

新世代モバイル通信委員会
ローカル5G検討作業班
第13回会合

FUJITSU

shaping tomorrow with you

資料13-5

カバーエリア及び調整対象区域の算出について

2020年3月30日

富士通株式会社

カバーエリア及び調整対象区域の算出について

【背景】

- ローカル5G導入に向けて策定された電波法関係審査基準(平成13年総務省訓令第67号)の改正案[2019.10.8公表]により、「ローカル5Gの無線局」(別紙2, 第2, 4, (16))に加え、「ローカル5G無線局用」の「アンカー」として2.5GHz帯を利用する「自営等広帯域移動無線アクセスシステムの無線局(以後、「自営等BWA」)」(別紙2, 第2, 4, (17))に係る改正が行われた。
- 「自営等BWA」の無線局申請に係る「カバーエリア」と「調整対象区域」算出法については、同じく2.5GHz帯を利用する「地域広帯域移動無線アクセスシステムの無線局(以後、「地域BWA」)」(別紙2, 第2, 1, (19))と同じ算出法が適用された。
なお、「地域BWA」の「カバーエリア」と「調整対象区域」算出においては、基地局アンテナ高を30m以上とし、また、基地局アンテナを屋内設置した場合の建物進入損についての考慮はされておらず、同様の算出法が「自営等BWA」にも適用されている。

【見直し案】

- 「自営等BWA」を「ローカル5G無線局用」の「アンカー」として設置する場合においては、「敷地内」、「建物内」などで基地局アンテナ高が30mより低く設置される場合が想定されることから、実際の設置条件により即した算出法とするために「自営等BWA」の「カバーエリア」と「調整対象区域」算出法について、以下の2点について見直しをすることが有用と考えられる。

(1) 基地局アンテナ高が30m未満の場合も考慮

・「自営等BWA」の拡張秦式による算出において、基地局アンテナ高が30m未満にもアンテナ高補正項を適用することが適当と考えられる。

(2) 基地局アンテナが屋内に設置された場合の建物進入損による伝搬損効果の算入

・「自営等BWA」が「ローカル5G無線局」の「アンカー」として設置される場合を勘案し、専ら同一構内をカバーエリアとする場合には、ITU-R P.2109で勧告されている建物進入損モデルに周波数=2.5GHz, Traditional building, p=50%を適用して導出した値(15.3dB)を適用することが適当と考えられる。(なお、「ローカル5G無線局」(28GHz帯)の基地局アンテナが屋内設置された場合に算入される建物進入損も、同一モデルに周波数=28GHzの同一条件を適用して算出された値と合致している。)

カバーエリア及び調整対象区域の算出について

無線局種別	地域BWA	自営等BWA	ローカル5G
周波数帯	2.5GHz帯		28GHz帯
算出方法	拡張秦式を基礎として算出		ITU-R P.1411を基礎として算出
環境条件	① 市街地(都市の中心部) ② 郊外地 ③ 開放地	① 市街地(都市の中心部) ② 郊外地 ③ 開放地	① 屋外で見通し外 ② 見通せる場合 ③ 屋内の場合* *建物侵入損補正=20.1dB (ITU-R P.2109, @28GHz, Traditional building, p=50%条件相当)
アンテナ高補正	基地局の空中線地上高補正 ; 30m未満の場合には30mとする。		-
電波法関係審査基準訓令(案)*規定	別紙2,第2,1別紙(19)-1	別紙2,第2,4 別紙(17)-1	別紙2,第2,4 別紙(16)-1

*:電波法関係審査基準の一部を改正する訓令案 (2019.10.8)

1. 基地局を屋内に設置する場合の補正

- 基地局アンテナを屋内に設置し、専らその同一構内をカバーエリアとする場合には、建物進入損(15.3dB*)を加えた伝搬損失を適用する。[*ITU-R P.2109, Traditional building条件 @2.585GHz, p=0.5]

2. 基地局アンテナ高補正

- 基地局アンテナ高(Hb)が30m未満の場合を含めたエリア算出用に以下の拡張秦式を適用する。

伝搬損失Lは拡張秦式を基礎として算出することとし、以下の式で算出する。[特に記載のない変数は「電波法関係審査基準訓令改正(案)」に準ずる。]

$L = L_H(d_{xy} \text{ [km]}) \text{ [dB]}$

$$\left[\begin{aligned} &= 20\log_{10}(4\pi \times (1000 \times d_{xy}) / \lambda \text{ [m]}) + R - K && \dots (1) \text{ [} d_{xy} \leq 0.04\text{kmの場合]} \end{aligned} \right.$$

$$\left[\begin{aligned} &= 46.3 + 33.9\log_{10}(2000) + 10\log_{10}(f/2000) - 13.82\log_{10}(\max(30, H_b)) \\ &\quad + [44.9 - 6.55\log_{10}(\max(30, H_b))] (\log_{10}(d_{xy}))^a - a(H_m) && \dots (2) \text{ [} 0.1\text{km} \leq d_{xy} \text{の場合]} \end{aligned} \right.$$

$$\left[\begin{aligned} &- \min(0, 20\log_{10}(H_b/30)) + R - S - K && \dots (3) \text{ [.04km} < d_{xy} < 0.1\text{kmの場合]} \\ &= L_H(0.04) + \log_{10}(d_{xy}/0.04) / \log_{10}(0.1/0.04) \times \{L_H(0.1) - L_H(0.04)\} \end{aligned} \right.$$

※なお、(2),(3)で得られる伝搬損失Lが(1)よりも小さな値の場合Lは(1)の値に変更する。

H_b [m] ; 基地局の空中線地上高。ただし、30m未満の場合には30mとする。

S [dB] 市街地 ⇒ S=0, 郊外地 ⇒ S=12.3, 開放地 ⇒ S=32.5

R [dB] 基地局を屋内に設置して専らその同一構内をカバーエリアとし、屋外のエリアで受信する場合 ⇒ R = 15.3, 左記以外の場合 ⇒ R = 0

自営等BWA (ローカル5Gアンカー用)エリア算出式(案)



(注) 伝搬損失Lは拡張秦式と勧告ITU-R P.1209の建物進入損を基礎として算出することとし、以下の式で算出する。

① 市街地(都市の中心部であって、……)

$$L = L_H(d_{xy} [\text{km}]) [\text{dB}]$$

$$= 32.44 + 20\log_{10}(f) + 10\log_{10}\{(d_{xy}^2) + (H_b - H_m)^2 / 10^6\} + R - K$$

… (1) [$d_{xy} \leq 0.04\text{km}$ の場合]

$$= 46.3 + 33.9\log_{10}(2000) + 10\log_{10}(f/2000) - 13.82\log_{10}(\max(30, H_b))$$

$$+ [44.9 - 6.55 \log_{10}(\max(30, H_b))] (\log_{10}(d_{xy}))^2 - a(H_m) - b(H_b)$$

$$+ R - S - K$$

… (2) [$0.1\text{km} \leq d_{xy}$ の場合]

$$= L_H(0.04) + \{2.51 \times \log_{10}(d_{xy}) + 3.51\} \times \{L_H(0.1) - L_H(0.04)\}$$

… (3) [$0.04\text{km} < d_{xy} < 0.1\text{km}$ の場合]

※なお、(2),(3)で得られる伝搬損失Lが(1)よりも小さな値の場合Lは(1)の値に変更する。

f(MHz) ; 使用する周波数。

d_{xy} (km) ; 基地局と伝搬損失を算定する地点との距離

H_m (m) ; 移動局の空中線地上高。第2項の定めるところによる。

H_b (m) ; 基地局の空中線地上高。ただし、30m未満の場合には30mとする。

α ; 遠距離に対して考慮する係数であり、下記による。

$$\alpha = \begin{cases} 1 & : d_{xy} \leq 20\text{km} \\ 1 + (0.14 + 1.87 \times 10^{-4} f + 1.07 \times 10^{-3} H_b) (\log_{10}(d_{xy}/20))^2 & : 20\text{km} < d_{xy} < 100\text{km} \end{cases}$$

$a(H_m)$; 移動局高に対して考慮する補正項であり、下記による。

$$a(H_m) = \begin{cases} 0.057 & : \text{中小都市の場合} \\ -0.00092 & : \text{大都市の場合} \end{cases}$$

大都市 ; 市街地のうち特に大規模な都市の領域であって、おおむね5階建て以上の建物が密集した地域

中小都市 ; 市街地のうち、大都市に相当する地域以外のもの

$b(H_b)$; 基地局高に対して考慮する補正項であり、下記による。

$$b(H_b) = \begin{cases} 20 \log_{10}(H_b/30); & 0 < H_b \leq 30 \\ 0; & 30 < H_b \end{cases}$$

R [dB] ; 基地局を屋内に設置し、専らその同一構内をカバーエリアとする場合の補正項であり、下記による

{ 基地局を屋内に設置し、伝搬損失を算定する地点が屋外の場合 ; R = 15.3
上記以外の場合 ; R = 0.0

S [dB] ; 市街地、郊外地、および、開放地に対して考慮する補正值であり、下記による。

{ 市街地 ; S = 0.0
郊外地 ; S = 12.3
開放地 ; S = 32.5

市街地 ; 都市の中心部であって、2階建て以上の建物の密集地や、建物と繁茂した高い樹木の混合地域など

郊外地 ; 樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など移動局近傍に障害物はあるが密集していない地域

開放地 ; 電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域で、目安として前方300~400m以内が開けているような畑地・田地・野原など

K ; 地形情報データにより算入し難い地形の影響等の補正值であり、通常は0とし、地形水面の反射、小規模の見通し外伝搬の影響等を特に考慮する必要がある場合に算入する。

② 郊外地 (樹木、家屋等の散在する田園地帯、……) $L = L_H - 12.3$

③ 開放地 (電波の到来方向に……) $L = L_H - 32.5$

【付録】 建物進入損についての考察

自営等BWA無線局の免許申請におけるエリア算出(建物進入損)について

- 自営等BWA無線局(劣後)の免許申請におけるエリア算出の目的は、地域BWA無線局(優先)とのエリア重複確認であること、
- 特にローカル5G無線局(28GHz帯)のアンカーとして自営等BWA無線局を設置する場合、その主たるカバーエリアは同一構内にある屋内のローカル5G無線局(28GHz帯)のカバーエリアに重なること、

以上の点を踏まえ、下記の算出方法を用いることが適切と考えられる。

1. 建物構造は一般に複雑なことから、過大または過小なエリア算出を避けるため、建物近傍路上(A_{out})における受信レベル分布の50%値と建物内(A_{in})レベル分布の50%値との差を侵入損とする統計的な中央値(メジアン)を適用した方法を用いる。
2. 個別の建築物の外壁組成情報、Aperture情報(窓の位置等)などに依存しない汎用('site-generic')で平易な算出手法による。

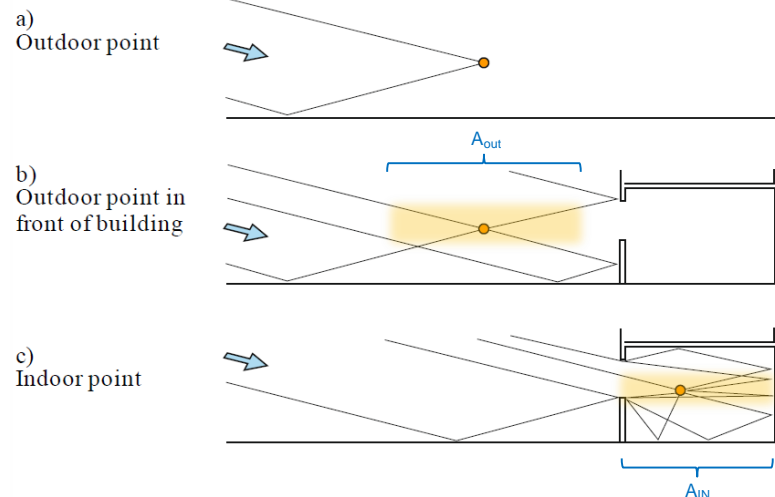
Definition of building entry loss: Building entry loss is the additional loss due to a terminal being inside a building.

Definition of (e.g. wall) penetration: Signals outside a building enter an enclosed building by penetration mostly through walls. Wall penetration can also refer to the penetration through partitions inside buildings. Inside

buildings, wall penetration loss is the difference between the median of the location variability of the signal level on one side of a wall, and the signal level on the opposite side of the wall at the same height above ground, with multipath fading spatially averaged for both signals. It can be considered as the transmission loss through a wall.

FIGURE A2.1

Simplified ray diagrams for outdoor and indoor points



ITU-R P.2109による建物進入損の算出 (1/2)

- Not site-specific, and is primarily intended for use in sharing and compatibility studies.
- Sharing studies carried out by ITU-R on different agenda items of WRC-19 were based on the text of ITU-R P.2109 which was in force at the time of these activities or at the time which the activity was carried out.
- The Annex (in ITU-R P.2109) provides a model for building entry loss (BEL) as defined in Recommendation ITU-R P.2040.

NOTE – Building types referred to in this Recommendation should be considered carefully.

- The model is based on the measurement data collated in Report ITU-R P.2346 in the range 80 MHz to 73 GHz. The model can be used within a Monte Carlo method, but it should be noted that the model has only been validated against empirical data over the probability range 0.01 to 0.99.

■ Parameters

- frequency (~0.08-100 GHz); [→ 2.585GHzで算出]
- the probability with which the loss is not exceeded; [→ p=0.5で算出]
- building class ('traditional' or 'thermally-efficient'); [→ 'traditional'で算出]
- elevation angle of the path at the building façade (degrees above the horizontal). [→ 0度(水平方向=最小損)で算出]

Ref: "Prediction of building entry loss", ITU-R P.2109-1 (2019-08)

ITU-R P.2109による建物進入損の算出モデル (2/2)

3 Model

Building entry loss will vary depending on building type, location within the building and movement in the building. The building entry loss distribution is given by a combination of two lognormal distributions. The building entry loss not exceeded for the probability, P , is given by:

$$L_{BEL}^{omni}(P) = 10 \log(10^{0.1A(P)} + 10^{0.1B(P)} + 10^{0.1C}) \text{ dB} \quad (1)$$

where:

$$A(P) = F^{-1}(P)\sigma_1 + \mu_1 \quad (2)$$

$$B(P) = F^{-1}(P)\sigma_2 + \mu_2 \quad (3)$$

$$C = -3.0 \quad (4)$$

$$\mu_1 = L_h + L_e \quad (5)$$

$$\mu_2 = w + x \log(f) \quad (6)$$

$$\sigma_1 = u + v \log(f) \quad (7)$$

$$\sigma_2 = y + z \log(f) \quad (8)$$

where:

L_h is the median loss for horizontal paths, given by:

$$L_h = r + s \log(f) + t (\log(f))^2 \quad (9)$$

L_e is the correction for elevation angle of the path at the building façade:

$$L_e = 0.212 |\theta| \quad (10)$$

and:

f = frequency (GHz)

θ = elevation angle of the path at the building façade (degrees)

P = probability that loss is not exceeded ($0.0 \leq P \leq 1.0$)

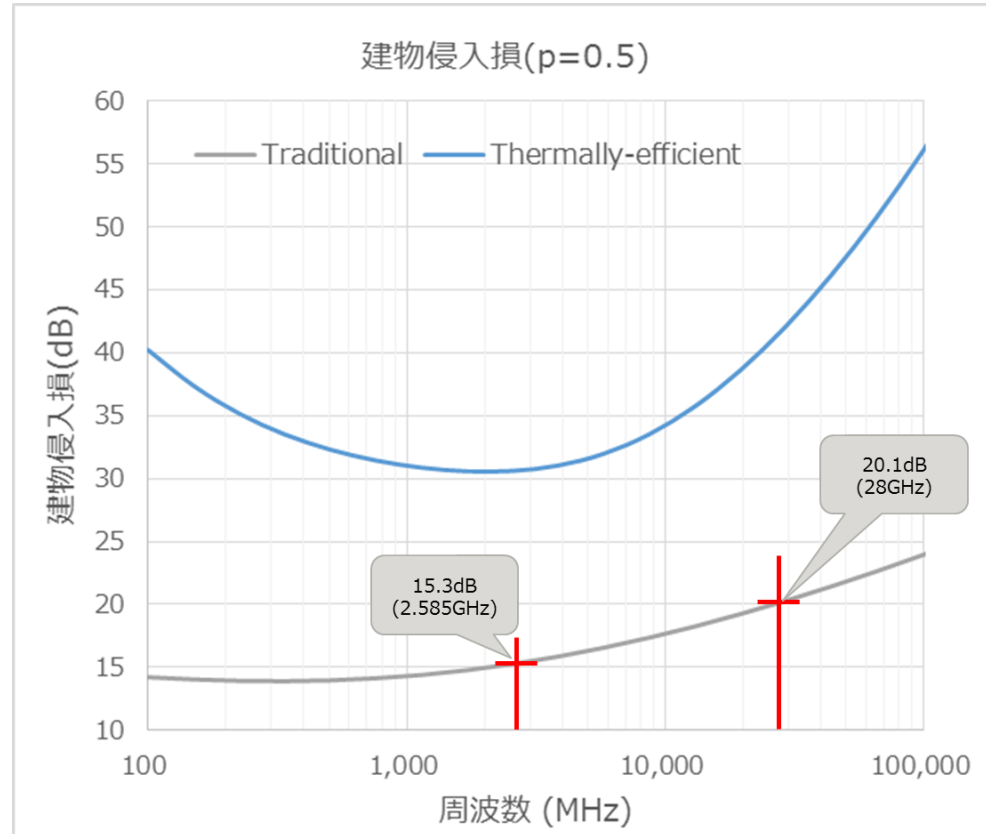
$F^{-1}(P)$ = inverse cumulative normal distribution as a function of probability.

and the coefficients are as given in Table 1:

TABLE 1
Model coefficients

Building type	r	s	t	u	v	w	x	y	z
Related to:	μ_1			σ_1			μ_2		σ_2
Traditional	12.64	3.72	0.96	9.6	2.0	9.1	-3.0	4.5	-2.0
Thermally-efficient	28.19	-3.00	8.48	13.5	3.8	27.8	-2.9	9.4	-2.1

建物侵入損 (ITU-R P.2109)



【考察】屋内における伝搬特性(屋内の遮蔽物による減衰)

■ 屋内における遮蔽物による減衰

右記(表 参2.3-1 建築材透過損)の出典(文献1)では、屋内伝搬の「(2) 短区間中央値」に関する説明の中で、(木造住宅における)屋内伝搬を光学幾何的に(レイトレーシングで)解析する際の建築材の透過損の例として記載(次頁参照)。

→ 個別の建築物の外壁について透過損を得るためには、**外壁の素材構成にあわせた透過損の積算結果を適用することが適切**と思われる。

3 屋内における遮蔽物による減衰

(1) 建築材の透過損

主な建築材の透過損の一覧について、表. 参2 3-1に示す。2200MHz帯の場合で、間仕切り用材料では木板で3.5dB、外壁材であればALCで10.9dBの損失が最大である。

表. 参2 3-1 建築材透過損*1

(出典：西尾、加地：昭59信学光・電波全大、No.35)

試料(厚さ)		透過損			
		457MHz	920MHz	1,450MHz	2,200MHz
間仕切材	木板(15mm)	0.7	2.6	2.7	3.5
	石膏ボード(7mm)	0	0.3	0.2	0.1
外壁材	れんが ^g (60mm)	3.2	1.3	0.8	1.4
	れんが ^g (含水)	6	1.9	3.1	5.8
	スレート*2(11mm)	20.2	32.7	3.4	4.5
	瓦(15mm)	1.5	1.1	3.3	8.1
断熱材	ALC*3(100mm)	4.6	4.9	7.6	10.9
	熱遮断フィルム*4	25.9	22.6	22.3	25.2
	断熱用グラスウール	19.2	36.1	38.6	37.1

*1：進士昌明 無線通信の電波伝搬、P241 (社)電子情報通信学会 1992年2月

*2：NKホーム

*3：軽量気泡コンクリート、旭化成(株)ヘーベル

*4：東レ(株)ルミクール

「広帯域移動無線アクセスシステムの高度化に関する技術的条件」(2013年)

【参考】屋内における伝搬特性(建物進入損)

■ 建物進入損(文献1)

(3) 建物進入損

- 建物近傍路上における受信レベルと**建物内中央部**における受信レベルとの差を侵入損(penetration loss)という。
- 建物構造が複雑なため、場合によっては**(建物近傍の)路上におけるレベル分布の50%値と建物内レベル分布の50%値との差を侵入損**という場合もある
- (建物)侵入損は**ビルの大きさ、構造により変化**するが、都内における測定結果によれば、その**平均値は20dB程度**である。

12.4.3 屋内移動伝搬路

(2) 短区間中央値

...中略...

布は実測値に比較的良好に合っている⁽⁴⁸⁾。幾何光学的な方法は、送受信アンテナ間に直接波のほかに壁面を介した無数の反射波の存在を仮定し、受信レベルをその合成レベルとして求めるものである。図12.40はその一例であり、計算結果と測定結果がよく一致していることがわかる⁽⁴⁹⁾。

この考えは比較的広い空間にも適用でき、例えば建物内に送受信アンテナがある場合に、直接波、壁面透過波および壁面反射波をレイトレースし、その合成レベルから伝搬損を計算する試みがされている。具体的には壁面の反射係数、透過係数がわかっているならば、送信アンテナから全周囲方向に電波を放射し、受信アンテナに到来する反射・透過波をすべて合成することにより伝搬損を計算する。この方法は、アルゴリズムは簡単であるが、実際の計算が煩雑になるのが欠点である。表12.2は、**建築材料の透過損失の測定例**である⁽⁵⁰⁾。

...中略...

(3) 建物侵入損

送信アンテナが屋外に設置されている場合、建物近傍路上における受信レベルと建物内中央部における受信レベルとの差を侵入損 (penetration loss) という。しかし、建物構造が複雑なため、場合によっては路上におけるレベル分布の50%値と建物内レベル分布の50%値との差を侵入損という場合もある。侵入損はビルの大きさ、構造により変化するが、都内における測定結果によれば、**その平均値は20dB程度**である⁽⁵²⁾。侵入損をより詳細に測定してみると、ビル入口からビル中央に向かう通路では、900MHz帯では屋外のレベルに比べて約2dB/mで損失が増加する⁽⁵³⁾。

(50) 西尾 亮, 加地正毅: "UHF帯における建築材電波透過特性", 昭59信学光・電波大全, 35 (1984-10)。

(52) 森永隆広監修: "移动通信—理論と設計—", 電子情報通信学会編, pp. 63-67 (1972-3)。

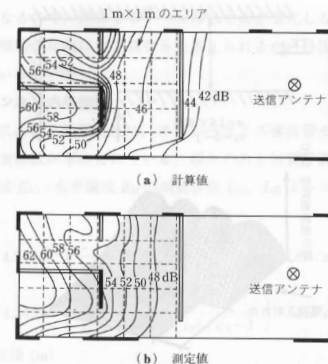


図12.40 木造住宅における等伝搬損線図
(周波数920MHz, 送信・受信アンテナ高1m)
(出典: 加地: 信学論 (B), J71-B, 1, pp. 89-91 (1988-1))

表12.2 建築材透過損 (単位: dB)
(出典: 西尾, 加地: 昭59信学光・電波
大全, No. 35)

試料(厚さ)	周波数 (MHz)				
	457	920	1,450	2,200	
間仕切り材	木板 (15mm)	0.7	2.6	2.7	3.5
	石膏ボード (7mm)	0.0	0.3	0.2	0.1
	れんが (60mm)	3.2	1.3	0.8	1.4
外壁材	れんが(含水)	6.0	1.9	3.1	5.8
	スレート*1 (11mm)	20.2	32.7	3.4	4.5
断熱材	瓦 (15mm)	1.5	1.1	3.3	8.1
	ALC*2 (100mm)	4.6	4.9	7.6	10.9
	熱遮断フィルム*3	25.9	22.6	22.3	25.2
断熱用グラスウール	19.2	36.1	38.6	37.1	

*1: NKホーム
*2: 軽量気泡コンクリート, 旭化成(株)へーベル
*3: 東レ(株)ルミクール

FUJITSU

shaping tomorrow with you

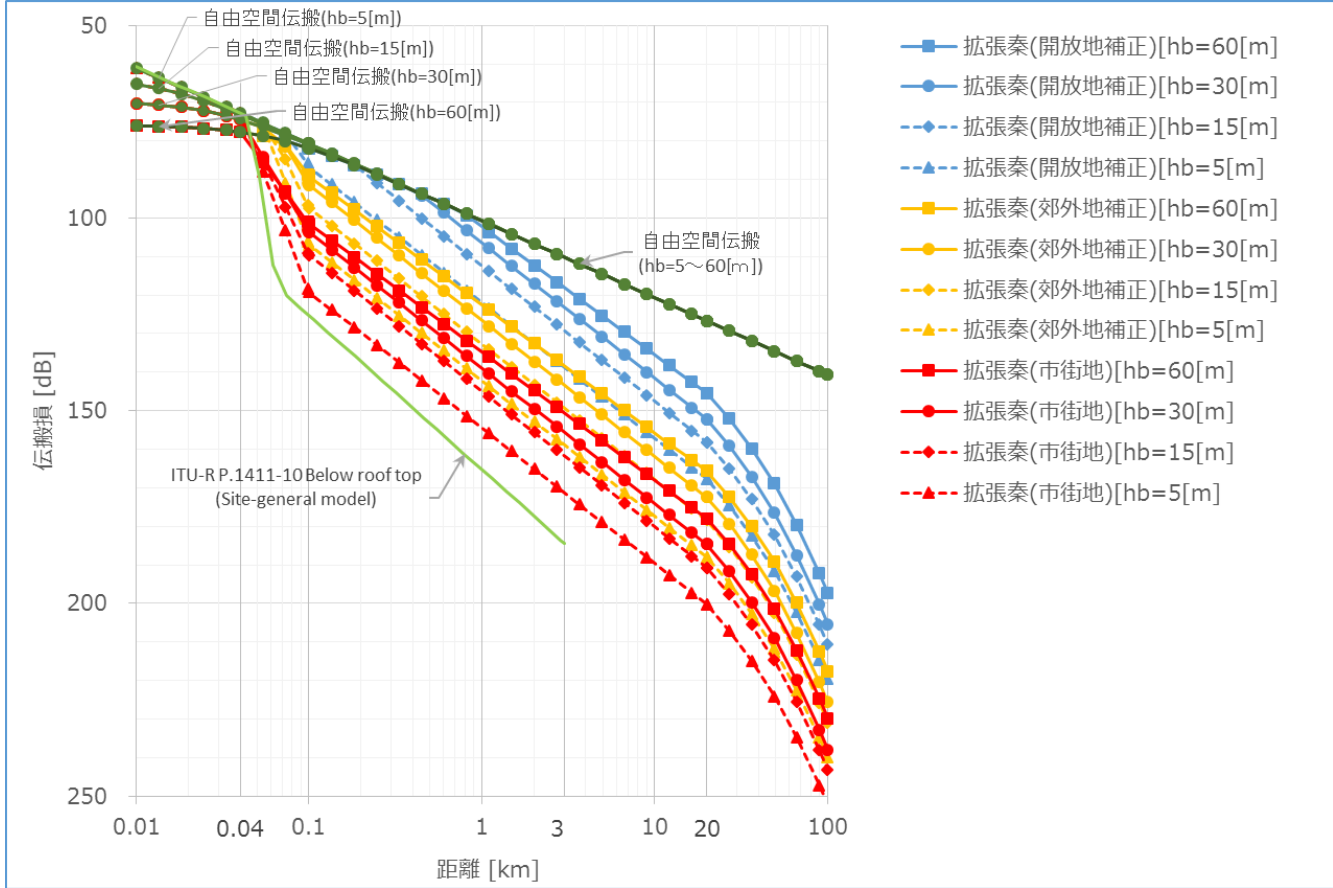
【参考資料】

[参考] 伝搬損算出式と適用条件

	拡張秦式	ITU-R P.1411-10 (08/2019)			
伝搬路条件	Over roof top	Over roof top			Below roof top
伝搬環境	①市街地 ②郊外地 ③開放地	Suburban			Site-general model, LOS, NLOS
		Direct wave dominant region	Reflected wave dominant region	Diffraction dominant region	
送受信間距離	[0.1km] ~ 100km	10 m ~ 5,000m			~3,000 m
周波数	30MHz~3GHz	0.8~38GHz			300MHz~3GHz
基地局ANT高	~200m	h1: 4~50m (=hr+Δh1[1~100m]) h2: 1~3m (=hr-Δh2[4~10m], Δh2<hr)			1.9~3.0 m
移動局ANT高さ	~200m				1.9~3.0 m
電波法関係審査基準(案)*	別紙2 第2 4 (17) 自営等BWA [2.5GHz帯], 別紙(17)-1 5	別紙2 第2 4 (16) □-カル5G [28GHz帯] 別紙(16)-1 5			-
		②見通し ③屋内(見通し + 建物通過損 (=20.1dB @28GHz, Trad. BLDG, 50%値))	-	①屋外見通し外	

*:電波法関係審査基準の一部を改正する訓令案 (2019.10.8)

[参考] 拡張秦式による伝搬損算出例(@2,585MHz)



[参考] 拡張秦式

参2. 1. 1 拡張秦式の定義

拡張秦式で用いるパラメータとその適用範囲を、表 参2. 1. 1-1 に示す。

表 参2. 1. 1-1 拡張秦式

パラメータ	適用範囲		
	市街地 (Urban)	郊外地 (Suburban)	開放地 (Open area)
環境	市街地 (Urban)	郊外地 (Suburban)	開放地 (Open area)
送受信間距離 d (km)	~100 km		
周波数 f (MHz)	30 MHz ~ 3000 MHz		
基地局高 h_b (m)	~ 200 m		
陸上移動局高 h_m (m)	~ 200 m		

これらのパラメータを用いて、伝搬損失 L は以下で与えられる。なお、 $h_b < h_m$ となる場合に対応するため、伝搬損失式では

$$H_b = \max(h_b, h_m), H_m = \min(h_b, h_m)$$

のパラメータが用いられる。

(1) $d \leq 0.04$ km の場合

$$L [\text{dB}] = 32.4 + 20 \log(f) + 10 \log(d^2 + (H_b - H_m)^2 / 10^6)$$

なお、本式は自由空間における伝搬損失式と等価である。

(2) $d \geq 0.1$ km の場合

陸上移動局高と基地局高に対する補正項

$$a(H_m) = (1.1 \log f - 0.7) \min(10, H_m) - (1.56 \log f - 0.8) + \max(0, 20 \log(H_m/10))$$

$$b(H_b) = \min(0, 20 \log(H_b/30))$$

と $d > 20$ km に対する補正パラメータ

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{for } d \leq 20 \text{ km} \\ 1 + (0.14 + 1.87 \times 10^{-4} f + 1.07 \times 10^{-3} H_b) \left(\log \frac{d}{20} \right)^{0.8} & \text{for } 20 \text{ km} < d \leq 100 \text{ km} \end{cases}$$

より、 $d \geq 0.1$ km の場合の伝搬損失は以下で与えられる。

(2-1) 市街地

$$L [\text{dB}] = [44.9 - 6.55 \log(\max\{30, H_b\})] (\log d)^2 - a(H_m) - b(H_b) - 13.82 \log(\max\{30, H_b\})$$

$$+ \begin{cases} 69.6 + 26.2 \log(150) - 20 \log(150/f) & \text{for } 30 < f \leq 150 \text{ MHz} \\ 69.6 + 26.2 \log f & \text{for } 150 < f \leq 1500 \text{ MHz} \\ 46.3 + 33.9 \log f & \text{for } 1500 < f \leq 2000 \text{ MHz} \\ 46.3 + 33.9 \log(2000) + 10 \log(f/2000) & \text{for } 2000 < f \leq 3000 \text{ MHz} \end{cases}$$

(2-2) 郊外地

$$L [\text{dB}] = L(\text{urban}) - 2 \{ \log[\min\{\max\{150, f\}, 2000\}] / 28 \}^2 - 5.4$$

(2-3) 開放地

$$L [\text{dB}] = L(\text{urban}) - 4.78 \{ \log[\min\{\max\{150, f\}, 2000\}] \}^2 + 18.33 \log[\min\{\max\{150, f\}, 2000\}] - 40.94$$

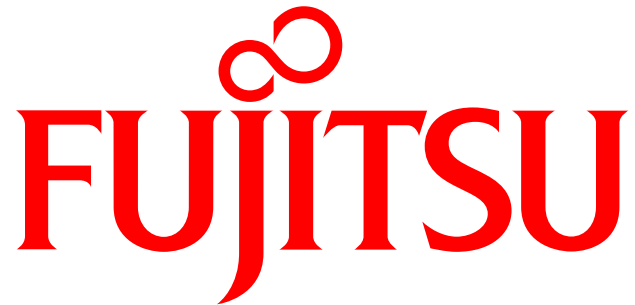
なお、 $1 \leq d \leq 20$ km、 $150 \leq f \leq 1500$ MHz、 $300 \leq h_b \leq 200$ m、 $1 \leq h_m \leq 10$ m の場合、これらの式は奥村秦式と一致する。

(3) $0.04 < d < 0.1$ km の場合

$$L [\text{dB}] = L(0.04) + \frac{\log d - \log(0.04)}{\log(0.1) - \log(0.04)} \{ L(0.1) - L(0.04) \}$$

なお、(1)~(3) で得られる伝搬損失 L が自由空間損失よりも小さな値の場合、 L は自由空間損失の値に変更する。

「第4世代移动通信システム(IMT-Advanced)の技術的条件」平成25年度 情通審 携帯電話等高度化委員会報告 (原典: M.Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services", IEEE Trans. on VT, vol.VT29, No.3, pp.317-325, Aug. 1989)



shaping tomorrow with you