



電波利用環境委員会 ワイヤレス電力伝送作業班(第5回) 資料

ワイヤレス電力伝送(WPT)システムと 他システムとの 周波数共用検討について

2014.3.27

ブロードバンドワイヤレスフォーラム
(BWF)

1. 対象とする利用シーン・仕様

1 対象とするシステムの範囲

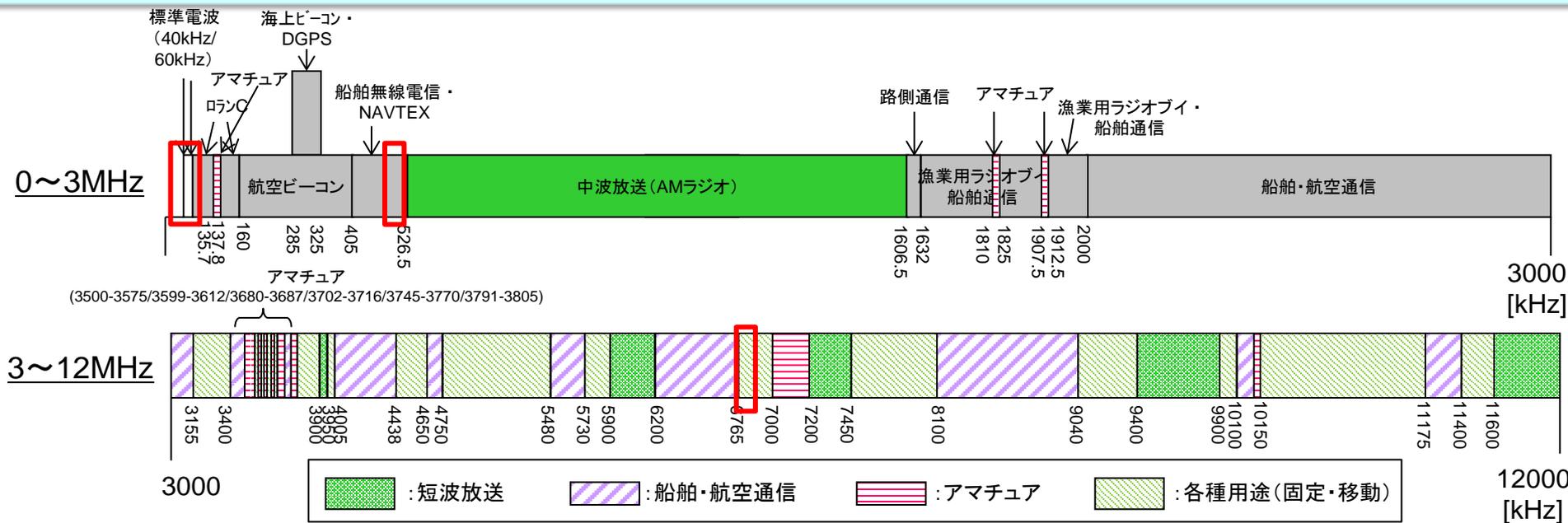
- (1) 電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム
- (2) 家電機器(モバイル機器、家庭・オフィス機器)用ワイヤレス電力伝送システム

2 各システムの諸元

対象WPT	電気自動車用WPT	家電機器用WPT① (モバイル機器)	家電機器用WPT② (家庭・オフィス機器)	家電機器用WPT③ (モバイル機器)
電力伝送方式	磁界結合方式(電磁誘導方式、磁界共鳴方式)			電界結合方式
伝送電力	~3kW程度 (最大7.7kW)	数W~100W程度	数W~1.5kW	~100W程度
使用周波数	42kHz~48kHz、 52kHz~58kHz、 79kHz~90kHz、 140.91kHz~148.5kHz	6765kHz~6795kHz	20.05kHz~38kHz、 42kHz~58kHz、 62kHz~100kHz	480-524kHz
送受電距離	0~30cm程度	0~30cm程度	0~10cm程度	0~1cm程度

※国内外の標準化動向等により、各システムの諸元を変更する場合がある。

1. 共用検討対象の周波数帯及びその使用状況



周波数共用検討の必要なシステム

WPTの利用形態・周波数 (与干渉側)		周波数共用検討の必要なシステム (被干渉側)
家電機器用WPT② (家庭・オフィス機器)	20.05-38kHz	電波時計 (40kHz, 60kHz)、列車無線等 (10-250kHz)
	42-58kHz	
	62-100kHz	
電気自動車用WPT	42-48kHz	列車無線等 (10-250kHz)、アマチュア無線 (135.7-134.2kHz)
	52-58kHz	
	79-90kHz	
家電機器用WPT③ (モバイル機器)	480-524kHz	AMラジオ (525-1606.5kHz)、船舶無線等 (405-526.5kHz)、アマチュア無線 (472-479kHz)
家電機器用WPT① (モバイル機器)	6,765-6,795kHz	固定・移動通信 (6,765-6,795kHz)

1. 周波数共用検討に関する基本的な考え方

- ◆ 他システム事業者とBWFとの間に、周波数共用検討に関する情報交換会を設置し、検討する。
- ◆ 検討の組み合わせは、同一帯域又は隣接帯域のシステムどうしを基本とする。ただし、必要に応じてWPTの高調波による帯域内干渉も検討する。
- ◆ WPTシステムからの与干渉電磁界の値は、BWFから提示した漏えい電界強度の目標値を用いる。
- ◆ 被干渉システムの許容干渉レベルを設定し、所要離隔距離を導出する。(定義が可能な場合のみ)
- ◆ 各WPT利用シーン等を考慮し、干渉緩和の方策を検討し、所要離隔距離の改善(短縮)を図る。
- ◆ 必要に応じて、WPTの実機データも参考にする。

2. 電波時計 検討状況

検討体制

総務省 総合通信基盤局
電波部 電波環境課

一般社団法人
日本時計協会

ブロードバンドワイヤレスフォーラム
ワイヤレス電力伝送ワーキンググループ

【検討状況】

- 8回の情報交換会を実施した。
- 検討対象は、電気自動車用WPT及び家電機器用WPT②(家庭・オフィス機器)(以下、本章では家電機器用WPTとする。)とした。
- 周波数共存検討のための条件を規定した。

【電気自動車用WPT】

- 机上検討によって、WPTの漏えい電磁界(目標値)における所要離隔距離を算出した。
- 引き続き、実際の利用シーン等を想定して干渉緩和の方策案を検討し、所要離隔距離の改善を図っている。

【家電機器用WPT②】

- 机上検討によって、WPTの漏えい電磁界(目標値)における所要離隔距離を算出した。
- 共存のための条件の議論を開始した。

2. 電波時計 電気自動車（EV）用WPT 机上検討途中経過

【机上検討の条件】

- 電波時計の最小受信感度は50dB μ V/mとした。
- 電波時計の許容干渉レベルは、日本時計協会様から提示された値を用いた。
- 電気自動車用WPTの基本波は、電力伝送波が無変調連続波であり、WPTの基本波及び整数高調波は、電波時計の受信周波数と一致していないことから、電波時計受信周波数内への干渉はないと判断した。よって、共存検討は電波時計の受信周波数外のWPT基本波による影響に焦点をあてて検討を行った。
- 許容可能な離隔距離は、国際的な考え方等を考慮し、10mとする。

【机上検討の結果】

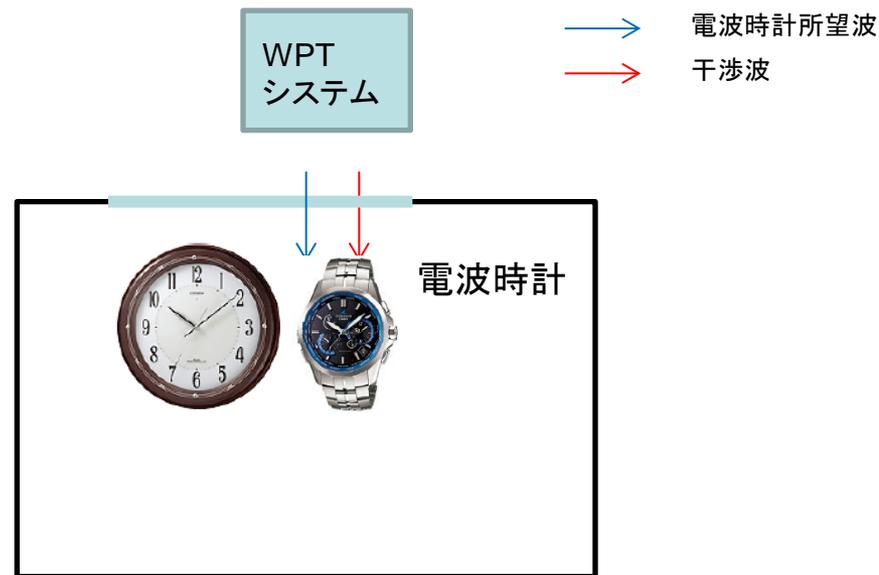
現時点で考慮可能な干渉緩和の方策を考慮した所要離隔距離を計算した。

電気自動車用WPTの所要離隔距離は、以下の通りとなった。

- 45kHz帯で41.9mとなった。
- 55kHz帯で49.6mとなった。
- 85kHz帯で30.0mとなった。
- 145kHz帯で20.0mとなった。

2. 電波時計 電気自動車（EV）用WPT 干渉検討モデル

- WPTシステムは屋外に設置され、電波時計は屋内に置いたモデルを想定した。（電気自動車用は屋外のみ）
- 電波時計は、クロックとウォッチの2種類を想定した。



- 電波時計の許容干渉量はC/I基準とすることとなった。
- IはWPTから電波時計に届く干渉レベルであり、Cは電波時計送信局から電波時計に届く信号電力レベルである。

2. 電波時計 電気自動車（EV）用WPT 机上検討（干渉緩和の方策無し：3kW）

干渉緩和の方策を考慮しない場合、所要離隔距離は以下のとおりであった。

【クロック】

電波時計 利用周波数	バンド	EV/PHEV WPT		周波数外干渉許 容レベル (dBuV/m)	共存可能な離隔距 離 (m)
		利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)		
40kHz	42-48kHz	42	91.3	88.8	33.0
	52-58kHz	52	91.3	101.9	20.0
	79-90kHz	79	91.3	110.7	14.2
	140.91-148.5kHz	140.9	91.3	117.0	11.2
60kHz	42-48kHz	48	91.3	107.7	16.0
	52-58kHz	58	91.3	91.6	29.7
	79-90kHz	79	91.3	109.2	15.1
	140.91-148.5kHz	140.9	91.3	119.0	10.4

【ウォッチ】

電波時計 利用周波数	バンド	EV/PHEV WPT		周波数外干渉許 容レベル (dBuV/m)	共存可能な離隔距 離 (m)
		利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)		
40kHz	42-48kHz	42	91.3	86.7	35.8
	52-58kHz	52	91.3	98.4	22.8
	79-90kHz	79	91.3	107.1	16.4
	140.91-148.5kHz	140.9	91.3	109.0	15.2
60kHz	42-48kHz	48	91.3	93.9	27.2
	52-58kHz	58	91.3	82.3	42.4
	79-90kHz	79	91.3	95.4	25.6
	140.91-148.5kHz	140.9	91.3	106.0	17.1

2. 電波時計 電気自動車（EV）用WPT 机上検討（干渉緩和の方策無し：7.7kW）

干渉緩和の方策を考慮しない場合、所要離隔距離は以下のとおりであった。

【クロック】

電波時計 利用周波数	バンド	EV/PHEV WPT		周波数外干渉許 容レベル (dBuV/m)	共存可能な離隔距 離 (m)
		利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)		
40kHz	42-48kHz	42	95.4	88.8	38.6
	52-58kHz	52	95.4	101.9	23.4
	79-90kHz	79	95.4	110.7	16.7
	140.91-148.5kHz	140.9	95.4	117.0	13.1
60kHz	42-48kHz	48	95.4	107.7	18.7
	52-58kHz	58	95.4	91.6	34.7
	79-90kHz	79	95.4	109.2	17.7
	140.91-148.5kHz	140.9	95.4	119.0	12.1

【ウォッチ】

電波時計 利用周波数	バンド	EV/PHEV WPT		周波数外干渉許 容レベル (dBuV/m)	共存可能な離隔距 離 (m)
		利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)		
40kHz	42-48kHz	42	95.4	86.7	41.9
	52-58kHz	52	95.4	98.4	26.7
	79-90kHz	79	95.4	107.1	19.1
	140.91-148.5kHz	140.9	95.4	109.0	17.8
60kHz	42-48kHz	48	95.4	93.9	31.8
	52-58kHz	58	95.4	82.3	49.6
	79-90kHz	79	95.4	95.4	30.0
	140.91-148.5kHz	140.9	95.4	106.0	20.0

2. 電波時計 電気自動車（EV）用WPT 共用検討のまとめ

- 共用検討で合意された干渉緩和の方策は以下のとおりである。
 - EV用WPTの設計マージンを考慮する。
 - 共用検討をする干渉モデルは、一般家庭にあるWPT(3kW)を基本とする。
- 今後は、以下に示す干渉緩和の方策の効果を検討する。
 - 標準電波の受信電界強度の実態を調査検討し、必要とされる最小受信感度を考察する。
 - 双方の指向性によって得られる、偏波抑圧の効果を考慮する。
 - 電波時計のアンテナQ値等の改善効果を考慮する。
 - その他の干渉緩和の効果が期待できることを検討する。

2. 電波時計 家電機器用WPT② 検討状況

【机上検討の条件】

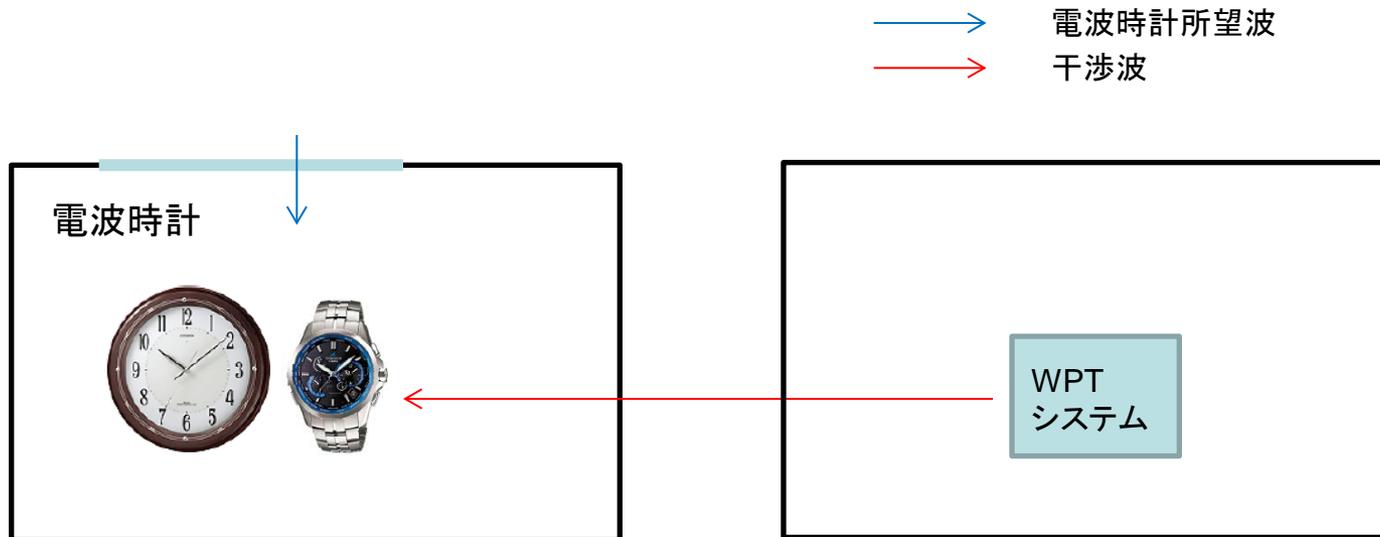
- 電波時計の最小受信感度は50dB μ V/mとした。
- 電波時計の許容干渉レベルは、日本時計協会様から提示された値を用いた。
- 家電機器用WPTについては、基本波の検討に加え、整数高調波が電波時計の受信周波数と同じになる場合も検討する。
- 許容可能な離隔距離は、国際的な考え方等を考慮し、10mとする。

【机上検討の結果】

- 家電機器用WPTの所要離隔距離(電波時計周波数外)は、62kHzで最大となり、12.9mとなる。
- 家電機器用WPTの所要離隔距離(電波時計周波数内)は、60kHzで最大となり、24.6mとなる。

2. 電波時計 家電機器用WPT② 干渉検討モデル

- WPTシステムは隣接家屋の屋内に設置され、電波時計は屋内に静置されているモデルを想定した。(家電機器は屋内のみ)
- 電波時計は、クロックとウォッチの2種類を想定した。



- 電波時計の許容干渉量はC/I基準とすることとなった。
- IはWPTから電波時計に届く干渉レベルであり、Cは電波時計送信局から電波時計に届く信号電力レベルである。

2. 電波時計 家電機器用WPT② 机上検討（干渉緩和の方策無し）

電波時計周波数外の干渉

- 干渉緩和の方策を考慮しない場合の所要離隔距離は以下のとおりであった。

【クロック】

電波時計 利用周波数	家電・オフィス機器 WPT			干渉緩和要素案		周波数外干渉許 容 レベル (dBuV/m)	共存可能な離隔 距離 (m)
	バンド	利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)	WPT側緩和要素 (dB)	電波時計側緩和 要素 (dB)		
40kHz	20.05-38kHz	38	60.0	0.0	0.0	89.5	9.7
	42-58kHz	42	60.0	0.0	0.0	88.8	9.9
	62-100kHz	62	60.0	0.0	0.0	106.5	5.0
60kHz	20.05-38kHz	38	60.0	0.0	0.0	114.1	3.8
	42-58kHz	58	60.0	0.0	0.0	91.6	8.9
	62-100kHz	62	60.0	0.0	0.0	91.0	9.1

【ウォッチ】

電波時計 利用周波数	家電・オフィス機器 WPT			干渉緩和要素案		周波数外干渉許 容 レベル (dBuV/m)	共存可能な離隔 距離 (m)
	バンド	利用周波数 (kHz)	最大放射レベル @30m (dBuV/m)	WPT側緩和要素 (dB)	電波時計側緩和 要素 (dB)		
40kHz	20.05-38kHz	38	60.0	0.0	0.0	87.4	10.5
	42-58kHz	42	60.0	0.0	0.0	86.7	10.8
	62-100kHz	62	60.0	0.0	0.0	103.0	5.8
60kHz	20.05-38kHz	38	60.0	0.0	0.0	100.2	6.4
	42-58kHz	58	60.0	0.0	0.0	82.3	12.7
	62-100kHz	62	60.0	0.0	0.0	81.9	12.9

※ 黄色のセルは、WPTの帯域で最も距離が長い部分を示す。 13

2. 電波時計 家電機器用WPT② 机上検討（干渉緩和の方策無し）

電波時計周波数内の干渉

- 干渉緩和の方策を考慮しない場合の所要離隔距離は以下のとおりであった。

【クロック】

電波時計 利用周波数	家電・オフィス機器 WPT			干渉緩和要素案		周波数内 干渉許容 レベル (dBuV/m)	共存可能 な離隔距 (m)
	バンド (第2高調波)	利用周波 数 (kHz)	最大放射レ ベル@30m (dBuV/m)	WPT側緩和 要素 (dB)	電波時計 側緩和要 (dB)		
40kHz	20.05kHz x 2	40.1	44.8	0.0	0.0	50.0	24.6
	21kHz x 2	42	44.8	0.0	0.0	88.8	5.5
60kHz	29kHz x 2	58	44.8	0.0	0.0	91.6	5.0
	30kHz x 2	60	44.8	0.0	0.0	50.0	24.6
	31kHz x 2	62	44.8	0.0	0.0	91.0	5.1

【ウォッチ】

電波時計 利用周波数	家電・オフィス機器 WPT			干渉緩和要素案		周波数内 干渉許容 レベル (dBuV/m)	共存可能 な離隔距 (m)
	バンド (第2高調波)	利用周波 数 (kHz)	最大放射レ ベル@30m (dBuV/m)	WPT側緩和 要素 (dB)	電波時計 側緩和要 (dB)		
40kHz	20.05kHz x 2	40.1	44.8	0.0	0.0	50.0	24.6
	21kHz x 2	42	44.8	0.0	0.0	86.7	6.0
60kHz	29kHz x 2	58	44.8	0.0	0.0	82.3	7.1
	30kHz x 2	60	44.8	0.0	0.0	50.0	24.6
	31kHz x 2	62	44.8	0.0	0.0	81.9	7.2

※ 黄色のセルは、WPTの帯域で最も距離が長い部分を示す。

- 干渉緩和の方策
 - これまでの議論で合意できた干渉緩和の方策(案)を列挙すると以下のとおりである。
 - ・ 深夜時間帯の利用は、ほとんど無いことを考慮する。
 - 主な用途が給電であること。
 - 蓄電用途の場合でも蓄電池搭載量が小さいため充電時間が短いこと。

2. 電波時計 家電機器用WPT②

参考：対象家電の蓄電池容量

- ノートパソコン
 - A社 約100Wh
- コードレス掃除機
 - B社 約98.3Wh
 - 自動掃除機C社 約50Wh
 - 自動掃除機D社 約50Wh
 - スティック式E社 約20～30Wh
 - 携帯式 約30Wh

2. 電波時計 家電機器用WPT② 共用検討のまとめ

【考察】

- ・ 所要離隔距離は最大で24.6mとなるため、WPT機器を使用する場合は、干渉による受信不良となる場合があることを利用者に周知することも必要になることが想定される。
- ・ 家電機器用WPT②からの深夜時間帯での利用はほとんど無く、かつ充電であっても搭載蓄電池容量が少ないため、短時間であり、ほとんどの場合、電波時計との干渉は避けられると考えられる。

【まとめ】

- ・ 所要離隔距離は、電波時計周波数以外の干渉で最大で12.9m、電波時計周波数以内の干渉で最大24.6mとなった。
- ・ 家電機器用WPT②からの干渉の可能性を周知する等すれば、家電機器用WPT②の利用時間帯が、電波時計の自動同期が動作する機種が多い時間帯を外れており、共存の可能性はあるが、引き続き高次高調波の影響等について検討を行う。

3. 列車無線等 検討状況

検討体制

総務省 総合通信基盤局
電波部 移動通信課

総務省 総合通信基盤局
電波部 電波環境課

一般社団法人日本鉄道電気技術協会
公益財団法人鉄道総合技術研究所

ブロードバンドワイヤレスフォーラム
ワイヤレス電力伝送ワーキンググループ

【検討状況】

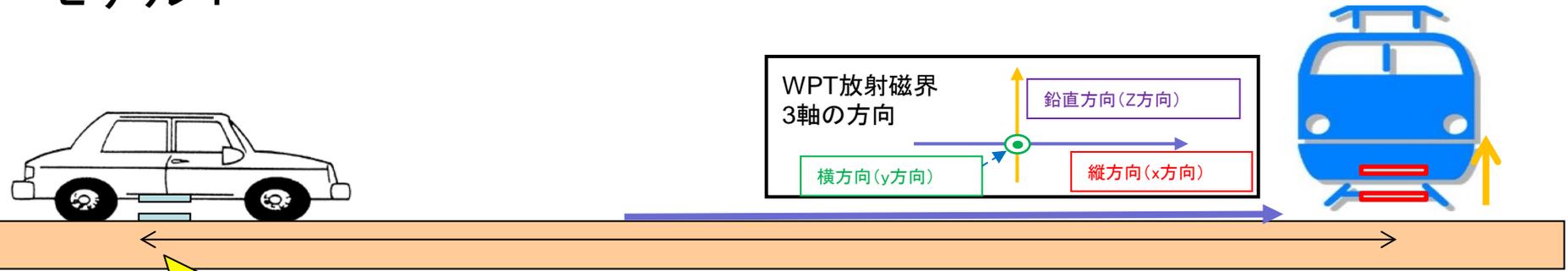
- 2回の情報交換会を実施した。(鉄道総合技術研究所との事前検討は多数回実施)
- 検討対象WPTは、電気自動車用WPTと家電機器用WPT②(家庭・オフィス機器)とした。ただし、必要に応じ、家電機器用WPT③(モバイル機器)についても検討を行う。
- 検討対象となる列車無線等は、ATS及び誘導無線とし、その他の設備については検討の必要性を精査中である。
- ATS
 - 電気自動車用WPTの干渉検討モデルを設定し、最大漏えい磁界強度をシミュレーションで算出する等し、所要離隔距離を算出した。
 - 家電機器用WPT②の最大漏えい磁界強度をもとに、所要離隔距離を算出した。
- 誘導無線
 - 電気自動車用WPTの最大漏えい電力を計算し、所要離隔距離を算出した。
 - 家電機器用WPT②の基礎検討を行い、所要離隔距離の算出に着手した。

3-1. ATS 電気自動車用WPT 検討の進め方

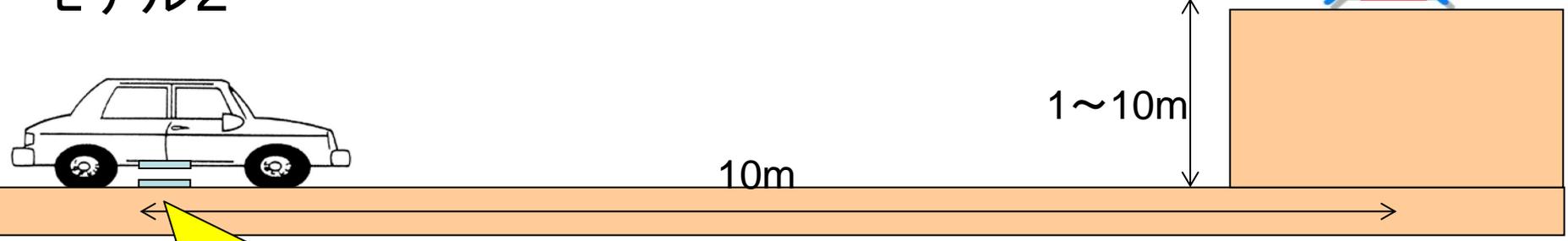
- ・ ATSについては、JIS E 3005(変周式自動列車停止装置の試験方法)を参考に、模擬雑音源である1m×1mの1ターンループコイルに電流を流し、車上ATSに近づけたときに、車上ATSが検知又は誤動作する場合の1ターンループコイルの電流レベルを判定の基準値として用いた。
- ・ 1ターンループコイルに、どの程度の電流を流すと、WPT機器からの漏えい磁界と同じレベルの磁界が生じるかについて、離隔距離をパラメータとして計算した。
- ・ 電気自動車用WPTからの漏えい磁界による影響を、受けなくなるために必要な離隔距離を算出した。所要離隔距離の算出に当たっては、電気自動車用WPTからの漏えい磁界が最も大きくなるケースを選定した。

3-1. ATS 電気自動車用WPT 干渉検討モデル

モデル1

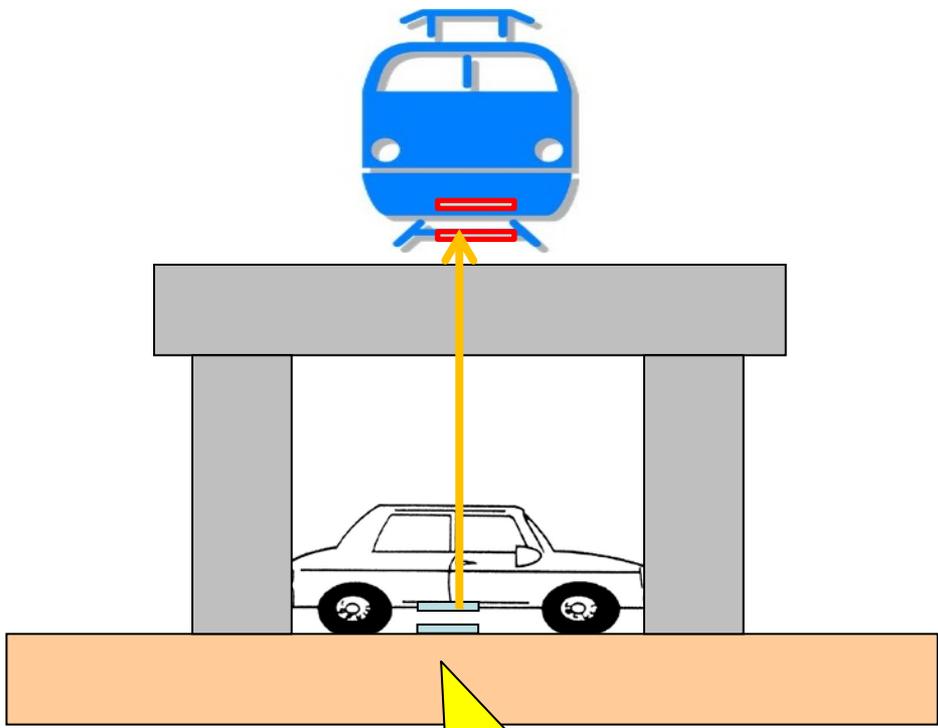


モデル2



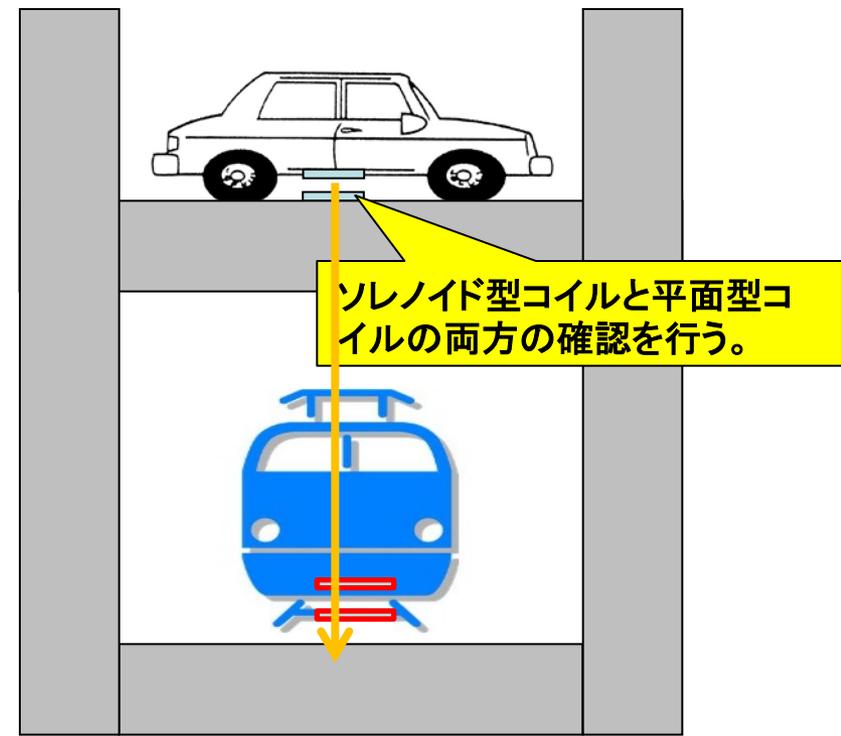
3-1. ATS 電気自動車用WPT 干渉検討モデル

モデル3



ソレノイド型コイルと平面型コイルの両方の確認を行う。

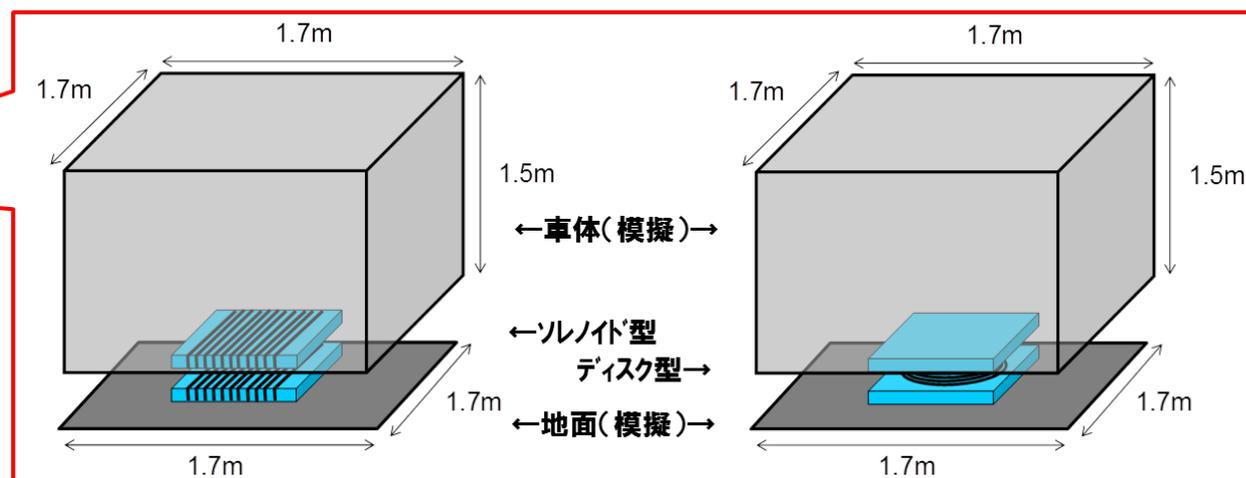
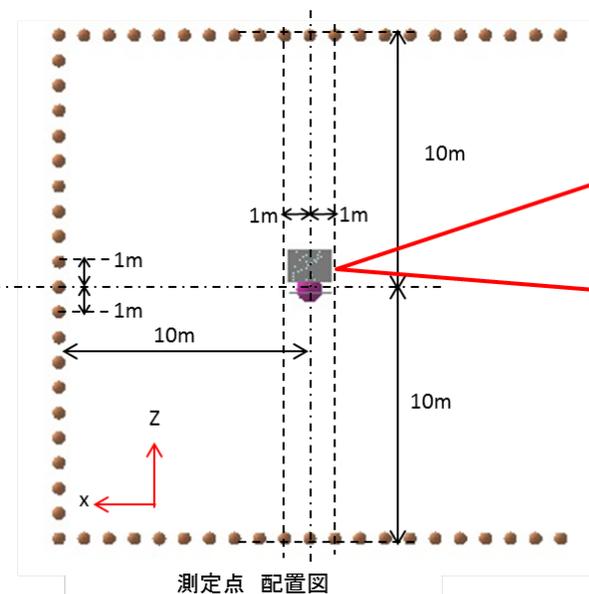
モデル4



3-1. ATS 電気自動車用WPT 最大漏えい磁界強度

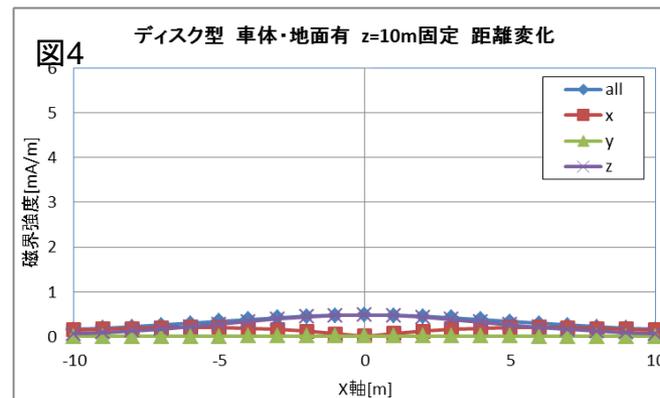
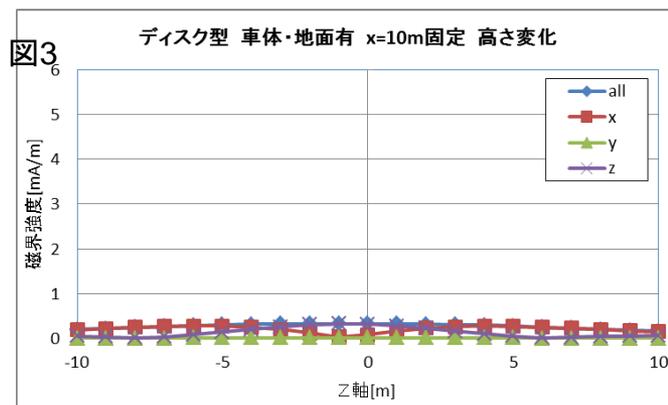
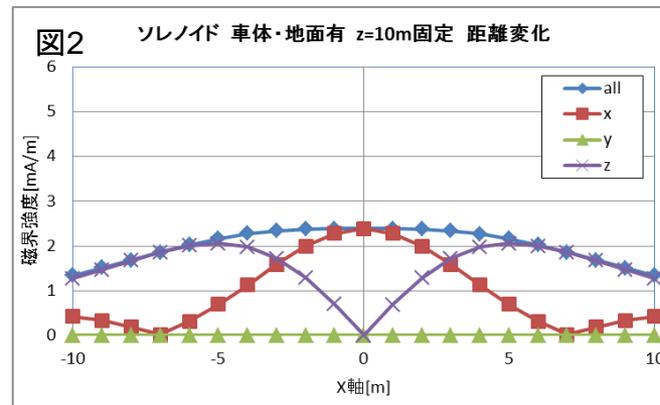
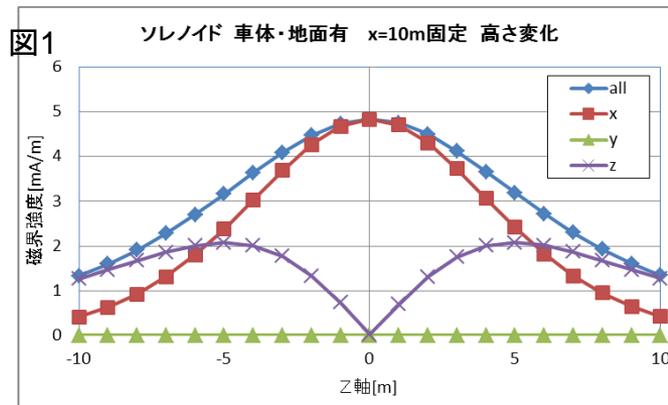
- モデル1~4において、Z軸方向の漏えい磁界強度が最大となる方向と、そのときの漏えい磁界強度をシミュレーションにより求める。
- 下図に、上記のシミュレーションの概略説明図と条件を示す。

条件:
周波数: 85kHz
出力電力: 3.3kW
位置ズレ: 正対
Gap: 線間Gap165mm
 ユニット蓋間Gap150mm
解析ツール: EMCstudio
車体サイズ: 1.7m × 1.7m × 1.5m (L × W × H)
車体材料: 完全導体 (PEC)
地面サイズ: 1.7m × 1.7m
地面材料: 完全導体 (PEC)



3-1. ATS 電気自動車用WPT 最大漏えい磁界強度

- シミュレーション結果を、下に示す。
 - 平面型コイルは、いずれの方向でもソレノイド型コイルの漏えい磁界より低い。よって、ソレノイド型コイルの漏えい磁界を検討する。
 - 図1より、モデル2の場合は距離補正も含めると高さ6mの方向が最も漏えい磁界が強くなっている。
 - 図2よりモデル3,4の場合は、距離補正も含めると横方向6mの方向が最も漏えい磁界が強くなっている。



3-1. ATS 電気自動車用WPT 最大漏えい磁界強度

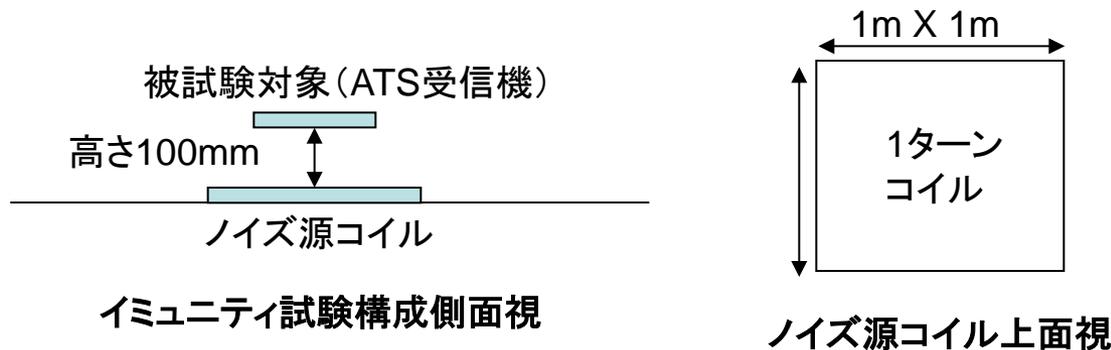
- 漏えい磁界強度
 - モデル1
 - このモデルは前頁の図1のZ軸0m地点のデータとなり、ATSへの影響は最も小さくなることが分かった。
 - Z軸0m地点の全3軸の合計の漏えい磁界強度は、4.83 [mA/m]であるが、この値が全てのケースで最も強度が強い値となっているので、今後参照値として使用する。
 - この時のz軸方向の漏えい磁界強度は、0.02 [mA/m]であり、参照値に対して47.4[dB]磁界強度が弱くなっており少なく見積もっても30[dB]は緩和されると仮定する。
 - モデル2
 - 距離補正を考慮すると高さ6m方向が、最もz軸方向の漏えい磁界が強くなっている。
 - そのときの数値は、2.53 [mA/m] (*1)である。よって、参照値に対して5.6[dB]磁界強度が弱くなっている。
 - モデル3, 4(数値は同じ)
 - 距離補正を考慮すると横方向6m方向が、最もz軸方向の漏えい磁界が強くなっている。
 - そのときの数値は、2.52 [mA/m] である。よって、参照値に対して5.6[dB]磁界強度が弱くなっている。

*1 例えば高さ6m地点までの距離は、 $11.7\text{m} (= \sqrt{10^2 + 6^2})$
この距離を、10mに対して3乗則で換算すると、 $2.0\text{dB} (= 30 \cdot \log_{10}(11.7/10.0))$
図1のグラフからの値 2.01[mA/m] を2.0dBかさ上げすると、 $2.53\text{[mA/m]} (= 2.01 \cdot 10^{(2.0/20)})$

3-1. ATS 電気自動車用WPT ATSへの影響計算方法

- (1) 1ターンループコイルに1mAの電流を流したときに生じる磁界を計算機シミュレーションで計算

・1m×1mのノイズ源1ターンループコイルに1mAの電流を流したときに、コイル上部100mmに生じる磁界を計算する。



- (2) 1ターンループコイル(ノイズ源コイル)にどの程度の電流を流すと、WPT機器からの漏えい磁界と同じレベルの磁界が生じるかを、離隔距離をパラメータとして計算

・上記結果を使用し、離隔距離(WPT機器とATS受信機の距離)毎に、WPTからの漏えい磁界と同等の磁界を生じる1ターンループコイルの電流値を計算しグラフ化する。

3-1. ATS 電気自動車用WPT

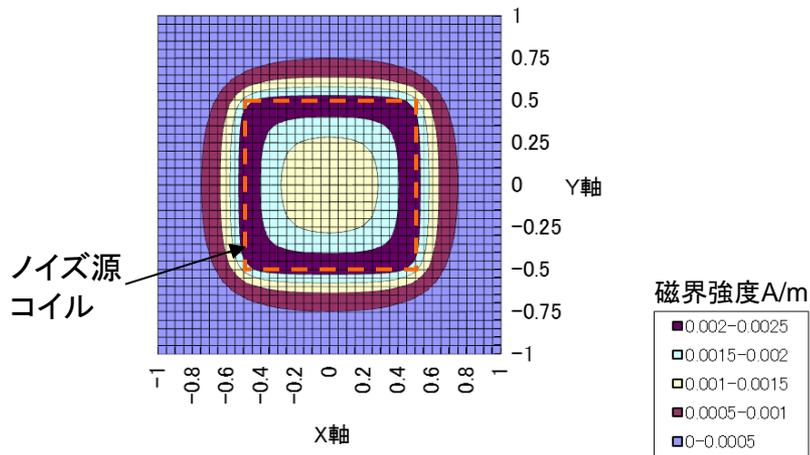
1ターンループコイルに1mAを流したとき生じる磁界1

条件 : 1m×1mの1ターンコイル, 電流1mA(実効値), 周波数85kHz, 100mm上部の磁界

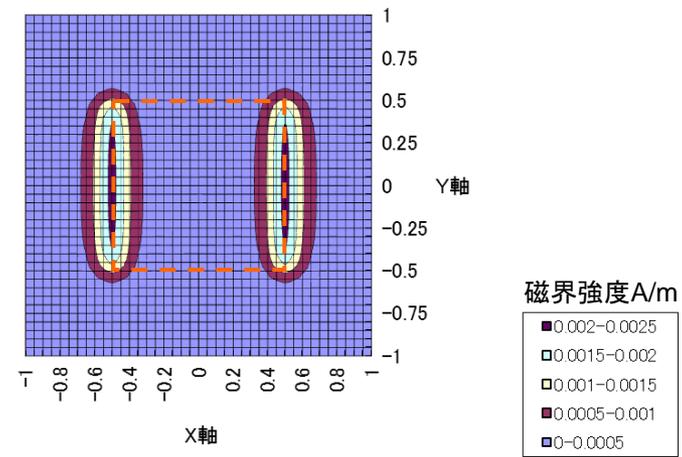
結果 : 最大1.6mA/m (実効値)の磁界が発生する

シミュレータ : EMC-studio

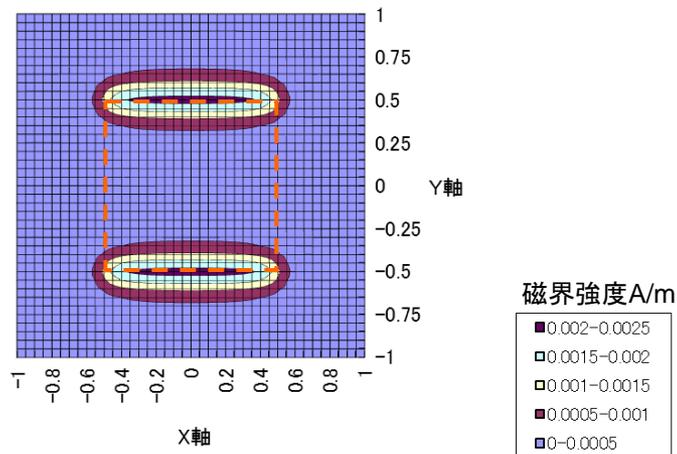
3軸合成磁界(コイルから高さ10cm)



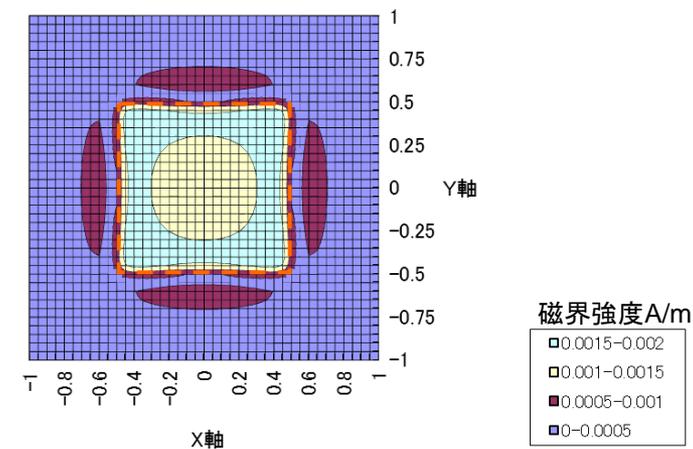
X成分磁界



Y成分磁界



Z成分磁界



シミュレーションデータ提供:トヨタ自動車

3-1. ATS 電気自動車用WPT

1ターンループコイルに1mAを流したとき生じる磁界2

条件 : 1m×1mの1ターンコイル, 電流1mA(実効値), 周波数85kHz, 100mm上部の磁界

結果 : 最大1.6mA/m(実効値)の磁界が発生する

シミュレータ : Maxwell3D Ver16.0 (Eddy Current)

結論 : 解析結果は下図で、最大値は1.6[mA/m]

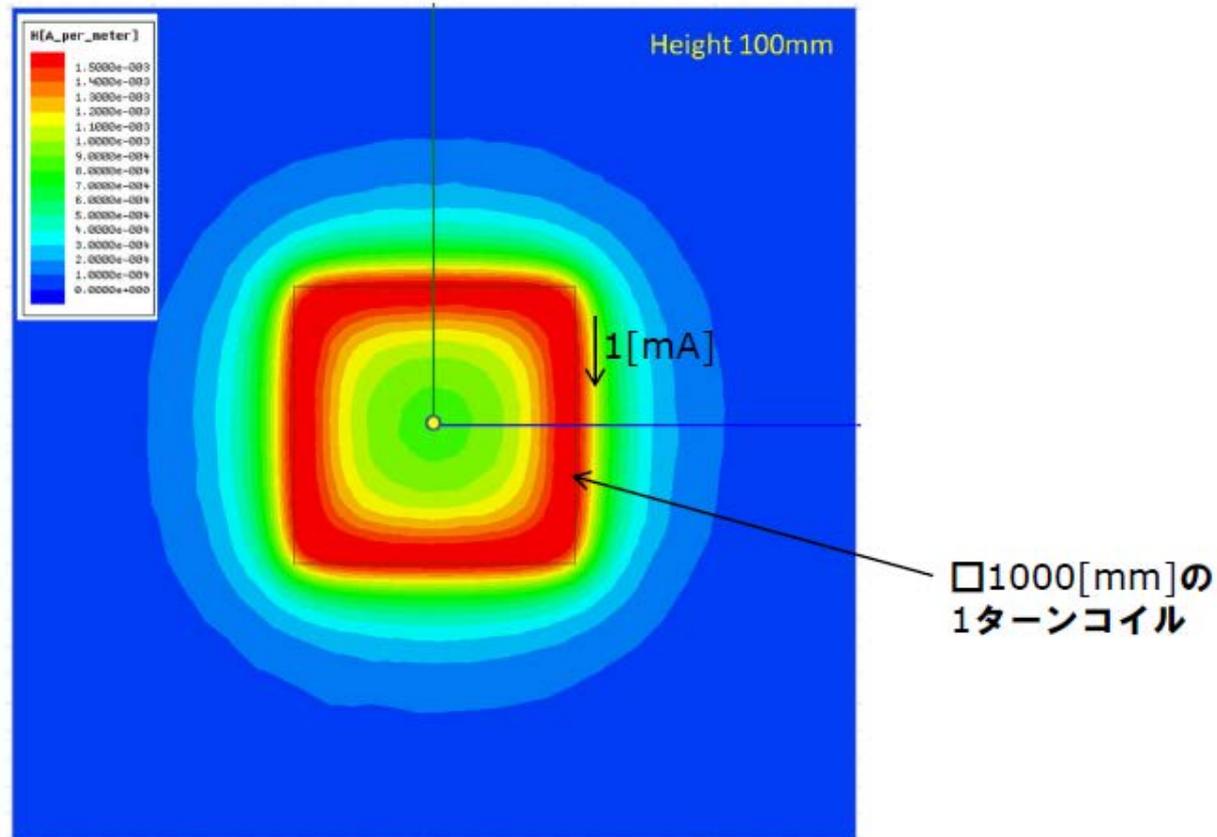


図1. コイルからの高さ100mmの平面内の磁界強度の大きさコンター図

3-1. ATS 電気自動車用WPT

1ターンループコイルに1mAを流したとき生じる磁界3

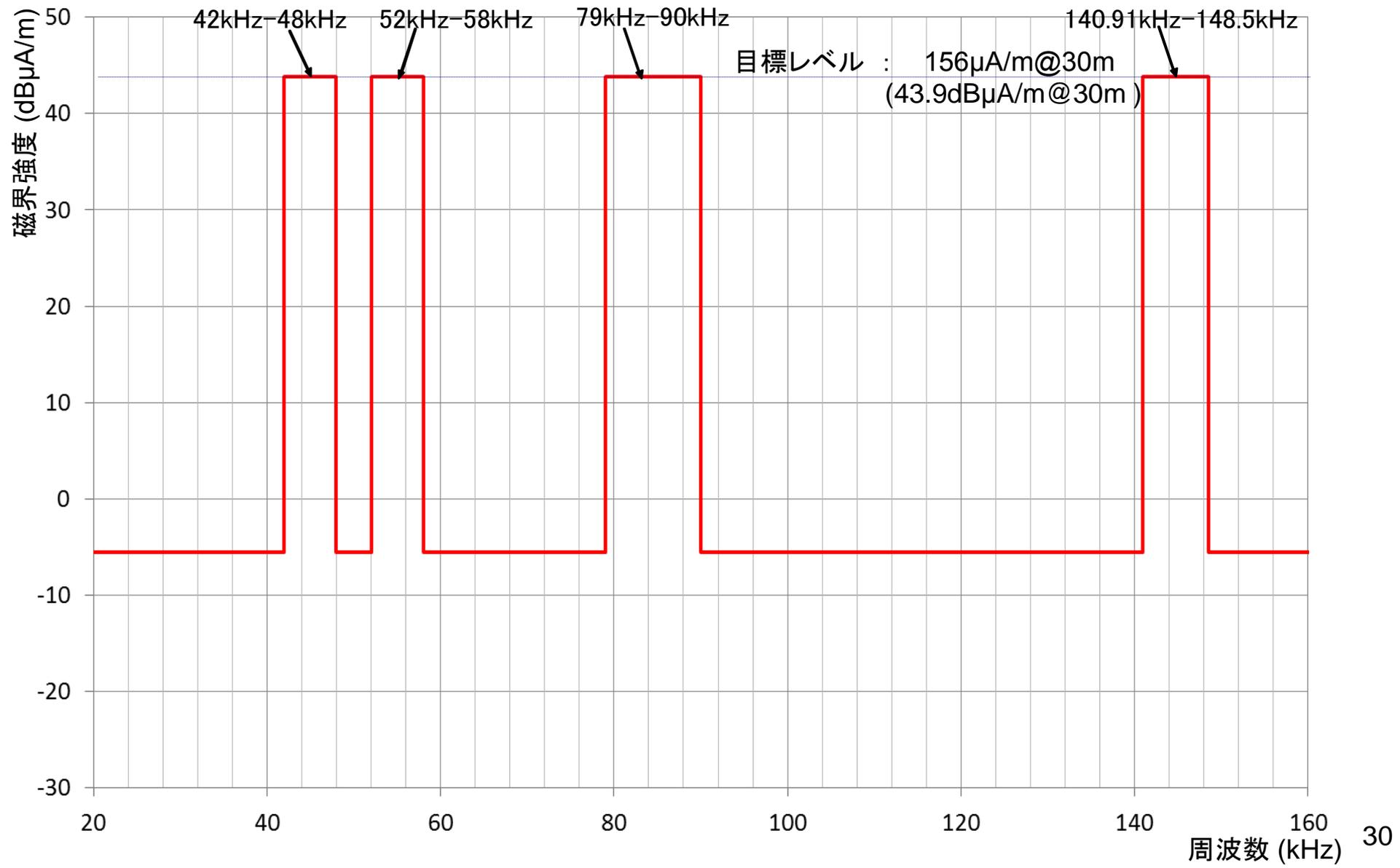
次のステップでは、WPT機器からの漏えい磁界と同等の磁界を生じる1ターンループコイルに流れる電流の計算を行う。

今回、2種類のシミュレータで計算したが、同一の結果となった。

1ターンループコイルに1mA(実効値)を流したときに生じる磁界の値として、1.6mA/m(実効値)を採用して、次のステップのグラフを計算する。

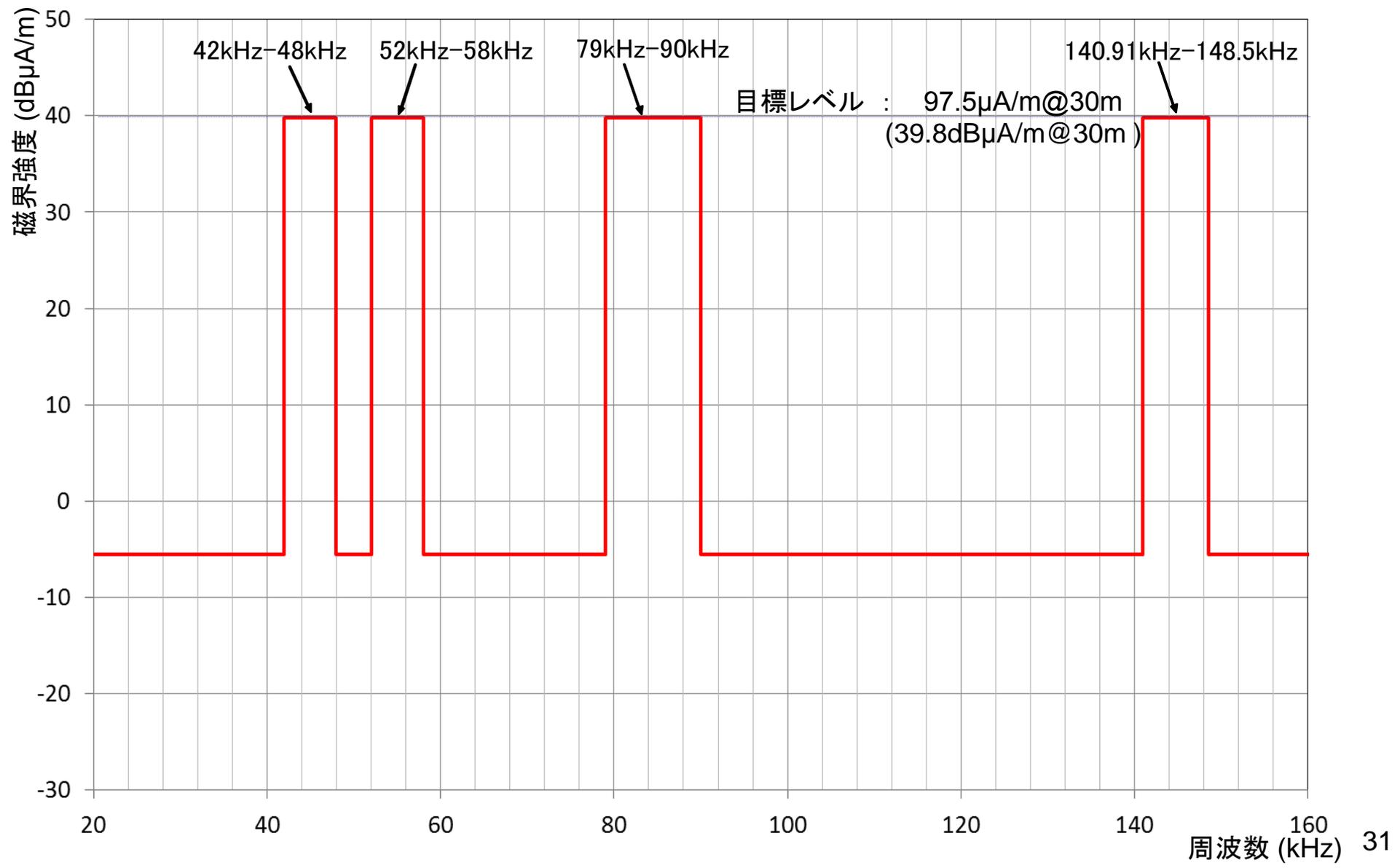
3-1. ATS 電気自動車用WPT 目標磁界レベル拡大 (7.7kW)

漏えい磁界強度目標値(7.7kW)



3-1. ATS 電気自動車用WPT 目標磁界レベル拡大 (3kW)

漏えい磁界強度目標値(3kW)

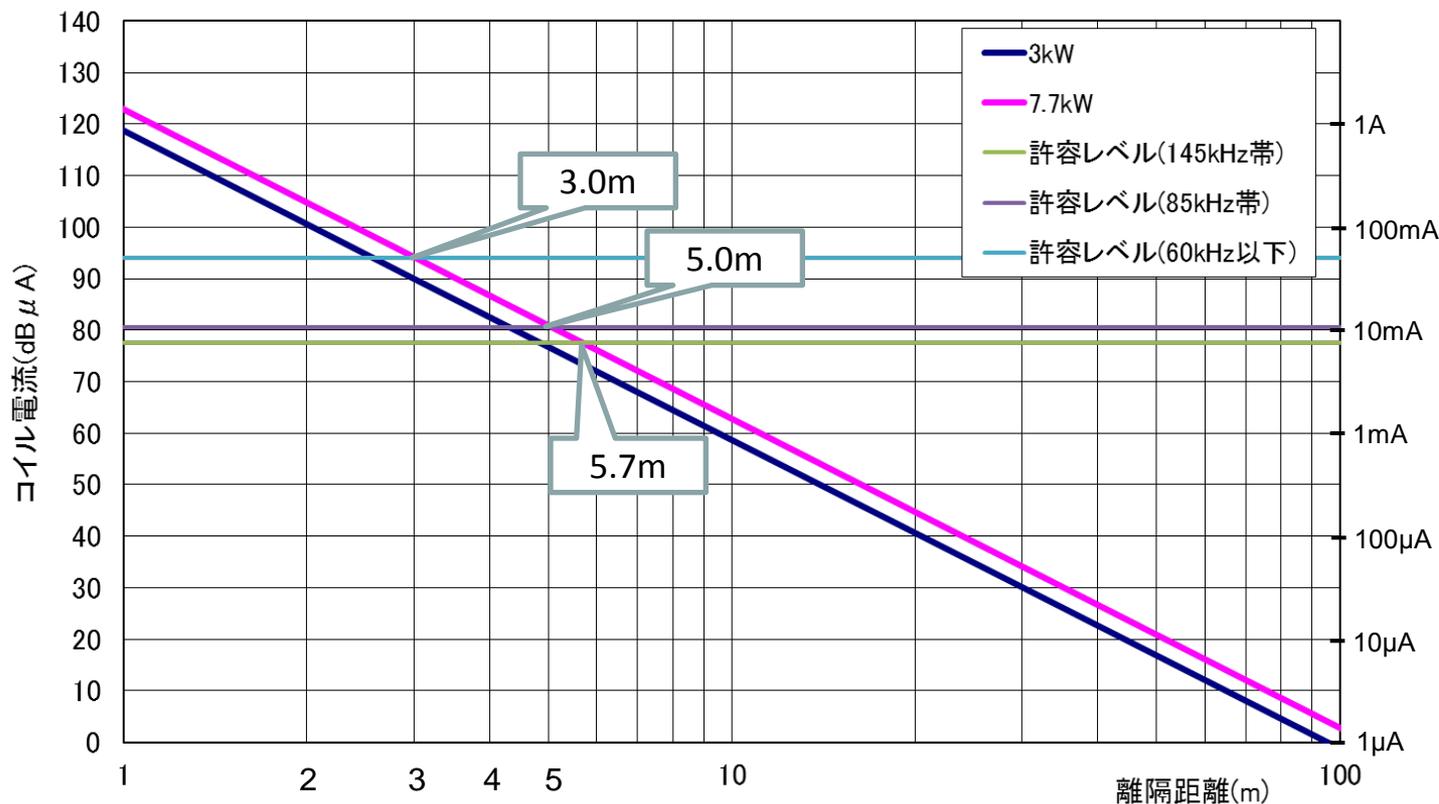


3-1. ATS 電気自動車用WPT ATSの許容電流値

- 現在使用されている車上ATSの耐妨害特性の電流値(実効値)は、以下のとおり。
 - 42-48kHz : 50mA以上(6dBマージン含む)
 - 52-58kHz : 50mA以上(6dBマージン含む)
 - 79-90kHz : 10.75mA (6dBマージン含む)
 - 140.91-148.5kHz : 7.5mA (6dBマージン含む)

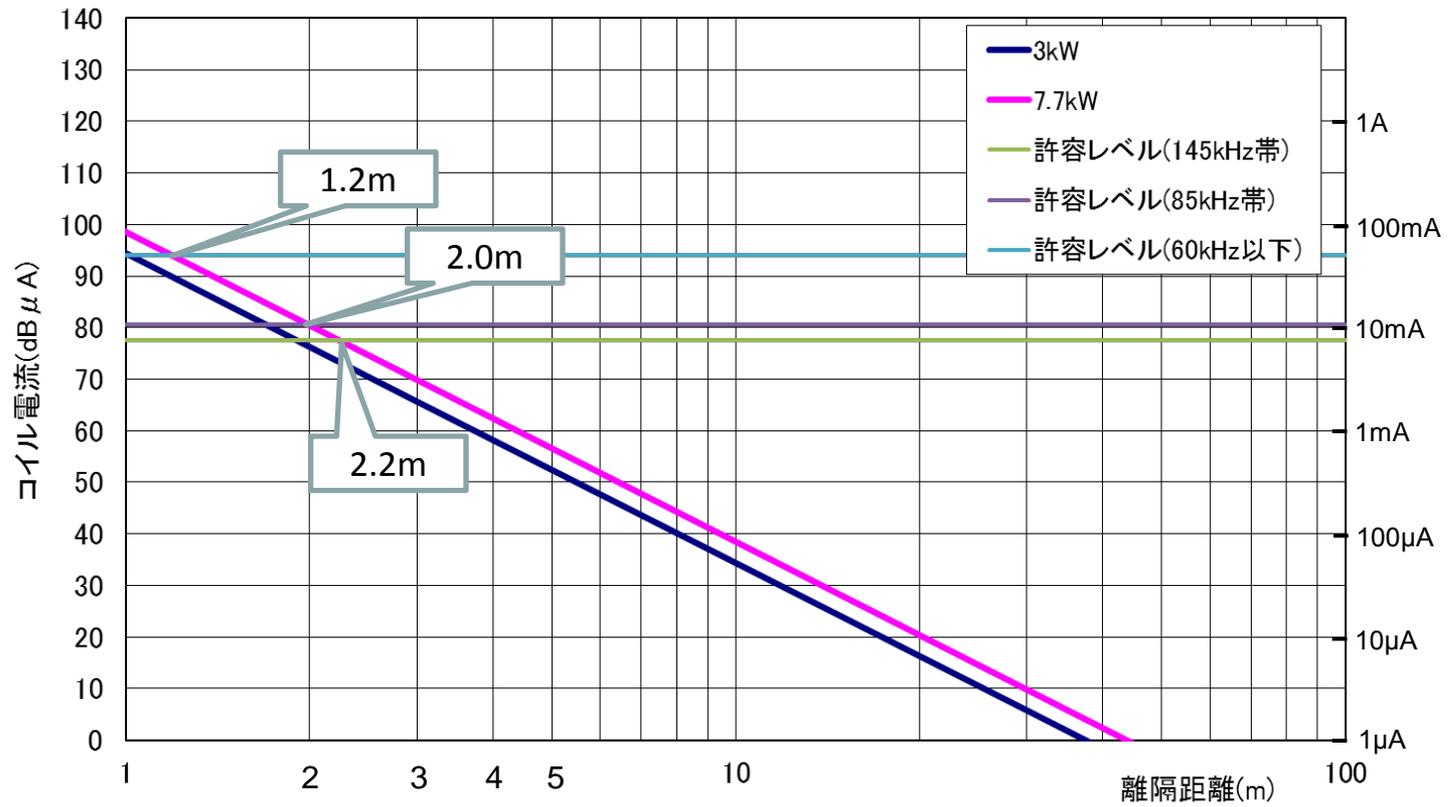
3-1. ATS 電気自動車用WPT 所要離隔距離 (モデル2,3,4)

- 離隔距離30mの場所での漏えい磁界の垂直方向成分と同等の磁界となる1ターンループコイルに流れる電流は、以下のとおりである。
WPTが7.7kW電力伝送中で30m離れた場所の漏えい磁界は、82.2 μ A/m (=38.3dB μ A/m = 43.9-5.6)
同等磁界となる1ターンループコイルに流れる電流は、**51.4 μ A (34.2dB μ A)**
WPTが3kW電力伝送中で30m離れた場所の漏えい磁界は、51.3 μ A/m (=34.2dB μ A/m = 39.8-5.6)
同等磁界となる1ターンループコイルに流れる電流は、**32.1 μ A (30.1dB μ A)**
- 離隔距離を変動させたときの、1ターンループコイルに流す電流値を、距離減衰3乗則を適用して求め、下のグラフに示した。
- ATSの許容電流値(実効値)を下のグラフに示した。



3-1. ATS 電気自動車用WPT 所要離隔距離 (モデル1)

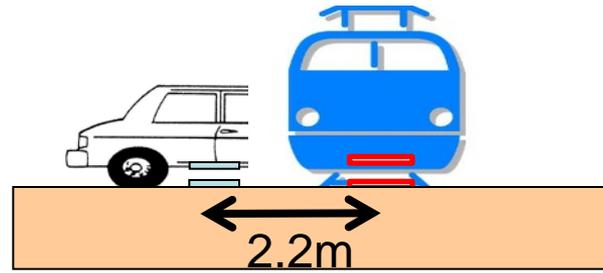
- 離隔距離30mの場所での漏えい磁界の垂直方向成分と同等の磁界となる1ターンループコイルに流れる電流は、以下のとおりである。
 - WPTが7.7kW電力伝送中で30m離れた場所の漏えい磁界は、 $4.9\mu\text{A/m}$ ($=13.9\text{dB}\mu\text{A/m} = 43.9-30.0$)
 - 同等磁界となる1ターンループコイルに流れる電流は、 **$3.1\mu\text{A}$ ($9.8\text{dB}\mu\text{A}$)**
 - WPTが3kW電力伝送中で30m離れた場所の漏えい磁界は、 $3.1\mu\text{A/m}$ ($=9.8\text{dB}\mu\text{A/m} = 39.8-30.0$)
 - 同等磁界となる1ターンループコイルに流れる電流は、 **$1.9\mu\text{A}$ ($5.7\text{dB}\mu\text{A}$)**
- 離隔距離を変動させたときの、1ターンループコイルに流す電流値を、距離減衰3乗則を適用して求め、下のグラフに示した。
- ATSの許容電流値(実効値)を下のグラフに示した。



3-1. ATS 電気自動車用WPT 所要離隔距離まとめ

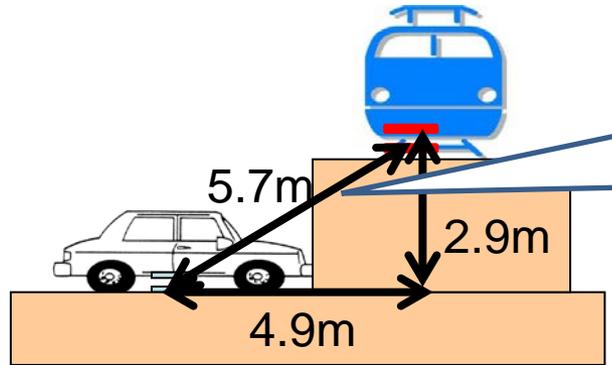
モデル1

所要離隔距離2.2m
水平距離2.2m



モデル2

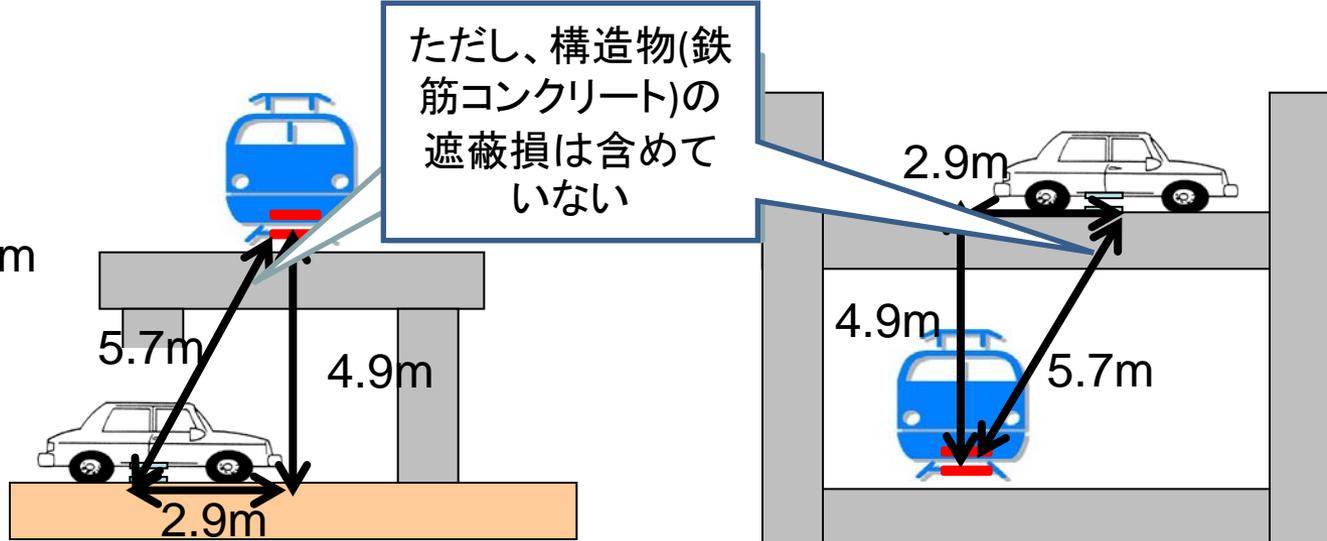
所要離隔距離5.7m
水平距離4.9m



ただし、構造物(鉄筋コンクリート)の遮蔽損は含めていない

モデル3,4

所要離隔距離5.7m
高さ距離4.9m



ただし、構造物(鉄筋コンクリート)の遮蔽損は含めていない

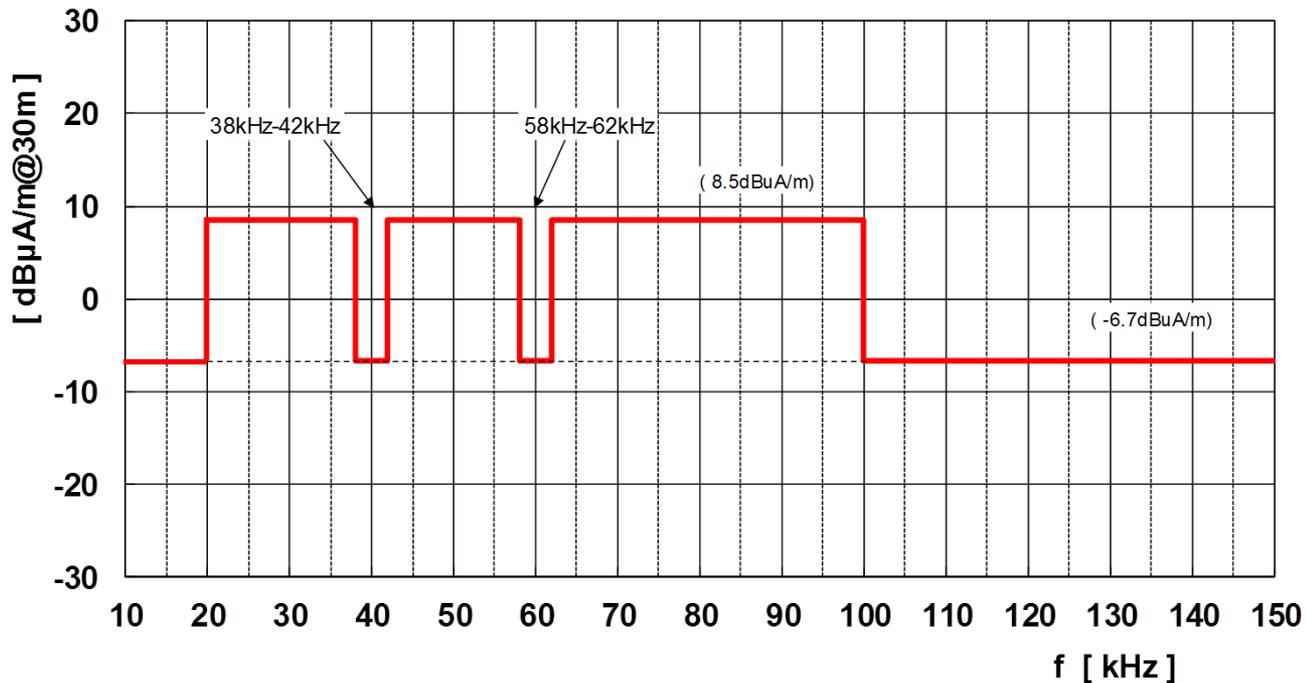
3-1. ATS 電気自動車用WPT 共用検討のまとめ

- 机上検討の結果、最悪干渉モデルにおいて、ATSに6dBのマーヅンを持たせた所要離隔距離は、水平距離又は垂直距離で4.9mとなった。
- 今後、構造物による空間損失や、ATSとWPTとの設置条件等の精査を行い、共存可能な条件の検討を行う。

3-1. ATS 家電機器用WPT② ATSへの影響検討



漏えい磁界レベル@30m, 1.5kW



3-1. ATS 家電機器用WPT② 所要離隔距離

- WPTからの漏えい磁界がATSへの影響を与える判定方法としては、電気自動車用WPTと同じ考え方を適用した。
- 家電機器用WPT②からの最大漏えい磁界強度を用いて、所要離隔距離を計算した。
- 家電機器用WPT②は家庭内で使用するものなので、壁損等も存在すると考えられるが、まずは、干渉緩和の方策を考慮せず所要離隔距離を計算した。
- その結果、所要離隔距離は1.8mとなった。

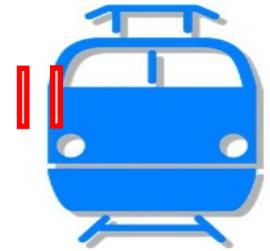
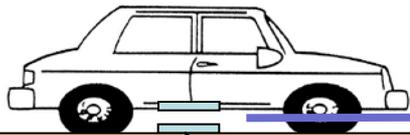
(干渉緩和の方策無し)

ATS 利用周波 数	家電機器用 WPT				建造物壁 による減 衰 (dB)	電車/列 車ボディ による減 衰 (dB)	ATS指向 性(磁束 鎖交条 件) (dB)	ATS許容干渉レベル			共存可能 な離隔距 離 (m)
	バンド	利用 周波 数 (kHz)	最大放射磁界 レベル@30m mA/m	dB μ A/m				許容干渉レベル(磁 界強度)	許容干渉レベル(磁 界強度)	許容干渉レベル(磁 界強度)	
80	20.05-38kHz	29	0.003	8.5	0.0	0.0	0.0	50.0	80.0	98.1	1.0
	42-58kHz	50	0.003	8.5	0.0	0.0	0.0	50.0	80.0	98.1	1.0
	62-100kHz	81	0.003	8.5	0.0	0.0	0.0	7.5	12.0	81.6	1.8

3-1. ATS 家電機器用WPT② 共用検討のまとめ

- 机上検討の結果、合理的な干渉緩和の方策を加味しない条件でも、所要離隔距離は、1.8mになる。
- 今後、ATSとWPTの設置条件等の精査を行い共存可能な条件の検討を行う。

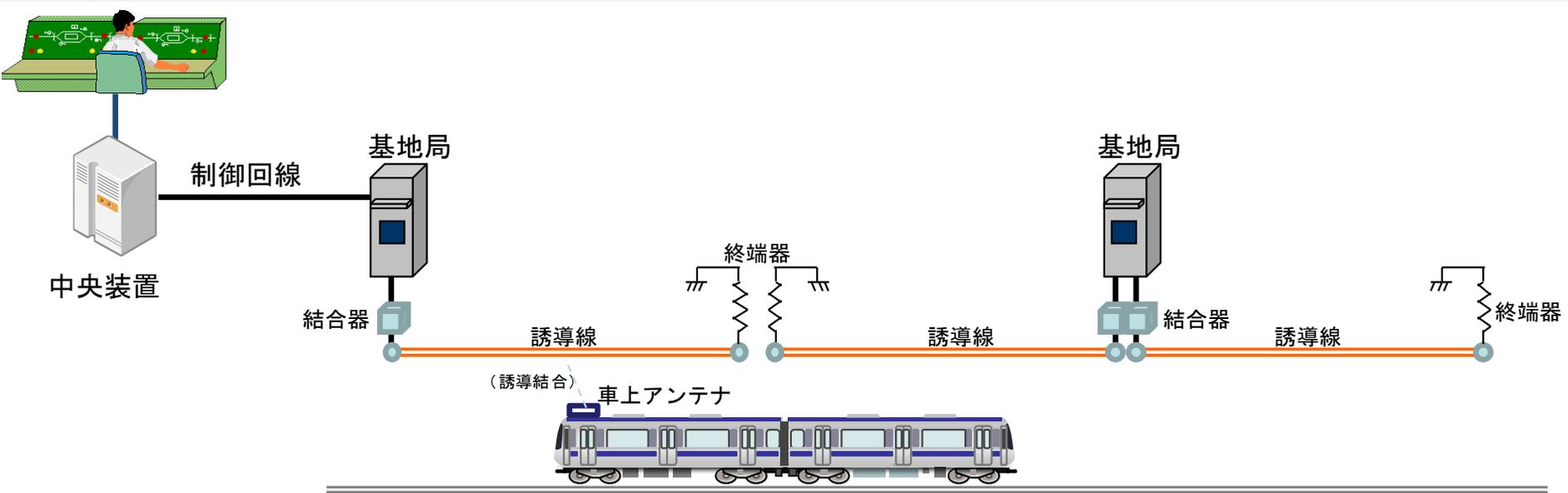
3-2. 誘導無線 電気自動車用WPT 干渉検討モデル



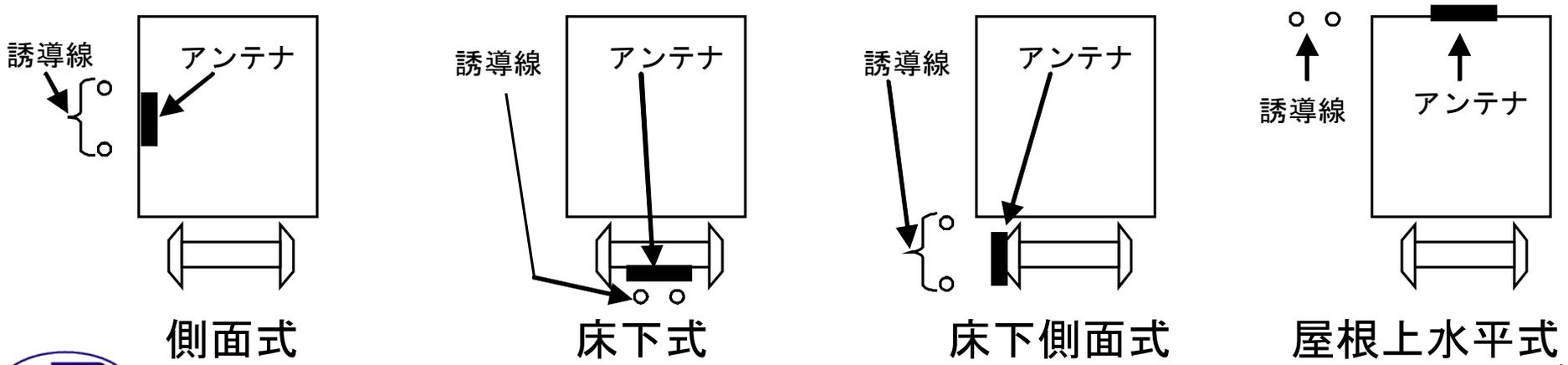
一番漏れい電磁界強度が大きいソ
レノイド型コイルを想定。

3-2. 誘導無線 電気自動車用WPT

誘導無線システムの概要（直接結合式の例）



直接結合方式での結合形態の種類:



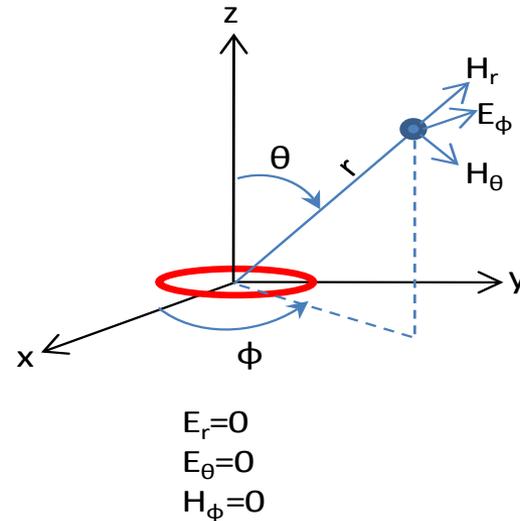
3-2. 誘導無線 電気自動車用WPT 計算モデル

● 磁界の計算式

$$H_r = \frac{I \cdot S}{2\pi} e^{-jk r} \left(\frac{1}{r^2} + j \frac{k}{r} \right) \cos \theta$$

$$H_\theta = \frac{I \cdot S}{4\pi} e^{-jk r} \left(\frac{1}{r^2} + j \frac{k}{r} - \frac{k^2}{r} \right) \sin \theta$$

$$E_\phi = -\frac{j\omega\mu I \cdot S}{4\pi} e^{-jk r} \left(\frac{1}{r^2} + j \frac{k}{r} \right) \sin \theta$$



◆ 受信電圧の計算式

まず開放端電圧を $V_{emf} = \omega\mu SN|H|$ から求め、終端電圧に換算

$\omega = 2\pi f$ (rad/s)

$\mu =$ 透磁率 (H/m) $= 4\pi \times 10^{-7}$ (H/m),

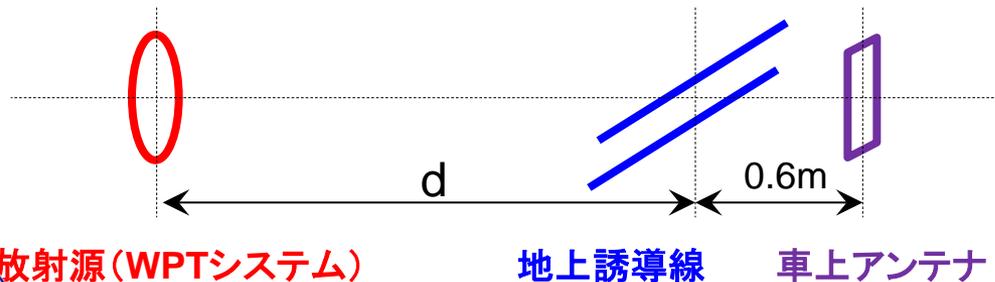
$S =$ ループの面積 (m^2)

※ここでは計算を簡単にするため、送信ループと受信ループ面積の小さい方の値を使用

$N =$ ループのターン数,

$H =$ ループと交差する磁界 (A/m)

◆ 想定した放射源(微小ループ)と受信側ループの位置関係



※最悪条件を想定し、全てのループが一直線上に並ぶ $\theta=0$ のモデルを使用 (側面結合方式が前提)

- 計算条件

- 空間条件 = 自由空間、無損失媒体内
列車の車体等周囲の地物の影響は無視
- 周波数 = 145kHz (電気自動車用WPT使用帯域内)
130kHz、245kHz (電気自動車用WPT使用帯域外)
- 電気自動車用WPT ~ 地上側誘導線間距離 $d = 1\text{m} \sim 1000\text{m}$
 - 電気自動車用WPT ~ 地上側誘導線間距離: $r_g = d$
 - 電気自動車用WPT ~ 車上アンテナ間距離: $r_m = d + 0.6\text{m}$

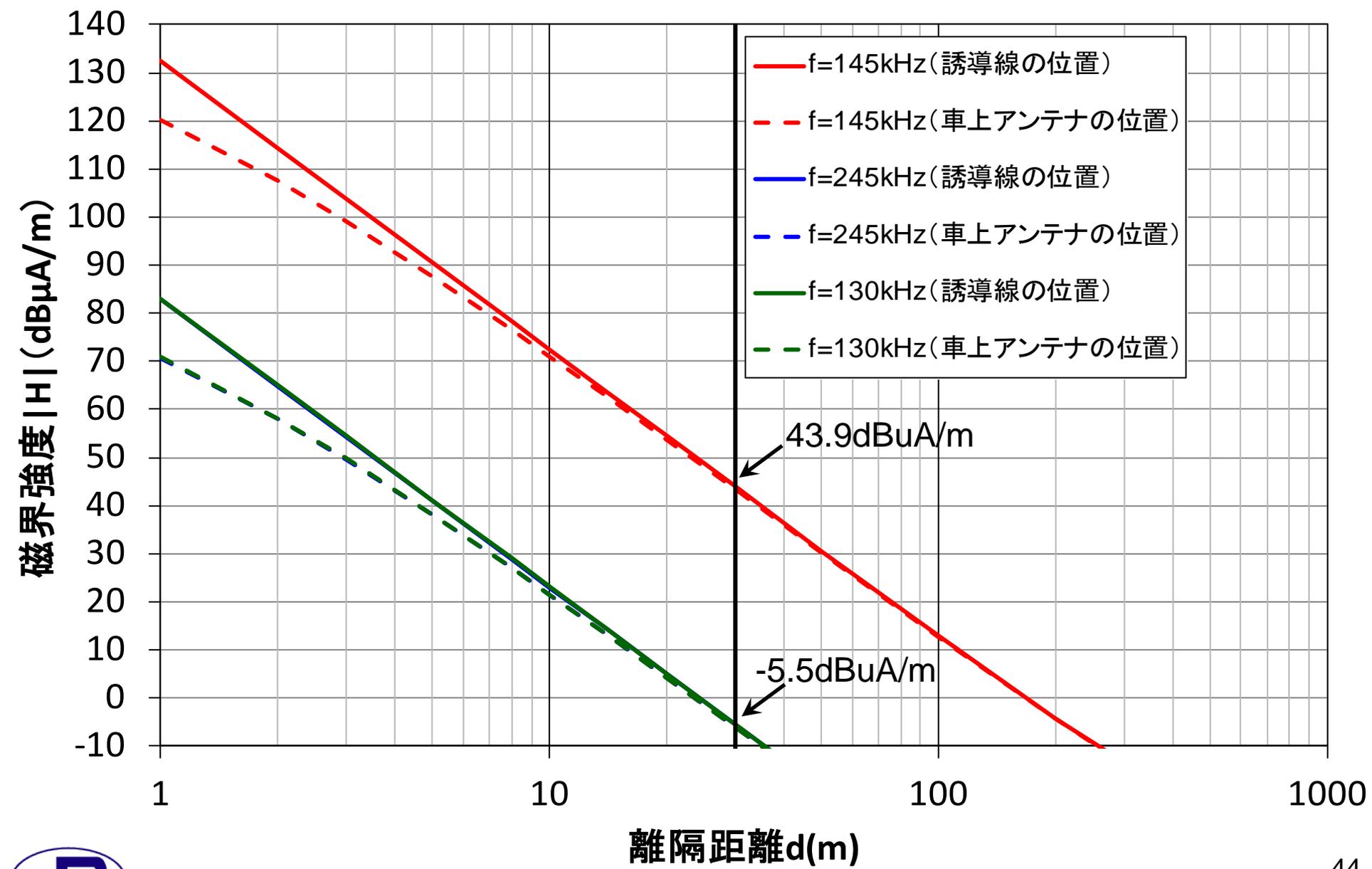
- ①放射される磁界強度の計算

- 下表の漏えい強度 (30m離隔) から、放射源が微小ループと想定したときの微小ループに流れる電流 $I(\text{A})$ を計算

f (kHz)	E (V/m)	E (dBuV/m)	H (dBuA/m)
130.0	200×10^{-6}	46.0	-5.5
145.0	58.9×10^{-3}	95.4	43.9
245.0	200×10^{-6}	46.0	-5.5

- 予測した $I(\text{A})$ を使って、離隔距離 $d(\text{m})$ を変えたときの受信側ループにおける磁界強度 $H(\text{A/m})$ を計算

3-2. 誘導無線 電気自動車用WPT 磁界強度の計算結果



3-2. 誘導無線 電気自動車用WPT 受信機入力電圧と離隔距離の計算手順

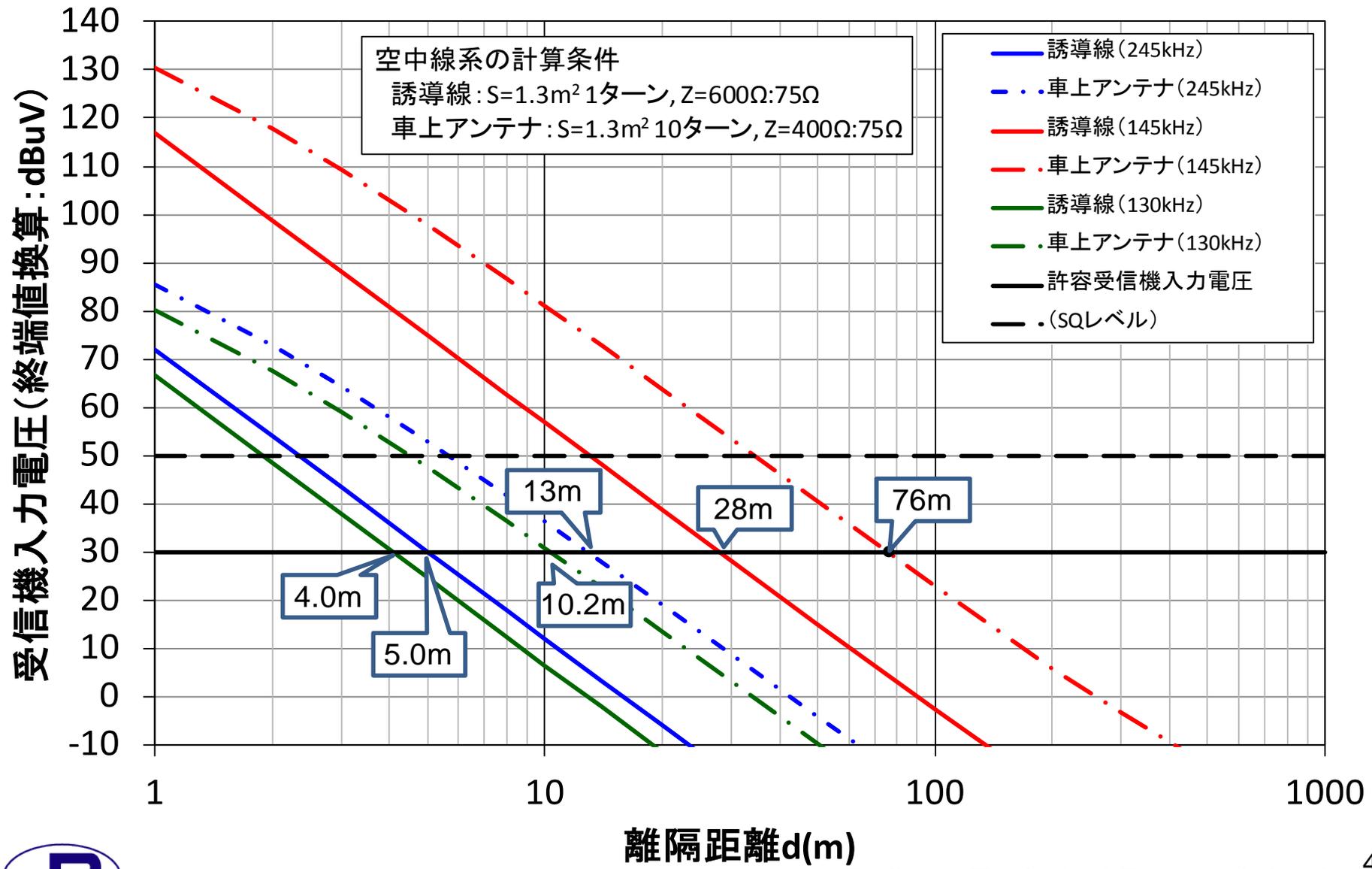
② 受信機入力電圧の計算

- 磁界強度の計算値(前シートに示したグラフ)から空中線の端子に発生する開放端電圧を求め、インピーダンス整合回路での電圧変換比を補正して受信機入力電圧 V_i (dBuV)の距離特性を算出
- 想定した空中線系の条件
 - ✓ 地上側誘導線: $S=1\text{m}^2$, 1ターン(誘導線自体の面積は $30\sim 360\text{m}^2$)
 $Z_a:Z_i = 600\Omega:75\Omega$
 - ✓ 車上アンテナ : $S=1.3\text{m}^2$, 10ターン
 $Z_a:Z_i = 400\Omega:75\Omega$

③ 所要離隔距離の算出

- 上記で求めた V_i の距離特性と、スケルチレベルに対してマージンを考慮した許容受信機入力電圧 V_{limit} を超えない距離を求める
 - スケルチレベル=50dB μ V
 - マージン=20dB
 - $\therefore V_{\text{limit}} = 30\text{dB}\mu\text{V}$

3-2. 誘導無線 電気自動車用WPT 受信機入力電圧と所要離隔距離の結果



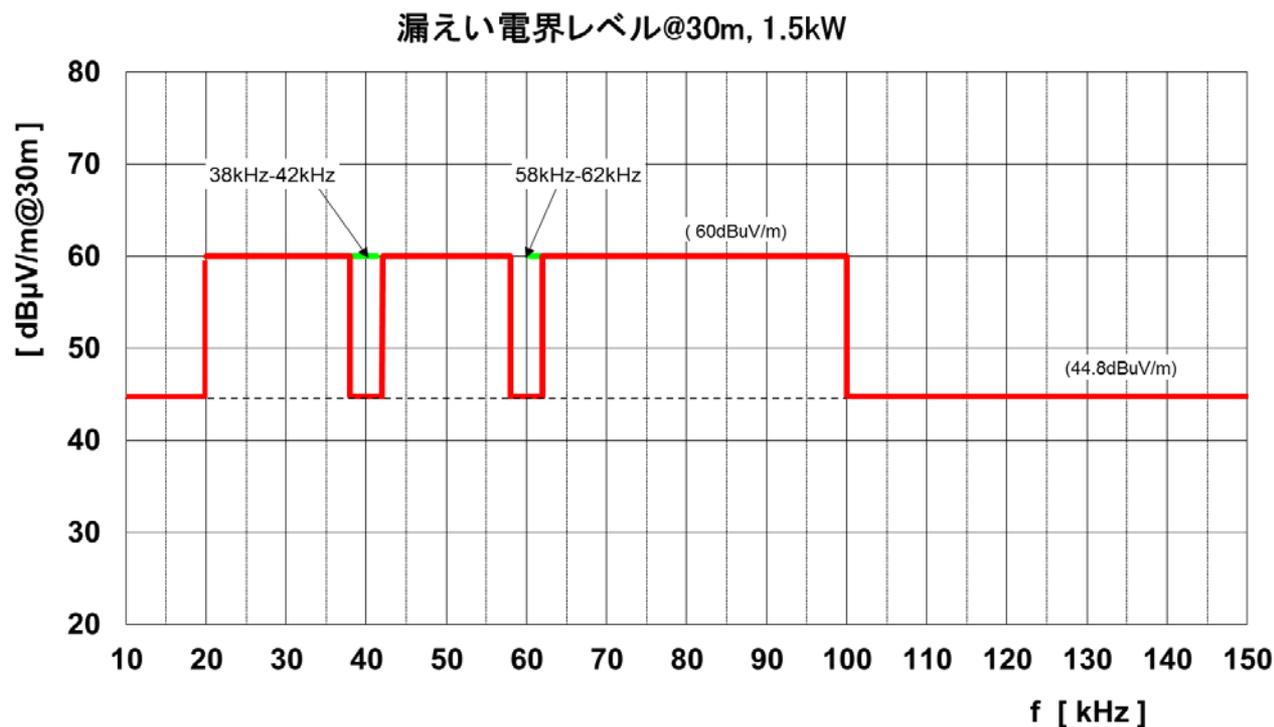
3-2. 誘導無線 電気自動車用WPT 共用検討のまとめ

- まずは、緩和の方策を考慮していない最悪干渉モデルでの所要離隔距離を計算した。
- 電気自動車用WPTが140.91-148.5kHzを使用する場合、所要離隔距離は76mとなった。
- 今後、WPTの実力値、指向性、誘導無線とWPTの設置条件等の精査を行い、共存可能な条件の検討を行う。



家電機器用WPT機器 (利用は家屋内)

誘導無線



3-2. 誘導無線 家電機器用WPT② 共用検討のまとめ

- 誘導無線関係者と協力し、今後さらに詳細な検討を進める。

4. アマチュア無線 検討状況

検討体制

総務省 総合通信基盤局
電波部 電波環境課

一般社団法人
日本アマチュア無線連盟

ブロードバンドワイヤレスフォーラム
ワイヤレス電力伝送ワーキンググループ

【検討状況】

- 3回の情報交換会を実施した。
(電気自動車用WPT以外の、全体の情報交換会は1回)
- 検討対象は、作業指示が電気自動車用WPT及び家電機器用WPT③(モバイル機器)であったが、情報交換の結果、全てのWPTとした。
- BWFから、WPTについて、漏えい電磁界(目標値)、測定データ、詳細技術仕様、運用方法等を提示し、干渉検討のための条件を決めた。
- 共存に向けた、情報交換を進めている。

4. アマチュア無線 共用検討のまとめ

【進捗】

情報交換会を行い、検討条件を以下のとおり決めた。

- 3回の情報交換会を実施した。
- アマチュア無線への干渉を検討するため、検討対象をLF帯(135kHz帯)から、UHF帯の1200MHz帯(指定周波数は1280MHz)までとした。
- 検討する干渉モデルは、WPTからの高調波等の不要発射又はスプリアス発射を含めた、帯域内干渉とした。
- アマチュア無線では、統一的な回線設計が困難なため、所要改善量や所要離隔距離の検討は行わないこととした。
- 干渉有無の判定は、帯域内への漏えい電磁界が電波法及び関連規則で律せられる値以下になっていることとした。
- 共用条件(案)は、一般社団法人日本アマチュア無線連盟における審議を受けて決める。

【今後の進め方】

次回のWPT作業班にて、共存条件(案)の報告をする。

5. 船舶無線等 検討状況

検討体制

総務省 総合通信基盤局
電波部 電波環境課

一般社団法人全国船舶無線協会
水洋会部会

ブロードバンドワイヤレスフォーラム
ワイヤレス電力伝送ワーキンググループ

【検討状況】

- 2回の情報交換会を実施した。
- 検討対象は、家電機器用WPT③(モバイル機器)である。
- 周波数共用検討のための条件を規定した。
- 実際の利用シーンを想定し、机上検討によって、WPTの漏えい電磁界(目標値)における所要離隔距離を算出した。
- 今後は、以下の周波数帯が遭難安全を確保する上で重要な周波数帯であることを考慮し、同一周波数帯の利用をしない方向も視野に入れて検討する。

NAVTEX 518 kHz (424, 490 kHz)

NAVDAT 495-505 kHz

5. 船舶無線等 利用シーン

○利用シーン1: 港湾施設で利用

- ・海岸近くの建物でのノートPCへの充電
- ・離隔距離計算条件③に対応
 - ・大規模な港湾施設ではナブテックスのアンテナとWPT機器の最小距離は25m程度と考えられる。
 - ・またこのケースではWPT機器は屋内利用を想定し、壁1枚を入れて干渉計算を行った。

○利用シーン2: 客船に持ち込んで利用

- ・船舶内でのノートPCへの充電
- ・離隔距離計算条件①、②に対応
 - ・アンテナと客室(WPT機器利用場所)の最小距離: 約10m
 - ・条件①、アンテナとWPT機器との間に床1枚が存在する。
 - ・条件②、アンテナとWPT機器との間に床2枚が存在する。

5. 船舶無線等 机上検討

所要離隔距離計算結果

WPT		ナブテックス(JRC製: NCR-333)						所要離隔距離の計算条件		干渉波		緩和又は劣化要因		最小受信感度	許容干渉レベル	所要離隔距離
利用周波数	電力	中心周波数	占有周波数帯幅	(k 2 T 7 B °C)	雑音指数	(k 2 T 7 B °C F)	C I N R			基本波	漏洩レベル	壁減衰	他			
480-524	100	490	0.5	-147	6	-28	6	①	目標漏えい電界強度、客船船室1で利用	490	102	10	0	42	36	26.1
	100	490	0.5	-147	6	-28	6	②	目標漏えい電界強度、客船船室2で利用	490	102	20	0	42	36	17.8
	100	490	0.5	-147	6	-28	6	③	目標漏えい電界強度、港湾施設で利用	490	102	10	0	42	36	26.1

- ※1 距離の3乗で減衰すると想定する。
- ※2 基本波の帯域内干渉を想定する。
- ※3 漏えい電界強度の目標値を用いて計算する。

5. 船舶無線等 共用検討のまとめ

以下に、船舶無線等とWPTとの周波数共用検討の結果をまとめる。

- ・漏えい電界強度の目標値による所要離隔距離の計算結果は20～30mとなり、実力値を考慮すると共存の可能性はあることは確認した。
- ・ただし、以下の周波数帯域が遭難安全を確保する上で重要な周波数帯であることを考慮し、今後は同一周波数帯の利用をしない方向も視野に入れて検討する。

NAVTEX 518 kHz (424, 490 kHz)

NAVDAT 495-505 kHz

6. 中波ラジオ放送 検討状況

検討体制

総務省 情報流通行政局
放送技術課

総務省 総合通信基盤局
電波部 電波環境課

日本放送協会
株式会社ニッポン放送(一般
社団法人日本民間放送連盟)

ブロードバンドワイヤレスフォーラム
ワイヤレス電力伝送ワーキンググループ

【検討状況】

- 4回の情報交換会を実施した。
- 検討対象は、家電機器用WPT③(モバイル機器)、家電機器用WPT②(家庭・オフィス機器)及び電気自動車用WPTである。
- 共用検討のための条件を検討した。
- 実際の利用シーンを想定し、机上検討によって、WPTの所要離隔距離を算出した。
- 干渉緩和の方策をいくつか挙げた。それぞれの方策について今後検討を進めていく。

6. 中波ラジオ放送 検討の方法

【机上検討の対象】

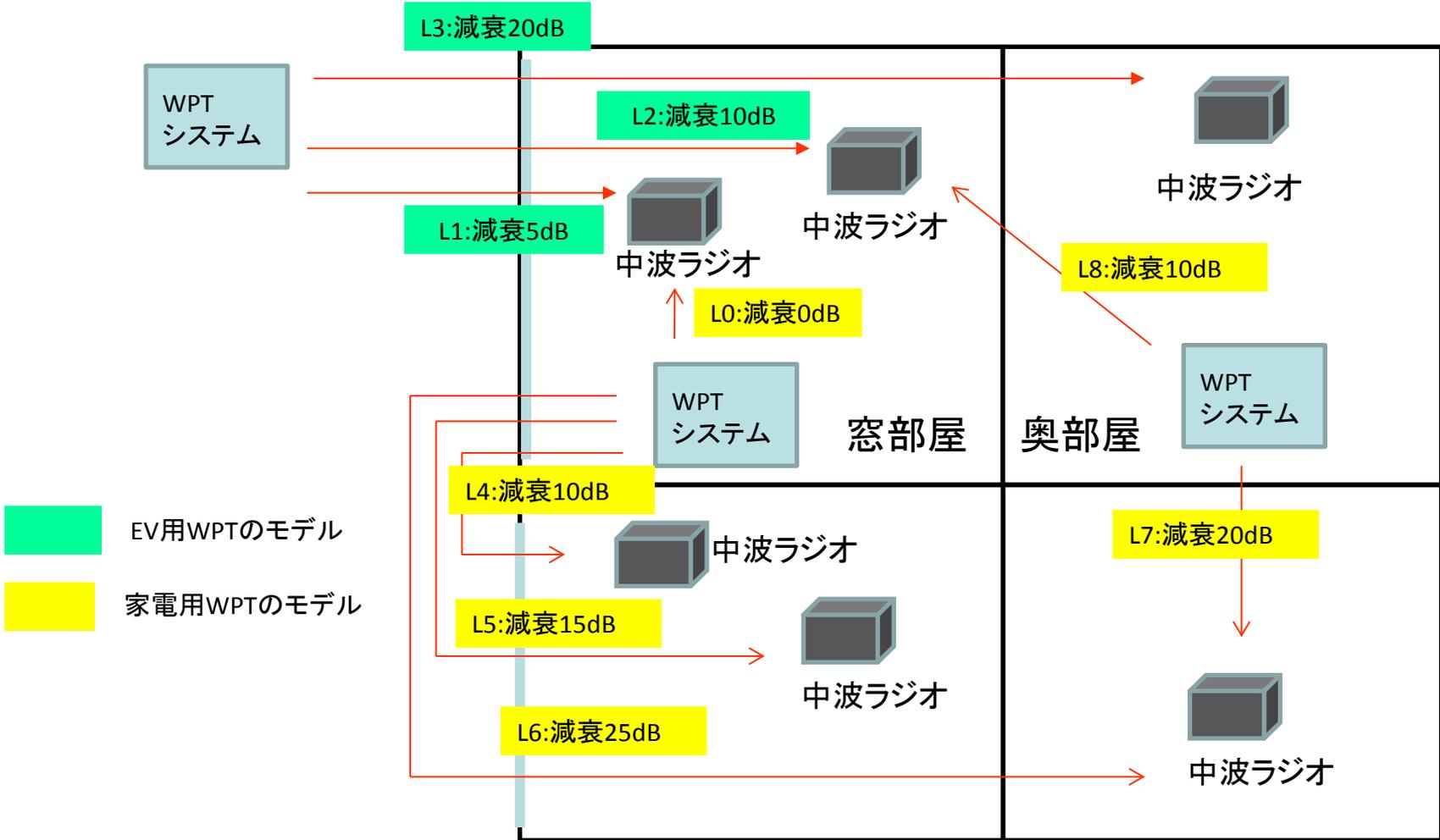
- 中波ラジオ放送では、ビル内等での低受信電界強度環境での聴取困難の発生を最も懸念しているため、主たる被干渉ケースを屋内受信とする。（屋外受信については、必要となった場合に検討する。）
- 対象WPTは、干渉が懸念される隣接する「家電機器用WPT③(電界結合方式)」を基本とし、高次高調波が同じ帯域となる他のWPT(「電気自動車用WPT(磁界結合方式)」及び「家電機器用WPT②(磁界結合方式)」)も追加する。

【周波数共用の進め方と条件】

- ラジオの許容干渉電力は規定されたものが無いため、今回は許容干渉レベルにITU-Rの背景雑音の値を議論の出発点として採用した。 今後は、背景雑音の実測値等の利用可能性も検討する。
- 電気自動車用WPTは、屋外で利用され、1家庭に1台程度となることから、離隔距離を、国際的な考え方等を考慮して10mとする。
- 家電機器用WPTは、屋内で利用され、1家庭に多数台存在しうることから、同一家庭内での利用においては離隔距離は定めず、利用環境を考察して共用条件を検討をする。また、検討に当たっては、複数台が近接して存在することによる電力加算も考慮する。
- 家電機器用WPTと隣家中波ラジオ受信機との関係においては、電気自動車用WPTと同様に離隔距離を、国際的な考え方等を考慮して10mとする。
- WPTの漏えい電界強度の目標値を利用する。
- 干渉波の伝搬に、壁損失(値は暫定)を導入する。
- 上記の検討の結果を受け、干渉緩和の方策を検討し、共用条件の導出をする。

6. 中波ラジオ放送 干渉モデル (ビルディング)

同一家屋内、隣家等で想定される干渉モデルとした。
また、ビルディングは一般的な鉄筋、コンクリート構造を想定した。
ただし、ここで設定した壁による減衰値は暫定値である。



※ 設定した減衰値は、暫定

6. 中波ラジオ放送 机上計算の結果

所要離隔距離計算結果

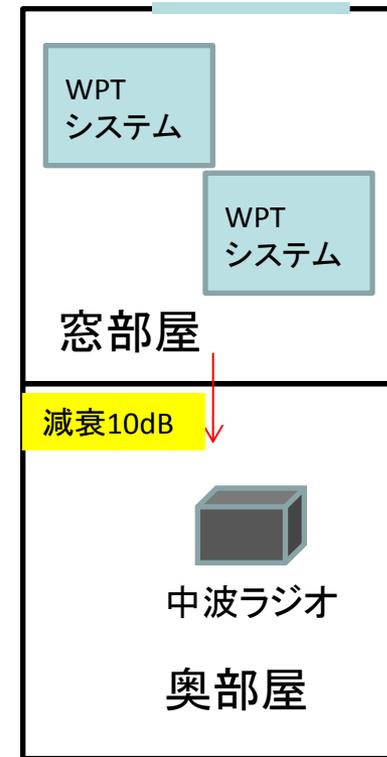
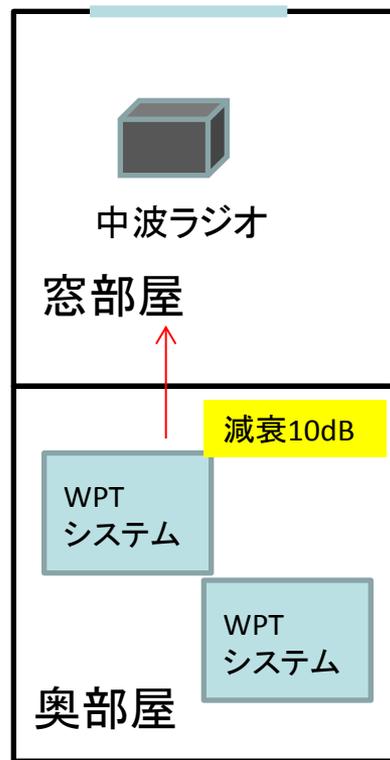
AMラジオ受信条件			漏洩レベル (dBuV/m @3m)	壁損失 (dB)	許容干渉レベル (dBuV/m)	所要離隔距離 (m)
家電機器用WPT③	L0	同一部屋 ITU-R P.372の背景雑音を、許容干渉レベルとする。(WPTは目標値)	71.5	0	18.5	54.8
	L4	隣家 窓際同士	71.5	10	18.5	31.7
	L5	隣家 WPT窓際-ラジオ窓部屋奥	71.5	15	18.5	24.1
	L6	隣家 WPT窓際-ラジオ奥部屋	71.5	25	18.5	13.9
	L7	隣家 奥部屋同士	71.5	20	18.5	18.3
	L8	同一家屋内 WPT奥部屋-ラジオ窓部屋	71.5	10	18.5	31.7
家電機器用WPT②	L0	同一部屋 ITU-R P.372の背景雑音を、許容干渉レベルとする。(WPTは目標値)	71.5	0	23	42.8
	L4	隣家 窓際同士	71.5	10	23	24.8
	L5	隣家 WPT窓際-ラジオ窓部屋奥	71.5	15	23	18.8
	L6	隣家 WPT窓際-ラジオ奥部屋	71.5	25	23	10.9
	L7	隣家 奥部屋同士	71.5	20	23	14.3
	L8	同一家屋内 WPT奥部屋-ラジオ窓部屋	71.5	10	23	24.8
E V	L0	ITU-R P.372の背景雑音を、許容干渉レベルとする。(WPTは目標値)	71.5	0	23	42.8
	L1	窓際	71.5	5	23	32.6
	L2	窓部屋奥	71.5	10	23	24.8
	L3	奥部屋	71.5	20	23	14.3

※ 漏えいレベルはWPTの目標値

6. 中波ラジオ放送 アグリゲーション

家電機器用WPTについては、家庭内での複数台使用がされる可能性があるため、以下のような干渉モデルも想定する。

(干渉確率計算も考慮した、所要離隔距離の検討は今後進めていく。)



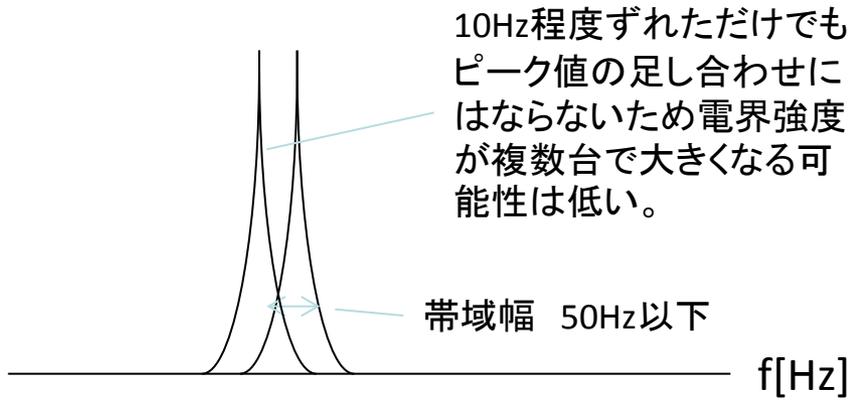
※ 設定した減衰値は、暫定

6. 中波ラジオ放送 アグリゲーション

家電機器用WPTシステムにおいては、周波数帯の中でひとつの周波数を選定し、信号純度の高いシングルトーン(帯域幅:50Hz以下)で電力伝送するため、電力加算された干渉電力になる確率は低いと考えられる。

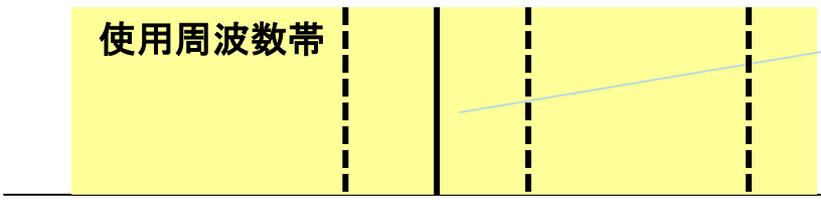
さらに、製造ばらつきによる伝送周波数のずれ、周波数を意図的にランダムに決定する仕組みの適用等の可能性も想定すると、周波数が重なる可能性は更に低い。

周波数スペクトラムのイメージ



参考) 伝送周波数が完全に一致した複数の波が合成された場合の電界強度値

台数	電界強度 uV	電界強度 dBuV
1	211.35	46.5
2	298.89	49.5
3	366.07	51.3
4	422.70	52.5
5	472.59	53.5
10	668.35	56.5



利用周波数帯の中で、ランダムに周波数を選定して伝送することも適用可能。

6. 中波ラジオ放送 干渉緩和の方策

【干渉緩和の方策】(家電機器用WPT③(モバイル機器))

- ・干渉モデルの精査、WPT漏洩電力値の実力値、壁損失、干渉実験結果、背景雑音等の干渉緩和の方策に加え、WPT使用時の注意周知等も考慮し、共存可能な条件を引き続き検討する。
- ・複数台からのアグリゲーションの影響を検討する。

【干渉緩和の方策】(家電機器用WPT②(家庭・オフィス機器))

- ・干渉モデルの精査、WPT漏洩電力値の実力値、壁損失、干渉実験結果、背景雑音等の干渉緩和の方策に加え、WPT使用時の注意周知等も考慮し、共存可能な条件を引き続き検討する。
- ・複数台からのアグリゲーションの影響を検討する。

【干渉緩和の方策】(電気自動車用WPT)

- ・干渉モデルの精査、WPT漏洩電力値の実力値、壁損失、干渉実験結果、背景雑音等の干渉緩和の方策に加え、WPT使用時の注意周知等も考慮し、共存可能な条件を引き続き検討する。