### **SEMINAR REPORT**

# 3G, LTE そして LTE-A (4G) へ 高速化に向けて



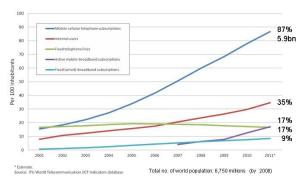
株式会社NTTドコモ 研究開発センター専任部長 竹田 義行 氏

本日は、世界の移動通信の動向」、「日本の移動通信の動向」、 それから私は今 NTT ドコモで国際標準化をやらせていただい ていますので「移動通信の国際標準化と進化」について、最後 に現在 NTT が取り組んでいる高速化のための「LTE-Advanced (4G)における新技術」の話をさせていただきたいと思います。

### 世界の移動通信の動向

# (1) 世界の携帯電話市場の推移

ITUの統計によると、2011年の予測では、図1に示すように、モバイル通信は世界で59億人が利用していて、普及率は87%ということになります。固定通信の普及率は17%で、2001年にモバイルが固定を抜いてからこの差は10年間で大きく開きました。



固定から移動へ、そしてモバイル・ブロードバンドへ

図 1 Global ICT developments, 2001-2011

もう一つ重要なのは、インターネットの接続で、2011 年の予測では普及率は35%です。もし、モバイル通信でインターネットサービスが実現できたとすれば、この35%は一挙に87%という数字になってしまうということです。こうなると、「固定か

ら移動へ、そしてモバイル・ブロードバンドへ」ということになります。もちろん、最終アクセスラインは無線ではありますが、基地局までのアプローチ回線は、当然ながら光ファイバによるバックボーンができていないといけないです。

図 2 に示すのは、世界の地域別携帯加入者数です。2015 年に注目していただきたいのですが、最下段がアフリカ、その上がアジア太平洋の加入者数です。アジア太平洋が52%と如何にマーケットとして大きいか。そして、その次に大きいのは12%のアフリカです。かつ、年平均成長率も、やはりアジアとアフリカが圧倒的に大きく、マーケットはこれらの地域にあるということです。

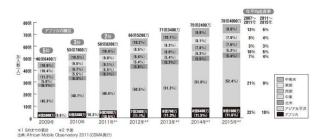


図2 世界の地域別携帯加入者数

世界の携帯通信事業者を比較してみると、加入件数ランキングは、チャイナモバイルが6億人で1位です。NTT ドコモはベスト20にも入っておらず、多分20何番目ぐらいです。これに対して売上高ランキングでは、少し古くて2011年第4四半期のデータですが、NTT ドコモは一応世界で6番目です。もちろんチャイナモバイルがトップです。世界規模で見ると、NTT ドコモは小さな会社に過ぎないということです。

世界の標準化の流れは、皆さんもご承知の通り、1990 年代の第二世代はデジタル化で GSM (Global System for Mobile communications) が世界を制したわけですが、IS-95 (Interim Standard 95, TIA) のアメリカと PDC (Personal Digital Cellular) の日本は、それぞれの地域のデファクトだったわけです。 どちらも世界標準でも何でもない。そのときのデータレートは高々 9.6kbps です。2000 年には IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) として ITU で標準化され、それぞれ 3GPP (Third Generation Partnership Project) と 3GPP2 の 2つの標準化団体ができて、W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) と CDMA2000 の 2 つの標準ができました。

これで2方式による世界標準の競争が始まりました。これでも色々改良して頑張っても、データレートは 2Mbps が14.4Mbps までしか改善できませんでした。2010年にはさらに高速化を目指して、日本では3.9世代とも第4世代と呼ぶ人も

いていささか混乱しているのですが、LTE(Long Term Evolution)が標準化されました。世界的には2つに分かれていた CDMA グループが統一されて、延長技術といっても CDMAではなくて OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)という新しい世界統一方式となりました。LTEのデータレートは 100Mbps です。さらに 2012 年は、LTE-Advanced ということで、1Gbpsの速度まで標準化が進んだということです。以上の第二世代から第四世代までのシステムの進化を表1に示します。

第二世代		第三世代	第四世代	
	1990年~	2000年~	2010年	~
世界	GSM(CEPT)	W-CDMA(3GPP/ITU)	LTE(3GF	PP/ITU)
	IS-95(米国)	CDMA2000(3GPP2/ITU)	-	→ LTE-A
日本	PDC(日本)	W-CDMA	LTE -	→ LET-A
		CDMA2000		
地域相	栗準(デファクト)の競	争 世界標準2方式の競争	世界統一	方式へ
データ	9.6kbps	2Mbps	100Mbps	1Gbps
(元)关系	東度 — 115kbps	-14.4Mbps		

表1 デジタル移動通信システムの進化

3G、4G 化率の観点で比較すると、地域で偏りが見られます。表 2 は 2011 年 9 月の統計ですが、欧州、アメリカは未だに 2G が半分以上を占めています。日本、韓国はもはや 2G は存在していない状況です。4G 化はドコモを初め、韓国、それからアメリカ、特にベライゾンが一生懸命頑張っており、これらの国々で 4G 化が始まっています。そういうわけで、世界の状況は実は未だ GSM が設置されている状況であり、3G、 4G 化はこれからという世界です。多分に 3G を経ないで 4G に移行する国も出てくるのではないか。つまり、GSM からいきなり LTE になるという世界が実現するのではないかと思っています。

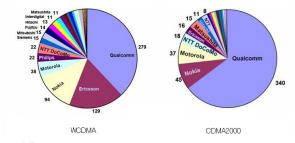
Country	Operator	3G化率(%)	2G化率(%)	3G回線数	2G回線数	Total		
Finland	DNA	51.3	48.7	1,235,000	1,171,000	2,406,000		
1	Elisa	35.6	64,4	1,380,000	2,494,500	3,874,500		
	TeliaSonera	59.8	40.2	1,930,000	1,299,000	3,229,000		
France	Bouygues	13.1	86.9	1,450,000	9,582,000	11,032,000		
	Orange	47.0	53.0	12,050,000	13,588,000	25,638,000		
	SFR	52.0	48.0	10,850,000	10,026,000	20,876,000		
Gernany	E-Plus	27.7	72.3	5,990,000	15,608,200	21,598,200		
	02	37.5	62.5	7,160,000	11,954,000	19,114,000		
	T-Mobile	31.9	68.1	11,490,000	24,504,000	35,994,000		
	Vodafone	30.1	69.9	10,570,000	24,527,000	35,097,000		
Italy	Telecom Italia	26.6	73.4	8,550,000	23,573,000	32,123,000		
	Vodafone	30.8	69.2	9,100,000	20,464,369	29,564,369		
	Mind	22.1	77.9	4,734,000	16,721,000	21,455,000		
Sweden	Tele2	73.3	26.7	2,780,000	1,015,000	3,795,000		
	Telenor	72.5	27.5	1,705,000	647,000	2,352,000		
	TeliaSonera	73.9	26.1	4,800,000	1,695,000	6,495,000		
JK	02	39.8	60.2	10,295,000	15,563,200	25,858,200		
	Orange/T-Mobiel	51.7	48.3	15,500,000	1 4,49 4,600	29,994,600		
	Vodafone	75.6	24.4	14,600,000	4,714,000	19,314,000	4G回線数	4G化率(K)
Japan	NTT DOCOMO	89.8	0.0	54,588,500	0	60,786,600	6,198,100	10.2
	KDDI	100.0	0.0	36,100,400	0	36,110,400	10,000	0.0
	Softbank	98.8	0.0	30,082,400	0	30,461,200	378,800	1.2
Korea	KT	84.9	0.0	13,990,000	0	16,480,000	2,490,000	15.1
	SK Telecom	79.4	1.1	21,250,000	303,000	26,778,000	5,225,000	19.5
	LG U+	24.7	39.8	2,473,000	3,983,000	10,020,000	3,564,000	35.6
US	AT&T	48.4	49.6	44,500,000	45,585,000	91,865,000	1,780,000	1.9
	Verizon	49.8	34.5	51,018,268	35,350,732	1 02 434,000	16,065,000	15.7

表2 世界の3G,4G 化率

#### (2) 携帯電話の知財・市場動向

第三世代以降の携帯電話の知財件数や市場シェアについて比較したグラフが図3~7です。

第三世代の知財分析によると、W-CDMA 技術(日本では NTT ドコモ、ソフトバンク、イー・アクセス)の必須特許の 1/3 をクアルコムが占め、CDMA2000 技術(日本では au)の必須特許の 2/3 を同じくクアルコムが占めています。通信事業者自体は端末を製造しているわけではないですが、機器ベンダーはこれだけのロイヤルティーをクアルコムに払わなければいけないということです(図 3 参照)。



出典: Analysis of Intellectual Property for Third Generation Cellular Technology by David J Goodman and Robert A Myers

#### 図3 第三世代携帯電話の知財分析

LTE の必須特許の状況は、クアルコムは 14%、中国の ZTE が 12%、スウェーデンのエリクソン、インターデジタル、サムスンとあって、その次が NTT ドコモ、その次がノキア、Huawei、LG Electronics、モトローラ、パナソニック、シャープ等々が名を連ねており、かなりバランスの良い特許分布になっています。このことは、クロスライセンスがとてもやり易くて、どこかの特許所有者だけが頭抜けて利益を得るというような構造にはなっていないので、機器が安くなればよりシステムが実現し易くなるのではないかと思っています(図 4 参照)。

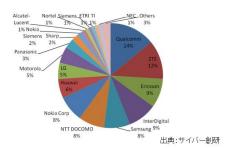


図4 LTE 必須特許件数推定

世界の携帯電話のシェアに目を向けてみると、2011 年時点ではノキア 23.8%、サムスン 17.7%、アップル 5%の順で、その次に LG Electronics、ZTE、RIM が続きます。それから HTC 台湾、Huawei、モトローラと続いて、日本メーカはようやくソニーエリクソンという順番でシェア 1.8%です。これが 2012 年3Q になると、四半期の台数なので比較には 4 倍する必要がありますが、ノキア 19%はサムスン 23%に抜かれたということです。アップルは順調に 4%までシェアを伸ばしています(図 5.6 参照)。

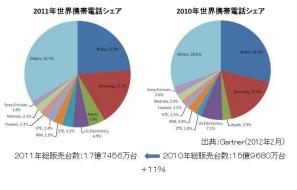


図5 世界の携帯電話シェア (2010,2011年)

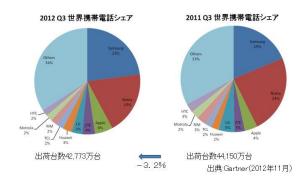


図6 世界の携帯電話シェア (2011,2012年)

次にスマートフォンについては、2011年3Qではアンドロイドが約半分のシェアを占めていて、iOSは15%ほどの割合です。iOSの割合は1年経った2012年3Qでも同じなので、アンドロイドが72%と優勢になってきているということです。もう1つ、注目してほしいのは出荷台数の増加です。2011年3Q時点の携帯電話全体の出荷台数は4億4千万台ほどです。この内スマートフォンの台数は1億1千万台で、スマートフォンの占める割合が1/4であったのが、2012年3Qには半分に近づいてきているということです(図7参照)。

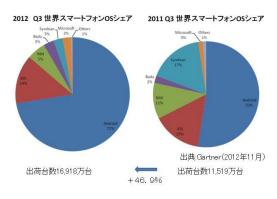


図7 世界のスマートフォン OS シェア

次世代通信方式の採用状況については、世界の通信事業者が 第三世代から 3.9 世代に向かってどういったシステムを採用し ようとしているかを注目していただきたいです。

表 3 に動向がまとめてあります。世界的には W-CDMA と CDMA2000 グループがあったわけですが、LTE 以外のことを 掲げているのはUQ コミュニケーションズとウィルコムから事 業を引き継いだワイヤレスシティプランニング (WCP) の2 社だけです。もっとも、実際にはどういうことになっているか というと、チャイナモバイルは TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) だったのが TD-LTE に変わります。ワイヤレスシティプランニングの AXGP というのは、実は TD-LTE 互換です。 UQ コミュニケー ションズは「WiMAX→?」となっていますが、WiMAX2 (Worldwide Interoperability for Microwave Access) の中の拡張 モードであって、実際はTD-LTE 互換にするということに他な らないので、結局、世界の動向はLTE に集結してしまうという ことです。ここで、何も明記していないのは FDD (Frequency Division Duplex) ということで、上りと下りの周波数が違う方 式ですが、一部チャイナモバイルを中心にして TDD (Time Division Duplex) 方式のTD-LTE を採用するということで、実

は世界は一つの方向に向かっているということです。

もう一つ着目していただきたいところは、表の下段のところ 欧州の欄を見ると、単純な数字と括弧書きの数字とがあります。 単純な数字は各事業者の国内加入者数です。ところが、括弧書 きのグループとしての加入者数というのは、ボーダフォンで 3.8 億加入となり、他の事業者も皆 1 億以上の加入者がいるこ とになります。NTT ドコモがどんなに頑張っても 6 千数百万加 入なので、やはり世界競合して移動通信業界で頑張っていくに は、世界を巻き込んでいかないとなかなか難しいということで あります。

	事業者	加入者数(万人)	第3世代	第3.9世代
日本	NTTF⊐₹	6,079	W-CDMA	LTE
	ソフトバンク	3,046	W-CDMA	LTE
	KDDI	3,611	CDMA2000	LTE
	UQコミュニケーションス	362	=	WiMAX→?
	ウィルコム、WOP	481	PHS	AXGP (TD-LTE)
アジア	SK Telecom	2,678	CDMA2000/W-CDMA	LTE
	チャナモバイル	68,308	TD - SCDMA	TD-LTE
米国	AT&T	9,187	W-CDMA	LTE
	ベライブン	10,243	CDMA2000	LTE
	スプリント	5,600	CDMA2000	LTE+WiMAX→TD-LTE
欧州	英ボーダフォン	1,931 (38,688)	W-CDMA	LTE
	仏オレンジ	2,564 (13,338)	W-CDMA	LTE
	独Tモバイル	3,599 (10,786)	W-CDMA	LTE
	伊テレコムイタリア	3,212 (10,110)	W-CDMA	LTE?
	テレフォニカ	2,300 (24,351)	W-CDMA	LTE

( )内は国外を含む

表3 通信事業者の次世代方式採用動向

携帯電話は 2G, 3G から LTE へ、そして LTE-Advanced へと 向かっていますが、一方、無線 LAN も IEEE での標準化が 802.11ac まで進んで高速化が図られました。802.11ac は LTE-Advanced とほぼ同等で、高速移動時 100Mbps、低速移動時 1Gbps の伝送速度ということです。一方、無線アクセスというのは、TDD 方式で無線 LAN を広域化した技術 WiMAX です。4G である IMT-Advanced では WiMAX2 として一応標準化されていますが、おそらく利用されないで、LTE か TD-LTE のどちらかに統合されると思います。移動通信システムの発展イメージを図 8 に示します。

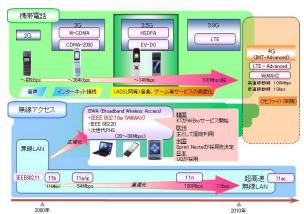


図8移動通信システムの発展イメージ

## 日本の移動通信の動向

## (1) 国内の携帯電話市場の推移

固定・移動通信の加入者数の推移は、世界では図1に示したように、2001年に移動が固定を追い越したのですが、日本では図9に示すように、1999~2000年にかけてこのクロスポイントが生じたということです。お陰様で日本の場合、2000年に

3G サービスが開始され、2011 年には 2G サービスが終了しました。また、3G のサービスの 1 年前に i モードサービスが始まりました。それから携帯インターネットサービスというのが世界に先駆けて始まり、世界展開にチャレンジしたのですが、なかなかうまくいきませんでした。よくよく考えてみるに、いまGoogle とかが提供しているコンセプトは、まさに i モードと同じではないかと思っています。同じようなことを続けていけば、チャンスはまた巡って来るのではないかと思います。

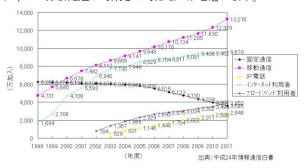


図9 日本の固定通信と移動通信及びインターネットの加入者数の推移

携帯電話は次から次へと使われ方が変化してきています。図 10 に示すように、今の端末にはとても多くの機能があり、コミュニケーションから情報アクセス、生活支援、行動支援というように、生活のインフラ化、パーソナル化へと使われ方は進んできているということです。もはや通話にだけ使われているのではないのです。これらの機能を実現するためには、やはり高速の無線アクセスラインとバックボーンネットワーク、それにネットワーク処理能力が必要になるということです。

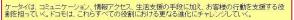




図 10 携帯電話サービスの進化

無線は光フアイバと違ってリソースが限られています。周波数を割り当てていただかないことには、サービスが提供できません。3G 向けサービスの周波数が図 11 のように順次配分されました。NTT ドコモは 2G サービスから 700MHz、800MHz、900MHz 帯の周波数を使用しておりましたが、2000 年に 2GHz帯が WRC(世界無線通信会議)で割り当てられて、3G サービスが始まりました。ただし、800MHz、900MHz 帯は 2G サービスを継続していて、3G サービスを展開するには 2GHz 帯の周波数だけでは足りないので、1.7GHz 帯の新たな周波数割当によりサービスを提供しているという状況です。

2009年からLTEサービスが始まっています。日本の場合は、 800MHz帯の帯域が細切れで使われているのと、海外とは周波 数が違うということもあって、現在 LTE サービスを 2GHz 帯から始めています。その後に 1.5GHz 帯あるいは 800MHz 帯でサービスするということで、高速化に向かって進んで行くということです。また、TDD システムへの割当もあります。この中でいま注目されているのは、FDD の 1.7GHz 帯の追加割当(5MHzx2) と TDD の 2.5GHz 帯の追加割当(30MHz) が検討されています。

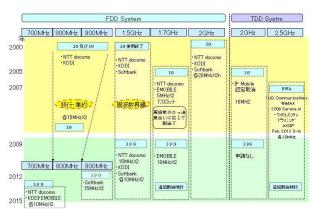


図 11 第三世代移動通信システムへの追加周波数割当

#### (2) 広帯域化への取り組み

新たな周波数帯の獲得という営業面での努力も然る事ながら、図 12 に示すように、技術面でも色々な技術が導入されてきました。LTE では自動ネットワークの最適化、Voice over LTE、超小型基地局といった新しい技術を取り入れ、LTE-Advancedではさらなる広帯域化ということでキャリアアグリゲーション、MIMO の高度化といった空間多重の比率を大きくすることで頑張っています。

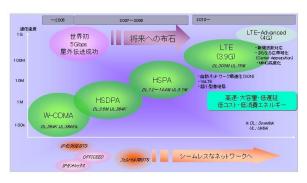


図 12 ネットワークの高度化、高速大容量化の推進

スマートフォンを購入してご利用いただいているということは、通信事業者にとって非常に厳しい状況に陥っているということで、図 13 はNTT ドコモのトラフィックの状況を示したものです。2010~2011 年でトラフィックが 2 倍に、2011~2012年にかけては 2.3 倍ということで、2015 年までに 12 倍になるだろうとの予測が立っています。売上額は変わらず、収入も変わらないという状況下で、この 12 倍をどうやって吸収したら良いかというのが大変でして、それは図中の右側に並べてあるように、まずはネットワークの容量の拡大のためにできるだけLTE にマイグレーションする、あるいは新しい周波数帯を使う、小ゾーン化、セクタの細分化、ヘビーユーザーに対して通信速度制御をさせていただく、そしてネットワーク負荷の軽減ということで無線 LAN へ待避するといったことです。

それから他には、LTE の新料金プランということで、世界的にも導入されていることですが、速度制限、かつ段階型の料金プランの設定で、従来のフラットレートの料金施策を残念ながら諦めさせていただくということです。

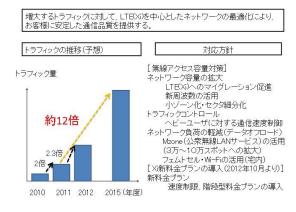


図 13 増大するトラフィックへの対応 NTT -NTT ドコモ中期ビジョン 2015-

Cisco からもモバイルデータトラフィック量増加の予測が示されていて、図13のNTTドコモの予測よりは少し緩めになっていますが、同じような予測が立てられています。また、ここでいうモバイルデータトラフィックというのは、ユーザプレーンのことであり、ユーザが音声とかデータで使う情報を流しているチャンネルのデータ量のことです。実はこの裏に大事な問題が隠れていて、コントロールプレーンのトラフィックももの凄い勢いで増えていて、これをいかに減らせるかというのも大きな課題となっています。

おかげさまでNTTドコモの場合、2015年に4,000万契約ということで、半分以上がスマートフォンになる予測です。LTEの契約数についても極めて順調に推移していて、2012年の中間決算では上方修正して4,100万契約ほどになります(図14の左側のグラフはLTE機能を持たない端末数。同右はLTE機能を含む端末数)。また、マルチメディア総研からも予測が出されていて、2012年3月時点の予測で、2016年の出荷台数の80%以上、2017年3月末の契約数の70%以上がスマートフォンに移行するという予測になっています。

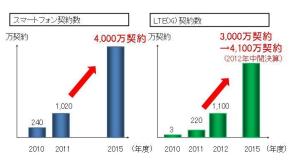


図 14 スマートフォン、LTE (Xi) 契約数 -NTT ドコモ中期ビジョン 2015-

## (3) LTE(Xi) 展開へのシナリオ

次にLTE について触れると、図 15 に示すように、LTE の特徴は3つあります。従来の FOMA サービス (HSPA: High Speed Packet Access) に比べて 10 倍の高速化、3 倍の大容量化、これは周波数利用効率によるものです。それからもう一つ重要な

のが低遅延ということで 1/4 になります。さらにもう一つ重要なのは、実はLTE のサービスというのは 3G エリア上にオーバーレイしながら拡張していくことができることです。LTE エリアでは高速の LTE でカバーし、3G エリアでは通常の速度の 3Gでカバーするということで、ユーザにとってみれば非常に導入し易いということです。また、低遅延というのは、AR サービス、自動音声翻訳サービス(図 15 では将来とあるが既にサービスイン)などのネットワーク遅延があると提供が難しいサービスにとって、非常に重要なキーファクターであります。クラウドのサービスを提供するためには、こういったような特性を持ったインフラが必須ということです。



図 15 高速・大容量・低遅延を活用した新サービスの提供

NTT ドコモの LTE サービスは 2010 年 12 月から開始しています。スマートフォン自体が出荷になったのは 2011 年 3Q だったので、それまでのデータ通信は USB ドングルと WiFi ルータだけでした。これ以降は、ほとんどのスマートフォンで LTE 対応を取っています。カバーエリアは 2014 年度末に基地局数 5万局、人口カバー率で 98%を目標にしています。基地局の展開計画を図 16 に示します。1.7GHz 帯の帯域幅は 15MHz あるので、高速化ができるということで、スペック上は最速112.5Mbps まで出せることになります。まだ端末がリリースされていないので、このサービスが始まってから LTE を導入されるというのも一つの考え方だと思います。



図 16 LTE (Xi) の展開計画

LTE加入者数の増加がはっきり見えてきたのは2012年11,12 月当たりからです。それから急速に加入者が増えて1千万加入を超えました。それまでは定額制であったのをこの時点でやめました。特定のユーザの大量のデータのおかげで他のユーザが使えなくなってしまうのを防ぐために、2つの選択肢を用意しています。選択肢の一つは一定量を越えたらデータ速度を制限

させていただく、もう一つは利用料を多めに払っていただくというものです。これを回避する使い方というのは割りと簡単でして、自宅に WiFi 環境を用意していただいて、自宅では WiFi をオフロードで使っていただくと、LTE パケット数はカウントされないので、制限量にはなかなか到達しないと思います。最近はライトサービスというのも提供しています。

将来の展開シナリオというのは非常に重要でして、図 17 にシナリオを示します。図 17 左下の「エリア展開例 2001」は、2001年に2GのPDCサービス中に3Gを導入したときの方法を示した図です。このときの3G端末は3Gしか対応していませんでした。そのため、せっかく新しい端末を買ったのに、3Gエリア内でしか繋がらない。しかも、3Gサービスは始まったばかりなので、「端末は大きく、電池は保たない、これは何なんだ!」というお叱りを多々いただいてしまいました。そういうことなので、LTEを始めたときにはデュアルモードでLTEと3Gの両方に対応した端末を提供させていただきました。2001年の苦い経験を生かしてのサービスの開始です。4G対応も同じように、デュアル対応にて安心して移行が進められるものと考えています。

周波数利用の方も、端末の普及度合いに合わせて、3Gから徐々に4Gに転換していくということになります。ここで最も非常に重要なことは、ネットワーク側はオールIP化が完了しているということです。しかし現時点では、音声サービスは3Gで提供し、データサービスは3GまたはLTEで提供していて、3Gを終了するには音声をLTEで送るVoice over LTE技術を導入する必要があるということになります。そういうことなので、次のネットワーク側の大きなステップアップ事項は、音声も含めたオールIP化ということになります。

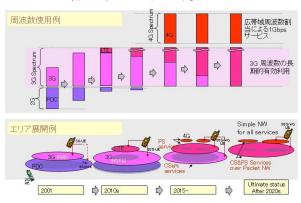


図17 将来予想される展開シナリオ

図 18 は従来の音声もデータも 3G で送っている段階から、現在の音声は 3G でデータは LTE で送り、将来は音声データも LTE で送るようになるという通信方式の移行段階を示したものです。また、Skype などに使われている VoIP (Voice over IP)と 4G の VoLTE を比較すると、通話品質 (QoS 制御)、通話中の消費電力、容量効果 (周波数帯域の効率的な利用) において、VoLTE はかなり有効な手段であるということです。消費電力や帯域改善は結構重要な事項なのです。



VoLTEとVoPIアプリとの比較

	V <sub>0</sub> LTE	VoIP(Skype,LINE等)
接続ID	電話番号	アプリ専用ID
料金	有料	無料
通話品質	QoS制御あり(安定)	QoS制御なし
通話中消費電力	既存音声通話同等	2倍以上
容量効果	2~3倍	

図 18 Voice over LTE への移行、VoLTE vs VoIP 比較

### 移動通信の国際標準化と進化

LTE 検討が終わって、LTE-Advanced が検討されてきました。ITU-R の WP5D (Working Party 5D)、と 3GPP の TSG-RAN (Technical sub Group - Radio Access Network) による検討です。2010 年 12 月に Release — 10 が 3GPP で承認され、2012 年 1 月に ITU-R の WP5D にて RA で勧告化されています。

LTE-Advanced と他の方式の比較を表 4 に示します。重要なところは遅延と周波数利用効率です。下りの利用効率は、W-CDMA が 5bps/Hz、LTE が 15bps/Hz で 3 倍、LTE-Advancedが 30bps/Hz でさらに 2 倍、W-CDMA に対しては 6 倍ということになります。 CDMA から OFDM に切り替えたことでかなり効率は向上しましたが、すでに検討は始まっていますが、そこから更に先となるとなかなか大変なようです。

それからもう一つ重要な技術としては、LTE の最大伝送速度を出せる条件としての 4x4 の MIMO (Multi-Input Multi-Output) のところです。4x4 の MIMO というのは結構難しくて、携帯電話を考えると4本のアンテナを入れるのは非常に難しいわけです。せいぜい2本で、そうなるとこれだけのビットレートを出すのは極めて困難な状況です。また、帯域幅 20MHz をそのまま全部使える周波数帯はなく、2GHz 帯で与えられた帯域を全て使えたとしても 20MHz であり、800MHz 帯や 1.7GHz 帯では 15MHz が上限となります。LTE-Advanced で帯域幅 75MHzを実現するのは相当頭の痛い問題なのですが、解決方法は一応あることはあるのです。

方式名	LTE-Advanced	LTE	W-CDMA
帯域幅	最大100Mまで	1.4M,3M,5M,10M,15 M,20M(可変)	5M(固定)
サポートする ドメイン	PSのみ	PSのみ	CSとPS(W-CDMA の場合)
無線アクセ ス方式	下り:OFDMA 上り:SC-FDMA	下り:OFDMA 上り:SC-FDMA	DS-CDMA
遅延	接続遅延:50msec	接続遅延:100msec 無線ネットワーク内遅 延:5msec	-(目標値なし)
周波数利用 効率 [bps/Hz]	下り:30 上り:15	下り:15 上り:3.75	下り:5 上り:2.5
最大伝送速 度	下り:1Gbps 上り:500Mbps (帯域幅75M, 4X4MIMO)	下り:300Mbps 上り:75Mbps (帯域幅20M, 4X4MIMO)	下り約14Mbps 上り約5.7Mbps (Rel.6のHSPAの場合)

表 4 LTE-Advanced と他の方式の比較

## LTE-Advanced (4G) における新技術

3GPPでは1年から1年半ごとにRelease ということでテクニカルスペックを出しています。1999年以降に仕様のリリース状況を図 19に示します。Release-99が 1999年で、これがW-CDMAに関するものです。Release-8が LTEで、これをエンハンスしたのが Minor LTE enhancements ということでRelease-9です。2つの Release-8,9を経て、Release-10がLTE-Advanced ということです。現在検討されているのはRelease-11までで、ようやくRelease12の課題が今整理されているという段階です。これからお話しするのは、そういったようなLTEのエンハンスメントに関してどういった技術があるかということです。

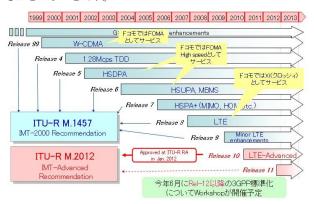


図 19 3GPP 仕様のリリース

LTE-Advanced は、LTE Release-8 のバックワードコンパチビリティを有しているので、Release-8 の端末は Release-10 の環境下でキチンと動くということになっています。逆に、LTE-Advanced のエリアにおいても LTE 端末は動作するということになります。例えば、日本の LTE-Advanced 端末を LTE サービスしかリリースしていない国へ持って行ったとしても、その国の LTE 端末を日本に持って来たとしてもキチンと動作します。このように、LTE-Advanced ではバックワードコンパチビリティが確保されるというような標準化になっています。

LTE-Advanced の主要技術を図 20 に示します。一つ目は広帯 域サポートのためのキャリアアグリゲーション技術です。通信 事業者に与えられた単位というのは最大 20MHz ぐらいしかな く、これを 5 つ束ねることで LTE-Advanced 最大の 100MHz まで帯域幅を広げることもできるようになります。二つ目は MIMO の多重数の拡張で、4x4 の MIMO では理論的には 4 倍の スピードが出せますが、下り8レイヤ、上り8レイヤとすると、 下り8倍の速度が出せます。これは伝送速度がアップするだけ ではなく、セルエッジでの伝送効率があまり悪くならないとい う効果もあります。三つ目のヘテロジーニアスネットワークに おけるセル間の干渉ということで、マクロセル内にミクロセル を入れることで、うまく調整して高速化するという技術です。 四つ目はリレー伝送ということで、これは簡単に言うと、基地 局のブースターみたいなものです。発展途上国を含めて中継距 離が長いようなところは、こういったリレーの技術が重要にな ってきます。五つ目はセル間の協調ということで、セル端で複 数の基地局からの電波が受かるところでは、この複数の基地間 との協調送受信を行うことによって、セルエッジでの伝送効率 の向上と干渉の制御を行うという技術です。

このように有線の世界とは違って、無線ではたいそう複雑な制御を行って、何とか伝送効率を上げようとしているわけです。



図 20 LTE-Advanced (Rel-10/11) の主要技術

以上の技術について簡単な説明を図 21~26 に示します。 キャリアアグリゲーションで 20MHz ずつコンポーネントを 5 つ重ねることで 100MHz の帯域になります。LTE-Advanced 端末は全帯域を利用できますが、Release-8 の端末は 20MHz しか能力がないので、これらのキャリアの内の一つだけを用い てサービスを受けられるということになります(図 21 参照)。

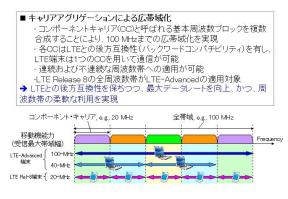
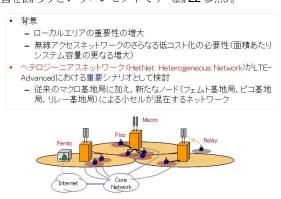


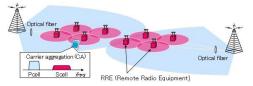
図 21 Carrier Aggregation (CA)

ヘテロジーニアスネットワーク (HetNet) により、マクロ基 地局で3つのエリアができている中に、ピコセルとかフェムトセルとかの小さい基地局を重ねて、高速化あるいは伝送品質の 改善を図ろうというコンセプトです (図22 参照)。



さらにこれら2つの技術を合わせたものです。マクロセルと 小セルに違う周波数を割り当てて、両方の周波数を一つに束ね て使う。使い方としては、上り下りの制御はマクロのセルで行 い、下りの高速化だけを小セルで行うということになります。 なお、RRE(Remote Radio Equipment)までの回線は光ファ イバです。光ファイバでないと肝心のスピードが出ないです。 モバイル技術にとって、光ファイバは必要不可欠なものなので す (図23参照)。

- HetNet環境におけるキャリアアグリゲーション
  - ・Primary cell (PCell)をマクロセルに割り当て → ハンドオーバ頻度の低減
  - Secondary cell (SCell)を小セルに割り当て → 容量増大効果



- LTE Release 11における主な拡張
  - ePDOCH → 制御チャネルの容量増大およびHetNetの柔軟なサポート
  - UL multiple TA → 上りリンクで異なる地点に送信する際の送信タイミング 制御
  - New carrier type → Scellの無線インタフェースをデータ送信用のキャリア に特化して最適化(後方互換性なし)

図 23 NetNet 環境における CA の高度化

セル間協調送受信 (CoMP) による良好な受信状態の実現で す。セルエッジ付近では3つの基地局が互いに干渉しあって端 末はうまく受信できません。そこで例えば、アンテナによるビ ームフォーミングにより2つの基地局はNullにして、一つの基 地局だけから信号を受信して良好な状態での受信を確保しよう といった技術です(図24参照)。

#### ■ 下りCoMP送信

- Joint Transmission: 複数セルからデータチャネルを協調して同時送信 Dynamic Cell Selection: 1つのセルからデータチャネルを送信し, 最適な 送信セルを高速に選択して切り替え
- Coordinated Scheduling/Beamforming 1つのセルからデータチャネルを セル間でスケジューリングバームフォーミングを協調
- 上りCoMP受信
  - タチャネルを複数のセルで同時に受信
- セル間で → 主にセル端周波数利用効率を改善

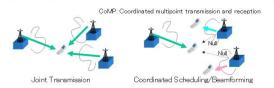


図 24 セル間協調送受信(CoMP)

CoMP におけるリモート基地局の活用ということで、ベース バンド信号を Radio on Fiber で送って RF ユニットの基地局を 構成するものです (図25参照)。

- Remote Radio Equipment (RRE)
- -スバンド信号処理部から離れて設置されるRFユ
- ド送受信機、AD-D/A変換器、および光変復調器から構成 対応するベースバンド信号処理部と光ファイバを介したベースバンド信号で接続 ケーブルロス、セルサイトの設置スペース低減などに有効で、現在のセルラネット ワークにおいても既に利用されている
- → RREの適用を前提としたCoMP技術が標準化中(HetNet環境含む)

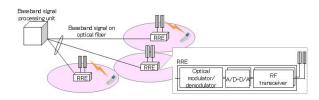
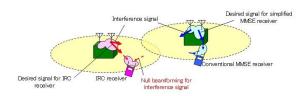


図 25 CoMP におけるリモート基地局の活用

ここまでは基地局側側の制御ですが、端末の方も少し賢く制 御しようということで、複数のアンテナにより端末側でも干渉 制御を行うという技術です(図26参照)。

- 他セル干渉をユーザ端末の複数アンテナ受信による干渉抑圧合成 (IRC: Interference Rejection Combining)により低減
- 仕様上では受信性能が規定
- → CoMPとともにセル端周波数利用効率を主に改善



26 Advanced Receiver

# 終わりに

こういったような非常に複雑な技術をたくさん入れて一生懸 命効率化しようとしています。

キャリアアグリゲーションの実験を横須賀 YRP と相模原で 行いました。周波数は少し高めの3.6~3.9GHzで、下り100MHz、 上り 40MHz で実験しました。伝送スペックは、帯域幅下り OFDMA/100MHz、上り DFTS-OFDM/40MHz、ピーク伝送 レート下り 1Gbps、上り 200Mbps です。下り伝送レートは 300 ~400Mbps ぐらいであり、調子の良いときで 600Mbps ぐらい の速度が出ています。キャリアアグリゲーションの検証はこの ようにして行っています。

本講演録は、平成25年3月15日に開催されました、SCAT主催の「第89回テレコム技術情報セミナー」、テーマ「3G, LTE そし て LTE-A(4G)へ 高速化に向けて」の講演要旨です。

\*掲載の記事・写真・イラストなど、すべてのコンテンツの無断複写・転載・公衆送信等を禁じます。