

60GHz帯無線システムに関する技術的 条件(案)に関する意見について

P1・・・クアルコムジャパン株式会社

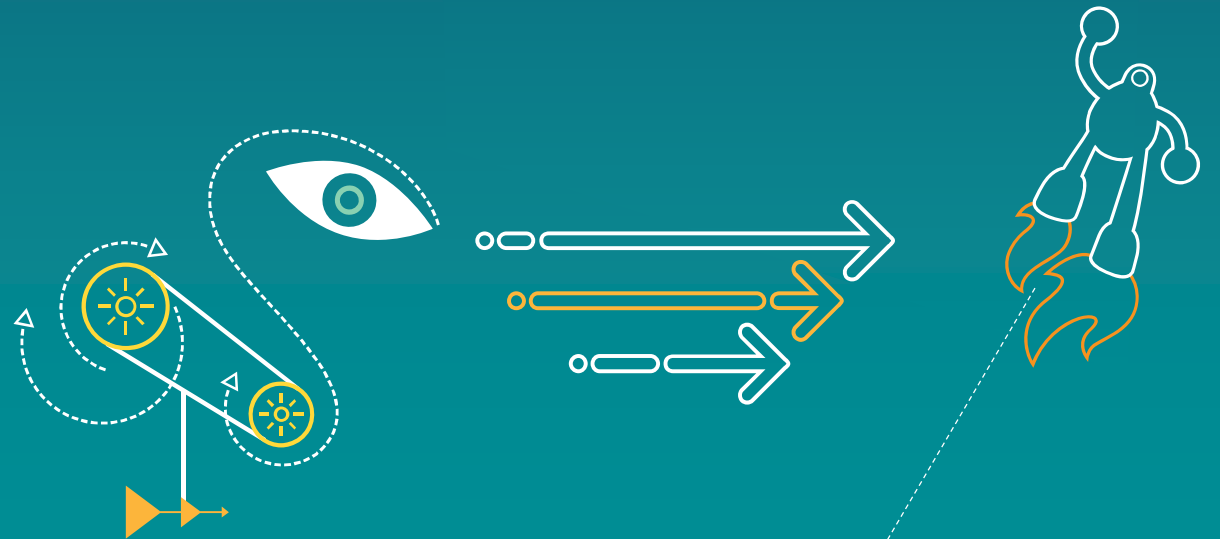
P15・・・株式会社東芝

P21・・・株式会社富士通研究所

最大空中線電力と 電波防護指針について

QUALCOMM®

2015年2月20日



802.11adのユースケースと電波防護指針

- 802.11adを用いた無線局のユースケースでは、ポータブルデバイスの他にアクセスポイントのように通常人体から離れた場所で使用されるものもある。
- このため、ポータブルデバイスのみを前提とし、電波防護指針を満足するよう最大空中線電力の規定を決定することは不適切である。
- 60 GHzに適用する局所吸収指針は現在規定されていない。
 - 60 GHz帯を用いた無線局は現在の電波防護指針を満たさなければならない。
 - 電波防護指針を満たすの最大空中線電力は、アンテナやデバイスのシステムデザインなどに依存する。
 - 必要に応じて電波ばく露を低減する機能を実装し、電波防護指針を満足しつつ通信に必要な空中線電力を確保することが必要となる。

電波ばく露 低減技術例

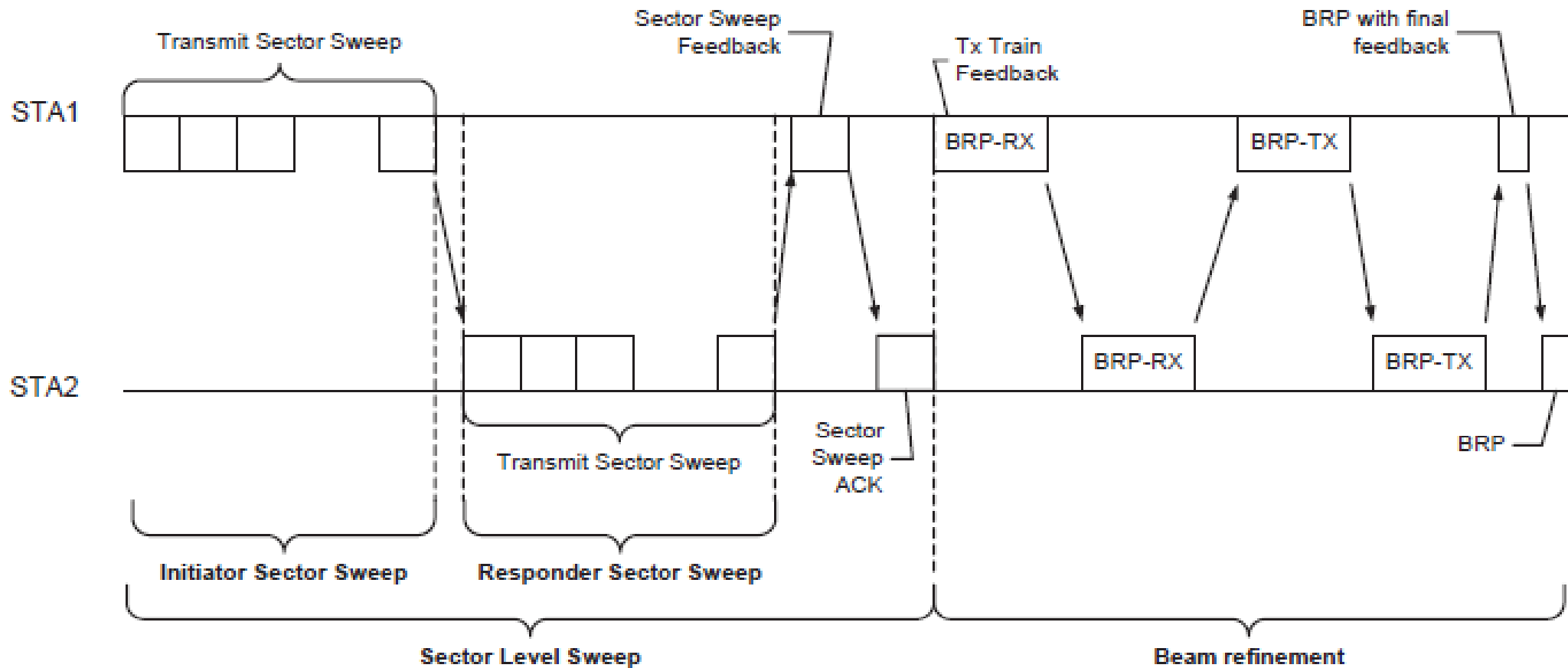
- アンテナビームフォーミング
 - アンテナビームフォーミングを用いることで、通信に必要な電力を確保しつつ、人体に直接放射される電力を低減する。
- 送信電力の低減
 - デバイスのデザイン（たとえば筐体の形状）的に人体との距離が十分に保たれるようにする。
 - センサーを用いて人が近くにいる場合や端末を保持している場合などは送信電力を低下させる。
- テザリングモードでの利用
 - 物理的なケーブルを用いたテザリングを利用していない場合は802.11adのモードを使用できないようにする。
- 平均送信電力
 - ピーク電力ではなく、実際の利用条件、環境を考慮した平均電力を用いる。

802.11ad ビームフォーミング

- 802.11adではビームフォーミング技術の実装は必須
 - 60 GHz帯を使用する無線システムはその周波数の特性上、障害物を避けるようにしなければ通信が成り立たない。ここで使用されるのビームフォーミングであり、802.11adでは必須の技術となっている。
- ビームフォーミングはSector Level SweepとBeam Refinementの2段階
 - 最大のSector Level Sweep時間はdot11MaxBFTime (1 ~ 16) x beacon intervalで設定される。
 - 802.11adではdot11MaxBFtimeのDefault値は4、Beacon intervalの最大値は1024 msとされている。
 - 現実的なBeacon intervalを仮定すると、Sector Level Sweep時間は最も長く設定しても10秒以下である。
 - 802.11adの実装では、Sector Level Sweepは数ms以内に終了する。
 - Beam RefinementはSector Level Sweepが終わった後、いつでも実施可能
 - 実装では必要に応じて実施
 - Beam Refinementをすることが常にランダムにエネルギー放射することには必ずしもつながらない

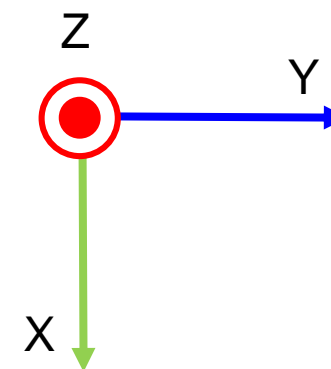
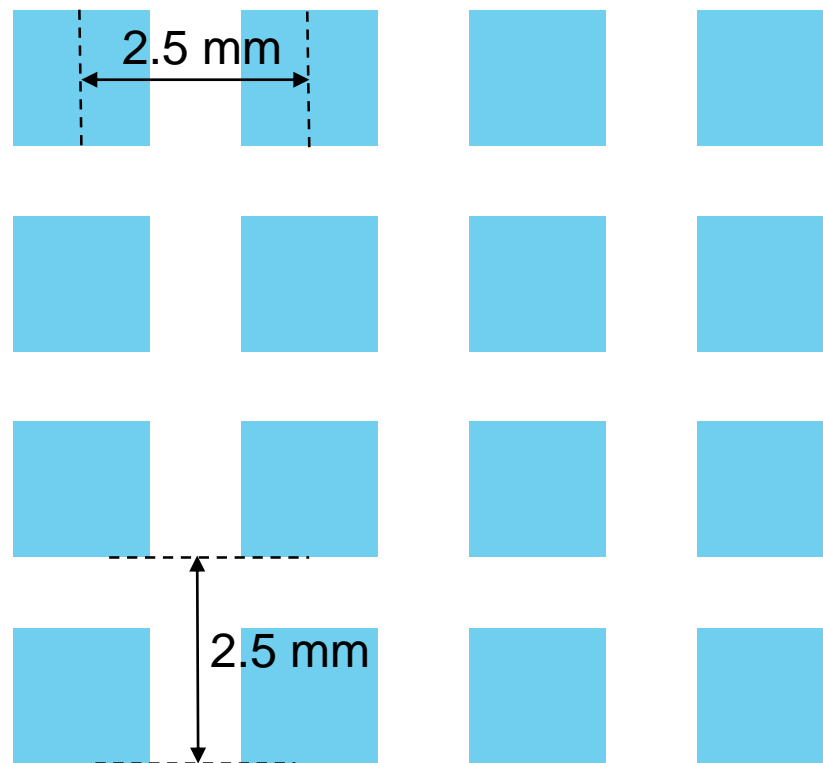
ビームフォーミングのトレーニング例

- 802.11adの仕様に記載されている例

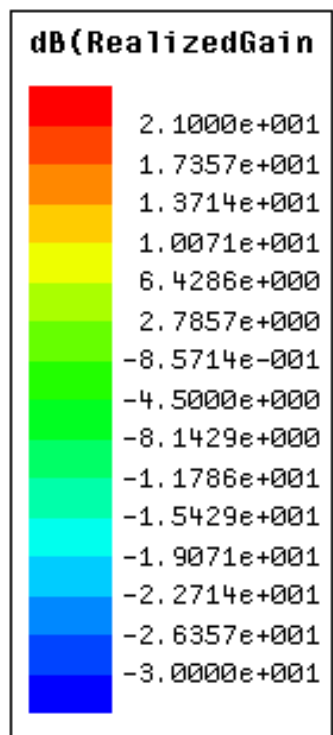


16素子アンテナシミュレーションモデル

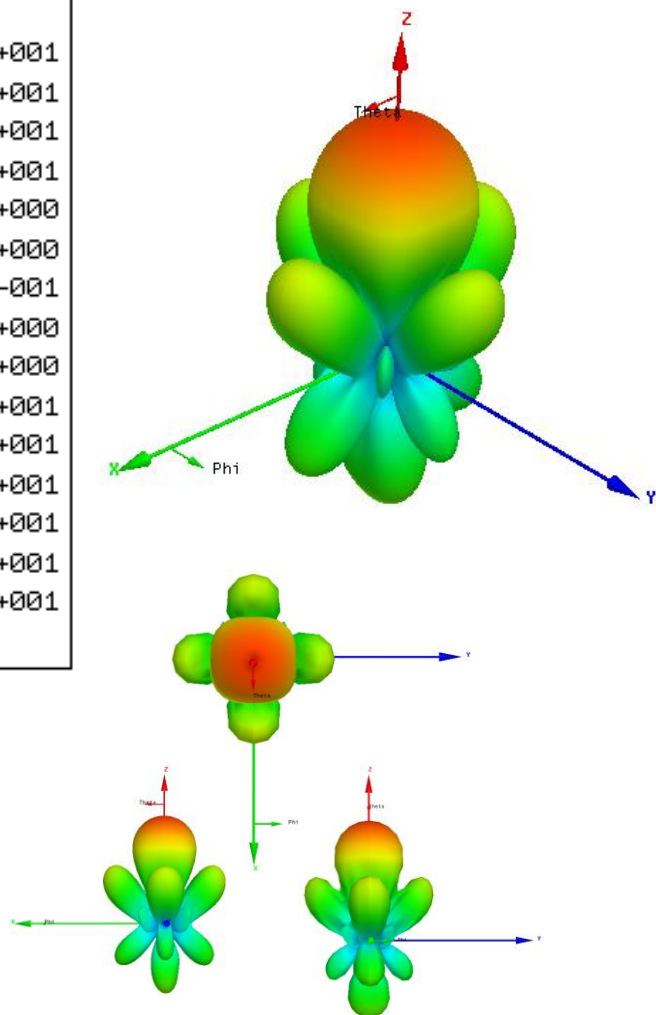
*4x4 Patch Array @ 60 GHz



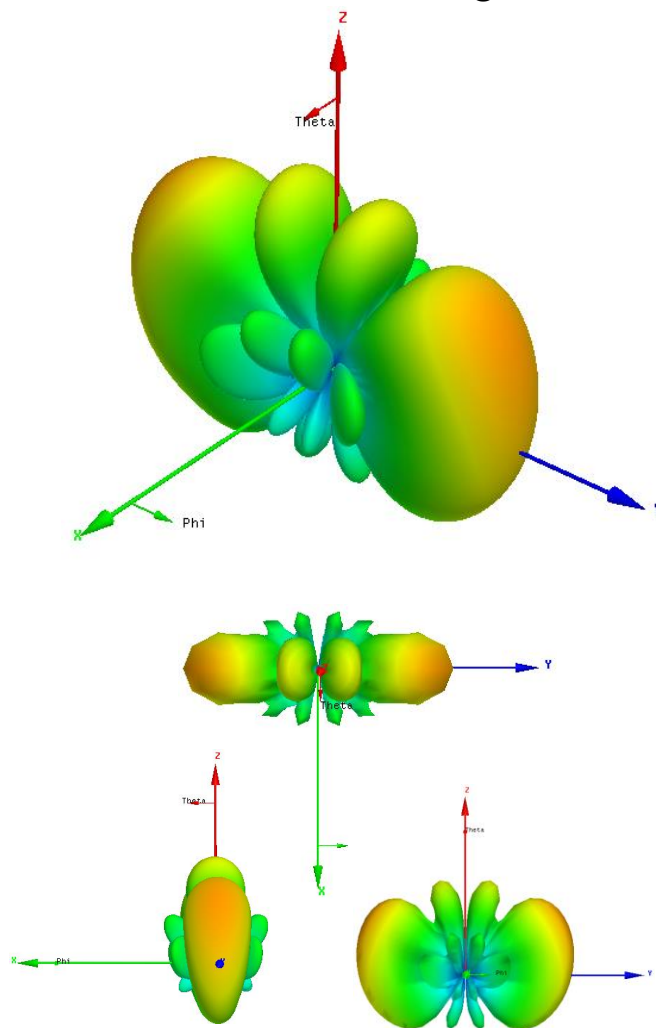
16素子アンテナパターン例(シミュレーション結果)



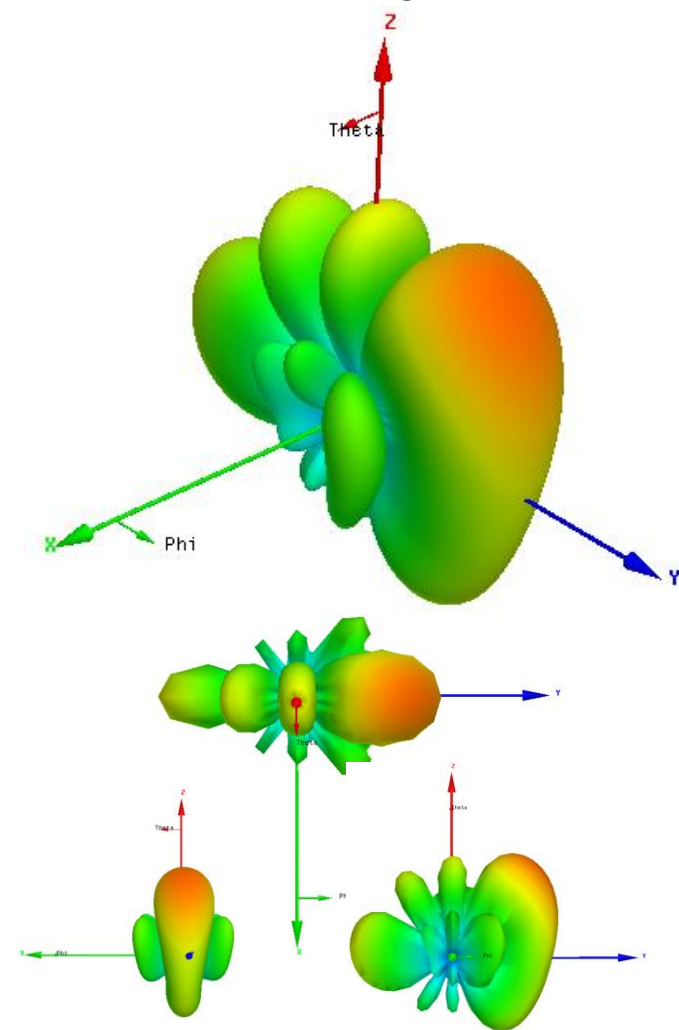
4x4 Array
0-deg



4x4 Array
60-deg

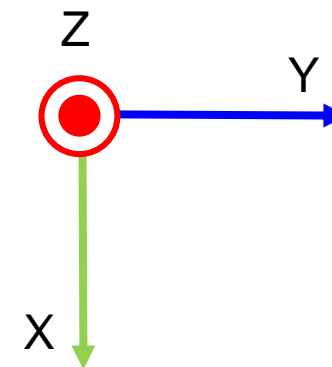
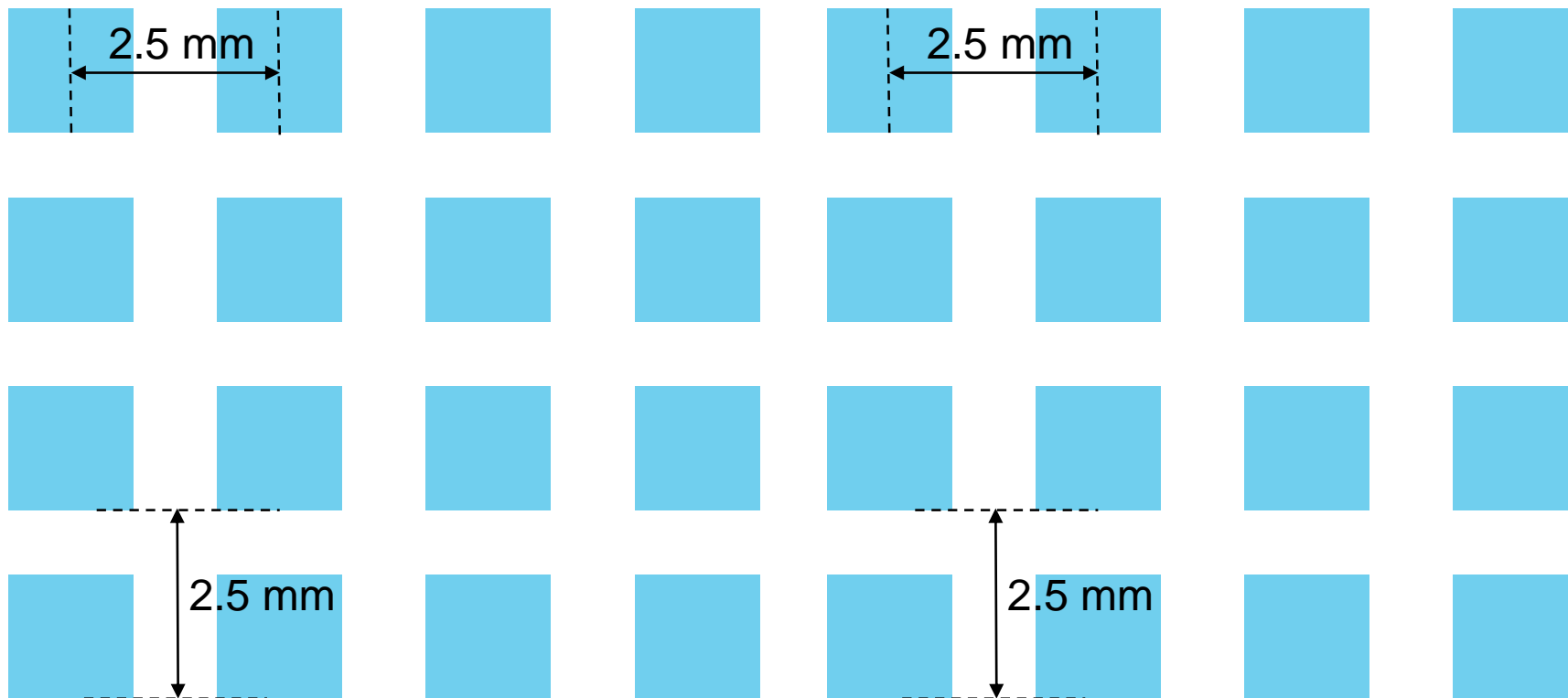


4x4 Array
45-deg

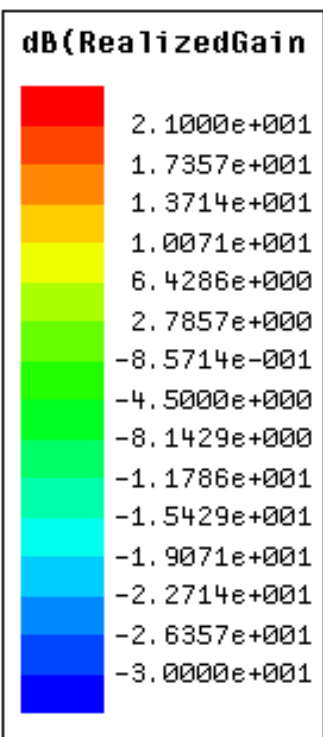


32素子アンテナシミュレーションモデル

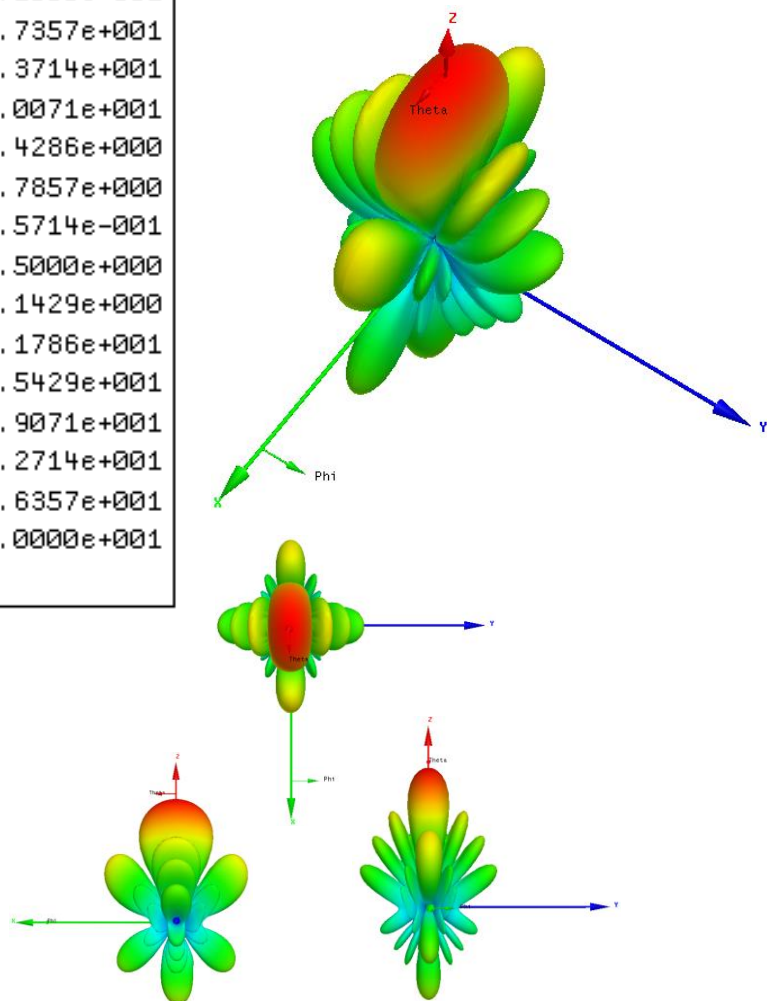
*4x8 Patch Array @ 60 GHz



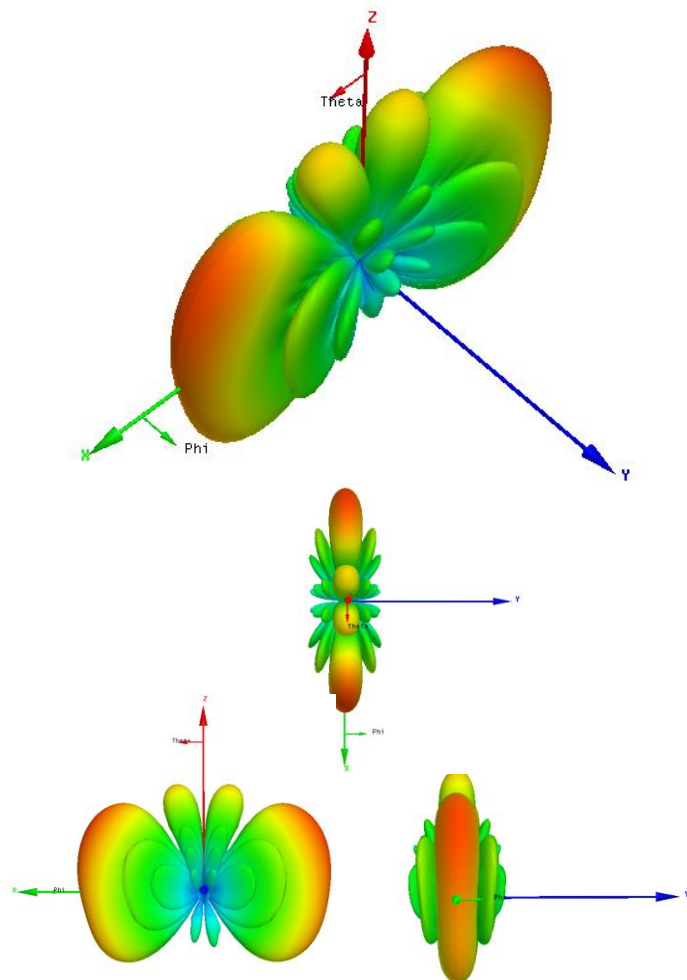
32素子アンテナパターン例(シミュレーション結果)



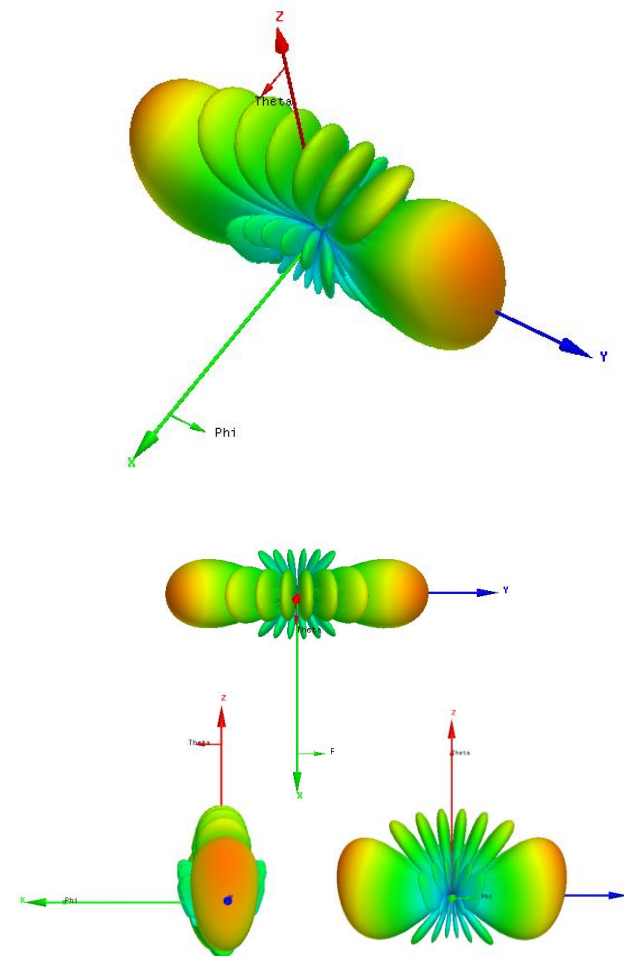
4x8 Array
0-deg



4x8 Array
60-deg in X-axis



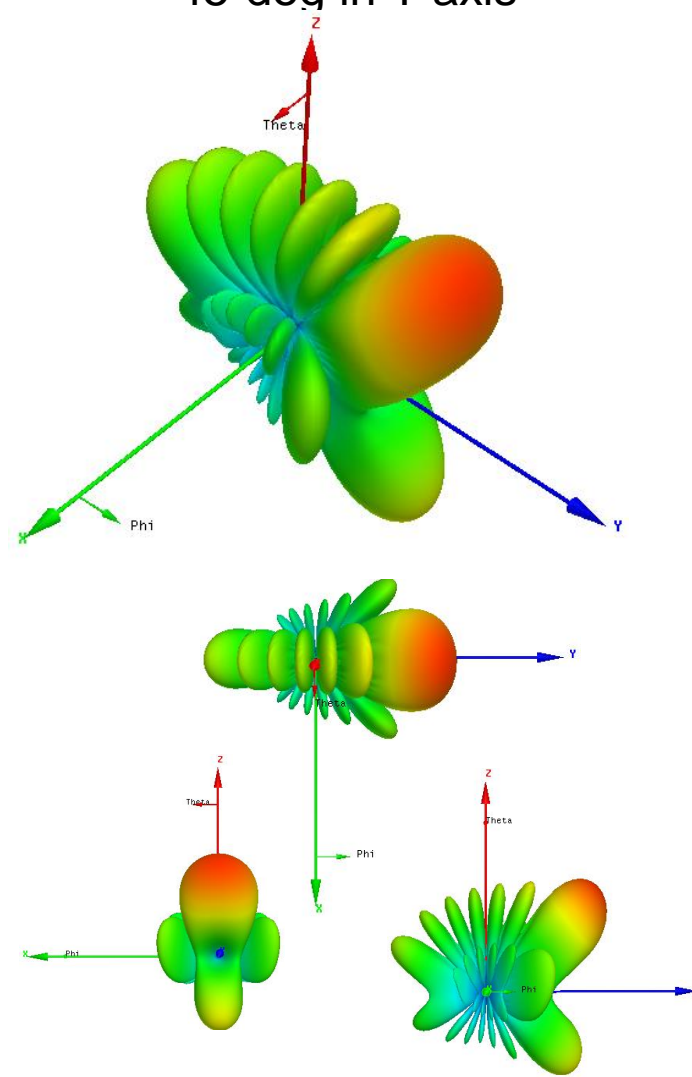
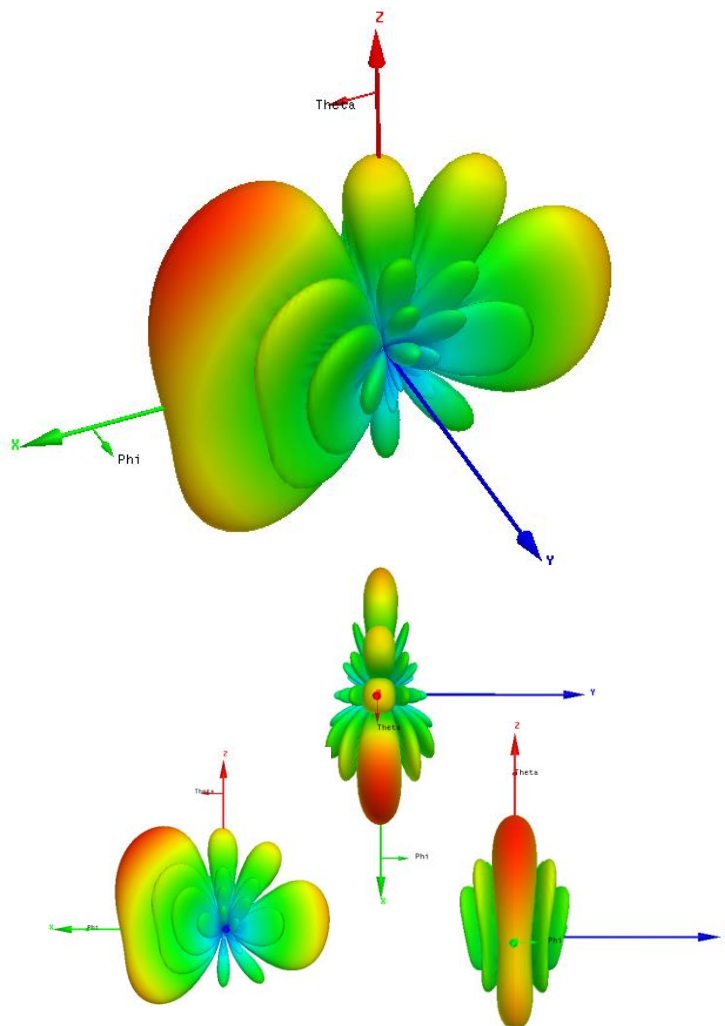
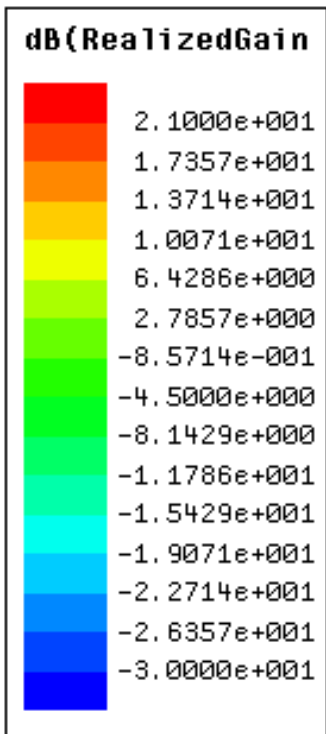
4x8 Array
60-deg in Y-axis



32素子アンテナパターン例(シミュレーション結果)

4x8 Array
45-deg in X-axis

4x8 Array
45-deg in Y-axis



ビームフォーミングシミュレーションアンテナモデル

	Peak Gain (dB)	3-dB Beamwidth
Single Element	5.8	80° in Y-axis, 120° in X-axis
4x4 array 0-deg	17.9	26°
4x4 array 45-deg in Y/X-axis	15.4/16.3	34°
4x4 array 60-deg in Y/X-axis	12.6/14.1	46°
4x8 array 0-deg	21	14° in Y-axis, 26° in X-axis
4x8 array 45-deg in Y/X-axis	18.1/19.3	18°/34°
4x8 array 60-deg in Y/X-axis	14.5/17.1	32°/42°

Fast Session Transfer

- 802.11adの仕様では、複数の周波数帯をまたがって通信を継続できるようにするプロトコルが規定されている（実装はオプション）
- 60 GHz 802.11adを実装している無線局の多くは、2.4 GHz、5 GHz帯の無線LANも実装(Tri-band support)すると予想される
 - － 参考資料：第17回 陸上無線通信委員会 資料17-2
- マルチバンドをサポートする無線局は60 GHz 802.11adで通信が不可能となった場合は、別の周波数帯を使用することが可能
 - － 切り替わる時間は実装依存であるが、通信が不可能な状態が長時間続き電波を放射しつづけるようなことはない

提案

- 60 GHz帯で規定する最大空中線電力は干渉の観点から決定する。希望する最大空中線電力は下記の順（第3回 作業班資料参照）
 - 27 dBm (500 mW)
 - 25 dBm (316 mW)
 - 24 dBm (250 mW)
- 最大空中線電力の規定にかかわらず電波防護指針を満たすことは必須であり、無線局の用途や形状、システムデザインに応じて実装でサポートする最大空中線電力を決定する。
- 今後、60 GHzも含めた局所吸収指針等、新たな電波防護指針が規定された場合は、その指針に適合させる。

Thank you

Follow us on:  

For more information on Qualcomm, visit us at:
www.qualcomm.com & www.qualcomm.com/blog

Qualcomm is a trademark of Qualcomm Incorporated, registered in the United States and other countries.
Other products and brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective owners



TOSHIBA

Leading Innovation >>>

アレーアンテナを利用した 60GHz帯無線機の放射パターン

2015/2/20

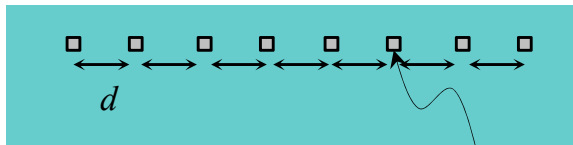
東芝

アレーアンテナの放射パターン

- 60GHz帯通信モジュールと親和性が高い表面実装型アンテナ素子によるアレーアンテナにおいて、理論式を用いて計算した放射パターンを示す。
 - 前回報告は、反射鏡等のサイドローブ発生が小さい放射パターンを想定
- 各アンテナ素子は、半値幅90°、利得7dBi（正方形マイクロストリップアンテナ、基板の比誘電率2.3程度）としている。素子間隔 $d = 1/2 \cdot \lambda$ 。

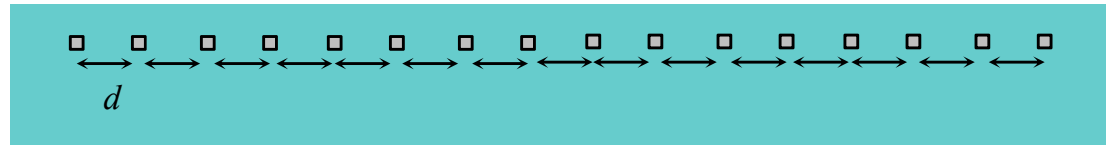
計算した直線アレーアンテナの構成図

アンテナ素子数 $M = 8$



アンテナ素子

アンテナ素子数 $M = 16$



直線アレーのアレーファクタ $F(\theta)$ は、共相で等振幅給電の場合、次の式で求められる。詳細は後記資料。
アレーファクタと各アンテナ素子の指向性利得 $g(\theta)$ の積で指向性を求める。

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{n=0}^{M-1} \exp(-jnu)$$

ここで、

$$u = k_0 d (\sin \theta - \sin \theta_0)$$

パラメータの説明：

θ : 方角

θ_0 : ビーム方角

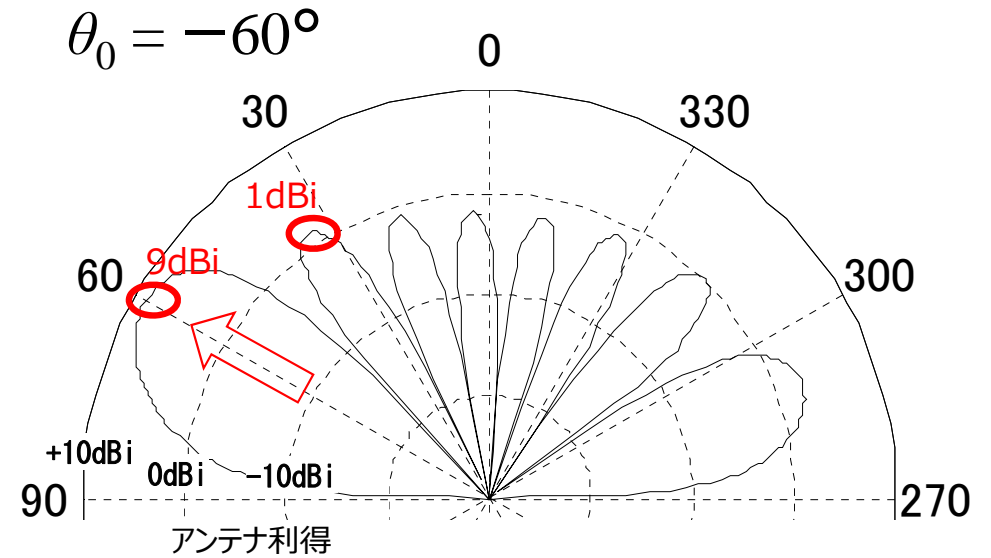
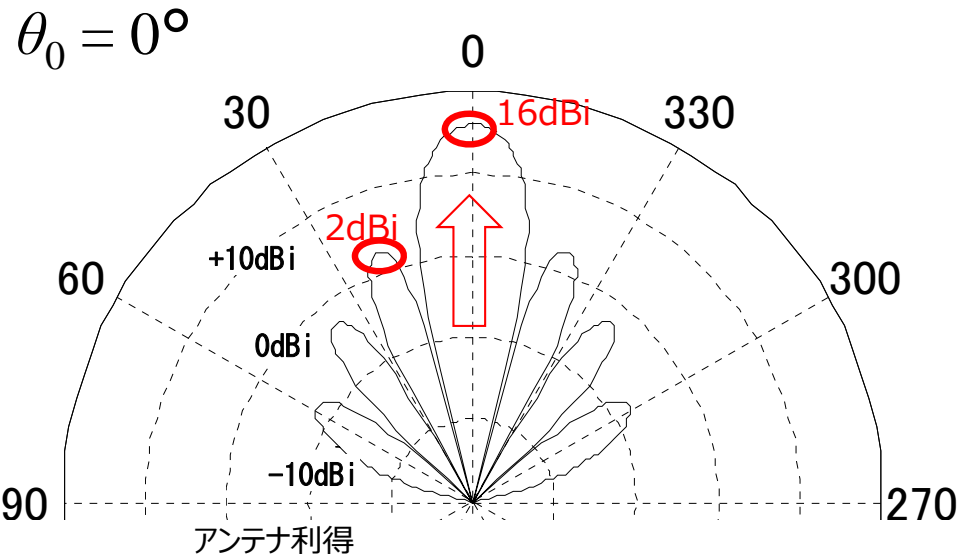
E : 放射指向性

M : 素子数

k_0 : 波数

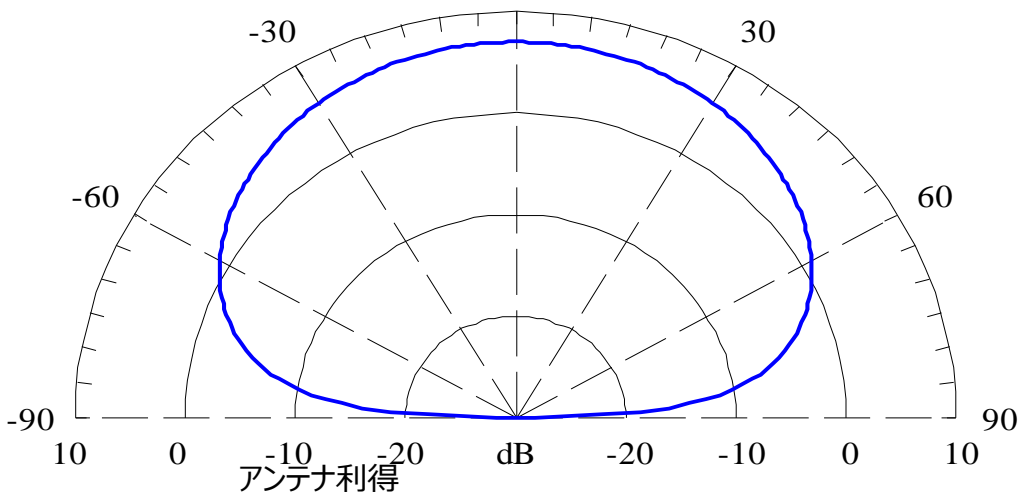
d : 素子間隔, 本資料では1/2波長, i.e. 2.5mm at 60GHz

アンテナパターン例 ; 8素子、0.5λ素子間隔



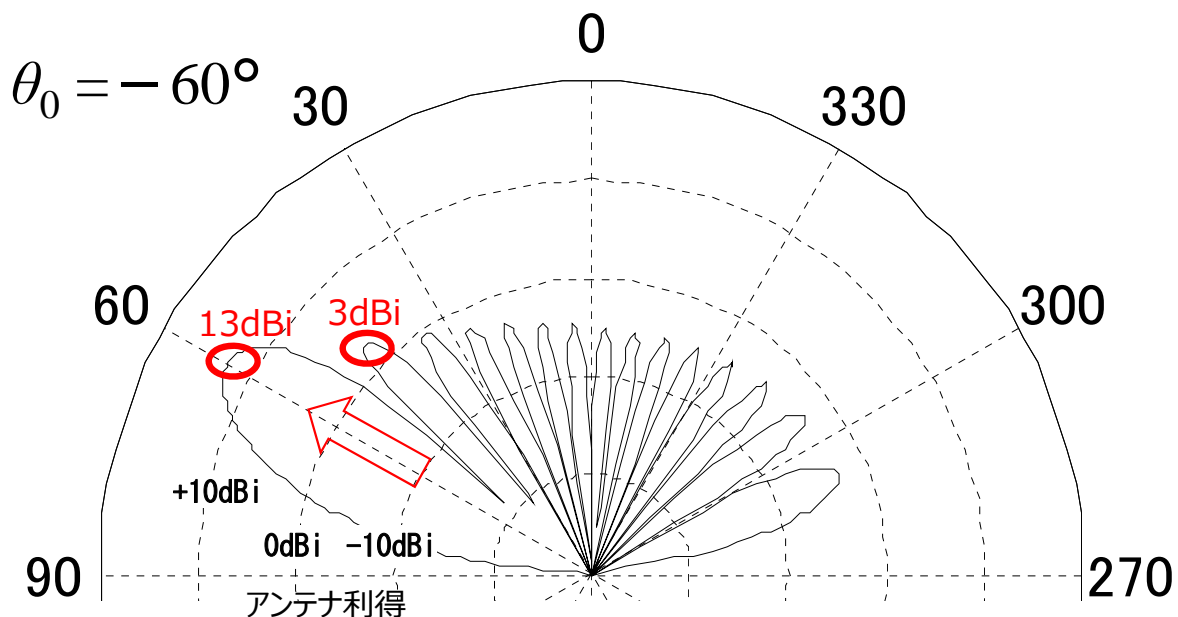
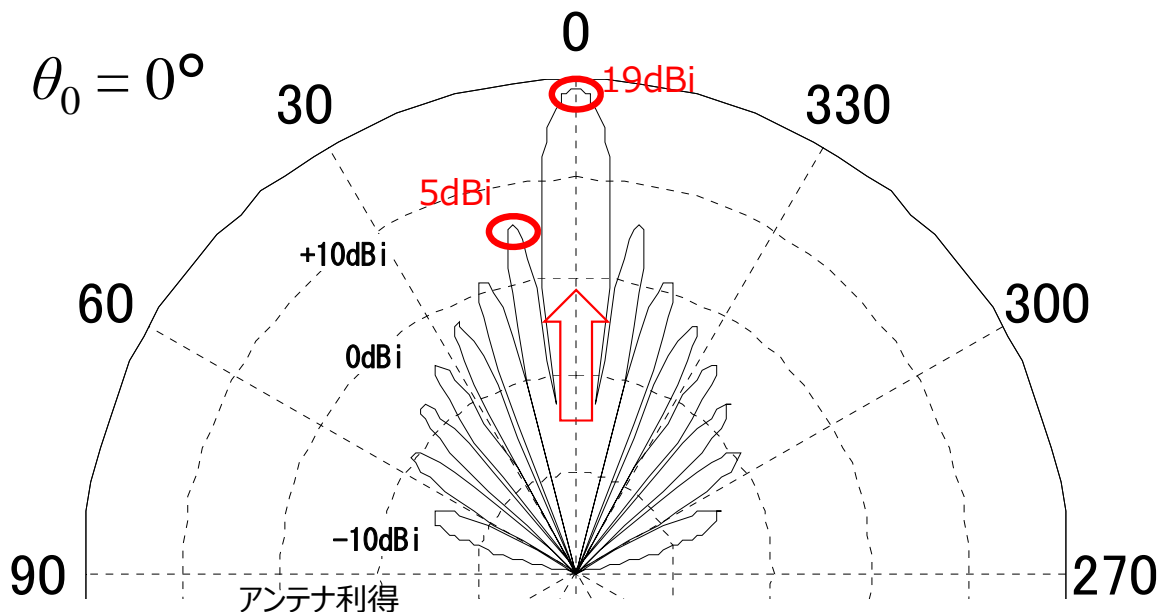
素子アンテナパターン

放射角 90度
ピーク利得 +7 dBi



- ビーム方角を で指示
- メインローブビームとサイドローブビームのアンテナ利得を赤丸 で指示
- 前提
 - 素子アンテナパターンは、素子間干渉の影響は被らない
 - グレーティングローブを回避
- メインローブビームとサイドローブビームの利得差 -14 ~ -8 dB

アンテナパターン例 ; 16素子、0.5λ素子間隔

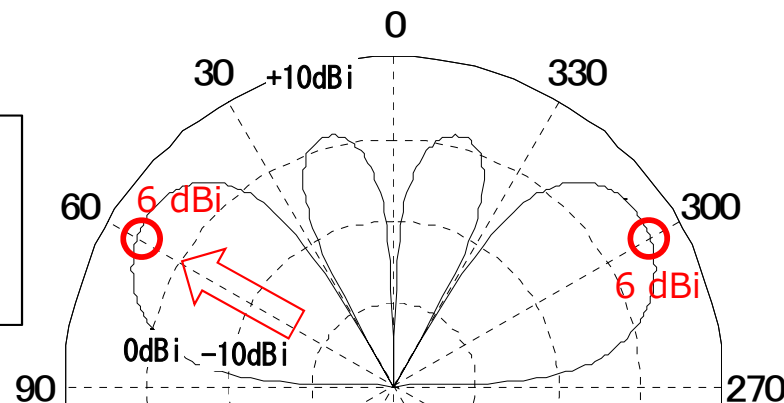


- 素子数増で、ビーム幅は狭く形成
- メインローブと同様に、サイドローブもアンテナ利得はあがる傾向あり
- 本例（方角 0 to -60 deg）におけるメインローブとサイドローブの利得差 $-14 \sim -10$ dB程度
- 素子数増においても、 $\theta = -60$ 度のように広角にビームを走査する場合、素子パターンの影響から、メインローブに対するサイドローブの利得差は小さくなる。

まとめ

- 直線アレイアンテナにおける放射パターンを提示。
- 直線アレイアンテナによるビームフォーミングでは、メインローブビーム以外にサイドローブビームも考慮する必要あり。
 - 計算例から、ビームの方角外でも、プラスのアンテナ利得をとりうる。
 - ・ 16素子アレイアンテナ：メインローブビーム利得 19dBi, サイドローブビーム利得 5dBi
- 送信電力10mWの高度化において、空中線利得 47dB以下の規定だけでは、ビームフォーミングアンテナによる干渉増が懸念となる。
 - E.I.R.P. 上限値の変更
 - 場所率を考え、ビーム幅 = アンテナ素子数 = アンテナ利得、等の下限値を規定
 - キャリアセンス機能との組み合わせ等の検討が必要と考えられる。

$M=4,$
 $\theta_0 = -60^\circ$
の場合



資料：直線アレーアンテナ指向性計算方法

アレーアンテナの放射指向性は次の式で求められる。 [1]

$$E(\theta, \phi) = g(\theta, \phi)F(\theta)$$

上記 $F(\theta)$ ，アレーファクタは，共相で等振幅給電の場合，次の式で求められる。

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{n=0}^{M-1} \exp(-jnu) \quad \text{ここで,} \quad u = k_0 d (\sin \theta - \sin \theta_0)$$

各アンテナ素子の指向性利得 $g(\theta, \phi)$ は，余弦関数のべき乗で近似する。 [2]
ここで，単一平面内の指向性のみを議論するため， ϕ を使用せず下記のように計算する。

$$g(\theta) = \sqrt{G_0} \cos^q \theta, \quad \text{where } q = \frac{\log_2 \frac{1}{\sqrt{2}}}{\log_2 (\cos(\theta_{3dB} / 2))}$$

本資料の計算では，使用するアンテナ素子の特性を，半値幅90 deg，利得7 dBi（正方形マイクロストリップアンテナ，基板の比誘電率2.3程度を想定 [3]）としている。

つまり， $G_0 = 7$ dBi， $\theta_{3dB} = 90$ deg $\rightarrow q = 1$ ，

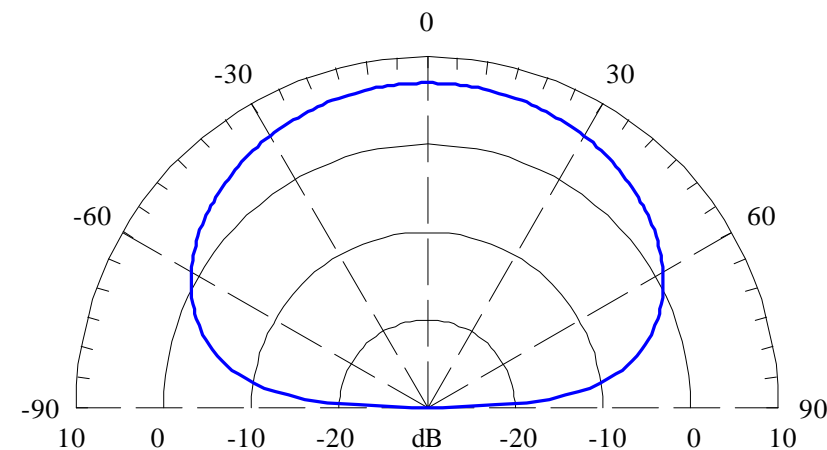
- ・ 参考文献：
 - ・ [1] 電子情報通信学会 知識の森 4群2編 アンテナ・伝搬 7章 アレーアンテナ
 - ・ [2] W. L. Stutzman, IEEE AP Magazine, vol. 40, no. 4, pp. 7-11.
 - ・ [3] 根日屋，小川，「ユビキタス時代のアンテナ設計」，p. 48

記号の説明

g : 素子の指向性
 M : 素子数
 d : 素子間隔
 k_0 : 波数
 θ_0 : ビーム方向
 θ, ϕ : 極座標の方向

アンテナ素子の単体の放射パターン： $20 \cdot \log_{10} |E(\theta)|$

素子アンテナパターン



60GHz帯無線設備規格改定案 ユースケースの考察

2015年2月20日

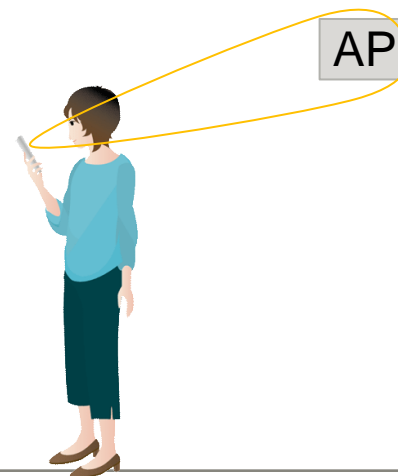
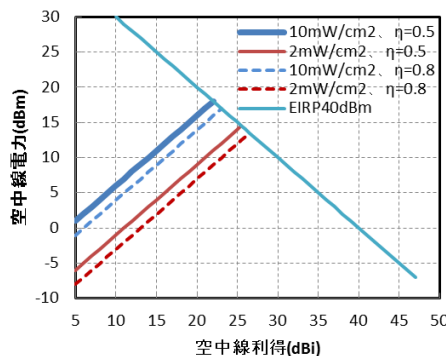
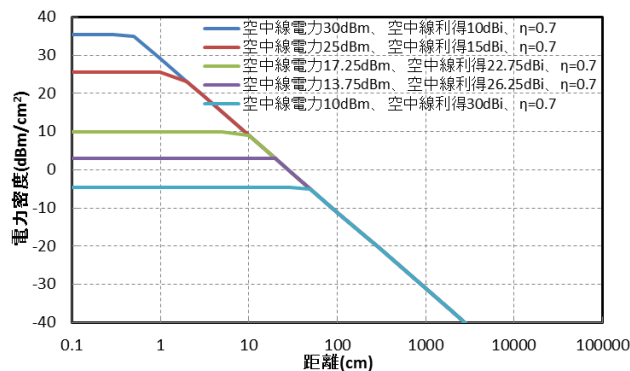
株式会社富士通研究所

- 第3回会合でインテル殿・クアルコムジャパン殿より提示された「(空中線利得に言及せず)空中線電力のみ24~27dBmに増大させる」案は受け入れられない
 - 「**EIRP=40dBm**以下かつ空中線電力の上限〇〇dBm」という提案でなければ、国際協調に配慮した規格にならない
 - 24dBmという第3希望の値も、登録が必要な5GHz帯無線局に限るものであることを注釈しておきたい(無線局として登録が不要なものは最大10dBm)
- ユースケース毎に、空中線電力を増大させる必要性を検討したが、空中線電力を17dBmを超える値にする意味は見いだせなかった
 - 仮に17dBmを超える値を最大空中線電力に設定するとしても、登録が必要な無線局に限定すべき
 - ・ただし17dBmを超える値が必要となり、干渉の懸念が無い(低い)ユースケースを示す必要があるが、そのようなユースケースは思い当たらない

ユースケース1: 無線LAN(携帯端末)

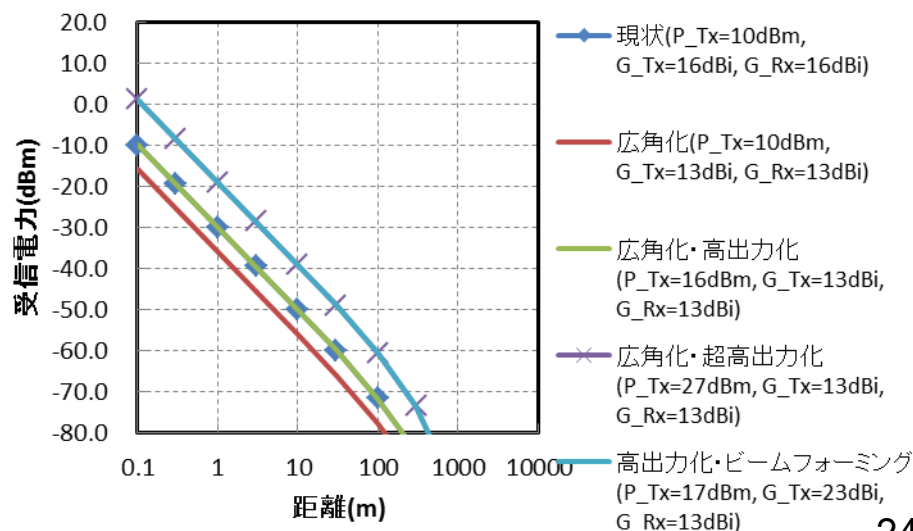
■ 携帯端末では、空中線電力を上げる要求はあまり強く無い

- 消費電力の観点から定常的に空中線電力を上げるのではなく、上げたとしても一時的に上げる使い方限定される
- 身体に密着して使用する可能性が高いため、電波防護指針に準拠した電力密度になるように配慮しなければならない
 - 1 cm以下の距離で10 dBm/cm²以下、3 cm~30 cmの距離で3 dBm/cm²(6分間の平均電力密度)
 - ビームフォーミングで身体方向を避ける制御を行うことも考えられるが、眼が30cm以内、体表が10cm以内に入っていないことを確実に検知することは困難
 - 携帯端末でEIRP=40dBmのシステムでは、空中線電力=13dBm以下(空中線利得が低い程、空中線電力はさらに押さえる必要がある)に抑えるのが現実的



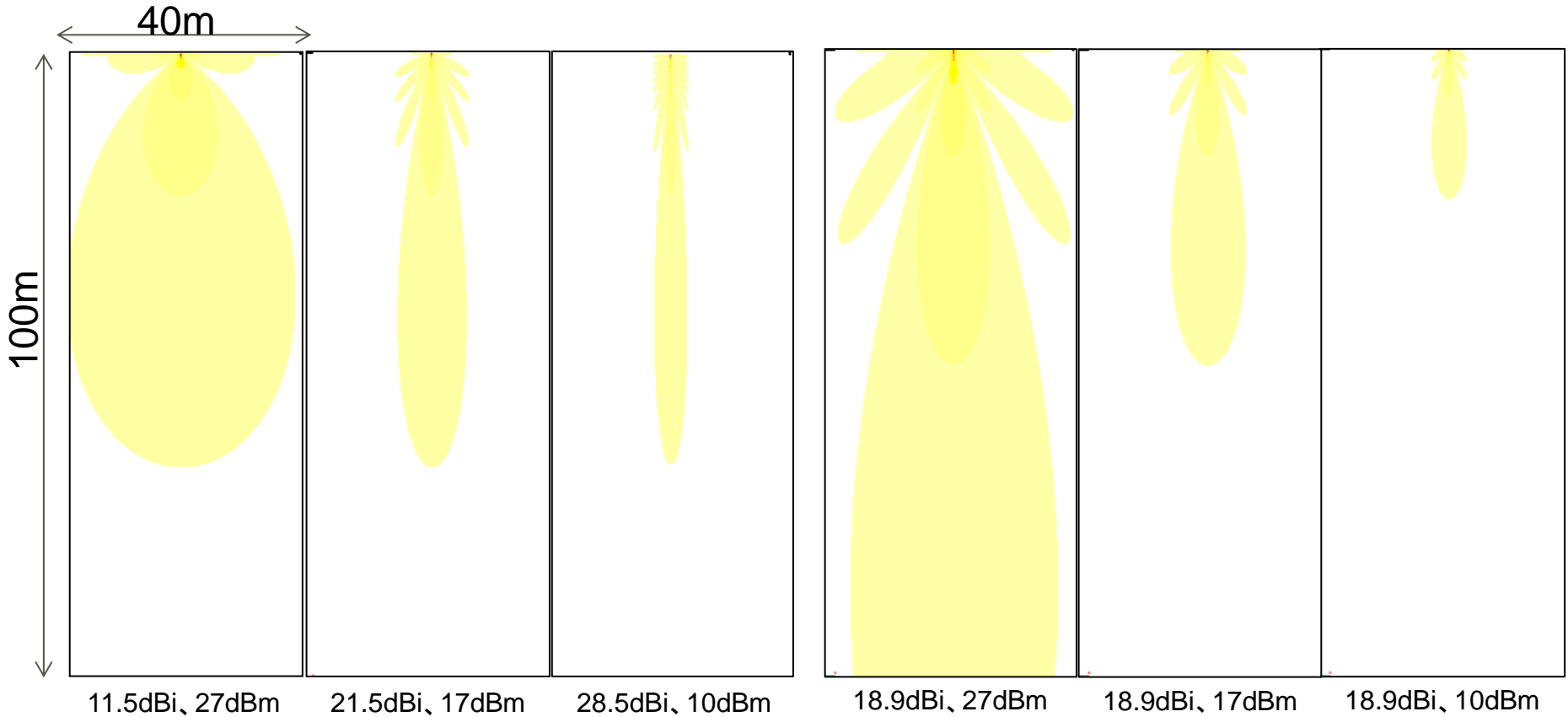
ユースケース1: 無線LAN(アクセスポイント)

- 通信距離を広げるには、空中線電力ではなくEIRPを大きくとる必要がある
 - 国際協調の観点からEIRP=40dBmを超える値は設定できない(単純に空中線利得を規定せずに空中線電力を増大させる案は不可)
- 通信距離を維持して通信エリア角を広げるには、同じEIRPで空中線利得を低くし(その分空中線電力を大きくする)ビーム半値角を広げるか、空中線利得は下げずにビームフォーミングする
 - ビーム半値角を広げるのは干渉が発生するエリアが広がることと本質的には同じなので、周波数資源の有効利用の観点から受入難い
 - EIRP=40dBmのシステムでは、干渉回避の観点からビーム半値角の上限(空中線利得の下限)を設定すべき
- 受信雑音指数・周波数帯域がアクセスポイント・端末で同じであれば、送信電力が同じレベルでないと双方向通信が成立しない
 - アクセスポイントのみ高出力化しても、端末側からの通信が成立しないことになりかねない



空中線利得・空中線電力とカバーエリア

- 空中線電力17dBmを大きく超える場合、非常に広い範囲に干渉を与え、ビームフォーミング等で避けることも困難になる
 - 10dBmを超える空中線電力は、ビーム半値角の狭い20dBi以上の空中線利得のシステムに限定すべき



EIRP=38.5dBmの場合の比較

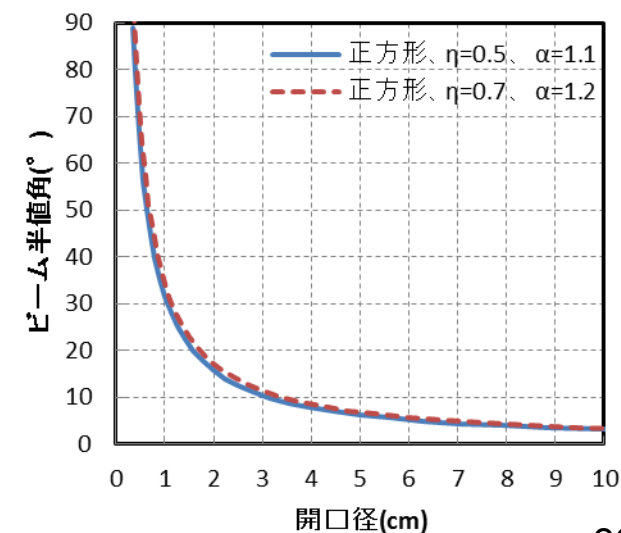
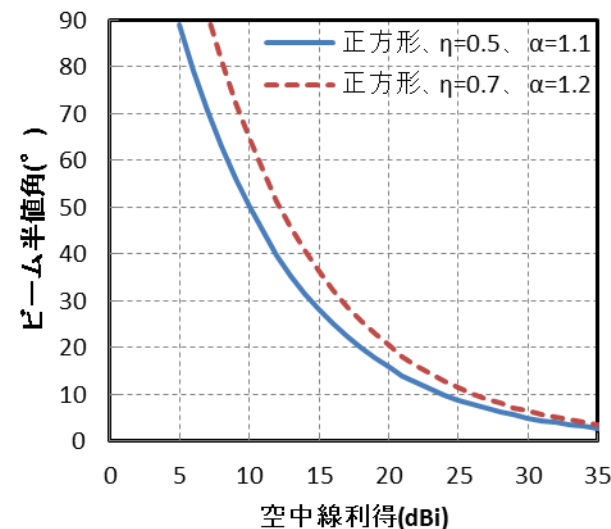
空中線利得=18.9dBiの場合の比較

空中線利得・開口径とビーム半値角

■ ビームフォーミングによって複数の無線機が共存するには、ビーム幅 30° より狭いことが望ましい

- 正方形アンテナの場合、空中線利得 20dBi 以上であればビーム半値角(3dB ビーム幅) 20° 以下、 10dB ビーム幅で 30° 以下になる
- 開口径は 2cm 程度であり、容易に実現できる
- 長方形アンテナの場合は、長辺方向のビーム角が狭まり、短辺方向のビーム角が広がる
 - 短辺方向に被干渉端末が配置していると、干渉が避け難くなる

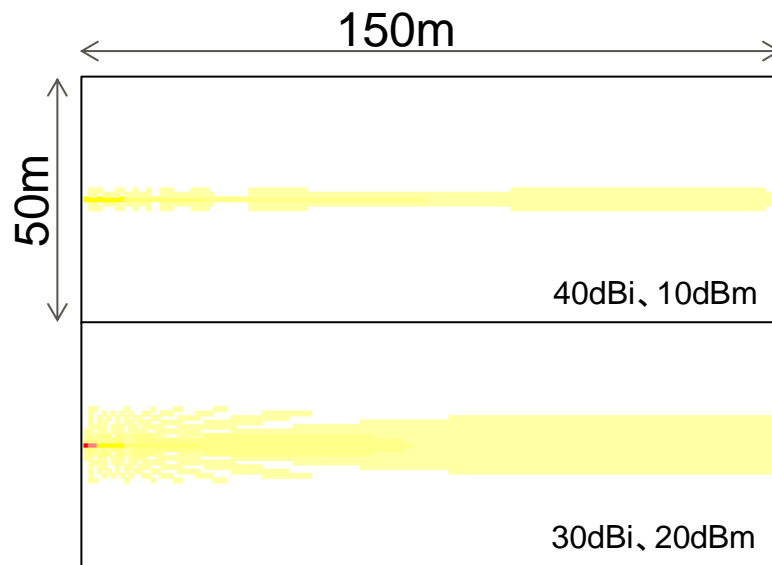
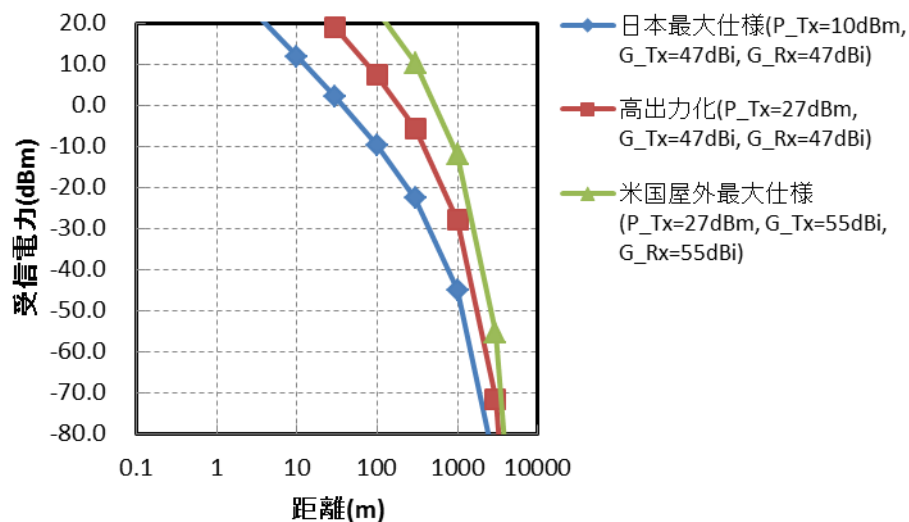
■ 屋内無線LANのように、他のシステムが共存する可能性の高いユースケースにおいては、従来より空中線電力を上げるのであれば、空中線利得 20dBi 以上のシステムに限るべき



■ 60GHz帯では酸素吸収(17dB/km)の影響が大きくなるので、EIRP(空中線電力・空中線利得)を上げてても数100mを超える距離では通信距離はあまり伸びず、数kmが限界

■ 1km程度以内の用途であれば、現行の仕様で十分大きなEIRP(最大57dBm)を確保できており、空中線電力を上げる必要は無い

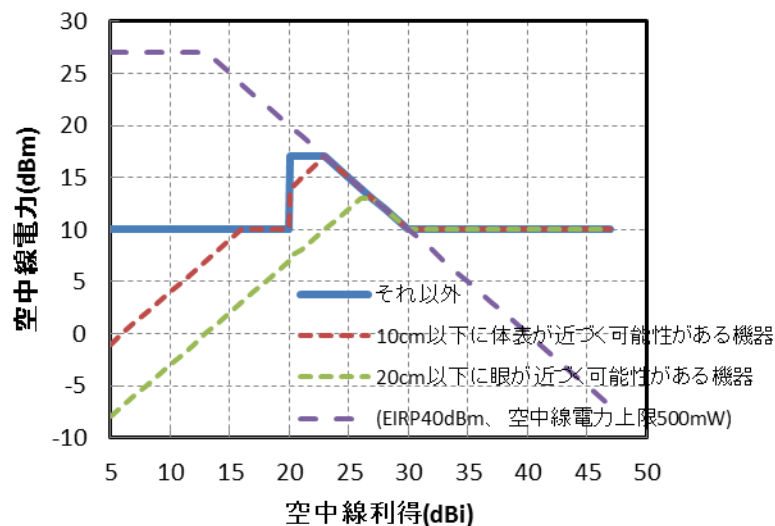
- 数100m未満であれば、10dBmを超える空中線電力を与えることによって、より小さいアンテナで通信することが可能になる
- ただし小さいアンテナでは、ビーム半値角が大きくなるので、干渉発生エリアが広がってしまう

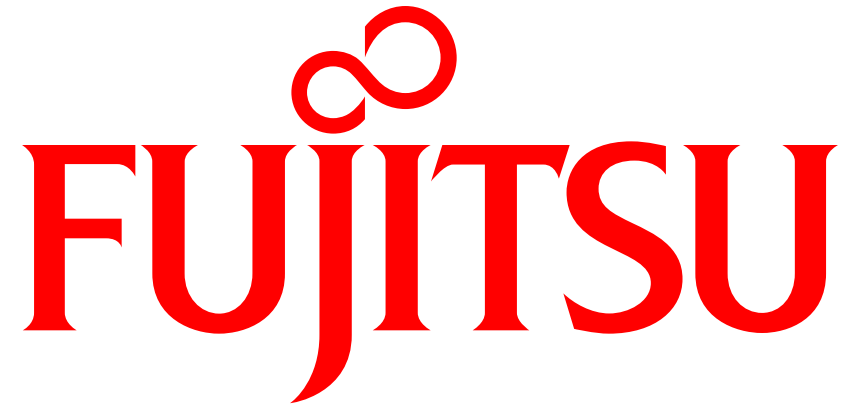


- 近接無線・ゲートシステムでは現行仕様でも十分なレベルダイヤが確保できており、消費電力の関係から空中線電力を上げる要求は無い

- 大気(対流圏約10km)の酸素吸収による減衰量が約170dBとなるので、衛星からのリモートセンシングに与える影響は殆ど無いと考えられる
 - 60GHz帯では大気は不透明になっていて上空の部分しか見えない
 - 標高7,000mを超える高地、航空機から上空に送信アンテナを向けた場合を除き、衛星には影響を与えない
 - 10,000m上空の航空機から衛星にアンテナを向けた場合は、問題になる可能性はあり得る

- 30dBi以上または20dBi未満の空中線利得のシステムにおいては、空中線電力の最大値を(従来通り)10dBmとする
- 20dBi以上23dBi未満の空中線利得のシステムにおいては、空中線電力の最大値を17dBmとする
- 23dBi以上30dBi未満のシステムにおいては、等価等方輻射電力の最大値を40dBmとする
- なお、10cm以下に体表、30cm以下に眼が近づく可能性のある機器においては、電波防護指針を満たすように特に留意すること





shaping tomorrow with you