

情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会
V-High帯公共BB／狭帯域無線システム作業班(第8回)

狭帯域IoT無線システムの 同時送信数と干渉量の関係について（下側帯域）

令和7年7月24日
株式会社国際電気、日本無線株式会社、
株式会社スペースタイムエンジニアリング、自営無線通信研究所

1. はじめに
2. 前提条件、狭帯域IoT無線システムが1台の場合
3. 狭帯域IoT無線システムが2台の場合
4. 狭帯域IoT無線システムが3台～4台の場合
5. まとめ

別表 干渉量増加を考慮した所要離隔距離
参考資料 R算出式

1. はじめに

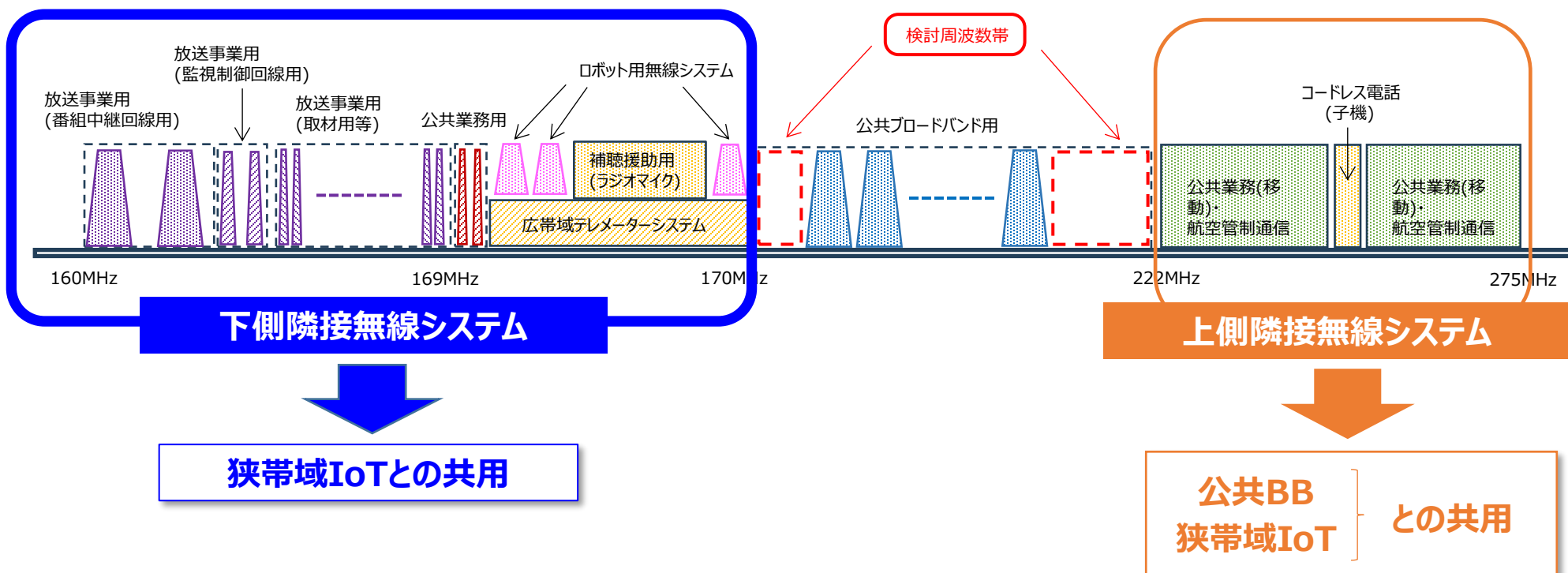
■本報告では、狭帯域IoTと下側隣接無線システムとの共用検討について、別途検討することとしていた同時送信台数について報告する。

○検討対象システム

- | | |
|------------------|----------------|
| ① 放送事業用連絡用無線システム | ⑤ 公共業務用無線 |
| ② デジタルSTL/TTL | ⑥ 広帯域テレメータシステム |
| ③ 放送事業用ワイドバンド無線 | ⑦ 補聴援助用ラジオマイク |
| ④ ロボット用無線システム | |

160MHz～275MHzの無線システム

第1回作業班資料・再掲
(資料1-1-1、p.4)



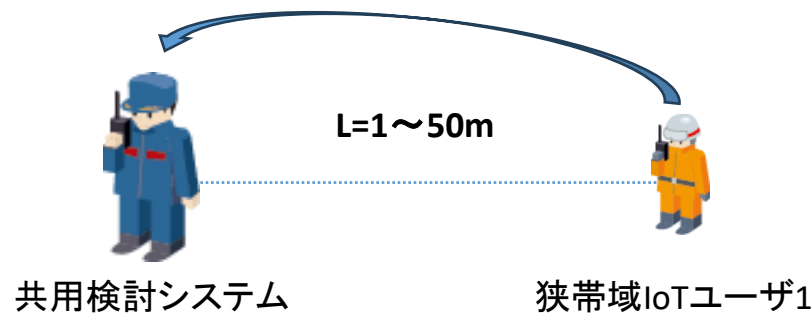
2. 前提条件、狭帯域IoT無線システムが1台の場合

【前提条件】

- ・狭帯域IoT無線システムにはキャリアセンスがあるため、不要発射の関係となる周波数を使用した場合が最も近距離で同時送信が可能となり、不要発射の強度の許容値(-30dBm/100kHz)の電波が伝搬し、狭帯域IoT無線システムのキャリアセンスレベル(-80dBm)を下回る距離Rは79mである。
- ・下側帯域の共用検討システムと狭帯域IoT無線システムの所要離隔距離Lが
1m～50mであるとして検討を行う。

＜下側帯域の共用検討システムとの共用条件＞

(1) 狭帯域IoT無線システムが1台の場合



狭帯域IoT無線システムが1台の場合の干渉量を基準とする。

被干渉		与干渉	狭帯域IoT		電波伝搬モデル
		所要離隔距離			
無線機種別		フィルタ(無)		フィルタ(有)	
公共業務用無線		150 m		43 m	拡張奥村秦式
広帯域テレメータシステム	計測用	20 m		< 1 m	
	騒音用	4 m		< 1 m	
補聴援助用	屋内/屋外※	150 m		43 m	
ラジオマイク	屋内同士	2 m		< 1 m	

第3回作業班資料・再掲(資料3-3)

被干渉		与干渉		狭帯域IoT無線システム		伝搬モデル
無線機種別		不要発射の強度	所要離隔距離			
			フィルタ(無し)	フィルタ(有:40dB)		
ロボット用 無線システム	地上制御用	-30dBm/100kHz (EIRP規定値)*	298 m	41 m	拡張奥村秦モデル	
	地上ロボット用		151 m	41 m		
	上空ロボット用		4,142 m	42 m	自由空間伝搬損失	

被干渉		与干渉	狭帯域IoT無線システム			伝搬モデル
無線機種別		不要発射の強度	所要離隔距離			
			フィルタ(無し)	フィルタ(有:40dB)		
放送事業用 連結用 無線システム	基地局	-30dBm/100kHz (EIRP規定値)*	640 m	< 1 m	拡張奥村モデル	
	車載機		108 m	24 m		
	携帯		93 m	20 m		
	携帯(上空)		1,960 m	20 m		
デジタル STL/TTL	空中線利得:10dBi	-30dBm/100kHz (EIRP規定値)*	836 m	9 m	自由空間伝搬損失	
	空中線利得:13dBi		1,181 m	12 m		
放送事業用 ワイドバンド無線	基地受信	-30dBm/100kHz (EIRP規定値)*	970 m	50 m	拡張奥村秦式	
	車載機		97 m	18 m		
	携帯機		87 m	14 m		

*: 空中線利得(6dBi以下)を含む

第7回作業班資料・再掲(資料7-2)

3. 狭帯域IoT無線システムが2台の場合

(2) 狭帯域IoT無線システムが2台の場合

① 所要離隔距離 L が1m～39.5mの場合

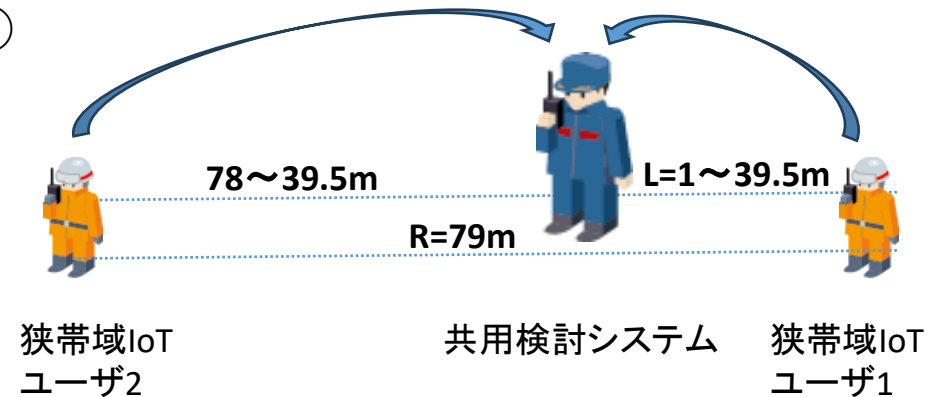
所要離隔距離 L が1mの時、
 狭帯域IoTユーザ同士は $R=79m$ 離れないと
 同時送信できないため、
 共用検討システムと狭帯域IoTユーザ2は
 78m離れることとなり、
 2台の狭帯域IoT無線システムから
 共用検討システムへの干渉量は
 (1)の1.0002倍となる。
 所要離隔距離 L が増加すると、
 共用検討システムは狭帯域IoTユーザ2へ
 近づいていき、 $R=79m$ の半分である
 $L=39.5m$ の時に干渉量は(1)の2倍となる。

② 所要離隔距離 L が39.5m～50mの場合

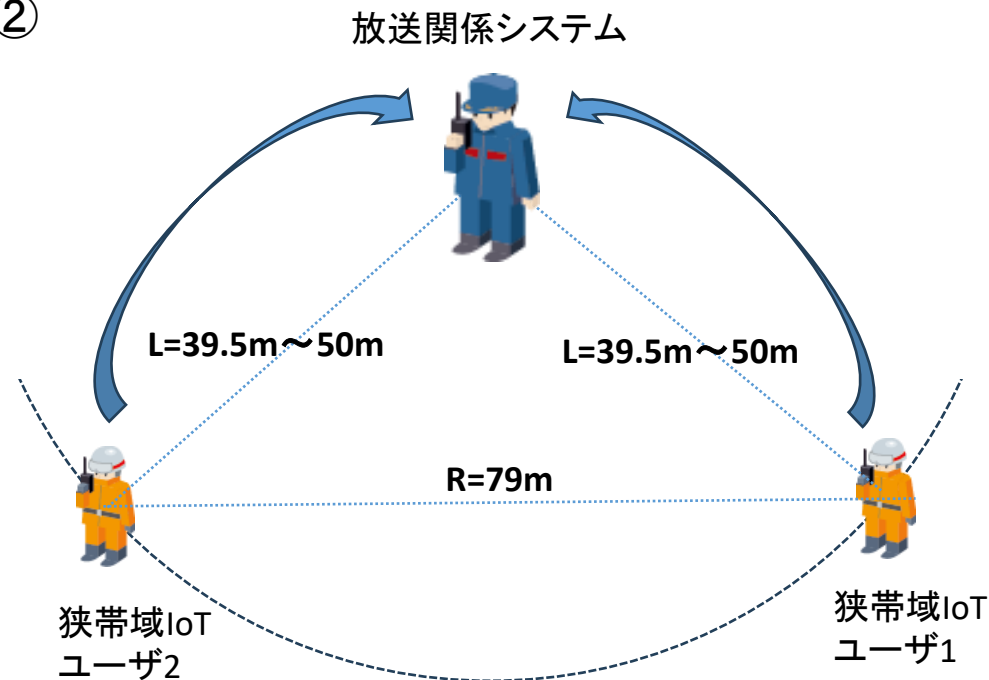
共用検討システムと
 2台の狭帯域IoT無線システムのそれぞれが
 等距離に配置される状態が
 最大の干渉量となり、(1)の2倍となる。

よって、狭帯域IoT無線システムが2台の場合の
 干渉量は(1)の1.0002倍～2倍となる。

①



②

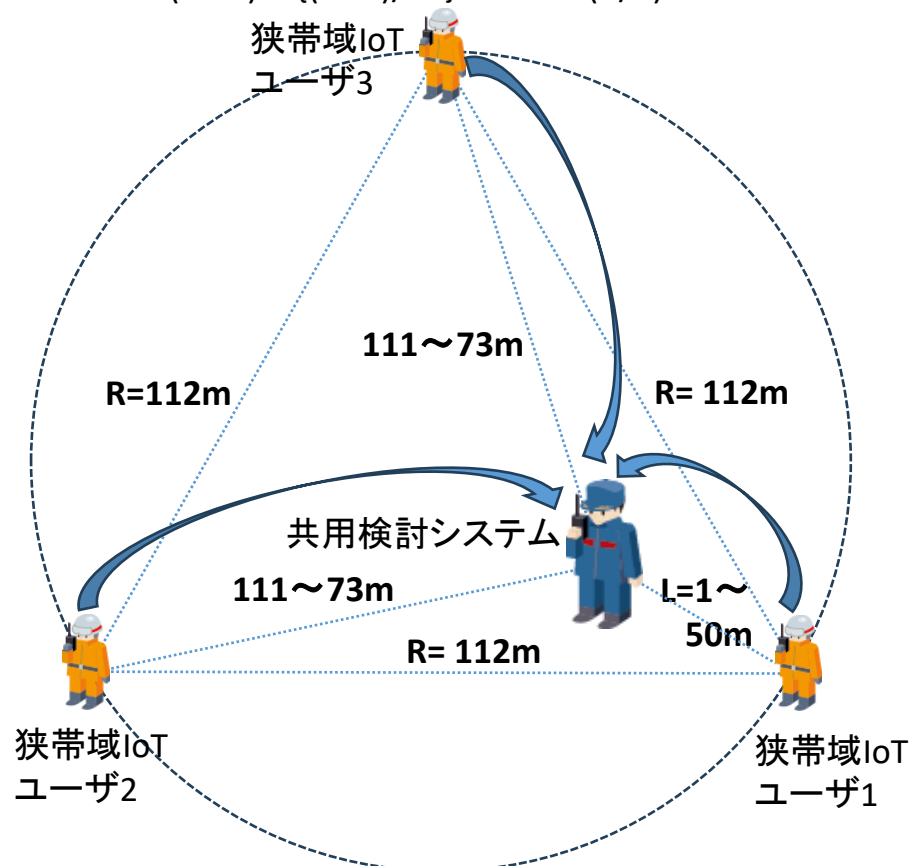


4. 狭帯域IoT無線システムが3台～4台の場合

狭帯域IoT無線システムの台数が増えると、受信する不要発射の強度が増えるため、Rが増していく。Rの増加で距離減衰が増加し、狭帯域IoT無線システムから共用検討システムへの干渉量が減少。(R算出式については8～10頁の参考資料参照)

(3) 狭帯域IoT無線システムが3台の場合

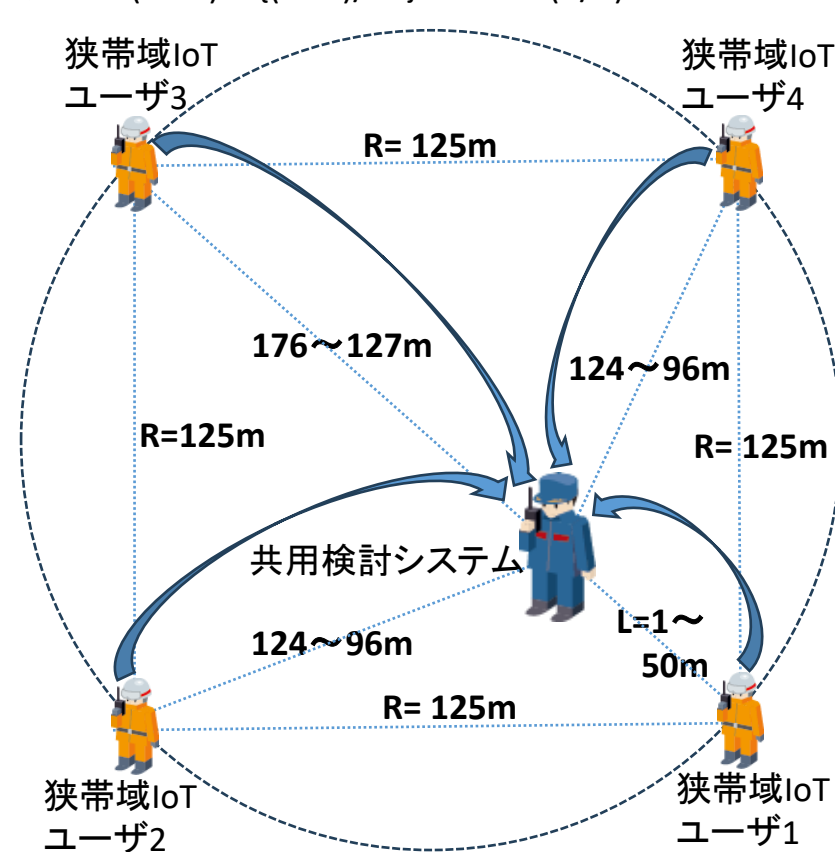
$$(R=2 \times (79\text{m}) \times \{(3^2-1)/12\}^{(1/2)} \times \sin(\pi/3)=112\text{m})$$



狭帯域IoT無線システムが3台の場合の干渉量は(1)の1.0002倍～1.9422倍となる。

(4) 狭帯域IoT無線システムが4台の場合

$$(R=2 \times (79\text{m}) \times \{(4^2-1)/12\}^{(1/2)} \times \sin(\pi/4)=125\text{m})$$



狭帯域IoT無線システムが4台の場合の干渉量は(1)の1.0002倍～1.6952倍となる。

5. まとめ

狭帯域IoT無線システムから共用検討システムへの干渉量を同時送信数から検討した結果を示す。

	1台送信と比較して
2台同時送信	1.0002倍～ 2倍 (0dB～ 3dB増)
3台同時送信	1.0002倍～1.9422倍(0dB～2.9dB増)
4台同時送信	1.0002倍～1.6952倍(0dB～2.3dB増)

複数送信時の干渉量は2台同時送信の場合が最も大きくなり、
複数台同時送信時の最大干渉量は1台分の**2倍(3dB増)**を想定すればよい。

そのため、所要離隔距離は、1m～50m(1台時)⇒1m～71m(干渉量最大2倍、次頁別表参照)となり、
所要改善量として最大3dB確保する必要があるが、
狭帯域IoT無線システムの機器の実装マージン(注)や
運用形態(部隊運用はFSKでの利用が想定されている)を考慮すれば十分確保が可能と考えられる。

(注): FSK送信機の実測値による想定マージン: 13dB(-43dBm/100kHz@第5回作業班報告)

よって、双方のシステムの設置場所や運用形態等を考慮することにより、共用が可能と見込まれる。

別表 干渉量増加を考慮した所要離隔距離

被干渉		与干渉	狭帯域IoT		電波伝搬モデル
無線機種別			所要離隔距離		
			フィルタ(無)	フィルタ(有)	
公共業務用無線			150 m	43 m	拡張奥村秦式
広帯域テレメータシステム	計測用		20 m	< 1 m	
	騒音用		4 m	< 1 m	
補聴援助用ラジオマイク	屋内/屋外※		150 m	43 m	
	屋内同士		2 m	< 1 m	

被干渉		与干渉	狭帯域IoT無線システム		伝搬モデル
無線機種別		不要発射の強度	所要離隔距離		
			フィルタ(無し)	フィルタ(有:40dB)	
ロボット用 無線システム	地上制御用	-30dBm/100kHz (EIRP規定値)*	298 m	41 m	拡張奥村秦モデル
	地上ロボット用		151 m	41 m	
	上空ロボット用		4,142 m	42 m	自由空間伝搬損失

被干渉		与干渉	狭帯域IoT無線システム			伝搬モデル
無線機種別		不要発射の強度	所要離隔距離			
			フィルタ(無し)	フィルタ(有:40dB)		
放送事業用 連絡用 無線システム	基地局	-30dBm/100kHz (EIRP規定値)*	640 m	< 1 m	拡張奥村秦モデル	
	車載機		108 m	24 m		
	携帯		93 m	20 m		
	携帯(上空)		1,960 m	20 m	自由空間伝搬損失	
デジタル STL/TTL	空中線利得:10dBi	-30dBm/100kHz (EIRP規定値)*	836 m	9 m	自由空間伝搬損失	
	空中線利得:13dBi		1,181 m	12 m		
放送事業用 ワイドバンド無線	基地受信	-30dBm/100kHz (EIRP規定値)*	970 m	50 m	拡張奥村秦式	
	車載機		97 m	18 m		
	携帯機		87 m	14 m		

*: 空中線利得(6dBi以下)を含む

1台時の 所要離隔距離	干渉量が約1倍～ 2倍未満時の 所要離隔距離	干渉量が2倍時の 所要離隔距離
43m	—	61m
1m	1m	—
1m	1m	—
43m	—	61m
1m	1m	—
41m	—	58m
41m	—	58m
42m	—	59m
1m	1m	—
24m	26m	—
20m	21m	—
20m	21m	—
9m	9m	—
12m	12m	—
50m	—	71m
18m	19m	—
14m	14m	—

$$R = 2 \times r \times \{(n^2 - 1) / 12\}^{(1/2)} \times \sin(\pi / n)$$

R：狭帯域IoT間の離隔距離

r：狭帯域IoTが1対向のキャリアセンス離隔距離

n：狭帯域IoTの局数

＜R算出式の導き方＞

A₁A₂の局間距離がrとなる場合について、A₂局からA₁局が受信する干渉波電力（キャリアセンスレベルと同等の電力）を自由空間伝搬損失から求める。

$$\frac{PG_r \lambda^2}{(4\pi r)^2} \dots \textcircled{1}$$



P：干渉波送信電力（帯域外輻射電力）

G_r：受信アンテナ利得（等方性アンテナ）

λ：波長

【参考資料】R算出式

次に、正多角形の頂点に位置する(n-1)局から
 A_1 局が受信する干渉波電力を
 局間距離の自由空間伝搬損失による
 電力加算により求める。

$$\begin{aligned} & \frac{PG_r \lambda^2}{(4\pi A_1 A_2)^2} + \frac{PG_r \lambda^2}{(4\pi A_1 A_3)^2} + \cdots + \frac{PG_r \lambda^2}{(4\pi A_1 A_n)^2} \\ &= \frac{PG_r \lambda^2}{(4\pi)^2} \sum_{k=2}^n \frac{1}{(A_1 A_k)^2} \quad \cdots \textcircled{2} \end{aligned}$$

$A_1 A_2, A_1 A_3, \cdots, A_1 A_n$: 局間距離

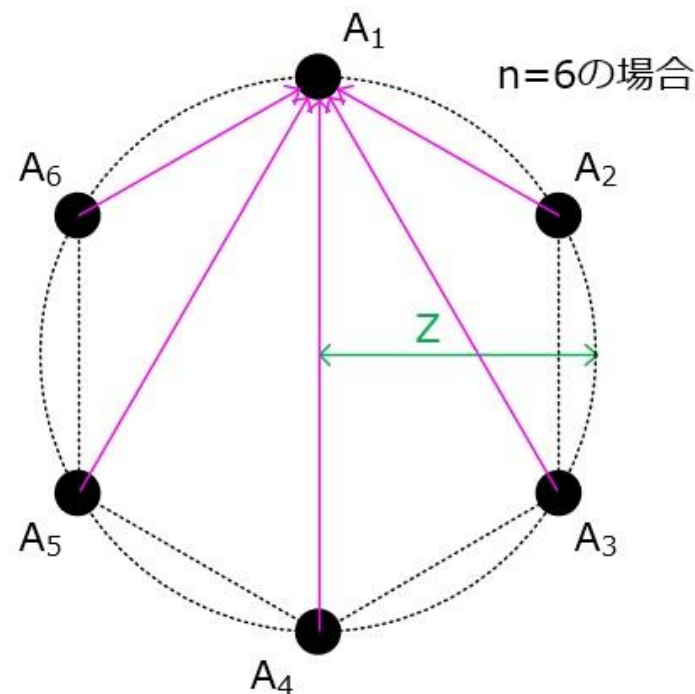
これに外接円半径Zの場合の正多角形の対角線の逆二乗和の定理

(参照: <https://manabitimes.jp/math/2869>)

$$\sum_{k=2}^n \frac{1}{(A_1 A_k)^2} = \frac{n^2-1}{12} \times \frac{1}{Z^2}$$

を用いると②式は次式になる。

$$\textcircled{2} = \frac{PG_r \lambda^2}{(4\pi)^2} \times \frac{n^2-1}{12} \times \frac{1}{Z^2} \quad \cdots \textcircled{2}'$$



【参考資料】R算出式

複数の狭帯域IoTが最も密に同時送信できるのは、 A_1 局が他の1局から受信する干渉波電力(①)と、 A_1 局が $(n-1)$ 局から受信する干渉波電力(②')が等しくなる時であり、この時の Z は次式になる。

$$\textcircled{1} = \frac{PG_r \lambda^2}{(4\pi r)^2} = \frac{PG_r \lambda^2}{(4\pi)^2} \times \frac{n^2-1}{12} \times \frac{1}{Z^2} = \textcircled{2}'$$

$$\frac{1}{r^2} = \frac{n^2-1}{12} \times \frac{1}{Z^2}$$

$$Z^2 = \frac{n^2-1}{12} r^2$$

$$Z = r \sqrt{\frac{n^2-1}{12}}$$

以上より、正多角形の一辺＝狭帯域IoT間の離隔距離 R は正弦定理から次式で求められる。

$$\begin{aligned} R &= 2 \times Z \times \sin(\pi / n) \\ &= 2 \times r \times \{(n^2 - 1) / 12\}^{(1/2)} \times \sin(\pi / n) \end{aligned}$$