

情報通信審議会 情報通信技術分科会

小電力無線システム委員会報告（案）

平成 2 0 年 1 0 月 9 日版

目 次

I	審議事項	- 3 -
II	委員会及び作業班の構成	- 3 -
III	審議経過	- 3 -
IV	審議概要	- 4 -
	第1章 気象観測用ラジオゾンデシステムの概要	- 4 -
	1.1 気象観測用ラジオゾンデシステムの検討背景	- 4 -
	1.2 気象観測用ラジオゾンデシステムの現状	- 4 -
	1.3 気象観測用ラジオゾンデの運用形態	- 4 -
	第2章 諸外国の動向	- 14 -
	2.1 諸外国の技術基準	- 14 -
	2.2 諸外国における利用状況等	- 15 -
	第3章 ラジオゾンデの高度化に関する検討	- 16 -
	3.1 ラジオゾンデシステムの高度化に関する検討	- 16 -
	3.2 既存局との共用に関する検討	- 22 -
	3.3 干渉検討結果	- 25 -
	3.4 電波防護への適合検討	- 33 -
	第4章 今後の需要予測及び旧システムの更改時期等について	- 34 -
	第5章 気象観測用ラジオゾンデの高度化のための技術的条件	- 35 -
	5.1 一般条件	- 35 -
	5.2 無線設備の技術的条件	- 35 -
	5.3 受信設備の条件	- 37 -
	5.4 測定方法	- 37 -

別表 1	情報通信審議会 情報通信技術分科会 小電力無線システム委員会 構成員.....	- 40 -
別表 2	情報通信技術分科会 小電力無線システム委員会 気象観測用ラジオゾンデ高度化作業班 構成員.....	- 41 -
参考資料 1	主要なラジオゾンデ送信装置一覧.....	- 42 -
参考資料 2	ラジオゾンデの無線設備の諸元.....	- 43 -
参考資料 3	(RECOMMENDATION ITU-R SA.1346) SHARING BETWEEN THE METEOROLOGICAL AIDSSERVICE AND MEDICAL IMPLANT COMMUNICATION SYSTEMS (MICS) OPERATING IN THE MOBILE SERVICE IN THE FREQUENCY BAND 401-406 MHz.....	- 45 -

I 審議事項

小電力無線システム委員会は、情報通信審議会諮問第 2009 号「小電力無線システムの高度化に必要な技術的条件」（平成 14 年 9 月 30 日諮問）のうち「気象観測用ラジオゾンデの高度化のための技術的条件」について審議を行った。

II 委員会及び作業班の構成

委員会及び委員会の下に審議の効率化を図るために設置された作業班の構成は、別表 1 及び別表 2 のとおりである。

III 審議経過

(1) 小電力無線システム委員会

① 第 20 回（平成 20 年 4 月 3 日）

気象観測用ラジオゾンデシステムにおける委員会の運営方法、審議方針及び審議スケジュール等について審議を行い、審議の効率化を図るため、「気象観測用ラジオゾンデ高度化作業班」の設置を決定した。

② 第 23 回（平成 20 年 10 月 9 日）

小電力無線システム委員会報告（案）について審議を行った。平成 20 年 10 月 14 日から同年 11 月 14 日の間、パブリックコメントを招請することとなった。

③ 第 2 ●回（平成 20 年 ●月 ●日）

パブリックコメント募集の結果を受けて、小電力無線システム委員会報告（案）について審議を行った。

(2) 気象観測用ラジオゾンデ高度化作業班

① 第 1 回（平成 20 年 4 月 18 日）

気象観測用ラジオゾンデシステムの概要、諸外国等の動向及び狭帯域化ラジオゾンデシステムの共用条件について審議を行った。

② 第 2 回（平成 20 年 9 月 26 日）

気象観測用ラジオゾンデの高度化のための技術的条件（案）について審議を行った。

③ 第 3 回（平成 20 年 ●月 ●日）

小電力無線システム報告書（気象観測用ラジオゾンデの高度化のための技術的条件（案））に係るパブリックコメントの意見に対する考え方について、審議を行った。

IV 審議概要

第1章 気象観測用ラジオゾンデシステムの概要

1.1 気象観測用ラジオゾンデシステムの検討背景

近年、携帯電話に代表される公衆（電気通信事業）系移動通信は、技術革新や市場規模が大きな点を背景に、新たなシステムやサービスが次々と導入されているが、一方、それ以外の自営系移動通信分野においても、市場規模は小さいものの、連絡通信用の無線システムのほか、観測・測位等の無線システム等が様々な分野で広く使われている。

このような状況の下、自営系移動通信システムのうち、気象観測等の分野で広く用いられているラジオゾンデの高度化に向け、最適なシステムの在り方について検討を行い、それに必要となる技術的条件の検討を行うものである。

1.2 気象観測用ラジオゾンデシステムの現状

ラジオゾンデとは、航空機、自由気球（ヘリウムガスまたは水素ガスを充てんしたゴム気球）、たこ又は落下傘（パラシュート）に通常装置する気象援助業務用の自動送信設備であって、気象情報を送信するものをいい、ラジオゾンデ（気象援助局）として使用できる周波数は、1,600MHz 帯 3 波（1,673MHz、1,680MHz、1,687MHz）と 400MHz 帯 1 波（404.5MHz）に限られている。

ラジオゾンデは、気象庁、防衛省、研究機関、大学、民間気象会社などにおいて、上空大気的气温、湿度、気圧や風向・風速を観測するために利用されている。気象庁（16 か所）及び防衛省（2 か所）は、毎日 2 回（8:30 と 20:30 に飛揚）定時観測を実施しており、研究機関、大学、民間気象会社などにおいては、それぞれの目的に合わせた場所、時間、回数に基づき運用している。

またラジオゾンデは、上空を浮揚しながら運用し、その移動範囲は、高度約 30km、水平距離 300km 程度まで及ぶ。このため、多地点同時観測、短時間連続観測、並びに再観測などにおいて、相互混信を回避するためには複数の周波数を必要としている。

1.3 気象観測用ラジオゾンデの運用形態

1.3.1 周波数帯別運用形態

(1) 1,600MHz 帯のラジオゾンデについて

1,600MHz 帯のラジオゾンデは、地上設備として自動追跡型方向探知機を使用する。

自由気球に吊り下げて飛揚されたラジオゾンデは、搭載した各センサで大気的气象要素を計測して、その情報を 1,600MHz 帯の電波で地上へ無線伝送する。

地上の自動追跡型方向探知機は、指向性の鋭いパラボラアンテナを用いて、ラジオゾンデが発信する電波の発信源を追跡しながら、その信号を受信する。

受信したラジオゾンデの信号を解析することで、ラジオゾンデの位置（高さ）の気圧・気温・湿度を観測する。

また、自動追跡型方向探知機で追跡した方位角・高度角から、ラジオゾンデが上空の風に乗って、どの方向にどれくらいの速度で飛んでいるか、すなわち、上空の風向・風速を観測する。

この方法で得られる風向・風速の精度は、ほぼ方位角・高度角の測角精度によるので、高精度で観測するためにはパラボラ等の指向性の鋭い受信アンテナが必要となる。

なお、ラジオゾンデの飛揚においては、気温センサに適正な通風を与えるため、気球の平均的な上昇速度が 6m/s となるようにガスの充てん量を定めており（高層気象観測

指針2004、気象庁)、この条件で飛揚したラジオゾンデは、30分後に高度約10km、90分後には高度約32kmに到達する。水平方向には、上空のジェット気流によって300km以上離れた位置まで運ばれることもある。

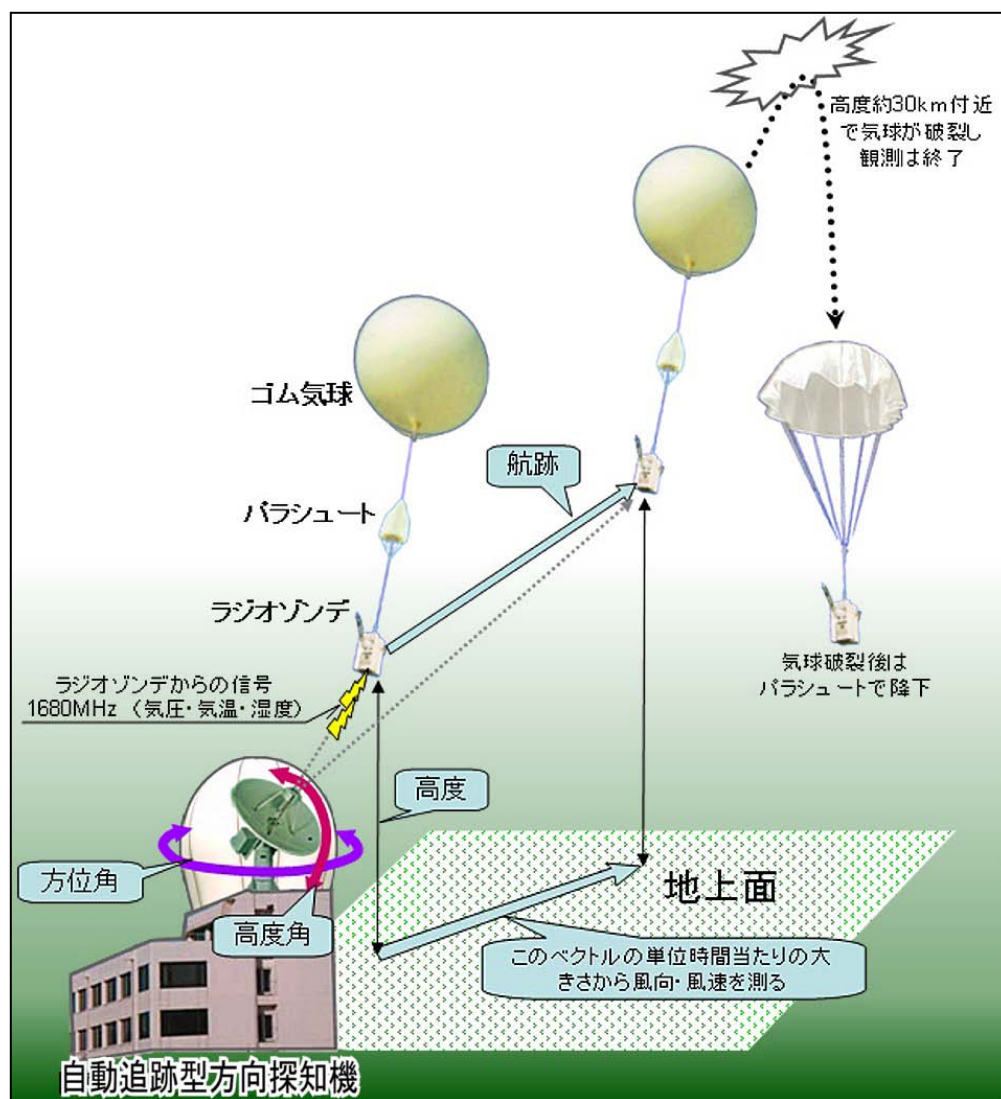


図 1.3.1-1 1,600MHz 帯のラジオゾンデの観測原理

(2) 400MHz 帯のラジオゾンデ (GPS ラジオゾンデ) について

400MHz帯のラジオゾンデは、GPS衛星の信号を利用するものが主流であり、一般にはGPSラジオゾンデと呼ばれる。

GPSラジオゾンデは、搭載した各センサで計測した大気的气象要素データ (気温、湿度など) と、複数のGPS衛星から受信した測位情報とを400MHz帯の電波で地上へ無線伝送する。

地上設備では、GPSラジオゾンデからの信号を受信して、GPSラジオゾンデの三次元的

な位置と、気圧・気温・湿度・風向・風速を算出するが、GPSラジオゾンデの測位精度を向上させるため、GPSラジオゾンデからの信号とは別に、地上設備でGPS衛星からの信号も同時に受信している（D-GPS方式）。正確な観測を行うためには最低4基以上のGPS衛星から電波を受信する必要がある。

なお、風向・風速はGPS衛星の信号から算出されるため、1,600MHz帯のように受信アンテナによる自動追尾は不要であり、近距離受信では無指向性アンテナ、遠距離受信では複数の指向性アンテナで受信エリアをカバーしている。

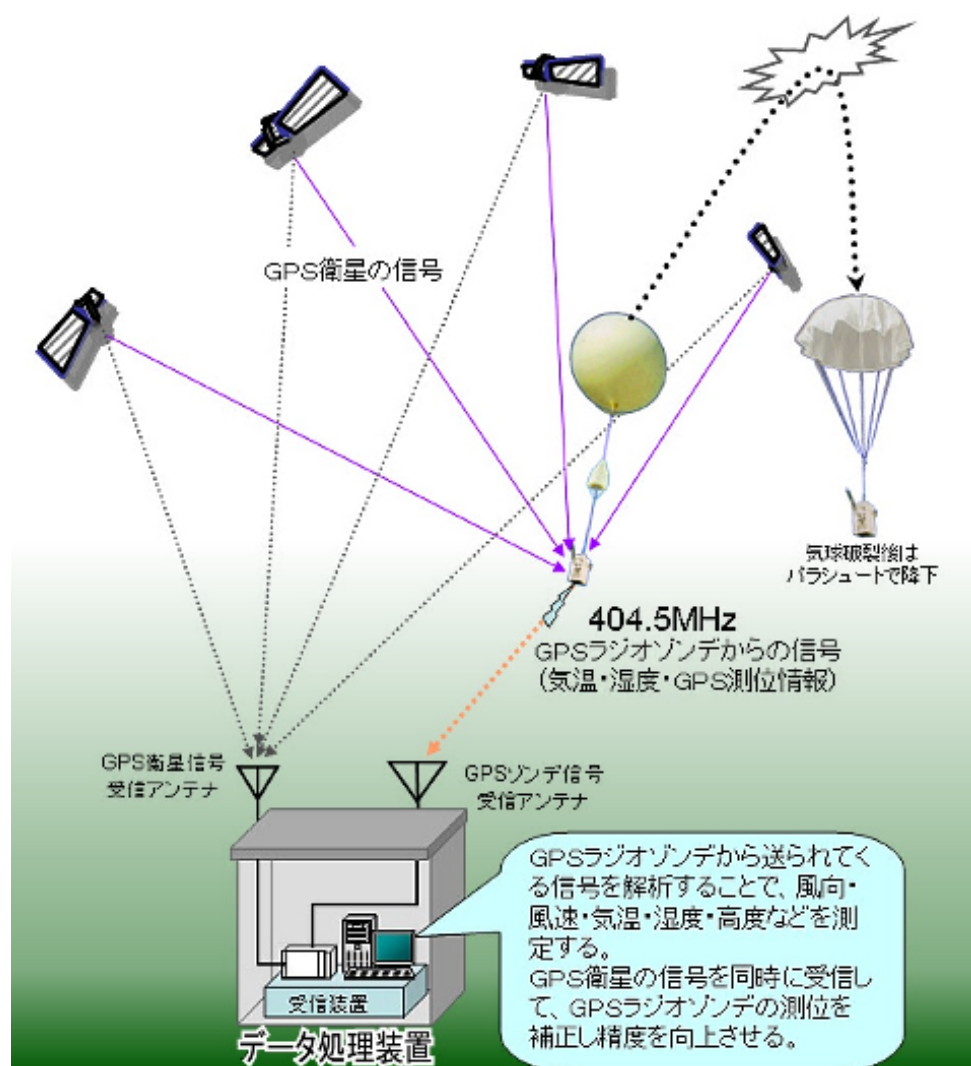


図 1. 3. 1-2 400MHz 帯の GPS ラジオゾンデの観測原理

1.3.2 ラジオゾンデの種類

(1) 自由気球を用いて観測するラジオゾンデ

自由気球にラジオゾンデを吊り下げて上空に飛揚すると、自由気球は内部のガスによって生じる浮力によって上昇を続ける。ラジオゾンデは上昇を続けながら、大気を直接測定し、その結果を刻々と電波で地上に送信する。大気は上空ほど気圧が低くなるため、自由気球は上昇するにつれて膨張し、最後は破裂してパラシュートを利用することにより地上に降下する。

通常、気球に充てんするガス量が多いほど速く上昇するが、早く破裂するため到達高度が低くなる。また、自由気球は大型であるほどより高い高度まで到達するため、観測の目的によって浮力と自由気球の大きさを変更している。

一般的なラジオゾンデは、地上から上空約 30km までの大気の状態（気圧、気温、湿度、風向、風速）を観測しているが、小型の自由気球を用いて地上から上空約 2km までの観測を目的としたラジオゾンデ（以下、「低層ゾンデ」という。）もある。

そのほか、観測する対象によってさまざまなラジオゾンデがある。たとえば、上空大気に含まれるオゾン量を測定するオゾンゾンデ、大気中に浮遊する微小な粒子を測定するエアロゾルゾンデ及び雲粒子の大きさや分布を観測する雲粒子ゾンデなどがある。

これらのラジオゾンデにおいても同様の無線設備を使用している場合が多くなっている。

・ 定常的に用いるラジオゾンデについて

ラジオゾンデによる上空大気の観測は、上空の気温や風などの鉛直プロファイルを詳細に把握することができる。また、複数の観測地点を効果的に配置し、同一時刻に観測することにより大気現象の水平分布を、さらに日々の観測を繰り返すことにより、その大気現象の移動と盛衰を知ることができる。地球をとりまく大気の三次元的な構造と状況を把握するために、世界で約 700 か所の観測所が同時刻にラジオゾンデによる観測を実施している。

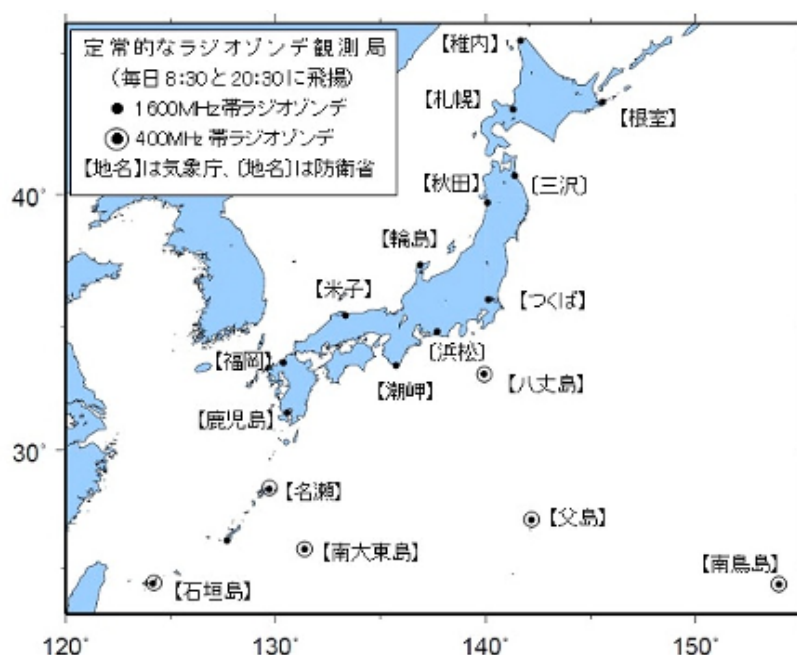


図 1.3.2-1 定常的なラジオゾンデ観測局の配置

ラジオゾンデによる観測の結果は、日々の天気予報の基礎データとして欠かせないほか、気候変動・地球環境監視や航空機の運行管理など多方面に利用されている。

我が国においては、気象庁及び防衛省が、毎日 9 時と 21 時（日本時間）にラジオゾンデによる観測を実施し、台風接近時には 3 時と 15 時に臨時観測を行うことがある。飛揚は正時の 30 分前に行い観測には約 2 時間を要する。

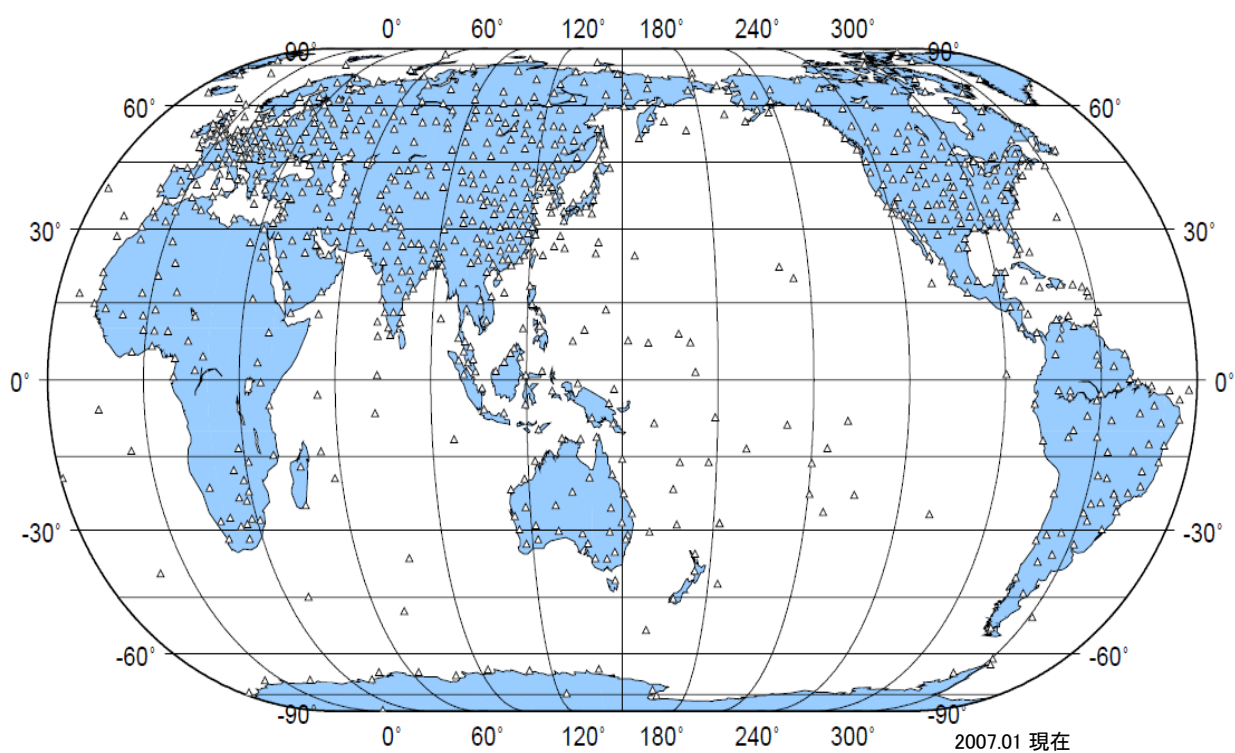


図 1.3.2-2 世界気象機関（WMO）に登録しているラジオゾンデ観測局の配置

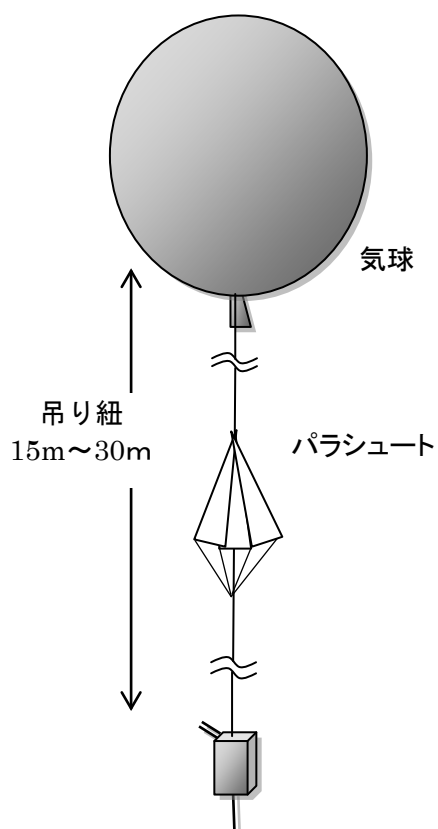


図 1.3.2-3 ラジオゾンデの飛揚形態

(2) 海洋気象観測船（気象庁）が実施するラジオゾンデ観測

気象庁の海洋気象観測船が実施するラジオゾンデによる観測は、航海中の9時と21時（日本時間）に定時観測を実施し、台風進路の予測やその他の異常気象の解明のため3時と15時に臨時観測を行うことがある。さらに、研究などによりそれ以外の時間にもラジオゾンデによる観測を行う場合がある。観測を実施する位置は、わが国の陸上の高層気象観測官署のいずれからとも250km以遠を原則としている。

気象庁の海洋気象観測船のうち、凌風丸（気象庁：東京）、高風丸（函館）、清風丸（舞鶴）、長風丸（長崎）の4船で、4季節の航海ごとに行っている。

表 1.3.2-1 陸上の高層気象観測所と海洋気象観測船の比較

	観測場所	観測時刻
陸上の高層気象観測所	気象庁（16 か所） 防衛省（2 か所） の観測所（固定）	9 時、21 時（毎日） 3 時、15 時（台風などによる臨時観測） ラジオゾンデの飛揚は正時の 30 分前に行い、観測終了まで約 2 時間。
海洋気象観測船	海上（4 隻） （陸上の高層気象観測所のいずれからとも 250km 以遠で実施）	9 時、21 時（航海中） 3 時、15 時（航海中、台風などによる臨時観測） その他、研究のための観測を行うことがある。 ラジオゾンデの飛揚は正時の 30 分前に行い、観測終了まで約 2 時間。

(3) 民間気象会社等が実施している低層ゾンデについて

環境影響評価法や各自治体の条例などにより、道路や鉄道、清掃工場や発電施設建設などの開発事業を行う前には、建設や開発によりその周囲にどのような影響を与えるかを調査し、予測・評価することが定められている（環境影響評価、環境アセスメント）。

この環境アセスメントの一環として、民間気象会社や気象コンサルタント会社が、主に地上から高度2km程度までをラジオゾンデを用いて観測することがある（低層ゾンデ）。

このため、低層ゾンデは、季節ごとに複数の場所で連続して集中的に実施することが多い。概要の一例として表1.3.2-2に示す。

表 1.3.2-2 低層ゾンデの運用形態例

	A 社	B 社
目的	清掃工場や発電施設建設などの環境アセスメント（環境影響評価）の一環として実施	
観測対象範囲	地上～高度 2km	
飛揚形態	使用気球は 60 g（気球の破裂高度は 7～8km、航空機の巡航高度に到達する前にゾンデを降下させる） 吊り紐の長さは約 3.5m	使用する気球は 100g、または 200g、ヘリウムを使用（気球破裂高度は 10km 以上の場合もある）
観測期間	通常は 7 日間程度連続して実施（各季節を代表するため）	

観測時間間隔	1 時間毎、1.5 時間毎、3 時間毎等、観測場所の要件（谷地形とか、海岸近くとか）や、特定の気象条件が出現しやすい時間帯に限り時間間隔を狭めて実施する場合がある（接地逆転層、フミゲーション等）	通常は 3 時間毎に 8 回/日だが、朝夕の境界層の変化を見る場合には、朝夕を 1.5 時間間隔として、10 回/日実施する。
--------	---	---

(4) オゾンゾンデ

オゾンゾンデは、大気中のオゾンの鉛直分布を測定するための測器で、気温・湿度等を観測する一般的なラジオゾンデ（GPS ラジオゾンデ）にオゾン測定部を接続して使用する。

オゾン測定部では、上昇中に外気をポンプで吸い込み、その大気中に含まれるオゾン濃度を測定し、その結果を GPS ラジオゾンデの無線設備を経由して地上に伝送する仕組みとなっている。地上で受信した信号を解析することにより、GPS ラジオゾンデで測定した気象要素とオゾン濃度の鉛直分布を観測することができる。オゾンゾンデの飛揚には大型のゴム気球を使用し、飛翔中に巻き下げ器の紐が伸びて、気球とオゾンゾンデの間隔は 50m となる。

気象庁におけるオゾンゾンデ観測は、毎週水曜日（悪天候の場合は翌日）を基本として、札幌、つくば、那覇、南極昭和基地で実施している。



図 1.3.2-4 オゾンゾンデの飛揚の様子
[南極昭和基地]

(5) エーロゾルゾンデ

エーロゾルゾンデは、大気中のエーロゾル粒子の鉛直分布を測定するための測器で、GPS ラジオゾンデにエーロゾル測定部を接続して使用する。エーロゾル測定部で、上昇中に外気をポンプで吸い込み、その大気中に含まれるエーロゾルの粒子の大きさ別の濃度を測定し、その結果を GPS ラジオゾンデを経由して地上に伝送する仕組みとな

っている。地上で受信した信号を解析することにより、エアロゾル粒子の大きさ別の濃度の鉛直分布を観測することができる。

エアロゾルは大気中に浮遊するちりなどの微粒子のことで、大きさは半径 1nm (1mm の 100 万分の 1 の長さ) 程度から $10\mu\text{m}$ (1mm の 100 分の 1 の長さ) 程度であり、化石燃料やバイオマス燃焼などの人間活動から放出されるものや、海塩粒子、土壌粒子などがある。エアロゾルは日射を散乱したり吸収したり、また雲粒の核となって雲の性質や状態を変えたりする。

エアロゾルゾンデを使用した観測は、一部の大学機関が国内で実施しているほか、気象庁では南極昭和基地で実施している。

(6) 雲粒子ゾンデ

雲粒子ゾンデは、雲粒子捕捉部に付着した雲粒子を TV カメラで撮影し、その映像を地上に伝送するもので、1,600MHz 帯を使用している。このゾンデを使用した観測は、気象庁気象研究所や一部の大学、研究機関で実施している。

(7) 係留ゾンデ

係留ゾンデとは、係留気球を用いて観測高度を一定にして、大気の状態（風向、風速、気温、湿度）を観測している。係留ゾンデのイメージを図 1.3.2-5、観測高度の時間変化を図 1.3.2-6 に示している。

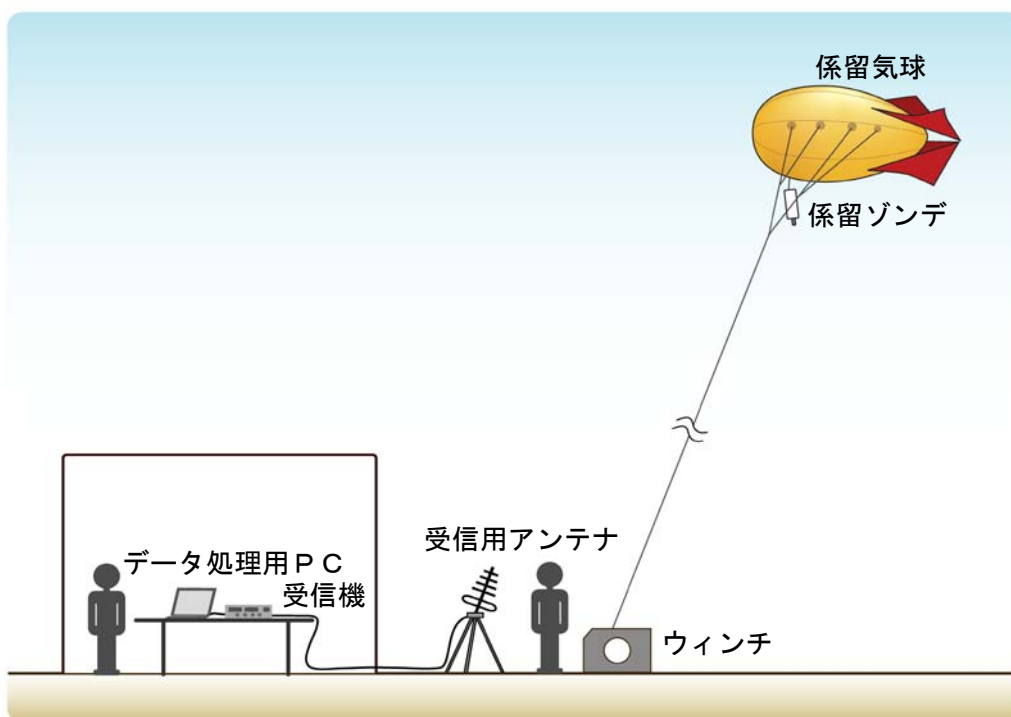


図 1.3.2-5 係留ゾンデ観測のイメージ

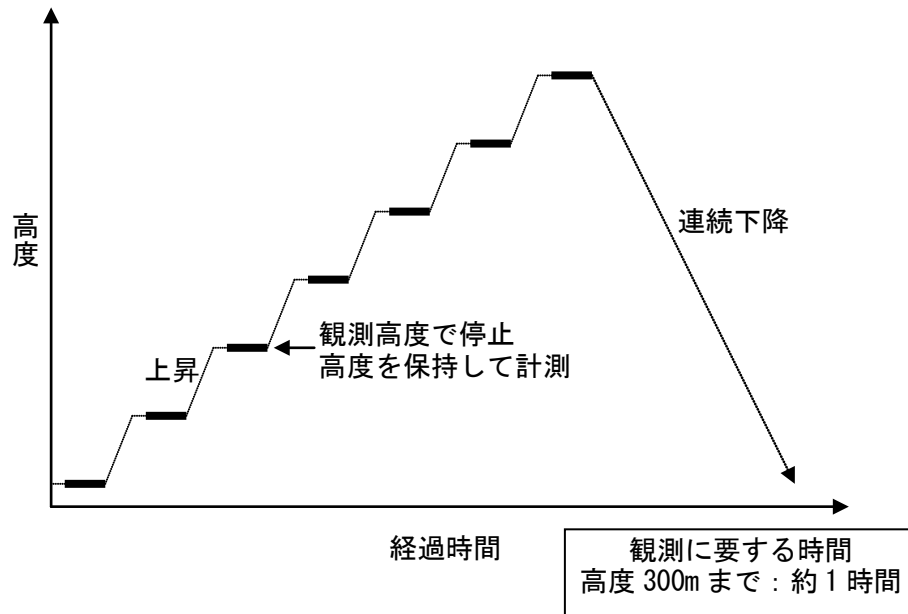


図 1. 3. 2-6 係留ゾンデによる観測高度の時間変化

係留ゾンデを吊した係留気球を上昇させ、観測高度に達したところでその高度を保持して気象の観測を行っている。この操作を予め設定した観測高度毎に繰り返し、所定の高度までの観測を行い、その後は連続的に降下させている。

1 回の観測に要する時間は、高度 300m 程度までの観測で 1 時間程度となっている。この観測に要する時間は、観測高度の設定、所定の高度に達した後の降下方法（連続下降もしくは上昇時と同様各観測高度で一旦停止等）によって変化する。

(8) ドロップゾンデ

通常の気球に取り付けて空中に飛揚するゾンデとは異なり、空中より投下して観測を行うものである。通常、航空機より射出して使用している。ドロップゾンデには、通常のラジオゾンデと同様に、大気の状態を計測するための PTU（気圧、温度、湿度）センサならびに、大気風のプロファイルを行うための GPS 受信機、そして航空機に搭載している受信機にデータを送信する 400MHz 帯の送信機を装備している。また、空中より投下するためパラシュートを有している。

航空機を使用して観測を行うため、機動性が高く地上に観測地点を持たない洋上での観測や台風などの構造の研究などに適している。

最近では特に米国でハリケーンの基礎データとして使用され、その基礎データはハリケーンの進路予想の精度を向上させることが分かっている。また、日本でも同様の研究が行われている。

ドロップゾンデのシステムについては、図 1. 3. 2-7 のとおり。

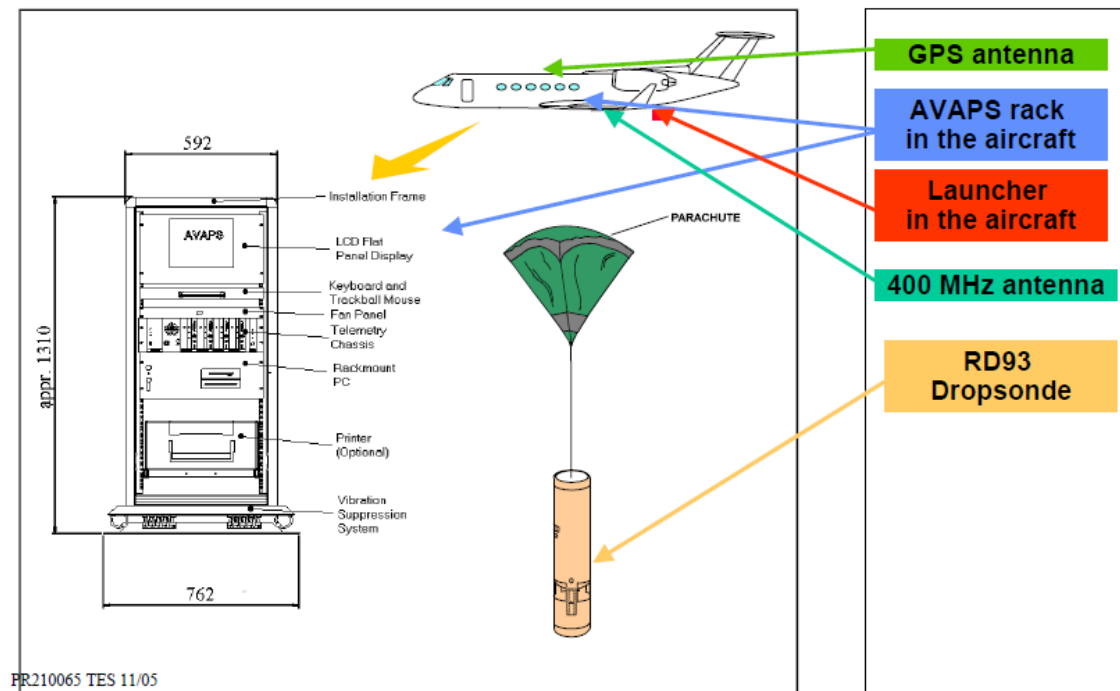


図 1.3.2-7 ドロップゾンデシステム構成図

(9) エアロゾンデ

エアロゾンデは、ラジオゾンデを搭載したラジコン飛行機である。

エアロゾンデを運用するための離着陸基地局の無線局は、Ch. 1 (制御用 PC) と Ch. 2 (ラジコン用プロポ) の 2 波で構成される。

エアロゾンデには、基地局からのコマンドでチャンネルの切り替えが可能な無線送受信装置が搭載され、巡航時のデータ収集と遠隔制御は Ch. 1 (制御用 PC) で行い、離着陸時の手動操縦は Ch. 2 (ラジコン用プロポ) で行う。

離陸前に飛行経路座標 (x, y, z) を制御用 PC から入力する。離陸後に自動航行モードに切り替えると、自動的に指定経路を辿る機能を有し、「能動型」観測に威力を発揮する。

なお、自動モードであっても地上局 PC から新たな経路座標を指示することで、経路の変更が可能である。制御用 PC のディスプレイ上に現在座標、気象データ、状態データ (速度、エンジン回転数、エンジン温度等数十項目) がリアルタイムに表示され、機体の状況を詳細にモニタする機能を有している。データ収集は、衛星通信でも可能である。

表 1. 3. 2-3 エアロゾンデの諸元

重量	13kg
翼幅	2. 9m
飛行制御	自動航行、手動（離着陸時）
離着陸	車載式、胴体着陸
航行法	GPS、 D-GPS
通信	UHF-Radio, 衛星通信
航続距離	>3000km
航続時間	>30 時間
飛行高度	100～4000m、 20～5000m



図 1. 3. 2-8 エアロゾンデの飛行観測中の様子（左）と、離陸の様子（右）

第 2 章 諸外国等の動向

2. 1 諸外国等の技術基準

国連の中にある ITU(国際電気通信連合)に対し、2003 年に MSS(移動衛星通信サービス)から、ラジオゾンデに割り当てられていた送信周波数の内、400. 15～401MHz に対する占有の要求が上がってきたが、ITU においては明確に分離せず現在に至っている。ETSI (European Telecommunications Standards Institute; 欧州電気通信標準化機構)はこれに従っているため、ETSI に準拠している一般諸外国でのラジオゾンデは現在でも 400. 15～406MHz を使用している。

400MHz 帯ラジオゾンデはメーカーによって多少異なるが、その測風方式として、①方向探知機方式、②ロラン-C 方式、③GPS 方式と変化してきた。データ伝送方式としては、これら検出方式の変化に必ずしも一致しないが、広帯域アナログ方式からデジタル方式に変わることによって狭帯域化が進んだ。ラジオゾンデ用無線機は、廉価性、広耐環境性が要求されるが、最近では技術の進歩により、更なる狭帯域化が可能となってきた。

これら技術の進歩に合わせ、WMO（世界気象機関）等から ITU に電波の有効利用が提言（WMO-CIMS（計器・観測法委員会）/2003）されたが、依然狭帯域及びチャンネル

の概念がITUにおいて条文化されていなく、ETSIは従来の広帯域基準のままである(ETSI EN 302 054-1 V1.1.1 (2003-03))。

ETSIでは、干渉の回避について、近接するラジオゾンデから充分離すべきとしているが、具体的な記述は無い。メーカーによって異なるが、各ラジオゾンデでは、観測者がトリマーによるアナログ手法又は、スイッチ、ソフト等によるデジタル手法で400.15~406MHzの間の周波数を変更することができるようになっている。

2.2 諸外国等における利用状況等

(1) 韓国

主なユーザ：KMA（韓国気象庁）

広帯域400MHz帯ラジオゾンデから、狭帯域化された400MHz帯ラジオゾンデへの置き換えが終了している。使用周波数範囲は、400.15~406MHzでETSIに準拠している。

使用されているラジオゾンデ

A社

送信電力：不明、占有周波数帯幅：20kHz以下、変調方式：FSK

B社

送信電力：60mW、占有周波数帯幅：8.75kHz以下、変調方式：GFSK

(2) 台湾

主なユーザ：CWB（台湾中央気象台）

1,680MHz帯ラジオゾンデから、狭帯域化された400MHz帯ラジオゾンデへの置き換えが開始されたところである。使用周波数範囲は、400.15~406MHzでETSIに準拠している。

使用されているラジオゾンデ

A社

送信電力：100mW、占有周波数帯幅：12kHz以下、変調方式：FSK

なお、韓国、台湾を含むアジアからのラジオゾンデの混信については、そもそも、東アジア地域では、西から東へ気流が流れていることから、日本のラジオゾンデの追跡アンテナは東に向いており、西から近づいてくる周辺国のラジオゾンデの影響を受けにくい。

また、日本のラジオゾンデについても打ち上げ後、東へ流されるため、アジアから離れることから混信を与える可能性は非常に少ない。

(3) ヨーロッパにおけるラジオゾンデの動向等

ヨーロッパでは古くから広帯域400MHz帯ラジオゾンデが使用されている。

使用されているラジオゾンデは費用とヨーロッパでのロラン-Cネットワークが充実しているため広帯域ラジオゾンデを使用している国が多い。

現在の傾向としてはロラン-CとGPSを併用している観測所は多いが、GPSを利用したラジオゾンデの使用国が増えてきている。当初のGPSラジオゾンデはデジタル変調とアナログ変調の多重化したものが使用されており、当時のGPSラジオゾンデは広帯域アナログゾンデと考えられるが、近年ではGPSラジオゾンデはデジタル変調に移行しているため、狭帯域デジタルラジオゾンデになっている。

現在のデジタル化されたGPSラジオゾンデは、ETSIに適合しているものを使用している。

(4) 米国

米国における 400MHz 帯ラジオゾンデは、アナログ方式からデジタル方式化が進んでいた。これに加え NWS（米国気象局）における RRP（ラジオゾンデ更新計画）に基づき、400MHz 帯ラジオゾンデの GPS 化が進められ、2000 年 6 月には米国 2 社からの納入が開始された。2005 年には同 RRP に基づき全米ネットワークも新しいコンピュータに更新された。

その後 DoD（米国国防総省）を始め他のユーザにも GPS 化が急激に進んでいった。ラジオゾンデの送信周波数範囲は、ITU 及び、ETSI において 400.15~406MHz とされているが、NWS においては MSS との干渉を避ける為 401~406MHz を割り当てている。

又、最近の米国の 400MHz 帯ラジオゾンデの技術基準について、FCC（連邦通信委員会）は諸外国と同じく ETSI に準じて従来のまま広帯域であるが、NWS の指導により狭帯域化、チャンネル化が急速に進んでいる。

第 3 章 ラジオゾンデの高度化に関する検討

3.1 ラジオゾンデシステムの高度化に関する検討

国際無線周波数会議 (WRC-03) において 1,600MHz 帯が縮小 (1,668.4~1,690MHz の内、1,668.4~1,675MHz を他の業務に分配) され、さらに、今後、1,600MHz 帯に新たな無線設備を導入しないこと、また、既存のシステムも他の周波数へ移行させる方針が示されている。このため、ラジオゾンデは世界的に 1,600MHz 帯から 400MHz 帯へ移行する動きとなった。

現在の 400MHz 帯の気象援助局は、占有周波数帯幅 1MHz、周波数の許容偏差約±1MHz (2,500ppm) と他の無線設備に比べて許容値が大きい。近年、国際的に広く採用されている 400MHz 帯のラジオゾンデは、狭帯域化が図られてきている。

このため、400MHz 帯ラジオゾンデの技術的条件の見直しを検討する

3.1.1 空中線電力の検討

ラジオゾンデは、最大約 200km 先の気象情報を伝達するために必要な電力は次の様に算出される。

FM 受信機のスレッシュホールド点の受信信号電力 $P_{c(th)}$ は次式で表される。

$$P_{c(th)} = 8KTBF$$

K: ボルツマン定数 ($1.3806503 \times 10^{-23}$ [J/K])

T: 絶対温度 (300[K])

B: 通過帯域幅 (25,000[Hz])

F: NF (3[dB]) とすると、

$$P_{c(th)} = -120.82\text{dBm} \text{ となる。}$$

このときの SN 比を $\alpha_{SN(th)}$ とすると、

$$\alpha_{SN(th)} = 10\log 3 + 20\log (\Delta f / f_s) + 10\log (P_C/P_N) + 10\log (B/2f_s) \text{ [dB]}$$

Δf : 最大周波数偏移量 (4,000[Hz])

f_s : 最大信号周波数 (1,200[Hz])

P_C/P_N : スレッシュホールド点の CN 比 (8)

B: 通過帯域幅 (20,000[Hz]) とすると、

$$\alpha_{SN(th)} = 33.41\text{dB} \text{ となる。}$$

S/N: 20dB を受信機の感度 $P_{c(20dB)}$ とし、スレッシュホールド点以下の受信信号レベルが 1dB 上がると SN 比は 3dB 改善するものとする、

$P_{c(20dB)} = P_{c(th)} - (\alpha_{SN(th)} - P_{c(20dB)})/3dB = -122.62dBm$ となる。

D: 伝送距離 (200[km])

Lf: フェージングロス (20[dB])

Gs: 送信空中線利得 (3.00[dBi])

Gr: 受信空中線利得 (2.14[dBi])

C: 光速度 (299,792,458[m/s])

F: 搬送波周波数 (404.5×10^6 [Hz])

P: 空中線電力 (P[dBm])

とすると自由空間損失 $20 \log(4\pi DF/C)$ の式から、

$$P_{c(20dB)} = P + G_s - 20 \log(4\pi DF/C) - L_f + G_r \text{ となる。}$$

P を求めるために移項させると

$$P = P_{c(20dB)} - G_s + 20 \log(4\pi DF/C) + L_f - G_r$$

となるので、上記の数値を導入すると、 $P = 22.85dBm$ となり電力換算すると約 200mW となる。

3.1.2 空中線の検討

送信空中線系は、水平無指向性アンテナを想定でき、3dBi となるが、必要とされる最大伝搬距離において、空間損失等により受信電力が低下し、回線マージンが確保できない場合は、受信空中線に指向性空中線を用いて、受信空中線の利得を補うことが適当である。

3.1.3 変調方式の検討

ラジオゾンデは、使い捨ても多く機器が極めて単純でかつ低コストに構成できるものが望ましい。また現在使用されているラジオゾンデも、振幅変調、周波数変調、角度変調等様々な変調方式がある。このため、今後の技術の発展を考慮し、変調方式は規定しないことが適当である。

3.1.4 周波数の許容偏差の検討

自由気球を用いて観測するラジオゾンデは、地上から高度 30km の上空まで上昇するまでの間、厳しい周囲環境 ($-90^{\circ}C \sim +50^{\circ}C$) に曝されるため、周波数安定度は確保することが一般の機器と比較し困難である。諸外国の許容値に合わせ、 $\pm 50ppm$ 以下とすることが適当である。

3.1.5 狭帯域ラジオゾンデに必要なチャネル数の検討

(1) 現状

1,600MHz 帯 3 波 (1,673MHz、1,680MHz、1,687MHz)、400MHz 帯 1 波 (404.5MHz) の気象援助局を、全国のユーザで共用している。

ただし、400MHz 帯 1 波では、連続した観測が出来ないため、それぞれの免許人が必要に応じて実験局 (403.9MHz、404.2MHz、404.8MHz、405.0MHz) を開設し応急的に相互混信を防いでいる。これは、始めに飛揚したラジオゾンデが、気球の破裂などにより、既定の高度まで到達できなかった時にもう一度飛揚する (再観測という) 場合や、先の観測が終わらないうちに次の観測を行う場合などに、先に飛揚したラジオゾンデが発射する電波と混信しないように別の周波数のラジオゾンデを用いる必要があるためである。

(2) 周波数移行に伴って必要なチャネル数

ラジオゾンデは、自由気球に吊り下げて使用するため、ラジオゾンデの相互混信を回避するためには、観測（飛揚）地点、浮揚範囲、送信時間、運用形態などを総合的に考慮する必要がある。

ア. 観測（飛揚）地点について

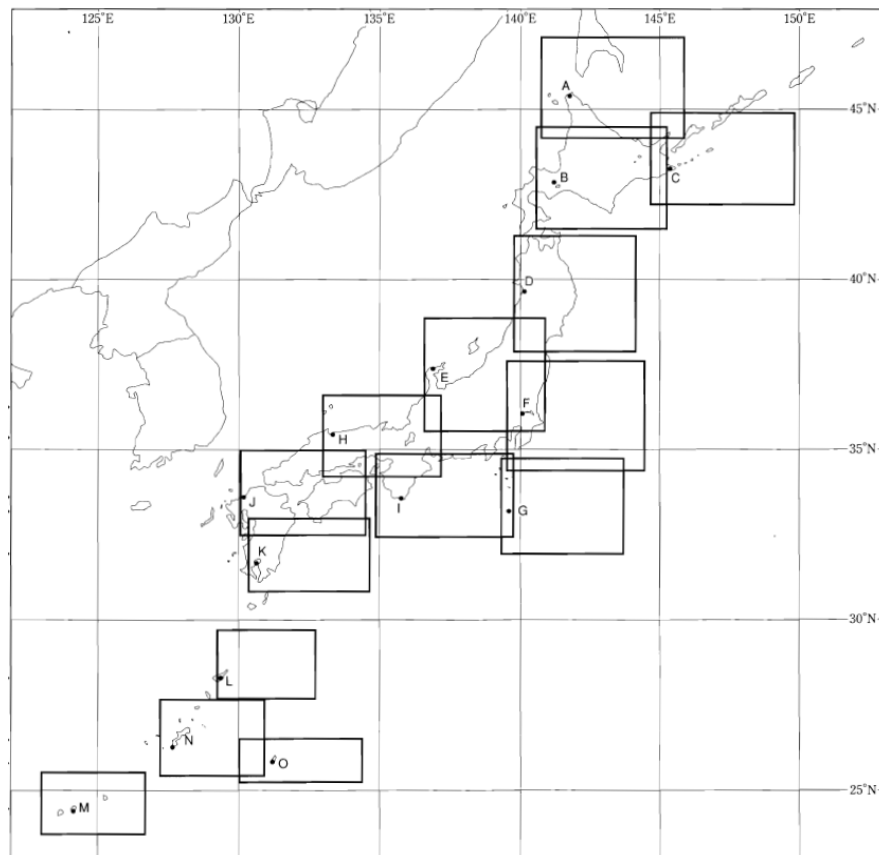
1. 600MHz 帯のラジオゾンデは方向探知機（パラボラアンテナ）を用いて飛んでいく方向を追跡することで上空の風を観測している。パラボラアンテナは、鋭い指向性を有することから、仮に他方向に同一周波数のラジオゾンデが存在していても、選択的に自局で飛揚したラジオゾンデを追跡し続けることができる（1.3.1(1)参照）。

一方、400MHz 帯のラジオゾンデは、GPS 衛星を利用して測位しているのので、地上の受信機は、高仰角方向からの電波を受信する無指向性アンテナと、低仰角方向からの電波を受信する指向性アンテナで構成されている（1.3.1(2)参照）ため、近隣の観測局で使用するラジオゾンデとの相互混信を検討する必要がある。無指向性アンテナで受信できる距離は数十 km 程度であるが、指向性アンテナでは 200km 以上受信できる機能を有する。このため、半径 200km 以内にある他局のラジオゾンデは、異なる周波数を用いる必要がある。

イ. 浮揚範囲について

ラジオゾンデは上空の風によって流されるので、その浮揚範囲は、高気圧や低気圧、前線や台風といった気象条件によって異なる。一般に、夏期は風が弱いので、遠くまで飛んでいくことは少なく、冬期は偏西風によって飛揚した地点から遠く東に運ばれる。離れた地点で同時に飛揚したとしても、自局で飛揚したラジオゾンデが遠ざかるにつれて、風上の観測所で飛揚したラジオゾンデが近づいてくるので、自局から見て 2 つのラジオゾンデまでの距離が同程度となると相互混信が生じる。

実例として、図 3.1.5-1 に気象庁が航空路誌に掲載している浮揚範囲（冬期）を示す。偏西風が強い冬期では、飛揚した地点から 300km 以上流されることもあり、加えてパラシュートで降下しながら流されることを考慮すると 400km に達する。ラジオゾンデの平均的な浮揚範囲は、観測所から東に約 350km、西に約 50km、南北それぞれに約 140km とする範囲内を浮揚すると推察できる。このため、同浮揚範囲内に他のラジオゾンデが進入して来て自局のラジオゾンデよりも強い電波が入感する場合には異なる周波数を使用する必要がある。



Civil Aviation Bureau, Japan (EFF : 1 APR 2008)

図3. 1. 5-1 気象庁が航空路誌に掲載している浮揚範囲（冬期）

※ 航空機への安全運航情報として、気象庁が飛揚したラジオゾンデの浮揚範囲（図中の口で示す）を通知している。

ウ. 送信時間について

水素ガス、またはヘリウムガスを充填した自由気球は、上昇する程（気圧が低くなるので）大きく膨らみ、やがて気球の張力を超えて破裂する。ラジオゾンデは地上から気球が破裂する高さまでを観測し、気球の破裂後は、パラシュートで降下するが、地上付近まで送信している。ラジオゾンデが到達する高さは、使用する気球の大きさと、その気球に充てんするガス量の関係により決まる。

実例として気象庁では、毎日 8 時 30 分と 20 時 30 分の 2 回、600g のゴム気球に上昇速度が 6m/s となるように水素ガスを充てんし、高度約 30km までを観測している。飛揚から気球が破裂するまでに約 90 分、破裂後地上に達するまで約 30 分である。さらにラジオゾンデは、飛揚する約 30 分前から起動し、電波の受信状態や、地上の観測データと比較・校正による点検を行ってから気球に取り付けている。

このため、一般的なラジオゾンデの観測では、準備から終了までの約 2 時間 30 分間において、相互混信を考慮する必要がある。この時間内に低層ゾンデ、ドロップゾンデ、係留ゾンデがア. イ. の条件にある場合は、別の周波数を使用する必要がある。

エ. 運用形態について

運用形態としては、ラジオゾンデを用いる場所と時間が特定されていて、受信機

の備付場所も固定されている定常的な局（固定観測所と呼ぶ）と、ラジオゾンデを用いる場所と時間が特定されておらず、環境アセスメント調査や研究などの目的でその都度観測する場所を移動したり、ある範囲内で複数同時に、あるいは時間的に連続してラジオゾンデを用いたりする非定常的な局（不定観測所と呼ぶ）の2つに分類できる。

国内の代表的な免許人の運用形態と、それぞれが必要とするチャンネル数（周波数）を表 3.1.5-1 に示す。ただし、同表の必要なチャンネル数とは、それぞれの免許人が単独で必要とするもので、他局との周波数共有や相互混信（前述のア・イ・ウ.）を考慮したものではない。

表 3.1.5-1 各免許人が必要とするチャンネル数

免許人	必要 チャンネル数 (周波数)	運用形態	観測所
A	6 波	全 17 地点、毎日 2 回実施。 その他、台風臨時観測、再観測あり。 隣接観測所を考慮して 3 波、再観測用に 3 波必要。	固定
B	2 波	全 3 地点、毎日 2 回実施。 通常使用と再観測用に各 1 波必要。	固定
C	5 波	全 3 地点。 ロケット打ち上げのための周辺大気の把握。 連続飛揚、及び同時飛揚による観測に全 5 波必要。	固定
D	5 波	環境アセスメントなど時期・場所は未定。 同時飛揚による観測、係留気球に全 5 波必要 同等の運用形態の免許人は、他に 10 団体程度あり。	不定
E	1～3 波	研究観測、調査観測に使用 同等の運用形態の免許人は、他に 10 団体程度あり。	不定
F	1 波	全 4 観測船。	不定

（注）総務省のHPで公開されている気象援助局の免許人情報の検索結果から推察すると、本表A, B, Cは固定観測を実施しているユーザ（現状で1,600MHz帯を使用している）の約9割を占める。また、Dと同様の運用形態により不定観測を実施している気象関連会社と、Eと同様の運用形態により不定観測を実施している研究・大学等機関はそれぞれ10団体程度（現状で404.5MHzを開局しているのは全部で22団体）である。

(3) 必要な周波数と分配の考え方

前項で整理したように、ラジオゾンデの相互混信を回避するためには、観測（飛揚）地点、浮揚範囲、送信時間、運用形態などを総合的に考慮する必要がある。

決められた場所で定常的に行われている固定観測所においては、あらかじめ相互混信を避けた周波数の使用・調整が可能である。しかし、いつ・どこで飛揚するかが特定されない不定観測所（または移動観測所）と、他の不定または固定観測所の

周波数とをその都度調整することは難しい。このため、固定観測所と不定観測所とで、使用する周波数を分離することで、効率的な利用が可能となる。

ア 固定観測所が必要とするチャンネル数について

- ・ 固定観測所として運用するための周波数を分配する。
- ・ 観測時間、観測場所が決まっているので、どのユーザがどのチャンネルを使用するかなど利用者間の協議により選択が可能である。
- ・ 現状で固定観測所として運用している 1,600MHz 帯の局が全て 400MHz 帯に移行した場合、13 チャンネル以上必要である（表 3.1.5-1）。
- ・ ただし、(2)の条件を考慮して、固定観測所間の周波数の共有を考慮すると、5 チャンネル必要であり（図 3.1.5-2 参照）、さらに再観測で 5 チャンネル、一部の固定観測局での連続観測を想定しさらに 1 チャンネルとして全 11 チャンネルが必要なチャンネル数である。

イ 不定観測所が使用するチャンネル

- ・ 観測する期間・場所・時間などが不定で観測所が移動する運用のための周波数を分配する。
- ・ 代表的な免許人の方の要望を考慮すると、少なくとも 9 チャンネル以上が必要である（表 3.1.5-1）。
- ・ ただし、同様の免許人は現状で全 23 団体あるため、相互混信を考慮すると 9 チャンネルの他に数チャンネル必要である。
- ・ 免許人 D が使用する低層ゾンデは観測高度が低いので相互混信を及ぼす距離が一般のラジオゾンデより短い。
- ・ どのチャンネルを使用するかユーザが飛揚前の受信強度チェック等により判断する方法を検討する必要がある。
- ・ 当面の間、広域ラジオゾンデ、現行気象援助局（404.5MHz）を含める。

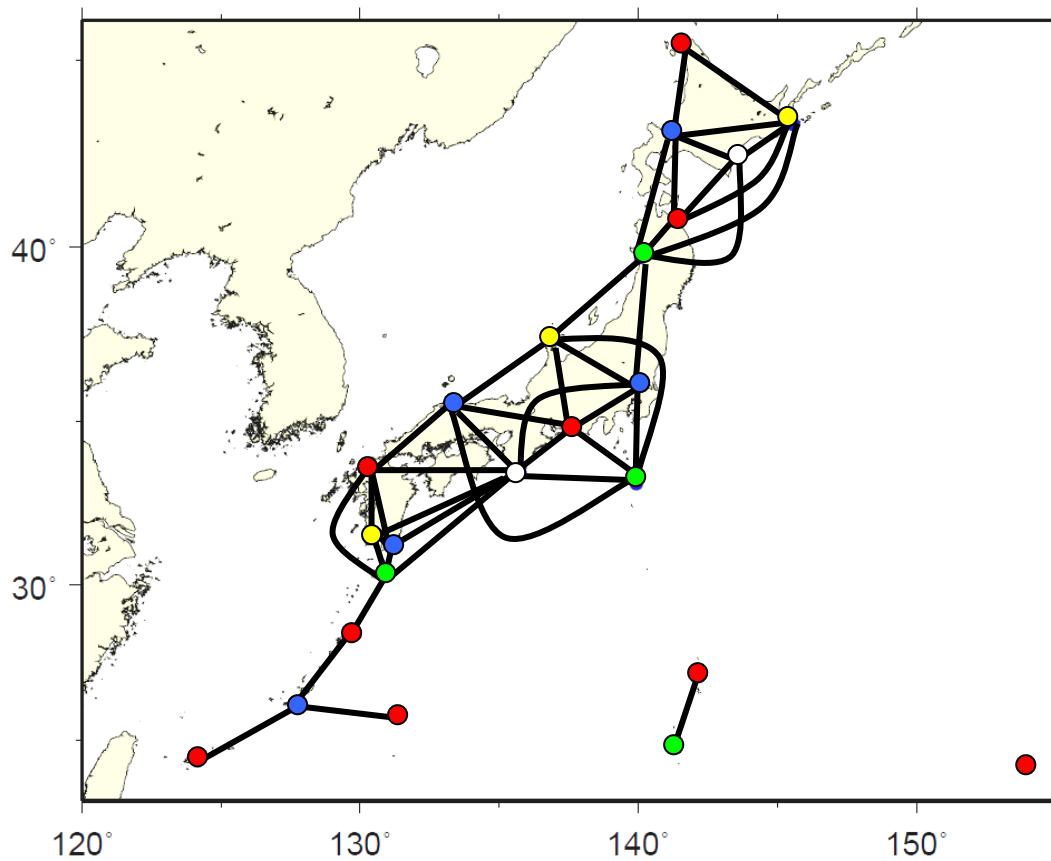


図3.1.5-2 固定観測所に必要なCH数

固定観測所（免許人 A, B, C）の位置を●印、同時に飛揚した場合に相互混信が起こる可能性がある観測所を線で結んだ。線の両端が異なる色となる最小の色数が必要なチャネル数となる。

3.2 既存局との共用に関する検討

3.2.1 共用検討を行う際の前提

400MHz 帯狭帯域化ラジオゾンデシステムと既存業務の無線局との周波数共用において、使用が想定される 401MHz から 406MHz までの周波数帯を使用する既存業務の無線局との干渉検討を行う必要がある。

(1) 狭帯域化ラジオゾンデシステムの無線設備の諸元等

2008 年 4 月現在で使用中又は、予定の狭帯域化ラジオゾンデのスペックを統括したものを用いた。（参考資料 1 を参照）

電波の形式	： 規定しない
送信周波数	： 400MHz - 406MHz
占有周波数帯幅	： 60kHz 以内
空中線電力	： 200mW 以下
空中線利得	： 3.00dBi 以下
給電線等損失	： 0.00dB

(2) 既存業務の無線局（対象無線局）は以下のとおり

- ア 気象地球局
- イ 地震火山観測用テレメータ
- ウ ラジオ・ロボット
- エ アナログラジオゾンデ（狭帯域化されていないゾンデ）
- オ 狭帯域化ラジオゾンデ
- カ 係留ゾンデ
- キ MICS：体内植込型医療用データ伝送システム（Medical Implant Communications System）
（MITS：体内植込型医療用遠隔計測システム（Medical Implant Telemetry System）を含む）

引用文献：諮問第 2009 号 「小電力無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち「体内植込型医療用データ伝送システムの技術的条件」の参考資料 1 に記されているデータを引用。（具体的なデータは参考資料 2 参照）

(3) 狭帯域化ラジオゾンデシステムにおける干渉モデルのパターン

- ア 狭帯域化ラジオゾンデから既存業務の無線局（受信機）へ（与干渉）
- イ 既存業務の無線局（送信機）から狭帯域化ラジオゾンデの受信機へ（被干渉）

(4) 隣接チャネル漏洩電力の許容値

狭帯域化ラジオゾンデシステム間の干渉において、図 3.1.5-2 により、実際の運用を考慮した場合、各固定観測所間は最低でも 50km の調整距離を確保することが必要で、近接の無線局の密度によっては、100km の調整距離の確保が必要な場合もある。また、移動局においては、多地点同時観測で 20km の距離で運用されることもある、これらによって共用可能な隣接チャネル漏洩電力を検討すると、下表 3.2.1-1 のようになる。

それぞれの隣接チャネル漏洩電力は搬送波からの周波数の離隔の間隔 100kHz 毎で配置可能であり、搬送波の近傍から順に配置すると表 3.2.1-2 のようになり、国際的な整合性を踏まえた ETSI EN302 054-2 V1.1.1 Table 4 のマスクとも共用可能な技術的条件となる。

表 3.2.1-1 隣接チャネル漏洩電力値

狭帯域化ラジオゾンデから既存業務無線局への干渉				
送信側	空中線電力	23.01	23.01	23.01
	空中線利得	3	3	3
	給電線損失	0	0	0
受信側	空中線利得	11.15	11.15	11.15
	給電線損失	1	1	1
	妨害波の許容受信電力（運用）	-121.95	-121.95	-121.95
	妨害波の受信レベル	-74.45	-82.41	-88.43
	調整距離（自由空間） km	20	50	100
	搬送波電力との比（dBc/1 kHz）	-48	-40	-34

表 3. 2. 1-2 周波数の離隔 300kHz 未満における、搬送波との電力比

搬送波からの周波数の離隔	搬送波電力との比
50kHz 以上 100kHz 未満	-34dBc/1kHz
100kHz 以上 200kHz 未満	-40dBc/1kHz
200kHz 以上 300kHz 未満	-48dBc/1kHz

3. 2. 2 干渉検討方法

干渉を受ける受信機の許容妨害受信レベルを求め、干渉を与える送信機から発射された電波の強度が当該受信機の許容妨害受信レベルまで低下する調整距離を求めることとする。

3. 2. 3 干渉計算モデルの選択

(1) 本干渉検討に適用するモデル一覧

a. 自由空間伝搬損失

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (dB) \quad d : \text{距離 (m)} \quad \lambda : \text{波長 (m)}$$

b. 秦式

$$L_p = 69.5 + 22.16 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d \quad (dB)$$

$$a(h_m) = (1.1 \log_{10} f - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10} f - 0.8) \quad \dots \quad \text{市街地 (中都市)}$$

ただし、

$$\begin{aligned} f &: \text{周波数 [MHz, 150~1500MHz]} \\ h_b &: \text{基地局送信アンテナ高 [m, 30~200m]} \\ h_m &: \text{移動局送信アンテナ高 [m, 1~10m]} \\ d &: \text{距離 [km, 1~20km]} \end{aligned}$$

c. 大気回折を考慮した電波見通し距離の近似式

$$d = 4.12 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

ただし、

$$\begin{aligned} d &: \text{電波見通し距離 [km]} \\ h_1, h_2 &: \text{送受信アンテナ高 [m]} \end{aligned}$$

(2) 狭帯域化ラジオゾンデシステムの与干渉

衛星受信への干渉は、静止軌道上（赤道上空約 36,000km の軌道上）の伝搬距離となることから、希望波及び妨害波の伝搬損失は同等と考え、送信 EIRP の差（受信側の C/I）を使用して検討する。その他のシステムは電波的に見通し距離であるから自由空間伝搬損失を使用して検討する。

(3) 狭帯域化ラジオゾンデシステムへの被干渉

上空と地上間は自由空間伝搬損失を使用する。地上と地上間は電波の見通し距離では適用できないため、都市部の代表的な伝搬損失推定モデルである秦式、一般的に各システムが設置されている市街地（中都市）の式を使用する。ただし、『平成16年度 情報通信審議会答申 設問第2009号「小電力無線システムの高度化に必要な技術条件」』のうち「体内植込型医療用データ伝送システムの技術的条件」の「表4.4 MICSと既存業務の無線局との干渉計算結果」で使用された値 $h_b = 30m$, $h_m = 1.5m$ を引用する。

3.3 干渉検討結果

引用文献：平成16年度 情報通信審議会答申 諮問第2009号「小電力無線システムの高度化に必要な技術条件」のうち「体内植込型医療用データ伝送システムの技術的条件」の本文中表4.4からそれぞれの数値を引用し、各システムにおける調整距離を算出した。

表 3.3-1 干渉パターン表

狭帯域化ラジオゾンデから既存業務無線局への干渉

		地震火山 観測用 テレメータ	ラジオ ロボット	アナログ ラジオ ゾンデ	狭帯域化 ラジオ ゾンデ※	係留 ゾンデ	MICS
狭帯域化 ラジオゾンデ システム	空中線電力	23.01	23.01	23.01	23.01	23.01	23.01
	空中線利得	3	3	3	3	3	3
	給電線損失	0	0	0	0	0	0
既存業務 無線局	空中線利得	11.15	13.15	8	11.15	7.65	0
	給電線損失	2.30	3	0	1	1	0
	妨害波の許容受信電力(運用)	-90.70	-89.40	-116.63	-121.95	-121.95	-77.57
	妨害波の受信レベル	-42.70	-41.40	-68.63	-81.95	-81.95	-37.57
	レベル差(帯域外減衰含む)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00
	調整距離(自由空間) km	0.45	0.45	7.99	47.45	31.71	0.0891

既存業務無線局から狭帯域化ラジオゾンデシステムへの干渉

		地震火山 観測用 テレメータ	ラジオ ロボット	アナログ ラジオ ゾンデ	狭帯域化 ラジオ ゾンデ※	係留 ゾンデ	MICS	気象 地球局
既存業務 無線局	空中線電力	30.00	30.00	23.98	23.01	23.01	-16.00	36.99
	空中線利得	11.15	13.15	0	3	3	0	3.15
	給電線損失	1.3	2	0	0	0	0	0.5
狭帯域化 ラジオゾンデ システム	空中線利得	11.15	11.15	11.15	11.15	11.15	11.15	11.15
	給電線損失	1.00	1	1	1	1	1	1
	妨害波の許容受信電力(運用)	-121.95	-121.95	-121.95	-121.95	-121.95	-121.95	-121.95
	妨害波の受信レベル	50.00	51.30	-61.95	-81.95	-81.95	-5.85	49.79
	レベル差(帯域外減衰含む)	-111.95	-113.25	-27.00	0.00	0.00	-96.10	-111.74
	調整距離(自由空間) km	1.40	1.52	3.76	47.45	47.45	0.496	1.38

※ 中心周波数を200kHz 離調した場合

3.3.1 狭帯域化ラジオゾンデシステムから既存業務無線局への与干渉

(1) 気象地球局の受信設備（衛星）への与干渉

狭帯域化ラジオゾンデシステムの送信 EIRP (26.01dBm) と気象地球局の送信 EIRP (49dBm) との差は 22.99dB であり、また狭帯域化ラジオゾンデの周波数割り当て可能な周波数範囲（陸上移動局とラジオ・ロボットからの離調周波数 200kHz を想定した場合 403.3MHz -405.7MHz）と気象地球局の送信周波数 (402.21MHz, 402.31MHz) の周波数差は 200kHz 以上あり、3.2.1(4) の隣接チャネル漏洩電力の許容値により、基本波から 48dB 以上の減衰が見込まれ、これを加えれば、70.99dB 以上の差がある。気象地球局が送信した電波の受信点は、静止軌道上にある衛星であり、これらの運用距離を踏まえれば、

狭帯域化ラジオゾンデシステムと気象地球局の送信電波の伝搬距離は、ほぼ同等と考えられ、受信機（衛星側）における C/I が 70.99dB 以上確保でき、干渉を与えないと考えられる。

なお、気象地球局は地上にあって、静止衛星に向けデータを送信する。使用する周波数は、ラジオゾンデと約 1MHz 離れている。衛星から見たら、気象地球局もラジオゾンデも伝搬距離は同じだが、気象地球局は指向性の強いアンテナで衛星と正対しているが、それに比べて無指向性アンテナから放射されるラジオゾンデの出力は小さいので干渉を与える問題はない。

(2) 地震火山観測用テレメータへの与干渉

実際の運用を想定した妨害波の許容受信電力は-90.70dBm であることと、上記 3.3.1(1)と同様に基本波から 48dB 以上の減衰が見込めることから、0.45km の調整距離となる。

なお、地震火山観測用テレメータは、火山活動を常時監視するために、電話が開設できない火山の山体に地震計等を設置し、その麓の有線設備があるところまで、観測データを伝送するものである。

実際の運用を想定した場合、ラジオゾンデを火山の山体で運用することはないこと。また、仮に火山の麓で運用する場合でも、ラジオゾンデは、1 分間に 360m 上昇するので、空間的な離調距離が十分確保されることから問題とならない。ただし、非常に特殊な例として、地震火山観測用テレメータの近傍でラジオゾンデを運用する場合がある場合には、地震火山観測用テレメータで使用されている周波数から十分離れた (300kHz 以上離隔した) 周波数チャンネルを選択することで、与干渉を避けることが可能である。

(3) ラジオ・ロボットへの与干渉

実際の運用を想定した妨害波の許容受信電力は-89.40dBm であることと、上記 3.3.1(1)と同様に基本波から 48dB 以上の減衰が見込めることから、0.45km の調整距離となる。

なお、ラジオ・ロボットは、人里離れた山林や山頂の雨量などを観測するためのものであり、電話が開設できない地域に設置し、気象台まで観測データを伝送するものである。雨量計からトリガがあったとき電波を発射する仕組みとなっている。

実際のラジオゾンデの運用を想定した場合、ラジオ・ロボットを設置しているような地域においてラジオゾンデは運用されていない。また、ラジオ・ロボットを運用している気象台ではラジオゾンデを運用していないので問題とならない。ただし、非常に特殊な例として、移動観測などにより、気象台の近傍でラジオゾンデを飛揚する場合には、ラジオ・ロボットで使用されている周波数から十分離れた (300kHz 以上離隔した) 周波数チャンネルを選択することで、与干渉を避けることが可能である。

(4) アナログラジオゾンデシステムへの与干渉

受信機の帯域外における実際の運用を想定した場合、妨害波の許容受信電力は、-116.63dBm であること、上記 3.3.1(1)と同様に基本波から 48dB 以上の減衰が見込めることから、7.99km の調整距離となるが、200kHz 程度の離調では受信機の帯域内となり、基本波からの減衰は見込めないため、2007km の調整距離となる。ただし、大気回折を考慮した電波見通し距離では 736km の調整距離（ゾンデの高さ：30km、地上アンテナ高：30m と仮定）となる。

なお、アナログラジオゾンデは、旧タイプのラジオゾンデで、将来的には狭帯域ラジオゾンデに移行する予定のものである。また、現在使用している免許人は限定されており、新たに増えることはない。アナログラジオゾンデの中心周波数は 404.5MHz 1 波であるため、404.5MHz から可能な限り離れた周波数 CH (403.3MHz または 405.7MHz) を選択することで、与干渉を避けた運用が可能である。

(5) 狭帯域化ラジオゾンデシステムへの与干渉

実際の運用を想定した妨害波の許容受信電力は-121.95dBm であること、このことを踏まえ、同一周波数の場合は 4,745km の調整距離となるが、大気回折を考慮した電波見通し距離では 736km の調整距離 (ゾンデの高さ: 30km, 地上アンテナ高: 30m と仮定) となる。受信周波数を 200kHz 離調した場合は、3.2.1(4) の隣接チャネル漏洩電力の許容値により 40dB 以上の減衰が見込めることから、47.45km の調整距離となる。100kHz 離調した場合は 34dB 以上の減衰が見込めることから、94.67km の調整距離となる。同一周波数では 4745km の調整距離となるが、大気回折を考慮した電波見通し距離では 736km の調整距離 (ゾンデの高さ: 30km, 地上アンテナ高: 30m と仮定) となる。

なお、実際の運用を考慮した場合、各固定観測所間は 47.45km の調整距離を確保している (図 3.1.5-2 参照) ので、200kHz 離調することで問題はない。不定観測所においては、固定観測所と異なる周波数区分を使用することで、周波数の離隔が可能である (図 3.3.4-1 参照)。これまでの実績においては、隣接した運用においても 300kHz の離隔 (404.2MHz と 404.5MHz、404.5MHz と 404.8MHz) により相互干渉は発生していない。

(6) 係留ゾンデシステムへの与干渉

実際の運用を想定した妨害波の許容受信電力は-121.95dBm であることと、上記と同様に、3.2.1(4) の隣接チャネル漏洩電力の許容値により、40dB 以上の減衰が見込めることから、31.71km の調整距離となる。

なお、係留ゾンデは、観測する場所に長時間係留し、受信場所はその係留点である。係留ゾンデは、不定観測所用の周波数区分を使用するので、固定観測所から飛揚したラジオゾンとは十分に (300kHz 以上) 離隔されているので問題はない。不定観測所において、離調距離を確保できない場合にあっては、300kHz 以上離隔された周波数チャネルを選択することで、運用上の問題はない。

(7) MICS への与干渉

MICS が使用していない周波数を利用した場合において、実際の運用を想定した妨害波の許容受信電力は-77.57dBm であること、上記と同様に、3.2.1(4) の隣接チャネル漏洩電力の許容値により 40dB 以上の減衰が見込めること、建物侵入損失 20dB から、89.1m の調整距離となる。

なお、地上に降下したラジオゾンデは、既に観測を終えており、そのほとんどは海に落ちて濡れたり、地面に衝突したショックや、電池の寿命により送信を停止する (3.4.(5) 参照)。

また、MICS 側でキャリアセンス等の干渉軽減機能を有することになっているため、実質的に MICS が干渉を受ける可能性は非常に低いと思われる。(RECOMMENDATION ITU-R SA.1346 (参考資料 3) 参照)

3.3.2 狭帯域化ラジオゾンデシステムの被干渉

(1) 被干渉検討モデル

妨害波（既存無線局からの電波）の受信レベルは次式で求められる。

$$F = T_{x(AP)} + T_{x(AG)} - T_{x(EL)} + R_{x(AG)} - R_{x(EL)} - L_p$$

上式から調整距離を導くために変換すると、次式のとおりとなる。

$$\log d = (F - T_{x(AP)} - T_{x(AG)} + T_{x(EL)} - R_{x(AG)} + R_{x(EL)} + 69.4 + 22.62 \log f - 13.82 \log h_b) / (-49.9 + 6.55 \log h_b)$$

F：妨害波受信レベル（dB）

$T_{x(AP)}$ ：送信空中線電力（dB）

$T_{x(AG)}$ ：送信空中線利得（dB）

$T_{x(EL)}$ ：送信給電線損失（dB）

$R_{x(AG)}$ ：受信空中線利得（dB）

$R_{x(EL)}$ ：受信給電線損失（dB）

他、3.2.3(1)bと同じ

※ 送信側は既存無線局、受信側は狭帯域化ラジオゾンデシステム

(2) 狭帯域化ラジオゾンデシステムの受信選択度

被干渉を検討するにあたり、狭帯域化ラジオゾンデシステムの受信機の近接周波数選択度特性は、下記(3)から(6)に記すシステムの被干渉から、 $\pm 300\text{kHz}$ 以内で選択度60dB以上であるものが望ましいと考えられる。

(3) 気象地球局からの被干渉

3.3.2(1)から、1.38kmの調整距離となる。

既存業務の調整距離内に狭帯域化ラジオゾンデの受信システムを設置する場合は、BEF（バンド・エリミネーション・フィルタ）により、選択的に該当周波数の受信レベルを許容受信電力以下まで抑圧し、被干渉を回避することが可能である

(4) 地震火山観測用テレメータからの被干渉

3.3.2(1)から、1.40kmの調整距離となる。

既存業務の調整距離内に狭帯域化ラジオゾンデの受信システムを設置する場合は、BEF（バンド・エリミネーション・フィルタ）により、選択的に該当周波数の受信レベルを許容受信電力以下まで抑圧し、被干渉を回避することが可能である

(5) ラジオ・ロボット及び地震火山観測用テレメータからの被干渉

3.3.2(1)から、1.52kmの調整距離となる。

既存業務の調整距離内に狭帯域化ラジオゾンデの受信システムを設置する場合は、BEF（バンド・エリミネーション・フィルタ）により、選択的に該当周波数の受信レベルを許容受信電力以下まで抑圧し、被干渉を回避することが可能である

(6) アナログラジオゾンデからの被干渉

3.3.2(1)から、3.76kmの調整距離となる。

(7) 狭帯域化ラジオゾンデからの被干渉

実際の運用を想定した妨害波の許容受信電力は -121.95dBm であること、受信周波数を200kHz離調した場合は、3.2.1(4)の隣接チャネル漏洩電力の許容値により40dB以上の減衰を踏まえ3.2.3(1)aに適用させると、47.45kmの調整距離となる。

また、100kHz離調した場合は34dB以上の減衰が見込めることから、3.2.3(1)aにより94.67kmの調整距離となる。

同一周波数では 4,745km の調整距離となるが、大気回折を考慮した電波見通し距離では 736km の調整距離（ゾンデの高さ：30km、地上アンテナ高：30m と仮定）となる。

(8) 係留ゾンデからの被干渉

実際の運用を想定した妨害波の許容受信電力は-121.95dBm であること、受信周波数を 200kHz 離調した場合は、3.2.1(4) の隣接チャネル漏洩電力の許容値により、40dB 以上の減衰を踏まえ 3.2.3(1)a に適用させると、47.45km の調整距離となる。

100kHz 離調した場合は 34dB 以上の減衰を踏まえ 3.2.3(1)a に適用させると、94.67km の調整距離となる。

同一周波数では 4745km の調整距離となるが、大気回折を考慮した電波見通し距離では 115km の調整距離（係留ゾンデの高さ：500m、地上アンテナ高：30m と仮定）となる。

(9) MICS からの被干渉

3.3.2(1) に建物侵入損失 20dB を追加した場合、

$$\log d = \frac{(F - T_{x(AG)} - T_{x(EL)} - R_{x(AG)} + R_{x(EL)} + 89.4 + 22.62 \log f - 13.82 \log h_b)}{(-49.9 + 6.55 \log h_b)}$$

となるため、496m の調整距離となる。

3.3.3 干渉回避のための方策

(1) 既存業務無線局への与干渉軽減

自由気球を用いて観測するラジオゾンデは、高度上昇に伴う気球膨張で破裂するまでの間、水平移動しながら運用するものであるが、破裂後パラシュートで減速落下しながら移動したラジオゾンデが既存業務無線局の調整距離内に近づき、干渉を与える可能性がある。ラジオゾンデには送信時間を制限する機能を有するものがあり、この機能で落下時に送信を停止し、与干渉を回避することが可能である。

(2) 既存業務無線局からの被干渉軽減

既存業務の調整距離内に狭帯域化ラジオゾンデの受信システムを設置する場合は、BEF（バンド・エリミネーション・フィルタ）により、選択的に該当周波数の受信レベルを許容受信電力以下まで抑圧し、被干渉を回避することが可能である。

(3) ラジオゾンデシステム間の与干渉及び被干渉軽減

同一周波数間での与干渉及び被干渉は大気回折を考慮した電波見通し距離以上の調整距離が必要であるが、下記のように調整距離に応じた離調の確保により干渉を回避することが可能である。

ア. アナログラジオゾンデシステムへの与干渉

同一周波数 : 736km
200kHz 離調 : 736km
300kHz 離調 : 7.99km

イ. 狭帯域化ラジオゾンデシステムへの与干渉

同一周波数 : 736km
100kHz 離調 : 94.67km
200kHz 離調 : 47.45km

ウ. 係留ゾンデシステムへの与干渉

同一周波数 : 736km
100kHz 離調 : 63.27km
200kHz 離調 : 31.71km

エ. アナログゾンデからの被干渉

同一周波数 : 736km
200kHz 離調 : 736km
300kHz 離調 : 3.76km

オ. 係留ゾンデシステムからの被干渉

同一周波数 : 115km
100kHz 離調 : 94.67km
200kHz 離調 : 47.45km

3.3.4 同一周波数共用条件

(1) 使用周波数の区分

- ・ ラジオゾンデを用いる場所と時間が特定されていて、受信機の設置場所が固定されている定常的な運用を行う気象援助局（固定観測所）と、ラジオゾンデを用いる場所が調査・研究などの目的でその都度移動する非定常的な運用を行う気象援助局（不定観測所または移動観測所）が使用する周波数を分離することで、固定観測所と不定観測所の相互混信を避けることができる。
- ・ 固定観測所は、観測場所と時間が決まっており、定常的に観測を行っているため、あらかじめ相互混信をさけた周波数の分配と運用調整が可能である。
- ・ 不定観測所または移動観測所は、観測場所や時間・観測スケジュールなどがその目的によって変更されるため、固定観測所と異なる周波数を利用することで、観測したい場所に固定観測所が隣接していた場合であっても、相互混信を避けた円滑な運用が可能である。
- ・ これらの運用を実現するためには、403.3～405.7MHz（ラジオ・ロボット等の使用周波数から、200kHz の周波数の離隔を確保する）を、403.3～404.5MHz と、404.7～405.7MHz とに区分する（図 3.3.4-1 周波数分配案を参照）。
- ・ 2つのラジオゾンデにおいて、周波数を 200kHz 離隔した場合の調整距離が約 47km、100kHz 離隔した場合の調整距離が約 95km である（3.3.2(5)参照）ことから、空間的な調整距離を考慮して運用することで、100kHz 間隔のチャンネル設定が可能である。

(2) 固定観測所が使用する周波数

- ・ ラジオゾンデの使用頻度が多い（年間約 15,000 個）ため、特定小電力無線局の周波数と重なりが少ない領域を使用するよう考慮し、404.7～405.7MHz を、100kHz 幅のチャンネルで使用する。
- ・ それぞれの観測所がどのチャンネルを使用するかは、観測時間、観測場所を考慮して、利用者間の協議による。
- ・ 主なラジオゾンデの用途としては、気象定常観測、国際的なデータ交換、公共事業、国民の安全のための注意報警報に直結した観測データの提供・支援など。

(3) 不定観測所または移動観測所が使用する周波数

- ・ 403.3～404.5MHz を、100kHz 幅のチャンネルで使用する。
- ・ どのチャンネルを使用するかは、免許人が飛揚前の受信強度チェック等により判断するため、免許人が許可された周波数帯域内で任意にラジオゾンデのチャンネルを選択し使用することが可能であることが望ましい。

- ・ ラジオゾンデの狭帯域化の完全移行まで、現行の気象援助局（404.5MHz）の広帯域ラジオゾンデと共用する必要がある。
- ・ 主なラジオゾンデの用途としては、気象事業者等による環境アセスメント、大学や研究機関による調査・研究、気象観測船の航海中の観測など

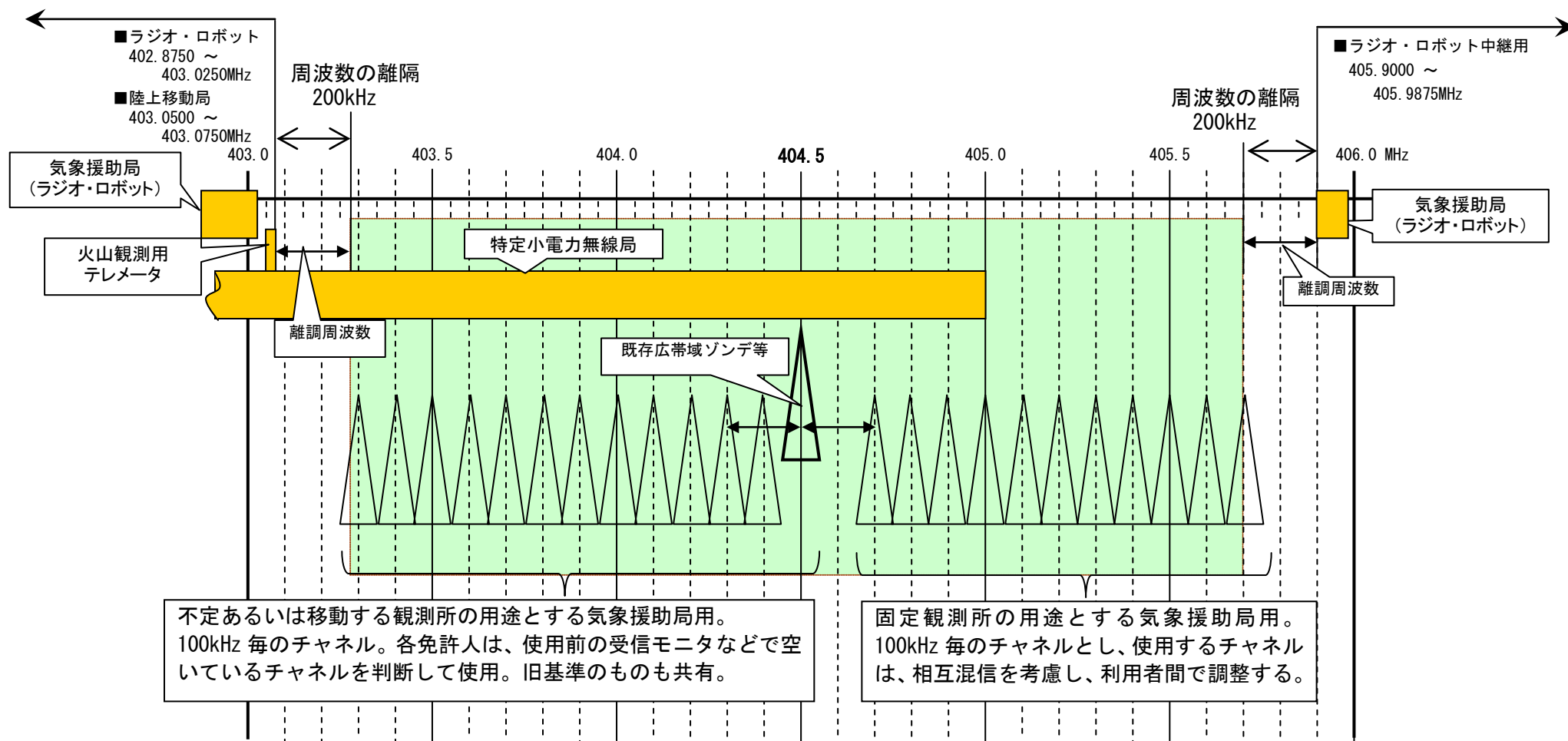


図 3.3.4-1 周波数分配案

3.3.5 干渉検討のまとめ

以上の検討結果を踏まえ、既存業務の無線局の利用形態及び周波数割当状況、与干渉軽減対策、被干渉軽減対策、離調に応じた調整距離の確保により、狭帯域化ラジオゾンデシステムから既存業務無線局への与干渉及び既存業務無線局から狭帯域化ラジオゾンデシステムへの被干渉の可能性は極めて低く、当該周波数帯における既存業務の無線局と狭帯域化ラジオゾンデシステムの周波数共用は十分に可能である。

引用文献：

平成 16 年度 情報通信審議会答申 諮問第 2009 号「小電力無線システムの高度化に必要な技術条件」のうち「体内植込型医療用データ伝送システムの技術的条件」

3.4 電波防護への適合検討

(1) 電波防護に関する法令は、電波の強度に対する安全施設として「施行規則第21条の3の2」に定められている。ラジオゾンデ等の移動する無線局の無線設備は、この規則で適用除外となっており、電波法令の制約を受けないが、ここではその実際の安全性について、法令に準じて無線設備から発射される電波の強度を算出して検証を行う。

(2) ラジオゾンデの運用に当たって、人体が電磁界にさらされている状況は、運用管理者を除いて電波防護指針で定義されている「一般環境」^{注1}に該当する。「一般環境」における電波の強度の値は、「電波法施行規則第21条の3の2 別表第2号の3の2」に定められており、その算出方法は「平成11年4月27日郵政省告示第300号」定められている。

施行規則で定められている電力束密度（S）の基準値は下式で与えられる。

$$\begin{aligned} S &= f \text{ (MHz)} / 1500 \quad f : \text{送信周波数 (ここでは代表例として404.5MHzとする)} \\ &= 404.5 / 1500 \\ &= 0.269 \text{ mW/cm}^2 \end{aligned}$$

ここで、狭帯域ラジオゾンデの無線設備の諸元を

空中線電力(P) : 200mW

空中線の絶対利得(G) : 3dB

とし、仮にラジオゾンデから算出地点までの距離：R=1mとして電力束密度（S）を計算すると、Sの算出値は次式で与えられる

$$\begin{aligned} S &= (PG/40\pi R^2) \cdot K \\ K &: \text{反射係数 } 2.56 \text{ (送信周波数が76MHz以上であるため)} \end{aligned}$$

上式により、距離1mにおける電力束密度算出値（S1m）は

$$S1m \text{ (反射考慮)} = 0.0081 \text{ mW/cm}^2$$

$$S1m \text{ (反射無視)} = 0.0032 \text{ mW/cm}^2$$

となり、1m離れることで、基準値を十分に満足できる。

施行規則による電力束密度の基準値（S=0.269 mW/cm²）と電力束密度の算出値とが等しくなる距離：Rsを計算すると

$$Rs1 \text{ (反射考慮)} = 0.1736\text{m}$$

$$Rs1 \text{ (反射無視)} = 0.1085\text{m}$$

となる。従って、ラジオゾンデから17.4cm以上離れることで、「一般環境」における人体の影響について基準値を満足できる。

(3) 上空数百mに浮遊させて上空の気象状況を計測する係留ゾンデについては、電波の伝搬する距離が気球に取り付けられたラジオゾンデに比べて短距離であることから空中線電力が小さい。従って、同様に基準値を十分に満足することができる。

(4) ラジオゾンデの運用管理者については「管理環境」^{注2}に該当する。「管理環境」に関する電波法令の規定はないが、電波防護指針では電力束密度（S）の基準値は

$$S=f/300$$

とされており、狭帯域ラジオゾンデの場合の基準値

$$S=1.348 \text{ mW/cm}^2$$

となる。

前記と同様に電力束密度の基準値（ $S=1.348 \text{ mW/cm}^2$ ）と電力束密度の算出値とが等しくなる距離：Rs2を計算すると

$$Rs2(\text{反射考慮})=0.078\text{m}$$

$$Rs2(\text{反射無視})=0.049\text{m}$$

となり、「管理環境」に関しても問題がない。

(5) ラジオゾンデの観測は2時間以内で、降下時間を含めて最大3時間以内である。日本の場合、殆どのラジオゾンデは海上と山中に落下するが、希に市街地に落下して一般の人に拾われる場合がある。

従来は、電源に注水電池（電極間に脱脂綿等を挟み脱脂綿等に注水して電圧を発生する仕組みの電池）のような比較的電池容量の小さい物が使われており、地上に降下するときには容量が尽きて電波が停止する。

しかし、最近では電池の性能も向上し、リチウム電池のような容量の大きな物も使われ始めた。この場合、地上に降下後も電波を発射する場合は考えられる。

以上の検討内容から、ラジオゾンデが電波発射中に、一般人が17.4cm以内に近づくような大きな問題は考えられないが、更に安全性を高めるために、電源容量の大きな電池（稼働時間が3時間を超えるもの）を使用しているラジオゾンデについては、地上降下時に自動的に電源が断となるタイマーを備え付けることが望ましい。

注1. 「一般環境」とは、人体が電磁界にさらされている状況の認識や適正管理等が期待できず、不確定な要因があるケース（環境）を指す。一般の居住環境等において住民が電磁界にさらされているケース等がこれに該当する。

注2. 「管理環境」とは、人体が電磁界にさらされている状況が認識され、電波の放射源を特定できるとともに、これに応じた適切な管理が行える条件を指す。

（電波防護指針 平成9年4月24日より引用）

第4章 今後の需要予測及び旧システムの更改時期等について

今後、狭帯域化ラジオゾンデシステムの利用が増加する傾向があるので、周波数利用効率の低い広帯域アナログゾンデシステムとの共用が難しくなる。狭帯域化ラジオゾンデシステムが一定の数量に普及する時期を見て、広帯域アナログゾンデシステムの利用を停止することが望ましい。

なお、現在、広帯域アナログラジオゾンデシステムについて、メーカーは製造・販売を中止しており、現在国内に出回っているもののうち大半が、大学、研究機関等で保有しているもので占めている。

したがって、広帯域アナログラジオゾンデの購入時期、耐用年数等を考慮した上で、電波の有効利用に資するために、広帯域アナログラジオゾンデとして使用している無線局

の使用期限を設定することが望ましいと思われる。

第5章 気象観測用ラジオゾンデの高度化のための技術的条件

5.1 一般条件

5.1.1 システムの定義

「ラジオゾンデ」とは、航空機、自由気球、たこ又は落下傘（パラシュート）に通常装置する気象援助業務用の自動送信設備であって、気象資料を自動的に送信し、または中継するものをいう。

5.1.2 使用周波数帯

ラジオゾンデの使用周波数帯については、気象援助業務の無線システムに割り当てられた国際共通バンド、地震火山観測用テレメータとラジオ・ロボットとの離調と整合を図ることから、403.3MHz から 405.7MHz までを使用可能な周波数帯とする。

5.1.3 チャンネル間隔

今後の利用拡大、スプリアス領域における不要発射の強度の許容値から干渉を回避できる離調間隔を踏まえると、100kHz とすることが適当である。

5.1.4 空中線電力

所要の測定距離を確保するため 200mW 以下とすることが適当である。

5.1.5 空中線系

絶対利得 3dBi 以下であること。

5.1.6 通信方式

通信方式については、利用形態を踏まえ、単向通信又は同報通信方式とする。

5.1.7 電波の変調方式及び型式

各センサ等のアナログ、デジタルデータを単一または複数のチャンネルで伝送するものであることから、ASK、FSK 又は PSK の利用が想定される。ただ、現在の国内及び諸外国の利用状況、及び将来的に追加される方式を考慮すると、型式については今後の検討課題とするのが望ましいと思われる。

5.1.8 送信時間制御

他の無線局への与干渉軽減のため、設定された時間の経過後に自動的に電波の発射停止を行うことができることが望ましい。

5.2 無線設備の技術的条件

5.2.1 周波数の許容偏差

自由気球を用いて観測するラジオゾンデは、地上から高度 30km の上空まで上昇するまでの間、厳しい周囲環境（ $-90^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$ ）に曝されるため、周波数安定度は確保することが一般の機器と比較し困難である。諸外国の許容値に合わせ、 $\pm 50\text{ppm}$ 以下とすることが適当である。

5.2.2 占有周波数帯幅の許容値

隣接チャネルとの間隔 100kHz と周波数の許容偏差 50ppm から、占有周波数帯幅の許容値は 60kHz 以下とすることが適当である。

5.2.3 空中線電力の許容偏差

許容偏差 上限 20%, 下限 50%とすることが適当である。

5.2.4 スプリアス領域における不要発射の強度の許容値

搬送波からの周波数の離隔 300kHz 未満を除き、 $25\mu\text{W}$ 以下とし、参照帯域幅は設備規則別表第 3 号に準じ、表 5.2.4-1 及び図 5.2.5-1 のとおりとするのが適当である。

表 5.2.4-1 不要発射の周波数と参照帯域幅

不要発射の周波数	参照帯域幅
9kHz を超え 150kHz 以下	1kHz
150kHz を超え 30MHz 以下	10kHz
30MHz を超え 1GHz 以下	100kHz
1GHz 超え	1MHz

5.2.5 隣接チャネル漏洩電力

これまでの検討結果及び周波数の共用可能な技術的条件を国際的な整合性を踏まえると、図 5.2.5-1 及び表 5.2.5-1 のとおり、 $\pm 300\text{kHz}$ 以内を ETSI EN302 054-2 V1.1.1 Table 4 のマスクとするのが適当である。

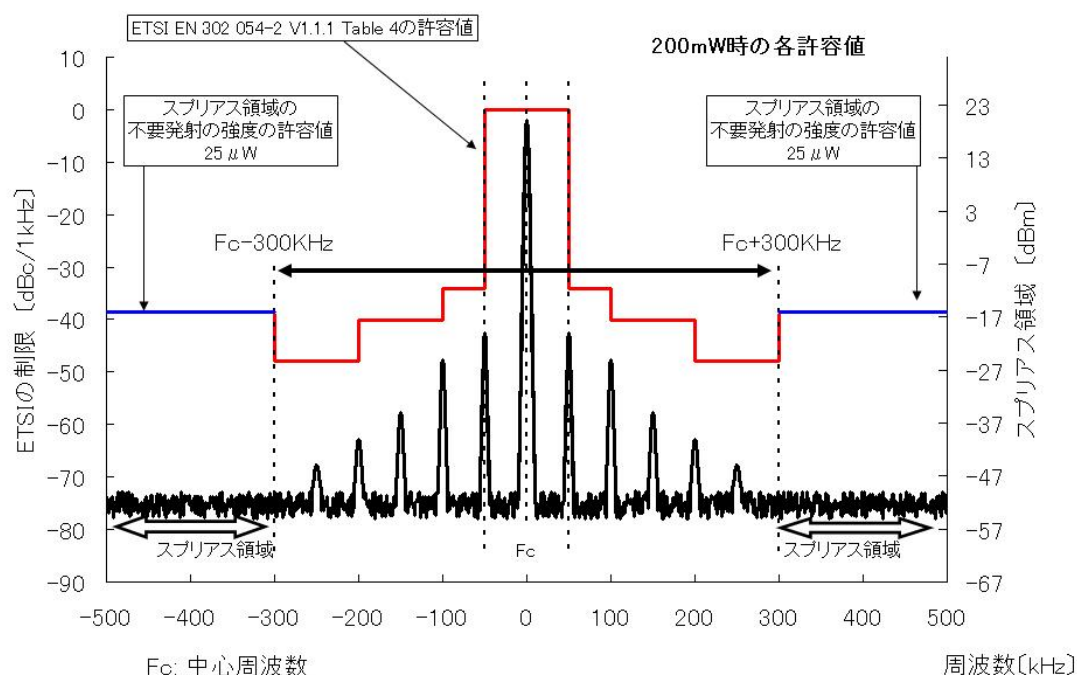


図 5.2.5-1 隣接チャネル漏洩電力とスプリアス領域における不要発射の強度の許容値

表 5.2.5-1 周波数の離隔 300kHz 未満における、搬送波との電力比

搬送波からの周波数の離隔	搬送波電力との比
50kHz 以上 100kHz 未満	-34dBc/1kHz

100kHz 以上 200kHz 未満	-40dBc/1kHz
200kHz 以上 300kHz 未満	-48dBc/1kHz

5.3 受信設備の条件

干渉検討から、狭帯域化ラジオゾンデシステムの受信機の近接選択度特性の通過帯域幅(-60dB)※を、±300kHz 以内とすることが望ましい。

※ CCIR.(現 ITU-R)が採用している定義により、通過帯域幅を「選択度特性曲線で減衰量が最小の点から 60dB だけ減衰した 2 つの周波数間隔」と定義する。

5.4 測定方法

5.4.1 概要

技術基準における各条件の測定方法は、既存の無線設備の測定方法に準じて定めることとし、次のとおりとする。

(1) 測定に用いる変調入力信号

測定に用いる変調入力信号は、特別の規定がない限り、データ端子から与えた標準符号化試験信号(符号長 511 ビット 2 値擬似雑音系列)とするか又は装置内で発生した標準符号化試験信号とする。

(2) 測定場所の条件(空中線端子無しの場合)

空中線端子がなく空中線一体型で測定を行う場合の測定場所は、昭和 63 年郵政省告示第 127 号(発射する電波が著しく微弱な無線局の電界強度の測定方法)の条件に準じて、試験機器を木その他絶縁材料により作られた高さ 1.5m の回転台の上に設置して測定することとし、測定距離 3m の 5 面電波暗室又は床面反射のあるオープンサイト若しくはそれらのテストサイトとすること。

この場合、テストサイトの測定用空中線は、指向性のものを用いること。また、被測定対象機器の大きさが 60cm を超える場合は、測定距離をその 5 倍以上として測定すること。

(3) 試験機器の条件(空中線端子無しの場合)

空中線端子無しの場合においては、電源ケーブル、外部インタフェースケーブル等のケーブルが付属する場合、空中線の形状が変化する場合及び金属板等により放射特性が影響を受ける場合においては最大の放射条件となる状態を特定して測定する。

5.4.2 送信装置

(1) 周波数の偏差

ア 空中線端子付きの場合

無変調波を送出してこれを周波数計で測定する。ただし、無変調にできない場合は、占有周波数帯幅の測定と同様に行い、その上限周波数と、下限周波数の中間周波数を測定結果とすることができる。この場合、標準符号化試験信号等で変調することとするが、許容値の判定に十分な精度が得られる場合通常用いられる変調信号を用いることができる。

イ 空中線端子無しの場合

上記 5.4.1(2)、(3)の条件又は適当な RF 結合器若しくは空中線で結合し、アと同様にして測定すること。

(2) 占有周波数帯幅

ア 空中線端子付きの場合

標準符号化試験信号を入力信号として加えたときに得られるスペクトル分布の全電力を、スペクトルアナライザ等を用いて測定し、スペクトル分布の上限及び下限部分における各電力和が、それぞれ全電力の 0.5%となる周波数幅を測定すること。

なお、標準符号化試験信号での変調が不可能な場合には通常運用される信号のうち占有周波数帯幅が最大となる信号で変調をかける。

イ 空中線端子無しの場合

上記 5.4.1(2)、(3)の条件又は適当な RF 結合器若しくは空中線で結合し、アと同様にして測定すること。

(3) スプリアス領域における不要発射の強度

ア 空中線端子付きの場合

占有周波数帯幅を測定する変調状態にして、スペクトルアナライザを用いて平均電力（バースト波にあっては、バースト内の平均電力）を測定する。なお、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、技術的条件で定められた参照帯域幅に設定すること。ただし、精度を高めるため、分解能帯域幅を狭くして測定してもよく、この場合、不要発射の強度は、分解能帯域幅ごとの測定結果を参照帯域幅に渡り積分した値とする。なお、測定周波数範囲は、30MHz から 3GHz までとする。

イ 空中線端子無しの場合

上記 5.4.1(2)、(3)の条件として、アと同様にして測定すること。

また、ここで求めた値に不要発射周波数の空中線絶対利得を減じて給電点の電力を求めることとする。

なお、測定周波数範囲は、30MHz から 3GHz までとすることが望ましいが、無線機器の回路構成等から判断し不要発射が許容値を十分に下回る帯域については省略することができる。

(4) 空中線電力の偏差

ア 空中線端子付きの場合

標準符号化試験信号を入力して、平均電力（バースト波にあっては、バースト内の平均電力）を高周波電力計を用いて測定する。なお、測定は無線設備を連続送信状態として測定することが望ましいが、バースト波にて測定する場合は、送信時間率（電波を発射している時間／バースト繰り返し周期）が最大となる値で一定の値としてバースト繰り返し周期よりも十分長い区間における平均電力を測定し、送信時間率の逆数を乗じてバースト内平均電力とする。ただし、バースト周期が長い場合はスペクトルアナライザ等を用いてバースト内平均電力を求めることができる。

なお、試験用端子が空中線端子と異なる場合は、空中線端子と試験用端子の間の損失等を補正する。

イ 空中線端子無しの場合

上記 5.4.1(2)、(3)の条件として、アと同様にして測定すること。

なお、スペクトルアナライザを用いる場合は、分解能帯域幅を占有周波数帯幅の測定値より広く設定して測定し置換法により等価等方輻射電力を求める。

(5) 隣接チャネル漏洩電力

ア 空中線端子付きの場合

占有周波数帯幅を測定する変調状態にしてスペクトルアナライザを用いて変調された搬送波の電力及び搬送波から隣接チャネル間隔離れた周波数において技術基準で定められる帯域内の電力を測定し、搬送波電力との比を測定することが適当である。

イ 空中線端子無しの場合

上記 5.4.1(2)、(3)の条件又は適当な RF 結合器若しくは空中線で結合し、アと同様にして測定すること。

別表 1

情報通信審議会 情報通信技術分科会 小電力無線システム委員会 構成員

氏 名	所 属	
森川 博之	東京大学 先端科学技術センター 教授	主 査
小川 博世	(独)情報通信研究機構 新世代ワイヤレス研究センター長	主査代理
阿部 宗男	KDDI(株) 運用統括本部 サービス運用本部 国際サービス運用センター 担当部長	専門委員 (H20.5 まで)
伊藤 ゆみ子	マイクロソフト(株)執行役 法務・政策企画統括本部長	〃
遠藤 信博	日本電気(株)執行役員 モバイルネットワーク事業本部長	〃
久間 和生	三菱電機(株)常務執行役 開発本部長	〃
斉藤 利生	日本電信電話(株)技術企画部門 電波室長	〃
坂下 仁	リンテック(株) 情報通信材料部 部長	〃
高野 健	(株)富士通研究所 フェロー	〃
千葉 徹	シャープ(株)取締役 研究開発本部 副本部長	〃
徳広 清志	(株)NTTドコモ 執行役員 ネットワーク本部 ネットワーク企画部長	〃
所 眞理雄	ソニー(株)業務執行役員 SVP、技術渉外担当	〃
丹羽 一夫	(社)日本アマチュア無線連盟 副会長	〃
野尻 忠雄	(株)デンソーウェーブ 執行役員 常務	〃
野本 俊裕	日本放送協会 放送技術研究所(システム)部長	〃
萩原 英二	パナソニックモバイルコミュニケーションズ(株) 常務取締役	〃
波多野 誠	日本テキサス・インスツルメンツ(株)RFID 製品部 部長	〃
平野 忠彦	マイティカード(株)取締役 技術本部長	〃
堀部 晃二郎	KDDI(株)技術渉外室 電波部 管理グループリーダー 担当部長	〃 (H20.5 から)
本多 美雄	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会 委員長	〃
正村 達郎	日本無線(株) 取締役 研究開発本部長	〃
宮内 瞭一	(社)全国陸上無線協会 専務理事	〃
山田 敏雄	東京電力(株)電子通信部長	〃
弓削 哲也	ソフトバンクテレコム(株) 専務取締役専務執行役員 兼 CTO 研究所長 兼 渉外部担当	〃
若尾 正義	(社)電波産業会 専務理事	〃
渡辺 栄一	(株)東芝 経営監査部 経営監査第五担当 参事	〃

別表 2

情報通信技術分科会 小電力無線システム委員会
気象観測用ラジオゾンデ高度化作業班 構成員

(五十音順)

氏 名	所 属	
阿保 敏広	気象庁 観測部 観測課 調査官	
加納 康臣	宇宙航空研究開発機構 宇宙輸送ミッション本部 宇宙輸送系システム技術研究開発センター 主幹開発員	
黒田 幸夫	(財) 日本気象協会 首都圏支社 ソリューション部 部長代理	
櫻井 博昭	ヴァイサラ (株) リージョナルマネージャー	
鈴木 重教	(株) 鶴見精機 取締役	
津幡 岳弘 (第1回のみ) 吉田 努 (第2回以降)	防衛省 運用企画局 情報通信・研究課 防衛部員	
豊島 健	日本メドトロニック株式会社 CRDM事業部 テクニカルフェロー	
中川 永伸	(財) テレコムエンジニアリングセンター 技術部 担当部長	
藤田 真	明星電気株式会社 本社・工場 技術開発本部 基盤・研究開発部 エキスパート・エンジニア	
保科 玄吾	バイオトロニックジャパン株式会社 カーディアック・リズム・マネジメント マーケティング ホームモニタリング プロダクトマネージャー	
若尾 正義	社団法人電波産業会 専務理事	主 任

主要なラジオゾンデ送信装置一覧

メーカー	装置型番	周波数 範囲 (MHz)	最小 ステップ (kHz)	占有周波 数帯幅 (KHz)	周波数 偏差 (kHz)	電波の 型式	変調 方式	空中線			持続時間 (分)	伝送速度 (bps)	不要発射 の強度 (μW)	空中線電 力の許容 偏差(%)	打上げ高 度(km)	係留型の 該当の有 無	打上げ場 所	観測データ	備考
								電力 (mW)	種類	利得 (dBi)									
明星	RS-06G	400-406 地上ソフトによる	100	12kHz以下	$\pm 50\text{ppm}$	F1D	FSK	100	スリーブ	2.14	180	1200	25	+20%/- 50%	40km以 下	有	陸上及び 海上	温度、湿度、気圧(算 出)、風向、風速	
	RS-01GM	400-406 地上ソフトによる	100	12kHz以下	$\pm 50\text{ppm}$	F1D	FSK	100	スリーブ	2.14	120	1200	25	+20%/- 50%	40km以 下	無	陸上及び 海上	温度、湿度、気圧(算 出)、風向、風速	
	RS-01G	403.7-405.2	100	20kHz以下	$\pm 50\text{ppm}$	F1D	FSK	100	スリーブ	2.14	120	1200	25	+20%/- 50%	40km以 下	有	陸上及び 海上	温度、湿度、気圧(算 出)、風向、風速	
	JWA-01G 型低層ゾ ンデ	403.7-405.2	100	20kHz以下	$\pm 50\text{ppm}$	F1D	FSK	100	スリーブ	2.14	120	1200	25	+20%/- 50%	40km以 下	無	陸上	温度、湿度、気圧(算 出)、風向、風速	
シビカン	MKIIA	400-406	無段	250KHz	$\pm 405\text{KHz}$ ($\pm 1000\text{ppm}$)	F1D	FSK	240	ダイポール	2.15	120	9600	-	+20% -50%	30Km	無	固定又は 移動体	気温、相対湿度、気圧、 風向、風速(GPSから算 出)、実気圧(オプショ ン)	
(鶴見)	LMS6	400.25-405.875	375(標準)	28KHz	$\pm 13\text{KHz}$ ($\pm 30\text{ppm}$)	F1D	FSK	63	ダイポール	2.15	120	4800	$0.006\mu W$ (-70dBc)	+20% -50%	30Km	無	固定又は 移動体	気温、相対湿度、気圧、 風向、風速(GPSから算 出)、実気圧(オプショ ン)	
VISALA	RS92- AGP	400.15-406	10	5.25	$\pm 50\text{ppm}$ 以下	F1D	GMSK	25	$1/4\lambda$ モノポー ル	2	135	4800						気圧、温度、湿度、高層 風	製造中止
	RS92- SGP	400.15-406	10	8.75	$\pm 50\text{ppm}$ 以下	F1D	GFSK	80	$1/4\lambda$ モノポー ル	2	135	2400						気圧、温度、湿度、高層 風	
	RS80-15	400.15-406		300kHz	$\pm 300\text{kHz}$	F9D	FM	200										気圧、温度、湿度、高層 風	製造中止

ラジオゾンデの無線設備の諸元

(諮問第 2009 号「小電力無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち「体内植込型医療用データ伝送システムの技術的条件」参考資料 1 より抜粋)

項目		ラジオゾンデ A		係留ゾンデ B		ラジオゾンデ C		備考
送信系	送信周波数	404.50	MHz	404.50	MHz	404.50	MHz	
	占有周波数帯幅	30.00	kHz	30.00	kHz	20.00	kHz	
	空中線電力	0.10	W	0.10	W	0.08	W	Pt
		20.00	dBm	20.00	dBm	19.03	dBm	
	空中線利得	2.15	dBi	2.15	dBi	0.00	dBi	Gt
	給電線等損失	0.00	dB	0.00	dB	0.00	dB	Lft
	e i r p	22.15	dBm	22.15	dBm	19.03	dBm	Eirp=Pt+Gt-Lft
受信系	受信周波数	404.50	MHz	404.50	MHz	404.50	MHz	
	空中線利得	11.15	dBi	7.65	dBi	8.00	dBi	Gr
	給電線等損失	1.00	dB	1.00	dB	0.00	dB	Lfr
	総合雑音電力	-116.64	dBm	-116.64	dBm	-128.56	dBm	$Prn=10\log(10^{Prni/10}+10^{Prne/10})$
	内部雑音レベル	-116.84	dBm	-116.84	dBm	-134.05	dBm	$Prni=10\log(KTB)+NF+30$
		雑音指数	10.00	dB	10.00	dB	2.00	NF
		等価雑音帯域幅	50.00	kHz	50.00	kHz	6.00	B
	外部雑音レベル	-130.00	dBm	-130.00	dBm	-130.00	dBm	Prne
	所要 C N R	16.00	dB	16.00	dB	5.00	dB	CNR
	所要受信入力電力	-100.64	dBm	-100.64	dBm	-123.56	dBm	$Pr=Prn+CNR$
	妨害波の許容受信電力	-126.79	dBm	-123.29	dBm	-136.56	dBm	$Pri=Prn+Lfr-Gr$

項目		ラジオゾンデD		ラジオゾンデE		ラジオゾンデF		備考
送信系	送信周波数	404.50	MHz	404.50	MHz	404.50	MHz	
	占有周波数帯幅	20.00	kHz	200.00	kHz	800.00	kHz	
	空中線電力	0.02	W	0.25	W	0.24	W	Pt
		13.01	dBm	23.98	dBm	23.80	dBm	
	空中線利得	0.00	dBi	0.00	dBi	0.00	dBi	Gt
	給電線等損失	0.00	dB	0.00	dB	0.00	dB	Lft
	e i r p	13.01	dBm	23.98	dBm	23.80	dBm	Eirp=Pt+Gt-Lft
受信系	受信周波数	404.50	MHz	404.50	MHz	404.50	MHz	
	空中線利得	8.00	dBi	8.00	dBi	10.00	dBi	Gr
	給電線等損失	0.00	dB	0.00	dB	0.50	dB	Lfr
	総合雑音電力	-128.56	dBm	-117.26	dBm	-108.79	dBm	$Prn=10\log(10^{Prni/10}+10^{Prne/10})$
	内部雑音レベル	-134.05	dBm	-120.56	dBm	-108.80	dBm	$Prni=10\log(KTB)+NF+30$
		雑音指数	2.00	dB	2.00	dB	6.00	NF
		等価雑音帯域幅	6.00	kHz	134.00	kHz	800.00	B
	外部雑音レベル	-130.00	dBm	-120.00	dBm	-138.00	dBm	Prne
	所要CNR	5.00	dB	5.00	dB	13.40	dB	CNR
	所要受信入力電力	-123.56	dBm	-112.26	dBm	-95.39	dBm	$Pr=Prn+CNR$
	妨害波の許容受信電力	-136.56	dBm	-125.26	dBm	-118.32	dBm	$Pri=Prn+Lfr-Gr$

RECOMMENDATION ITU-R SA.1346 (本文より転載、レイアウト一部校正)

**SHARING BETWEEN THE METEOROLOGICAL AIDS SERVICE AND
MEDICAL IMPLANT COMMUNICATION SYSTEMS (MICS) OPERATING IN
THE MOBILE SERVICE IN THE FREQUENCY BAND 401-406 MHz**

(Question ITU-R 144/7)

(1998)

The ITU Radiocommunication Assembly,

considering

- a) that the band 401-406 MHz is allocated to the Meteorological Aids Service on a primary basis;
- b) that Recommendation ITU-R SA.1165 specifies the technical characteristics of radiosonde systems in the Meteorological Aids Service, and that Recommendation ITU-R SA.1262 specifies the sharing and coordination criteria for Meteorological Aids operated in the band 401-406 MHz;
- c) that the Medical Implant Communication Systems are comprised of an implantable device which is installed within the human body, and a programmer, which is designed for radiocommunication operation at 2 metres away from the body for the programming and occasional communications with the implant device;
- d) that Medical Implant Communication Systems require a single band available worldwide, and may operate in the mobile service currently allocated on a secondary basis in the band 401-406 MHz;
- e) that with a limit of -16 dBm on the e.i.r.p. of Medical Implant Communication Systems (MICS), no harmful interference would occur to the operation of Meteorological Aids from the MICS;
- f) that interference mitigation techniques used by the Medical Implant Communication System equipment, as described in Annex 1, provides a high level of protection to their operation from possible interference by Meteorological Aids systems,

recommends

- 1** that sharing is feasible in the band 401-406 MHz between the Meteorological Aids Systems, and Medical Implant Communication Systems which are in compliance with *recommends* 2 and 3 and with the technical and operational characteristics described in Annex 1;
- 2** that the e.i.r.p. of Medical Implant Communication System transmitters be limited to -16 dBm (25 microwatts) in a reference bandwidth of 300 kHz in order to provide adequate protection of Meteorological Aids Systems;
- 3** that interference mitigation techniques, as discussed in Annex 1, should be used by Medical Implant Communication Systems to protect their operation.

Feasibility of co-channel sharing between Meteorological Aids and ultra-low power implantable medical devices in the 401-406 MHz band

1 Background

Millions of people worldwide depend upon active implanted medical devices to support and improve the quality of their lives. Active implants perform an expanding variety of therapeutic functions: regulating heart rates (via pacing and/or defibrillation), controlling pain, administering pharmaceuticals, controlling incontinence, and treating neurological remors to name just a few. As the technology continues to evolve and the population ages, service to humanity from these devices will rapidly increase from an already large base.

Communication links to implanted medical devices serve a variety of purposes, with new opportunities to improve patients' quality of life constantly arising. Today, communication links are used for: device parameter adjustment (e.g. pacing rate), transmission of stored information (e.g. stored electrocardiograms), and the real time transmission of vital monitoring information for short periods (e.g. cardiac performance during the implant procedure). A communications system for medical implant devices includes a programmer and an implanted device. The programmer transmits data to the implanted device and receives data from the implanted device. The programmer operates outside the human body and contains an ultra low power transceiver and an antenna. The implanted device also contains an ultra low power transceiver and an antenna, but operates inside the human body. The implanted device receives data from the programmer and transmits data to the programmer. Current technology that relies on RF induction cannot support the requirements for higher data rates (e.g. 100 kbps).

Implanted medical device communications systems are inherently portable. Patients travel around the world and can be far from their primary physician when an emergency arises and the need for device communication occurs. Likewise, programmers are often moved between medical facilities and countries. This mobility requirement and the constraints on the system design require the availability of at least a single channel between 250 and 450 MHz for use worldwide. For medical implant communication systems (MICS) to be successful, the identification of a single, worldwide band 3 MHz wide for use by all manufacturers is vital. Operation in a portion of the band (401-406 MHz) appears to be the only viable option.

For effective MICS operations, the effective radiated power needs to be in the range of -20 dBm (10 μ W) to -16 dBm (25 μ W). This low ERP in combination with the link being used almost exclusively indoors and in urban areas virtually eliminates the potential for MICS operations to interfere with Metajids. Note also that because the device's primary purpose is therapeutic, the communication link is used only 0.005% of the device's lifetime further limiting its interference potential.

2 MICS characteristics

2.1 Frequency of operation

The focus on 401-406 MHz as the frequency band for MICS operation is the result of many factors. The frequency band selected must be capable of reliably supporting high data rate transmissions, lend itself to small antenna designs, fall within a relatively low noise portion of the spectrum, propagate acceptably through human tissue, and be feasible with circuits that require a minimal amount of electrical power.

2.2 Total required bandwidth

MICS operations require 3 MHz of available spectrum for the creation of at least 10 channels. These channels are used to avoid interferers and support the simultaneous operation of multiple devices in the same area (such as clinics with multiple rooms). International spectrum studies have shown that even with 3 MHz available only one or two channels will be usable in many environments.

2.3 MICS link budget calculation

The parameters used for the analysis of MICS links are:

	Uplink (Implant $\Rightarrow$ Programmer)	Downlink (Programmer $\Rightarrow$ Implant)
Frequency	403.5 MHz +/- 1.5 MHz	
Modulation type	FSK	
Receiver noise bandwidth	200 kHz	25 kHz
Ambient noise at receiver input	20 dB above kTB	$\cong$ kTB (due to tissue loss)
Receiver noise figure	4 dB	9 dB
Receiver noise floor	-101 dBm	-121 dBm
Receive antenna gain	2 dBi	-31.5 dBi
Required SNR (BER = 1E-5)	14 dB	
Free space loss at 2 metres	30.5 dB	
Fade margin ¹ (with diversity)	10 dB	
Excess loss ² (polarization, etc.)	15 dB	
Transmit antenna gain	-31.5 dBi	2 dBi
Power into antenna	-2 dBm	-22 dBm
ERP	-33.5 dBm (at body surface)	-20 dBm ³

¹

By using the same antenna as selected for uplink and keeping the downlink message time short relative to the 4 Hz fade rate, link reciprocity keeps the downlink fade depth to 10 dB in spite of the absence of spatial diversity in this direction.

²

Excess loss in the link is the result of patient orientation, antenna misalignment, obstructions (such as a physician) in the main line of sight path and polarization losses. These statistically independent processes can be meaningfully modelled by adding 15 dB of margin. Note that polarization loss occurs to varying degrees for all antenna configurations.

³

For this analysis, -20 dBm (10 μ W) was used as the effective radiated power. Additional margin is desirable provided that it can be obtained without jeopardizing interference-free operation in the Metaids band and can be achieved within the design constraints imposed by the environment in which MICS stations will operate.

2.4 Duty cycle

The primary purposes of the devices with MICS capabilities are diagnosis and therapy. Since use of the communications system reduces the device lifetime for these operations it is used only when necessary. As an example, today's low frequency RF inductive communication system is activated for only 0.005% of the implanted device's lifetime (about 4 hours out of 9 years). In the case of the programming device used by the physician the duty cycle will be much higher. In the case of a clinic with multiple programmers, overall use of the band could approach 50% during business hours.

3 Analysis of Metaids susceptibility to MICS interference

3.1 Interference to radiosondes

Maintaining the viability of the extensive Metaids infrastructure is of great importance to the public. Current users of the band include radiosondes, rocketsondes, dropsondes and data collection platforms. Of these users, radiosondes appear to have the greatest susceptibility to interference. The e.i.r.p. of MICS programmers needs to be limited in order to accomplish the desired communications without causing interference to Metaids.

Recommendation ITU-R SA.1262 specifies that the interfering power to be received no more than 20% of the time is 161.9 dBW/300 kHz. Using the CCIR Standard Propagation Model¹ and 20 dB for building attenuation², it is determined that a MICS device must be within 421 metres to interfere with radiosonde operation. Note the use of the conservative assumption that the MICS frequencies and the radiosonde frequencies are perfectly aligned.

Clearly, the ultra low transmit power of the MICS equipment greatly reduces the interference potential. However, the probability of interference is also reduced by other factors that, while difficult to quantify, remain important:

Channelization. MICS operation will be channelized with the channel of operation selected based upon the lowest ambient noise level. A radiosonde operating at a given frequency will look like a narrow-band noise source in the MICS band, causing the MICS equipment to select a different channel. Thus, when a MICS programmer detects a radiosonde, it will respond in such a way that the radiosonde and the MICS programmer do not interfere with each other.

Interferer density. Due to the attenuation of waves launched from the body, the programmer is the only potential source of interference for Metaids users. Additionally, implanted device proliferation is limited by medical need, not consumer desire. This holds down the number of potential interferers to something much less than could be expected from a consumer or commercial application.

Interferer duty cycle. Implanted devices have a communications duty cycle of about 0.005% over their lifetime. The programmer, of which there are several orders of magnitude fewer, may have a much higher duty cycle.

Downlink duty cycle. Due to tissue attenuation, only communication to the implanted device has the potential to interfere with Metaids. The communication exchange will likely be half-duplex and highly asymmetric, with transmission to the implanted device occurring only a fraction of the time that the link is active. Typically, downlink will occur for only 10 ms out of every 250 ms of communication.

Thus, the typical radii for a MICS programmer to interfere with a radiosonde will be much less than 500 metres. In the rare case where a MICS programmer is within range, the probability of interference would be reduced by the need for MICS equipment to employ an interference avoidance algorithm to operate on a channel found to have a low noise level. The use of a low duty cycle and half-duplex operation by the MICS equipment, along with the duty cycle of the radiosonde system, also reduce the possibility of interference to Metaids.

3.2 Interference to the radiosonde ranging adjunct

The MICS signal will not interfere with the radiosonde ranging adjunct. The 25 Watt transmission power of the ranging adjunct is 60 dB higher than the MICS transmission power. The following formula predicts the carrier-to-interference ratio (note that this model would predict a higher C/I if building losses and MICS antenna directivity were included).

1 Okumura *et al.*, 1968.

2 Kozono, S., and K. Watanabe, "Influence of Environmental Building on UHF Land Mobile Radio Propagation", *IEEE Trans. Commun. Com-25* (Oct. 1977); Walker, E. H., "Penetration of Radio Signal into Building in the Cellular Radio Environment", *Bell Sys. Tech. J.* 62: 9 Pt. I (Nov. 1983); Ted Rappaport, "Wireless Communications" (Prentice Hall PTR), pp. 131-132; [Tur87] Turkmani, A. M. D., Parson, J. D. and Lewis, D. G., "Radio Propagation into Buildings at 441, 900, and 1 400 MHz", *Proceeding of the 4th International Conference on Land Mobile Radio*, December 1987; [Tur92] Turkmani, A. M. D., Toledo, A. F. "Propagation into and within buildings at 900, 1 800, and 2 300 MHz", *IEEE Vehicular Technology Conference*, 1992.

The worst case occurs at the end of flight when the balloon is at its maximum range from the transmitter ($x < 250$ km, height > 25 km). Under these conditions a C/I of 37 dB is predicted.

$$C/I = 4.34(12.89 + 2 \ln(((2rh) + x^2 + h^2 + r^2)^{1/2} - r) - \ln(x^2 + h^2))$$

where:

h = height (kilometres)

x = range (kilometres)

r = effective radius of the Earth (kilometres).

4 Analysis of MICS interference mitigation

Clearly, it is vital patients suffer no harmful effects from interference. This must be true for potential interference from Metaids, other intentional radiators, and unintentional radiators. Patient harm can arise in three ways: the implant device communications circuitry depletes the device battery responding to false activation, the link is unavailable when needed, and data are corrupted by interference. MICS equipment can protect the patient and implanted devices using a variety of techniques.

4.1 False alarm tolerance

To meet the longevity requirements of the device, the MICS implant device communications circuitry must be active only when communicating. It is, however, also necessary that the link be available on demand. To meet these conflicting requirements, the detection of a strong DC magnetic field (> 14 Gauss) can be used to activate the implant device communications circuitry. Upon detecting the magnetic field, the system would go through a channel identification and acquisition algorithm. Should link establishment be unsuccessful, the implant communications circuitry would return to dormancy, conserving battery energy. This method is used today for most implanted devices and has an extremely low false alarm rate.

In cases such as home monitoring where availability on demand is not a requirement, the system could poll at a long interval (typically for less than a second every 30 to 120 minutes) to determine if the establishment of a link is desired. The presence of interference prolongs the signal qualification and channel acquisition process, wasting battery energy. To avoid this, the microprocessor could program an increased polling interval until the interference subsides. For troubleshooting purposes the MICS transceiver could also report the problem during the next successful transaction.

4.2 Interference tolerance

Interfering signals reduce channel availability. The signal threats fall into three categories: impulsive, narrow-band and broadband. The following paragraphs describe interference management strategies for each.

By definition, impulsive interference is very short in duration and often of greater amplitude than MICS signal levels. MICS equipment can deal with this type of interference via the communications protocol. Either or both ARQ (automatic request repeat) or FEC (forward error correction) can be used to mitigate the effects of data errors caused by impulsive noise.

Narrow-band interference sources are those with bandwidths comparable to the MICS waveform and narrower. This source of interference is usually from other communicators who are using the same band. Narrow-band interferers will be avoided by MICS equipment through the use of frequency agility (changing the frequency of transmission) and channelization. This technique is required given the dynamics of worldwide spectrum usage and the presence of other intentional and unintentional radiators. Included in the category of narrow-band interferers are the Metaids users of the

band. The potential for a radiosonde to interfere with a MICS station is essentially zero. Given the typical radiosonde transmitted bandwidth of 300 kHz and the availability of 3 MHz of spectrum for MICS operations, at least ten radiosondes would have to be within 1 km to jam a MICS that employed up to 300 kHz of bandwidth per transmission. Likewise, Data Collection Platforms also have a low probability of interference. They tend to be geographically remote relative to MICS locations, with the DCP's low duty cycle working to the advantage of MICS operations.

Broadband interferers have a bandwidth in excess of the MICS waveform - potentially much broader. Such interferers may cover the entire 3 MHz band, making it impossible to avoid such interference by the simple expedient of changing the frequency of transmission. As such, broadband interference sources pose a great challenge to MICS operations. Should a broadband interferer make the entire channel unavailable, the first defense would be to operate the system at reduced range. The signals at the surface of the body are approximately 1 000 times stronger than at 2 metres, providing the opportunity to improve the SNR by 30 dB by moving closer to the patient. As a final resort, initial systems could deploy with both the low frequency RF inductively coupled technology and MICS transceivers, thereby allowing the use of the old system as a fallback.

An example of a type of broadband interferer are the secondary radars operating in this Meteorological Aids band in some countries for tracking radiosondes. The interference potential of such ground-based transmitters to MICS was theoretically analysed. Preliminary results indicate that a separation distance of 1.1 km produces unwanted signals in the MICS with a power spectral density equal to that of the MICS system noise. In practice, separation distances as low as 200 m should be sufficient for safe operations. These computations assume that the directional tracking antenna of the secondary radar points in the direction of the MICS. A further assumption was that the radar emits a broadband CW signal. While it is unlikely that pulsed signals will call for significantly larger separation distances, the exact influence of real co-channel secondary radars will be determined in field tests.

4.3 Maintenance of data integrity

To ensure patient safety, it is vital that all data sent to and received from the device be accurate. To meet this requirement, MICS equipment can use multiple error detection techniques. First, serial numbers and/or addresses identify all links. Second, once established, cyclic redundancy codes (CRC) validate all transmitted data. Analysis shows that these codes lower the probability of incorrectly programming implant parameters to about two in a billion. Third, each operation has a limited valid command set. And finally, additional protection arises from geographic separation operation times and the small coincidence of co-channel operation.

Clearly, the probability of a session being established and a Metacids user causing a programming error is essentially zero. More importantly, the Metacids user is not the major interference threat. Measured data show that it is common to have interferers of unknown origin in the band. The designers of MICS equipment understand it is their responsibility to insure that the signals of the Metacids users (and other radiators) will be unable to harm patients.

5 Summary

The continued development of implanted medical devices requires high speed (100 kbit/s) wireless short-range ultra low power data links. The successful deployment of this technology requires the identification of a worldwide 3 MHz band of suitable spectrum. Operation at e.i.r.p.s of -16 dBm or less in a portion of the Metacids band at 401-406 MHz can support Medical Implant Communication Systems reliably with very low probability of interference to the Metacids primary users of the band. No harmful interference to the Medical Implant Communication System is expected.