

# 参照信号数と参照信号レベルの OFDM 伝送性能に与える影響

片岡 彩\*<sup>1</sup>, 熊谷 数馬\*<sup>1</sup>, 小川 佳彦\*<sup>2</sup>, 本間 光一\*<sup>3</sup>

## Impact of Reference Signals and Their Power Level on OFDM Transmission Performance

by

Aya KATAOKA \*<sup>1</sup>, Kazuma KUMAGAI \*<sup>1</sup>, Yoshihiko OGAWA \*<sup>2</sup> and Koichi HOMMA \*<sup>3</sup>

( received on September 30, 2010 & accepted on January 14, 2011 )

### Abstract

This paper presents a method of estimating the channel state information for OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) mobile broadband communication system which is based on the WSSUS (Wide Sense Stationary Uncorrelated Scattering) model. This paper describes the evaluation of the reference signal level and the number of reference signals. As a result, the reference signal of getting optimum  $E_b/N_0$  are 223 in number and 1.16 V in level under the condition of the BER=10<sup>-2</sup> point using QPSK transmission. Reference signal number or its level vs.  $E_b/N_0$  characteristic was broad when BER is same. If the difference of  $E_b/N_0$  is 0.1 dB, the number of reference signals are triple and its level are double under the condition of the BER=10<sup>-2</sup> point using QPSK transmission. Almost the same electric power vs.  $E_b/N_0$  characteristic was obtained when assuming that both electric powers were equal.

**Keywords:** OFDM, Reference signals, Reference level

## 1. 概要

現在、携帯電話の規格を決める 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) [1]においてより高速通信の実現を目指した LTE-advanced の標準化が推進されている。そこで規定する下り回線では広帯域直交周波数分割多重 (OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplex) 伝送方式が採用されている。その復調には周波数選択性を有する無線回線特性を高精度に推定することが求められる。そこ筆者らは WSSUS (Wide-Sense Stationary and Uncorrelated Scattering) モデルに基づく無線回線推定方法を提案した [2] [3]。本稿では上記方法を用い、参照信号のレベルを可変した場合と参照信号数を可変した場合の2つの参照信号付加方法について、その電力利用効率から見た伝送性能に与える影響を比較評価する。次に参照信号数と参照信号レベルを電力で換算した時の伝送性能に与える影響を比較評価する。以下第2章で無線回線推定方法、第3章で参照信号数と参照信号レベルの評価、第4章でまとめを述べる。

## 2. 無線回線推定方法

### 2.1 広帯域無線回線特性

通信の高速化を実現する為には回線の広帯域化が必要である。移動無線環境ではマルチパスの経路によって遅延時間差が生じそこで広帯域伝送を行うと周波数選択性フェージングが生じる。この特性を Fig. 1 に示す。このフェージングにより受信信号の振幅・位相・遅延に歪みが生じ正しく受信することが困難となる。これらの歪を取り除く為に高精度に無線回線を推定する必要がある。

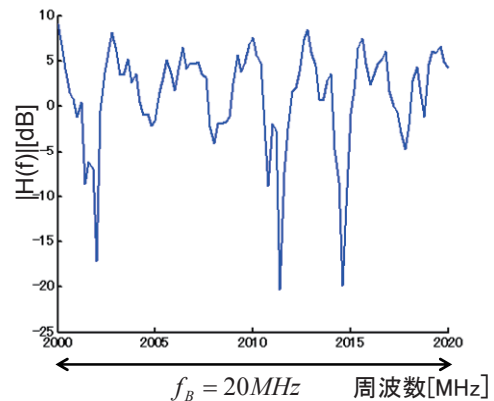


Fig.1 Frequency selective fading

### 2.2 WSSUS モデルに基づく無線回線推定

無線回線推定に用いる WSSUS モデルを Fig. 2 に示す。このモデル化は広帯域移動無線回線が各マルチパスの振幅と位相特性のみに依存する広義の定常過程でそれぞれのパスは無相関固定遅延で表される事に由来する。このモデル化した無線回線のインパルス応答と周波数特性を式(1)に示す。本回線推定法は広帯域無線回線をこのモデルの各パラメータを用いて推定する方法でありその概要を次に述べる。

$$\begin{aligned} h(t) &= \sum_{i=1}^6 (\alpha_i + \beta_i) \delta(t - \tau_i) \\ \hat{H}(\omega) &= \sum_{i=1}^6 (\alpha_i + \beta_i) e^{j\omega\tau_i} \end{aligned} \quad (1)$$

$\alpha_i$  : 実部,  $\beta_i$  : 虚部,  $\tau_i$  : 遅延時間

\*1 工学研究科・情報通信制御システム工学専攻・修士課程  
\*2 パナソニック株式会社・次世代モバイル開発センター  
\*3 情報通信学部・通信ネットワーク工学科・教授

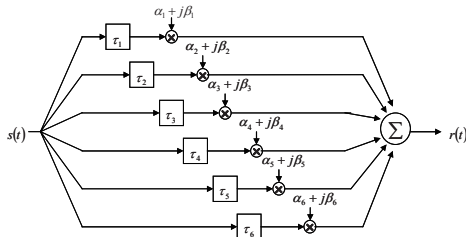


Fig. 2 WSSUS model

OFDM 伝送における無線回線の推定はデータ信号を送るサブキャリアの一部に等間隔で参照信号を挿入しこれを用い回線特性を推定する方法を用いる. この方式による OFDM 伝送システムの送受信構成を Fig. 3 に示す.

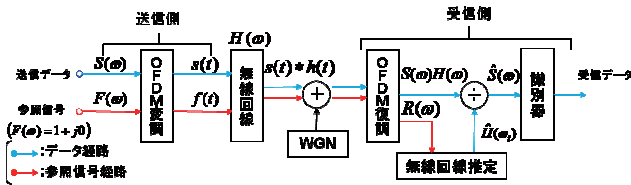


Fig. 3 Structure of transmitter and receiver

本無線回線推定法では周波数軸上に等間隔に挿入して送出した参照信号の受信信号と WSSUS モデルを用いて算出した出力の差の絶対値の 2 乗和 (周波数領域) が最小となるように WSSUS チャネルモデルの各パラメータ (複素パス利得, 遅延時間) を求める. この最適化に用いる評価関数を式 (2) に示す. また, この解法には非線形連立方程式が解けるテイラー逐次近似法を用いている. これにより受信参照信号に含まれる雑音成分の効率的な抑圧が実現できる. 最後に周波数補間により参照信号周波数点からデータ信号周波数点における無線回線特性が推定できる.

$$\sum_k |R(\omega_k) - \hat{H}(\omega_k)|^2 \quad (2)$$

$R(\omega_k)$ : 受信参照信号  
 $\hat{H}(\omega_k)$ : 無線回線の推定値  
 $\omega_k$ : 参照信号角周波数

### 2. 3 提案方法と従来方法の比較

3GPP で規定されている参照信号数が 200 [本] 参照信号レベルが 1.0 [V] の場合について, 雑音抑圧を用いない方法と提案方法と時間域で雑音をクリップする従来方法 [3] の各  $E_b/N_0$  対 BER (Bit Error Rate) 特性を Fig. 4 に示す. この図より BER が  $10^{-2}$  の点で提案方法は雑音抑圧なしの場合に比べて  $E_b/N_0$  が 2.3 [dB] 改善していることが分かる. この提案方法に対して参照信号数と参照信号レベルに対して電力利用効率から見た伝送性能を求めると共に両者の比較評価を行う.

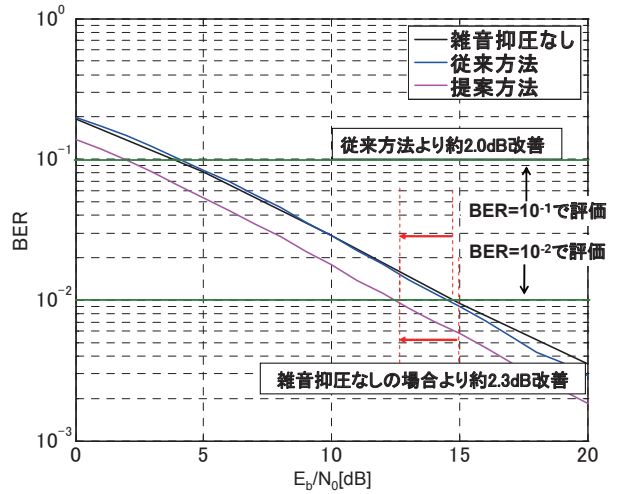


Fig. 4  $E_b/N_0$  vs. BER characteristic

## 3. 参照信号数と参照信号レベルの評価

### 3. 1 評価項目

参照信号数を 200 [本] に固定し送信電圧を可変した場合と参照信号の送信電圧を 1 [V] に固定し挿入間隔一定で参照信号数を可変した場合の 2 つの参照信号付加方法について所要のビット誤り率 (BER) を満たすのに必要な  $E_b/N_0$  を求める. 次に参照信号数と参照信号レベルを電力に換算し規定 BER を得る  $E_b/N_0$  を求め両者の伝送性能を比較評価する [4].

### 3. 2 参照信号の配置と $E_b/N_0$ について

OFDM 変調部における 3GPP 規格に準拠した参照信号の配置を Fig. 4 に示す. 回線推定に用いるこの参照信号は 7 OFDM シンボル構成の 1 番目と 5 番目のシンボルを対象に 6 サブキャリア間隔に配置されている. 次にその OFDM 変調出力であるスロット構成を Fig. 5 に示す. この図の CP (Cyclic Prefix) 信号はマルチパス歪を除去する為に挿入されている.

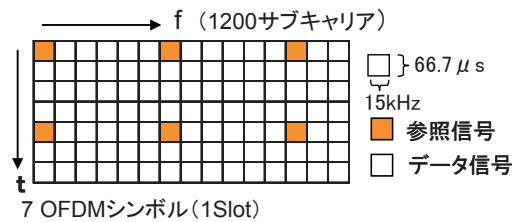


Fig. 4 Frame format

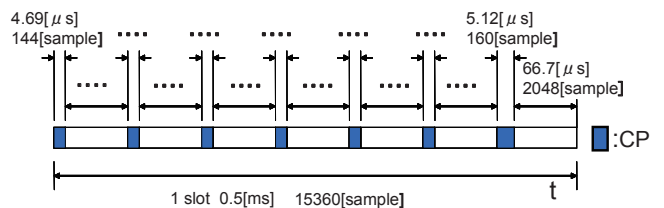


Fig. 5 Structure of slot

次に  $E_b/N_0$  はフィルタ系を含めた伝送性能を評価する指標に用い、ここではその分子の  $E_b$  を式(3)で定義している。この式の全電力  $P$  はデータ信号と参照信号と CP 信号の総計と定義しているために  $E_b$  は 1 ビット当たりの全電力であり、伝送性能を評価するのに用いる。必要以上に参照信号電力を増やすと BER は改善しないにもかかわらず  $E_b$  は増大し電力利用効率から見た伝送性能が劣化する事になる。

$$E_b = \frac{P(\text{全電力})}{C(\text{情報伝送速度})} \quad (3)$$

### 3. 3 シミュレーション構成と評価条件

伝送性能を評価するためのシミュレーション構成を Fig. 6 に、評価条件を Table. 1 に示す。また評価に用いる各参照信号の送信電圧と参照信号数(挿入間隔)およびそれらを電力に換算した値を Table. 2 に示す。

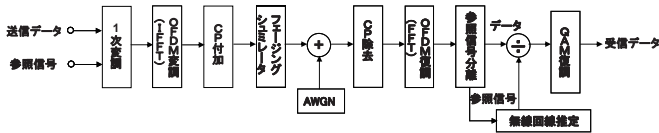


Fig. 6 Structure of simulation system

Table. 1 Simulation Parameters

設定項目	設定値
帯域	20 [MHz]
FFT サイズ	2048
サブキャリア間隔/数	15 [kHz] / 1200 [本]
OFDM フレーム長	66.7 [μs]
スロット構成	70FDM シンボル構成
無線回線	Vehicular A, 120km/h
参照信号数	50, 100, 200*, 400, 600 [本]
参照信号レベル	1/3, 1/2, 1/√2, 1*, √2, √3, 2, 3 [V]
1次変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM
試行回数(slot)	1000slot

\*3GPP 規格

Table. 2 Send power and reference voltage/number

参照信号数(挿入間隔 [subcarrier])	50 (24)	100 (12)	200 (6)	400 (3)	600 (2)
各参照信号電圧 [V]	0.5	0.71	1.00	1.41	1.73
参照信号送信電力[W]	0.25	0.50	1.00	2.00	3.00

### 3. 4 評価結果

#### 3. 4. 1 参照信号数と参照信号レベル対する $E_b/N_0$ 特性

##### (1) 参照信号数について

QPSK, 16QAM, 64QAM の各 1 次変調について BER=10<sup>-1</sup> および BER=10<sup>-2</sup> の各点で評価した参照信号数対  $E_b/N_0$  特性を Fig. 7~9 に示す。

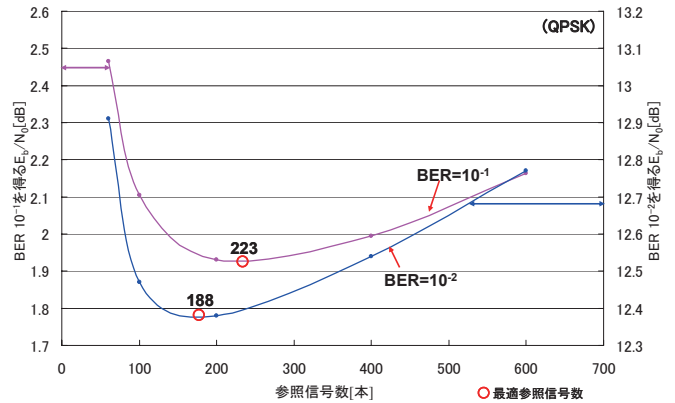


Fig. 7 Reference signals vs.  $E_b/N_0$  characteristic (QPSK)

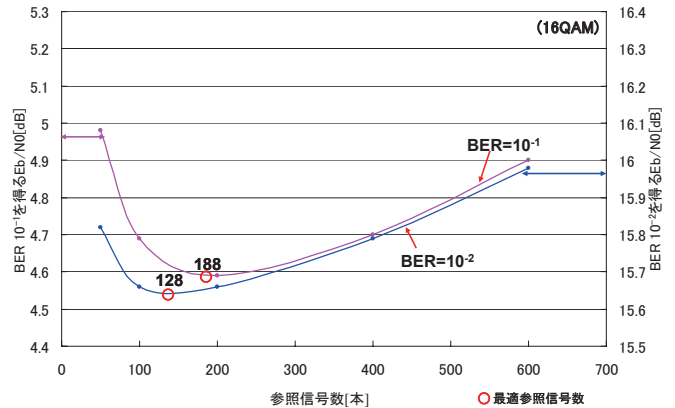


Fig. 8 Reference signals vs.  $E_b/N_0$  characteristic (16QAM)

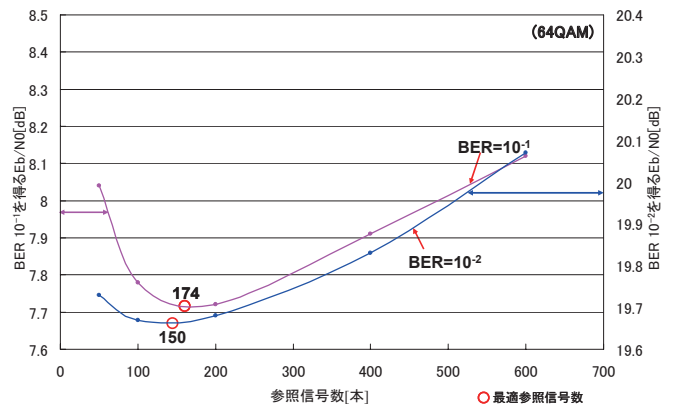


Fig. 9 Reference signals vs.  $E_b/N_0$  characteristic (64QAM)

Fig. 7 から Fig. 9 で得られた BER=10<sup>-1</sup> と BER=10<sup>-2</sup> の両点における各 1 次変調に対する参照信号数の最適値を Fig. 10 に示す。

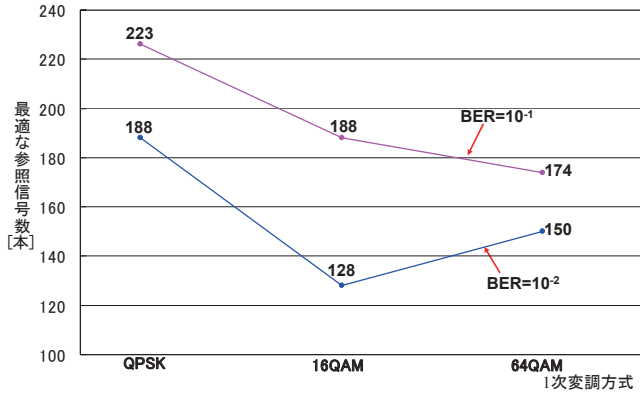


Fig. 10 Modulation method vs. reference numbers

(2) 参照信号レベルについて

1 次変調に QPSK を用いた場合について参照信号数を 200 本に固定し参照信号レベルを 1/3, 1, 3 [V] と可変した場合の E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> 対 BER 特性を Fig. 11 に示す。

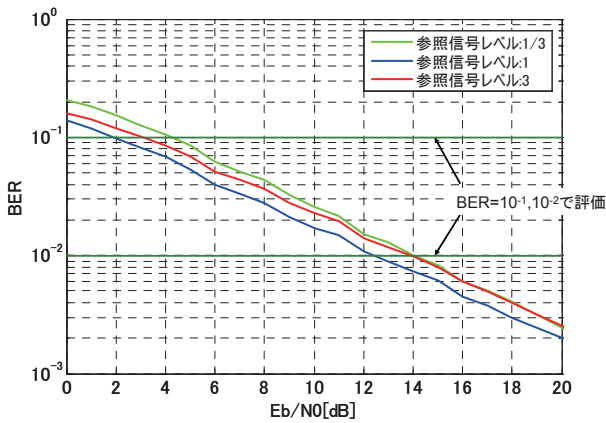


Fig. 11 E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> vs. BER characteristic

次に各 1 次変調について 参照信号数を 200 本に固定し BER=10<sup>-1</sup> および BER=10<sup>-2</sup> の各点で評価した時の参照信号レベル対 E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> 特性を Fig. 12~14 に示す。

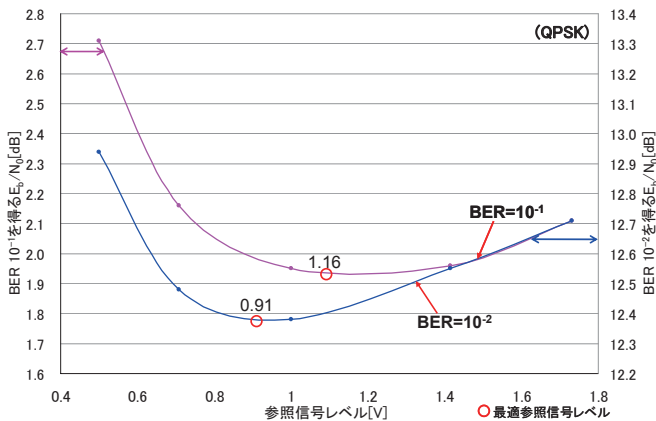


Fig. 12 Reference level vs. E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> characteristic (QPSK)

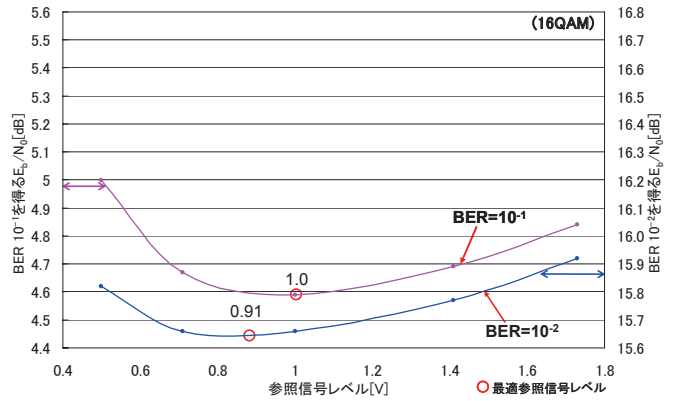


Fig. 13 Reference level vs. E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> characteristic (16QAM)

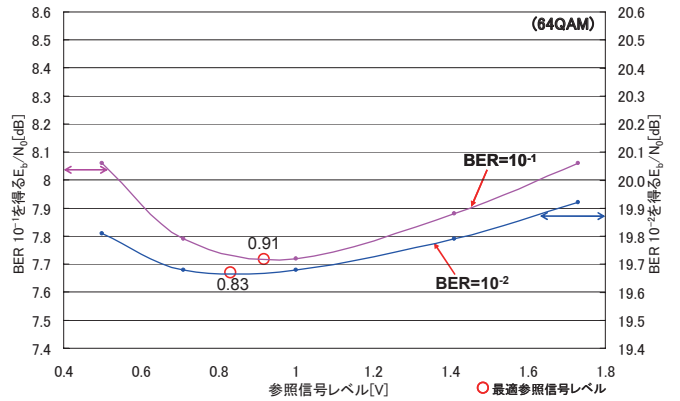


Fig. 14 Reference level vs. E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> characteristic (64QAM)

(3) 参照信号数と参照信号レベルの最適値

BER が 10<sup>-1</sup> と 10<sup>-2</sup> の 2 点で各 1 次変調に対して最適 E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> を与える参照信号数を Table. 3 に参照信号レベルを Table. 4 に示す。ただし前者は参照信号レベルを 1.0 [V] 後者は参照信号数を 200 [本] に固定している。

Table. 3 Reference numbers [Number]

変調方式	QPSK	16QAM	64QAM
BER 10 <sup>-1</sup>	223	188	174
BER 10 <sup>-2</sup>	188	128	150

Table. 4 Reference level [V]

変調方式	QPSK	16QAM	64QAM
BER 10 <sup>-1</sup>	1.16	1.00	0.91
BER 10 <sup>-2</sup>	0.91	0.90	0.83

### 3. 4. 2 参照信号数と参照信号レベルの比較評価

BER=10<sup>-2</sup>の点で各1次変調方式における参照信号数と参照信号レベルを電力で換算した参照信号電力対E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub>特性をFig. 15~17に示す.

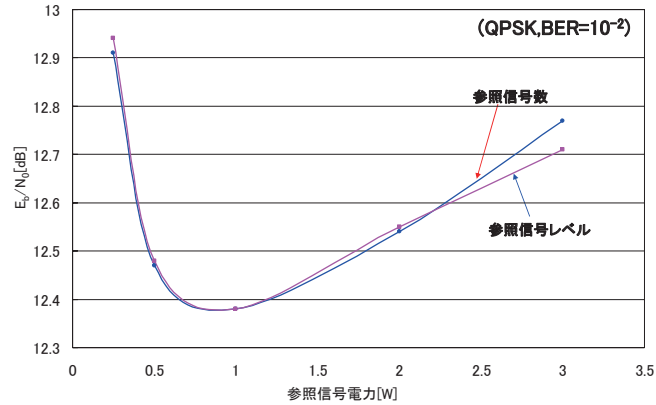


Fig. 15 Reference power vs. E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> characteristic (QPSK BER=10<sup>-2</sup>)

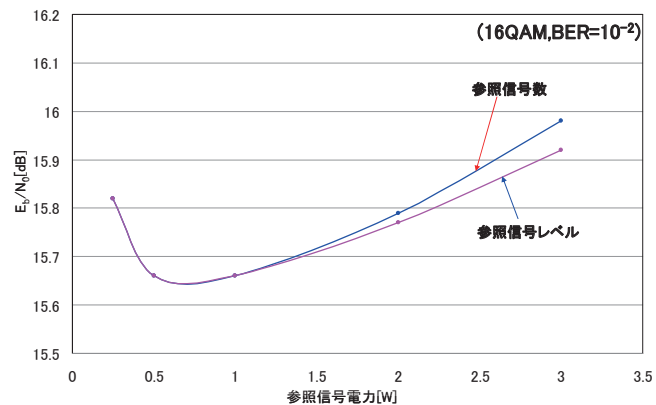


Fig. 16 Reference power vs. E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> characteristic (16QAM BER=10<sup>-2</sup>)

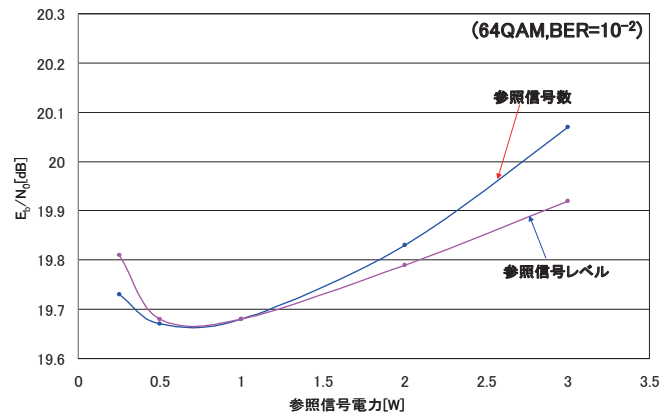


Fig. 17 Reference power vs. E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> characteristic (64QAM BER=10<sup>-2</sup>)

### 4. まとめ

筆者らはWSSUSモデルに基づく広帯域無線回線推定方法を提案した. 本項では, この方法において参照信号数と参照信号レベルが電力利用効率から見た伝送性能に与える影響を評価した. この結果, 例えば1次変調にQPSKを用いたOFDM伝送の場合にはBER=10<sup>-2</sup>の点で最適なEb/N<sub>0</sub>を得る参照信号数は223[本]また参照信号レベルは1.16[V]である事等を明らかにした. また, 同一BERを与える参照信号数と参照信号レベルに対するE<sub>b</sub>/N<sub>0</sub>特性は平坦な特性であり, 例えばQPSKを用いBER=10<sup>-2</sup>の点でE<sub>b</sub>/N<sub>0</sub>の許容範囲を0.1[dB]と規定すると参照信号数は約3倍また参照信号レベルは約2倍の許容範囲があった. 最後に回線推定に用いる参照信号の送信電力が同一であれば参照信号数を変えても参照信号レベルを変えても同等のE<sub>b</sub>/N<sub>0</sub>即ち電力利用効率から見て同等の伝送性能が得られる事が分かった.

電力が一定であれば電力利用効率が同じ特性を活用し, その電力利用効率の最適点を保持しながら参照信号数と参照信号レベルへの電力配分を適応的に変えることを考える. 参照信号数と推定可能なマルチパス無線回線の遅延時間区間が比例するので, 山間地等の遅延分散の非常に大きな場所でも参照信号数により多くの電力を配分つまり参照信号数を増やすことにより回線推定が可能になる. 一方都市部のように遅延分散の小さな場所では参照信号レベルに多くの電力を配分して参照信号数を減らし, その空いたサブキャリアで信号を送ることにより配分を固定した方法に比べてより高速の通信が可能となる. このように本研究の結果を活用することによって無線通信の更なる高度化が期待できる.

#### 参考文献

- [1]<http://www.3gpp.org/>
- [2]山下他, "広帯域OFDMシステムにおける無線伝送路推定方法の検討" 電子情報通信学会 2009年総合大会, BS-3-16, 2009
- [3]山下他, "WSSUSモデルを用いた広帯域OFDMシステムの無線伝送推定方法の検討" 東海大学紀要情報理工学部, Vo2. No.1 2009
- [4]片岡他, "OFDM伝送における参照信号数と参照信号レベルに関する検討" 電子情報通信学会 2010年ソサエティ大会, B-5-58
- [5]<http://www.3gpp.org/>  
3GPP, TR 25. 814 (V7. 1. 0)