LTE　無線方式　高速・大容量・低遅延

Technology Reports

LTEサービス「Xi」（クロッシィ）特集―スマートイノベーションへの挑戦―

高速・大容量・低遅延を実現するLTEの無線方式概要

無線アクセス開発部　大久保 尚人（おおくぼ なおと）
ウメシュ アニール
岩村 幹生（いわむら みきお）　新（あたらし）　博行（ひろゆき）

2010年12月24日より，東京・名古屋・大阪の市街地などからLTEサービス「Xi」（クロッシィ）[*1]が開始された．「Xi」（クロッシィ）は，FOMAと比べて高速・大容量・低遅延の無線通信を実現するサービスである．「Xi」（クロッシィ）は，LTEと呼ばれる無線方式を用いており，無線アクセス技術，無線ネットワーク構成，無線インタフェースプロトコル技術の点でさまざまな工夫がなされている．

1. まえがき

携帯端末（UE）の高機能化，定額制拡大に伴うサービス，コンテンツのリッチ化などにより，携帯電話ネットワークにおけるパケットトラフィックが急増している．増大するパケットトラフィックに対して良好なネットワーク品質を確保していくためには，限られた周波数を有効に利用できる無線通信技術が重要となってくる．また，携帯電話ネットワーク上の多種多様なアプリケーションをユーザがストレスなく利用するためには，データ伝送速度の高速化とともに，接続遅延と伝送遅延の低減を実現する低遅延な無線通信技術が必要である．

このような背景を踏まえ，ドコモでは，2010年12月24日より，東京・名古屋・大阪の市街地などから，FOMAと比べて高速・大容量・低遅延の無線通信を実現する，LTEサービス「Xi」（クロッシィ）を開始した．

本稿では，「Xi」（クロッシィ）を支えるLTEの無線方式の概要について，**図1**に示すような無線アクセス

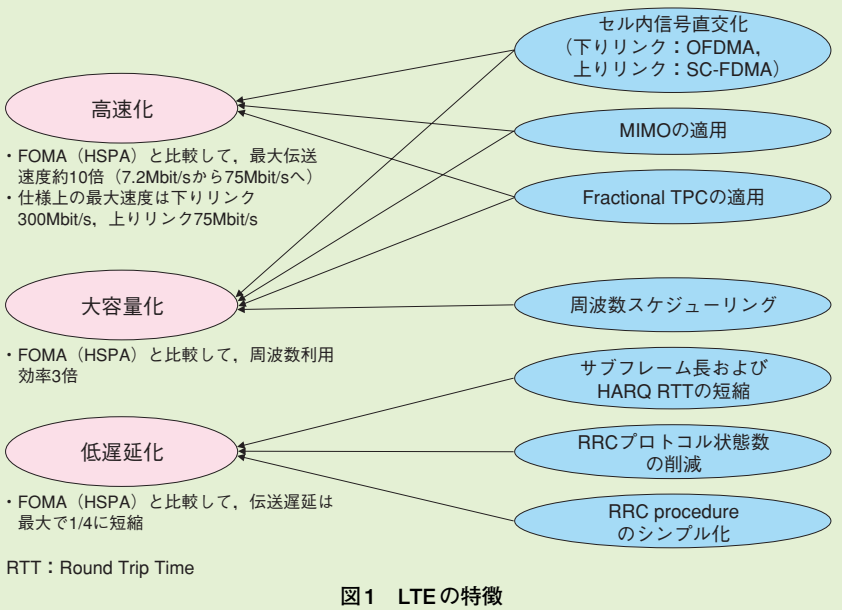

図1　LTEの特徴

＊1 「Xi」（クロッシィ）：「Xi」，「Xi／クロッシィ」は，NTTドコモの商標または登録商標．

方式，無線ネットワーク構成および無線インタフェースプロトコル技術などの点から解説する．

2. 無線アクセス方式概要

LTEは，下りリンク無線アクセス方式としてOFDMA（Orthogonal Frequency Division Multiple Access）[*2]を採用している．OFDMAを用いることで，移動通信のマルチパス[*3]環境下でも高品質な信号伝送が可能である．また，OFDM信号を構成するサブキャリア[*4]数を変更することで，さまざまな周波数帯域幅に対応することが可能であり，事業者の周波数割当てに応じた柔軟な運用を可能としている．さらに，周波数スケジューリング，MIMO（Multi-Input Multi-Output）[*5]との親和性も高く，これらの要素技術の適用により，高速・大容量通信を実現している．

一方，上りリンク無線アクセス方式としては，SC-FDMA（Single Carrier-FDMA）[*6]が採用されている．SC-FDMAは，信号のピーク電力対平均電力比（PAPR：Peak-to-Average Power Ratio）[*7]を低減できる特長があり，これによりUEの省電力化や，送信電力増幅器の低廉化を実現している．また，周波数スケジューリングが適用可能であり，さらには，同一セル内のユーザ間の信号が直交化[*8]（セル内直交化）されていることにより，セル近傍とセル端で目標の受信電力を変更する送信電力制御（Fractional TPC：Fractional Transmission Power Control）が適用可能となっている．これらの干渉制御技術により，高速・大容量通信を実現可能である．

LTEの信号伝送を行う無線フレーム構成を**図2**に示す[1]．無線フレーム長は10msであり，1ms長の10個のサブフレームから構成されている．また，サブフレームは0.5msの2つのスロットから構成されており，1スロットは7個のシンボルから構成される．無線フレーム長を短縮することにより，接続遅延や制御遅延などの短縮が可能となり，低遅延の無線ネットワークを実現している．

LTEは，データの送受信を行うチャネルを複数のユーザで共有するシステムである．基地局（eNodeB：evolved Node B）が，送受信データを有する各ユーザに共有データチャネル上の無線リソース[*9]を割り当てるスケジューリングを行う（**図3**）．無線リソースの最小割当て単位は，RB（Resource Block）と呼ばれ，図3に示すように，1RBは，周波数方向に12本のサブキャリア，時間方向に7シンボルで構成されている．スケジューリングの最小時間単位であるTTI（Transmission Time Interval）は，1サブフレームであり，サブフレームごとに，スケジューリングで選択されたUEへRBが割り当てられる．

LTEのチャネル構成は，物理チャネルと物理信号の2種類に大別される．上位プロトコルレイヤからの情報を伝送するものを物理チャネル，物理レイヤに閉じた信号を物理信号と呼ぶ．LTEの物理チャネルおよび物理信号の概要を**表1**に示す．また，下りリンクおよび上りリンクの

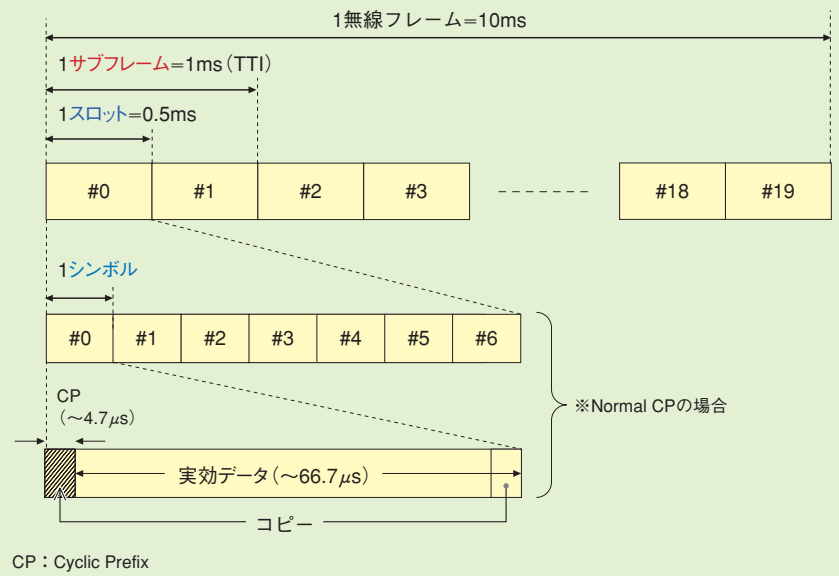

図2　無線フレーム構成

＊2　**OFDMA**：直交周波数分割多重（OFDM）を用いた無線アクセス方式．OFDMは，高速データレートの広帯域信号を多数の低速データレートのマルチキャリア信号を用いて並列伝送することにより，マルチパス（＊3参照）干渉（遅延波からの干渉）に対する耐性の高い高品質伝送を実現する方式．

＊3　**マルチパス**：送信機から送信された電波が，建物や地形などの障害物によって反射・回折し，複数の経路を通じて受信機に到達する現象．

＊4　**サブキャリア**：OFDMなどのマルチキャリア伝送において信号を伝送する個々の搬送波のことをいい，副搬送波とも呼ばれる．

＊5　**MIMO**：複数の送受信アンテナを用いて送信信号の空間多重を行い，伝送速度の高速化，伝送容量の増大を図る信号伝送技術．

＊6　**SC-FDMA**：単一ユーザの信号をシングルキャリア伝送しつつ，異なるユーザの信号は，異なる周波数を割り当てることにより多元接続する無線アクセス方式．

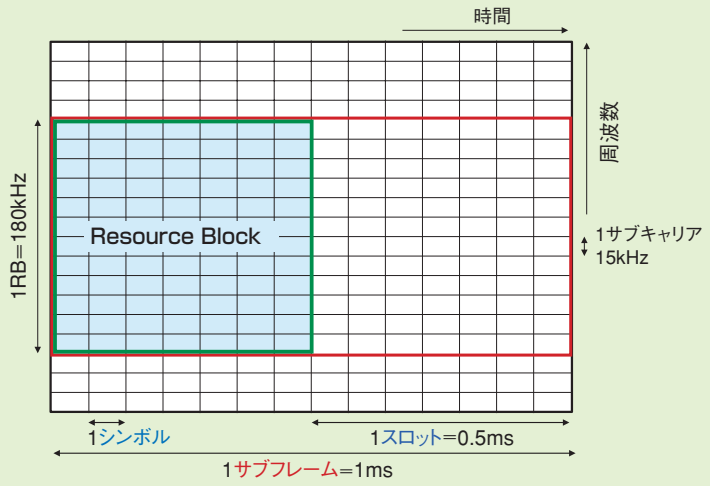

図3　サブフレーム構成とRB配置

物理チャネル構成を**図4**，**5**に示す．

3. レイヤ1，レイヤ2の要素技術

各物理チャネルの用途を含め，LTEにおける物理レイヤ（レイヤ1[*10]）および無線リンクプロトコルレイヤ（レイヤ2[*11]）の基本的な要素技術は，次のとおりである[1]-[3]．

(1)セルサーチ

UEが接続先の最適なセルを探索することを，セルサーチと呼ぶ．セルサーチに用いられる信号は，同期信号（SS：Synchronization Signal）と呼ばれ，LTEでは，システム帯域

表1　物理チャネルおよび物理信号概要

物理チャネル／物理信号名	用途
SS（Synchronization Signal）	セルサーチに用いられる同期信号．当該セルの物理ID（PCI）とSSの系列は1対1でくくり付けられている
DLRS（Downlink Reference Signal）	下りリンクの伝搬路推定，シンボルタイミング同期，受信品質測定，セル選択やハンドオーバのための品質測定などに使用される
PBCH（Physical Broadcast Channel）	UEがセルサーチ後に最初に読むべき最低限の情報（システム帯域幅，システムフレーム番号，送信アンテナ数）を送信するために使用される
PDSCH（Physical Downlink Shared Channel）	下りリンクのユーザデータを送信するための共有データチャネルであり，C-Plane/U-Planeに関係なくすべてのデータを集約して送信される
PCFICH（Physical Control Format Indicator Channel）	各サブフレームの先頭の何個のシンボルが下りリンク制御情報を送信可能な領域として確保されているかを通知するために使用する
PHICH（Physical HARQ Indicator Channel）	PUSCHに対する送達確認情報（ACK/NACK）を送信するためのチャネルである
PDCCH（Physical Downlink Control Channel）	eNodeBがスケジューリングにより選択したユーザに対して，無線リソースの割当て情報を通知するために使用される
PMCH（Physical Multicast Channel）	MBSFN の運用に使用される
DM RS（Demodulation Reference Signal）	上りリンクの伝搬路推定，シンボルタイミング同期，受信品質測定などに使用される．DM RSはUEが送信するPUSCHおよびPUCCHに多重される
SRS（Sounding Reference Signal）	周波数スケジューリングを適用するために必要な受信品質測定やタイミング調整に使用される．送信帯域幅は広帯域から狭帯域までサポートされている
PRACH（Physical Random Access Channel）	UEが初期アクセスやハンドオーバなどにより，セルとコネクション確立を行う場合や再同期を行う場合に使用される．衝突型と非衝突型がある
PUSCH（Physical Uplink Shared Channel）	上りリンクのユーザデータを送信するための共有データチャネルであり，C-Plane/U-Planeに関係なくすべてのデータを集約して送信される
PUCCH（Physical Uplink Control Channel）	PDSCHに対するACK/NACKや下りリンクの受信品質，スケジューリング割当て要求信号を送信するために使用される

ACK　：Acknowledgement
MBSFN：Multimedia Broadcast multicast service Single Frequency Network
NACK　：Negative Acknowledgement

下りリンクの物理チャネル
上りリンクの物理チャネル

＊7　**ピーク電力対平均電力比（PAPR）**：送信信号の最大送信電力と平均送信電力の比．PAPRが大きくなると，信号を増幅する際の歪みを避けるため，電力効率の悪い増幅器を用いる必要があり，特にUEの実装において問題となる．

＊8　**直交化**：同一の無線システム帯域内において，複数の信号系列を多重して送信する際に，両者が互いに干渉とならない（直交する）ようにすること．

＊9　**無線リソース**：ユーザごとに使うことができる周波数帯域幅や送信電力など．

＊10　**レイヤ1**：OSI参照モデルの第1層（物理層）．

＊11　**レイヤ2**：OSI参照モデルの第2層（データリンク層）．

幅の中心945kHz幅で送信される．これは，LTEが対応する最小周波数帯域幅にあたり，UEがシステムで使用されている帯域幅を意識せずに，セルサーチが可能となっている．セルサーチフローの概要を**図6**に示す．SSは2種類の符号系列をもっており，主にシンボルタイミング同期およびLocal ID検出を目的としたP-SS（Primary-SS）と，無線フレーム同期およびセルグループID検出を目的としたS-SS（Secondary-SS）がある．これらの2系列の組合せを検出することにより，当該セルの物理ID（PCI：Physical Cell Identity）を取得することが可能となる．

下り物理報知チャネル（PBCH：Physical Broadcast Channel）には，UEがセルサーチ後に最初に読むべき最低限の情報のみが含まれている．これらの情報は，MIB（Master Information Block）と呼ばれ，システム帯域幅やシステムフレーム番号（SFN：System Frame Number），送信アンテナ数などの基本情報が含まれる．その他のシステム情報であるSIB（System Information Block）に関しては，後述する共有データチャネルにて送信される．PBCHもSSと同様に，帯域幅の事前情報なしで復号できる必要があるため，帯域の中心1.08MHzで送信される．このように，帯域の中心でSSおよびPBCHを送信することで，システム帯域幅に依存しない高速なセルサーチを実現可能であり，「Xi」（クロッシィ）における柔軟なエリア展開

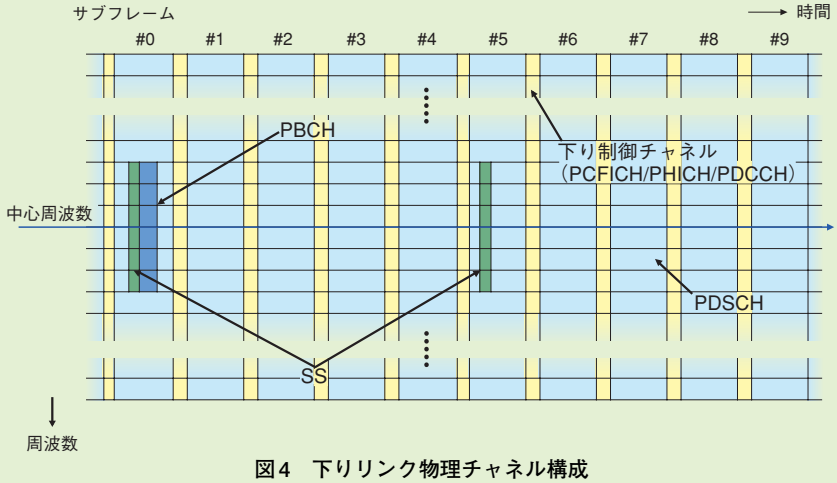

図4　下りリンク物理チャネル構成

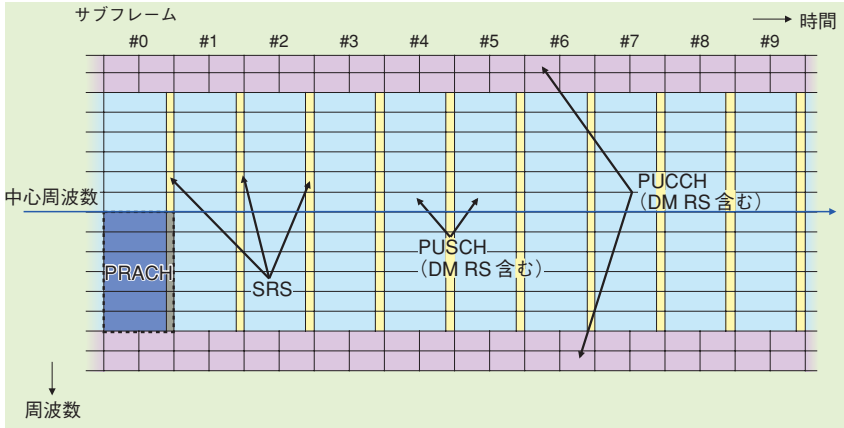

図5　上りリンク物理チャネル構成

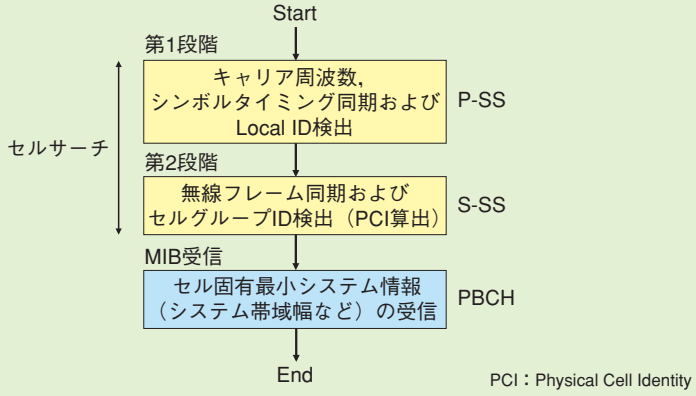

図6　セルサーチフロー

（屋外エリアでは5MHz幅，一部の屋内施設では10MHz幅を用いた運用）を可能としている．

(2)周波数スケジューリング

前述のとおり，LTEは共有データチャネルを用いたシステムであり，制御メッセージを取り扱う制御プレーン（C-Plane：Control-Plane）およびユーザデータを取り扱うユーザプレーン（U-Plane：User-Plane）に関係なく，共有データチャネルを用いてすべてのデータを送信することで，シンプルなシステムを実現している．PDSCHでは，C-Plane/U-Planeなどのユーザデータだけでなく，システム情報などの報知情報（SIB）や着信時の呼出し情報であるページング[*12]も送信される（表1）．

LTEでは，時間方向だけでなく周波数方向も考慮した2次元のスケジューリングが可能である．下りリンクでは，UEがeNodeBから送信されたDL RS（Downlink Reference Signal）の受信品質を測定し，その結果をCQI（Channel Quality Indicator）としてeNodeBに報告する．これに基づき，eNodeBが各ユーザに受信品質の良いRBを割り当てることで，周波数利用効率を向上させている．上りリンクに関しても，下りリンクと同様に周波数スケジューリングを適用可能で，eNodeBがUEから送信されたDM RS（Demodulation RS）やSRS（Sounding RS）の受信品質を測定することで，各ユーザに受信品質の良いRBを割り当てることが可能である．DM RSは，PUSCHを復調するために多重される参照信号である．一方，SRSは，帯域全体に渡って受信品質を測定するための参照信号である．上りリンクでは，SC-FDMAのシングルキャリア送信を維持するため，各UEには，必ず連続するRBが割り当てられる．

eNodeBがスケジューリングにより選択したユーザに対しては，物理下り制御チャネルPDCCH（Physical Downlink Control Channel）にて無線リソースの割当てが通知される．PDCCHではスケジューリング情報が運ばれ，これらは下りリンクではDL Scheduling information，上りリンクではUL Scheduling Grantと呼ばれる．これらの制御情報には，割当てRBの位置，変調方式，データサイズ（TB（Transport-Block）[*13]size），送信電力制御用のコマンド情報などが含まれている．また，PDCCHには，あて先のUEの識別子であるC-RNTI（Cell-Radio Network Temporary Identifier）が含まれており，UEは，自分あてのC-RNTIの有無により，無線リソースの割当ての有無を判断する．

(3)ランダムアクセス

UEが発信時やハンドオーバなどにより，eNodeBと接続を確立する場合や再同期を行う場合に，ランダムアクセスが行われる．ランダムアクセスにおいて最初にpreamble[*14]を送信するためのチャネルを，物理ランダムアクセスチャネル（PRACH：Physical Random Access Channel）と呼ぶ．一例として，発信時のランダムアクセスの概要を**図7**に示す．UEは，セル内に用意された複数のpreambleからランダムに選択したpreambleを送信する．eNodeBはpreambleを検出すると，その応答情報であるRACH responseを送信する．RACH responseを受信したUEは，コネクション要求信号（RRC（Radio Resource Control）[*15] connection request）をmessage 3として送信する．eNodeBは，message 3受信後にコネクション確立のためのセル設定情報などを含むRRC connection setupを，message 4として送信する．自分のUE IDがmessage 4に含まれていたUEは，ランダムアクセス処理を完了し，コネクションを確立する．一方，自分のUE IDが含まれていなかった場合は，ランダムアクセスの失敗とみなし，再度preamble送信から処理を行う．

(4)MIMO

下りリンクでは，複数の送受信アンテナを用いるMIMO技術が適用可能である．最大4アンテナ送信をサポートしており，ピークデータレートの大幅な向上が見込める．UEから報告されたRank indicatorに従って，送信ダイバーシチ[*16]とMulti codeword送信[*17]を切り替えるランクアダプテーションが適用される[4]．

(5)Fractional TPC

前述のように，SC-FDMAでは周波数領域において，ユーザ間の信号を直交化できるため，同一セル（セ

＊12 **ページング**：着信時に待受け在圏中のUEを呼び出す手順および信号．

＊13 **TB**：データ伝送などの処理を行う際の基本単位．

＊14 **preamble**：UEが初期接続などのランダムアクセス制御を行う際に，最初に送信する信号．

＊15 **RRC**：無線ネットワークにおける無線リソースを制御するプロトコル．

＊16 **送信ダイバーシチ**：送信アンテナ間のチャネルの変動の違いを利用してダイバーシチ利得を得る技術．

＊17 **Multi codeword送信**：MIMOにより複数の信号系列を空間多重して信号伝送を行う際に，それぞれの信号系列を独立して並列に符号化，データ変調して送信する方法．

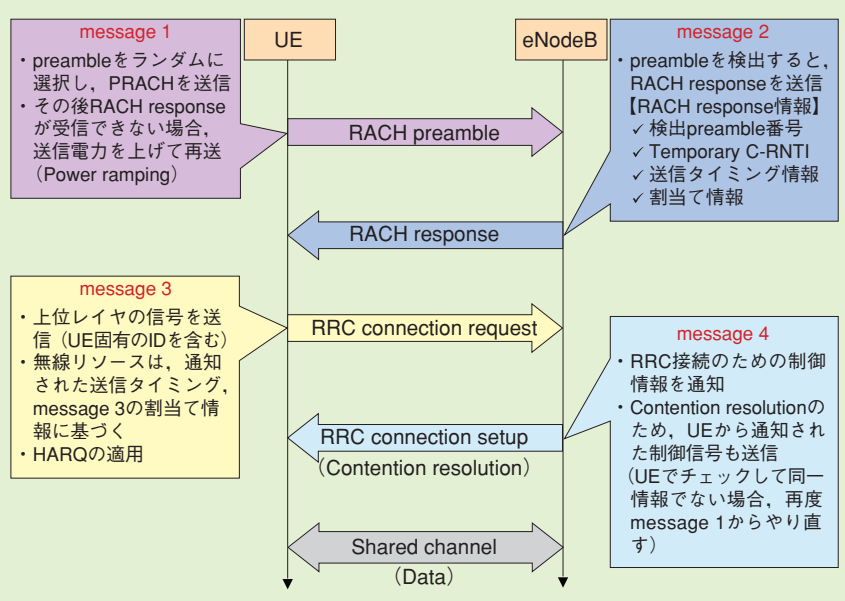

図7　ランダムアクセス概要

クタ）内ではCDMAのような干渉は生じない．このため，ユーザごとに送信電力制御の受信レベルの目標値を制御するFractional TPCを適用できる[4]．Fractional TPCでは，eNodeBに近いユーザの目標値を高く設定することでスループット[*18]を増大し，セル端に近いユーザの目標値を低く設定することで，他セルへの干渉を低減することができる．これにより，システム全体のスループットを向上させることが可能である．

4. 無線ネットワーク構成

LTEの無線ネットワークの主な特徴として，パケット交換のみサポートしていることと，分散制御型のフラットアーキテクチャの採用が挙げられる．

パケット交換に特化したため，回線交換網に接続するインタフェースを具備する必要がなく，無線ネットワーク構成が簡素化されている．従来の回線交換の主要サービスである音声をLTEで提供するには，VoIPを使用することになる．

4.1 アーキテクチャ

LTEの無線ネットワークはeNodeBのみで構成され，各eNodeBはLTEを収容するコアネットワークであるEPC（Evolved Packet Core）とS1インタフェースにて接続される（図8）．具体的には，C-PlaneがS1-MME（Mobility Management Entity）[*19]インタフェースにてMMEに，U-PlaneがS1-Uインタフェースにて S-GW（Serving Gateway）[*20]に接続される．さらに，隣接eNodeBどうしはX2インタフェースにて接続される．EPCのノード構成や主要技術については[5][6]を参照されたい．

また，各eNodeBでは呼受付制御，ハンドオーバ制御，ベアラ[*21]管理などを含むRRM（Radio Resource Management）や，前述の共有データチャネルのスケジューリングなどを含むすべての無線制御が実施され，UEとの通信に用いるすべての無線インタフェースプロトコルが終端される（図9）．

このようなアーキテクチャは，eNodeBの上位ノードとしてRNC（Radio Network Controller）[*22]を配置する現行FOMAシステムとは異なり，無線ネットワークにおけるパケットごとの処理量と制御信号数とが削減されるため，パケット伝送遅延や，呼接続やハンドオーバなどの制御遅延を短縮することに大きく貢献している．

またLTEでは，各無線処理・制御がeNodeBで終端されることもあり，ハードハンドオーバ[*23]のみを採用している．ハンドオーバ時には，ユーザデータ伝送が瞬断するが，瞬断時間は数十ミリ秒に抑えられる．

4.2 伝送路プロトコル

(1)S1インタフェース

S1-MMEインタフェースでは，S1AP（S1 Application Protocol）によって次の機能が果たされる．

＊18 **スループット**：単位時間当りに，誤りなく伝送される実効的なデータ量．

＊19 **MME**：eNodeBを収容し，モビリティ制御などを提供する論理ノード．

＊20 **S-GW**：3GPPアクセスシステムを収容する在圏パケットゲートウェイ．

＊21 **ベアラ**：S-GW，eNodeB，UE間などで設定される論理的なパケット伝達経路．

＊22 **RNC**：3GPP上規定されているW-CDMA方式における無線回線制御や移動制御を行う装置．

＊23 **ハードハンドオーバ**：UEが移動元のセルとの通信を停止してから移動先のセルに移るハンドオーバ制御方式．

・S1インタフェース自体の管理
・UEへのページング配信
・MMEとUEとの間のNAS（Non Access Stratum）[*24]メッセージ伝送
・UEに設定するベアラ管理

S1APメッセージの伝送は，SCTP（Stream Control Transmission Protocol）[*25]/IPにより行われる．S1-Uインタフェースは，eNodeBとS-GWとの間でユーザIPパケットを伝送するためのインタフェースであり，IPトランスポートの上にUDP層と，UEやベアラの識別を提供するGTP-U（GPRS（General Packet Radio Service）Tunneling Protocol for U-Plane）層を用いる．

(2)X2インタフェース

X2インタフェースのC-PlaneではX2AP（X2 Application Protocol）[*26]層が定義されており，eNodeB間ハンドオーバに際して，ハンドオーバ元とハンドオーバ先のeNodeBとが，X2メッセージにて直接ハンドオーバの要求・応答信号を交換できる．さらに，eNodeBに滞留する下りリンクのユーザIPパケットを，ハンドオーバ元からハンドオーバ先のeNodeBにX2インタフェースのU-Planeにて転送し，無線ネットワークでのパケットロスを回避することができる．

X2AP層の下位構成はS1AP層のそれと同一であり，X2インタフェースのU-Planeプロトコル構成はS1-Uインタフェースと同一である．

5. 無線インタフェースプロトコル

LTEの無線インタフェースプロトコルは，すべてeNodeBとUEとで終端される（図9）．U-Planeは，前述のレイヤ1であるPHY[*27]と，MAC（Medium Access Control）[*28]，RLC（Radio Link Control）[*29]，PDCP（Packet Data Convergence Protocol）[*30]からなるレイヤ2とで構成され，C-PlaneはU-Planeと同様のプロトコ

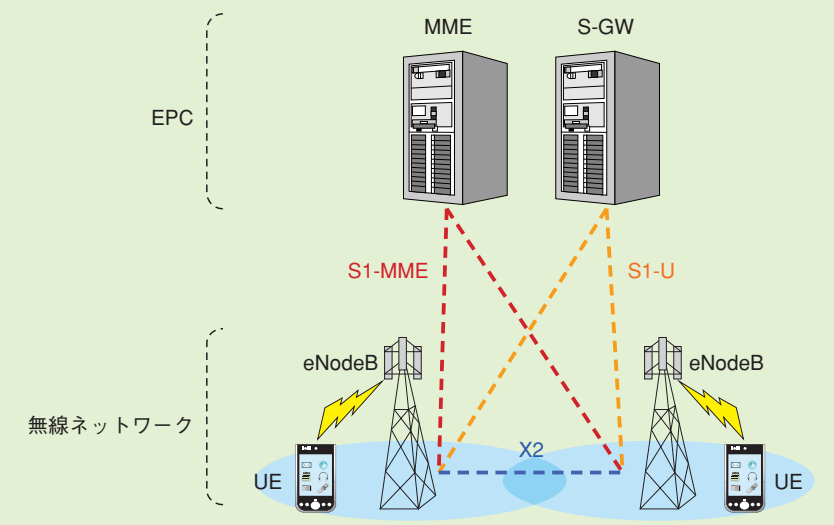

図8　LTEの無線ネットワークアーキテクチャ

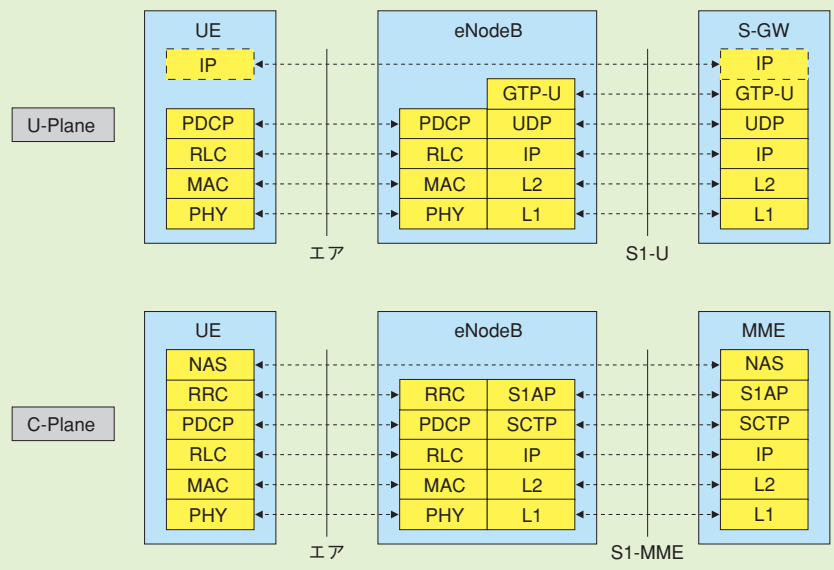

図9　LTEのプロトコル構成

＊24 **NAS**：UEとコアネットワークとの間の機能レイヤ．
＊25 **SCTP**：電話網のプロトコルをIP上で転送する用途で作られたトランスポート層のプロトコル．
＊26 **X2AP**：X2インタフェースにおける制御を実施するプロトコル．
＊27 **PHY**：物理レイヤであり，無線信号伝送のため，無線周波数キャリアの変調や，符号化データ変調などの処理を行う．
＊28 **MAC**：LTE方式における無線インタフェースのレイヤ2におけるサブMIMOレイヤの1つで，無線リソース割当て，TBへのデータマッピング，HARQ（＊34参照）再送制御などを行うプロトコル．
＊29 **RLC**：LTE方式における無線インタフェースのレイヤ2におけるサブレイヤの1つで，再送制御，重複検出，順序整列などを行うプロトコル．
＊30 **PDCP**：LTE方式における無線インタフェースのレイヤ2におけるサブレイヤの1つで，秘匿，正当性確認，ヘッダ圧縮などを行うプロトコル．

ルとレイヤ3[*31]であるRRCとで構成される．

レイヤ1であるPHY部分に関しては，2，3章にて解説したとおりである．ここでは，レイヤ2およびレイヤ3の概要について解説する．

5.1 レイヤ2

送信側のレイヤ2アーキテクチャを**図10**に示す．

(1)PDCP

PDCPサブレイヤでは，ベアラごとにPDCP entityが設定され，送信側は，ユーザデータ用ベアラのDRB（Data Radio Bearer）にてユーザIPパケットのヘッダ圧縮処理と秘匿処理とを，制御メッセージ用ベアラのSRB（Signalling Radio Bearer）にてRRCメッセージの改ざん防止用の秘匿処理とIntegrity protection処理とを実施し，RLCサブレイヤにPDCP PDU（Protocol Data Unit）[*32]として渡す．受信側では，対応するヘッダ復元，秘匿解除，Integrity check[*33]処理を行う．

またハンドオーバ時には，送信側にて送達未確認のユーザデータを再送することでパケットロスを回避し，受信側にて重複検出と順序補正とを行う．

(2)RLC

RLCサブレイヤでもベアラごとにRLC entityが設定される．RLCでは，AM（Acknowledged Mode），UM（Unacknowledged Mode）と，RLCそのものを透過とするTM（Transparent Mode）の3モードがある．

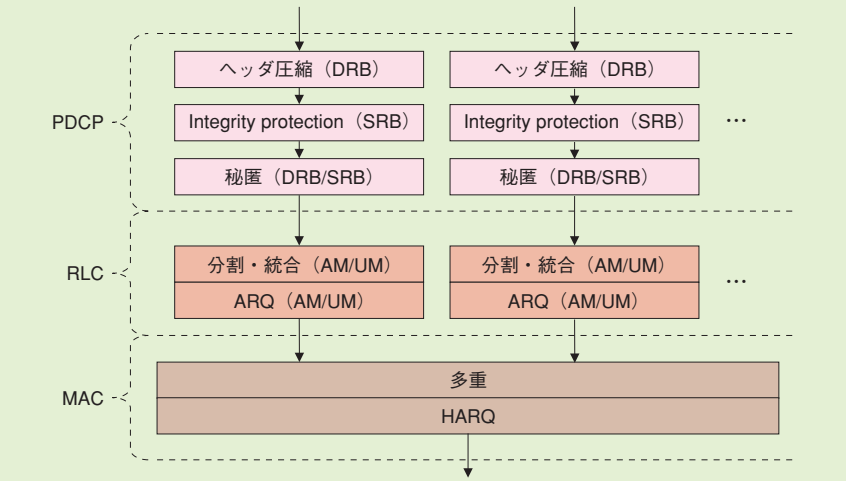

図10　送信側レイヤ2アーキテクチャ

RLC-AM/UMの送信側は，PDCP PDUを適応的に分割・統合することで，TTIごとのTB sizeに見合った長さのRLC PDUを生成して，MACサブレイヤに渡す．受信側は，対応するPDCP PDUの再構築を行う．

また，RLC-AMでは，受信側からの送達確認信号（STATUS PDU）に基づいて，送信側がRLC PDUを再送するARQ（Automatic Repeat reQuest）制御が実施され，MACサブレイヤにおけるHARQ（Hybrid ARQ）[*34]の残留誤りを補う．RLC-AM/UMの受信側は，さらに重複検出と順序補正とを行う．

(3)MAC

MACサブレイヤでは共有チャネルリソースがスケジューリングされる．下りリンクでは，eNodeBのスケジューラが，どのUEに対するどのSRB/DRBのRLC PDUをTBに多重して送信するかを決定する．上りリンクでは，eNodeBのスケジューラがどのUEにPUSCHにてデータ送信させるかを決定し，UEがどのSRB/DRBのRLC PDUをTBに多重するかを決定する．送信側と受信側のMAC entityとがHARQを用いてTBを伝送し，受信側はTBからRLC PDUを抽出してRLC entityに渡す．

また，MACサブレイヤでは次のような制御も実施される．

- ランダムアクセス
- 上りリンクでUE間の信号の直交性を保つための上りリンク送信タイミング調整
- 上りスケジューラで必要なUEの情報（データ量や送信電力に関する状況）のフィードバック
- UEのバッテリセービングを目的としたRRCコネクション確立中の間欠受信

5.2 レイヤ3

(1)RRC

RRCでは，次のような処理に必

＊31 **レイヤ3**：OSI参照モデルの第3層（ネットワーク層）．本稿では，RRCプロトコルを指す．
＊32 **PDU**：プロトコルレイヤ・サブレイヤが処理するデータの単位．
＊33 **Integrity check**：データ改ざんの有無のチェック．
＊34 **HARQ**：誤り訂正符号と再送を併用して，受信した信号の誤りを補償する技術．

要な手順とメッセージとがサポートされている．

・システム報知情報配信
・緊急地震速報配信
・ページング配信
・NASメッセージ伝送
・RRCコネクション管理
・無線ベアラ管理
・無線セキュリティ設定
・測定項目設定，報告制御
・ハンドオーバ制御
・再接続制御

また，現行FOMAシステムとの連携を実現する次のような制御にも対応することで，LTEの円滑な導入を支援している．

・LTEとFOMAシステムとの間のハンドオーバ
・LTE在圏UEの回線交換サービス発着信時のFOMAシステムへのCS（Circuit Switched）フォールバック[7]
・UEごとの優先待受けシステムの指定

なお，LTEにおけるUEのRRC状態は，待受け時のRRC_IDLEと無線コネクション確立時のRRC_CONNECTEDの2状態のみであり，無線コネクション確立時の状態が複数定義されているFOMAシステムと比較して，RRCプロトコルは簡素になっている．

⑵ 呼接続手順

LTEにおける呼接続シーケンスでは，NASメッセージをRRCメッセージに相乗りさせて，エアインタフェースにおけるメッセージ数を抑えており，呼接続遅延を短縮する工夫がなされている．

6. あとがき

本稿では，「Xi」（クロッシィ）を支えるLTEの無線方式の概要について，無線アクセス技術，無線アーキテクチャおよび無線プロトコル技術などの点から解説した．LTEが実現する高速・大容量・低遅延な無線通信技術により，より一層のモバイルブロードバンドの発展が可能となり，携帯電話サービス・ネットワークの進化が促進されるものと考えられる．なお，本稿で解説したLTEの無線方式は，3GPPにおいて2009年春に標準化が完了したLTE Release 8仕様に基づくものである．3GPPでは，LTEの無線方式のさらなる高機能化を実現するため，2010年10月にLTE Release 9仕様を完成させるとともに，より一層のシステム性能の向上を目指して，LTE-Advanced（LTE Release 10 and beyond）の詳細仕様の検討が進められている．これらの詳細は，参考文献[8][9]を参照されたい．

文　献

[1] 3GPP TS36.211 V8.9.0：“Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation,” Dec. 2009.

[2] 3GPP TS36.212 V8.8.0：“Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding,” Dec. 2009.

[3] 3GPP TS36.213 V8.8.0：“Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Physical layer procedures,” Sep. 2009.

[4] 安部田，ほか：“さらなるビットコストの低減に向けたSuper 3Gの開発，” 本誌，Vol.16, No.2, pp.8-17, Jul. 2008.

[5] 鈴木，ほか：“LTEを収容するコアネットワーク（EPC）の開発，” 本誌，Vol.19, No.1, pp.26-31, Apr. 2010.

[6] 鈴木，ほか：“LTEを収容するコアネットワーク（EPC）を支える技術，” 本誌，Vol.19, No.1, pp.32-36, Apr. 2010.

[7] 田中，ほか：“LTEと3G回線交換サービスの連携を実現するCS Fallback機能，” 本誌，Vol.17, No.3, pp.15-20, Oct. 2009.

[8] 岩村，ほか：“LTEのさらなる発展－LTE Release 9－，” 本誌，Vol.18, No.1, pp.48-55, Apr. 2010.

[9] 中村，ほか：“LTE-Advanced技術特集－IMT-Advancedに向けて進化し続けるLTE－，” 本誌，Vol.18, No.2, pp.6-36, Jul. 2010.