

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（上側帯域）

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台以上の場合
 - (1) 2台の場合
 - (2) 3台の場合
 - (3) 4台の場合
 - (4) 5台の場合
 - (5) 6台の場合
 - (6) 7台の場合
4. まとめ

参考資料 R算出式

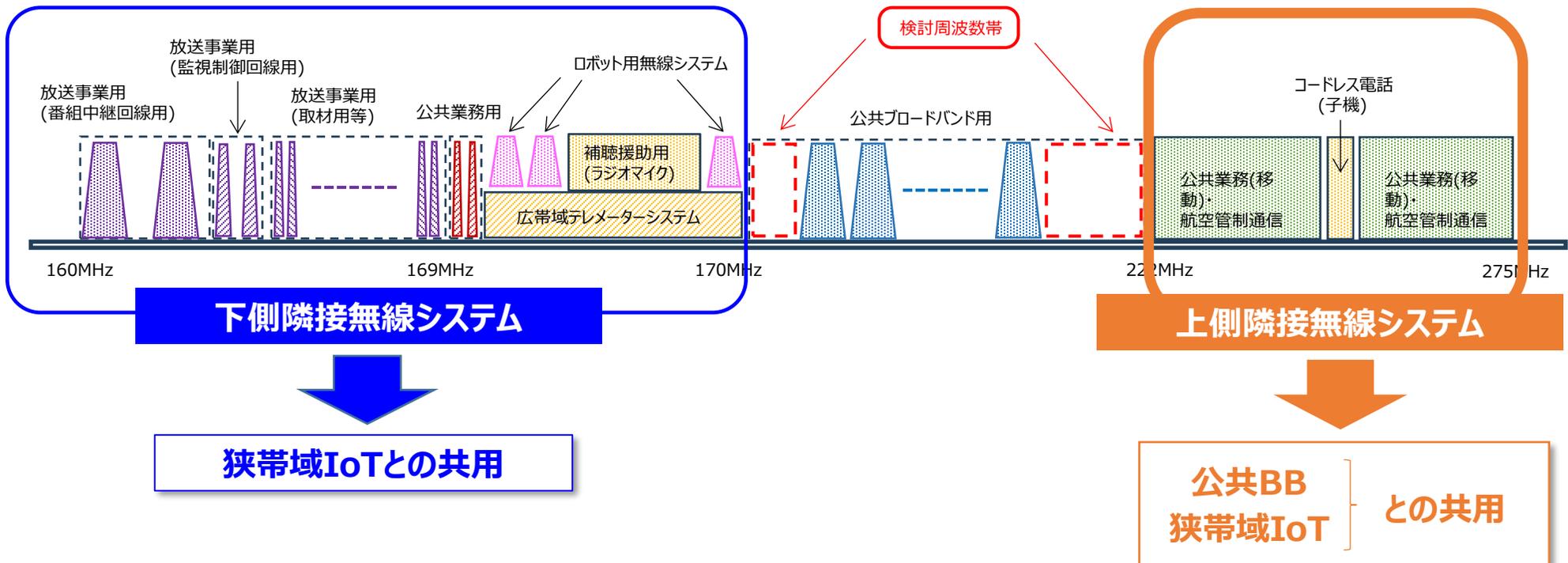
1.はじめに

■本報告では、狭帯域IoTと上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:航空管制通信システム

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)



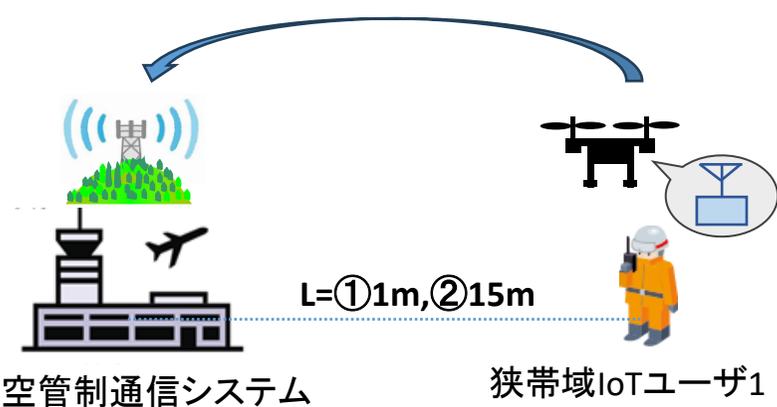
2. 前提条件、狭帯域IoT無線システムが1台の場合

同時送信数と干渉量を検討した後、最後にユースケースによる実現性について整理する。

【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(-65dBm)を下回る距離Rは11mである。
- ・航空管制通信システムと狭帯域IoT無線システムの所要離隔距離Lが①1m、②15mであるとして検討を行う。

＜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。

＜航空管制通信システムとの共用条件＞

(1)狭帯域IoT(地上) → 航空管制通信システム(地上、上空)

干渉抑圧フィルタ(SAW) 遮断減衰量 : 30dB

被干渉		与干渉				狭帯域IoT(地上)		伝搬モデル	干渉ルート#
無線機種別		給電線損失等 [dB]	空中線利得 [dBi]	空中線高 [m]	許容干渉レベル [dBm/MHz]	所要離隔距離			
航空管制通信システム	航空局(地上)	0	2	30	-92.8	フィルタ(無)	フィルタ(有)	拡張奥村秦モデル	干渉ルート1
	航空局(上空)			-		470 m	15 m		

(2)狭帯域IoT(上空) → 航空管制通信システム(地上、上空)

干渉抑圧フィルタ(SAW) 遮断減衰量 : 30dB

被干渉		与干渉				狭帯域IoT(上空)		伝搬モデル	干渉ルート#
無線機種別		給電線損失等 [dB]	空中線利得 [dBi]	空中線高 [m]	許容干渉レベル [dBm/MHz]	所要離隔距離			
航空管制通信システム	航空局(地上)	0	2	30	-92.8	フィルタ(無)	フィルタ(有)	自由空間伝搬損失	干渉ルート4
	航空局(上空)			-		470 m	15 m		

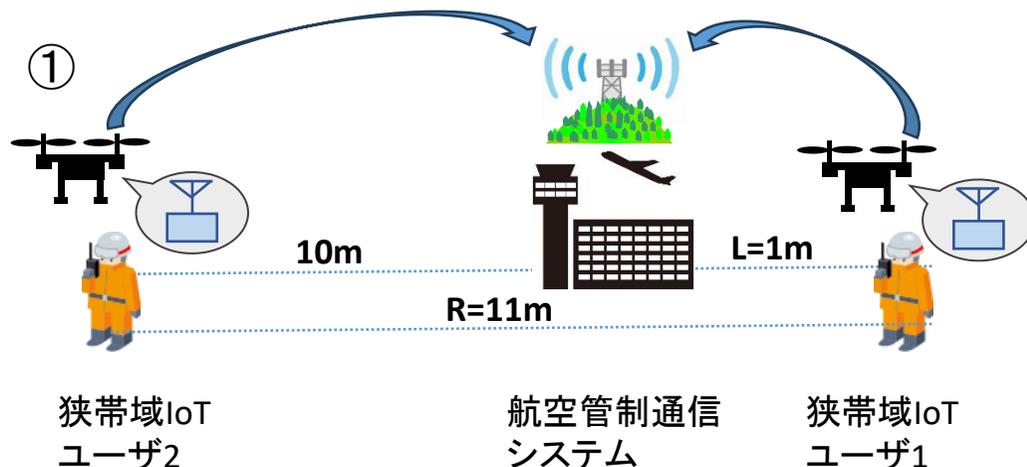
第4回作業班資料・再掲(資料4-4)

3. 狭帯域IoT無線システムが2台以上の場合

(1) 狭帯域IoT無線システムが2台の場合

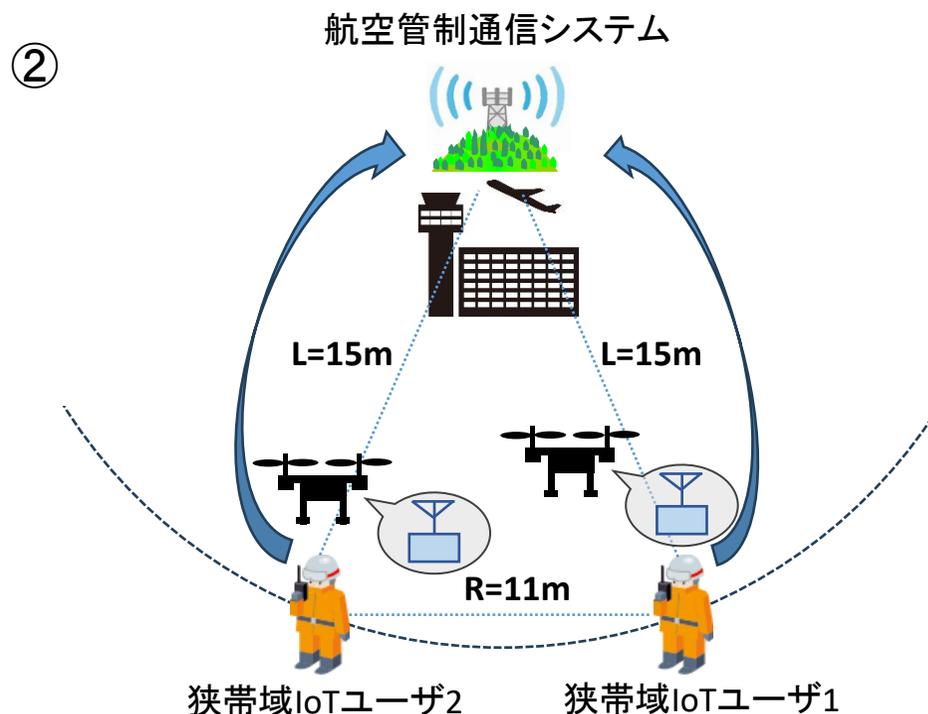
① L=1m

所要離隔距離Lが1mの時、
狭帯域IoTユーザ同士はR=11m離れないと
同時送信できないため、
航空管制通信システムと狭帯域IoTユーザ2は
10m離れることとなり、
2台の狭帯域IoT無線システムから
航空管制通信システムへの干渉量は
1台の1.0100倍となる。



② L=15m

航空管制通信システムと狭帯域IoTユーザが
等距離に配置される状態が
最大の干渉量となり、
2台の狭帯域IoT無線システムから
航空管制通信システムへの干渉量は
1台の2倍となる。



3. 狭帯域IoT無線システムが2台以上の場合

(2) 狭帯域IoT無線システムが3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が増す。

$$(R=2 \times (11\text{m}) \times \{(3^2-1)/12\}^{(1/2)} \times \sin(\pi/3)=15.6\text{m})$$

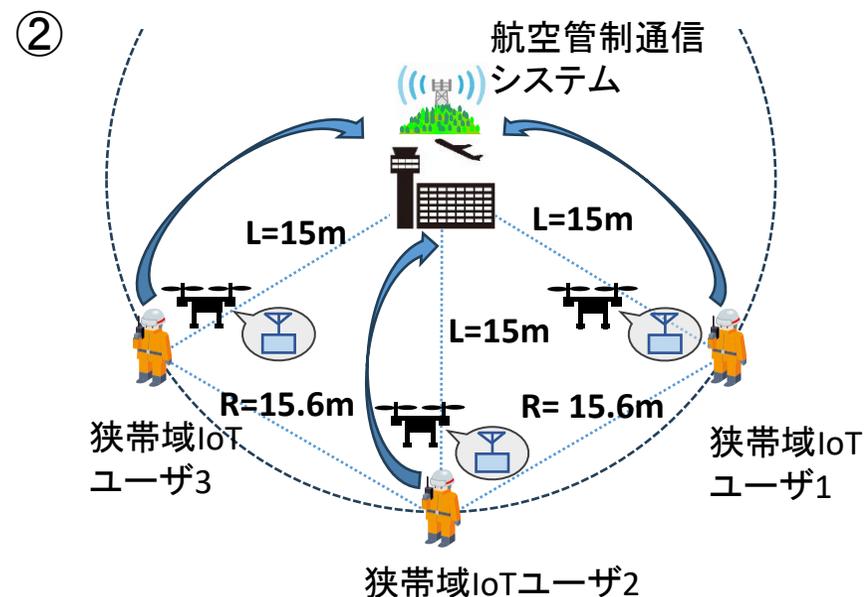
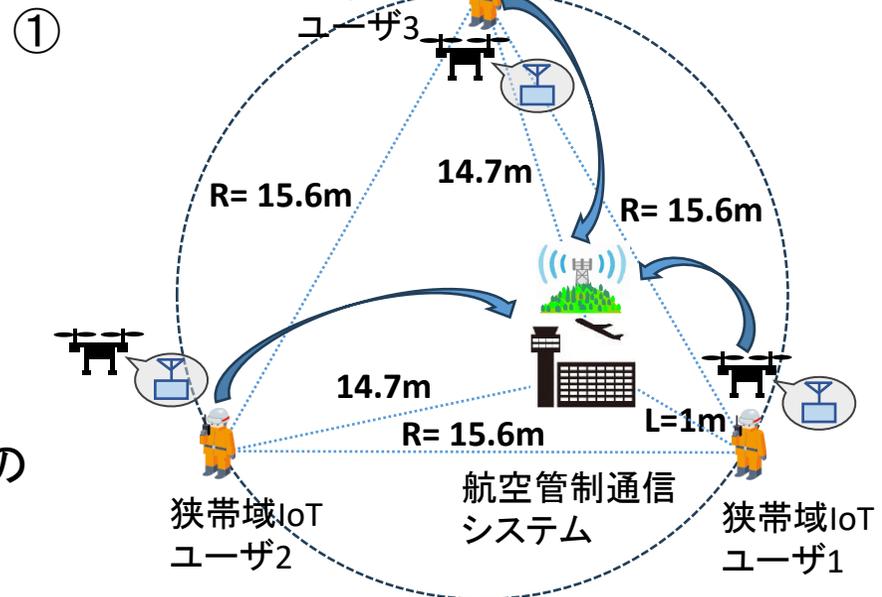
(R算出式については12~14頁の参考資料参照)

① L=1m

Rの増加で距離減衰が増加し、
 狭帯域IoT無線システムから航空管制通信システムへの
 干渉量が減少するため、
 3台の狭帯域IoT無線システムから
 航空管制通信システムへの干渉量は
 1台の1.0093倍となる。

② L=15m

航空管制通信システムと狭帯域IoTユーザが
 等距離に配置される状態が
 最大の干渉量となり、
 3台の狭帯域IoT無線システムから
 航空管制通信システムへの干渉量は
 1台の3倍となる。



3. 狭帯域IoT無線システムが2台以上の場合

(3) 狭帯域IoT無線システムが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が増す。

$$(R=2 \times (11\text{m}) \times \{(4^2-1)/12\}^{(1/2)} \times \sin(\pi/4)=17.3\text{m})$$

① L=1m

Rの増加で距離減衰が増加し、狭帯域IoT無線システムから航空管制通信システムへの干渉量が減少するため、

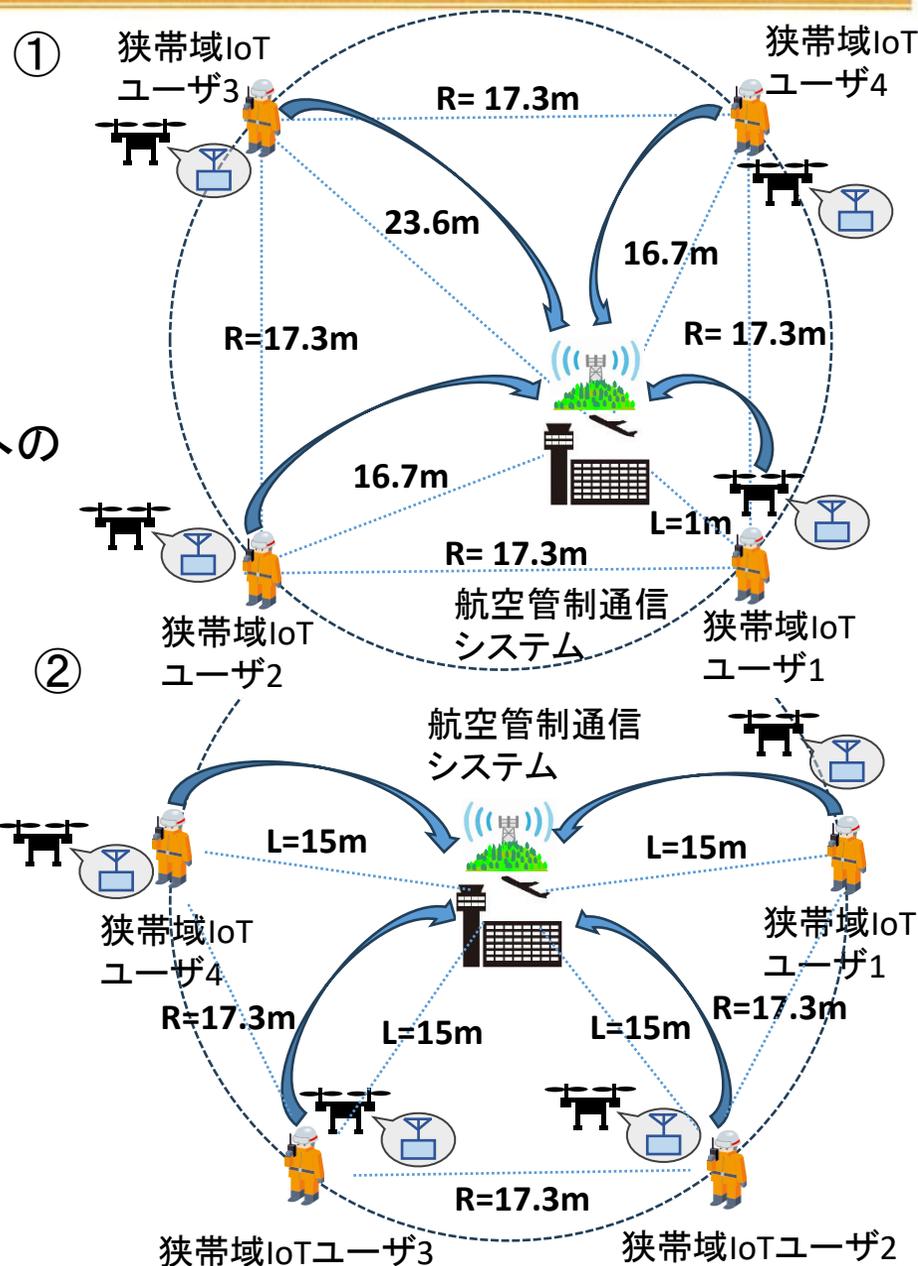
4台の狭帯域IoT無線システムから航空管制通信システムへの干渉量は1台の1.0090倍となる。

台数増加による干渉量減少傾向が確認できたため、①の検討は4台までとする。

② L=15m

航空管制通信システムと狭帯域IoTユーザが等距離に配置される状態が最大の干渉量となり、

4台の狭帯域IoT無線システムから航空管制通信システムへの干渉量は1台の4倍となる。



3. 狭帯域IoT無線システムが2台以上の場合

(4) 狭帯域IoT無線システムが5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が増す。

$$(R=2 \times (11\text{m}) \times \{(5^2-1)/12\}^{(1/2)} \times \sin(\pi/5)=18.3\text{m})$$

② L=15m

狭帯域IoTユーザの台数とRが増したため
 半径15mの同心円状に狭帯域IoTユーザを
 配置できなくなった。

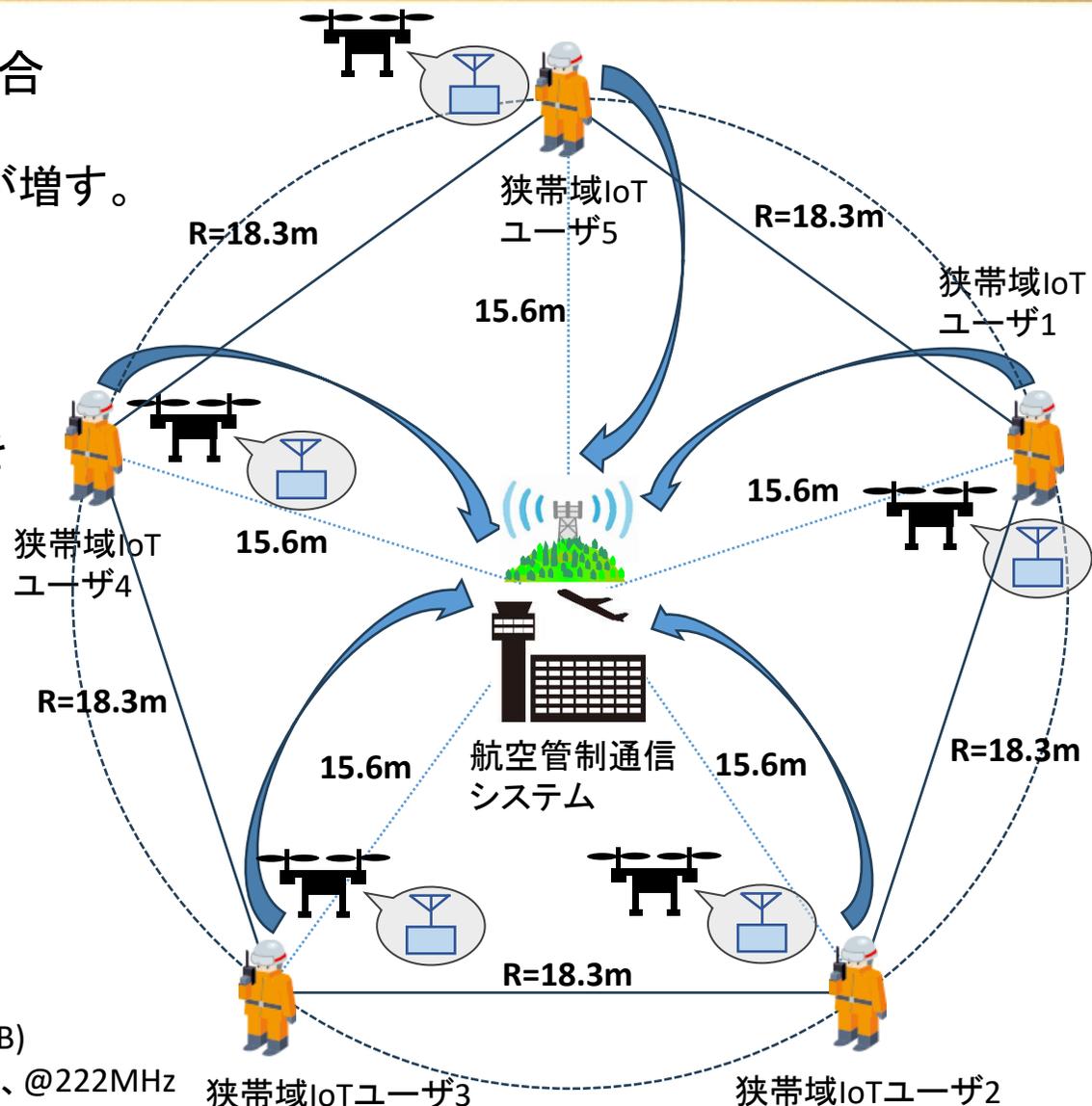
狭帯域IoTユーザがRの間隔で
 同心円状に配置される状態が
 最大の干渉量となり、

その同心円の半径は15.6mとなる。
 同心円の半径が15mから
 15.6mになったことから
 狭帯域IoT無線システムが5台の場合の
 干渉量は1台の4.6倍※となる。

※ $6.7\text{dB}(4.6\text{倍})=7\text{dB}(5\text{倍})$

-{(15.6mの自由空間伝搬損失43.2dB)

-(15mの自由空間伝搬損失42.9dB)}、@222MHz



3. 狭帯域IoT無線システムが2台以上の場合

(5) 狭帯域IoT無線システムが6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が増す。

$$(R=2 \times (11\text{m}) \times \{(6^2-1)/12\}^{(1/2)} \times \sin(\pi/6)=18.8\text{m})$$

② L=15m

狭帯域IoTユーザの台数とRが増したため半径15mの同心円状に狭帯域IoTユーザを配置できなくなった。

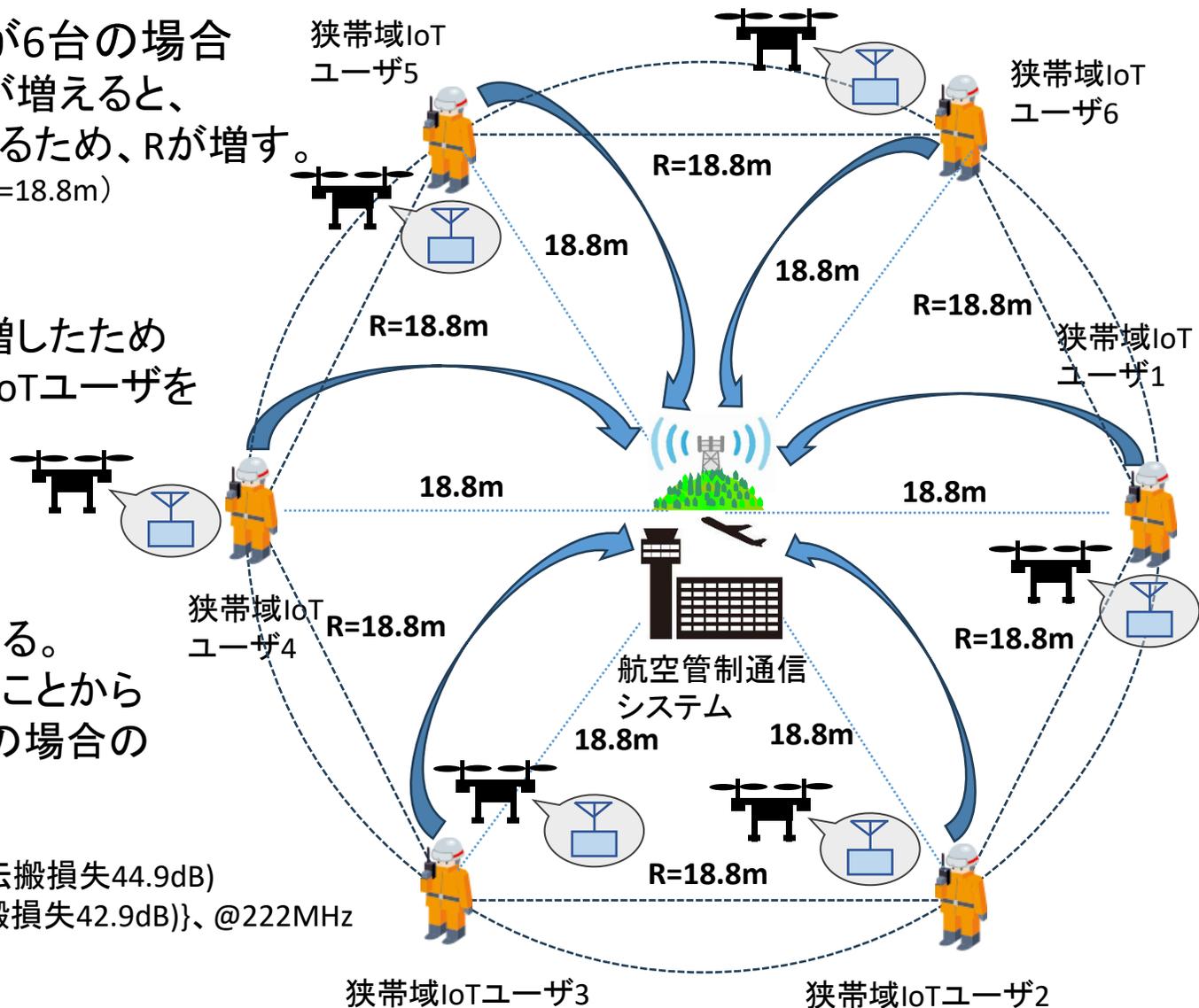
狭帯域IoTユーザがRの間隔で同心円状に配置される状態が最大の干渉量となり、

その同心円の半径は18.8mとなる。同心円の半径が18.8mになったことから狭帯域IoT無線システムが6台の場合の干渉量は1台の3.8倍※となる。

※5.8dB(3.8倍)=7.8dB(6倍)

-(18.8mの自由空間伝搬損失44.9dB)

-(15mの自由空間伝搬損失42.9dB)、@222MHz



3. 狭帯域IoT無線システムが2台以上の場合

(6) 狭帯域IoT無線システムが7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が増す。

$$(R=2 \times (11\text{m}) \times \{(7^2-1)/12\}^{(1/2)} \times \sin(\pi/7)=19.1\text{m})$$

② L=15m

狭帯域IoTユーザの台数とRが増したため半径15mの同心円状に狭帯域IoTユーザを配置できなくなった。

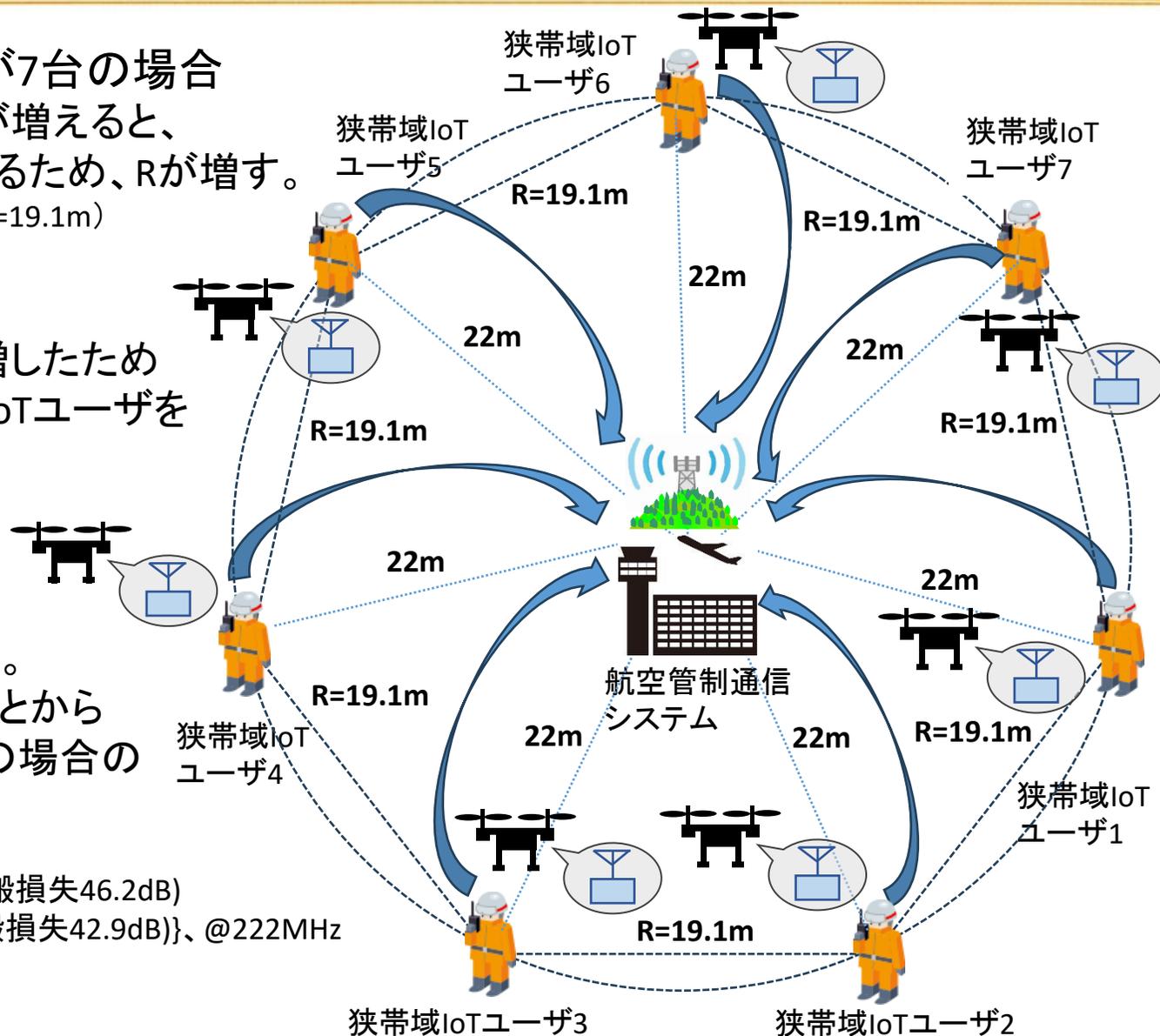
狭帯域IoTユーザがRの間隔で同心円状に配置される状態が最大の干渉量となり、その同心円の半径は22mとなる。

同心円の半径が22mになったことから狭帯域IoT無線システムが7台の場合の干渉量は1台の3.3倍※となる。

※ $5.2\text{dB}(3.3\text{倍})=8.5\text{dB}(7\text{倍})$

-{(22mの自由空間伝搬損失46.2dB)

-(15mの自由空間伝搬損失42.9dB)}、@222MHz

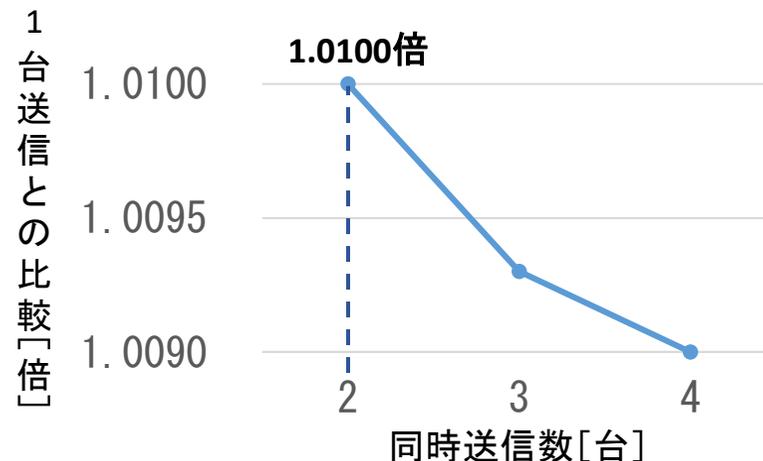


4. まとめ①

狭帯域IoT無線システムから航空管制通信システムへの干渉量を同時送信数から検討した結果

①L=1m

	1台送信と比較して
2台同時送信	1.0100倍 (0.043dB増)
3台同時送信	1.0093倍 (0.040dB増)
4台同時送信	1.0090倍 (0.039dB増)



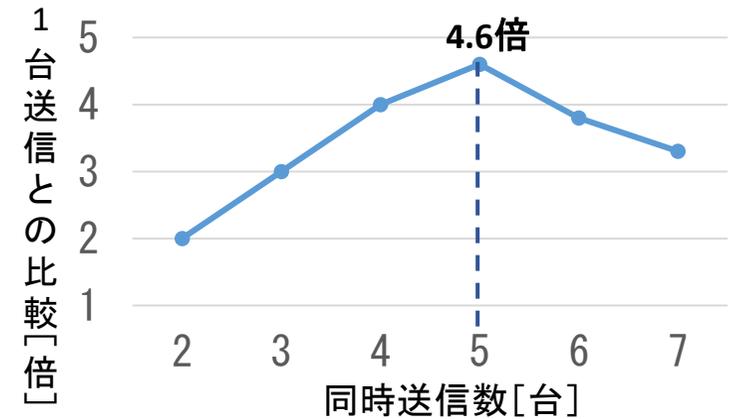
複数送信時の干渉量は2台同時送信の場合が最も大きくなり、複数台同時送信時の最大干渉量は1台分の**1.0100倍 (0.043dB増)**となる。

同時送信時であってもほぼ1台を想定すればよいため、特段問題はない。

4. まとめ②

②L=15m

	1台送信と比較して
2～4台同時送信	2～4倍 (3dB～6dB増)
5台同時送信	4.6倍 (6.7dB増)
6台同時送信	3.8倍 (5.8dB増)
7台同時送信	3.3倍 (5.2dB増)



複数送信時の干渉量は5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**4.6倍 (6.7dB増)**を想定すればよい。そのため、所要離隔距離は、15m (1台時)⇒32m (干渉量が4.6倍)となるが、上側帯域、FSK送信機(5W)の不要輻射レベルの実力値においても、規定値(案)に対して、これまで提示している下側帯域と同様(注)な実効的に、約13dB程度の改善(低減)が見込まれることから離隔距離32mは、15m以下に短縮される試算結果となる。(注): 第5回作業班資料5-3 2.1(2) 条件2 参照
また、この試算結果に関し、ユースケースから見た運用形態を以下に整理すると

- 狭帯域IoT無線システム(地上)は、
 - 空港へ容易に立ち入ることはできない
 - 山上局の周囲に異なる周波数を使用する狭帯域IoT無線システムのグループが複数集まることは稀である
 - 航空機へ容易に近づくことはできない
- 狭帯域IoT無線システム(上空)は、
 - 空港の周辺の空域での飛行が制限されている(航空法 第132条の85第1項第1号)
 - 山上局の構造物や航空機との間に30m以上の距離を保つルールがある
(航空法 第132条の86第2項第3号、航空法施行規則 第236条の79第1項)

ことから、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。

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

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>

A_1A_2 の局間距離がrとなる場合について、 A_2 局から A_1 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A₁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。

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

A₁A₂, A₁A₃, ..., A₁A_n: 局間距離

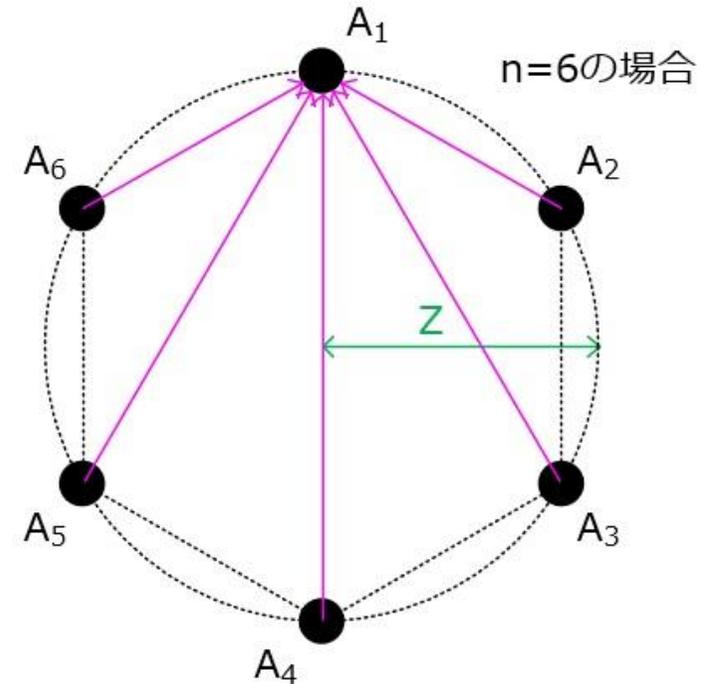
これに外接円半径Zの場合の正多角形の対角線の逆二乗和の定理

(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。

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



【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。

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