



## 3-1 周波数帯域とチャンネル

現在のIEEE 802.15.4仕様では、表3-1に示すような3つの周波数帯域、合計26チャンネルを使用することができますが、日本では電波法の制約から国内で利用できるのは2.4GHz帯のみです。

表3-1 IEEE 802.15.4の周波数帯域とチャンネル

周波数帯域	チャンネル数	変調方式	データ伝送速度	使用可能な区域
868MHz	1	BPSK	20 kbps	欧州
915MHz	10	BPSK	40 kbps	北米、南米
2.4GHz	16	O-QPSK	250 kbps	全世界

868/915MHzのUHF帯域のチャンネルは、2.4GHzと比べてデータ伝送速度は低いのですが、次のメリットがあります。

- 実装難度：周波数が低いので、実装がやさしい。
- 通信距離：低周波数と低データ伝送速度のため、通信距離が長い。例えば、IEEE 802.15.4では、868/915MHzのUHF帯域に必要な最低受信感度は $-92\text{dBm}$ であるのに対して、2.4GHz帯域に必要な最低受信感度は $-85\text{dBm}$ に規定されている。これによって、理論上フリー・スペースでの（障害物のまったく無い状態での）1mW出力の送信距離は、2.4GHzが178mなのに対して、915MHzは1000mまで通信できる。
- 干渉電波：無線LANなどの電子機器からの干渉が少ない。

残念ながら日本では、現在の電波法によって、国内では868/915MHz帯のチャンネルを利用することはできません。このため本書では、主にIEEE 802.15.4の2.4GHz帯について解説します。しかし最近、総務省はUHF帯域 アクティブRFID（電子タグ）およびZigBeeに950MHz帯の使用を認可する方向への検討を進めているようです。一方、開発中のIEEE 802.15.4b仕様では、オプションとして915MHz帯で高速（250kbps）の変調方式をサポートする予定です。IEEE 802.15.4bの仕様は、現在のIEEE 802.15.4仕様の機能強化版で、2006年前半にリリースされる予定です。



実装しやすいUHF帯域で動作するワイヤレス・センサ・ネットワークは、伝送距離をより長くできる。IEEE 802.15.4bの完成と、日本の電波法の改定が期待される。

IEEE 802.15.4の2.4GHz帯域の16チャンネルの中心周波数を表3-2に示します。

表3-2 2.4GHz帯域のIEEE 802.15.4のチャンネル

チャンネル	中心周波数	チャンネル	中心周波数
11	2405MHz	19	2445MHz
12	2410MHz	20	2450MHz
13	2415MHz	21	2455MHz
14	2420MHz	22	2460MHz
15	2425MHz	23	2465MHz
16	2430MHz	24	2470MHz
17	2435MHz	25	2475MHz
18	2440MHz	26	2480MHz

図3-1に、IEEE 802.15.4の2.4GHz帯域の16チャンネル配置と、それに対応する日本の規制「2.4GHz帯高度化小電力データ通信システム (ARIB STD-T66)」で許可された周波数帯域2400MHz～2483.5MHzを示します。IEEE 802.15.4の2.4GHz帯域のチャンネルは2MHzを占有しますが、隣接チャンネルの中心周波数間隔は5MHzあります。このため、無線LANと違って、隣接チャンネルの帯域は互いに重ならないので、同時に使用しても理論的には相互に影響しません。

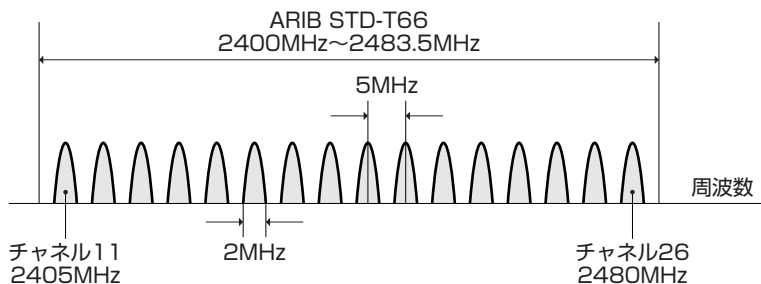


図3-1 IEEE 802.15.4のチャンネル



2400MHz～2483.5MHz帯域の無線LANでは、13チャンネル設定可能だが、隣接チャンネルの帯域が互いに重なりあっているため、すべてのチャンネルを同時に使うことはできない。隣接チャンネルが重ならない条件では、同時に使えるチャンネルは3つしかない。

同じ2.4GHz帯域を使用する IEEE 802.15.4・ZigBeeでは、16チャンネル設定されており、隣接チャンネルの帯域が互いに重ならないので、すべてのチャンネルを理論上は同時に使うことができる。

2.4GHz周波数帯域のIEEE 802.15.4物理層に関する他の主要パラメータを表3-3に示します。

表3-3 IEEE 802.15.4の物理層のパラメータ

パラメータ	規定値	説明
データ伝送速度	250kbps	理論上の最高データ伝送速度
シンボル・レート	62.5kシンボル/秒	拡散前の変調信号速度、3-3節参照
チップ・レート	2Mシンボル/秒	拡散後の変調信号速度、3-3節参照
PN符号列の長さ	32チップ	拡散率、3-3節参照
送信パワー	-3 dBm以上	日本の規制は最大10mW/MHz
受信感度	-85 dBm以下	正しく受信するために必要な最低電波強度。通信距離およびRF回路の性能に関わる非常に重要なパラメータ

送信パワーと受信感度は、通信距離を左右する重要なパラメータです。0dBmは1mWを基準値にするパワーの相対値です。dBmとmWは次の式で換算できます。

$$\text{dBm} = 10 \log_{10} (\text{mW})$$

半導体メーカーにより提供されるIEEE 802.15.4に準拠するRFチップの内蔵アンプは、約1mWの送信パワーを提供しています。RFチップの出力パワーをさらにアップしたい場合は、外付けパワーアンプが必要ですが、日本の規制は最大10mW/MHzなので、10倍ぐらいのパワーアップが可能です。IEEE 802.15.4の通信距離についてよく聞かれますが、これはとても難しい質問です。まず、ワイヤレス通信の最大パスロス(PL: Path Loss)は、次の式のような送信パワー( $PTx$ : Transmission Power)と受信感度( $SRx$ : Receiver Sensitivity)の差により求められます。

$$PL \text{ [dBm]} = PTx \text{ [dBm]} - SRx \text{ [dBm]}$$

一方、2.4GHz帯域のパスロスと送信距離の関係は、次の式で表わされます。

$$PL \text{ [dBm]} = 40 + 10n \text{ Log}_{10} (d)$$

ここで、 $n$ は伝送経路の品質を表す指数で、 $d$ は送信距離[m]です。ほとんど障害がない室外フリースペースの場合、 $n$ は2に近く、室内の場合は2.5~4になります。すなわち、送信に必要なパワーは、室外の場合はほぼ通信距離の2乗に比例しますが、室内の場合はたいてい2.5~4乗に比例します。例えば、IEEE 802.15.4仕様書に規定されている送信パワー-3dBm、受信感度-85dBmという条件の下、2.4GHz帯域の送信距離を算出すると表3-4のようになります。これは、アンテナやプリント基板などのロスを省略した計算なので、実際利用できる通信距離は、これよりさらに短くなるでしょう。

表3-4 2.4GHz帯域の通信距離 (パスロス=82dBm)

経路品質指数 $n$	通信距離	説明
2	126m	見通しがよい室外の場合
2.5	48m	電波伝搬環境がよい室内の場合
3.0	25m	電波伝搬環境があまりよくない室内の場合
4.0	11m	電波伝搬環境がかなり悪い室内の場合



通信距離は通常、送信パワーの2~4乗に比例する。つまり、送信出力を増強することによって単純に通信距離を2倍に延ばしたい場合、4~16倍の送信パワーアップが必要となる。

半導体メーカーの努力によって、IEEE 802.15.4に準拠するRFチップの受信感度は-90dBmぐらいまで改善されています。参考までにBluetooth (IEEE 802.15.1) と無線LAN (IEEE 802.11b 11 Mbps CCK) の最低受信感度はそれぞれ-70dBmと-76dBmに規定されています。つまり、ZigBee (IEEE 802.15.4) に必要な電波強度は、Bluetoothの百分の一分ぐらいなのです。一方、携帯電話の受信感度は-110dBmですが、ZigBee (IEEE 802.15.4) に必要な電波強度は、およそ携帯電話の百倍です。受信感度は、製造コストと直接関わっているため、高受信感度のRFチップは製造コストも高くなります。