



ワイヤレス電力伝送(WPT)システムの 信号保安設備との周波数共用検討 家電機器用WPT③(モバイル機器)

2014.9.8

ブロードバンドワイヤレスフォーラム

目次

1. 共用検討の概要
2. WPTの許容値
3. 所要離隔距離
4. アグリゲーション
5. まとめ

1. ATS 家電機器用WPT③ 共用検討の概要

共用検討の条件

- ・対象となる信号保安設備
周波数425～524kHz帯を利用するもの
- ・干渉モデル
以下の2状態をモデル化して検討する。
モデル1. WPT機器が車両の外にある場合
モデル2. WPT機器が車両の中にある場合
モデル2の車両内についてはアグリゲーションも考慮した検討を行う。
- ・所要離隔距離の目標値
地上子に対しては1.5m以下であること(建築限界)
車両内でWPTシステムが使用されるモデルにおいては、信号保安設備の車上子(コイル)への干渉も対象となるため建築限界以下の距離が目標値となる。
この時の目標値は0.62mとする。
(車両床からWPT機器までの距離:0.42m+車両床の厚み:0.2m=0.62m)
- ・信号保安設備の妨害許容値
以下に示す通りとする。

WPTの使用周波数 帯域区分	WPT用途	鉄道信号設備の耐妨害特性	
		①「Type A」装置 (1m×1mの1ターン ループ コイルに流れる妨害 電流値)	備考
425～524kHz	家電機器用③	6.3mA	車上子
425～524kHz	家電機器用③	0.35mA	地上子

1. ATS 家電機器用WPT③ 共用検討の概要

以下に、共用検討経過、及び結果の概要を示す。

WPT機器が車両の外にある場合の所要離隔距離

①BWF目標値(-11.5dB μ A/m at 30m)による所要離隔距離計算結果

→2.3m

× 目標値1.5mを上回るためNG

②BWF目標値から12dB低減して所要離隔距離計算を実施

→1.48m

○ 目標値1.5mを下回りOK

WPT機器が車両の中にある場合の所要離隔距離

①地上子への影響

車両内の床面が線路から1.3mの高さにあり、さらにWPT機器が車両床から0.4m程度の高さで利用されると想定すると、地上子～WPT機器間の距離は1.3m+0.4m=1.7mとなり、地上子に対する目標値1.5mよりも離れるため、干渉の可能性はない。

②車上子への影響

BWF目標値から12dB低減して所要離隔計算を実施

→0.56m

○ 目標値0.62mを下回りOK

1. ATS 家電機器用WPT③ 共用検討の概要

アグリゲーションの検討

ケース1: WPT機器の直下ではない位置に車上子が存在する場合
同一車両内で8台が利用されたモデルにて確率計算を実施
→電界強度が上昇する確率=0.3%

ケース2: ある一つのWPT機器の直下に車上子が存在する場合

同一車両内で8台が利用されたモデルを想定した場合、距離損を考慮すると、電界強度の加算対象となる機器がないため、電界強度は上昇しない。

ケース3: 車両の床下に車上子の配線が存在する場合

同一車両内で8台が利用されたモデルにて確率計算を実施
→電界強度が上昇する確率=1.4%

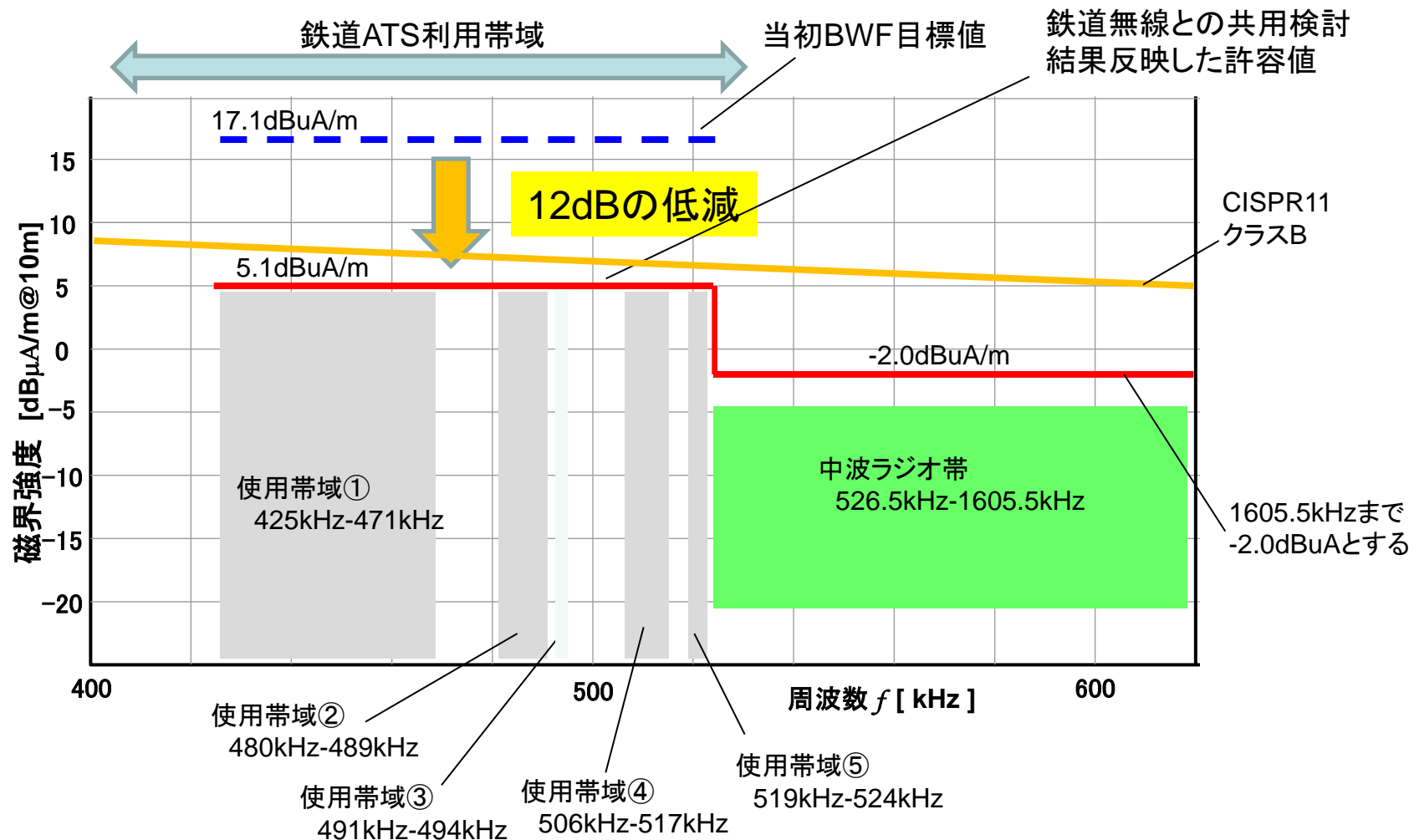
※2台のWPT機器の電界強度が加算された時の所要離隔距離は7cm長くなり、目標値を1cm程度超えるが、車体による遮蔽効果を考慮すれば、実用上は干渉が発生する可能性は低いと考えられる。

以上机上検討の結果では、全てのケースにおいて、複数台利用によって干渉波のレベルが上昇する可能性は低いと考えられる。

2. ATS 家電機器用WPT③ WPT機器の許容値

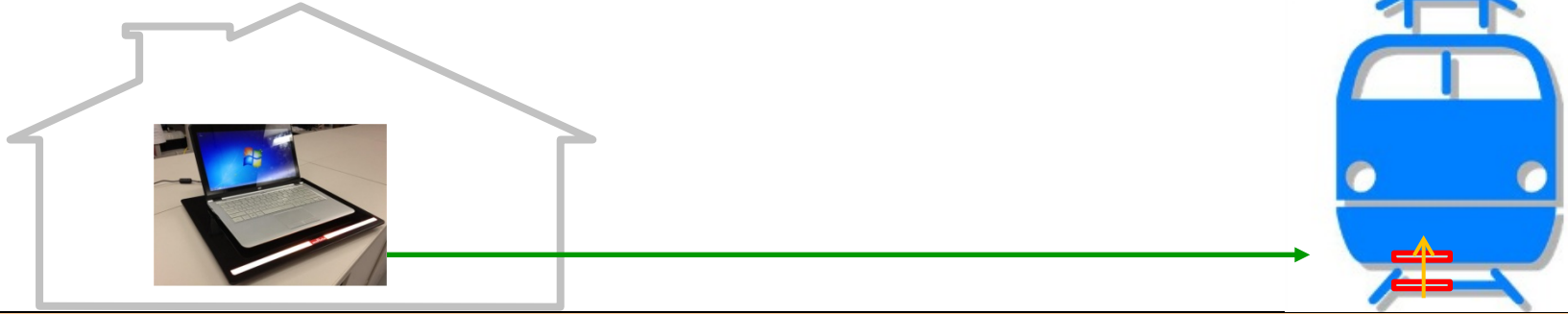
共用検討の結果より、当初の目標値から12dBを低減した目標値に変更したことで、共用条件を満足した。最終的に基本波部分の許容値はCISPR11クラスBよりも低い値に設定されたため、一般的な電子機器よりも厳しい許容値となった。

答申案：基本波、及び中波ラジオ帯の目標値(400kHz～600kHz)



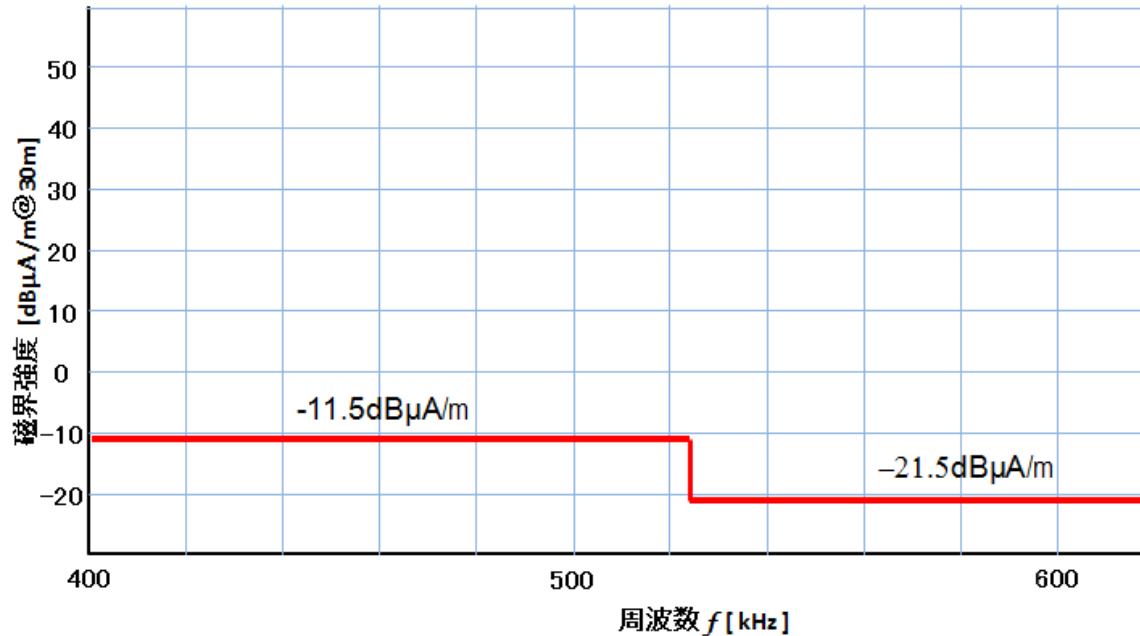
3. ATS 家電機器用WPT③ 所要離隔距離

車両外のケース



家電機器用WPT機器(利用は家屋内)

ATS



モデル1: 車両外のWPT機器と信号保安設備の位置関係

3. ATS 家電機器用WPT③ 所要離隔距離

車両外のケース

- 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、および家電機器用WPT②と同じ考え方を適用した。
- 家電機器用WPT ③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WPT③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最悪条件下での所要離隔距離を計算した。
- その結果、所要離隔距離は2.3mとなった。

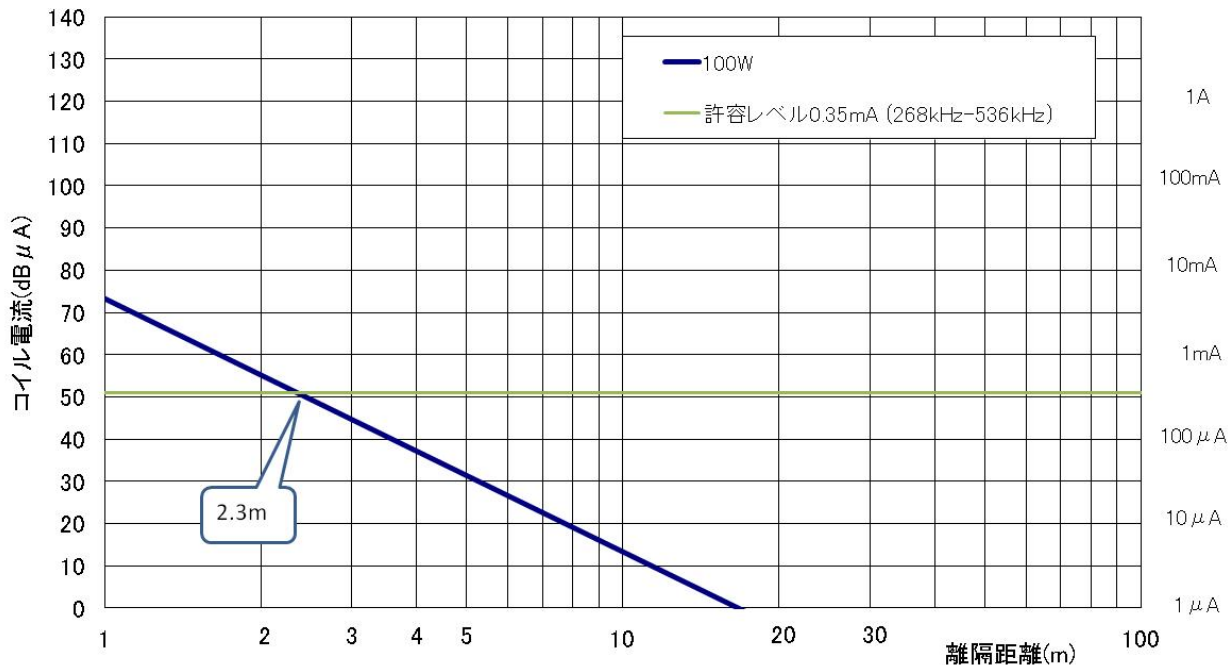
(干渉緩和の方策無し)

ATS 利用周波数	家電機器用 WPT③ 100W				ATS許容干渉レベル			共用可能な離隔距離 (m)
	バンド	最大放射磁界レベル @30m		車両減衰 dB	コイルに流れる電流 (許容電流) mA	許容干渉レベル(磁界強度)		
		mA/m	dB μ A/m			mA/m	dB μ A/m	
425kHz~ 524kHz	425-524kHz	0.00027	-11.5	0.0	0.35	0.6	55.0	2.34

3. ATS 家電機器用WPT③ 所要離隔距離

車両外のケース

- 離隔距離30mの場所での漏えい磁界の同等の磁界となる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100W電力伝送中で30m離れた場所の漏えい磁界は、 $0.27\mu\text{A/m}$ ($-11.5\text{dB}\mu\text{A/m}$)
($10^{(-11.5/20)}=0.266$)
同等磁界となる1ターンループコイルに流れる電流は、 **$0.17\mu\text{A}$ ($-15.4\text{dB}\mu\text{A}$)** ($0.27/1.6\text{倍}=0.169$ 、 $20\times\text{Log}1.6\text{倍}=4.1\text{dB} \rightarrow -11.5-4.1=-15.6$)
- 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. ATS 家電機器用WPT③ 所要離隔距離

車両外のケース

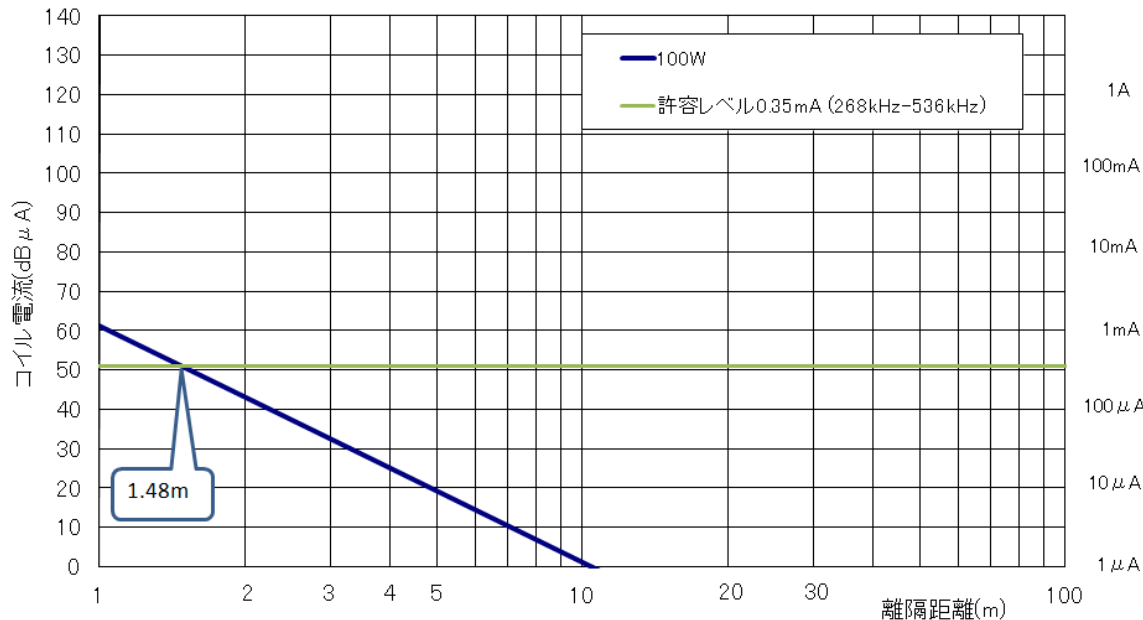
- 机上検討の結果、最悪条件下では、所要離隔距離は、2.3m になった。
- WPTから放射される磁界強度を12dB減衰させれば所要離隔距離1.5m以下となり、共用条件を満たすことができる。

ATS 利用周波 数	家電機器用 WPT③ 100W				ATS許容干渉レベル			共用可能 な離隔距 離 (m)
	バンド	最大放射磁界レベル @30m		車両減衰 dB	コイルに流 れる電流 (許容電流) mA	許容干渉レベル(磁 界強度)		
		mA/m	dB μ A/m			mA/m	dB μ A/m	
425kHz- 524kHz	425-524kHz	0.000067	-23.5	0.0	0.35	0.6	55.0	1.48

3. ATS 家電機器用WPT③ 所要離隔距離

車両外のケース

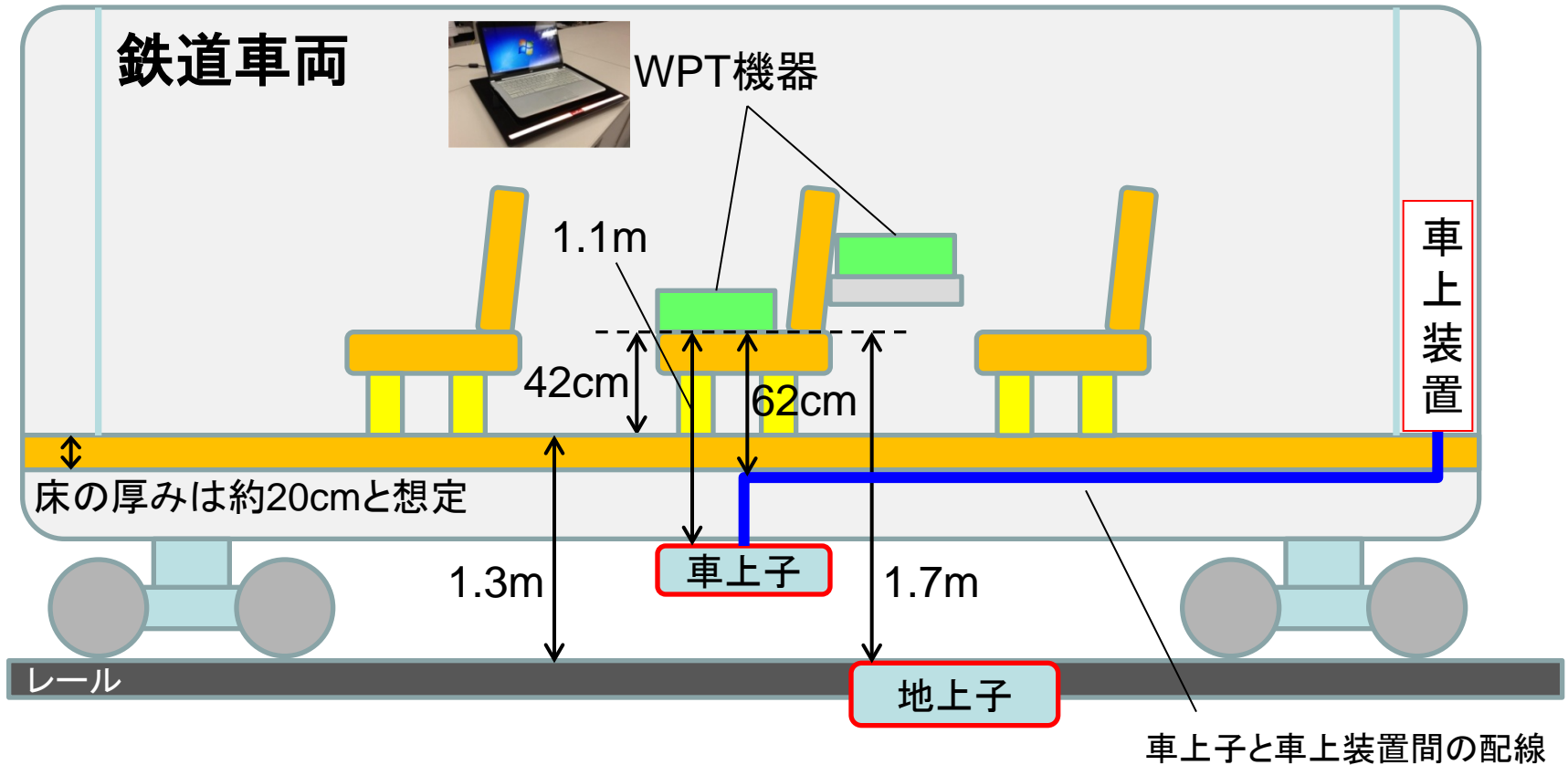
- 離隔距離30mの場所での漏えい磁界の同等の磁界となる1ターンループコイルに流れる電流は、以下のとおりである。
WPTが100W電力伝送中で30m離れた場所の漏えい磁界は、 $0.067\mu\text{A/m}$ ($-23.5\text{dB}\mu\text{A/m}$)
($10^{(-11.5/20)}=0.266$)
同等磁界となる1ターンループコイルに流れる電流は、 **$0.0418\mu\text{A}$ ($-27.57\text{dB}\mu\text{A}$)** ($0.067/1.6\text{倍}=0.0418$ 、 $20\times\text{Log}1.6\text{倍}=4.1\text{dB} \rightarrow -23.5-4.1=-27.6$)
- 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. ATS 家電機器用WPT③ 所要離隔距離

車両内のケース

モデル2: 車両内のWPT機器と信号保安設備の位置関係



- ・家電機器用WPT③機器は、客席でAC100Vが利用できる列車内での使用が想定される。
- ・家電機器用WPT③機器はノートPCやタブレットといった大型の機器の充電用のため、当該機器が置かれる場所としては、テーブル上、座面等が想定される。そこで、本検討では、被干渉側機器との距離が短くなる座面に置いた場合を想定した。
- ・車上子とWPT機器の位置関係としては車上子の配線までの距離を最悪状態と考えた。

車両内のケース

A.WPT機器の地上子への干渉検討

- WPT機器が列車内で使用される場合には、列車外と同様、所要離隔距離が1.48mとなり目標の1.5mを下回る。

ATS 利用周波 数	家電機器用 WPT③ 100W				ATS許容干渉レベル			共用可能 な離隔距 離 (m)
	バンド	最大放射磁界レベル @30m		車両減衰 dB	コイルに流 れる電流 (許容電流) mA	許容干渉レベル(磁 界強度)		
		mA/m	dB μ A/m			mA/m	dB μ A/m	
425kHz- 524kHz	425-524kHz	0.000067	-23.5	0.0	0.35	0.6	55.0	1.48

- 信号保安設備の地上子が使用されている線区の列車においては、線路から車両内の床面までの高さが約1.3mである
- WPT機器を座面に置いて利用する場合を想定すると、離隔距離は約1.7mとなり、所要離隔距離を十分確保できる。さらに、車体による遮蔽の効果を考慮すれば、より安全側になると考えられる。

3. ATS 家電機器用WPT③ 所要離隔距離

車両内のケース

B.WPT機器の車上子への干渉検討

- WPT機器が列車内で使用される場合の車上子に対する所要離隔距離が0.56mとなり目標の0.62mを下回る。

ATS 利用周波 数	家電機器用 WPT③ 100W			車両減衰 dB	ATS許容干渉レベル			共用可能 な離隔距 離 (m)
	バンド	最大放射磁界レベル @30m			コイルに流 れる電流 (許容電流) mA	許容干渉レベル(磁 界強度)		
		mA/m	dB μ A/m			mA/m	dB μ A/m	
425kHz- 524kHz	425-524kHz	0.000067	-23.5	0.0	6.30	10.1	80.1	0.56

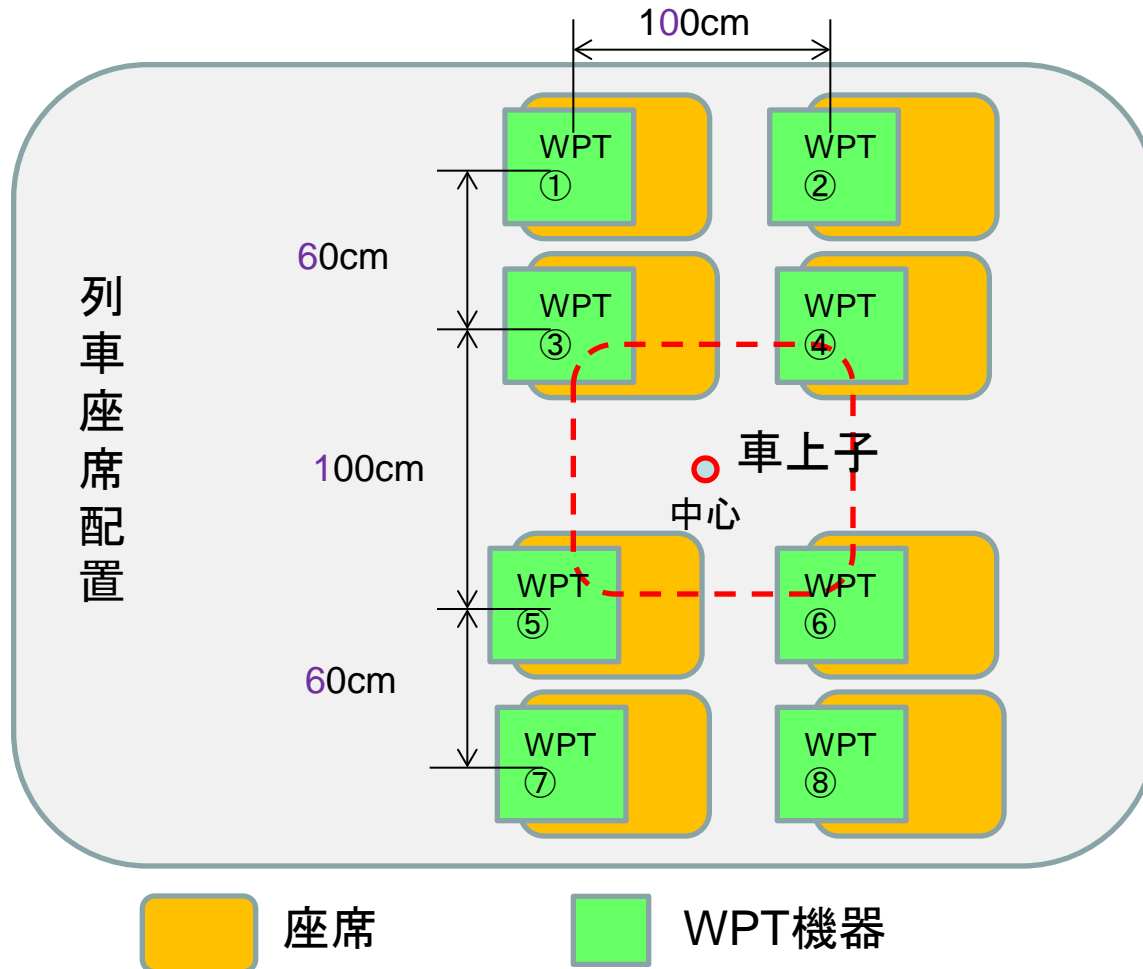
- さらに、車体による遮蔽効果等を考慮すればより安全側になると考えられる。

4. ATS 家電機器用WPT③ アグリゲーション

複数台使用時に基本波が重なり、かつ電界強度が大きくなる確率について実機の設計情報を基に算出する。

計算のモデルは以下のように設定した。

ケース1: WPT機器の直下ではない位置に車上子が存在する場合



- ・左図の配置、機器間、および車上子との距離を計算条件として考える。

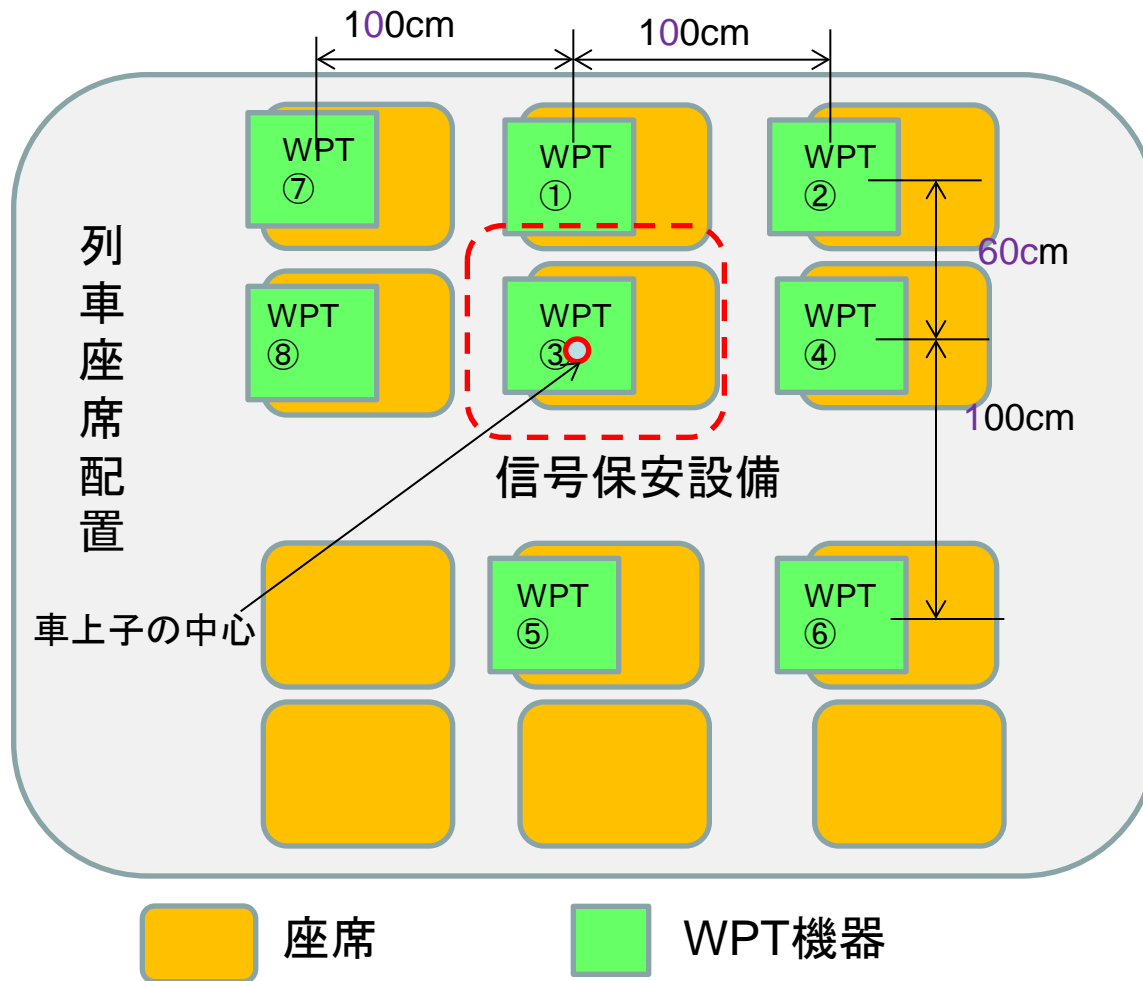
- ・車上子の近くで8台のWPT機器があることを想定

- ・WPT機器は最短0.6mの距離に置かれることを想定。

- ・車上子とWPT機器との距離を1.1mとして考える。

4. ATS 家電機器用WPT③ アグリゲーション

ケース2:ある一つのWPT機器の直下に車上子が存在する場合



・左図の配置、機器間、および信号保安設備との距離を計算条件として考える。

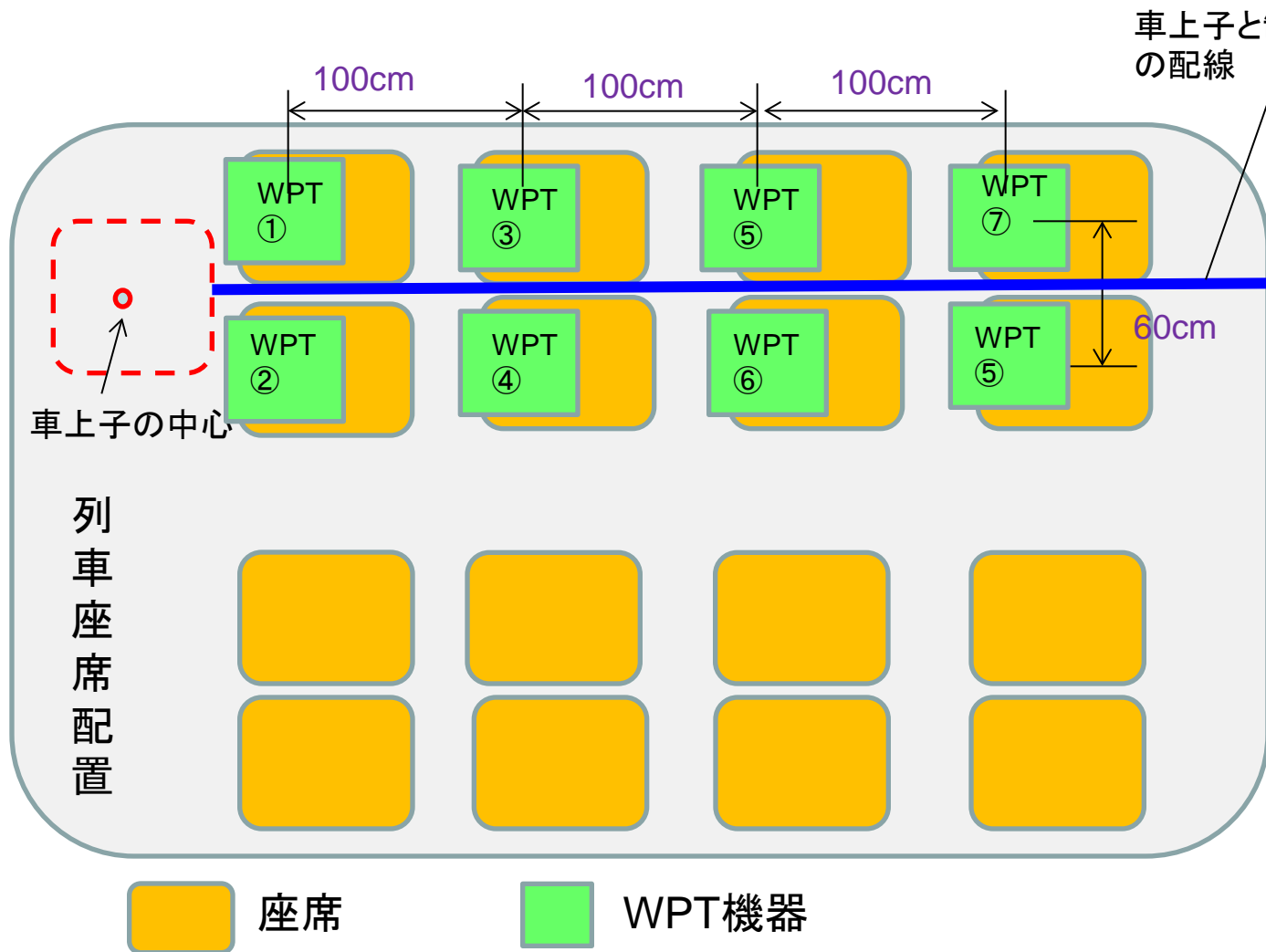
・車上子の近くで8台のWPT機器があることを想定

・WPT機器は最短0.6mの距離に置かれることを想定。

・車上子は列車の床下1.1mの距離にあると想定し、WPT機器との距離を1.7mとして考える。

4. ATS 家電機器用WPT③ アグリゲーション

ケース3: 車両床下に車上子の配線が存在する場合



車上子と制御部間の配線

- ・左図の配置、機器間、および車上子との距離を計算条件として考える。

- ・車上子の近くで8台のWPT機器があることを想定

- ・配線は各WPT機器と同じ距離に設置されていることを想定

- ・車上子の配線は列車車両床下0.2mの距離にあると想定し、WPT機器との距離を0.67mとして考える。

4. ATS 家電機器用WPT③ アグリゲーション

距離減衰、及び確率計算の条件

ケース1:WPT機器の直下ではない位置に車上子が存在する場合

WPT機器③、④、⑤、⑥が最も車上子に近く、車上子の中心からの距離が1.31mとなるため到達する基本波のレベルは93.6dBuV/mになる。(3m時の測定データ72dBuV/mを基に算出)

WPT機器①、②、⑦、⑧の車上子の中心からの距離は1.63mとなるための到達基本波のレベルは87.9dBuV/mとなる。WPT機器③、④、⑤、⑥と比較すると6dB程度の減衰があるため、加算対象から外しても問題ない。

よってWPT③～⑥の4台を確率計算の対象とする。

ケース2:ある一つのWPT機器の直下に車上子が存在する場合

WPT機器③が最も車上子に近く、車上子の中心からの距離が1.1mとなるため到達する基本波のレベルは98.1dBuV/mになる。(3m時の測定データ72dBuV/mを基に算出)

WPT機器③に最も近いWPT機器①の車上子の中心からの距離は1.25mとなるため、到達する基本波のレベルは94.8dBuV/mとなる。WPT機器③と比較すると3dB程度の減衰があるため、加算対象として考慮が必要である。次に離れている②、④の車上子の中心からの距離は1.49mとなり、到達する基本波のレベルは87.2dBuV/mと10dB以上の減衰があるため、加算対象から外しても問題ない。さらに、WPT機器⑤、⑥、⑦、⑧はこれより減衰が大きいことから加算対象から外しても問題ない。

よってWPT①、③の2台を確率計算の対象とする。

4. ATS 家電機器用WPT③ アグリゲーション

距離減衰、及び確率計算の条件

ケース3:車両床下に車上子の配線が存在する場合

このケースでは全てのWPT機器が配線から同じ距離にある。配線からの距離が0.69mとなるため到達する基本波のレベルは110.3dBuV/mになる。(3m時の測定データ72dBuV/mを基に算出)

全てのWPT機器が加算対象となるため、WPT①～⑧の8台を確率計算の対象とする。
また、各台数が同一周波数となった時の電界強度を以下に示す。加算される台数が多いほど電界強度も大きくなる。

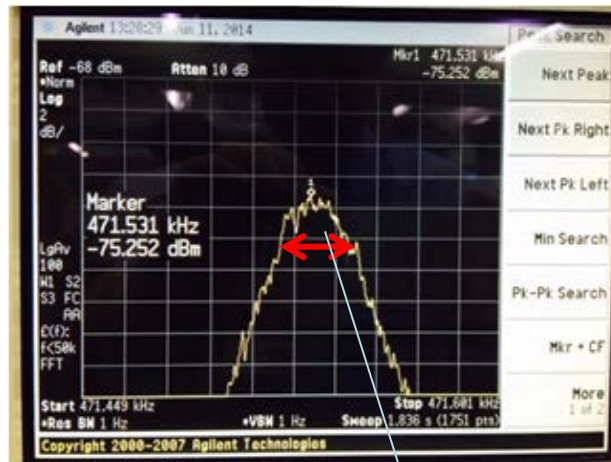
台数	電界強度 uV	電界強度 dBuV/m
1	3981	72
2	5630	75.0
3	6895	76.8
4	7962	78.0
5	8902	79.0
8	11260	81.0

4. ATS 家電機器用WPT③ アグリゲーション

WPT機器の周波数条件

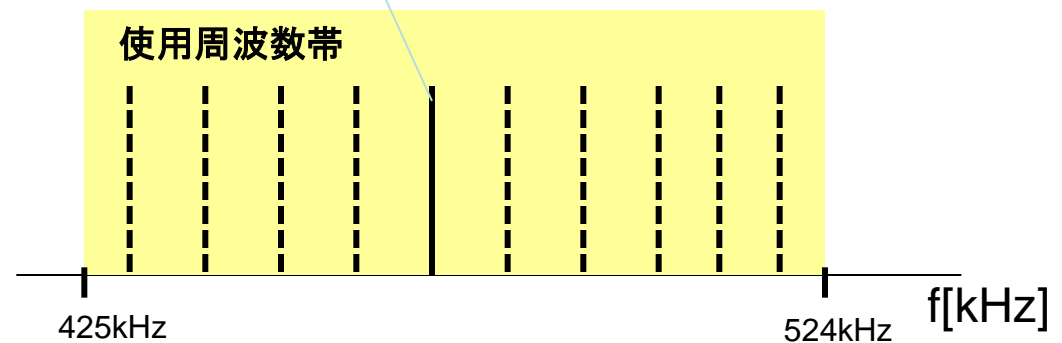
- ・家電機器用WPT③においては、周波数帯の中でひとつの周波数を選定し、信号純度の高いシングルトーン(帯域幅:約20Hz)で電力伝送する。
- ・製造ばらつきによる伝送周波数のずれはWPT基本波の周波数偏差が $\pm 2\text{kHz}$ であるため、とりうる周波数は $4000\text{Hz}/20\text{Hz}=200$ 通りとなる。
- ・選定可能な基本波の周波数は $425\text{kHz}\sim 524\text{kHz}$ の間で10通りと想定すると、
- ・WPT機器は $200 \times 10=2000$ 通りの周波数を持つ。
- ・よって信号保安設備と干渉する可能性がある基本波の取りうる可能性は2000通りである。

周波数スペクトラム波形(基本波)



帯域幅 20Hz

10の周波数のうち1つを選択して電力伝送を行う



4. ATS 家電機器用WPT③ アグリゲーション

確率計算

ケース1:WPT機器の直下ではない位置に車上子が存在する場合

周波数が重なる条件としてもっとも可能性が高いのは、対象となる4台のうち2台が同じ周波数となる場合であり、確率は以下のとおりとなる。

周波数の組合せ数:2000

$$\begin{aligned} \text{確率: } P &= {}_4C_2 \times (1/\text{周波数の組合せ数})^2 \times ((\text{周波数の組合せ数}-1)/\text{周波数の組合せ数})^2 \\ &\quad \times (\text{周波数の組合せ数}) \times 100 \\ &= (4 \times 3)/2 \times (1/2000)^2 \times (1999/2000)^2 \times 2000 \times 100 \\ &= 0.3\% \end{aligned}$$

また、3台が同じ周波数となる確率は同様に計算すると0.0004%となる。

以上の結果より、実用上干渉が発生する可能性は極めて低いと考えられる。

4. ATS 家電機器用WPT③ アグリゲーション

確率計算

ケース2:ある一つのWPT機器の直下に車上子が存在する場合

周波数が重なる条件としてもっとも可能性が高いのは、対象となる2台が同じ周波数となる場合であり、確率は以下のとおりとなる。

周波数の組合せ数:2000

$$\begin{aligned} \text{確率: } P &= (1/\text{周波数の組合せ数})^2 \times 100 \\ &= (1/2000)^2 \times 100 \\ &= 0.000025\% \end{aligned}$$

以上の結果より、実用上干渉が発生する可能性は極めて低いと考えられる。

4. ATS 家電機器用WPT③ アグリゲーション

確率計算

ケース3:車両床下に車上子の配線が存在する場合

このケースでは、8台全てのWPT機器が加算対象となる。この中で2台のWPT機器が同じ周波数になる確率が最も高く、確率は以下のとおりとなる。

周波数の組合せ数:2000

$$\begin{aligned} \text{確率: } P &= {}_8C_2 \times (1/\text{周波数の組合せ数})^2 \times ((\text{周波数の組合せ数}-1)/\text{周波数の組合せ数})^6 \\ &\quad \times (\text{周波数の組合せ数}) \times 100 \\ &= (8 \times 7)/2 \times (1/2000)^2 \times (1999/2000)^6 \times 2000 \times 100 \\ &= 1.4\% \end{aligned}$$

また、3台が同じ周波数となる確率は同様に計算すると0.004%となる。

確率は低いものの2台が同じ周波数になった場合には電界強度が3dB大きくなるため所要離隔距離への影響は発生する。所要離隔距離の計算結果を以下に示す。

ATS 利用周波 数	家電機器用 WPT③ 100W			ATS許容干渉レベル				共用可能 な離隔距 離 (m)
	バンド	最大放射磁界レベル @30m		複数台に よる電界 強度上昇 dB	コイルに流 れる電流 (許容電流) mA	許容干渉レベル(磁 界強度)		
		mA/m	dB μ A/m			mA/m	dB μ A/m	
425kHz- 524kHz	425-524kHz	0.000067	-23.5	3.0	6.30	10.1	80.1	0.63

4. ATS 家電機器用WPT③ アグリゲーション

所要離隔距離は0.56mから0.63mと約7cm長くなり、目標の0.62mを超えてしまう。

しかしながら、このモデルでは8人全員が座席にWPT機器を置き、充電したまま席を立つ状況を想定しているため、実際に発生する可能性は極めて低いこと、また所要離隔距離の計算より車体による遮蔽等、他の緩和要素が0.8dB以上あれば0.62m以下となることから、実用上干渉が発生する可能性は低いと考えられる。

ATS 利用周波数	家電機器用 WPT③ 100W				ATS許容干渉レベル				共用可能な離隔距離 (m)
	バンド	最大放射磁界レベル @30m		その他の緩和要素 dB	複数台による電界強度上昇 dB	コイルに流れる電流(許容電流) mA	許容干渉レベル(磁界強度)		
		mA/m	dB μ A/m				mA/m	dB μ A/m	
425kHz-524kHz	425-524kHz	0.000067	-23.5	-0.8	3.0	6.30	10.1	80.1	0.61

5. ATS 家電機器用WPT③ まとめ

以上の検討結果から家電機器用WPT③は400kHz～500kHz帯を利用する信号保安設備に対して許容値を12dB低減することで共存条件を満足することができた。許容値はCISPR11クラスBの許容値以下となっており、一般電子機器より厳しいことも考慮すると、実用上、干渉の問題が発生する可能性は極めて低いものとする。

- ・WPT機器が車両外にある場合の所要離隔距離は建築限界の1.5mを下回る。
- ・WPT機器が車両内にある場合の所要離隔距離は想定される最短距離である0.62mを下回る。
- ・アグリゲーションの検討結果から、一部の条件で所要離隔距離が0.62mを1cm上回るが、実用上干渉が発生する可能性は低いと考える。