

小規模な弱電界エリア対策用 RoF 装置の開発実用化

ビル内などの弱電界をエリア化するために、基地局装置とアンテナ間の伝送路に光ファイバを用いた RoF 装置を開発した。2GHz帯の携帯電話無線信号を送送する装置で、MIMO方式に対応している。本装置はデジタル信号を光に変換し伝送する光デジタル伝送方式を採用し、1台の基地局装置で最大16カ所に8台の子局を接続するダブルスター構成とすることで、雑音電力を抑え、かつ、小規模な弱電界対策を低コストで実現することが可能となった。

無線アクセス開発部

いとう やすし いなだ やすひろ
伊東 悌 稲田 泰裕
ふけ ゆたか
福家 裕

1. まえがき

近年携帯電話は、生活に不可欠なものになっていることはもはや言うまでもない。サービスエリアは日々拡大が求められ、それはユーザの利便性向上のために実行されている。ビル内、地下街、トンネル内などの弱電界のエリアでは、主に無線信号を光ファイバで伝送する RoF (Radio over Fiber) 装置によりエリア化を行ってきた[1][2]。

今までビル内の弱電界対策には、主にトラフィックが期待できる大規模な施設に適した装置が適用されていた。ビル内に基地局装置を設置し、RoF装置により無線信号を分配し、アンテナを多数設置する方法を採っていた。

一方、小規模な場所でも高スループットを実現するために従来装置を

適用すると、複数の場所にそれぞれ、親局、子局の装置を設置する必要があり、親局装置が冗長となることから、装置コスト、ランニングコスト共に低コストで適用しにくくなる問題がある。そこで、複数の小規模エリアを集約装置により集約し、長距離伝送が比較的容易に実現可能な光デジタル伝送方式を用いた MIMO^{*1}方式対応 RoF 装置を開発した。この方式により、雑音電力を抑えて、多数の子局 (アンテナ) を接続する構成が可能となった。

本稿では、開発した新 RoF 装置の概要について解説する。

2. 光直接変調方式と光デジタル伝送方式

本装置では特に上り回線 (子局から基地局) における受信感度の向上

のために、無線信号をデジタル信号に変換し、デジタル信号を光伝送する方式を採用した。

多くの RoF 装置に採用されている、無線信号をレーザーダイオード (LD: Laser Diode) の光強度に乗せて変調する光直接変調方式 (図 1 (a)) の信号対雑音比 (CNR: Carrier to Noise Ratio)^{*2} は以下のように示される[3]。

$$CNR = \frac{(K_{PD} m P_{opt})^2 R_L}{2N} \quad (1)$$

$$N = N_{opt} + N_{sh} + N_{th} \quad (2)$$

$$N_{opt} = RIN (K_{PD} N_{opt})^2 R_L \cdot BW \quad (3)$$

$$N_{sh} = 2e K_{PD} P_{opt} R_L \cdot BW \quad (4)$$

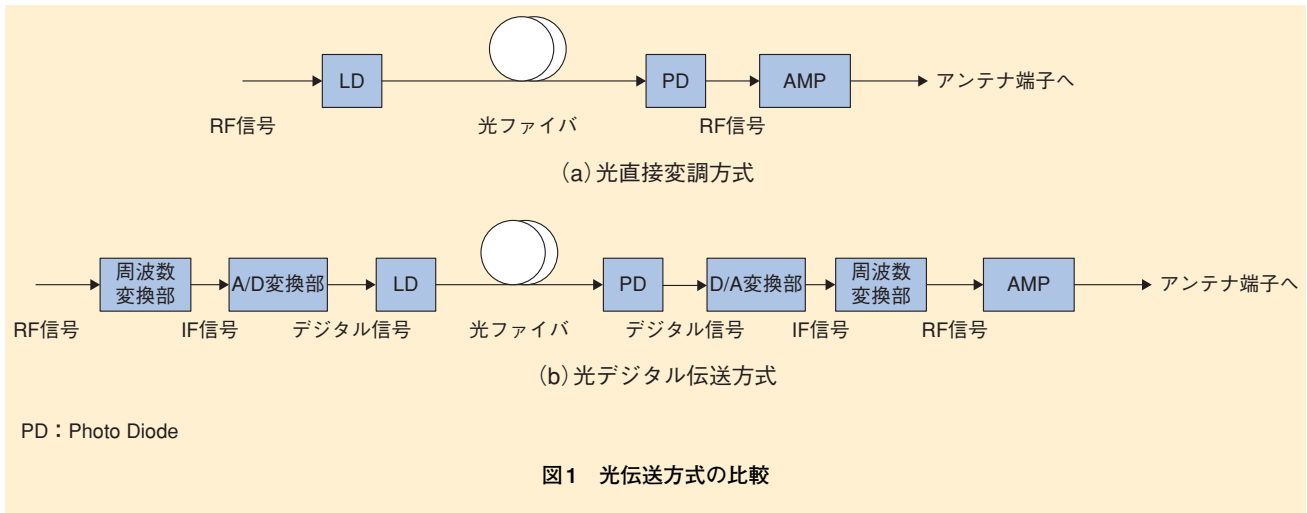
$$N_{th} = 4kT \cdot NF \cdot BW \quad (5)$$

ここで、

© 2013 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 MIMO: 送受信に複数のアンテナを配備し、マルチパスによって生じる空間的な伝搬の性質の違いを利用することで、アンテナ数に比例して無線リンクの容量を増大させる無線技術。

*2 信号対雑音比 (CNR): 搬送波電力に対する雑音電力の比。



P_{opt} : 光受信電力[W]
 R_L : 負荷[Ω]
 BW : 無線方式の帯域幅[Hz]
 e : 電荷 1.6×10^{-19} [C]
 RIN : 光強度雑音^{*3}[1/Hz]
 K_{pd} : 受光素子の変換効率[A/W]
 k : ボルツマン定数
 T : 絶対温度[K]
 NF : 光受信回路雑音指数^{*4}
 N_{sh} : ショット雑音^{*5}
 である。

受信感度向上を目的として従来方式では高いCNRを確保するために、高い光変調度^{*6}により信号レベルを確保し、雑音電力の成分の中で特に光強度雑音 N_{opt} の成分と熱雑音^{*7} N_{th} の成分を低くする必要がある。 N_{opt} の低減のためには、低雑音のLDを採用する必要がある。しかし高い変調度はLDでの歪みを発生させ、隣接チャンネル漏洩電力比(ACLR: Adjacent Channel Leakage power Ratio)^{*8}、変調精度^{*9}などの劣化に影響するため、変調度 m は数〜20%程度に抑える必要がある。

上り回線では従来装置と同等の性能となる $NF=16$ dBをターゲットとする。最大の無線信号の入力電力を -27 dBm (decibels milli)^{*10}とするために、CNRは 65 dB/3.84MHz以上が必要となる。各部の条件を表1に示す。目標のCNRを満足するには、 RIN を -160 dB/Hz、変調度 m は12%が必要となる。このような特性のLDはDFB-LD (Distributed Feed-Back LD)^{*11}に代表される高価な光部品を用いる必要がある。

一方、図1 (b) に示すようなデジタル信号を光伝送した場合は、A/D変換の分解能^{*12}により決まるCNRが支配的となる。光部品はデジタル信号を伝送するのが目的となるために、低歪み、低RINの必要性がなく、安価な光部品が採用可能となる。

A/D変換の分解能を N 、サンプリング周波数 f_s とすると、CNRは次式のように表される[4]。

$$CNR = 6.02N + 1.76 + 10 \log \left(\frac{f_s}{2BW} \right) \quad (6)$$

本装置では最大の入力電力を -27 dBm、 $NF=16$ dB (雑音: -92 dBm/3.84MHz) 以下、CNRは 65 dB/3.84MHzを目標とすると、式(6)によりA/D変換の分解能 N はサンプリング周波数 f_s を 82 MHzとすると、10bitが必要である。2GHz帯の帯域幅が 20 MHzとすると、光区間の伝送速度は 820 Mbit/s (82 MSPS \times 10bit) 必要であり、MIMO方式の2信号を1本の光ファイバで伝送するためには、本装置の伝送性能として倍の速度の 1.64 Gbit/s以上が必要となる。

3. 装置の特徴

① 光デジタル伝送方式を採用

低雑音の無線特性を長距離の光伝送においても保つために、2章で述べた無線信号を一度デジタル信号に変換してから光信号として伝送する光デジタル伝送方式を採用した。

② ダブルスター構成^{*13}

図2 (a) に示すような大規模

^{*3} 光強度雑音: 光素子 (例えばLD, LEDなど) が発生させる雑音のうち、光強度に比例して発生する雑音。
^{*4} 雑音指数: 入力信号のCNRと出力信号のCNRの比。
^{*5} ショット雑音: 光子数の揺らぎにより発

生する雑音。
^{*6} 光変調度: 無線信号をLDなどの光素子の強度で送信する直接光変調方式で伝送するとき、光電力に対する無線信号の比を光変調度と呼ぶ。
^{*7} 熱雑音: 自由電子の熱運動により生じる

雑音。
^{*8} 隣接チャンネル漏洩電力比 (ACLR): 変調波を送信するときに、本来の送信帯域信号電力と、それに隣接するチャンネルに発生した不要波電力との比。
^{*9} 変調精度: 変調波のIQ成分の精度。

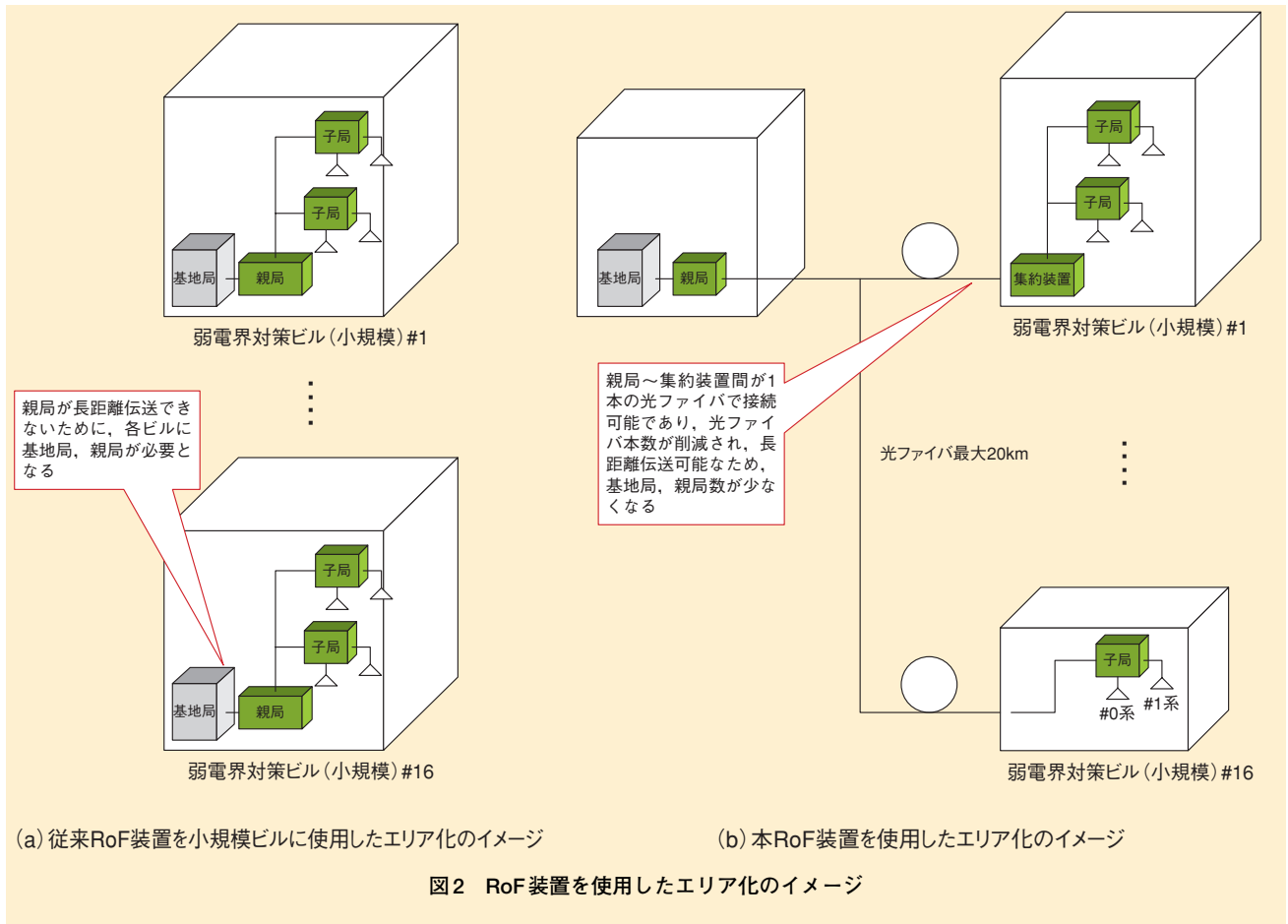
な弱電界対策を行うと、既存装置では親局～子局間が長距離伝送することができないため、ビル内に基地局が必要となる。これに対して図2 (b) では親局～集約装置をスター状に接続し、さらに集約装置～子局をスター状に接続するダブルスターの構成を取り、親局～集約装置間の伝送距離を長距離化することにより、複数のビル内、地下などの小規模弱電界対策エリアを1台の基地局に集約することにより装置コストの低減が図れる。また、親局と集約装置1台は光

ファイバ1本で接続することにより、光ファイバのメンテナン

スコストも低減できる。本装置は子局を最大128台接

表1 光直接変調方式のCNRと各部の条件

項目	数値	備考
LD出力 P_t	30mW	
LD相対強度雑音 RIN	-160dB/Hz	
光変調度 m	12%	
光伝送路損失 L_{OPT}	15dB	伝送距離20km相当 コネクタ損失なども含む
光受信電力 P_{OPT}	1mW	
受光素子 (PD) 変換効率 K_{PD}	1A/W	
光受信回路雑音指数 NF	1.5dB	
負荷 R_L	50 Ω	
無線入力電力	-27dBm	
無線出力電力	-27dBm	
目標 CNR	65dB/3.84MHz	装置総合 $NF=16$ dB相当



* 10 dBm : 電力 P [mW] とすると $10\log(P)$ とした時の値。1mWを基準としたときの相対値 (1mW=0dBm)。
 * 11 DFB-LD : 分布帰還型レーザーダイオード。
 * 12 分解能 : ここではA/D, D/A変換器のbit

数を表す。
 * 13 ダブルスター構成 : 装置A, 装置B, 装置C, 3装置の接続形態において、1台の装置Aに対しN台装置Bが放射状(スター状)に接続され、さらに1台の装置Bに対しN台の装置Cが放射状に接続される構成のこと。

続可能であり、この時にエリアを確保するために、A/D変換器の分解能とサンプリング速度を適切に選ぶことにより、上り回線の利得^{*14}を0dB、1子局接続時のNFを16dB以下と受信感度を改善した。

子局をN台設置した場合のNFは $16 + 10 \log(N)$ であり、Nが最大128台の場合、NFは37dB以下となる。

③MIMO方式対応

本装置は2GHz帯のLTE MIMO方式の信号をデジタル信号に変換し、デジタル信号を時間多重することにより、1本

の光ファイバでの伝送が可能である。

MIMO方式の無線信号は各ブランチ用の電力増幅器（PA：Power Amplifier）^{*15}によりそれぞれ増幅され、アンテナに接続される。

4. 装置の構成

本装置では、親局に対して集約装置は最大16台、集約装置配下には子局は最大8台が接続される。集約装置、子局が弱電界対策するビル内などに設置され、複数のビル内対策エリアが親局により基地局の1セクタに集約することが可能である。

本装置の構成図を図3に示す。基地局からの下り回線無線信号は、周波数変換部でIF^{*16}信号に変換後、A/D変換部でデジタル信号に変換される。デジタル処理部で不要な周波数成分をフィルタリング^{*17}し、MIMO方式の#0系および#1系信号の合成などを行った後、E/O、O/E変換部^{*18}で光信号に変換される。親局と集約装置とは光ファイバで接続される。集約装置は親局から受信した光信号を複数の子局に分配するとともに、複数の子局からの光信号を一度電気信号に変換後デジタル的に合成し再度光信号に変換して親局に伝送する。子局はE/O、O/E変換

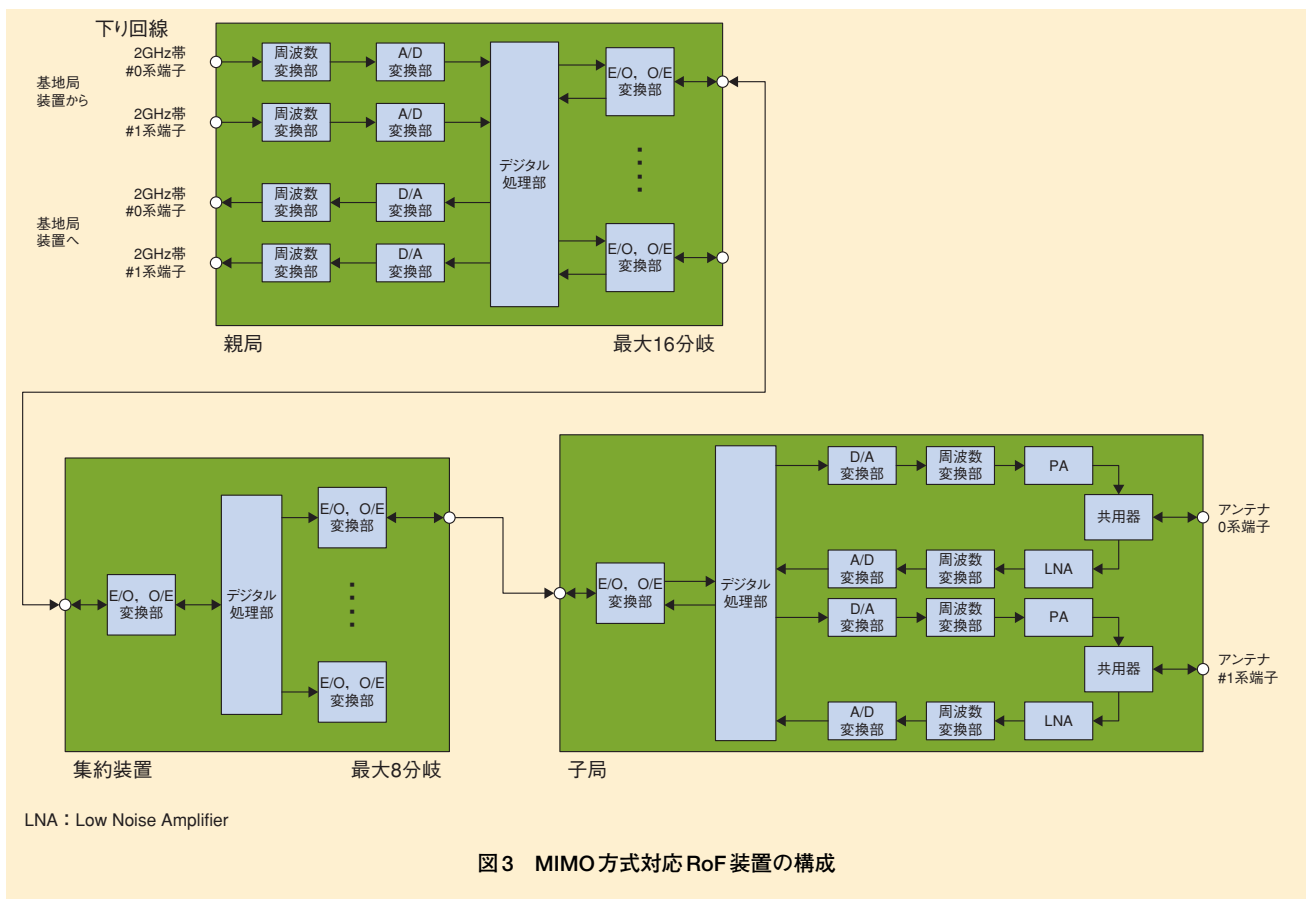


図3 MIMO方式対応RoF装置の構成

*14 利得：信号をある電力（入力電力）で増幅器に入力した際に、増幅器の出力端子にて得られた電力（出力電力）と入力電力の比。

*15 電力増幅器（PA）：信号を通信に必要な所定の出力電力まで増幅する電子回路。

*16 IF：中間周波数。

*17 フィルタリング：入力された信号の周波数成分の一部を除去し信号を出力する処理。

*18 E/O、O/E変換部：電気/光変換部、電気/光変換部のこと。

部で光信号を電気信号に変換後、デジタル処理部でMIMO方式の#0系、#1系を分離し、D/A変換部、周波数変換部で無線信号に変換する。PAにより増幅され共用器^{*19}を介してアンテナ端子と接続される。

移動機からの信号は子局で周波数変換、A/D変換後、デジタル処理部でフィルタリングなどが行われ、E/O、O/E変換部で光信号に変換され、集約装置に伝送される。

親局はE/O、O/E変換部、デジタル処理部でMIMO方式の無線信号(#0系、#1系)に変換され、基地局

装置と接続される。

5. 装置の諸元

本装置の外観を図4に示す。集約装置、子局については、天井裏などに設置されることを考慮して、低消費電力、小型化をめざすとともに自然空冷とした。また、水平設置、壁掛け設置のいずれの設置形態にも対応とするような構造とした。

本装置の諸元を表2に示す。下り信号は20MHz帯域幅、1ブランチ当たり16dBmの出力となっており、2GHz帯の無線信号を送受信するこ

とが可能である。出力電力の偏差、ACLR、スプリアス^{*20}などは各方式(W-CDMA、LTE)に求められる技術基準を満足する[5][6]。本装置の2GHz帯下り回線のACLRを図5に示す。2GHz帯のLTE 20MHz帯域幅の無線信号を伝送する場合でも、ACLRが-49dBc (decibels relative to the carrier)^{*21}/18MHz (-33dBm/18MHz)以下となっている。

親局～集約装置間の光ファイバの最大伝送距離は20kmであり、集約装置～子局間の光ファイバの最大伝送距離は4kmである。集約装置、子局の



図4 装置外観

表2 本装置の諸元

項目	下り回線	上り回線
伝送帯域	2,130~2,150MHz	1,940~1,960MHz
入力電力	-9dBm/total/ブランチ	-27dBm/ブランチ
出力電力	16dBm/total/ブランチ	-27dBm/ブランチ
隣接チャンネル漏洩電力比 (ACLR)	-45.8dBc以下	
雑音指数		16dB以下 (1子局の場合) 37dB以下 (128子局の場合)
接続集約装置数	最大16台	
接続子局数	集約装置～子局間：最大8台、装置全体：最大128子局	
給電方式	親局：-48V、集約装置、子局：AC100V	
光伝送距離	親局～集約装置間：最大20km、集約装置～子局間：最大4km	

*19 共用器：送信フィルタと受信フィルタにて構成され、1本のアンテナで送信と受信を共用するための機器。

*20 スプリアス：信号を送信するときに自分の信号帯域以外に送信された不要波のこと。

*21 dBc：キャリアに対する相対レベル。

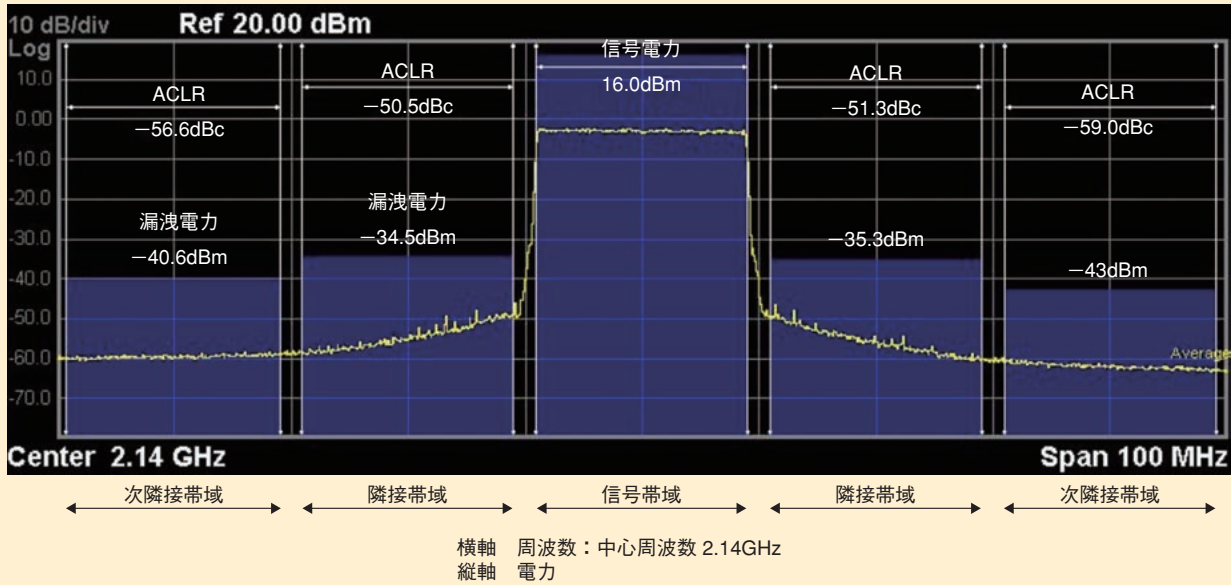


図5 本装置の下り回線ACLR (変調信号:LTE20MHz)

給電方式は商用電源AC100Vである。

6. あとがき

本稿では、ビル内などの弱電界地域のエリア化を効率的に実施するために開発したMIMO方式対応RoF装置について解説した。

今後は接続子局数の増大、マルチバンド対応の検討を実施していく。

文献

- [1] 伊東 悌, 恵比根 佳雄：“IMT-2000用閉空間光伝送装置,” OCS99-125, pp.13-18, Mar. 2000.
- [2] 引馬, ほか：“FOMAエリアの経済的拡大に向けた無線基地局装置の開発,” 本誌, Vol.12, No.1, pp.54-56, Apr. 2004.
- [3] J.NAMINI, M. Shibutani, W. Domon, T. Kanai, K. Emura：“Optical Feeder Basic System Design for Microcellular Mobile Radio,” IEICE Trans. Commun., Vol.E76-B, No.9, Sep. 1993.
- [4] 杉本 泰博, 松澤 昭：“最新アナログ・デジタル変換技術,” ミマツデータシステム, pp.18-23, 1994.
- [5] TELEC T-112：“DS-CDMA/T-HCDMA携帯無線通信基地局等の特性試験方法.”
- [6] TELEC T-146：“SC-FDMA携帯無線通信基地局等の特性試験方法.”