

## 2.4GHz 空間伝送型ワイヤレス電力伝送検討状況

2019.5.23

ブロードバンドワイヤレスフォーラム (BWF)

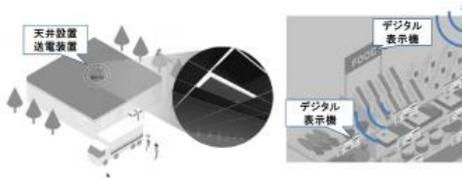
# 電波防護指針の条件変更

- ・ユースケースを限定し、倉庫等、一般の人が立ち入らない管理環境での使用に限定することとする。
- ・人体回避の仕組みは実装するものの、人体防護観点で利用しないものの、サイドローブによる人体暴露のレベルについては実測で確認する

## ユースケース：オフィスにおける各種センサー等への給電

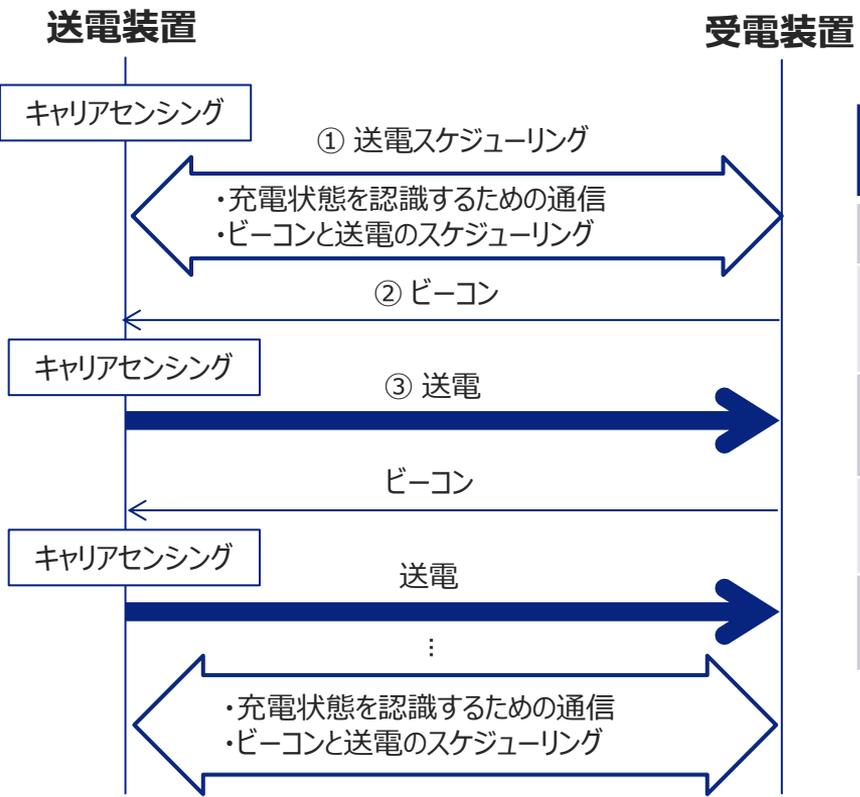
2.4GHz帯

使用環境	屋内オフィス等
供給能力	50mW～2W程度
給電対象	屋内環境センサ・表示器等 (～数10個)
給電距離	～10m程度
電波防護の 電磁界強度指針値	一般環境
電磁界の防護対策	アンテナ設置高さによる人体との離隔距離の確保、受電装置と送電装置間の連携による、ビーム制御による人体等の回避、指針値を超える場合に容易に出入りできない防護柵等を設置
設置者	他無線の管理可能
送電環境の認知	可能
人がいる時の送電	有り
免許形式(案)	免許局



使用環境	倉庫等
供給能力	50mW～2W程度
給電対象	屋内環境センサ・表示器等 (～数10個)
給電距離	～10m程度
電波防護の 電磁界強度指針値	管理環境
電磁界の防護対策	アンテナ設置高さによる人体との離隔距離の確保、指針値を超える場合に容易に出入りできない防護柵等を設置
設置者	他無線の管理可能
送電環境の認知	可能
人がいる時の送電	有り
免許形式(案)	免許局

送電装置と受電装置間では受電装置の状態確認やスケジューリングを行う通信、障害物を回避するための受電装置が発信するビーコンに続いて、CWによる送電を行う



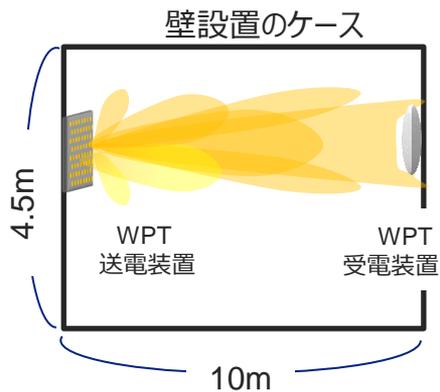
通信・送電のパラメータ

	①送電 スケジューリング	②ビーコン	③送電
周波数	2400 - 2499 MHz		
帯域幅	2MHz	100kHz未満	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	CW 300μS以下	CW

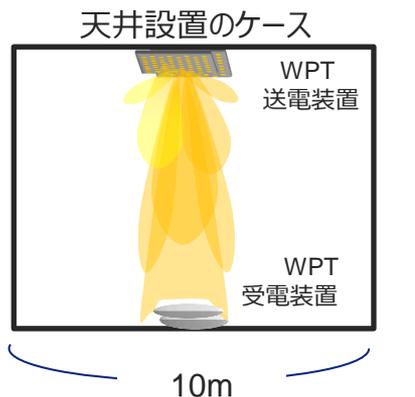
(\*) 256素子の合計

# 機器故障・破壊への対応

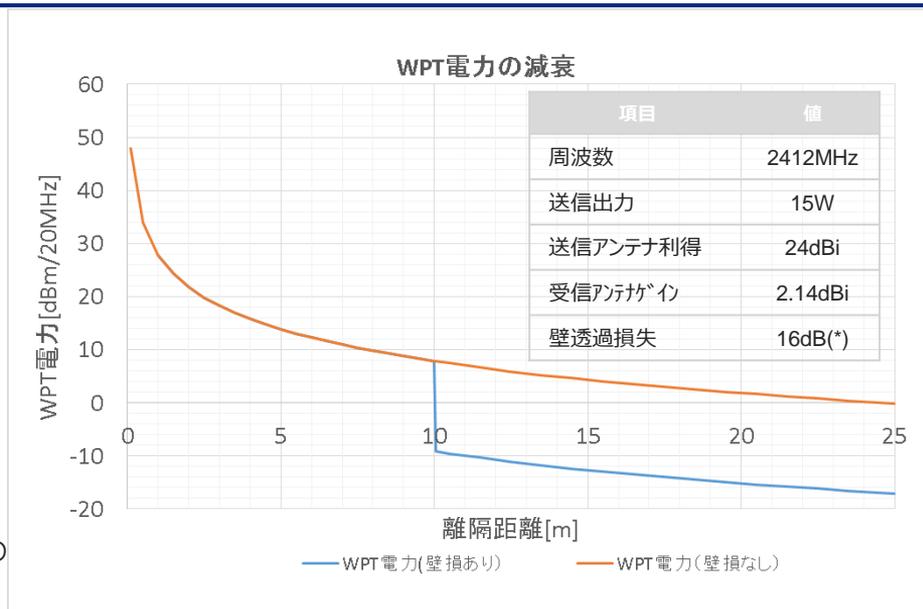
- 機器の最大入力定格を0dBmとすると、正対のケースにおいて、壁透過損失考慮なしで、送電装置から約25mの離隔が必要。
- 0dBmを超えるビームの範囲は限定されるため、「管理環境」を前提とし、受電装置と送電装置間に機器を配置しない周知をすることで回避
- 送電装置、受電装置間の閾値を超える領域を図示するツールを用意し、機器配置時の回避を容易にする



10m(最大送電距離) の部屋において、壁設置の送電装置と受電装置を正対する場合の0dBm以上のエリアのイメージ



天井設置で送電装置と受電装置を正対する場合の0dBm以上のエリアのイメージ



(\*) 陸上無線通信委員会報告「ロボットにおける電波利用の高度化に関する技術的条件」および「災害対応ロボット：機器向け津新システムの技術的条件」での値を利用

# 共用に関する検討状況

共用検討の対象	周波数 (MHz)	状況
無線LAN	2400 - 2497	ARIB無線LAN作業班と3回打ち合わせ実施。引き続き、共用の条件について指摘項目について検討する
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3回打ち合わせ実施。引き続き、共用の条件について指摘項目について検討する
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。提案についてご検討いただく。
アマチュア無線	2400 - 2450	2回打ち合わせ実施。WPTシステムの緒元等を説明。
電波天文	2695	1回打ち合わせ実施。計算条件を提示いただき、メールにて共用計算結果のやり取り、ならびに
電波ビーコン	2499.7	共用条件計算中
移動体衛星通信システム	2500 - 2535	共用条件計算中

2.4GHz帯の周波数共用にあたり、以下検討を進めることで共用の検討をすすめる

### 離隔距離の確保による共用の検討

- ・ 送電装置と正対した場合の所要離隔距離の検討

### 設置条件の設定による共用の検討

- ・ 隣接室内、隣接等における離隔距離確保の検討
- ・ 送電装置の天井設置等の条件設定時の離隔距離確保の検討

### 機能条件の設定による共用の検討

- ・ ビームの制御（受電装置の配置等）による干渉回避・軽減の検討
- ・ 導入を前提としているキャリアセンスによる干渉の回避・軽減の検討

### 運用条件の設定による共用の検討

- ・ 管理可能な環境において、他システムの運用時間は出力を制御する等の運用による共用の検討

## ARIB 無線LAN作業班、小電力無線局作業班への提示内容

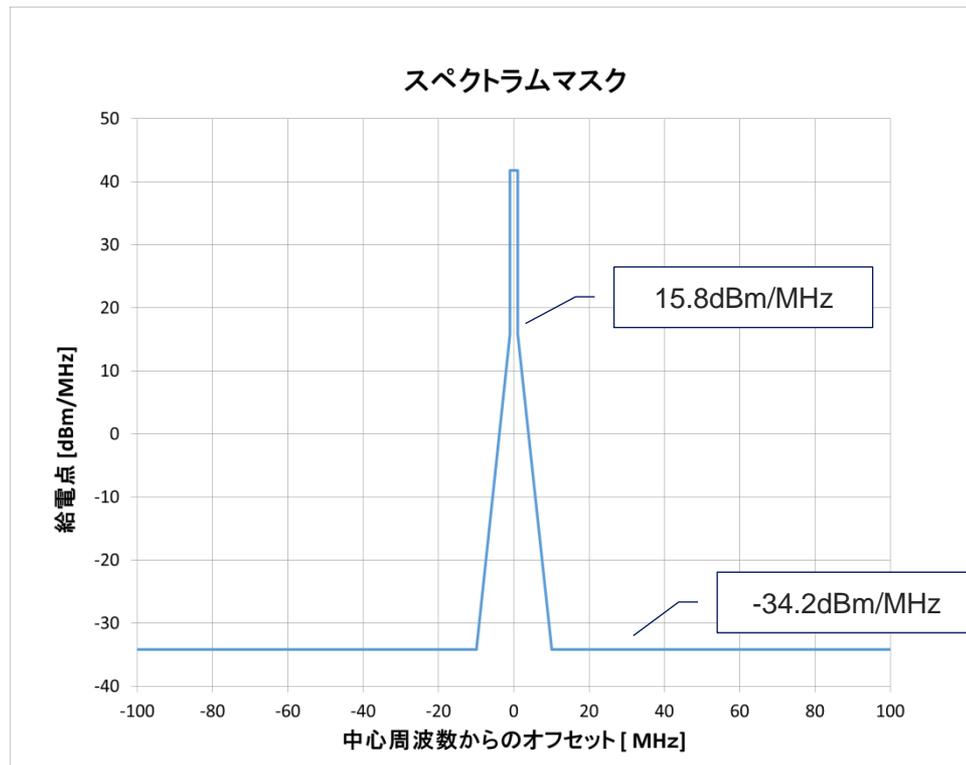
- (1) ユースケースの条件変更
- (2) 2.4GHz帯WPTシステムのパラメータ
- (3) 共用検討の方法
- (4) 干渉計算結果
- (5) 共用のための方針案

## ① 諸元

	送電	ビーコン	送電 スケジューリング
周波数	2400 - 2499 MHz		
帯域幅	100kHz未満	100kHz未満	2MHz
最大電力	15W (41.8 dBm)	10mW (10 dBm)	3.2mW (5 dBm)
最大 アンテナ 利得	24 dBi (帯域外輻射:6dBi)	6dBi	2dBi
方向	送電装置 -> 受電装置	受電装置 -> 送電装置	双方向
備考	CW	CW	IEEE802.15.4 準拠

以下影響が支配的な送電について検討する

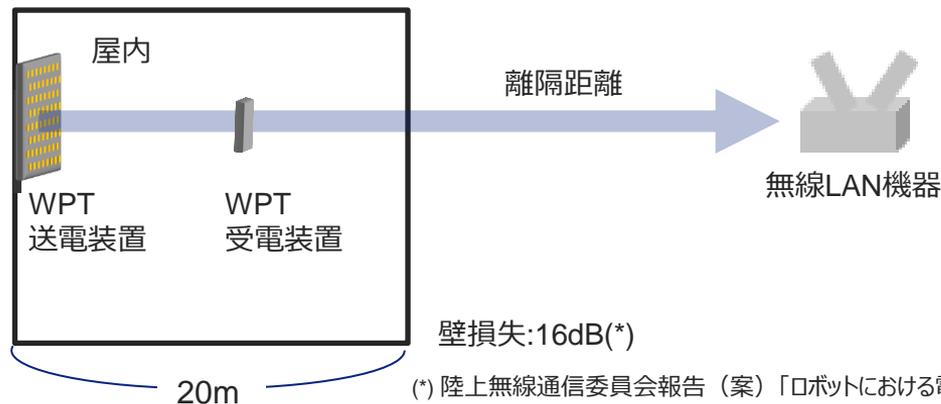
## ② 想定スペクトラムマスク (送電)



#### ① WPT送電装置と無線LAN・構内無線局機器が正対した場合の所要結合損を計算

- ・WPT装置は屋内に設置
- ・所要離隔距離は、自由空間伝搬損から計算

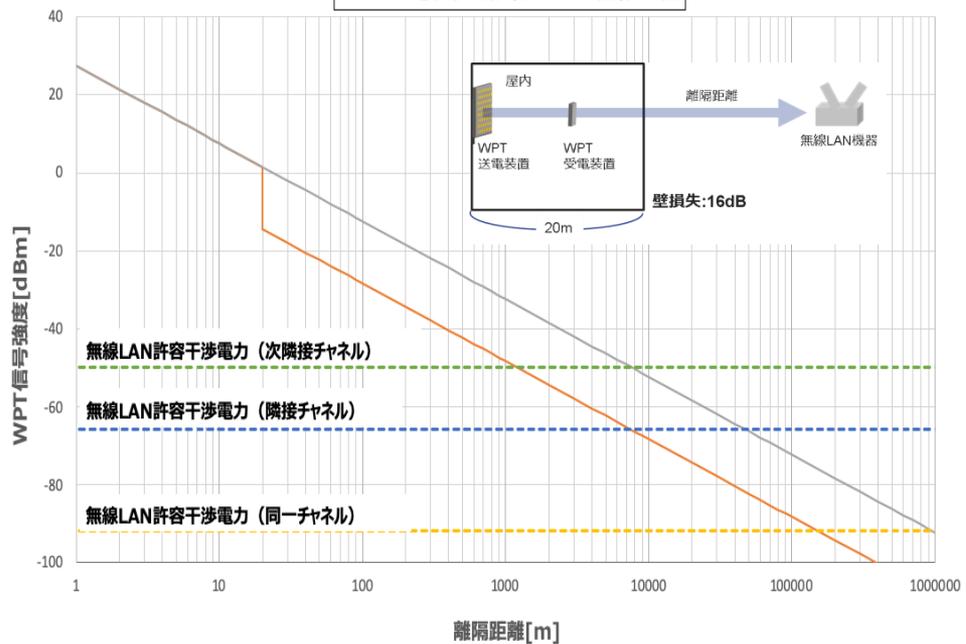
【検討モデル】



#### ② 所要結合損を軽減する設置方法等を検討する

## WPT送電装置のメインローブが直接無線LAN機器に正対してしまう最悪ケースで計算

WPT送電装置と無線LANの離隔距離

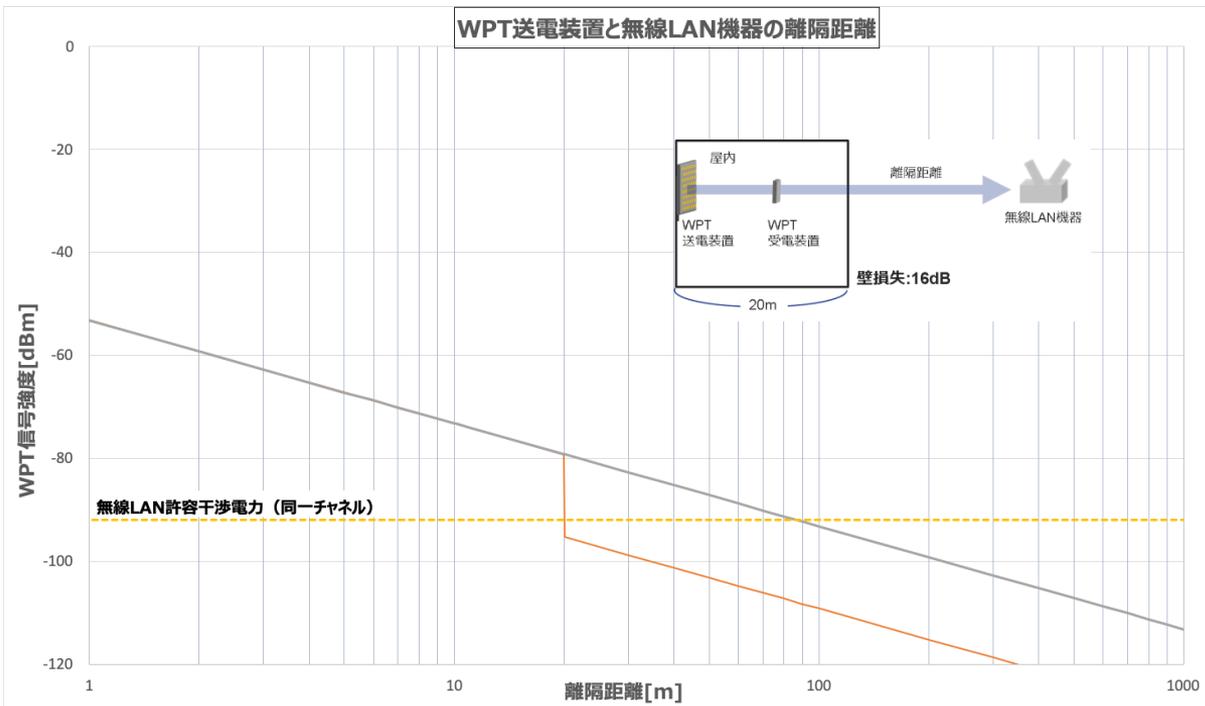


項目	同一チャネル		隣接チャネル		次隣接チャネル	
WPT周波数	2,412 MHz		2,437MHz		2,462MHz	
WPTピーク出力	41.8 dBm					
WPTピークアンテナ利得	24 dBi					
無線LANアンテナ利得	2.14dBi					
壁損失有無	16 dB	0 dB	16 dB	0 dB	16 dB	0 dB
許容干渉電力	-92dBm		-66dBm		-50dBm	
所要結合損失	144 dB	160 dB	118 dB	134 dB	102 dB	118 dB
所要離隔距離	140 km	990 km	7.8 km	49 km	1.2 km	7.7 km

同一チャネル、隣接チャネル（感度抑圧）について壁損(16dB)を考慮しても、大きな離隔距離が必要となり、離隔距離確保以外の対応が必要

# (4) 不要輻射による干渉計算 (無線LAN)

## 無線LAN機器へのWPT送電装置 (隣接チャネル、20MHz離調) からの不要輻射干渉を計算

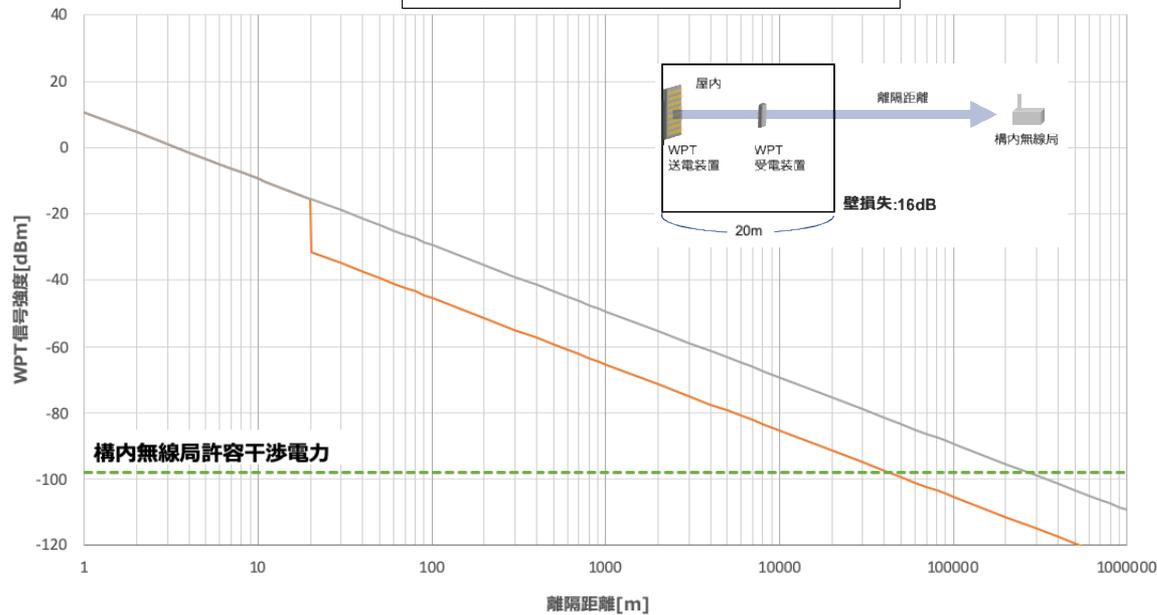


項目	同一チャネル	
無線LAN周波数	2,412MHz	
WPT周波数	2,437 MHz	
不要輻射電力	-15.0dBm/20MHz	
無線LANアンテナ利得	2.14dBi	
壁透過損失有無	16 dB	0 dB
許容干渉電力	-92dBm	
所要結合損失	63dB	79dB
所要離隔距離	14m	89m

WPTが隣接チャネルに存在する場合の無線LAN帯域内の不要輻射成分について影響は少ないと考えられる

## WPT送電装置のメインローブが直接構内無線局機器に正対してしまう最悪ケースで計算

WPT送電装置と構内無線局機器の離隔距離



項目	値
WPT周波数	2,437MHz
WPTピーク出力	26.8 dBm(*)
WPTピークアンテナ利得	24 dBi
構内無線局アンテナ利得	11dBi (許容干渉電力に含む)
壁損失有無	16 dB   0 dB
許容干渉電力	-98dBm
所要結合損失	133 dB   149 dB
所要離隔距離	43 km   270 km

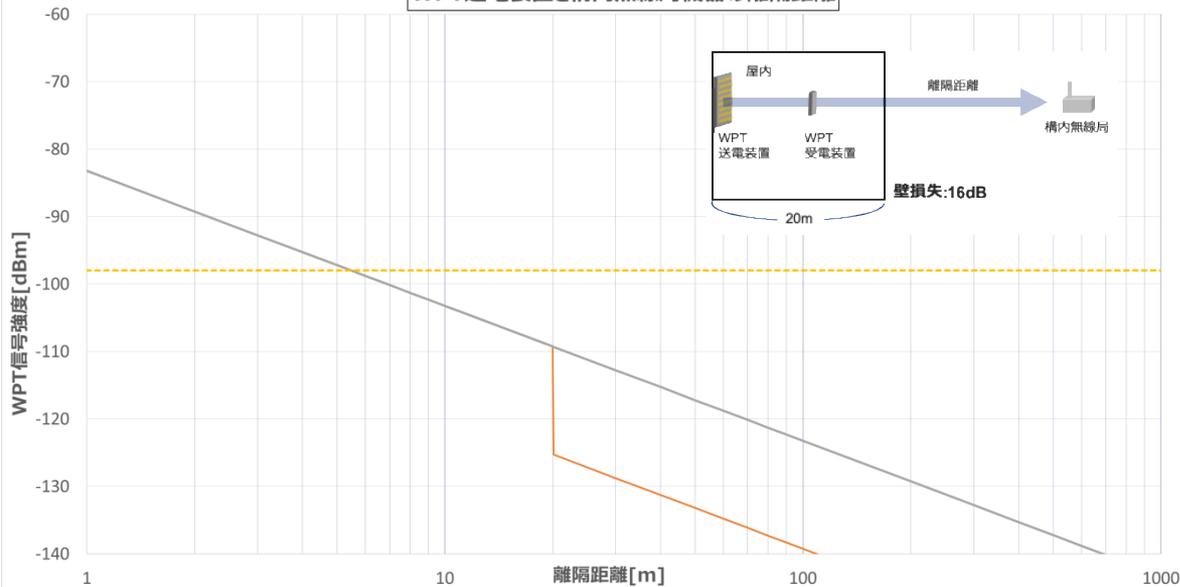
(\*) 32kHzの受信帯域への換算値 (送電の帯域は100kHz想定)

同一チャネル利用の場合について壁損(16dB)を考慮しても、大きな離隔距離が必要となり、離隔距離確保以外の対応が必要

# (4) 不要輻射による干渉計算 (構内無線局)

## 構内無線局機器へのWPT送電装置 (12MHz離調) からの不要輻射干渉を計算

WPT送電装置と構内無線局機器の離隔距離



項目	値	
構内無線局周波数	2,450MHz	
WPT周波数	2,437MHz	
WPT不要輻射電力	-43.1dBm(*)	
構内無線局 アンテナ利得	11dBi (許容干渉電力に含む)	
壁損失有無	16 dB	0 dB
許容干渉電力	-98dBm	
所要結合損失	38.9 dB	54.9 dB
所要離隔距離	0.9m	5m

(\*) 32kHzの受信帯域への換算値

WPTが隣接周波数に存在する場合の構内無線局の不要輻射成分について影響は少ないと考えられる

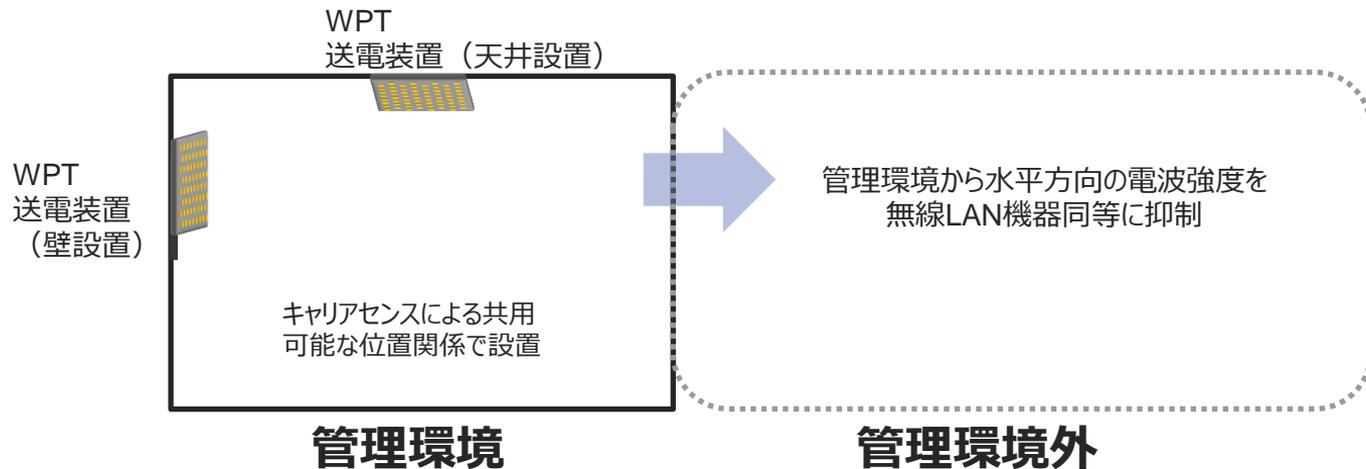
**管理環境**（電波防護指針における管理環境であるとともに、設置機器等を同一管理者の元に管理できる前提）

キャリアセンスによる共用を可能とする

- 最大定格入力範囲外になるように無線LAN機器とWPTシステムを配置
- キャリアセンスによる周波数の共用可能な場所に無線LAN機器とWPTシステムを配置

## 管理環境外

管理環境内から水平方向の電波強度が管理環境外に置く無線LAN機器と同等に抑制する



# (5) 管理環境における共用 (無線LAN)

## (1) キャリアセンス

同一、隣接、次隣接チャンネルにおいてCCAを実施

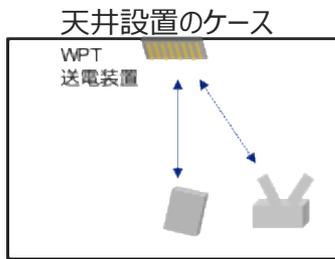
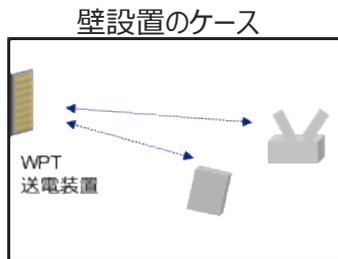
- ▶ 実質的に最低 3 チャンネルがCCAにより空きと判断できない限りWPTは給電しない

## (2) WPT送電装置と無線LAN機器の設置位置関係

WPT送電装置で以下であれば、キャリアセンスによる制御可能

無線LAN機器からの信号強度 > WPTのCCA閾値

- ▶ WPTと無線LAN機器の距離は71m以内で運用



キャリアセンスのパラメータ案

カテゴリ	項目	設定値
センシング時間	CCA時間	18 $\mu$ s ~ 3,000 $\mu$ s
	センシング条件	
センシング条件	CCA閾値 (同一チャンネル)	-72dBm
	CCA閾値 (隣接チャンネル)	-62dBm
	CCA閾値 (次隣接チャンネル)	-62dBm
送電時間	最長給電バースト時間 (最長チャンネル占有時間)	20ms

WPT送電装置と無線LAN機器の離隔距離計算

項目	同一チャンネル
無線LAN周波数	2,412MHz
無線LAN出力	23dBm
無線LANアンテナ利得	2.14dBi
CCA閾値	-62dBm
WPT受信利得(最小)	-10dB
結合損失(*)	77.14dB
離隔距離	71m

(\*) WPTのCCA閾値を越える最大伝播損失

## WPT送電装置においてキャリアセンスを可能とする位置関係を算出

- WPT送電装置のキャリアセンスのパラメータ案は無線LANと同一
- 無線局のアンテナ利得については利得の少ない応答機で計算

WPT送電装置と構内無線局の離隔距離計算

項目	値
構内無線局周波数	2,450MHz
構内無線局出力	24.8dBm
構内無線局アンテナ利得	2dBi
CCA閾値	-62dBm
WPT受信利得(最小)	-10dB
結合損失(*)	78.8dB
離隔距離	84.9m

WPT送電装置と構内無線局の離隔距離計算

項目	値
特定小電力無線局周波数	2,450MHz
特定小電力無線局出力	10dBm
特定小電力無線局アンテナ利得	2dBi
CCA閾値	-62dBm
WPT受信利得(最小)	-10dB
結合損失(*)	64dB
離隔距離	15m

(\*) WPTのCCA閾値を越える最大伝播損失

WPT送電装置との距離

構内無線局

: 85m以内

特定小電力無線局

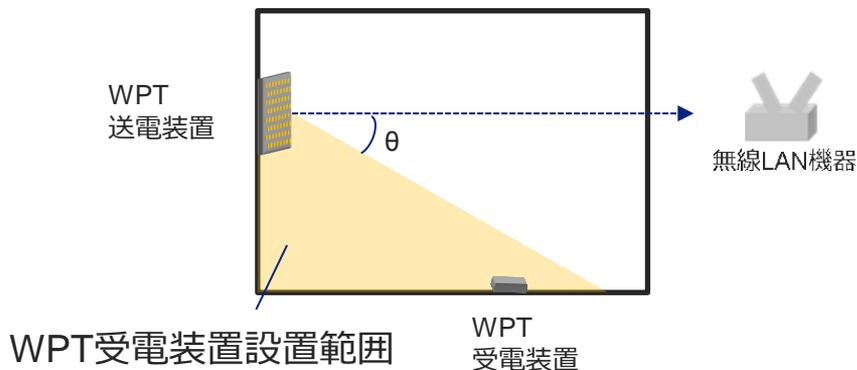
: 15m以内

## 管理環境外への水平方向の電波強度を管理環境外の無線LAN AP同等レベルに抑制する

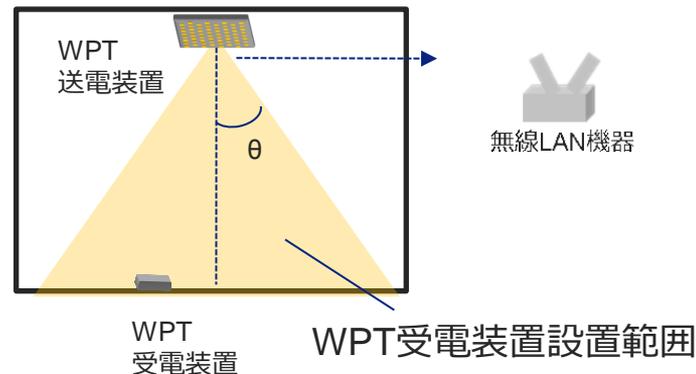
### ビームの制御による水平方向への照射電力の緩和

送電装置は受電装置に向けビームを形成するため、受電装置の設置位置を制限することで、屋外方向への放射をサイドローブのみとすることが可能

#### 送電装置壁面設置の場合



#### 送電装置天井設置の場合



- **管理環境の定義の明確化**
- **キャリアセンスパラメータの妥当性のシミュレーション結果の提示**
- **共用の方針計算における、床反射の考慮**
- **ユースケースに沿った壁、床等の透過損失設定**

## JUTMへの提示内容

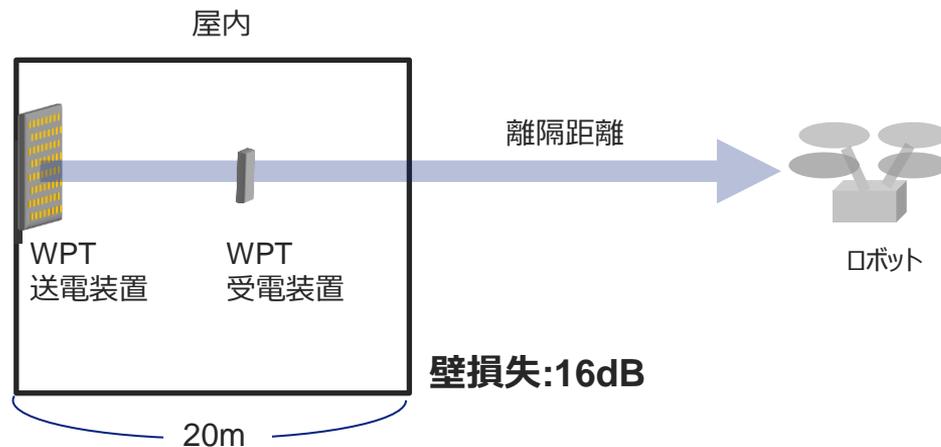
- (1) 2.4GHz帯WPTシステムのパラメータ
- (2) 共用検討の方法
- (3) 干渉計算結果
- (4) 共用のための対応案

### 共存検討の方法

#### ① WPT送信装置とロボット機器が正対した最悪ケースの場合の所要結合損、離隔距離を求める

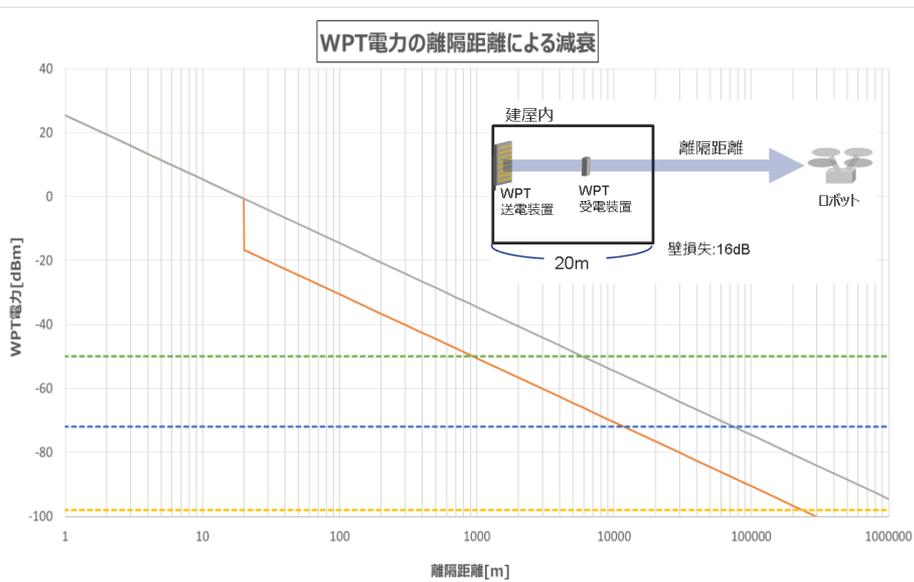
- ・WPT装置は屋内に設置
- ・離隔距離は、自由空間伝搬損から計算

【検討モデル】



#### ② 所要結合損を軽減する設置方法等を検討する

## WPTのメインローブが直接ロボットに正対してしまう最悪ケースで計算

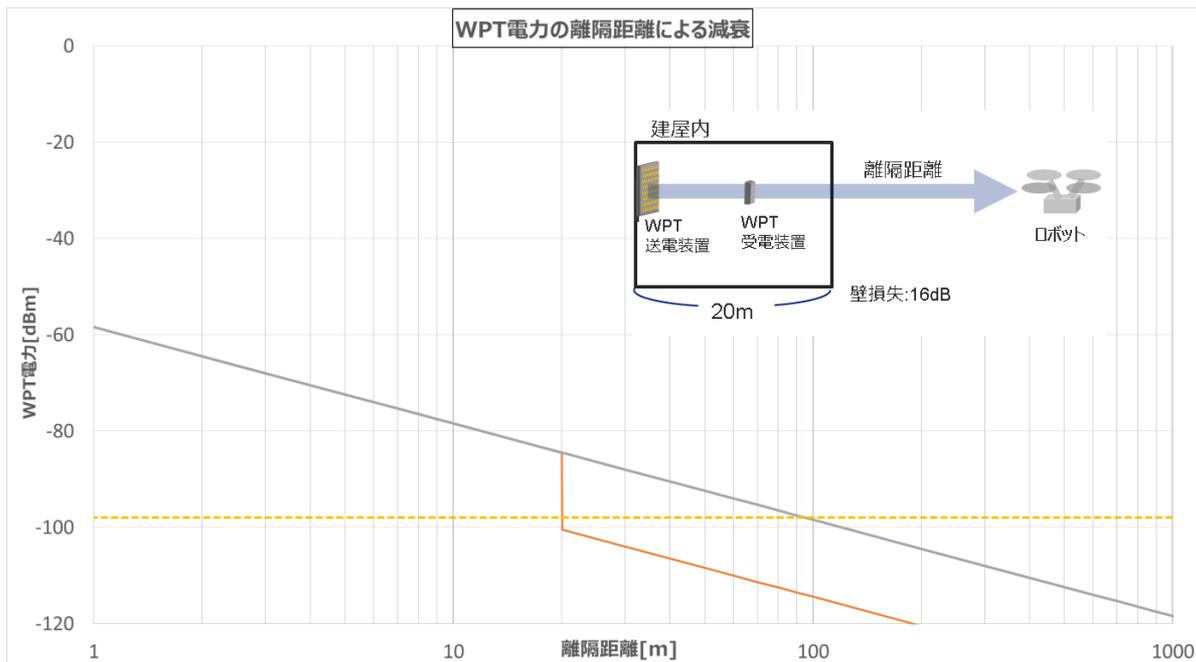


項目	同一チャネル		隣接チャネル		次隣接チャネル	
WPT周波数	2,484 MHz		2,472MHz		2,452MHz	
WPTピーク出力	41.8 dBm					
WPTピークアンテナ利得	24 dBi					
壁損失有無	16 dB	0 dB	16 dB	0 dB	16 dB	0 dB
許容干渉電力	-98dBm		-72dBm		-56dBm	
所要結合損失	147.8 dB	163.8 dB	121.8 dB	137.8 dB	86.8 dB	102.8 dB
所要離隔距離	236 km	1,489 km	11.8 km	75.0 km	0.2k m	1.3 km

同一チャネル、隣接チャネル（20MHz離調）において壁損(16dB)を考慮しても、200km超の離隔距離が必要となり、離隔距離確保以外の対応が必要

# (3) 不要輻射による干渉計算

## WPTとロボットの周波数に27MHzの離調がある場合で計算



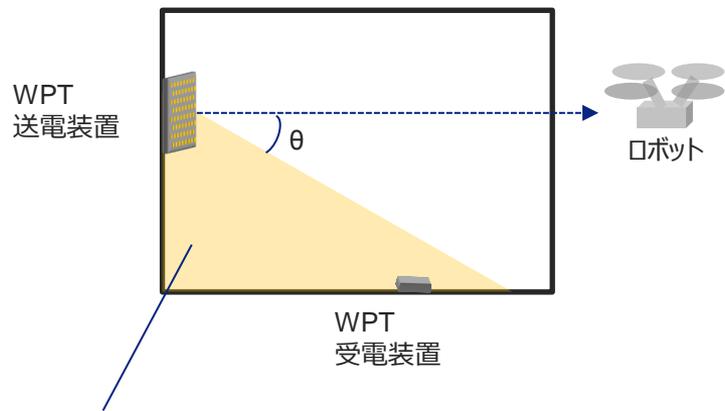
項目	同一チャネル	
ロボット周波数	2489MHz	
WPT周波数	2462 MHz	
不要輻射電力	-18.2dBm/10MHz	
壁損失有無	16 dB	0 dB
許容干渉電力	-98dBm	
所要結合損失	63.8dB	79.8dB
所要離隔距離	15m	95m

WPTが隣接チャンネルに存在する場合のロボット帯域内の不要輻射成分について影響は少ないと考えられる

## (4) ビームの制御による干渉軽減

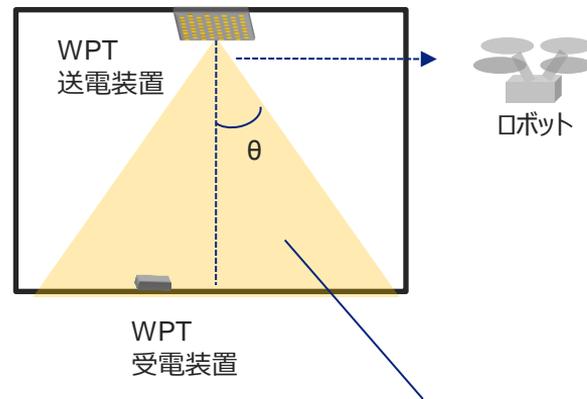
- 屋外のロボットへの影響を軽減するため、特定環境以外ではメインローブの放射を避ける
- 送電装置は受電装置に向けビームを形成するため、受電装置の設置位置を制限することで、屋外方向への放射をサイドローブのみとすることが可能

### 送電装置壁面設置の場合



WPT受電装置設置範囲

### 送電装置天井設置の場合



WPT受電装置設置範囲