

2.4GHz 空間伝送型ワイヤレス電力伝送検討状況

2019.7.9

ブロードバンドワイヤレスフォーラム (BWF)

1. WPTを設置する環境について(管理環境の定義)
2. 送電装置と受電装置間の通信と送電とパラメータ
3. 共用・共存に関する検討状況

検討時の提示資料抜粋

- ・無線LAN・小電力無線局との共用に関する検討
- ・アマチュア無線との共用検討
- ・電波天文との共用検討
- ・移動衛星通信システムとの共存検討

1. WPTを設置する環境について(管理環境の定義)

今般、WPTを設置する環境をWPT屋内設置環境とし、以下と定義(案)する

1. WPT屋内設置環境は屋内、閉空間（壁等により仕切られた空間）であること
2. WPT屋内設置環境は電波防護指針における管理環境(*)を内部に含む
3. WPT屋内設置環境内におけるWPTの運用が他の無線システム等に与える影響を回避・軽減するため、WPT設置者、運用者または免許人等が、一元的に他の無線システムの利用、端末設置状況を管理できること
4. WPT屋内設置環境に隣接の空間（隣接室内、上下階等）においては、WPTは他無線システムとの共用条件を満たすか、3. 同様WPT屋内設置環境と同一の管理者により一元的に管理できること

(*)「管理環境」とは、人体が電磁界にさらされている状況が認識され、電波の放射源を特定できるとともに、これに応じた適切な管理が行える条件を指す。…電波防護指針 平成9年4月24日

なお、WPTの設置に関する条件や運用時の注意事項等についてガイドラインを策定し 周知啓発を図ることとする。

例：天井設置したWPTの設置は原則として地下階もしくは1階とする 等

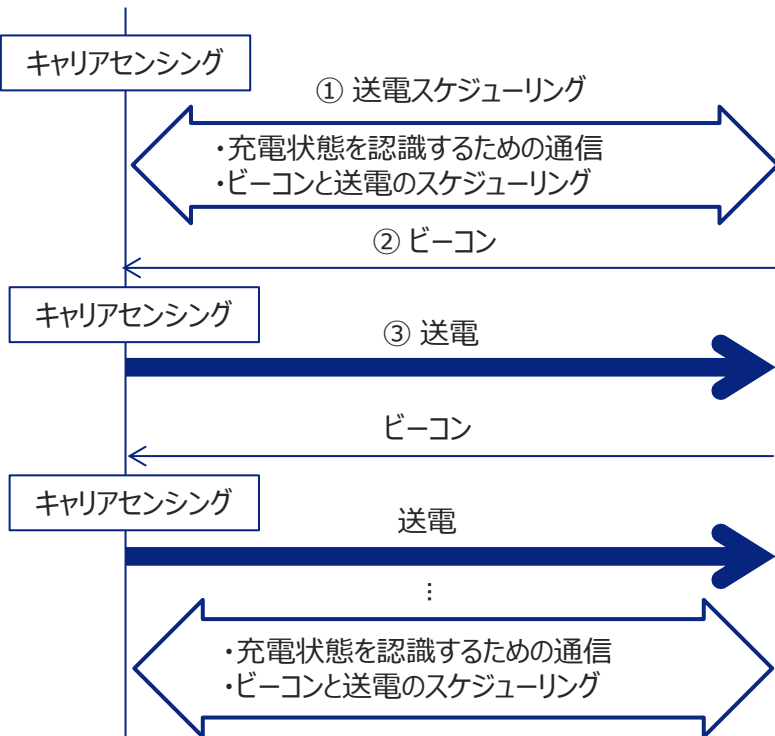
2. 送電装置と受電装置間の通信と送電とパラメータ

ビーコンについては既存の免許不要無線局の条件を満たすべく、変調を実施する方式に変更する

送電装置

受電装置

通信・送電のパラメータ



	①送電 スケジューリング	②ビーコン	③送電
周波数	2,400-2,499MHz (①、②については既存の免許不要無線局の周波数範囲)		
帯域幅	2MHz	2MHz(見込み)	100kHz未満
最大電力	3.2mW (5 dBm)	10mW (10 dBm)	15W(*) (41.8dBm)
最大 アンテナ利得	2dBi	6dBi	24dBi(*)
備考	IEEE802.15.4 準拠	BPSK 300μS以下	CW (*) 256素子の合計

3. 共用・共存に関する検討状況

共用・共存検討の対象	周波数 (MHz)	状況
無線LAN	2400 - 2497	ARIB無線LAN作業班と4回打ち合わせ実施。指摘事項であった、環境外での反射を考慮した電波強度の見積もりなどを提示。シミュレーションにおけるWiFiとの送信機の見積もり方法について回答準備中
移動体識別（構内無線局）	2425 - 2475	ARIB小電力無線局作業班（ARIB無線LAN作業班と同時開催）と4回打ち合わせ実施。実用化時の環境条件の順守方法等について指摘につき、設置・運用に関するガイドラインを設けることで対応予定
移動体識別（特定小電力無線局）	2400 - 2483.5	
ロボット	2483.5 - 2494	JUTMと打ち合わせ実施。BWF提示資料についての回答案を頂く予定
アマチュア無線	2400 - 2450	3回打ち合わせ実施。環境外での信号強度の考え方等について説明実施
電波天文	2695	離隔距離等の計算結果を提示し、計算結果については確認いただき。地形等による減衰、設置条件の影響等指摘事項について検討中
電波ビーコン	2499.7	22年にサービス停止される見込みをふまえ打ち合わせ要否含め確認中
移動衛星通信システム	2500 - 2535	2回打ち合わせを実施。指摘事項であった、WPT設置環境の考え方、電力信号による故障の可能性等について提示 複数WPTの影響の検討ならびに移動衛星通信システムのユースケースを踏まえた検討モデルへの条件追加を受領、検討中

ARIB 無線LAN作業班、小電力無線局作業班への提示内容（抜粋）

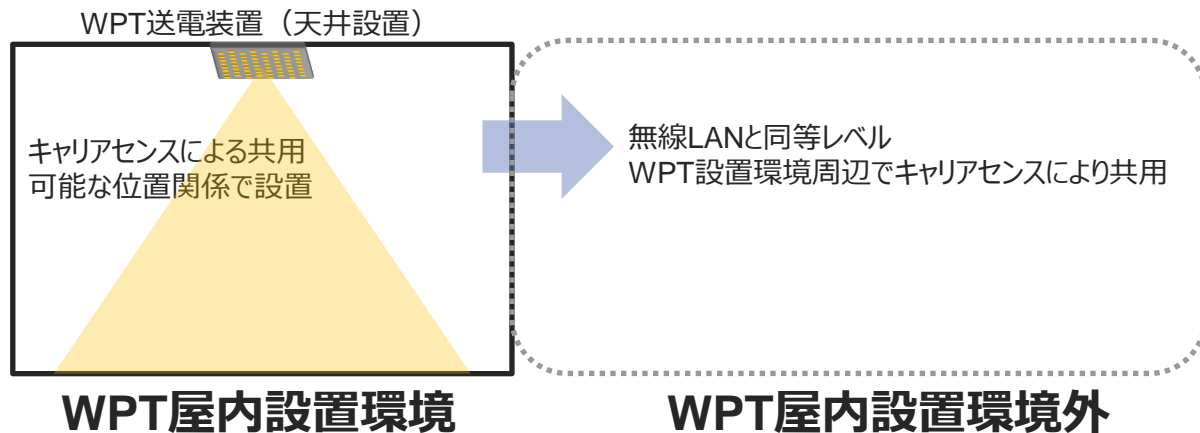
- (1) 無線LANとWPTシステムとの共用の方針案
- (2) 共用検討のモデル
- (3) WPT屋内設置環境外における信号強度
- (4) キャリアセンスの評価
- (5) 共用のための方針案

■ WPT屋内設置環境内・・・WPT運用者等の一元的な管理を行う

- 最大定格入力の範囲外になるように無線LAN機器とWPTシステムを配置し、過入力による故障を防ぐ
- 無線LAN機器とWPTシステムを配置するキャリアセンスによる周波数の共用可能に

■ WPT屋内設置環境外・・・送電装置を天井設置に限定し、WPT設置環境外への電波強度を抑制

- WPT設置環境外への電波強度が、WPT設置環境外の無線LAN APと同等レベルに抑制する
- WPT設置環境周辺では、キャリアセンスにより共用可能とする

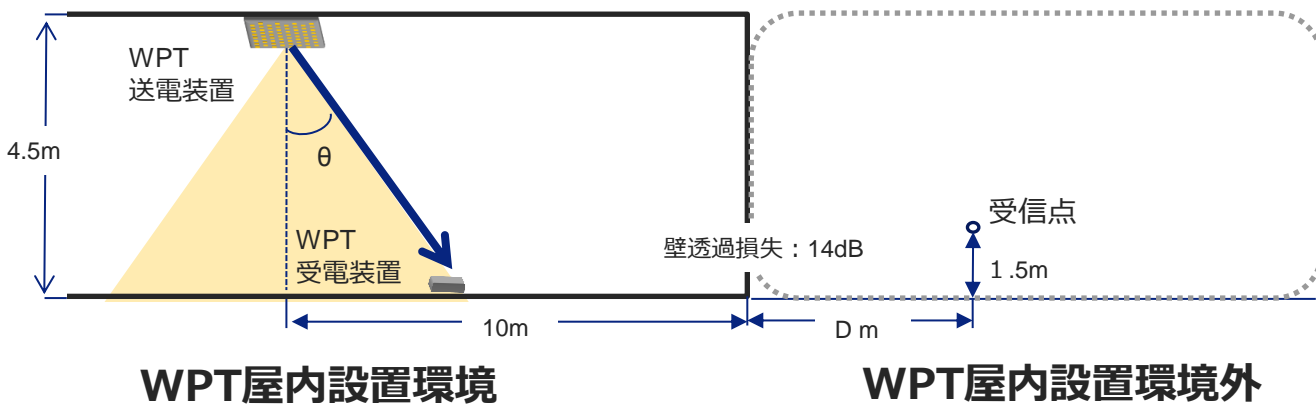


(2) 共用検討のモデル

■ 検討モデルにおいて下記を評価

- ① WPT屋内設置環境におけるキャリアセンスによる共用（再掲）
- ② WPT屋内設置環境外における信号強度
- ③ WPT屋内設置環境外におけるキャリアセンスのシミュレーション

■ 検討モデル

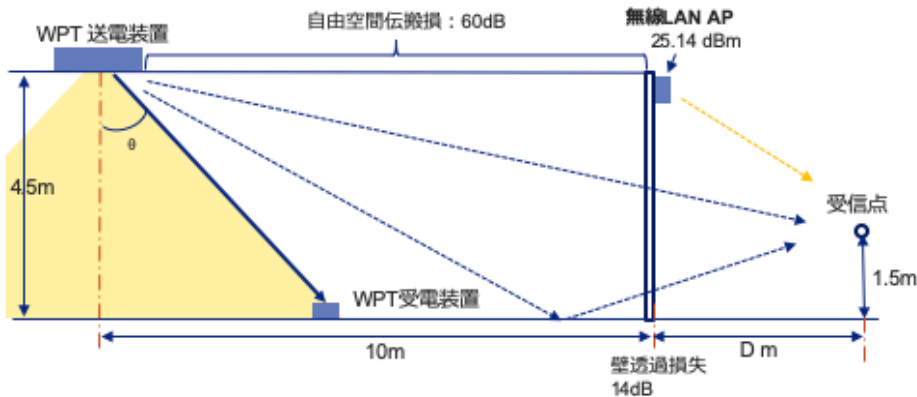


- ・②、③においてはWPT屋内設置環境内に設置物（スチール棚）を設置、レイトレーシングで反射を考慮した信号強度を求めて評価
- ・WPT屋内設置環境の内外を隔てる壁透過損はITU P2109 “Prediction of Building Loss”のtraditional buildingより計算

(3) WPT屋内設置環境外における信号強度

WPT送電装置を天井設置し、10mの伝搬損を考慮すると、壁の外側（WPT屋内設置環境外）では、反射を考慮してもWPT送電装置の信号強度は無線LAN APと同等に抑制可能

※メインローブを 45° (θ) 以内に制限、屋内に何も無い環境を想定、受信点は1.5m高



WPT屋内設置環境外の信号強度 (dBm)

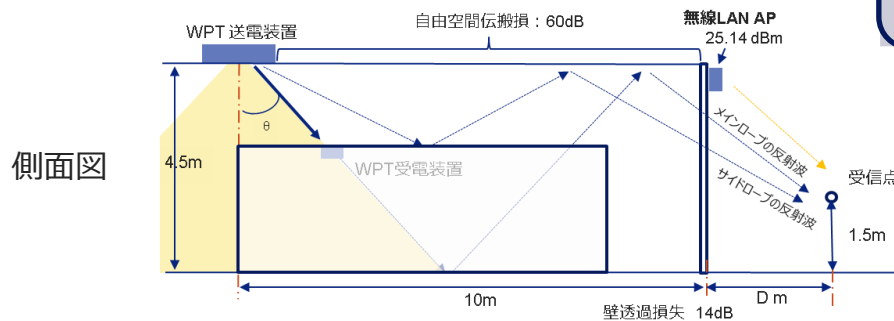
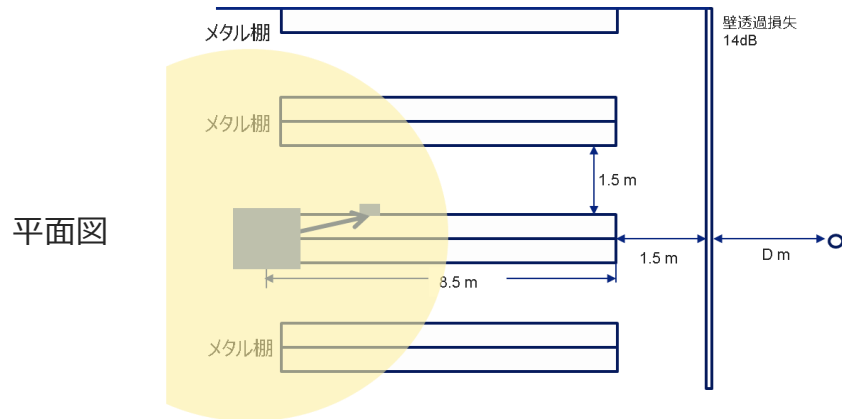
D	1m	10m	100m	1000m
無線LAN AP	-24.9	-34.9	-54.9	-74.9
WPT $\theta=45^\circ$	-32.0	-41.0	-59.3	-80.4
WPT $\theta=60^\circ$	-22.2	-32.7	-52.7	-74.0

シミュレーションの条件

- ・レイトラッキング：Raplavを利用。反射4回、透過1回でレイトラッキングを実施。
- ・床、天井は壁と同じコンクリート素材を想定。透過損失はITU P2109 "Prediction of Building Loss"のtraditional buildingによる。

(3) WPT屋内設置環境外における信号強度（設置物あり）

WPT屋内設置環境に実環境を想定し、設置物としてメタル棚を想定するとメインローブが 60° 以下で、いずれも壁の外側（WPT設置環境外）の受信点において、無線LAN APと同等となる



WPT屋内設置環境外の信号強度（dBm）

D	1m	10m	100m	1000m
無線LAN AP	-24.9	-34.9	-54.9	-74.9
WPT $\theta=45^\circ$	-35.6	-44.3	-64.1	-85.4
WPT $\theta=60^\circ$	-31.4	-45.0	-61.8	-82.8

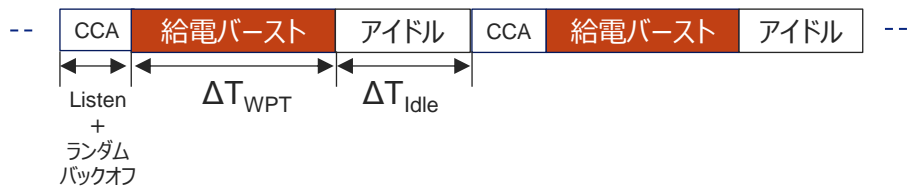
シミュレーションの条件

- ・レイトラッキング：Raplabsを利用。反射4回、透過1回
- ・床、天井は壁と同じコンクリート素材を想定。透過損失はITU P2109 “Prediction of Building Loss”のtraditional buildingによる。

(4) WPTのキャリアセンスの評価について

- WPTにおける給電バースト時間 (ΔT_{WPT})、アイドル時間 (ΔT_{Idle}) を制御することで、無線LANへの影響低減が可能
- シミュレーションにより、 ΔT_{WPT} 、 ΔT_{Idle} と無線LANスループットの関係性を評価

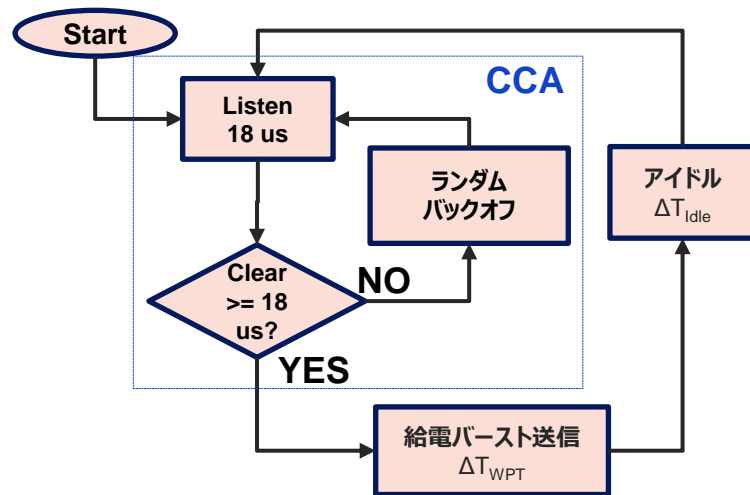
WPT給電タイミング



CCAレベル閾値

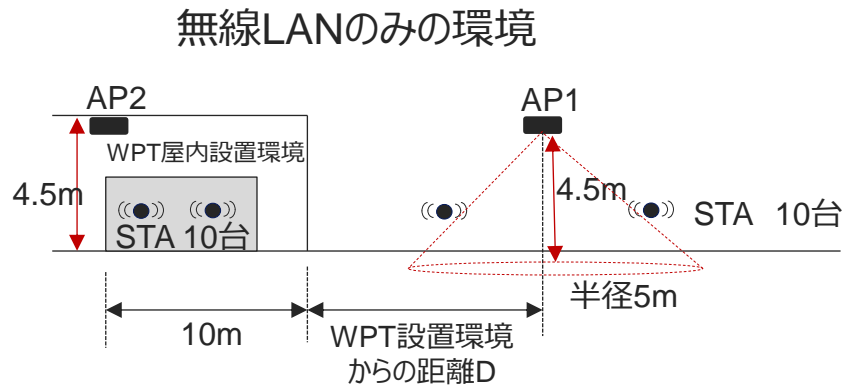
同一CH	隣接CH	次隣接以遠CH
-72 dBm/20MHz	-62 dBm/20MHz	-62 dBm/20MHz

WPTキャリアセンスフロー



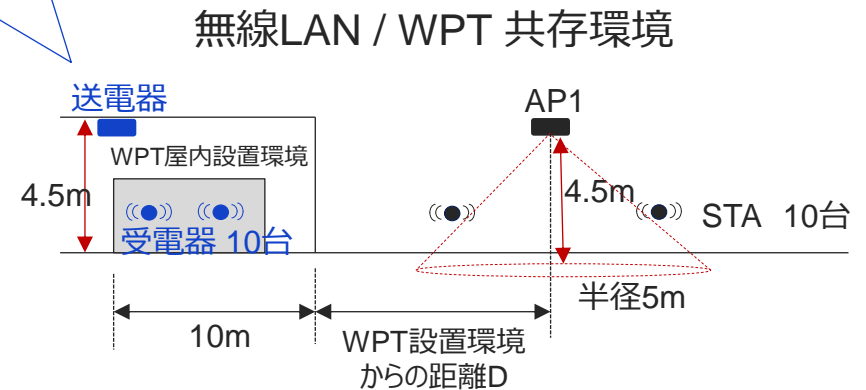
WPT屋内設置環境内外の2台のAPが同一CHを使用する場合のスループット低下に対し、屋内のAPをWPTに変えた場合のよるスループット低下が同程度以下となる条件を導出する

AP2、STA 10台を送電器、受電器 10台に置き換えて評価



【WPT屋内設置環境内】
複数の棚を配置して側面にSTAを配置

【WPT屋内設置環境外】
AP1を中心に半径5m内にSTAをランダム配置



【WPT屋内設置環境内】
複数の棚を配置して側面に受電器を配置

シミュレーション条件として、LAAの条件を参考
3GPP TR 36.889 V13.0.0 “Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum”

シミュレーション結果

【同一CH干渉】

- ・給電バースト時間 (ΔT_{WPT}) = アイドル時間 (ΔT_{Idle}) の場合、離隔距離5m以下
- ・給電バースト時間 (ΔT_{WPT}) > アイドル時間 (ΔT_{Idle}) の場合、離隔距離10m以下

【隣接CH干渉、次隣接CH干渉】

給電バースト時間 (ΔT_{WPT})、アイドル時間 (ΔT_{Idle})に関わらず、壁から5mでも無線LANスループットは低下しない



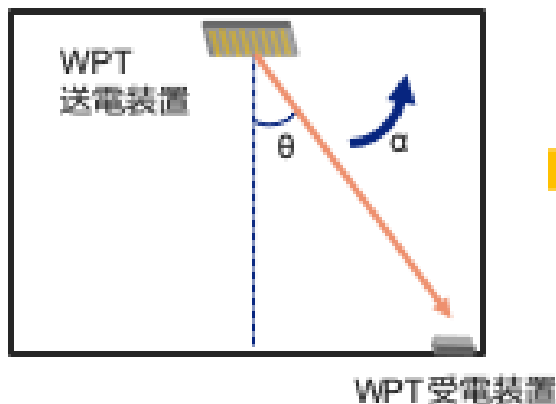
同一CH干渉、隣接CH干渉、次隣接CH干渉の結果から、

給電バースト時間 (ΔT_{WPT}) = アイドル時間 (ΔT_{Idle})とすることで、WPT屋内設置環境外のWiFiへの影響を抑制する

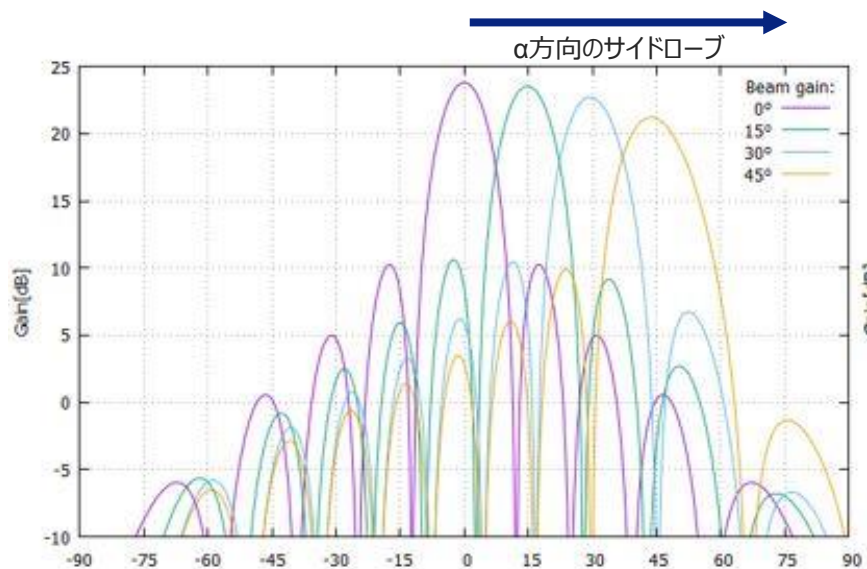
本設定により、所要給電時間が延びる可能性があるものの大きな問題とはならない見込み

送電装置を天井設置し、メインローブが水平方向に放射しないよう制限を加えることで、アンテナパターンからサイドローブの強度も一定程度以下となるようにできる

送電装置天井設置

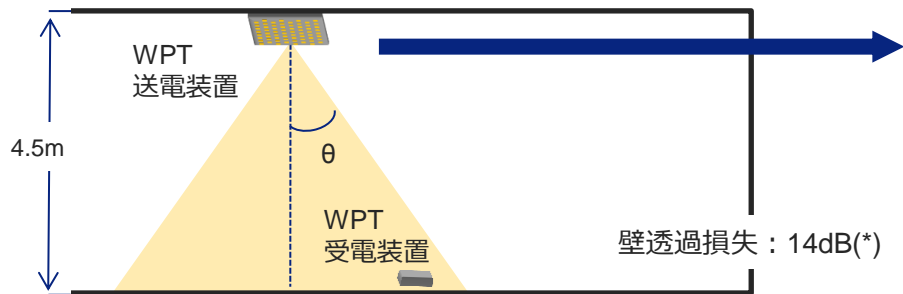


メインローブ角度毎のアンテナパターン



(電波天文との共用検討) 共用検討のモデル (1/2)

- 送電装置を天井設置する、これにより送電装置からのメインローブ放射角度を制限。水平方向の放射による電波天文への影響を計算
- 帯域外の輻射も制限され、横方向（下図における $\theta = \pm 90^\circ$ ）では帯域外輻射のアンテナゲインが-14dBi以下



WPT屋内設置環境

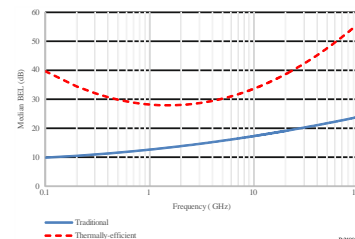
(*)WPT屋内設置環境の内外を隔てる壁透過損はITU P2109 “Prediction of Building Loss”のtraditional buildingより算出（下記）

$$L_h = r + s \log(f) + t (\log(f))^2$$

L_h : 水平方向のパスにおける壁透過損失中央値

f : 周波数(GHz)

Building type	r	s	t
Related to:	Median BEL (μ)		
Traditional	12.64	3.72	0.96
Thermally-efficient	28.19	-3.00	8.48



(電波天文との共用検討) 干渉計算結果 (所要離隔距離) (2/2)

WPT送信周波数:2,412MHz

観測施設		野辺山・宇宙		野辺山・宇宙	白田		小金井		石岡		水沢		石垣島		入来	
海拔高	m	1349		1349	1456		99.7		130		63		26		528	
観測周波数	MHz	2090	2695	3210	2300	2695	2360	2695	2400	2695	2400	2695	2400	2695	2400	2695
観測周波数min	MHz	1910		3410	2200		2212		2200		2200		2200		2200	
観測周波数max	MHz	2090		3840	2300		2360		2400		2400		2400		2400	
観測周波数帯幅 Δf_0	MHz	180	10	430	100	10	148	10	200	10	200	10	200	10	200	10
最小Ant雑音温度 T_A	K	12		12	12		12		12		12		12		12	
受信機雑音温度 T_R	K	10		10	10		10		10		10		10		10	
地上高 h_2	m	4.7		4.5	33		12.5		18		22		22		22	
干渉閾値レベル																
入力電力 ΔP_H	dBW	-200.4	-207	-198.5	-201.7	-207	-200.8	-207	-200.2	-207	-200.2	-207	-200.2	-207	-200.2	-207
pfid $S_H \Delta f$	dB(W/m ²)	-172.9	-177	-165.8	-173.1	-177	-172.1	-177	-171.4	-177	-171.4	-177	-171.4	-177	-171.4	-177
pfidスペクトラム S_H	dB(W/(m ² ·Hz))	-255.4	-247	-252.2	-253.1	-247	-253.8	-247	-254.5	-247	-254.5	-247	-254.5	-247	-254.5	-247
離調周波数 (Δf)	MHz	322	283	798	112	283	52	283	12	283	12	283	12	283	12	283
WPT天井設置高 h_1	m	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
アンテナ入力電力密度	dBm/MHz	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2
	dBW/MHz	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2	-64.2
水平方向アンテナゲイン	dBi	-14.236	-14.236	-14.236	-14.236	-14.236	-14.236	-14.236	-14.236	-14.236	-14.236	-14.236	-14.236	-14.236	-14.236	-14.236
壁減衰	dB	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
0dBi受信Ant入力閾値	dBm/MHz	-192.956	-187.00	-194.85	-191.68	-187.00	-192.53	-187.00	-193.19	-187.00	-193.19	-187.00	-193.19	-187.00	-193.19	-187.00
所要結合損	dB	130.52	124.56	132.41	129.24	124.56	130.10	124.56	130.75	124.56	130.75	124.56	130.75	124.56	130.75	124.56
所要離隔距離	m	38350.0	14974.5	31038.9	30073.5	14974.5	32359.3	14974.5	34293	14974.5	34293	14974.5	34293	14974.5	34293	14974.5
	km	38.3	15.0	31.0	30.1	15.0	32.4	15.0	34.3	15.0	34.3	15.0	34.3	15.0	34.3	15.0

共存検討打ち合わせ提示内容（抜粋）

(1) 共存検討のモデル

(2) WPT屋内設置環境外における信号強度

(4) キャリアセンスの評価

(5) 共用のための方針案

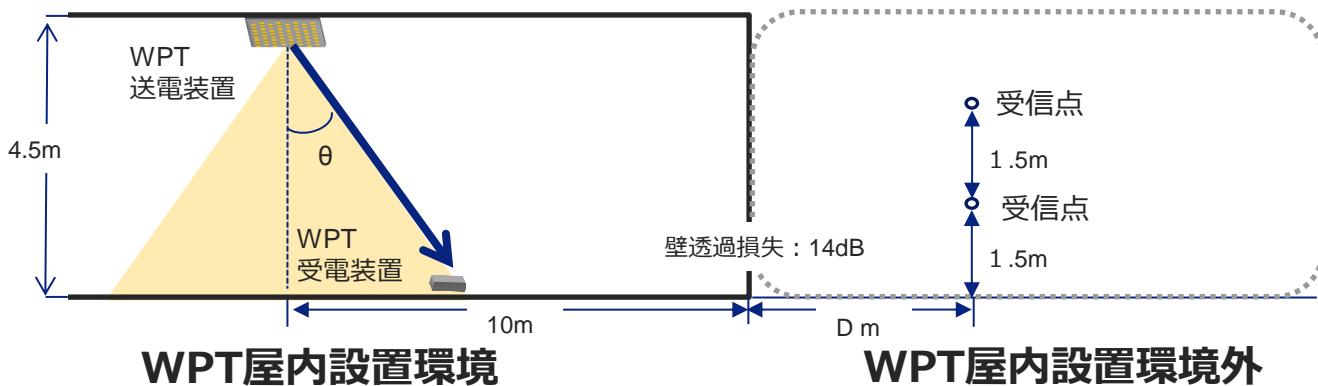
(1) 共存検討のモデル

■ 検討モデルにおいて下記を評価

WPT設置環境を考慮した下記検討モデルにおいて干渉計算

■ 検討モデル

- ・ 移動衛星通信端末から通信衛星の方角にWPTが設置される最悪の条件を想定
- ・ メインローブの角度 θ を45°の場合と60°(*)でWPT屋内設置環境外の信号強度を算出
- ・ 通信衛星から受信点が建物の影にならないもっとも近距離からの所要改善量を算出



(*) メインローブの鉛直方向との角度 θ の最大を60°と想定

(2) 共存検討計算に利用する2.4GHzアンテナ利得パターン

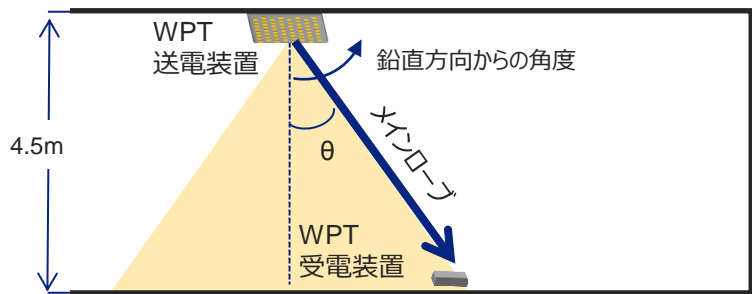
干渉計算は右のWPTアンテナ利得パターンを利用

・帯域内干渉計算

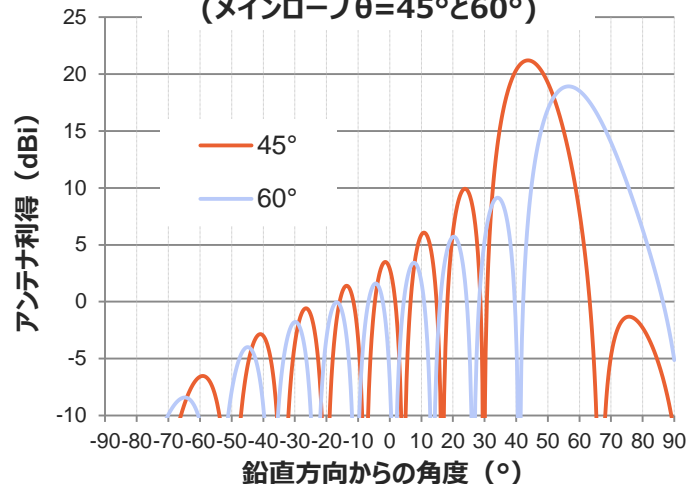
WPTの帯域外となる②のグラフ

・帯域外干渉計算

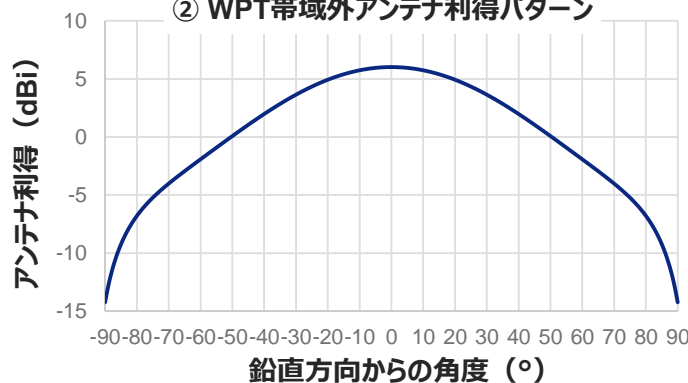
WPTの帯域内となる①のグラフのメインローブの角度45°、60°毎



① WPT帯域内アンテナ利得パターン
(メインローブ $\theta=45^\circ$ と 60°)

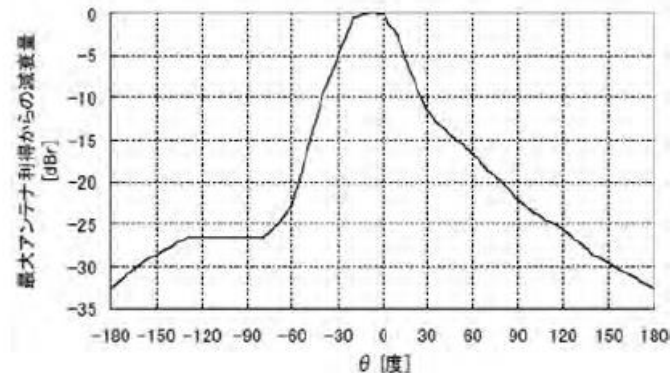


② WPT帯域外アンテナ利得パターン

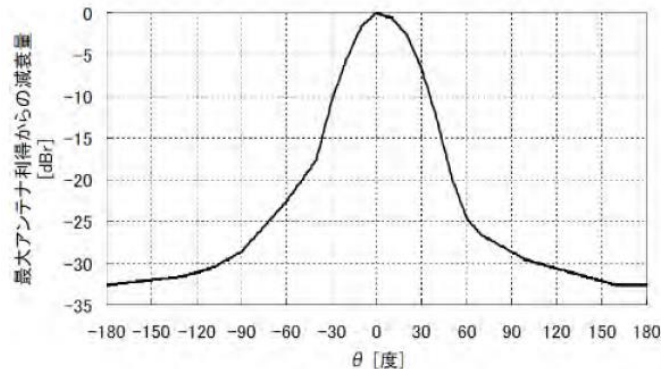


移動衛星通信端末

項目		移動局
周波数		2,500~2,535 MHz
アンテナ利得		12.6dBi
許容干渉電力	帯域内干渉	-124.9dBm/MHz
	帯域外干渉	-60 dBm 0-10MHz離調 -41 dBm 10-25MHz離調 -37 dBm 25-30MHz離調



垂直面アンテナパターン(*)



水平面アンテナパターン(*)

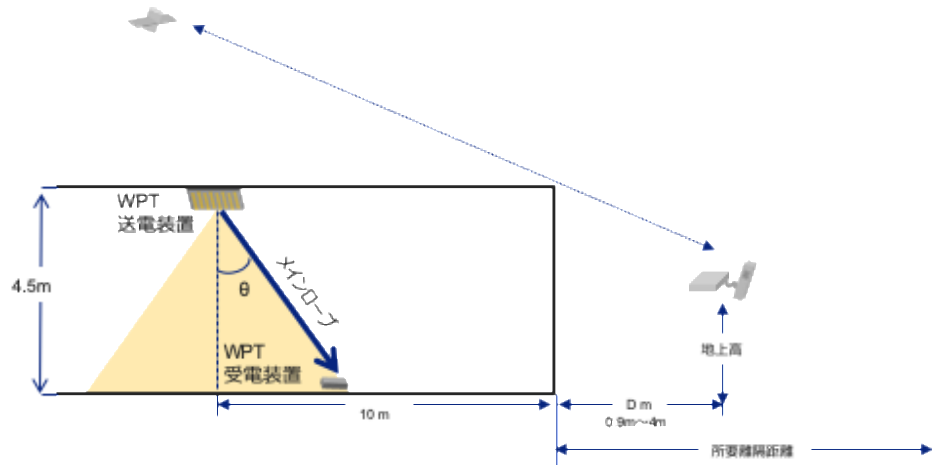
(*)平成30年12月12日 諮問第2032号

「2GHz帯などを用いた移動衛星通信システム等の在り方及び技術的条件」のうち「2.5GHz帯/2.6GHz帯を用いた国内移動衛星通信システムの技術的条件」一部答申より

(4) 干渉計算結果 (帯域内干渉)

- 移動衛星端末から通信衛星方位上 (方位角差 0°) にWPT送電装置が設置された場合を算出
- 所要改善量、所要離隔距離 (壁からの距離) は地上高1.5mのときそれぞれ、最大17dB、最長32m。

- WPT周波数 : 2,490 MHz
- WPT最大電力 : -34.2 dBm
- 壁透過損 : 14 dB
- 移動衛星通信端末 : 2,500 MHz



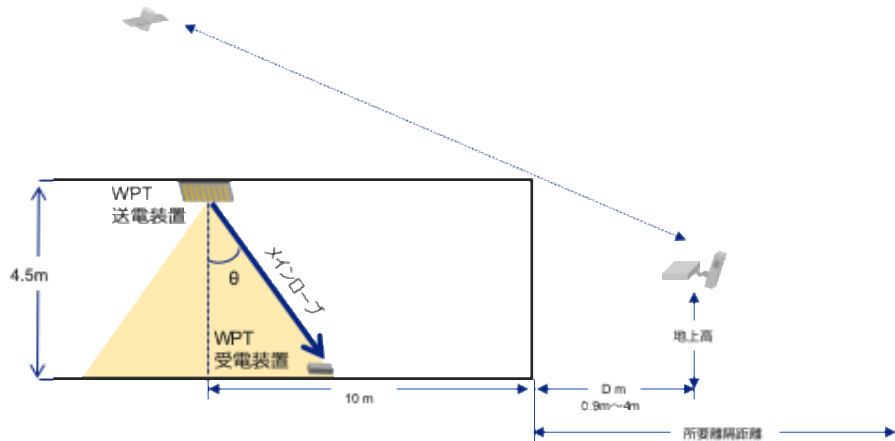
項目		稚内		仙台		東京		大阪		福岡		那覇	
移動衛星端末の地上高		1.5m	3m	1.5m	3m	1.5m	3m	1.5m	3m	1.5m	3m	1.5m	3m
通信衛星仰角 (°)		37.1		45.1		48.2		49.6		50.7		58.5	
所要量	所要改善量 (dB)	17.0	14	14.6	10.8	13.5	9.9	13.0	9.1	12.9	8.4	9.3	3.7
	所要離隔距離 (壁からの距離,m) (*)	32	25	22	15	19	11	17	10	16	10	10	4

(*) 自由空間損失および移動衛星端末アンテナパターンおよびWPTのアンテナパターン (WPT帯域外) の指向性減衰より算出

(4) 干渉計算結果 (帯域外干渉)

- 移動衛星端末から通信衛星方位上 (方位角差 0°) にWPT送電装置が設置された場合を算出
- 所要改善量、所要離隔距離 (壁からの距離) は地上高1.5mのときそれぞれ最大23.5dB、最長39m。

- WPT周波数 : 2,490 MHz
- WPT最大電力 : 41.8 dBm
- 壁透過損 : 14 dB
- 移動衛星通信端末 : 2,500 MHz



項目		稚内		仙台		東京		大阪		福岡		那覇	
移動衛星端末の地上高		1.5m	3m	1.5m	3m	1.5m	3m	1.5m	3m	1.5m	3m	1.5m	3m
通信衛星仰角(°)		37.1		45.1		48.2		49.6		50.7		58.5	
メインローブ角 $\theta=45^\circ$ 所要量	所要改善量 (dB)	13.6	14	11.1	10.8	10	9.9	9.5	9.1	9.2	8.4	5.6	3.7
	所要離隔距離 (壁からの距離,m) (*)	22	25	16	15	13	11	12	10	11	10	12	4
メインローブ角 $\theta=60^\circ$ 所要量	所要改善量 (dB)	23.5	18.2	21.5	15	20.4	14.4	19.9	13.5	20.5	12.9	16.9	8.2
	所要離隔距離 (壁からの距離,m) (*)	39	28	29	20	26	15	23	16	23	13	15	7

(*) 自由空間損失および移動衛星端末アンテナパターンおよびWPTのアンテナパターン (WPT帯域外) の指向性減衰より算出

(4) 干渉計算結果（方位角による減衰の考慮）

検討モデルにおける通信衛星方位上の所要改善量が最大23.5dBであることから、方位角が±60°の外に設置されたWPTは移動衛星端末に影響を与えない。

