

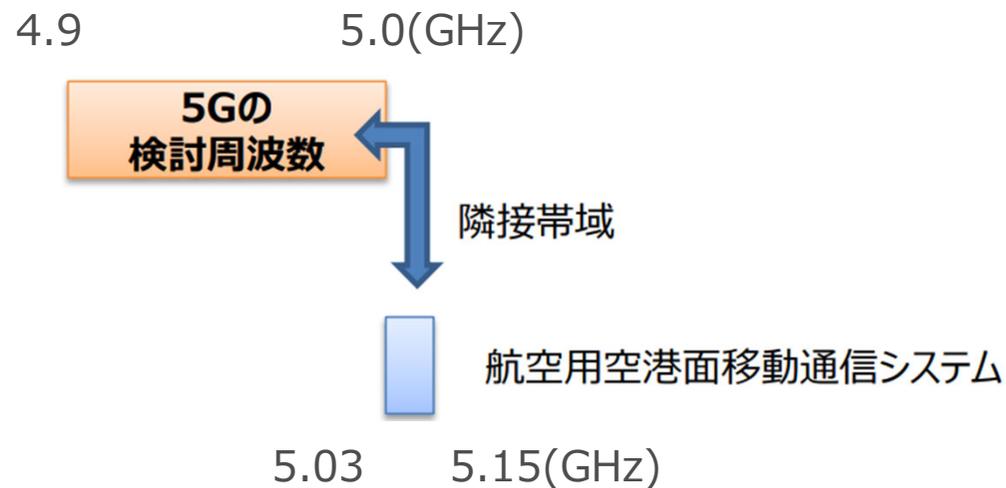
航空用空港面移動通信システムとの共用検討結果

ソフトバンク株式会社

2023年11月21日

はじめに

- 4.9～5.0GHz（4.9GHz帯）における5Gシステムの導入可能性を検討するため、航空用空港面移動通信システム（5.03～5.15GHz）との、隣接帯域における共用検討を実施する。
- 第31回 技術検討作業班では共用検討に用いる諸元及び手法について説明。
 - 受領したコメント：航空用空港面移動通信システムの空中線指向特性の条件が「被干渉の場合は水平面より上も最大利得」とされている点について、分かり易いように設定頂きたい
- 本資料では、上記への回答及び共用検討の結果について報告する。



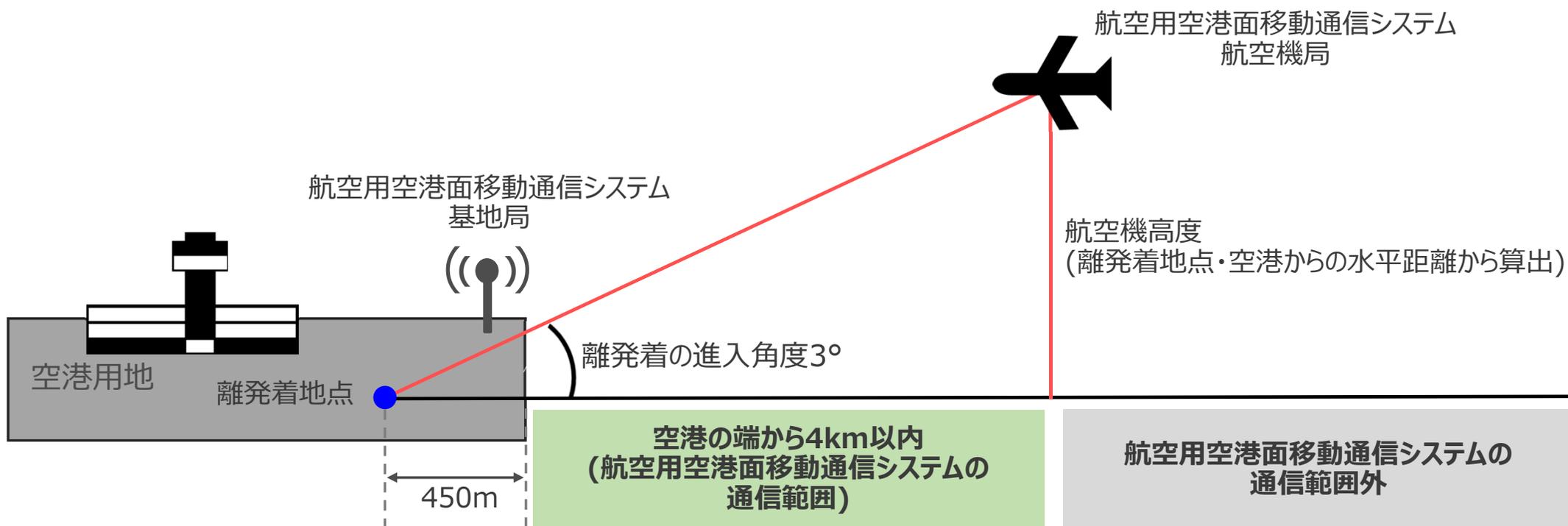
航空用空港面移動通信システムの共用検討パラメータ

項目	航空用空港面移動通信システム 基地局	航空用空港面移動通信システム 航空機局（地上走行 及び 上空利用時）
最大実効放射電力	39.4dBm/ 5 MHz	30.0dBm/ 5 MHz
不要発射の強度	-50dBc（5 MHz離調）	-50dBc（5 MHz離調）
最大空中線利得	16dBi	6 dBi
空中線指向特性	水平面より下は最大利得 被干渉の場合は、水平面より上も最大利得※1	水平面より下は最大利得 被干渉の場合は、水平面より上も最大利得※1
空中線地上高	17.5m（平均値） 37m（最大値）	地上走行時：10m（大型の機体） 上空利用時：10m以上
給電線損失	3 dB	3 dB
許容干渉電力（帯域内干渉）	-110dBm/ 5 MHz	-110dBm/ 5 MHz
許容干渉電力（帯域外干渉）	-43dBm（5 MHz離調）	-43dBm（5 MHz離調）

※1 複数アンテナを用いるため、各アンテナの最大利得として考慮
赤字は2020年の共用検討からの差分を示す

航空用空港面移動通信システムの通信範囲、航空機局の離発着位置

- 航空用空港面移動通信システム 航空機局(上空利用)との共用検討
 - 5G基地局との共用検討は1対1対向モデル、5Gの陸上移動局（HPUE含む）・小電力レピータ・フェムトセル基地局は電波高度計と同等手法を用いる
 - 航空用空港面移動通信システムの通信の**最大距離は4km**、航空機局の高度は**離発着位置を空港端から内側450m**、進入角度 3° として算出して評価



共用検討の結果

航空用空港面移動通信システム基地局と5Gシステム基地局との共用検討結果

- お互いの無線局の水平距離が10mの条件において、最小結合量の条件での干渉の影響を、1対1対向モデル、平均パターン及び**最大パターン**で評価
→航空用空港面移動通信システム基地局の空中線指向特性から、5Gスモールセル基地局及びマクロセル基地局とも10mの条件で評価
- 5Gシステムの基地局から航空用空港面移動通信システム基地局への帯域内干渉に関わる所要改善量が支配的。

5Gスモールセル基地局から 航空用空港面移動通信システム基地局への干渉影響

周波数配置	干渉種別	配置	最小結合量における結果		
			水平距離 (m)	平均パターン・所要改善量 (dB)	最大パターン・所要改善量 (dB)
隣接周波数	帯域内干渉	正対	10	37.1	57.9
	帯域外干渉		10	-11.9	8.9

5Gマクロセル基地局から 航空用空港面移動通信システム基地局への干渉影響

周波数配置	干渉種別	配置	最小結合量における結果		
			水平距離 (m)	平均パターン・所要改善量 (dB)	最大パターン・所要改善量 (dB)
隣接周波数	帯域内干渉	正対	10	72.3	82.1
	帯域外干渉		10	34.3	44.1

航空用空港面移動通信システム基地局から 5Gスモールセル基地局への干渉影響

周波数配置	干渉種別	配置	最小結合量における結果		
			水平距離 (m)	平均パターン・所要改善量 (dB)	最大パターン・所要改善量 (dB)
隣接周波数	帯域内干渉	正対	10	12.5	33.3
	帯域外干渉		10	6.5	27.3

航空用空港面移動通信システム基地局から 5Gマクロセル基地局への干渉影響

周波数配置	干渉種別	配置	最小結合量における結果		
			水平距離 (m)	平均パターン・所要改善量 (dB)	最大パターン・所要改善量 (dB)
隣接周波数	帯域内干渉	正対	10	23.7	50.5
	帯域外干渉		10	17.7	44.5

航空用空港面移動通信システム基地局と5Gシステム基地局との共用検討結果(続き)

- 5Gシステムの基地局から航空用空港面移動通信システムへの帯域内干渉の影響について、水平距離を100m、200m、500m、1 km、2 km、5 km、10km、20km、40km、50kmに変化させて評価

5Gスモールセル基地局から
航空用空港面移動通信システム基地局への干渉影響

周波数 配置	干渉 種別	配置	最小結合量における結果		
			水平距離 (km)	所要改善量(dB) (平均パターン)	所要改善量(dB) (最大パターン)
隣接周 波数	帯域内 干渉	正対	0.1	29.3	46.4
			0.2	26.2	42.4
			0.5	19.8	35.1
			1	15.1	29.6
			2	9.1	23.6
			5	1.1	15.7
			10	-4.9	9.6
			20	-10.9	3.6
			40	-16.8	-2.4
			50	-18.9	-4.3

5Gマクロセル基地局から
航空用空港面移動通信システム基地局への干渉影響

周波数 配置	干渉 種別	配置	最小結合量における結果		
			水平距離 (km)	所要改善量(dB) (平均パターン)	所要改善量(dB) (最大パターン)
隣接周 波数	帯域内 干渉	正対	0.1	50.5	62.4
			0.2	43.5	56.0
			0.5	34.3	47.6
			1	28.3	41.6
			2	22.3	35.6
			5	14.3	27.6
			10	8.3	21.6 ※1
			20	2.3	15.6
			40	-3.7	9.5
			50	-5.7	7.6

※1 12kmの水平距離で最大パターンの所要改善量は20.0dB

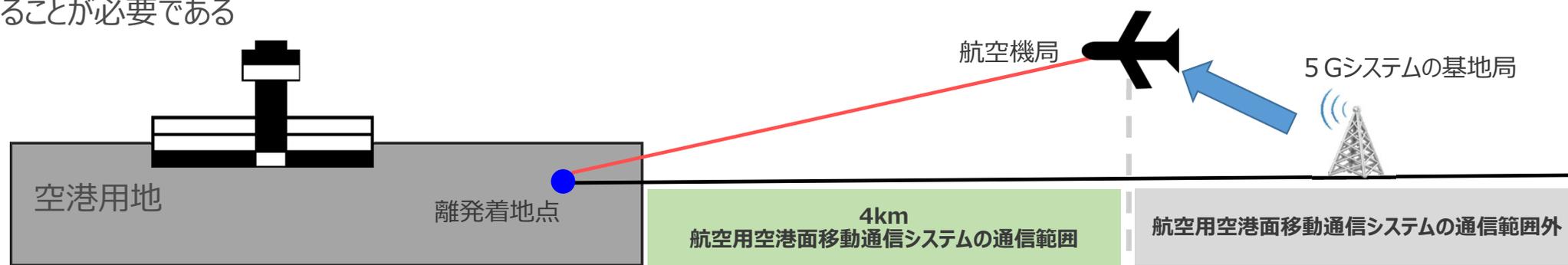
※2 最大パターンの場合、120kmで所要改善量は-0.01dB

- 5Gシステムの基地局から航空用空港面移動通信システム 基地局への帯域内干渉の影響が最も大きく、スモールセル基地局では40km、マクロセル基地局では120kmとなるように空港からの離隔距離を確保する必要がある。
- 上記の水平距離は、共用検討で用いた5Gシステムの基地局の不要発射の強度（スモールセル基地局では-16dBm/MHz、マクロセル基地局では-4 dBm/MHz）に基づいて算出された数字である。5Gシステムの基地局の不要発射の強度の実力値がこれらの値よりも改善すれば、必要な空港からの離隔距離を低減することが可能である。例えば、**実力値が共用検討で用いた数値に比較して10dB改善すれば、スモールセル基地局では10km、マクロセル基地局では40km、20dB改善すればスモールセル基地局では5km、マクロセル基地局では12km、スモールセル基地局で24dB改善すれば2km、マクロセル基地局で28dB改善すれば5kmの距離に低減される(※)。**

※ 第21回技術検討作業班の検討結果である、平均パターンにおける実力値が10dB改善した場合の空港からの必要な離隔距離（スモールセル基地局で2km、マクロセル基地局で5km）から所要改善量を算出

航空用空港面移動通信システム航空機局(上空利用)と5Gシステム基地局の共用検討結果

- 最も5Gシステムの基地局からの与干渉量が大きくなる航空用空港面移動通信システム航空機局を空港からの水平距離4kmとし、5Gシステムの基地局の空港からの水平距離を変化させ、所要改善量が0dB、10dB、20dB、スモールセル基地局の場合は24dB、マクロセル基地局の場合は28dB以下となる空港からの水平距離を評価
- 5Gシステムの基地局から航空用空港面移動通信システムの基地局への影響と併せて考慮し、干渉調整が必要な範囲を決定することが必要である



5Gスモールセル基地局から航空用空港面移動通信システム航空機局への干渉影響(1対1対向モデル)

周波数配置	干渉種別	最小結合量における結果	
		空港からの水平距離(km)	所要改善量(dB)
隣接周波数	帯域内干渉	4.1	23.1
		4.3	18.0
		5.1	9.2
		13.0	0.0

5Gマクロセル基地局から航空用空港面移動通信システム航空機局への干渉影響(1対1対向モデル)

周波数配置	干渉種別	最小結合量における結果	
		空港からの水平距離(km)	所要改善量(dB)
隣接周波数	帯域内干渉	4.5	26.8
		5.3	19.8
		15.0	9.3
		40.0	-0.2

航空用空港面移動通信システムと5Gシステム基地局との共用検討結果

- 航空用空港面移動通信システム基地局・航空機局への5Gシステムの基地局からの影響評価により算出した空港からの必要な離隔距離を整理

5Gスモールセル基地局から 航空用空港面移動通信システムへの干渉影響(1対1対向モデル)

周波数配置	干渉種別	5Gの基地局 実力値の 改善量 (dB)	空港からの水平距離	
			航空用空港面移動通信システム 基地局との 共用検討結果 (km)	航空用空港面移動通信システム 航空機局との 共用検討結果 (km)
隣接周波数	帯域内干渉	0	40.0	13.0
		10	10.0	5.1
		20	5.0	4.3
		24	2.0	4.1

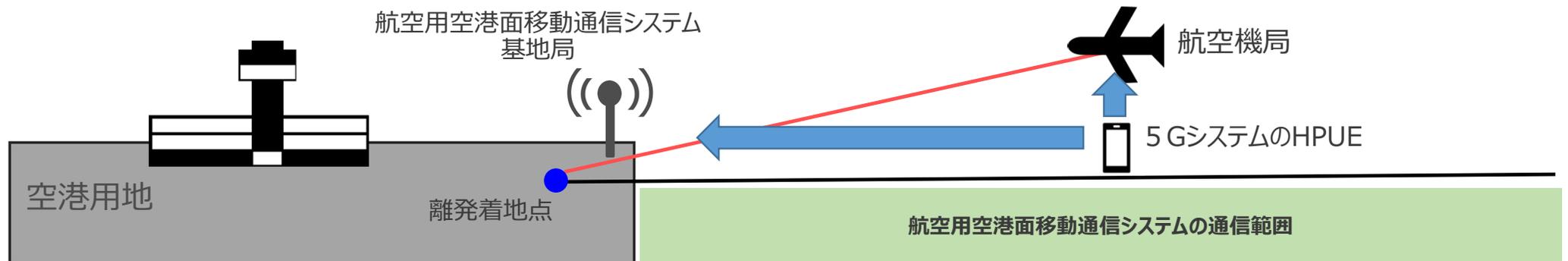
5Gマクロセル基地局から 航空用空港面移動通信システムへの干渉影響(1対1対向モデル)

周波数配置	干渉種別	5Gの基地局 実力値の 改善量 (dB)	空港からの水平距離	
			航空用空港面移動通信システム 基地局との 共用検討結果 (km)	航空用空港面移動通信システム 航空機局との 共用検討結果 (km)
隣接周波数	帯域内干渉	0	120.0	40.0
		10	40.0	15.0
		20	12.0	5.3
		28	5.0	4.5

※ 黄色セルは、航空用空港面移動通信システムの基地局・航空機局のうち影響が支配的となるものを示す

航空用空港面移動通信システムと5Gシステム移動局等の共用検討結果

- 5GシステムのHPUE(29dBm)と空港面移動通信システムの基地局・航空機局(上空利用)との影響を、1対1対向モデルでHPUEと空港の距離を10m、500m、1000m地点と変化させて評価
- 空港から100m以上離隔させた場合、5G HPUEから航空用空港面移動通信システム 航空機局への帯域内干渉が支配的



5G HPUE(29dBm)から
航空用空港面移動通信システムへの干渉影響(1対1対向モデル)

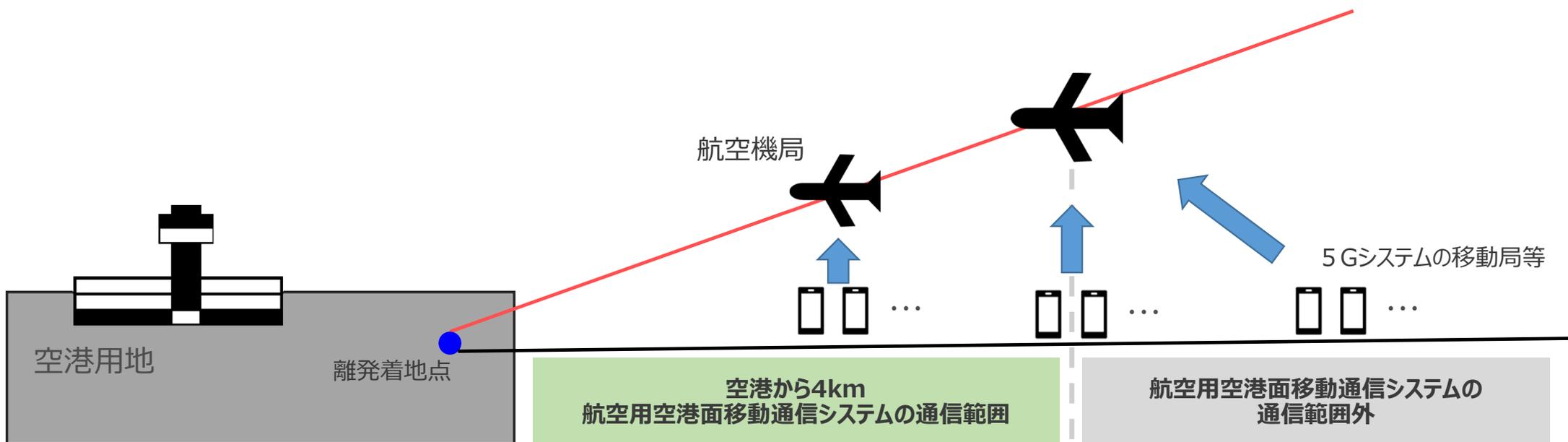
干渉種別	最小結合量における結果		
	HPUEと空港の 水平距離(m)	HPUEから基地局への 所要改善量(dB)	HPUEから航空機局 の所要改善量(dB)
帯域内干渉	10	28.1	13.3
	500	-0.4	8.3
	1000	-6.4	5.0
帯域外干渉	10	-7.9	-22.7
	500	-36.4	-27.7
	1000	-42.4	-31.0

航空用空港面移動通信システムから
5G HPUE(29dBm) への干渉影響(1対1対向モデル)

干渉種別	最小結合量における結果		
	HPUEと空港の 水平距離(m)	基地局からHPUEへの 所要改善量(dB)	航空機局からHPUEへ の所要改善量(dB)
帯域内干渉	10	13.3	-0.9
	500	-15.2	-5.9
	1000	-21.2	-9.2
帯域外干渉	10	-0.5	-14.7
	500	-29.0	-19.7
	1000	-35.0	-23.0

航空用空港面移動通信システム航空機局(上空利用)と5Gシステム移動局等の共用検討結果

- 陸上移動局(HPUE含む)・小電力レピータ・フェムト基地局から航空用空港面移動通信システム 航空機局への帯域内干渉について、電波高度計と同等の手法を用いて評価
- 空港からの距離が、航空用空港面移動通信システムの最大通信範囲の4km以内の場合は、航空機局の水平距離を中心とする4km×4km矩形に与干渉局をランダム配置した場合のアグリゲート干渉量で評価。航空機局の水平距離4kmとしても所要改善量が残る場合、航空機局と5Gシステムの離隔距離を設けてランダム配置して評価



航空用空港面移動通信システム航空機局(上空利用)と5Gシステム移動局等の共用検討結果(続き)

- 陸上移動局(HPUE含む)・小電力レピータ・フェムト基地局から航空用空港面移動通信システム 航空機局への帯域内干渉について、電波高度計と同等の手法を用いて評価
- 空港からの距離が、航空用空港面移動通信システムの最大通信範囲の4km以内の場合は、航空機局の水平距離を中心とする4km×4km矩形に与干渉局をランダム配置した場合のアグリゲート干渉量で評価。航空機局の水平距離4kmとしても所要改善量が残る場合、航空機局と5Gシステムの離隔距離を設けてランダム配置して評価

5Gシステムから航空用空港面移動通信システム 航空機局(上空利用)への干渉影響 (高度計同等手法)

干渉種別	与干渉局	被干渉局	空港からの離隔距離 (km)	帯域内干渉 所要改善量(dB)
帯域内干渉	陸上移動局(23dBm)	航空用空港面 移動通信システム 航空機局(上空利用)	2.3	-0.4
	HPUE(26dBm)		3.3	-0.1
	HPUE(29dBm)		4.1	-1.4
	小電力レピータ 基地局対向		4.3	-1.2
	小電力レピータ 移動局対向 ※		4.3	-26.5
	フェムトセル基地局		0.8	-0.4

※ 小電力レピータ 基地局対向の影響が支配的となることから、基地局対向で所要改善量がマイナスとなる離隔距離から算出

航空用空港面移動通信システムとの共用検討 まとめ

- 航空用空港面移動通信システムとの共用条件のまとめ
 - 5Gシステムの基地局から航空用空港面移動通信システムへの帯域内干渉の影響が最も大きく、スモールセル基地局では40km、マクロセル基地局では120kmとなるように空港からの離隔距離を確保する必要がある。
 - 上記の水平距離は、共用検討で用いた5Gシステムの基地局の不要発射の強度（スモールセル基地局では-16dBm/MHz、マクロセル基地局では-4 dBm/MHz）に基づいて算出された数字である。5Gシステムの基地局の不要発射の強度の実力値がこれらの値よりも改善すれば、必要な空港からの離隔距離を低減することが可能である。例えば、**実力値が共用検討で用いた数値に比較して10dB改善すれば、スモールセル基地局では10km、マクロセル基地局では40km、20dB改善すればスモールセル基地局では4.3km、マクロセル基地局では12km、スモールセル基地局で24dB改善すれば4.1km、マクロセル基地局で28dB改善すれば5kmの距離に低減される。**
 - 5Gシステムの基地局以外の局種においては、5Gシステムから航空用空港面移動通信システム 航空機局（上空利用）への帯域内干渉の影響が支配的となる。陸上移動局(23dBm)は2.3km、HPUE(26dBm)は3.3km、HPUE (29dBm)は4.1km、小電力レピータは4.3km、フェムトセル基地局は0.8km以上となるように空港からの離隔距離を確保すれば共用可能であり、基地局の設置においてこれらが確保されるよう考慮する必要がある。

<参考> 共用検討の諸元

<参考> 共用可能となる空港からの離隔距離のまとめ

5Gシステムの局種	空港からの必要離隔距離 (km)
マクロセル基地局	5.0 ※1
スモールセル基地局	4.1 ※2
陸上移動局(23dBm)	2.3
HPUE(26dBm)	3.3
HPUE(29dBm)	4.1
小電力レピータ 基地局対向	4.3
小電力レピータ 移動局対向	4.3
フェムトセル基地局	0.8

※1 28dB改善した場合

※2 24dB改善した場合

5Gシステムの共用検討パラメータ

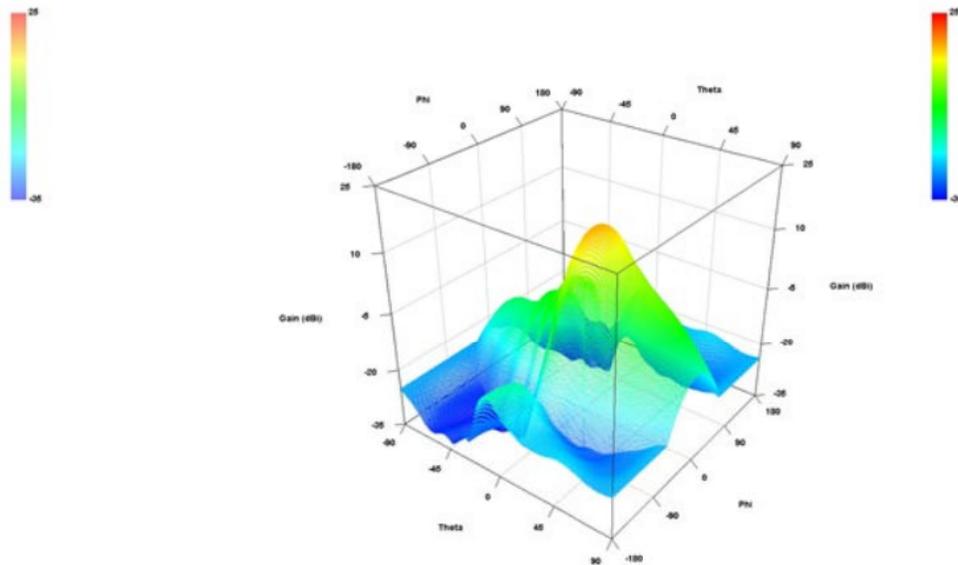
・ 5Gシステムの基地局

項目	スモールセル 基地局	マクロセル 基地局	備考
空中線電力	5 dBm/MHz	28dBm/MHz	
不要発射の強度	-16dBm/MHz	- 4 dBm/MHz	
送信系損失	3 dB	3 dB	同一帯域（与干渉局、被干渉局）及び隣接帯域（被干渉局）の評価で考慮
空中線地上高	10m	40m	
空中線指向特性	勧告ITU-R M.2101準拠		
最大空中線利得	約23dBi	約23dBi	素子当たり 5 dBi、素子数 8 × 8
機械チルト	10°	6°	
許容干渉電力 （帯域内干渉）	-110dBm/MHz	-115dBm/MHz	
許容干渉電力 （帯域外干渉）	-47dBm	-52dBm	

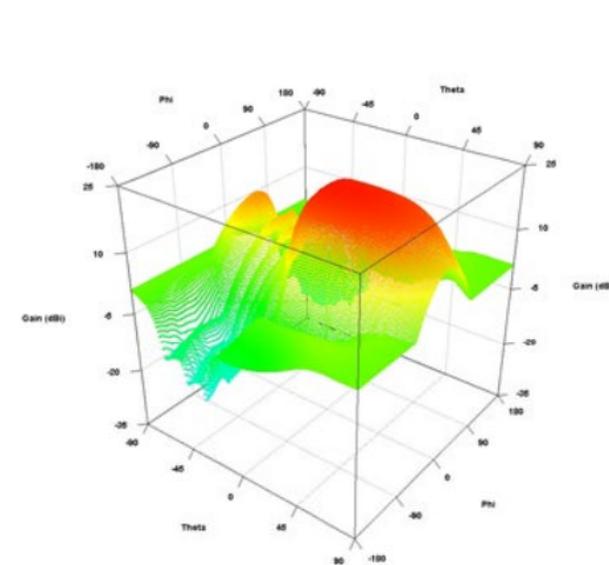
5Gシステムの共用検討パラメータ

- 屋外基地局（スモールセル）の空中線指向特性

平均パターン



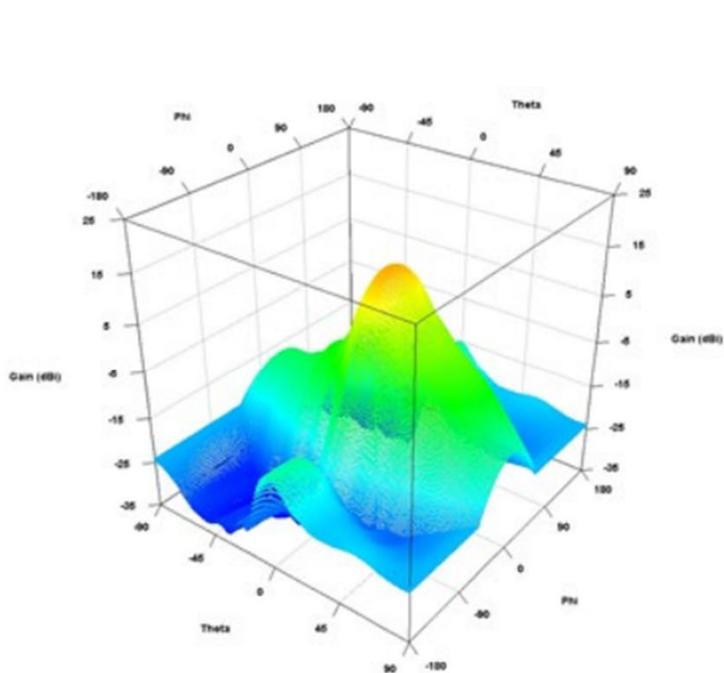
最大パターン



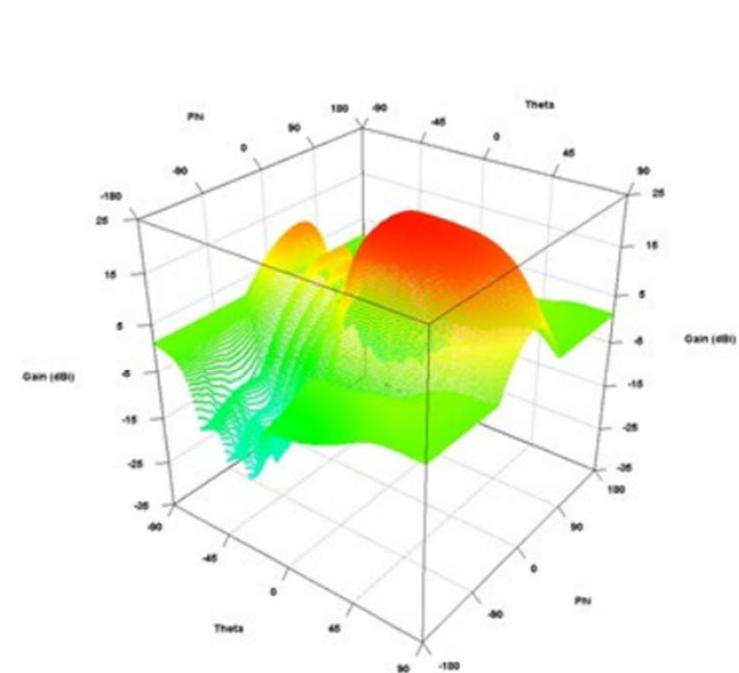
- 陸上移動局を基地局エリア内に配置し、勧告ITU-R M.2101のAnnex 1の5章に示される数式に基づき、基地局のメインビームを陸上移動局に向ける空中線指向特性を生成。
- 陸上移動局の配置位置を変更しつつ、上記の方法に基づいて生成された多数のスナップショットを取得して統計処理を行い、任意の方向の空中線利得を**平均値**によりあらかじめモデル化。
- 陸上移動局を基地局エリア内に配置し、勧告ITU-R M.2101のAnnex 1の5章に示される数式に基づき、基地局のメインビームを陸上移動局に向ける空中線指向特性を生成。
- 陸上移動局の配置位置を変更しつつ、上記の方法に基づいて生成された多数のスナップショットを取得して統計処理を行い、任意の方向の空中線利得を**最大値（包絡線）**によりあらかじめモデル化。

- 屋外基地局（マクロセル）の空中線指向特性

平均パターン



最大パターン



5Gシステムの共用検討パラメータ

5Gシステムの陸上移動局・HPUE

項目	設定値	備考
空中線電力密度	23dBm/100MHz 26dBm/100MHz 29dBm/100MHz	最大値
不要発射の強度	-30dBc 26/29dBmの場合は-31dBc	
空中線地上高	1.5m	
空中線指向特性	無指向性	
空中線利得	0 dBi	
許容干渉電力 (帯域内干渉)	-110.8dBm/MHz	
許容干渉電力 (帯域外干渉)	-40dBm	
同時送信台数	5 MHz及び 1 km ² あたり 3 台	

※ **赤字**は2020年の共用検討パラメータからの差分を示す

5 Gシステムの共用検討パラメータ

令和5年度新世代モバイル通信システム委員会報告と同じパラメータで検討

- 5 Gシステムの陸上移動中継局

	陸上移動局対向器	基地局対向器
最大送信出力	28dBm/MHz	29dBm
送信空中線利得	23dBi	0dBi
送信系損失	3dB注	0dB

注 同一周波数の干渉検討で考慮。隣接周波数の干渉検討においては、不要発射の強度の値が総合放射電力（空間に放射される電力の合計値）で規定されているため考慮しない。

- 下り（陸上移動局対向器）は5G マクロセル基地局と、上り（基地局対向器）は移動局（HPUE Power Class1.5）と同一のパラメータとなる。
- より干渉条件の厳しい下り（陸上移動局対向）、5 G基地局と同様の結論とすることを想定。
→ 5Gマクロセル基地局の共用検討結果に包含

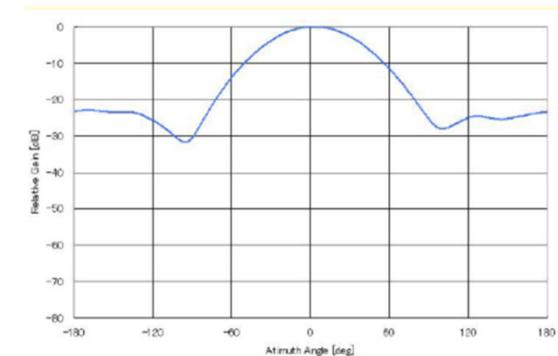
5Gシステムの共用検討パラメータ

令和5年度新世代モバイル通信システム委員会報告と同じパラメータで検討

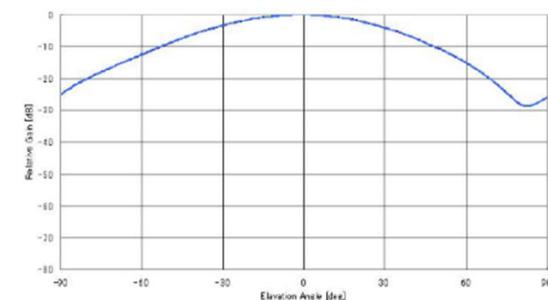
5Gシステムのレピータ

	陸上移動局対向	基地局対向	備考
最大送信出力	24dBm	24dBm	
送信空中線利得	0dBi	9dBi	
送信給電線損失	0dB	0dB	
隣接チャネル漏洩電力	-31dBc	-31dBc	
空中線指向特性	水平	無指向	右図
	垂直	無指向	右図
送信空中線高	1.5m	1.5m	

※ 建物侵入損は16.3dBとして検討



基地局対向のアンテナ指向特性(水平)

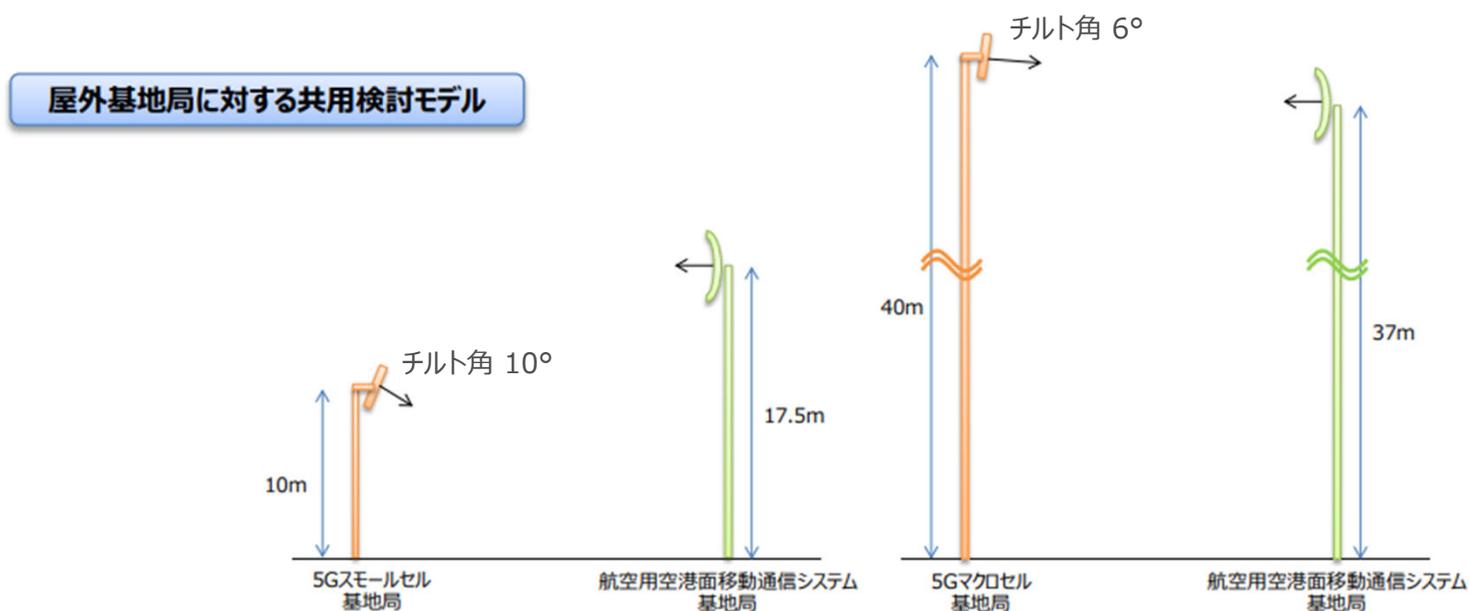


基地局対向のアンテナ指向特性(垂直)

航空用空港面移動通信システムの共用検討

対 5Gシステムの屋外基地局

- 1対1対向モデルを用いた共用検討（自由空間伝搬）を実施
- 屋外基地局の空中線指向特性は平均パターン・**最大パターン**を利用
- 空中線の高低差が小さい条件がワーストケースと考えられることから、スモールセル基地局については航空用空港面移動通信システムの基地局の空中線地上高が17.5m、マクロセル基地局については同37mの場合について評価



※ **赤字**は過去の共用検討からの差分を示す

航空用空港面移動通信システムの共用検討

対 5Gシステムの陸上移動局・HPUE・小電力レピータ・フェムトセル基地局

- 令和5年度新世代モバイル通信システム委員会報告の電波高度計と5Gシステムの共用検討と同様、RTCA※1レポートで検討が行われた5G HPUEから航空機電波高度計へのアグリゲート干渉の評価を参考に検討。
- 4km×4kmの区間にランダム配置された与干渉量の大きい5台からフルパワーで送信された場合の与干渉量を算出
- 同報告書では、HPUE・レピータ・フェムトセルを対象に本手法が用いられており、陸上移動局と左記の局種に対して本手法を用いる

※1 RTCA : 航空無線技術委員会 (Radio Technical Commission for Aeronautics、米国)

<R5年新世代モバイル委員会報告の抜粋>

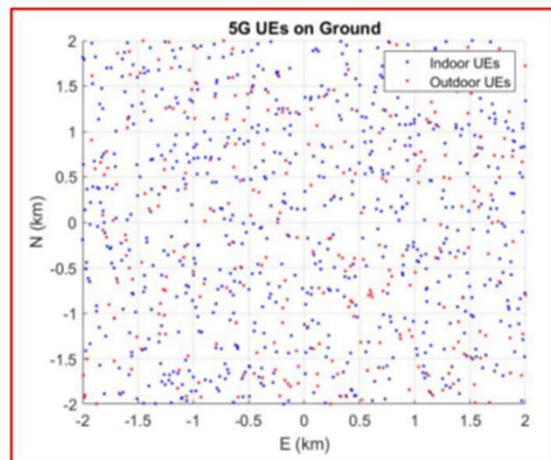


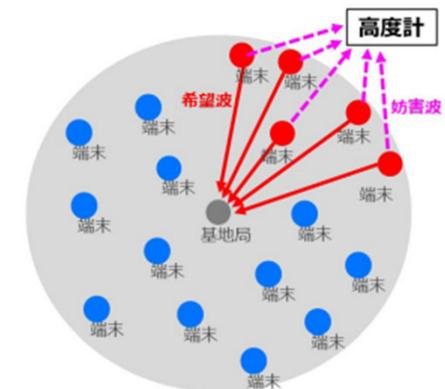
Table 6-6: 5G UE Characteristics²⁶ for On-Ground Scenario

Environment	Urban	Suburban	Rural
Antenna Pattern	Omnidirectional	Omnidirectional	Omnidirectional
Antenna Gain	-4 dBi	-4 dBi	-4 dBi
Indoor Usage	70%	70%	50%
Indoor Penetration Loss	20 dB	20 dB	15 dB
Body Loss	4 dB	4 dB	4 dB
Active UE Density	3/5 MHz/km ²	2.16/5 MHz/km ²	0.17/5 MHz/km ²
UE Height Above Ground	1.5 m	1.5 m	1.5 m
Uplink Channel Bandwidth	20 MHz	20 MHz	20 MHz
Uplink Time Factor	33%	33%	33%
Peak Output EIRP	30 dBm	30 dBm	30 dBm
Peak Output PSD (EIRP)	17 dBm/MHz	17 dBm/MHz	17 dBm/MHz
Conducted PSD, Spurious	-30 dBm/MHz	-30 dBm/MHz	-30 dBm/MHz
Peak Output PSD, Spurious (EIRP)	-34 dBm/MHz	-34 dBm/MHz	-34 dBm/MHz

図3. 4. 2-3 RTCAレポートにおけるHPUEの位置

※ 過去の検討と同様、Urbanを適用

RTCAのスケジューリング*



この5台●は全て屋外と想定され常時フルパワー送信
(図は簡単のためにパスロス=高度計との距離として記載)