

スマート社会の発展に向けた将来無線システムへの一考

野本 真一^{†a)}

A Consideration on Future Wireless Communication Systems for Smarter Society

Shinichi NOMOTO^{†a)}

あらまし スマート社会の発展に合わせてモバイルトラフィックの需要は量的にも質的にも大きく変化しており、第4世代以降（第5世代及びその後継）のシステム検討が始まっている。本論文では、主にオペレータの視点で、その状況、新たな技術要素、最近の標準化動向を俯瞰し、特に無線エリア構築・管理と言った運用面での要件に焦点を絞って将来システムのあるべき姿を議論する。クローズドループでのリアルタイム制御には、センシングデータの活用、特にデータ同化、がポイントとなるであろう。

キーワード モバイル通信システム、第5世代、データ同化

1. ま え が き

いつでも、どこでも、だれとでも、という通信環境を支えているモバイル通信システムは、約10年間をひと区切りとして世代交代が図られてきた。スマートフォンに代表される情報端末からの広帯域な通信需要を支えているLTEは、コア技術的には第4世代に位置づけられる（標準や周波数割り当て的にはLTEは第3.x世代で、LTE-Advancedから第4世代）。Long Term Evolutionという名が示すように、当初はLTEを（改良を重ねて行きながら）長く使っていこうという想いが込められていたが、昨今の通信需要の量的・質的な急激な拡大を考えると、将来を見据えた検討は待ったなしである。

本論文では、IoT (Internet of Things) で支えられるようなスマート社会の実現に向けて、将来システムが向かうべき道と必要な技術イメージを、主にオペレータ視点で議論する。

2. モバイルトラフィック増の影響

2.1 ユーザデータ量の伸び

スマートフォンに代表される高機能携帯端末からのユーザトラフィック量は年率約2倍で増えている。この

ペースが継続するならば、10年間（世代交代間隔）でおよそ千倍となり、キロk→メガM→ギガG→テラTといった拡大ペースである。このペースが継続するかどうかは、今後のサービスやデバイスの魅力さに当然依存するが、料金設定、例えば定額制か否か、にも大きく影響を受けるであろう。個人ユーザが家計の中から支払う月額通信利用料には限界があり、それが数倍にまで許容できるようになるとは直ちに同意し難い。一方、千倍のトラフィックを収容する新たなネットワークを全国津々浦々に構築するには、巨額の投資が必要となる。すなわち、いわゆる「費用と収入のギャップ (cost-revenue gap)」(図1) が間もなく逆転するという危機感がオペレータ側にある。

2.2 コントロールデータ量の伸び

スマートフォンの登場により、あまたのアプリケーションが提供され、さまざまなサービスが提供されて

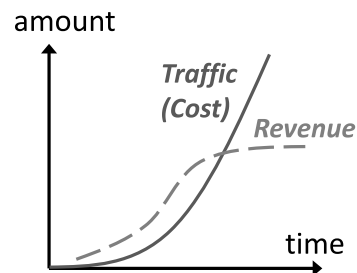


図1 費用と収入のギャップ
Fig. 1 Cost-Revenue gap.

[†] (株) KDDI 研究所, ふじみ野市

KDDI R&D Laboratories, Inc., 2-1-15 Ohara, Fujimino-shi, 356-8502 Japan

a) E-mail: nomoto@kddilabs.jp

いる。これらのアプリケーションの中には常時（バックグラウンドで）起動中となって他のユーザやクラウド上のサーバと常時接続されるものが多い。ユーザがアプリケーションを使えば使うほど、よりその人に合った情報を提供あるいは推薦するという傾向が強まり、時として個人情報も含め、さまざまな履歴やコンテキスト情報がクラウドに送信される傾向にある。

アプリケーション自体がやり取りする情報は、ネットワーク的にはユーザデータに区分できる。ただし、その発生頻度が間欠的であるため、無線リソースの確保とリリースがたびたび行われる際には、無線システムのコントロールデータ量が相当量消費され、同一セル内の大量の端末が同じ動きをすると、コントロールデータ用無線資源や認証・位置登録等のサーバ資源が枯渇する危険性が高まる。スマートフォンは、無線アクセス区間では従来型携帯電話の約3倍、コアネットワーク区間では約2倍のコントロールデータを、また、複数のアプリケーションをインストールしたスマートフォンは、初期状態のものに比べて、約4倍のコントロールデータを送出すると報告されている[1]。

今後、センサー等が爆発的に増加し、これらのデバイスが一般的には自動で定期的に通信することを考えると、コントロールデータの抑制は重要な課題である。

2.3 デバイス数と多様性の増加

我が国では、携帯電話端末の対人口浸透率が100%を超えて飽和傾向にあり、将来的には少子高齢化の影響を受け、人が携帯するデバイスの総数が大きく伸びる可能性は低い。他方、M2M (Machine-to-Machine) やIoTについては、今後の発展が期待される領域であり、デバイス数として2~4桁の増加を想定したシステム検討の必要性が叫ばれている。また、IoTの利用シーンは、将来のスマート社会での生活の全てと言っても過言でなく、そのトラフィック特性（スループット、遅延量、誤り率など）に対する要求はこれまで以上に多様なものを想定しなくてはならない。

したがって、技術的には、大量のデバイスやその上での多数のセッションを扱う上で、さまざまな識別子 (ID: Identification) の組合せに対するスケラビリティを確保することが重要である。また、無線レイヤではユーザプレーン（以下、Uプレーン）とコントロールプレーン（以下、Cプレーン）に対する無線資源の配分について十分に配慮する必要があるとともに、多様な需要を、単独のシステムのみで賄おうとすると、どうしても効率が落ちるケースが避けられないである

う。トータルとしての最適化の道がどう確保されているかの視点が重要である。

3. 量的拡大に向けた無線技術動向

本章では、二つの量的拡大、すなわち、ユーザトラフィック量の増加（Uプレーンでの性能向上）とデバイス数×セッション数の増加（Cプレーンでの性能向上）について、無線技術動向を俯瞰する。

3.1 Uプレーンの性能向上

これまでの世代交代もUプレーンの性能向上が主たる要請であった。第2世代のPDCが42kbit/sのビットレートを実現する中、第3世代の検討では、IMT-2000の旗の下、2000年までに2000MHz帯（帯域幅としては5MHzまたは1.25MHz）を利用して2000kbit/sの「ブロードバンド」を実現するというターゲットを設定していた[2]。しかし、ビットレートは使用帯域幅に依存するから、技術的指標としては、周波数利用効率を目標値とするのが妥当である。そこでIMT-2000に続く第4世代のIMT-Advancedでは、下りリンクで最大15bit/s/Hz以上（上りリンクで最大6.75bit/s/Hz以上）を目標として検討が進められてきた[3]。

デジタル化以降（第2世代～）の世代交代の技術的なポイントは、多元接続方式（Multiple Access）に注目して「TDMA（第2世代）→CDMA（第3世代）→OFDM（第4世代）」という流れで説明するのが平易ではあるが、LTEにおいて周波数利用効率（bit/s/Hz）を飛躍的に高めた要素は、MIMO (Multiple Input Multiple Output) であって、MIMOがOFDMと並列ストリーム処理という意味において非常に親和性が高かったという点は見逃せない。

MIMOは、空間多重の一手段であり、複数のアンテナを送信側（M本）と受信側（N本）の双方に配備することにより、アンテナが1本であったときに比較して、周波数利用効率を約K倍（ただし、 $K = \min(M, N)$ ）に向上させることができる[4]。SINR（信号電力対干渉及び雑音電力比）の軸の上では、周波数利用効率は $\log(1 + \text{SINR})$ に比例し、効率を高めるためのSINRのコストが $\text{SINR} \gg 1$ では指数関数的に増えてしまう（Shannonの定理）。これに対し、MIMOは「ストリーム（空間）」という新たな軸を拡げた点で画期的であった。

“Massive MIMO”なるキーワードで表現されるように、更なるMIMO空間多重度の増加がこれからも進むと考えられるが、MIMO効果に影響を及ぼすア

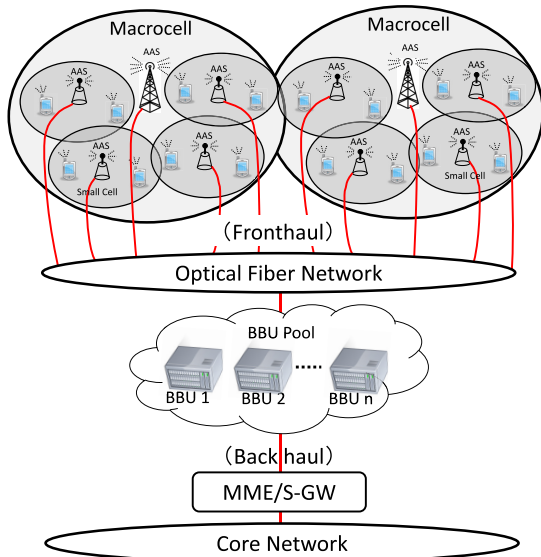


図2 C-RAN アーキテクチャ
Fig.2 C-RAN architecture.

アンテナ素子の構成・配置（含む偏波）は、特にスペースに限られた携帯端末やモジュール端末において、大きな技術課題である。

元来、「空間」という軸では、小セル化があり、周波数の繰り返し利用効率を高め、更に一つのセルの中のユーザ数が減ることでトラフィック需要が減るという二つの効果から、ユーザ当たりのピークレートの向上には最も効果的なアプローチである。MIMO は地理的にマクロ領域で空間多重することなしに、電波的にマイクロ領域（波長レベル）で空間多重ができ、基地局設置の自由度も含めて経済的アプローチであった。小セル化アプローチと併用し、基地局側アンテナを高密度に分散配置し、更に隣接複数基地局での連携送受信による干渉制御（ICIC (Inter-Cell Interference Cancellation), Small Cell Enhancement 等) の方向に MIMO は進化している。

上記の流れは、空間多重を最大限に活用するアーキテクチャとしての“C-RAN”へと繋がっている(図2)[5]。ここで“C-RAN”の RAN は Radio Access Network であり、一方、C は、Centralized, Cloud, Collaborative, Cooperated, Clean, 等々、さまざまな意味が当てはまるようである。基本的には、従来の基地局の位置にあるものは、アンテナと RRH (Remote Radio Head) が一体化された AAS (Active array Antenna System) であって、ベースバンド系 BBU (BaseBand

Unit) を含むデジタル信号処理はクラウド上に集めて処理する。利点としては、クラウドコンピューティングによる大群化効果（計算機資源の集約によるコスト削減）及び仮想化による AAS と BBU の接続変更の自由度向上などである。BBU プール化は、トラフィック量の時間的・空間的変動に合わせて、セル容量を効率良く動的に変更できることを意味する。一方で、MIMO 信号処理を BBU 内で行うためには電波伝搬特性を保持した波形レベルの信号を伝送する必要があるため、RRH と BBU 間の伝送路（従来の Backhaul との対照から Fronthaul と呼ぶ）が非常に広帯域となる課題がある。

3.2 C プレインの性能向上

空間的に分散配置された多数の基地局 MIMO アンテナと空間的に離れた場所に存在する多数のユーザ MIMO アンテナとの間の多重化・多元接続を、広帯域な周波数帯を用いて OFDM (A)-MIMO で実現しようとする、どのアンテナにどの無線リソース（タイムスロット × サブキャリア × MIMO ストリームの組合せ）を分配するかという割当て問題を解決する必要がある。無線環境は時間・場所でダイナミックに変動しており、この割当てが不適切であるとシステム容量を高めることができない。すなわち、それぞれのアンテナペア（基地局セットの中のアンテナとユーザセットの中のアンテナとの組合せ）ごとにその電波伝搬特性（チャンネル応答行列）を、時間スロット及び周波数スロットの細かさで把握した上で、公平性を考慮しつつ、システム全体でのスループットが最大になるように割当て問題を解くことが求められる。この割当て問題への対応は、一般には基地局側でスケジューラと呼ばれる機能ブロックが担っている。問題の性質は大規模な組合せ最適化であり、数学的に厳密に解くことはできず、ヒューリスティックなアルゴリズムを用いる。その計算コストもサブキャリア数（周波数帯域幅に比例）及び MIMO 空間多重数が増えるに従って爆発的に増加する。

スケジューラの割当て結果の良し悪しは、アルゴリズムのみならず、スケジューラに入力されるチャンネル応答行列の精度に大きく依存する。下りリンクのチャンネル応答行列は基地局側から送信された参照信号を端末側で評価するから、その推定結果を上りリンクのコントロールチャンネルを消費して基地局側に送信する。さまざまなテクニック（間引き、情報圧縮等）を施してコントロールチャンネルの消費を抑える工夫がなさ

れているが、セルが扱う対象チャンネル数（周波数帯域幅 × 同時接続ユーザ数 × アンテナ数に比例）が多いほど増加することになる。また、端末とのユーザチャンネル確保には、下りリンクのコントロールチャンネルを消費して資源割当て結果を基地局側から端末に報知する必要がある。常時接続を前提としたアプリケーションが増えていくと、それぞれのアプリケーションが扱うユーザデータ量は小さくて U プレインの資源には余裕があったとしても、C プレインの資源が先に枯渇するという状況を生み出すことになる。

上記の資源割当て問題は、OFDM-MIMO などの直交系では必須であるが、CDMA (Code Division Multiple Access) などの非直交系ではチャンネル分離のための ID (CDMA であれば code) をあるルールの下にあらかじめ双方で確認する手順さえ決めておけば、リアルタイムに更新する必要がなく、C プレインへの負荷が軽い。このため、OFDM 系と相性の良い新たな U プレインを非直交系（例えば IDMA: Interleaved Division Multiple Access）で構成し、双方を使い分けるといったハイブリッド構成も検討されている [6]。

3.3 C/U 分離

U プレインの 1000 倍オーダでの大容量化には、新しい、より高い周波数帯への拡張が欠かせない。高周波数帯は大きなセルを構築する上では不利と考えられるが、小セル化の流れには整合している。他方、セルが小さくなるとモバイルサービスとしてはハンドオーバーが頻繁に発生することとなり、特に C プレインの瞬間はパフォーマンス上、影響が甚大である。そこで、C プレインは比較的低い周波数帯を用いたマクロセルで展開し、これにセルサイズの異なる（一つ以上の）U プレインを重層的に構成することによって、全体システムを構築しようとする発想が出てきている（C/U 分離）[7]。これはシステムの進化の流れにおいても合理性・経済性が高い。最新端末は、新たに利用可能となった周波数帯での U プレインが提供されている場所に入ると、古くから利用可能となった周波数帯での U プレインから切り替わる（ハンドオーバー）または二つのプレインを同時に利用する（アグリゲーション）することで、更なる高速通信環境を享受できる。一方、モジュール系のような一度設置されると回収のコストが見合わないような端末に対しては、後方互換性が確保される。ただし、C/U 分離を実現する上では、異なる複数の周波数帯に対応可能なアンテナを端末上にも具備する必要があることは言うまでもない。

C/U 分離を異なる方式間にまで発展させる考え方もあり、例えば、LTE の C プレインを用いてミリ波帯を用いた WiGig を制御する、といったことも検討されている。

4. 将来システムに関する議論

最近（2013 年 4Q）になってから、各種標準化団体等で、第 4 世代以降（Beyond 4G 乃至 5G）をどうするかといった議論が急速に活発化してきている。代表的なものに触れておく。

第 3 世代の W-CDMA から LTE への流れを主導した 3GPP (the 3rd Generation Partnership Project, 構成員は、ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TTA, TTC の 6 標準化団体) は、設立 15 周年を迎え、設立 25 周年を迎えた ETSI と共催で Future Mobile Summit [8] を 2013 年 11 月 21 日にフランス・カンヌで開催した。さまざまな機関を代表するスピーカからプレゼンがなされたが、技術的な議論としては、前章で触れた分散基地局化（複数の基地局が連携して 1 台のユーザ端末をサポート）、C/U 分離や基地局側と端末側の双方に機能分割された MAC, 更には Massive MIMO, SDN (Software Defined Network), RAN Virtualization, QoS (Quality of Service) と言ったキーワードが登場しており、方向性としての課題認識が共有できている。

我が国では、2013 年 11 月 29 日に ARIB が第 2 回 Workshop を開催している。ARIB の高度無線通信研究委員会に 2020 年及びそれ以降のシステムの検討を行うアドホック (20BAH: 2020 and Beyond AdHoc) を組織して活動している [9]。

2013 年 12 月 2 日には韓国・ソウルで 5G Forum 会合が開催された [10]。同フォーラムは 5G を推進する韓国の団体で、この会合では主に韓国の 5G 関連活動が紹介された。“Giga Korea Project” では、2020 年までの 8 年間に 550 億円を投入（官 75%, 民 25%）し、Network（ミリ波等を含む）、Hologram Device (3D, ホログラム), SMV Device (Multi View, Real time interaction), Platform（リアルタイムメディア処理）、Contents の 5 コンソーシアムで活動を進めている。この会合には日本からは ARIB が招かれ、5G 関連活動の協力に関する MoU を締結している。

2013 年 12 月 9～13 日に米国・アトランタで開催された Globecom では 5G 関連のセッション (“Mobile Communication Beyond 2020: What is 5G?” “Next Generation 4G/5G Cellular Networking”) が複数あ

り、活発な意見交換がなされている。また初日の12月9日には終日を割いて併催されたIEEE 5th International Workshop on Heterogeneous and Small Cell Networks [11]では、関連する最新技術について発表がなされ、パネル討論は活況を呈していた。

2013年12月17日には、EC (European Commission) が、「5G PPP (the 5G Public-Private Partnership)」を開始したとアナウンスしている [12]。そのターゲットの主要指標は以下のとおりである：

- (1) 70億人+7兆個のデバイスを接続
- (2) 1,000倍の無線容量
- (3) 消費エネルギーを90%削減
- (4) 体感的にはゼロダウンタイムの信頼性

そして、700M€ (ただし、50%-50%のプライベートセクターとのマッチング) に及ぶ巨額なR&Dファンドを投入するとしている。

5. オペレータ視点での考察

5.1 システムに求められる要件

コンシューマ主体の利用シーンがよりミッションクリティカルなビジネスに拡大する傾向がますます進展する。更に、将来導入されるであろう、M2MやIoTを含めた多種多様なサービスでは、システムに求められる要件はコストを含めて、重視するファクタも多種多様となることが想定される。そこで、著者の所属機関では、“Flexible Cuboid”という表現で、図3に示すように、スループット (伝送容量)、遅延時間、信頼性 (低誤り率) を軸とした空間に直方体を描き、これをサービス要求に応じて柔軟に設定・制御できるという点を将来システムの要件と主張している [13]。ここで詳細なパラメータは三つよりも多いが例示として容易な3軸で代表していることに注意が必要である。性能としては直方体が大きいに越したことはないが、それは環境へのインパクトやお客様から見た料金も含めた意味でのコストに跳ね返ることとなる。そこで、図3では三つの指標のバランスを取ったもの (実線) のほかに、スループット重視のもの (破線)、低遅延及び信頼性重視のもの (破線) を例示している。ここで重要な点は、サービス要求に応じて、オペレータが意図通りにQoSを設定でき、かつそのQoSを制御・保証できる、という自由にある。

多種多様なサービス要求に応じて、多種多様なシステム要件を、多種多様な無線方式をハイブリッドに活用し、かつネットワーク仮想化を活用しながら、サー

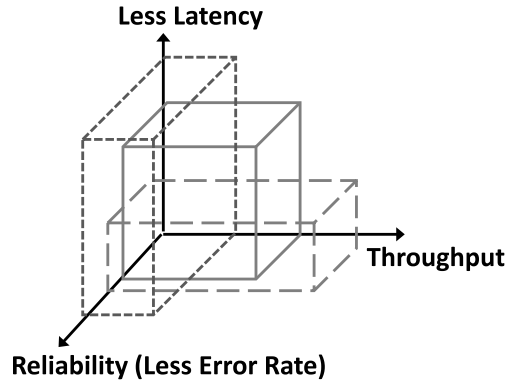


図3 “Flexible Cuboid” (柔軟な立方体で表現されるサービス品質変容型無線システム)

Fig.3 Flexible Cuboid, changing its size and form according to the services.

ビスレイヤへのインタフェースは統一化する、そのような世界を目指すこととなる。

5.2 無線エリアの構築と管理

無線エリアの構築は、空間的な電磁界分布を「設計書通り」に合成 (Synthesis) することである。基本パラメータは、送信点 (基地局アンテナ) 位置、送信出力、アンテナ指向性に代表される。アンテナ指向性もアダプティブアレーアンテナを用いれば、理論上は自由に制御 (ビームフォーミング) できる [14]。その結果得られた無線エリアが「設計書通り」にできているためには、電波伝搬特性が精緻に分かっていると効率が良い。しかし伝搬環境は時々刻々と変化する (建造物の新築、車や人の動き、等々) から、設計書自体も常に見直しが必要と迫られる。しかも、前述の“Flexible Cuboid”があり、設計書の入力条件もダイナミックに変動する。このような世界では、事前 (Proactive) に大まかなエリア設計を行った上で、クローズドループを有する制御・管理系でリアルタイムに適応するのが有効と考えられる。きちんと無線エリアができているかのセンシングは、実際に利用されている通信の良否結果を用いることができる。つまり、センシングのために、新たなセンサーを導入する必要は必ずしもない。ただし、従来にないトラヒックの時間的・空間的挙動を分析する必要がある場合には、アプリケーションの挙動とトラヒック変動との関連性を把握するために、DPI (Deep Packet Inspection) といったモニタリング技術との併用が有効である。なお、前記アダプティブアレーアンテナ及び電波伝搬に関する技術課題や研究開発動向については、それぞれ文献 [14] 及び [15] な

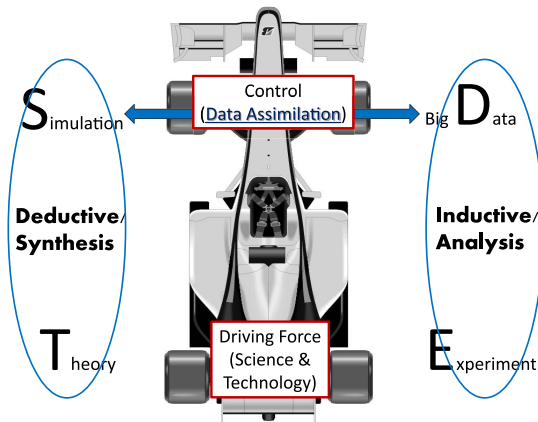


図4 データ同化
Fig.4 Data assimilation.

どにまとめられている。

図4は、リアルタイム最適化を可能とする運用システムを四輪車にたとえた模式図である。システムを支える駆動力は科学技術であり、T（理論）とE（実験）とが左右の後輪でこれを伝えている。一方、左側のT（理論）に沿っては演進的・合成系のS（シミュレーション）が、そして、右側のE（実験）に沿っては帰納的・分析系のD（データ）が、それぞれ前輪を担い、全体で四輪を構成している。ポイントは、前輪を橋渡ししているデータ同化（Data Assimilation）であり、これにより制御の自由度が確保される。誤解を恐れずに端的に言うならば、データ同化は、データを主体とし、モデルをデータに合わせるという発想である。利用できるデータは、通信品質やより上位のレイヤであるアプリケーション品質を含む各種のログが基本となる。これにその端末のユーザの情報（例えば属性や嗜好）が加わるならば更にメリットが広がる。例えば、新たなサービスが急速に立ち上がったときに、アーリーアダプタの振る舞いから、将来の需要をより高精度で予測できる。更には、システム外の情報として、SNSを含むさまざまな評判やニュースも利用すれば、通常のオペレーションでは経験できていない状況、すなわち、大規模災害時などには威力を発揮するであろうし、また、表層的レベルでは感知できない潜在的な需要などが把握できるであろう。

6. む す び

周波数有効利用の必要性から、高い周波数帯の利用が加速され、またセルのサイズは小さくなりかつ三次

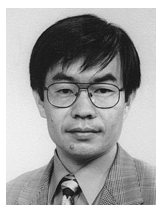
元化（建物内）している。それにつれ基地局アンテナは必然的に分散配置化に進む。複数の周波数帯・無線方式が、それぞれの特徴を生かした上で、互いに補完的にオーバレイし、全体として重層化されたユビキタスな無線エリアを提供する。大樹の下で低木や灌木、草本更にはコケ類までが互いに助け合っているエコシステムを想像させる。更にトラフィック需要は、サービス要求の粒度において、時間的にも空間的にも変動する。深い森の中のさまざまな動物たちが植物連鎖に影響を与えているようなものである。経済性を考慮して、適切な種類の資源を適切な分量だけ利用（オンオフ含む）し、エコシステムの中で生き延びる。自然界に目を向けると、無線システムの将来像がより具体的にイメージされるのではないだろうか。

謝辞 海外における標準化関連動向の把握にご協力頂いた、KDDI（株）小西聡氏ならびに鶴沢宗文氏に感謝いたします。

文 献

- [1] “スマートフォン増加に対する電気通信設備の対策（案）,” 情報通信審議会情報通信技術分科会 IP ネットワーク設備委員会安全・信頼性検討作業班（第23回）, 資料安作 23-4, July 2013. http://www.soumu.go.jp/main_content/000169670.pdf
- [2] 羽鳥光俊, “移动通信の変遷と展望,” 小特集次世代の移动通信, 信学誌, vol.82, no.2, pp.102-107, Feb. 1999.
- [3] 石川禎典, 吉井 勇, 森脇鉄朗, 新 博行, 鬼頭英二, “IMT-Advanced の無線技術の最小要求条件,” 小特集ITU-R における IMT-Advanced 標準化動向, 信学誌, vol.92, no.7, pp.552-558, July 2009.
- [4] 星野正幸, 西尾昭彦, 今村大地, “LTE-Advanced 主要無線インタフェース技術,” 小特集LTE/LTE-Advanced を支える移动通信技術, 信学誌, vol.96, no.3, pp.175-181, March 2013.
- [5] S. Nanba and A. Agata, “A new IQ data compression scheme for front-haul link in centralized RAN,” Proc. 6th International WDN Workshop on Cooperative and Heterogeneous Cellular Networks (WDN-CN2013), Sept. 2013.
- [6] 松本知子, 畑川養幸, 小西 聡, “小パケット通信におけるIDMAの性能評価,” 信学技報, RCS2011-342, March 2012.
- [7] H. Ishii, Y. Kishiyama, and H. Takahashi, “A novel architecture for LTE-B: C-plane/U-plane split and phantom cell concept,” Globecom 2012 Int'l Workshop on Emerging Technologies for LTE-Advanced and Beyond-4G, Dec. 2012.
- [8] ETSI, Future Mobile Summit, France, Nov. 2013. <http://www.etsi.org/news-events/events/682-2013-etsi-future-mobile-summit>
- [9] ARIB News, No.912, Dec. 2013. <http://www.arib.or>

- jp/osirase/news/news.pdf
- [10] Kim Si-so, “The CJK triangle-formation leads the 1,000 times faster 5G...,” Korea IT News, 2013/12/03. http://english.etnews.com/communication/2878780_1300.html
 - [11] IEEE 5th Int. Workshop on Heterogeneous and Small Cell Networks (HetSNets), conjunction with IEEE Globecom, Dec. 2013, Atlanta, USA. <https://sites.google.com/site/hetsnets2013/home>
 - [12] Steve Costello, “EC kicks off 5G effort,” Mobile World Live, 17th Dec. 2013. <http://www.mobileworldlive.com/ec-kicks-5g-effort>
 - [13] KDDI Corporation, “Expectations to B4G,” 2020 and Beyond AdHoc 第 2 回会合, ARIB 高度無線通信研究委員会, No.20BAH-2-2-14, Nov. 2013.
 - [14] 中島信生, “アダプティブアレーアンテナの移動通信への応用,” 信学論 (B), vol.J84-B, no.4, pp.666–679, April 2001.
 - [15] 今井哲朗, トランゴクハオ, 斎藤健太郎, 北尾光司郎, 奥村幸彦, “将来無線アクセス・モバイル光ネットワークにおける電波伝搬技術,” 信学技報, AP2013-174, Feb. 2014.
(平成 26 年 1 月 8 日受付, 4 月 23 日再受付)



野本 真一 (正員：フェロー)

1980 早大・理工・電子通信卒。1982 早大大学院理工学研究科了。同年国際電信電話(株)(現, KDDI(株))入社。以来, 無線通信用アンテナ並びに無線通信システムに関する研究開発に従事。現在, KDDI 研究所取締役。博士(工学)。昭 63 年度篠原記念学術奨励賞(本会), 1988 ビエロ・ファンティ国際賞(INTELSAT), 平 3 第 2 回電波功績賞(RCR, 現 ARIB), 平成 15 年度第 60 回論文賞(2 編)及び第 10 回猪瀬賞(本会), 平成 22 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門), 平成 24 年度第 58 回前島密賞(通信文化協会)受賞。著書「低軌道衛星通信システム」(本会, 共著), 「モバイル・グローバル通信」(コロナ社, 共著), 「ワイヤレス基礎理論」(本会)。IEEE シニア会員。