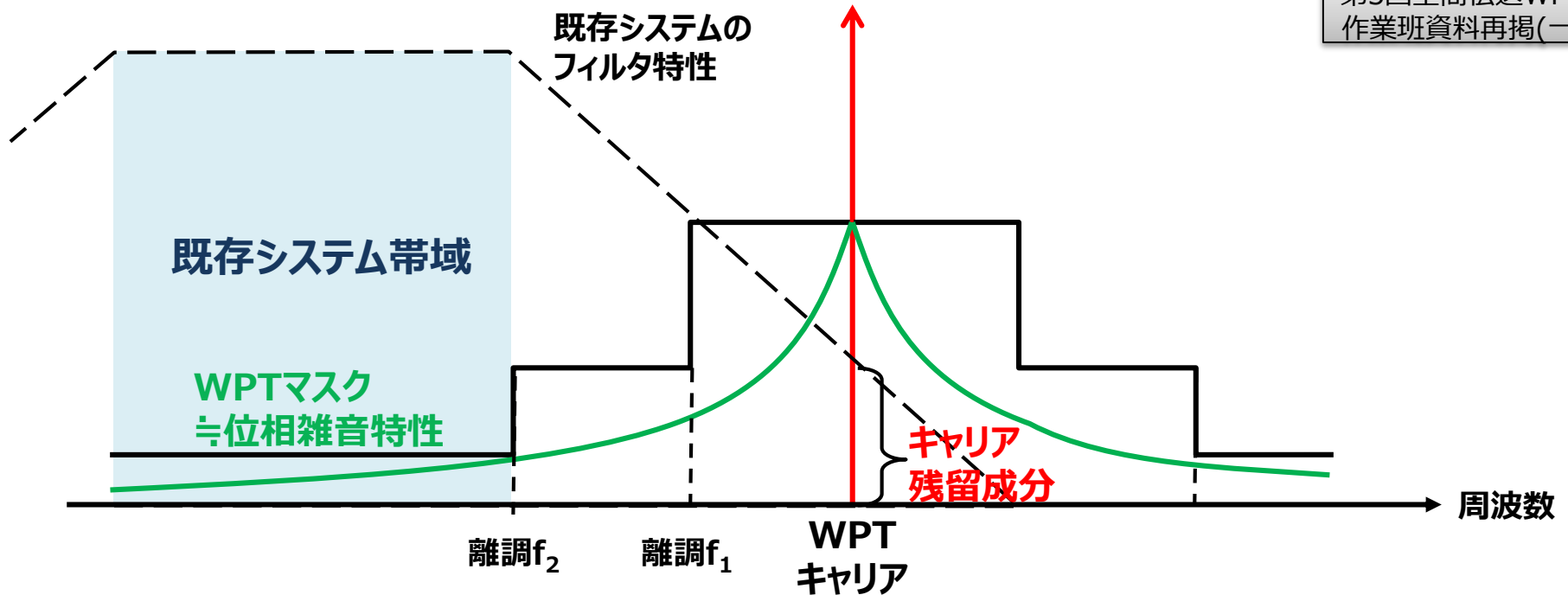


## 5.7GHz帯空間伝送型ワイヤレス電力伝送システム の共用検討状況

2019.7.9

ブロードバンドワイヤレスフォーラム (BWF)



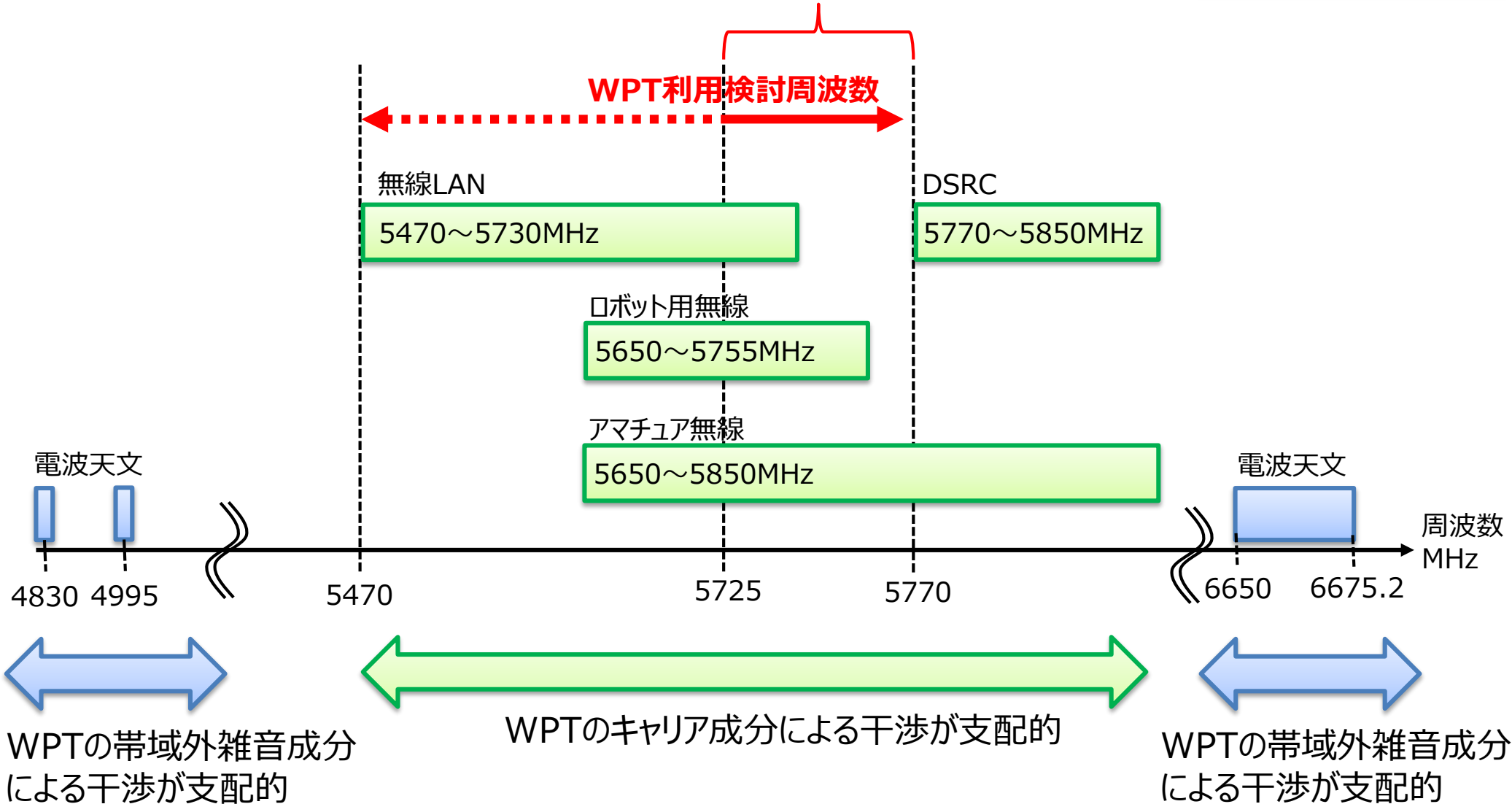
- **WPTから既存システムに与える干渉検討の前提条件**
  - WPTの送電はCW：帯域外雑音は位相雑音が支配的
  - 既存システム特性を考慮：妨害波耐性仕様・フィルタ特性を勘案した残留成分にて検討

**帯域外雑音・キャリア成分両者にて共存検討実施**

# WPTから既存システムに与える影響(2/2)

第3回空間伝送WPTシステム  
作業班資料再掲

基本的にはISMバンド下限 ~ DSRC下限周波数帯利用を想定



- 電波天文
  - 打合せおよびメールにて共用検討のやり取り実施。
  - 条件付きで共用案合意
- 無線LAN
  - ARIB無線LAN作業班と複数回打合せ実施。
  - 机上計算およびシミュレーション評価結果に基づく共用条件案の提示。
  - 指摘事項について検討中。
- アマチュア無線
  - 複数回打合せ実施。
  - WPTのシステム仕様やビームパターンについて説明。
- ロボット無線
  - JUTMと打合せ実施。
  - 共存案を提示し、ご検討いただく。
- DSRC
  - 打合せ日程調整中。

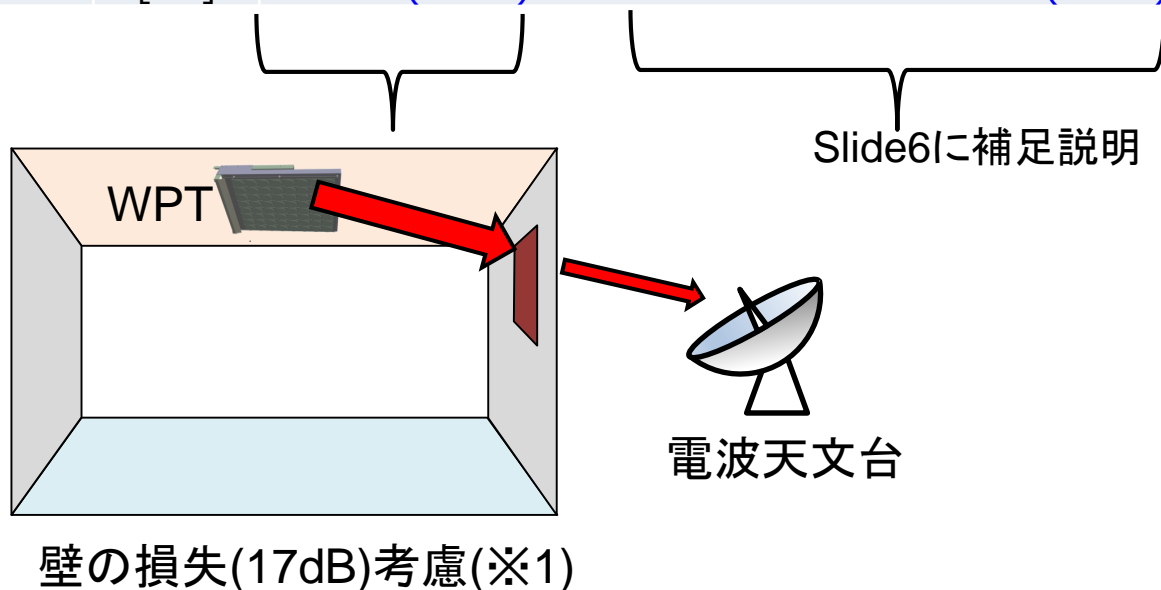
## 5.7GHz帯に近い臼田64m鏡をモチーフに離隔距離見積もり実施

- 国立天文台殿よりご提示いただいた周波数帯の近い電波望遠鏡一覧
  - 臼田64m鏡（観測周波数**4995MHz**）をモチーフに離隔距離見積もり実施

観測所名	アンテナ							観測周波数		影響する観測周波数 (MHz)	影響する送信電 波周波数 (MHz)
	アンテナの型式	大きさ	経度	緯度	海拔高	地上高	最小運 用仰角	最小	最大		
		(直径、有効面積)	(°)	(°)	(m)	(m)	(°)	(MHz)	(MHz)		
<b>臼田</b>	<b>パラボラ</b>	<b>直径64 m</b>	<b>138E21'46"</b>	<b>36N07'57"</b>	<b>1456</b>	<b>33</b>	<b>5</b>	<b>4700</b>	<b>5140</b>	<b>4995</b>	<b>5700</b>
臼田	パラボラ	直径64 m	138E21'46"	36N07'57"	1456	33	5	6664	6680	6671	5700
山口	パラボラ	直径32 m	131E33'26"	34N12'58"	110	20	5	6600	7112	6671	5700
茨城局日立	パラボラ	直径32 m	140E41'32"	36N41'51"	57	23	5	6300	7000	6671	5700
石岡	パラボラ (リングフォーカス)	直径13.2 m	140E13'08"	36N12'33"	130	18	5	3000	14000	4995,6671,10650	5700
水沢	パラボラ	直径20 m (VERA)	141E07'57"	39N08'01"	63	22	3	6664	6680	6671	5700
石垣島	パラボラ	直径20 m (VERA)	124E10'16"	24N24'44"	26	22	3	6664	6680	6671	5700
入来	パラボラ	直径20 m (VERA)	130E26'24"	31N44'52"	528	22	3	6664	6680	6671	5700

## 電波天文への離隔距離計算条件

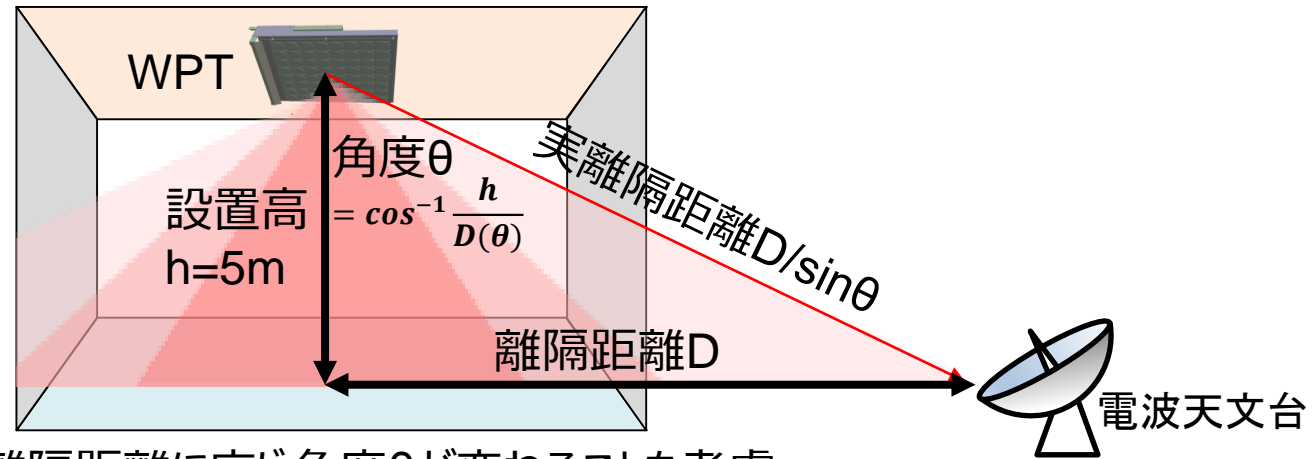
諸元	値	単位	コメント
送信電力	-48	[dBm]	第3回空間伝送型WPTシステム作業班資料に提示したスペクトルマスクより
占有周波数帯域幅	1	[MHz]	
送信アンテナ利得	7	[dBi]	電波天文観測周波数4995MHzにおいては、5.7GHz帯WPTシステムの信号は帯域外雑音成分が支配的であり、指向性利得が無視できる(無相関雑音)ため、アンテナ素子1個の利得値を設定。
指向性減衰	-40	[dB]	壁の損失(17dB)および天井設置による指向性減衰(23dB)を考慮



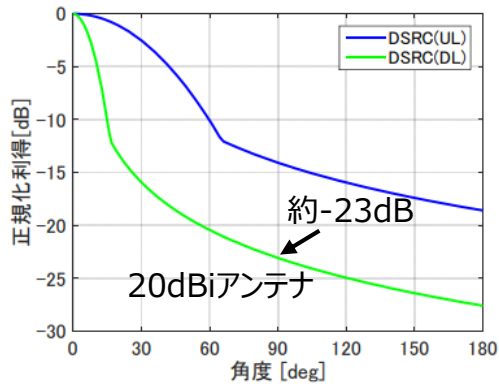
(※1) Recommendation ITU-R RS.1632より。必要に応じた窓等の遮蔽実施の検討中

## 天井設置時のアンテナ指向性による減衰モデル(最小-23dB低減)を導入

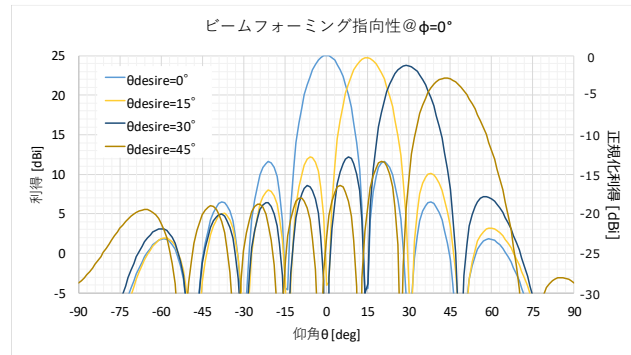
WPTパッチアンテナ指向性 $\propto \cos^2\theta \Rightarrow$ 最小-23dB(90度)



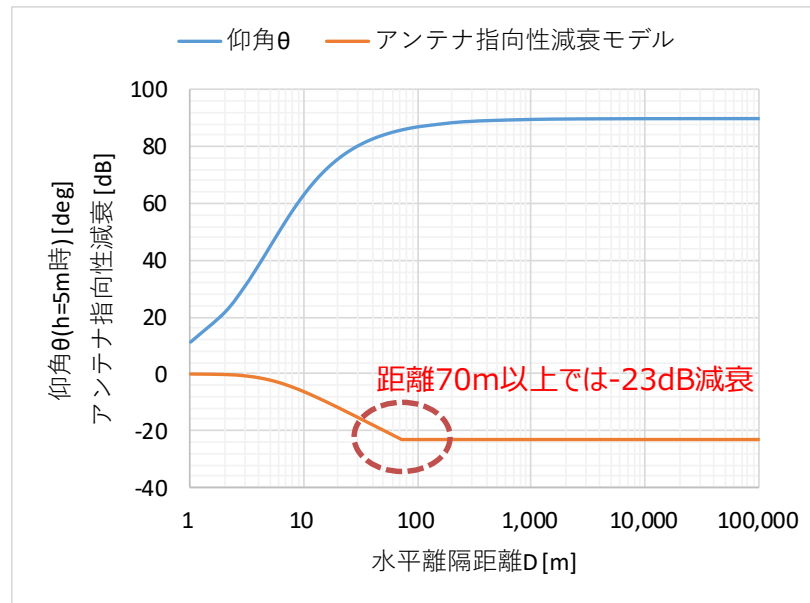
◆ 離隔距離に応じ角度 $\theta$ が変わることを考慮



DSRC移動局(UL)、基地局(DL)空中線の放射パターン  
アンテナ指向性パターン(※1)



WPT向けビームフォーミング  
指向性計算結果(※2)



(※1)情報通信審議会 情報通信技術分科会 放送システム委員会 4K・8K用FPU作業班(第4回)

(※2)Recommendation ITU-R M.2101-0 sec. 5 "Implementation of IMT Base Station (BS) and User Equipment (UE) Beamforming Antenna Pattern"

# 電波天文との共用検討 (4/8)

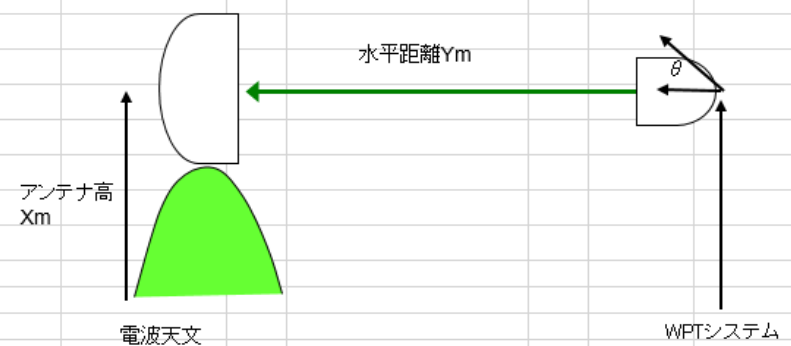
## 電波天文への離隔距離結果1

- 国立天文台殿より送付いただいたエクセル(RAS\_WPT\_Compatibility)により算出
  - 赤字のセルのみ変更

連続波観測	項目	規格	備考
送信パラメータ	① 送信電力	-48.0 dBm	
	② 占有周波数帯域幅	1.0 MHz	
	③ 送信アンテナ利得	7.0 dBi	
	④ 指向性減衰	0.0 dB	bore sight
	⑤ 帯域内輻射電力	-41.0 dBm	①+③+④
	⑥ 帯域内輻射電力密度	-41.0 dBm/MHz	⑤-10log(②)
受信パラメータ	⑦ 受信アンテナ利得	0.0 dBi	
	⑧ 指向性減衰	0.0 dB	
	⑨ 電力スペクトルフラックス密度	-241.0 dB(W/(m <sup>2</sup> ·Hz))	ITU-R RA.769
	⑩ 干渉閾値換算値	-187.0 dBm/MHz	
所要減衰量	⑪ 所要減衰量	146.0 dB	⑥-⑩
伝搬損失	⑫ 自由空間ロス	145.9 dB	96.9km
	⑬ 水蒸気圧	5.5 mmHg	
	⑭ 水蒸気密度	4.1 g/m <sup>3</sup>	15°C
	⑮ 水蒸気分子による吸収係数	0.001 dB/km	
	⑯ 大気減衰	0.1 dB	
	⑰ ナイフエッジ回折損	0.0 dB	
	⑱ 伝搬損失の合計	146.0 dB	⑫+⑯
	残差	0.00	⑱-⑪

ナイフエッジ回折損	項目	記号	値	単位
離隔距離	c		96,900	m
離隔距離	a, b		48,450	m
エッジの高さ	H		100	m
距離	x		48,450.103	m
距離	y		48,450.103	m
パラメータ	v		3.7	dB
周波数	f		4.9	GHz
波長	λ		0.061224	m
ナイフエッジ回折損	j(v)		19.3	dB

←この距離を変化させ、残差を所定の値に持って行く



「壁損失なし&天井設置なし(最悪ケース)」の場合 : 96.9km



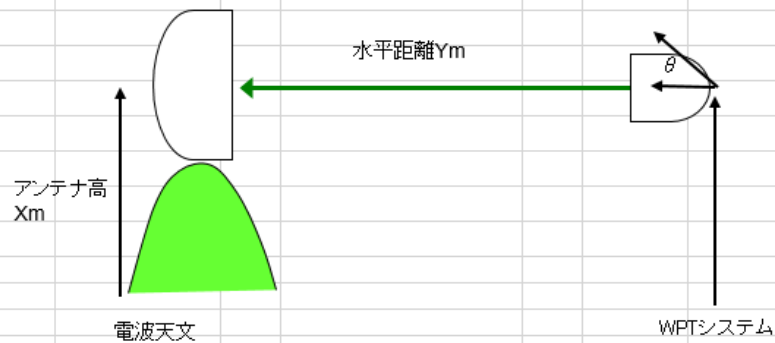
# 電波天文との共用検討 (5/8)

## 電波天文への離隔距離結果2

連続波観測				
	項目	規格	備考	
送信パラメータ	① 送信電力	-48.0 dBm		
	② 占有周波数帯域幅	1.0 MHz		
	③ 送信アンテナ利得	7.0 dBi		
	④ 指向性減衰	-17.0 dB	bore sight	
	⑤ 帯域内輻射電力	-58.0 dBm	①+③+④	
	⑥ 帯域内輻射電力密度	-58.0 dBm/MHz	⑤-10log(②)	
受信パラメータ	⑦ 受信アンテナ利得	0.0 dBi		
	⑧ 指向性減衰	0.0 dB		
	⑨ 電力スペクトルフラックス密度	-241.0 dB(W/(m <sup>2</sup> ·Hz))	ITU-R RA.769	
	⑩ 干渉閾値換算値	-187.0 dBm/MHz		
所要減衰量	⑪ 所要減衰量	129.0 dB	⑥-⑩	
	⑫ 自由空間ロス	129.0 dB	13.79km	
伝搬損失	⑬ 水蒸気圧	5.5 mmHg		
	⑭ 水蒸気密度	4.1 g/m <sup>3</sup>	15°C	
	⑮ 水蒸気分子による吸収係数	0.001 dB/km		
	⑯ 大気減衰	0.0 dB		
	⑰ ナイフエッジ回折損	0.0 dB		
	⑱ 伝搬損失の合計	129.00 dB	⑫+⑯	
		残差	0.00	⑱-⑬

ナイフエッジ回折損			
項目	記号	値	単位
離隔距離	c	13,790	m
離隔距離	a, b	6,895	m
エッジの高さ	H	100	m
距離	x	6,895.725	m
距離	y	6,895.725	m
パラメータ	$\nu$	9.7	dB
周波数	f	4.9	GHz
波長	$\lambda$	0.061224	m
ナイフエッジ回折損	$j(\nu)$	27.0	dB

←この距離を変化させ、残差を所定の値に持って行く



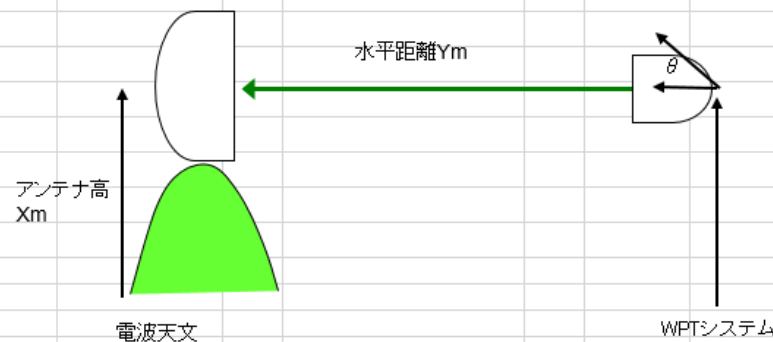
「壁損失あり&天井設置なし」の場合：約13.8km

## 電波天文への離隔距離結果3

連続波観測				
	項目	規格	備考	
送信パラメータ	① 送信電力	-48.0 dBm		
	② 占有周波数帯域幅	1.0 MHz		
	③ 送信アンテナ利得	7.0 dBi		
	④ 指向性減衰	-23.0 dB	bore sight	
	⑤ 帯域内輻射電力	-64.0 dBm	①+③+④	
	⑥ 帯域内輻射電力密度	-64.0 dBm/MHz	⑤-10log(②)	
受信パラメータ	⑦ 受信アンテナ利得	0.0 dBi		
	⑧ 指向性減衰	0.0 dB		
	⑨ 電力スペクトルフラックス密度	-241.0 dB(W/(m <sup>2</sup> ·Hz))	ITU-R RA.769	
	⑩ 干渉閾値換算値	-187.0 dBm/MHz		
所要減衰量	⑪ 所要減衰量	123.0 dB	⑥-⑩	
	⑫ 自由空間ロス	123.0 dB	6.91 km	
伝搬損失	⑬ 水蒸気圧	5.5 mmHg		
	⑭ 水蒸気密度	4.1 g/m <sup>3</sup>	15°C	
	⑮ 水蒸気分子による吸収係数	0.001 dB/km		
	⑯ 大気減衰	0.0 dB		
	⑰ ナイフエッジ回折損	0.0 dB		
	⑱ 伝搬損失の合計	123.00 dB	⑫+⑯	
		残差	0.00	⑱-⑬

ナイフエッジ回折損			
項目	記号	値	単位
離隔距離	c	6,910	m
離隔距離	a, b	3,455	m
エッジの高さ	H	100	m
距離	x	3,456.447	m
距離	y	3,456.447	m
パラメータ	v	13.8	dB
周波数	f	4.9	GHz
波長	λ	0.061224	m
ナイフエッジ回折損	j(v)	29.9	dB

←この距離を変化させ、残差を所定の値に持って行く



「壁損失なし&天井設置あり(\*1)」の場合：約6.9km

(\*1) 電波天文アンテナとWPT装置を結ぶ線と、WPTの主ビーム方向のなす角が90度となるケース

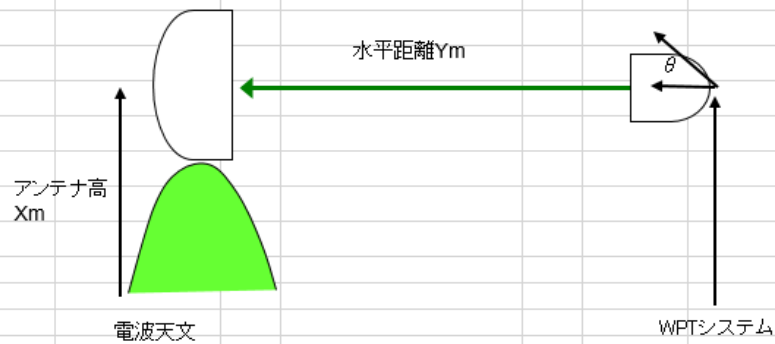
# 電波天文との共用検討 (7/8)

## 電波天文への離隔距離結果4

連続波観測				
	項目	規格	備考	
送信パラメータ	① 送信電力	-48.0 dBm		
	② 占有周波数帯域幅	1.0 MHz		
	③ 送信アンテナ利得	7.0 dBi		
	④ 指向性減衰	-40.0 dB	bore sight	
	⑤ 帯域内輻射電力	-81.0 dBm	①+③+④	
	⑥ 帯域内輻射電力密度	-81.0 dBm/MHz	⑤-10log(②)	
受信パラメータ	⑦ 受信アンテナ利得	0.0 dBi		
	⑧ 指向性減衰	0.0 dB		
	⑨ 電力スペクトルフラックス密度	-241.0 dB(W/(m <sup>2</sup> ·Hz))	ITU-R RA.769	
	⑩ 干渉閾値換算値	-187.0 dBm/MHz		
所要減衰量	⑪ 所要減衰量	106.0 dB	⑥-⑩	
	⑫ 自由空間ロス	106.0 dB	0.977km	
伝搬損失	⑬ 水蒸気圧	5.5 mmHg		
	⑭ 水蒸気密度	4.1 g/m <sup>3</sup>	15°C	
	⑮ 水蒸気分子による吸収係数	0.001 dB/km		
	⑯ 大気減衰	0.0 dB		
	⑰ ナイフエッジ回折損	0.0 dB		
	⑱ 伝搬損失の合計	106.0 dB	⑫+⑯	
		残差	0.00	⑱-⑬

ナイフエッジ回折損			
項目	記号	値	単位
離隔距離	c	977	m
離隔距離	a, b	489	m
エッジの高さ	H	100	m
距離	x	498.630	m
距離	y	498.630	m
パラメータ	v	36.6	dB
周波数	f	4.9	GHz
波長	λ	0.061224	m
ナイフエッジ回折損	j(v)	38.3	dB

←この距離を変化させ、残差を所定の値に持って行く



「壁損失あり&天井設置あり」の場合：977m

## 電波天文に対する離隔距離結果まとめ

計算モデル	離隔距離	補足
壁損失なし&天井設置なし (最悪ケース)	96,900m	Slide7
壁損失あり&天井設置なし	13,790m	Slide8
壁損失なし&天井設置あり	6,910m	Slide9 (電波天文アンテナとWPT装置を結ぶ線と、WPTの主ビーム方向のなす角が90度となるケース)
壁損失あり&天井設置あり	977m	Slide10

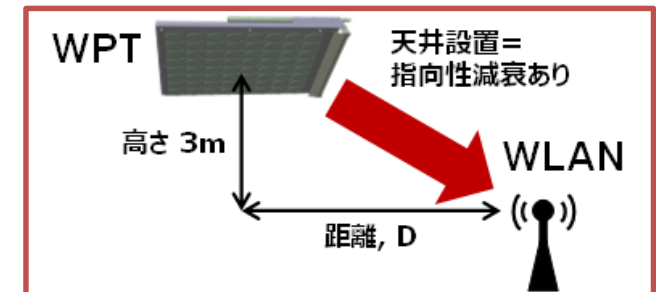
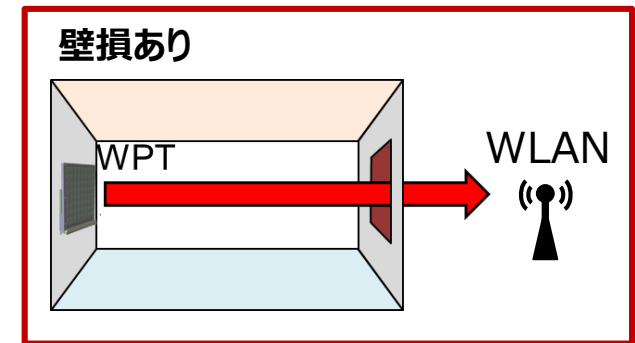
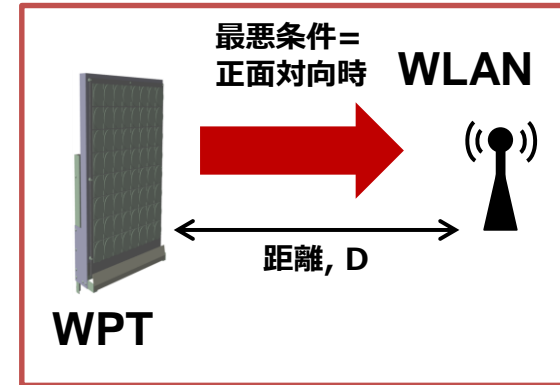
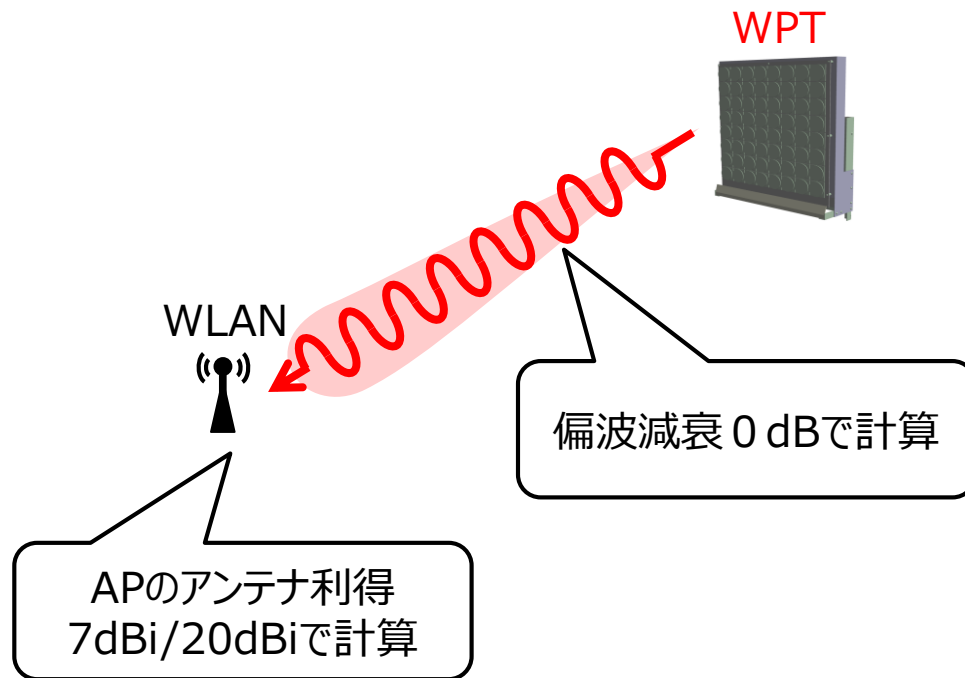
## 電波天文と5.7GHzのWPTの共存条件案

- 最小離隔距離約1km
- WPTは屋内設置 (壁減衰17dB) かつ天井設置 (主ビームに対し23dB減衰)

# 無線LANとの共用検討 (1/8)

## 指向性ビーム直撃による端末破壊を回避するための離隔距離を再計算

- ご指摘を受け、より厳しい条件で再計算
- 3条件（正対・壁損あり・天井設置）



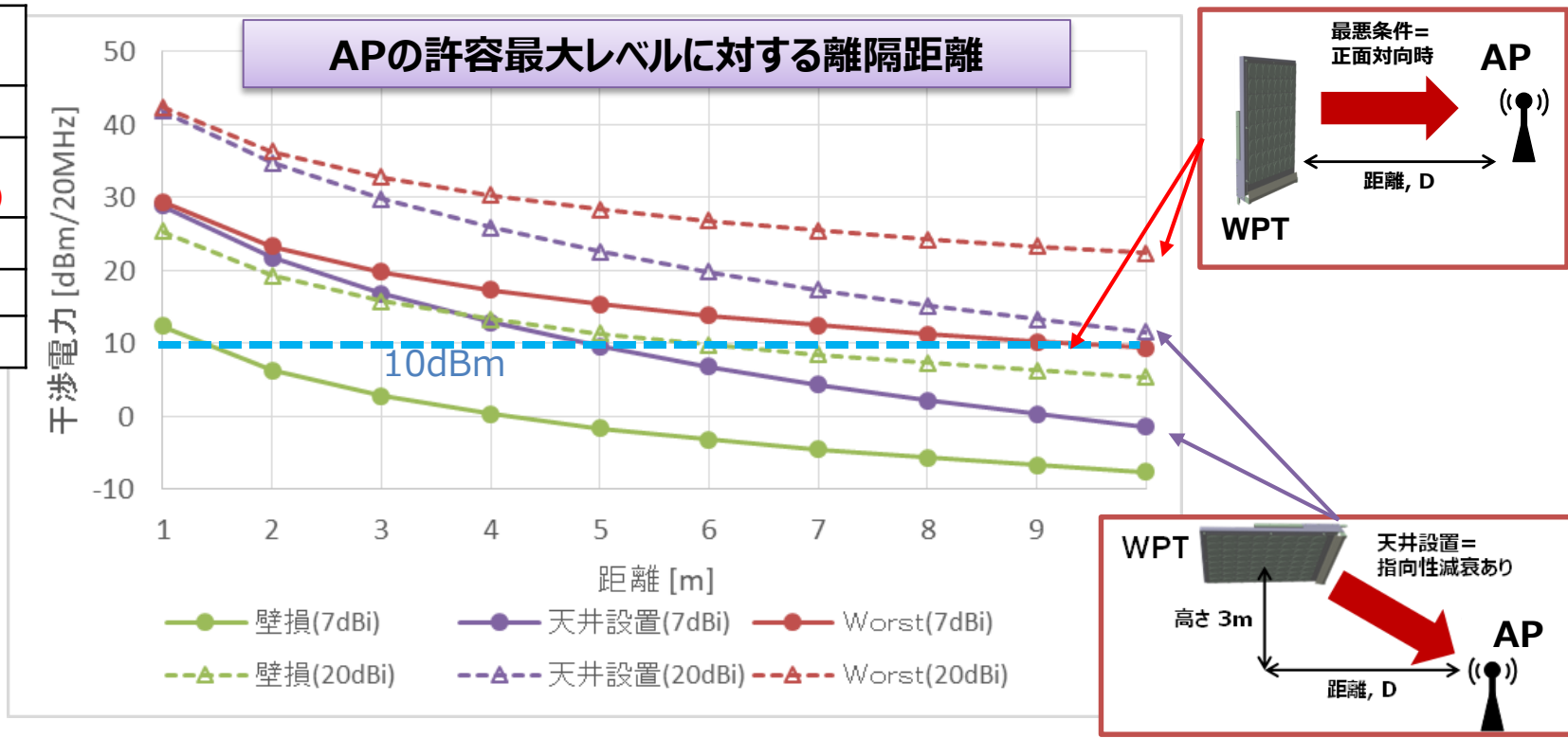
# 無線LANとの共用検討 (2/8)

## アクセスポイント端末破壊を回避するための離隔距離計算

WPT周波数	5.75 GHz (CW)
WPT EIRP	70
WLAN アンテナ利得	7dBi (実線) 20dBi (点線)
偏波減衰	0dB
壁減衰	0dB / 17dB
伝搬モデル	Friis則

受信電力 [dBm]	必要離隔距離 [m]
-10	92.9
5	52.3
0	29.4
5	16.5
10	9.3
15	5.2
20	2.9

APアンテナ利得7dBiでの離隔距離



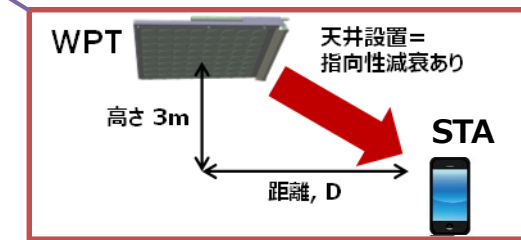
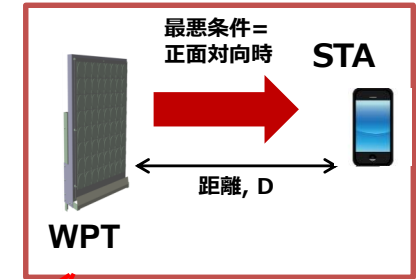
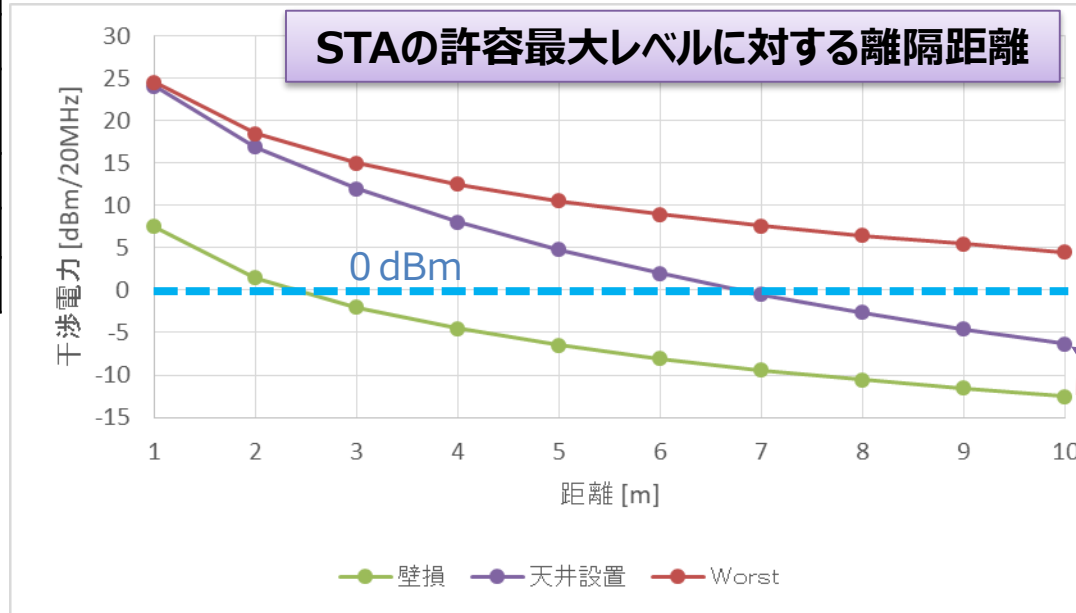
- APの最大アンテナ利得7dBiでの許容離隔距離：**
  - 許容最大レベルを10dBmとした場合、ワースト環境での離隔距離は約9m
  - 天井設置 or 壁損 のいずれかを考慮した場合は5m以下
- 外付けの20dBiアンテナを考慮した場合、壁損ありで約6m**
  - 6mはWPT指向性と20dBiアンテナが対向した場合であり、実運用上は6m以下となると思われる

## STA端末破壊を回避するための離隔距離計算

WPT周波数	5.75 GHz (CW)
WPT EIRP	70
WLAN アンテナ利得	2.14dBi
偏波減衰	0dB
壁減衰	0dB / 17dB
伝搬モデル	Friis則

受信電力 [dBm]	必要離隔距離 [m]
-10	53.1
5	29.9
0	16.8
5	9.4
10	5.3
15	3.0
20	1.7

正対条件での離隔距離



- 許容最大レベルを0dBmとした場合、ワースト環境での離隔距離は約17m
- 壁損を考慮した場合は3m以下

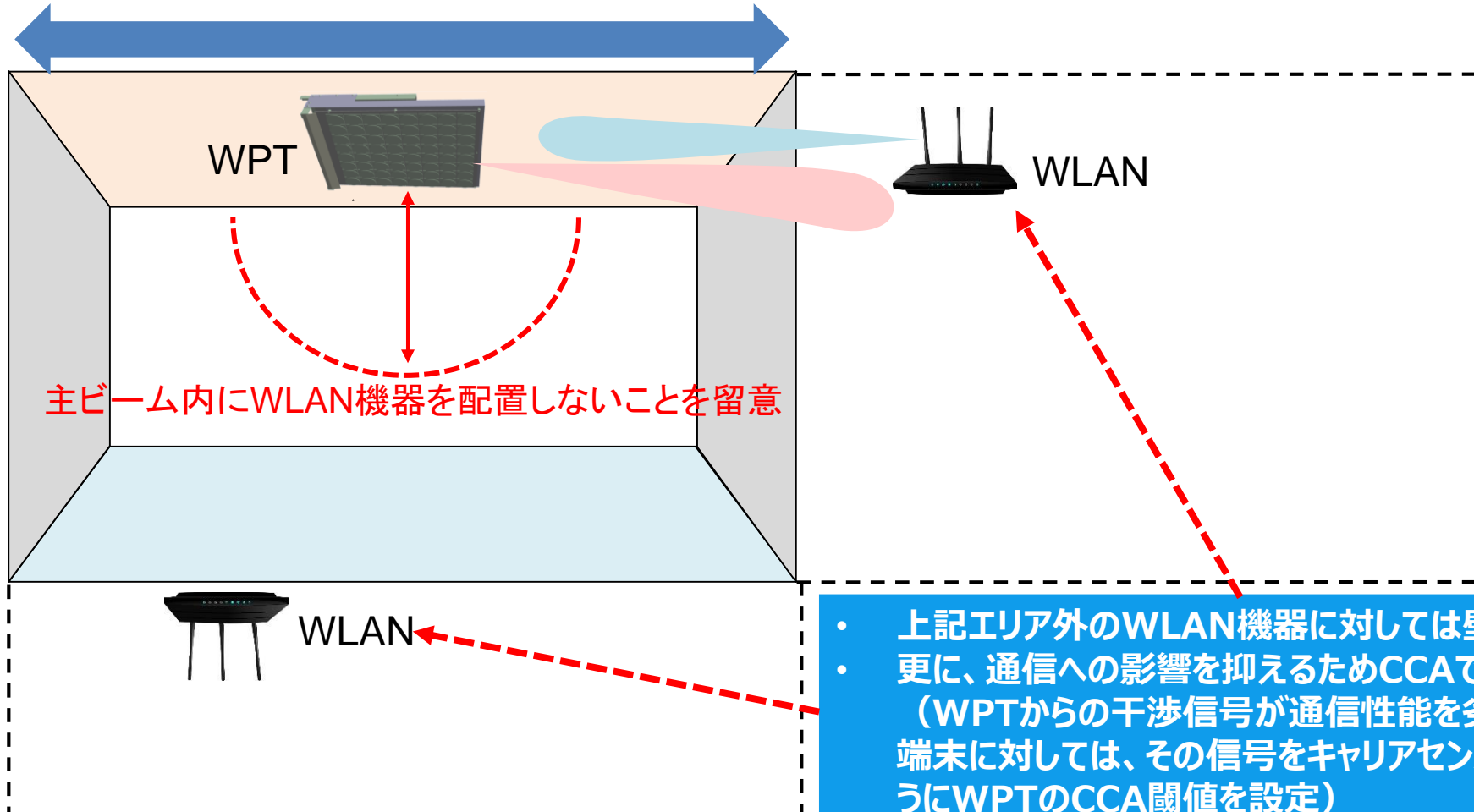
### WLAN機器破壊を回避するための共存方針案

- 「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エリア」では、メインビーム内にWLAN機器を配置しないことを留意する
- 上記エリア外に対しては、壁損を確保（窓等への対策の実施）

# 無線LANとの共用検討 (4/8)

## WLAN/WPT共存のユースケース案

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エリア





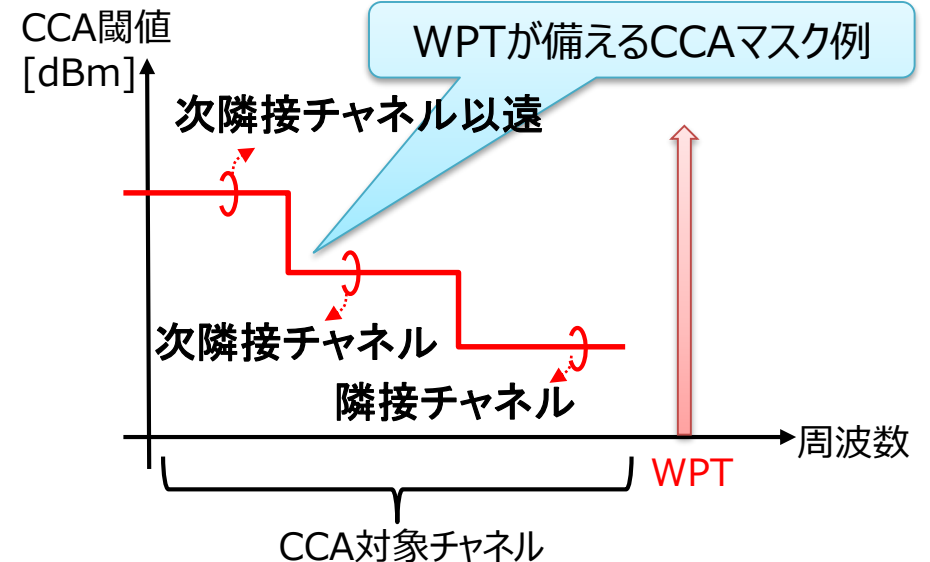
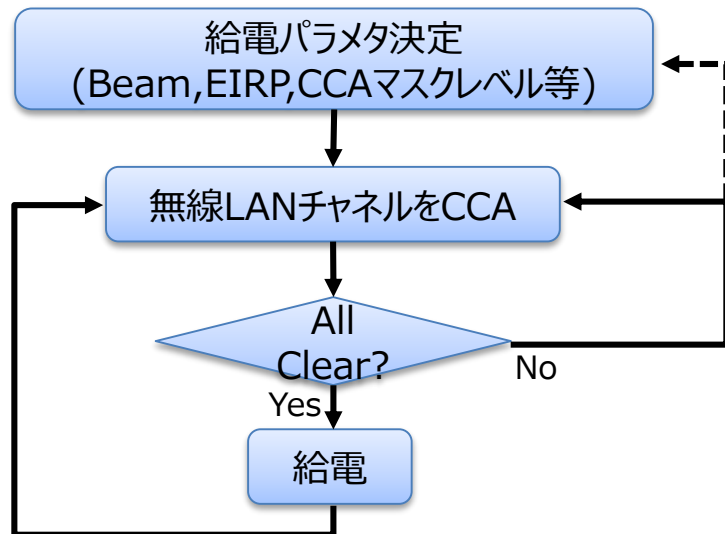
## キャリアセンス(CCA)による共存法の制御フローの検討

第3回空間伝送WPTシステム  
作業班資料再掲

### マイクロ波給電装置のタイミングチャート例



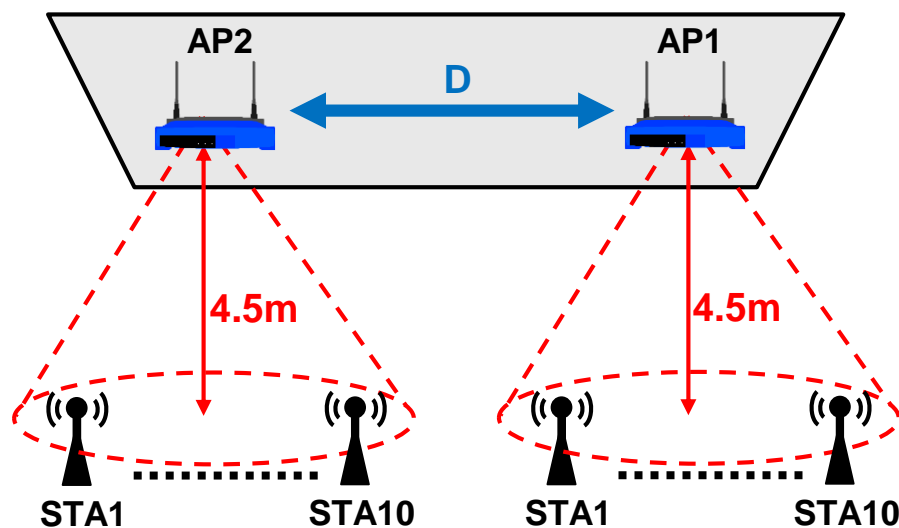
### マイクロ波給電装置の制御フロー



## WLANのみの環境、WLAN/WPT共存環境でのスループット特性を評価

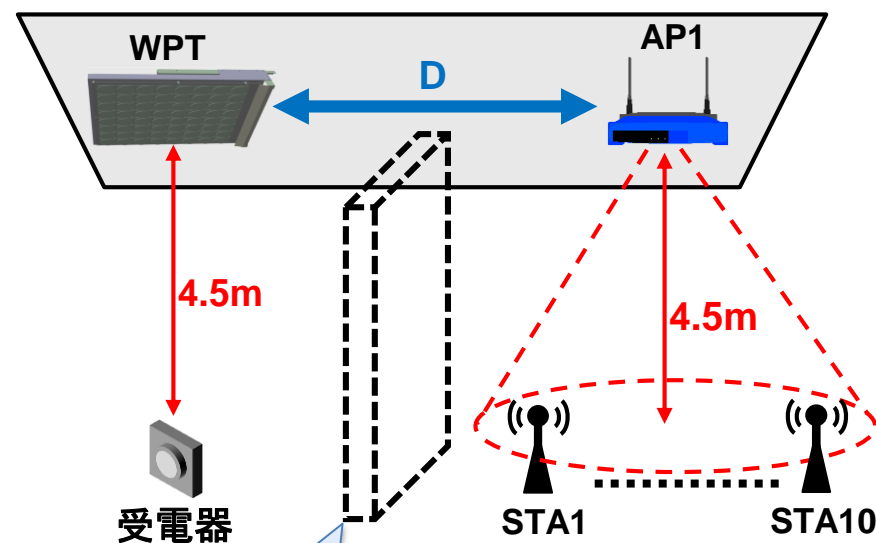
- 目的：2つのAPが同一チャネルを使用する場合のスループット劣化に対し、WPTによるスループット劣化が同程度以下となる条件を導出する
- シミュレーション条件として、LAA(\*1)での評価条件を参考とした

### WLANのみの環境 (OBSS環境)



10 STAs randomly placed  
in a circle of radius 5m

### WLAN/WPT共存環境



10 STAs randomly placed  
in a circle of radius 5m

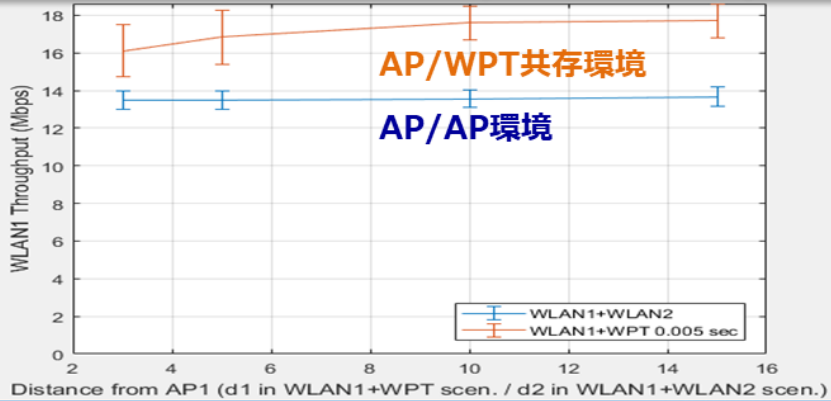
実運用上は壁を挟んだ共存を想定するが、シミュレーションではより厳しい壁無し環境で評価し、共存条件を算出

(\*1) License-Assisted Access,  
3GPP TR36.889 v13.0.0

## スループットシミュレーション評価結果例

### 距離 vs WLANスループット特性

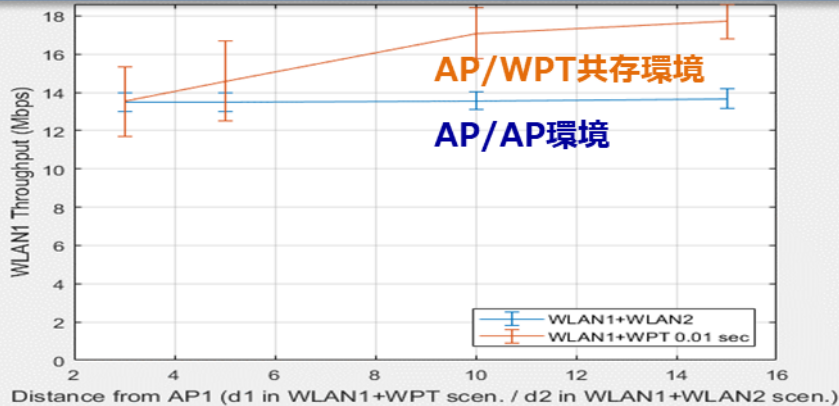
給電バースト時間5ms (CCA=4.6ms)



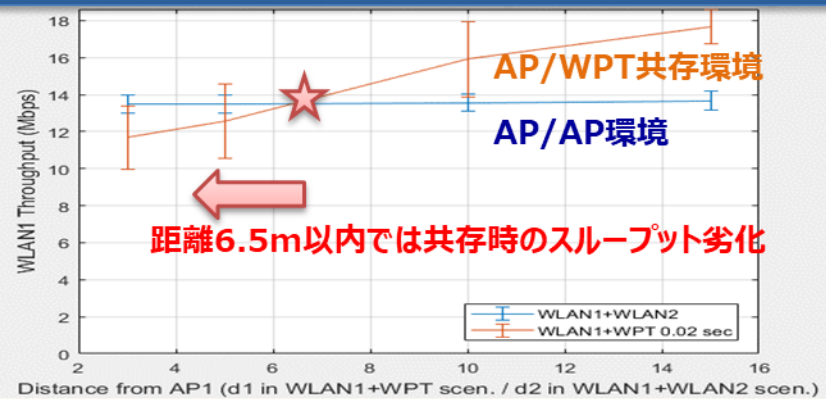
### シミュレーション諸元

WLAN	Bandwidth	20MHz
	Tx. Power	24 dBm (AP) 18 dBm (STA)
	Gain	5 dBi (AP) 0 dBi (STA)
	Channel Model	802.11n D
	MCS	6
WPT	channel	144ch
	Frequency	5750 MHz
	Tx. Power	40 dBm
Traffic	Beam Pattern	Max Gain: 25.84
	Traffic scenario	FTP
	Traffic type	DL/UL
Simulation Time		15 sec

給電バースト時間10ms (CCA=4.6ms)

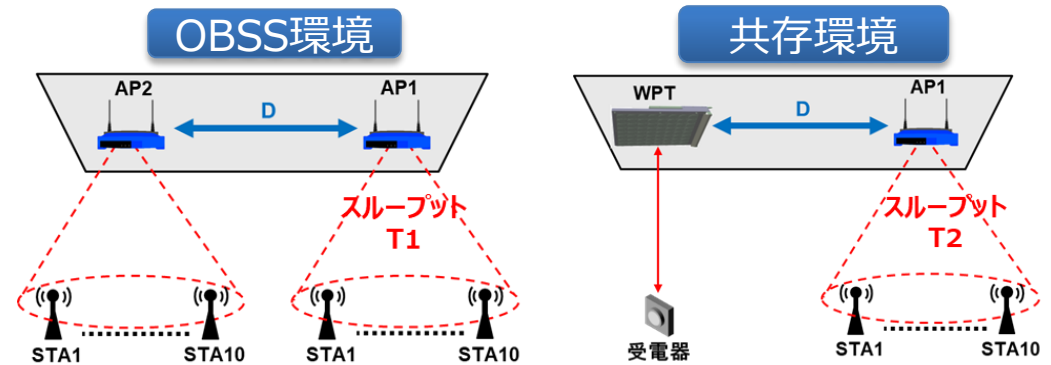


給電バースト時間20ms (CCA=4.6ms)



## WPT/無線LAN共存環境でのCCA制御パラメタ案

- シミュレーション結果に基づき  
 $WPT$ 共存時のスループット( $T2$ )  $\geq$   $OBSS$ 環境のスループット( $T1$ )  
 となる条件を導出



## WPT/無線LAN共存環境でのCCA制御パラメタ案

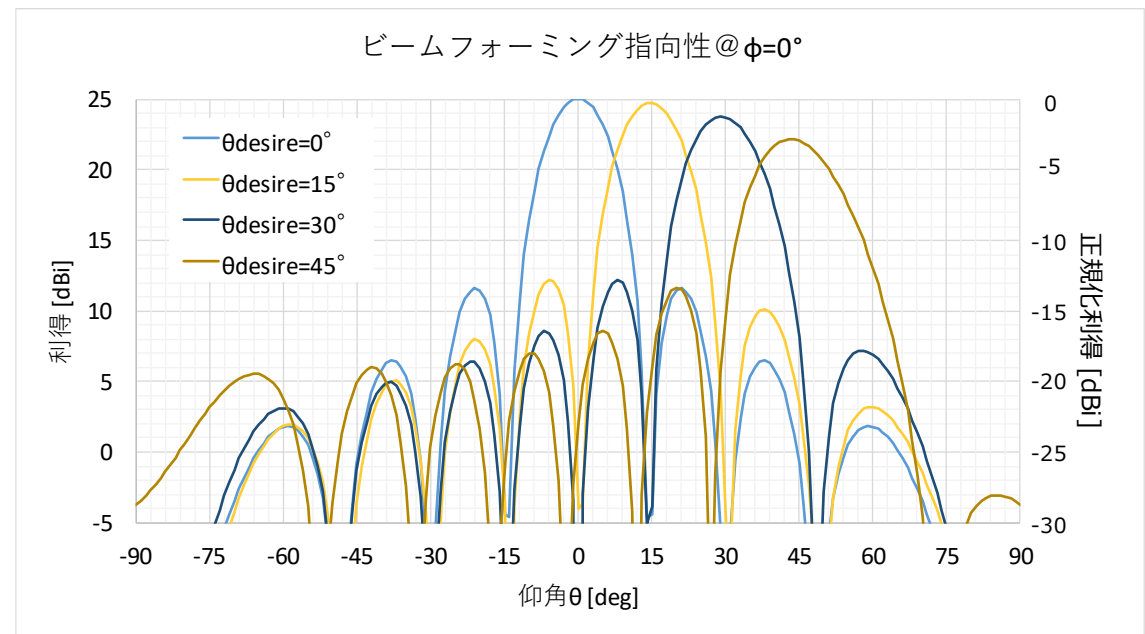
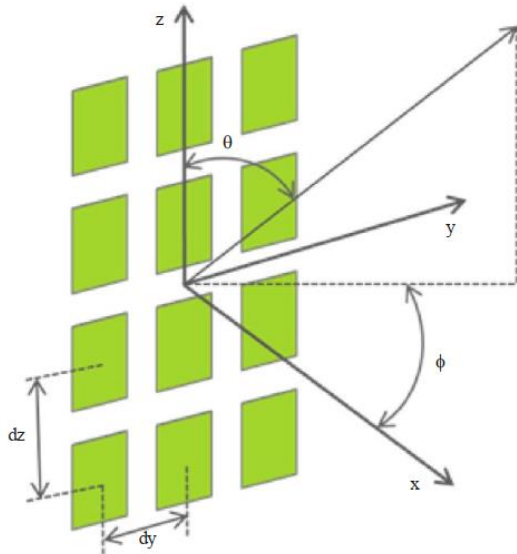
		単位	値	説明
センシング時間	CCA時間	ms	4 or 8	PIFS~最大バースト長
	CCA初期化時間	sec	5	CCA時間・給電バースト時間を初期化する周期
センシング条件	CCA閾値(同一チャンネル)	dBm	#N/A	
	CCA閾値(隣接チャンネル)	dBm	-75	5680~5730MHzを想定
	CCA閾値(次隣接チャンネル)	dBm	-72	5570~5680MHzを想定
	CCA閾値(次隣接チャンネル以遠)	dBm	-60	5470~5570MHzを想定
送電時間	給電バースト時間 (チャンネル占有時間)	ms	8 or 16	

## ビームフォーミング実施時のアンテナ指向性を見積

- 5.7GHz帯WPTシステムで現状想定 of アンテナ個数・アンテナ利得を用い、ITU-Rで定義されている条件(\*1)を用い計算
- アンテナ単体モデル・ビームフォーミング特性(アレイファクタ)を導出する条件にWPTの諸元を導入し、特定仰角( $\theta$ )に対するビームフォーミング時の指向性導出

FIGURE 10

Antenna Model Geometry,  $\theta$ : elevation, range from 0 to 180 degree  
 $\phi$ : Azimuth, range from -180 to 180 degree

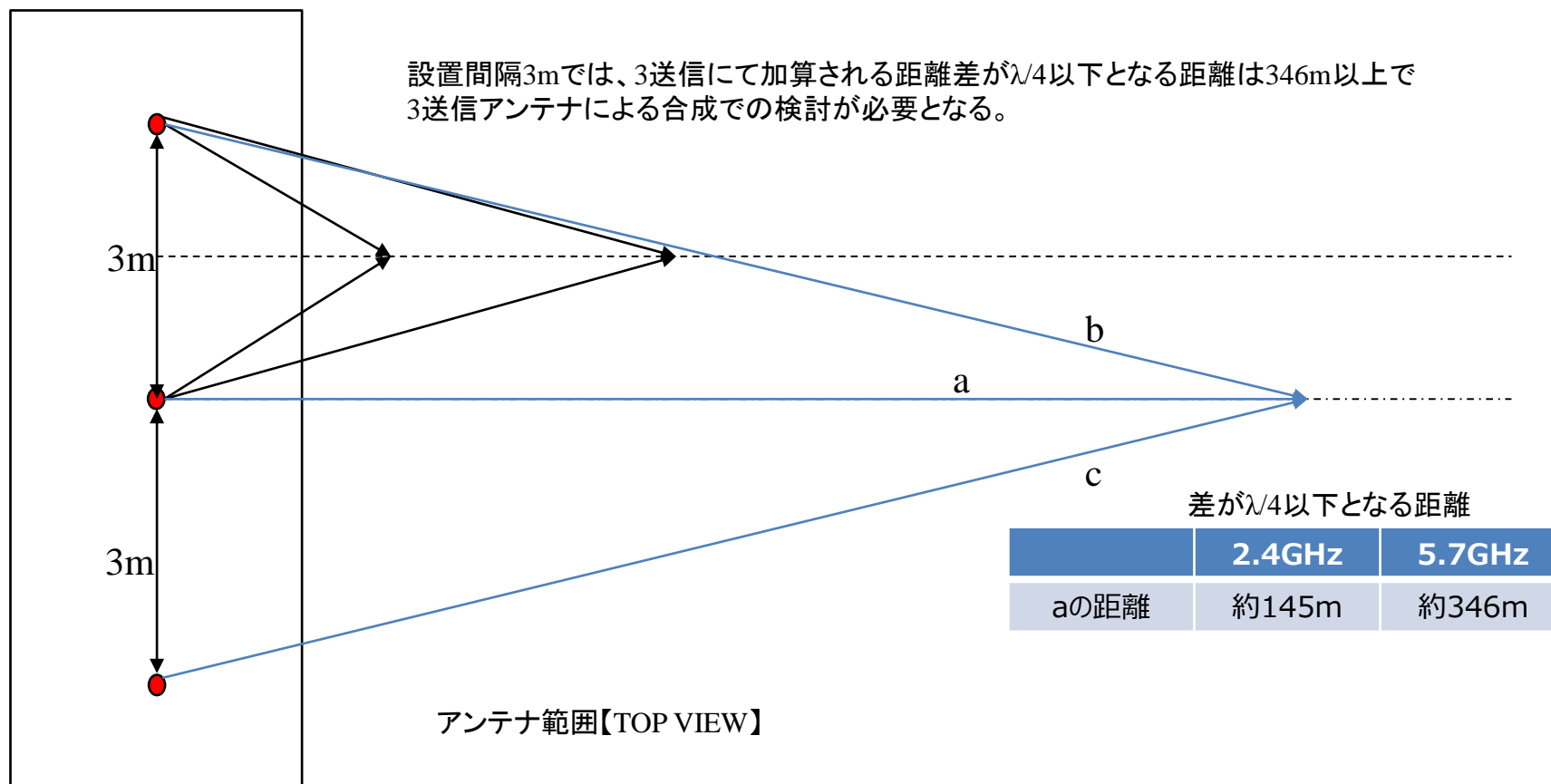


WPT向けビームフォーミング指向性計算結果

(※1) Recommendation ITU-R M.2101-0 sec. 5 "Implementation of IMT Base Station (BS) and User Equipment (UE) Beamforming Antenna Pattern"

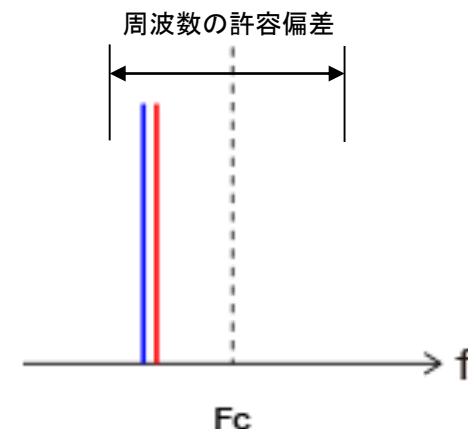
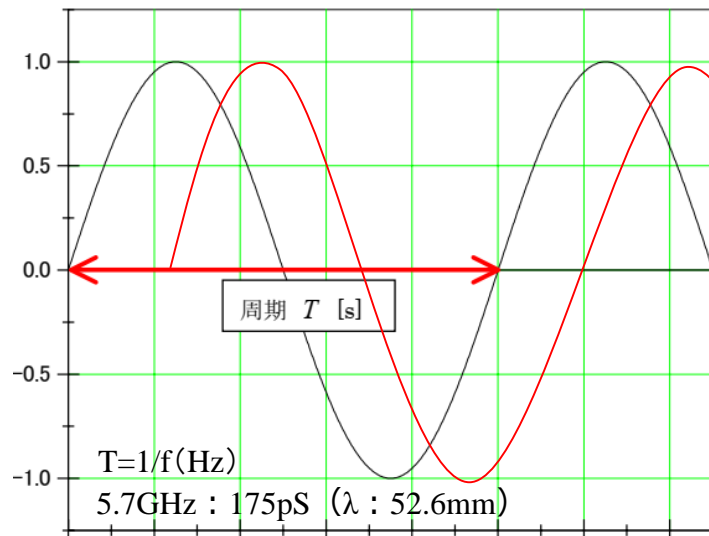
## 屋外への複数アンテナによる影響について

- 複数アンテナによる空間合成における影響としては、同一周波数における任意の空間上で同期とならなければ合成されない事となる
- 送信が同期していれば2点の中心点延長線上は同相となる  
3送信以上では全アンテナの中心位置の延長線上の遠方で同距離となり同相となる



## 複数機器を使用した場合の屋外干渉

- 屋外空間上では、距離による位相差により、10m程度までは2台、350m程度から複数台による検討が必要となる
  - 10m程度で干渉電力が低い場合は、3台以上の合成波については、伝搬損失の増加と相殺される
  - 複数台による電力合成には、送信同期となる状態で加算合成が発生するが、同期制御のない送電器では、きわめて低い発生確率または、ビーム走査中の瞬間的となる
- 天井設置とした屋内使用では、屋外に向くビームは、サイドローブ又はグレーティングローブとなるが、これらはビーム走査による素子アンテナから輻射される合成波であり、ビーム走査による素子アンテナへの電力および、位相は変化するため、一定の方向にて固定されたビームとはならない
- 以上より、屋外空間上の干渉増加については、距離、信号同期及びビーム走査等の条件が揃ったわずかな確率でしか発生せず、複数台設置した場合でも、実空間では2台の合成までを考慮することが適切と考える

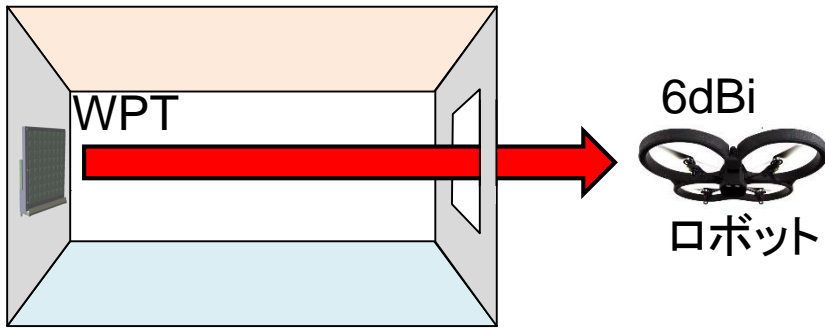


WiFi/RFIDなどの周波数許容偏差は±20ppm以内(±100kHz程度)

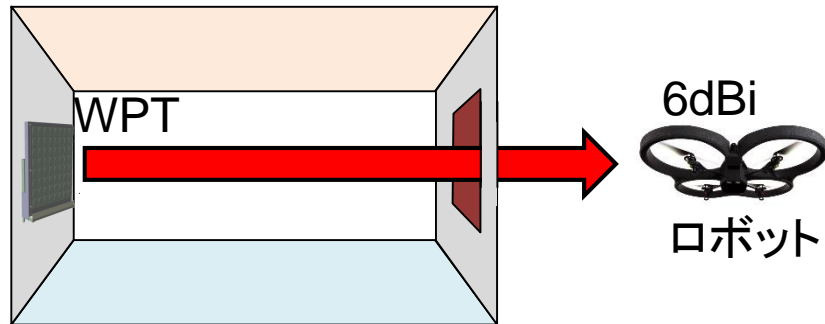
## 許容レベルを満たす離隔距離を計算

第3回空間伝送WPTシステム  
作業班資料再掲

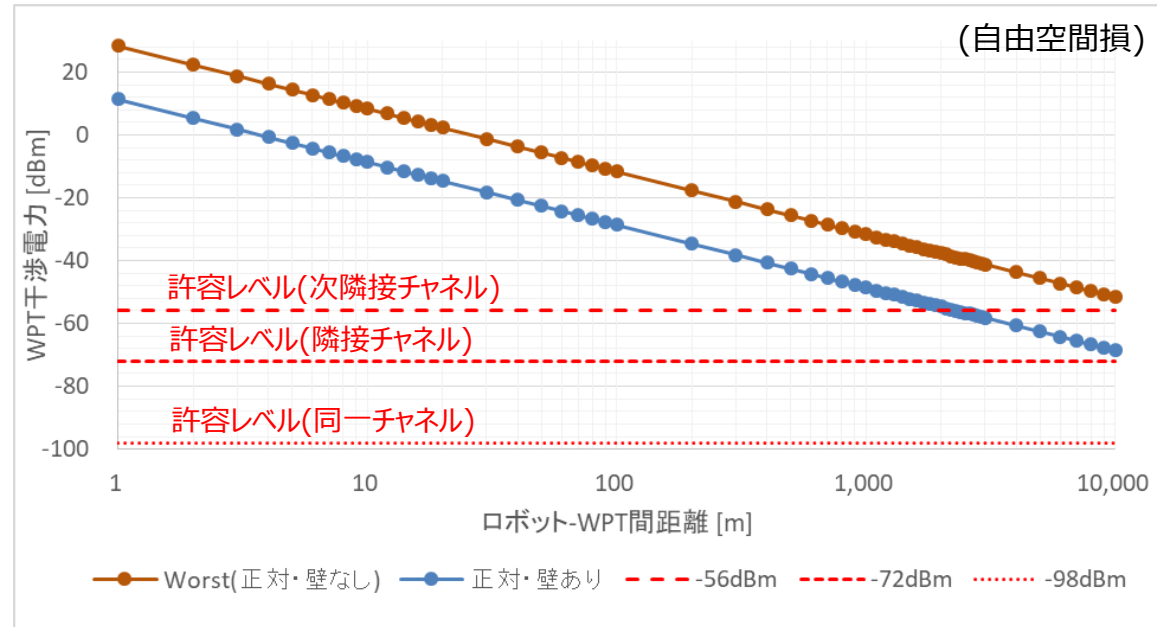
正対・壁損なし(ワースト条件)



正対・壁損あり(17dB)



ロボット-WPT間距離 対 WPT干渉電力特性



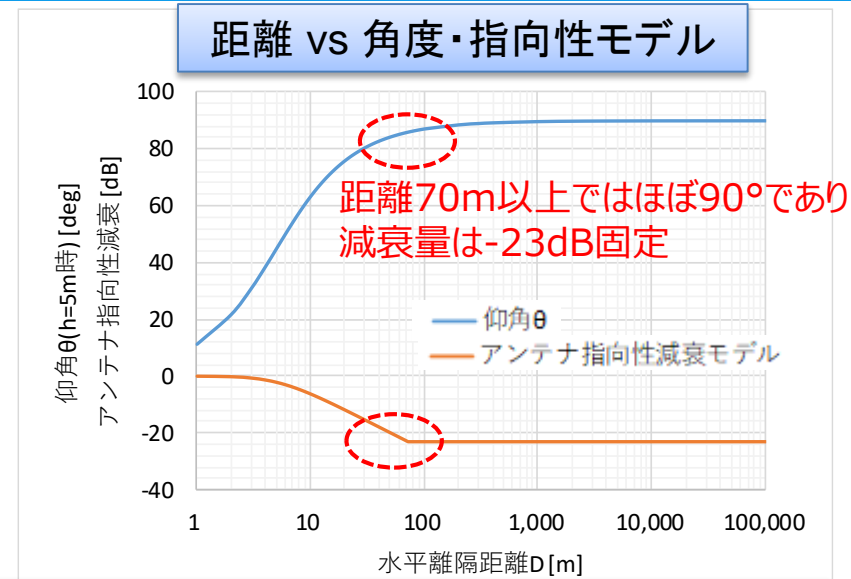
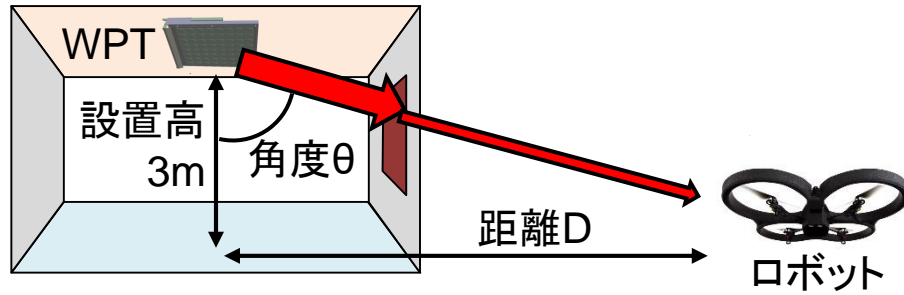
離隔距離計算結果

	ワースト条件	壁損あり
離隔距離[m] (同一チャンネル)	2,080,863	293,930
離隔距離[m] (隣接チャンネル)	104,290	14,731
離隔距離[m] (次隣接チャンネル)	16,529	2,335

ロボット-WPTが正対する環境では十分な離隔距離の確保が困難



## 天井設置によるWPTアンテナ利得低減を考慮した場合の離隔距離を計算



### 所要離隔距離結果[m]

	壁あり	壁あり & 天井設置
同一チャンネル	293,930	20,900
隣接チャンネル	14,731	1,040
次隣接チャンネル	2,335	166

### 天井設置時の水平方向実効利得と壁減衰を考慮した離隔距離

