

## マルチビーム伝送システムにおける放射指向性の条件に関する検討

日大生産工(院) ○加瀬 裕真, 山崎 慎太郎 日大生産工 関 智弘  
NTT 未来研 新井 麻希, 平賀 健, 加保 貴奈, 坂元 一光

## 1 まえがき

近年のスマートフォンやタブレットPC等の通信端末の急激な普及に伴い、無線通信の更なる高速大容量化が求められている。一般に高速通信を行うには広い周波数帯域幅が必要となる。そのため、広帯域を持つ高周波数帯の利用は次世代の超高速無線通信の実現に有効である。著者らは準ミリ・ミリ波帯での運用に適したマルチビーム基地局システムを提案し、通信エリア内での通信路容量向上の検討を進めている[1], [2]。本システムによって高品質かつ超高速通信を提供するには隣接ビームやサイドローブからの干渉を最小限にする必要がある。本稿では基地局(BS)から放射されるビームによる通信路容量への影響を数値解析によって検討したので報告する。

## 2 通信モデルおよび解析条件

## 2.1 システムモデル

図1に提案するマルチビーム基地局システムのモデル、表1に解析諸元を示す。ミリ波帯等の高周波帯では大気減衰が大きいことや非常に強い直進性を持つため、見通し内での通信が必要になると考えられる。そこでBSを頭上方向に設置し、そこから地上に向けて複数のビームを放射する。これによって極小セルと呼ばれる局所的に高速通信ができるスポットを複数配置する。

## 2.2 放射指向性のモデル

本システムは当研究室で提案している誘電体レンズ給電回路[3]の搭載を想定しているため、アナログビームフォーミングによるビーム成形を仮定する。すなわち、BSからは特定の方向に指向性の鋭いビームを放射する。本検討ではBSから放射されるビームの指向性モデルとして励振分布をチェビシェフ分布としたときのアレーアンテナの指向性[4]を用いることで、サイドローブレベル(sidelobe level : SLL)のピーク値を任意に定義でき、SLLによる通信路容量への影響も考慮できる。ビームの電力半値幅(half power beam width : HPBW) はアンテナ素子数によって変化させる。アンテナ素子数を増加させるとHPBWが小さくなり鋭いビームとなる。

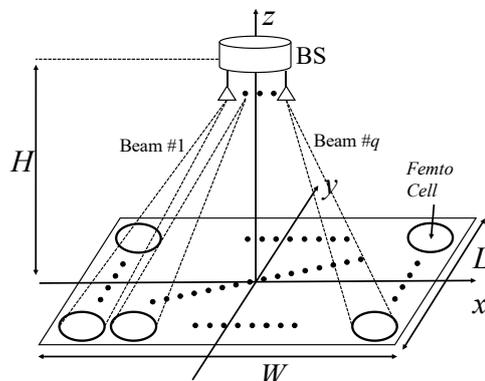


図1 マルチビーム基地局システムのモデル

表1 解析諸元

搬送波周波数	60 GHz帯
周波数帯域幅	2.16 GHz
送信電力	10 dBm
雑音電力	-174 dBm/Hz
エリア面積	10×10 m <sup>2</sup>
基地局高	10 m
励振分布	チェビシェフ分布
アンテナ素子間隔	0.5λ
ビーム数	4×4 ~ 10×10
サイドローブレベル	-20 dB ~ -16 dB

## 2.3 通信路容量の計算

本検討ではシャノンの定理に基づいて通信エリア内の通信路容量を計算した。通信エリア内の任意の地点 $q$ での通信路容量を $C_q$ とすると、

$$C_q = \log_2 \left( 1 + \frac{P_{r,q}}{\sum_{u \neq q} P_u + P_n} \right), \quad (1)$$

ただし、 $P_{r,q}$ は $q$ 点に向けられたビームのメインローブから得られる受信電力、 $P_u$ は隣接ビームおよびサイドローブからの干渉、 $P_n$ は熱雑音電力である。 $P_{r,q}$ は以下のフリスの伝達公式[5]で求めた。

$$P_{r,q} = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_t G_r P_t, \quad (2)$$

ただし、 $\lambda$ は波長、 $d$ はBSと受信端末との距離、 $G_t$ は送信アンテナ利得、 $G_r$ は受信アンテナ利得、 $P_t$ は送信電力である。本稿では $G_r = 1$ とし、送信アンテナ利得 $G_t$ は2.2で述べた指向性モデルから得られるHPBWから式(3)を用いて算出した。

## Study on Conditions of Radiation Directivity in Multiple Beam Transmission System

Yuma KASE, Shintaro YAMAZAKI, Tomohiro SEKI,  
Maki ARAI, Ken HIRAGA, Takana KAHO and Kazumitsu SAKAMOTO

$$G_t \approx \frac{4\pi}{\theta_x \theta_y}, \quad (3)$$

ただし、 $\theta_x, \theta_y$ は $x, y$ の各軸方向におけるビームのHPBW[rad]である。

通信路容量の計算において作成した指向性モデルからメインローブとサイドローブの各成分を分離してそれぞれ $P_{r,q}$ および $P_u$ として使用する必要がある。その境界値を図2に示すように各ビーム指向性の交点とし、これ以上となる放射範囲をメインローブとみなしてセル範囲と定義した。

### 3 解析結果

図3にHPBWの変化に対するセル内での平均通信路容量の関係を示す。同図(a)からビーム数の増加に伴って通信路容量が減少しているが、ビームの増加分だけサイドローブも増加したことによるものと考えられる。加えて各ビーム数の場合において、あるHPBWで通信路容量が最大となる点が存在することが分かる。ピーク点となるまでHPBWを小さくすることによる通信路容量の増加は指向性利得の増加が強く起因していると考えられる。一方でピーク点よりもHPBWを小さくした時の容量の低下の原因は、HPBWを小さくすることでサイドローブのヌルの間隔が狭くなり、セル内での干渉成分が増加したためである。よって本システムにおいてセル内での通信路容量が最大となるHPBWの最適値が存在すると言える。

図3(b)は4×4ビームを放射した場合でのSLLによる比較である。同図からSLLの増加に伴って通信路容量が低下することを確認した。また表2に平均通信路容量のピーク値が約3bps/Hz/m<sup>2</sup>となる時の条件を示す。同表から、SLLが大きくなる場合ではビーム数を制限することでエリア内の通信品質を保つことができると言える。

### 4 まとめ

本稿では準ミリ・ミリ波帯での運用に適したマルチビーム基地局システムを提案し、通信路容量が最大になるビーム幅について数値解析を行った。その結果、各ビーム数においてHPBWの最適値があること、そしてSLLが大きくなる場合はビーム数を減らしたシステム構成にする必要があることを示した。

ビーム数の増加によっても通信路容量が低下することから、1つのBSから放射するビーム数を制限して運用の方が通信の高速化に適していると考えられる。今後は少ないビームを放射するBSを複数使用した場合についても検討し、より高速な通信システムとなる条件について検討していく。

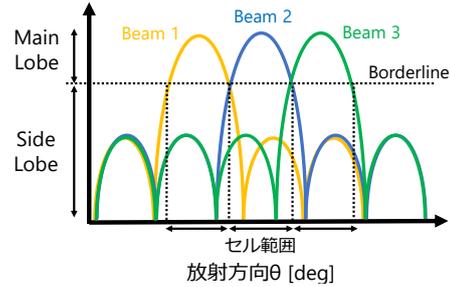
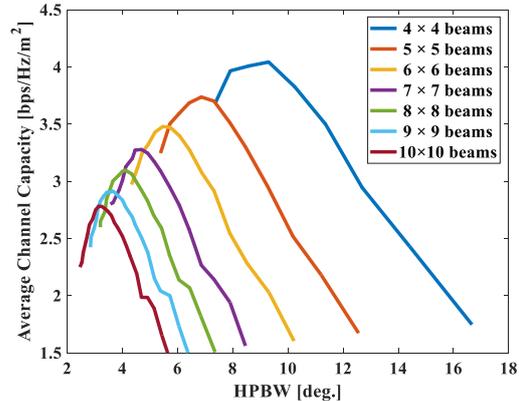
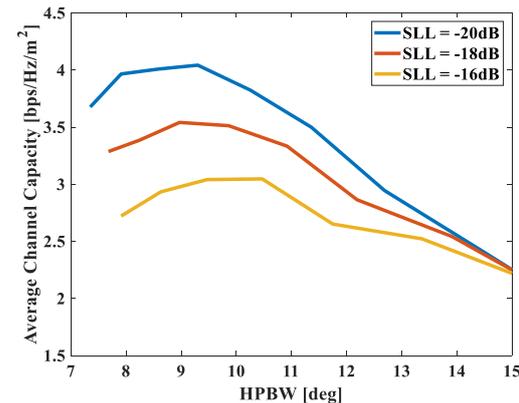


図2 ビームあたりのセル構成範囲の定義



(a) SLL=-20dB一定でビーム数を変化させた時



(b) 4×4ビーム一定でSLLを変化させた時

図3 HPBWに対するセル内平均通信路容量特性

表2 最大平均通信路容量が約3 bps/Hz/m<sup>2</sup>になる条件

SLL [dB]	ビーム数	HPBW [deg.]	最大平均通信路容量 [bps/Hz/m <sup>2</sup> ]
-16	4×4	10.5	3.05
-18	6×6	5.9	2.96
-20	8×8	4.1	3.10

#### 「参考文献」

- [1] 加瀬他, “ミリ波マルチビーム基地局における放射指向性の影響に関する検討,” 2018信学ソ大, B-19-2, 2018.
- [2] Y. KASE et al, “Study on the Number and Size of Cells Composed of Multiple-beam Transmission Base Station System,” APMC2018, Nov. 2018.
- [3] 関他, “誘電体レンズを用いたマルチビーム給電回路の基礎検討,” 2016信学ソ大, B-1-122, 2016.
- [4] Constantine A. Balanis, “Antenna Theory: Analysis and design 4th ed.,” WILEY, pp. 330-343 Feb. 2016.
- [5] H.T. Friis, “A Note on a Simple Transmission Formula,” Proceedings of the IRE vol. 34, pp. 254-256, May 1946.