

移動体衛星通信(ヘリサットシステム)
における高速大容量伝送技術に関する調査検討報告書

2010年3月
スカパーJSAT(株)

目的等

目的

広域災害時等において、現场上空のヘリコプターから通信衛星を介して災害現場の映像を伝送するヘリサットシステムについて、高画質映像等の高速大容量伝送を実現するため、これらの技術的データを取得し、技術基準案の策定に資することを目的とする。

必要性及び背景

- 災害時においては、災害現場の迅速な情報収集が重要
 - 地上インフラの被災の影響を受けず、機動性の高いヘリコプターによる上空からの情報収集が有効
- 現在は、類似システムとしてヘリテレが存在
 - サービスエリアが地上の無線局の通信範囲内に制限、地上の無線局が被災する場合もあり
- 近年のデジタル放送の普及等に伴い、高画質映像伝送に対する需要が増大
 - ヘリコプター衛星通信システムについて、伝送効率の一層の向上、周波数の有効利用が必要

実施概要

平成20年度

- 理論検討
 - ・ 伝送効率の向上のため、ヘリコプターのローターブレードによる干渉予測、ブロッキング率に応じた送信バースト長、システムの基本設計、試験方法等について理論検討を実施
- 機能確認
 - ・ 理論検討に基づき、ヘリコプター搭載無線設備からの送信について、室内での折り返し試験及び衛星を介した実通試験を実施

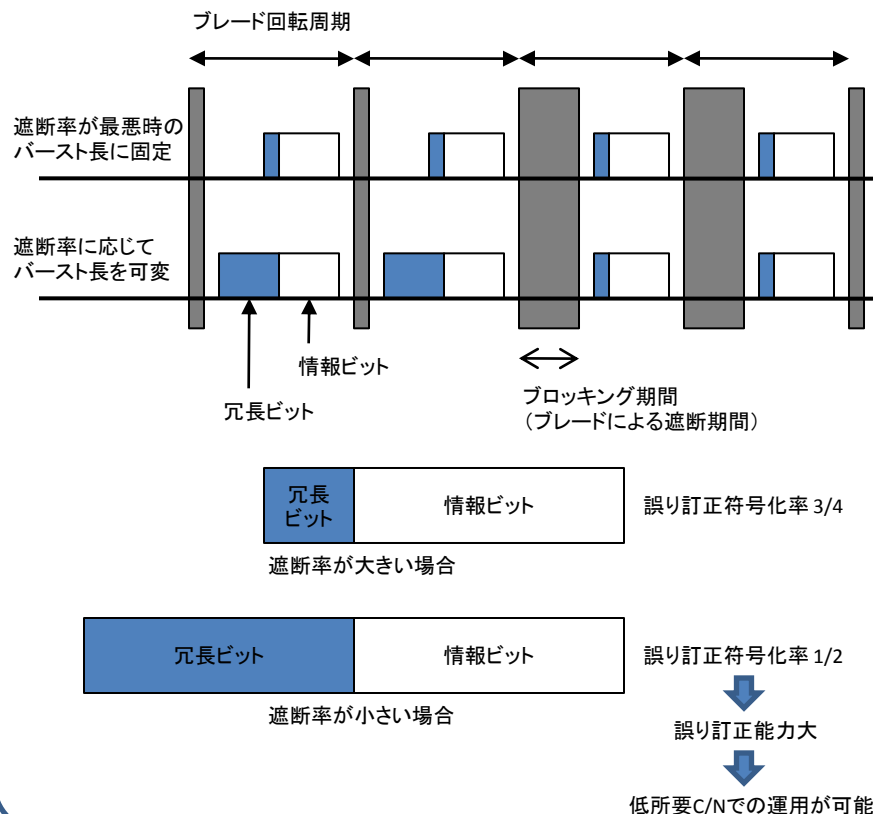
平成21年度

- 機能確認
 - ・ 駐機状態のヘリコプターの下に仮設置したヘリコプター搭載無線設備の送受信について、伝送試験を実施
 - ・ インターロック機能の確認試験
- 干渉による影響の確認
 - ・ 衛星中継器の効率的な利用のため、室内折り返しによる電波伝送において隣接キャリア干渉、交差偏波干渉、隣接衛星干渉による影響を確認

理論検討: 1. ブロッキング率に応じた送信バースト長/符号化率可変技術

検討背景

- 伝送速度が高速化するにつれ、広帯域となり電力密度が低下する。そのため安定した受信を行うためには、所要C/Nを下げるのが望まれる。
- 飛行中、ブレードによるブロッキング期間が変化するため、ブロッキング期間が短い場合は送信可能な時間が多くなる。その期間を有効利用し、冗長ビットを多くすることで誤り訂正能力を高め、所要C/Nを下げることを検討する。



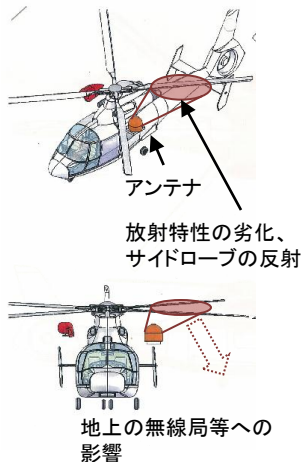
遮断率に閾値を設け、遮断率が閾値よりも改善される場合は遮断がない時間に誤り訂正符号を増加させることにより、誤り訂正能力を高めることができる。

検討の一例として、誤り訂正符号化率1/2と3/4を遮断率に応じて切り替えた場合の検討を行い、誤り訂正符号化率を3/4に固定にする場合に比べ、ブレードによる遮断期間が短い場合は所要C/Nを下げることができ、結果として全体の回線稼働率が上がることが判明した。

※ 固定ビットレートの映像伝送を前提に、符号化率の可変させて検討。情報レートを可変して、バースト長を可変させることも有効。

検討背景

- ブレード等の反射によって地上へ放射される反射波が地上系のシステムに障害を引き起こさないためにITU-R勧告M.1643の周波数共用条件を満たす必要がある。
- 本検討では、地上の無線局等と共用が可能であることを検討する。



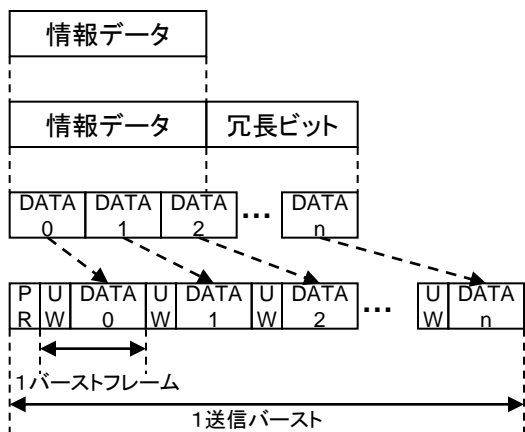
アンテナはヘリコプターの側面に装備されることから、特定の方角・仰角の範囲内ではヘリコプターのブレードがアンテナの指向方向を遮蔽することとなり、この範囲で電波を送信した場合、電波の反射・散乱を生じ、アンテナ放射特性の劣化を生じる恐れがある。

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が、情報通信審議会答申「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(平成21年1月)」において、ITU-R勧告S.728-1の規定値以下の軸外EIRP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ITU-R勧告M.1643の周波数共用条件を満たすことが示されている。このことから、本システムでも同様の軸外放射電力のレベルを満たすことにより、地上の無線局等と共用は可能である。

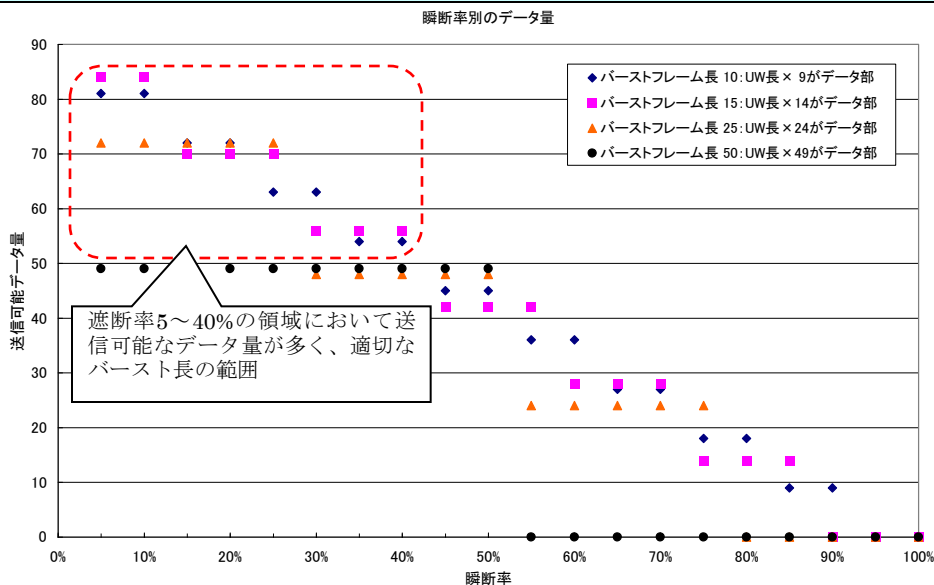
- ITU-R勧告S.728-1: VSAT地球局からの最大軸外EIRP密度の許容値
- ITU-R勧告M.1643: 14-14.5 GHzにおける固定衛星網の中継器を使用する航空移動衛星業務の地球局に関する技術及び運用要件

検討背景

- 高速大容量伝送を実現するためには、従来に比べ送信データ量を増加する必要があり、送信可能な時間の有効利用が望まれる。
- 本検討では、以下の項目を検討し、最適なバーストフレーム長を算出する。
 - ①バーストフレームにおけるPR長とUW長の最適化
 - ②1送信バースト長の最適化



バーストフレームの構成



検討結果

比較的発生頻度の高い遮断率5%~40%において①、②を検討した結果、送信可能なデータ量が多くなるバーストフレーム長は10~25であることがわかった。

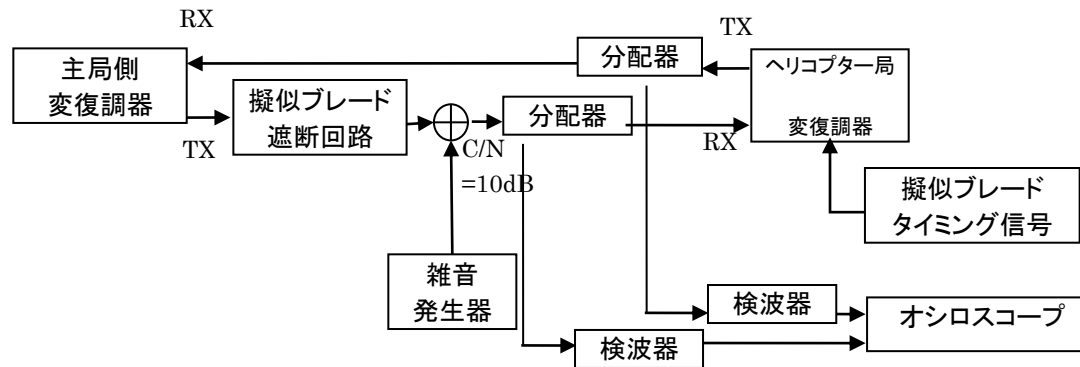
局内折り返し: 1. インターロック等の機能確認試験

検討背景

- 他衛星や他システムへの干渉を防止するため、電波を発射・停止するインターロック機能が必要とされる。
- 本検討では、障害物による遮蔽、機体による遮蔽、万が一アンテナの追尾が外れた場合を主局の信号の送信をOn/Offすることにより、ヘリコプター局の変復調器にて模擬し、電波が発射・停止するインターロック機能を確認する。

試験手順

- 主局の送信信号とヘリコプター局の送信信号を検波器を経由してオシロスコープへ入力する。
- 主局の送信をOn/Offした場合に、ヘリコプター局の送信が自動的に停止、再送信することと動作時間をオシロスコープにて観測する。

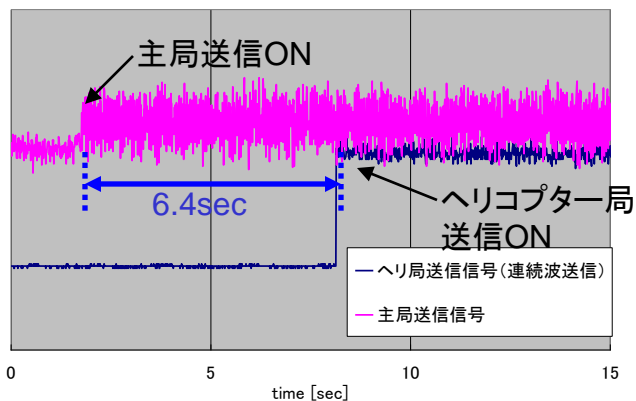


試験構成

局内折り返し: 1. インターロック等の機能確認試験

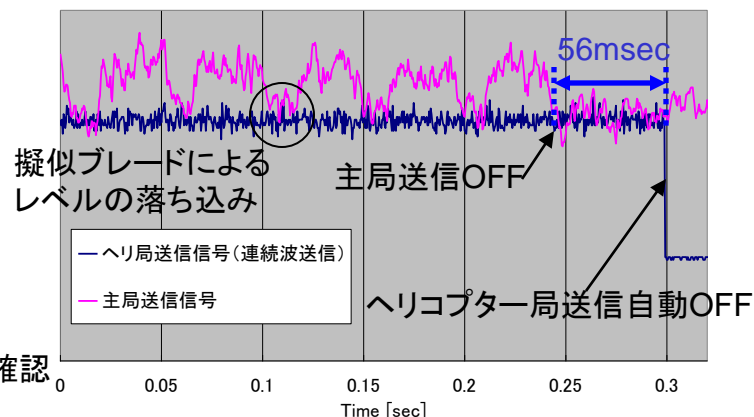
1-1. 主局からの電波を受信し送信することの確認

| 遮断率[%] | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| ヘリ局が正常に受信し送信可能になる | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 測定結果[sec] | 5.8 | 5.0 | 1.9 | 6.4 | 5.0 |



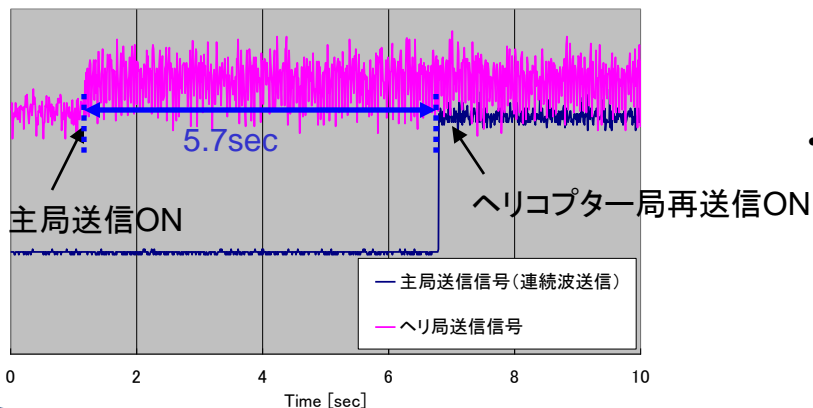
1-2. 主局の電波を遮断した場合に電波の発射が自動的に停止することの確認

| 遮断率[%] | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
|-----------------|----|----|----|----|----|
| ヘリ局の送信が自動的に停止する | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 測定結果[msec] | 58 | 60 | 60 | 56 | 56 |



1-3. 主局の電波が遮断から復帰した場合に送信が再開されることの確認

| 遮断率[%] | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| ヘリ局が正常に受信し送信が自動的に回復する | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 測定結果[sec] | 3.4 | 2.0 | 4.2 | 5.7 | 1.9 |



試験結果

- 主局からの電波が遮断された場合、ヘリコプター局は自動的に停止することが確認され、停止までの時間は60msecと十分短い時間であった。
- 主局からの電波を受信した際にヘリコプター局が送信可能になること、又は送信が再開されることを確認した。

局内折り返し: 1. インターロック等の機能確認試験

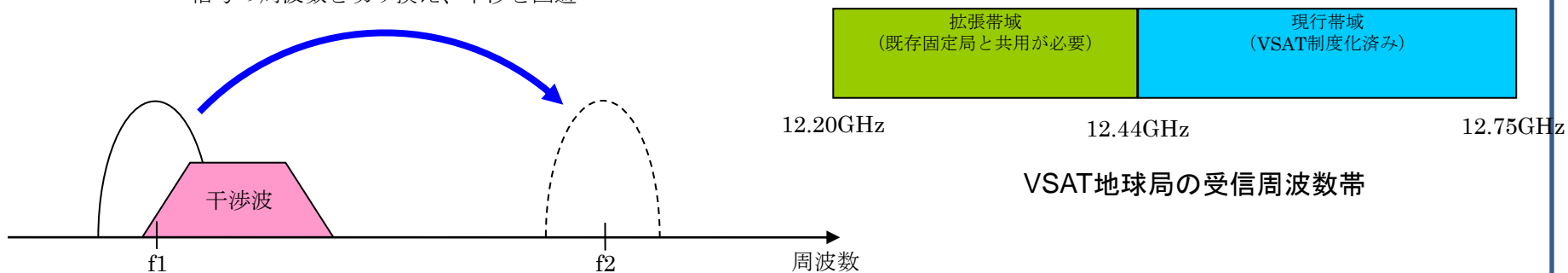
検討背景

- Ku帯VSATでは、12.2GHz-12.44GHzを利用して信号を受信する際に、既存の固定局及び将来設置される固定局からVSAT地球局への干渉を回避するため、干渉のある受信周波数帯を除外する等が必要とされている。
- ヘリサットにおいてこの周波数帯域を利用することが可能となれば周波数の有効利用に繋がるため、周波数切り替え機能の動作を確認する。

試験手順

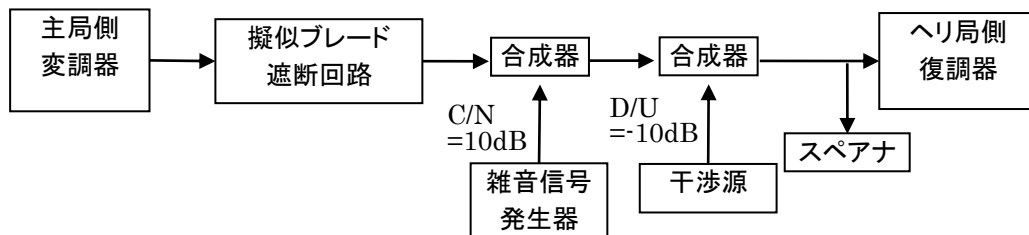
- ヘリコプター局が、主局からの信号を受信中に干渉源から干渉を与え、正常に受信できなくなる状態にする。
- 地上マイクロ波等からの干渉を受けない主局信号の周波数に切り替え、ヘリコプター局は自動的に周波数を切り替えることと運用を継続できることを確認する。

信号の周波数を切り換え、干渉を回避



f_1 : 12.20-12.44GHz
 f_2 : 12.20-12.75GHz

周波数切り替えのイメージ



試験構成

試験結果

- ① 干渉により受信同期が外れた後、主局の送信周波数を f_2 に設定した。試験の結果、ヘリコプター局の受信周波数は f_2 に自動的に切り替わり、約5秒後(受信同期が外れてから約55秒後)に再同期が確認された。
- ② 干渉により受信同期が外れた後、主局の送信周波数を f_1 の状態を保持し、20秒後に干渉をOFFにした。試験の結果、ヘリコプター局の受信周波数は切り替わらず、干渉がOFFになってから約6秒後(受信同期が外れてから約26秒後)に再同期が確認された。

以上の結果より、ヘリコプター局が主局からの信号を受信中に地上マイクロ波等の干渉を受けて正常に受信できなくなる場合、これを検出し干渉を受けない主局信号に切り替えて運用を継続できることを確認した

検討背景

- ヘリコプター局の送信キャリアが隣接衛星や隣接キャリア及び交差偏波から被干渉となる場合、またはヘリコプター局の送信キャリアが隣接衛星や隣接キャリア及び交差偏波への与干渉となる場合に、ヘリコプター局の運用方法、トランスポンダの配置、回線設計の検討等に関して与被干渉の影響度合いを知る必要がある。

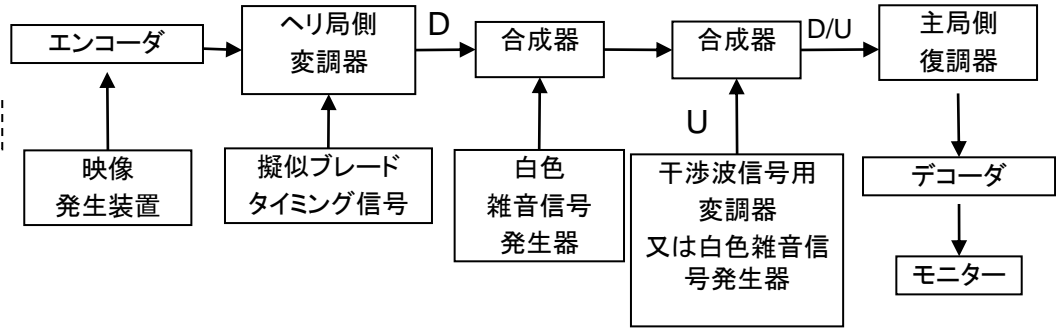
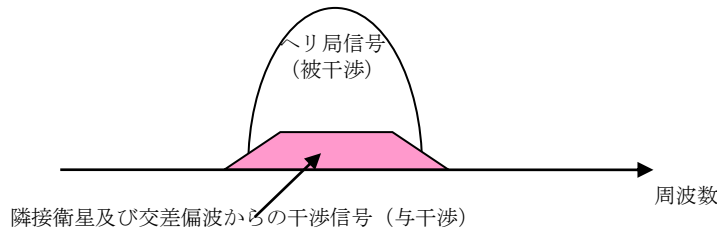
試験手順

- ヘリコプター局信号に、隣接衛星及び交差偏波を想定した干渉波を重畳し、伝送映像が破綻する際のD/Uを求める(試験: 2-1)。
- ヘリコプター局信号に、隣接キャリアを想定した干渉波を隣接に配置し、伝送映像が破綻する際のD/Uを求める(試験: 2-2)。
- ヘリコプター局信号を隣接衛星及び交差偏波に想定した与干渉波信号とし、被干渉信号に重畳し、伝送映像が破綻する際のD/Uを求める(試験: 2-3)。
- ヘリコプター局信号を隣接キャリアに想定した与干渉波信号とし、被干渉信号の隣接に配置し、伝送映像が破綻する際のD/Uを求める(試験: 2-4)。

局内折り返し: 2. 干渉試験(ヘリコプター局側が被干渉)

2-1. ヘリコプター局に隣接衛星、交差偏波を想定した干渉を与えた場合のブロックノイズが発生するD/U

隣接衛星及び交差偏波に対するヘリコプター局信号の被干渉の影響度合いを評価



| ヘリコプター局信号 | | | |
|-----------------------|-----------|---------|--------|
| C/N | シンボルレート | 遮断率 | ロールオフ率 |
| 5.6dB (error free) | 11.85Msps | 0%, 35% | 0.2 |

| 与干渉波信号 | | | | |
|--------------------------------|-----------|--------|----------|--------|
| 変調 | シンボルレート | ロールオフ率 | キャリア配置 | キャリア間隔 |
| QPSK 8PSK 16APSK 白色雑音 | 11.85Msps | 0.35 | 同一周波数に重畳 | 0Hz |

試験結果

・測定結果の9dB前後の値は、通常の干渉レベル(交差偏波では25dB程度)よりもかなり高いレベルの干渉と言えるため、ヘリサットは干渉に対して十分な耐性を持つことを確認した

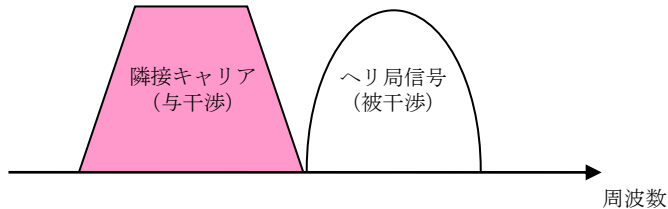
| 干渉源 | D/U [dB] | |
|----------|----------|--------|
| | 遮断率 35% | 遮断率 0% |
| QPSK信号 | 9.2 | 9.2 |
| 8PSK信号 | 9.2 | 9.0 |
| 16APSK信号 | 9.2 | 9.0 |

| 干渉源 | D/U [dB] |
|------|----------|
| | 遮断率 35% |
| 白色雑音 | 9.0 |

局内折り返し: 2. 干渉試験 (ヘリコプター局側が被干渉)

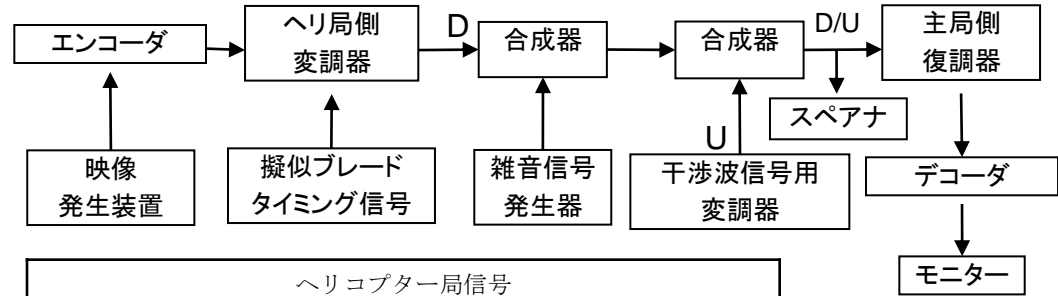
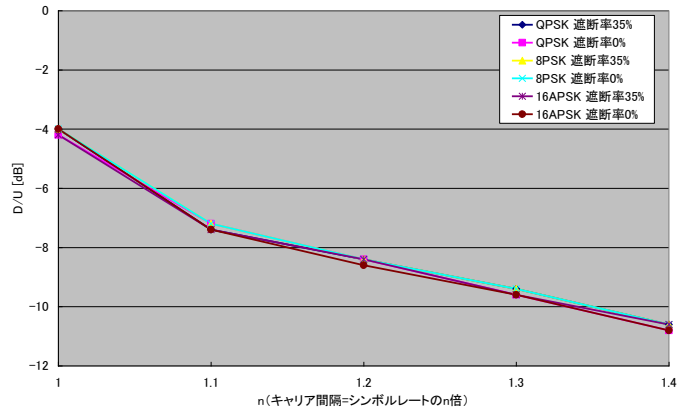
2-2. ヘリコプター局に隣接キャリアを想定した干渉を与えた場合のブロックノイズが発生するD/U

隣接キャリアに対するヘリコプター局信号の被干渉の影響度合いを評価



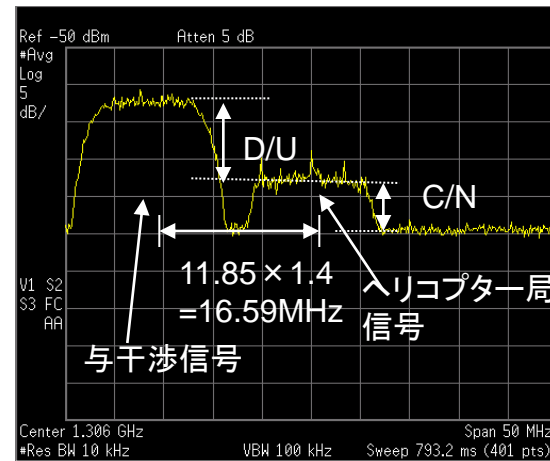
試験結果

・通常キャリア間隔はシンボルレートの1.4倍であり、またヘリコプター局の信号は衛星上の他の信号と比べ10dB程度低いことが予想されるため問題ない。また遮断率の違いによる差はほとんど認められなかった



| ヘリコプター局信号 | | | |
|---------------------|------------|---------|--------|
| C/N | シンボルレート | 遮断率 | ロールオフ率 |
| 5.6 dB (error free) | 11.85 Msps | 0%, 35% | 0.2 |

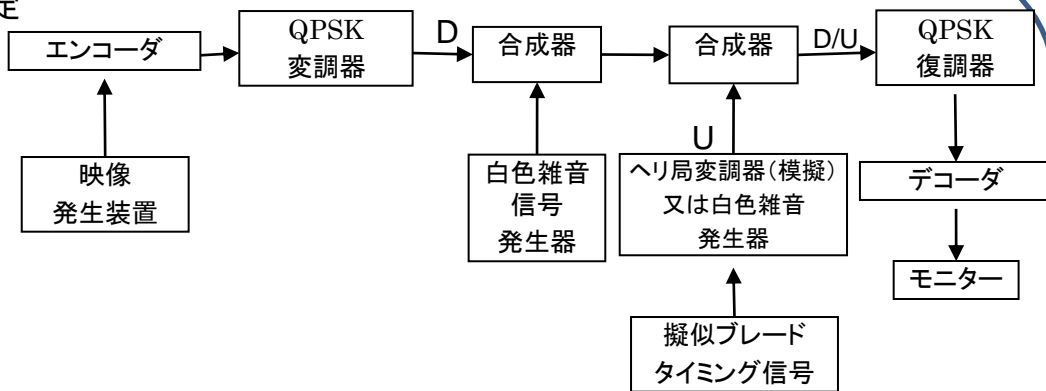
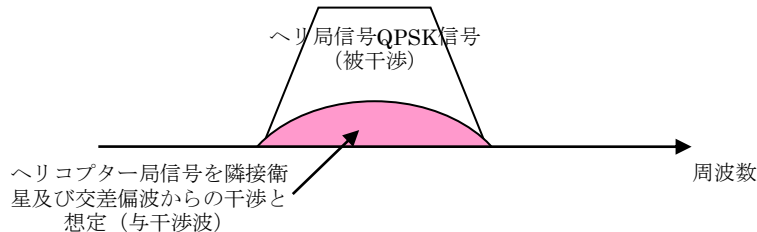
| 与干渉波信号 | | | | |
|------------------------|------------|--------|---------------------------|--------------------------------------|
| 変調 | シンボルレート | ロールオフ率 | キャリア配置 | キャリア間隔 |
| QPSK 8PSK 16APSK | 11.85 Msps | 0.35 | シンボルレートの1.0~1.4倍 (0.1倍刻み) | 11.85 MHz ~ 16.59 MHz (1.185 MHz 刻み) |



局内折り返し:2. 干渉試験(ヘリコプター局側が与干渉)

2-3. ヘリコプター局信号を隣接衛星、交差偏波に想定した干渉を与えた場合のブロックノイズが発生するD/U

ヘリコプター局信号を隣接衛星及び交差偏波からの干渉波信号想定し、被干渉の影響度合いを評価



試験結果

・2-1の与干渉、被干渉の立場を逆にした試験であり、結果はほぼ同様であることからヘリコプター局信号はQPSK信号等とほぼ等価の与干渉特性を持ち、衛星上、他のキャリアと混在して運用することに問題ないことが確認された

| ヘリコプター局信号 (干渉波信号) | | | | | |
|--------------------------------|------------|---------|--------|----------|--------|
| 変調 | シンボルレート | 遮断率 | ロールオフ率 | キャリア配置 | キャリア間隔 |
| QPSK 8PSK 16APSK 白色雑音 | 11.85Mpsps | 0%, 35% | 0.2 | 同一周波数に重畳 | 0Hz |

| 干渉源 | D/U [dB] | |
|--------|----------|--------|
| | 遮断率 35% | 遮断率 0% |
| QPSK | 10.2 | 10.2 |
| 8PSK | 10.2 | 10.4 |
| 16APSK | 10.2 | 10.0 |

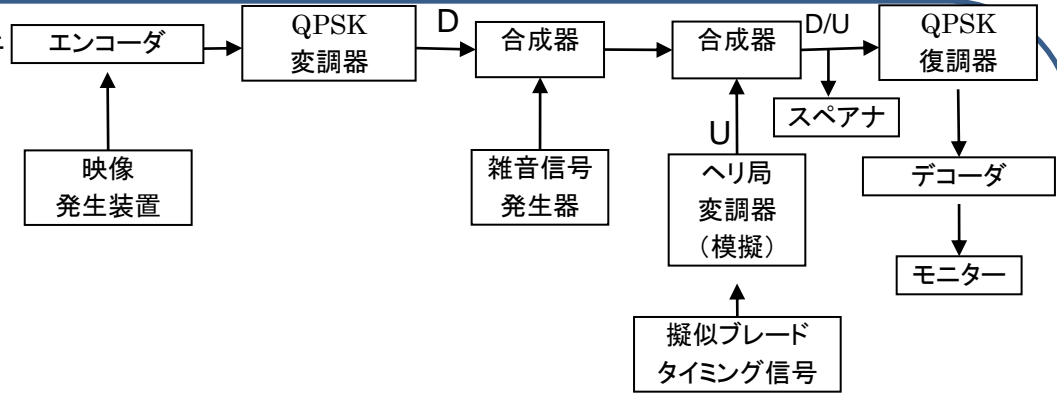
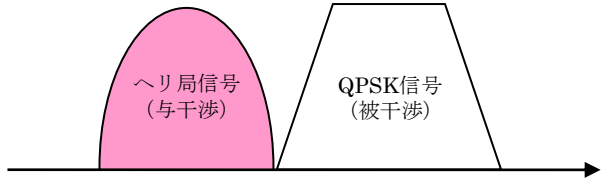
| 隣接衛星及び交差偏波信号 | | | |
|--------------|------------|-------------------|--------|
| 変調方式 | シンボルレート | C/N | ロールオフ率 |
| QPSK | 11.85Mpsps | 6.3dB(error free) | 0.35 |

| 干渉源 | D/U [dB] |
|------|----------|
| | 遮断率 35% |
| 白色雑音 | 10.4 |

局内折り返し: 2. 干渉試験 (ヘリコプター局側が与干渉)

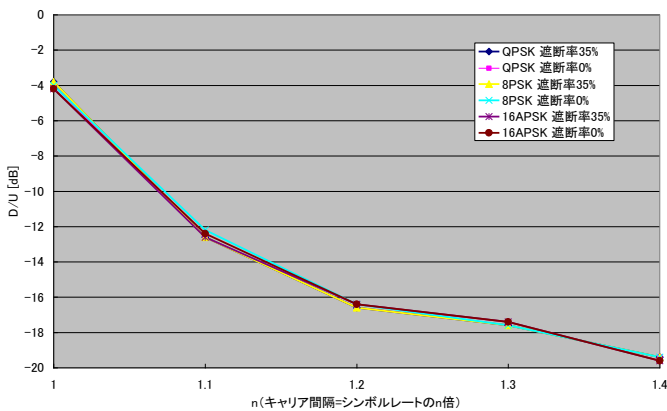
2-4. ヘリコプター局信号を隣接キャリアに想定して干渉を与えた場合のブロックノイズが発生するD/U

ヘリコプター局信号を隣接キャリアに想定し、QPSK信号への被干渉の影響度合いを評価



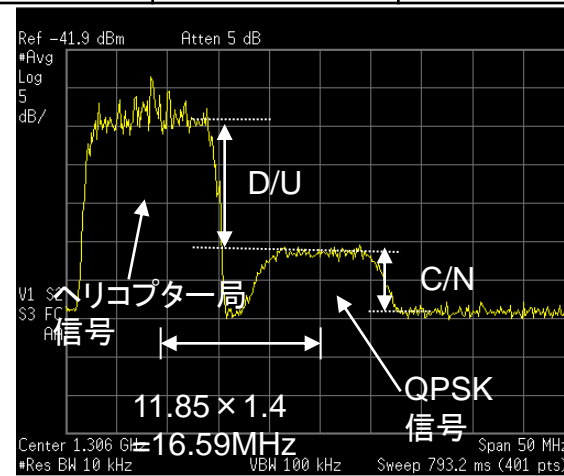
試験結果

・キャリア間隔がシンボルレートの1.4倍の結果は一般的なMODEMの仕様よりもヘリサットは干渉の程度が低いため、一般に衛星通信に利用されている信号と混在して運用することに問題ないことが確認された



| ヘリコプター局信号 (与干渉波信号) | | | | | |
|------------------------|-----------|---------|--------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 変調方式 | シンボルレート | 遮断率 | ロールオフ率 | キャリア配置 | キャリア間隔 |
| QPSK 8PSK 16APSK | 11.85Msps | 0%, 35% | 0.2 | シンボルレートの 1.0~1.4倍 (0.1倍刻み) | 11.85MHz~ 16.59MHz (1.185MHz刻み) |

| 隣接キャリア | | | |
|--------|-----------|-------------------|--------|
| 変調方式 | シンボルレート | C/N | ロールオフ率 |
| QPSK | 11.85Msps | 6.3dB(error free) | 0.35 |



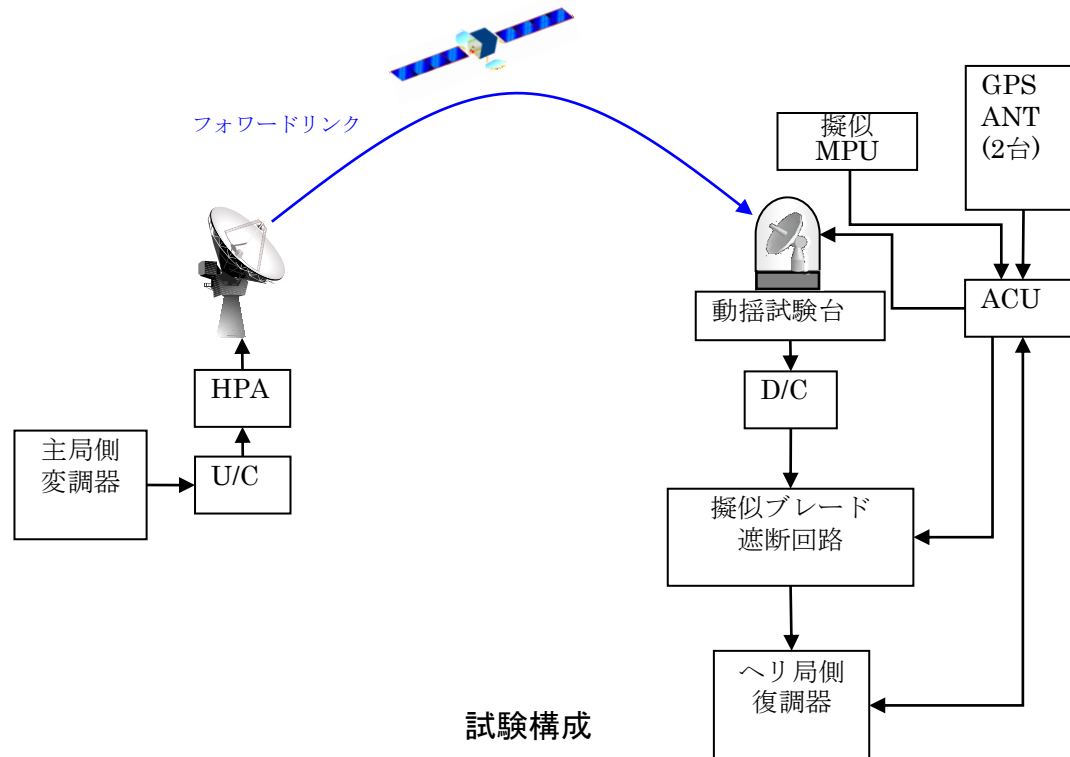
衛星試験: 1. 指向精度確認試験

検討背景

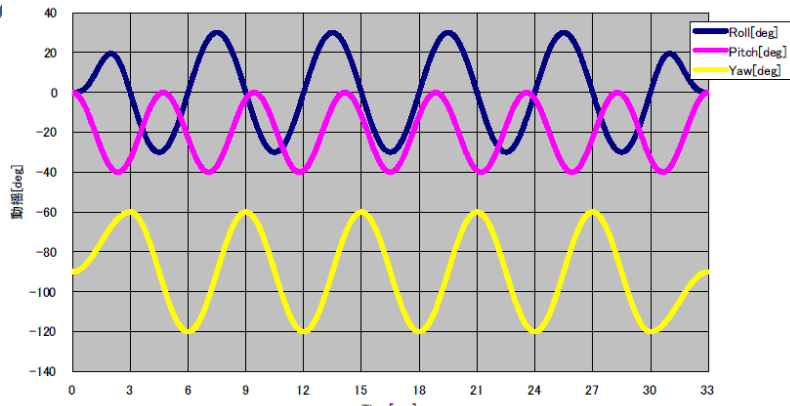
- アンテナが小型化されたことで、ヘリコプターの飛行性能への影響は低減されるが、主ビームが広がること、衛星追尾の難度は大型アンテナに比して大きくなることから、指向精度の確認が必要である。
- 本検討では、ヘリコプターの運用条件を想定した動揺条件をアンテナへ印加して試験を行う。

試験手順

- 動揺試験台を停止した状態で、主局からフォワードリンク信号を送信し、ヘリ局のアンテナが衛星初期捕捉の後、自動追尾が確立することを確認する。
- 動揺試験台に動揺を加え、指向精度を測定する。ヘリ局側の受信信号は擬似ブレード遮断回路によってブレードによる遮断を考慮した断続的な信号により行う。

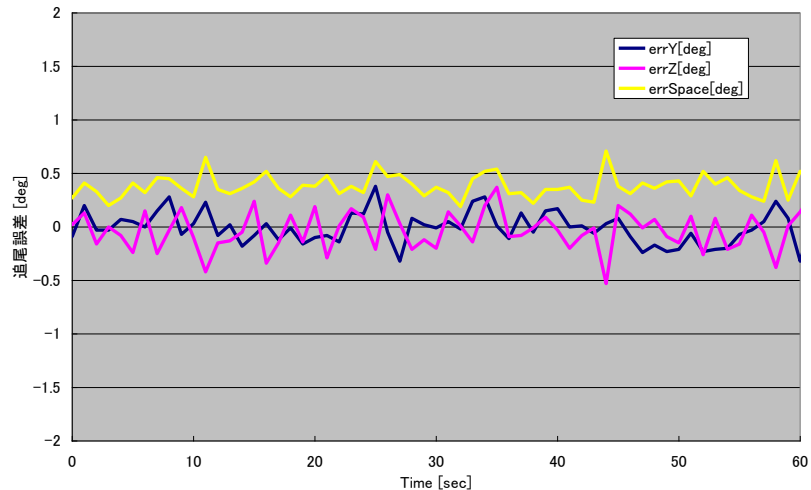


衛星試験：1. 指向精度確認試験



動揺パターン②のパターン例

errX: 衛星に向かって水平右手方向の誤差
 errZ: 鉛直地球中心方向の誤差
 $errSpace: \arctan(\sqrt{(\tan errX)^2 + (\tan errZ)^2})$



動揺パターン②の追尾精度測定結果

試験結果

- ・動揺が最も厳しい条件(動揺パターン②)の追尾誤差は0.7度程度であるが、軸外輻射電力の規定等を満足して運用が可能な範囲であり問題ない値である
- ・また追尾誤差0.7度は受信レベルに換算して約0.4dBであり、回線全体に与える影響が小さいため問題ない値である

試験結果

| 動揺パターン | Roll [deg] | Pitch [deg] | Yaw [deg] | 追尾誤差 (測定時間60sec) | |
|--------|--------------|--------------|--------------|------------------|----------|
| | | | | 平均 [deg] | 最大 [deg] |
| ① | ±15 (周期6sec) | ±10 (周期4sec) | ±15 (周期6sec) | 0.42 | 0.67 |
| ② | ±30 (周期6sec) | ±20 (周期4sec) | ±30 (周期6sec) | 0.38 | 0.71 |
| ③ | 0 | 0 | ±15 (周期6sec) | 0.29 | 0.43 |
| ④ | 5 | 0 | ±15 (周期6sec) | 0.31 | 0.54 |
| ⑤ | 0 | 5 | ±15 (周期6sec) | 0.28 | 0.37 |
| ⑥ | 5 | 5 | ±15 (周期6sec) | 0.28 | 0.42 |
| ⑦ | 10 | 0 | ±15 (周期6sec) | 0.29 | 0.58 |
| ⑧ | 0 | 10 | ±15 (周期6sec) | 0.29 | 0.49 |
| ⑨ | 5 | 10 | ±15 (周期6sec) | 0.26 | 0.41 |
| ⑩ | 10 | 5 | ±15 (周期6sec) | 0.31 | 0.47 |
| ⑪ | 10 | 10 | ±15 (周期6sec) | 0.3 | 0.51 |

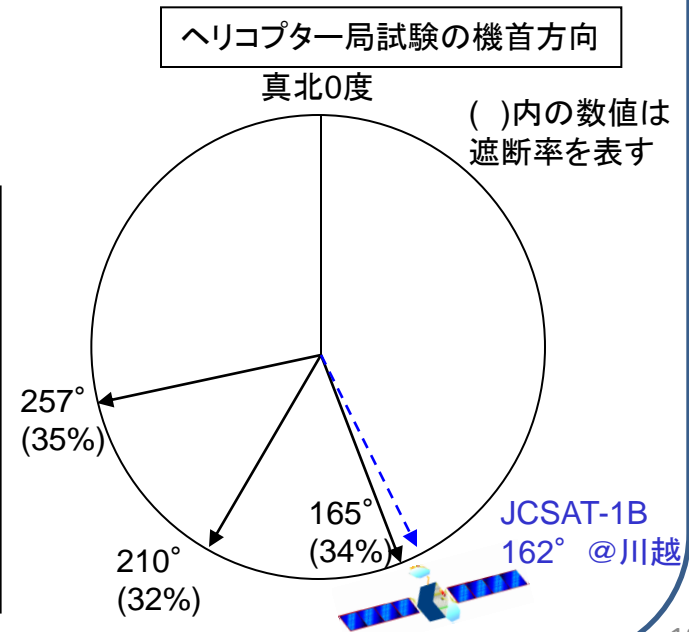
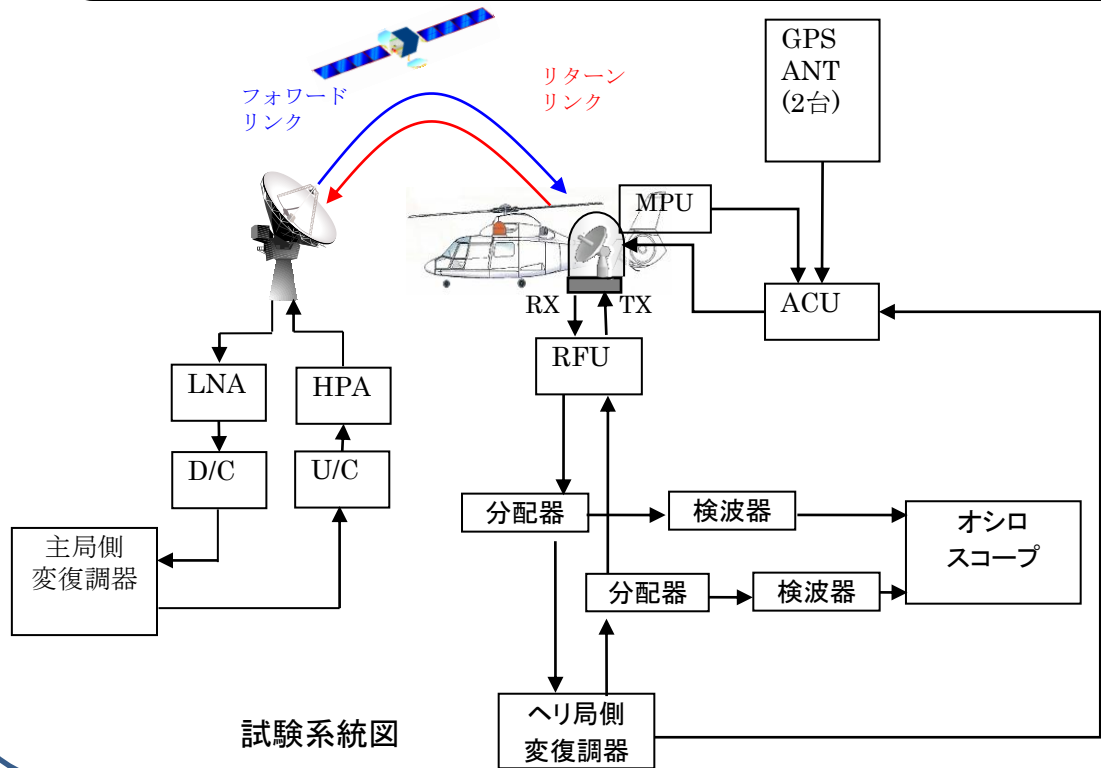
衛星試験:2. インターロック等機能確認試験

検討背景

- 他衛星や他システムへの干渉を防止するため、電波を発射・停止するインターロック機能が必要とされる。
- 本検討では、障害物による遮蔽、機体による遮蔽、万が一アンテナの追尾が外れた場合を主局の信号の送信をOn/Offすることにより、ヘリコプター局の変復調器にて模擬し、電波が発射・停止するインターロック機能を確認する。

試験手順

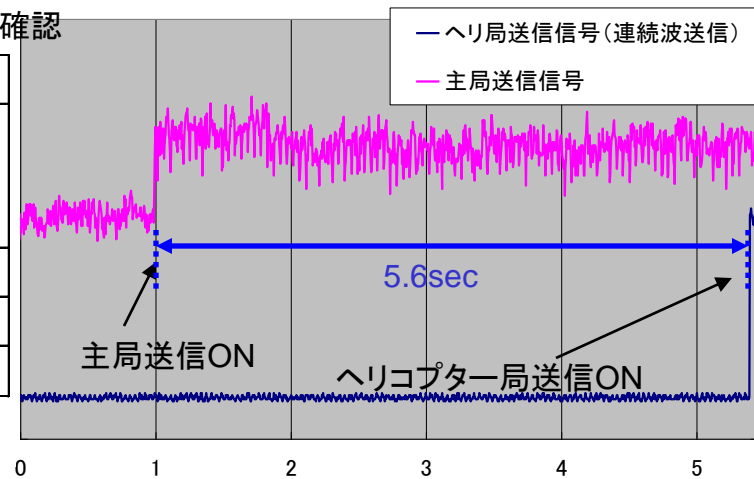
- 主局の送信信号とヘリコプター局の送信信号を検波器を経由してオシロスコープへ入力する。
- 主局の送信をOn/Offした場合に、ヘリコプター局の送信が自動的に停止、再送信することと動作時間をオシロスコープにて観測する。



衛星試験: 2. インターロック等機能確認試験

2-1. ヘリコプター局が主局からの電波を受信し、送信可能になることの確認

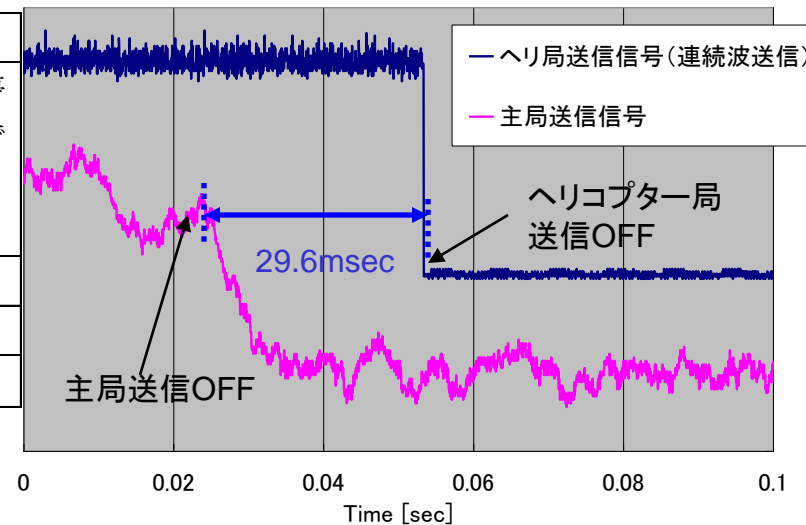
| 機首方向 [度] | 遮断率 [%] | ブレード回転あり | | ブレード回転なし | |
|-------------|---------|-------------|---------------------------|-------------|---------------------------|
| | | 送信可能 になる | 送信可能に なるまでの 時間[sec] | 送信可能 になる | 送信可能に なるまでの 時間[sec] |
| 165 | 34 | ○ | 5.6 | ○ | 4.2 |
| 210 | 32 | ○ | 8.6 | ○ | 1.1 |
| 257 | 35 | ○ | 8.6 | ○ | 7.1 |



2-1の測定例(機首方向165度)

2-2. 主局の電波を遮断した場合に電波の発射が自動的に停止することの確認

| 機首方向 [度] | 遮断率 [%] | ブレード回転あり | | ブレード回転なし | |
|-------------|---------|--------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|
| | | 自動的に 停止する | 自動的に停 止するまで の時間 [msec] | 自動的に 停止する | 自動的に停 止するまで の時間 [msec] |
| 165 | 34 | ○ | 29.6 | ○ | 30.0 |
| 210 | 32 | ○ | 30.0 | ○ | 34.0 |
| 257 | 35 | ○ | 25.6 | ○ | 33.6 |



2-2の測定例(機首方向165度)

試験結果

(2-1) 初期捕捉時に必要な時間のため運用上問題ない範囲である

(2-2) 停波までの時間であり、十分小さい値のため問題がない

衛星試験: 2. インターロック等機能確認試験

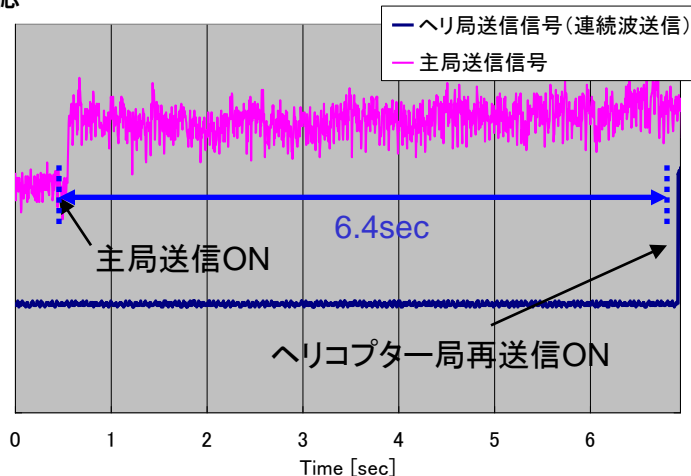
2-3. 主局の信号が遮断から復帰した場合に送信が再開されることの確認

| 機首方向 [度] | 遮断率 [%] | ブレード回転あり | | ブレード回転なし | |
|-------------|---------|----------|-------------------|----------|-------------------|
| | | 送信可能になる | 送信可能になるまでの時間[sec] | 送信可能になる | 送信可能になるまでの時間[sec] |
| 165 | 34 | ○ | 6.4 | ○ | 1.0 |
| 210 | 32 | ○ | 5.5 | ○ | 4.9 |
| 257 | 35 | ○ | 2.6 | ○ | 1.1 |

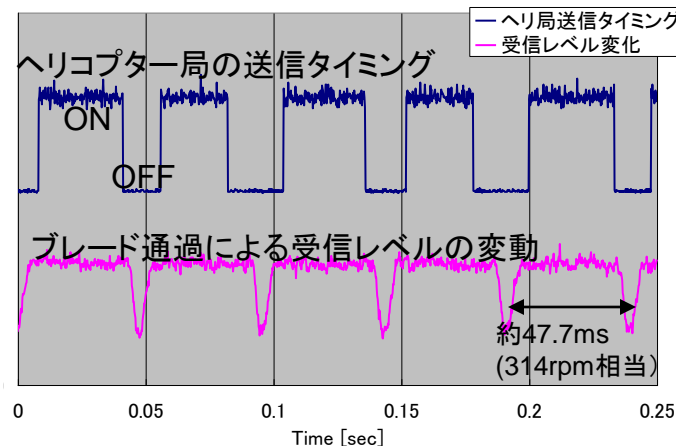
(a) 10秒遮断

| 機首方向 [度] | 遮断率 [%] | ブレード回転あり | | ブレード回転なし | |
|-------------|---------|----------|-------------------|----------|-------------------|
| | | 送信可能になる | 送信可能になるまでの時間[sec] | 送信可能になる | 送信可能になるまでの時間[sec] |
| 165 | 34 | ○ | 17 | ○ | 16 |
| 210 | 32 | ○ | 32 | ○ | 31 |
| 257 | 35 | ○ | 18 | ○ | 24 |

(b) 90秒遮断



2-4. 主輻射がブレードを含むヘリの機体の方向を指向した場合に電波の発射が自動的に停止することの確認



試験結果

(2-3)再送信に関しては遮蔽等からの復帰の動作であり、短時間で再送信が行われている

(2-4)

①機体ブロッキングの確認

- 機体方向へ指向した場合はモデム動作により自動的に停止することを確認した

②ブレードブロッキングの確認

- ブレードの回転に同期して、送信を行っていることを確認した(右図)

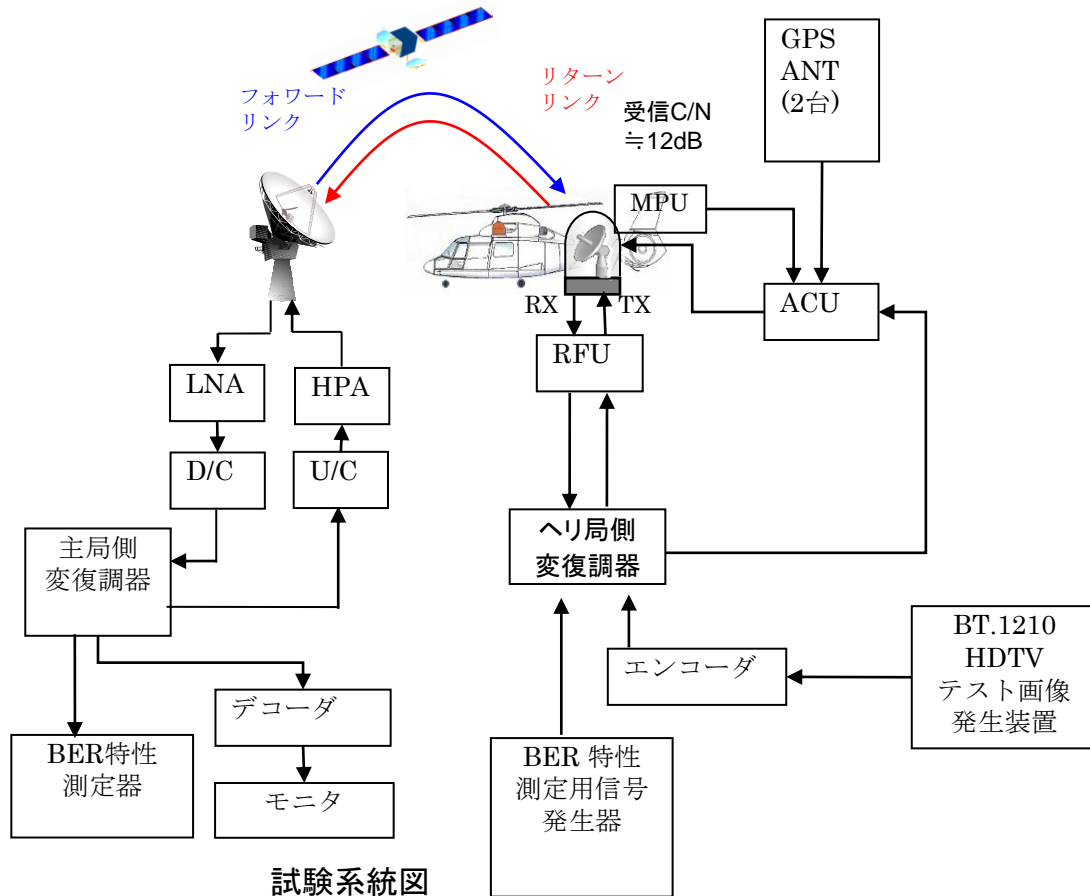
衛星試験: 3. 映像伝送、伝送品質確認試験

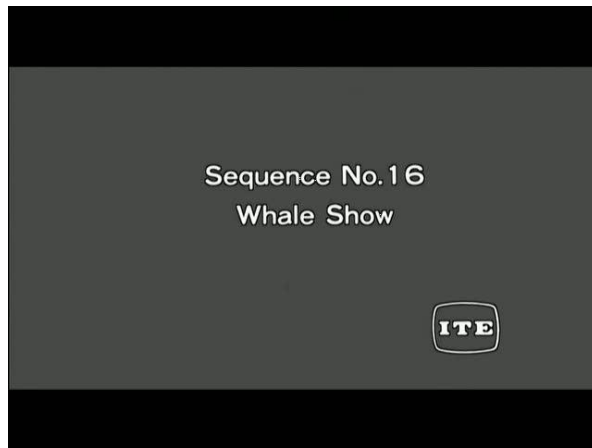
検討背景

- 一部答申では、標準画像伝送として最大1.5Mまでの伝送について検討されたが、本検討では、高画質伝送として最大10M伝送の実現性、伝送品質の確認を行う

試験手順

- ヘリコプター局から6Mおよび10Mのバースト送信にて1125/60 HDTVテスト画像を送信し、主局のモニターにて確認する。また、BER測定用信号を送信し、主局にてBERを測定する





使用したHDTVテスト画像(ITE標準動画像No.16)

映像伝送、伝送品質(BER)の結果

試験結果

6M及び10Mの映像伝送を確認し、伝送品質(BER特性)も全ての条件にてerror freeであり、問題がなかった

| 機首方向 | 映像伝送の確認 | | | | BER 評価 | | | |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 6M 伝送 | | 10M 伝送 | | 6M 伝送 | | 10M 伝送 | |
| | ブレード 回転あり | ブレード 回転なし | ブレード 回転あり | ブレード 回転なし | ブレード 回転あり | ブレード 回転なし | ブレード 回転あり | ブレード 回転なし |
| 165 度 | ○ | ○ | ○ | ○ | error free | error free | error free | error free |
| 210 度 | ○ | ○ | ○ | ○ | error free | error free | error free | error free |
| 257 度 | ○ | ○ | ○ | ○ | error free | error free | error free | error free |

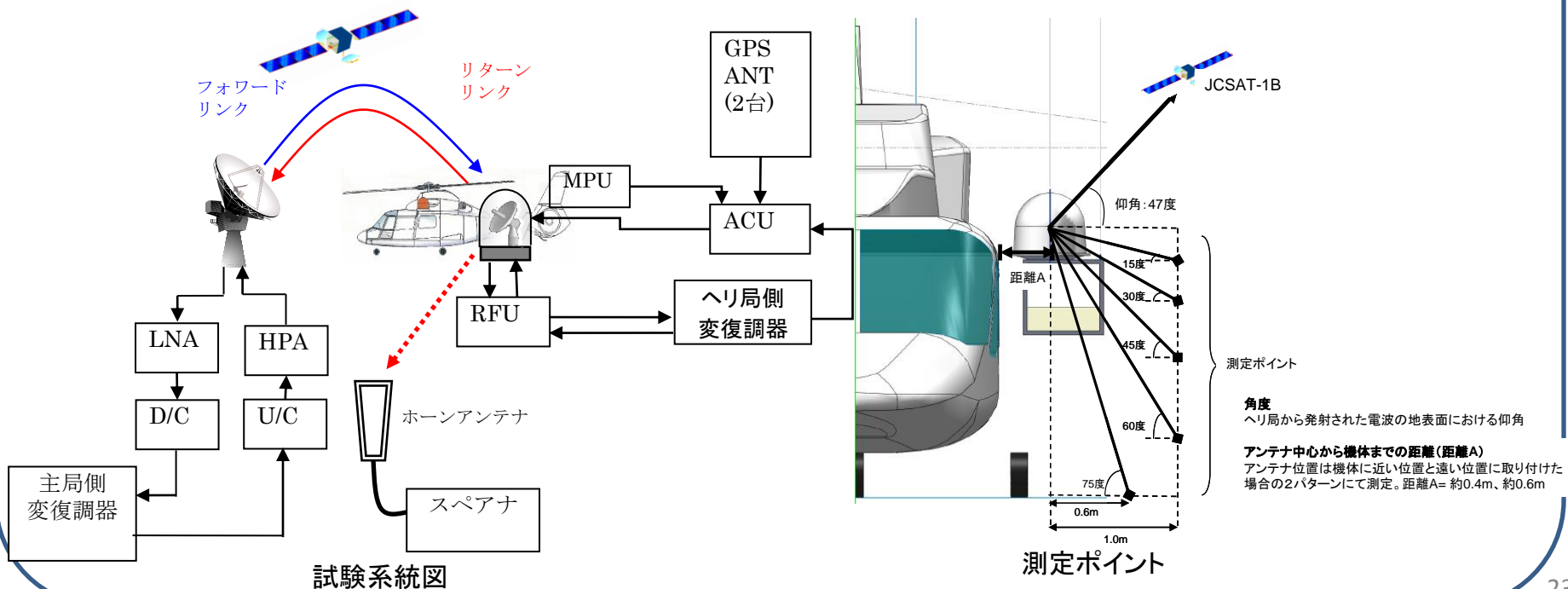
衛星試験: 4. 周波数の共用条件に関する検討

検討背景

- 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が必要であるため、固定業務・移動業務及び電波天文業務との周波数共用を検討する

試験手順

- ヘリコプター局送信空中線より下方での電波強度をホーンアンテナにて測定する(図の測定ポイントにて実施)
- その結果をヘリコプターが高度150mを飛行している状態における地表面での電力束密度に換算し、ヘリ局の空中線特性及びヘリコプターの機体による反射を考慮した場合の計算結果と比較を行う



衛星試験: 4. 周波数の共用条件に関する検討

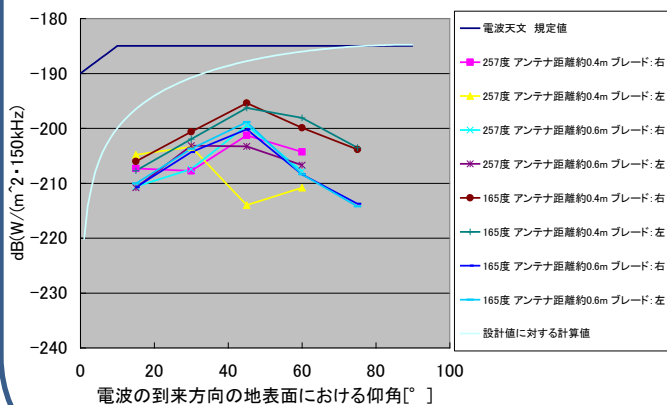
設計値に対する計算値

表にある軸外輻射電力の許容値と上空150mを飛行しているヘリコプターから地球局までの距離、送信機の抑圧量を考慮して求めた

| 最大輻射電力 | | 主輻射からの離隔 |
|-----------|-----------|----------------|
| 33-25logθ | dBW/40kHz | 2.5° ≤ θ < 7° |
| 12 | | 7° ≤ θ < 9.2° |
| 36-25logθ | | 9.2° ≤ θ < 48° |
| -6 | | 48° ≤ θ |

試験結果

機首方向165度、257度、アンテナ取り付け位置が近い部分(アンテナ中心から約0.4m)と遠い部分(アンテナ中心から約0.6m)にて試験を実施し、いずれの測定結果が計算値及び規定値を下回る結果となりこれらの業務と周波数の共用を図ることが可能である。



電波天文業務規定値との比較

規定値

固定業務規定値

-132 + 0.5θ dB(W/(m²·MHz)) for θ ≤ 40°
 -112 dB(W/(m²·MHz)) for 40° < θ ≤ 90°

電波天文業務規定値

-190 + 0.5θ dB(W/(m²·150kHz)) for θ ≤ 10°
 -185 dB(W/(m²·150kHz)) for 10° < θ ≤ 90

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

測定値に対する計算式

地表面での最大電力乗密度

= (測定値) - (ホーンアンテナ受信スパンロス) - (ホーンアンテナ利得)

- (地表面までの拡散ロス) - (送信機の抑圧及びフィルタの抑圧)

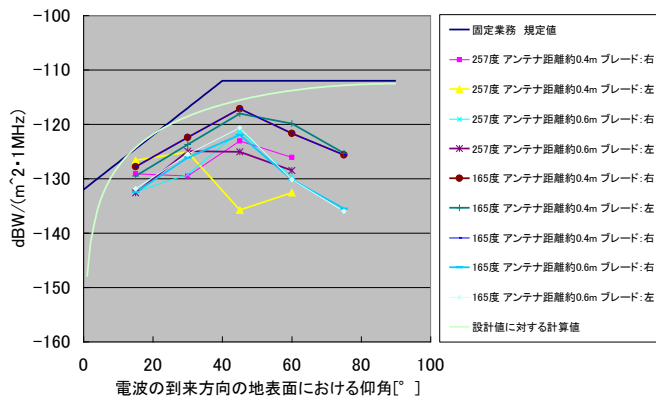
ホーンアンテナ受信スパンロス = 20log(4π · dr/λ)

地表面までの拡散ロス = 10log(4π · d²)

dr: ヘリサットアンテナからホーンアンテナの距離(km)

d: ヘリコプターから干渉地点までの距離(km)

ホーンアンテナの利得(ケーブルロス含む) 24.2 dBi



固定業務規定値との比較

衛星試験: 5. ヘリコプターキャビン内へ輻射する電波強度の測定

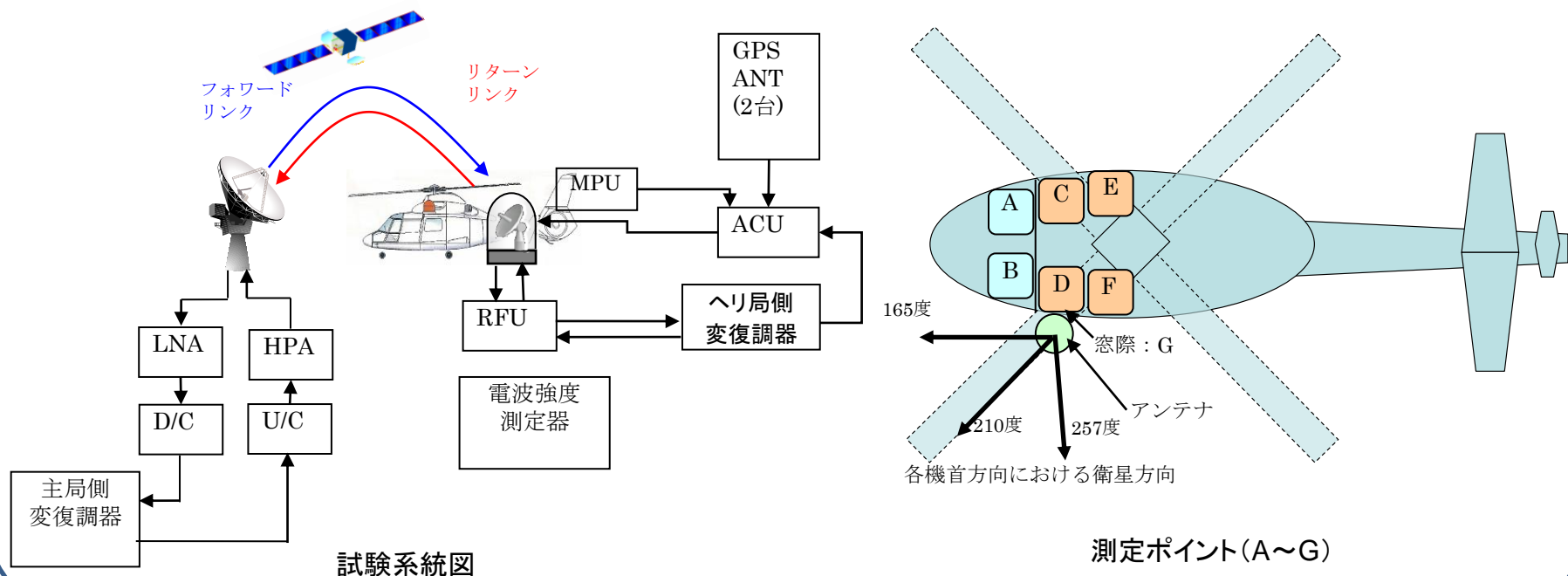
5-1 電波強度測定

検討背景

- 防護指針に観点から人体へ影響がないか確認する必要がある。本システムでは、インターロック機能により、主ビームがキャビン内へ輻射することはないが、軸外輻射等による人体への影響がないか検討する。

試験手順

- ヘリコプター座席近傍にて電波強度測定器を用い、電波強度を測定する。測定箇所は図の測定ポイントに示したA～Gの箇所をMAX HOLDにて空間的に測定を行う



衛星試験:5. ヘリコプターキャビン内へ輻射する電波強度の測定

試験結果

測定は、3つの機首方向、ブレード回転状態、停止状態で実施した。いずれの結果も電波防護指針の許容値内であり、問題はなかった

| 機首方向 | 測定結果 [mW/cm ²] | | | | | | | |
|------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | ブレード | A | B | C | D | E | F | G |
| 165度 | 回転 | 0.005 | 0.010 | 0.003 | 0.013 | 0.001 | 0.004 | 0.024 |
| | 停止 | 0.003 | 0.010 | 0.002 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.040 |
| 210度 | 回転 | 0.003 | 0.024 | 0.001 | 0.003 | 0.005 | 0.003 | 0.020 |
| | 停止 | 0.013 | 0.025 | 0.005 | 0.003 | 0.001 | 0.002 | 0.014 |
| 257度 | 回転 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.024 |
| | 停止 | 0.001 | 0.005 | 0.002 | 0.004 | 0.001 | 0.004 | 0.027 |
| 電波防護指針の許容値 | 1 [mW/cm ²] | | | | | | | |

5-2 機体計器、アビオニクス類への影響調査

検討背景

- ヘリコプター局は、航空計器類等に対する影響のないように配慮する必要があり、機体計器及びアビオニクス類への影響を調査する。

試験手順

- 主局、ヘリコプター局間の回線を確立させ、ヘリコプターに搭載された航空計器類等への影響を調査する



アンテナ実装位置

試験結果

機体計器及びアビオニクス類への影響調査においては今回のヘリサットシステムではIFとして1GHz帯を使用しているが、通信機器は一般的に適切なシールド処理がされていることもあり、動作に影響を与える点は確認されなかった

| | | 結果 | | | | | |
|------------------|--------------------|-------|----|-------|----|-------|----|
| 機器 | 条件 | 165 度 | | 210 度 | | 257 度 | |
| | | ブレード | | ブレード | | ブレード | |
| | | 回転 | 停止 | 回転 | 停止 | 回転 | 停止 |
| 機体計器 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| VHF COMM 1, 2 | 129.60MHz TX/RX | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Transponder | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| DME | 978.00MHz | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| VOR/LOC 1, 2 | 108.00/108.10MHz | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| G/S 1, 2 | 334.70MHz | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| M/B | 75.00MHz | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ADF | 954kHz | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| RADIO ALT | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| GPS 装置 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| A/PILOT 1, 2 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 機体方位 (コンパス) | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |