

## (2) 4G 移動通信網用 All-IP ネットワークアーキテクチャ

USA 研究所では次世代 (4G) 移動通信網アーキテクチャの研究に取り組んでいる。4G 移動通信網用アーキテクチャに関する理論的根拠と概要、さらに USA 研究所における最近の研究成果と研究動向も併せて紹介する。

ラビ ジェイン      ム ハ マ ド ム カ ラ ム ビン タリク  
Ravi Jain      Muhammad Mukarram Bin Tariq  
ジェームズ ケンブ      かわはら としろう  
James Kempf      河原 敏朗

### 1. まえがき

ドコモは、第3世代 (3G) の移動通信サービスである FOMA (Freedom Of Mobile multimedia Access) を展開する最初の通信事業者となり、移動通信における世界的なリーダーシップを発揮している。FOMA は、高速マルチメディアやインターネットアクセスといった多種多様なサービスをいつでも、どこでも、シームレスに利用できることを強くアピールしてきている。

第4世代 (4G) サービスへの移行とは、基本的に、エアインタフェースやプロトコルによってなされるのではなく、ユーザに提供される画期的なサービスやアプリケーションによってなされるものとする。こうした方向付けから将来方式への設計上の選択肢が導かれる。

本稿では、アーキテクチャの詳細とその根拠についての簡単な要約とともに、USA 研究所が進めている 4G システムの実現に向けたいくつかのキーとなる技術の研究、特にプロトコル、セキュリティ、暗号化、プログラマビリティ、付加価値サービスサポートの分野の研究動向について概説する。最後に、将来の研究の方向について述べる。

### 2. 理論的根拠と重要な機能

4G システムの方向付けから、いくつかの設計上の選択肢が導かれる。第1に、4G アーキテクチャは、システムのあらゆる部分の基本構成として IP (Internet Protocol) のサポートをベースとする。具体的には、All-IP (All Internet Protocol) ネットワークであり、特に IPv6 (IP version6) をベースにしたものとする。IP の魅力は生得的な技術優位性またはコスト削減に基づくものではなく、人材、ツール、開発サポートが広範囲かつ大量に得られ、インターネットアプリケーションに対する通信網のサポートが不十分な状態でもエンド・ツー・エンドでアプリケーションを構築で

きる点にある。第2に、4G アーキテクチャは階層化 API (Application Programming Interface) によって定義され、それらは公開されるものも非公開のものもあるが、どれも安全かつ実用的で、料金請求可能な方法によりアプリケーションがネットワークリソースへ容易にアクセスできるように設計される。第3に、IP ベースネットワークと公衆交換網双方に見られる、インテリジェンスのコアからシステム端への移行という流れである。これにより、高機能端末、高機能無線アクセス網、ダムな (高度な独立機能を持たない) コア網、高機能な制御とオーバレイネットワーク、という構成が必要となる。

4G が画期的なアプリケーションの可用性によって定義付けられるとすれば、そうしたアプリケーションはどこから来るのか、という疑問が持ち上がる。1つの企業が単独で「キラーアプリケーション」の流れを開発できるとは考えにくい。したがって、4G 網はある意味でプログラム可能な IP ベースのネットワークでなければならない [1]。

このためには、IP ウエストの考え方 [2] に加え、第2のウエストの考え方 [1] を導入する必要があると考える。このウエストは、アプリケーションと 4G システムのミドルウェアの間に位置し、アプリケーションと IP ウエストの間にある多様なプロトコルスタックやソフトウェア層を潜在化するものである。第2のウエストは、高度なサービスが依存するであろう、AAA (Authentication, Authorization and Accounting) やサービス品質 (QoS: Quality of Service)、位置情報などの基本サポートサービスを、高レベルで抽象化して提供しなければならない。WSDL (Web Service Definition Language) や SOAP (Simple Object Access Protocol)、UDDI (the Universal Description, Discovery, and Integration) (またはそれらの改良版や後継バージョン) などの Web サービスに対する取組みはこの方向へ向かっている。

図1は、4G に要求される一連の階層化された API を示している。実際、これらの API は、アプリケーション志向アーキテクチャの抽象仕様と見なすことができる。API の各レイヤへのアクセスは、安全かつ料金請求が可能な方法でリソースが利用できるように厳格に制御される。

API によって、ネットワークリソースへのアクセス方法を明確に定義付けることができるが、次に考慮すべきことは、ネットワーク内のどこにリソースを配置するのが合理的かという問題である。通信網において、コアの情報集中度が低下してきている一方で、端末や無線アクセス網 (RAN: Radio Access Network)、制御層および高機能オーバレイネットワークでは、その逆の現象が起きていることも考慮しなければならない。4G アーキテクチャでも、こう

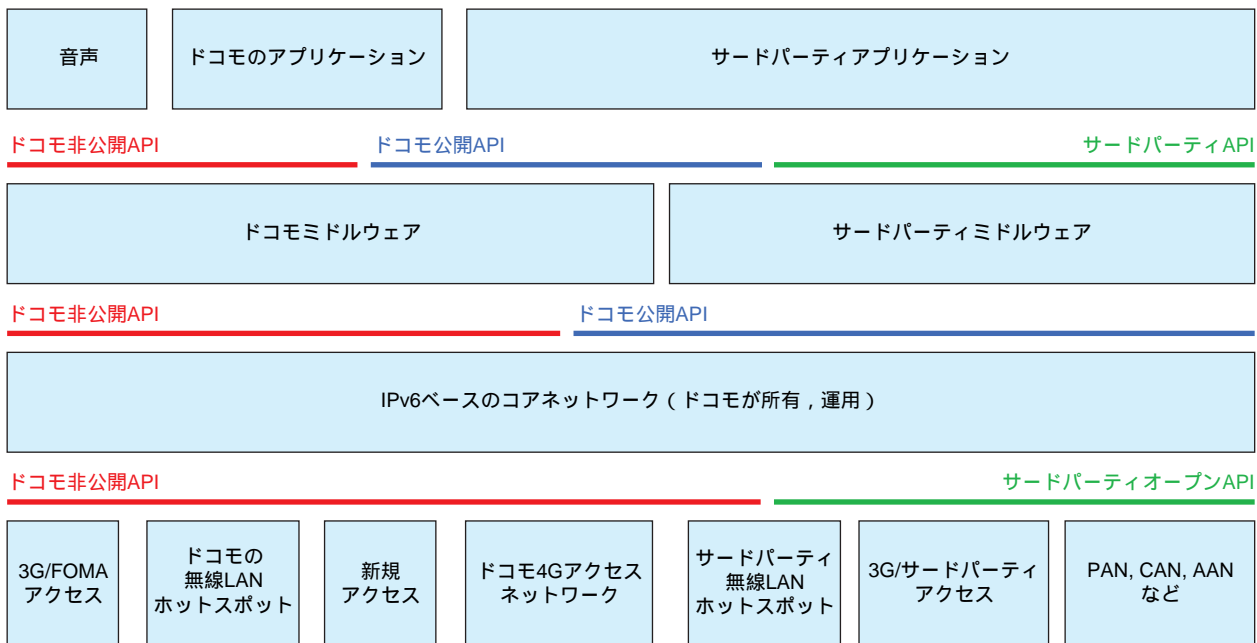


図1 階層型APIによる4Gアーキテクチャ

した趨勢に歩調を合わせる必要がある。アーキテクチャにおける情報とリソースの配分は、高機能端末や高機能RAN、ダムコア、高機能制御層および高機能オーバレイとしてまとめることができる。

### 3. アーキテクチャ概要

2章で説明した設計の理論的根拠から、必然的に図2のような4Gアーキテクチャが構築される。このアーキテクチャは、オーバレイ、高レベル制御、IPコアネットワーク、アクセスという4つの抽象レイヤで構成されている。

IPコアネットワークのインテリジェンスは比較的少ない。したがって、ルーティングなどのコアネットワーク機能の大半は、既存および新たなインターネットプロトコルで対応できる。高レベル制御層は、アプリケーションやオーバレイネットワークに提供される機能、例えば、AAAやポリシー管理などの機能に重点が置かれている。コアの下には、多様なマーケットのセグメントやニーズに対応するアクセス網が集まっている。

最後に、オーバレイ層はアプリケーションに対して、ALM (Application Layer Multicast)、位置情報サービス、コンテンツ配信などの上層機能およびサポートサービスを提供する。このオーバレイは、比較的コアに近い機能 (ALMなど) を持つ下層と位置情報サービスなどの機能を持つ上層に分けられる。

図3では、4Gアーキテクチャの機能面を、より詳細に示している。前述した4つの水平方向の抽象層はさらに細分

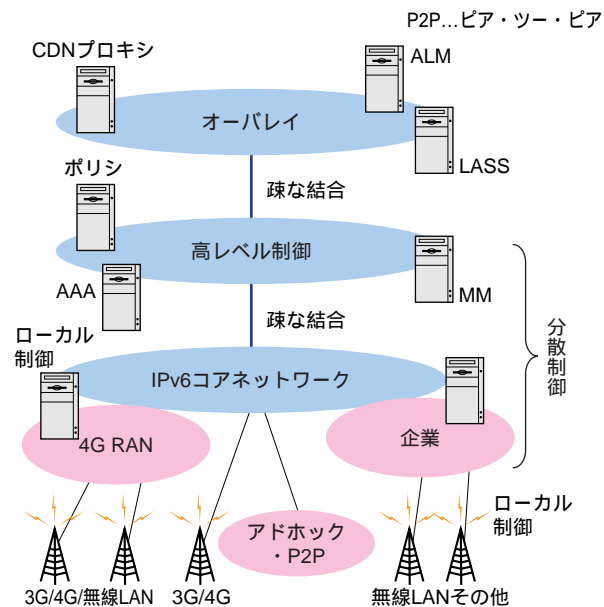


図2 4Gアーキテクチャ概要

化されて、それぞれにいくつかの機能が割り当てられている。こうした機能は「ファセット (facet)」と呼ばれる縦方向の集まりに分類され、それぞれがすべてのまたはいくつかの層 (セキュリティ、トランスポートなど) にまたがる重要機能をもっている。平行する面で、OA&M (Operations, Administration and Management) とユーザー端末を表現していることに注意されたい。双方とも、似たようなレイヤとファセット配置を持つ。

下層 (L(Layer)1, L2, L2.5) のアクセスネットワークは、

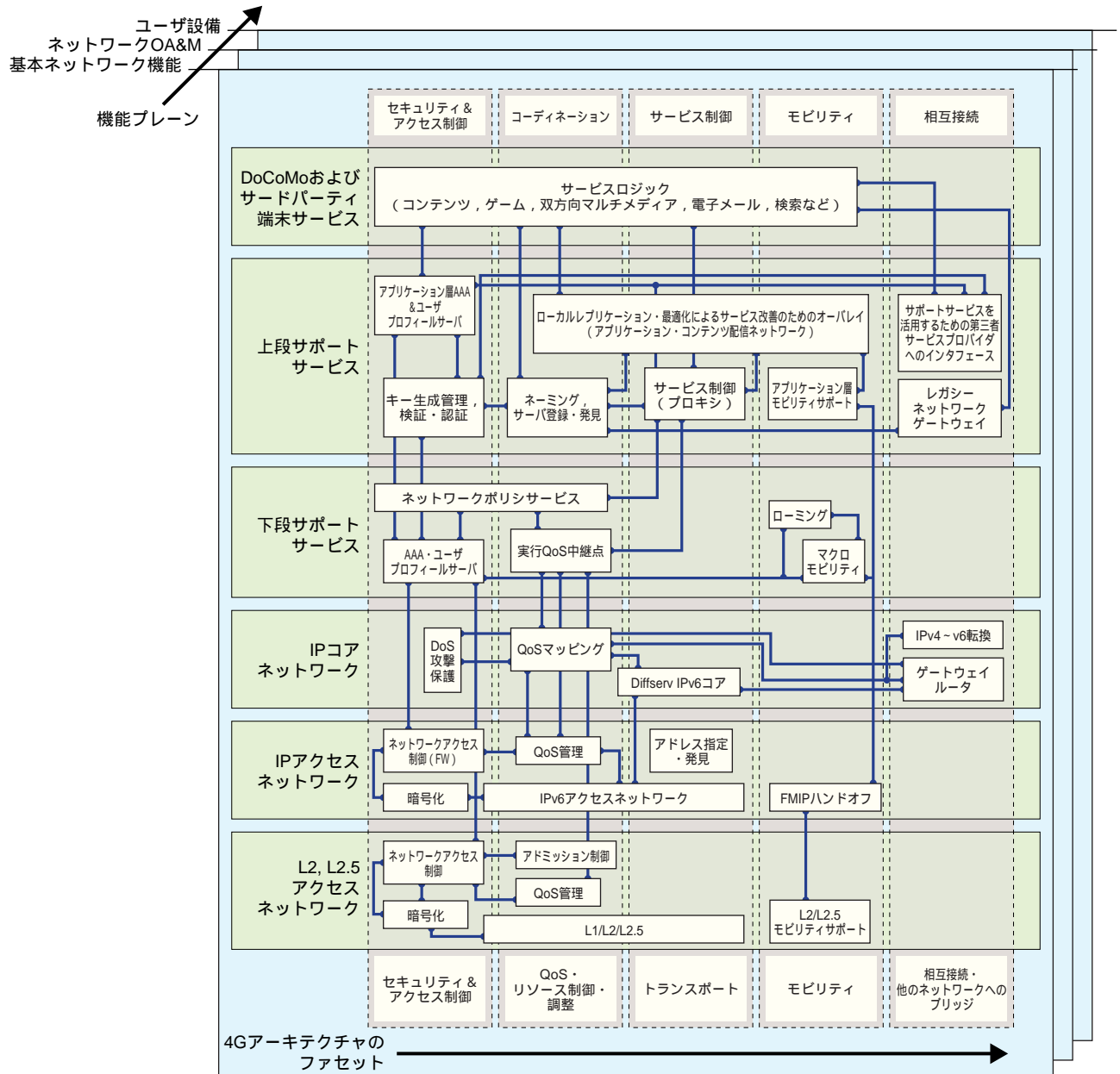


図3 All-IP4Gアーキテクチャのレイヤおよびファセット

物理レベルおよびMAC (Medium Access Control) レベルの接続機能，アクセス制御，ローカルモビリティ，QoSを考慮した交換機能を提供する．この層の上にIPベースのアクセス網が位置し，IP接続機能，アクセス制御，総合QoS管理，アドレス割付，高速MIP (FMIP: Fast Mobile Internet Protocol) を用いたサブネット間ハンドオーバー機能を提供する．コアネットワーク層は純然たるIPコアで構成される．オーバーレイ層は，サポートサービスを提供する2つの層に分かれている．下層のサポートサービスは，主としてネットワークのトランスポート機能に関連し，上層は端末サービスに諸機能を提供する．

## 4. 4Gに向けた個別研究項目

USA 研究所では，4Gアーキテクチャ実現に向けた，重要な機能に関する新しいプロトコルやアルゴリズムの開発に重点を置いた研究を行っている．本章では，アーキテクチャ設計の意思決定に影響をおよぼすピックを取り上げながら，USA 研究所が開発した技術ソリューションのいくつかを紹介する．

### 4.1 4Gにおけるモビリティ管理 (FMIP)

モバイルネットワークの設計においては，モビリティ管理が中心課題である，USA 研究所もこの問題については細

心の注意を払ってきた。図3では、アーキテクチャのいくつかのレイヤにモビリティが盛り込まれている。IP層では、モビリティ管理の基本機能がIPv6のモバイルIPプロトコルに組み込まれているが、より良いパフォーマンスとローカル制御を実現するために拡張が必要になる。

FMIPは、IPアクセス網のIP層でストリーミングハンドオフを使用する。FMIPのハンドオフは、アクセスネットワーク内にハンドオーバーシグナリングを制限しているため、グローバルな調整を必要としない。これは前述したように、アーキテクチャ全体におけるアクセスネットワーク用分散ローカル制御の目標に沿うものである。

FMIPv6は次の2つの部分で構成されている。

ハンドオーバー前は、周辺サブネットおよびアクセスルータを発見するために、プロキシへのルータ要求とプロキシルータ通知を交換する。

ハンドオーバー後は、トンネリングを開始するために、モバイルノードから旧アクセスルートに高速バインディングアップデートメッセージを送信する。

FMIPプロトコルはIETF (Internet Engineering Task Force) での標準化完了間近であり、詳細は文献[3]を参照されたい。ここで注目されるのは、FMIPでは集中制御をまったく持たずに、高速ハンドオーバーが実現される点である。

## 4.2 セキュリティと暗号方式

セキュリティ分野におけるUSA研究所の研究は、多様な環境において数多くのクライアントにセキュリティサービスを提供できるような暗号化アルゴリズムに力点が置かれている。その成果として、公開鍵暗号基盤 (PKI: Public Key Infrastructure) の管理を単純化する3つの技術、すなわち階層型IDベースの暗号化、認証不要の公開鍵暗号方式、および集約署名が挙げられる。USA研究所はまた、コンテンツ配信の際のセキュリティ確保として、マイクロレジットの概念を応用した高効率マイクロペイメント方式、中間プロキシがエンド・ツー・エンドのセキュリティを害することなくストリームを動的に変換できるストリーム認証方式を開発した。その詳細は、本特集号の「(5)暗号・セキュリティ技術」に掲載されている。また、アクセスネットワーク認証 (特にPANA (Protocol for carrying Authentication for Network Access)[4]) やモバイルファイアウォール、アドホックネットワーク用AAAおよびその他のAAAおよびセキュリティメカニズムに関する研究も続いている[5][6]。

## 4.3 プログラム能力 (Programmability)

プログラム能力に関するUSA研究所の研究は2つのポイントに集約される。オーバーレイ層が提供する機能のプログラム能力と制御層が提供する機能のプログラム能力である。

オーバーレイ層の重要な機能として、USA研究所はモバイルネットワークのニーズに即応するコンテンツ配信ネットワーク (CDN: Content Distribution Network) 機能の研究を行っているが[7]、コンテンツプロバイダや高度アプリケーションの開発者にはプログラムの余地が極めて少ないことが分かった。そこで4Gオーバーレイネットワークがコンテンツプロバイダにとって、より魅力的になるよう、CDN機能に関するAPI定義にも取り組んでいる。

制御層のプログラム能力については、モバイルIPプロトコルへのAPI定義に取り組んでいる[8]。このAPIにより、モバイルノードで実行されるアプリケーションがホストモビリティについて学習でき、またアプリケーションがモビリティ管理の特定パラメータを制御できる。

## 4.4 付加価値サービスのサポート

付加価値サービスのネットワークサポートに関する研究では、位置の推定や予測、プライバシーに照準を合わせ、ユーザの位置情報の利用と管理に重点を置いている。

位置の推定に関しては、従来の無線信号による位置推定の研究ではなく、さらに上層の問題、特に多数の位置情報源 (例えば、無線LAN (Local Area Network) とFOMAなど) から得られた情報を統合して、いかに正確な推定値を得るかという問題に取り組んでいる。USA研究所は、新しいアルゴリズムの開発と実験的評価を行い、商用化されているシステム[9]より精度が向上できることを確認した。

位置予測に関しては、ユーザが次に向かうセルの予測的を絞ってきた。ダートマス大学との共同研究では、キャンパス内の無線LAN設備を用いて古典的予測アルゴリズムに関する最初の大々的な評価実験を行った結果、長期の追跡調査が可能なユーザクラスに対して約72%の平均予測精度を達成できることが分かった[10]。

IPv6ネットワークにおけるプライバシーの問題については、IPアドレスによってユーザのおおまかな地理的位置がIPサブネットから推定できるという問題を、暗号的手法で生成したIPアドレスを用いて解決する技術を開発した。これを利用すると、トンネリングや次善のルーティングに伴うオーバーヘッドを誘発することなく、ユーザの位置を隠すことができる。この技術をプロトタイプルータに実装し、処理に伴うオーバーヘッドが非常に小さいこと、パケットサイズのオーバーヘッドが皆無であることを確認した[11]。

## 5. あとがき

USA 研究所では、4G に向けた All-IP 網アーキテクチャを実現するための研究を行っている。USA 研究所は、商業的に成功するサービスを展開するには All-IP アーキテクチャが最善の選択肢だと考え、それを実現する鍵となるモビリティ管理、セキュリティ、暗号化、ネットワークのプログラム能力、付加価値サービスへのサポートに関する研究を行っている。詳細については、本特集号の他の論文を参照していただきたい。

今後の研究においては、高度モビリティ管理、総合 AAA システム、暗号化技術といった重要分野の技術を開発するとともに、ドコモの新たなビジネスモデルと役割（例えば信頼できる仲介者としてのステータス）の実現、新興マーケットのサービスエリア内での新たなビジネス機会の掌握、さらに 3G から 4G への展開戦略などに取り組んでいきたい。

### 文 献

- [1] R. Jain: "4G Services, Architectures and Networks; Speculation and Challenges," Keynote address, International Conf. on Mobile Data Management (MDM), Jan. 2003.
- [2] S. Deering: "Watching the Waist of the Protocol Hourglass," IAB Meeting, 51st IETF, London, UK, Aug. 2001.
- [3] R. Koodli: "Fast Handovers for Mobile IPv6," draft-ietf-mobileip-fast-mipv6-07.txt, Internet Draft, work in progress, 2003.
- [4] D. Forsberg, et al: "Protocol for Carrying Authentication for Network Access (PANA)," IETF Internet Draft. Work in progress. Jun. 2003.
- [5] J. Kempf, P. C. Hwang and S. Okazaki: "CertBU: Certificate-based Techniques for Securing Mobile IPv6 Binding Updates," Proceedings Internetworking 2003, San Jose, CA., Jun. 2003.
- [6] J. Arkko, J. Kempf, et al: "Secure Neighbor Discovery (SEND)," IETF Internet Draft. Work in progress. Jun. 2003.

- [7] M. Tariq, R. Jain and T. Kawahara: "Mobility aware server selection for streaming multimedia content distribution networks," Proc. International Web Caching Workshop (IWCW), Sep. 2003.
- [8] A. Yokote, A. Yegin, M. Tariq, G. Fu, C. Williams and A. Takeshita: "Mobile IP API" Pro. IEEE Mobile and Wireless Communications Networks (MWCN), Sep. 2002.
- [9] Y. Gwon, T. Kawahara and R. Jain: "Robust Indoor Location Estimation and Tracking of Stationary and Mobile Users," submitted for publication, Jul. 2003.
- [10] L. Song, D. Kotz, R. Jain and X. He: "Evaluating Location Predictors with Extensive Wi-Fi Mobility Data," Poster presentation, Proc. ACM MobiCom, Sep. 2003.
- [11] J. Trostle, H. Matsuoka, M. Tariq, J. Kempf, R. Jain and T. Kawahara: "Cryptographically Protected Prefixes for Location Privacy in IPv6 networks," submitted for publication. Sep. 2003.

### 用 語 一 覧

AAA : Authentication, Authorization and Accounting
AAN : Automobile Area Network
All-IP : All Internet Protocol
ALM : Application Layer Multicast
API : Application Programming Interface
CAN : Campus Area Network
CDN : Content Distribution Network (コンテンツ配信ネットワーク)
FMIP : First Mobile Internet Protocol (高速 MIP)
FOMA : Freedom Of Mobile multimedia Access
IETF : Internet Engineering Task Force
IP : Internet Protocol
IPv6 : IP version6
LAN : Local Area Network
LASS : Location-Aware Service Server
MAC : Medium Access Control
MM : Mobility Management (移動管理機能)
OA&M : Operations, Administration and Management
PAN : Personal Area Network
PANA : Protocol for carrying Authentication for Network Access
PKI : Public Key Infrastructure (公開鍵暗号基盤)
P2P : Peer to Peer (ピア・ツー・ピア)
QoS : Quality of Service (サービス品質)
RAN : Radio Access Network (無線アクセス網)
SOAP : Simple Object Access Protocol
UDDI : the Universal Description, Discovery, and Integration
WSDL : Web Service Definition Language