

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—

グローバル展開を目指した LTE 対応端末通信プラットフォームの開発

伝送速度向上、容量の拡大の需要に応えるべく、高速大容量、低遅延の特長をもつLTEサービスの提供が世界的に広まっている。LTEに対応した、ユーザにとって魅力的な移動端末をタイムリーに提供し、国内市場だけでなく世界市場に向け、ライセンスすることを目的として、国内メーカー3社とLTEに対応した端末通信プラットフォームの共同開発を実施した。

移動機開発部

なかもり たけし
中森 武志いしかわ たろう
石川 太郎ふるさわ まさゆき
古沢 祐之さわだ りゅういち†
澤田 流布一

1. まえがき

近年の急速なデータトラフィックの需要増大、コンテンツの大容量化により、伝送速度や容量の拡大が急務となる中、欧州を皮切りに、北米や中国など世界的に高速大容量、低遅延の特長をもつLTE^{*1}サービスの提供が広がっている。ドコモも2010年12月に、データ端末によりLTEサービス「Xi」(クロッシィ)^{*2}を開始しており、LTE対応スマートフォンなどの高機能端末の商用化に向け、開発を進めている。移動端末に求められる性能は年々高まっており、その要求に応えるとともに、これまで以上に開発の効率化と品質の向上が求められている。これまでも、移動端末の共通プラットフォー

ム化[1][2]により、開発の効率化と品質の向上を図ってきたが、LTEに対応した、ユーザにとって魅力的な移動端末をタイムリーに提供すべく、今般、国内メーカー3社(NECカシオモバイルコミュニケーションズ株式会社、パナソニック モバイルコミュニケーションズ株式会社、富士通株式会社)と、LTE対応端末通信プラットフォーム^{*3}(以下、LTE-PF)の共同開発を実施した。

LTE-PFは、海外ネットワーク装置ベンダとの相互接続性確認試験(IOT: Inter-Operability Testing)を実施することで、品質向上ならびにグローバル化を図るとともに、国内だけでなく、世界市場に技術ライセンスすることを可能とした。

本稿では、LTE-PFの開発、IOT

の取組みとライセンスの仕組みについて、解説する。

2. 開発の背景・効果

移動通信方式の高度化・高速化に対応するため、従来より、通信モデム部の開発期間の長期化、開発費の増大が、大きな負担となっていた。同様にLTE方式についても、新たな無線システム対応による高機能化は、回路規模やソフトウェア工数の増大につながり、その負担は増すばかりである。そのうえ、通信モデム部は、移動端末メーカー各社にとって開発負担が大きいものの、差別化領域ではなく、開発費に見合った利益を享受できない部分である。そこで、次の3つの効果をねらって、LTE-PFを開発した。

† 現在、プロダクト部

*1 LTE: 3GPPの第3世代移動通信方式の拡張規格。HSPAよりも高速大容量かつ低遅延な通信を実現できる。

*2 「Xi」(クロッシィ): ドコモが2010年12月より開始した、高速、大容量、低遅延のサービスの総称で、受信時最大37.5Mbit/s/送信時最大12.5Mbit/s(屋外エリア)、受信時最大75Mbit/s/送信

時最大25Mbit/s(一部の屋内エリア)を可能とする。通信技術としてはLTEをベースとしている。「Xi」、「Xi/クロッシィ」は、NTTドコモの商標または登録商標。

*3 端末通信プラットフォーム: 携帯端末に必要な通信機能を処理するBB(*5参照)処理ソフトウェアなどから構成される、通信にかかる基本システム。

①移動端末ラインナップの充実

複数メーカーで共通の端末通信プラットフォームを採用することにより、1社ごとの通信モデム部の開発や試験工数を削減することができ、アプリケーションソフトウェアなど、移動端末メーカーが独自性を出し、他社との差別化を図る部分へ開発を注力することができるようになる。

②移動端末メーカーの海外進出促進によるスケールメリットの創出

国際標準規格に沿ったLTE方式に対応し、世界的に広く普及しているW-CDMA（Wideband Code Division Multiple Access）/GSM方式とのマルチモードにも対応している。さらに、海外ネットワーク装置ベンダとのIOTを実施することで、相互接続性を確認し、その品質を証明するとともに、技術ライセンスをする際の競争力が向上している。その結果、グローバルにLTE-PFを普及させ、LTE-PFを採用している各メーカーの海外進出を容易とし、スケールメリットによる端末価格低減効果が見込める。

③技術ライセンス収入による開発エコシステムの構築

LTE-PFは技術ライセンス可能なIP（Intellectual Property）^{*4}開発としており、得られたライセンス収入を今後の機能拡張などに活かすことで、さらに魅力的な移動端末の開発を推進することができる。

3. LTE-PFの概要

LTE-PFは、これまでの移動端末開発で培ってきた技術を活かし、NECカシオモバイルコミュニケーションズ、パナソニックモバイルコミュニケーションズ、富士通の国内メーカー3社とドコモにて、共同開発を行ったものである。LTE-PFの開発範囲は、LTEのベースバンド（BB）^{*5}部と通信制御ソフト部である（図1）。

LTEは3GPP Release 8仕様として規定されている。LTE-PFの対応するLTEの主な仕様を表1に示す。

LTEのUEカテゴリは、3GPPにおいて、その能力に応じて、5種類に分類される[3]。LTE移動端末のUEカテゴリについて、表2に示す。

ダウンリンクにおける最大受信ビット数は、データの送信を行うPDSCH（Physical Downlink Shared Channel）[4]にて送られるビット数のTTI（Transmission Time Interval）ごとの最大受信量を表し、ハイブリッド自動再送要求（H-ARQ：Hybrid-Automatic Repeat reQuest）^{*6}用最大バッファサイズは、再送前受信信号と再送された信号との合成、復調を行う場合の最大受信バッファ

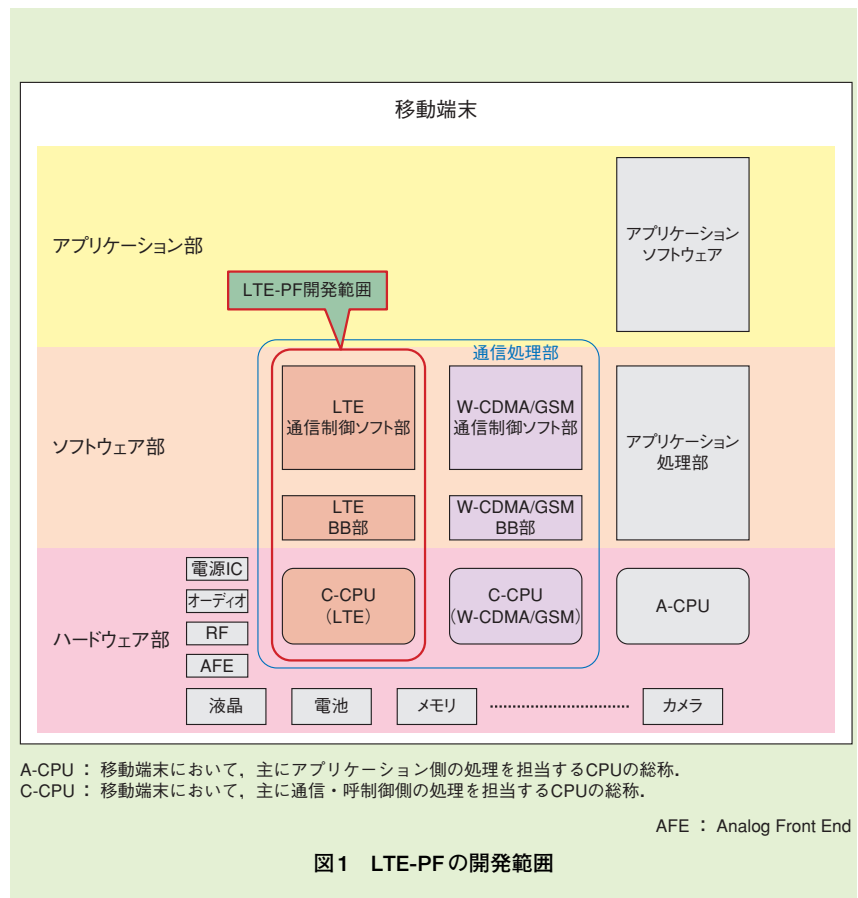


図1 LTE-PFの開発範囲

*4 IP：知的財産のことで、ここでは、LTEなどの技術を半導体に実装するための設計データやシミュレーションモデルなど。

*5 ベースバンド（BB）：変復調前後の信号。

*6 ハイブリッド自動再送要求（H-ARQ）：自動再送要求（ARQ）と誤り訂正符号を組み合わせることで、再送時に誤り訂正能力を向上させ、再送回数を低減させる技術。

のビット数を表している。また、カテゴリ2～4はMIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*7}レイヤ数2まで、カテゴリ5はレイヤ数4までの対応が必須となっている。一方、アップリンクにおいては、MIMO対応は規定されていない。なお、カテゴリ5のみ、64値直交振幅変調(64QAM: 64 Quadrature Amplitude

Modulation)^{*8}の対応が必須となっている。また、カテゴリ1～5のダウンリンク/アップリンクの最大スループットは、それぞれ、10/5M, 50/25M, 100/50M, 150/50M, 300/75Mbit/sである。

表2のように、対応カテゴリを上げて、H-ARQ用最大バッファサイズを大きくし、MIMO最大レイヤ数

を増やすと最大スループットが向上するが、その反面、メモリサイズの増加や処理負荷の増大など、移動端末にとっては、価格や消費電流の増加要因となってしまふ。さらに対応MIMO最大レイヤ数の増加は、すなわち、移動端末が搭載するアンテナ数の増加を意味するため、移動端末の形状が制約されることになる。LTE-PFでは、標準化動向や、競合他社のプラットフォーム仕様の状況、市場ニーズや商用スケジュールなどを考慮し、ダウンリンク/アップリンクの最大スループットが100/50Mbit/sのカテゴリ3を採用した。最大スループットの観点からも、データ専用端末、モバイルルータからスマートフォンに至るまで、幅広い移動端末ラインナップに対応可能な端末通信プラットフォームである。

LTE-PFは、W-CDMA方式やGSM/GPRS (General Packet Radio Service)^{*9}方式に対応したプラットフォームと組み合わせることにより、LTEだけでなく、W-CDMAやGSM/GPRSサービスエリアとのシームレスな通信を可能にしている

表1 LTE-PFの対応するLTE基本仕様

項目	アップリンク	ダウンリンク
最大伝送速度 (LTE 移動端末能力)	50Mbit/s (カテゴリ3)	100Mbit/s (カテゴリ3)
無線アクセス方式	SC-FDMA	OFDMA
Duplex	FDD	
システム帯域幅	1.4/3/5/10/15/20MHz	
CP長	Normal, Extended	
サブキャリア周波数間隔	15kHz	
Resource Block 帯域幅	180kHz	
無線フレーム長	10ms	
サブフレーム長	1ms	
スロット長	0.5ms	
1スロットあたりのOFDMシンボル長	7 (Normal Cyclic Prefix), 6 (Extended Cyclic Prefix)	
変調方式	BPSK, QPSK, 16QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
チャンネル符号化	畳み込み符号, ターボ符号	
送受信アンテナ数	1	2
3GPP 対応バージョン	Release 8	

BPSK : Binary Phase Shift Keying
 FDD : Frequency Division Duplex
 OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access
 SC-FDMA : Single Carrier-Frequency Division Multiple Access

表2 LTE移動端末のUEカテゴリ

UE カテゴリ	ダウンリンク					アップリンク		
	最大受信ビット数/TTI	最大受信ビット数/TBS/TTI	H-ARQ用最大バッファサイズ(bit)	MIMO最大レイヤ数	最大スループット(Mbit/s)	最大送信ビット数/TTI	64QAMの適応	最大スループット(Mbit/s)
カテゴリ1	10,296	10,296	250,368	1	10	5,160	非適応	5
カテゴリ2	51,024	51,024	1,237,248	2	50	25,456	非適応	25
カテゴリ3	102,048	75,376	1,237,248	2	100	51,024	非適応	50
カテゴリ4	150,752	75,376	1,827,072	2	150	51,024	非適応	50
カテゴリ5	299,552	149,776	3,667,200	4	300	75,376	適応	75

*7 MIMO: 複数の送受信アンテナを用いて伝送容量を増大する無線通信技術。

*8 64値直交振幅変調(64QAM): 無線などで用いられるデジタル変調方式の1つ。位相と振幅の異なる64種類の状態を用いて、データ伝送に用いる。QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) や16QAM変調方式に比べて、1回の送信当りのデータ量が6bitと多い。

*9 GPRS: GSM方式のネットワークを使用したパケット交換サービス。

(図1). 具体的には、通信断を伴うことなく、パケット通信のハンドオーバー (PS (Packet Switched) ハンドオーバー^{*10}) が可能であり、また、W-CDMAシステムにおける音声サービスが可能となるCS (Circuit Switched) フォールバック^{*11}にも対応している。なお、LTE-PFは、W-CDMAやGSMなどの現行システムの端末通信プラットフォームとの接続を容易にするために、汎用的なインタフェースを採用している。

さらに、LTE-PF開発の特徴としては、技術ライセンス提供を前提としたIP開発であるため、特定のチップセットベンダの技術に依存した設計とはしておらず、移動端末メーカー、チップセットベンダなどに幅広くライセンスすることが可能である。

4. LTE BB部の開発

BB部は、3GPP仕様のTS 36.21xおよび32xシリーズで規定されているレイヤ1^{*12} (物理層)、レイヤ2^{*13} (MAC (Medium Access Control)^{*14}, RLC (Radio Link Control)^{*15}, PDCP (Packet Data Convergence Protocol)^{*16}層) の処理を実現している。BB部のLSIのエンジニアリングサンプルとブロック構成を図2に示す。LTE BB部はレイヤ1機能を提供し、LTE UPP (U-Plane Processor) 部はU-Plane (User Plane)^{*17}を処理している。

BB部開発の課題は、大容量データを短時間で処理すること、および

標準化追従のための仕様変更に対し、柔軟なアーキテクチャとすることである。LTEの特長である大容量データの低遅延伝送を実現するため、レイヤ1では1TTI (1ms) 分のデータを受信後、3ms以内にデータの受信判定結果を応答する必要がある。従来HSPA (High Speed Packet Access)^{*18}より高速な処理が要求される。また、相互接続性維持の観点から最新の3GPP仕様に追従することが求められ、仕様変更の取込みを容易に行うことができるアーキテクチャが求められる。

これらの課題を達成するため、LTE BB部は専用ハードウェアとDSP (Digital Signal Processor)^{*19}およびCPUといった汎用プロセッサによるファームウェア処理部を有するアーキテクチャを採用した。

専用ハードウェアは処理性能が高く、処理時間を短くすることが可能

であるが、開発期間が長く、仕様変更に対する柔軟性がない。また、LSIサイズを大きくする要因となり、コスト面でもデメリットがある。一方、汎用プロセッサによるファームウェア処理は、処理性能が低いものの仕様変更に対する柔軟性が高いため、LTE-PFにおいては、その両者の長所を組み合わせたアーキテクチャとしている。

レイヤ1は、専用ハードウェアとDSPによるファームウェア処理により実現している。MIMOなどのLTEの仕様に依存しない一般的かつ高速処理が要求される機能を、専用ハードウェアにて実現し、制御チャンネルなどLTEの仕様にかかわらず、変更に対して柔軟性が求められる機能をDSPによるファームウェア処理にて実現した。また、専用ハードウェアについても性能向上を図り、LSIサイズを極力小さくできるようにアルゴ

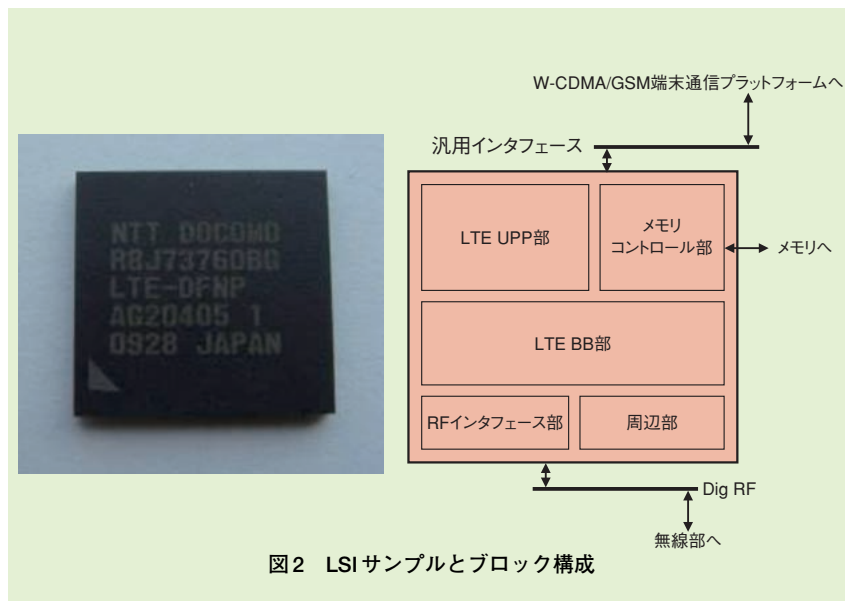


図2 LSIサンプルとブロック構成

^{*10} PSハンドオーバー：パケット通信中に、通信断を発生させることなく、異なるシステムやセルの間の通信を継続させること。
^{*11} CSフォールバック：LTE在圏時の音声発着信の際にW-CDMAやGSMシステムへの切替えを行い、回線交換ドメインでの音声サービスを提供する機能。

^{*12} レイヤ1：OSI参照モデルの第1層。物理層を指す。
^{*13} レイヤ2：OSI参照モデルの第2層。データリンク層を指す。
^{*14} MAC：LTEにおいて、論理チャンネルとトランスポートチャンネルとの間のマッピング、ランダムアクセス制御、待受け時間制御を行うプロトコル。

^{*15} RLC：LTEにおけるデータリンクレイヤプロトコル。データの再送制御などを行う。
^{*16} PDCP：レイヤ2におけるサブレイヤの1つで、秘匿、正当性確認、順序整理、ヘッダ圧縮などを行うプロトコル。
^{*17} U-Plane：ユーザデータを転送するためのプロトコル。

リズムを工夫している。例えば、LTEはMIMOの適用により高速データ通信を実現しているが、その性能はMIMOの信号処理方式に依存する。一般的にMIMO信号処理方式としては、MMSE（Minimum Mean Square Error）法^{*20}とMLD（Maximum Likelihood Detection）法^{*21}が知られている。MLD法は、理論的に最も性能の良い方法であるが、演算処理量が大きいことが欠点である。LTE-PFでは、MLD法と同等の性能を有し、演算量を大幅に削減するQRM（complexity-reduced MLD with QR decomposition and M-algorithm）-MLD法^{*22}[5]を適用することで、性能とLSIサイズを両立させている。QRM-MLD法はMMSE法に比べ、低い信号対雑音電力比率（SNR：Signal to Noise Ratio）にて同一のスループットを実現でき、より広範囲で大容量のデータ通信が可能となる。

レイヤ2は、セキュリティ処理を行う専用ハードウェアと汎用CPUコアプロセッサにより、処理系が構成される。LTEでは、SNOW3G^{*23}とAES（Advanced Encryption Standard）^{*24}という2つのセキュリティアルゴリズムが規定されているが、専用ハードウェアは両方式に対応している。セキュリティ以外のすべての機能をCPU上のファームウェア処理にて実現する。

さらに、アプリケーション部やRF（Radio Frequency）部とのインタフェースの汎用化により、LTE-PF

のフレキシビリティを上げ、競争力向上を図っている。なお、RFのインタフェースとしては、Dig RF^{*25}に準拠している。

5. LTE 通信制御 ソフト部の開発

これまで、ドコモはW-CDMA/GSM向けに、ネットワークとの通信制御を行うプロトコルスタックソフトウェア（PSS：Protocol Stack Software）の開発を行ってきた[6]。今回、そのW-CDMA/GSM向けPSSを基に、LTE方式の機能追加を行った。その機能追加にあたって、各方式を実現するコンポーネント（部品化されたソフトウェア）どうしの結びつきが比較的緩やかで、独立性が強い設計とすることで、蓄積したW-CDMA/GSMでの接続性・性能、各方式で独立したメンテナンス性および移植性を確保（LTE方式のみのライセンスなど）している（図3）。コンポーネント間の結びつ

きを緩やかにするために、LTE/W-CDMA/GSMに共通に必要なメンテナンス機能（OAM：Operation and Administration Management）およびスーパーバイザ機能（PSSV：Protocol Stack Super Visor）^{*26}を除いた機能、つまりLTE用プロトコルとW-CDMA/GSM用プロトコルとの間にインタフェースをもたせず、間接的にターミナルアダプタ経由でやりとりする方式を採用した。LTEプロトコルからUSIM（Universal Subscriber Identity Module）^{*27}へのアクセスは、二重読込みを避けるために、W-CDMA/GSMプロトコルを介して行われる。

6. IOT の取組み

LTE-PFは標準規格に準拠しており、グローバル展開を目指しているため、海外ネットワークにおける相互接続性（Inter-Operability）は、極めて重要なファクターとなる。その確認手法としては、実際に現地に出

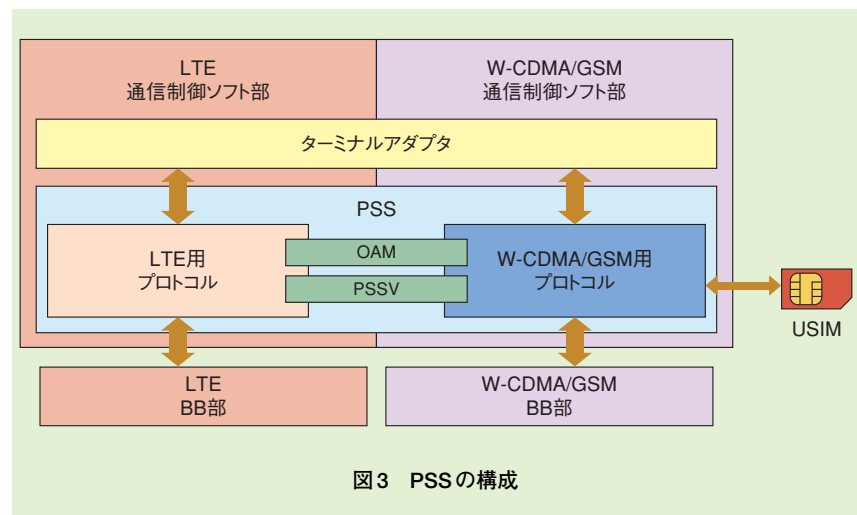


図3 PSSの構成

* 18 HSPA：W-CDMAのパケットデータ通信を高速化した規格であり、基地局から移動端末への下り方向を高速化したHSDPA（High Speed Downlink Packet Access）と移動端末から基地局への上り方向を高速化したHSUPA（High Speed Uplink Packet Access）の総称である。
* 19 DSP：音声や画像などのデジタル信号処理に特化したプロセッサ。

* 20 MMSE法：最小平均2乗誤差法、受信した信号に対し、算出したウェイトをかけることで、他信号からの干渉を抑制する方法。
* 21 MLD法：最尤推定法、受信した信号と受信される可能性のある信号の系列すべてと比較し、推定する方法。

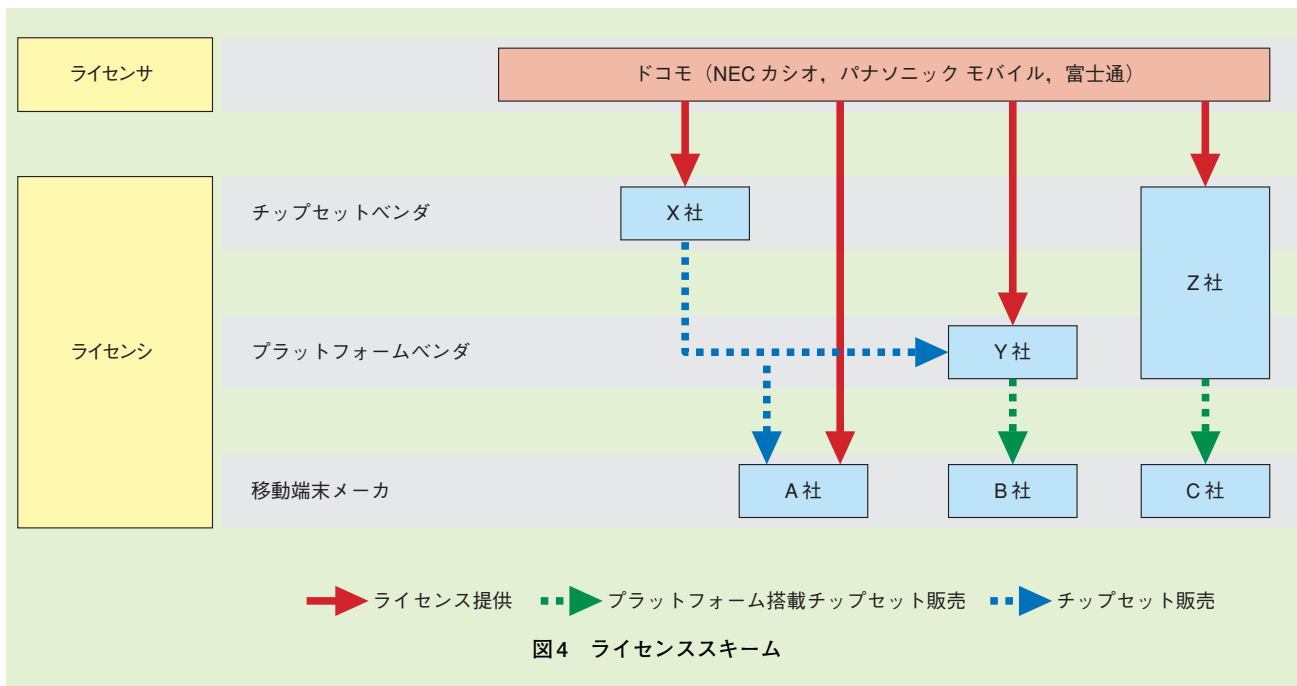
* 22 QRM-MLD法：各送信アンテナの送信信号点すべての候補の中から、最も確からしい信号点の組合せを選択する方法。QR分解およびMアルゴリズムを適用したもので、演算処理量を大幅に削減できる。
* 23 SNOW3G：セキュリティアルゴリズムの1種。

向いて試験を実施することがエンドユーザ観点から必須である。一方、LTEのネットワークは時期的にも立上げ期にあり、また、端末通信プラットフォームとしては、ネットワーク装置ベンダとのラボ試験による相互接続性の確認が現実的である。そこで、LTE-PF開発時期において、機能確認のための試験が可能であった、アジア・欧州・北米などの海外オペレータへ供給している主要海外ネットワーク装置ベンダ3社と、LTE方式における相互接続性の確認をした。さらに、W-CDMAやGSM/GPRSとのマルチモード機能におけるシステム間のインタワーキング*28についても、相互接続性を確認した。これにより、LTE-PFが標準規格に則り、相互接続性に問題がないことを確認している。

7. LTE-PFのライセンス

前述のとおり、LTE-PFは国際標準規格のLTE方式に準拠しているだけでなく、海外ネットワーク装置ベンダとのIOTを実施することで、グローバルネットワークとの接続性を確認した端末通信プラットフォームとなっている。移動端末メーカーやチップセットベンダは、グローバルな接続性が確認されたLTE-PFのライセンスを受けることで、LTEにかかわる基本機能の開発が不要となり、開発期間および開発コストの低減というメリットを享受できる。そこで、LTE-PF開発と並行して、ライセンスビジネスの検討を行った。具体的には、チップセットおよびプラットフォーム市場へLTE-PFを提供し、ライセンスとライセンスシ双方が

メリットを享受できる関係を築けるような、ライセンススキーム(図4)およびビジネス条件の設定を行った。これにより、LTE-PFを搭載したチップセットがグローバルに広く展開されることとなり、その結果、国内の移動端末メーカーにとっては海外市場へ、また海外メーカーにとっては日本市場へ、進出しやすい環境が整うものと考えている。LTE-PFのライセンス活動の成果例として、ドコモは2010年7月27日、グローバルなチップセット市場において広く販売実績のあるMediaTek社(台湾)とライセンス契約を締結した。これにより、LTE-PFのグローバル展開が見込まれ、また、ライセンス収入という収入源の確保にもつながると考える。ドコモは、さまざまな市場へのライセンスに向け引き続き交渉



* 24 AES : セキュリティアルゴリズムの1種。
 * 25 Dig RF : 主に移動端末向けの標準仕様を策定する非営利団体であるMIPI (Mobile Industry Processor Interface) により仕様化された、通信プラットフォームとRFIC (Radio Frequency Integrated Circuit) との間のインタフェースの規格。

* 26 スーパーバイザ機能 (PSSV) : タスク管理、不揮発メモリアクセス管理などのPSS共通管理機能。
 * 27 USIM : 携帯電話会社と契約した電話番号などを記録しているICカード。3GPPでのW-CDMA/LTE用途の移動通信用加入者識別モジュール。
 * 28 インタワーキング : 異なるシステム間の

相互やりとり。ここでは、LTE、W-CDMA、GSMそれぞれのシステム間での通信にかかる情報をやりとりすること。

を行っていく予定である。

8. あとがき

本稿では、これから市場需要が増すLTEに対応した移動端末をタイムリーに提供し、さらに、その技術をグローバルにライセンスすることを旨として開発したLTE-PFについて解説した。今後は、LTE-PFをベースにW-CDMAとGSM/GPRS技術とのプラットフォーム統合化と、さらなるグローバル化を念頭に、HSPA+^{*29}対応、LTEのTDD (Time Divi-

sion Duplex)^{*30}方式への対応、さらには、LTEの拡張規格であるLTE-Advanced^{*31}対応まで見据えたアーキテクチャの検討を実施していく。

文 献

- [1] 土橋, ほか: “移動端末共通プラットフォーム技術特集 / (1) 移動端末プロセッサの1チップLSI開発,” 本誌, Vol.14, No.1, pp.7-9, Apr. 2006.
- [2] 丸山, ほか: “携帯電話の高機能化を支える端末プラットフォーム開発,” 本誌, Vol.16, No.2, pp.41-44, Jul. 2008.
- [3] 3GPP TS36.306 V8.7.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities,” Jun. 2010.
- [4] 3GPP TS36.211 V8.9.0: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation,” Dec. 2009.
- [5] 樋口, ほか: “マルチアンテナ無線伝送技術 / その3 MIMO 多重法における信号分離技術,” 本誌, Vol.14, No.1, pp.66-75, Apr. 2006.
- [6] 井田, ほか: “移動端末共通プラットフォーム技術特集 / (2) 通信制御プロトコルスタックソフトウェアの開発,” 本誌, Vol.14, No.1, pp.10-14, Apr. 2006.

* 29 HSPA+: HSDPAやHSUPAと呼ばれるW-CDMAの拡張方式に対して、さらに、64QAMやMIMO技術などを適用した通信規格の総称。

* 30 TDD: アップリンクとダウンリンクで、同じキャリア周波数、周波数帯域を用いて、時間スロットで分割して信号伝送を行う方式。

* 31 LTE-Advanced: LTEの発展形無線インタフェースであり、3GPP Release 10として標準化が進められている。