

## TDMA セルラ移動の周波数 2 重再利用方式

— セクタセル市街地基地局と導入終期ビル構内モデル —

デービッド・K・アサノ、大野 秀時、木下 康昭

信州大学工学部情報工学科  
〒380 長野市若里 500

あらまし セルラ移動電話システムでは、通常セクタセル構成の基地局を使用し、周波数利用効率を高めている。先に報告したデジタル TDMA 周波数 2 重再利用方式を採用したビル構内ピコセルシステムの概念設計公式をセクタ構成に拡張した。市街地セルラの基地局に 3 セクタセル構成を使用し、ビル構内の導入終期モデルには水平等方向性基地局を採用する。TDMA 方式で採用する小さなクラスタ数の場合を特に解析した。

キーワード セルラ方式、周波数 2 重再利用、セクタセル構成、概念設計

## Frequency Channel Double Reuse Systems for TDMA Cellular Mobile Radio

— Model for Final Stage Implementation of Indoor System using Sector Cell Urban Base Stations —

David K. Asano, Hidetoki Ohno and Yasuaki Kinoshita

Department of Information Engineering,  
Shinshu University,  
500 Wakasato, Nagano 380

**Abstract** To enhance frequency utilization efficiency, cellular mobile radio systems widely use a sector cell structure for the base stations. In this paper, the conceptual design formulae previously reported are extended for frequency double reuse indoor pico-cellular systems. A three sector cell structure is adopted for the urban cellular base stations and omni-directional base stations are used for the indoor system, which is in the final stage of implementation. In particular, the small cluster size case is analyzed for TDMA cellular systems.

**Keywords** cellular radio, frequency double reuse, sector cells, conceptual design

# 1 はじめに

デジタル TDMA セルラ移動電話では、セクタセル構成を採用してクラスタ数を小さくし、分割損を減少させ周波数利用効率を高めている。先に提案したビル構内ピコセルシステムに市街地セルラと同一周波数チャンネル帯を共用する方式 [3] は、既に米国でアナログ版 IS-94 標準が実用され、デジタル版 IS-136 にも標準化され [7]、日本でもデジタル PDC 版での標準化が ARIB に提案されている。

これまでに報告した周波数 2 重再利用方式では、安全側に設計した導入終期モデルを考察の対象にした [1][2][7]。そこでは、自己干渉量が平衡状態になり設計公式が簡略化される。

本研究は、先に報告したデジタル TDMA 版の概念設計公式 [1] をセクタセル構成の基地局に採用する場合に拡張した。この TDMA 版では、使用されるクラスタ数が小さくなり、導入終期

モデルでもこの不平衡成分が無視できなくなる。本研究では、この不平衡干渉量が及ぼす影響を試算し、市街地基地局にセクタセル構成を採用する場合をオムニセル基地局と比較検討した。

# 2 セクタセル市街地基地局

市街地セルラ移動電話システムの基地局に使用されている 3 セクタセル構成 [4] とアンテナ指向性を図 1 に示す。本研究の試算に使用するビーム幅 120 度のアンテナ指向性関数  $G(\theta)$  の例 [5] を以下に示す。

$$G_t(\theta) = \begin{cases} 0 & |\theta| \leq \theta_1 \\ -0.23 \times (\theta_1 - |\theta|) & \theta_1 \leq |\theta| \leq \theta_2 \\ -25 & |\theta| \geq \theta_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$\theta_1 = 47^\circ, \theta_2 = 156^\circ$$

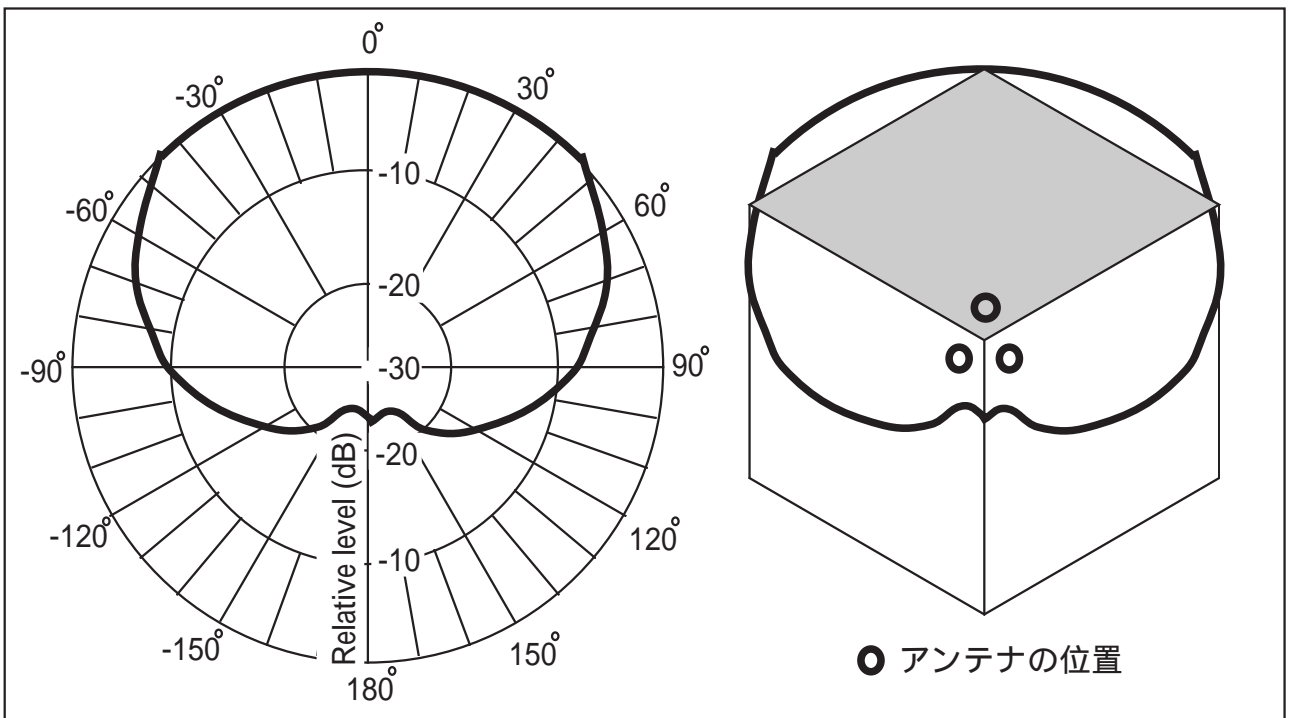


図 1: 3 セクタセル構成とアンテナ指向性

このセクタセル構成を使用し、先に報告した周波数 2 重再利用方式を採用したビル構内ピコセルシステムの概念設計公式 [1] を拡張する。

市街地セルラとビル構内ピコセルの両システムが等しい通話品質で共存する条件式 [3]、

$$\frac{S_1}{I_1 + J_{21}} = \frac{S_2}{I_2 + J_{12}} \quad (2)$$

から、概念設計公式が導かれる。ここで、 $S$ ,  $I$ ,  $J$  はそれぞれ、受信信号強度、同一搬送波の自己干渉量と相互干渉量であり、添え字の 1 は市街地システムを 2 はビル構内のピコセルシステムを示す [3]。

受信信号強度  $S_i$  は、

$$S_i = K_i \frac{P_i}{r^{\alpha_i}}, \quad K_i = \frac{\lambda}{4\pi} G_{ti} G_{ri} \Lambda_i^{\alpha_i - 2} \quad (3)$$

と自由空間での Friss の伝搬公式  $\alpha_i = 2$  を拡張する点は先の発表 [1] と変わらない。ここで、 $P_i$  は送信アンテナ電力であり、 $\lambda$  は電波の波長である。市街地基地局のアンテナ利得関数  $G_{t1}$  に (1) 式の指向性を採用する点が異なり、ビル構内ピコセル基地局にはオムニ指向性利得  $G_{t2} = 1$  を用いる。 $\Lambda_i$  は自乗則伝搬長 (line of sight length) であり、 $\alpha_i$  は統計的電波減数の指数である [1][2][3]。先の報告と同様に以下の試算には、 $\alpha_1 = 3.5$ 、 $\alpha_2 = 4.5$  を使用する。

### 3 ビル構内の導入終期モデル

3 セクタセルの基地局を用いた場合のビル構内導入終期モデルを図 2 に示す。導入終期は導入初期に比べて  $I_2$ ,  $J_{21}$ ,  $J_{12}$  が大きく、安全側の設計例として、導入終期状態を概念設計のモデルとして使用する。しかし、この場合でも図 2 の白い市街地セル内では干渉が強すぎるので、ピコセルシステムでは周波数チャンネル A を使用しない

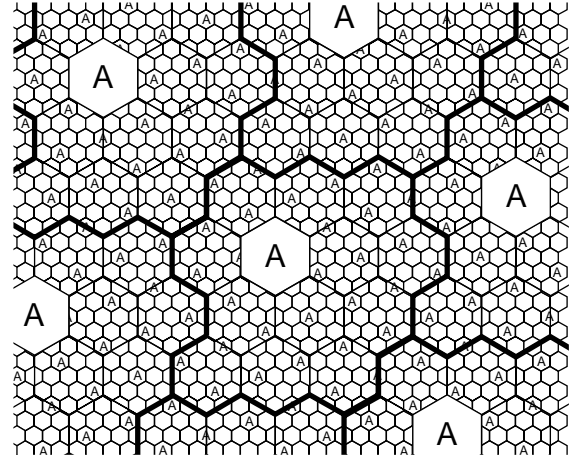


図 2: ビル構内ピコセルシステムの導入終期モデル

(周波数チャンネル B, C, .. を微小電力 B, C,.. で使用する)。この白いセル数  $C_g$  は設計パラメータであり、

$$C_g(s) = 1 + \sum_{k=1}^s k \quad (4)$$

で与えられる。ここで、 $s$  は白いセルの層数である。以下の試算では単純化し、全て  $C_g = 1$  とした。また、図 2 の市街地セルラはクラスタ数  $C_1$  が 13 の例であり、このクラスタ内で使用できる搬送波チャンネル数、

$$C(i, j) = i^2 + j^2 + ij \quad (5)$$

に等しい。ここで、 $(i, j)$  は、斜交座標軸上の同一搬送波チャンネル位置を示すシフトパラメータである。セルラ方式とは、クラスタ間で周波数チャンネルを再利用し、クラスタ内での再利用を禁止する。本方式は、クラスタ内でも再利用を許すので、二重再利用方式と命名した [3]。

市街地セルラが既に建設済みの後にビル構内システムが建設される場合を想定し、市街地セルの半径  $R_1$  と基地局送信電力  $P_1$  が与えられた場合

に、ピコセル基地局のセル半径  $R_2$  と基地局送信電力  $P_2$  を概念設計する。先の報告 [1] と同様に、市街地セルラとビル構内ピコセルラが独立に存在する場合の通話品質が等しい ( $S_1/I_1 = S_2/I_2$ ) と仮定し、(2) 式を  $J_{21}/S_1 = J_{12}/S_2$  と書き改め次式を導いた。

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{\frac{\alpha_2}{2}+1} \left(\frac{\sqrt{\rho_1\rho_2}}{\Lambda_2}\right)^{\alpha_2-\alpha_1} \cdot \left(\frac{\Lambda_1}{\Lambda_2}\right)^{\alpha_1-2} E(C_2, C_g), \quad (6)$$

ここで、 $\rho_1$  と  $\rho_2$  は新たに導入した伝搬パラメータであり、図 3 に示すように  $J_{21}$  と  $J_{12}$  の級数計算に使用し、(6) 式が以前 [2][3][7] より広範囲な伝搬環境に適用できるようになった。また、関数  $E$  はセル構造と  $\alpha_i$  のみで与えられる関数であり、一度数表化すれば (6) 式は関数電卓で容易に数値計算できる。

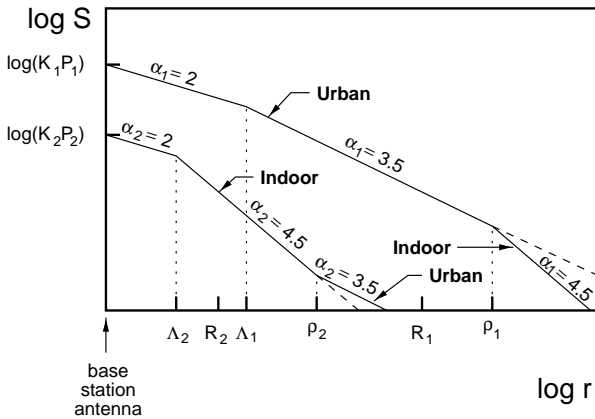


図 3: ビル構内外の電波伝搬モデル

#### 4 小クラスタ化の影響

TDMA 方式のクラスタ数  $C_1$  は、日本 PDC 方式で 4、欧州 GSM 方式で 3、殆ど普及していないが米国 IS-54 方式では 7 であり、全て 3 セクタ構成を採用している [6]。しかし  $C_1$  が小さくなると (6) 式に用いた仮定 ( $S_1/I_1 = S_2/I_2$ ) を見直す必要がある。これまでの報告では  $C_2 = 0.71418C_1^{7/9}$  で与えられる表 1 の仮想状態を使用した。しかし、表 1 の非整数  $C_2$  は実在せず、現実にはこれに近い整数の  $C_2$  を使用する。

表 1: ビル構内の非整数クラスタ数  $C_2$

$C_1$	3	4	7	9	13
オムニ	1.68	2.10	3.24	3.95	5.25
セクタ	2.68	3.28	5.04	6.17	8.10

整数  $C_2$  を使用する現実の場合に拡張した概念設計公式を以下に示す。

$$\frac{P_2}{P_1} = X_s + \sqrt{X_s^2 + \left(\frac{P_{20}}{P_1}\right)^2} \quad (7)$$

ここで  $P_{20}P_1$  は (6) 式の解であり、下記の補正項  $X_s$  が (7) 式に追加される ( $X_s = 0$  場合に (6) 式と等しくなる)。

$$X_s = \left(\frac{\bar{I}_1 - \bar{I}_2}{2\bar{J}_{21}}\right) C_2 \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \left(\frac{\rho_2}{\Lambda_2}\right) \left(\frac{\Lambda_1}{\Lambda_2}\right)^{\alpha_1-2} \quad (8)$$

ここで、 $I_1, I_2, J_{21}$  はセル半径  $R_i$  で規格化し、 $K_i P_i = 1$  とした同一搬送波の干渉量であり、先の報告 [1] の計算式で求まる (付録参照)。3 セクタセル構成の  $S_1/I_1 = I_1$  は、オムニセル  $C_1$  のおよそ 3 倍に等しい (付録参照)。

(6) 式に現れる自己干渉量  $I_1 - I_2$  の不平衡は導入初期モデルで最も激しく、また周波数利用効率の計算にも影響するが、ページ数の関係で別の機会に譲る。

## 5 試算例

前章までに求めた拡張した概念設計の試算例を表 2 と 3 に示す。先の報告 [1] と同様に、市街地セルラの  $P_1 = 3W$ ,  $R_1 = 3km$  とし、伝搬モデルのパラメータは  $\Lambda_1 = 120m$ ,  $\Lambda_2 = 3m$ ,  $\rho_1 = R_1$ ,  $\rho_2 = R_2$  と仮定した。またピコセル半径には  $P_{20} = 10mW$  の時の式 (6) で計算した  $R_2$  を使用した。

非整数  $C_2$  の存在を仮定した概念設計公式 (6) に比べて、同一搬送波干渉量が不平衡になり、(7) 式の補正公式から試算した送信電力  $P_2$  が増加する。 $C_1$  の小さいデジタル方式はこの影響が厳しい。3 セクタセル基地局の使用により、この干渉がオムニセルに比べ大きく改善されている。

表 2: 導入終期モデルのピコセル半径と送信電力 (セクタセル基地局)

$C_1$	3	4	7	9	13	16	19
$C_2$	3	4	7	7	9	12	12
$R_2$ [m]	20.7	20.2	19.9	18.9	18.3	17.6	17.6
$P_2$ [mW]	16.2	17.5	15.3	11.4	10.7	12.6	10.3

表 3: 導入終期モデルのピコセル半径と送信電力 (オムニセル基地局)

$C_1$	3	4	7	9	13	16	19
$C_2$	3	3	4	4	7	7	9
$R_2$ [m]	22.2	21.9	20.9	20.4	19.7	19.2	18.9
$P_2$ [mW]	116	48.9	18.6	10.3	14.8	11.4	11.4

## 6 むすび

クラスタ数の小さい TDMA 市街地移動電話に周波数 2 重方式を適用する場合の概念設計公式を拡張し、同一周波数干渉量の不平衡性が及ぼす影響を試算した。セクタセル構成の採用はこの不平衡性干渉を大幅に改善する。

今後の課題は、この不平衡性の大きい導入初期モデルと周波数利用効率に及ぼす影響の検討である。

## 付録

先の報告 [1] に定義したセル構造モデルと  $\alpha_i$  のみに依存する級数計算の結果を表 A1(オムニセル基地局) と表 A2(3 セクタセル基地局) に示す。両表とも  $C_g = 1$ ,  $\alpha_1 = 3.5$ ,  $\alpha_2 = 4.5$  である。

表 A1: オムニセルの規格化干渉量

$C_1$	$C_2$	$\bar{I}_1$	$\bar{I}_2$	$\bar{J}_{21}$	$E$	$S_1/I_1$
						(dB)
3	3	0.188	0.0508	1.095	1.290	7.26
4	3	0.113	0.0508	1.170	1.365	9.47
7	4	0.0426	0.0266	1.240	1.625	13.7
9	4	0.0274	0.0266	1.256	1.777	15.6
13	7	0.0144	0.00754	1.269	2.036	18.4
16	7	0.0100	0.00754	1.273	2.203	21.3
19	9	0.0074	0.00429	1.276	2.352	21.1

表 A2: セクタニセルの規格化干渉量

$C_1$	$C_2$	$\bar{I}_1$	$\bar{I}_2$	$\bar{J}_{21}$	$E$	$S_1/I_1$
						(dB)
3	3	0.06535	0.05076	1.0953	1.6647	11.9
4	4	0.04150	0.02657	1.1695	1.8545	13.8
7	7	0.01580	0.00754	1.2404	2.3778	18.0
9	7	0.01004	0.00754	1.2555	2.3624	20.0
13	9	0.00544	0.00429	1.2685	2.6643	22.6
16	12	0.00367	0.00224	1.2729	3.0708	24.4
19	12	0.00265	0.00224	1.2755	3.0676	25.8

## 参考文献

- [1] 木下康昭、デービッド・K・アサノ: 「市街地とビル構内で周波数2重再利用するデジタルセルラ方式 – 単一携帯機方式の概念設計改善モデル –」電子情報通信学会、第2種研究会、UPC 基礎研究会、pp. 5-10 (1997年3月).
- [2] 木下康昭、土屋敏樹、大貫信哉: 「広域コードレス電話と市街地セルラ移動電話の周波数共用:周波数チャンネル2重再利用方式」電子情報通信学会論文誌 B-II, Vol. J76-BII, No.6, pp. 487-495 (1993年6月).
- [3] Y. Kinoshita, T. Tsuchiya and S. Ohnuki, “Frequency Common Use between Indoor and Urban Cellular Radio – Research on Frequency Channel Doubly Reused System –,” IEEE VTC '89, (May 1989) pp. 325-329.
- [4] 中島信生: 「セル構成技術の進展」, NTT DoCoMo テクニカル J, Vol. 1, No. 2, pp.21-29 (Oct. 1993).
- [5] 中島信生、中野和彦: 「セクタセルの周波数利用率」, 信学会技報 RCS-89-18, pp. 1-10 (1989年6月).
- [6] 三宅常之: 「次世代携帯電話はCDMAに決まり、1部 世界標準への道程」, Nikkei Electronics, No. 680, pp. 66-73 (1997, 1.13).
- [7] 木下康昭監修: 「パーソナル移動電話システム」, トリケップス, 1996年.