



## VoWLAN の設計に関する推奨事項

この章では、Voice over WLAN (VoWLAN) ソリューションを展開する際の設計上の考慮事項について詳しく説明します。WLAN 固有の設定は、使用されている VoWLAN デバイスおよび WLAN の設計によって異なります。この章では、第 3 章「WLAN RF の設計に関する考慮事項」で説明されている、VoWLAN の展開において一般に適用される主要な RF およびサイト調査に関する考慮事項についてより詳しく説明します。

主要な VoWLAN ソリューションはソフトフォンアプリケーションで、これらのアプリケーションは一部のハードウェアやオペレーティングシステム プラットフォームで使用できます。Cisco Jabber™ アプリケーションにより、プレゼンスやインスタントメッセージ (IM)、音声、ビデオ、ボイスメッセージ、デスクトップ共有、および会議にアクセスできるようになります。スマートフォン、タブレット、ノート PC 用 Jabber のダウンロードおよび、Jabber の各バージョンの設計ガイドについては、次の URL をご覧ください。 <http://www.cisco.com/web/products/voice/jabber.html>

### アンテナに関する考慮事項

VoWLAN の多くのネットワーク要件は、アンテナの選択など、WLAN の計画全般にわたって影響を及ぼします。アンテナに関する主な考慮事項は次のとおりです。

- アクセスポイント (AP) のアンテナの選択
- アンテナの配置
- ハンドセット アンテナの特性

### AP アンテナの選択

シスコは、VoWLAN アプリケーション用の天井マウント アンテナを推奨します。天井マウント アンテナとアンテナ内蔵 AP は、すばやく簡単に設置できます。また、アンテナの放射部分をオープンスペースに配置するため、信号の伝搬と受信を最も効率的に行うことができます。複数のアンテナを内蔵した Cisco AP は設置方法が最も簡単な上、内蔵アンテナにより、大半のインストールに適した下り信号の伝播のパターンを提供します。内蔵アンテナ ソリューションは、特に企業環境のオープンスペースへの設置に適しています。

シスコでは、さまざまな Multiple Input Multiple Output (MIMO) デュアルバンド、複数エレメント全方向性アンテナとパッチアンテナを発売しています。これらの複数エレメントアンテナは、最大比合成 (MRC) と ClientLink という Cisco AP のテクノロジーを活用するように設計されています。これらのテクノロジーは、(AP の複数のアンテナでキャプチャされた) クライアント電話パケットを、より強力な単一の信号に結合します。結合された信号では、伝送される電話機のパケットと、一般的な 2.4 GHz または 5 GHz 帯域のノイズの間の、信号対雑音比 (SNR) が向上します。MRC の重要な機能は、アップストリームパケットのエラーレートを軽減することです。Cisco の AP では、複数のアンテナ

ナと 802.11 ClientLink ロジックを使用して、クライアント電話機に高エネルギー パケットを配信することで、ダウンストリーム パケットのエラー レートを減らしています。これらの 2 つの機能により、個々の VoWLAN コールの平均オピニオン評点 (MOS) 値および、AP の Wi-Fi チャンネルの全体的な容量が向上します。

Cisco では、すべてのアンテナを金属などの高反射面から波長 1 ~ 2 離れた場所に配置することを推奨します。2.4 GHz の波長は 4.92 インチ (12.5 cm) で、5 GHz の波長は 2.36 インチ (6 cm) です。アンテナと反射面との間の 1 つまたは複数の波長を分離することにより、AP 無線では送信される電波の受信感度が向上し、無線送信時のヌルの生成を減らすことができます。802.11g/n と 802.11a/n/ac 仕様で使用されている Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) により、リフレクション、ヌル、およびマルチパスに関する問題が軽減されます。ただし、アンテナを適切に配置し、適切なタイプのアンテナを使用すると、より良好な結果が得られます。天井タイルそのものが、天井の上部領域に伝送されカバレレッジエリアに反射して戻ってくる信号の緩衝材となります。

MRC の詳細については、次の IEEE レポートをお読みください。

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=1406225>

ClientLink の詳細については、ビーム形成に関する次の IEEE レポートをお読みください。

[http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4558648&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4558648&tag=1)

アンテナのタイプおよびフォーム ファクタにはさまざまなものがありますが、1 つのタイプですべての用途と場所に適したものはありません。各種アンテナの性能と製品番号の詳細については、『Cisco Aironet Antennas and Accessories Reference Guide』を参照してください。URL は次のとおりです。

[http://www.cisco.com/en/US/products/hw/wireless/ps469/products\\_data\\_sheet09186a008008883b.html](http://www.cisco.com/en/US/products/hw/wireless/ps469/products_data_sheet09186a008008883b.html)

シスコでは、ダイポール アンテナを同じ外部アンテナからデュアル (2.4 GHz および 5 GHz) 帯域サポートの AP に接続する際に、Cisco Aironet ダイポール デュアル バンド AIR-ANT2524D シリーズのアンテナを使用することを推奨します。

Aironet ダイポール デュアル バンド アンテナには次のような利点があります。

- 2.4 GHz および 5 GHz のデュアル バンドの同時送受信 (デュアル バンド全方向性およびパッチ アンテナと同じ) のサポート。Aironet ダイポール デュアル バンド アンテナのゲインは、2.4 GHz 帯域で 2.2 dBi、5 GHz 帯域で 4 dBi です。
- 小型で、黒やグレー、白などの無彩色で提供されます。
- 連結式の回転する台座がついています。

## アンテナの方向

シスコでは、複数のアンテナを持つ AP の場合、すべてのアンテナを同じ方向に向けることを推奨します。



(注)

図 9-1 で示すように、多くのマーケティング素材では AP のアンテナがさまざまな方向に向けられた様子が示されていますが、シスコではこの慣例はお勧めしません。

図 9-1 アンテナがさまざまな方向に（誤って）向けられた AP



MRC と ClientLink の最適なパフォーマンスは、図 9-2 で示すように、AP のすべてのアンテナが同じ向きに配置されている場合に得られます。

図 9-2 アンテナが同じ方向に（正しく）向けられた AP



AP の 4 本すべてのアンテナを均一な直立ポジションにすることで、すべて増加を単一の空間ストリームの 802.11n スマートフォンを使用した場合の、カバレッジセルの全体的なスループットが 2 Mbps 増加します。

## 一般的な推奨事項

最適な Wi-Fi カバレッジセルの帯域幅とクライアントアプリケーションのパフォーマンス（あらゆる形式のダイポールアンテナタイプの場合）のため、シスコでは次のことを推奨します。

- 各 AP アンテナポートにアンテナを取り付ける
- 各ポートに同じモデルのアンテナを取り付ける

- 各アンテナを同じ向きにする
- AP に接続されたすべてのアンテナ同士の距離を 2 波長以内にする

AP およびそこで実行されるプロトコルは、MRC および ClientLink を中心として設計されています。これらの推奨事項に従ったアンテナ システムを使用して、そのテクノロジーと AP ハードウェアへの投資を最大限に活用してください。

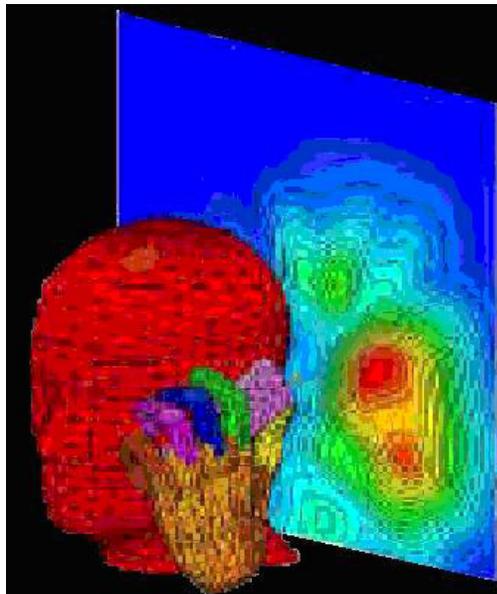
ハイ ゲイン アンテナは信号を水平面に拡散させ、これにより、多くのノイズを拾う大規模セルが作成されます。この結果、信号対雑音比 (SNR) が低くなり、パケット エラーの比率が高まります。SNR は次の条件によって定義されます。

- 信号：ある無線から送信され、中断されずに他の無線が受信できる放射エネルギー。すなわち、Wi-Fi では、送信無線によって、受信無線がデコード可能な 802.11 プロトコルのパケットが送信されます。
- ノイズ：受信無線の周波数範囲内の送信エネルギーのうち、その無線でデコードできないもの。

プロトコル パケットとバックグラウンド ノイズの間のエネルギーの差が大きいほど、プロトコル パケットを適切に受信することができ、パケット エラー レートおよびビット エラー レートが減少します。カバレッジ エリアの設計では、複数のチャネルを使用して、高い音声コール キャパシティを維持しつつ、最も低いパケット エラー レートの作成が行われます。

ハイ ゲイン アンテナを使用すると、カバレッジ エリアが増えるため、Wi-Fi チャネル上のコール数も減少します。音声の場合、人間の頭と体が 5dB の信号を減衰させるため、壁面マウント パッチよりも天井マウント アンテナが推奨されます (図 9-3 を参照)。天井マウント アンテナは、多くの壁面マウント アンテナよりも人間の頭と体による減衰を防ぐように、適切に配置されます。

図 9-3 頭と体による減衰



## アンテナの配置

天井マウント アンテナでは通常、携帯電話へのより適切な信号パスが使用されます。頭などの障害物による減衰があるため、推奨されるカバレッジセル サイズでは信号損失が考慮されます。アンテナのゲインは相反的なものであることを理解しておくことが大切です。ゲインは受信と送信の両方で平等に

適用されます。アンテナ ゲインは、送信電力の増加を表すものではありません。送信電力を発生させるのは無線です。アンテナは、パッシブ デバイスにすぎません。ゲインは、無線信号の焦点を、ある方向、平面、およびビーム幅に合わせることで導出されます。懐中電灯のリフレクタによって電球から放射される光の焦点が合わせられるのと同じです。

WLAN RF 計画の詳細については、第3章「WLAN RF の設計に関する考慮事項」を参照してください。

## ハンドセット アンテナ

電話本体にアンテナが内蔵されている電話機については、ユーザの電話の持ち方によって 4dB の信号減衰が起こることがあります。手でアンテナを覆って頭で電話を支えた場合には、9dB の信号減衰が起こることがあります。一般的に、屋内での展開の場合は信号が 9dB 減衰するごとにカバレッジエリアは半減します。図 9-3 では、頭で支えた場合のハンドセットからの放射電力の違いの例を示しています。

一般的なスマートフォンおよびタブレット コンピュータの Wi-Fi アンテナ システムの dB ゲインはマイナスです。一般的なスマートフォンのアンテナでは -3 または -4 dBi です。一般的なラップトップ コンピュータのゲインは 0 ~ 2 dBi のプラスです。アンテナ ゲインの違いは、同じ AP でのスマートフォン、タブレットおよびノート PC 間のカバレッジエリアの違いに反映されます。スマートフォンやタブレットで最高のアプリケーション パフォーマンスを実現するには、スマートフォンやタブレット自体の Wi-Fi 機能に合った AP チャンネル カバレッジを設計する必要があります。スマートフォンやタブレット、ラップトップと AP の間で最適なリンク品質を実現するためには、ClientLink が有効な状態で AP が動作する必要があります。ClientLink は、Cisco ワイヤレス LAN コントローラ (WLC) によってデフォルトで有効になっています。

## チャンネル使用率

802.11、802.11b、802.11g、および 802.11n のプロトコル仕様では、同じ 2.4 GHz 帯域が使用されるため、これらのプロトコルの間に相互運用性が必要となります。この相互運用性によって、802.11 保護プロトコル ロジックのオーバーヘッドが増加し、チャンネルのスループットが減少します。多くのサイトには、すでに 2.4 GHz Wi-Fi 帯域を使用している製品がありますが、同じ周波数を使用するデバイスはほかにも多数あります。たとえば、Bluetooth 機器、コードレス電話、ビデオ ゲーム コントローラ、監視カメラ、電子レンジなどです。2.4 GHz 帯域が混雑していることやチャンネル割り当ての制約から、シスコでは新たに VoWLAN を展開するときには 5 GHz Wi-Fi 帯域を使用することを推奨します。5 GHz で使用可能なチャンネルは通常、ほとんどのサイトで使用されていません (図 9-4 を参照)。VoWLAN トラフィックに 5 GHz の UNII-2 チャンネルを使用する場合、レーダーが存在しないことが重要となります。したがって、シスコではいずれかの新しいサイトで追加テストを実施し、特定の UNII-2 チャンネルを設定でブロックすべきかどうかを確認することを推奨します。このテストを実施する理由は、AP が標準使用時にレーダーを検知した場合、その AP は 200 ミリ秒以内にチャンネルを離れなければならないためです。

図 9-4 2.4 GHz の標準チャンネル使用率



Cisco Unified Wireless Network をインストールする前に、チャンネル干渉および、AirMagnet や Wild Packets、Cognio などのツールの使用に関して、サイトをテストする必要があります。設計プロセスを支援するために、Cisco Prime Infrastructure によって生成される AP オンデマンド統計レポートは、次のスペクトルの確認を提供します。

- クライアント数と RSSI との比較
- クライアント数と SNR との比較
- チャンネル使用率

ALOHAnet プロトコルでは、チャンネル使用率が 33 に到達すると無線チャンネルを満杯と定義します。これは、チャンネルがビジー状態であるため、パケットを送信する前にオープンなタイム スロットを待機する必要があることを意味します。図 9-4 で示したとおり、チャンネル使用率が 46% になると、無線パケット化されたアロハ標準を超えてしまいます。

2.4 GHz 帯域のチャンネル使用率を減らすため、シスコでは、従来のデバイスがクライアントの構成に含まれていない場合、クライアントを 5 GHz に移動して、2.4 GHz の構成から従来の 1 Mbps および 2 Mbps のデータ レートを削除することを推奨します。

## 動的周波数選択 (DFS) および AP の 802.11h 要件

米国の Federal Communications Commission (FCC)、European Telecommunications Standards Institute (ETSI)、およびその他の監督機関は、無線周波数の使用に関する標準を定めています。5 GHz 帯域の一部は、現在（過去においても）、気象レーダーなどで使用されています。ほとんどの 5 GHz レーダー システムでは、一般に波長の短い高周波数を使用していますが、一部の Wi-Fi 周波数と 5 GHz UNII-2 帯域を重複して使用するシステムも存在します。2006 年、FCC は 5.470 ~ 5.725 MHz 帯域をライセンス不要の用途に開放しました。これらの周波数が使用可能になったことにより、干渉のない AP の設定を管理することが必要になりました。AP では、（通常、軍事、衛星、気象観測所から来る）レーダー パルスを定期的に監視し、レーダーが探知された場合は動的周波数選択 (DFS) を使用して自動的にクリーンチャンネルに切り替える必要があります。

レーダーが探知された場合、システムで次のことを実行する必要があります。

- 200 ミリ秒以内にパケット伝送を中止
- 10 秒以内に制御伝送を中止
- 30 分間、チャンネル上での伝送を回避
- 伝送前に 60 秒間、新規チャンネルをスキャン

UNII-2 帯域のレーダー回避要件によって音声コールの品質に影響する可能性があるため、音声アプリケーションを稼働させる前にレーダーのテストを実施することが求められています。Cisco Spectrum Expert は、特定のチャンネルでレーダーの存在をテストするための優れたツールです。Spectrum Expert によるテスト中にレーダーが探知された場合、該当するチャンネルをブロックするように AP を設定できます。Spectrum Expert の詳細については、次の URL を参照してください。  
<http://www.cisco.com/en/US/products/ps9393/index.html>

## 5 GHz 帯域のチャンネル

DFS 要件には、従来の UNII-2 チャンネル (52 ~ 64) と、8 つの新しい W56 チャンネル (100 ~ 116 と 132 ~ 140) が含まれます。5 GHz 帯域には現在 20 のチャンネルがあります。これらのチャンネルは重複しないため、すべて同じ場所に配置できます。2.4 GHz には重複しないチャンネルは 3 つしかありません。1 つのカバレッジエリアに共存配置チャンネルを許容する設計により、カバレッジエリアで取得可能なコール数が集約されます。

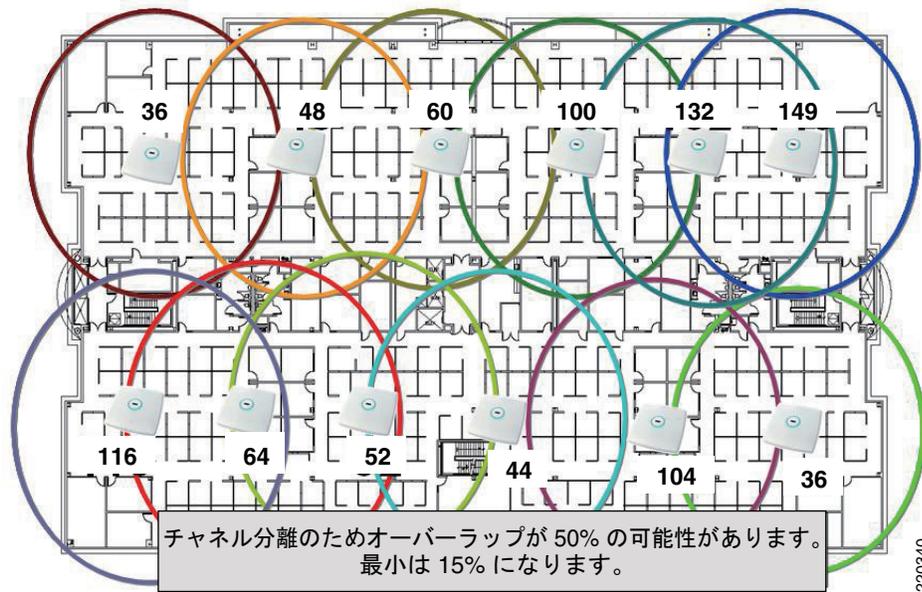


(注)

現在の法規制に関する情報については、シスコの Web サイトをご覧ください。また自国で許可されている周波数については、各国の法的機関にお問い合わせください。

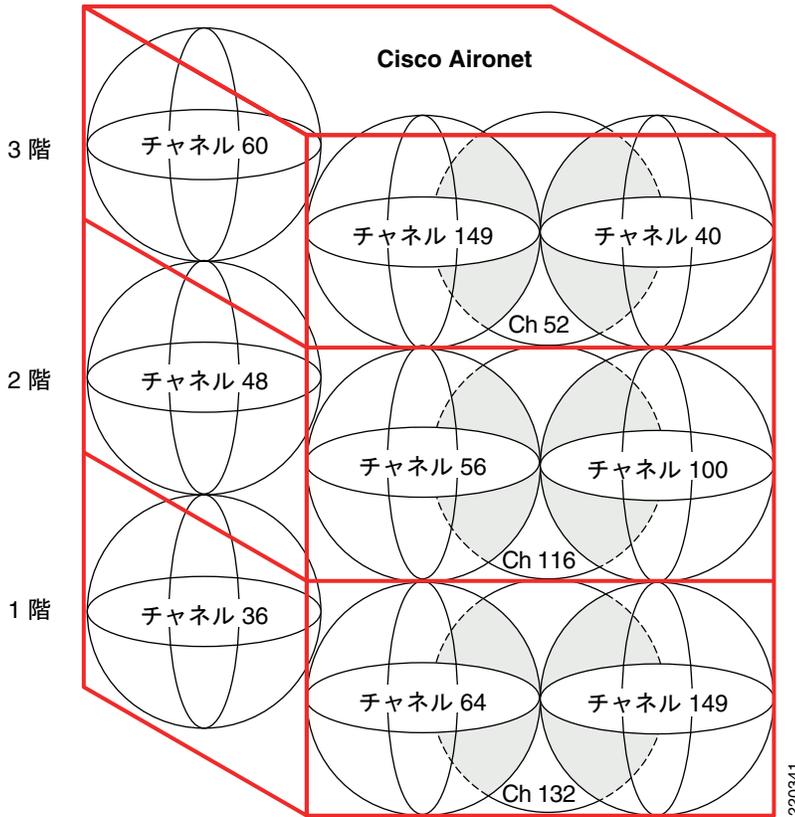
チャンネルベースの設計は、[図 9-5](#) に示すように、単一フロアに水平に実装できます。

図 9-5 単一フロアのチャンネル設計



[図 9-6](#) で示すとおり、複数フロア設計では、フロア間で垂直にチャンネルを分離して、チャンネル相互の干渉を減少させることができます。

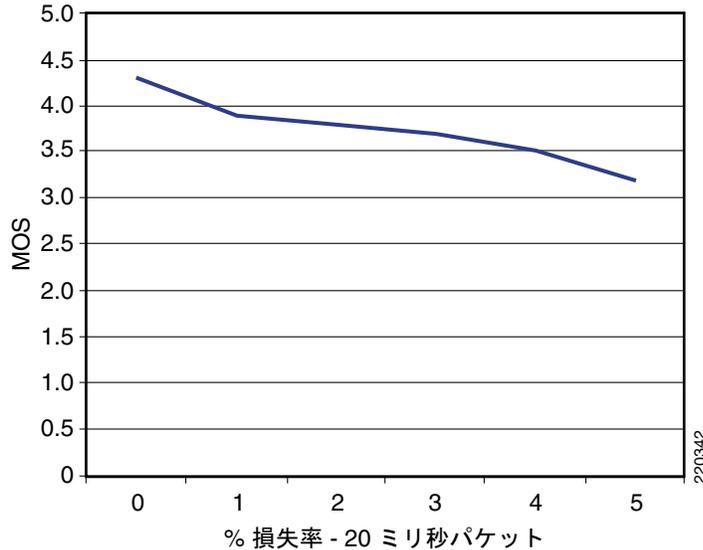
図 9-6 垂直チャネル分離



## コール キャパシティ

Wi-Fi チャンネルのコール数は、いくつかの要因によって制限されます。まず、AP および VoWLAN クライアントによって使用される RF スペクトラムは、シールド ツイストペア CAT 5 ケーブルなどの電磁干渉からシールドできません。Wi-Fi でセグメンテーションに最も近いのは、チャネル分離です。802.11 のオープンな共有 RF スペクトラムは、高パケット損失の原因となることがあります。このようなパケット損失の大部分には、802.11 フレームを再送することで対処しますが、その結果としてジッターが発生します。図 9-7 では、パケット損失の関係を平均オピニオン評点 (MOS) として示しています。

図 9-7 実際のパケット損失の図



802.11a では、802.11g と同様、最も低いデータ レート（6 Mbps）によって最も高いカバレッジ範囲が実現します。どのような電力レベルの場合でも、最も低いパケット エラーは 6 Mbps です。

許容可能な音声のカバレッジエリアは、5% 以下のパケット エラー レートが維持される領域です。MOS スコアは次のようにランク付けされています。

- 4.4 : 最も高い MOS スコア
- 4.3 ~ 4.0 : 非常に満足から満足
- 4.0 ~ 3.6 : 一部のユーザにとって満足

図 9-7 は、5% のパケット エラー レートによって MOS が低下し、スピーチの質が一部のユーザにとって満足できるレベルになった例を示しています。

電話のカバレッジエリアの境界は、そのカバレッジエリアの MOS が非常に満足であるというカテゴリに当てはまる場所です。本書では、カバレッジエリアの境界をセルの境界と呼びます。複数の電話クライアントやデータ クライアント同士の干渉や相互チャネルの干渉、その他の説明のつかない干渉が発生する可能性があるため、音声に対しては、パケット エラー レートが 1% のセルの境界が必要です。セルの境界およびカバレッジ設計については、この章の他のセクションで詳しく定義されています。

802.11 および 802.11b で従来の 2.4 GHz Wi-Fi クライアントをサポートする必要がない場合は、1、2、5.5、および 11 MHz のレートを無効にすることを推奨します。

これらのレートが無効な場合、1 つ以上の 802.11g データ レートを *required* に設定する必要があります。シスコでは、6 MHz のデータ レートを必須に設定することを推奨しますが、これはセル サイズ設計要件によって異なり、場合によっては高ビット レートを使用する必要があります。可能であれば、802.11b/g を組み合わせたネットワークよりも 802.11g のみのネットワークが推奨されます。ほとんどのデータ クライアントおよび電話クライアントは、AP からビーコンとプローブ応答でアドバタイズされたデータ レートを認識します。したがって、クライアントは、AP によってアドバタイズされた必須データ レートで、管理、制御、マルチキャスト、およびブロードキャストパケットを送信します。また、ユニキャスト パケットを AP によってアドバタイズされた任意のデータ レートで送信できます。一般的に、ユニキャスト パケットは、AP とクライアントの間のリンクに対して最も信頼性の高いレートを提供できるデータ レートで送信されます。Cisco AP は、ClientLink ごとに固有のデータ レートでユニキャスト パケットを送信できます。

パケットの受信において、SNR を考慮することは重要です。無線受信器は、AP または電話機のいずれかです。SNR はリンクの両方の無線で同じではありません。SNR とマルチパス干渉は、AP およびセルの境界で考慮する必要があります。パス損失は、リンクの両端で同じであると想定できます。

音声アプリケーションに対しては、実際の電話機を使用して、希望するデータ レートでセルの境界を設定することを推奨します。Wi-Fi アプリケーションにおいて AP と電話の間で送信される音声パケットは通常、標準サイズ 236 バイトのユニキャスト リアルタイム転送プロトコル (RTP) G.711 パケットです。RTP パケットは UDP および IP プロトコルに基づいているため、RTP はコネクションレスです。通話の信号強度、SNR、データ レート、およびエラー レートは、自律 AP またはコントローラベースの CAPWAP AP 上の AP 統計から確認できます。

シスコでは、アクティブ コールでカバレッジテストを行うことを推奨します。双方向コールにより、ClientLink のダウストリーム (AP からクライアントへ) のパケット サイズおよび、ユニキャストパケットのタイプが決定されます。アップストリーム (クライアントから AP) では、AP 上で処理を行う MRC のパケット サイズおよびユニキャスト パケットのタイプが決まります。クライアントのセルの境界の範囲をテストする場合、シスコでは同じ場所から同じ AP に対してスマートフォン、タブレット、ノート PC モデルの組み合わせをテストすること、またすべてのクライアントに同じ面積を使用することを推奨します。これは、すべての電話で同じスペースを共有できないために、電話機が同時にテストされないことを意味します。

図 9-8 では、2.4 GHz および 5 GHz の電話のセルの境界の dBm 値の例を示します。

図 9-8 クライアントエッジの RSSI が -67 dBm で SNR が 59 dB の場合

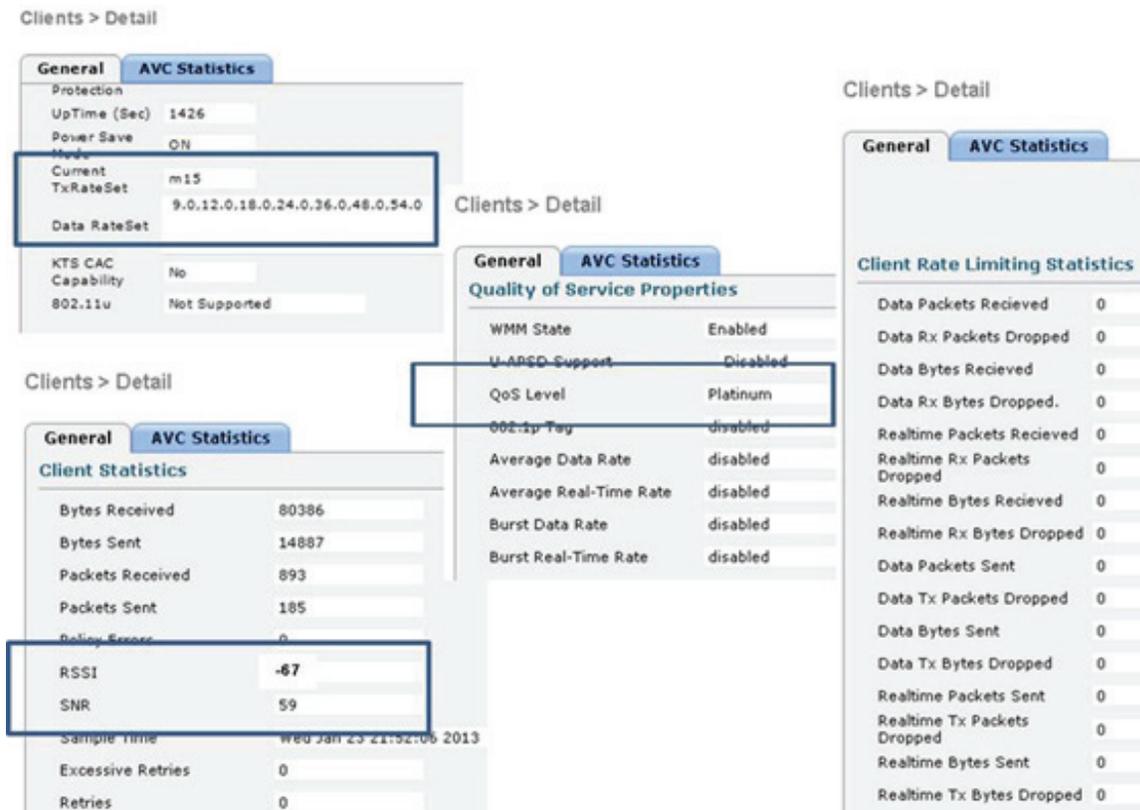


図 9-9 では、デコードされた G.711 オーディオ RTP パケットを示します。Cisco 7960 固定電話から発信されたこのパケットは、AP から VoWLAN のエンドポイントへのダウストリームです。

Over-the-Air QoS マーキングは、802.11e 仕様に従い、QoS ベースライン マーキング 5 からユーザ プライオリティ 6 に変更されます。Cisco 電話のコール統計は、電話機で見ることができます。また、電



- ・ ハンドセットにはさまざまな WLAN QoS 機能があります。これらは WLAN 展開で有効化されている機能に影響を与え、最終的には AP ごとの音声コール キャパシティを決定します。ほとんどの VoWLAN ハンドセットでは、その電話でサポートされる AP ごとのコール数についての指針が示されています。そして、それはハンドセットで最適な QoS 機能を使用でき、チャンネル キャパシティにフルアクセスできる最良のケースでの値を示していると考えする必要があります。

チャンネルでサポート可能な実際の音声ストリーム数は、環境要因やクライアントでの Wi-Fi Multimedia (WMM) 仕様の遵守など、多数の問題に大きく依存します。

図 9-10 で、Cisco Compatible Extension がどのように VoWLAN コールの質の向上に役立つかを示します。

図 9-10 Cisco Compatible Extension VoWLAN 機能

Cisco Compatible Extensions が VoWLAN コールの品質にもたらす利点	
機能	利点
EAP タイプに対する CCKM サポート	資格情報がローカルにキャッシュされているとローミングが高速化
不定期自動省電力配信 (U-APSD)	より多くのチャンネル容量と高いバッテリー残量
TSPEC ベースのコールのアドミッション制御 (CAC)	ローミングおよび緊急コール用の管理対象コール キャパシティ
音声メトリック	より多くの情報に基づいたトラブルシューティング
ネイバー リスト	クライアントチャンネル減少のスキャン
ロード バランシング	AP 間でロード バランスされたコール
送信電力の動的制御 (DTPC)	送信する電源をクライアントが学習
アシステッド ローミング	より速いレイヤ 2 ローミング

220352

図 9-10 から、次のことが分かります。

- ・ Cisco Centralized Key Management (CCKM) は Extensible Authentication Protocol (EAP) 認証クライアントに高速クライアント ローミングを提供し、これによってコールの質が向上します。
- ・ コールアドミッション制御 (CAC) によってコールの質を向上し、E911 およびローミング コール用の帯域予約を作成できます。
- ・ 支援ローミングおよびネイバー リストによって、コールの質が向上し、バッテリーの寿命が延びます。
- ・ 音声メトリックは管理に役立ちます。
- ・ 不定期自動省電力配信 (U-APSD) および送信電力の動的制御 (DTPC) によってバッテリーの寿命が延びます。
- ・ 負荷分散および DTPC によってコールの質が向上します。

Cisco Compatible Extensions プログラムでは、サードパーティによる Cisco Aironet 無線インフラストラクチャ製品に対する検証および、サードパーティ企業から発売されている無線クライアント デバイスを提供します。Cisco Compatible Extensions 機能には、さまざまな利点があります。

バッファメモリの量、CPU 速度、および無線品質は、AP 無線のパフォーマンスの主要な要因です。QoS 機能により、チャンネル内の音声およびデータトラフィックの優先順位付けが行われます。QoS の詳細な説明については、第 5 章「Cisco Unified Wireless QoS」を参照してください。

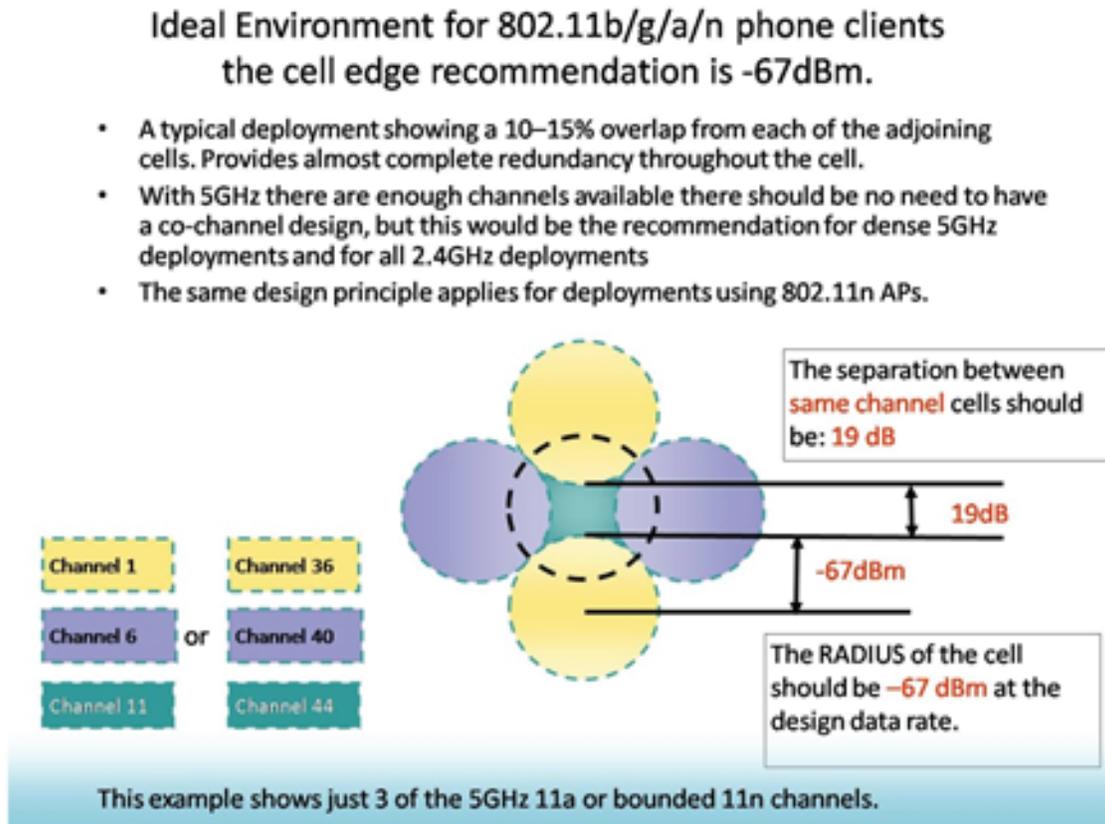
802.11e、WMM、および Cisco Compatible Extensions 仕様では、負荷を分散して、セルが音声ストリームで過負荷にならないようにすることができます。CAC は、コールの再起動のために十分なチャンネルキャパシティがあるかどうかを判断します。ない場合、電話は別のチャンネルをスキャンします。U-ASPD の主な利点は、WLAN クライアントからのフレームの送信を可能にし、節電のために AP でバッファされるクライアントデータフレームの転送をトリガーすることによる、WLAN クライアントの電力の節約です。[Neighbor List] オプションでは、近隣 AP のチャンネル番号とチャンネルキャパシティを含むリストが電話に提供されます。これによってコールの質が向上し、高速ローミングが実現し、バッテリーの寿命が延びます。

## セルの境界の設計

802.11b/g/a VoWLAN ハンドセットに関するシスコのガイドラインでは、セルの境界線の最小電力を -67 dBm にする設計が推奨されています (図 9-11 を参照)。これにより、以前に設計されたデータ WLAN で使用されていたセルよりも小さいセルが作成されます。-67 dBm のしきい値は、パケットエラーを 1% にするために一般的に推奨される値ですが、そのためには SNR 値を 25 dB 以上にする必要があります (この要件には、その地域のノイズ条件が影響します)。したがって、特定の電話タイプの見込みチャンネルカバレッジエリアを決定する場合は、電話で計測される信号強度とノイズの両方を、AP によって提供されるクライアント統計を使用して検証する必要があります。自律 AP および CAPWAP AP 上でのこれらの値の決定については、図 9-10 を参照してください。

-67dBm という信号強度の測定値は、802.11b 準拠の電話のベンダーで長年にわたって使用されてきました。テストの結果、同じ一般的な測定ルールを 802.11g/n および 802.11a/n 準拠の電話のクライアントにも適用できることが確認されています。

図 9-11 セルの境界の測定



(注) 図 9-11 で示した -86 dBm の分離は、簡略化されたものであり、理想的と考えられます。ほとんどの配置においては、このような 19 dBm の分離を実現することができません。最も重要な RF 設計基準は、-67 dBm のセル半径と、セル間の 20 % の推奨オーバーラップです。これらの制約を遵守して設計することによって、チャンネルの分離が最適化されます。

5 GHz セルの場合、重複しない利用可能なチャンネル数から考えて、同一チャンネルの分離に関して考慮しなければならないことはあまりありません。802.11a の 5 GHz 帯域にはチャンネルが 20 あるため、ほとんどの場合に 2 チャンネル分離が可能です。対照的に、2.4 GHz 帯域では、周波数がオーバーラップしないチャンネルは 3 つしかありません。

5 GHz および 2.4 GHz の両方で、セルの境界を、指定チャンネルに必要な最高データ レートでパケット エラー レート 1% が維持されるようなフロア レベルに配置する必要があります。空間ストリーム クライアントが 1 つの 2.4 GHz 帯域では、802.11n のデータ レートは 72 Mbps です。

チャンネル幅が 40 MHz で空間ストリーム クライアントが 1 つの 5 GHz 帯域では、802.11n クライアントのデータ レートは 150 Mbps です。Jabber などのソフトフォン アプリケーションを実行するノート PC では、3 つの空間ストリームをサポートできます。また、チャンネル幅 40 MHz の 5 GHz 帯域で 450 Mbps のデータ レートをサポートできます。802.11a クライアントおよびチャンネル幅が 20 MHz で 1 つの空間ストリームをサポートしている 802.11n クライアントは、80 MHz 幅のチャンネル上で 802.11ac の 3 つの空間ストリーム クライアントと、チャンネル幅が 40 MHz の Wi-Fi チャンネル アクセスを共有できます。

このような、クライアントの混在とプロトコルの混在は、802.11 仕様の一部です。このような、同じ Wi-Fi 周波数にクライアントが混在する場合の互換性は、802.11n および 802.11ac 仕様の一部です。

設計上の主な疑問として、帯域幅とコール キャパシティのカバレッジ エリアをどのように定義するかというのがあります。音声コールのキャパシティは、802.11g および 802.11a の場合と同様、802.11n および 802.11ac とほぼ同じです。これは、AES 暗号化が 300 バイト未満である音声の G.711 または G.722 フレームの packet サイズによるものです。802.11 仕様の小さい packet サイズと ACK ロジックにより、ストリーミング アプリケーションと比較して大きなオーバーヘッドが作成されます。ビデオ コールからは、小さな音声 packet と大きなビデオ packet の両方が生成されます。ビデオ packet は圧縮率が大きいため、音声に比べて間隔が空きます。シスコではガイドラインとして、カバレッジ セルの境界を確立することを推奨します。AP 上の電話の RSSI 値が -67 dBm の場合、AP からの距離を測定します。

802.11g および 802.11a 電話クライアントは、最大 54 Mbps のレートを実現できる可能性があります。現在のチップセットは 54 Mbps をサポートしますが、送信電力の能力はそれぞれ異なります。シスコでは、電話クライアントと AP の間のすべてのリンクを、一致する送信電力レベルで確立することを強くお勧めします（「送信電力の動的制御」(P.9-16) を参照）。

特定のデータ レートに対してカバレッジ セルを作成できます。高密度展開や、狭いフロア空間に多数のコールが必要な展開では、チャンネル数および 54 Mbps というデータ レートを考慮して、802.11a が推奨されます。802.11a で低いデータ レートを無効にして、データ レート 24 Mbps を *required* に設定し、36 ~ 54 のレートをそのまま有効にしておくことができます。

セルの境界を -67 dBm に設定した後、1% のエラー レートが発生している場所を特定して、SNR 値を確認します。

-67 dBm のセルの境界は、次の手順で決定します。

- 電話を、必要な送信電力に設定します。
- AP を、一致する送信電力に設定します。
- AP と必要なアンテナを、電話を使用する場所に配置します。
- アクティブなコールを使用して、または G711 コーデックと同じサイズの packet を送受信する間に、-67 dBm セル境界への信号レベルを測定します。

特定の電話端末のデータ シートで、特定の Wi-Fi 帯域においてその電話端末でサポートされている送信電力レベルとデータ レートをよく確認します。Cisco Unified Wireless IP Phone のデータ シートは、次の URL で入手できます。

<http://www.cisco.com/en/US/products/hw/phones/ps379/index.html>

2.4 GHz の最大送信電力レベルは、チャンネルおよび AP のモデルによって異なります。5 GHz の最大送信電力レベルは、モデルによって異なります。Cisco Aironet AP のデータ シートで、どのモデルの AP がどのデータ レートに対応しているかをよく確認する必要があります。図 9-12 では、チャンネルごとの 5 GHz の最大送信電力の例を dBm 単位で示します。

図 9-12 チャンネルの電力の割り当て

UNII-1				UNII-2				UNII-3				
36	40	44	48	52	56	60	64	149	153	157	161	165
14	14	14	14	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Extended UNII-2												
100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140		
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17		

5 GHz 帯域での最大許容送信電力は、6dB 単位で変化します。これは、すべてのチャンネルが使用可能なサイトで最大許容送信電力を使用する場合、すべてのチャンネルのセル カバレッジが同じになるわけではないことを意味します。また、動的なチャンネル選択が使用されている場合、セル カバレッジ エッジはチャンネル数によって変化する可能性があることも意味しています。ただし、動的なチャンネル選択は調整可能です。動的なチャンネル選択のデフォルト モードでは、チャンネルごとの最大送信電力レベルの相違に対応します。

すべての AP 上のセル送信電力は、電話の最大または希望送信電力を超えてはなりません。電話の最大送信電力または設定送信電力が 13 dBm の場合、すべての AP の最大送信電力が 13 dBm であることが推奨されます。したがって、AP の最大送信電力を同じレベルに設定するか、それが不可能であれば、次に大きい送信電力レベルに設定する必要があります。片通話を避けるために、同じ送信電力に設定することが推奨されます。一般的に、AP は電話よりもレシーバの感度およびダイバーシティがすぐれているため、若干低い強度の電話信号を受信できるはずですが、同じ送信電力の詳細は、「[送信電力の動的制御](#)」(P.9-16) を参照してください。

## デュアルバンドカバレッジセル

第 3 章「[WLAN RF の設計に関する考慮事項](#)」で、2.4 GHz と 5 GHz 帯域のチャンネルカバレッジ設計について説明しました。デュアルモード AP において 2.4 GHz チャンネルと 5 GHz チャンネルの両方で同じセルカバレッジを提供する場合、2.4 GHz チャンネルの送信電力は 5 GHz チャンネルと同じ（またはそれ以下）である必要があります。多くのサイトでは、SNR 計算式のノイズレベルは最大で 10dB 低くなります。802.11g 無線のレシーバの感度は一般的に、同じデータレートの 802.11a 無線よりも 2 dBm 優れています。たとえば、Cisco 7921G のデータシートでは、データレート 36 Mbps での受信感度は、802.11g の場合は -78 dBm で、802.11a の場合は -76 dBm となっています。したがって、ノイズフロアの予想を 10 dB 向上させると、802.11a セルの感度は 8 dBm 向上します。802.11g と 802.11a の間でのパス損失の差異など他にも項目があるため、正比例はしません。ただし、同じカバレッジセルを希望する場合は、802.11g ネットワークの電力レベルを 11a ネットワークよりも 1 または 2 レベル引き上げる必要があります。

## 送信電力の動的制御

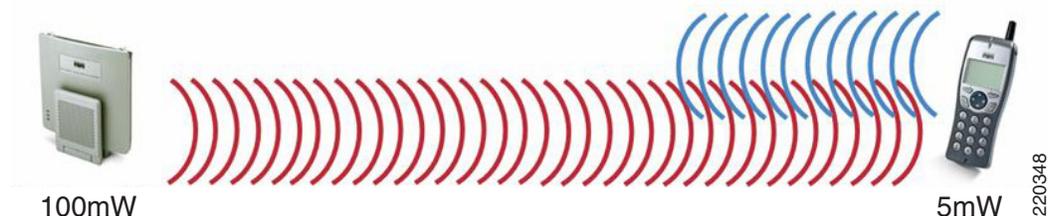
Cisco Aironet AP ではデフォルトで送信電力の動的制御 (DTPC) が有効になっています。DTPC は Cisco WLC によって自動化されていますが、設定は自律 AP 上で行う必要があります。

DTPC の目的は、クライアントの AP と Wi-Fi 無線の間の送信電力の不均衡による片通話の可能性を減らすことです。DTPC はこれを次の方法で実現します。

- 電話の送信電力を AP の送信電力と一致するように設定する
- AP でクライアントに知らせるために送信電力をアダプティブにする

DTPC により、電話の送信電力を AP の送信電力に自動的に一致させることができます。図 9-13 に示す例は、電話の送信電力が 5 mW から 100 mW に変更されることを意味します。

図 9-13 クライアントと AP の電力の一致



802.11 のライセンス要件では、クライアントには最小送信電力が要求されません。また、Wi-Fi デバイスが規制で許可された最大送信電力を使用している場合も、ほとんど要求されません。一般的な Wi-Fi デバイスでは、最大送信電力は 100mW 以下です。これは Wi-Fi 仕様によって、AP とクライアントの間での接続中、AP およびクライアントに一致する電力レベルが要求されないためです。短時間でも関

連付けられれば、AP とクライアントが互いのカバレッジエリアに存在しなくても、引き続き関連付けられる可能性が常にあります。アクティブなコール中にこれが発生すると、音声は失われます。

図 9-14 に示すように、アクティブなコール中の送信電力レベルが等しくない場合には、音声は失われます。AP と電話の間の接続の維持に役立つ 802.11 メカニズムはいくつかあり、そのうちの 1 つは低速データ レートをネゴシエートできます。一般的に、低速データ レートの場合には高速データ レートよりも伝送電力が高くなります。高密度の展開では、低速データ レートを避ける必要があります。これは、カバレッジセルが高いスループットと容量を必要とする場合に、パケット数の多い通話に低速データ レートを使用すると、Wi-Fi チャネルと AP のすべてのクライアントのスループットが低下するためです。

図 9-14 WLC クライアントの [Detail] ウィンドウ

The figure displays three overlapping screenshots of the WLC Client Detail window, highlighting specific configuration and status information:

- Top Screenshot (AVCC Statistics):** Shows the 'TxRateSet' field with a value of 'm15' and a list of supported rates: '9.0,12.0,18.0,24.0,36.0,48.0,54.0'. The 'Data RateSet' field is also visible.
- Middle Screenshot (Quality of Service Properties):** Shows the 'QoS Level' set to 'Platinum' and 'U-APSD Support' set to 'Disabled'.
- Bottom Screenshot (Client Statistics):** Shows 'RSSI' at -39 and 'SNR' at 59.

シスコでは、AP の最大送信電力の設定が、クライアントの電話機がサポートする最大送信電力を超えないようにすることを強く推奨します。現行の Cisco AP が ClientLink をサポートするため、ClientLink を設定することを強く推奨します。ClientLink では、選択したクライアント宛ての信号を動的に作成します。ClientLink ロジックによって、転送されたパケットの信号の伝播は変更されますが、ブロードキャストまたはマルチキャスト パケットの信号の伝播は変更されません。ClientLink では、一般的な全方向性アンテナの、全方向で同じ信号エネルギーを持つ水平方向の信号の伝播が削除されます。信号エネルギーは、選択したクライアントの方向で増加します。転送された信号は選択されたクライアントでの信号エネルギーを増加させるため、電話機のダウンストリーム信号の品質が向上します。これにより、コールの MOS 値が向上します。MOS 値が向上することによって再試行が減少し、すべてのクライアントのカバレッジエリアのスループットが向上します。この信号はシェーピング済み信号として特定のロケーションに転送されるため、AP の残りのカバレッジエリアの信号が削減されません。これにより、ブロードキャストおよびマルチキャスト パケットと他の AP との間でチャンネルが重複する領域のチャンネルのパフォーマンスが向上します。

シスコでは、電話機の各モデルをそのモデルの Wi-Fi カバレッジエリアに対してテストすることを推奨します。図 9-14 で示すように、WLC は、電話機が関連付けられた AP における各クライアントの受信信号強度インジケータ (RSSI) を報告します。[RSSI] フィールドに表示される値は、電話機から AP に送信されるパケットの信号強度です。この値は、AP でパケットを受信している場合の、電話機が送信したパケットの高度を示します。電話機のカバレッジエリアと、その電話機が AP のカバレッジのおおよその境界に配置されていることを確認することを推奨します。次に、電話機がアクティブなコール中のときの RSSI を確認します。この操作の目的は、セルの境界 (RSSI の推奨値 -67dBm) で、そのパケットが高データレートで送信されることです。VoWLAN Wi-Fi カバレッジエリアの範囲に対するセルの境界については、図 9-11 を参照してください。図に示されている -39 という値は、クライアントの電話機またはデバイスが AP から数フィート以内であれば、非常に強い信号です。

スマートフォンやタブレットの出現により、電話機のカバレッジのテストの重要性が増しています。これらのデバイスの Wi-Fi 機能は一般的に消費者向けのものであるため、これらのデバイスには通常、企業のサポートを想定した 802.11 機能はほとんど入っていません。ほとんどの消費者向けスマートフォンやタブレットでは、DTPC をサポートしていません。このためシスコでは、お使いの最も弱いスマートフォンやタブレットの最大送信電力 2.4 GHz および 5 GHz に合わせて、最大送信電力 2.4 GHz および 5 GHz を dBm 値にすることを推奨します。この [WLC] フィールドの値によって AP の送信電力が制限されるため、電話機から AP までの範囲のバランスを保つことができます。

## 802.11r および 802.11k 機能

IEEE 802.11k および 802.11r は、WLAN 環境における Basic Service Set (BSS) のシームレスな移行を可能にする業界標準です。WLAN 7.2 リリースでは、シスコは 802.11r セキュア認証 *Fast Transition* プロトコルをサポートしています。IEEE 802.11k 仕様は、2008 年 6 月に承認されました。IEEE 802.11r 仕様は、2008 年 7 月に承認されました。802.11r 仕様は、2004 年 4 月の 802.11e セキュリティ仕様に従っています。

802.11k 仕様の簡単な説明については、次のページをお読みください。

[http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11k-2008](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11k-2008)

802.11k 仕様については、次のページをお読みください。

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4544755>

802.11r 仕様の簡単な説明については、次のページをお読みください。

[http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11r-2008](http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11r-2008)

IEEE 802.11r 仕様については、次のページをお読みください。

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=04573292>

802.11k および 802.11k 対応のクライアントデバイスは、それ自身が現在関連付けられている AP から近隣の AP (ネイバーリスト) のリストの要求を送信します。この要求は、アクションパケットと呼ばれる 802.11 管理フレームの形式になっています。AP は、同じ WLAN 上にある AP のネイバーリストと共に Wi-Fi チャンネル番号を含むアクションパケットで応答します。

この応答のアクションパケットから、802.11k クライアントは次のローミング先の候補がどの AP であるかを知ることができます。802.11k の無線リソース管理 (RRM) アルゴリズムを使用することで、スマートフォンが正確かつ迅速にローミングできるようになります。これは、オンコールローミングが一般的に利用されるエンタープライズ環境における正常なコール品質のための要件です。

シスコでは、無線リソース管理 (RRM) を有効にするように WLC を設定することで、ネイバーリストの応答パケットで 2.4 GHz と 5 GHz 両方の AP チャンネル番号を提供することを推奨します。また、VoWLAN コールだけでなく、すべてのアプリケーションとデバイスに 5 GHz 帯域の Wi-Fi チャンネルを使用することを推奨します。

ネイバー リストからの情報があれば、802.11k クライアントがすべての 2.4 GHz と 5 GHz のすべてのチャンネルをプローブして AP のローミング先を探す必要はありません。すべてのチャンネルをプローブする必要がなくなれば、すべてのチャンネルのチャンネル利用率が減少するため、すべてのチャンネルの帯域幅が増加します。また、ローミングにかかる時間が短縮され、クライアントによる決定が向上します。また、各チャンネルの無線設定が変更されない上、各チャンネルにプローブ要求が送信されないため、デバイスのバッテリー寿命が長くなります。これにより、デバイスでプローブ応答フレームをすべて処理する必要がなくなります。

802.11r および 802.11e 仕様は、同じ認証タイプをサポートしています。対象となるのは LEAP、EAP-FAST、EAP-TLS、EAP-TTLS、EAP-SIM、PEAP バージョン 1 および 2 です。このセキュリティ機能により、パケット 4 個のみと引き換えに、802.11r 対応クライアントを AP で確実に認証できます。このパケットのうち 2 個は、AP 同士を接続するイーサネット有線接続を介して送信されます。残りの 2 個のパケットは、各 AP の Wi-Fi チャンネルで送信されます。これにより、802.11r クライアントが実際にローミングする前に、ローミングしようとしている AP に対して確実に認証できるようになります。その結果、ローミング後でも、802.11r クライアントでデータ、ビデオ、および音声パケットを認証プロセスの遅延なしで送受信できるようになります。802.11r パラメータが追加されることで 802.11 ヘッダーが変わるため、802.11r クライアント用の WLAN を 802.11r 対応でないクライアントと共有することはできません。このことは、802.11r 対応の WLAN によって SSID を割り当てられたすべてのクライアントに、アソシエーションパケットの 802.11r 要素に対応した Wi-Fi 無線ファームウェアが入っていないなければならないことを意味します。802.11r 高速ローミングに対する制限は次のとおりです。

- 自律モードの AP でサポートされない
- ローカル認証 WLAN と中央認証 WLAN 間のローミングがサポートされない

シスコでは 802.11r 仕様を使用することを推奨します。それは、WLAN に認証済みのクライアントとの間で Wi-Fi チャンネルに送信されたパケット数が減少するので、ローミングにかかる時間が短縮されるためです。

## ユーザにとってローカルな干渉源

干渉はユーザにとってローカルですが、近接ユーザにも影響する可能性があります。Bluetooth (BT) は、2.4 GHz Wi-Fi チャンネルと干渉するパーソナル エリア ネットワークで使用される一般的な RF プロトコルです。図 9-15 は、実際の Bluetooth 信号が 802.11b/g クライアントで使用されるすべての 2.4 GHz チャンネルにまたがっていることを示しています。この図は電話に取り付けられた Bluetooth ヘッドセットを使用した 802.11g 音声コールから取得したものです。図 9-16 では、Bluetooth ヘッドセットによるジッターも示しています。

図 9-15 一般的な Bluetooth イヤピースの 802.11b/g 2.4 GHz スペクトラムにおける信号パターン

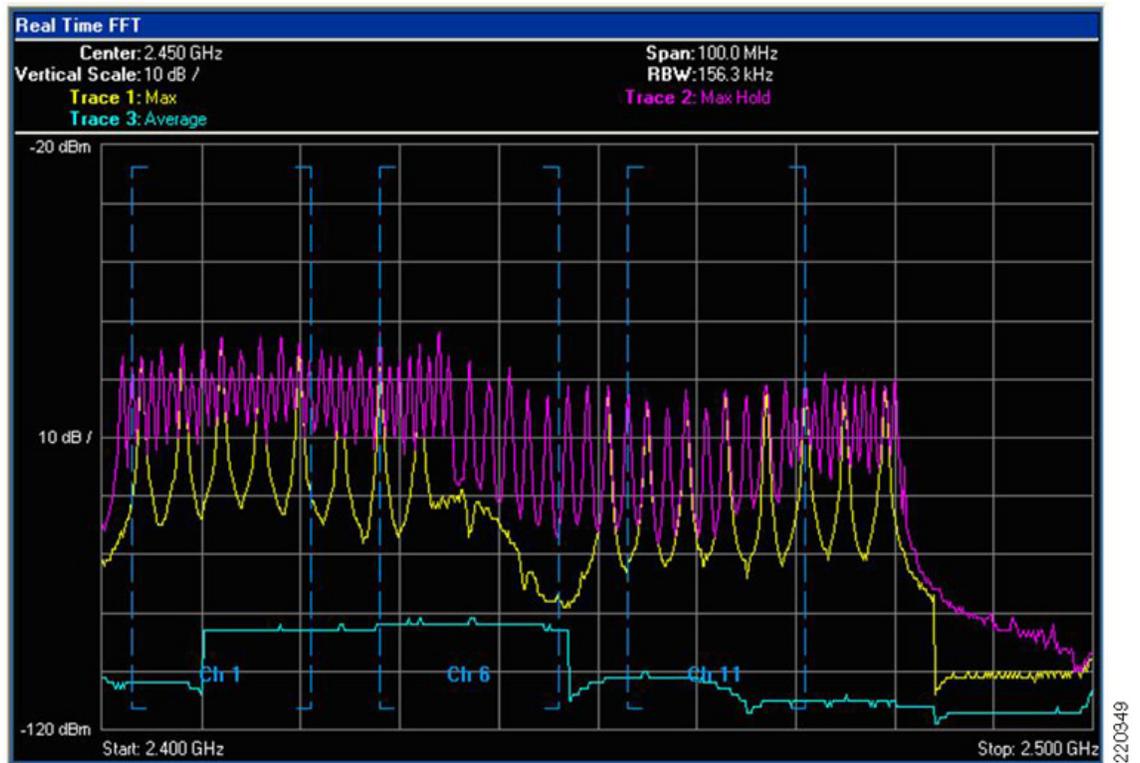
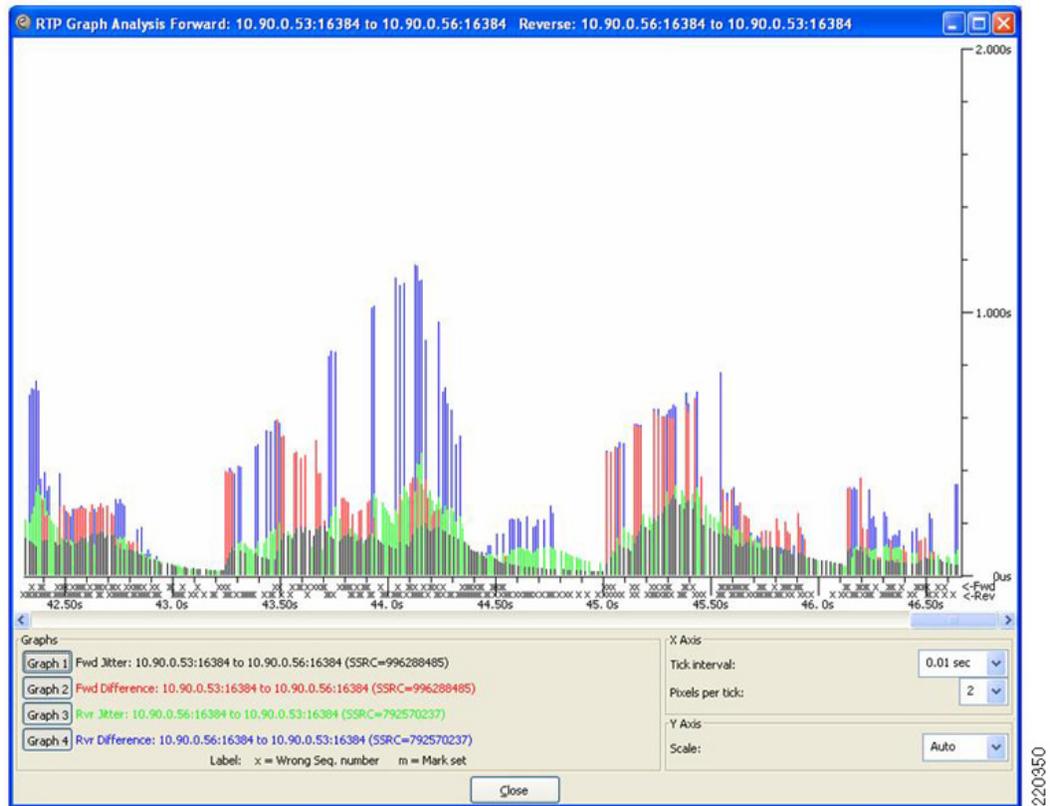


図 9-15 中の紫色の線は、最大ホールド回線、すなわちテスト中に到達した最大送信電力を示す回線です。黄色い線は、最後のサンプル期間の 10 秒の最大伝送パワーを示しています。緑色の線は、テスト期間の平均伝送パワーを示しています。縦の青い点線は、オーバーラップしない 3 つの 802.11b/g チャンネルである Ch1、Ch6、および Ch11 を分けています。この図は左から右に 2.400 GHz から 2.500 GHz を表します。右端の Ch11 の縦の青い線は、ヨーロッパと日本で使用されている 802.11 スペクトルの部分です。このキャプチャは、北米の規制区域用に設定された AP とクライアントを使って取得されました。この図は、Bluetooth イヤホンが FCC 規制の外側で簡単に電波を送信していたことを示しています。

Bluetooth 信号が非常に狭いことに注目してください。Bluetooth は 1 つの MHz の周波数でデータを送信し、送信を停止し、802.11 2.4 GHz 帯域の別の周波数に移動して、データを送信します。この動作は繰り返し実行されます。802.11b と 802.11g の信号は、混合周波数 22 MHz で送信されます。無線はその 22 MHz の周波数に留まります。22 MHz のこのグルーピングはチャンネルと呼ばれます。最大保留回線は、検索モードでの Bluetooth の強さを示しています。信号レベルは 50 mW (17 dBm) OFDM 802.11g 無線のレベルよりも高いところにあります。この強度および長さの信号により、802.11b/g 電話は VoWLAN コールをドロップします。Bluetooth 信号の強度が低いと、ジッターが発生して MOS 値が低くなります。図 9-16 で、それぞれ Bluetooth イヤピースを使用する 3 つの同時通話の Ethereal ジッター分析の例を示します。

図 9-16 ジッター分析の例



3つのコールはすべて同じAP上にあり、このAP上の他の電話へのコールでした。

Wi-Fi および Bluetooth と干渉情報の詳細については、次の IEEE レポートをお読みください。

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6105779>

Wi-Fi OFDM と衝突したときの Bluetooth TDM パケットに対する障害に影響を与える要因には、次のようなものがあります。

- 相対電力
- 帯域幅
- 相互オーバーラップ
- 衝突する OFDM 信号の数

サンプルの Wi-Fi OFDM のパケットと Bluetooth 信号の間の干渉の影響に対するシミュレーションを行いました (図 9-17 を参照)。この図では、標準の GMSK Bluetooth の無歪信号の TDM 特性を示します。左側が時間と周波数 (MHz) の関係、右側が時間と I/Q の振幅の関係を示しています。

図 9-17 IEEE 波形シミュレーション

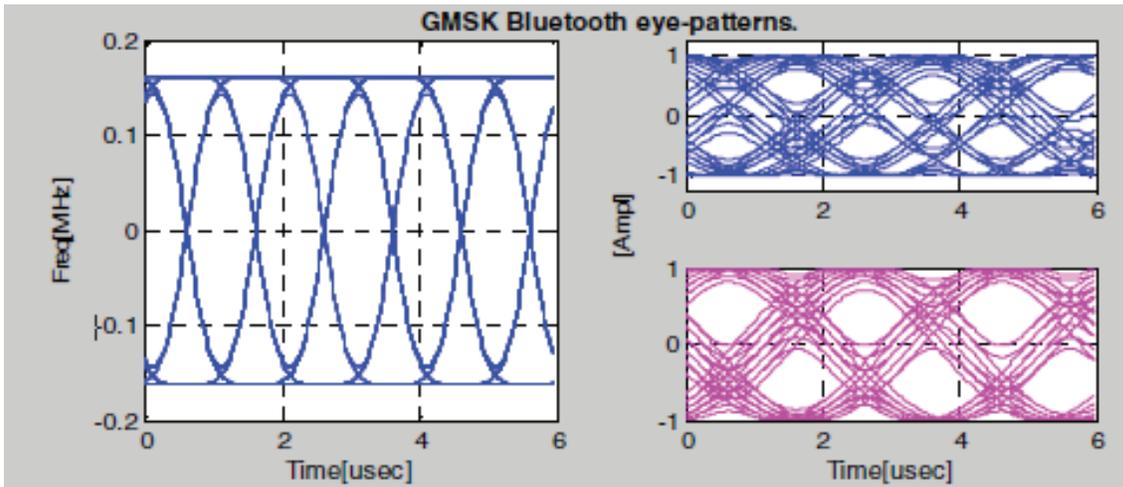


図 9-17 で示すように、ホッピング周期が  $625 \mu$  秒の Bluetooth は、一度に複数の OFDM のパケットが発生した場合に干渉する可能性があります。特に、高速の OFDM モード（パケット長が Bluetooth よりはるかに短い場合）が衝突に関わっている場合にこの傾向が顕著です。