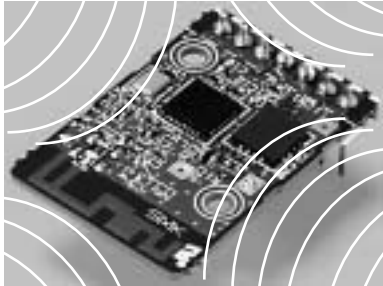


# RFリモコンの電波干渉対策



SMK株式会社 大塚 健二  
SMK Corporation Kenji OTSUKA

## Abstract

近年、2.4GHz帯ISMバンドを利用したRFリモコンの導入が始まっている。しかし2.4GHz帯ISMバンドは、ISM機器（電子レンジなど）以外にも、通信利用を目的とした無線LANなどが使用されており電波干渉が問題となる。

そこで、本稿ではリモコンという商品性の観点から2.4GHz帯ISMバンドにおける電波干渉対策の方針について述べる。

## Keywords

FHSS、DSSS、2.4GHz帯ISMバンド、IEEE802.15.4、Bluetooth、無線LAN、電子レンジ、PER

## 1. はじめに

これまでのリモコンは赤外通信が主流であったが、テレビの大画面化が進んだことや、リビングにおけるAV機器の配置環境の変化に伴い、従来の「赤外線」を利用したリモコンでは、指向性、伝送スピード、双方向通信、操作の拡張性に乏しく不便が生じ始めている。

例えば、昨今のテレビの大画面化によって、受光部が画面の端にあるため、画面中央にリモコンを向けても入力できない状況が発生している。またテレビの下のラックに周辺AV機器を置くと、テーブルが邪魔になり思うように操作できない。これら問題

の解決方法の1つとして、電波を利用したRFリモコンの導入が始まっている。

ところで、昨今の電化製品は、世界各国の市場に投入されるケースが多い。このため各国の電波法を遵守する必要があるところ、各国の規定は様々であり仕向け別の生産が必要となる。このような中、2.4GHz帯ISMバンドは世界各国で比較的に自由に使える帯域であることから、世界展開が図りやすく、2.4GHz帯ISMバンドを使用したりリモコンが増えている。そこで本稿では2.4GHz帯におけるRFリモコンの電波干渉対策について述べる。

〔表1〕2.4GHz帯ISMバンドにおける主な無線規格

通信方式	IEEE 802.15.4 ( ZigBee )	Bluetooth ( IEEE 802.15.1 )	無線LAN ( IEEE 802.11b )	無線LAN ( IEEE 802.11g )
利用周波数帯	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
無線部データ伝送速度	250kbps	3Mbps	11Mbps	54Mbps
変調方式	O-QPSK	G-FSK	CCK	64QAM
拡散方式	DSSS	FHSS	DSSS	OFDM
主な用途	センサーネットワーク	PC周辺・携帯など	LAN	LAN

## 2. 2.4GHz帯ISMバンド

無線周波数の大半は通信用途に使用され、基本的には免許が必要である。しかし電子レンジなどは、電磁波を通信以外の目的で使用し、不要放射は比較的微弱なレベルにとどまる。このような機器が自由に使用する周波数として2.4GHz帯が世界的に開放されている。

ISMバンドとはこの使用用途である産業・科学・医療 ( Industry-Science-Medical ) の頭文字をとってISMバンドと言われているものである。

近年この帯域において通信目的での ( 特にスペクトラム拡散機器に対して ) 利用を認める例 ( 日本電波法、FCC Part.15 など ) が多く、様々な無線規格がこの帯域で策定され利用されている。RFリモコンが使用される家庭環境においても、無線LAN、Bluetooth、ZigBee ( IEEE 802.15.4 ) などが使用されており ( 表1 )、ISM機器 ( 電子レンジ等 ) と同様に電波干渉対策が必要となる。

## 3. RFリモコンに必要な条件とは？

RFリモコンの電波干渉対策において、リモコンという商品性から以下の点に留意する必要がある。特に、後述する一定時間を待って再送する場合や、空きチャンネルを探し送信する方法をとる場合には、

〔表2〕RFリモコンに必要な条件

RFリモコンに必要な条件	要求仕様	備考
①電池寿命	1年以上	待機電流：数 $\mu$ A
②即時送信性	100ms以下	レイテンシ

リモコンの商品性を考慮した対策が必要となる。

### (1) 電池寿命

リモコンは電池駆動であることは周知の通りであるが、赤外線リモコンと同様に1年以上 ( 通常使用状態で ) は電池交換をしなくとも使用できることが求められる。特にリモコンは使用していない時間 ( ボタンを押していない時間 ) が大半であることから、待機電流が重視され、赤外線リモコンと同様に待機電流は数 $\mu$ A程度であることが望ましい。

### (2) 即時送信性があること。

リモコンは、ユーザーが本体に対して何らかの操作をする時に使用する。従ってユーザーがリモコンのボタンを押してから、伝送するまでに時間がかかるとユーザーはストレスを感じる。

一般にリモコンのキーが押されてから、操作機器側への伝送が終了するまでの時間 ( レイテンシ ) は100ms以内であることが望ましく、300ms以上になるとユーザーによっては、もどかしさを感じる場合がある。

#### 4. 理想的な自由空間における通信距離

理想的な自由空間における電波の伝搬損失は、距離の2乗に比例して減衰し、かつ電波の波長の2乗に反比例する。この理想的な自由空間ではフリスの伝達公式(式(1))が成り立つ。

$$W_e = \frac{A_R A_T W_T}{d^2 \lambda^2} = \frac{\lambda^2 G_{aT} G_{aR} W_T}{16\pi^2 d^2} \dots\dots\dots (1)$$

一方、伝送損失は式(2)のとおり規定される。

$$PL = \frac{W_T}{W_e} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \frac{1}{G_{aT} G_{aR}} \dots\dots\dots (2)$$

これをdB表示で表わすと式(3)が得られる。

$$PL [dB] = 10 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 - (10 \log G_{aT} + 10 \log G_{aR}) \dots\dots (3)$$

実際の伝送損失はフェージング等の影響より上記損失より大きくなる。

ここで大地の反射のみを考えた場合(図1)、フレネルの反射係数は距離がある程度離れると-1に収束するため伝搬損失は式(4)となる。

$$PL_0 = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \frac{1}{|1 - \exp(jk\Delta l)|^2} = \left( \frac{2\pi d}{\lambda} \right)^2 \frac{1}{\sin^2 \left( \frac{k\Delta l}{2} \right)} \dots (4)$$

波数:  $k = 2\pi/\lambda$

なお、 $\Delta l > \lambda/2$ の場合(dが近距離の場合)の平均の伝搬損失は式(4)のsinの項が平均では0.5となるため式(5)で表わされる。

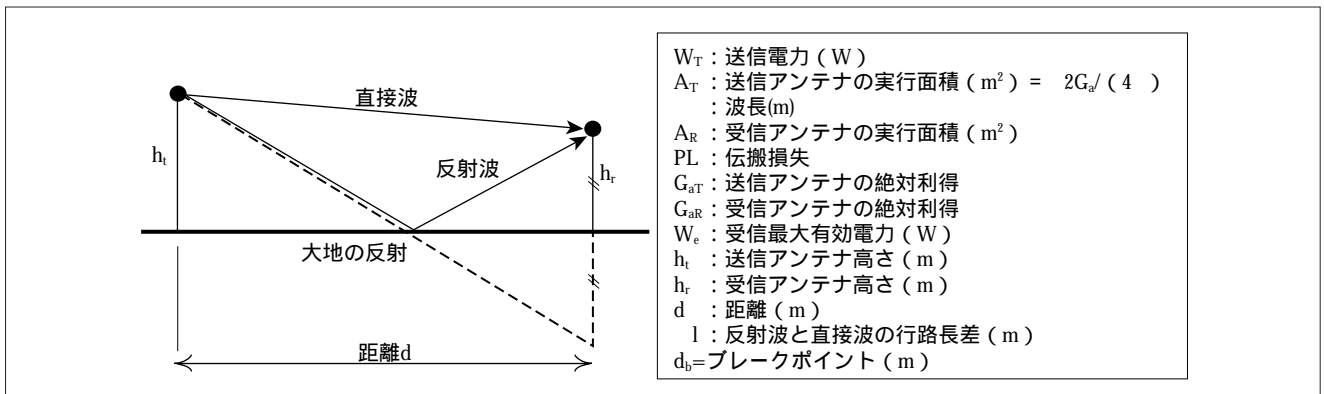
$$PL_0 = 2 \left( \frac{2\pi d}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (5)$$

さらに距離dが大きくなって $\Delta l \gg \lambda$ となると式(6)より距離の4乗に比例する。

$$PL_0 \approx \frac{d^4}{h_t^2 h_r^2} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、伝搬損失が、距離の2乗比例から4乗比例に変化する点をブレイクポイントといい、式(7)で表わされる。

$$d_b > \frac{2\sqrt{2\pi} h_t h_r}{\lambda} \dots\dots\dots (7)$$



〔図1〕大地の反射

図2に〔条件1〕での伝搬損失特性を示す。

ここで後述する、測定に使用した当社RFモジュールにおける伝送距離を求めると、パケットエラーレート1%以下で通信するために、送受信間で許される伝送損失は、〔条件1〕より、

$$PL = 0 - (-85) + (-2) + (-1) - 2 - 3 = 77[\text{dB}]$$

となる。

また、周波数2.45GHzで自由空間における伝送損失の関係式は式(3)で示されるから、

$$20 \log_{10} d[m] = PL - 40.22 = 77 - 40.22 = 36.78$$

$$d[m] = 10^{\frac{36.78}{20}} = 69.0[m]$$

となる。

なお、ブレイクポイントは、式(7)より  $d_b = 71.5m$  となるから、上記結果はブレイクポイント距離以内のため、上記結果が推定通信距離と言える。

実際の家庭環境での使用においては、フェージングの影響により損失が大きくなるため、上記で求めた通信距離より短くなる。

送信機の出力:  $W_T = 0$  (dBm)  
 受信機の感度:  $W_R = -85$  (dBm)  
 ...パケットエラーレート - 1%  
 送信アンテナの利得:  $G_T = -2$  (dBi)  
 受信アンテナの利得:  $G_R = -1$  (dBi)  
 送信、受信アンテナ高さ:  $h_t = h_r = 1$  (m)  
 受信部のアンテナとRF出力間の損失(不整合損失): 2 (dB)  
 送信部のアンテナとRF出力間の損失(不整合損失): 3 (dB)  
 周波数は2.45GHzとする。

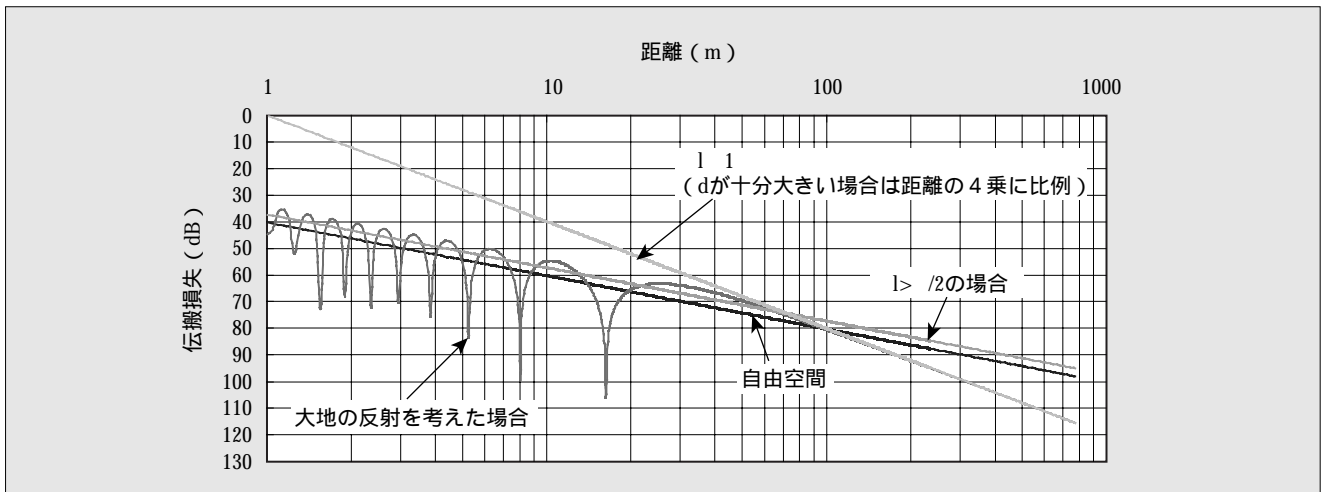
〔条件1〕

しかし、その前提として無線干渉が発生していないことが条件となる。他の無線局と共存する2.4GHz帯ISMバンドにおいて無線局本来の通信能力を引き出すには、電波干渉対策は必須といえる。

## 5. 電波干渉対策

他の無線局との電波干渉を回避する手段として主な方法は以下のとおりである。

- ① スペクトラム拡散技術による対策
- ② 周波数上の電波干渉対策



〔図2〕伝搬損失特性

### ③ 時間軸上の電波干渉対策

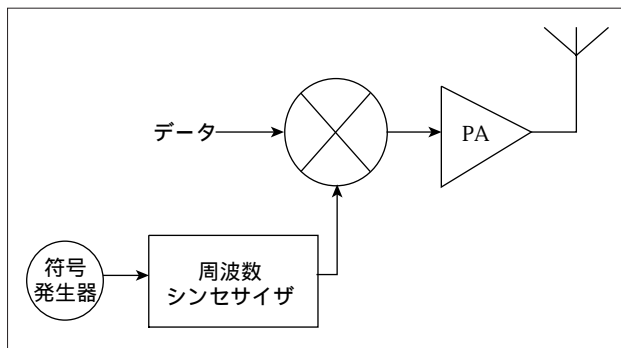
### ④ 空間上の電波干渉対策

これらの電波干渉対策において、リモコンの商品性を考慮した対策を行う必要がある。以下にその対策方法について具体的に述べる。

#### 5 1 スペクトラム拡散技術による対策

2.4GHz帯ISMバンドは、他の無線局と共存することが前提となるため、他の無線局へ与える干渉が小さく、また他の無線局から受ける干渉に強い変調技術が望まれるところ、従来のデジタル変調技術、例えば、振幅シフトキーイング（ASK：amplitude shift keying）、周波数シフトキーイング（FSK：frequency shift keying）では狭い特定の無線帯域を使用して通信を行うため、その特定周波数が他の無線局で使用されると直接影響を受けてしまい、ISMバンドに向いているとは言えない。

そこで、もともと軍事用の機密通信のために開発されたスペクトラム拡散技術が有効である。スペクトラム拡散とは、一次変調した信号をさらに広い周波数帯域に拡散させ送信する技術をいい、周波数ホッピング（FHSS：Frequency Hopping Spread Spectrum）と、直接拡散（DSSS：Direct Sequence Spread



〔図3〕FHSSの構成

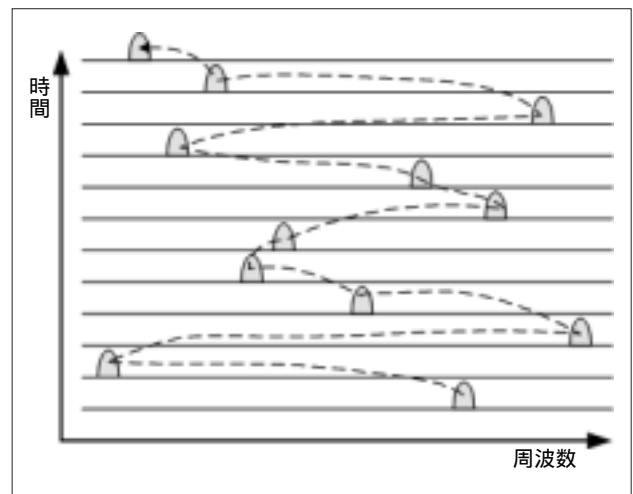
Spectrum)がある。いずれのスペクトラム拡散技術を用いても、従来のデジタル変調技術（ASK、FSKなど）より広い周波数帯域に拡散して送信するため、特定周波数の干渉を受けにくい。

#### 5 1 1 周波数ホッピング（FHSS）

周波数ホッピング（FHSS）はBluetooth（IEEE 802.15.1）等で採用されたスペクトラム拡散であり、周波数シンセサイザを用いて（図3）、信号の中心周波数を一定の順序で切り替え、広帯域で周波数をホッピングさせる技術である（図4）。一部の周波数で電波干渉が発生しても、移動した次の周波数では通信が回復し、電波干渉における障害を回避することができる。また、絶えず周波数を切り替え一定の周波数を占有しないため、他の無線局へ与える影響も限定的となる。

#### 5 1 2 直接拡散（DSSS）

直接拡散（DSSS）は無線LAN（IEEE802.11b）や、IEEE 802.15.4（ZigBee）等で採用されたスペクトラム拡散であり、送信側はQPSKなどの1次変調した



〔図4〕周波数ホッピングイメージ

信号に、PNコード等の拡散コード（PN符号）を乗積して送信する。一方受信側では、同じ拡散コードで逆拡散を行い、さらに復調処理を行う技術である。DSSSスペクトラム拡散波を図5に示す。

この一連の処理において、デジタル信号を非常に小さい電力で広い帯域に分散して送信を行うが、通信中に拡散された帯域の一部にノイズが局在した場合でも復元時にノイズが拡散されるため、干渉の影響が少ない（図6）。また、無線出力が小さくなるため、他の無線通信への干渉が小さいという特徴がある。



〔図5〕DSSSスペクトラム拡散波

図6に示した逆拡散による処理利得は式(8)で評価できる。

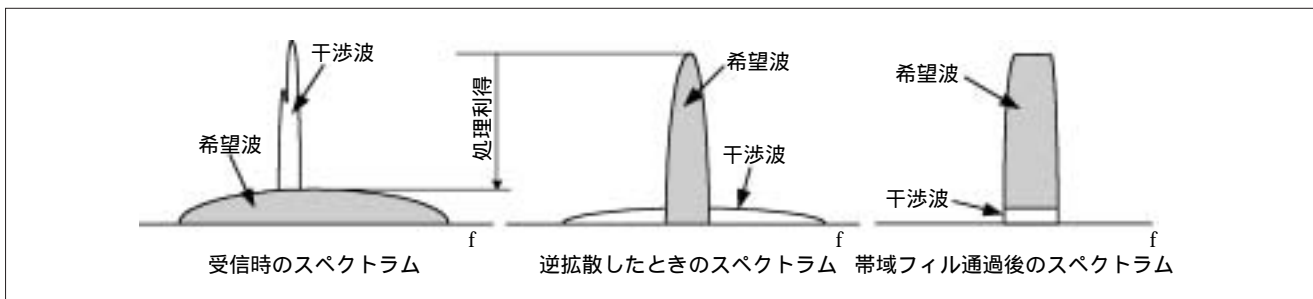
$$\begin{aligned} \text{利得処理 } G_p &= \frac{\text{逆拡散後の } S/N}{\text{逆拡散前の } S/N} \\ &= \frac{\text{無線周波数帯域幅 } (BW_{RF})}{\text{情報速度 } (R_{info})} \dots\dots (8) \end{aligned}$$

しかしながら、式(8)は、干渉波が処理利得分、希望波より大きい場合に処理装置が正常に通信することを意味する訳ではない。システムが干渉波の影響を受けて正常に通信する能力を示すには、妨害余裕度という別の概念を導入する必要がある。

妨害余裕度は、システムが正常に通信を行うために、必要な出力のSN比および内部損失を考慮に入れて、次のように定義される。

$$\text{妨害余裕度 } M_j = G_p - \left[ L_{sys} + \left( \frac{S}{N} \right)_{out} \right] \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 $L_{sys}$ はシステムの内部損失であり、 $(S/N)_{out}$ は出力情報のSN比である。例えば、当社のRFモジュールにおいては、無線周波数帯域幅( $BW_{RF}$ )=2MHz、情報速度( $R_{info}$ )=250kbps、1%パケットエラーレートでの $(S/N)_{out}$ =6dB（詳細はIEEE 802.15.4参照）、これにシステムの内部損失 $L_{sys}$ =3dBを式(9)により計算



〔図6〕逆拡散による利得



すると式(10)となる。

$$\begin{aligned} \text{妨害余裕度 } M_j &= 10 \log \left( \frac{2 \times 10^6}{250 \times 10^3} \right) \\ &\quad - (3[\text{dB}] + 6[\text{dB}]) = 0[\text{dB}] \quad \dots (10) \end{aligned}$$

これは、逆拡散前の希望波と同一レベルの干渉波があっても、1%パケットエラーレートで通信可能であることを意味する。

### 5 1 3 RFリモコンに適した無線規格

いずれのスペクトラム拡散技術も、電波干渉対策として有効であるが、リモコンの商品性として求められる即時送信性と電池寿命の観点から適した無線規格について検討する。

周波数ホッピング (FHSS) を用いた Bluetooth の規格について検討すると、Bluetooth における低消費電力モードとして①パークモード、②ホールドモード、③スニフモードが設けられている。しかし周波数ホッピングを行う都合上、少なくともマスタとスレーブは同期を維持しておく必要があり、いずれの低消費電力モードも電池駆動に適したレベルの待機電流にはならない。

また、同期維持を放棄して完全にスリープ状態にすることも可能であるが、同期の復帰に1~3s程度かかり即時送信性が失われる。リモコンの商品性を鑑みると周波数ホッピング (FHSS) を用いた Bluetooth の規格は向いていない。

一方、直接拡散 (DSSS) を用いた IEEE 802.15.4 は、Bluetooth のように周波数ホッピングは行わないため、送信側と受信側が同期する必要がなくスリープ状態から復帰後、数十msで送受信可能となる。また待機電流は数 $\mu\text{A}$ 程度と低い。

従って、直接拡散 (DSSS) を用いた IEEE 802.15.4 の無線規格が、RFリモコンにとって適した無線規格といえる。

以上から IEEE 802.15.4 の規格を用いた RFリモコンを前提として電波干渉対策について述べる。

## 5 2 周波数上の電波干渉対策

周波数上の対策とは、他の無線システムと異なる周波数を使用することによって電波干渉を回避する方法をいい、チャンネルを動的に移動しない無線LANとの電波干渉に有効である。

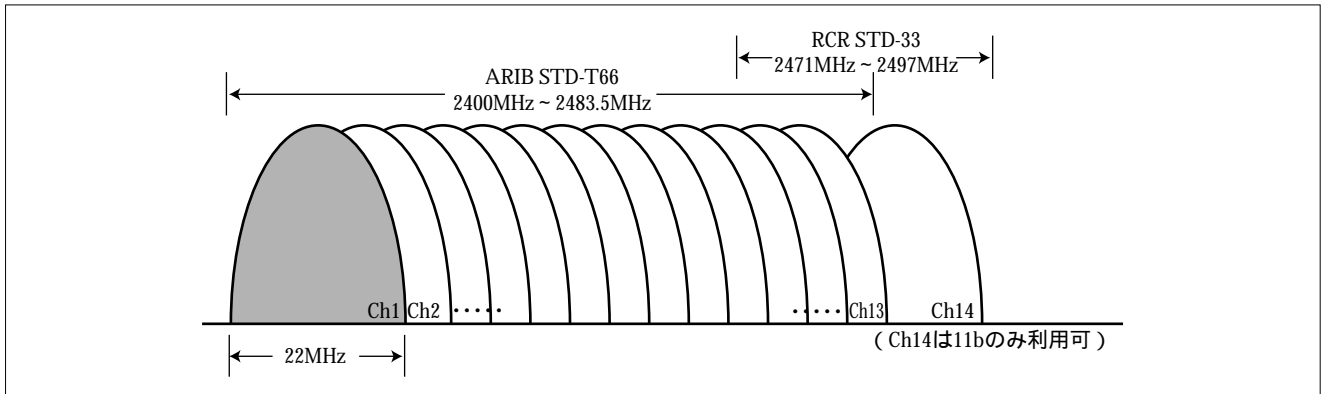
### 5 2 1 無線LANとRFリモコン

(IEEE 802.15.4) との電波干渉対策

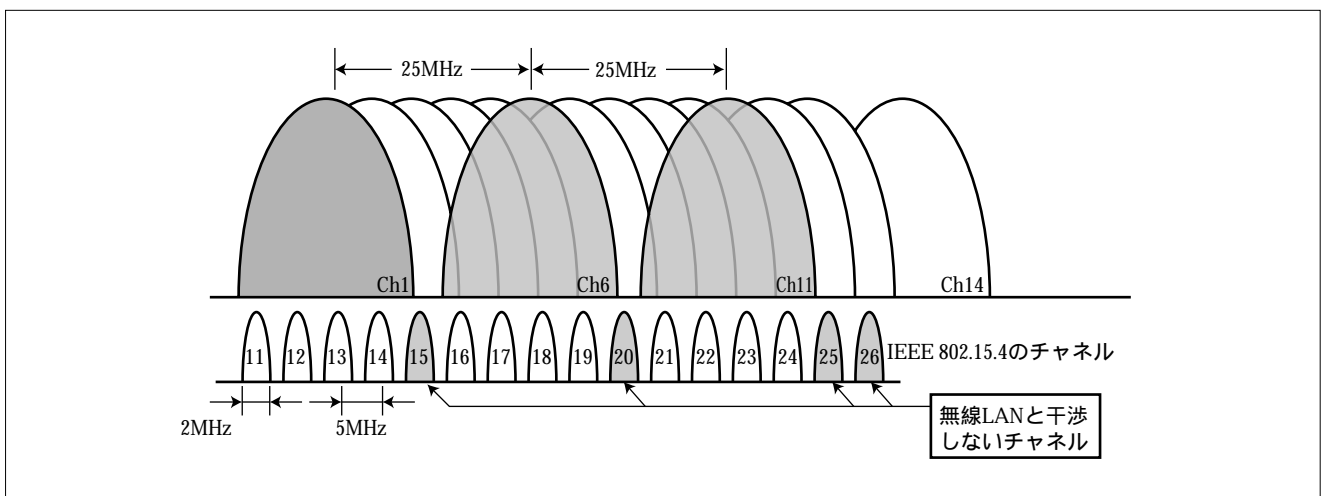
無線LANが使用するチャンネル構成は図7のとおりであるが、無線LANのチャンネルにはそれぞれ重なりがあるため、同時には3台までしか使用できない (.11bにおけるCh14を使用する場合は4台)。つまり干渉がないようにチャンネルを設定しようとする、5チャンネル離れたチャンネルに設定することになる。例えば無線LANのチャンネルをCh1、Ch6、Ch11と設定すれば、無線LAN同士の電波干渉が発生しないことになる (図8)。

この場合、無線LANの各チャンネルの両端は、中心付近に比べ電波密度が低くなることから、IEEE 802.15.4の無線チャンネルCh15、Ch20、Ch25、Ch26を使用すれば、無線LANとの干渉が回避できることになる (図9)。

空きチャンネルを探すには、IEEE 802.15.4のデバイスに実装されているクリアチャンネル評価 (CCA : clear channel assessment) を用いる。具体的にはCCAにより各チャンネルの無線エネルギーを検知しながらチャンネルサーチを行い目的のチャンネルを探すことに



〔図7〕無線LANのチャンネル構成



〔図8〕無線LANの空きチャンネル

なる。

### 5 2 2 電子レンジとの電波干渉対策

日本における電子レンジに関する規定は電波法施行規則第46条の7に定められている。この中で占有周波数帯幅は $2450\text{MHz} \pm 50\text{MHz}$ と規定されていることから、少なくとも電子レンジにおける設計値の狙いは $2450\text{MHz}$ 付近と想定され、この中心周波数から離れた周波数を使用した方が有利である。ほとんどの電子レンジは中心周波数より、両端周波数の

出力は低いと、予想されるからである。図10は電子レンジのスペクトラムを測定した一例である。上述の傾向が読み取れる。

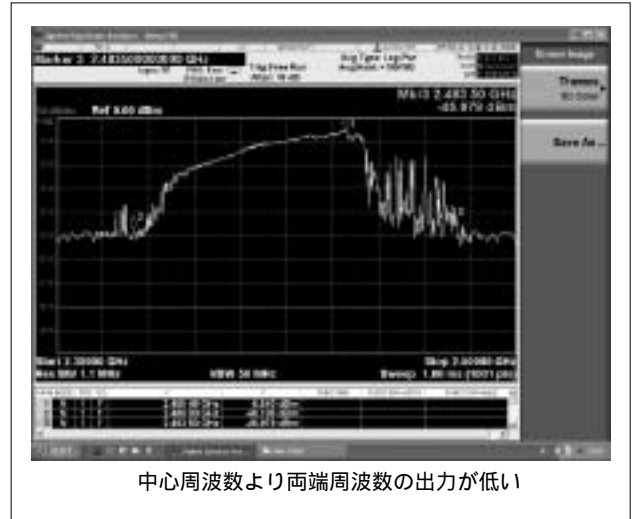
### 5 3 時間軸上の電波干渉対策

時間軸上の対策とは、電波干渉が生じた場合、一定の時間待って送信を行う方法や、再送手順を用意する方法をいい、Bluetoothとの電波干渉に有効である。





〔図9〕無線LANとの干渉を回避した様子



中心周波数より両端周波数の出力が低い

〔図10〕電子レンジのスペクトラム

### 5 3 1 BluetoothとRFリモコン

(IEEE 802.15.4)の電波干渉の発生頻度

Bluetoothは上述した通り周波数ホッピングを行っており、使用周波数(2.4000 ~ 2.4835GHz)中を1MHzの周波数幅で、625 $\mu$ sごとにランダムに79の通信周波数のいずれかにホッピングして通信を行う。

ここで、RFリモコンの packets 送信間隔を49.4ms<sup>注1)</sup>とし、Payload data(8byte)を送信したと仮定した場合に、どれくらいの頻度で干渉が発生するか検討する。

BluetoothとRFリモコンの各チャンネルにおける送信を時間経過のイメージで表わすと図11のとおりである。

注1) 計算上の便宜のため、RFリモコンの packets 送信間隔をBluetoothの全通信周波数のホッピング時間と同じ49.4msと想定した。なお、赤外線リモコンの送信間隔は、50 ~ 150ms間隔であることから短い送信間隔を想定したことになる。

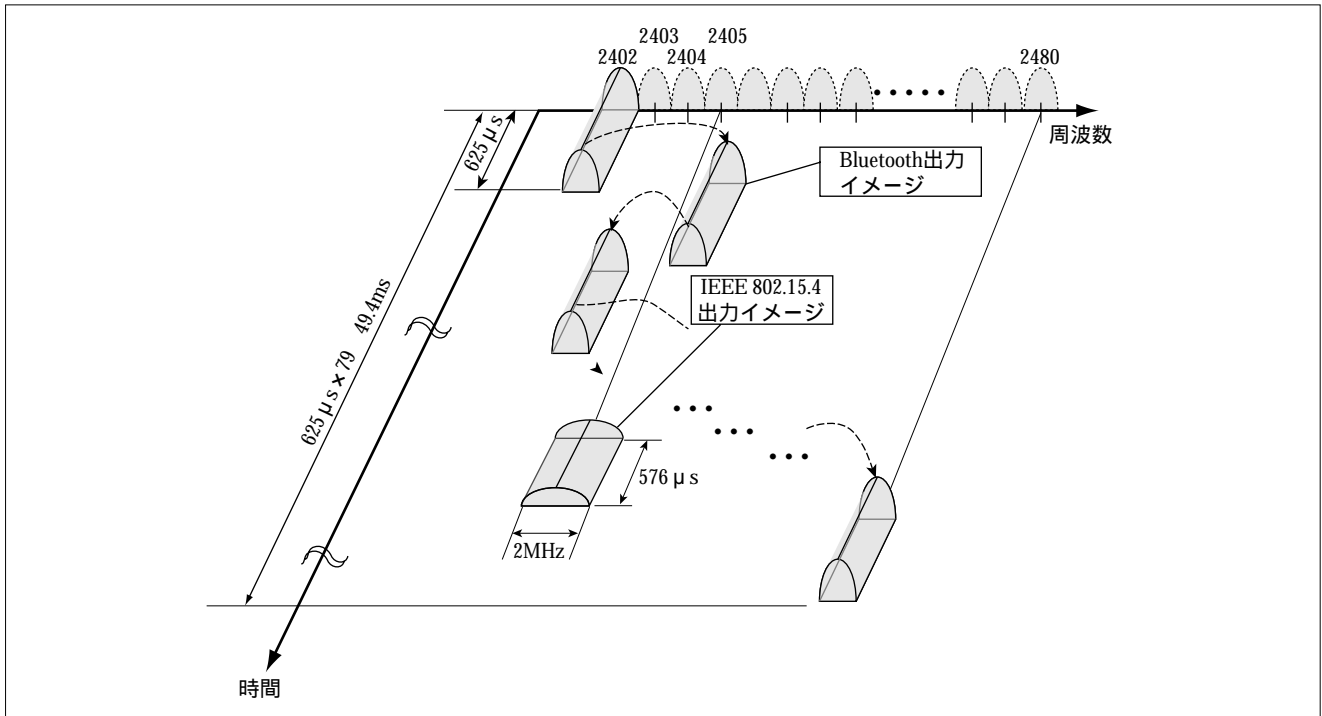
なお、IEEE 802.15.4の packets は、他の制御byte等をPayload dataに付加して送信するから1 packets の全byte数は18byteとなる。また無線転送レートは250kbpsであるから式(11)より、1 packets の送信時間は576 $\mu$ sとなる。

$$1 \text{ packets の送信時間} = \frac{\text{送信byte数} \times 8}{\text{無線転送レート}(bps)} \dots\dots (11)$$

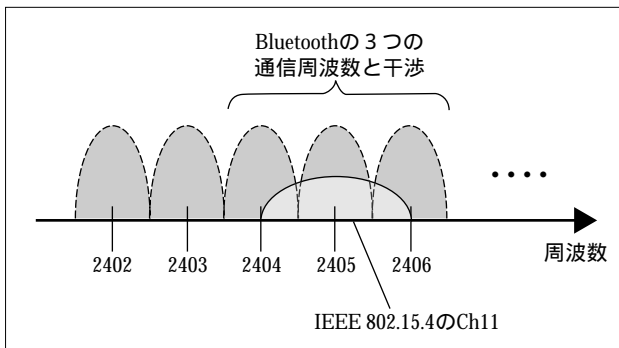
IEEE 802.15.4のチャンネル(例えばCh11)と干渉が発生するBluetoothの通信周波数は、図12より、3つの通信周波数(2404MHz、2405MHz、2406MHz)であるから、Bluetoothが全通信周波数をホッピングする間に、RFリモコンから送信される1 packets と干渉する時間は式(12)より約2.45msとなる。

$$\text{干渉が発生する時間} = \text{Bluetoothの1周波数における} \\ \text{送信時間} \times 3 + \text{IEEE 802.15.4の} \dots (12) \\ \text{1 packets 送信時間}$$

そうすると、干渉が発生する頻度は、式(13)より



〔図 11〕 Bluetooth と IEEE 802.15.4 の電波送信イメージ



〔図 12〕 Bluetooth と IEEE 802.15.4 の電波干渉

4.96%となる。

$$\text{干渉が発生する頻度} = \frac{\text{干渉発生する時間}}{\text{全周波数ホッピング時間}} \times 100 \dots (13)$$

リモコンの商品性から、パケットエラーレートは

1%以下であることが望ましく、4.96%は高いとはいえないが、何らかの干渉対策をとった方がよい。

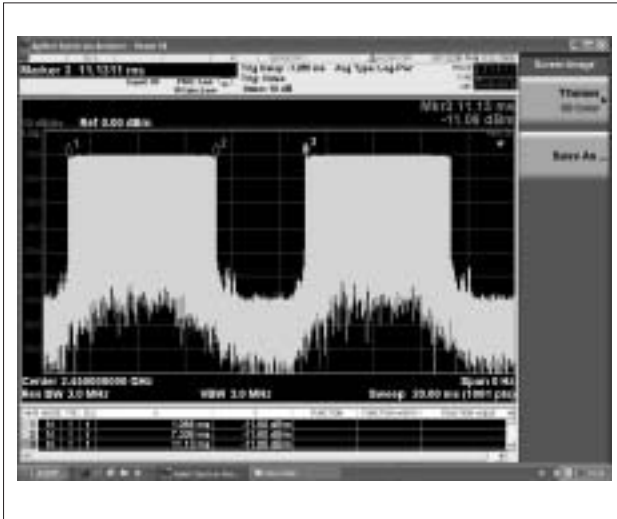
### 5 3 2 Bluetoothとの電波干渉対策

上記の結果から、再送手順を1回設けることにより、パケットエラーレートは1%以下にすることが可能である。また、CCAにより無線エネルギーを検知し、送信を開始すればさらに頻度を下げることができる。

### 5 3 3 電子レンジとの電波干渉対策

インバータ式電子レンジの電磁波を調査すると、図13のとおり絶えず電磁波出力をしている訳ではない。

一例として、今回の測定に使用した電子レンジでは、周期的に「電磁波 on 時間：6.283ms」と「電磁



〔図13〕電子レンジの出力スペクトラム

波 off 時間：3.792ms」が繰り返されている。

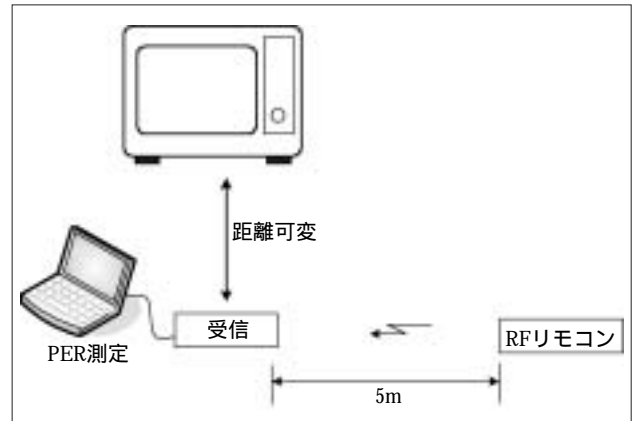
この場合、無線パケットを短くし伝送することにより、干渉の可能性が下がる。

例えば、測定で使用した電子レンジ使用中に、1パケット576 $\mu$ sの伝送を行うと、干渉する頻度は、68.1%になる。このため、CCAにより無線エネルギーを検知し無線送信を行うことで、送信確率の向上が期待できる。ただし、電子レンジによって出力周期が異なるため、CCA起動周期と一致しないように、ランダムに起動させる仕組みが必要となる。

#### 5 4 空間上の電波干渉対策

空間上の対策とは、物理的に距離を離すことにより対策を行うことを意味する。この対策は、ユーザーに期待することになり、メーカー側の積極的な対策とはいえない。しかしながら、これまでに述べた無線干渉対策で万全ということがなく、空間上の対策をとらなければならない場合がある。

以下に、一例として家庭環境下における、電子レ



〔図14〕測定の配置および構成

ンジの距離と、パケットエラーレート（PER）を測定した結果をまとめた。

#### 5 4 1 測定条件

- ① リモコンと受信側の距離を5mとする（家庭環境下における一般的なリモコン操作距離を想定）（図14）。
- ② インバータ式電子レンジの高周波出力は500Wとし、負荷として水2 $\ell$ 温める。
- ③ 通信は当社RFモジュール（FC8602T）を用いて、測定のため受信チャンネル（2405MHz、2450MHz、2480MHz）をそれぞれ固定して各周波数においてPERを測定した（「7.測定に使用したRFモジュール」参照）。
- ④ 1回の送信パケット数は1000パケットとし、3回送信の平均によりパケットエラーレート（PER）の算出を行う。1パケットは18byte構成とし、一般的なリモコンデータとしては最長のデータ長を想定した。
- ⑤ 測定環境は、他の無線の影響がない、家庭環境に近い室内で行った。各配置については図14のとおり。

りである（実環境下での影響を観測するため、フェージングの影響を含む室内での測定とした）。

#### 5.4.2 測定結果

各周波数チャンネルにおける、電子レンジからの距離とパケットエラーレート（PER）を表3に示す。

PER1%以上を得るには、2405MHzでは5m、2480MHzでは1m以上離して電子レンジを配置すればよいことがわかる。

#### 5.4.3 考察

表3の結果より、RFリモコンの商品性として求められる1%パケットエラーレートが望める距離は、電子レンジが出力する周波数帯域に依存する（測定に使用した電子レンジのスペクトラムは図10参照）。

電子レンジが使用する中心周波数の通信チャンネル2450MHz（Ch20）において、所望のパケットエラーレートを得るには、式（9）の妨害余裕度から推定すると40m以上離して電子レンジを設置しなければな

〔表3〕電子レンジからの距離とPER

距離 y	2405MHz	2450MHz	2480MHz
0m	17%	76%	2%
1m	10%	58%	0%
2m	5%	50%	0%
3m	3%	45%	0%
4m	3%	41%	0%
5m	0%	35%	0%

〔表4〕電波干渉対策として有効な手段

無線器またはISM機器	有効な干渉対策
無線LAN	チャンネルサーチなどによる空きチャンネル送信
Bluetooth機器	再送手順
電子レンジ	短い送信パケットの採用と、CCAによる送信タイミング調整および、電子レンジの中心周波数から離れた通信チャンネル（Ch11、Ch26など）の選択

らず、家庭環境においては実質的に不可能な対策となる。

ただし、通信チャンネル2405MHz（Ch11）では5m、通信チャンネル2480MHz（Ch26）では1m程度、電子レンジを離して設置すれば所望のパケットエラーレートを得ることができる。さらに、電子レンジを使用する時間は限られており、また使用中においてリモコンが全く使用できない訳ではない。従って、少なくとも先に述べた周波数上の対策および、時間軸上の対策を組み合わせ、パケットエラーレートの向上を図っておくことが必要である。

## 6.まとめ

RFリモコンと同じ家庭で使用される、無線LAN、Bluetooth、電子レンジとの電波干渉対策についてまとめると表4のとおりである。これまでの調査においては、表4の対策により、1%パケットエラーレートを得ることは可能であった。ただし、留意すべき点としては、今後、新たに登場する無線機器や、さまざまな加熱方式の電子レンジの登場が考えられ、そのような無線機器またはISM機器と物理的な距離を確保するなど、ユーザー側へ協力を求める記載が必要である点は、これまでの無線機器と同様である。

## 7. 測定に使用したRFモジュール

今回の測定に使用した当社のRFモジュールの仕様について簡単に紹介する。

外観は写真1のとおりでありプリントアンテナにより送受信を行うモジュールである。物理層はIEEE 802.15.4と同じパケット構造を採用している。なお、送信手順についてはリモコンに最適な無線干渉対策を送信プロトコルに実装したモジュールとなっている。一般特性、無線部仕様は表5・表6のとおりである。



〔写真1〕RFモジュール (FC8602T)

## 参考文献

- 1) 谷口慶治：「アンテナと電波伝搬」, 共立出版株式会社
- 2) Robert C. Dixon：「スペクトラム拡散通信方式」, 株式会社 日本技術経済センター
- 3) 鈴木博：「デジタル変復調技術」, 株式会社 横須賀テレコムリサーチパーク
- 4) 日本エリクソン株式会社, 宮津和弘：「Bluetooth技術解説ガイド」, 株式会社 リックテレコム
- 5) 鄭立：「ZigBee開発ハンドブック」, 株式会社 リックテレコム

〔表5〕一般特性

項目	仕様
電源電圧	2.1 ~ 3.6V
動作温度範囲	- 10 ~ +50
消費電流	42mA受信時 (typ.) / 5 $\mu$ Aスタンバイ時 (typ.) at 2.7V
上位インタフェース	URAT 19200bps PWM (IRデコードデータ)
外部接続	2.5mmピッチ 7ピン
外形寸法	20 x 30 x 5mm

〔表6〕無線部仕様

項目	仕様	単位	備考
周波数範囲	2400 ~ 2483.5	MHz	
1次変調方式	O-QPSK		Offset- Quadrature Phase Shift Keying
2次変調方式	DSSS		Direct Sequence Spread Spectrum
アンテナ	プリントアンテナ		
通信距離	20 (参考値)	m	妨害電波がないオープンエア