

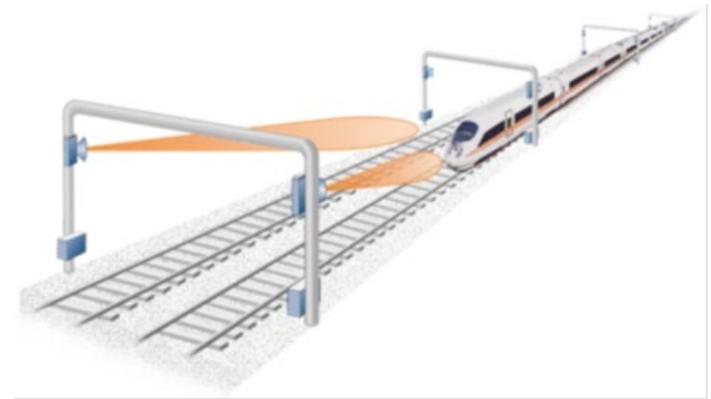
40GHz帯における5Gとの共用検討 (列車無線システム)

株式会社 NTTドコモ

2019年7月31日

共用検討の概要

- 39.5-43.5GHzの5G検討周波数について、**列車無線システム** (43.5-45.5GHz) との共用検討を実施
 - 次世代の列車無線システムとして検討が行われているシステム
 - 列車に取り付けられている無線局と、線路脇に設置されているポールに取り付けられた無線局との間で通信が行われる



出典：APT/AWG/REP-78, APT Report on System Description, Technologies and Implementation of Railway Radiocommunication Systems Between Train and Trackside (RSTT)

39.5 40.0 40.5 41.0 41.5 42.0 42.5 43.0 43.5(GHz)



列車無線システム

1対1対向モデルによる検討（基地局）

- 真横から見た場合

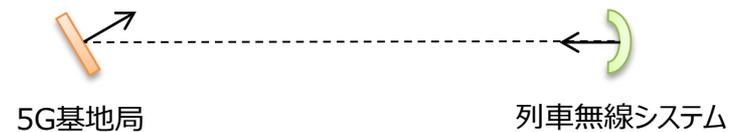


- 真上から見た場合

- 正対条件



- 方位角を変更した条件



共用検討のパラメータ

- 列車無線システム

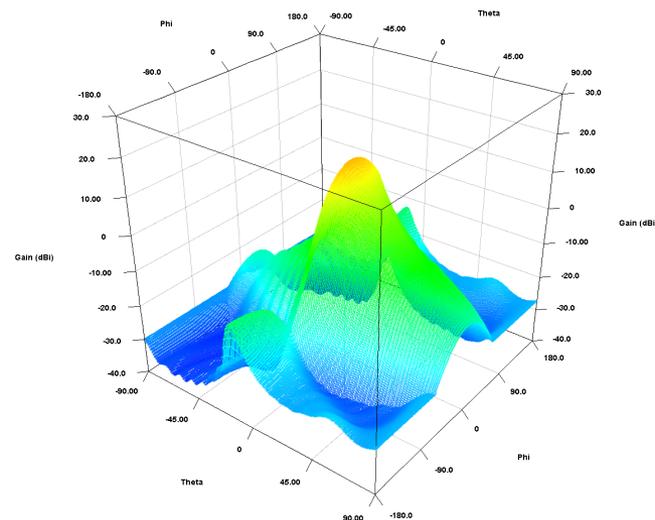
項目	設定値
周波数	43.5GHz
不要発射の強度	-13dBm/MHz
各種損失	0 dB
空中線高	4 m
最大空中線利得	30dBi
空中線指向特性	提示された特性を利用*
機械チルト	0°
許容干渉電力（帯域内）	提示された値を利用*

* * 関係者の開示可否を確認後、提示を検討

共用検討のパラメータ

- 基地局

項目	設定値	備考
周波数	43.5GHz	
空中線電力	6 dBm/MHz	
不要発射の強度	-13dBm/MHz	
空中線に関わる損失	3 dB	隣接周波数干渉（被干渉局）の評価で考慮
空中線高	6 m	
空中線指向特性	勧告ITU-R M.2101準拠	平均パターン（下図参照）
最大空中線利得	約26dBi	素子当たり5 dBi、素子数8×16
機械フィルタ	10°	
許容干渉電力	-108dBm/MHz	I/N=-6 dB、NF=12dB



計算結果

- 1対1対向モデルによる結果

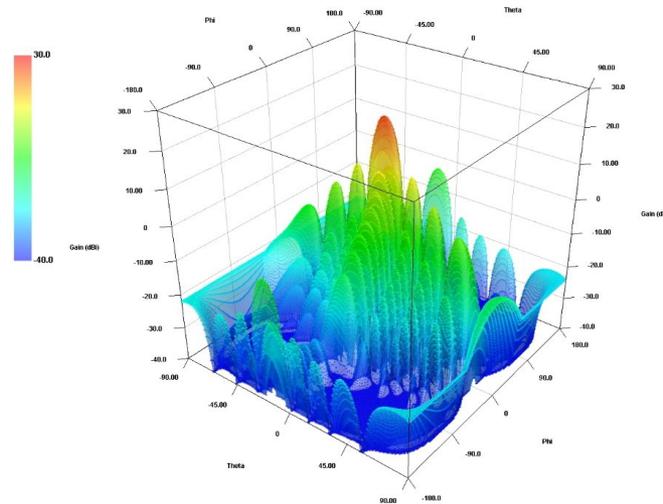
与干渉システム	被干渉システム	周波数配置	配置	1対1対向モデルにおける 最小結合量の条件		所要改善量0dBとなる 水平距離 (m)	
				所要改善量 (dB)	水平距離 (m)		
5G基地局	列車無線システム	隣接周波数	正対		35.4	20	1,700
			5G基地局 (角度変更)	2.0°	35.4	20	1,700
				30.0°	32.9	20	1,400
				45.0°	29.7	20	1,000
				90.0°	3.0	50	113
			列車無線システム (角度変更)	2.0°	31.4	20	1,100
				30.0°	10.4	20	131
				45.0°	10.4	20	131
				90.0°	10.4	20	131
			列車無線システム	5G基地局	隣接周波数	正対	
列車無線システム (角度変更)	2.0°	32.9				20	1,300
	30.0°	11.9				20	155
	45.0°	11.9				20	155
	90.0°	11.9				20	155
5G基地局 (角度変更)	2.0°	36.9				20	2,100
	30.0°	34.4				20	1,600
	45.0°	31.2				20	1,200
	90.0°	4.5				50	142

モンテカルロ・シミュレーションによる検討 (基地局)

- 5G基地局と列車無線システムの無線局の設置地点の位置関係については、様々なパターンが存在する
- さらに、ビームフォーミングを適用した5G基地局では、空中線指向特性が動的に変動する
- 以上の変動的な要素を加味した共用検討として、モンテカルロ・シミュレーションを用いた評価を実施した
 - 被干渉局を中心とする半径1kmの範囲に1局の与干渉局を配置
 - 5G基地局のビームフォーミングした空中線指向特性は、瞬時パターンを利用
(基地局の空中線地上高6m、基地局-陸上移動局間距離が50mの条件)
 - 与干渉局の配置と空中線指向方向(方位角)を変えながら、合計180,000のスナップショットから干渉電力分布を作成し、確率的に干渉影響を評価

共用検討のパラメータ

- 列車無線システムのパラメータは 1 対 1 対向モデルと同じ
- 基地局のパラメータは、空中線指向特性についてのみ変更
 - 基地局と陸上移動局間の距離が50mの条件で生成される瞬時パターンを各試行で利用
 - それ以外のパラメータは、1 対 1 対向モデルと同じ



計算結果（1）

- モンテカルロ・シミュレーションによる結果

与干渉システム	被干渉システム	周波数配置	無線局間の 最小離隔距離	干渉電力累積分布の 97%値(dBm/MHz)	左記97%値における 所要改善量(dB)
5G基地局	列車無線 システム	隣接周波数	0m	-102.8	0.8
			100m	-101.0	2.6
			200m	-102.3	1.2
			300m	-102.7	0.8
			400m	-103.5	0.0
			500m	-104.0	-0.5
			600m	-104.3	-0.8
			700m	-104.9	-1.4
			800m	-105.7	-2.2
			900m	-105.9	-2.4
列車無線 システム	5G基地局	隣接周波数	0m	-105.2	2.8
			100m	-103.5	4.5
			200m	-103.6	4.4
			300m	-104.9	3.1
			400m	-104.9	3.1
			500m	-105.6	2.4
			600m	-105.6	2.4
			700m	-106.2	1.8
			800m	-106.7	1.3
			900m	-107.7	0.3

計算結果（2）

- 無線局間の離隔距離が小さい条件で、双方の無線局の空中線方位角が正対するのを避けるように配置することを考慮した結果

与干渉システム	被干渉システム	周波数配置	無線局間の 最小離隔距離	方位角のずれ	干渉電力累積分布の 97%値(dBm/MHz)	左記97%値における 所要改善量(dB)
5G基地局	列車無線 システム	隣接周波数	0m	±0.5度以上	-112.181	-8.7
列車無線 システム	5G基地局	隣接周波数	0m	±0.5度以上	-112.499	-4.5

モンテカルロ・シミュレーションによる検討 (陸上移動局)

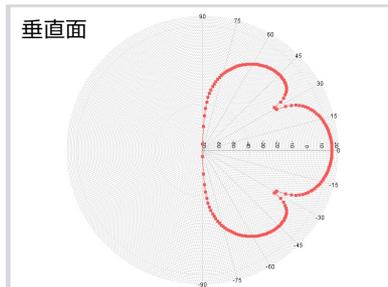
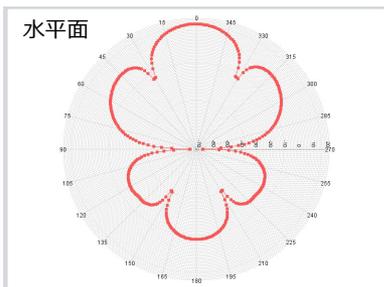
- 陸上移動局からの干渉影響の評価
 - 被干渉局の周囲、半径100mの円内に、同一タイミングで送信する3台の陸上移動局をランダムに配置し、これらの複数の陸上移動局からの被干渉局に到達する総干渉電力を計算する
 - 陸上移動局の配置パターンを変化させて複数回の計算を実施し、合計の干渉電力の値が被干渉局の許容干渉電力の値を超える確率が3%以下となる条件において、所要改善量を求める
- 陸上移動局への干渉影響の評価
 - 陸上移動局の周囲、半径100mの円内に、1台の与干渉局をランダムに配置し、与干渉局から陸上移動局に到達する干渉電力を求める
 - 与干渉局の配置パターンを変化させて複数回の計算を実施し、干渉電力の値が陸上移動局の許容干渉電力の値を超える確率が3%以下となる条件において、所要改善量を求める

共用検討のパラメータ

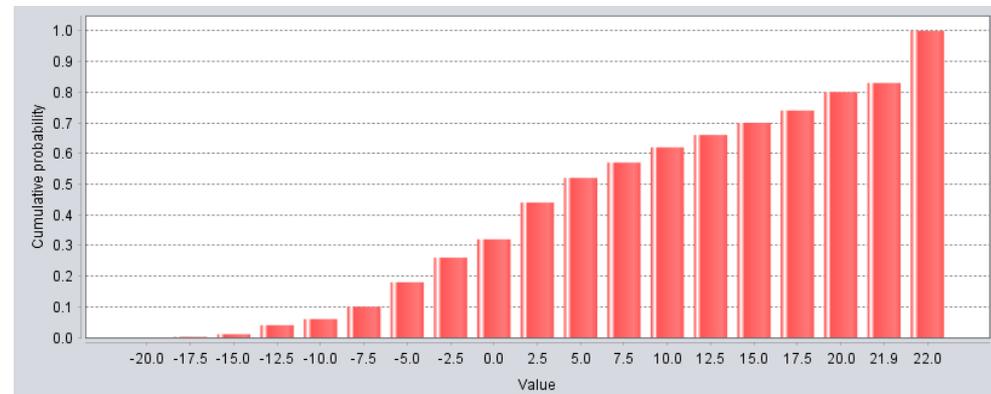
- 列車無線システムのパラメータは 1 対 1 対向モデルと同じ
- 陸上移動局のパラメータ

項目	設定値	備考
周波数	43.5GHz	
不要発射の強度	-13dBm/MHz	
空中線に関わる損失	3 dB	被干渉局となる場合に考慮
空中線高	1.5m	
空中線指向特性	勧告ITU-R M.2101準拠	瞬時パターン
最大空中線利得	17dBi	素子数 4 × 4
その他損失	4 dB	人体吸収損
許容干渉電力	-108dBm/MHz	I/N=- 6 dB、NF=12dB

空中線指向特性



送信電力分布



計算結果

- 前頁の条件に基づく、モンテカルロ・シミュレーションによる結果

与干渉局	被干渉局	所要改善量 (dB)
陸上移動局	列車無線システム	16.0
列車無線システム	陸上移動局	15.7

- 所要改善量が10dB以上残るため、より現実的なシナリオとして、列車無線システムの送受信機の間、5Gの陸上移動局が存在しないとの条件を加味し、モンテカルロ・シミュレーションを行ったときの結果
 - 実際の評価では、列車無線システムの空中線指向特性のメインローブ（最大利得から±2度の範囲）に5Gの陸上移動局が存在しないとの条件で評価

与干渉局	被干渉局	所要改善量 (dB)
陸上移動局	列車無線システム	-4.2
列車無線システム	陸上移動局	-9.7

共用検討結果のまとめ（隣接帯域）

- 5Gシステムの基地局と列車無線システムの無線局の1対1の対向モデルを用いた評価では、お互いの無線局の水平面の最大空中線利得が正対する条件において、2 km程度の離隔距離が必要との結果になった。
- 5Gシステムの基地局と列車無線システムの無線局の位置関係は様々なパターンが想定されること、ビームフォーミングを適用した5Gシステムの基地局では、空中線指向特性が動的に変動することを踏まえ、モンテカルロ・シミュレーションによる確率的な評価も行った。その場合、許容干渉発生確率3%の条件で、所要改善量は5 dB程度以下となる。また、離隔距離が小さい条件で、双方の無線局の空中線の方位角が正対しないように配置する対策をとれば、所要改善量を0 dB以下とすることが可能である。
- 上記の評価において、モンテカルロ・シミュレーションによる評価がより現実の利用シーンを反映していることや、双方の無線局の不要発射の強度や、評価に用いた許容干渉電力にはマージンが含まれる（実際の通信に影響が出る干渉電力のレベルには余裕がある）ことを考慮すると、5Gシステムの基地局と列車無線システムは、隣接周波数の条件で共用可能であると考えられる。

共用検討結果のまとめ（隣接帯域）

- 5Gシステムの陸上移動局と列車無線システムの無線局が隣接周波数を用いる場合について、モンテカルロ・シミュレーションによる共用検討を行ったところ、所要改善量が16dB程度残る結果が得られた。
- そこで、より現実的なシナリオとして、列車無線システムの送受信機の間、5Gの陸上移動局が存在しないとの条件を加味し、モンテカルロ・シミュレーションを行ったところ、いずれの条件でも所要改善量が0 dB以下となった。
- 以上より、5Gシステムの陸上移動局と列車無線システムは、隣接周波数の条件で共用可能であると考えられる。