

## 3-2-2 成層圏プラットフォームを用いた無線通信システムにおける周波数共用技術の研究とITUへの寄与活動

### 3-2-2 A Study of Frequency Sharing and Contribution to ITU for Wireless Communication Systems Using Stratospheric Platforms

大堂雅之 三浦 龍

Masayuki OODO and Ryu MIURA

#### 要旨

高度約20kmの成層圏に滞空する飛翔体(成層圏プラットフォーム)を利用した新しい無線通信システムの研究・開発が1998年度から国家プロジェクトとして進められているが、このような新しい無線通信システムを実用化する場合、周波数の獲得及び確保が不可欠であり、実際にビジネスとして成立するかどうかの鍵を握っている。現在、成層圏プラットフォーム無線通信システムで使用できる周波数帯として、IMT-2000用に2GHz帯、固定業務用に31/28GHz帯と47/48GHz帯の合計三つの周波数帯が割り当てられている。このうち、31/28GHz帯は日本が中心となって提案し、国際電気通信連合無線通信セクター(ITU-R)において同一及び隣接周波数帯を使用する他業務との周波数共用・両立性検討を行った結果、2000年5月～6月にイスタンブールで開催された世界無線通信会議(WRC-2000)において、その分配が認められたものである。しかし、その周波数帯の使用には幾つかの制約条件が課せられている。これらの条件緩和のために、より詳細な検討を行い、他業務との周波数共用・両立が可能となる条件を明確化することが必要である。本稿では、31/28GHz帯成層圏プラットフォーム無線通信システムに関する周波数共用検討の現況の一部を紹介し、ITUへの寄与活動について述べる。

R&D for wireless communication systems using aircraft called high altitude platform keeping at an altitude of about 20 km has been made progress as a national project in Japan since 1998. In order to realize such novel wireless communication systems, allocation and maintenance of available frequency bands are the key issues. At this stage, following three frequency bands are allocated for the communication systems using stratospheric platforms; 2 GHz bands for IMT-2000, 31/28 GHz bands for fixed service and 47/48 GHz bands for fixed service. Among these frequency bands, 31/28 GHz bands were proposed by Japan and the use of the bands was allowed in WRC-2000 as the results of the frequency sharing and compatibility studies with the other services in ITU-R. On the allocation, however, stringent conditions are imposed and there still remain a lot of further studies in order to deregulate these conditions. This paper describes the current status of the frequency sharing and compatibility studies between the stratospheric platform communication systems and other radio systems in the 31/28GHz bands in the International Telecommunication Union (ITU).

#### [ キーワード ]

成層圏プラットフォーム, 周波数共用, 干渉軽減技術, 国際電気通信連合  
High altitude platform, Frequency sharing, Interference mitigation techniques, International Telecommunication Union (ITU)

## 1 まえがき

高度約20kmの成層圏に長期間滞空する飛翔体(成層圏プラットフォーム)を利用した新しい無線通信システムに関する研究・開発が進められている<sup>[1][2][3]</sup>。成層圏プラットフォームを利用した無線通信システムの実用化に際しては、新規周波数の獲得及び確保が不可欠であり、実際にビジネスとして成立するかどうかの鍵を握っている。しかし、成層圏プラットフォーム無線通信システムで使いやすい周波数領域は、既に様々な無線業務に隙間なく分配され、使用されている。このような状況の中で、新しい周波数帯を確保するためには、既存の無線業務との間の周波数共用条件を明確化し、異なる無線業務間の干渉を軽減する技術を国際電気通信連合無線通信セクター(ITU-R)で検討を行い、更に世界無線通信会議(World Radiocommunication Conference: WRC)において承認されなければならない。

1997年の世界無線通信会議(WRC-97)において、米国Sky Station社や日本等の努力により、成層圏プラットフォーム局(ITU-RではHigh Altitude Platform Stationと定義されており、これを略してHAPSと呼ばれる)を利用した固定業務用に47/48GHz帯の全世界的な分配が認められた<sup>4</sup>が、この周波数帯は日本のような雨の多い地域では降雨減衰の影響が大きく、利用アプリケーションが限定される。そこで、日本としては総務省主導のもと、成層圏プラットフォームと地上加入者との間の広帯域無線アクセスに適する周波数帯(31/28GHz帯)の獲得活動を展開し、通信総合研究所は通信・放送機構とともに多数の寄与文書提出を通じて、この提案を技術的な側面から強力にサポートしてきた。その結果、韓国・オーストラリアなどアジア・太平洋地域の国々の協力も得て、2000年開催の世界無線通信会議(WRC-2000)において、成層圏プラットフォーム局を利用した固定業務用に上り回線31.0-31.3GHz帯、下り回線27.5-28.35GHz帯が新たに割り当てられた<sup>5</sup>ことは、日本として注目すべき成果だったといえる。WRC-2000では、他に成層圏プラットフォームによるIMT-2000業務用に2GHz帯の分配も行われている<sup>5</sup>。

しかし、31/28GHz帯は既に幾つかの無線業務で使用されているため、それらとの周波数共用条件の検討が緊急の課題となっており、成層圏プラットフォームによる固定業務での使用は、(1)東南アジアを中心とした12か国に限定され、(2)同一・隣接周波数帯を使用する他業務への有害な干渉を認めず、また他業務からの干渉保護を要求せず、(3)2003年開催予定のWRC-03まで31.0-31.3GHz帯のうち、下半分の周波数帯(31.0-31.15GHz)のみ使用可能等の厳しい制約条件が課せられている。WRC-03においてこれらの条件を緩和し、この周波数帯を使った新たなビジネスが展開しやすくなるよう、ITU-Rにおいて周波数共用・両立性の検討を進め、多数の寄与文書を提出し、勧告成立に向けて努力している。本稿では、ITU-Rにおける31/28GHz帯に関する周波数共用検討の一部及びITUへの寄与活動について述べる。

2では、ITU-Rにおける周波数共用検討に用いる31/28GHz帯成層圏プラットフォームシステムによる固定業務のシステムパラメータを紹介する。3では、2で述べたモデルを使用し、他業務との周波数共用・両立性検討の例として、(1)静止衛星による固定衛星業務、(2)FWA(Fixed Wireless Access)、(3)宇宙科学業務との間の検討状況を述べる。4では、他業務との周波数共用を容易にするための干渉軽減技術をまとめる。5では、ITUへの寄与活動を述べ、6で本稿をまとめる。

## 2 Ka帯成層圏プラットフォームによる固定業務用無線通信システム<sup>[4]</sup>

本節では、上り回線に31.0-31.3GHz帯、下り回線に27.5-28.35GHz帯を使用する成層圏プラットフォームによる固定業務と、同一及び隣接周波数帯を使用する他の無線業務との周波数共用・両立性検討において使用するKa帯成層圏プラットフォーム無線通信システムの概要を述べる。図1に無線通信システムのイメージ図を示す。

ITU-Rでは、典型例として、以下に記すKa帯成層圏プラットフォームシステムを提案している。

- ① 成層圏プラットフォーム局(HAPS)は高度

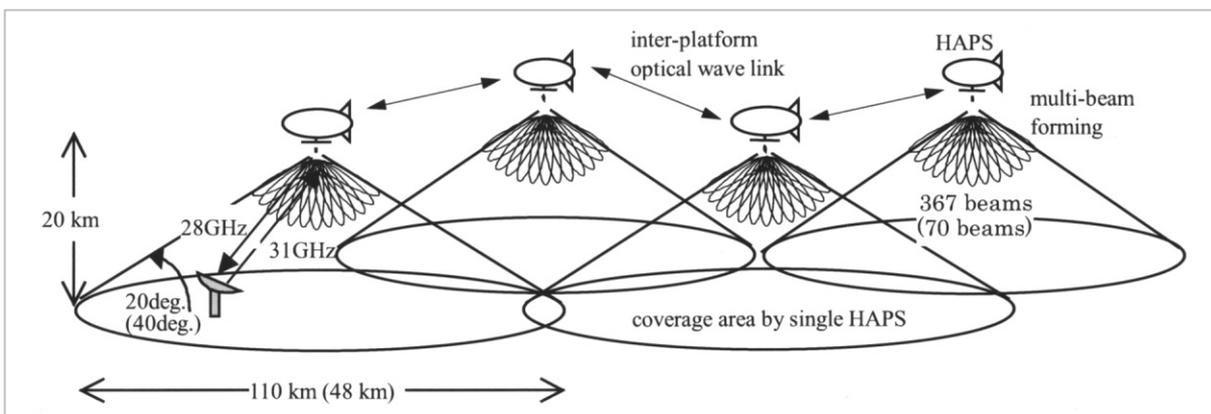


図1 成層圏プラットフォームを用いたKa帯固定業務用無線通信システムのイメージ図

20km ~ 25kmの定点に滞空するように制御された飛行船に設置される。

- ② 通信ミッションの運用に必要な電力は、昼間は飛行船上面に取り付けられた太陽電池等の手段から、夜間は昼間に充電された再生型燃料電池等の手段から供給される。
- ③ マルチスポットビームを地上に照射するアンテナを飛行船底面に設置し、飛行船を仰角20度以上の角度で臨む場所にある地上局との間の高速無線アクセス回線を提供する。
- ④ マルチスポットビームアンテナにより形成された各ビームは地上にセルを形成する。セル構成における周波数繰り返し数はスポットビーム間のアイソレーションを考慮して4以上とする。
- ⑤ 飛行船表面はアルミニウムフィルムでコーティングされた膜材で作られるため、飛行船底面に取り付けられたアンテナから地上に向けて放射された電波は、シールド効果により、飛行船の上面方向に対して、ある量の減衰を生じる。
- ⑥ 広範囲な地上のエリアをカバーするために、複数の飛行船が設置され、飛行船間は光による大容量の無線回線で互いに結ばれ、全無線メッシュ状ネットワークが構築される。

数年後に必要になるとと思われるプラットフォーム局 - 地上局間の伝送レート20Mbps程度の高速度アクセス回線を成立させるためには、③にあるようにプラットフォーム搭載機器によりマルチスポットビームを形成し、高アンテナ利得を

得る必要がある。また、マルチスポットビームは、周波数の繰り返し利用により、周波数が効率的に利用でき、加入者数の増大に有効である。マルチスポットビームにより形成される地上のセルとして、直径約6kmの円を仮定している。

HAPS1局当たりのサービスエリアは最低運用仰角により決定される。最低仰角20度で運用する場合、HAPS1局当たりの必要ビーム数は367、最低仰角40度で運用する場合、必要ビーム数は70程度となる。マルチビームアンテナは複数のホーンアンテナを並べるかフェーズドアレーアンテナにより実現できるが、400近いマルチビームを形成するには、ビーム形成機構をはじめとする搭載機器の大幅な小型化、軽量化、大容量化が必要であり、今後の課題である。

最低運用仰角を更に低くすれば、HAPS1局当たりのサービスエリアは大きくなるが、所要ビーム数増大の問題に加えて、伝播距離・降雨減衰の増加を補償するための放射電力増大の問題も生じ、他業務との周波数共用が困難になる。さらに、建物や山などによる電波遮蔽の問題も生じる。このため、31/28GHz帯を用いた成層圏プラットフォームシステムの場合、典型例として最低運用仰角を20度に設定している。図2に、日本において最低運用仰角20度でサービス展開する場合のHAPS配置の一例を示す。この場合、必要な飛行船の数は95機となる。

図3に最低運用仰角が20度の場合のマルチビームアンテナによる地上のセル構成の一例を示す。前述のとおり、スポットビーム数は367であり、セルはすべて直径約6kmの円である。このマルチビーム設計では、サービスカバレッジ端

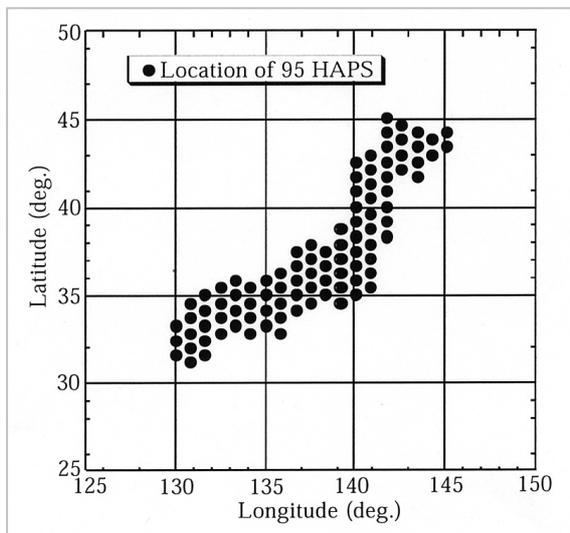


図2 日本における成層圏プラットフォームシステムの展開例(最低運用仰角20度の場合)

を照射するビームのビーム幅が狭くなり、サイドローレベルが低くなるので、他業務への干渉及び他業務からの干渉を抑圧することができる。しかし、このようなセルを構成するには、仰角に応じて異なるビーム幅の楕円ビームを照射する必要があり、その実現性の検討が必要である。より現実的な方法として、5種類のビーム幅を有する円ビームにより、サービスエリアをカバーするセル構成方法も併せて検討している[6]。その結果、5種類のビーム幅を有する合計約400本の円ビームの使用により、図3の場合と比べて干渉が増加することなく、ほぼ同じ面積をカバーすることが可能であることが示されている。

周波数繰り返し数は4としている。図3において、塗りつぶされているセルは同一周波数帯を使用することを表している。本セル構成のような六角セル構成の場合、理論上の最小周波数繰り返し数は3であるが、スポットビーム間アイソレーションの制約から周波数繰り返し数は最小で4が限界であると考えられる。ITU-Rにおける他業務との干渉問題では干渉が最悪になる条件を考えるのが基本であるため、ITU-Rにおける共用検討モデルでは周波数繰り返し数を4としている。

表1に東京における2種類の回線計算例を示す。一つは仰角20度(サービスカバレッジ端)の地上局における回線計算表で、もう一つは仰角

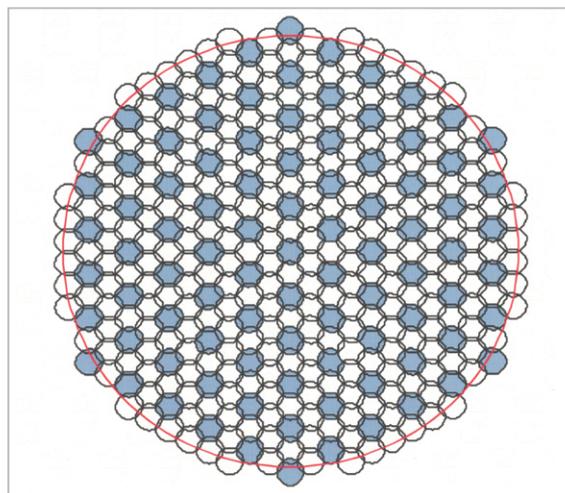


図3 飛行船1機により形成された地上フットプリント例(最低運用仰角20度、セル数367)

90度(飛行船直下)の地上局における回線計算表である。伝送レートは1キャリアあたり上り回線・下り回線ともに20Mbpsを仮定している。上り回線には降雨減衰を補償するために、最大6dBの自動送信電力制御(Automatic Transmitting Power Control: ATPC)機能を有するものとしている。回線稼働率は99.4%とし、スポットビーム端利得(メインビーム中心利得から3dB減)を仮定して回線計算を行っている。

### 3 ITU-Rにおける周波数共用検討の現況

本節では、ITU-Rにおける31/28GHz帯HAPSシステムと他業務との周波数共用・両立性検討の一部を紹介する。HAPSによる固定業務上り回線に分配された31.0-31.3GHz帯は他に地上の固定業務・移動業務に分配されており、隣接周波数帯(31.3-31.8GHz)は宇宙科学業務に分配されている。また、下り回線用に分配された27.5-28.35GHz帯は、地上の固定業務・移動業務に加えて、固定衛星業務の上り回線にも分配されている。2で述べた31/28GHz帯HAPSシステムモデルを使用し、3.1では28GHz帯における固定衛星業務(上り回線)との周波数共用、3.2では、31/28GHz帯の地上における固定業務との周波数共用、3.3では、隣接周波数帯を使用している31GHz帯地球探査衛星業務(受動)との両立性の検討状況を述べる。

表1 東京における回線計算表 (仰角 = 20度と90度)

	単位	上り回線	下り回線	上り回線	下り回線
仰角	度	20( サービスカバレッジ端 )		90 ( HAPS直下 )	
周波数	GHz	31.28	28	31.28	28
帯域幅	MHz	20	20	20	20
送信アンテナ					
電力	dBW	- 10.3	- 14.5	- 10.3	- 15.2
給電損	dB	0.5	0.5	0.5	0.5
利得	dBi	35	29.5	35	16.5
Eirp	dBW	24.2	14.5	24.2	0.8
eirp (per MHz)	dBW/MHz	11.2	1.5	11.2	- 12.2
伝搬路長	km	58.5	58.5	20	20
自由空間伝搬損	dB	157.7	156.7	148.4	147.4
降雨減衰	dB	12.6	10.9	7.9	6.8
稼働率@東京	%	99.4	99.4	99.4	99.4
大気吸収損	dB	0.4	0.4	0	0
PFD	dBW/m <sup>2</sup> /MHz		- 105.2		- 109.3
受信アンテナ					
利得	dBi	29.5	35	16.5	35
給電損	dB	0.5	0.5	0.5	0.5
受信電力	dBW	- 117.5	- 119	- 116.1	- 118.9
雑音温度 [ K ]	K	700	500	700	500
雑音温度 [ dBW/Hz ]	dBW/Hz	- 200.2	- 201.6	- 200.2	- 201.6
最大許容干渉電力 [ 設計値 ]	dBW/MHz	- 150.2	- 151.6	- 150.2	- 151.6
受信損	dB	2.5	2.5	2.5	2.5
干渉電力		(I/N=10%)	(I/N=10%)	(I/N=10%)	(I/N=10%)
受信C/N <sub>0</sub>	dB(Hz)	79.7	79.7	81.1	79.8
ユーザデータレート [ Mbit/s ]	Mbit/s	13.3	13.3	13.3	13.3
ユーザデータレート [ dB(Hz) ]	dB(Hz)	71.2	71.2	71.2	71.2
所要 E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub> (QPSK, BER=10 <sup>-6</sup> )	dB	10.5	10.5	10.5	10.5
符号化利得 ( C <sub>0</sub> - V <sub>i</sub> , K=7, r=2/3 )	dB	5	5	5	5
所要 E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub>	dB	5.5	5.5	5.5	5.5
所要 C/N <sub>0</sub>	dB(Hz)	76.7	76.7	76.7	76.7
回線マージン	dB	3	3	4.4	3.1

### 3.1 固定衛星業務(上り回線)との周波数共用<sup>[7]</sup>

固定衛星業務(Fixed Satellite Service : FSS)の上り回線用に28GHz帯が分配されている。ITU-Rにおける検討では、静止軌道(Geo-stationary Orbit : GSO)にある衛星による固定衛星業務(GSO-FSS)との干渉問題を検討している。この場合、HAPSシステム下り回線(28GHz帯)において、①HAPSからGSO-FSS宇宙局(衛星)への干渉及び②GSO-FSS地球局からHAPSシステ

ム地上局への干渉の二つの干渉形態を考慮する必要がある。GSO-FSSのシステムパラメータは干渉が最悪となるシステムモデルを適当なITU勧告(ITU-R Rec. S.1328)から選ぶ。①に関しては、図2に示すように日本上空に展開された95のHAPSからの干渉量の総計で評価する。図4に評価結果を示す。下の二つの線が最大の干渉を与えるHAPS1局からの干渉量を示し、上の二つの曲線がHAPS95局からの干渉量の総計を示

している。横軸はGSO-FSS宇宙局(静止衛星)の位置の経度(東経)を示している。また、破線は2の⑤で述べた飛行船による最大15dBのシールド効果を考慮した結果である。これらの結果から、ほとんどの経度にある静止衛星に対して、 $I/N=1\%$ ( $N$ : 静止衛星の受信系熱雑音)に相当する干渉量以下となっていることが分かる。東経60度及び東経220度付近において、干渉量が若干大きくなっているのは、HAPS下り回線のうち、サービスカバレッジ端に向くビームの主ビーム方向が、これらの位置にある衛星に近づくためである。HAPS搭載アンテナの放射パターンの改善、HAPSシステム下り回線へのATPCの適用により干渉の更なる軽減が可能である。干渉軽減技術については4で述べる。

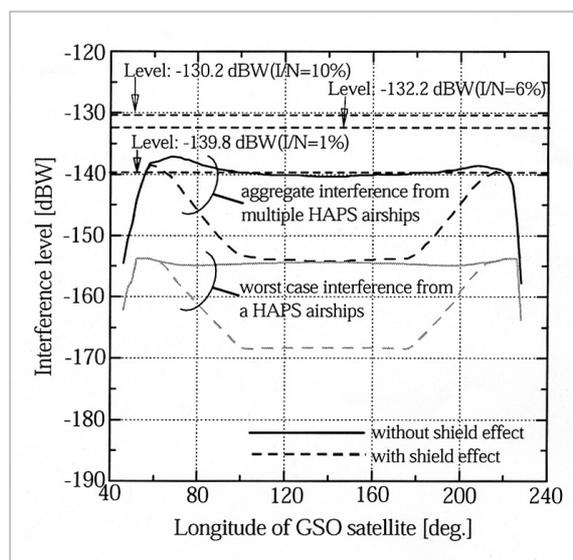


図4 HAPSシステム下り回線からGSO-FSS衛星への干渉

②の干渉形態に関しては、HAPS地上局の許容干渉量を $I/N=10\%$ ( $N$ : HAPS地上局の受信系熱雑音)と仮定し、HAPS地上局とGSO-FSS地球局との所要分離距離で評価する。図5は、北緯38度(東京)に位置するGSO-FSS地球局が中心であると仮定し、その周りの各点において、HAPS地上局を設置できる確率をプロットしたものである。本例において、各点におけるHAPS地上局のアジマス角は0度から350度までの10度ステップの値を取り、仰角は20度から90度まで10度ステップの値を取るものとし、すべての組合せに対して干渉が許容値を満たす確率をプロットし

ている。 $p=0$ は干渉許容値以下となる場合が存在しないことを示し、 $p=100$ はすべてのアジマスと仰角の組合せに対して、干渉許容値を満たすことを示す。図5において、下側に二つの山が見られるのは、このアジマス方向においてGSO-FSS地球局の仰角が最も低くなり、GSO-FSS地上局アンテナのサイドローブ利得が最も大きくなるため、HAPS地上局との所要分離距離が長くなるためである。図5から、北緯38度にあるGSO-FSS地球局から3km以内にはHAPS地上局を配置するのは不可能であること、GSO-FSS地球局から24km以上離れた位置ではHAPS地上局は許容干渉量以上の干渉を受けないことが分かる。また、図5の“ $0 < p < 100$ ”の領域に関しては、ほとんどの位置の確率は95%以上であることから、GSO-FSS地球局から24km以内にある成層圏プラットフォーム地上局は飛行船の位置を調整することにより、ほとんどの場合、仮定した干渉許容値以下に抑えられることが分かる。以上から、HAPSを適切な位置に配置することにより、31/28GHz帯HAPSシステムは28GHz帯GSO-FSSとの周波数共用が可能であることが示された。

### 3.2 FWA P-MPシステムとの周波数共用<sup>[8]</sup>

31/28GHz帯は地上の固定業務にも分配されている。ここでは、地上の固定業務の一例として、FWA(Fixed Wireless Access)P-MP(Point-to-Multipoint)システムを取り上げ、HAPSシステ

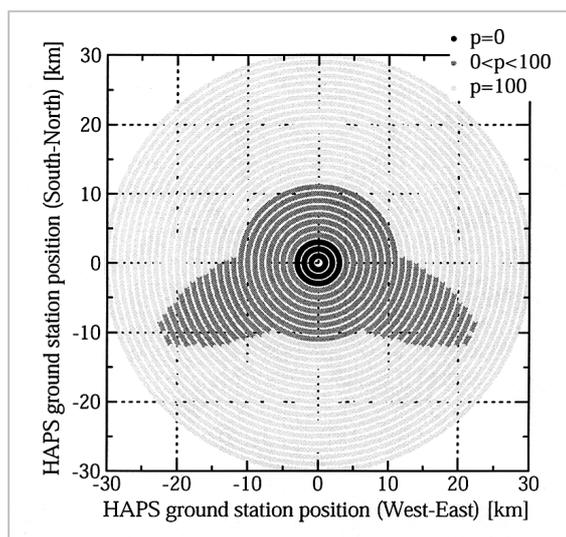


図5 HAPS地上局が配置できる確率(図の中心にGSO-FSS地球局が存在)

ムとの干渉について述べる。この場合、以下の四つの干渉形態を考慮する必要がある。

- ① HAPS 飛行船から FWA 局(親局及び副局)
- ② FWA 局(親局及び副局)から HAPS 飛行船
- ③ HAPS 地上局から FWA 局(親局及び副局)
- ④ FWA 局(親局及び副局)から HAPS 地上局

本稿では、これら四つの干渉形態のうち、① についてのみ示す。干渉計算のための FWA P-MP システムのパラメータを以下のとおりとする。FWA 親局は 2km 間隔で配置され、各親局は 90 度セクタビームを使用すると仮定する。各セクタビームのアンテナパターンは、多くのサービスプロバイダが適用すると考えられる現実的なパターンを使用する。周波数の繰り返しパターンは、一つの FWA 親局はセクタごとに四つの異なる周波数帯を使用し、また四つの親局で周波数のグループが繰り返し使用される。すなわち、全部で 16 の周波数帯が使用されると仮定する。

HAPS 飛行船の配置と FWA 親局との相対位置を図 6 に示す。図 6 において、HAPS 飛行船は 500 km × 1000km の領域に 11 × 21=231 機配置され、FWA 局は 231 の HAPS 飛行船のうち、左端の中心にある飛行船の真下の位置から、左に位置するものとする。FWA 親局における干渉量対熱雑音比の特性 (I/N 特性) を図 7 に示す。図 7 において、“front” は、FWA 親局のアンテナ主ビームがアジマス方向に関して、HAPS 飛行船群の中心に対向している場合 (図 6 で右向き) の結果である。また、“side” 及び “back” は、HAPS 飛行船群に対して真横 (図 6 で真上あるいは真下) 及び真後ろ (図 6 で左) を向いている場合の結果である。FWA 親局アンテナの主ビームの仰角は 0 度としている。図 7 の結果から、最大 I/N は約 -20dB となり、周波数共用が可能であると推測できる。

FWA 副局における I/N 特性に関しては、HAPS 飛行船 1 局からの干渉量を図 8 に示す。この場合、最大 I/N は約 30dB 近くの大きな値となる。FWA 副局における許容値と考えられる I/N = -15dB を大きく超える値である。これは、FWA 副局のアンテナ利得が FWA 親局のアンテナ利得より大きいことと、FWA 副局アンテナの主ビーム方向は仰角 60 度を限度として、HAPS 飛行船に対向

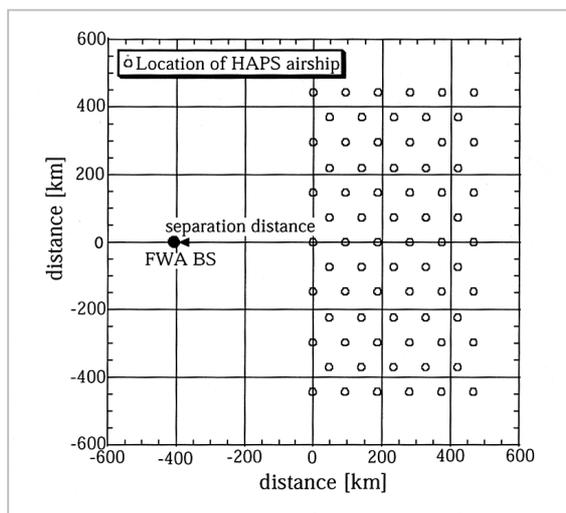


図 6 500km × 1000km 領域に配置された 11 × 21 機の HAPS 飛行船

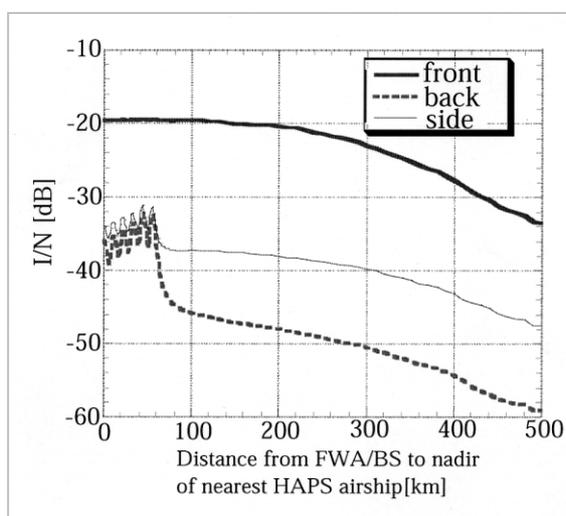


図 7 11 × 21 の HAPS から FWA 親局への干渉における I/N 特性

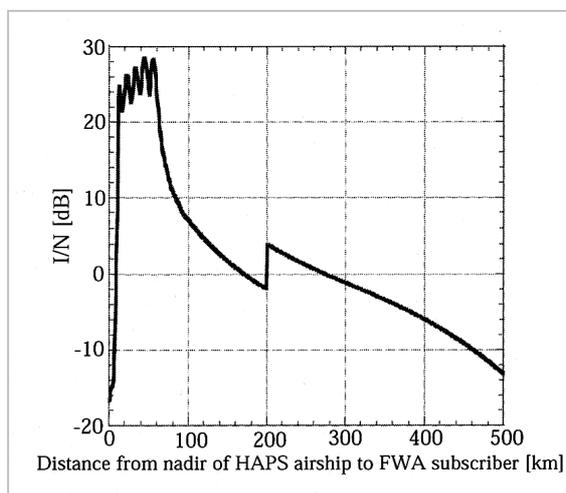


図 8 FWA 副局における HAPS 1 局から受ける干渉の I/N 特性

する場合があるためである。同じ周波数帯を同一地域で使用する場合、HAPS飛行船はFWA副局に大きな干渉を生じる可能性がある。この場合、ダイナミックチャネル割り当て(DCA)のような干渉軽減技術が不可欠となる。

### 3.3 受動センサーを用いる宇宙科学業務との両立性<sup>9) [10]</sup>

HAPSによる固定業務上り回線に割り当てられた31.0-31.3 GHzの隣接周波数帯31.3-31.8 GHz帯は地球探査衛星業務(受動)や電波天文業務などの宇宙科学業務に割り当てられている。この周波数帯における宇宙科学業務は受動センサーを使用するため、不要な電波に対して極めてセンシティブである。HAPSシステム上り回線においても、31.3-31.8GHz帯において極めて小さい帯域外不要放射レベルが要求されている。地球探査衛星業務(受動)及び電波天文業務への干渉に関しては、理論計算により導出された不要放射レベル(-105.85dB(W/MHz))が干渉計算に使用され、この不要放射レベルが達成できれば、HAPSシステムと宇宙科学業務は両立可能であるとの結果が出ている。仮定された不要放射レベルの実現性を確認するために、31GHz帯送信RFモジュールを開発した。図9にその実測結果を示す。ここでは、1MHz当たりの放射電力を示している。実測結果から、帯域20MHzの信号の場合、キャリア周波数から40MHz以上離れた周波数領域で、-76dBm/MHz(=-106dB(W/MHz))が実現できていることが分かる。ここで開発したRFモジュールは、既に商品化され、一般的に入手できるデバイスで構成されたものであり、本仕

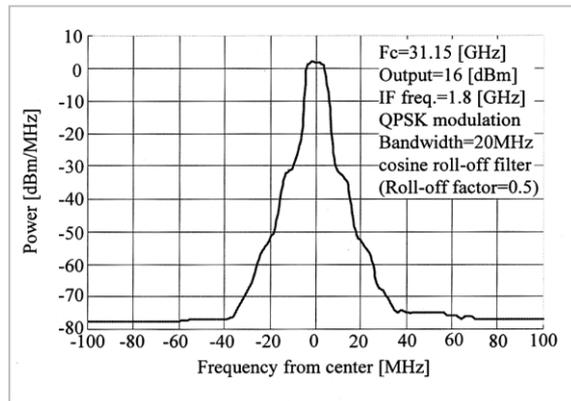


図9 開発された31GHz帯RFモジュール出力信号の実測スペクトラム(1MHzあたり)

様のために専用に設計を行えば、この帯域外不要放射レベルはコスト的にもリーズナブルに製造できると期待される。これらの結果から、31GHz帯HAPSシステム上り回線と宇宙科学業務との両立性が示された。

## 4 干渉軽減技術<sup>11)</sup>

本節では、31/28GHz帯HAPSシステムと同一・隣接周波数帯を使用する他業務との周波数共用を容易にするための干渉軽減技術について述べる。表2に干渉軽減技術とそれが有効となる干渉形態をまとめる。

### 4.1 運用仰角制限

GSO-FSS地球局からHAPS地上局への干渉、FWA局(親局と副局)とHAPS地上局間の干渉、HAPS地上局から電波天文業務への干渉は、HAPS地上局の運用仰角を20度より高い角度に

干渉軽減技術	周波数共用対象システム		固定衛星業務(GSO-FSS) (同一周波数帯干渉)	固定業務 (FWA)への /からの干渉 (同一周波数 帯干渉)	宇宙科学業務 (隣接周波数帯干渉)	
	衛星への 干渉	地球局 からの 干渉			地球探査 衛星業務 (受動)	電波天文 業務
(1) 運用仰角制限						
(2) 搭載アンテナと地上局アンテナの放射パターン改善						
(3) 動的チャネル割り当て						
(4) 自動送信電力制御	上り回線					
	下り回線					

: 有効

制限すれば、HAPS地上局のメインビーム方向と干渉を与える他業務の位置する方向との間の分離角が増加し、HAPS地上局アンテナのサイロローブ利得が低くなるため干渉を軽減することが可能である。その結果、干渉許容値を満足する所要分離距離を短くすることができ、周波数共用が容易になる。

#### 4.2 HAPS 搭載用アンテナ及びHAPS 地上局アンテナの放射パターンの改善

HAPS 飛行船から衛星への干渉は、搭載用マルチビームアンテナの各ビームの放射パターン(メインローブ・サイドローブ・バックローブ)を改善することにより軽減できる。検討によれば、図10に示す4クラスタービームを使用することにより、サイドローブ及びバックローブの放射電力を約5dB減少することが可能である。この改善は、ボアサイト方向への利得増加による送信電力の減少とサイドローブ利得の減少の複合効果によるものである。

また、HAPS地上局アンテナの放射パターンの改善(HAPSシステムにおける最低運用仰角以下の仰角に対する利得の抑圧)も、HAPS地上局と他業務(GSO-FSS、FWA、電波天文業務)の地上にある局との間の干渉軽減に有効である。

#### 4.3 動的チャネル割り当て

動的チャネル割り当て(Dynamic Channel Assignment : DCA)は、本来、使用されていない

周波数あるいはタイムスロットを探し出し、それを利用することにより、同一システム内における加入者容量を増大させるのに有効な手法として考え出された。しかし、ユーザからの要求に応じて周波数あるいはタイムスロットの割り当てを行う通信システムの場合、DCAは他業務への与干渉及び他業務からの被干渉を避ける干渉軽減技術としても使用可能である。HAPSシステムにDCAを適用する場合の一例を示す。①HAPS飛行船あるいはHAPS地上局が周波数モニタ機能を有し、②他業務の周波数使用状況をモニタし、③HAPSシステムが、未使用周波数あるいは未使用タイムスロットを通信回線に割り当てる。FWAシステムとの同一周波数帯かつ同一地域における周波数共用の場合、DCAは必要不可欠な手段である。他業務との周波数共用のためのDCAの詳細な研究が今後必要である。

#### 4.4 自動送信電力制御(ATPC)

ミリ波・準ミリ波等の高周波を用いる屋外の無線通信システムにおいて、システム設計は降雨減衰の影響を考慮することが必要である。降雨減衰を補償するために、降雨減衰量に応じて送信電力を増加させる自動送信電力制御(Automatic transmitting power control : ATPC)では、天候条件あるいは受信電力をモニタし送信電力を自動的に制御する機能を有し、送信電力は降雨時に増加し、晴天時に減少するよう制御される。ATPCは本質的に不要送信電

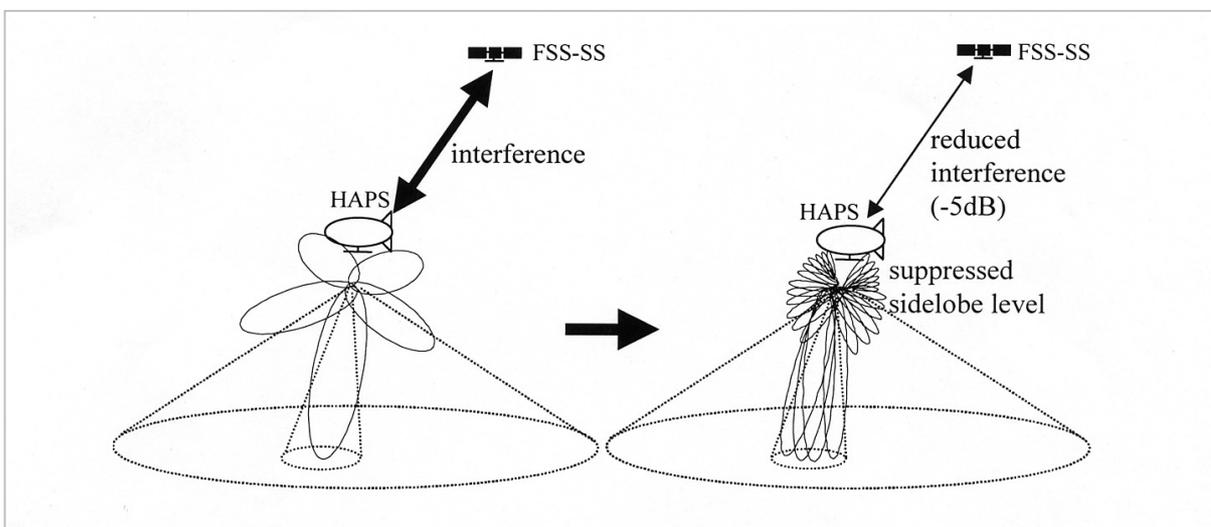


図10 ビーム形成による放射パターンの改善

力を減少させる技術なので、干渉軽減の観点から有用である。HAPS地上局にATPCを適用した場合、GSO-FSS地上局・FWA局・宇宙科学業務への干渉量軽減に効果がある。また、HAPS搭載の各スポットビーム送信機にATPC機能を付加すれば、GSO-FSS衛星及びFWA局への干渉を軽減できる。降雨時はATPCによる高出力送信が必要となるが、ATPCによる高出力送信が必要となる降雨が激しくなる地域及び時間率は実際には極めて限られており、スポットビームの総合干渉の影響はそれほど大きくないと考えられる。

## 5 ITUへの寄与活動

本節では、31/28 GHz帯HAPSシステムに関するITU-Rの構成及びCRL / TAOのITU-Rへの寄与活動について述べる。

### 5.1 ITU-Rの構成

現在、ITU-Rの下には、主に業務ごとに分類された七つのStudy Group (SG)があり、各SGの下に、更に細かく分類されたWorking Party (WP)

が置かれ、周波数共用に関する技術的事項の詳細な議論が行われている。31/28GHz帯を使用するHAPSシステムは、現在、固定業務用に割り当てられているので、固定業務を取り扱うSG9の下で主に議論が行われている。その中で、主に固定業務のシステム特性等について議論するWP9Bで、HAPSシステム(2)、FWAとの周波数共用(3.2)、干渉軽減技術(4)他、本稿では述べなかったが、国境を越えた他の固定業務に与える影響等について議論されている。固定衛星業務(FSS)を除く他業務との周波数共用について議論するWP9Dで、宇宙科学業務とHAPSシステム間の隣接周波数帯使用に対する両立性(3.3)について議論が行われている。宇宙科学業務との両立性検討は、科学業務を扱うSG7の下でのWP7C(地球探査衛星業務)、WP7D(電波天文業務)へ、連絡文書(リエゾン文書)が送られ、WP7C、7Dにおいても議論が行われる。FSSとの共用(3.1)は、FSSを担当するSG4とSG9との合同WPであるWP4-9Sで議論が行われる。他にHAPSを移動業務用に使う場合は、SG8の下でのWPが関係してくる。これらの関係を図11にまとめておく。

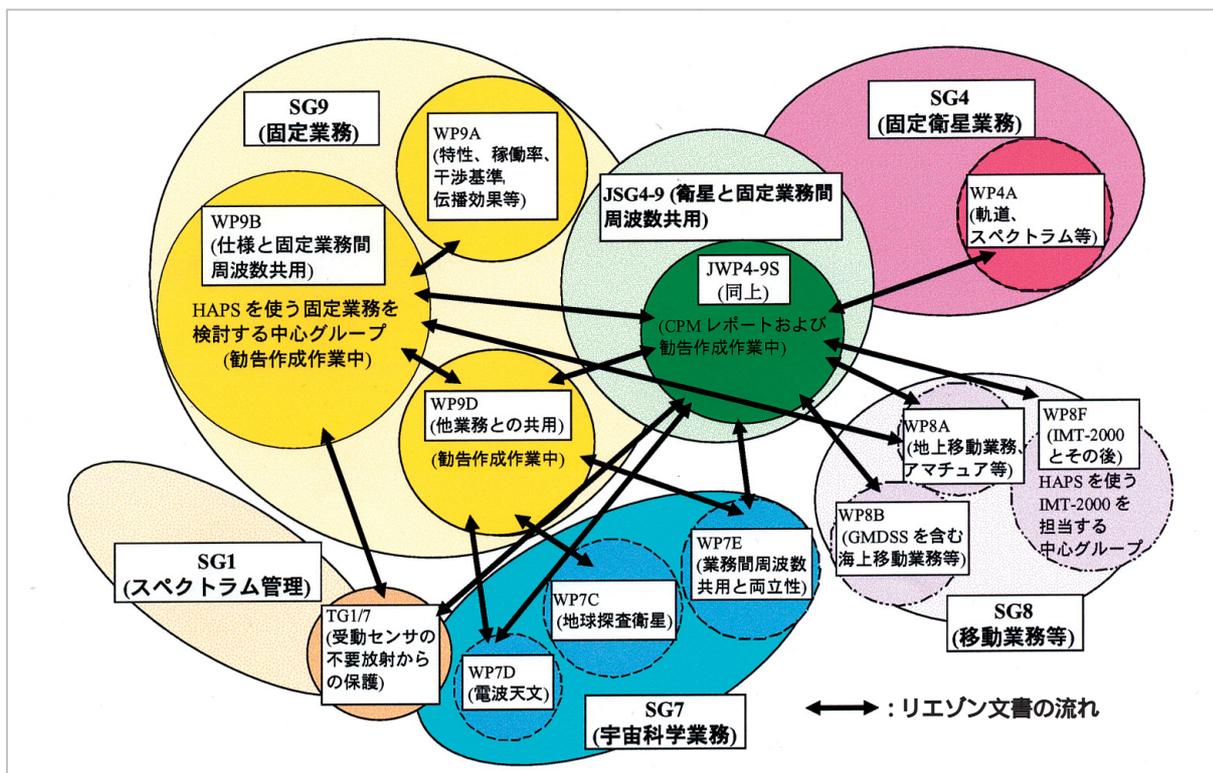


図11 ITU-RにおけるHAPS関連Working Partyの相関図

### 5.2 ITU-R への寄与活動

日本としては、現在、総務省主導のもと、HAPSシステムを用いた固定業務用の周波数帯(31/28GHz)の確保及び使用制限の緩和のための活動を展開しており、CRL/TAOは多数の寄与文書提出を通じて、これを技術的側面から強力にサポートしている。表3に2001年10月現在のCRL/TAOのITU会議参加状況をまとめておく。

表に示すとおり、2～3か月に一度は1週間～

10日程度の会期の関連WPが開催されている。実際には、これらの会議に inputs するための寄与文書作成及び国内審議のための各委員会の対応等があるため、一年を通して息を抜く暇がないのが実情である。これらの地道な活動により、先述のとおり、WRC-97における47/48GHz帯の分配、WRC-2000における31/28GHz帯の獲得が達成されたのである。表4<sup>12)</sup>にWRC-2000以降のHAPSを用いた通信システムに使用可能な周波数

表3 CRL/TAOのITU会議参加状況

年	月	会 合 名	主 な 成 果
1997年	10 - 11月	WRC-97 (Geneva)	HAPS定義、47/48GHz 帯分配
1998年	2月	WP9B, 4-9S (Geneva)	PDNR 出力1
	9月	WP9B, 4-9S (Geneva)	PDNR 出力1
1999年	4月	WP9B, 4-9S (Geneva)	PDNR 出力1、WD 出力1
	9月	APG (Brisbane)	APT 共同提案
	10月	SC (Geneva)	規則関係準備文書
	11月	CPM (Geneva)	WRC 準備文書
2000年	1月	WP7C, 7D (Vancouver)	リエゾン回答出力
	2月	APG (Tokyo)	APT 共同提案
	3月	CITEL (Buenos Aires)	APT 共同提案説明
	5 - 6月	WRC-2000 (Istanbul)	31/28GHz 帯分配、2GHz 帯分配 決議修正1、新決議作成1
	7 - 8月	WP7C, 7D, 7E (Orlando)	リエゾン回答出力
2001年	9月	WP9B, 4-9S, SG-9 (Geneva)	PDNR 出力6、新課題作成1
	4月	WP9B, 9D, 4-9S (Geneva)	PDNR 出力2、WD 入力2
	5月	WP7C, 7D, 7E (Geneva)	リエゾン回答出力
	10月	WP9B, 9D, 4-9S, SG-9, JSG4-9S (Geneva)	DNR 出力2

(注) APT: アジア太平洋電気通信共同体、APG: APTグループ会合、SC: 特別委員会、CPM: WRC準備会合、CITEL: 米州(南北アメリカ)電気通信共同体、DNR: 新勧告案、PDNR: 暫定新勧告案、WD: 作業文書

表4 HAPSで使用できる周波数帯(WRC-2000以降)

周波数帯	使用できる地域	電波の方向	提供できるサービス	共用しなければならないサービス
47.9 - 48.2 GHz 47.2 - 47.5 GHz	全地域	上り・下り	固定業務	固定業務、移動業務 固定衛星業務(上り) 近接に電波天文バンドあり
31.0 - 31.3 GHz	アジア12ヶ国	上り	固定業務	固定業務、移動業務 一部地域で宇宙研究業務 隣接に宇宙科学業務(受動センサ)あり
27.5 - 28.35 GHz	アジア12ヶ国	下り	固定業務	固定業務、移動業務 固定衛星業務(上り)
1885 - 1980 MHz 2010 - 2025 MHz 2110 - 2170 MHz	第1及び第3地域 (南北アメリカ以外の全地域)	上り・下り	IMT - 2000基地局	固定業務、移動業務 (特に地上のIMT - 2000 サービスや 従来の移動通信サービス)
1885 - 1980 MHz 2110 - 2160 MHz	第2地域 (南北アメリカ)	上り・下り	IMT - 2000基地局	

帯と共用すべき他の業務をまとめている。表5<sup>12]</sup>に、特に日本が中心となって獲得したHAPSを用いた固定業務への31/28GHz帯の分配表の脚注を示す。

下線で示すように31/28GHz帯の使用には幾つかの厳しい制限がある。WRC-03でのこれらの制

限緩和に向けて、周波数共用条件を明確化し、Radio Regulation及びITU-R勧告に反映していく予定である。2001年10月12日現在の31/28 GHz帯HAPSシステムに関する技術寄与文書を表6にまとめる。

2001年10月のSG9会合において、二つの寄与

**表5** 31/28GHz帯のHAPS使用に関する脚注 (WRC-2000 Final Acts)

Article S5 周波数分配表 27.5-28.35 GHz FIXED	
<b>S5.537A (S5.5SSS)</b>	
In Bhutan, Indonesia, Iran (Islamic Republic of), Japan, Maldives, Mongolia, Myanmar, Pakistan, the Dem. People's Rep. of Korea, Sri Lanka, Thailand and Viet Nam, the allocation to the fixed service in the band 27.5-28.35 GHz may also be used by high altitude platform stations (HAPS). <u>The use of the band 27.5-28.35 GHz by HAPS is limited to operation in the HAPS-to-ground direction and shall not cause harmful interference to, nor claim protection from, other types of fixed-service systems or other coprimary services.</u>	
Article S5 周波数分配表 31.0-31.3 GHz FIXED	
<b>S5.543A (S5.5RRR)</b>	
In Bhutan, Indonesia, Iran (Islamic Republic of), Japan, Maldives, Mongolia, Myanmar, Pakistan, the Dem. People's Rep. of Korea, Sri Lanka, Thailand and Viet Nam, the allocation to the fixed service in the band 31.0-31.3 GHz may also be used by high altitude platform stations (HAPS) in the ground-to-HAPS direction. <u>The use of the band 31.0-31.3 GHz by systems using HAPS shall not cause harmful interference to, nor claim protection from, other types of fixed-service systems or other coprimary services, taking into account No. S5.545. The use of HAPS in the band 31.0-31.3 GHz shall not cause harmful interference to the passive services having a primary allocation in the band 31.3-31.8 GHz, taking into account the interference criteria given in Recommendations ITU-R SA.1029 and ITU-R RA.769. The administrations of the countries listed above are urged to limit the deployment of HAPS in the band 31.0-31.3 GHz to the lower half of this band (31.0-31.15 GHz) until WRC-03.</u>	

**表6** 31/28GHz帯のHAPSに関するITUへの寄与文書

文書仮番号	2001年10月12日現在の文書のステータス	概要
F. [KA-HAPS]	DNR (新勧告案)	HAPSシステムの運用特性及び他業務との干渉計算に用いるためのHAPSシステムのパラメータを勧告する文書(2参照)
F. [HAPS-IB]	PDNR (暫定新勧告案)	HAPSシステム下り回線が国境を越えて他の地上固定業務に与える影響に関して、干渉基準値を勧告する文書
F. [HAPS-MT]	PDNR (暫定新勧告案)	HAPSシステムと他の業務の周波数共用を容易にするための各種干渉軽減技術を勧告する文書(4参照)
F. [HAPS-EESS]	DNR (新勧告案)	HAPSシステムから地球探査衛星業務(受動)に与える干渉に関して、干渉計算のための地球探査衛星業務のパラメータ及び計算手法を勧告する文書(3.3)
F. [HAPS-RAS]	PDNR (暫定新勧告案)	HAPSシステムから電波天文業務に与える干渉に関して、干渉計算のための電波天文業務のパラメータ、計算手法及び両業務が両立するためのHAPSの運用条件を勧告する文書(3.3)
F. [HAPS-FSS]	PDNR (暫定新勧告案)	HAPS下り回線と静止衛星による固定衛星業務との周波数共用に関して、干渉計算のための固定衛星業務のパラメータ及び計算手法を勧告する文書(3.1)

文書( F[ KA-HAPS ], F[ HAPS-EESS ])がITU-R 勧告になる一步手前である新勧告案( Draft New Recommendation : DNR )として成立した。暫定新勧告案( Preliminary Draft New Recommendation )4本についても、表7に示す今後の主要会議予定表に示すとおり、次回SGにおける寄与文書のDNR化を目指し、関連WPでの検討を進めて

いく。ITU勧告1本が認められるのに膨大な時間と作業を要することを考えれば、これら6本の寄与文書に関して同時並行で作業を行っていることは異例であり、2003年のRadio Assemblyにおいて、これら6本の文書の勧告化が達成できれば、日本として誇れる出来事であると確信している。

表7 今後の主要な会議予定 ( WRC-2003まで )

年	月	会 合 名	主 な 目 標
2002年	2月	WP7C, 7D	リエゾン回答出力
	4月	WP9A, 9B, 9D, 4-9S, SG-9, JSG4-9S (Geneva)	DNR出力
	7月	SC (Geneva)	規則関係準備文書
	11月	CPM (Geneva)	WRC 準備文書出力
2003年	初頭頃	APG	APT 共同提案
	6月	RA	勧告案の承認
	6 - 7月	WRC-2003 (Venezuela)	31/28 GHz 分配の制限撤廃等

( 註 ) RA : Radio Assembly

## 6 まとめ

本稿では、主に31/28GHz帯の成層圏プラットフォーム(HAPS)を用いた固定業務に関して、ITUにおける他業務との周波数共用研究の現状について述べた。今後、WRC-03に向けて、更に詳細な検討を進めていく。2で述べた成層圏プラットフォームシステムはITUにおける周波数共用検討に用いるモデルであると同時に、将来の運用時におけるシステムを規定する可能性もある重要なモデルである。成層圏プラットフォーム無線通信システムに限らず、今後、周波数のひっ迫という状況が頻発すると考えられ、周波数共用研究はその重要性が増していくものと思

われる。4で述べた干渉軽減技術及び3で述べた帯域外不要放射レベルの抑制等は成層圏プラットフォームシステム以外の通信システムにも有効な周波数共用技術であり、本研究がその一助になれば幸いである。

## 謝辞

HAPS用周波数獲得活動に関して、いつも熱心にご指導いただき、総務省総合通信基盤局電波部衛星移動通信課、(株)NTTドコモ室谷正芳氏(前ITU-R SG9議長)、(株)NTTドコモ橋本明氏(ITU-R WP9B議長)、通信・放送機構並びに関係各位に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1 第1回～第3回成層圏プラットフォームワークショップ予稿集
- 2 長谷良裕, “成層圏プラットフォーム - 21世紀の革新的通信インフラ -”, 電子情報通信学会誌, Vol. 83, No. 9, pp.699-706, Sep.2000.
- 3 三浦龍, 大堂雅之, “成層圏プラットフォームを用いた通信・放送システムの研究開発”, 本CRL季報横須賀無線通信研究センター特集号.
- 4 WRC-97 Final Acts, 1997.
- 5 WRC-2000 Final Acts 2nd Edition, 2000.
- 6 DNR ITU-R F. [KA-HAPS], SG9 Chairman's Report of October 2001 meeting, Oct. 2001.

(If TIES member, available in ITU-R website <http://www.itu.int/ITU-R/study-groups/sg/sg9/>)

- 7 PDNR ITU-R F. [HAPS-FSS], WP4-9S meeting Chairman's Report of March 2001 meeting, Mar. 2001.  
(If TIES member, available in ITU-R website <http://www.itu.int/itudoc/itu-r/sg4/docs/wp4-9s/2000-03/contrib/>)
- 8 PDNR ITU-R F. [HAPS-FWA], WP9B meeting Chairman's Report of October 2001 meeting, Oct. 2001.  
(If TIES member, available in ITU-R website <http://www.itu.int/itudoc/itu-r/sg9/docs/wp9b/2000-03/contrib/>)
- 9 DNR ITU-R F. [HAPS-EESS], SG9 Chairman's Report of October 2001 meeting, Oct.2001.  
(If TIES member, available in ITU-R website <http://www.itu.int/ITU-R/study-groups/sg/sg9/>)
- 10 PDNR ITU-R F. [HAPS-RAS], WP9B meeting Chairman's Report of October 2001 meeting, Oct. 2001.  
(If TIES member, available in ITU-R website <http://www.itu.int/itudoc/itu-r/sg9/docs/wp9b/2000-03/contrib/>)
- 11 PDNR ITU-R F. [HAPS-MT], WP9B meeting Chairman's Report of October 2001 meeting, Oct. 2001.  
(If TIES member, available in ITU-R website <http://www.itu.int/itudoc/itu-r/sg9/docs/wp9b/2000-03/contrib/>)
- 12 Radio Regulations (Edition of 2001), Article S5.



おおどう まさ 雅之  
大堂 雅之

無線通信部門 横須賀無線通信研究センター 無線イノベーションシステムグループ研究員 博士(工学)  
成層圏プラットフォーム搭載用アンテナ、周波数共用技術



みやま りゅう 龍  
三浦 龍

無線通信部門 横須賀無線通信研究センター 無線イノベーションシステムグループリーダー 博士(工学)  
成層圏プラットフォームを用いた通信・放送システムの研究開発