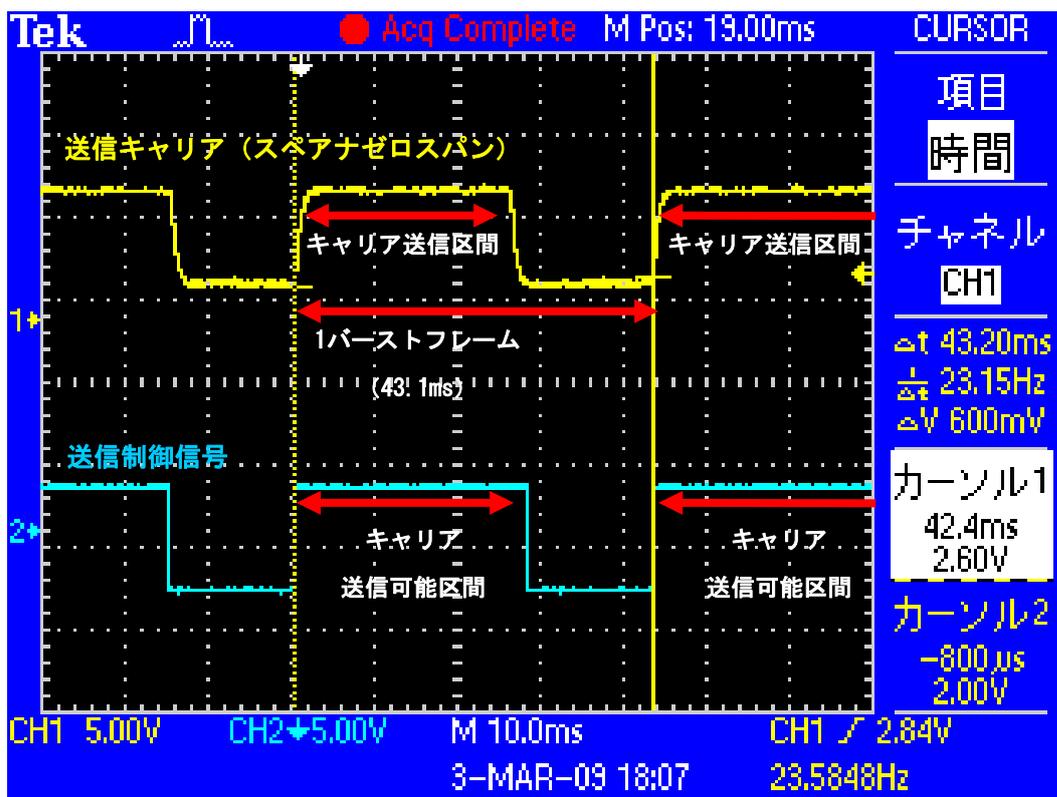


図 4.2 キャリア送信タイミング制御の確認

4.1.2 バースト変調器のキャリア ON・OFF 比

バースト変調器のキャリア ON・OFF 比の測定を行う。

4.1.2.1 測定系の構成

試験構成を図 4.3 示す。



図 4.3 キャリア ON・OFF 比測定試験の構成

4.1.2.2 測定方法

- ・ 測定系を図 4.3 の通りにセットアップする。

- ・ スペクトラムアナライザにより、バースト変調器出力のバースト波形を観測し ON・OFF 比を読み取る。

4.1.2.3 測定結果

図 4.4 にキャリア ON・OFF 時のスペクトルを示す。変調器からのキャリア ON・OFF 比は約 60dB 確保できており、遮断時の残留信号は雑音成分程度に抑圧されていることが確認できる。

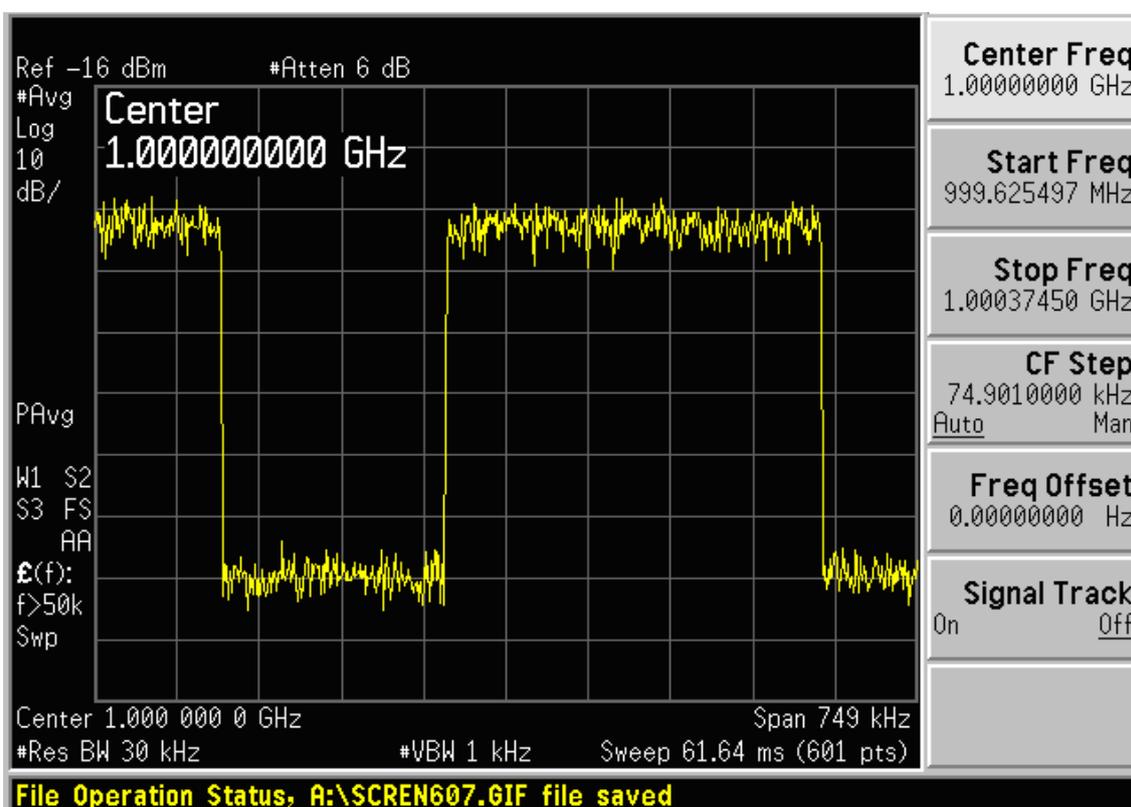


図 4.4 キャリア ON・OFF 比

4.1.3 位相雑音

4.1.3.1 測定系の構成

試験構成を図 4.5 に示す。



図 4.5 位相雑音の測定系の構成

4.1.3.2 測定方法

- ・ 測定系を図 4.5 の通りにセットアップする。
- ・ スペクトラムアナライザの位相雑音測定モードにより測定し、値を読む。

4.1.3.3 測定結果

変調器出力の位相雑音を図 4.6 に示す。1kHz、10kHz 共に 80dBc 以上の値が確保されており、本システムの QPSK 復調方式に十分な値であることが確認された。

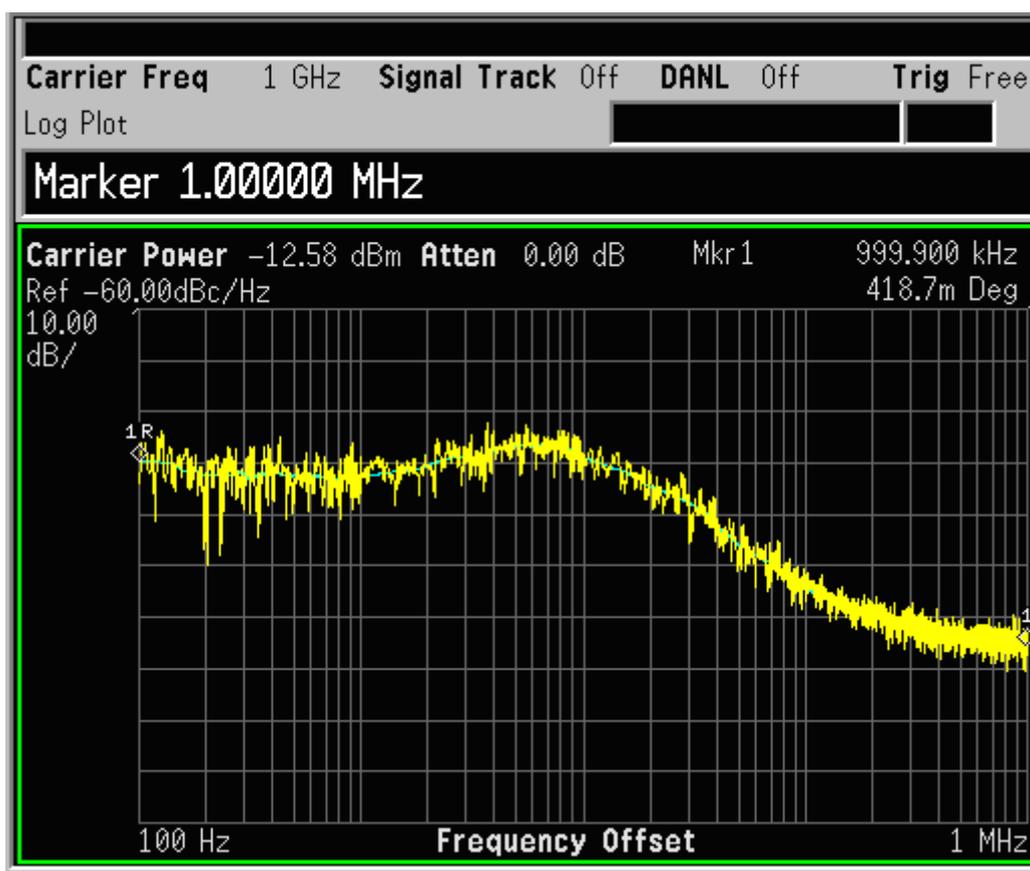


図 4.6 変調器の位相雑音

4.1.4 キャリア周波数及びキャリアレベル安定度

4.1.4.1 測定系の構成

測定構成を図 4.7 に示す。

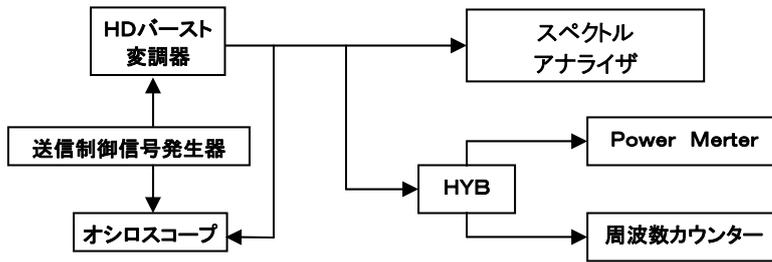


図 4.7 キャリア周波数及びキャリアレベル安定度試験の構成

4.1.4.2 測定方法

- ・ 測定系を図 4.7 の通りにセットアップする。
- ・ 変調器出力のレベルを電力計で、周波数を周波数カウンターでそれぞれ測定記録する。(1時間間隔で10時間測定)

4.1.4.3 測定結果

変調器出力信号の周波数及びレベルを連続10時間測定し、1時間毎にプロットを行った。変調器の設定周波数及びレベルは局内折り返し試験、衛星システムにおける電波伝送試験において標準とした値であり、出力周波数は1GHz、出力レベルは-11dBmである。図4.8は、周波数及びレベル安定度として測定開始時の値を基準とし、縦軸に測定開始時からの変動量、横軸に時間を表している。測定開始時の値は周波数が1.000000011GHz、レベルは-11.03dBmであった。

周波数変動は1Hz単位での変動はなく、レベルはp-p値で0.07dBであり変調器の性能として問題ない値である。

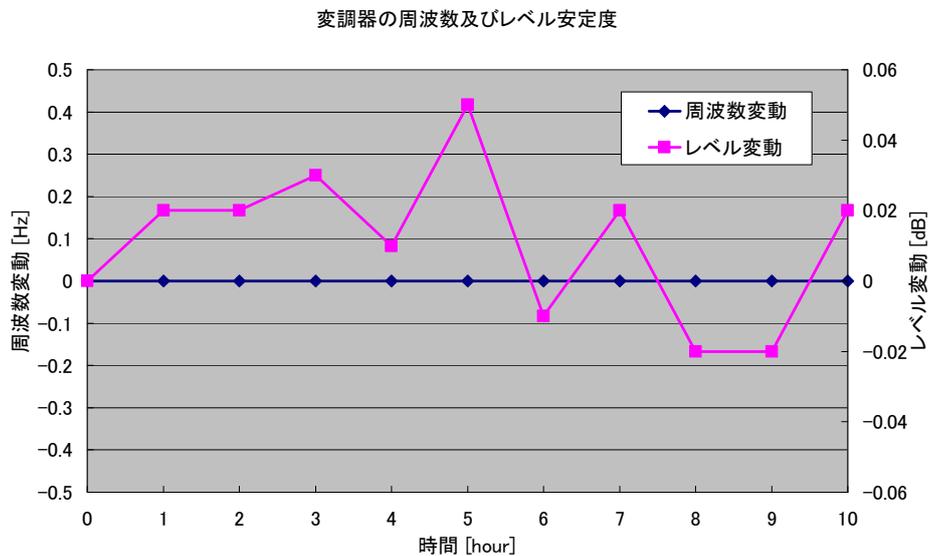


図 4.8 変調器の周波数及びレベル安定度

4.1.5 電波の質（占有周波数帯幅、スプリアス発射の評価）

4.1.5.1 試験系の構成

試験構成を図 4.9 に示す。

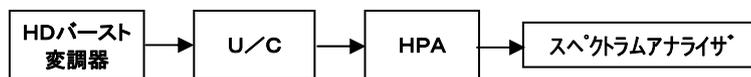


図 4.9 占有帯域幅、スプリアス測定系統図

4.1.5.2 測定方法

- ・ 測定系を図 4.9 の通りにセットアップする。
- ・ HPA の出力電力・周波数を規定値に設定する。
- ・ HPA のモニター出力をスペクトラムアナライザに入力し送信信号の占有帯域幅及びスプリアス信号を測定する。

4.1.5.3 測定結果

占有周波数帯幅の測定は、バースト変調器出力による地球局電力増幅器（HPA）の出力で測定を行った。占有周波数帯幅は所要帯域内に 99%電力が入っていることを確認した。またスプリアスは-60dB 以下であり、電波法規定値を満足していることを確認した。

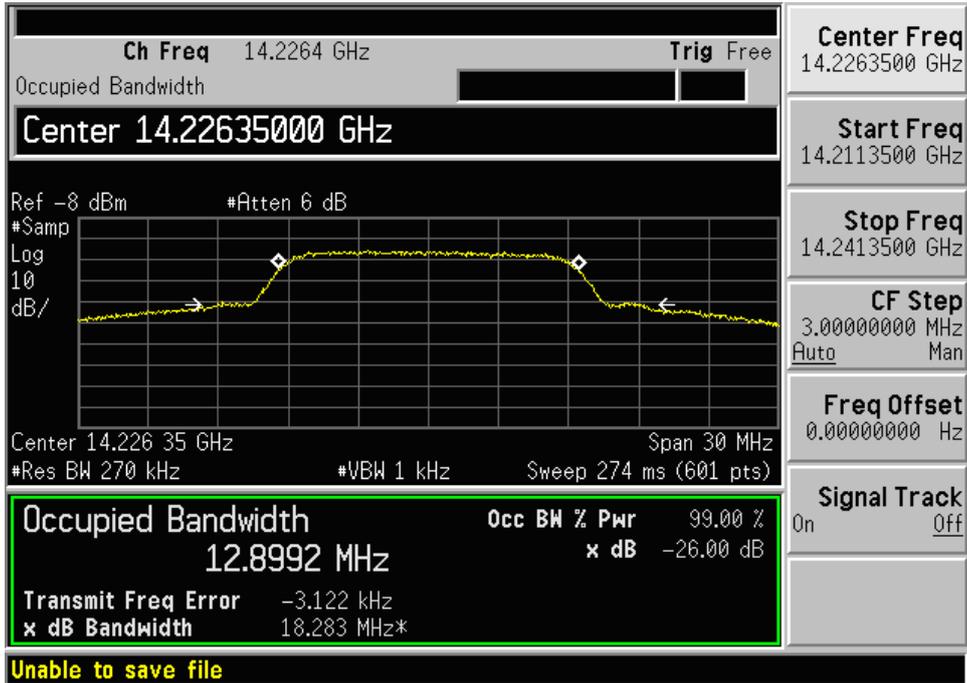


図 4.10 占有周波数帯幅 (伝送速度 10.368Mbps)

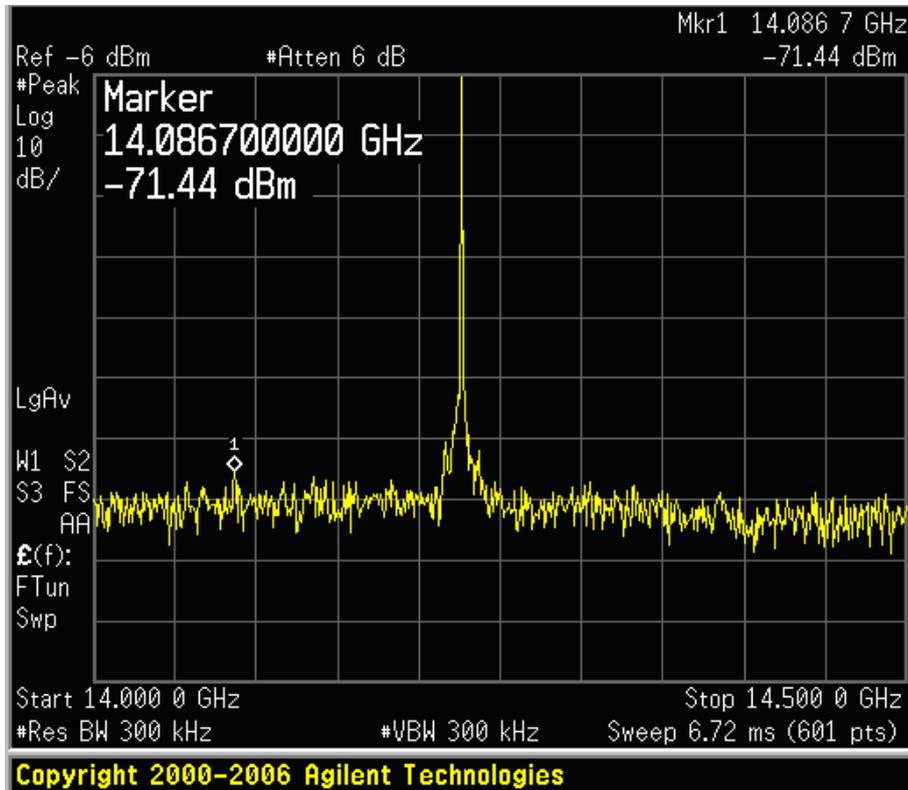


図 4.11 スプリアス特性

4.2 送信系システムの室内組み合わせ試験

4.2.1 変調精度確認試験

本試験では、バースト変調器とベクトル信号解析器（VSA: Vector Signal Analyzer）を組み合わせてバースト変調器の変調精度を確認する。

4.2.1.1 測定系の構成

試験構成を図 4.12 に示す。

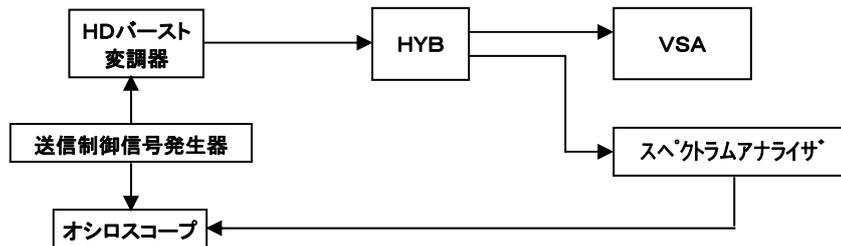


図 4.12 バースト変調器の測定構成図

4.2.1.2 測定方法

- ・ 測定系を図 4.12 の通りにセットアップする。
- ・ バースト変調器の伝送速度を設定する。
- ・ バースト変調器出力を VSA に入力し、VSA にて I、Q 復調信号のコンスタレーション及び EVM (Error Vector Magnitude) 値を測定する。

4.2.1.3 測定結果

バースト変調器の EVM は 1.98% であり、評価基準の 5% に対して十分な値が得られている。

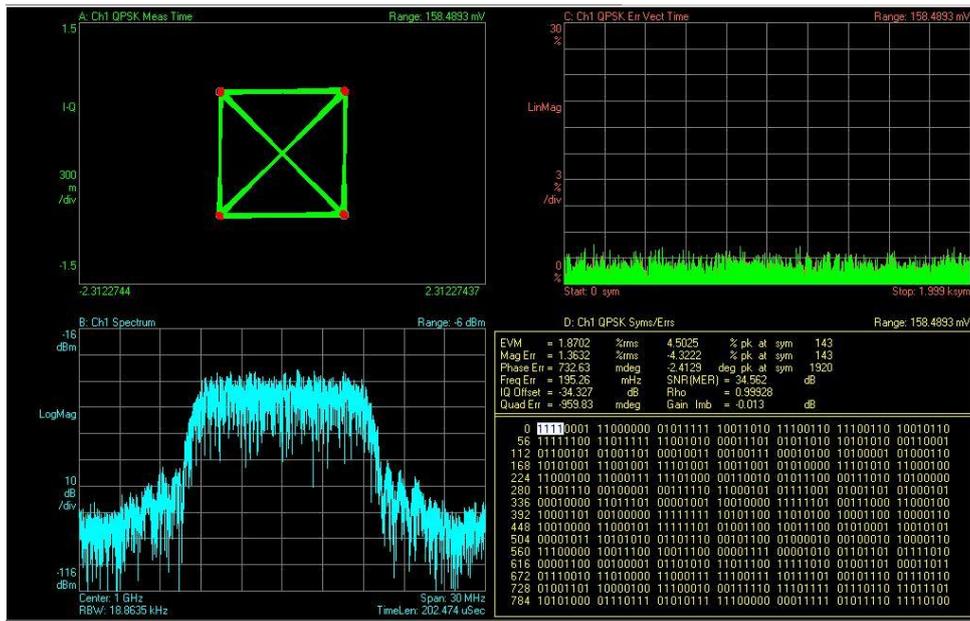


図 4.13 変調精度

表 4-1 EVM 値

伝送レート	EVM
10.368Mbps	1.87%

4.3 受信系システムの室内組み合わせ試験

4.3.1 復調精度確認試験

本試験では、ベクトル信号発生器とバースト復調器を組み合わせてバースト復調器の復調精度の確認を行う。

4.3.1.1 測定系の構成

試験構成を図 4.14 に示す。

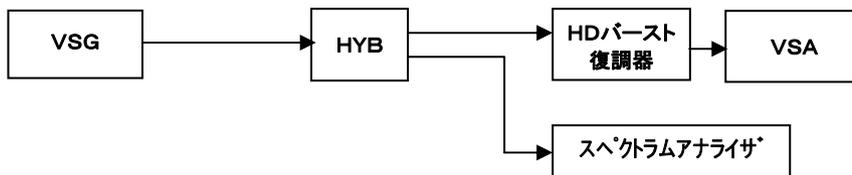


図 4.14 バースト復調器の測定系統図

4.3.1.2 測定方法

- ・ 測定系を図 4.14 の通りにセットアップする。
- ・ VSG (Vector Signal Generator) の伝送速度を設定する。
- ・ VSG の出力をバースト復調器に入力し、VSA にて I, Q 復調信号の C/N 対コンスタレーション及び EVM 値を評価した。

4.3.1.3 測定結果

バースト変調器の EVM は 2.72% であり、設計目標値の 5% に対して十分な値が得られている。

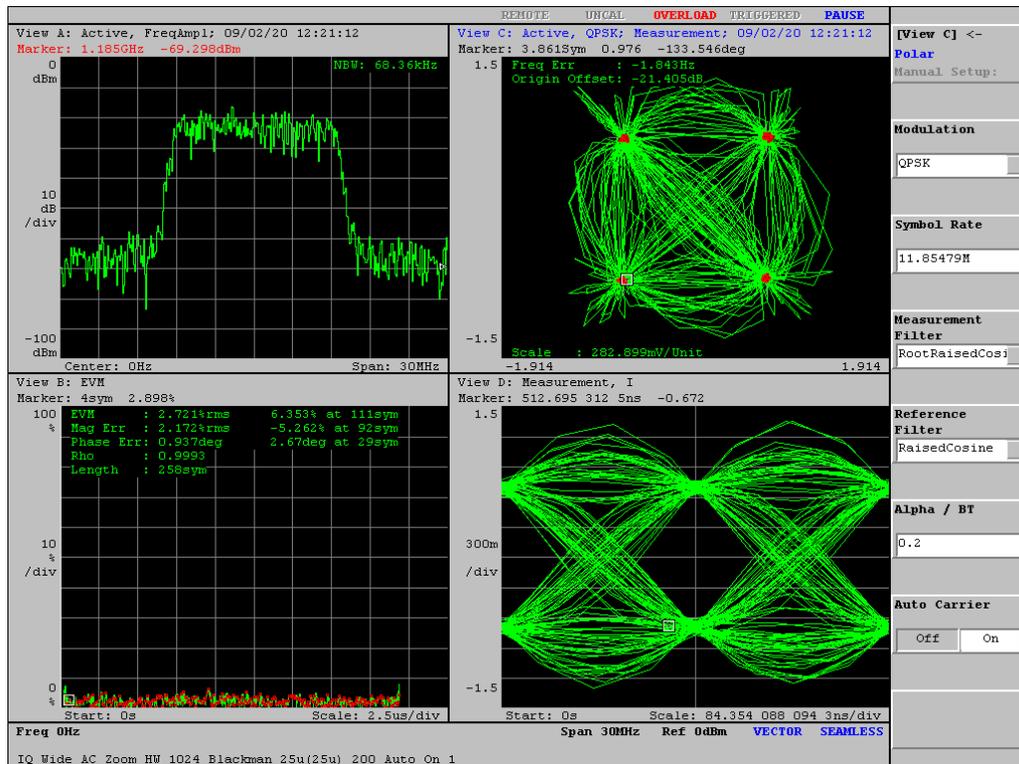


図 4.15 復調精度

表 4-2 EVM 値

伝送レート	EVM
10.368Mbps	2.72%

4.4 送信系-受信系による総合接続試験

4.4.1 IF 折り返しによるブレード回転数、遮断率をパラメータとした BER 特性

本試験では、ブレードの回転数及び遮断率の組み合わせにおける C/N 対 BER 特性を測定評価する。尚、ブレードの回転数及び遮断率は模擬的に生成した送信制御信号により制御する。

4.4.1.1 測定系の構成

試験構成図を図 4.16 に示す。

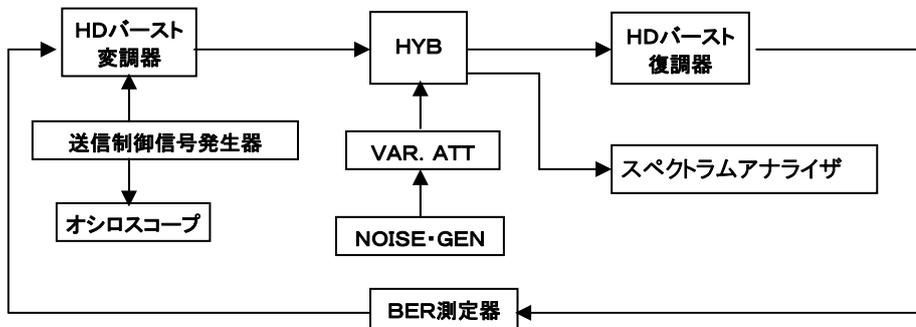


図 4.16 IF によるブレード回転数、遮断率をパラメータとした BER 特性測定構成

4.4.1.2 測定方法

- ・ 測定系を図 4.16 の通りにセットアップする。
- ・ バースト変復調器の伝送速度を設定する。
- ・ 送信制御信号発生器によりブレード回転速度及び遮断率を設定する。
- ・ 雑音発生器の可変減衰器で信号対雑音比 (C/N) を可変し BER 測定器により BER 特性を測定する。
- ・ BER 特性の図にある最も BER が小さい点はその測定時間内に誤りの発生がなかったため (BER= ∞ となるため)、測定時間内に 1 ビット誤ったと仮定しての BER の点をプロットしている。

4.4.1.3 測定結果

各伝送速度、各ブレード回転数、各遮断率における IF Loop 試験 (変復調器折り返し) の BER 特性を図 4.17～図 4.18 に示す。

伝送速度、ブレード回転数、遮断率に関わらず、変復調器の設計目標値 (C/N5.6dB, BER=1E-7) に対して約 0.5dB のマージンを確保している。

IF Loop試験 各ブレード回転数におけるBER特性
(伝送速度10.368Mbps, 遮断率20%)

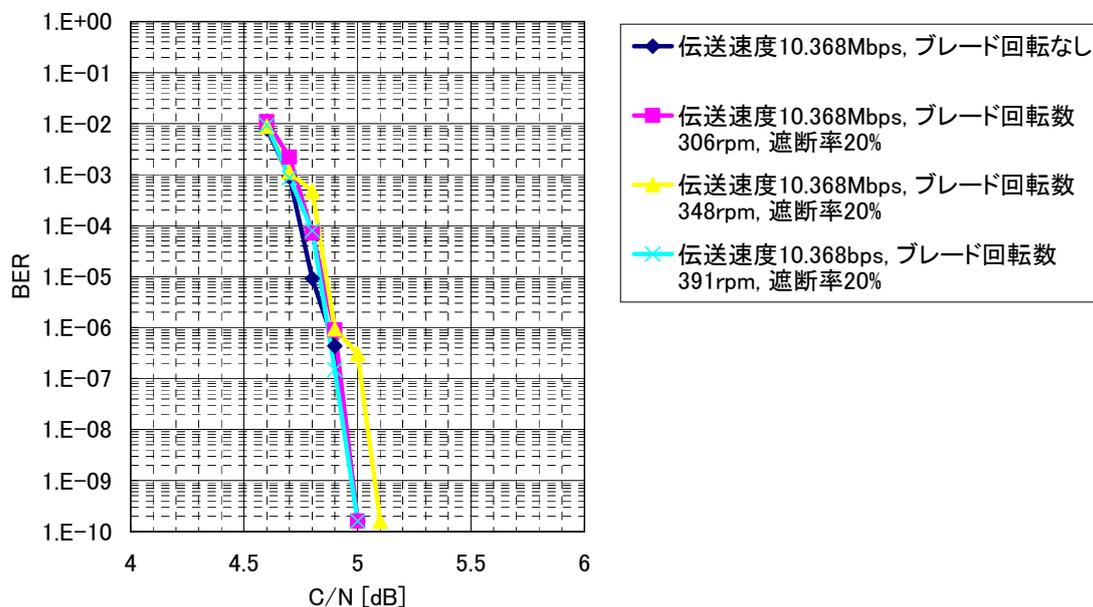


図 4.17 伝送速度 10.368Mbps 遮断率 20%における BER 特性

IF Loop試験 各ブレード回転数におけるBER特性
(伝送速度10.368Mbps, 遮断率35%)

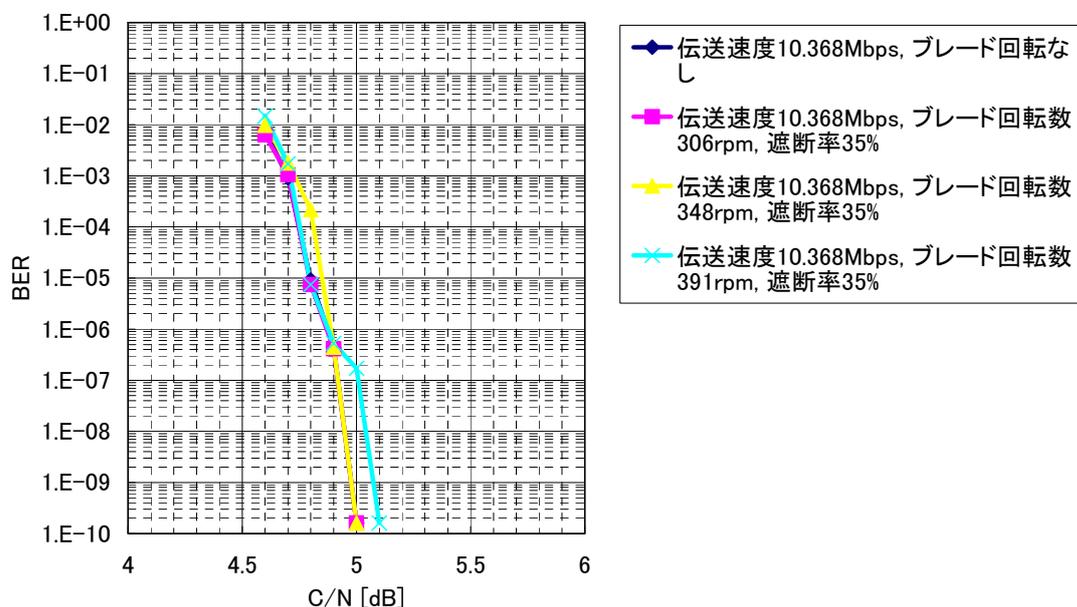


図 4.18 伝送速度 10.368Mbps 遮断率 35%における BER 特性

4.4.2 レベル偏差に対する BER 特性

本試験では、バースト復調器入力を入力レベルを可変したときの C/N 対 BER 特性を測

定評価する。

4.4.2.1 測定系の構成

試験構成を図 4.19 に示す。

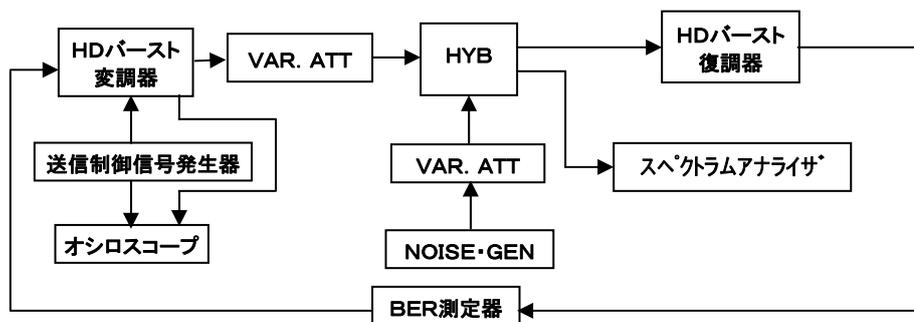


図 4.19 レベル偏差に対する BER 特性測定構成図

4.4.2.2 測定方法

- ・ 測定系を図 4.19 の通りにセットアップする。
- ・ バースト変復調器の伝送速度を設定する。
- ・ 送信制御信号発生器によりブレード回転速度及び遮断率を設定する。
- ・ バースト復調器の入力レベルを標準の入力値より $\pm 10\text{dB}$ になるように変調器出力の可変減衰器 (VAR.ATT) で設定する。
- ・ 各レベルに対して信号対雑音比 (C/N) を可変して C/N 対 BER 特性を測定する。
- ・ BER 特性の図にある最も BER が小さい点はその測定時間内に誤りの発生がなかったため (BER= ∞ となるため)、測定時間内に 1 ビット誤ったと仮定しての BER の点をプロットしている。

4.4.2.3 測定結果

バースト復調器入力レベルを標準の入力値より $\pm 10\text{dB}$ の偏差を与えた場合の BER 特性への影響はほとんど観測できない程度であり、バースト信号において AGC(Automatic Gain Control)が十分機能していることが確認できる。

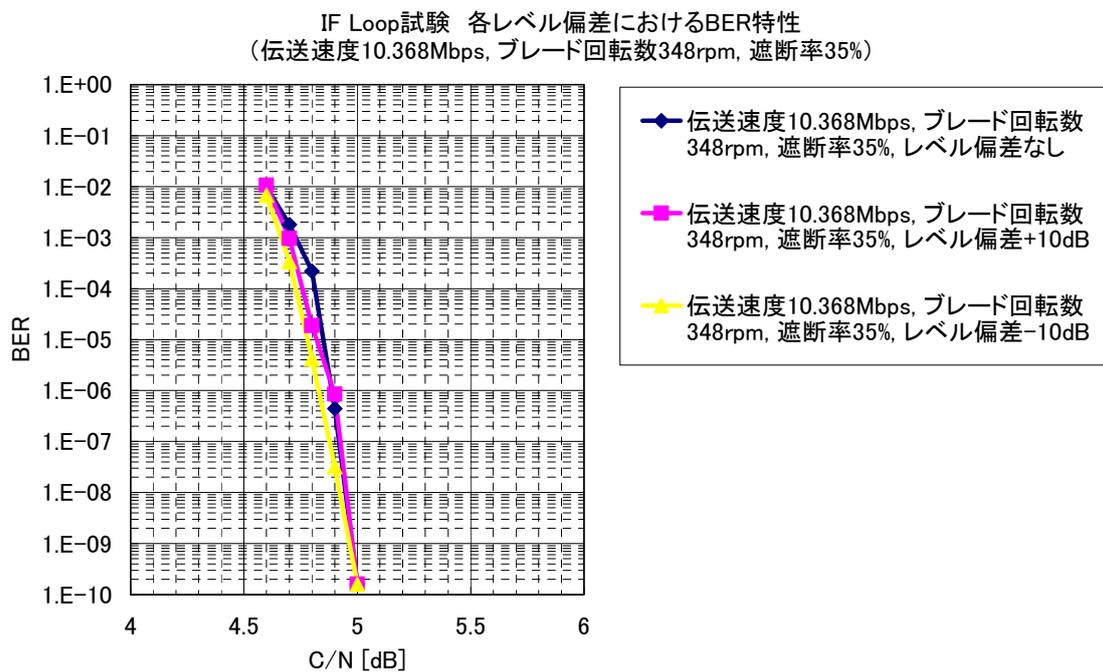


図 4.20 伝送速度 10.368Mbps レベル偏差±10dB における BER 特性

4.4.3 周波数偏差に対する BER 特性

本試験では、バースト復調器入力の IF 周波数を強制的にオフセットさせ、周波数偏差に対する C/N 対 BER 特性を測定評価する。

4.4.3.1 測定系の構成

試験構成を図 4.21 に示す。

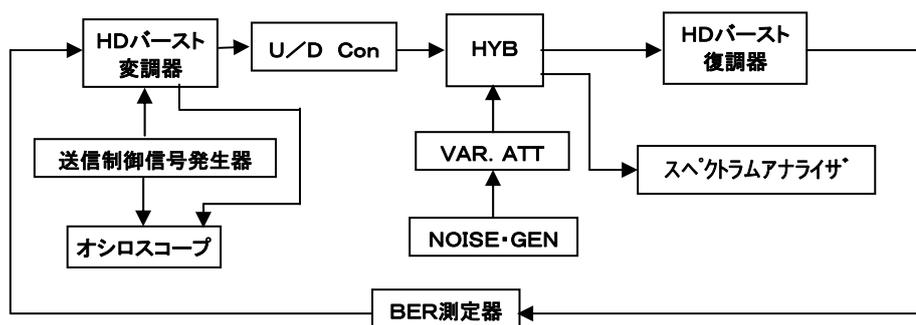


図 4.21 周波数偏差に対する BER 特性測定系統図

4.4.3.2 測定方法

- ・ 測定系を図 4.21 の通りにセットアップする。
- ・ バースト変復調器の伝送速度を設定する。
- ・ 擬似 MPU 発生器によりブレード回転速度及び遮断率を設定する。
- ・ U/D Converter (周波数変換器) でバースト復調器の入力周波数を規定周波数 ± 30 kHz の値に設定する。
- ・ 雑音発生器の可変減衰器で信号対雑音比 (C/N) を設定し、BER 測定器にて C/N 対 BER を測定する。
- ・ BER 特性の図にある最も BER が小さい点はその測定時間内に誤りの発生がなかったため (BER= ∞ となるため)、測定時間内に 1 ビット誤ったと仮定しての BER の点をプロットしている。

4.4.3.3 測定結果

バースト復調器の入力周波数を設定周波数に対し ± 30 kHz のオフセットを与えて BER 特性を測定したが、BER の劣化は観測できなかった。

結果、バースト復調器において AFC(Automatic Frequency Control)が十分に機能していることが確認できる。

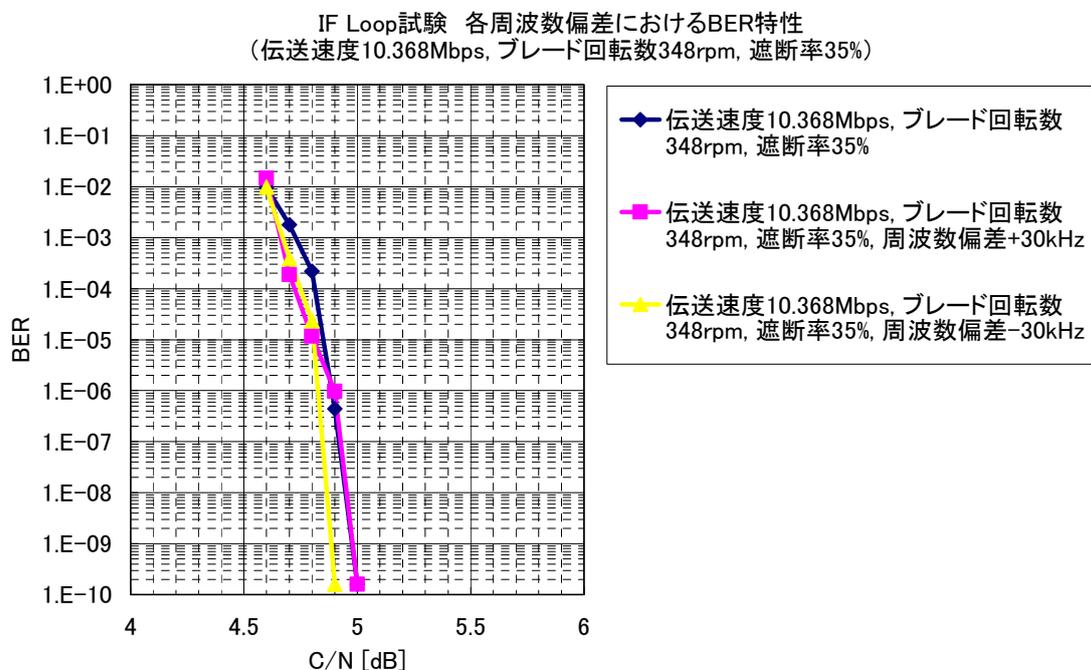


図 4.22 伝送速度 10.368Mbps 周波数偏差 ± 30 kHz における BER 特性

4.4.4 トランスレータ折り返しによるブレード回転数、遮断率をパラメータとした BER 特性

本試験では、バースト変復調器と周波数変換器、HPA、低雑音増幅器などの局内の伝送路系に接続し伝送路系による BER 特性への影響を測定評価する。

4.4.4.1 測定系の構成

試験構成を図 4.23 に示す。

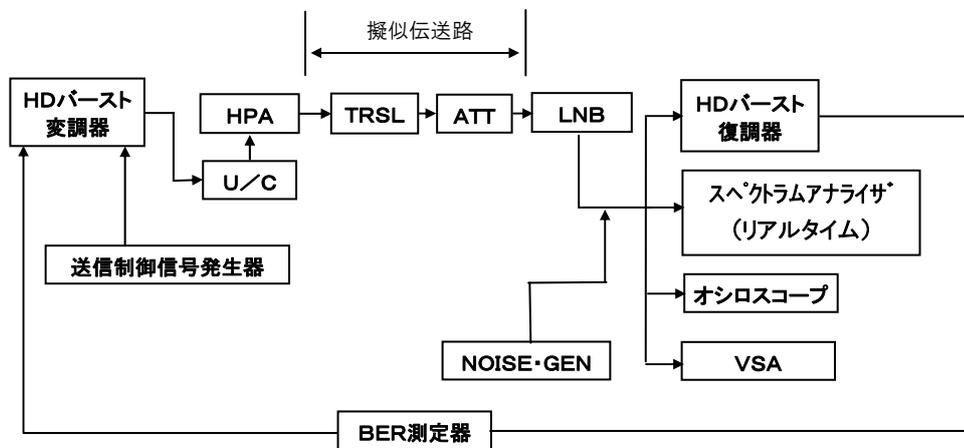


図 4.23 局内折り返し (T/T Loop) での BER 特性測定構成図

4.4.4.2 測定方法

- 測定系を図 4.23 の通りにセットアップする。
- バースト変復調器の伝送速度を設定する。
- 送信制御信号発生器によりブレード回転速度及び遮断率を設定する。
- バースト復調器の入力 C/N を可変して C/N 対 BER を測定する。
- BER 特性の図にある最も BER が小さい点はその測定時間内に誤りの発生がなかったため (BER= ∞ となるため)、測定時間内に 1 ビット誤ったと仮定しての BER の点をプロットしている。

4.4.4.3 測定結果

局内折り返し (T/T Loop) での BER 特性は IF Loop の BER 特性に比べ 0.2dB 程度の僅かな劣化に収まっており、また C/N5.6dB で BER=1E-7 の目標値に対し約 0.5dB のマージンを確保している。

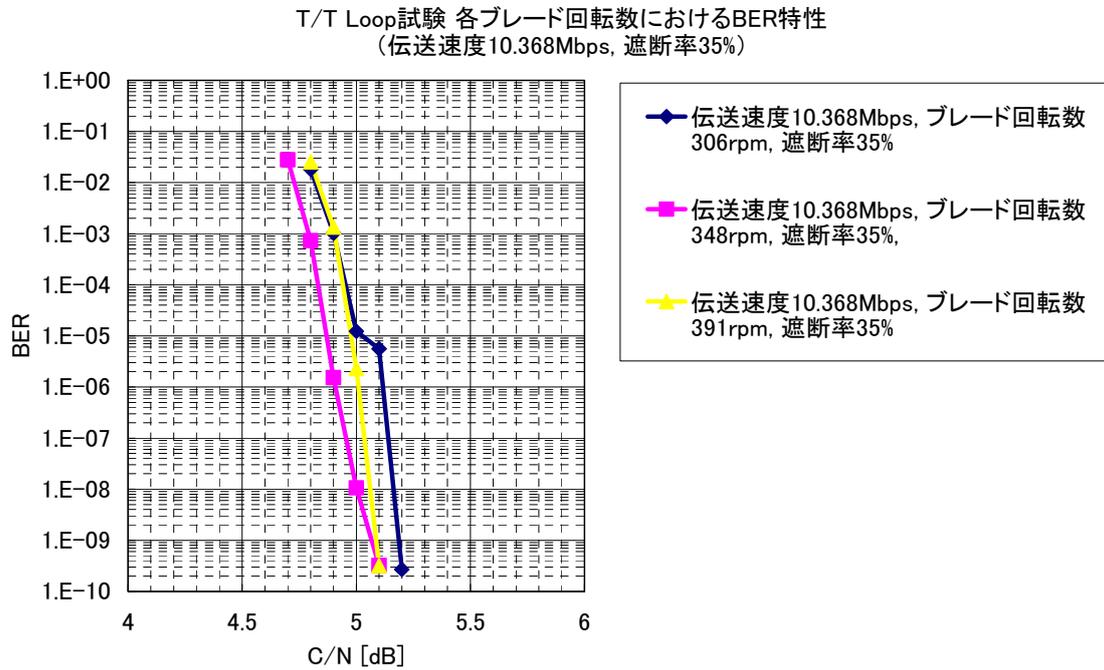


図 4.24 伝送速度 10.368Mbps 遮断率 35%における BER 特性

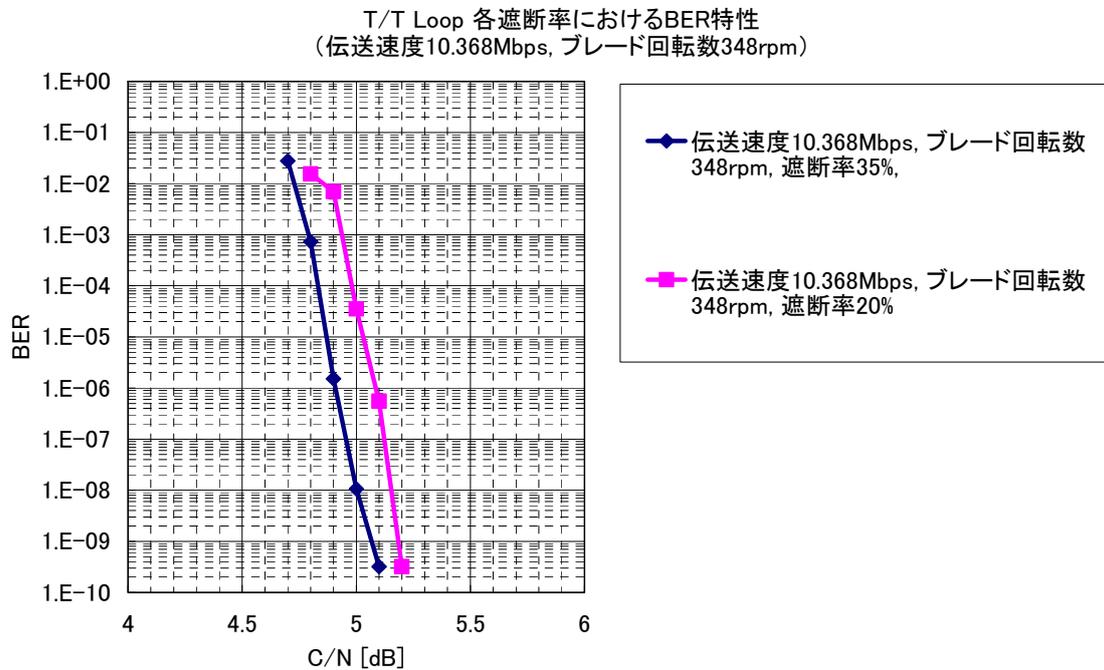


図 4.25 伝送速度 10.368Mbps ブレード回転数 348rpm における BER 特性

4.4.5 送信系－受信系による総合接続試験

送信系－受信系の総合接続試験として、バースト変復調器に H.264 エンコーダ、デコーダを接続し、各々の遮断率、ブレード回転数にて映像伝送を確認する。

4.4.5.1 測定系の構成

測定系の構成を図 4.26 に示す。

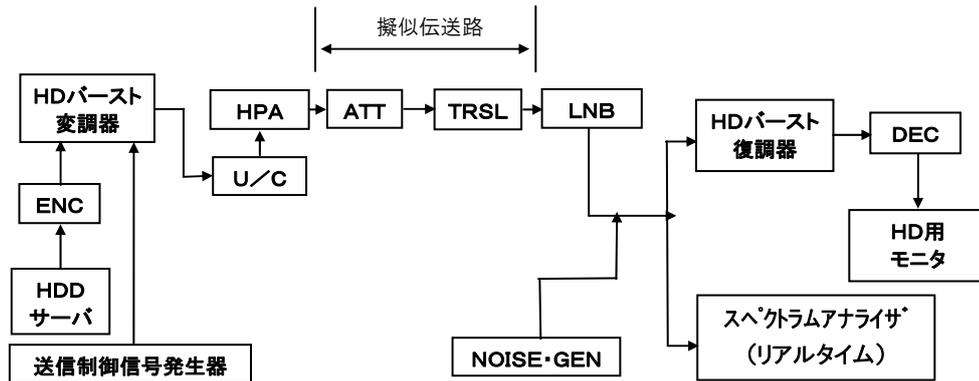


図 4.26 総合接続試験の構成図

4.4.5.2 総合試験結果

表 4-3 のパラメータにより HDTV 伝送を行った。バースト伝送による映像の断はなく、映像はスムーズに再生されており、変復調器のバッファ機能が正しく動作していることを確認した。動画像は、ITE 標準動画像 Sequence No,16 Whale Show を使用した。

表 4-3 HDTV 伝送のパラメータ

伝送速度	映像レート (システムレート)	画素数	遮断率 [%]	ブレード回転数 [rpm]
6.144Mbps	5.571Mbps (6.144Mbps)	1440×1080	0, 20, 35	306, 348, 391
10.368Mbps	9.704Mbps (10.368Mbps)	1920×1080	0, 20, 35	306, 348, 391



図 4.27 C/N=4.9dB 伝送速度 10.368Mbps ブレード回転数 348rpm
遮断率 35% (ブロックノイズあり)

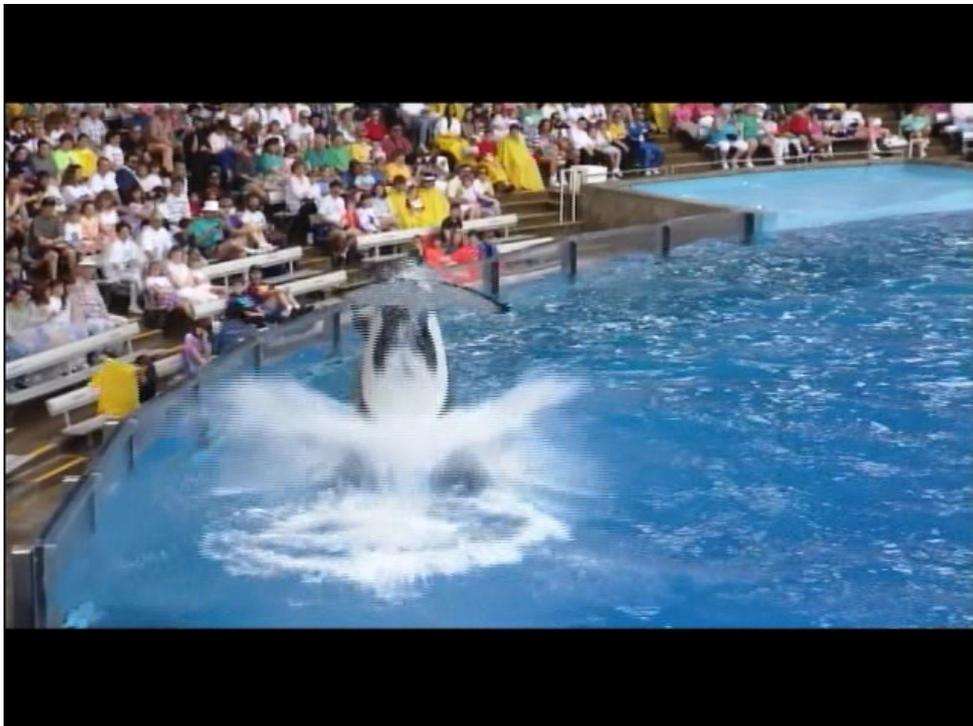


図 4.28 C/N=5.6dB 伝送速度 10.368Mbps ブレード回転数 348rpm
遮断率 35% (ブロックノイズなし)

4.5 その他必要な項目

4.5.1 標準方式の BER 特性との比較

SNG 等で使用されている標準方式の DVB-S 変復調器の BER 特性を測定し、バースト変復調器の特性と比較を行う。試験は IF 折り返しにより行う。

4.5.1.1 測定結果

バースト変復調器は標準方式の DVB-S と比較した結果、BER 特性は同等であり、変復調器の性能として回線設計上、特段考慮することがないことが確認される。またバースト変復調器は誤り訂正符号に LDPC を採用しているため、標準方式に比べ特性が急峻になっている。

標準方式変復調器(DVB-S)との比較

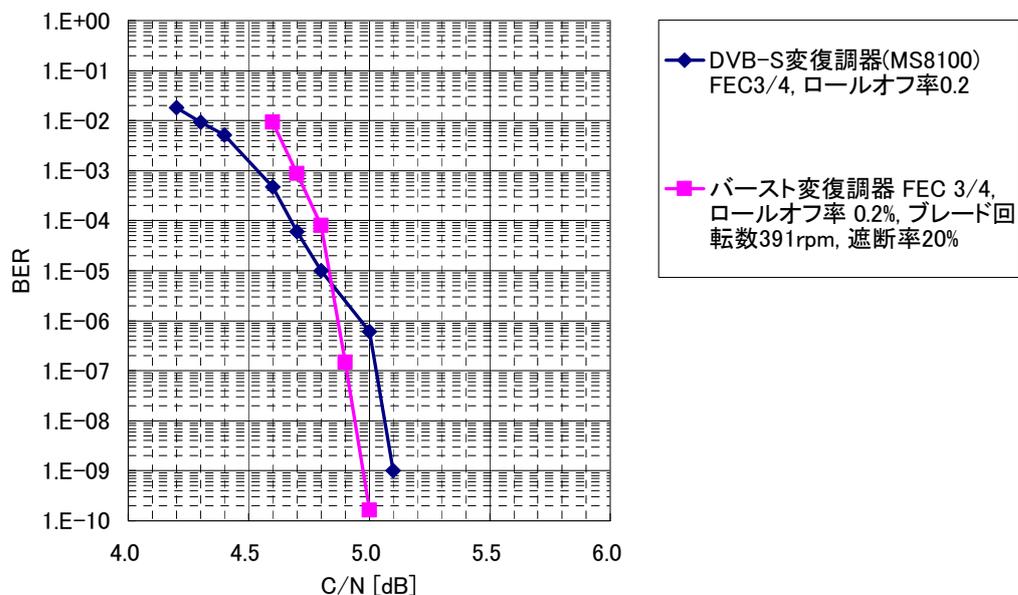


図 4.29 標準方式との BER 特性比較

第5章 衛星システムにおける電波伝送試験

5.1 送信系-受信系による総合接続試験

5.1.2 ブレード回転数、遮断率をパラメータとした BER 特性

本試験では、バースト変復調器と周波数変換器、HPA、低雑音増幅器など地球局だけでなく、衛星局を含んだ伝送路系に接続し BER 特性への影響を測定評価する。

5.1.1.1 測定系の構成

測定系の構成を図 5.1 に、送受信局を図 5.2 示す。

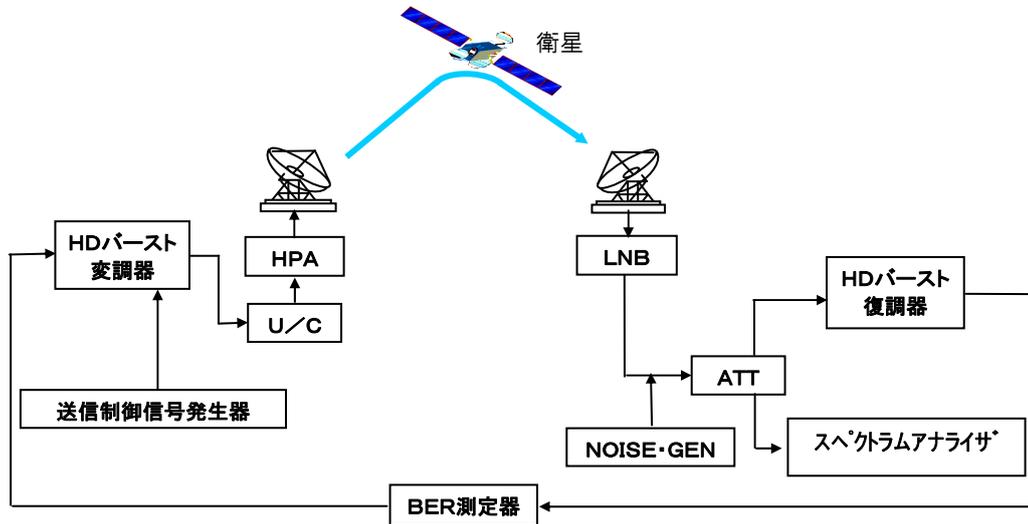


図 5.1 衛星システムにおけるブレード回転数、遮断率をパラメータとした BER 特性測定系統図



図 5.2 衛星伝送で使用した送受信地球局（手前：送信局、奥：受信局）

5.1.1.2 測定方法

- 測定系を図 5.1 の通りにセットアップする。
- バースト変復調器の伝送速度を設定する。
- 送信制御信号発生器によりブレード回転速度及び遮断率を設定する。
- バースト復調器の入力 C/N を可変して C/N 対 BER を測定する。
- BER 特性の図にある最も BER が小さい点はその測定時間内に誤りの発生がなかったため (BER=∞となるため)、測定時間内に 1 ビット誤ったと仮定しての BER の点をプロットしている。

5.1.1.3 測定結果

衛星システムにおける電波伝送試験の BER 特性は IF Loop および T/T Loop(局内折り返し)での BER 特性に対し C/N 比で約 0.2dB 程度の若干の劣化に収まっており衛星回線でのキャリアレベルの短期変動を考慮すれば劣化量としては妥当な値であると考えられる。

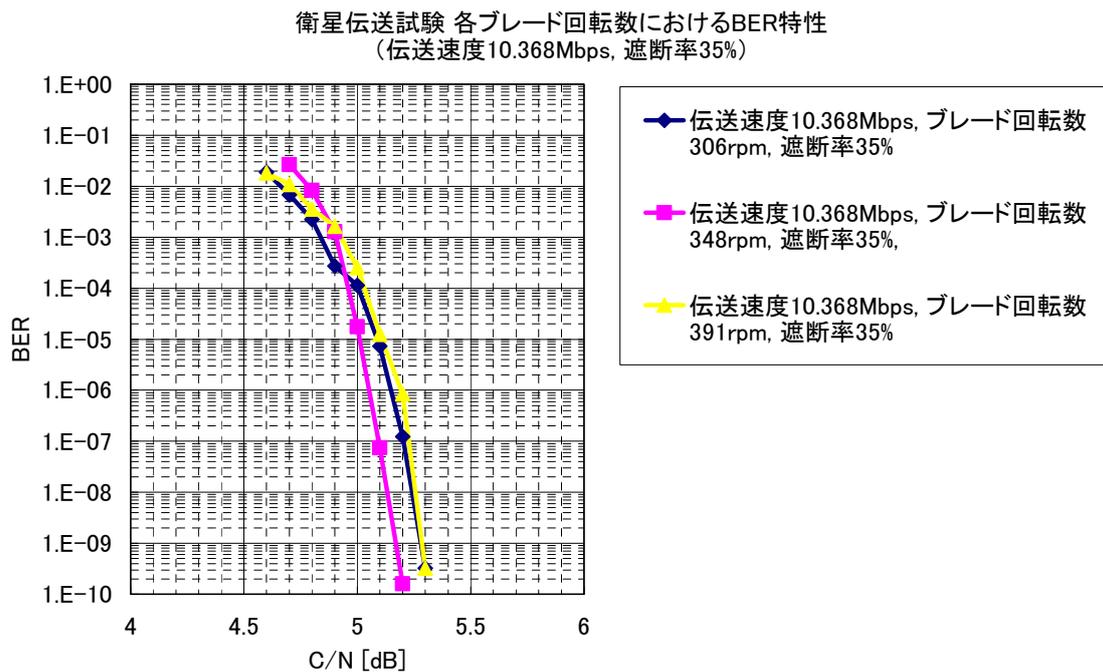


図 5.3 伝送速度 10.368Mbps 遮断率 35%における BER 特性

衛星伝送試験 各遮断率におけるBER特性
 (伝送速度10.368Mbps, ブレード回転数348rpm)

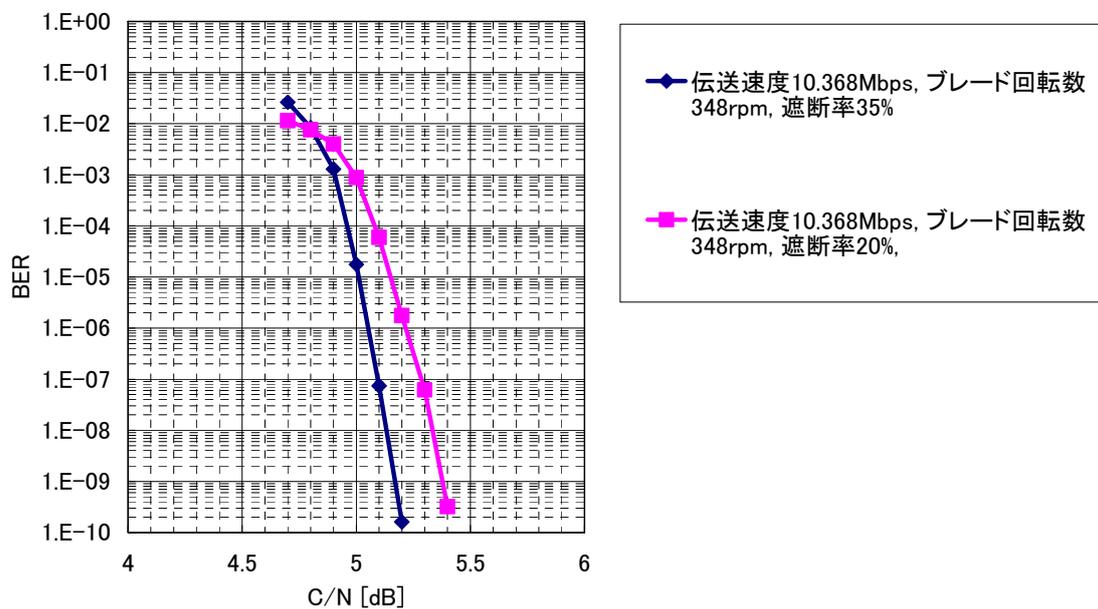


図 5.4 伝送速度 10.368Mbps ブレード回転数 348rpm における BER 特性

5.1.2 レベル偏差に対する BER 特性

本試験では、衛星システムにおけるバースト復調器入力の入力レベルを可変したときの C/N 対 BER 特性を測定評価する。

5.1.2.1 測定系の構成

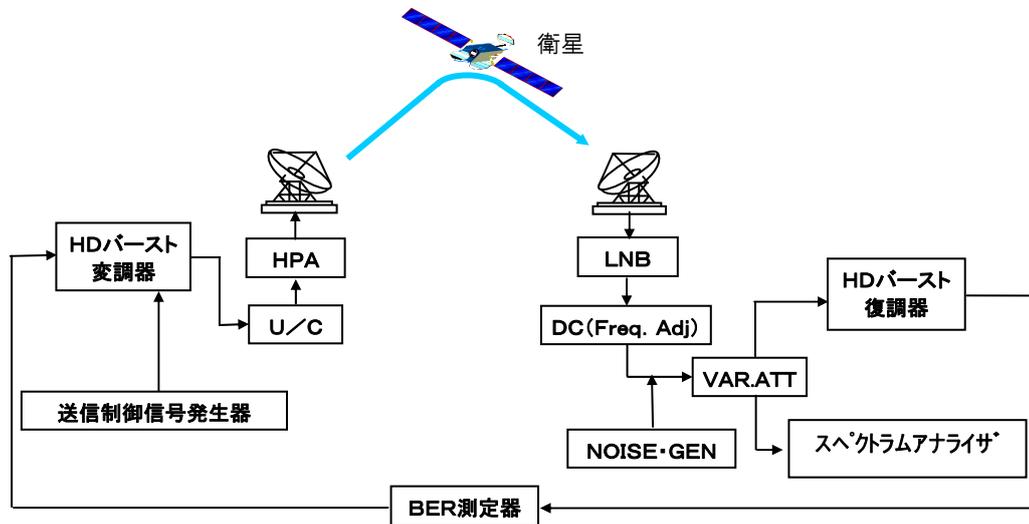


図 5.5 衛星システムにおけるレベル偏差に対する BER 特性測定系統図

5.1.2.2 測定方法

- ・ 測定系を図 5.5 の通りにセットアップする。
- ・ バースト変復調器の伝送速度を設定する。
- ・ 送信制御信号発生器によりブレード回転速度及び遮断率を設定する。
- ・ バースト復調器の入力レベルを標準の入力値より $\pm 10\text{dB}$ になるように変調器出力の可変減衰器 (VAR.ATT) で設定する。
- ・ 各レベルに対して信号対雑音比 (C/N) を可変して C/N 対 BER 特性を測定する。
- ・ BER 特性の図にある最も BER が小さい点はその測定時間内に誤りの発生がなかったため (BER $=\infty$ となるため)、測定時間内に 1 ビット誤ったと仮定しての BER の点をプロットしている。

5.1.2.3 測定結果

バースト復調器入力レベルを標準入力から $\pm 10\text{dB}$ 可変したときの BER 特性への影響はほとんど観測できない程度であり、バースト変復調器の AGC が十分機能していることが確認できる。

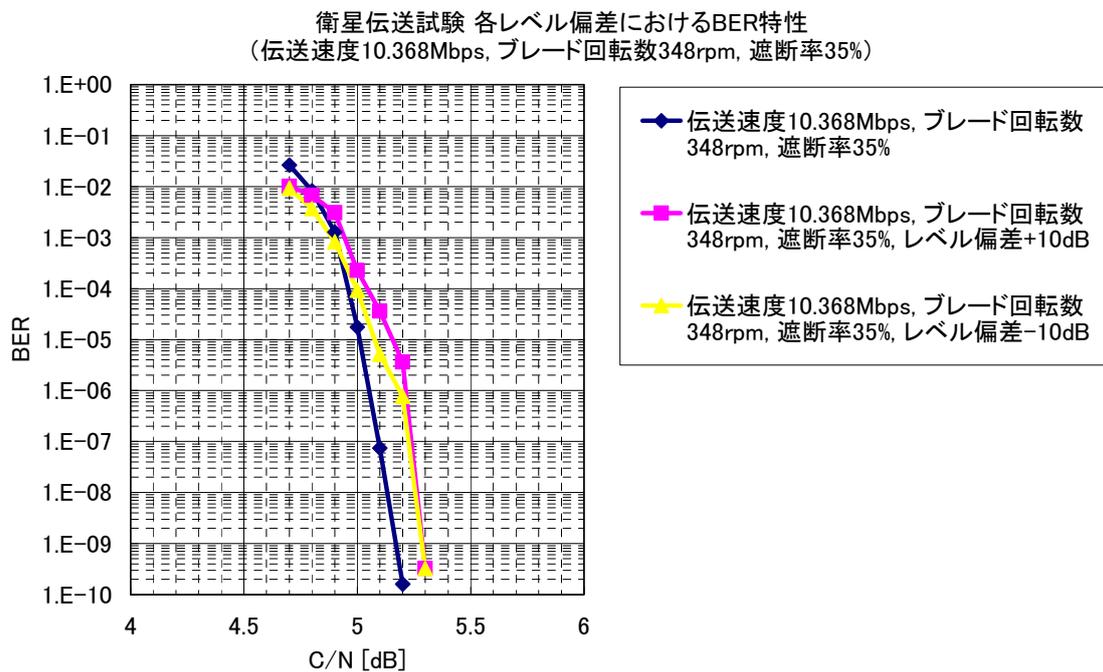


図 5.6 伝送速度 10.368Mbps レベル偏差±10dB における BER 特性

5.1.3 周波数偏差に対する BER 特性

本試験では、衛星システムにおけるバースト復調器入力の入力周波数を可変したときの C/N 対 BER 特性を測定評価する。

5.1.3.1 測定系の構成

測定系の構成を図 5.7 に示す。

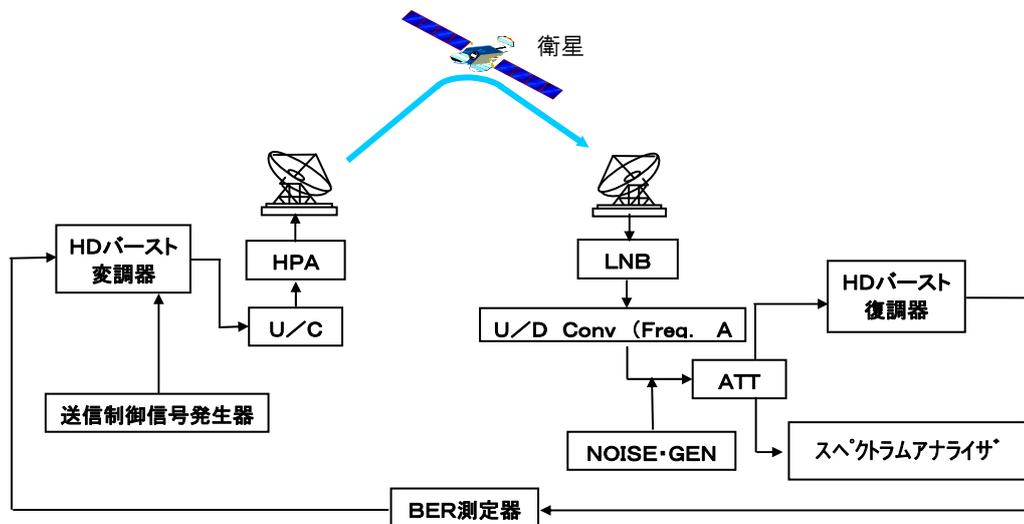


図 5.7 衛星システムにおける周波数偏差に対する BER 特性測定系統図

5.1.3.2 測定方法

- ・ 測定系を図 5.7 の通りにセットアップする。
- ・ バースト変復調器の伝送速度を設定する。
- ・ 送信制御信号発生器によりブレード回転速度及び遮断率を設定する。
- ・ U/D Converter (周波数変換器) でバースト復調器の入力周波数を規定周波数 $\pm 30\text{kHz}$ の値に設定する。
- ・ 雑音発生器の可変減衰器で信号対雑音比 (C/N) を設定し、BER 測定器にて C/N 対 BER を測定する。
- ・ BER 特性の図にある最も BER が小さい点はその測定時間内に誤りの発生がなかったため (BER $=\infty$ となるため)、測定時間内に 1 ビット誤ったと仮定しての BER の点をプロットしている。

5.1.3.3 測定結果

バースト復調器の入力周波数を設定周波数に対し $\pm 30\text{kHz}$ のオフセットを与えて BER 特性を測定したが、BER の劣化は観測できなかった。

結果、衛星システムによる電波伝送試験においてもバースト復調器の AFC が十分に機能していることが確認できる。

衛星伝送試験 各周波数偏差におけるBER特性
 (伝送速度10.368Mbps, ブレード回転数348rpm, 遮断率35%)

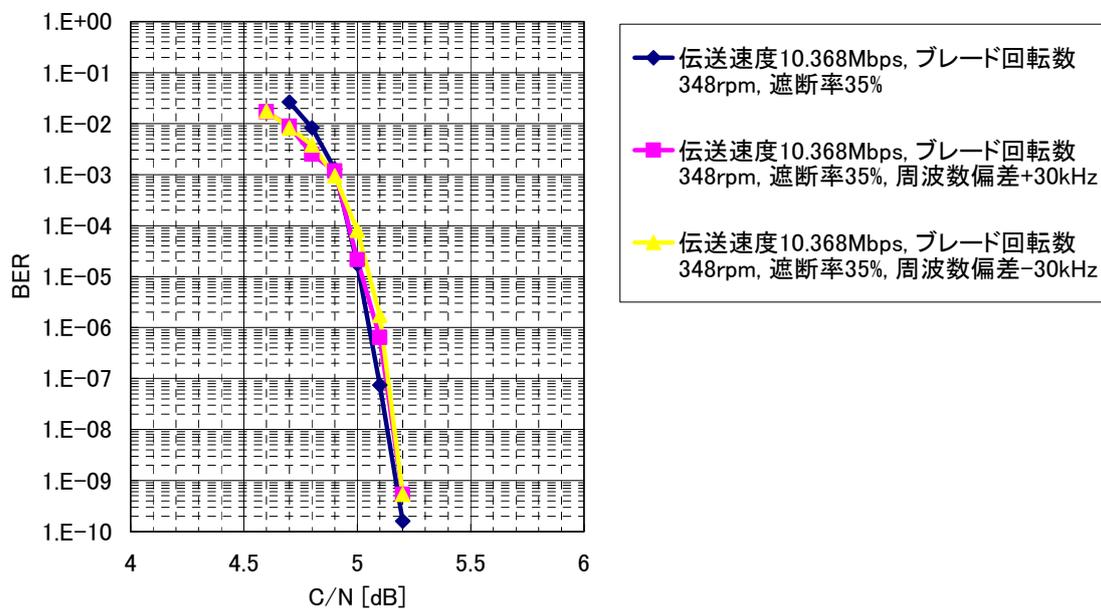


図 5.8 伝送速度 10.368Mbps 周波数偏差±30kHz における BER 特性

5.1.4 エンコーダ、デコーダを組み合わせた映像伝送試験

衛星システムによる送信系-受信系の総合接続試験として、バースト変復調器に H.264 エンコーダ、デコーダを接続し、各々の遮断率、ブレード回転数にて映像伝送を確認する。

5.1.4.1 測定系の構成

測定系の構成を図 5.9 に示す。

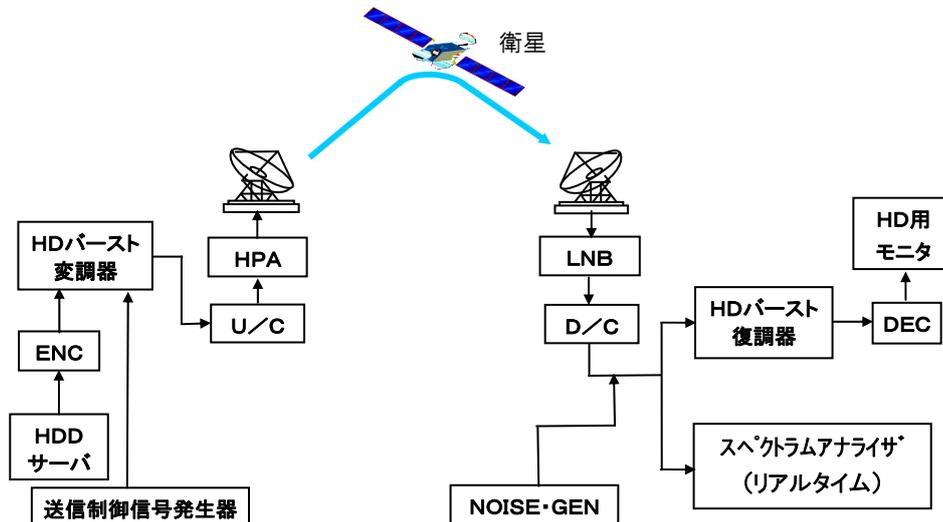


図 5.9 衛星システムによる総合接続試験の構成図

5.1.4.2 総合試験

表 5-1 のパラメータにより HDTV 伝送を行った。バースト伝送による映像の断はなく、映像はスムーズに再生されており、変復調器のバッファ機能が正しく動作していることを確認した。動画像は、ITE 標準動画像 Sequence No,16 Whale Show を使用した。

表 5-1 HDTV 伝送のパラメータ

伝送速度	映像レート (システムレート)	画素数	遮断率 [%]	ブレード回転数 [rpm]
6.144Mbps	5.571Mbps (6.144Mbps)	1440×1080	0, 20, 35	306, 348, 391
10.368Mbps	9.704Mbps (10.368Mbps)	1920×1080	0, 20, 35	306, 348, 391



図 5.10 $C/N=5.1\text{dB}$ 伝送速度 10.368Mbps ブレード回転数 348rpm
遮断率 35% (ブロックノイズあり)



図 5.11 $C/N=5.6\text{dB}$ 伝送速度 10.368Mbps ブレード回転数 348rpm
遮断率 35% (ブロックノイズなし)

第6章 総合評価及びまとめ

6.1 理論検討

HDTV 伝送を実現するヘリサットシステムの理論検討として、伝送諸元、バースト伝送およびバーストフォーマットの基本設計検討を実施した。ヘリのブレードによる遮断を考慮した上で、HDTV 伝送を可能とするバースト伝送の諸元およびフォーマットについて検討した。

また、ブレードの遮断率に適応した送信バースト長及び符号化可変技術について検討を行い、遮断率に応じて送信バースト長及び符号化率を切替える機能を適用し、地域及びヘリの方位に応じて適応的に適切な符号化率が選択されることにより、柔軟かつ効率的な運用が実現できることを確認した。

さらに、ブレードによる干渉予測について、放射特性への影響と地上への干渉の検討を行い、適切に送信 ON/OFF 制御を行うことで放射特性への影響を回避することができ、ブレードの影響による干渉の問題がなく伝送を実現できることを確認した。

6.2 局内折り返し試験

IF および局内折り返し試験としてモデム単体の性能、機能の確認、ブレード回転数と遮断率をパラメータとした BER 特性、レベル偏差に対する BER 特性、周波数偏差に対する BER 特性、標準方式との BER 特性の比較を行った。

モデム単体性能、機能の確認としては、バースト変調器のキャリア ON・OFF 比、位相雑音、キャリア周波数及びキャリアレベル安定度、EVM を確認し、これに加えて送信系システムの室内組み合わせ試験、受信系システムの室内組み合わせ試験を検証した結果、十分な性能、機能が実現できていることを確認した。

送信系-受信系による総合接続試験として、以下を検証した。

ブレード回転数と遮断率をパラメータとした BER 特性の試験として、回転数は 306rpm、348rpm、391rpm の 3 パターンから選択、遮断率は 35%、20%および遮断（回転）なしのパターンから選択して行った。ブレード回転数および遮断率の組み合わせに関わらず、変復調器の設計目標値 (C/N5.6dB, BER=1E-7) に対して約 0.5dB のマージンを確保した良好な特性が確保されていることを確認した。

レベル偏差に対する BER 特性の試験として、バースト復調器の入力レベルを標準の入力値の±10dB について試験を行った。その結果、±10dB のレベル偏差を与えた場合の BER 特性への影響はほとんど観測できない程度であり、バースト信号において AGC が十分機能し、レベル変化に問題なく対応できることを確認した。

周波数偏差に対する BER 特性試験として、バースト復調器入力の IF 周波数を U/D Converter（周波数変換器）で規定周波数±30 k Hz の値に設定し、周波数偏差に対する C/N 対 BER 特性を測定した。±30kHz のオフセットを与えた BER 特性において、BER の劣化は

観測されなかった。結果、バースト信号において、AFC が十分に機能しており、問題なく動作することを確認した。

その他の項目として、標準方式である DVB-S 方式と BER 特性により比較を行った。バーストモデムの BER 特性には LDPC の効果による急峻な誤り訂正特性が確認でき、標準方式と概ね同等の良好な特性を確認した。

尚、電波の質の確認試験として、スプリアス、周波数帯幅を測定したが、電波法の範囲内であった。

6.3 衛星伝送試験

実際に衛星を経由した伝送確認試験として、ブレード回転数と遮断率をパラメータとした BER 特性の試験を実施した。

衛星伝送実験におけるブレード回転数と遮断率をパラメータとした試験として、回転数は 306rpm、348rpm、391rpm の 3 パターンから選択、遮断率は 35%、20% の 2 パターンから選択して BER 特性の試験を行った。いずれのパターンにおいても、ブレード回転周期および遮断率の組み合わせに関わらず、変復調器の設計目標値 ($C/N5.6\text{dB}$, $BER=1E-7$) に対して約 0.3dB 以上のマージンを確保した良好な特性が確保されており、回転周期と遮断率に無関係に良好な伝送が可能であることを確認した。

6.4 総合評価

図 6.1 にブレード回転数 348rpm、遮断率 35% における、IF 折り返し試験 (IF Loop)、局内折り返し試験 (T/T Loop)、衛星伝送試験 (衛星 Loop) における BER 特性結果を示す。IF 折り返し試験と比較して局内折り返し試験は 0.1dB 程度、衛星伝送試験において 0.2dB 程度の固定劣化に抑えられており、良好な BER 特性であることを確認した。

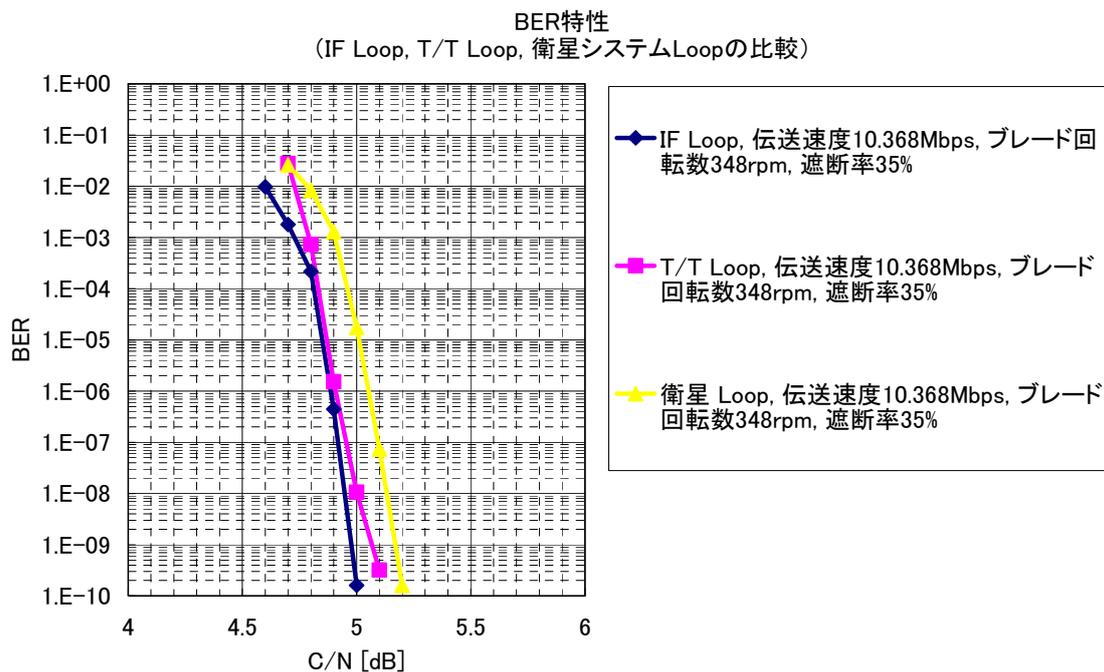


図 6.1 伝送速度 10.368Mbps、IF Loop T/T Loop 衛星システムの比較

6.5 まとめ

ヘリコプターからの HDTV 伝送のための課題として、伝送効率向上による周波数の有効利用を図る最適化および、技術的データ取得による確認が必要であった。

本調査検討における、理論検討結果、IF 及び局内折り返し試験結果、衛星伝送試験結果の技術的データより、ヘリコプターから衛星を通じて HDTV 伝送を行うためのシステムとして、必要となる誤り訂正、バースト伝送、他の衛星への混信防止などの最適化が行われていることが確認できた。本検討による変調方式および誤り訂正方式の高度化および通信効率の最適化により、伝送効率の一層の向上を図ると共にヘリサットシステムの HDTV 伝送における周波数の有効利用が可能となることを確認した。

なお、以下にヘリサットシステムが SDTV から HDTV の伝送が可能となり、周波数の有効利用へ繋がった技術的な点を整理する。

- ◆ 変調方式を BPSK から QPSK へ多値化し、伝送効率の向上を図った
- ◆ LDPC の採用により誤り訂正符号の高度化、符号化率の低減を図った
- ◆ バースト伝送におけるフレーム構成及びパラメータを最適化した

また本年度の調査検討を踏まえ、現段階における HD ヘリサットシステムの技術基準案を以下に示す。以下の案は平成 21 年 1 月 27 日に発表された諮問第 2025 号「Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの技術的条件」のうち「標準画質レベルの動画及び音声の伝送が可能なシステムの技術的条件」から抜粋したものであり、本年度の調査検討を踏ま

えて検討した結果、SD 伝送における技術的条件を HD 伝送に適用させた場合に変更の必要がないものは、これをそのまま適用するのが望ましいと考えた。その項目を表 6-1 に示す。

表 6-1 技術的条件

1. 一般的条件											
必要な機能	<ul style="list-style-type: none"> ヘリコプター地球局の空中線は、通信の相手方である人工衛星局のみを自動的に追尾する機能を有することを有すること。 ヘリコプター地球局は、自局の障害を検出する機能を有し、障害を検出したとき及び人工衛星局を経由した基地局からの信号を正常に受信できないときに、自動的に電波の発射を停止する機能を有すること。 ヘリコプター地球局は、送信空中線の主輻射が自機の機体（ブレードを含む。）に反射しないよう、自動的に電波の発射を停止する機能を有すること。 										
適用周波数帯	14.0 - 14.4 GHz 帯（アップリンク）										
2. ヘリコプター地球局の無線設備の条件											
送信装置の条件											
周波数の許容偏差	±100ppm										
スプリアス発射の強度の許容値	<p>(ア) スプリアス領域における不要発射の強度の許容値 50μW 以下又は 60dBc のいずれか厳しくない値。</p> <p>(イ) 帯域外領域における不要発射の強度の許容値 上記の値と、4kHz の周波数帯域幅当たり $40\log(2F/BN+1)$dB の値とのいずれか小さい方の値。（F は必要周波数帯幅と帯域外領域の境界より中心周波数と反対方向に離れる周波数の値、BN はシングルキャリアの場合にあっては占有周波数帯幅の許容値、マルチキャリアの場合にあっては割当帯域幅とする。）</p>										
空中線電力の許容偏差	±50%										
軸外輻射電力の許容値	<p>静止衛星軌道に対し南北方向の±3°以内のすべての方向に輻射される電力が、以下の値以下（θ は、主輻射の方向からの離角）</p> <table border="0"> <tr> <td>主輻射の方向からの離角（θ）</td> <td>最大輻射電力(40kHz あたり)</td> </tr> <tr> <td>$2^{\circ} \leq \theta \leq 7^{\circ}$</td> <td>33-25log θ dBW</td> </tr> <tr> <td>$7^{\circ} < \theta \leq 9.2^{\circ}$</td> <td>12 dBW</td> </tr> <tr> <td>$9.2^{\circ} < \theta \leq 48^{\circ}$</td> <td>36-25log θ dBW</td> </tr> <tr> <td>$48^{\circ} < \theta$</td> <td>-6 dBW</td> </tr> </table>	主輻射の方向からの離角（θ）	最大輻射電力(40kHz あたり)	$2^{\circ} \leq \theta \leq 7^{\circ}$	33-25log θ dBW	$7^{\circ} < \theta \leq 9.2^{\circ}$	12 dBW	$9.2^{\circ} < \theta \leq 48^{\circ}$	36-25log θ dBW	$48^{\circ} < \theta$	-6 dBW
主輻射の方向からの離角（θ）	最大輻射電力(40kHz あたり)										
$2^{\circ} \leq \theta \leq 7^{\circ}$	33-25log θ dBW										
$7^{\circ} < \theta \leq 9.2^{\circ}$	12 dBW										
$9.2^{\circ} < \theta \leq 48^{\circ}$	36-25log θ dBW										
$48^{\circ} < \theta$	-6 dBW										

交差偏波電力の制御	通信相手方である人工衛星局の交差偏波側の中継器を利用するシステムに有害な干渉を生じさせない十分小さな値になるよう制御されること。						
受信装置の条件	副次的に発生する電波等の限度は、4nW 以下						
空中線の条件							
覆域	<ul style="list-style-type: none"> 送信空中線の最小運用仰角は、水平面から+3 度以上 地表線に対する等価等方輻射電力の許容値は、以下の値 (θ は、送信空中線の輻射の中心から見た地表線の仰角) <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">仰角 (θ)</td> <td style="text-align: center;">等価等方輻射電力の許容値</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\theta \leq 0^\circ$</td> <td style="text-align: center;">40dBW/4kHz</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$0^\circ < \theta \leq 5^\circ$</td> <td style="text-align: center;">40+30dBW/4kHz</td> </tr> </table>	仰角 (θ)	等価等方輻射電力の許容値	$\theta \leq 0^\circ$	40dBW/4kHz	$0^\circ < \theta \leq 5^\circ$	40+30dBW/4kHz
仰角 (θ)	等価等方輻射電力の許容値						
$\theta \leq 0^\circ$	40dBW/4kHz						
$0^\circ < \theta \leq 5^\circ$	40+30dBW/4kHz						
偏波	直線偏波又は円偏波						
交差偏波識別度	交差偏波電力が通信の相手方である人工衛星局の交差偏波側の中継器を利用するシステムに有害な干渉を生じさせない十分小さな値となること。						
監視制御装置の条件	故障検出機能を持ち、システムの動作に影響のある故障を検出したときは直ちに停波する機能を有すること。						
3.測定法							
国内で定められた測定法に準拠							
4.周波数の共用条件							
固定衛星業務	無線通信規則に定められた国際調整において特定又は代表地球局として公表され、調整により合意された値を超えないこと。						
固定業務・移動業務	<ul style="list-style-type: none"> ヘリコプター地球局からの送信による不要発射の地表面での最大電力束密度は、14.4GHz を超える周波数において、以下の値を超えないこと。(θ は、ヘリコプター地球局から発射された電波の到来方向の地表面における仰角) <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">-132+0.50 dB(W/(m²・MHz))</td> <td style="text-align: center;">for</td> <td style="text-align: center;">$\theta \leq 40^\circ$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-112+0.50 dB(W/(m²・MHz))</td> <td style="text-align: center;">for</td> <td style="text-align: center;">$40^\circ < \theta \leq 90^\circ$</td> </tr> </table>	-132+0.50 dB(W/(m ² ・MHz))	for	$\theta \leq 40^\circ$	-112+0.50 dB(W/(m ² ・MHz))	for	$40^\circ < \theta \leq 90^\circ$
-132+0.50 dB(W/(m ² ・MHz))	for	$\theta \leq 40^\circ$					
-112+0.50 dB(W/(m ² ・MHz))	for	$40^\circ < \theta \leq 90^\circ$					

電波天文業務	<ul style="list-style-type: none"> ヘリコプター地球局は、14.47-14.5GHz で運用されている電波天文局の見通し領域内では、一つのヘリコプター地球局からの送信による不要発射の当該電波天文局における地表面の最大電力束密度は、14.47-14.5GHz において、以下の値を超えないこと。(θ は、ヘリコプター地球局から発射された電波の到来方向の地表面における仰角) <p style="text-align: center;"> $-190+0.50 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 150\text{kHz)} \quad \text{for} \quad \theta \leq 10^\circ$ $-185+0.50 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 150\text{kHz)} \quad \text{for} \quad 10^\circ < \theta \leq 90^\circ$ </p>
5.その他配慮すべき事項	
ヘリコプター地球局は、航空計器類等に対する影響のないように配慮すること。	

おわりに

「ヘリコプターからの HDTV 伝送（高画質伝送）のための衛星通信技術」に関する調査検討の審議にあたり、水野主査をはじめ、本調査検討会における審議にご尽力を頂いた各委員並びに関係各位に厚くお礼申し上げます。

略語・解説

略語	正式名称	日本語訳・内容
BER	Bit Error Rate	ビット誤り率
C/N	Carrier over Noise	信号対雑音比
Dec	Decoder	デコーダ
Eb/No	energy per bit to noise power spectral density ratio	ビットあたりの電力密度対雑音電力密度比
ENC	Encoder	エンコーダ
HDTV	High Definition Television	高精細テレビ。走査線1125本
HDDサーバー	High Definition Drive サーバー	高精細テレビ画像サーバー
HPA	High Power Amplifier	大電力増幅器
HYD	Hybrid	分配器
LDPC	low-density parity-check code	低密度パリティ検査符号 誤り訂正符号の1つ
LNB	Low Noise Block Converter	低雑音増幅器
M&C	Monitor and Control	監視・制御
MPU	Magnetic Pick Up	ヘリコプターブレードの回転情報を出力
Noise・Gen	Noise Generator	雑音発生器
OW	Order Wire	連絡回線
PR	Preamble	プリアンプル クロック同期用のビット列
rpm	revolution per minute	一分あたり回転数
SDTV	Standard Definition Television	標準テレビ。走査線525本
TRSL	Translator	トランスレータ 衛星を模擬した周波数変換器
U/C	Up Converter	高い周波数へ変換する周波数変換器
U/D	Up Down converter	周波数変換器
UW	Unique Word	フレーム同期用ビット列
VAR. ATT	Variable Attenuator	可変減衰器
VSA	Vector Signal Analyzer	ベクトルシグナルアナライザ 信号ベクトル解析、変復調解析器
VSG	Vector Signal Generator	ベクトルシグナルジェネレータ 任意波形・変調信号発生器

付録
試験データ集

付録

ヘリコプターからの HDTV 伝送（高画質伝送）のための衛星通信技術に関する調査検討

試験データ集目次

第 1 章	局内折り返しによる機能確認試験.....	2
1.1	キャリア送信タイミング制御の確認試験.....	2
1.2	バースト変調器のキャリア ON・OFF 比.....	2
1.3	位相雑音	3
1.4	キャリア周波数及びキャリアレベル安定度.....	4
1.5	占有周波数帯幅.....	4
1.6	変調精度確認試験.....	5
1.7	復調精度確認試験.....	6
1.8	IF 折り返しによるブレード回転数、遮断率の各組み合わせにおける BER 特性....	7
1.9	レベル偏差に対する BER 特性.....	9
1.10	周波数偏差に対する BER 特性.....	10
1.11	トランスレータ折り返しによるブレード回転周期、 遮断率をパラメータとした BER 特性	10
第 2 章	衛星システムにおける電波伝送試験.....	12
2.1	ブレード回転周期、遮断率をパラメータとした BER 特性	12
2.2	レベル偏差に対する BER 特性.....	14
2.3	周波数偏差に対する BER 特性.....	15
2.4	IF Loop、T/T Loop、衛星システム Loop の比較.....	16

第1章 局内折り返しによる機能確認試験

1.1 キャリア送信タイミング制御の確認試験

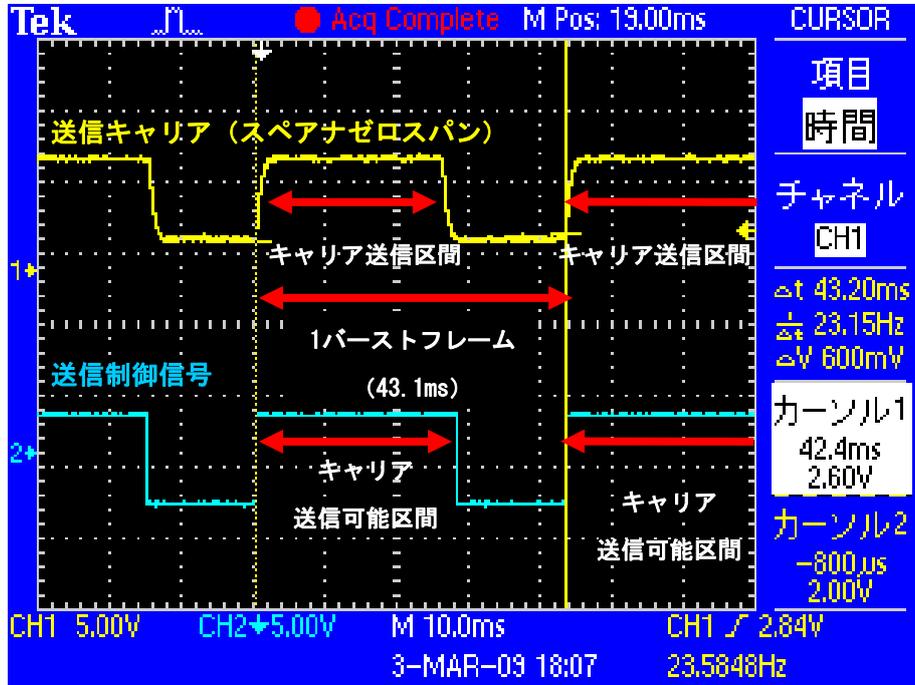


図 1.1 キャリア送信タイミング制御の確認

1.2 バースト変調器のキャリア ON・OFF 比

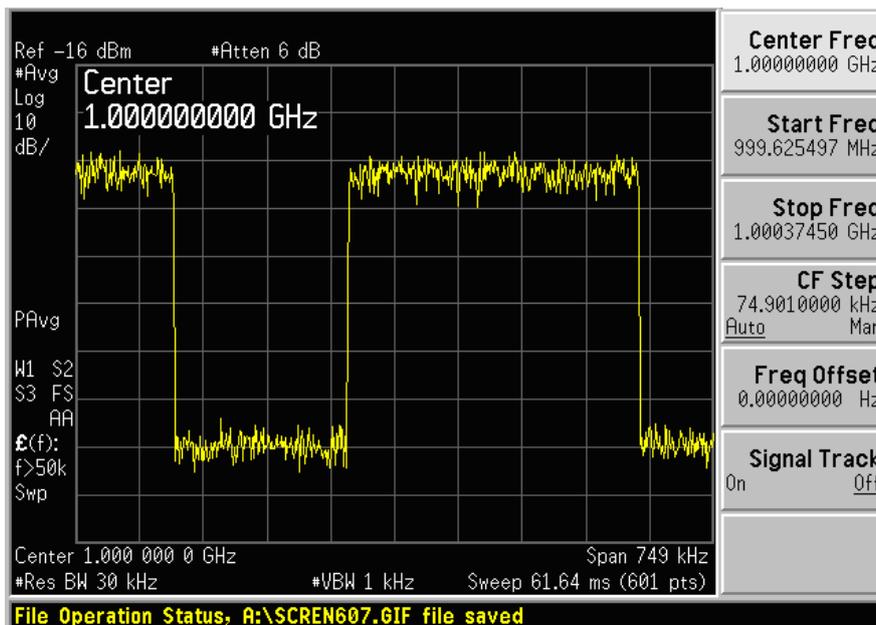


図 1.2 バースト変調器のキャリア ON・OFF 比 (伝送速度 6.144Mbps)

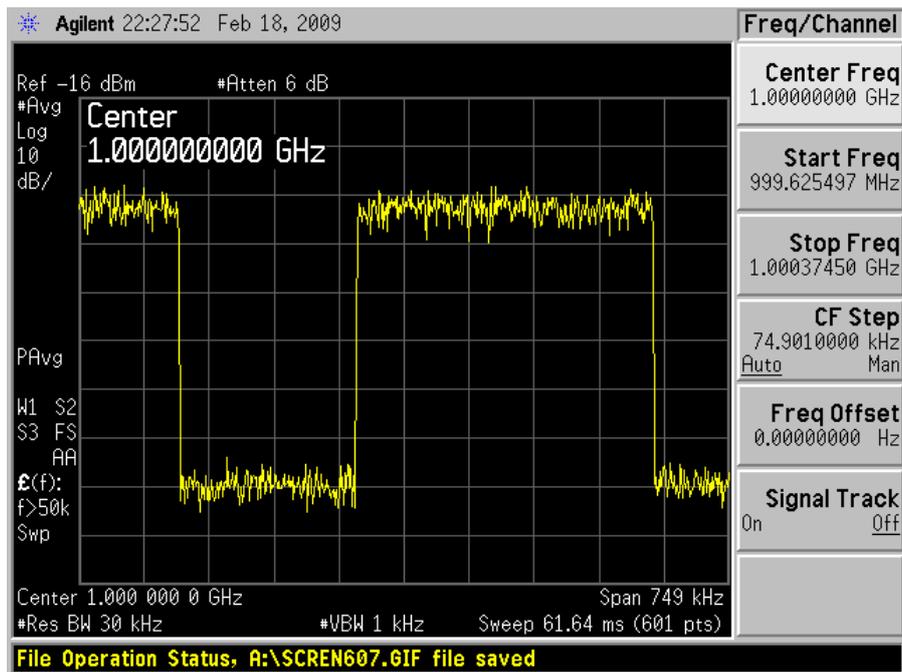


図 1.3 バースト変調器のキャリア ON・OFF 比 (伝送速度 10.368Mbps)

1.3 位相雑音

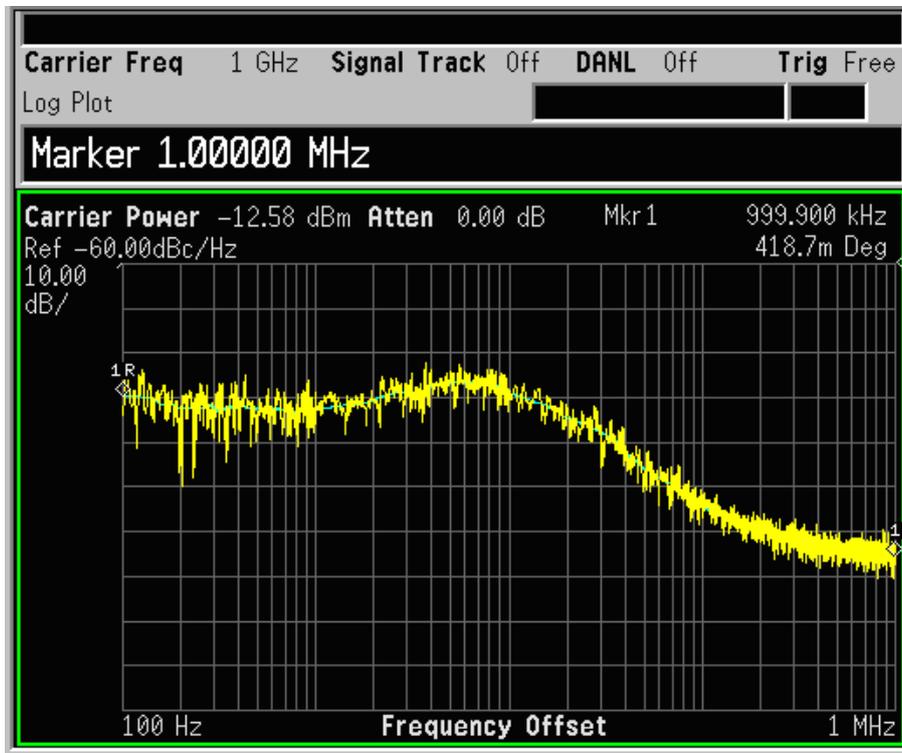


図 1.4 変調器の位相雑音

1.4 キャリア周波数及びキャリアレベル安定度

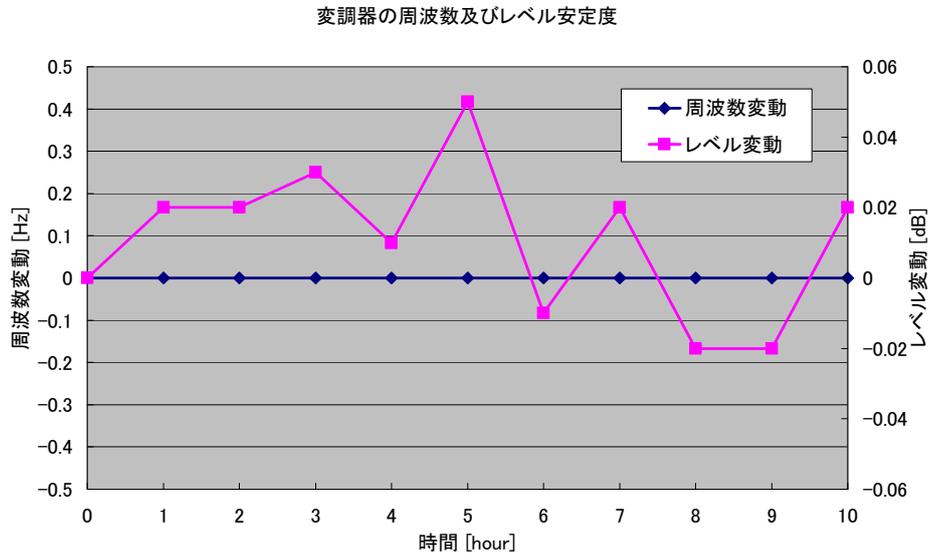


図 1.5 変調器の周波数及びレベル安定度

1.5 占有周波数帯幅

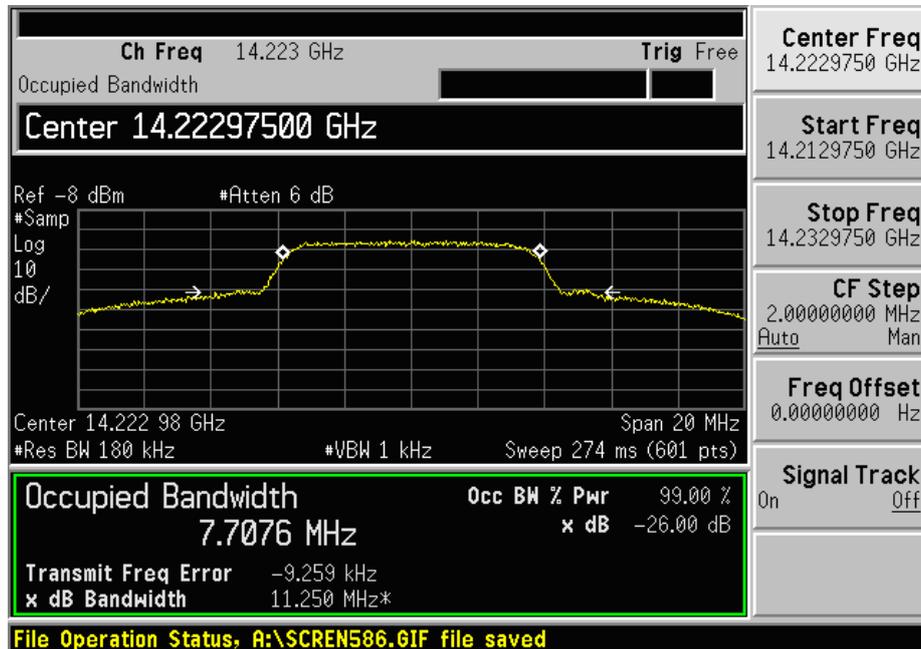


図 1.6 占有周波数帯幅 (伝送速度 6.144Mbps)

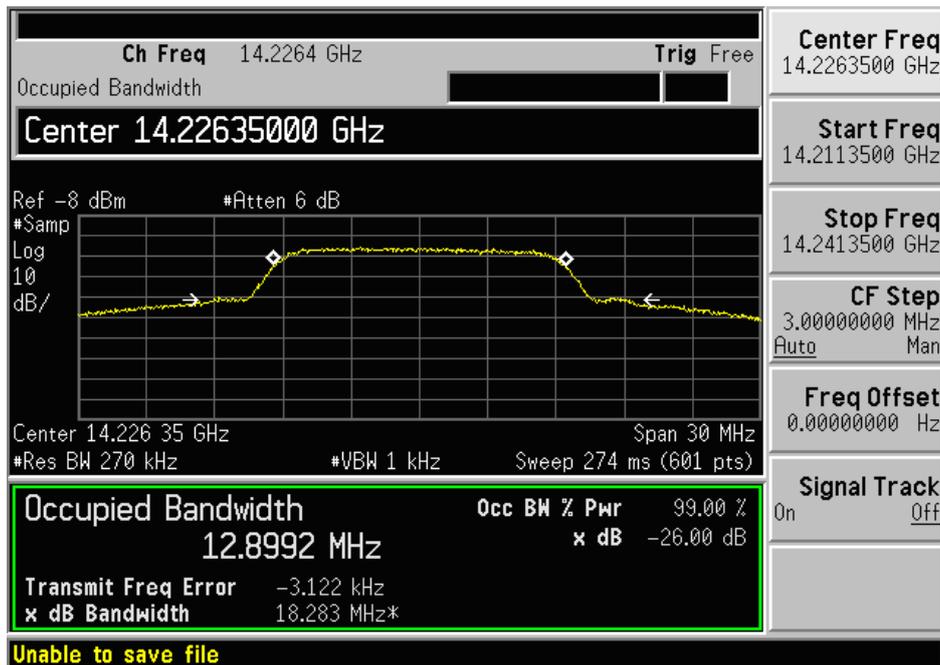


図 1.7 占有周波数帯幅 (伝送速度 10.368Mbps)

1.6 変調精度確認試験

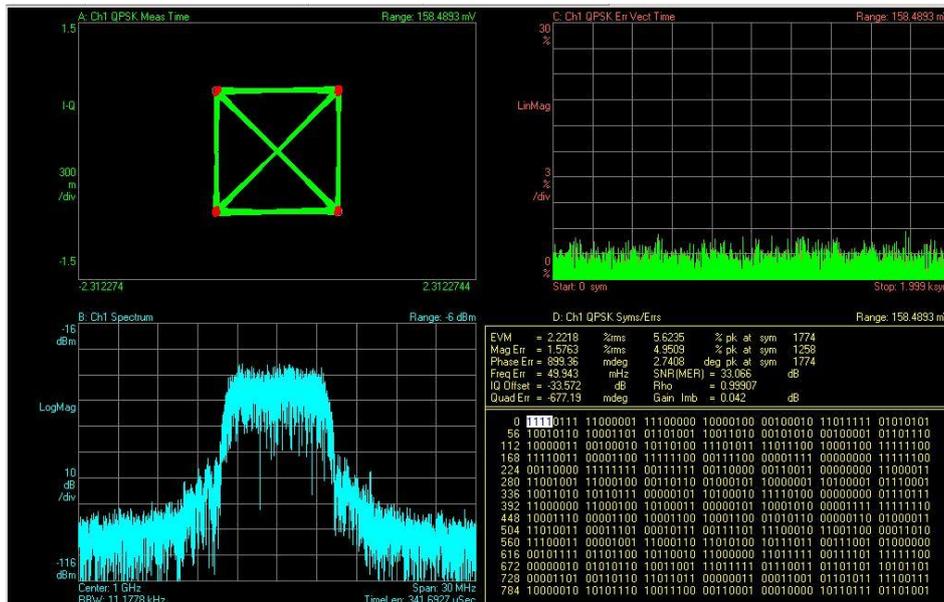


図 1.8 変調精度 (伝送速度 6.144Mbps)

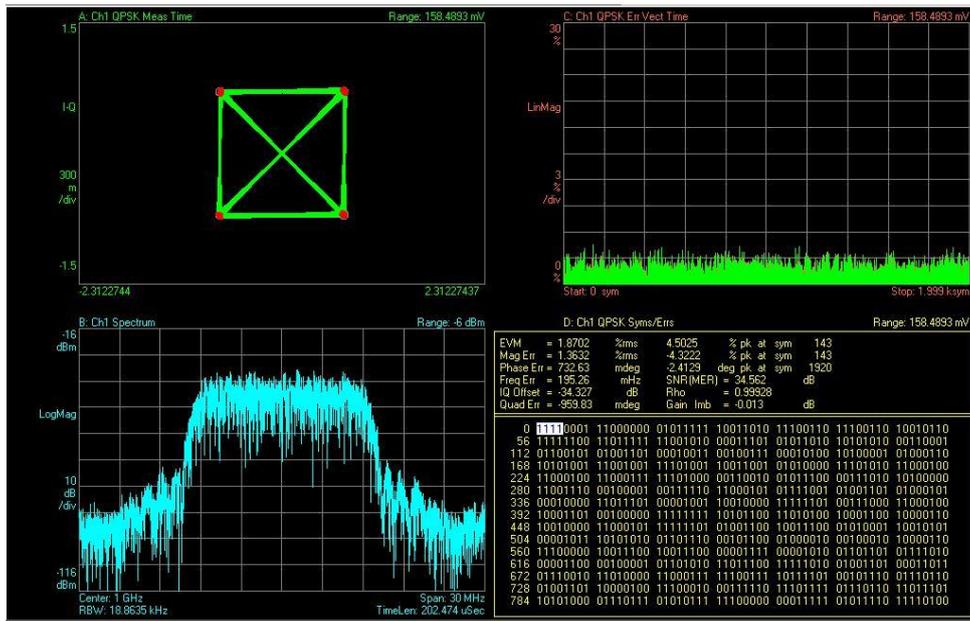


图 1.9 変調精度変調精度 (伝送速度 10.368Mbps)

1.7 復調精度確認試験

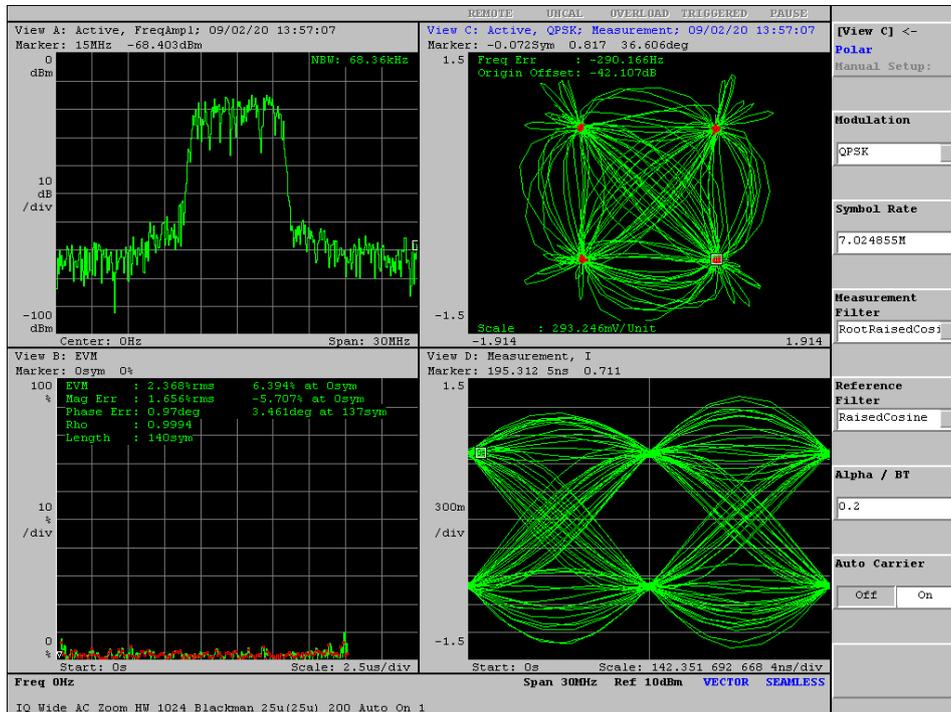


图 1.10 復調精度 (伝送速度 6.144Mbps)

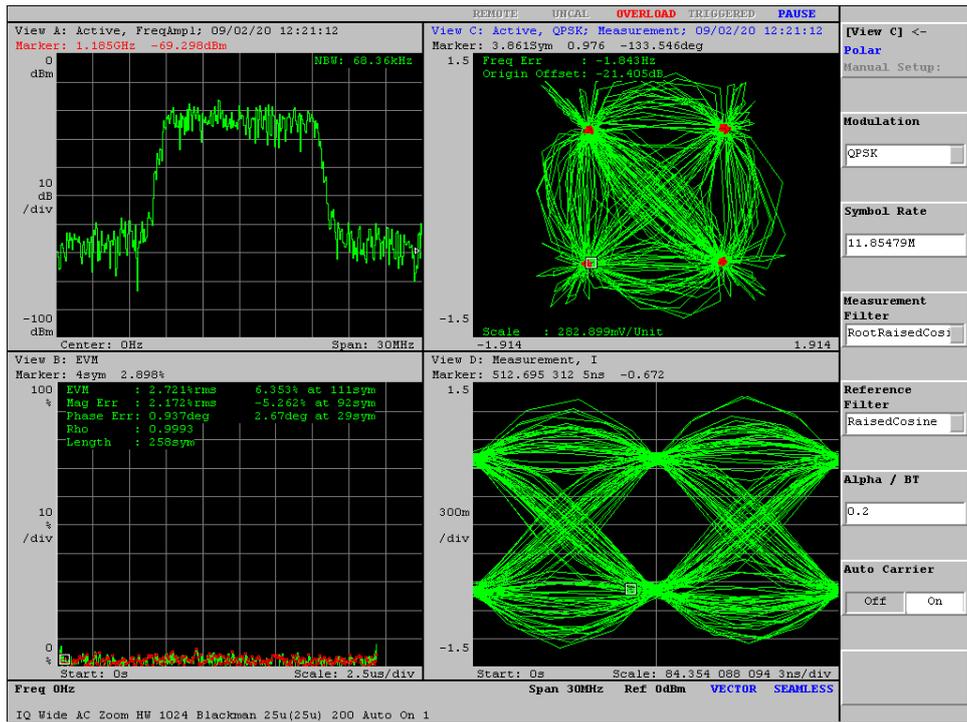


図 1.11 復調精度 (伝送速度 10.368Mbps)

1.8 IF 折り返しによるブレード回転数、遮断率の各組み合わせにおける BER 特性

IF Loop試験 各ブレード回転数におけるBER特性
(伝送速度6.144Mbps, 遮断率20%)

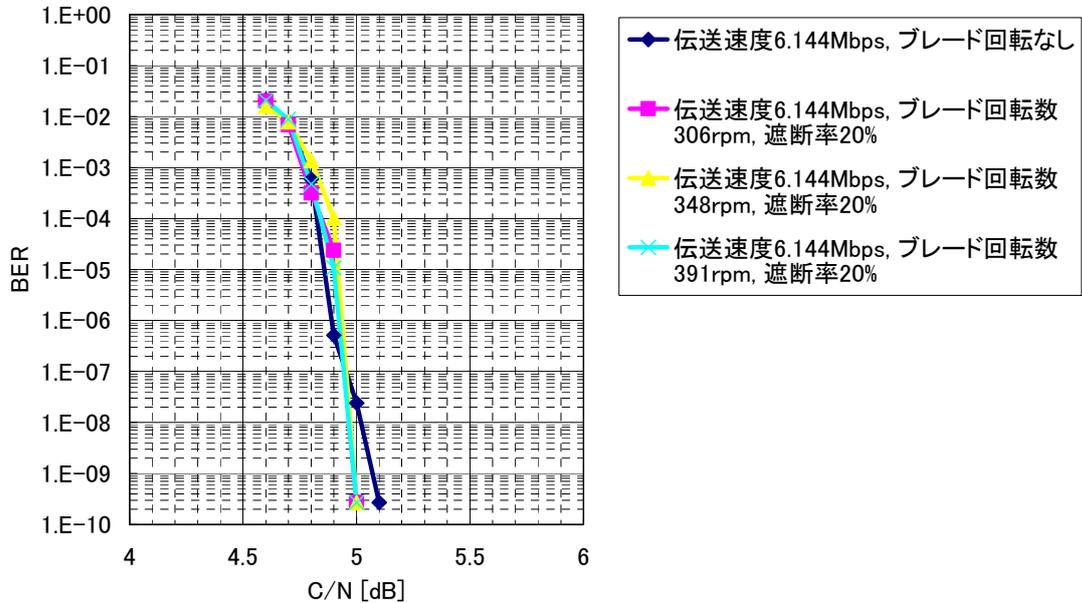


図 1.12 伝送速度 6.144Mbps 遮断率 20%における BER 特性

IF Loop試験 各ブレード回転数におけるBER特性
(伝送速度6.144Mbps, 遮断率35%)

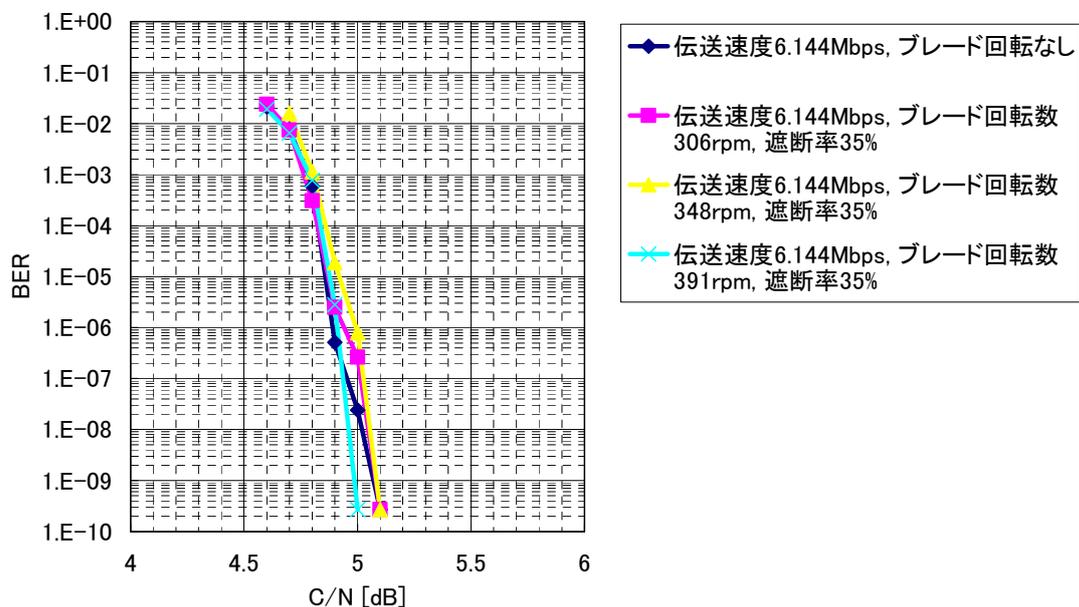


図 1.13 伝送速度 6.144Mbps 遮断率 35%における BER 特性

IF Loop試験 各ブレード回転数におけるBER特性
(伝送速度10.368Mbps, 遮断率20%)

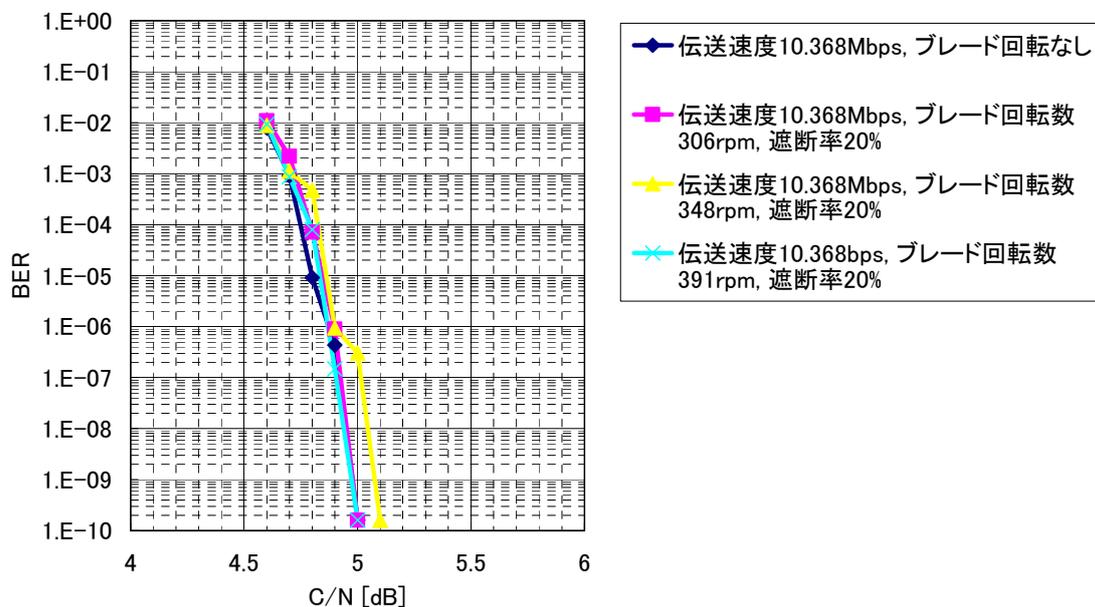


図 1.14 伝送速度 10.368Mbps 遮断率 20%における BER 特性

IF Loop試験 各ブレード回転数におけるBER特性
(伝送速度10.368Mbps, 遮断率35%)

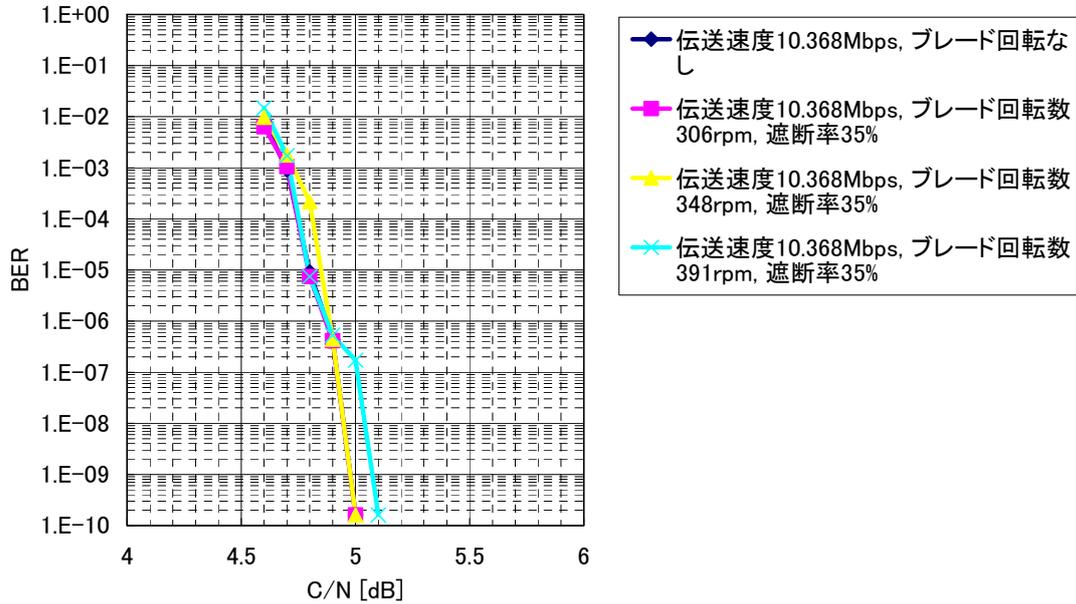


図 1.15 伝送速度 10.368Mbps 遮断率 35%における BER 特性

1.9 レベル偏差に対する BER 特性

IF Loop試験 各レベル偏差におけるBER特性
(伝送速度10.368Mbps, ブレード回転数348rpm, 遮断率35%)

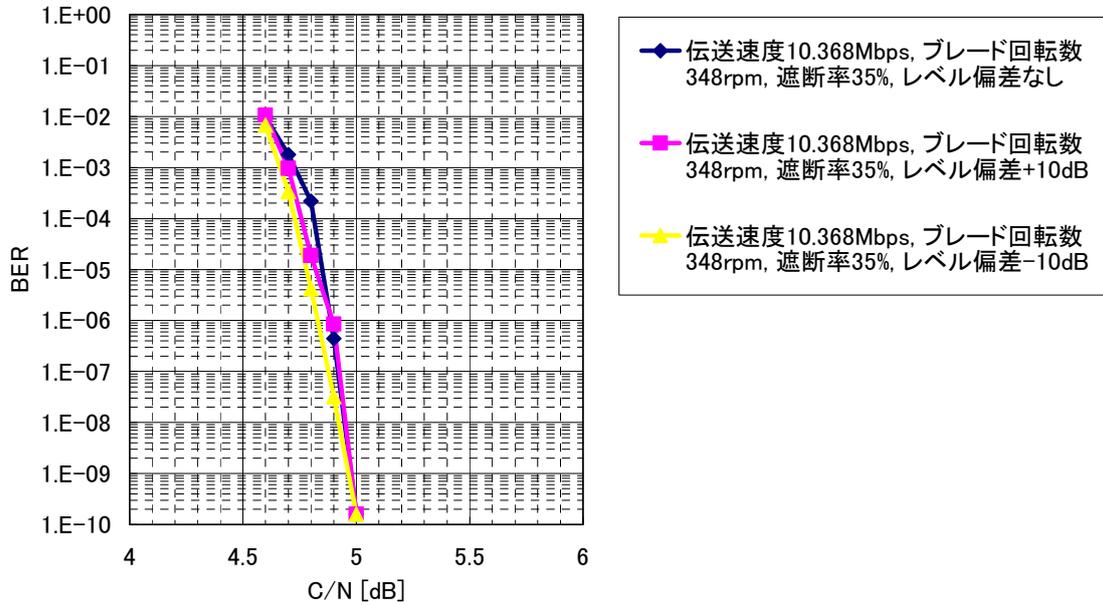


図 1.16 伝送速度 10.368Mbps レベル偏差±10dB における BER 特性

1.10 周波数偏差に対する BER 特性

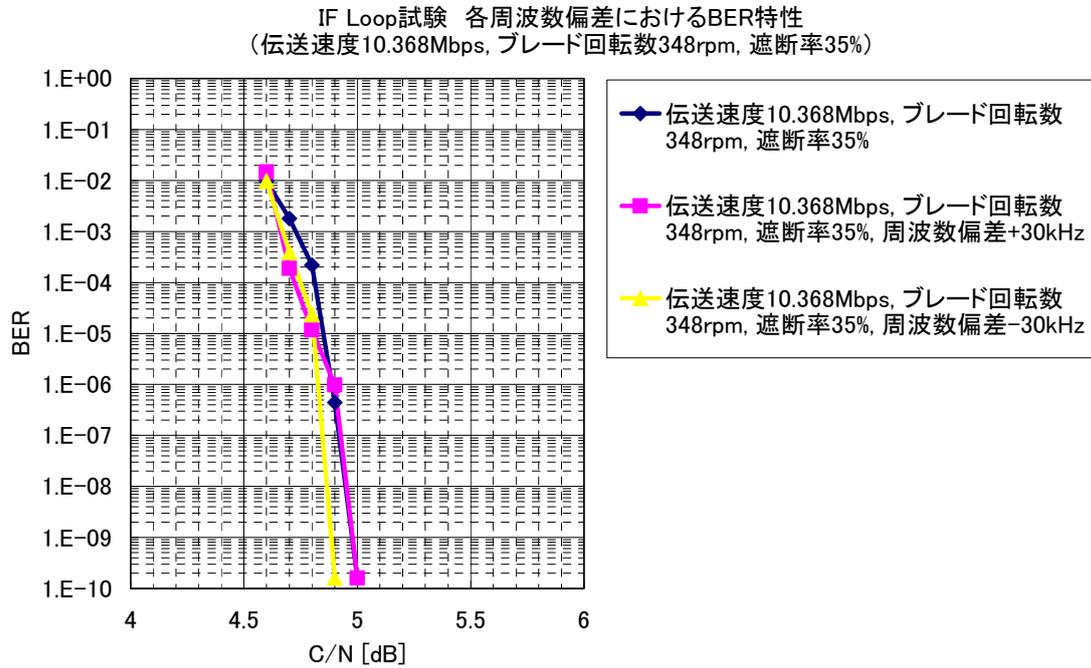


図 1.17 伝送速度 10.368Mbps 周波数偏差±30kHz における BER 特性

1.11 トランスレータ折り返しによるブレード回転周期、遮断率をパラメータとした BER 特性

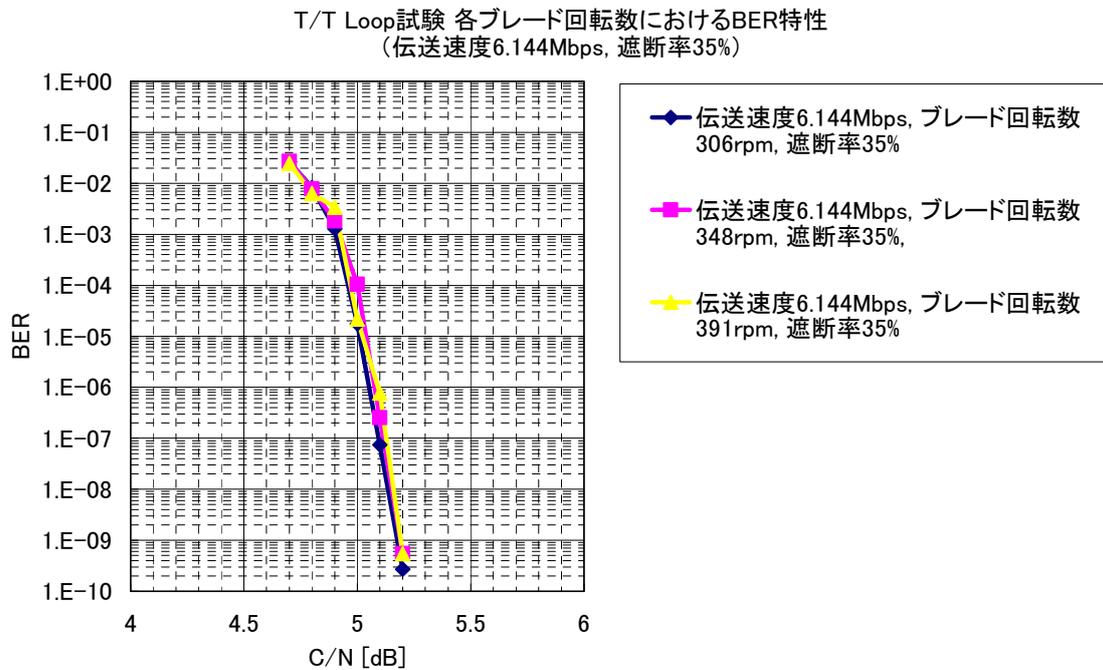


図 1.18 伝送速度 6.144Mbps 遮断率 35%における BER 特性

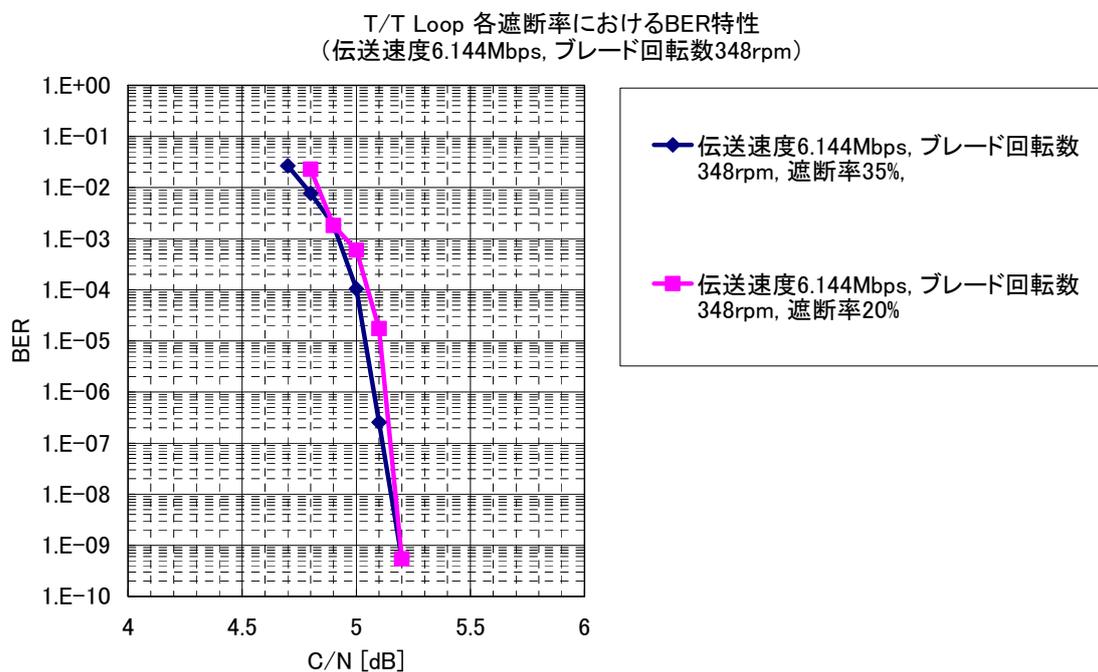


図 1.19 伝送速度 6.144Mbps ブレード回転数 348rpm における BER 特性

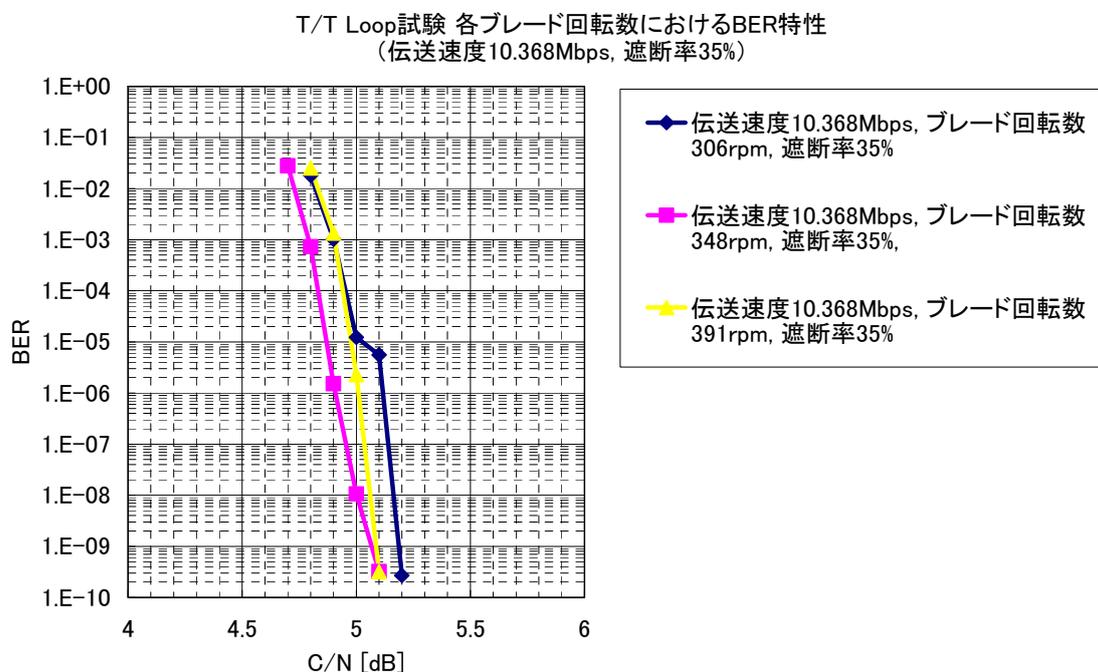


図 1.20 伝送速度 10.368Mbps 遮断率 35%における BER 特性

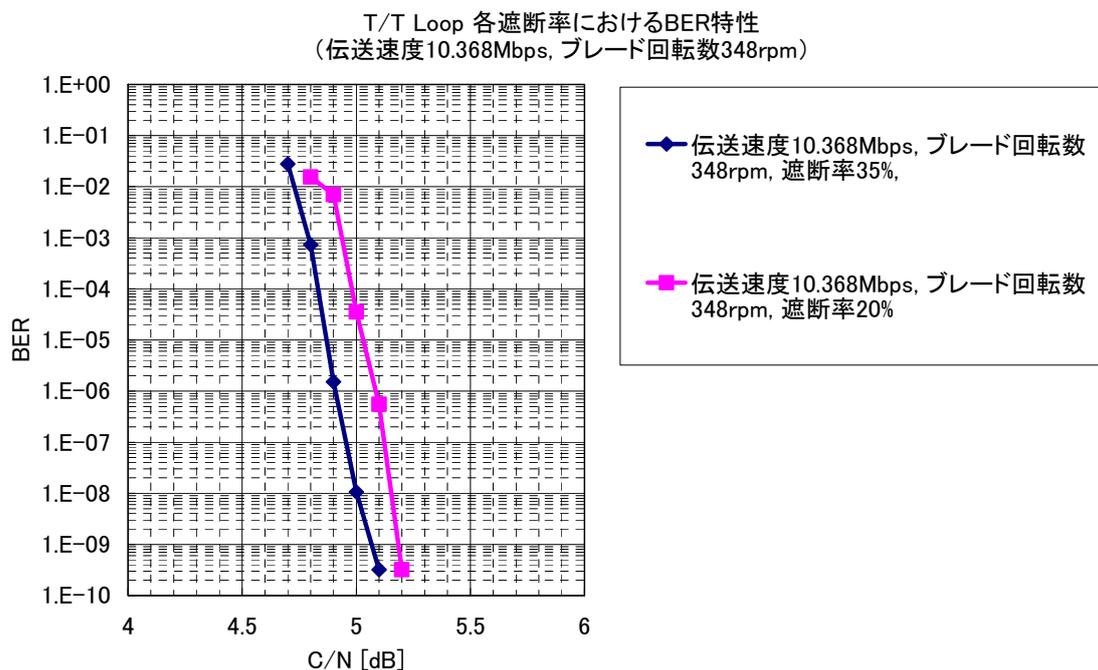


図 1.21 伝送速度 10.368Mbps ブレード回転数 348rpm における BER 特性

第2章 衛星システムにおける電波伝送試験

2.1 ブレード回転周期、遮断率をパラメータとした BER 特性

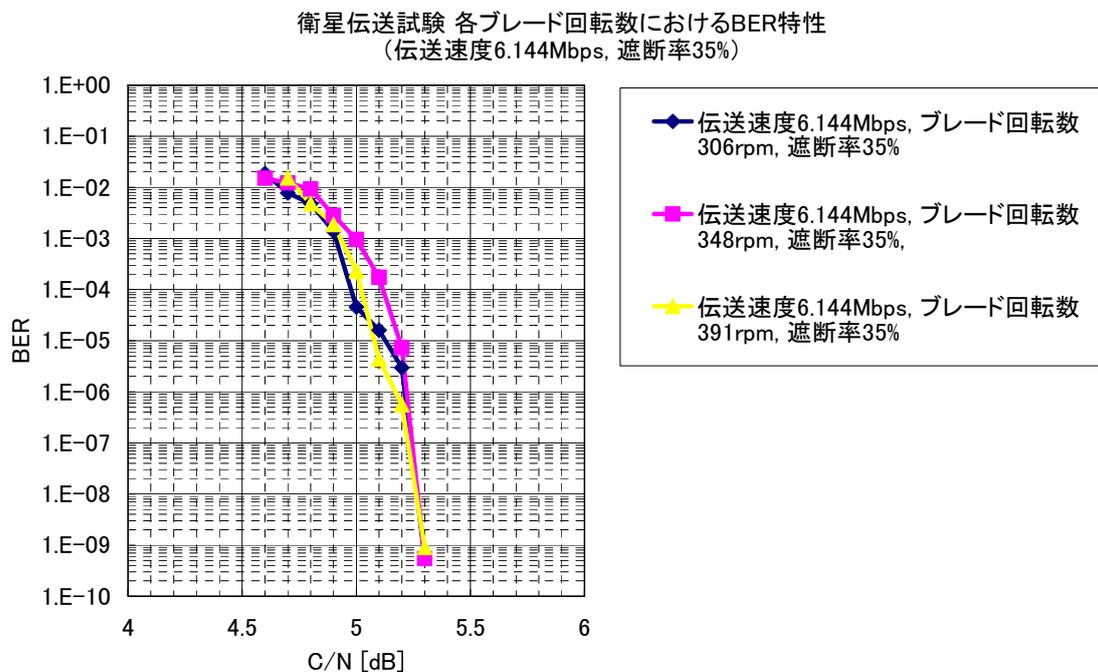


図 2.1 伝送速度 6.144Mbps 遮断率 35%における BER 特性

衛星伝送試験 各遮断率におけるBER特性
(伝送速度6.144Mbps, ブレード回転数348rpm)

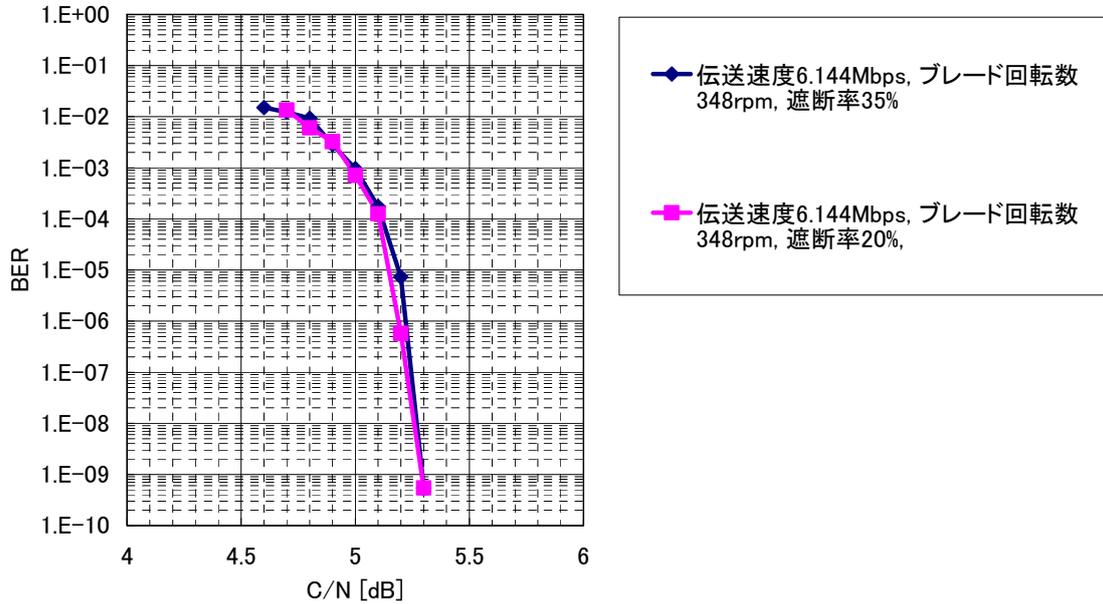


図 2.2 伝送速度 6.144Mbps ブレード回転数 348rpm における BER 特性

衛星伝送試験 各ブレード回転数におけるBER特性
(伝送速度10.368Mbps, 遮断率35%)

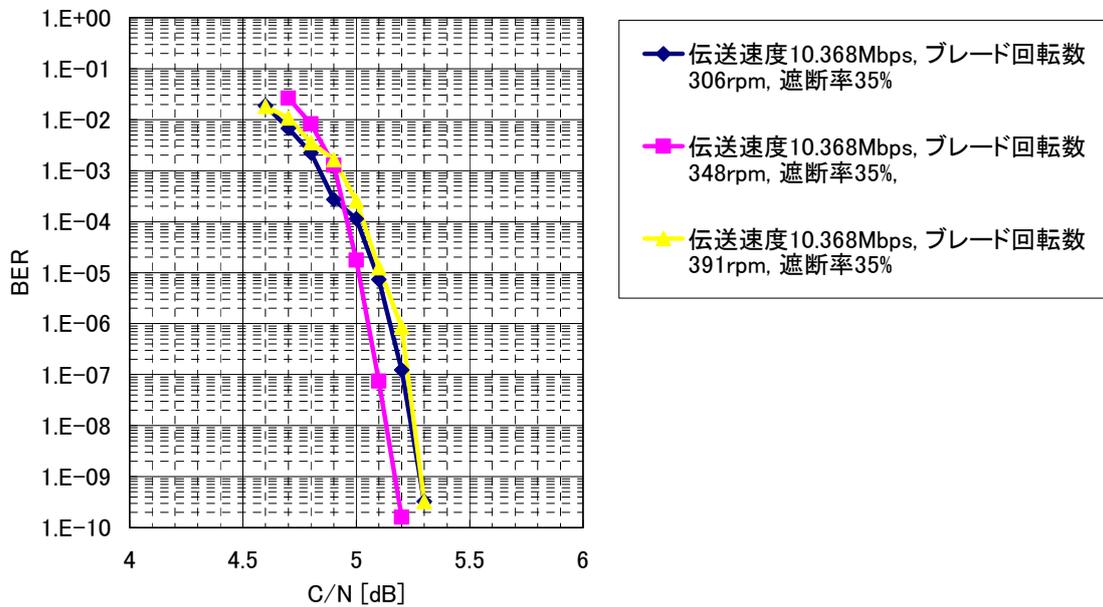


図 2.3 伝送速度 10.368Mbps 遮断率 35%における BER 特性

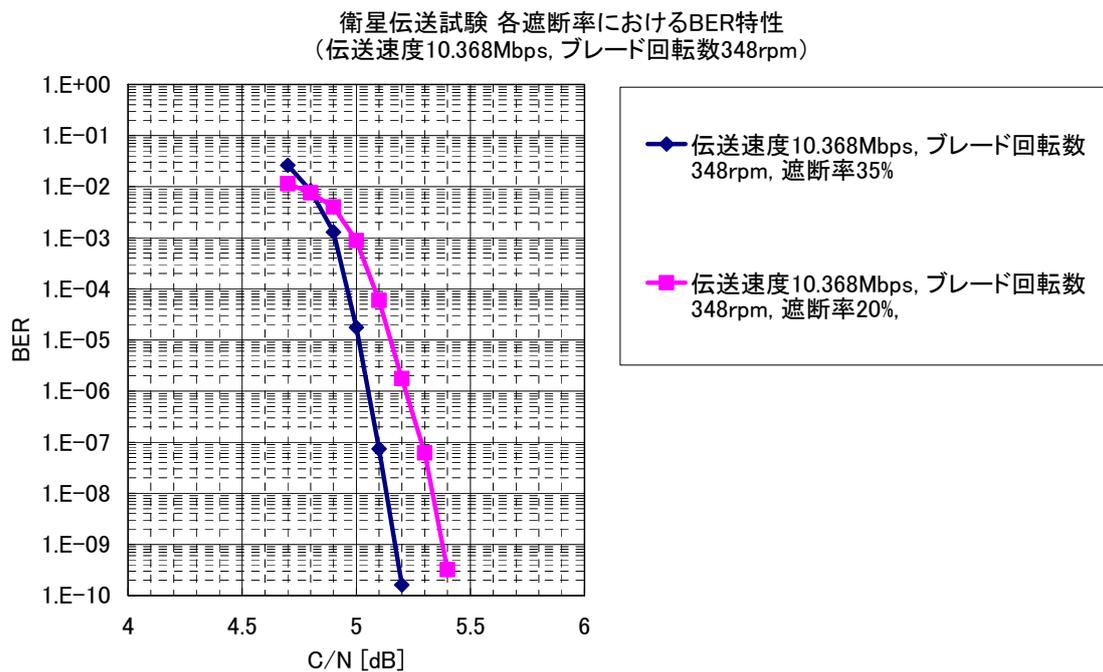


図 2.4 伝送速度 10.368Mbps ブレード回転数 348rpm における BER 特性

2.2 レベル偏差に対する BER 特性

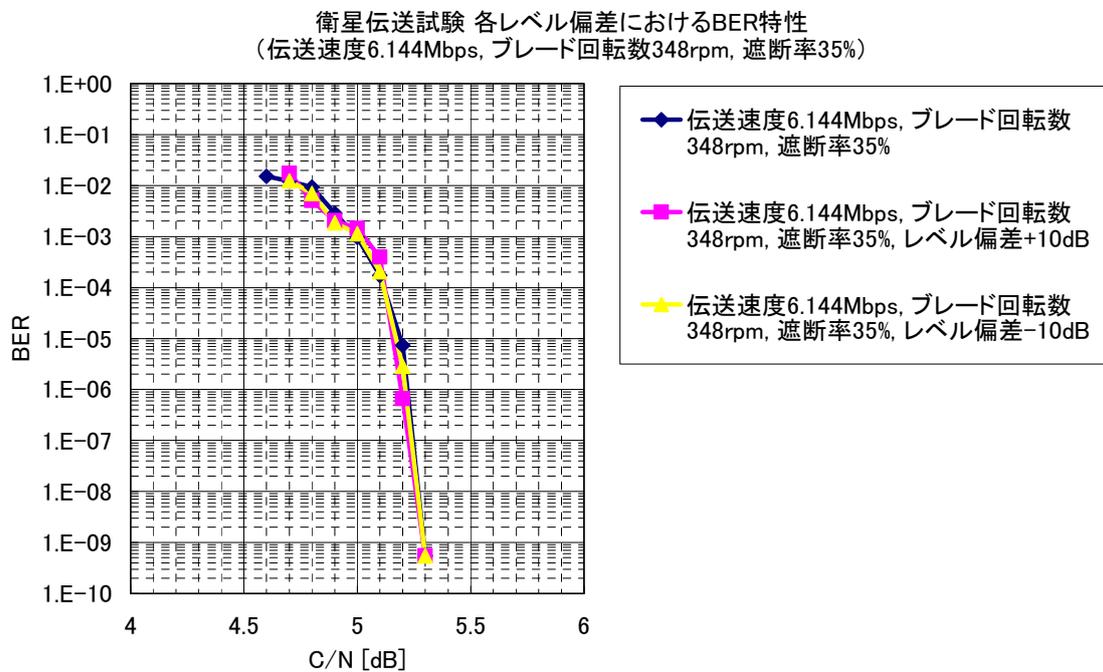


図 2.5 伝送速度 6.144Mbps レベル偏差±10dB における BER 特性

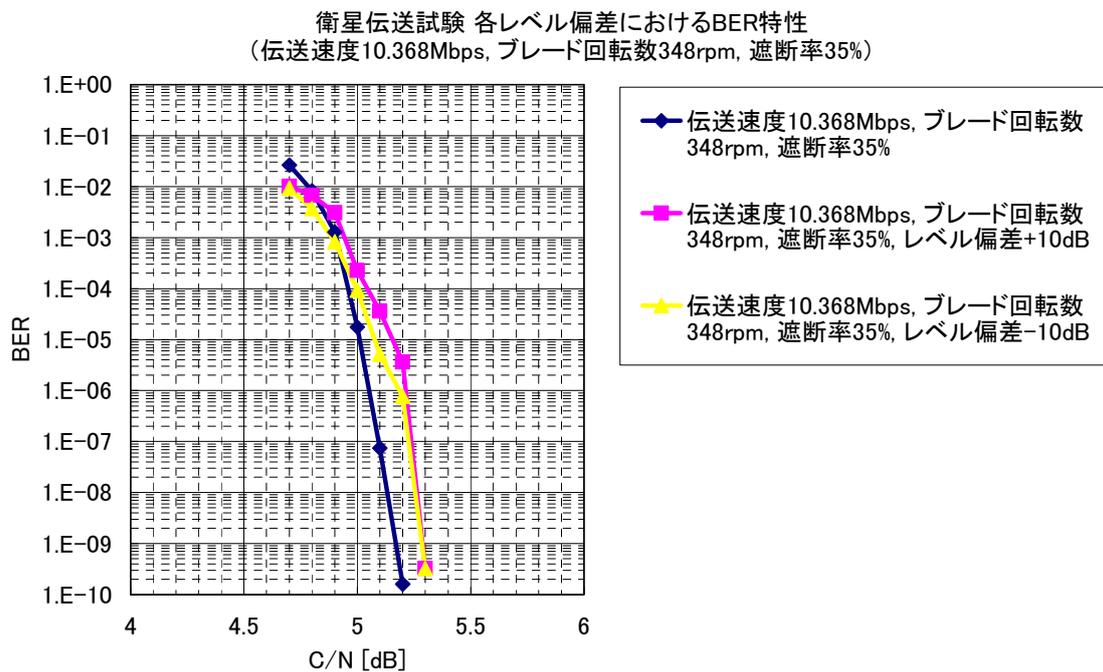


図 2.6 伝送速度 10.368Mbps レベル偏差±10dB における BER 特性

2.3 周波数偏差に対する BER 特性

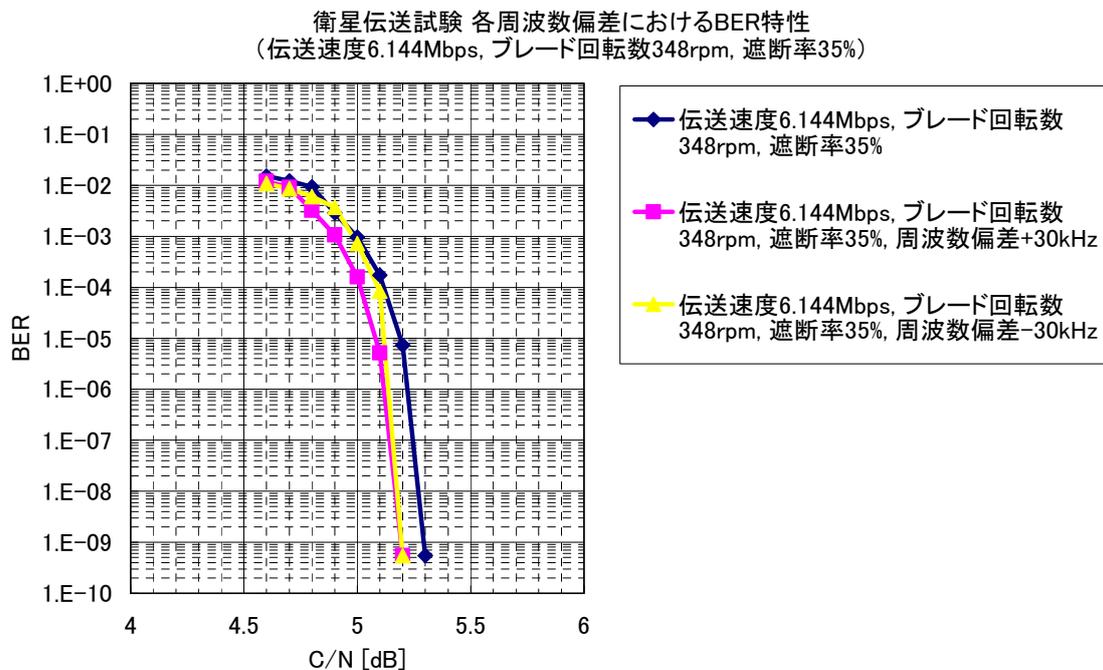


図 2.7 伝送速度 6.144Mbps 周波数偏差±30kHz における BER 特性

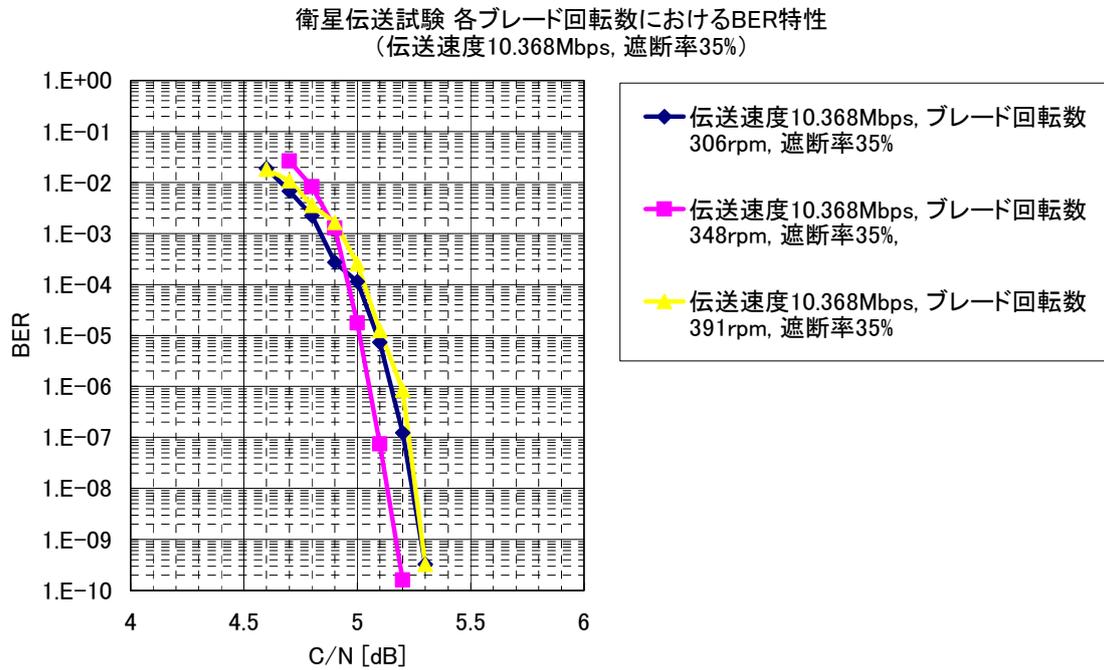


図 2.8 伝送速度 10.368Mbps 遮断率 35%における BER 特性

2.4 IF Loop、T/T Loop、衛星システム Loop の比較

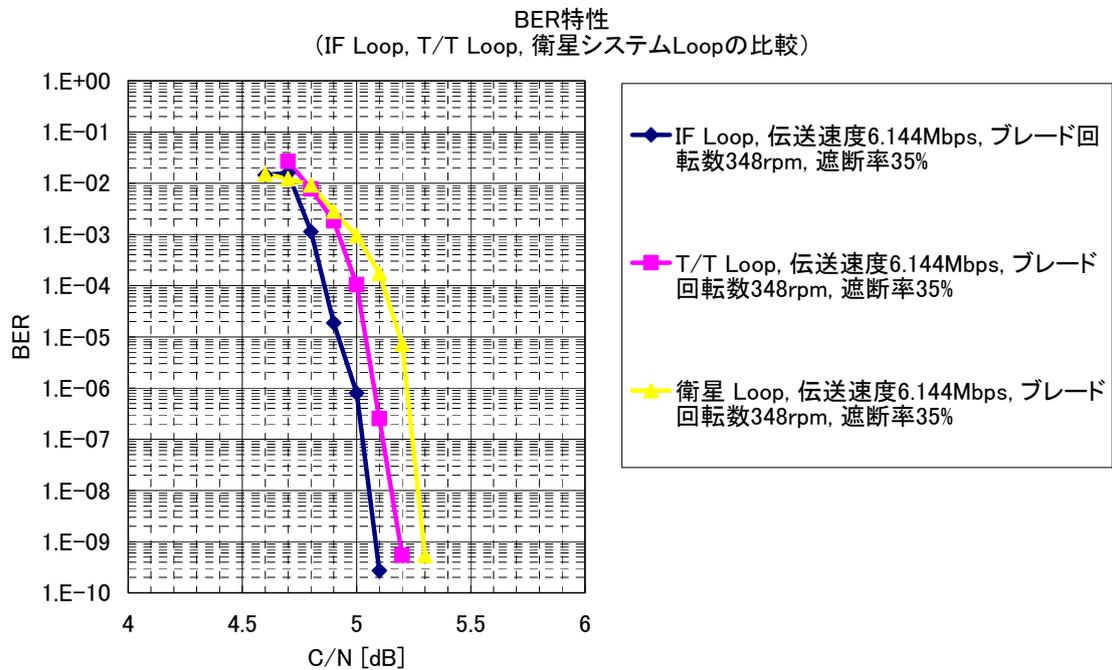


図 2.9 伝送速度 6.144Mbps、IF Loop T/T Loop 衛星システムの比較

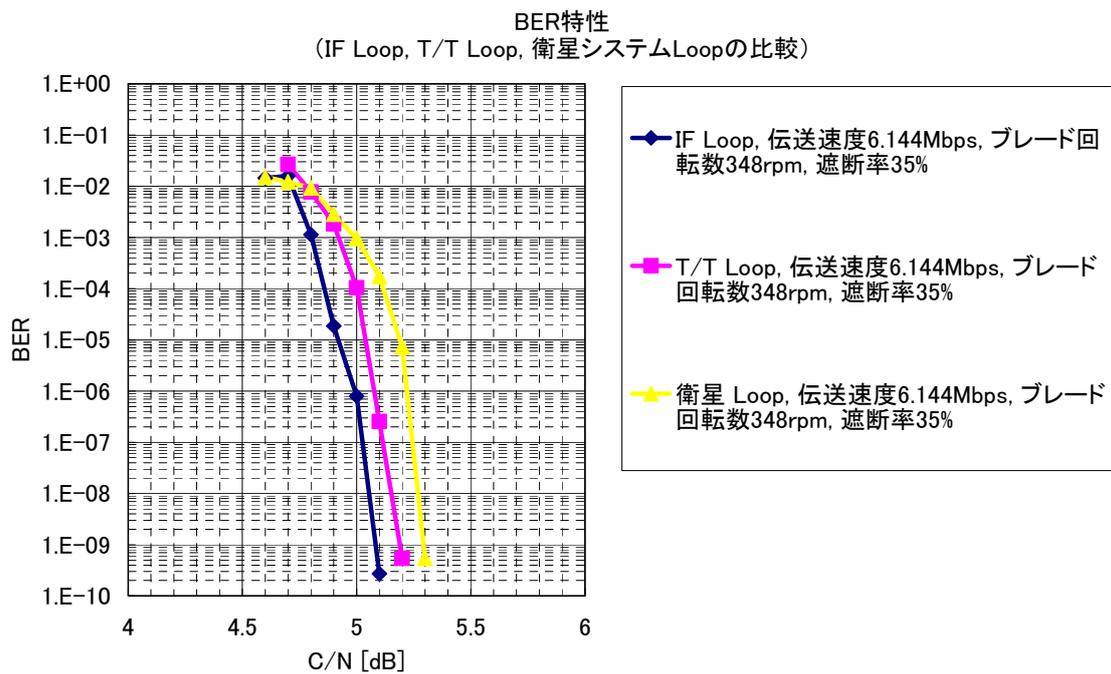


図 2.10 伝送速度 10.368Mbps、IF Loop T/T Loop 衛星システムの比較