

情報通信審議会 情報通信技術分科会
陸上無線通信委員会報告
概要

「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」のうち、
「60GHz帯の周波数の電波を利用する無線設備の高度化に係る技術的条件」

平成27年6月16日
陸上無線通信委員会



陸上無線通信委員会

主査 東京工業大学 安藤 真

60GHz帯無線設備作業班

主任 茨城大学 梅比良 正弘

作業班構成員 26名

○委員会検討状況

第15回(平成26年11月11日)・・・60GHz帯無線設備の高度化に係る技術的条件の検討開始報告。作業班の運営方針、検討の進め方及びスケジュール等について確認。検討の進め方については、委員会内の意見を取りまとめ、作業班に送付した。

第17回(平成27年2月3日)・・・60GHz帯無線設備の高度化に係る技術的条件の検討状況について、作業班より中間報告。

第20回(平成27年4月9日)・・・作業班で取りまとめられた陸上無線通信委員会報告(案)についての検討を行った。また、報告書(案)について、平成27年4月18日から同年5月22日までの間、パブリックコメントを募集することとなった。

第23回(平成27年6月11日)・・・パブリックコメントの結果、2件の意見提出があり、それら意見をふまえ、委員会報告を取りまとめた。

○作業班検討状況

第1回(平成26年11月21日)・・・60GHz帯無線設備の高度化に係る技術的条件の検討開始報告、検討の進め方の確認。

第2回(平成26年12月19日)・・・60GHz帯無線設備の新たな利活用方策の検討及び現在の利用状況の確認。干渉検討の進め方及び昨年度実施の技術試験事務の検討。

第3回(平成27年1月23日)・・・被干渉システムとの干渉検討。空中線電力等の検討及び増力した場合の電波防護指針との適合性の検討。

第4回(平成27年2月20日)・・・60GHz帯無線設備の技術的条件について検討。

第5回(平成27年3月6日)・・・60GHz帯無線設備の技術的条件について検討。

第6回(平成27年3月20日)・・・60GHz帯無線設備の高度化に係る技術的条件に関し、電波防護指針との適合について検討。60GHz帯無線設備の測定方法について検討。報告書取りまとめ。

検討経緯について

概要

60GHz帯画像伝送及びデータ伝送用無線は、免許を要しない無線局(特定小電力無線局)として、平成12年に制度化。

近年、情報家電機器やモバイル端末等における大容量コンテンツを高速転送可能なシステムとして、IEEE802.11ad/WiGig等の国際標準規格に準拠した製品の導入が国際的に進められているところであり、欧米等の技術基準と調和のとれた国内の技術基準の見直しが求められており、既存無線局への影響に配慮しつつ、必要な技術的条件の改定を行うものである。

※ 既存無線システムに及ぼす影響等を調査するため、平成25年度に技術試験事務を実施済。

主な技術的条件の改定

(1) 空中線電力の緩和

現行の空中線電力は、10mW以下としているが、諸外国と同様に一定のEIRP規定を条件に空中線電力の増力を認めることにより、家庭、オフィスやホールなどにおける通信端末間の通信距離の拡大が可能。

(2) 占有周波数帯幅の許容値の規定緩和

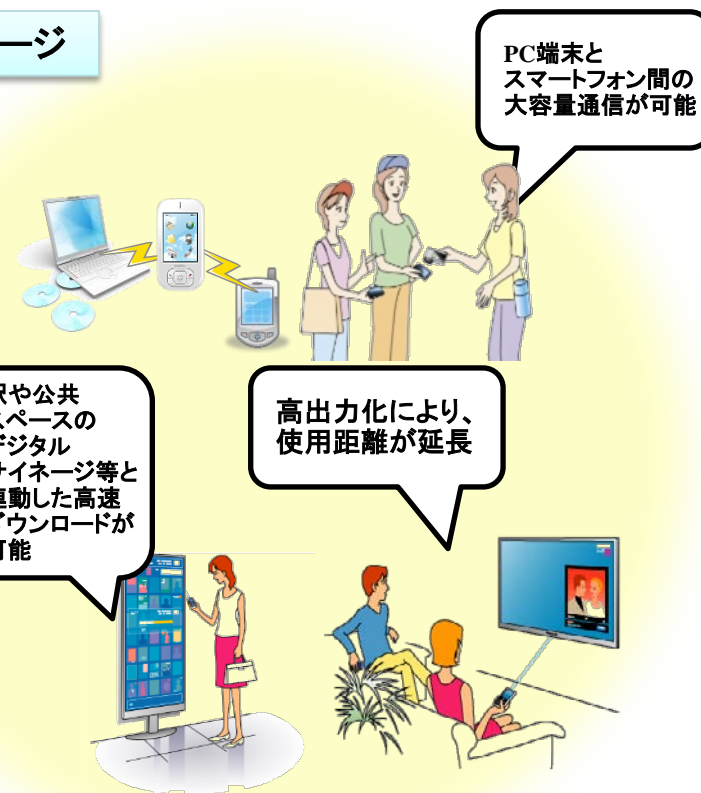
現行の占有周波数帯幅の許容値は、2.5GHz以下としているが、国際標準規格等における広帯域利用にも適合できるよう、諸外国と同様に規定を緩和することにより、より柔軟なシステムの構築が可能となる。

諸外国の技術基準との比較

	日本	米国	欧州	中国
周波数帯	57~66GHz	57~64GHz	57~66GHz	59~64GHz
空中線電力	10mW	屋外: 空中線利得51dBi未満の場合 82dBm-2*(51-空中線利得) 空中線利得51dBi以上の場合 82dBm	規定なし (EIRPで規定)	10mW
EIRP	57dBm (※)	屋内: 40dBm (空中線電力27dBm以下)	40dBm	44dBm
占有周波数帯幅	2.5GHz	規定なし	規定なし	規定なし

※空中線利得は47dBi以下であり、EIRP相当で57dBmとなる

利用イメージ



60GHz帯無線システムの新たな利活用方策

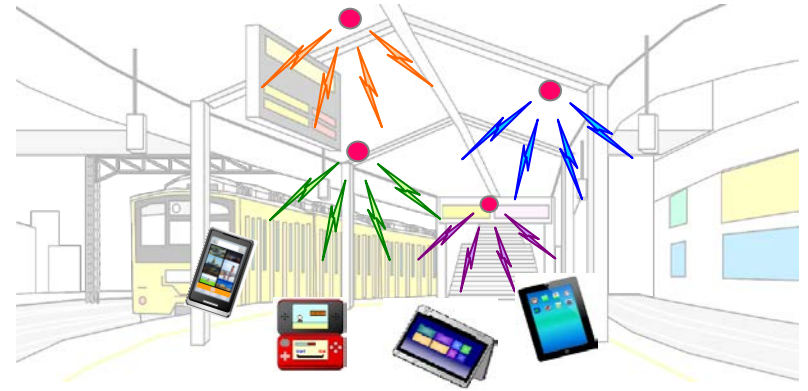


60GHz帯無線システムが今後どのような利活用方策が想定されるか、各メーカー等より提案。近距離・大容量通信の特性を生かし、主に下記のようなシステムへの利活用が期待されている。

大容量コンテンツストリーミング



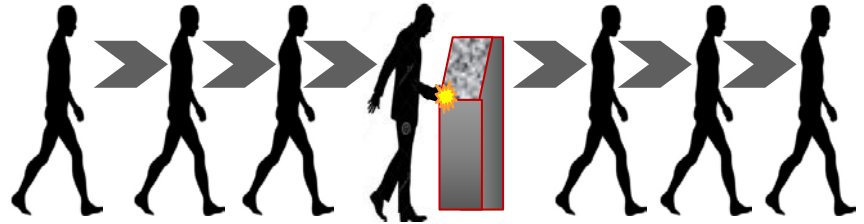
アクセスポイント・ルータ



ワイヤレズドック



データキiosk・タッチ&ゴーシステム



60GHz帯無線システムの普及予測

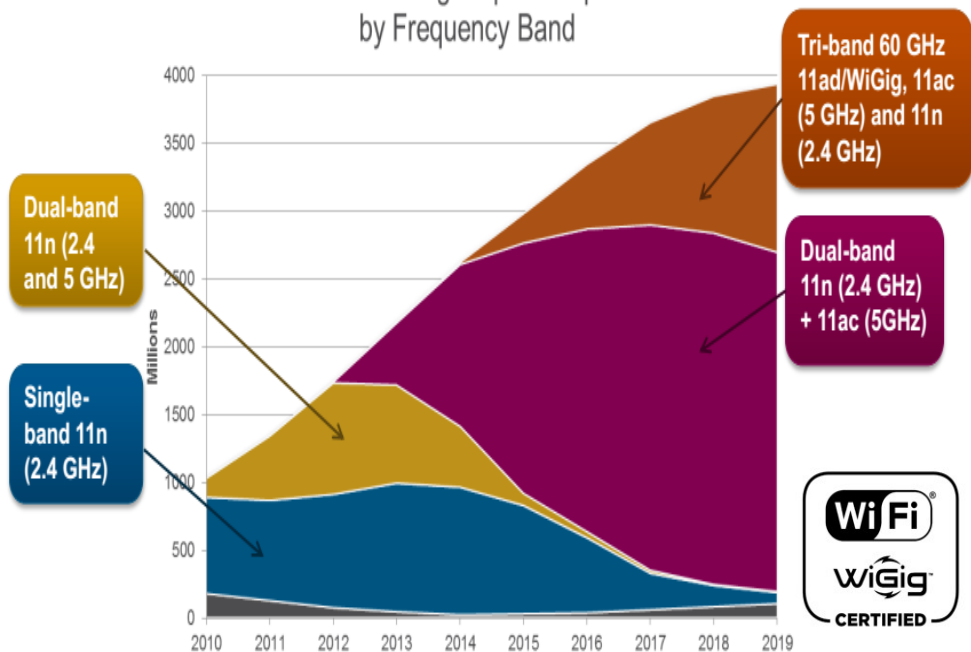


11ad/WiGig対応のチップセットは、今後PCやスマートフォン、タブレット端末等に順次搭載されていくものと予想され、Wi-Fi Allianceの試算では2019年の出荷台数の約3分の1が11ad/WiGigに対応しているものとされている。

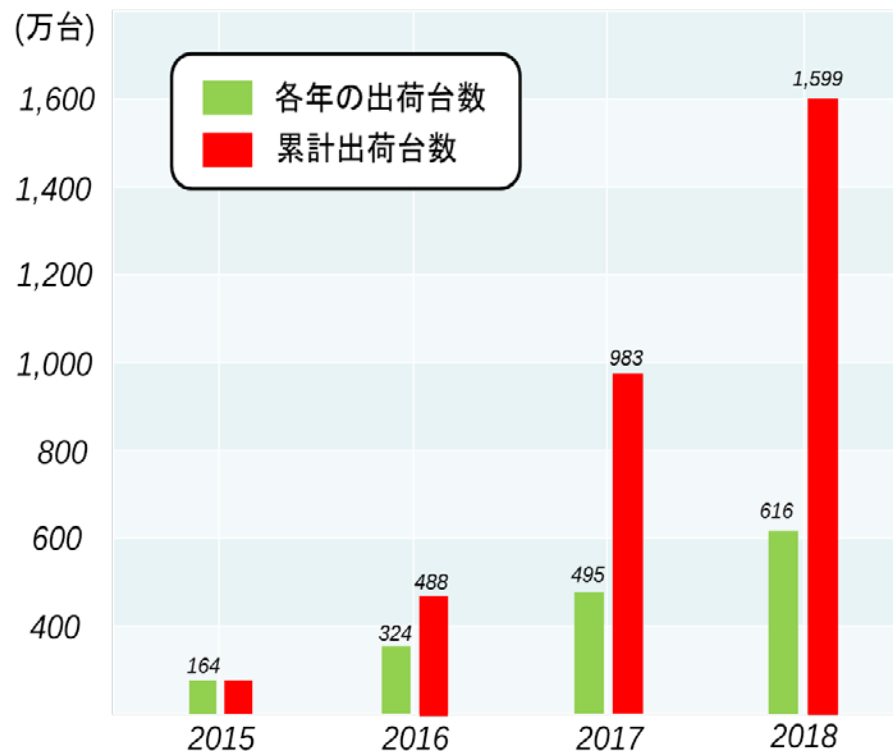
Wi-Fi Allianceにおける普及予測

わが国における普及予測

Wi-Fi and WiGig Chipset Shipments by Frequency Band



(万台)



※ABI Research社による2.4GHz、5GHz、60GHz トライバンド対応チップセットの出荷台数

※左図普及予測から、全Wi-Fiチップセットのうち60GHz帯に対応する出荷台数の割合を算出し、わが国のモバイルPC及びタブレットPCの出荷台数予測に乗じたもの。

世界主要各国における60GHz帯法規制一覧



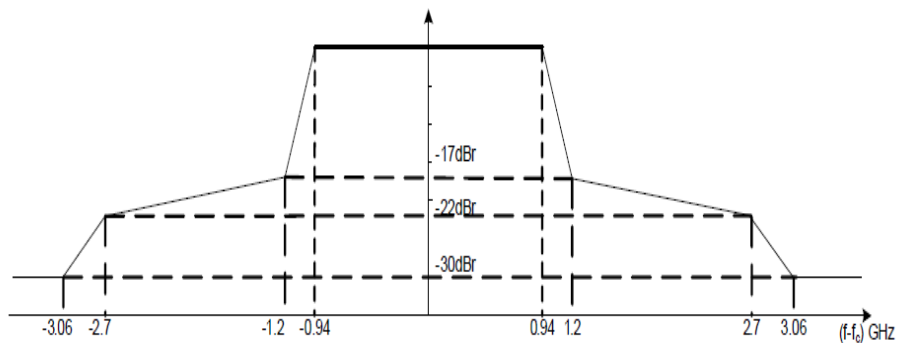
国名	周波数帯(GHz)		最大等価等方輻射電力 (EIRP)	空中線電力及び空中線利得	占有帯域幅
日本	57-66		規定なし	空中線電力: 10dBm(10mW)以下 空中線利得: 47dBi以下	2.5GHz
米国	57-64	屋外	<ul style="list-style-type: none"> ・空中線利得: 51dBi未満の場合 EIRP=82dBm-2*(51-空中線利得) ・空中線利得51dBi以上 EIRP=82dBm 		規定なし
		屋内	40dBm	空中線電力: 27dBm(0.5W)以下 送信帯域幅<100MHzの場合はスペクトル密度に従い電力を制限	規定なし
カナダ	57-64		40dBm	規定なし	規定なし
韓国	57-64		43dBmまたは57dBm(固定: Point-to-Point)	指向性アンテナの場合 空中線電力: 27dBm(0.5W)以下 無指向性アンテナの場合 空中線電力: 20dBm(0.1W)以下	規定なし
欧州	57-66		40dBm チャネル帯域幅<1GHzの場合は、スペクトル密度に従い電力を制限	規定なし	規定なし
中国	59-64		44dBm	空中線電力: 10dBm(10mW)以下 空中線利得: 34dBi以下	規定なし



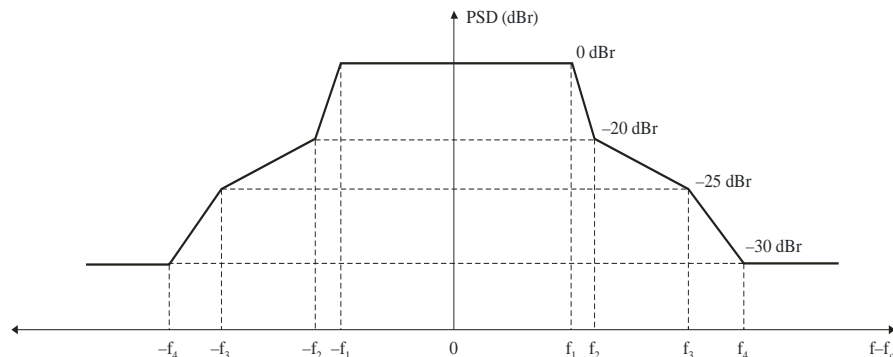
IEEE802.11ad/WiGig 及び他の60GHz帯無線システム諸元

標準化団体	IEEE802				Wireless HD
規格名	802.11ad(WiGig)	802.11ay(NG60 SG)	802.15.3c	802.15.3e	Wireless HD
策定期	2013年	策定中(2018年頃)	2009年	策定中(2017年目標)	2008年v1.0 2011年v1.1
用途	<ul style="list-style-type: none"> ・PCTッキング ・ファイル転送 ・無線LAN等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ファイル転送 ・無線LAN ・バックホール等 	<ul style="list-style-type: none"> ・非圧縮HD伝送 ・ファイル転送 	キオスクや駅改札などのゲート通過時のコンテンツダウンロード、また端末間での高速ファイル転送	HDMIケーブル置き換え
主な変調方式	SC OFDM	未定	SC OFDM	未定	OFDM
最大伝送速度	6.9Gbps	未定	5Gbps	100Gbps	4Gbps(v1.0) 28Gbps(v1.1)
最大伝送距離	10m程度	未定	10m程度	未定	10m程度
実用化	<ul style="list-style-type: none"> ・当規格をベースとした商品あり ・2016年よりWiFi認証が開始 	2019-20年頃の見込み		2018年頃の見込み	PC、プロジェクト等で商品あり

○スペクトルマスク



シングルチャネルのスペクトルマスク



チャンネルボンディング時のスペクトルマスク M.2003-02 7



空中線電力増力の必要性

・11ad/WiGig対応製品は一部製品化もなされ、Wi-Fiアライアンス認証が始まる2016年から本格普及が見込まれる
 ・11ad/WiGigはさまざまな利用シーンが想定されているが、現行の空中線電力10mWでは、所望の伝送速度で十分なカバーエリアが確保できないことから、増力を検討。

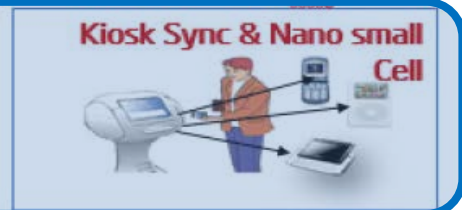
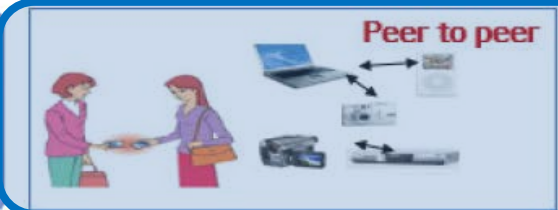
Wi-Fiアライアンス(WiGigアライアンス)が想定する11ad/WiGigの利用シーン

現行技術基準で概ねカバーできる
利用シーン

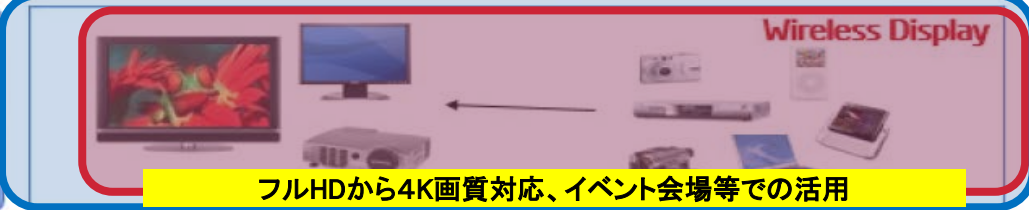
現行技術基準では
利用が制限されるシーン



Instant wireless sync
 - IP based P2P applications
 - Wireless I/O
 - Media HotSpot



Wireless Display
 - HD streams over HDMI or DP
 - CE & PC & HH usages
 - Hulu, IPTV, YouTube



フルHDから4K画質対応、イベント会場等での活用



Wireless Docking
 - Combination of Wireless display, sync and I/O



会議室でのデータ共有など



Internet Access
 - WiFi, IEEE 802.11ad
 - 3G/4G, Offload
 - Small Cell Backhaul



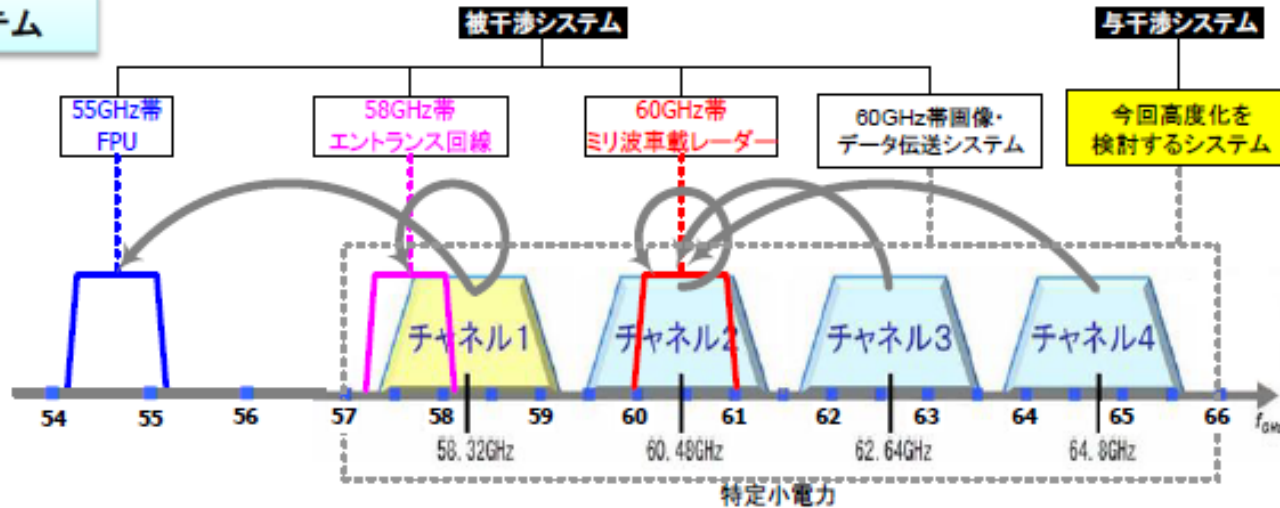
100m程度のスモールセル

他の無線システムとの共用条件等

与干渉システム

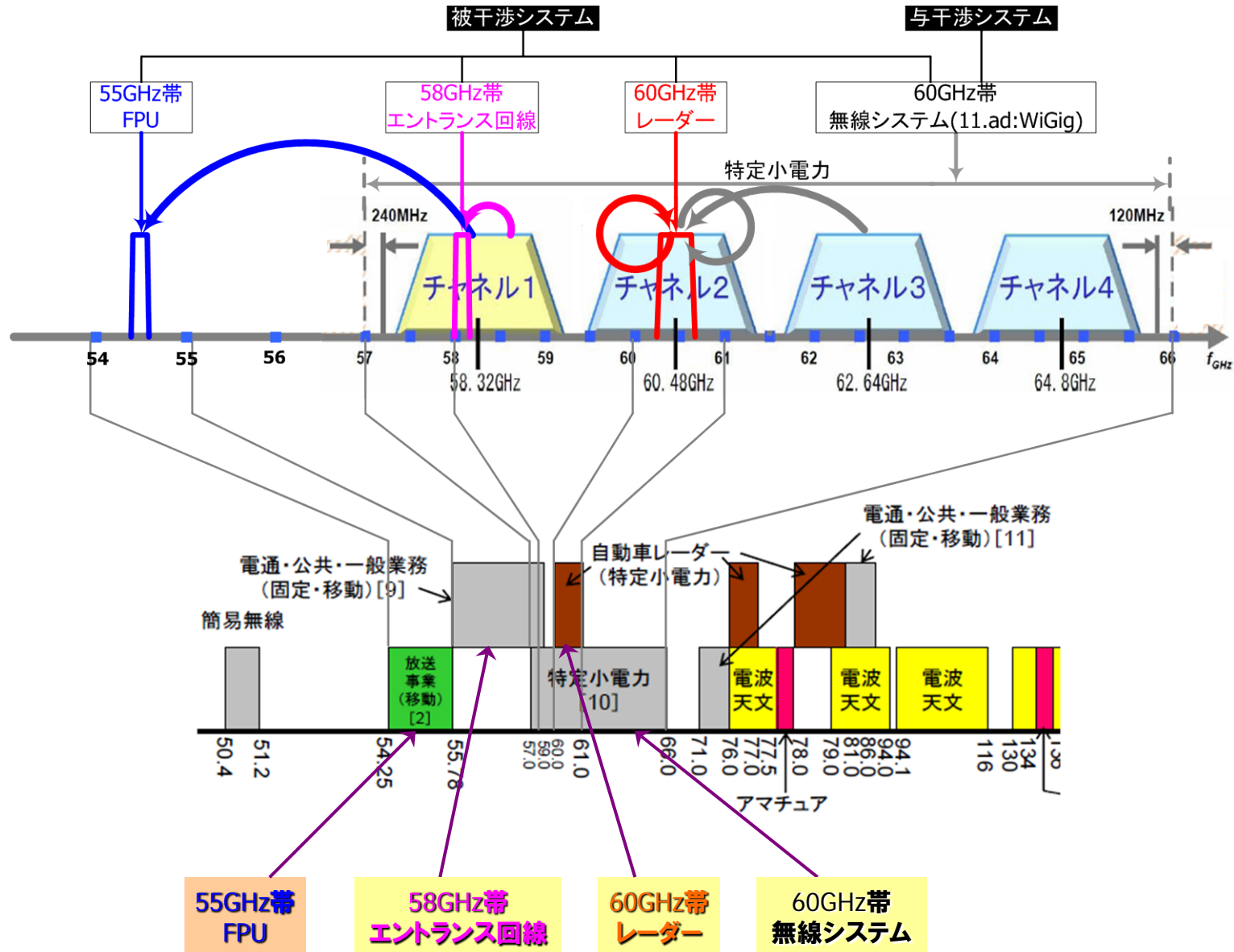
	周波数(GHz)	空中線電力	空中線利得
60GHz帯無線システム	57~66	30dBm, 25dBm, 20dBm, 10dBm(現行)	25dBiを上限として、可変とする。

被干渉システム



	周波数帯(GHz)	与干渉システムとの関係	諸元
FPU	54.25~55.78	隣接周波数帯	ARIB STD-B43
エントランス回線	55.78~59	同一周波数帯	実利用システムから引用
ミリ波車載レーダー	60~61	同一周波数帯	ARIB STD-T48
画像伝送/データ伝送	57~66	同一周波数帯	ARIB STD-T69/ IEEE802.11ad、WirelessHD

与干渉システムと被干渉システム





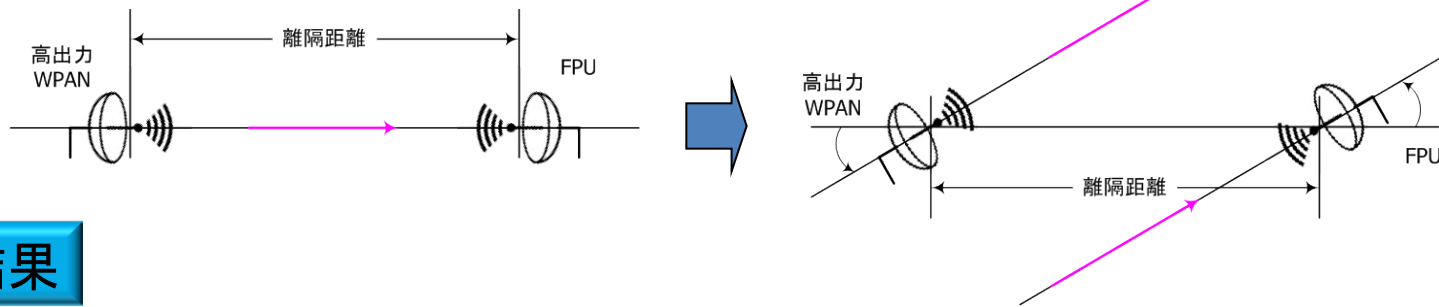
○無線局別干渉検討結果

無線システム	周波数帯	検討方法	共用検討結果
FPU	54.25～55.78GHz	許容INR基準(-20dB)を満たす離隔距離評価	<ul style="list-style-type: none"> ・アンテナが正対する条件では干渉が認められるが、アンテナの指向方向の角度差が生じることで干渉は緩和する ・与干渉システムの空中線電力30dBm、アンテナ利得25dBiとした場合、互いのアンテナに10度以上の角度差があれば離隔距離は286m(ITU-Rモデル)、20.7m(IEEEモデル)となり、実用上干渉の影響は低い
エントランス回線	55.78～59GHz	許容INR基準(-10dB)を満たす離隔距離評価	<ul style="list-style-type: none"> ・被干渉システムと与干渉システムが正対するような最悪条件においては、干渉が認められ、与干渉システムの空中線電力25dBm、半値角30度(15.9dBi)の場合、アンテナ正対時の離隔距離は2,204mとなる ・被干渉アンテナ(半値角1.5度(41dBi))を正対から10度ずらすと離隔距離は606m、与干渉アンテナを40度ずらすと離隔距離は776mと干渉量は緩和され、アンテナ指向性により実用上干渉の影響は低い
ミリ波車載レーダー	60～61GHz	設置条件を想定した伝搬解析による所要改善量の場所率評価	<ul style="list-style-type: none"> ・与干渉システムが交差点で高さ2mの設置条件では、空中線電力30dBmに対し、97%の場所率で改善不要となり、移動する車載レーダーに対する実用上干渉の影響は低い
画像伝送・データ伝送	57～66GHz	設置条件を想定した伝搬解析による所要改善量の場所率評価	<ul style="list-style-type: none"> ・IEEE802.11adシステム間の場合、与干渉システムの空中線電力30dBmで半値角15度(21.9dBi)～半値角60度(10.2dBi)の組み合わせでは、同一チャンネルでは44.4%の場所率で改善不要となるが、隣接チャンネルを使うと、88%、次隣接チャンネルで95.77%となり、チャンネル切り替えることでシステムとしての共存が可能である。 ・被干渉システムがWirelessHDの場合も同様、同一チャンネルでは干渉が認められるが、次隣接チャンネルで95%以上の場所率で改善不要となる
		<集合住宅向け共同受信システム> 伝搬解析による所要改善量の場所率評価	<ul style="list-style-type: none"> ・与干渉システムの空中線電力25dBm、半値角30度(15.9dBi)の場合、被干渉システムに対し27度以上の角度差があれば、所要改善量はマイナスの値となり、実用上干渉の影響は低い
		<ビル陰衛星放送受信障害対策> 許容INR基準(-10dB)を満たす離隔距離評価	<ul style="list-style-type: none"> ・被干渉システムのアンテナ利得が23dBi、与干渉システムの空中線電力が25dBm、アンテナ利得が15.9dBiの場合、離隔距離は354.6mと、上記エントランス回線に比べても干渉の影響は低い

アプローチ

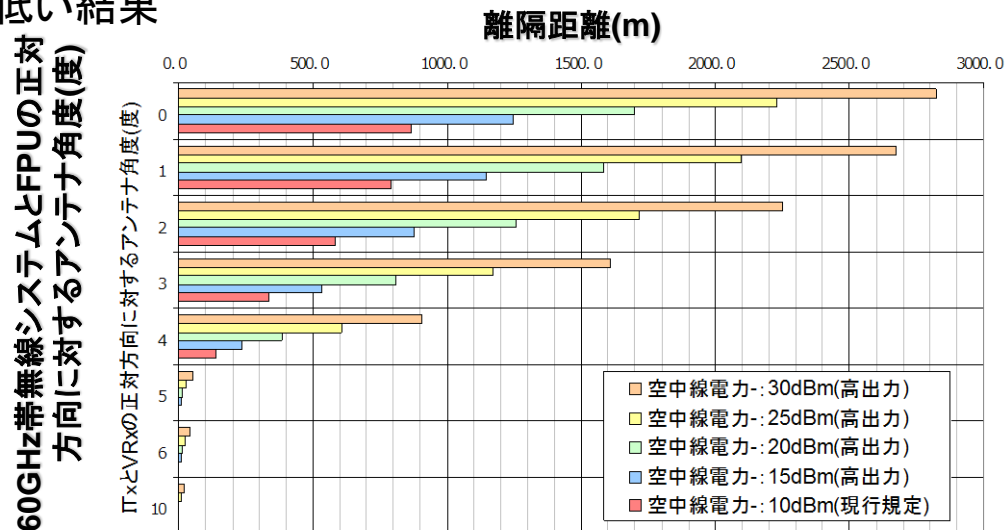
- 60GHz帯無線システムとFPUとの離隔距離を机上計算にて実施し評価
- FPUに要求される許容I/Nを基準に、FPUにおける許容干渉レベルを算出し、その許容すべき干渉レベルとなる距離を離隔距離として求める

高出力WPANとFPUの互いのアンテナ角度を可変しながら離隔距離を求める



評価結果

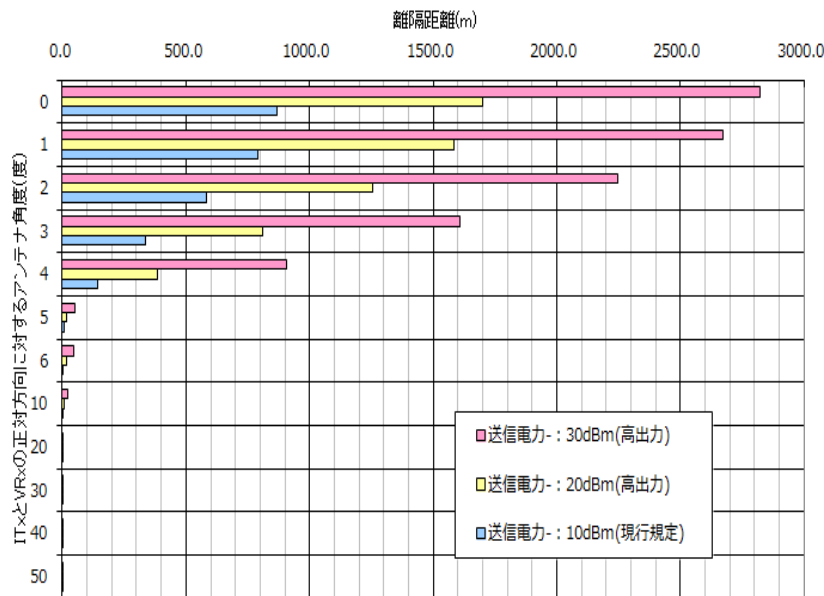
- 60GHz帯無線システムの空中線電力を30dBm、アンテナ利得を25dBiとし、FPUのアンテナ利得を35dBiとした場合、互いのアンテナに5度以上の角度差があれば離隔距離は26.5m以下となり、実用上干渉の影響は低い結果



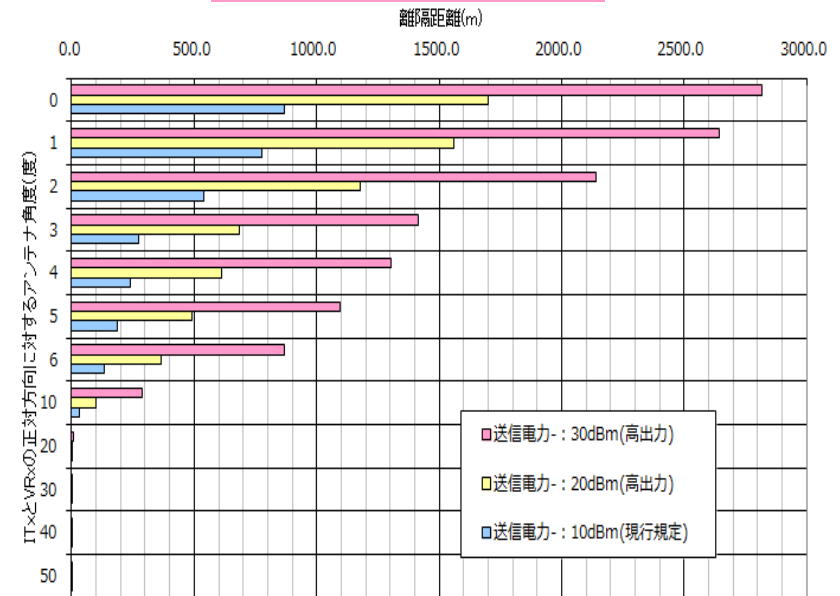
アンテナモデルによる差異の検証

- ITU-RモデルとIEEEモデルによる離隔距離の差を検証
- アンテナ指向性の差により、角度に対する離隔距離に差異が生じるが、指向性アンテナ同士が正対に近い条件にならない限り、離隔距離は大きならない

離隔距離(IEEEモデル)

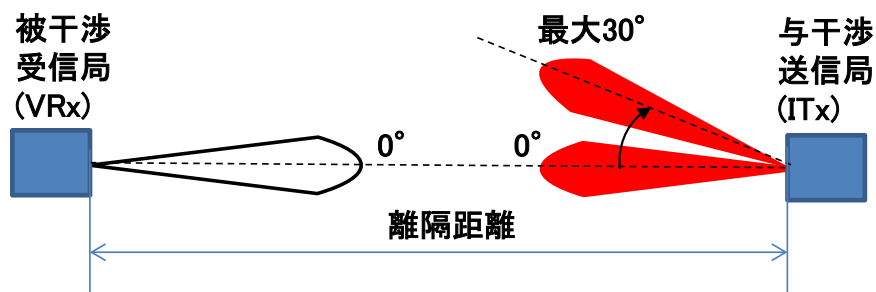


離隔距離(ITU-Rモデル)

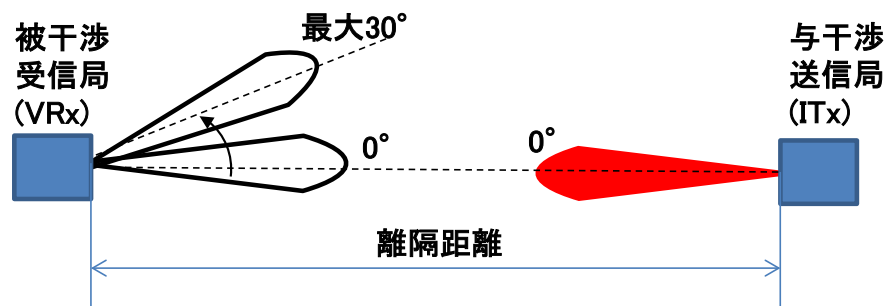


アプローチ

- 最悪条件として、被干渉システム(エントランス回線)と与干渉システム(60GHz帯ミリ波システム)を正対し、エントランス回線に要求される許容I/Nを-10dBとし、エントランス回線における許容干渉レベルを算出し、その許容すべき干渉レベルとなる距離を離隔距離として求める
- 与干渉局および被干渉局が正対から角度差が生じた場合の離隔距離の変化を算出する



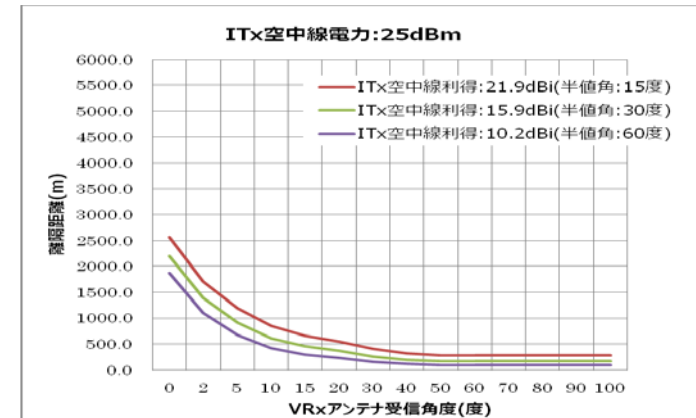
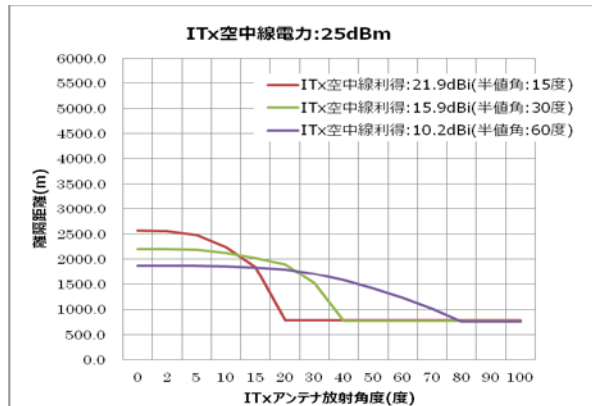
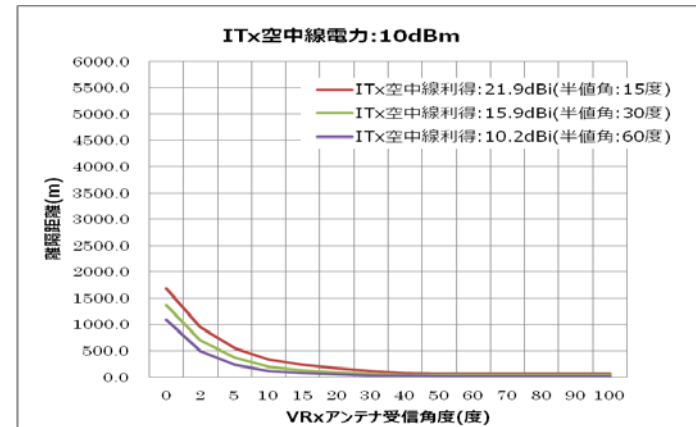
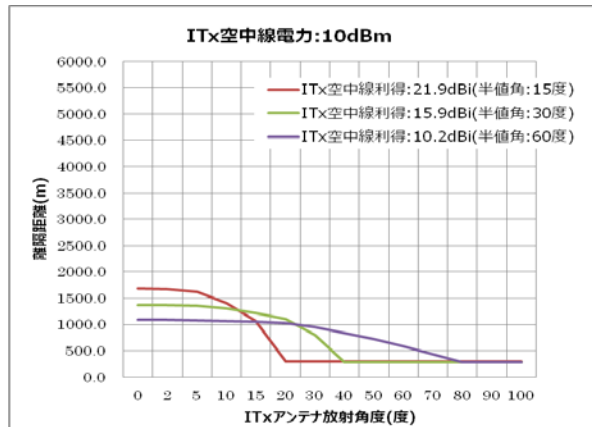
(a) 与干渉局を回転させた場合



(b) 被干渉局を回転させた場合

評価結果

- 正対するような最悪条件においては、干渉が認められ、与干渉システムの空中線電力25dBm、半値角30度(15.9dBi)の場合、アンテナ正対時の離隔距離は2,204m。
- 被干渉アンテナ(半値角1.5度(41dBi))を正対から10度ずらすと離隔距離は606mとなり、与干渉アンテナを40度ずらすと離隔距離が776mとなり、大きく緩和される。

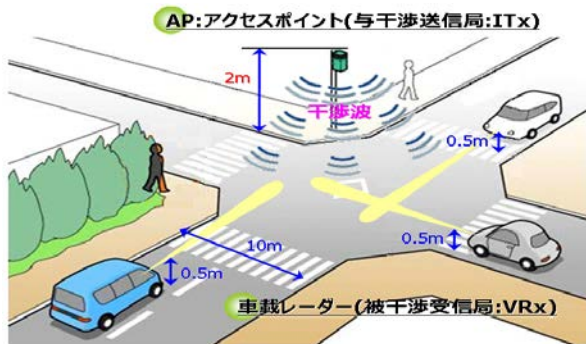


注) 干渉検討に用いたアンテナ指向性モデルは、角度を一定以上ずらしても離隔距離がフロアを打つ計算結果となっている。一般的に今回検討対象とした高利得アンテナでは角度ずらすことにより、実際のアンテナ利得はフロアを打たず、角度差とともに離隔距離はさらに小さくなると思われる。

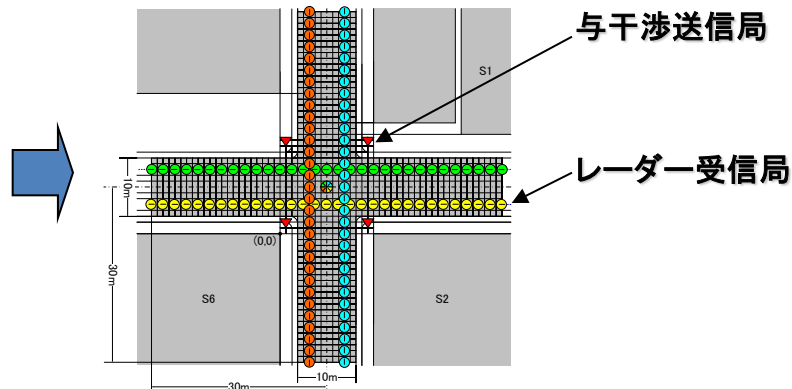
アプローチ

- 交差点モデルを適用、道路上に地上0.5mのレーダー受信局128点を設定
- 交差点に設置した地上2mの与干渉送信局から干渉波を放射し、128点の所要改善量を求める

【交差点モデル】

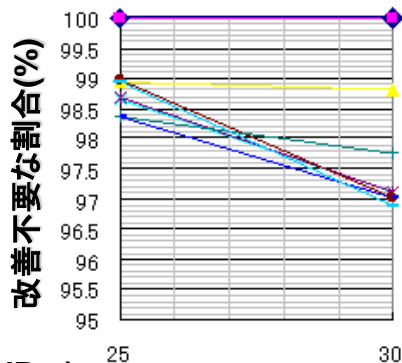


【128のレーダー受信局配置】



評価結果

- レーダー受信局128点の所要改善量から改善が不要な割合を算出
- 改善不要な割合は97%程度となり、レーダーの最大検出距離120mにおいても、高出力WPANからの干渉は無視できる結果



与干渉送信局の送信電力(dBm)

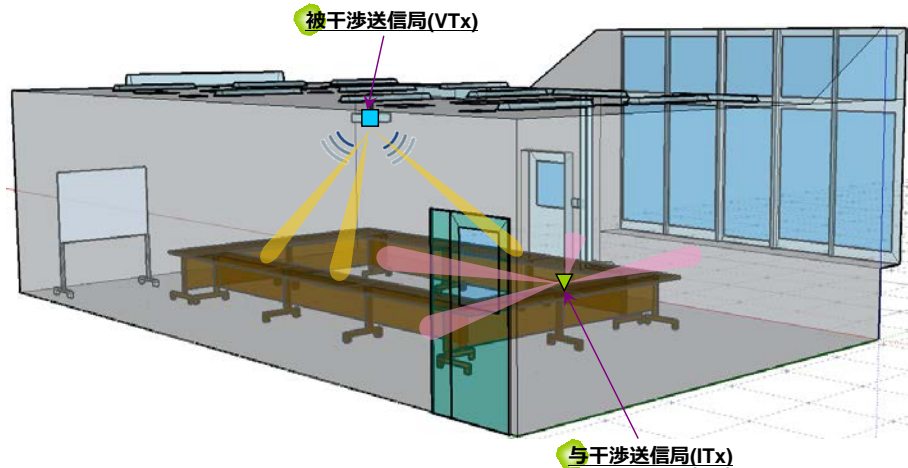
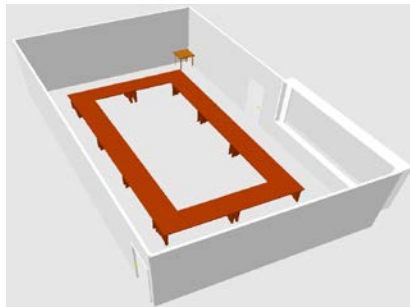
与干渉送信局のアンテナ半値角と放射俯角



アプローチ

- 会議室モデル(6.21m x 10.8m x 2.99m)を適用、地上2.5mの天井付近に被干渉送信局、地上1mに格子状の6527点の被干渉受信局を配置
- 地上1mの机上に配置した与干渉送信局から干渉波を放射し、6527点の被干渉受信局の所要改善量を求める

【会議室モデル】

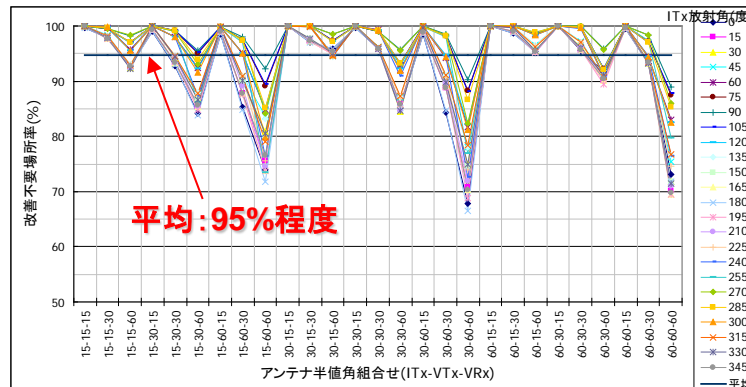


評価結果

- 計算で求めた所要改善量から改善が不要な割合(場所率)を求めた結果、与干渉送信局の空中線電力30dBmの場合、概ね平均88~95%程度の結果を得た ※隣接チャネル設定時

【評価ケースAの改善不要場所率】→

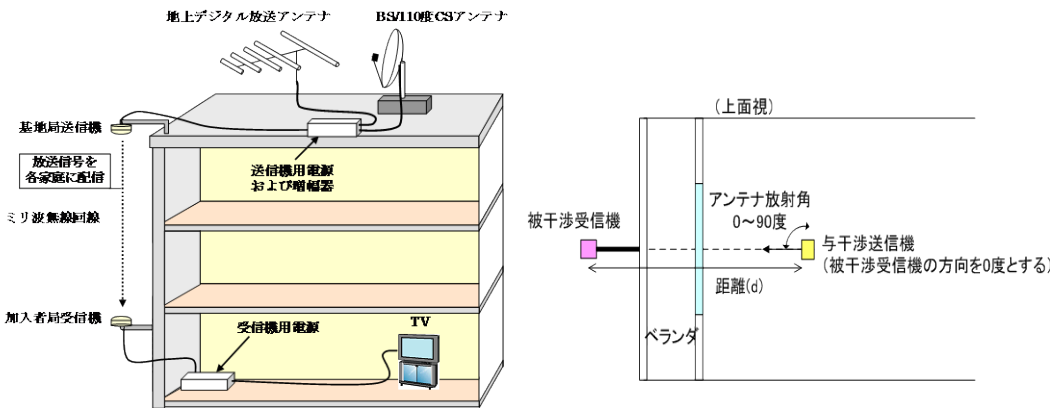
- ・与干渉送信局空中線電力:30dBm
- ・チャネル割り当て:隣接



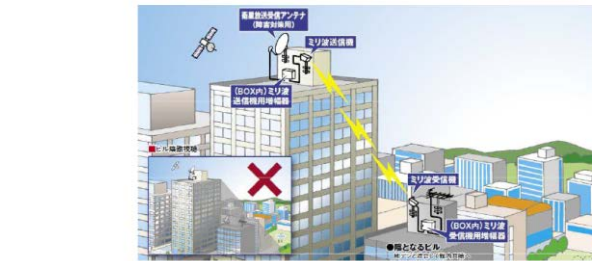
アプローチ

- 被干渉システムである集合住宅向け共同受信システムは代表的な運用形態とし、屋内での与干渉システム(60GHz帯画像伝送システム)に対し、干渉の影響を所要改善量として机上計算
- 被干渉システムであるビル陰衛星放送受信障害対策システムと、与干渉システム(60GHz帯無線システム)を正対し、被干渉システムに要求される許容I/Nを-10dBとし離隔距離を机上計算

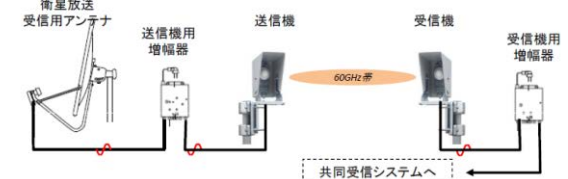
—ビル陰衛星放送受信障害対策としての使用例—



集合住宅向け共同受信システム(干渉モデル)



システムの構成例



ビル陰衛星放送受信障害対策システム

評価結果

- 集合住宅向け共同受信システムの場合、与干渉システムの空中線電力25dBm、アンテナ半値角30度の場合、被干渉システムに対し27度以上の角度差があれば、実用上干渉の影響は低い。
- ビル陰衛星放送受信障害対策システムの場合、被干渉システムの受信空中線利得が23dBi、与干渉システムの空中線電力が25dBm、アンテナ利得が15.9dBiの場合、離隔距離は354.6mと、上記エントランス回線に比べても干渉量は小さく、実用上干渉の影響は低い。



評価結果

- IEEE802.15.3eは、近年開発・標準化が進められつつある近接通信システムであり、802.11adに代表される高出力化したシステムとの間の周波数共用について、利用シーンなどを勘案した場合、影干涉がある可能性がある。
- 新たな60GHz帯無線システムの規定(案)としては、国際協調を鑑み、最大の空中線電力を250 mW、空中線利得の下限値を10 dBiとしているが、802.11adなどの無線システムではすべての無線局が空中線電力250 mW、アンテナゲイン10 dBiとなるわけではなく、実際は利用形態に応じて適切な最大空中線電力とアンテナゲインが設定される。
- また、11adシステムは、ビームフォーミング機能を有しており、通信相手以外の方向に電波を出すことはない。
- さらに、メインローブだけでなく、サイドローブが影響を及ぼす可能性もあるが、空中線電力が必要最小限となるように自動的に制御する機能を有すること、さらに近接通信システムが常に802.11adの無線局と見通しにあるとも限らず、人体吸収損や他の遮蔽物等で信号が減衰する可能性がある。
- 近接通信システムの普及予測や具体的な利用率などが示されていない状況では、定量的な干渉発生率の時間率、場所率を求めることは困難であるが、免許不要の無線局の運用の実態に照らし合わせ、上述した条件を総合的に勘案すれば許容すべき干渉のレベルであると判断することが可能である。



探査衛星業務

- 探査衛星業務に関しては、日本で現状利用はないが、米国NOAA(海洋大気庁)やEUMETSAT(欧州気象衛星機関)の運用する低軌道衛星が世界の降雨強度等を観測するために60GHz付近の周波数を観測(受動)していることから、干渉検討を実施。
- 普及予測から普及密度を求め、衛星に搭載されている大気サウダの最大可視範囲(75km×75km)から受けるaggregate 電力を計算。
- 結果は-278.219dBm/MHzとなった。換算すると-288.219dBW/100MHzとなり、想定されるアンテナ利得54dBiを考慮しても、ITU-R RS. 2017において定められているEESS(PASSIVE)における60GHz帯の保護基準-169dBW/100MHzは満足できるものと考えられる。

電波天文業務

- 電波天文業務に関しては、日本で現状利用はされていない。
- 一方、60GHz帯無線設備の二次高調波が、一酸化炭素の電波天文観測帯域である114GHz - 115.3GHzに入りこむおそれがあることから、二次高調波について測定を実施。
- EIRP 11dBmの既存WiGig モジュールで実測を行ったところ、現在市販される測定装置では、測定できない程度の極めて低いレベルとなった。
- 114GHz-115.3GHzにおける電波天文業務の保護基準値は -178.87 dBm/MHzとなっているが、120GHz帯においては、20m離隔すると100dB程度の自由空間損失が発生する。これらの状況を勘案すると、60GHz帯無線システムから電波天文に対する干渉は極めて小さく、共用は可能であると考えられる。

電波防護指針の適合について

電波防護指針の適合について

基本的な考え方

○60GHz帯無線システム(11ad/WiGig)における利用形態としては、主としてパソコン等の情報端末における無線LANの利用イメージ(アクセスポイントを含む)が想定される。また、将来的には携帯電話などのモバイル端末も想定されるが、障害物により電波が遮断される電波の伝搬特性から、携帯電話のように持ち歩きながら通信をすることは想定されない(固定的な利用が主体)。以上のような状況を勘案し、人体に入射する電力量について、検討を実施。

検討方法について

平成11年郵政省告示第300号 においては、空中線入力電力 P [W]、空中線からの距離 R [m]、主輻射方向の利得 G [倍]を用いて、電力束密度 S [mW/cm²]の値が次式により算出できるものとしている。(反射は考慮しない。)

$$S = \frac{P \cdot G}{40\pi R^2} \text{ [mW/cm}^2\text{]}$$

..... ①

また、近傍界における電力密度の計算は、開口面空中線の算出式が適用可能であり、下記の通りとなる。

ア: アンテナ表面

$$S = \frac{4P}{A} \cdot \frac{1}{10} \text{ [mW/cm}^2\text{]}$$

イ: 距離 R が $0 \sim D^2/4\lambda$ [m]のとき

$$S_{nf} = 16 \frac{\eta P}{\pi D^2} \cdot \frac{1}{10} \cdot K \cdot F \text{ [mW/cm}^2\text{]}$$

ウ: 距離 R が $D^2/4\lambda \sim 0.6D^2/\lambda$ [m]のとき

$$S = \frac{D^2}{4\lambda R} \cdot S_{nf} \text{ [mW/cm}^2\text{]}$$

..... ②

⇒11ad/WiGigの各ユースケースを勘案した上で、上記計算式により電力密度を算出。

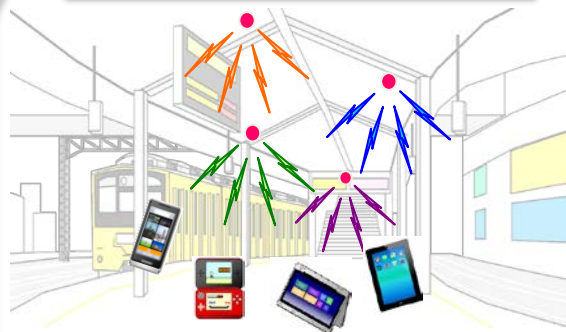
各ユースケースに基づく検討

検討の条件について

11ad/WiGigで想定される実利用に即して、人体に放射される電力密度を計算。

- ・アクセスポイント及びPC端末については、空中線電力24dBm、空中線利得16dBi
- ・携帯電話端末については、空中線電力17dBm、空中線利得15dBi

アクセスポイント(無線LAN)



本システムは固定的に利用され、通常の利用形態では1m以上の距離で使用される。

利用されるアンテナの口径は16mm程度と想定され、その場合遠方界との境界は10.24cmとなる。従って、①の式が適用可能となる。

アンテナからの距離が1mの点における電力密度Sは

$$S=10/(40\pi \times 1^2)=0.0796[\text{mW}/\text{cm}^2]$$

となる。

よって、指針値を満足する。

PC端末(無線LAN、ワイヤレスドッグ)



利用形態を勘案すると、PC端末と人体との離隔距離は30cm程度となると考えられる。

利用されるアンテナ口径は16mm程度と想定され、その場合の遠方界との境界は10.24cmとなる。従って、①の式が適用可能となる。

アンテナからの距離が30cmの点における電力密度Sは

$$S=10/(40\pi \times 0.3^2)=0.884[\text{mW}/\text{cm}^2]$$

となる。

よって、指針値を満足する。

携帯電話端末(無線LAN)



利用形態を勘案すると、端末と人体との離隔距離は離隔距離は～30cm程度と考えられる。

利用されるアンテナ口径は12mm程度と想定され、その場合遠方界との境界は5.76cmとなる。従って、利用状況によっては、人体に近傍界の電力が照射される可能性がある。従って、②の式を適用すると、0～7.2mmの範囲においては77mW/cm²となり、それより遠方は距離に比例して減衰するという結果となった。

これは指針値を上回る値であるが、後述する通信機能を勘案することによって、電波の人体へのばく露量を大きく低減させることが可能と考えられる。

電波防護指針の適合について

計算結果

ユースケースに基づいて電力密度を計算した結果、人体との離隔距離が保てるアクセスポイントやPC端末等に利用される場合は指針値を満足できるという結果になったが、人体近傍で利用する携帯端末やスマートフォンでの利用においては、指針値を上回る値となった。

しかし、下記に示す11ad/WiGigが有する通信機能や時間率を勘案することによって、人体ばく露量(電力密度)を低減することが可能であると考えられる

通信機能等による人体への電波のばく露量の低減方法

○ 60GHz帯無線システム(11ad/WiGig)は、ビームフォーミングの実装が義務づけられており、通信相手となる端末以外の方向に電波が照射されないように制御される。

○ ビームフォーミングは、Sector Level SweepとBeam Refinement の2段階に分かれており、まずSector Level Sweepで相手を探索し、通信を確立する。Sectorは1つのアンテナあたり三次元的に最大64まで分けることが可能。(すべてのアンテナにおける最大は128)Beam Refinement はSector Level Sweepが終わったあと適宜(たとえばリンクが切れた後など)に実施することになっている。

また、Sector Level Sweepの時間は、11adの規格において、 $\text{dot11MaxBFTTime} (1 \sim 16) \times \text{beacon interval}$ で規定されている。また、beacon intervalは1024msまでとなっていることから、一回のスweep時間はどんなに長くても16s程度となる。16sで全セクターのスweepを終了するため、主ビームは数ms～数s程度で人体とは別方向を向くものと考えられる。実装上は、16sだとユーザの待ち時間が長すぎるため現実的ではなく、sweep時間は1～2ms程度となるとされている。条件としてスweep時間10ms、一分間に一回スweepすると仮定した場合、6000分の1程度には緩和できると想定される。

○ 最適なリンク上に人間が存在する場合でも、人体による減衰が大きいことから、通信が確立できず、人体を避けてリンクを構築することになる。基本的にトライバンド(2.4GHz帯、5GHz帯、60GHz帯)対応のシステム普及が予想され、60GHz帯で通信が確立できない場合、他の周波数を用いて通信が行われる。

○ 以上により、ビームフォーミングであること、また送信がバースト信号であることを考慮すると、電波の人体への照射がごく短時間に限定される可能性がある。

なお、実装されたアンテナの特性(ビーム幅やサイドローブ利得)によっては、ビームフォーミングによる時間率軽減が必ずしも適用できないことに注意が必要である。

電波防護指針の適合について

まとめ

○現在想定される利用ケースを前提に試算した結果、人体との離隔距離が保てる場合(アクセスポイントやPC端末等での利用)に関しては、時間率を考慮しなくとも**指針値を概ね満足する結果**となった。

一方、携帯電話端末等、人体に近接して利用するシステムに関しては、時間率を考慮しない計算において**指針値を上回る結果**となったが、電波の人体への照射時間及び実態的な送信時間を短くする通信機能の実装を仕様とすることで、**電波の人体へのばく露量を大きく低減させることが可能**であると考えられる。

このような機能等も考慮した上で、電波防護指針への適合性について個別に確認することが必要である。

○また、今後、今回検討したケース以外にも、より人体の近傍における利用等の新たな利用ケースが拡大する可能性も考えられる。さらに、アンテナ特性等によってはサイドローブが人体に照射される可能性についても懸念される。

そのようなケースにおいては、利用ケースに応じて送信出力の低減や通信機能、または送信時間を考慮する等、**電波防護指針に適合するために必要な措置を講じていくことが必要**である。

特に、頭部付近での使用が想定される場合については、眼部への影響を防護するための措置が必要となることに注意が必要である。

新たな60GHz帯無線設備の技術的条件について

60GHz帯無線システムに対する技術基準



	既存の60GHz帯 特定小電力無線局
周波数帯	57-66GHz
単位チャンネル	規定なし
無線チャンネル	規定なし
空中線電力	10dBm以下
等価等方輻射電力	規定しない
空中線利得	47dBi以下
変調方式	規定しない
キャリアセンス	規定しない
占有周波数帯幅	2.5GHz以下
不要発射の 強度の許容値	帯域外領域: 100 μ W/MHz スプリアス領域: 50 μ W/MHz
空中線電力の 許容偏差	上限50%、下限70%
周波数の許容偏差	指定周波数帯又は \pm 500ppm
受信装置の副次的に 発射する電波の限度	100 μ W以下



新たな60GHz帯無線システム	
空中線電力10dBm以下	空中線電力10dBmを超えるもの
57-66GHz	57-66GHz
規定なし	規定なし
規定なし	規定なし
10dBm以下	10dBmを超え、24dBm以下
規定しない	40dBm以下
47dBi以下	空中線電力10dBmを超える場合は、 最大方向10dBi以上
規定しない	規定しない
規定しない	キャリアセンスによる干渉低減機能を有 すること。
9GHz以下	9GHz以下
55.62GHz以下: -30dBm/MHz以下 55.62を超え57GHz以下: -26dBm/MHz以下 66を超え67.5GHz以下: -26dBm/MHz以下 67.5GHzを超えるもの: -30dBm/MHz以下	55.62GHz以下: -30dBm/MHz以下 55.62を超え57GHz以下: -26dBm/MHz以下 66を超え67.5GHz以下: -26dBm/MHz以下 67.5GHzを超えるもの: -30dBm/MHz以下
上限50%、下限70%	上限50%、下限70%
指定周波数帯又は \pm 500ppm	指定周波数帯又は \pm 20ppm
1GHz未満: 4 nW/100 kHz 以下 1GHz以上: 20 nW/1 MHz 以下	1GHz未満: 4 nW/100 kHz 以下 1GHz以上: 20 nW/1 MHz 以下

今後の検討課題について

今後の検討課題について

○新たな技術基準の整備に係る経過措置

・60GHz帯画像伝送システムは、主に難視対策や集合住宅内における地上デジタルテレビジョン放送、BS／CS放送の再送信を目的として利用されており、利用者の利便性を考慮し安価なシステムとして市販されているところである。
・これらシステムについては、既に普及が進み、新たな技術基準を満たすことができないこと、また、2020年の東京オリンピックに向けて4Kや8Kに対応したテレビの需要が急速に増し、既にこれに対応する製品の導入検討が進められていること等から、一定の期間(8年程度)、技術基準の一部については現行規定の適用を図るなどの経過措置を設けることが適当である。

○電波防護指針の適合について

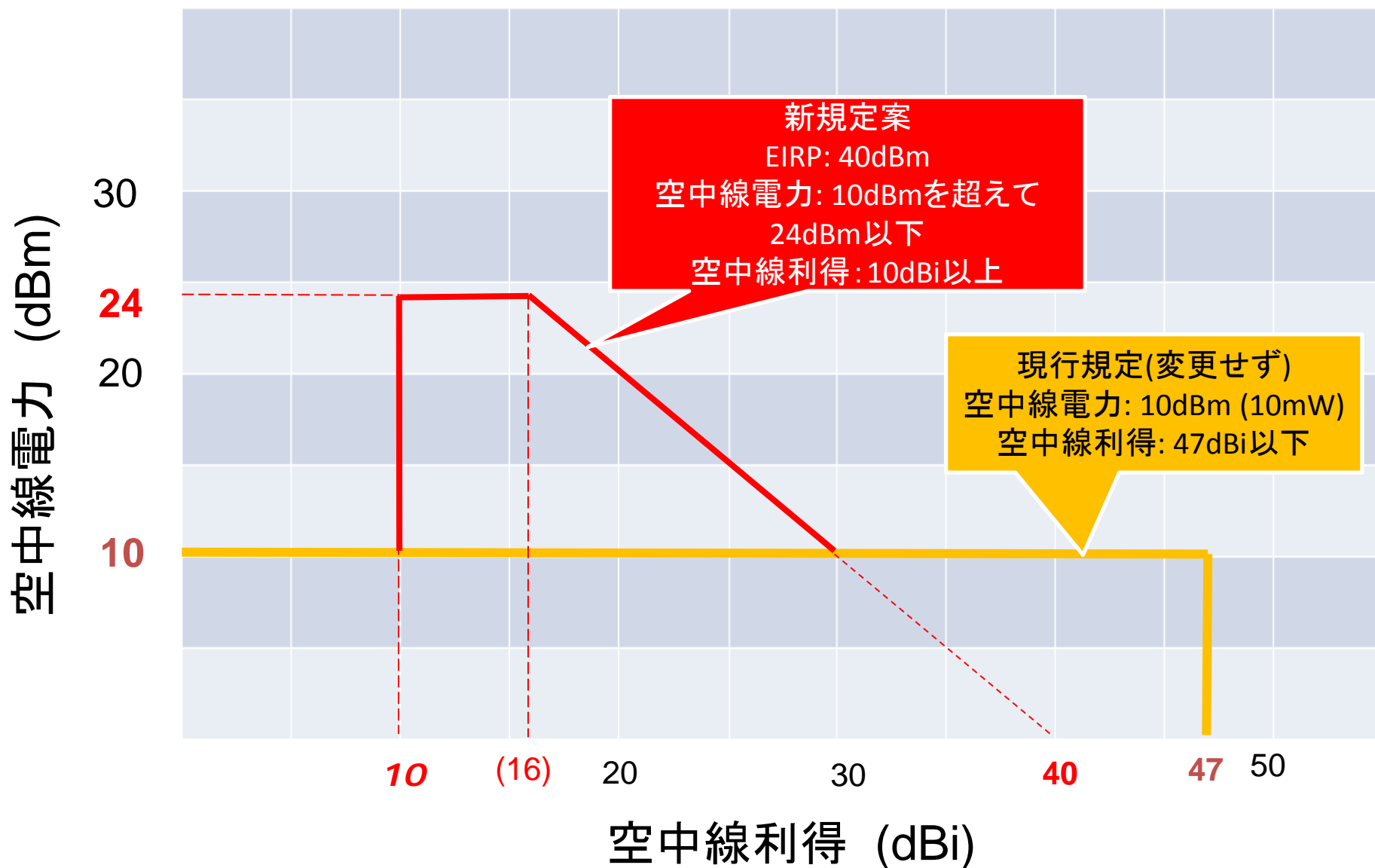
・60GHz帯無線システムについて、新たな技術基準の整備に伴い、より人体の近傍で利用するケースが拡大する可能性も考えられる。そのようなケースにおいては、送信出力の低減、通信機能又は送信時間の考慮等、電波防護指針に適合するために必要な措置を講じることが必要である。特に頭部付近での使用が想定される場合については、眼部への影響を防護するための措置に注意が必要である。

・なお、身体に近接して利用されるミリ波帯通信デバイスの電波防護指針への適合性評価手法に関しては、いまだ研究段階であり、国際標準化機関においても具体的な対応はまだ開始されていない。今後、国際的な動向を踏まえながら、必要に応じて正確かつ効率的な評価手法の整備について検討する必要がある。

○その他

・今回の技術的条件の見直しについては、欧米との技術基準と調和を図るとともに、現時点でその将来動向を予想し、更なる利用者の利便性の向上や新たな利用形態への対応に向けて検討を行ったところであるが、今後も引き続き、60GHz帯の電波利用の環境、技術の進展や普及状況に加え、国際的な標準化動向に留意し、必要に応じて技術的条件の見直しを行うことが適当と考えられる。

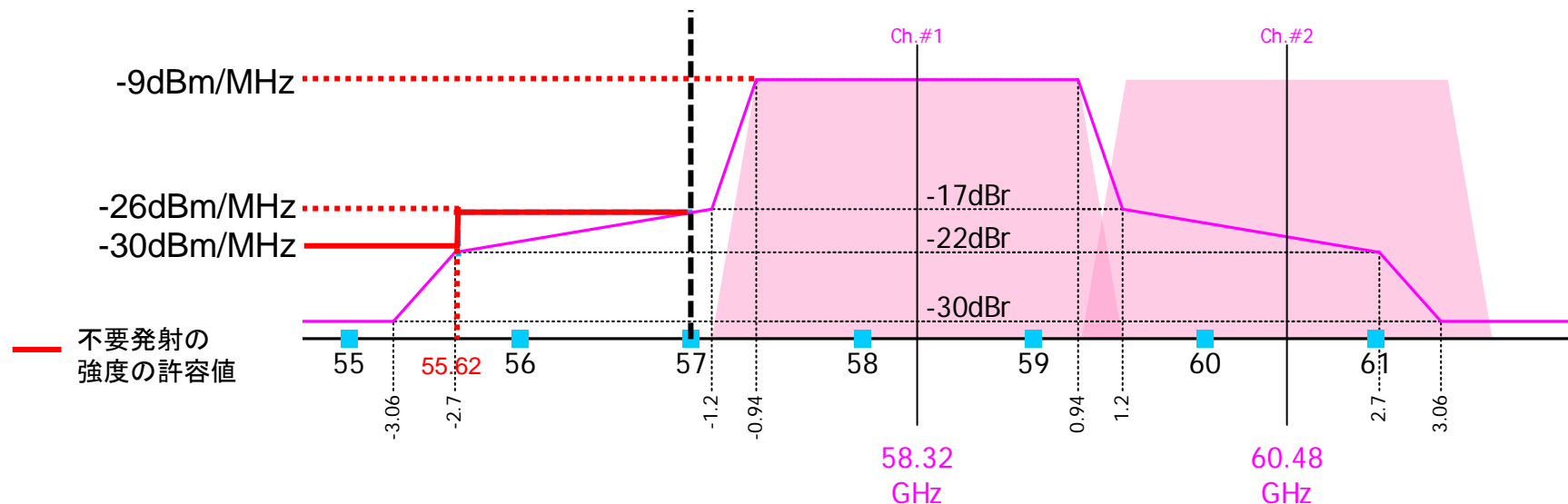
【参考】空中線電力及び空中線利得について



【参考】不要発射の強度の許容値の考え方

ITU-R M.2003及びIEEE802.11adの送信マスク値を考慮し、新たな不要発射強度の許容値を検討

■チャンネル#1の下側の例は下図のとおり。



○新たな60GHz帯無線システムにおける不要発射の強度の許容値

許容値

55.62GHz以下	: -30dBm/MHz以下
55.62GHzを超え57GHz以下	: -26dBm/MHz以下
66GHzを超え67.5GHz以下	: -26dBm/MHz以下
67.5GHzを超えるもの	: -30dBm/MHz以下