

ML8780A/81A を用いた W-CDMA/LTE エリア評価

The Area-Optimization by using the ML8780A/81A

浜尾 昇治 Shoji Hamao, 吉田 祐二 Yuji Yoshida

[要 旨]

国内の携帯電話システムは、現在 3G 方式から 3.9G/4G 方式(以後 LTE)への変換が進んでいる。LTE では、3G で使用している周波数帯と重なる周波数帯で運用するエリアも存在し、さらに LTE が 3G を併用することを許容したシステムとなっているため、今後もしばらくの間 3G と LTE のシステム混在状態が継続する。このような環境においては、他のシステムからの干渉の中にあっても安定して測定できる測定器が必要となり、測定データの解析にも W-CDMA と LTE との特性の違いについての配慮が必要とされる。ML8780A/81A エリアテスターおよび新規開発測定ユニット MU878030B, MU878040A は、このような無線環境下でのエリア評価に最適な測定器の 1 つである。

[Summary]

The mobile phone system in Japan is in transit from 3G to 3.9G/4G (hereinafter referred to as the LTE) today. Then there are some radio network area using overlapped frequency band between 3G and LTE. Further, the system as mixed 3G and LTE will continue for a few years in the future because the LTE system is accepted collateral to 3G network. The measurement instrument it can measure more stably against interference from other systems and it is necessary for special consideration of the difference characters between W-CDMA and LTE to analyze measurement data in those mixed network. The ML8780A/81A Area Tester with new products MU878030A/MU878040A, it is one of the best instrument for optimizing such radio network area.

1 まえがき

近年の携帯電話の無線ネットワークシステムにおいては、端末や基地局の情報を収集することにより測定器を用いずにサービスエリアを最適化する SON(Self Organizing Network)技術[1][2]が研究されている。しかし、競合事業社の通信品質比較や、客観的かつ安定的な測定値の収集および障害調査では、フィールドでの直接的な電波測定が必要であり、携帯電話無線ネットワーク専用の測定器を使ったサービスエリア評価がなくなることはない。

我々は、このようなサービスエリア評価のための測定器 ML8780A/81A エリアテスター(図 1)を開発し、携帯電話事業者、基地局設置工事会社、および端末製造会社の業務に貢献している。

ML8780A/81A エリアテスターは、複数の測定ユニットを組み合わせて使用する形態の測定器であり、W-CDMA 用に MU878010A, LTE FDD 用に MU878030A LTE 測定ユニットがそれぞれ商品化されている。今回我々は新たなラインアップとして、日本国内で新規に割り当てが決まった 700 MHz および 900 MHz 帯に対応し、従来品 MU878030A よりもさらに省電力化を図った MU878030B LTE 測定ユニットを新たに開発した。この開発において我々は LTE の測定方式として、干渉に強くフェージング環境下でも安定して SIR(Signal to Interference Retio)を算出する手法を用いた。また、TDD 方式の LTE 測定においては、上りと下りの時分割で切り替わる信号をユーザ

が手軽に測定できるように、下りのみのタイミングを装置が認識して測定する方法を検討し、MU878040A TD-LTE 測定ユニットを商品化した。これらの新たな測定ユニット組み合わせることにより、W-CDMA と LTE の両方のシステムを同時に測定でき、サービスエリアの評価に有効な測定値を得ることができるようになった。



図 1 ML8780A および ML8781A エリアテスター
ML8780A and ML8781A Area Tester

2 LTE の測定項目

W-CDMA システムでは常に一定のレベルで送信されている P-CPICH(Primary Common Pilot Channel)を測定していた。これに対し LTE システムにおいてはチャネル推定や CQI(Channel Quality Indicator)測定に使用される RS(Reference Signal)を測定対象とする。

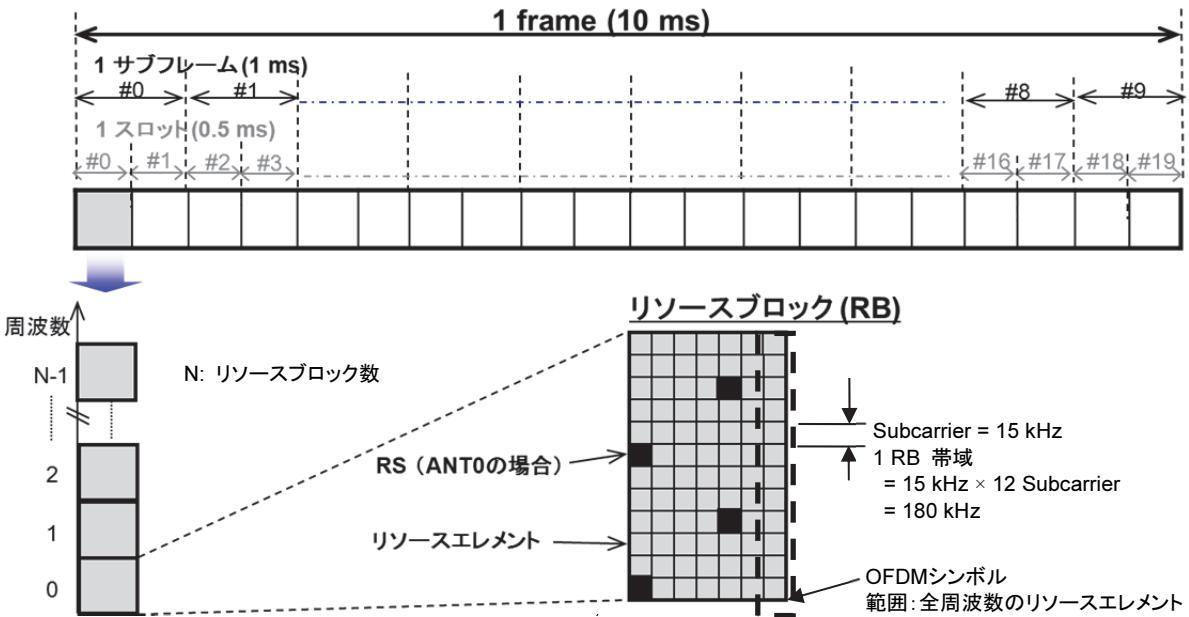


図 2 LTE ダウンリンクのフレーム構成(FDD Normal CP)

Frame structure of LTE down-link (FDD Normal CP)

2.1 KPI (Key Performance Indicator)

MU878030A/30B/40A で測定する LTE の測定項目は以下に示す RSRP, RSSI, RSRQ および SIR が主要測定項目となり, LTE の物理層を評価するための KPI として一般的に用いられている[3]。なお、以降の説明の理解を助けるために LTE のフレーム構成を図 2 に示した。

(1) RSRP (Reference Signal Received Power)

RSRP は 1 リソースエレメント(帯域 15 kHz)当たりの RS の受信電力である。RS は周波数的にも時間的にも偏らずに送信されており、トラフィック量にも左右されない。これにより、RSRP は基地局からの電波の受信レベルを評価する基本的なパラメータとなり、基地局の送信電力やアンテナの向きと高さなど、基地局の固定的な設置条件と、基地局からの距離や障害物などの測定環境によってほぼ決定する値として用いられる。

(2) RSSI (Received Signal Strength Indicator)

RSSI は RS が存在する OFDM シンボル(Normal CP の場合 1 OFDM シンボルは約 67 μs)において LTE システム帯域全体の電力を測定した値である。W-CDMA の RSSI がフレームタイミングとは関係なく任意のタイミングで測定されるのに対して、LTE では RS が存在するタイミングで定義するため、PCI(Physical layer Cell Identity)ごとに RSSI が測定される。なお RSSI は、基地局の設置条件や測定環

境だけではなく、測定対象基地局や周辺基地局のトラフィック量によって変化し、一般にトラフィック量が増えると LTE フレーム内のリソース割り当てが増えて RSSI が大きくなる。

(3) RSRQ (Reference Signal Received Quality)

RS の受信品質を表す指標の 1 つであり、RSRP と RSSI の比によって計算される。ただし、LTE 帯域によって RSSI の測定帯域が変わってしまうため、式(1)のようにリソースブロック数で正規化している。

$$RSRQ = N \times RSRP / RSSI \quad (1)$$

N: リソースブロック数(表 1 参照)

表 1 LTE システム帯域幅とリソースブロック数

帯域幅[MHz]	1.4	3	5	10	15	20
リソースブロック数	6	15	25	50	75	100

1 リソースブロック内の RS 数は一定なので、帯域幅に関係なく RSRQ にて RS 品質を評価できる。

RSSI がトラフィックの影響を受けるように RSRQ もトラフィック量によって値が変化する。具体的には送信アンテナ数が 1 の場合の RSRQ 最大値は -3 dB、送信アンテナ数が 2 の場合の RSRQ 最大値は -6 dB であり(リソースブロック内で使用されているリファレンスエレメントが RS のみである場合に相当する)、トラフィックが増えるに従い RSRQ が小さくなっていく。さらに近隣基地局からの干渉が増大すればさらに RSRQ が小さくなる。

(4) SIR (Signal to Interference Ratio)

RSRQ と同様に RS の受信品質を表す指標の 1 つである。RSRQ は分母に RSSI、つまり全帯域の電力を用いたが、SIR では RS と同じリソースブロックの 15 kHz 帯域内に存在する干渉電力を分母とする。直接干渉電力を測定することは難しいため、RS の理想信号のばらつき(分散)を計算して、干渉電力を求めている[4]。このような方法で計算される干渉電力は、同じ帯域の隣接セルからの信号に加えて雑音成分も含まれているため、SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)とも言われる。ML8780A/81A エリアテストでは慣習的に SIR と SINR を特に区別せず SIR と表示しており、W-CDMA の場合も LTE の場合も SIR 測定値には雑音成分が含まれている。

SIR は測定している RS と同一のセル(自局)のトラフィックの影響を受けずに他のセル(他局)からの干渉のみを測定できることが特長である。ただし CP(Cyclic Prefix)時間を超えて遅延したマルチパスの場合は同一セルからの信号でも干渉波となることについては注意を要する。

2.2 W-CDMA と LTE の対比

表 2 に W-CDMA と LTE の測定項目の対応関係を示す。W-CDMA のエリア評価で用いられていた測定項目に相当する項目が LTE にも存在することがわかる。ただし、値そのものを単純に比較することはできないため、エリア品質の指標としては W-CDMA とは別の基準作りが必要である。

表 2 W-CDMA/LTE 測定項目比較

項目	W-CDMA	LTE	備考
セルの区別	Scrambling Code (SC)	Physical Cell ID (PCI)	
測定対象	Common Pilot CH (CPICH)	Reference Signal (RS)	測定帯域 CPICH: 3840 kHz RS: 15 kHz
測定対象の受信電力	RSCP [dBm]	RSRP [dBm]	測定対象の帯域が異なるため RSCP と RSRP を単純に比較することはできない
総受信電力	RSSI [dBm]	RSSI, Io [dBm]	LTE の RSSI は PCI が確定しないと測定できない
対総受信電力	Ec/No [dB]	RSRQ [dB]	
対干渉波	SIR [dB]	SIR [dB]	希望波(測定対象)と干渉波の電力が同じ場合の SIR [dB] 値 W-CDMA: 24.1 ^注 LTE: 0

(注) W-CDMA の SIR は CPCIH を逆拡散した 15 kHz 帯域で定義するため、干渉波に対しては拡散率(256 ⇒ 24.1 dB)に相当する利得があるように扱われる。

3 LTE 測定原理と測定ユニットの特長

3.1 SIR 測定

SIR は自局のトラフィックの影響を受けにくうことから、W-CDMA と LTE のように異なるシステムが重なり合うようなエリア評価においては SIR 測定が重要な意味を持つ。

LTE の SIR は 2.1(4)で説明したとおり、復調した RS シンボルの分散から次式のように計算される[4]。これは W-CDMA での SIR 測定手法[5]と類似している。

$$\begin{aligned} \text{RSRP} &= I_{\text{ave}}^2 + Q_{\text{ave}}^2 \\ &= \{(1/M) \sum I_m\}^2 + \{(1/M) \sum Q_m\}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$I_{\text{tot}} = (1/M) \cdot \sum \{(I_m - I_{\text{ave}})^2 + (Q_m - Q_{\text{ave}})^2\} \quad (4)$$

$$\text{SIR} = \text{RSRP} / I_{\text{tot}} \quad (5)$$

(I_m, Q_m) : 復調した RS のシンボル

M: RS のリソースエレメント数

しかし、実際のフィールドで測定する場合はマルチパスの発生や、測定器を移動することによるフェージングの影響で、干渉波が小さい場合でも理想 RS のシンボルが時間軸および周波数軸で変化する。図 3 は各周波数(サブキャリア)の RS のシンボル点がマルチパスで変化する様子をシミュレートしたものであり、図 4 は図 3 と同様のマルチパス影響下において時間的に隣接する RS を各周波数でプロットしたものである。

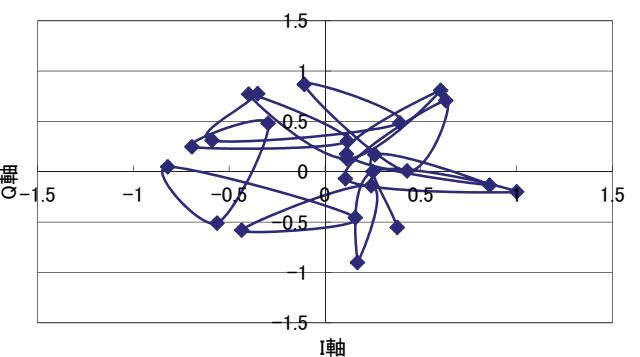


図 3 マルチパスによる RS シンボル点の変化(周波数軸)
Variation of the RS symbol from multi-path (Freq.axes)

MU878030A/30B/40A では LTE の SIR 計算に必要な干渉電力 I_{tot} の計算を式(4)'で計算し、マルチパスの影響を低減した。式(4)'が有効になるのは、図 4 に示すように時間軸上で隣接 RS 間のレベル変動の差はほぼ一定で遷移するとみなされることによる。

$$I_{\text{tot}} = (1/4KM) \sum \sum |(R_{km} - R_{(k-1)m}) - (R_{k(m-1)} - R_{(k-1)(m-1)})|^2 \quad (4)$$

R_{km} : 周波数軸方向の k 番目, 時間軸方向に m 番目の RS の復調結果 (IQ 平面上のシンボル)

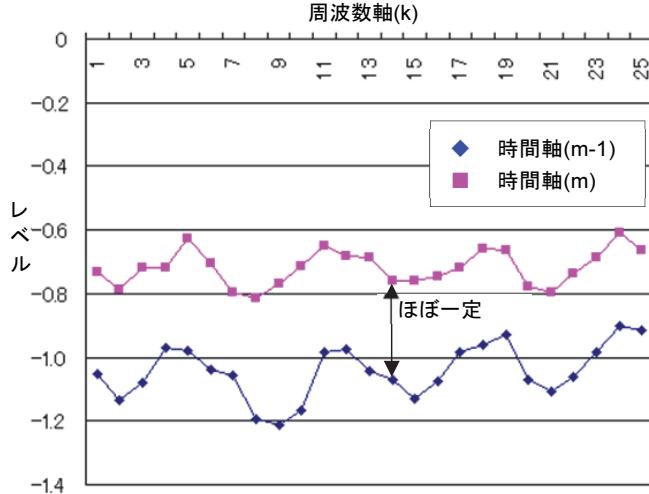


図 4 隣接 RS (R_{km} [I 軸]) のレベル変動
Variation of Co-RS (R_{km} [I axes])

図 5 はフェージングシミュレータを用いてマルチパスを発生させて MU878030B により RSRP および SIR を実測した結果である。

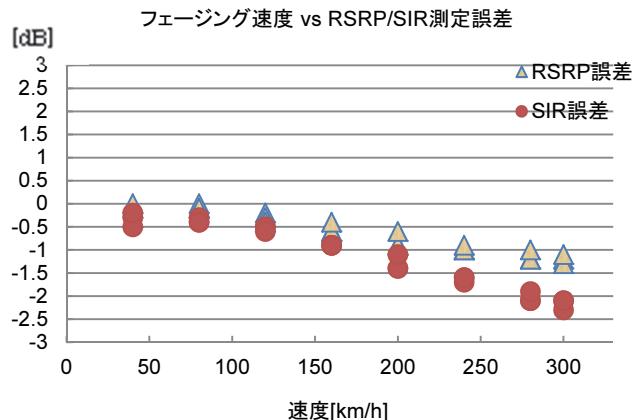


図 5 フェージング環境下の測定データ
Measuremen data form fading influence

仕様上は 100 km/h 以下の測定確度保証となっているが、実力値としては時速 300 km/hにおいて RSRP が ±2 dB 以内、SIR が ±3 dB 以内の誤差で測定する能力を持つ。

3.2 TDD 方式への対応

図 6 および表 3 に示すように、LTE TDD は基地局からの Down-link と端末からの Up-link に同一キャリア周波数が使用され、サブフレーム単位で Down-link と Up-link が切り替わる[6]。Down-link と Up-link の組み合わせは、表 3 に示すように 7 種類のコンフィグレーションがある。

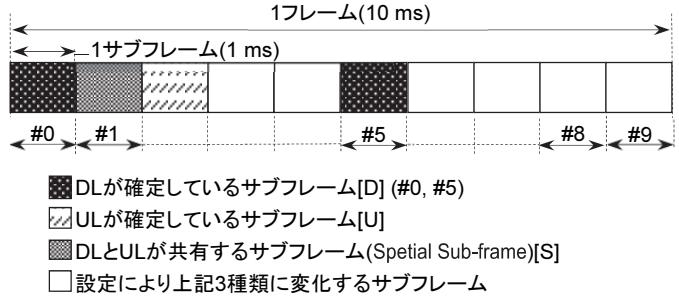


図 6 LTE TDD フレーム構成
Frame structure of LTE TDD

表 3 LTE TDD の Down-link と Up-link の組み合わせ[6]

Uplink-downlink configuration	Subframe									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

U: Uplink
D: Downlink
S: special subframe

LTE TDD フレーム全体のタイミングは、測定対象 PCI を検出する課程で判明するが[4]、適用されている Down-link と Up-link の組み合わせが表 3 のどのコンフィグレーションであるかについては、上位レイヤの情報を復調してみなければ判明しない。しかし、エリア測定の第一の目標は物理層を高速に、且つ干渉によりエラーレートが大きい環境の中でも測定できなければならないことであり、上位レイヤの復調が不可能であっても検出した PCI の Down-link を確實に測定する必要がある。

測定対象のサブフレームをユーザに指定してもらう方法も考えられるが、測定対象のシステム設定を熟知していないければ正しい測定条件設定ができないだけでなく、Down-link と Up-link を動的に切り替える方式になった場合には対応することさえできない。

MU878040A TD-LTE 測定ユニットではどのような場合でも Down-link となっている#0 および#5 のサブフレームのみを測定対象とすることにした。これによりユーザは Down-link と Up-link が頻繁に切り替わっていることをほとんど意識することなく FDD 方式と同様に Down-link の測定結果を得ることができる。

3.3 LTE 測定ユニットの特長

前述のとおり、MU878030A/30B/40A は LTE のマルチパスやフェージングの環境で安定した測定値が得られる測定ユニットである。測定速度も高速(表 3 参照)であるため、測定器を車に搭載してサービスエリア内を走りながら測定するドライブテストに最適である。

さらに、新規に開発したMU878030B では従来の MU878030A に比べて表 3 のような機能の拡張および改善が図られている。

表 3 MU8780A/30B 機能比較

項目	MU878030A	MU878030B
測定周波数[MHz]	2110.0 – 2170.0 1805.0 – 1880.0 1475.9 – 1510.9 860.0 – 894.0	2110.0 – 2170.0 1805.0 – 1880.0 1475.9 – 1510.9 925.0 – 960.0 850.0 – 894.0 773.0 – 803.0
測定キャリア周波数数	8	8
最大測定 PCI 数	40	40
測定時間 ^(注1)	10 ms/PCI	10 ms/PCI
質量 [kg]	0.8 以下	0.8 以下
寸法(WHD) [mm]	240 × 170 × 23	240 × 170 × 23
消費電力[W](ユニット単体)	17	9
バッテリー動作時間 ^(注2) [h]	1.5 以上	2.5 以上

(注 1) アンテナ数 2 以下で 1 キャリア周波数測定時

(注 2) ML8780A+(MU878030A または MU878030B)+MU878001A の構成で劣化のないバッテリーパックを使用した場合

MU878030A では消費電力が大幅に小さくなり ML8780A/81A に最大 4 台まで LTE 測定ユニットが接続が可能となった。ドライブテストでは PCI サーチ速度による制限で 1 測定ユニットあたり 2 キャリア周波数以下にする制約があったが、測定ユニット数を増やすことが可能となったため、競合事業者の周波数を同時に測定したり、W-CDMA と LTE を同時にするなど、走行試験の効率アップが実現した。

4 W-CDMA と LTE の違い

実際の電測や測定データの解析においては、2.2 節に示した W-CDMA と LTE の測定項目の違いに加え、変調方式やチャネル多重化方式の違いを理解しておくことが必要となる場合がある。その 1 つがセル境界の見え方の違いである。

W-CDMA では帯域 15 kHz の CPICH を Scrambling Code による周波数拡散で 3.84 MHz に拡散されて基地局から送信されている。周波数軸も時間軸も連続した信号となっており、端末および測定器のアンテナ入力端には各セルの CPICH が多重された状態で入力される。

受信側で 3.84 MHz の拡散信号を元の 15 kHz の信号に復調するとき、希望波(目的の CPICH)の受信電力は復調後も同じであるが、干渉波は帯域が 3.84 MHz から 15 kHz の 1/256 になるため復調後の CPICH シンボルに影響を与える干渉成分は受信した干渉波電力の 1/256 (-24.1 dB) である。これは、干渉波が希望波の電力より 24.1 dB 以上大きいとき、希望波のシンボルが干渉波に完全に埋まってしまい検出不可能なことを意味する(図 7 参照)。つまり、受信レベルが最も大きいセルと比較して受信レベルが 24.1 dB 以下のセルは測定することができない。W-CDMA エリアを測定したときは、この 24.1 dB という値が測定可能なセルの範囲の理論的な境界となる。

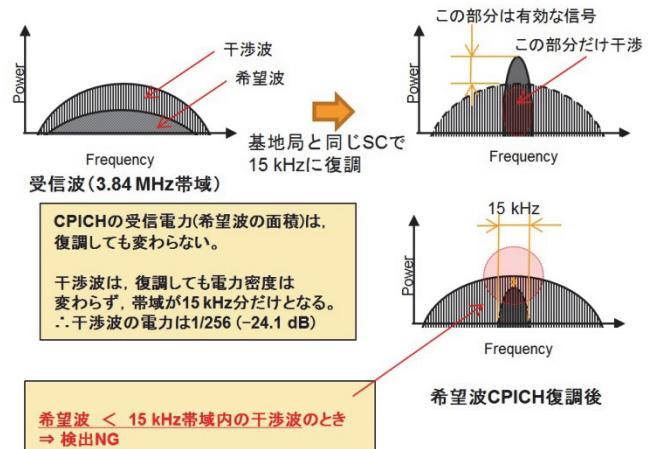


図 7 W-CDMA の CPICH 復調
CPICH modulation of W-CDMA

一方 LTE では、図 2 に示したように RS のタイミングが時間的にも周波数的にも不連続である。あるセルの RS が他のセルの RS と時間軸上も周波数軸上も重なっていなければ相互に干渉し合うことはない。測定対象 PCI の RS と同じタイミングおよび周波数(サブキャリア)で受信する他の PCI のリソースエレメントに何等かのチャネルが割り当てられた場合は干渉が大きくなり、割り当てがない場合は干渉が小さい状態となる。これは SIR や RSRQ の値はエリア内の端末数やトラフィックによって変わることを意味する。端末や測定器は測定可能な SIR の下限値により測定可能な PCI が定まるが、SIR がトラフィックによって変化することから、測定される PCI 数も測定時のトラフィックにより変化する。しかし、このような場合においても、干渉に強い測定器であれば端末の性能を上回る性能で測定することができ、最悪条件で測定したとしても通常運用時のエリア評価に必要な PCI の測定は可能となる。

MU878030A/30B は SIR -9 dB 以上で測定値を保証し、実力的には -15 dB 程度まで測定値を表示できる。SIR -9 dB は、

CQI(Channel Quality Indicator)のIndex 0(Out of range)相当であり[7][8]、端末の要求性能より小さい[9]。測定器の対干渉性能としては充分なレベルと言える。

5 今後の展望

携帯電話基地局のエリア設計および評価においては、客観的指標である物理層の電波環境測定が行われてきた。一方、スループットのような端末が実際の通信で得られる物理量は、エリア内のユーザ数やトラフィック量によっても変化するため、従来ではエリア品質を表す客観的指標には成りえないと考えられていた。しかし、事業者間の競争が激しい現状では、ユーザが最も重視しているスループットが注目されてきた。例えば RSRP が充分に大きく干渉が小さくても、エリア内のユーザ数が慢性的に多い場合には、つながりにくかったり、データ転送が遅かったりするなどユーザにとってよい環境とは言えないためである。

今後は物理層測定に加えてスループットの測定が求められる。スループットはエリアテスタのような Down-Link 専用の測定器では測定が困難であるため、エリアテスタと端末を組み合わせたソリューションが必要となる。

さらに、近年のサービスエリアは地上エリアから屋内や地下街の商業施設、鉄道・地下鉄などに拡大し、群衆が多く電測用の自動車も使用できないようなエリアが増えている。我々はこのような環境での測定が快適に実施できるように、測定器の小型・軽量化を取り組んできたが、今後は単なる小型・軽量化だけでなく、測定行為自体を周囲から気づかれにくくして、測定者の心理的負担を軽減するようなソリューションの提供が求められている。

5 むすび

携帯電話事業社や工事担当会社の協力の下に、長年にわたって携帯電話基地局用のエリア評価用測定器を開発してきた。製品の開発段階から製品説明の各フェースにおいて、お客様のご意見を伺いながら、お客様の課題をくみ取り、我々が提供できる新しいソリューションは何かを検討してきた。今回は新しい LTE 測定ユニットの開発が完了したことの報告に加えて、お客様が憂慮されている W-CDMA と LTE の違いについて説明させていただいた。これらの新測定ユニットが LTE エリア評価に役立つものと期待している。

本書の作成にあたり、長年にわたってエリアテスタを使用していただいたお客様、および関連部門の皆様のご協力に感謝する。

参考文献

- 1) 3GPP Organizational Partners:
“Self-Organizing Networks (SON); Concepts and requirements”, TS32.500 Rel.11, (2011.12)
- 2) 3GPP Organizational Partners:
“Self-configuring and self-optimizing network (SON) use cases and solutions”, TS36.902 (Rel.9), (2011.03)
- 3) 3GPP Organizational Partners:
“Physical layer Measurements”, TS36.214 Rel.9, (2012.12)
- 4) 神山勝彦、吉田祐二:
“LTE 携帯電話基地局のエリア評価”, RF ワールド No.17 第 5 章, (2012.01)
- 5) 稲垣浩道、浜尾昇治、佐藤武彦、橋本正勝、吉田孝:
“ML8720B W-CDMA エリアテスタの開発 第 4 章 測定原理”, アンリツテクニカル No.80, P45, (2002.01)
- 6) 3GPP Organizational Partners:
“Physical Channels and Modulation”, TS36.211 Rel.9, (2010.03)
- 7) 3GPP Organizational Partners:
“Physical layer procedures”, TS36.213 Rel.9, (2010.09)
- 8) Josep Colom Ikuno, Martin Wrulich, Markus Rupp:
“System level simulation of LTE networks”, in Proc. 2010 IEEE 71st Vehicular Technology Conference, Taipei, Taiwan, May 2010. Available at: http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_184908.pdf
- 9) 3GPP Organizational Partners:
“User Equipment (UE) radio transmission and reception”, TS36.101 Rel.9, (2013.09)

執筆者



浜尾 昇治
R&D 統轄本部
商品開発本部
第 4 商品開発部



吉田 祐二
R&D 統轄本部
商品開発本部
第 4 商品開発部