

サービスのマルチメディア化、モバイル化、ユビキタス化に
適応するネットワーク構成法の研究

**Networking Architecture Studies for Broadband
Multimedia, Mobile Multimedia and Ubiquitous
Service Offerings**

2005年7月

今井和雄

サービスのマルチメディア化、モバイル化、ユビキタス化に 適応するネットワーク構成法の研究

目次

第1章 序論	
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の位置づけと概要	3
第2章 マルチメディアサービスを指向したアクセス系ネットワーク構成技術 ATM リング方式の研究	
2.1 はじめに	9
2.2 媒体共用型(シェアド・メディア)ネットワーキング研究の背景	9
2.3 リングネットワーク方式の特徴と研究課題	10
2.3.1 LAN/MAN 適用への要求条件	10
2.3.2 リングネットワーク方式	11
2.3.3 ATM リング方式(ATMR)の狙いと特長	13
2.4 ATMR 制御原理	
2.4.1 ATMR 制御とその特徴	15
2.4.2 ATMR プロトコル方式	15
(1) 分散アクセス公平性制御	17
(2) ATMR における効率的なリセットセル生成	18
(3) ATMR における QoS 保証	20
(4) マルチサービス環境下での優先制御方式	23
(5) 優先制御方式比較	28
2.5 ATMR の性能評価	
(1) 評価モデル	28
(2) 方式比較例	29
(3) ネットワーク規模拡張性	30
(4) 優先制御方式の評価	30
2.6 ATMR システム構成	
(1) ノードアーキテクチャ	32
(2) リングアクセス制御機構	34
2.7 ATMR 研究のまとめ	37

第3章 モバイルマルチメディアサービスに適應する All-IP ネットワーク構成法

3.1	はじめに	37
3.2	次世代モバイルネットワーク構築への要求条件と構築ストラテジ	38
3.2.1	要求条件とは	38
3.2.2	ビジネス要求条件とターゲットネットワークモデル	40
3.2.3	ターゲットネットワークモデルへの技術的要求条件と開発アプローチ	46
3.3	次世代モバイルネットワークの構成法	48
3.3.1	ネットワークデザイン方針	48
(1)	ネットワーク構成法の思想：キャリア型からインターネット型へ	48
(2)	モバイルネットワークの特徴と課題	50
(3)	モバイルネットワークのアーキテクチャ設計方針	51
(4)	インターネットデザイン思想とそのモバイルネットワークへの適用性	53
(5)	デザイン思想のコンフリクトとあらたなデザイン方針の提案	55
3.3.2	次世代モバイルネットワークアーキテクチャ	58
(1)	要求条件	58
(2)	All-IP モバイルネットワークアーキテクチャ	60
3.3.3	次世代ネットワークにおける移動管理方式の提案	62
(1)	無線リソース管理機能と移動管理機能の配備法と制御メッセージの転送法	62
(2)	新たなモビリティ制御方式：ホストアドレスとルーティングアドレスの分離とネットワーク・インテリジェンス制御方式	64
(3)	ロケーション管理機能の導入：端末休止状態の導入およびルーティング管理と位置管理の連携	66
3.3.4	制御系と転送系の分離アーキテクチャの実現法	69
3.4	ネットワークエッジモビリティ(NEM)制御方式の評価	70
3.4.1	NEM 制御方式の基本動作と課題点	71
3.4.2	NEM 制御方式の評価	75
3.4.2.1	NEM 制御方式プロトコル処理ボトルネック評価	76
(1)	基本モビリティ管理方式の実行可能性評価	76
(2)	Mobile IPv6 (MIPv6) との基本性能比較	79
3.4.2.2	アクセスルータ (AR) におけるハード実装ボトルネック評価	80
(1)	送信用ルーティングキャッシュテーブル管理法	80
(2)	テーブル量評価のためのシミュレーションモデル	82
(3)	シミュレーション結果	83
3.4.3	NEM 制御方式評価のまとめ	85
3.5	今後の展開へ向けて	85

第4章 ユビキタスサービスに適応する新世代ネットワーク構成法

4.1	はじめに	88
4.2	ネットワーク研究の新ビジョン	88
4.3	ユビキタスネットワークによる新たな能力の創出	92
4.3.1	サービスとネットワーク概念の拡張	92
(1)	サービス能力の拡大	92
(2)	ネットワーク能力の拡大	93
4.3.2	ユビキタスサービスの考え方	93
(1)	通信キャリアが提供するユビキタスサービスの概念	94
(2)	ユビキタスサービスを特徴づける機能概念	94
4.3.3	ユビキタスサービスを支える技術エリア	98
4.4	ユビキタス時代へ向けたモバイルネットワークの発展	99
4.4.1	モバイルサービスとネットワークの発展方向	99
4.4.2	新たなモバイルネットワークの構成	101
(1)	モバイルユビキタスネットワークの考え方	101
(2)	4G(セルラー)モバイルネットワーク	101
(3)	モバイルユビキタス・ネットワーク構成法	102
4.4.3	モバイルユビキタスの有効性評価	107
(1)	固定ネットワークをベースとしたユビキタス化	107
(2)	モバイルユビキタスと固定系ユビキタスの基本能力比較	107
(3)	ケーススタディ	108
4.5	モバイルユビキタス・ネットワークアーキテクチャと技術課題	110
4.5.1	ネットワークアーキテクチャ	110
4.5.2	ネットワーク伝達系技術課題	112
(1)	ユビキタス・トランスポート技術	112
(2)	ネットワーク制御技術	114
4.5.3	モバイルユビキタス・サービス提供のアーキテクチャと技術課題	116
(1)	サービス提供支援アーキテクチャ	116
(2)	実空間情報取得	117
(3)	コンテキスト解釈機能と物理世界モデル化	118
(4)	サービスの決定と提供	118
4.6	ユビキタスサービス発展へのステップと具体課題	119
4.6.1	サービスから見たモバイルユビキタスネットワークの課題	119
4.6.2	ユビキタスサービス適用ケーススタディ	123
(1)	ヘルスケアサービス・ニーズ	123

(2) ユビキタス・ヘルスケアサービスの現状と仕組み	124
(3) ヘルスケアサービス発展への課題	125
(4) サービスとネットワーク発展のイメージ	127
4.7 まとめ	128
4.7.1 ユビキタス化へのビジネスからの期待と課題	128
4.7.2 ユビキタス化へのキャリアの役割	130
第5章 結論	132
謝辞	135
参考文献	136
研究業績一覧	140

第1章 序論

1. 1 研究の背景

従来、音声電話サービスだけを提供していた電気通信ネットワークは、技術の発展と時代の要請によりマルチメディア化が求められ、ついでモバイルネットワークにおいてもマルチメディア化が重要となり、さらに今後ユビキタスへの発展が求められている。本論文は、この背景のもと、サービスのマルチメディア化、モバイル化、ユビキタス化という視点から、それらに適応できる広帯域アクセスネットワーク、モバイルネットワークおよびその発展としてのユビキタスネットワークについて、構成法とその制御技術を中心に研究内容とその成果を論じるものである。以下、その研究の背景について述べる。

音声による電話サービスを一世紀にわたって提供してきた電気通信ネットワークは、電話サービスに最適化するように進化してきた。その基本は人対人の通信であり、人の声を送るのに最適な帯域で、人が操作するのに適した方法で接続できるネットワークが構築されてきた。1970年代以降、コンピュータ利用の発展とともに、電話サービス以外にデータ通信の需要が高まり、データ通信専用のデジタルデータネットワークの提供も始まった。更に、これら電話サービスと非電話サービスを統合して提供することを狙いとして **ISDN (Integrated Services Digital Network : サービス総合デジタル網)** の開発が世界各国で行なわれた。しかしながら、1980年代後半から、ビジネス分野におけるコンピュータ利用が拡大し、またパーソナル・コンピュータ (PC) が普及し始めたことにより、大容量のデータや画像を含めた情報メディアをコンピュータ間でやり取りする需要が拡大し、**64kbps** 回線を基本として構築された (狭帯域) **ISDN** では、容量的にも、伝達効率の点でも限界があることがわかった。そのため速度設定や伝達方法に柔軟性があり、広帯域のマルチメディア情報を高品質で送れる新たな通信ネットワークが求められるようになった。これが 1980年代後半から 90年代初期にかけて盛んに研究された広帯域 **ISDN** であり、新たな非同期伝達モード (**ATM**) を導入したネットワーク構成法の研究が加速された。

広帯域 **ISDN** の研究は、交換・多重化技術に関する伝達方式の研究やインタフェース規定を含むネットワーク構成論まで広く及んだが、要点はマルチメディアサービスをいかに効率的かつ高品質にユーザへ届けるかということであり、特にネットワーク使用効率の低いアクセス系をコストをかけずにどう構築するかという問題は、ネットワークの構築上大きな課題であった。一方、高速コンピュータ通信を主眼とし、配線方法や伝送効率が特に課題となる構内系ローカルネットワーク (**LAN**) や都市エリアネットワーク (**MAN**) においては、イーサネット **LAN** のように伝送メディアを共用して使うシェアド・メディア型のネットワーク方式が有効とされており、80年代前半から **IEEE802** 委員会等で標準化技術の検討も進められていたが、このネットワークにおいてマルチメディアサービスに向けた帯域保証や品質制御の検討はほとんど進んでおらず、また、ネットワーク規模の拡張

性の検討も不十分であった。

以上のようなネットワークの発展状況を背景に、特に、LAN/MAN を含む広帯域 ISDN のアクセス系を新たに構築していくために、経済性に優れマルチメディアサービスにも効率よく対応できるネットワーク構成技術の研究が重要との認識を得て取り組んだのが、本論文の前半（第 2 章）に記述したマルチメディアサービスを指向したアクセス系ネットワーク構成技術の研究である。

もうひとつの特徴的な電気通信ネットワークの変化は、固定通信から移動通信サービスネットワークへの展開である。従来の電気通信網やインターネットは、端末が移動することはほとんど想定しておらず、移動性に対する機能が基本的に弱かった。しかしながら無線技術とデバイス技術の発展により、電話端末は有線ネットワークと切り離すことが可能となり、端末の移動に応じて基地局までの回線ルートを切り替えていくモビリティ管理の技術がネットワークにおいても開発され、電話機を携帯して持ち歩くことのできる携帯電話サービスが可能となった。このサービスはデジタル化が進んだ 1990 年代以降爆発的に普及し、人と人の間の音声通信は、携帯電話を利用して行われることが普通となってきた。更に、無線アクセス技術の高速化と、インターネットと携帯電話網が相互接続されて携帯電話端末からインターネットへのアクセスが可能となったことにより、モバイルネットワークは、電話サービス網からマルチメディアを流通させるモバイルマルチメディアネットワークへと変化しようとしている。この変化を促進するには、固定網の進化と同様、電話サービス中心で設計されたネットワークをマルチメディアサービスに向けた経済的かつ品質の高いネットワークへ転換して行く必要がある。そのため取り組んだのが、本論文の中央部（第 3 章）において述べられているマルチメディアサービスに適応できるモバイルネットワーク構成法の研究である。

さらに、今後のネットワークサービスを展望すると、マイクロチップ技術や近距離無線技術の発展により、人の身の回りのあらゆるモノにコンピュータチップが埋め込まれ、それらが連携して人の行動を支援するというユビキタス（コンピューティング）サービスの提供が現実的なものとなってきた。このサービスを実現するためには、あらゆる場所に遍在する膨大な数の端末デバイスをネットワーク化する必要があり、また、これらの個々のデバイスは能力が制限されているため、その機能・性能をネットワークが補うということも必要となると考えられる。このようなユビキタスサービスに適合するネットワークは、従来の通信ネットワークの発展の方向（高速広帯域化と端末の高機能化）とは異なる位置にあるものと考えられ、ネットワーク構造的にも、あるいはビジネス的にも、新たなパラダイムを想定して研究に取り組む必要があると考えられる。ユビキタスネットワーク化においては、提供されるサービスはどのような性質を持ち、ネットワークとしてはどのような能力が提供されるべきか、ネットワーク研究としてのターゲット設定自体から見直す必

要があると考えられ、この段階から取り組み、モバイルネットワークの発展形態としての構成の可能性について論じたものが、本論文の後半部分（第4章）で述べたユビキタスサービスに適応するユビキタスネットワーク構成法の研究である。

1. 2 研究の位置づけと概要

本研究は、通信サービスのマルチメディア化、モバイル化そしてユビキタス化というトレンドに対応し、またそれを牽引するため、①マルチメディアトラフィックの効率的かつ高品質な転送をアクセス系ネットワークで実現するためのリング型ネットワーク構成法と②モバイル環境下での多様なマルチメディアサービスの展開に適したIPベースのモバイルネットワークの構成法、そして、③実環境におけるさまざまなモノをも通信対象としたユビキタスサービスの提供に向けたユビキタスネットワークの構成法を論じている。以下、それぞれの研究テーマについて、その位置づけと研究の概要を述べる。

(1) マルチメディアサービス指向したアクセス系ネットワーク構成技術

従来、公衆網におけるアクセスとしては、交換機の各ポートに対応してスター型に伝送路を配し、加入端末毎に収容を行なう個別媒体アクセス方式が一般的である。このスター型の収容方式では、ひとつの端末がアクセス回線を占有するため、その端末が情報を転送するとき以外は伝送媒体は利用されず、使用効率は一般に低い。一方、間歇的な情報転送が行なわれるデータ伝送においては、パケットの統計多重効果によって伝送効率を高めるパケット通信方式が通常用いられてきているが、これをアクセスネットワークの領域でも効果的に利用し、併せて配線効率を高めるためには、単一の伝送媒体を複数の端末で共用し、パケット多重伝送することが有効である。実際、配線効率を重視する構内系ネットワーク（LAN）においては、CSMA/CD等のメディアアクセス制御技術を用いたバスやリング等の媒体共用（シェアド・メディア）型ネットワーク方式が早くから利用されてきた。

また、データばかりでなく、音声や画像等のマルチメディアサービスを効率的にサポートするためには、データの廃棄を極力押さえるとともに、動的な帯域割当てと帯域保証を行うことが必要となる。そのため高速伝達能力を備えるATM（Asynchronous Transfer Mode）を用いたスター型スイッチング技術が検討されてきた。スター型スイッチでは、たとえば、データ通信のバースト的なトラフィックに対して、帯域の動的な割当てを行いつつATMセル廃棄を最小限に抑えるための検討はなされているが、動的帯域割当て、低廃棄率、そして帯域保証の三つを同時に実現することは困難である。一方、シェアド・メディア型のネットワークでは、そのサブネットワークの中では輻輳によるパケット廃棄がなく、バースト的なトラフィックに対するリアルタイムな動的帯域割当てがメディアアクセス制御により可能であり、さらに帯域保証機能を付加することができれば、マルチメディア指向ネットワークとしての適用性が高いと考えられる。特に、都市エリアまでの適用ネットワーク規模の拡大を想定すると、端末からのアクセスの公平性維持や高信頼化にも適

したリング形式のネットワークが有効と考えられる。

そこで、マルチメディアサービスを提供する広帯域ネットワークのアクセス系を効率的に構築するための手法として、シェアド・メディア型のネットワークを取り上げ、その特性を生かしてネットワーク構成上の効率性を確保しつつ、マルチメディアサービスをサポートするための品質制御機構を新たに開発することにより、アクセス系の領域で従来のスターネットワーク構成に勝る **Cost/Performance** を得ることを大きな狙いとして研究に取り組んだ。

本論文第 2 章にその研究成果を記述している。まず、マルチメディアサービス向けの LAN、MAN を含むアクセスネットワークを構築する場合の要求条件をのべ、これに対応しうるネットワークとしてリング型（シェアド・メディア）ネットワークが優れていることを指摘する。そこでリング型シェアド・メディアネットワークを対象とし、ATMとの親和性が高いセルを伝達レイヤに適用し、動的帯域割当ておよび要求通信品質毎の帯域保証が可能な ATM リング・アクセス制御プロトコル（**ATMR** 制御プロトコル）を新たなメディアアクセス制御（**MAC**）プロトコルとして提案する。

ATMR 制御の主な特長は、リング上で効率的にリセット制御が行われるウインドウ制御機構をアクセスユニット（**AU**）に分散的に持たせて **AU** 毎の情報転送量の公平性制御を実現したことと、マルチメディアサービス毎の帯域と遅延保証のための優先制御機構を導入したことである。この優先制御機構では、ネットワーク全体で共有する通信レベルの概念を導入し、リセット信号による瞬時の通信レベル遷移による動的なアクセス優先度制御を実現している。本論文では、これらの仕組みを述べ、その評価結果を示している。

マルチメディア環境下でも要求サービス品質毎の **QoS** 保証ができることは、シミュレーションによって確認しており、他の代表的な既存方式との性能比較により、マルチメディア向けシェアド・メディア型ネットワークとしての有効性を明確にしている。また、**ATMR** プロトコルを **LSI** として実現し（**156Mbps** 試作版および **622Mbps** 実用版）高速処理の実現性を確認した。NTT の研究チームによって、この **LSI** を用いた **ATM-LAN** プロトタイプシステムが構築され、システムとしての評価も行なわれ、実用化への見通しがつけられた。

（2）モバイルマルチメディアサービスに適応するモバイルネットワーク構成法

1990 年代中期以降、多くのサービスアプリケーションがインターネットでの利用を目的に開発され、現在は、データ系サービスのみならず音声や画像をふくむ各種アプリケーションがインターネット上を流通するようになってきている。一方、モバイルネットワークは、第 3 世代（**3G**）モバイルネットワークサービスが開始され、アクセスの高速化が図られたことから、**TV** 電話や映像配信等も含むモバイルマルチメディアサービスの展開が期待されている。これらインターネットとモバイルネットワークの関係については、既に、第 2 世代のモバイルネットワークをアクセス網としてインターネットに相互接続するという構成

によって連携が始まっており、移動環境でインターネットへのアクセスを可能とする、所謂モバイルインターネットアクセスサービスとして、多くのユーザに受け入れられている。

今後、3Gネットワークの拡大、無線アクセス技術の高速化が見込まれることから、このインターネットとモバイルネットワークの結合はより密接なものとなり、ユーザは、インターネットとモバイルネットワークの区別なく、固定端末とモバイル端末間あるいはモバイル端末同士でストレスなくマルチメディア情報を流通させることを要望すると予想される。これを実現するためには、現状のような（固定）インターネットとモバイルネットワークの単なる相互接続では不十分で、インターネット自体が移動性（モビリティ）能力をもつ、あるいは、これまで通信キャリアで閉じていたモバイルネットワークがオープン性を持ち“インターネット化”するという方向が必然的に求められると考えられる。

こういった技術的方向性は、インターネットやモバイルネットワークの研究者の間で共有されつつあり、インターネットでのモビリティ技術の研究やモバイルネットワークのIP（Internet Protocol）化の技術検討が世界的に進められている。しかし、一方、実際に3Gネットワークをもつ通信キャリアが次世代（第4世代：4G）に向けてネットワーク構成を改革していくことを考えると、まだ世界的に3Gの導入が始まってそれほど時間のたっていない現時点では、この“インターネット化”やIP化の具体的な実現形態や時期について、標準方式やコンセンサスが世界で出来上がっているわけではない。モバイルサービスのマルチメディア化は必然であるとしても、通信キャリアの置かれているマーケットやビジネス環境条件を考慮したネットワーク拡張戦略とそれにもとづくネットワーク構築法検討が同時に行われることが重要である。

以上のような状況を踏まえ、本論文第3章では、まず、モバイルサービスマーケットの展開予測から次世代（4G）に向けたネットワーク構成のターゲットモデルを明確にする。これから導かれた最終的なターゲットとしてマルチメディアサービスを提供するキャリアグレードのネットワークを取り上げ、IP技術を全面的に導入するAll-IP化を提案する。本研究では、インターネット構成法の考え方やIP技術が今後の通信網の基盤になりうるとの認識は持ちつつも、キャリアネットワークとしてモバイルサービスを提供していくための問題点を明確にし、インターネットと対比する形で設計方針を具体化し、これを踏まえてAll-IP化を実現するための新たなアーキテクチャ提案を行なうとともに、その実現可能性について検証を行う。

第3章の構成は以下のとおりである。まず、次世代のモバイルネットワークの構築に向けた要求条件と構築ストラテジーについて、4Gの時代までのモバイルマーケットの変化シナリオを想定して、それらに対応する形で仮説として整理する。シナリオの構成法は、3Gサービス（従来のモバイルキャリアが提供する3Gネットワーク上の各種サービス）とnon-3Gサービス（主に新興のサービスプロバイダが提供する3Gセルラー以外の無線アクセス技術；WiFi, WiMAX等を用いたモバイルサービス）のマーケットでの受け入れ

られかたを大胆に想定したシナリオプランニングの手法（3章[5]）にもとづく。このシナリオから、3G キャリアとして、次世代へ向けたターゲットとすべきネットワークモデルを抽出する。次に、次世代ネットワークのデザイン方針について、従来のキャリアネットワークでの考えとインターネットの考えを比較しつつ、新たな設計方針を明らかにする。これらを踏まえ、4G 時代へ向けた主要ターゲットであるモバイルマルチメディアに適應できるネットワークを検討対象として、All-IP 化を指向した新たなネットワークアーキテクチャを提案する。更に、このアーキテクチャを実現する技術論を論じるが、特に、モバイルネットワークの能力を特徴づけるモビリティ制御方式に着目し、その実現方式について議論する。インターネット技術として検討されてきた Mobile IP 方式では、ネットワークの安全性やユーザの位置に関するプライバシー保護の観点から問題があり、キャリアネットワークとして提案する設計方針にそぐわないことを指摘し、モビリティ管理については、従来インターネットで尊重されてきた考え方（エンドーエンド原則）とは異なる方式、即ち、端末側では移動制御に関する処理を最少化し、ネットワーク側に移動管理機能を持たせてモビリティを実現させる（ネットワークインテリジェンスによる）制御方式を提案する。この方式は、モバイルキャリアネットワークとしての設計方針と合致するものであり、インターネットアーキテクチャ原則を破るものではあるが、今後の All-IP 化の実現に向けて、一つの基盤的なソリューションを与えるものである。本モビリティ方式の定量的評価については、NTT ドコモの研究チームやその共同研究パートナーらによって進められており、実現を妨げるような処理的なボトルネックはないこと、Mobile IPv6 と比較しても性能上劣らないこと等がシミュレーションや実機システムの評価を通じて確認されている。本論文においては、それらの主要評価結果も本提案の有効性を示すものとして記述している。

本論文で提案した制御方式やネットワークアーキテクチャが世界的な評価を得るためには、国際標準や導入のストラテジーの合意を世界各国のオペレータやベンダと共に作っていく必要がある。これについては今後の展開としてまとめに述べている。

（3）ユビキタスサービスに適應するユビキタスネットワーク構成法

近年のマイクロチップ技術や近距離無線技術の発展により、1980 年代末にゼロックスパロアルト研究所のマーク・ワイザー氏によって提唱されたユビキタスコンピューティングの世界が現実的なものとなってきた。このユビキタスコンピューティングとは、人を取り巻くあらゆるモノや環境にコンピュータが組み込まれ、これらが協調して人々の活動をさりげなく支援してくれるコンピューティング環境の実現を目指したものであるが、リアル（物理）空間に配備された RFID やセンサー（カメラ、マイク等のあらゆる観測デバイスを含む）がネットワーク化されることによって、人や環境の状況（コンテキスト）を把握することが可能となり、ネットワーク上のサイバー（仮想）空間のコンテンツやデータとも連携して、従来にない新たなタイプのサービスの創造が期待される。例えば、個人へ

のサービスとしては、周囲環境情報の変化を適宜伝えることによって視聴覚能力を補助したり、蓄積した行動履歴を必要に応じ提示することで記憶力を補うような生活行動支援や知的活動支援が考えられる。また、ヘルスケアの分野では、個々人の生体情報を生体センサーで常時収集して、過去の健康状態と比較しつつ分析し、生活習慣病にかかわる日常生活のアドバイスを適切なタイミングで与えたり、高齢者の異常状態を家族に知らせたりという応用が考えられる。ビジネス向けには、ショッピングモール等が集まる群集の状況情報（客層や行動パターン）や個々人のオープン可能な嗜好情報等にもとづくオンタイムの顧客対応管理（**Customer Relation Management : CRM**）等のビジネス支援などが考えられる。更に、社会の安心・安全のために、地域的な交通状況や防犯に関するセンシング情報によって、様々なリスクに対して歩行者や屋内の住民にもアラームを発するという社会インフラ的なサービスも考えられる。

これらのサービスをユビキタスサービスといい、これを提供するネットワークをユビキタスネットワークと呼ぶとすれば、これらは明らかに従来の通信サービスやネットワークとは異なる特性を持つ。ひとつには、ネットワークの接続要求も含めサービスを選択するのは必ずしもユーザ自身ではなく、コンテキスト情報にもとづき、ユーザ自身が意識しなくても適切なサービスを適切なタイミングに提供するというインテリジェンスをネットワークが持つ必要があるという点がある。また、実環境に遍在する膨大な数の低能力な端末デバイスを常時接続するために、ネットワークに求められる接続性と情報転送能力も従来とは大きく異なるであろう。これまでの通信システムが目指してきた高速広帯域化や端末の高度化とは異なる能力が求められ、通信パラダイム自体が変化する可能性もある。

以上の考えを踏まえ、本論文では、第4章において、ユビキタスサービスを提供するための新たなネットワーク構成法について、前述のモバイルネットワークの**All-IP**化を踏まえた形で検討結果を示す。具体的には、まず、将来のユビキタスサービス時代のネットワークとは如何なるものであるのかを考察し、環境への浸透と理解を機軸とした新たなネットワークのビジョンを提案し、それが実現すべき価値について論ずる。ユビキタスサービスの概念は広いが、実世界（フィジカル）を対象に含め、人や周囲環境の状況（コンテキスト）に応じて、人にはさりげなく（インビジブル）サービスが提供されることが、ユビキタスサービスを特徴づける基本的かつ本質的な機能概念であることを指摘し、これら機能概念によって記述されるサービス実現モデルを示して、サービス研究の方向性を明らかにする。次に、ネットワークビジョンを実現する具体的なネットワーク構成論として、次世代のモバイルネットワークをコアとしてユビキタス世界へ拡張を図る“モバイルユビキタス・ネットワークキング”の概念を提唱する。これは、携帯電話端末が、人が常時携帯する機器であることに着目し、携帯電話端末をゲートウェイとしてフィジカルな世界へ接続性を拡張すれば、人のまわりのコンテキストを収集し、モバイルネットワーク上に形成された仮想空間との連携によって、人に対してインビジブルにサービスを提供する仕組みが構成できるという考察に基づいている。このモバイルユビキタスの考え方の有効性を確認

するために、歩行の困難な高齢者や傷病者のユビキタスネットワークによる外出支援の一例を想定して、固定系ネットワークを利用した場合との比較評価を述べている。次に、今後の研究の推進に向けて、ネットワークアーキテクチャを規定し、その主要構成要素についてネットワーク技術とサービス支援技術の両面から要求条件や新たな研究課題を体系化してまとめている。ユビキタスサービスの実現には、従来のインターネットの考えでも十分ではなく、新たなネットワークパラダイムでの取り組みも必要であることを述べている。これにひき続き、実際に社会にユビキタスサービスを提供し、サービスとネットワークを発展させていくシナリオを考察することにより、現状と今後の発展のためにいかなる課題を克服していく必要があるかを社会的側面にも着目して議論している。

最後に、まとめとして、ユビキタスサービスをビジネスとして提供していくことを想定した場合に考えられる種々の課題について、サービス提供上の特性に着目して論じ、ユビキタス社会を進展させていくための大きな留意点を改めて指摘している。

第5章は、以上の研究内容全体について成果を取りまとめている。

第2章 マルチメディアサービスを指向したアクセス系ネットワーク構成技術

— ATM リング方式の研究 —

2.1 はじめに

1980年代後半、広帯域（B-）ISDNの構築に向け、あらたな交換・伝達技術として非同期伝達モード（**Asynchronous Transfer Mode: ATM**）方式が盛んに検討された。ATMは、電話ネットワークで用いられる回線交換（**Circuit Switching: CS**）とデータ通信網で用いられるパケット交換（**Packet Switching: PS**）のスイッチング技術の優れた性質を取り入れ、PSモードでありながら、高速のマルチメディアサービス、リアルタイム系サービスを提供することができる伝達方式として、CCITT(後のITU-T)でB-ISDNのソリューションとして提案され、基本的な標準仕様が策定された[1],[2],[3],[4],[5]。その後、相互接続性を保証するための業界団体ATMフォーラムが1991年に設立され、最盛期には800を超える会員企業（多くはベンダー）を巻き込んで産業（**de facto**）標準がつくられた[6]。ATMは、もともと広帯域公衆網の伝達技術として開発されたものであり、ITU-Tにおいては、公衆網としてのユーザ・網インタフェース（**User-Network Interface; UNI**）、ネットワークノード間インタフェース（**Network Node Interface; NNI**）の標準規定を中心に行われたが、その適用性を拡大するために、LANやMANへの適用検討も盛んに検討された。

本章では、このようなB-ISDN方式設計の創成期において、広帯域ネットワークアクセス系の低コスト化と品質向上へ向けての研究の一環として検討したATMリング方式について述べる。ATMリング方式は、B-ISDN時代のLANや都市エリアネットワーク(MAN)構築を想定し、ATM技術との親和性を念頭において開発したものであり、マルチサービス向けの媒体共有型ネットワーク方式である。端末間のアクセス公平制御とマルチサービス品質制御を可能とする媒体アクセス制御（**Media Access Control: MAC**）プロトコル方式が中核の技術であり、そのプロトコル方式、性能評価、システム構成法等について記述する。

2.2 媒体共有型（シェアド・メディア）ネットワーク研究の背景

媒体共有型（シェアド・メディア）ネットワークは、そこにつながるすべての端末ホストが通信線路媒体を共通に使用し、その媒体を通じて相互に接続を可能とするネットワーク方式であり、一般にバスまたはリング状の構成をとる。通信線路媒体が貴重な資源である場合に、それを有効利用する技術として特に構内系のローカルエリアネットワーク（LAN）への利用を想定して発展した。初期のEthernetはバス形式の代表例である。その他、リング形式のToken Ring方式が提案された。これらの技術は、1980年代LANの媒体アクセスの標準仕様を定める団体IEEE802委員会においてとりあげられ、標準方式として仕様が定められてきた[7],[8]。

特に都市エリアまでの適用の拡大を想定すると、アクセス公平性保証や高信頼化にも適したリング形式のネットワークが有効と考えられ、以下のような各種のリング方式の検討が 80 年代から 90 年代前半までに集中して議論された。

- Cambridge Ring / Orwell Ring [9]
- MetaRing [10]
- FDDI [11]
- CRMA [12]

一方、バス型ネットワーク技術でも MAN 領域での適用をめざした DQDB (Distributed Queue Dual Bus) 方式[13]が、オーストラリアより提案され、IEEE802.6 (MAN) において標準仕様が検討された[14]。

これらの方式研究では、LAN/MAN でのリソースの効率的利用を図るためのシェアド・メディアネットワークとして、簡易なアクセス装置での実現と広帯域化、マルチメディア化(QoS 保証)が技術的主題となっている。しかしながら、動的な帯域割り当てを可能にし、帯域保証を実現し、かつ低パケット廃棄とするという三つの性質を同時に可能とする方式はなく、結果として LAN/MAN でマルチメディアトラフィックを効率的に扱えるシステムとして実用に供したものはなかった。

そこで、この点の解決を主眼におき、高速 PISN(私設サービス統合網、マルチメディア LAN))の構築手段とすること、および B-ISDN のアクセス系のひとつとして広域、広帯域で効率的マルチアクセス技術として適用すること (MAN としての適用) を想定して、B-ISDN とも親和性が高い ATM 技術にもとづくシェアド・メディア方式としてリングネットワーク方式の検討に着手した[15],[16]。具体的には、高速で動作し、動的帯域割り当てと帯域保証機能を具備し、CBRに加え、最小帯域を保証するとともに伝送路の空きを有効利用する ABR サービスも可能である ATM リングプロトコル(ATMR)を開発し、特に ATM-LAN 方式として、その実用性も確認することができた。

2. 3 リングネットワーク方式の特徴と研究課題

2. 3. 1 LAN/MAN 適用への要求条件

マルチメディア、高速・広帯域サービス時代の LAN/MAN の構築を考えるにあたって、主要な要求条件は以下のようなものである。

- a) マルチメディア通信を効率的にサポートができること。これは速度や品質要求の異なるサービスを効率よく収容できるネットワークであることの要求であり、動的な帯域制御が可能で、複数クラスの品質 (CBR,VBR、ABR トラフィック等) を収容可能な方式であることが必要である。
- b) サービスの多様化のために、いろいろなコネクショントップ、情報配信方法が提供さ

れること。具体的には、コネクションオリエンテッド型のほか、コネクションレス型のサービスへの適用、1対1接続の他、マルチキャスト、ブロードキャストが容易に実現できること等。

c) 広帯域公衆網や広域専用線との整合性。LAN間通信等企業間のグローバルなネットワークを提供するために求められる。品質、信頼性、性能等で公衆網と同等の能力を有しうることも必要。

d) ワイヤリングやネットワークトポロジー的な柔軟性。またLANからMANまで、ネットワーク規模や速度の拡張性に優れたシステムであること。

2. 3. 2 リングネットワーク方式

前節で述べた要求条件を満たす経済性に優れたネットワーク方式として、リング状の伝送媒体を多数の端末ホストで共有して利用するシェアド・メディア型リングネットワーク方式を取り上げ検討した。リング型のシェアド・メディア型ネットワークは一般的に以下に示すような特長があり、これを実現することで先に述べた要求条件にも合致できるネットワークシステムを構築できる期待がある。

a) 複数のアクセスユニット(AU)を共通の伝送媒体でリング状に接続した分散交換システムとして、AUに自律的な動作をさせることが可能で簡易な運用が可能。

b) 伝送媒体を複数のAUで共用することにより、送信状態にあるAU間で伝送媒体の帯域を公平に分配することが可能。また送信状態にあるAUの数が増えた場合は瞬時に各AUの送信帯域を変化させることができる。このようなアクセス制御によってパケット廃棄がなく、高いネットワーク使用効率を得ることが可能(特に空間的再利用; **Spatial Reuse**時)

c) 媒体共用型であるためブロードキャスト、マルチキャストも容易に実現できる

d) 双方向リングトポロジーであれば、片方のパスが障害にあっても動作可能(高耐障害; **Resilient**化)

上記b)、c)項の特徴について、スター型ATMスイッチと比較して若干の補足説明を行う。

1) 帯域利用の効率性

スター型のスイッチでは、各端子からの出入線の帯域を考慮して、スイッチ内部帯域が決められる構造となっており、出入線の帯域は相対的にスイッチより狭い。したがって、**図 2. 3. 1**に示すように、出線3に対して入線1, 2, 4, 5からコネクションを張ろうとすると、確定的に帯域を確保し、出線3での帯域を4分割して利用する方法(図(1))か、確率的にトラフィック集中時のセル廃棄を認めて、各入線の帯域を大きめにとる方法(図

(2) が考えられる。方法(1)では、ひとつの入り回線からのみ情報が送られていても、割り当てられた帯域しか使えないため、スイッチの高速性を生かしきれない。一方、方法(2)では、各入り回線の割り当て帯域を大きくすれば、セルの廃棄確率も大きくなるため、トラフィックの集中率を想定して適切な帯域割付が必要となる。あらゆるトラフィックを想定して適切な集中率を得ることは困難であり、廃棄率を抑えながら帯域使用効率を上げることは容易ではない。

一方、リングネットワークでは、図 2. 3. 2 に示すように、出入り線に対応する AU は、リングネットワーク（スタースイッチ内部に対応）の全帯域を使用可能であり、図(a)に見るように、ひとつの入線（AU5）しか送信していない場合は、出線（AU3）まで占有して、広帯域の送信が可能となる。他の入線からデータが送信されはじめると、これを瞬時に検出できれば、各 AU で送信量を抑え、ネットワーク帯域を公平にシェアして利用し、セルを廃棄することなしに帯域の有効利用が可能となる。

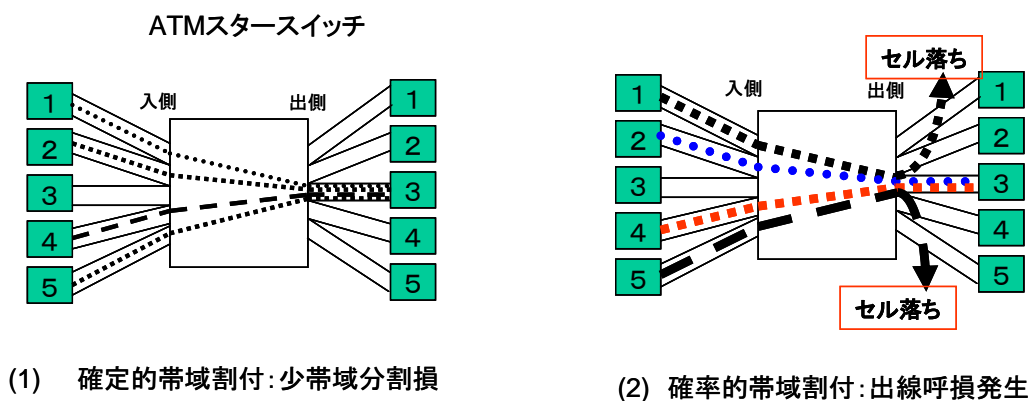


図 2. 3. 1 スター型スイッチの帯域割付方法
(文献[24]より引用)

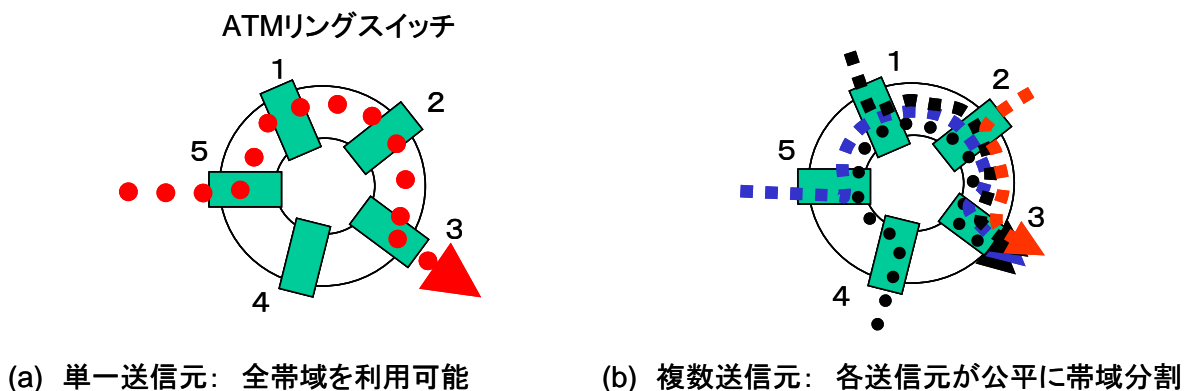


図 2. 3. 2 リング型スイッチ（ネットワーク）の帯域利用方法
(文献[24]より引用)

2) 同報機能

スター型スイッチでは、同報サービスを実現するには、入線の情報をスイッチ内部で、情報をコピーして、複数の出線に出す必要がある。処理方式により、その規模は異なるが、一般に、大量の情報を多方路へコピーするには、処理量的にもバッファ量的にもスイッチへの負荷が大きい。また、多くの情報が再生されることでトラフィック量が増加し、スイッチの輻輳を起こす可能性がある。一方、リングネットワークでは、もともと各 AU にセルのコピー機能が存在するため、単純にセルをリング上で一周させ各 AU でセルコピーを実施させるだけで簡単に同報が実現できる。トラフィック量については、セルがネットワークを一周する間伝送メディア上に情報が存在するので負担は大きいが、帯域制御機能によって各 AU で送信量が自律的に制御されればセル廃棄は発生しない。

以上の特長を実現するためには、ノード (AU) 間アクセスの公平性保証、帯域保証および瞬時の動的帯域制御を実現する媒体アクセス制御 (MAC) 機構の研究が重要となる。

2. 3. 3 ATM リング方式 (ATMR) の狙いと特長

前述の LAN/MAN への要求条件とリングネットワーク方式の特長を踏まえ、ATM 技術に親和性を持った MAC 機構を持つシェアド・メディア型リング方式を提案する。その目的と実現技術の関係を図 2. 3. 3 に示す。

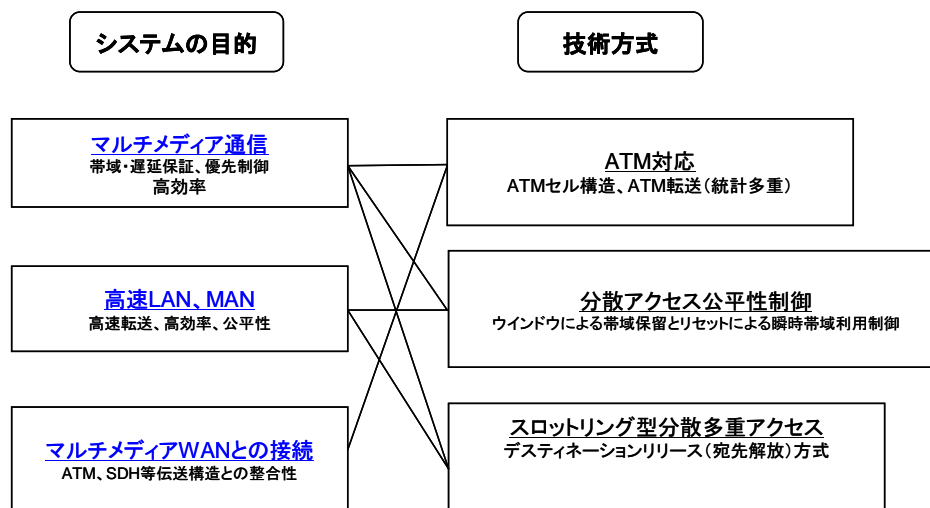


図 2. 3. 3 ATMR 方式の目的と実現技術

システムの目的としては、マルチメディア系サービスをハンドリングできること、高速の LAN/MAN に適用できること、そして B-ISDN 等の公衆 WAN との整合性が高いネットワーク方式であることである。これらから導かれる技術方式として、高速公衆網に多く適用されている ATM との親和性を重視し、ATM セル構造をパケットスロットとして用いて統計多重化効果を得ることを狙う。限られた伝送資源を効率的に利用するため、シェアード・メディア型リングネットワークとする。そのメディアアクセス制御 (MAC) 機能を新たに開発し、ネットワーク全域で公平なアクセスを可能とし、バースト的なトラフィックを効率よく転送可能とする。複数のサービスクラスがそれぞれの品質を保持できるようにすることが必要であることから、MAC 技術として複数の優先レベル間の優先制御機能を提供する。セルを宛先で解放可能な制御方式として、リング伝送路の使用効率を高める。以上のような特長をもつリングアクセス制御方式を ATMR (ATM Ring) 方式と命名し、プロトコルやシステムアーキテクチャを中心に検討をすすめた。

ATMR の適用領域を図 2. 3. 4 に示す。

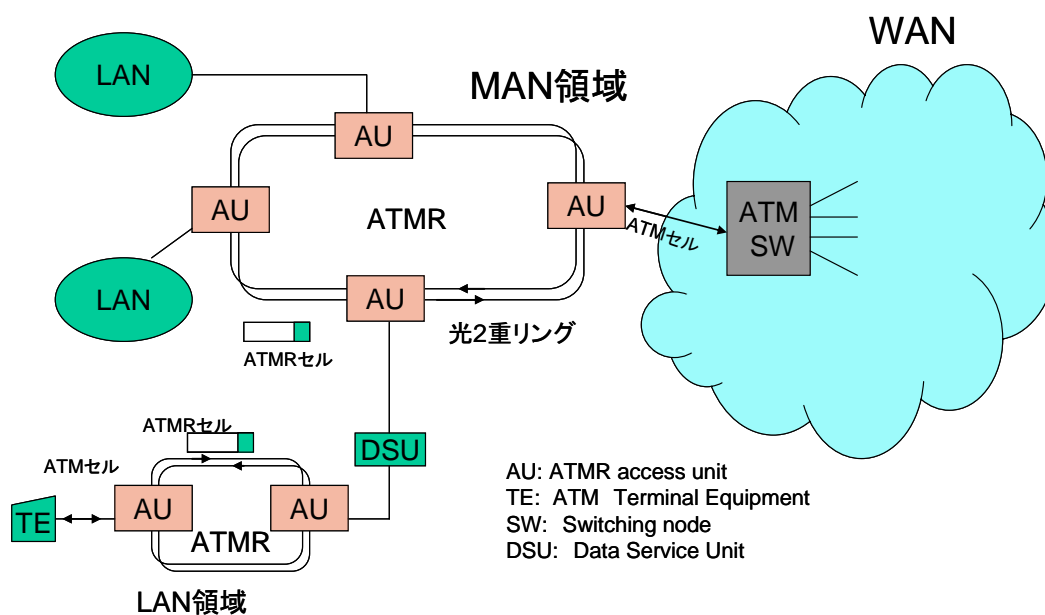


図 2. 3. 4 ATMR の適用領域

2. 4 ATMR 制御原理[16],[17]

2. 4. 1 ATMR 制御とその特徴

- ① 分散アクセス公平性制御： 周期リセット (**Cycle-Reset**) 機構をもつウィンドウ (**Window**) 制御を入れることで、アクセスユニット (**AU**) ごとに分散型フェアネス制御を実施。リング網上で分散制御されるため **AU** の位置依存性がなく、高い公平性が保たれる。
- ② 分散優先制御： サービスクラス毎の帯域と **QoS** (遅延) 保証のための優先制御機構。ネットワーク共用伝達メディア上での優先通信レベルの概念と **Reset** 信号を用いた瞬時 (リング周回時間内) のレベル間遷移制御による動的なアクセス優先度制御の実現。
- ③ Spatial Reuse 方式： スロットの宛先解放と解放スロットの空間的再利用による高効率なネットワーク利用。共用媒体への各アクセスユニット (ノード) からの同時アクセスを可能とすることで実効スループットを 100%以上に増大できる。
- ④ ATM セル利用： アクセス制御プロトコルは **ATM** セルの **GFC** フィールドを用いることにより、**ATM** との親和性を図る。

2. 4. 2 ATMR プロトコル方式

ATMR プロトコルは、固定長のスロットをリング状の媒体で周回させるスロットドリグ (**Slotted Ring**) でのリングアクセス制御 (**RAC**) プロトコルである。**LAN** の **MAC** 技術は、すでに **IEEE802** 委員会等で標準化体系ができており、**ATMR** は、その分類 (図 2. 4. 1)に従えば、**ATM** セルを固定長スロットとみなした帯域留保型 **Slotted Ring** 方式である。

ATMR の **RAC** は、プロトコル構成上は **MAC** レイヤとして規定されるが (図 2. 4. 2)、**B-ISDN** でいえば **ATM** レイヤに対応するものである。**ATMR** のスロットは **ATM** セルと同様の 53 バイト構成である。**RAC** プロトコルは、**ATMR** セルヘッダの 4 ビットのアクセス制御フィールド (**Access Control Field: ACF**) を用いて動作する。これは **ATM** セルの **GFC** (**Generic Flow Control**) フィールドに対応するものであり、8 ビットへ拡張することも可能。**ATMR** セルは、**ATM** セルが **VPI/VCI** によってルーティングされるのと同様、**RVC** (**Ring Virtual Channel Identifier**) を用いてルーティングされる。

図 2. 4. 3 に **ATM** セルと **ATMR** セルの構造を示す。

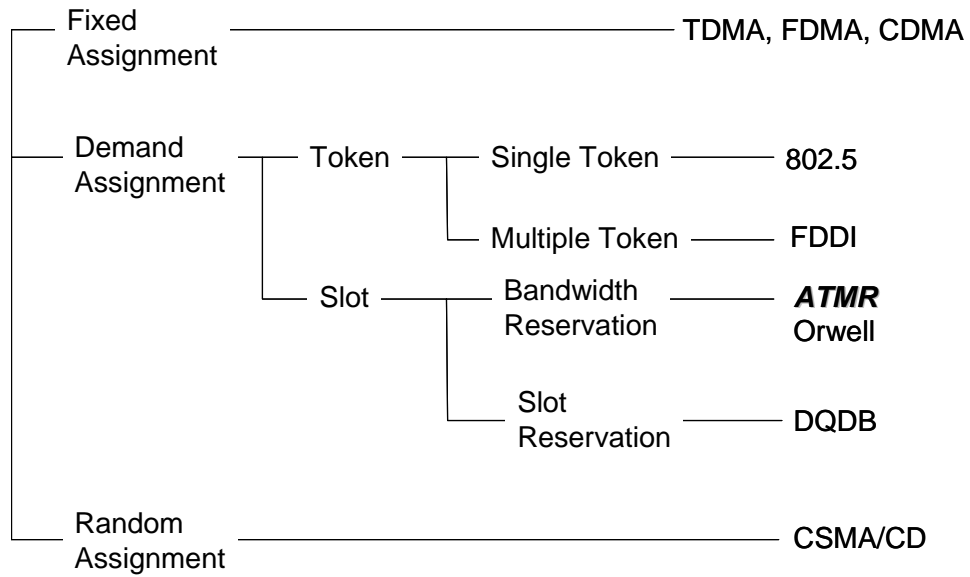


図 2. 4. 1 MAC 方式の分類

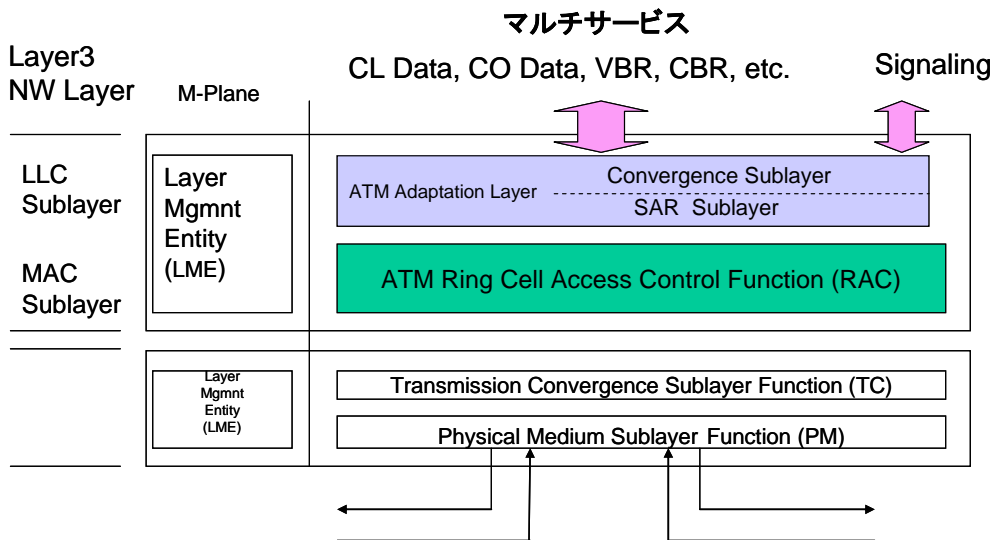
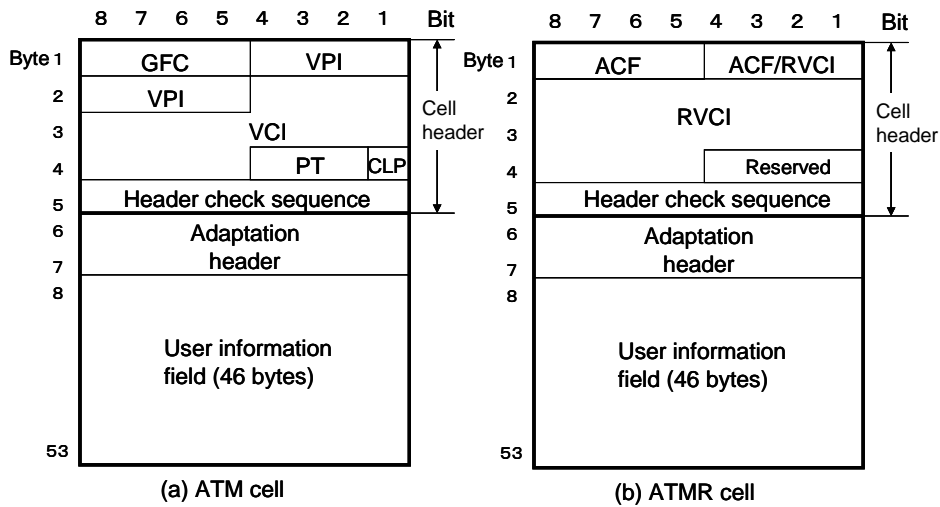


図 2. 4. 2 ATMR のプロトコル参照モデル



GFC: Generic Flow Control, VPI: Virtual Path Identifier, VCI: Virtual Channel Identifier, PT: Payload Type, CLP: Cell Loss Priority, ACF: Access Control Field, RVCI: Ring Virtual Channel Identifier

図 2. 4. 3 ATM セルと ATMR セルの形式

(1) 分散アクセス公平性制御

公平性と QoS 保証のため、いくつかの AU が伝送路を独占的に利用することにより、ある AU でデータ送信ができなくなる状態(ホグging; hogging)を回避する機構が必要となる。このため“ウインドウサイズ (Window Size : WS)”と“リセット区間 (reset period)”という二つの基本パラメータを使った周期リセット制御方式を導入する(図 2. 4. 4)。このリセット方式の基本的な考え方は Orwell 方式[9]で既に採用されているものである。

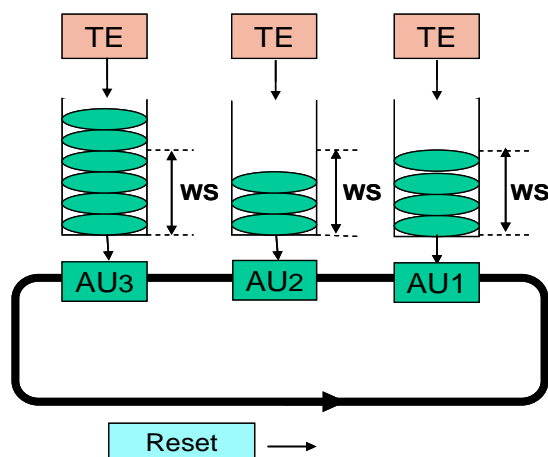


図 2. 4. 4 ウインドウサイズとリセットセルによる分散公平性制御

ATMR ネットワークにおいて、呼（情報通信要望）がある AU で生起すると、その呼の要求する帯域にしたがってウインドウサイズ $WS=AC\text{-window}$ が決定される。この $AC\text{-window}$ は、その AU から、ある一定の時間に送出されるその呼の最大セル数を表している。その AU に付与される全ての WS の総和 ΣWS は、アクセス制御ウインドウカウンタ ($AC\text{-CTR-W}$) の初期値である。カウンタ $AC\text{-CTR-W}$ は、その AU からセルが送出されるにしたがって減算され、カウンタ値がゼロ (0) となると、AU は送信を停止する。すべての AU が送信を停止すると、それぞれの $AC\text{-CTR-W}$ をリフレッシュすることによって、再度送信を開始させる必要がある。そのためリセットセル ($AC\text{-reset}$) を定義し、このリセットセルがリングネットワークを一周することにより、各 AU の $AC\text{-CTR-W}$ を初期化するようにする。 $AC\text{-reset}$ は、他の AU がすべて非活性 (インアクティブ; *inactive*) 状態であることを検出したどの AU からでも発行することができる。インアクティブ状態とは、その AU から何も送る情報がないか、 $AC\text{-CTR-W}$ がゼロ (0) である (その時間区間で送信許可された量を送信してしまった) 状態をいう。 $AC\text{-reset}$ セルを受信すると、各 AU は $AC\text{-CTR-W}$ を初期値に設定し、自身で送信を再開することができる。二つの連続する $AC\text{-reset}$ の時間間隔をリセット区間 (*reset period: Rp*) と定義する。ひとつのリセット周期に AU からのアクセス量は、ウインドウサイズにより制限され、かつ保証される。その様子を図 2. 4. 5 に示す。

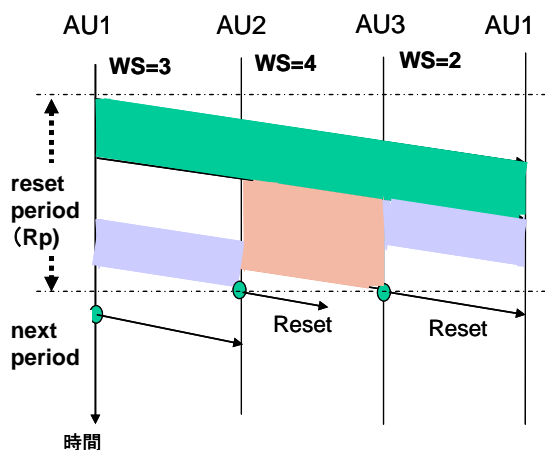


図 2. 4. 5 ウインドウサイズによる AU アクセスの帯域保証

アクセス公平性は、帯域保証の一環として、ウインドウサイズとリセット区間という ATMR の二つのパラメータを使うことにより、ネットワークグローバルに解決することができる。

(2) ATMR における効率的なリセットセル生成

周期リセット型のプロトコルの性能は、リセット信号の出し方の効率性に依存している。集中型あるいは分散型のリセット生成方式がスロットバスやリングプロトコルで開発され

てきた[9],[10]。 **Orwell** では、分散型の制御方式を採用し、その性能が **AU** の位置に依存しにくいようにした。しかしながら **Orwell** プロトコルにおいては、他 **AU** の送信状態のチェックが、各 **AU** において、自身の送信が終わった後に開始される手順となっている。したがって、実際に全 **AU** がそのリセット区間での送信を終わっていても、実際にそれが検出され、リセット信号が発出されるまでのリセット毎のオーバーヘッドは小さくない。大きなウィンドウサイズを使って、リセット区間を長くすることで、相対的にリセット処理のオーバーヘッドを下げることはできるが、その場合、遅延変動が大きくなり、遅延に厳しいサービストラフィックを運ぶことができなくなる恐れがある。それゆえ、特にマルチメディアサービスを取り扱い、**MAN** 等の規模の大きなネットワークにおいては、リセット処理のオーバーヘッドをいかに減らすかは、重要な問題となる。

ATMR では、それまで提案されてきた方式より遥かにオーバーヘッドの少ない、新たな分散型の周期リセット機構を考案した。その方法は、各 **AU** でデータ送信をしつつ、**ATMR** セルの **ACF** におけるビジーアドレス (**busy address**) を連続的に監視することにより、他 **AU** の送信終了を瞬時に検出することを可能とするものである。

図 2. 4. 6 を使い、基本動作を説明する。送信すべきセルを持ち、ウィンドウカウンタがゼロでないアクティブ (**active**) な **AU** は、送信する **ATMR** セルの **ACF** に自分の **AU** 識別子 (**AUID**) をビジーアドレスとして書き込む (図 2. 4. 6 の(1)の状態は、三つの **AU** が全てアクティブな状態を示しており、自 **AUID** を上書きしている状態。#**A,B,C** がビジーアドレスを示している)。これにより各 **AU** がアクティブであることを他の **AU** に対して示すことができる。一方、インアクティブ (**inactive**) な **AU**、すなわち送る情報がないか、ウィンドウカウンタがゼロの状態となった **AU** は、**ACF** を書き換えることはしない (図 2. 4. 6 (2)の **AU-B** と(3)の **AU-C**)。この規則に従えば、自分のビジーアドレスを入力セルスロットの **ACF** に見つけた **AU** は、自動的に、ネットワーク上の他の全ての **AU** がインアクティブであることを検出したことになる (図 2. 4. 6 (4)の **AU-A**)。他の **AU** がインアクティブであることを検出した最後のアクティブな **AU** が送信を終了すると同時に、その **AU** はリセットセルを発行する (図 2. 4. 6 (4))。リセットセルを受け取った **AU** は、再活性化されアクティブ状態となると同時に、リセットセルを下流へ送信する (図 2. 4. 6 (5))。ネットワーク上でほとんど同時に複数の **AU** が終了を検出し、リセットセルを同時に送出することになる場合もある。これは新たなリセット区間へより早く推移することを意味しており、分散型の本モニター機構の有効性を示すものである。

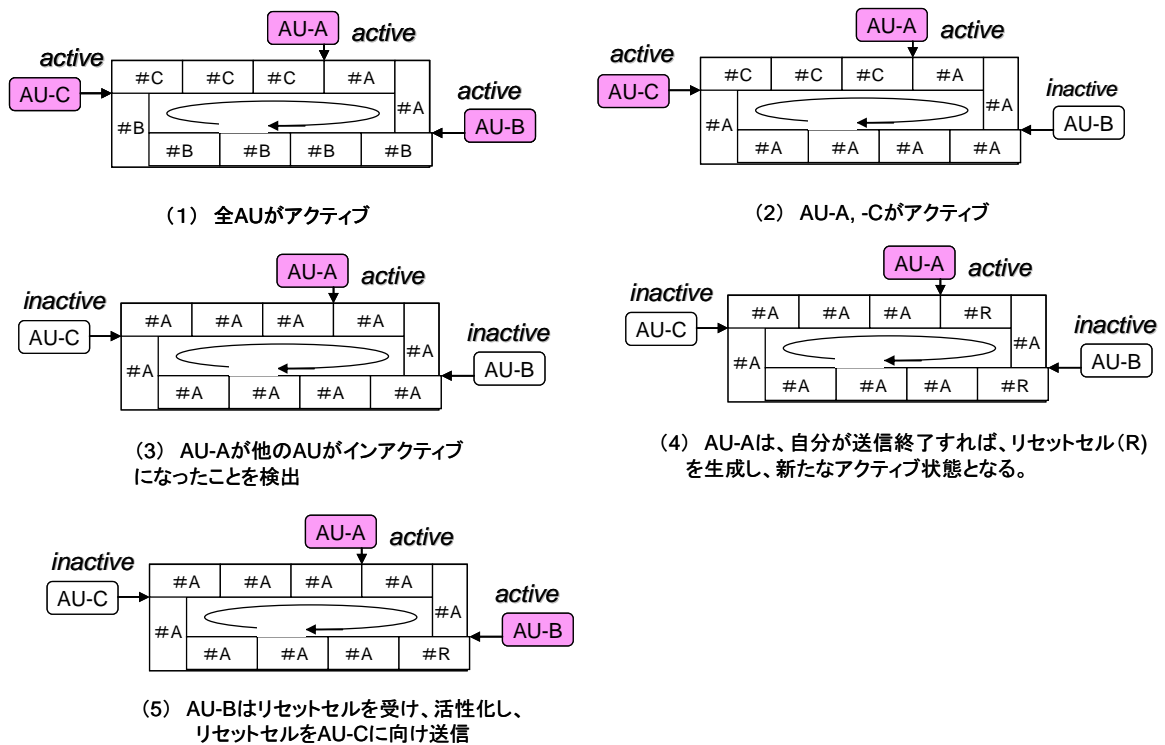


図 2. 4. 6 ATMR の公平性保証制御基本動作

(3) ATMR における QoS 保証

ATMR において、どのようにサービス品質を保証するかを基本パラメータであるウインドウサイズとリセット区間を使って説明する。

まず、リセット区間による遅延時間規定について述べる。AU におけるリセット区間とセル送出タイミングの関係を図 2. 4. 7 に示す。本図のように、あるリセット区間内に端末より AU に到達したセルは同一のリセット区間に発信される状況を考えると（即ち、設定ウインドウサイズは、最大リセット区間 R_{pmax} に到着するセル数と同数）、発 AU におけるバッファリングによって生じるセル遅延ゆらぎ（Cell Delay Variation: CDV）は、最大でリセット区間の時間 R_{pmax} となる。したがって ATMR で提供するサービスの CDV 条件を保証するには、リセット区間 R_p は、次の条件を満たす必要がある。

$$D \geq R_{pmax} \geq R_p \dots\dots (1)$$

ここで D は、最も遅延に厳しいサービスクラスの許容 CDV 条件である。

ちなみに、最も有効に伝送リンクを使用できるのは、最大リセット区間 R_{pmax} が D となるときである。

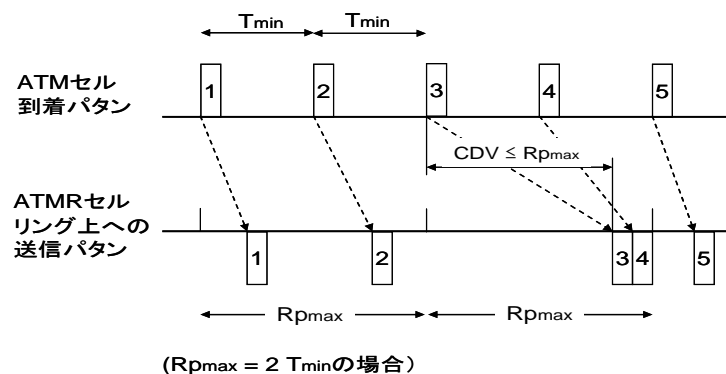


図 2. 4. 7 リセット区間と遅延の関係

次に、ウインドウサイズによるリセット区間の規定について論じる。リセット区間 R_p は、各 AU で付与される WS 値と実際のトラフィック負荷によって変動する。ATMR ネットワークにおけるトラフィック接続パタンの一例を図 2. 4. 8 に示す。リセット区間は、最も利用の多いリンクを共用して使う AU 群のウインドウサイズの総和で決まる。図 2. 4. 8 でいえば Link-C を利用する AU-A,-B,-C のウインドウサイズの総和ということになる。

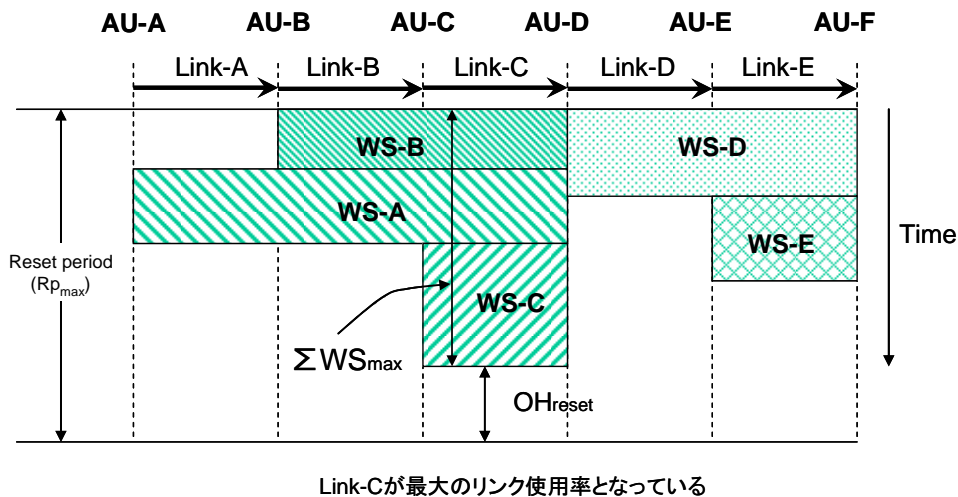


図 2. 4. 8 リセット区間とウインドウサイズの関係

したがって、最大のリセット区間は一般的に、次の式で与えられる。

$$R_{pmax} = \Sigma WS_{max} + OH_{reset} \quad \dots\dots (2)$$

ここに ΣWS_{max} は最も利用されているリンクでのウインドウサイズの合計、 OH_{reset} は全 AU のインアクティブ状態を観測し、リセット信号を出して再スタートするまでのオーバーヘッド時間である。最悪のケースで、 OH_{reset} はリングの周回遅延時間 (round-trip delay

time: RTT) となる。この時間は、セルの数で計ることとする。式 (1) と (2) から、遅延条件を満たすウィンドウサイズ合計値は次の式を満たせばよい。

$$\Sigma WS_{\max} \leq D - RTT \quad \dots\dots (3)$$

AU で運ばれるトラフィック (Th) を、その AU に与えられたウィンドウサイズ (WS) とリセット区間 (Rp) で表現すると、次のようになる。

$$Th = WS / Rp \quad \dots\dots (4)$$

Th は、単位時間あたりのセル数を表わすが、リングの伝送容量で正規化されたスループットとすることができる。式(1)、(3)、(4)から、すべての呼の遅延条件を満たす AU のスループット限界は次の式で表現できる。

$$Th_{\max} = \Sigma WS_{\max} / Rp_{\max} \leq (D - RTT) / Rp_{\max} = (D - RTT) / D \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、右の等号は Rp_{max} が最大値 D になった場合を記述している。

この式より、別の言い方をすれば、AU のスループットが Th_{max} より抑えるように信号を送信すれば、そのサービスの品質は常に守られているということを意味する。

例えば、遅延変動条件が D=500 μs であるようなサービスをリング長=20km、RTT で言えば、100 μs のネットワークで提供していると考ええると、式 (5) より、Th_{max} は 0.8 で制限しておけば、QoS は守れるということである。

実際、コンピュータシミュレーションとプロトタイプシステムを使って、評価を試みた結果を図 2. 4. 9 に示す。本図より、スループット 0.8 以下では、問題なく遅延条件を満たされていることがわかる。なお、図 2. 4. 9 において実機の遅延時間がシミュレーション結果に比べて大きいのは、測定ポイントの相違があるからである。コンピュータシミュレーションでは、単純に AU の送出バッファで測定しているが、実機では、それ以外の送受信の遅延時間が加わっているためである。

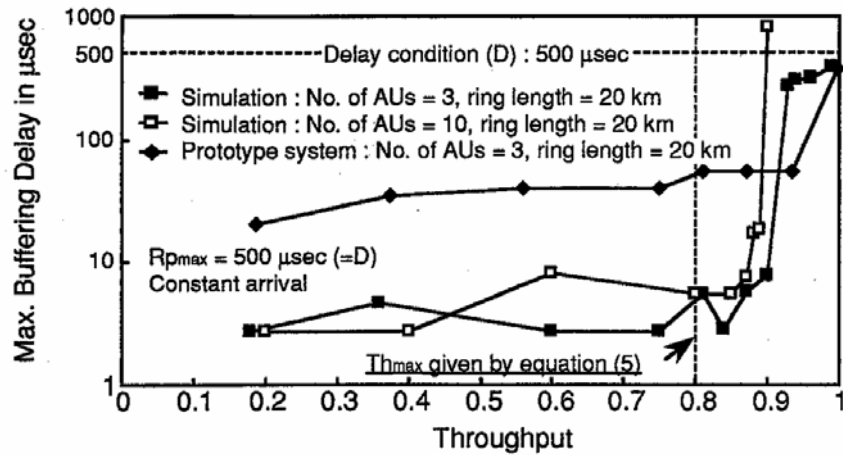


図 2. 4. 9 遅延時間保証

(4) マルチサービス環境下での優先制御方式

これまで、ATMR における各 AU からのセルの発信は、ウィンドウサイズとリセット区間により制御され、これらの基本パラメタを規定することによりスループットとゆらぎによるセル遅延時間を保証できることを、単一品質クラス時において示した。

ATMR プロトコルは、異なる要求品質 (QoS) をもつマルチメディアサービスを取り扱うため、遅延時間に厳しい音声、画像等のリアルタイム系通信の品質を、ベストエフォート型のサービスとの混在環境下で保証する必要がある。そのための複数品質クラス環境でのアクセス優先制御機構が必要である。そこで、“通信レベル (Transmission Level)” という概念をネットワークの状態として定義し、全ての AU は、その時点での“通信レベル”に合致した優先クラスのみ送るということでアクセスを制御する方式を考案した。

以下、いくつかの優先制御方式案について考え方を示す。

- (a) 単一通信レベル方式 【方式 1】
- (b) 複数通信レベル方式
 - (b-1) 高品質クラスベース方式 【方式 2】
 - (b-2) 低品質クラスベース方式 【方式 3】

アクセスキューとウィンドウカウンタの構成は、これらのどの方式をとっても同様である。各品質クラス i 毎にウィンドウサイズ WS_i を付与し、アクセス制御キュー $AC-QUE_i$ とカウンタ $AC-CTR-W_i$ を持つ (図 2. 4. 10)。

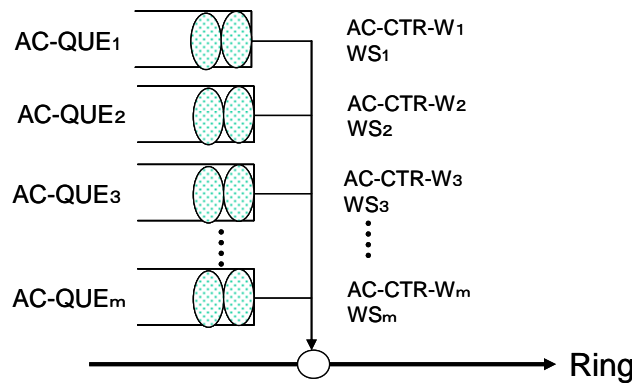


図 2. 4. 10 マルチサービス環境下での AU におけるキューとカウンタ構成

(a) 単一通信レベル方式【方式 1】

本方式では、すべての品質クラスの発信セルを同一レベルとして扱い、品質クラス間にセル発信の優先関係は存在しない。但し、バースト的に到着した低品質のセルによって高品質のセル送信が妨げられないように、各 AU では、品質クラス対応にウィンドウサイズおよびキューをもうける。最も厳しい通信品質を保証するため、以下に示す条件を満たす必要がある。

$$D1 \geq R_{p_{\max}} = \sum WS1_{\max} + \sum WS2_{\max} + \dots + \sum WSm_{\max} + OH_{\text{reset}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$D1$: 最高品質クラス (クラス 1) の遅延ゆらぎ条件

$\sum WSi_{\max}$: 使用率の最も高い伝送リンクに対する品質クラス i のウィンドウサイズの合計

この考え方は、Orwell プロトコルにおいて適用された。制御の単純さが特徴であるが、効率性の点からは欠点がある。即ち、式 (6) の条件から、遅延条件がゆるく大量のデータを送る低位品質クラスのウィンドウサイズも一様に小さく設定する必要があり、低品位のデータを送るために、リセット信号を頻発する必要が出てくる。これはリセット・オーバーヘッドを招く原因となる。

(b) 複数通信レベル方式

複数通信レベル方式は、AU がリセット区間内に送信できる品質クラスを制限する“通信レベル”をシェアド・メディアネットワーク全体 (全 AU) の状態として規定し、品質クラス間の優先制御を行う方式である。この方式では、 $D1 > \sum WS1_{\max} + OH_{\text{reset}}$ の条件のもと、 $R_{p_{\max}}$ は $D1$ より大きく設定できる。即ち、次の式を設定できる。

$$D1 \leq R_{p_{\max}} = \sum WS1_{\max} + \sum WS2_{\max} + \dots + \sum WSm_{\max} + OH_{\text{reset}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

低品質クラスにより大きなウィンドウサイズを割り当てることができることから、低品質クラスのトラフィックは、単一通信レベル方式とくらべて効率よく送信が可能となる。優先制御は、異なる通信レベル間の遷移を、複数種のリセットセルを用いて行うことで実現する。リセットセルの種類は、ATMR セルの ACF に書き込まれたコードにより区別される。優先クラスの通信レベルへの割り当ては表 2. 4. 1 のとおりである。この複数通信

レベル方式は、さらにその基本状態の設定の仕方から二つの方式が考えられる。以下の説明では、簡単化のために 2 品質クラス ($m = 2$ の場合) を用いて議論する。

表 2. 4. 1 通信レベル規定

通信レベル	送信可能な品質クラス
1	1
2	1, 2
3	1, 2, 3
⋮	⋮
m	1, 2, 3, …, m (全クラス)

最高品質: 品質クラス 1

(b-1) 高品質クラスベース方式【方式 2】

本方式の状態遷移図を図 2. 4. 1 1 に示す。また通信状態の例を図 2. 4. 1 2 に示す。ATMR ネットワークは、初期には通信レベル 1 にあり、すべての AU は、現在、最高品質の品質クラス 1 のみが送信可能であると認識する。品質クラス 1 について、すべての AU がインアクティブになると、このインアクティブ状態を見つけた AU がリセット 2 信号を発行する。このリセット 2 信号がすべての AU を周回すると、ネットワークの状態は、通信レベル 2 に移行する。この通信レベル 2 では、品質クラス 1 も 2 も送信可能である。すべての AU で、この両方の通信クラスがインアクティブになると、その状態を見つけた AU は、リセット 3 信号を発行する。これにより、すべての AU は、再び通信レベル 1 に戻る。そして両方の品質クラスのウインドウカウンタは、初期のウインドウサイズの値に戻る。もし、時間 $D1$ (最高位クラスのセル遅延ゆらぎに相当) が通信レベル 2 の間にタイムアウトすると、品質クラス 1 は品質クラス 2 に優先して送出する必要があるため、直ちに通信レベル 1 へ戻す必要がある。そのため、割り込みリセットをリセット 1 として定義する。リセット 1 を受けるとすべての AU は通信レベル 1 へ遷移し、ウインドウカウンタ 1 のみを初期値にリセットして、品質クラス 1 向けのあらたなリセット区間に入る。この操作により、品質クラス 2 は送信待ち状態としたままで、品質クラス 1 の遅延条件を保証することができる。

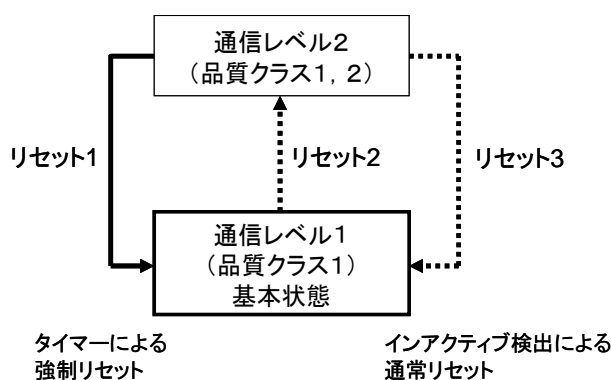


図 2. 4. 1 1 高品質クラスベースの状態遷移

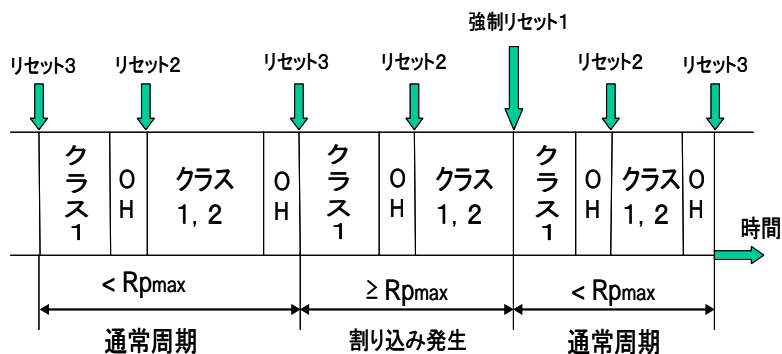


図 2. 4. 1 2 高品質クラスベース方式での通信状況の例

(b-2) 低品質クラスベース方式【方式 3】

本方式の状態遷移図を図 2. 4. 1 3 に、通信状態の例を図 2. 4. 1 4 に示す。ATMR ネットワークは、通信レベル 2 が基本状態となる。この基本状態では、すべての AU で、両品質クラスが送信可能である。すべての AU が品質クラス 1, 2 とともにインアクティブになると、これを検出した AU は、リセット 3 信号を発行する。リセット 3 は、ウインドウカウンタ 1, 2 とともに初期化し、通信レベル 2 を初期化する。リセット 3 は、単一品質クラス環境の場合の通常リセットに対応する。複数品質クラスが混合したトラフィックにおいては、ある AU において、以下の二つのケースのように、品質クラス 1 が大きな遅延揺らぎを発生する可能性がある。

【ケース 1】現在のリセット区間に対応する品質クラス 1 の情報が、他の AU からの品質クラス 2 の情報が流れているため、 $D1$ 時間内に送信しきれなくなる。

【ケース 2】現在のリセット区間に対応する品質クラス 1 の情報は送信完了したが、品質クラス 2 の送信が継続しているため、 $D1$ 時間内に次のリセット区間に移行できなくなる。

ケース1においては、品質クラス1の残留情報を送信しきるために、強制リセットを定義する。具体的には、すべてのAUの状態を通信レベル1に移すリセット1を発行する。この状態では、残ったウインドウカウンタ1のみが減算される。この強制リセット1を発行するには、各AUで自律的に適切なタイミングを推定する必要がある。その方法は、品質クラス1に関して、現在のリセット区間に移行後の発信セル数カウンタの消費率を以下に示す判定式を用いて検査する。判定式が成立した場合は、ウインドウサイズ分のセル送出完了が不可能と判定し、リセット1を強制的に発出する。これにより、全AUは通信レベル1へ移行し、品質クラス2のセル送信は停止する。

$$TMR1 < \Sigma WS1_{max} \times \min(CTR_W1, QUE1) / WS1 + OH_{stop2} + OH_{reset} \quad \dots(8)$$

TMR1: D1 時間経過までの残り時間

CTR_W1: 品質クラス1用発信セル数カウンタの残量

QUE1: 現時点での品質クラス1用キュー (AC-QUE_1) の長さ

W1: 品質クラス1用のウインドウサイズ

OHstop2: 低品質クラスのトラフィックをとめるまでのオーバーヘッド時間

ケース2の状況に対しては、もうひとつの強制リセットを定義する必要がある。品質クラス1のセルが、次のリセット区間を待っていて、D1時間が経過してしまうと、該当AUはリセット2を強制的に発行して、すべてのAUを新たな通信レベル2へ移行させ、ウインドウカウンタ1をリセットして品質クラス1の新たな転送を開始させる。

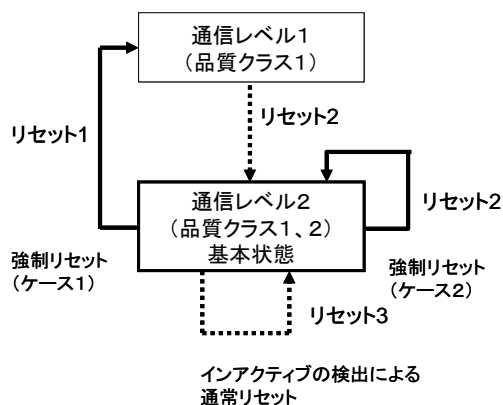


図2. 4. 13 低品質クラスベース方式の状態遷移

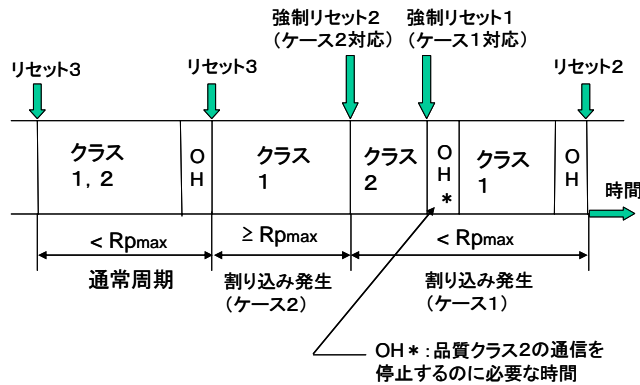


図 2. 4. 1 4 低品質クラスベース方式での通信状況の例

(5) 優先制御方式比較

比較議論は文献[18],[19]等により詳しく述べられている。結論のみを定性的にまとめると以下ようになる。

- 1) 複数品質クラス環境下での ATMR の優先制御方式として、リング規模が小さいかまたは上位品質クラスの要求最大スループットが低いシステム条件においては、制御方式が簡単な方式 1 (単一通信レベル方式) が適している。
- 2) リング規模が大きいかまたは上位品質クラスの平均使用率が低いようなシステム条件においては、複数通信レベル方式がリングの使用効率の点から適しているといえる。
- 3) さらに、品質クラス数が少ない場合は、予測制御が不要でかつ品質クラス 1 の最大スループットが大きくできる方式 2 (高品質クラスベース方式) が適しており、品質クラス数の拡張性を考慮すると方式 3 (低品質クラスベース方式) が適しているといえる。

次章に、性能評価の一環として、その定量的な評価の一例を示す。

2. 5 ATMR の性能評価

基本検討の後、シミュレーションによる性能評価や実機を使った評価が数多く実施されており、ATMR プロトコルの有効性、他方式に対する優位性は確認されている。(文献 [16]~[22]) 本章では、そのなかで代表的な性能評価例を示す。

(1) 評価モデル

単純な遅延・スループット解析のために、次の仮定をおく。各 AU ではランダム (Poisson 分布) 到着とする。AU では送出遅延なし。セル長はすべて 53 バイトで共通。アクセス遅延は、送信キューでの待ち時間で測定。スループットは、運ばれたトラフィックをメディアの伝送速度で除した値で表現 (最大 1)。2 重リング構造においては、常に着信 AU への

最短ルートが選択される。比較のための参照モデルとして、理想リセット方式を考える。理想リセット方式では、全 AU のインアクティブ状態を見つけるためにまったく遅延がなく、また、リセット信号を全 AU に通知するのも遅延なく行われると考える。

(2) 方式比較例

図 2. 5. 1 に Orwell と ATMR と理想リセット方式間の比較の一例を、10km のリング長で、10 台の AU が接続されている場合について、性能（スループット／遅延）曲線で示す。まず、空間的セル再利用が行われることから、実効スループットは 1 より大きくなる。ATMR は、Orwell に対して、リセット・オーバーヘッドを軽減したことから、より優れた性能カーブを描いている。

ウィンドウサイズを小さくしてリセット区間を短くすると、より ATMR のほうがよくなる傾向にある（図 2. 5. 2）。理想リセット方式に対応する性能曲線は、周期リセット型のプロトコルの性能限界を示しており、セルヘッダ・オーバーヘッドとリセット待ち時間がどうしても生じるため、限界値である 400% を超えることはない。一方、DQDB 方式等セル解放ができないものは、100% を超えることがなく、リンクの物理速度を超えてスループットを上げることができず、媒体共用型ネットワークのひとつの特性を生かせない。

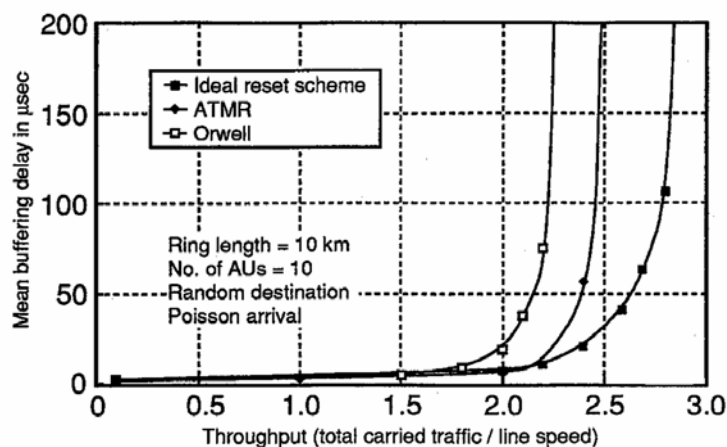


図 2. 5. 1 ATMR の性能（遅延・スループット）曲線

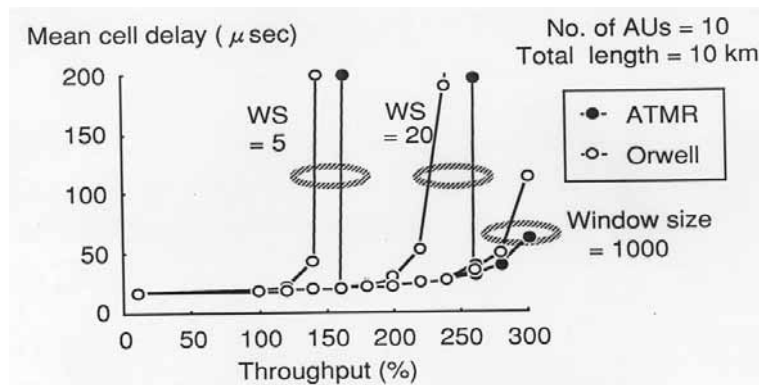


図 2. 5. 2 ATMR と Orwell の性能比較： WS による相違

(3) ネットワーク規模拡張性

リセット・オーバーヘッドは、リング長に関する。式 (5) に示したように、ネットワークでのスループットは、ネットワーク規模と遅延揺らぎ条件の関数で抑えられる。図 2. 5. 3 は、セル遅延揺らぎ条件によるネットワーク規模を示したものである。ここで示された曲線は、どのセルも CDV 条件を超えて遅延することはないという厳しい条件で描いたものであることを注意しておく。この図より、比較的ゆるい CDV 条件、例えば 5ms の揺らぎを許すとすれば、全長 100km のリングにおいても、0.9 (対伝送速度) のスループットが常に保証されることがわかる。

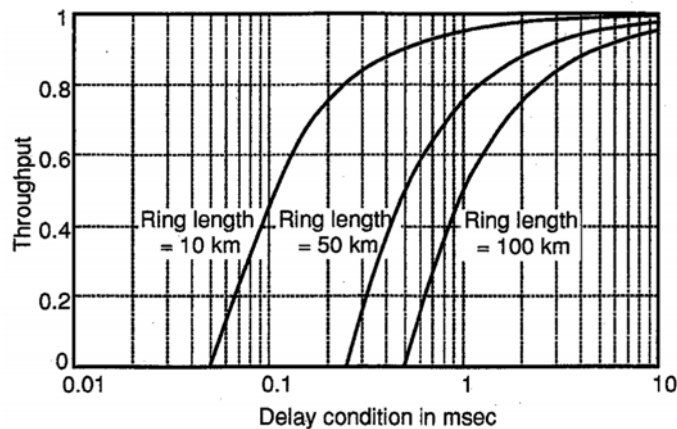


図 2. 5. 3 セル遅延ゆらぎ条件からみたネットワーク規模の制限

(4) 優先制御方式の評価

最高品質クラスの商品は常に保証されるので、低品質クラスのトラフィックの効率を評価する。高品質クラスのトラフィックは、いつもそのサービスクラスに割当てられた帯域全体を使いきるとは限らない。よって、低品質クラスのトラフィックが、そのクラスに与えられた帯域と共に、この高品質クラスの余剰帯域をどのように使うかが効率性の差となる。

そこでそれぞれの方式で、低品質クラスのスループットを表現する式を求め、これらを比較することにした。

① 単一通信レベル方式

低品質クラスのスループット **Th2** を次のように定義する。

$$\mathbf{Th2} = \text{〔低品質クラスのための許容アクセス時間〕} / \text{〔すべてのクラスに対する実リセット時間]} \quad \dots\dots (9)$$

ここで、 $\Sigma \mathbf{WS1}$ を高品質クラストラフィックのウインドウサイズの総和とし、**Th1** を高品質クラスの保証スループット、 α を高品質クラストラフィックの平均使用率 ($\mathbf{Th1}_{avg} / \mathbf{Th1}$) とすると、(9) 式の各項は以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} & \text{〔低品質クラスのための許容アクセス時間]} \\ = & \mathbf{Rpmax} - \Sigma \mathbf{WS1} - \mathbf{RTT} = (1 - \mathbf{Th1}) \mathbf{Rpmax} - \mathbf{RTT} \quad \dots\dots (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{〔すべてのクラスに対する実リセット時間]} \\ = & \mathbf{Rpmax} - (1 - \alpha) \Sigma \mathbf{WS1} = \{1 - (1 - \alpha) \mathbf{Th1}\} \mathbf{Rpmax} \quad \dots\dots (11) \end{aligned}$$

これらの式を使うと、**Th2** は次のように記述できる。

$$\begin{aligned} \mathbf{Th2} &= \{ (1 - \mathbf{Th1}) \mathbf{Rpmax} - \mathbf{RTT} \} / \{ 1 - (1 - \alpha) \mathbf{Th1} \} \mathbf{Rpmax} \\ &= \{ (1 - \mathbf{Th1}) \mathbf{D1} - \mathbf{RTT} \} / \{ 1 - (1 - \alpha) \mathbf{Th1} \} \mathbf{D1} \quad \dots\dots (12) \end{aligned}$$

ここで、**Rpmax** はその最大値 **D1** (最大遅延揺らぎ値) をとるときも利用効率が高くできるといふ法則をつかっている。

② 複数通信レベル方式

高品質クラスベース方式を例にとつて低品質クラストラフィックのスループットを表現する。

$$\begin{aligned} \mathbf{Th2} &= \text{〔低品質クラスへの許容アクセス時間〕} / \text{〔リセット区間]} \\ &= (\mathbf{Rpmax} - \alpha \Sigma \mathbf{WS1} - \mathbf{OHreset}) / \mathbf{Rpmax} \\ &= (\mathbf{Rpmax} - \alpha \mathbf{Th1} \cdot \mathbf{Rpmax} - \mathbf{OHreset}) / \mathbf{Rpmax} \\ &= 1 - \alpha \mathbf{Th1} - \mathbf{RTT} (1 + \mathbf{Th1}) / \mathbf{D1} \quad \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

式 (12) と (13) を比較することにより、どちらの方式が効率的であるかを示すことができる。

その領域を示したものを図 2. 5. 4 に示す。

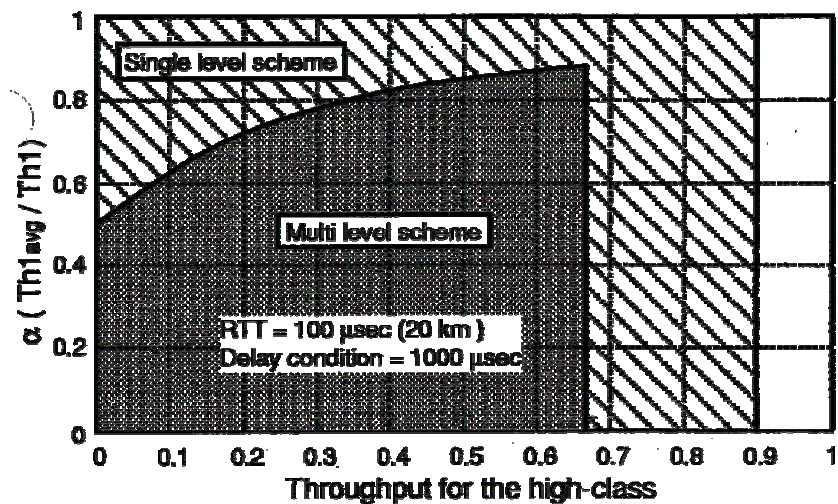


図 2. 5. 4 単一通信用レベル方式と複数通信用レベル方式の適用領域

一般的に、高品質クラス（クラス 1）がバースティなエリア、すなわち $\alpha = Th1_{ave} / Th1$ が小さいところでは、複数通信用レベル方式の方が、低品質クラストラフィックを有効に運ぶことができる。この複数通信用レベル優位エリアでは、高品質クラスのスループットは、比較的低いレベル〔0.67 程度〕で途切れている。これは、複数通信用レベル間の状態遷移リセットのオーバーヘッドによるものである。

2. 6 ATMR システム構成

第 2. 3 節で述べたように、ATMR システムは構内系の LAN から多数の加入者を収容する大規模な MAN にいたるまでをカバーすることが求められる。いずれの場合も、2 重リング構成として高信頼化をはかり、高効率な ATMR リングアクセス制御 (RAC) 機能によって、このリングネットワークを効率よく使いきるシステムとなっていることが重要である。

コアとなる RAC 部については、156Mbps の LSI 一次試作を経て、実用に供するため 622Mbps 回線ネイティブの処理速度をもつ LSI を実現した。この RAC-LSI を用いて主に LAN 利用のための ATM-LAN システムが開発された[22]。実用にも提供されたシステムである RNS600 に関する詳細な評価結果はこれら関連文献にゆずり、本章では、そういった実用システムへつながる基本となったシステム構成について概要を述べる。

(1) ノードアーキテクチャ[17]

ATMR アクセスノード (AN) は OSI のレイヤ構成に対応したモジュール化された構成をとる。AN 構成例と各部の機能を図 2. 6. 1 に示す。

PHY モジュール (TRS - H, - L) は、物理レイヤ構成に関連し、O/E, E/O 変換、メデ

ィア依存部におけるクロック抽出、セル同期、リング構成制御等が含まれる。**RAC** モジュールは、セルレイヤアクセス制御を司り、**RAC - LSI** が主要コンポーネントとなる。**RAC** モジュールは、2重リングにおいて、それぞれのリング毎に必要となる。**LNC** モジュールは、**ATM** 端末を収容するための回線インタフェース機能を持つ。各種のサービスクラスをサポートするため、**LNC** は、サービス対応の **ATM** アダプテーション機能をもつ。**SGL** は、呼制御信号のためのレイヤ2の信号処理を行うモジュールである。**ATMR** ネットワークは、**B-ISDN** と同様の呼制御プロトコルを使う。リング **VCI (RVCI)** 決定と接続レスモードの情報転送のため、プリセットアップ制御 (**PSUC**) と接続レスサーバ (**CLS**) 機能が、**ATM** 接続制御モジュール (**SGP**) の中に実装される。セル転送制御モジュール (**CTC**) は、これらのモジュール間を接続する接続機構である。**PCU** は、呼制御のための処理ユニットであり、**AUC** は、ノード内の監視・保守を司る。

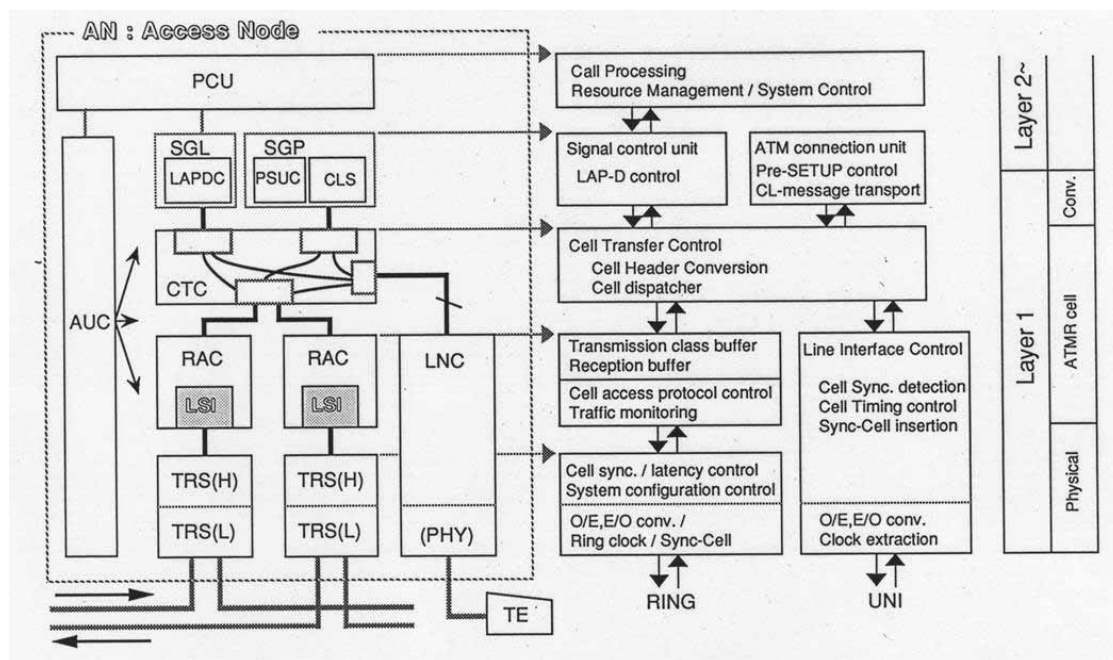


図 2. 6. 1 リングアクセスノードの構成と各要素の機能

ATM レイヤでは、効率的なアドレスフィルタリングができるよう **RVCI** の割付を決めることが重要である。その一案として、以下のような階層的アドレス構造を提案する。

リングネットワークにおいて **RVCI** の単一性を保証するため、接続オンリエントドモードでは呼毎に、接続レスモードでは、メッセージ毎に、特定の **RVCI** を割付けることが必要である。そのため、ネットワーク上で空き **RVCI** を見つけることが容易になる方法を考えなくてはならない。アクセスノードアドレス (ANA) と論理チャネル番号 (LCN) で構成される **RVCI** を定義することで、受信 AN でのアドレスフィルタリングは、ANA をチェックするだけでよくなり、また、各ノードでは自己の LCN を管理する

だけで、分散化された RVC I 管理が可能となる。図 2. 6. 2 に、この移動境界をもつ階層化アドレス割付けの例を示す。

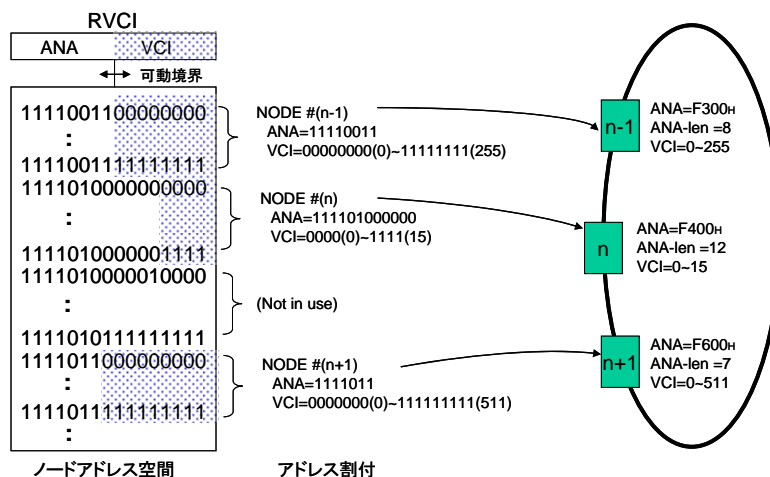


図 2. 6. 2 リングノード階層化アドレッシング

(2) リングアクセス制御機構

ATMR プロトコルを処理する機能部である本 RAC ブロックは、図 2. 6. 3 の構成をもっている。

RAC の主要機能は、(a) セル受信、(b) セル再利用、(c) セル転送、(d) 状態処理機能である。セル受信機能においては、入力セルの RVC I がチェックされ、もしこのセルが当該アクセスノード（あるいはアクセスユニット=AU）に向けてアドレスされているなら、これはコピーされ、同時に上位レイヤに送られる。もし、そのセルが、当該 AN で終端してもよいものなら（RVC I のチェックで認識可能）、セル再利用処理において、このセルは解放される。解放できないセルは、そのままセル転送機能により下流の AN に対して送り出される。AN の状態（アクティブ、インアクティブ）とネットワークの通信レベルと入力セルの条件により、当該 AN からのユーザセルの送信可能性が、状態処理機能により判断される。ATMR では、これら一連の処理が、単一セル時間を実現される必要があり、LSI による高速処理が必須である。セルヘッダの状態処理を、他の受信処理機能と並列処理を行うことにより、この処理速度を上げることは可能で、156Mbps の回線速度を処理できる初期の RAC-LSI 試作（BiCMOS0.8 μ ルール利用）で、14octet 時間（720nsec、1 / 4 セル時間）で完了可能であることを確認した〔1989 年〕。この成果をベースとして、600Mbps クラスの RAC-LSI の実用化へと開発を進めた。

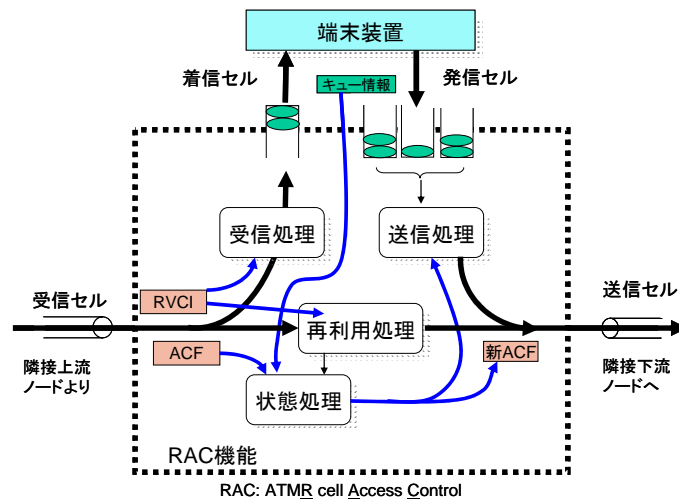


図 2. 6. 3 RAC 機能構成図

2. 7 ATMR 研究のまとめ

マルチメディア向けのアクセス系ネットワーク技術として開発した ATMR 方式についてその成果をまとめると以下のとおりである。

- ◆ 比較的低速・間欠的な利用が主体のアクセス系においては、伝送路の利用効率向上や拡張性の点で、シェアド・メディア型のネットワークが有利な領域がある。ATMR はネットワーク全体での帯域の利用を動的に変動させることでトラフィックの動的変化に対して柔軟に対応でき、リソースの有効利用ができる。また、シェアド・メディアネットワークで、はじめて本格的な優先制御機構を入れたことで、マルチメディア向けのネットワーキングサービスを可能とした。
- ◆ アクセス制御能力が転送する伝送リンク速度に直接影響することから、速度的な拡張性については限界があるが、93年時点で LSI 化により 600Mbps のネイティブ速度でのプロトコル処理を実現しており、複数リング構成を用いれば、当時でも Giga クラスの高速化は実現可能であり最高速のシェアド・メディア LAN を実用化できた。
- ◆ 具体的には、ATM-LAN システムとしての実用化 (RNS600 (NTT) , Σ 600 (日立) 等) への布石となった。
- ◆ リング状ネットワークは現時点でも MAN や WAN アクセス系での有効なネットワーキング手段として用いられる (例、IEEE802.17 Resilient Packet Ring 標準化中) もであり、高性能化のための先駆的研究として意義があると考ええる。

ATMR プロトコルは汎用技術として広めていくためには標準化が必要との認識から、技術開発と並行して以下のような二つのアプローチで国際標準化活動も実施した。

<国際標準化活動 1> 90 年当初当時の標準技術としては、高速 LAN としては 100M クラスの FDDI のみであり、次期の高速マルチメディア MAC プロトコルとしての世界標準をめざした。提案当初は各国の注目を集め、関連の標準化機関各所での技術紹介を行ったが、スター型の安価なブロードバンドスイッチの台頭により、結果的にはシェアド・メディアネットワークへの関心が薄れ、正式の標準とはならなかった。活動は以下のような組織に対して行った。

- FDDI の次期システム (FFOL) を検討していた ANSI X3T9 への紹介
- MAN 標準を DQDB 方式で策定していた IEEE802.6 へ提案。DQDB 方式の課題の指摘。
- ISO/IEC JTC1 SC6 PISN(私設サービス統合網) 標準案への提案。
(ISO/IECJTC1/SC6 N7873:Specification of the ATMR Protocol (ver.2.0) Jan.1993)

<国際標準化活動 2> B-ISDN 基盤技術の ATM との親和性を利用し、B-ISDN ユーザ・網インタフェース (UNI) のポイント-マルチポイント型接続のためのアクセス制御プロトコルとして、その要求条件やアーキテクチャを含め一連の提案を行った。UNI としては、ポイント-ポイント型のインタフェースの他に、シェアド・メディア型のユーザインタフェースに複数の端末がアクセスする場合が想定されている。この多重アクセスインタフェースでは、各端末から送出されたセルがインタフェース上で衝突することを防ぐため、フロー制御プロトコルが必要であり、それを規定するフィールドが UNI セル上に GFC (Generic Flow Control) 領域として規定されている。この GFC 利用に関する一連の提案である。結果的には、多重アクセスインタフェース利用が確定されない状態で UNI 仕様は凍結となったため、具体仕様として標準化を果たすことができなかった。これには、ATM による UNI 自体が必ずしもポピュラーにならず、安価なユーザインタフェースとして提供することができなかったという業界全体の動向の変化も背景にある (高速イーサインタフェースの台頭等)。

以下に、GFC 規定に向け筆者が提案した代表的寄書を掲げる。

- CCITT SGXVIII D.1084, Requirements for GFC mechanism and a proposed protocol for GFC, Matsuyama, Dec. 1990
- CCITT SGXVIII D.1434, Proposal for GFC Protocol, Geneva, June 1991
- CCITT SGXVIII D.1431, Proposed definition of cell submission descriptors in multi-access B-TE configuration, Geneva, June, 1991
- CCITT SGXVIII D.1860, Proposal for enhanced GFC protocol, Melbourne, Dec. 1991) 等

第3章 モバイルマルチメディアサービスに適応する

All-IP ネットワーク構成法

3.1 はじめに

近年、多くのサービスアプリケーションがインターネット上での利用を目的として開発されるようになったことから、データ系サービスは IP ネットワーク上に集約されてきた。また IP ネットワークが広帯域化したことから、リアルタイムの音声や画像情報も IP 上での伝達が高品質で可能となり、従来のテレコムネットワーク（固定電話網）の能力をすべて IP ネットワークに統合することが世界のコンセンサスになりつつある。実際、2004年6月以降、BT、KDDI、NTT 等のキャリアで固定電話網の IP 化計画が発表されている。現在、ITU-T(国際電気通信連合の電気通信標準化部門)においても次世代ネットワーク（NGN : Next Generation Network）として、IP をベースとした広帯域で品質制御を可能とするネットワークアーキテクチャの検討が進められている。この検討では、移動通信との融合もひとつの要求条件として捉えられており、モバイルネットワークと共通の制御技術の導入を考慮する等、いわゆる FMC（Fix and Mobile Convergence）へ向けた検討が加速されている。

一方、移動網の世界では、第3世代（3G）モバイルネットワークサービスが2001年に日本で開始されて以来、世界各国でサービスが提供され始めており、TV 電話や映像配信等モバイルマルチメディアサービスの展開が期待されている。今後、より高速のワイヤレスアクセス方式が開発され、情報量の多いリッチなサービスが増えればネットワーク上のトラフィックが急増することが予想され、これを効率よくかつ高品質に伝送するためネットワークの改良あるいは新たなネットワークへの移行が必要となる。そのため無線技術の世界標準を検討する ITU-R においては、3G 以降のネットワークは IP をベースとしたものにマイグレートしていくというビジョンを示している [25]。また、ITU-T においても、新世代のモバイルネットワークに対する要求条件を Q.1702 としてまとめており、IP ベースのモバイルネットワークの所要機能を Q.1703 としてまとめている [26], [27]。一方、3G の標準仕様を定めてきた団体である 3GPP においても、IMT-2000 から発展するマルチメディアネットワーク制御システムとして、IP 伝達系を想定した IP Multimedia Sub-system (IMS)を規定し、その仕様を議論している[28]。以上のようにモバイルネットワークにおいても、3G 以降のネットワークを IP 技術で構築していく考えは世界的に共通の認識となりつつある。

以上のような状況から、通信キャリアのネットワークのエンハンスメントという視点からは、固定網の NGN および移動網の次世代 (4G) 化 はともに IP 技術をベースとして発

展することは確実な方向となってきたといえる。しかしながら移動網については、世界的には3Gサービスの導入が始まったばかりであり、具体的な次世代のネットワーク構成方法や導入時期については、まだ具体的な指針や世界的なコンセンサスができていないわけではない。それは、それぞれの通信キャリアの置かれた状況、即ち既存ネットワークへの投資回収戦略、サービス展開戦略、そして競争環境等が様々であり、次世代に求める能力やその提供を期待する時期にも相違があるからである。

そこで本論文では、まず、3Gモバイルキャリアにとって次世代(4G)ネットワークへ移行していくため、あらたに構築するネットワークの持つべき能力やそこへの展開の仕方について、いろいろなシナリオを想定して指針を立てることを試みる。具体的には、4G導入期の市場の状況を想定し、その時点で求められるネットワーク構成モデルとビジネス観点からの要求条件を抽出する。更に、これを満たすための技術的な要求条件と技術開発アプローチについて考え方を示す。この議論では、シナリオに応じて、データ通信向けにシンプルで安価なIPネットワークかキャリアグレードで3Gサービスを収容しうるマルチメディアに向けた高度なIPネットワークのどちらかを準備すべきとの結論となるが、技術開発としては段階的に向上できる構造をとることが望まれることを述べている。次に、4Gへ向けたターゲットとしてマルチメディアサービスを提供する高度化All-IPモバイルネットワークを想定し、インターネットと対比する形で設計方針を明確化し、アーキテクチャの提案とその特徴的機能要素(具体的には、モビリティマネジメント)を実現するための新たな技術ソリューションを提案し、その実現可能性を示す。

3. 2 次世代モバイルネットワーク構築への要求条件と構築ストラテジー

3. 2. 1 要求条件

ネットワーク設計者あるいは要素技術開発者が、新たなモバイルネットワークの構成法の検討を始めるとき、どういった能力(機能・性能)をそのネットワークに対して付与するか、ということが出発点となる。この機能・性能は、それを実現するための個々の要素技術とそれらをネットワーク上でどう利用(構成)して運用するかというネットワーク・アーキテクチャ論の両方がそろって実現されるのであるが、いずれにせよ技術面での条件を示しており「技術要求条件」(Technical Requirements)とよぶべきものである。そして、その技術要求条件により規定されるネットワークの能力は、そのネットワークを構築しようとしている通信キャリアのビジネス環境条件が如何なるものであるかによって異なるはずであるから、技術要求条件は、ビジネス環境条件からブレイクダウンされるべきものであるといえる。

そのため、ネットワーク設計の技術要求条件を定めるには、まず、キャリアとして、どのような時期にどのようなビジネスを展開しようとしているか、あるいは、しなければならないかというビジネス環境を想定することが必要となる。このビジネス環境を理解する

ことによって、ネットワークに対するビジネス実現上の基本的な要求条件がイメージできると考えられ、ここではこれを「ビジネス要求条件」と呼ぶこととしたい。また、そのビジネス要求条件をみたすネットワークを「ターゲットネットワーク」とする。技術要求条件は、このターゲットネットワークのもつべき能力（機能・性能）を技術的に記述したものであるということができる。ターゲットネットワークが設定され、これに対応する技術要求条件が整理されることにより、技術研究開発としてターゲットネットワークを具体構築するための様々な技術（ソリューション）が提案されることになる。以上述べた、要求条件（ビジネス面と技術面）とターゲットネットワーク、そして技術研究開発の考え方を図3. 2. 1に示す。

なお、技術要求条件を集約するにあたっては、もし、そのネットワーク方式として次世代へも継続すべき設計ポリシー・方針のようなものがあれば、その技術要求条件は、ビジネス要求条件を満たしつつも、その設計ポリシーに左右されることがありえる。また、ビジネス要求条件が、こういった設計ポリシーの変更を求めることも当然生じる。例えば、クローズドな技術と構成法で安全なネットワークを構築するという電気通信網の従来からの設計ポリシーは、サービスの多様化と低コスト化を条件として、オープンな技術とオープンな構成を原則とするインターネットの設計ポリシーへと変換されつつあることは、よく認識されていることである。

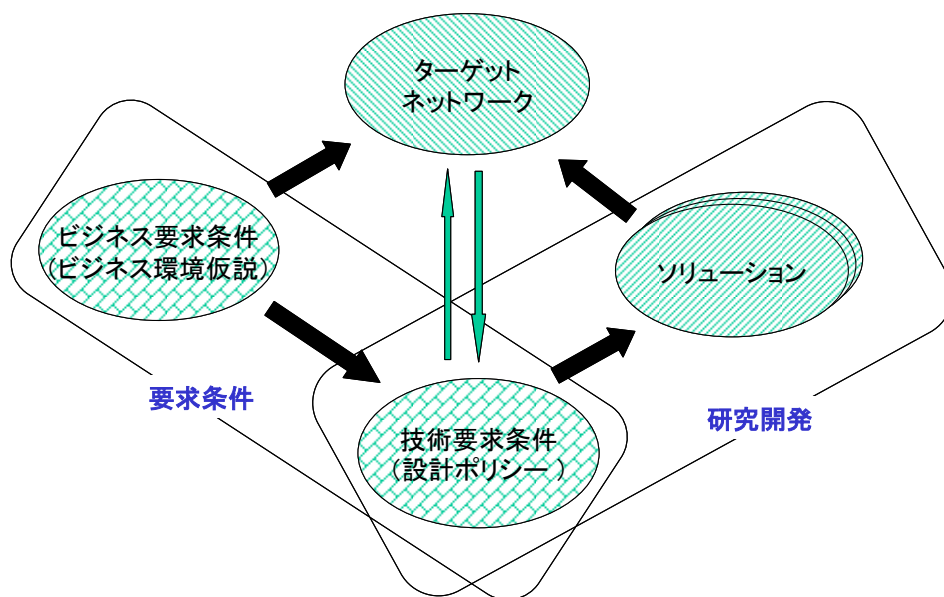


図3. 2. 1 要求条件と技術研究開発プロセス

次世代(4G)ネットワーク構成法研究におけるビジネス要求条件を引き出すためには、10年レンジのビジネス環境を見渡す必要があり、現時点で正確な予測は極めて困難である。したがって「仮説」として設定するしかないが、すでに世界で3G事業は始まっているため、次世代モバイルサービスに向けて単に理想像を描くのではなく、可能性のあるシナリオを網羅して要求条件を設定することが、次世代ネットワーク構成法研究として重要であると考えられる。

3. 2. 2 ビジネス要求条件とターゲットネットワークモデル

ネットワークオペレータの視点からすでにITU-Tや3GPPにおいて今後のモバイルサービスおよびネットワーク機能に対する基本的な要求条件は整理されてきているが、これらは様々なキャリアにとって3G以降に想定される共通的なビジネス、サービス環境を想定して設定されたものであり、ひとつの参照例にすぎないとも言える。本論文では、まず、多様なビジネス環境を想定して、独自の視点から将来のモバイルネットワークへの要求条件の再整理を行い、ターゲットネットワークモデルを明らかにする。具体的には、2001年に3Gが導入された日本における現時点(2005年)の移動通信事業者の状況、技術動向を前提として、4Gが導入されるであろう2010年から15年までの10年程度を見通してビジネス展開とこれに伴うモバイルネットワークの形態がどのように想定されるかを検討する。

次世代ネットワークを導入する時期の、仮説としてのビジネス環境を定めるため、本論文では、「2010年の移動通信業界を見通す4つのシナリオ」[29](国際大学グローバル・コミュニケーション・センター(GLOCOM) & アクセンチュア株式会社 2002年1月23日 報道発表)のシナリオを参考にする。これは4G導入前夜の状況をシナリオプランニングの手法で検討し、大きく4つのシナリオに分類して、それぞれの展開のインパクトを分析したものである。この研究が行われたのは、3Gサービスが世界で初めて日本において開始された2001年秋であり、その時点では3Gサービスがどのように発展するか、まったく不確定な状況であった。そこで、「3G」既存キャリアと無線LAN等を使った「non-3G」新規プレイヤーの戦いという構図を設定して、3Gサービス、non-3Gの普及という切り口から、どのようなシナリオが考えるかを検討したものである。現時点においては、日本における約9千万の移動通信サービス加入者のうち3千万以上が3Gを利用しているため、すでに3Gサービスは普及していると言えることができるが、同時に、初期の3Gではカバーしきれないサービス領域(特に高速データ)で新たな競争相手(固定事業者のFMCや新規参入者とMVNO)が新たなnon-3G技術(IEEE 802系WiMAX[30]等)を用いて既存モバイルキャリアへ戦いを仕掛けてくる可能性はむしろ高まってきたということがいえる。したがって一旦3Gが有料通信マーケットの全体に広がったとしても、non-3Gを用いた安価な有料通信サービスの登場によって、4Gが登場する以前にマーケットが大きく

変化することは起こり得ないとはいえない。よって GLOCOM&アクセンチュア[29]によるシナリオの考え方を利用してビジネス環境を俯瞰することは現時点でも有効と考えられる。

そこで、[29]と同様に 3G サービスと non-3G サービスの普及の度合いを考慮して特徴的ケースを考えることにより 4つのシナリオを描き、次世代モバイルネットワークの適用される 4G の時代のビジネス環境とそれぞれの展開シナリオにおいて、3G キャリアがとるべき戦略を検討した。その特徴をまとめて記述したものを、図 3. 2. 2 に示す。

まず図面で使われている用語を説明する。「マス」とは有料通信マーケットの全体に普及することを意味し、「ニッチ」とは、有料通信マーケットの特定セグメントにのみ普及することを意味している。例えば図面で、シナリオ 1 の領域は、3G がマス、non-3G がニッチの展開になっていることを意味する。また、有料通信とは、その移動通信サービスを利用するユーザに対して、そのサービスの提供プレイヤーが課金を行うようなサービスをいう。3G とは、現行の 3G セルラーおよびその改良高速技術によるサービスを示し、non-3G とは、それ以外の様々なアクセス技術（例えば IEEE802 系標準にもとづく無線 LAN, WiMAX 等や Bluetooth）を用いたサービスを意味する。3G サービスは、既存の 3G キャリアと新たに 3G 周波数を得て新規参入したプレイヤーによって提供されていることとなるが、これらをまとめて「3G キャリア」と呼んでいる。また、この 3G キャリアのネットワークを利用して 3G サービス展開する MVNO(Mobile Virtual Network Operator)も主要プレイヤーになりうる。一方、non-3G サービスにはいろいろな新規参入プレイヤーが想定されるが、代表的には従来の固定網事業者と ISP(Internet Service Provider)が主要プレイヤーとなりうる想定している。

このシナリオで表されている競合関係をわけると、以下の 2 グループとなる。

- ① 3G キャリア : 3G アクセスを主に用いるプレイヤー (MVNO を含む)
- ② 新規 non-3G プレイヤ : 固定事業者および ISP による新規参入

次に、この図面の示す意味を説明すると、例えばシナリオ 1 の領域は、3G サービスがマーケット全体に普及し、non-3G サービスが特定セグメントへの普及に留まることを意味している。それゆえ、シナリオ 1 は 3G サービスを提供する 3G キャリアがマーケットの主導権を握るということ< 3G キャリア主導 >と表現している。シナリオ 2 では、3G サービス、non-3G サービスともにマーケット全体に普及し、両方のプレイヤーが主導権を争う構図を示している。また、シナリオ 3 の領域は、3G サービスが特定セグメントに留まってしまい、non-3G がマーケットを支配する状況である。更に、シナリオ 4 では、例えば地方自治体等の公共固定ネットワークと無線 LAN、そして私設無線局のマルチホップ接続等で、実質上無料の通信サービスが提供されることになり、有料通信として提供する 3G や non-3G サービスが限定的な利用（ニッチ）に留まってしまいうシナリオである。

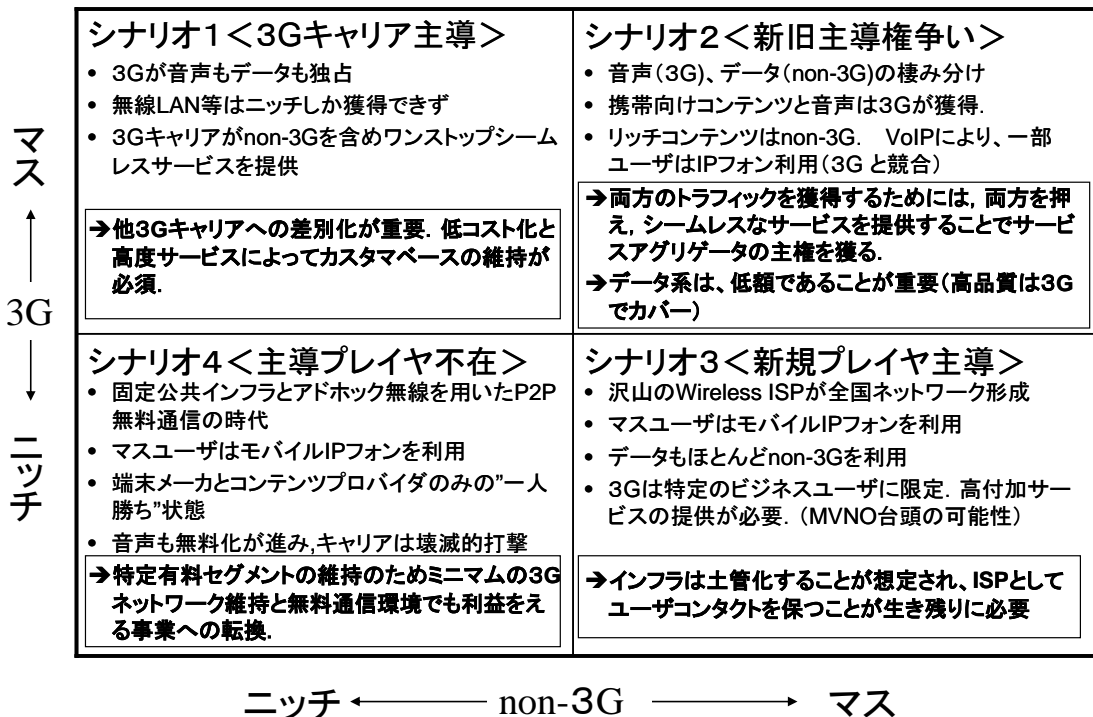


図 3. 2. 2 4つのビジネス環境シナリオと3Gキャリアがとるべき戦略
(GLOCOM&アクセンチュアの発表資料[29]を参考に新たに作成)

上記の二つの主要プレイヤー①、②によって、3Gとnon-3Gサービスが競合する状況について更に説明する。図3.2.3に示すように、両サービスを特徴づける重要項目は、(モバイルサービスのできる)カバーエリア、モビリティ性能、通信品質そして料金であると考えられる。時間の経過とともにISP、固定通信事業者によるモバイルの新規プレイヤーの参入が始まり、従来、固定、移動とすみ分けが行われていた市場に重複、競合が発生し、マーケットの取り合いとなる可能性が高い。

3Gにおいては、そのカバーエリアは屋外においては全国稠密であり、当然モビリティ性能は高い。また、品質は当初回線交換(CS)で提供される音声・映像系は高品質であるが、パケット(PS)で提供されるデータ系サービスについては、高速領域ではベストエフォート型となる。一方、non-3Gにおいては、そのカバーエリアは当初は家庭・構内と屋外でもホットスポットのみであり、モビリティ性能は低い。ホットスポットが徐々に面的にひろがることにより、モビリティ能力も向上し、カバレッジの面でも3Gと競合するエリアが増えることになる(図面斜線部分)。品質は、ユーザ数の限定される家庭・構内の固定領域では高く、広帯域のサービスが受けられる。また、屋外のホットスポットではベストエフォート型となる。

3Gキャリア、non-3Gプレイヤーは、それぞれ以上のようなサービスの特性を持ちつつ、これを高度化することによって、ユーザへの浸透を図ることとなる。それぞれの項目で重

複部分が増えることによってユーザにとっては二者択一の可能性も高まるため、マーケットが大きく変化する可能性が出てくる。それが複数のシナリオを生む原因である。なお、これらの重複領域に対して、公共の固定ネットワークと個人ユーザの私的な無線アクセスやそのマルチホップ接続の協調によって同等のモバイルサービスが無料通信で提供されるようなことになれば、主導的通信事業者が存在しないような事態が生じる（主導プレイヤー不在シナリオ）。

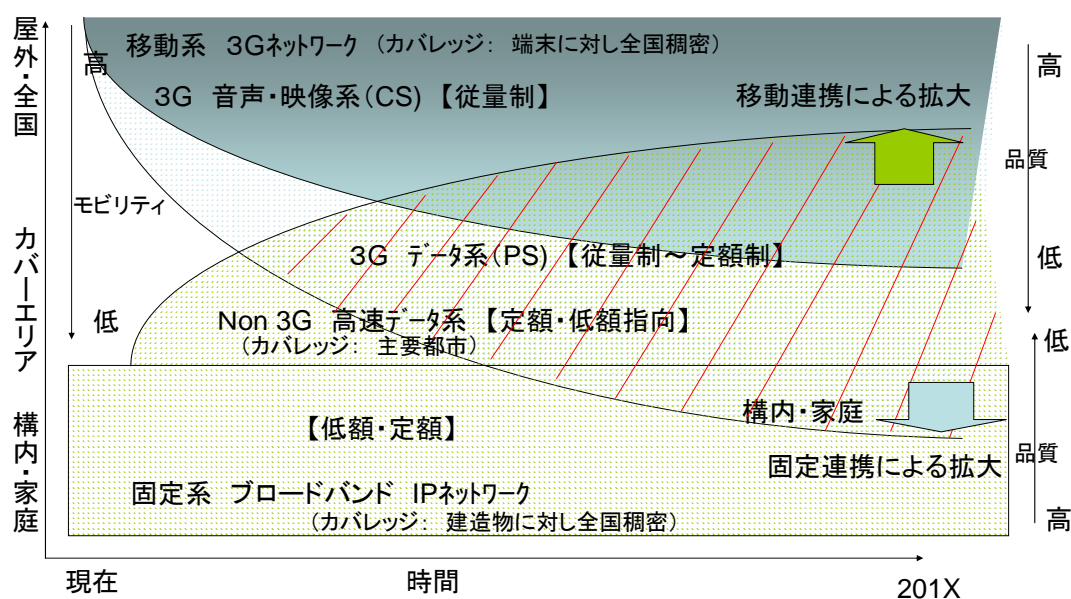


図3. 2. 3 3G と non-3G サービスの競合状況

次に、図3. 2. 2に示したシナリオ毎の3Gキャリアの戦略から、3Gキャリアにとってのビジネス要求条件とターゲットネットワークを抽出する。

(1) シナリオ1<3Gキャリア主導>：このシナリオでは、3Gキャリアが主導権を握ることになるので、3Gキャリア同士の競争に対して勝つためのネットワークを構築することが必要となる。競争戦略から見ると、選択肢は次の二つと考えられる。

①選択肢1： 携帯電話向きのサービスは従来の3Gで提供することとして、ニッチなnon-3Gサービスを囲い込むため、低額・定額サービスを可能とする低コストなIPネットワークを別に構築する。

②選択肢2： 3Gに再投資して3Gネットワークを低コスト・高度化して従来の3Gサービスを巻き取るとともに、第4世代への移行も可能な高度IPネットワーク化を目指す。

なお、選択肢1の場合でも、いずれ4Gへの移行が生じるので、当面の需要へは既存3Gと低コストIPネットワークで対応するとしても、4Gが収容できる高度なIPネットワー

クへの設備更改は生じる。

(2) シナリオ 2 <新旧主導権争い>： このシナリオでは、3G キャリアと non-3G 新規プレイヤーの競争となる。ユーザは音声系や携帯電話端末にあったサービスは 3G で行い、それ以外の高速データサービス等は non-3G を利用するといったすみ分けを行なうと考えられるが、4G の時代には、これらのサービスを総合的に提供するユーザコンタクトを持つことがユーザ獲得・維持につながると考えられ、シームレスなサービスを提供するサービス統合能力を有したネットワーク構築が望まれる。

そこで 3G キャリアのとるべき道は、マスに受け入れられた 3G ネットワークは大きくいじらず、高速データサービスの分野で新規プレイヤーと競争可能とする 超低コスト IP ネットワーク を構築すること、そして、3G と non-3G に共通に利用できるサービスプラットフォームを構築することで、3G と non-3G の連携によるユーザコンタクトの強化・差別化を図ることである。

(3) シナリオ 3 <新規プレイヤー主導>： このシナリオでは、3G は特定のビジネスユースに限られたマーケットに縮小していくことが想定され、3G ネットワーク自体の拡大は考えにくい。そこで 3G キャリアとしては、3G の維持強化によってニッチを押さえるとともに、高度な non-3G 向けの IP ネットワーク を構築し、自ら新規参入者となって non-3G プレイヤとして戦うということが必要となる。

なお 3G ネットワークの収容余裕がでるため、独自のサービス提供以外に MVNO 化を図ることも考えられる。

(4) シナリオ 4 <主導プレイヤー不在>： このシナリオでは、固定公共インフラとそこに接続された無線アクセス（無線 LAN 等）の開放、およびユーザ設備を用いたアドホック無線による P2P 通信によって、ほとんどのユーザが無料通信を利用するケースである。このような状態が起これば、有料通信サービスプロバイダは壊滅的な打撃をうけ、主要なプレイヤーは不在となる。このような場合でも、特定有料セグメントの維持のためミニマムの 3G ネットワーク維持と無料通信の不足要素（信頼性や機能的な制約）を補うことで利益をえる事業への転換が、生き残りのためには必要である。ホットスポット間のモビリティを維持するためのモビリティ制御サポートやサービスオーバーレイにより無料ネットを活用した新たな情報流通サービスを提供する等の可能性あり。このケースでは、あらたなネットワークの構築は困難かもしれないが、求められる能力としては 高度な制御能力をもったネットワーク ということになる。

以上の分析から、3G キャリアにとってのビジネス要求条件とターゲットネットワークモデルを整理すると、IP ベースであることは前提として、以下のようになる。

① 通信キャリアが 3G で成功する（マスを獲得）状況では、non-3G 系アクセスサービスのためのコアネットワークは、3G と補完性の高いデータ向き（ベストエフォートタイプでよい）の 超低コスト・IP ネットワーク 【ターゲットネットワークモデル B】

を用意することが重要。

- ② 3G が non-3G サービス（定額・低額の有料～無料）にマスを奪われてマーケットを失うことになると、マーケットでは高品質を要求される音声系トラフィックを含めて non-3G 系がサポートすることが必要となる。そのため 3G ネットワークに代わる、低コストだが品質や安全性が高く複数アクセス間シームレス接続等高度なモビリティも提供できる キャリアグレードの高度化 IP ネットワーク【ターゲットネットワークモデル A】 を提供することが、non-3G 系の新規プレイヤーと（差異化して）戦うために求められる。
- ③ いずれにせよ、non-3G 系サービスは、トラフィックを運ぶことに関しては、低額・定額となる方向は避けられないと考えられ、これを収容するネットワークについては、（キャリアグレード化したとしても）極力低コスト化を図ることは必須。また、サービス差異化のために 付加サービスの提供能力（端末とプラットフォーム機能連携による伝達網へのサービスオーバーレイ）は必須のビジネス要求条件となる。

以上の結果をまとめて、シナリオ分類図上に表現したものを図 3. 2. 4 に示す。

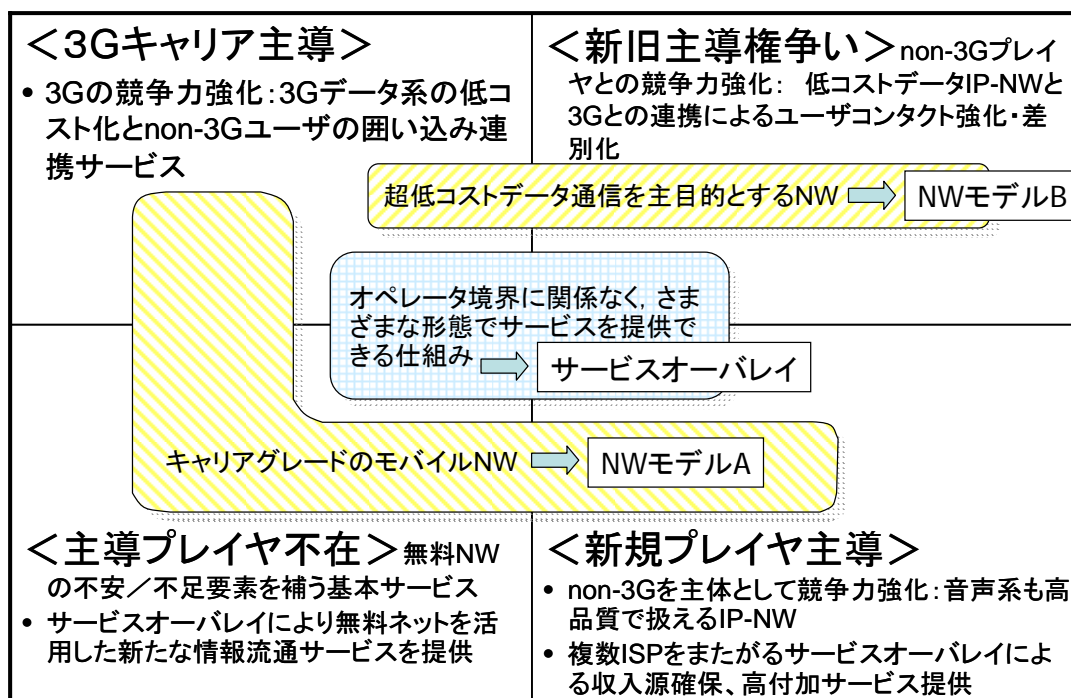


図 3. 2. 4 各シナリオに対応したターゲットネットワークモデル

3. 2. 3 ターゲットネットワークモデルへの技術的要求条件と開発アプローチ

将来ビジネス環境の多様性を考慮すると、そのシナリオによって次世代ネットワークとして準備すべきターゲットネットワークモデルは大きく二つのタイプが考えられることを前節で述べた。ここでは、この二つのターゲットモデルから技術的要求条件を抽出する。

両ターゲットネットワークの能力の特徴は、現在の3Gネットワークを軸に考えると、3Gサービスで当面戦うことを前提として、この能力を向上、長期的にはリプレースする機能能力を重視したもの（モデルA）と、3Gではカバーしきれないコスト・性能の補完性を重視したもの（モデルB）とみなせる。これらの相違は、通信品質やネットワークの安全性、信頼性、モビリティ制御性能等の実現レベルに対する要求仕様の相違となって現れており、技術的には、これを実現するシステム（ルータやサーバ）における制御機能の豊富さや性能の条件の相違となって現れ、一般的にはネットワークコストに反映される。要求項目の多いモデルAに、多くの要求条件と高いレベルが課せられることになるため、特に、標準的な機能で実現できない場合はコスト的には高価となる。一方、モデルBについては、IPによる高速化、大容量化といった性能面ではすでにインターネット利用において飛躍的に進歩しており、モビリティ制御等、モデルネットワークに特定の機能への要求条件が強くないことから、比較的容易に高いコスト／性能比が得られるものと考えられる。主要項目について、両者の要求条件をまとめたものを表3. 2. 1に示す。

3. 2. 2節のシナリオ分析から、いずれにせよ、当面、既存3Gネットワークの他に異質なIPネットワーク（タイプAまたはタイプB）が並存することになるが、あらゆるアクセス方式を収容する4Gの時代へ向けての開発アプローチとしては、まずnon-3G向けに構築した超低コストIPネットワーク（タイプB）を基盤として構築し、これを3G、4Gのキャリアサービスをも吸収できる高度なモビリティや高品質ネットワーク（タイプA）へ、必要なタイミングで円滑に高度化できることが望ましいといえる。

表 3. 2. 1 ターゲットネットワークと要求条件

ターゲットネットワークモデル	キャリアグレードモバイルネットワーク(モデルA)	高速データ指向ネットワーク(モデルB)
タイプの特徴(3Gとの対比)	3Gネットワークを包含(リプレース可能、アップワードコンパチ)しうる能力のキャリアグレードIPネットワーク	3Gとは独立の、3Gサービス補完型のブロードバンドデータ指向IPネットワーク
ビジネス要求条件(重視する条件)	<p><マーケットからの要求> 既存3G能力を安く 高信頼性、高品質NW 安心・安全なNW 電話サービスレベル維持</p> <p><事業者内からの要求> 3Gをリプレースできる能力 4G時代のコアとして利用 & non-3Gも収容可能 3G以上の性能/価格比 セキュリティ保障し易いシステム 差異化のための独自技術許容</p>	<p><マーケットからの要求> non-3G系アクセスによる新たな通信サービス提供. 高速性、低額・定額重視. 品質やカバレッジの制約はある程度許容可能 電話サービス機能は限定的で可. インターネットサービス活用 オープン化志向</p> <p><事業者内からの要求> 3Gを補完するデータ通信の新領域の開拓 セキュリティ保障の工夫 低コスト化のための汎用標準技術</p>
技術要求条件(重点課題)	リアルタイム系サービスをサポートできるモビリティ制御およびQoS制御の提供 3G以上のセキュリティ維持、ユーザ情報保護能力	モビリティ、QoS等の高度化; (インターネット標準準拠技術による低コスト化を考慮すると、標準に影響を与えない範囲で可能な方式)

3. 3 次世代モバイルネットワークの構成法

3. 3. 1 ネットワークデザイン方針

(1) ネットワーク構成法の思想：キャリア型からインターネット型へ

既存の電気通信網の代表である電話網は、歴史的に、稀少な長距離伝送路を有効利用するために加入者アクセスと中継多重化のため（回線）交換ノードをネットワーク上に配備し、発呼時の呼損を許容する代わりに、接続した回線は品質を保証してきた。したがって、接続時間と距離（伝送路の利用量）によって通信料金に差をつけ、ユーザ利用の公平化を実現してきた。また、一国内では、通常ひとつのネットワーク事業者がエンドーエンドの接続を提供し、公共的サービスとして電話サービスの品質と信頼性を保障することが基本であった。サービスに関しては、電話通話という単一サービスであり、端末は基本的に単純機能（**dumb**）でよく、ネットワークが集中したコネクション制御やその高度化を司ってきた。

この“ネットワーク・セントリック(集中化)”および“ネットワーク・インテリジェンス(高度化)”の思想が従来のキャリアネットワーク制御の基本であった。

一方、インターネットは、エンドホストのコンピューティングパワーを共有するためのネットワークであり、特定の OS やコンピュータアーキテクチャに依存しない、誰もが接続できるオープンな通信仕様を原則としている。ネットワーク構成としては、各々が自律的に管理され動作するローカルネットワーク間の相互接続（**internetworking**）による自律分散型ネットワークである。したがってネットワークインフラもサービスも、単一あるいは特定のネットワーク事業者に依存するものではなく、伝送路に過大な品質も期待せず、必要に応じエンドホストの機能により品質維持をする方式である。サービスもエンドホストにより豊富化され、ネットワークはベストエフォートで情報の転送に専念する。ネットワークが単純機能（**dumb**）で端末がインテリジェント化するという、キャリアネットワークと正反対の“エンド・エンド・プリシプル”および“エンド・インテリジェンス”思想がインターネット制御の特徴である。

以上のように電話網とインターネットでは基本的なネットワーク構成に関する思想、技術方式の相違があるが、これらは、その生い立ちや発展形態等の背景の相違によるものでもあるといえる。両者の特徴の対比を示したものを表 3. 3. 1 にまとめる。

キャリア通信ネットワークにおいては、電話サービスだけでなくインターネットで提供されるデータ系サービスも含め様々なサービスを統合して提供していくことを考えると、従来のネットワーク構成の思想では行き詰まりがくることは明らかであり、インターネットの考え方を取り入れ、サービス提供のために汎用性がありシンプルで低廉な IP 技術を用いたネットワーク構成法（IP プラットフォーム）に進んでいくことは明らかである。同時にキャリアネットワークとしては、公衆サービスとしての品質、安全性をこれまで同様

維持していくことが求められ、これを満たす IP ネットワーク化の検討が重要と考えられる。

表 3. 3. 1 電気通信網（電話網）とインターネットの比較

	電話網	インターネット
発展経緯	1対1からN対Nへ 単一ネットワーク内の効率的な接続の 追及 (国家的)インフラとしてクローズド で計画経済的な発展	LANからLAN間接続へ 分散的なネットワークのネットワークとし ての接続性 集中管理をせず市場経済的に発展
市場形成	規制のもと独占的企業 保護されたローカル・国内市場 特にローカル市場で参入障壁高い	非規制プロバイダ グローバル市場でグローバル競争 参入障壁低い
ビジネスモデル・課金モデル	限られたリソースの有効利用で稼ぐ ネットワーク使用量に見合う課金	豊富な帯域を用意し、利用高度化(情報ア クセス、情報管理等)で稼ぐ 帯域見合いの定額アクセス料 情報の価値に対して別途料金を払う 無料ISPなど多様なビジネスモデルの登場
ネットワーク と端末	Smartネットワーク / Stupid 端末 網機能高度化によるサービス拡張 キャリア独自のサービス 【ネットワーク・インテリジェンス】	Stupid ネットワーク / Smart 端末 端末機能高度化によるサービス拡張 サードパーティ(ASP等)のサービス 【エンド・エンド・インテリジェンス】
システム開発 手法	限られた大ベンダ(キャリアとの長期 的なパートナー) 大人数・長期開発 厳格な仕様・高品質 ベンダ・キャリア独自の仕様多し	多くの中小ベンダ(ベンチャー) 少人数・短期開発 中途仕様でも製品化・動かしながら改良 オープンな技術(指向)
信頼性・可用性	最重点	レベル低下を許容
セキュリティ	常に確保	End-Endで必要に応じて
通信品質・QoS	ネットワークによる高度保証	原則ベストエフォート、必要に応じてネッ トワークと端末(アプリレイヤ)で保証
トラフィック エンジニアリ ング	集中管理に基づく呼の抑制など	(関係する全ユーザの)サービスの質が低 下する
アクセス	均一	アクセス手段は多様で、速度も様々 個々のトラフィック特性は利用アプリによ って大きく変化

(2) モバイルネットワークの特徴と課題

以上はキャリアネットワークの構成論の一般的方向性を述べたが、移動網（モバイルネットワーク）においても、電話サービスのためのキャリアネットワークとして出発し、データ系サービスへの発展という同様の道筋をたどってきたことから、固定網と同様な発展の方向性、即ち IP プラットフォーム化が想定される。ただし、もともとインターネットには想定されていない端末（ホスト）の移動性（モビリティ）が加わることで、端末にもネットワークにも新たな要求条件が生じる。したがって、IP 技術のモバイルネットワークへの適用については、更なる考察が必要である。モバイルネットワークについて、固定網と同様な観点でその特徴をまとめたものを表 3. 3. 2 に示す。

表 3. 3. 2 モバイルネットワークの特徴

市場形成	(国家的)周波数資産の割当てに基づくキャリア網として発展(ただし競争下)しかし、無線 LAN 等からのインターネット的發展の可能性はある
ビジネスモデル・課金モデル	コア網は十分なキャパシティ 無線アクセス部分はリソースが限られるため完全な定額性は困難
ネットワークと端末	端末は高機能化、サービス性は端末の能力に左右される 一方、バッテリーによる利用時間や大きさの制限があり、機能的には制約大 完全な常時接続は無理 (→ネットワークとエンドインテリジェンスの融合)
システム開発手法	これまでは、限定ベンダ (→今後、多くのベンダによる迅速な開発と展開)
サービス展開	キャリアドリブン (→今後、アプリの多様化は、サードパーティ ASP に支えられ、ネットワークからのアプリダウンロードによるユーザ選択の拡大)
信頼性・可用性	いつでも必ず繋がるキャリアグレードレベル
セキュリティ	誰でも安心して使えるキャリアグレードレベル
通話品質・QoS	高い品質を提供は基本条件 しかし、無線部分まで含めた完全な QoS 保証は困難 また IP 電話等では、ベストエフォートの品質も許容
モビリティ	移動制御(高速ハンドオーバー)、位置管理、ローミング能力の配備 複数アクセス間移動でのサービスの継続性(シームレス性)
トラフィックエンジニアリング	端末/サーバの移動によるトラフィックパターンが動的に変化
アクセス	個々の無線特性が動的に変わりうる セルラー、無線 LAN、Bluetooth など多様なアクセス方式 複数アクセス間の移動が生じ、シームレスなサービス継続も求められる 極めて多くの端末が一箇所に集中することがありえる →新たなトラフィック制御、ルーティング制御の必要性

これらの特徴から、モバイルネットワーク独自の要求条件がみちびかれる。すなわちデータを転送するという基本的なトランスポート技術やモビリティに関わらないネットワー

ク制御機能については、固定網と同様、IP 技術にもとづくオープンなシステム化技術が有効であるが、モバイルネットワークに特徴的な要求にどう対応するかが新たな課題となってくる。

モビリティから生じる課題の一例あげると以下のようなものである。

- ① 無線アクセスによる移動性を重視した端末であるため、端末における電力消費や処理能力に制約が生じる。これを補うため、端末とネットワークの間の適切な機能・性能分担が行われるべき。
- ② 端末が移動する環境で、コネクションを生成し、維持するため端末の位置情報の管理とコネクションハンドオーバー機能が必要。アクセス無線方式が複数にわたる場合は、それらのアクセスネットワーク方式の相違を意識させないシームレスなハンドオーバーが必要。
- ③ 端末の移動にともなうトラフィックの変動に耐える柔軟なトラフィック制御、ルーティング制御が必要。

これらの移動特有の課題を吸収する次世代のモバイルネットワーク構築は、伝達技術を単に IP 化すればよいというものではなく、またインターネットのアーキテクチャ、設計思想をそのままもってくるということでは困難である。IP 技術とインターネットアーキテクチャの特徴を生かしつつ、キャリアネットワークとして維持すべき条件をクリアする新たな設計法が必要である。

(3) モバイルネットワークのアーキテクチャ設計方針

モバイルネットワークとしての構成法を整理するため、これまでのキャリアネットワークとしての設計方針を整理する [31], [32]。これまでの第1世代から第3世代までのネットワーク構築を通して、ネットワーク機能・性能・構造に関して、以下のような設計方針が形成されている。

設計方針 1: 無線周波数の有効利用

無線周波数は限られた資源であるので、これをボトルネックとさせないために無線インタフェースを介する制御メッセージ（レイヤ3以上の制御信号）のサイズを小さくする、あるいは冗長なメッセージのやり取りを避けるという手段により、その利用効率を高めることが重視されるべき。

この考えは、実際のモバイルネットワークの設計において以下のように実践されている。第1世代（1G）の無線インタフェースでは、その信号方式は、そもそも音声接続向け専用でありシンプルでコンパクトであった。2G においては、信号方式は、機能高度化のために Radio Resource Management (RRM)、Mobility Management (MM)、Call Control

(CC) に分離されたが、RRM と MM では当初から効率性は重視された設計がなされた。一方で、CC では様々なネットワークサービスを提供するために柔軟性が要求されるため、固定網の ISDN プロトコルが CC のベースとして採用されたが、やはり効率性からいくつかのパラメータは削除され、制御メッセージも、サービスの拡張性に大きな影響を与えない範囲で削減された。このように、無線周波数の有効利用を意識したネットワーク設計が実施されている。

設計方針 2: ネットワーク内部のノードの（ユーザからの）隠蔽

インターネットで生じているような DDoS 攻撃のようなリスクを可能な限り低減するために、移動管理を含むネットワークの制御機能を実現する制御ノードは、ユーザ端末から隠蔽されるべきである。これはまた、移動網内の各種制御機能の配備に自由度を持たせるためにも必要である。さらに、サービスの発展を柔軟に実現するためには、端末インタフェースを介したネットワーク制御のやり取りとノード間の制御・管理は独立であるべきである。

従来キャリアネットワークにおいては、ネットワークノードはユーザから隠蔽されており、また、無線インタフェース上の信号方式（ユーザ・網インタフェース [UNI] プロトコル）は、独立的な改良、開発、取換を実現するため、ネットワーク内部のノード間の信号方式（ネットワーク・ノードインタフェース [NNI] プロトコル）とは分離して実装されてきたという実績がある。こういった“クローズドモデル”によってネットワークの安全性とある種の柔軟性を築いてきた。端末能力が飛躍的に向上してきた現時点においては、すべての制御機能を網内に閉じるという方式は望ましくなく、特にサービスの多様化の観点からはアプリケーションレベルの自由度を高めるために端末機能のあるレベルでオープンにしていくことは必要であるが、移動管理・制御といったネットワークの基本機能については、ネットワーク安全保障と効率化の点で、キャリアが責任をもって制御することは重要な条件と考えられる。

設計方針 3: 経路の最適化を中心としたネットワーク資源の効率的利用

データ伝送のオーバーヘッドは最小化されなければならない。また、データは発信ネットワークから着信ネットワークまで効率的に（最適ルートで）伝達されるべきである。

トラヒックの効果的な伝送は、移動網のみならず通信ネットワーク設計において基本的な方針であるといえる。これはつねに経済的なサービスを提供することが使命のひとつであるキャリアにとっては当然である。また、経路最適化によって、資源利用の効率化とともに伝送遅延を最小化し通信品質を上げることも、多様なサービスを提供するキャリアにとっては重要な設計指針となる。

設計方針 4: 移動端末位置情報の機密性保持

移動端末のロケーションプライバシーは、通信相手を含む、いかなる第 3 者に対しても守らるべきである。

端末が個人によって常時携帯されるモバイルサービスでは、端末の位置がわかることによりユーザの居場所もわかることになる。位置情報は、通常個人にとってのプライバシーであり、安心・安全の観点からも、これが第 3 者に本人の許可なく開示されることは許容できないことである。したがって、現在のモバイルネットワークにおいては、基本方針として、移動端末の管理およびルーティング機能をネットワーク内に実装し、発信者に着信移動端末の位置を知らせることなくデータ伝送を可能とするようになっている。

以上、四つの設計方針は、3G ネットワークの能力を包含すべきターゲットネットワークであるタイプ A の場合は、必須の条件として考える必要がある。

(4) インターネットデザイン思想とそのモバイルネットワークへの適用性

インターネットのアーキテクチャ原則として、IETF の文書である RFC1958 [33] には『目的 (goal) は接続性 (connectivity) の提供であり、その手段 (tool) はインターネットプロトコル、そして機能 (intelligence) はネットワークの中に隠されるよりもむしろエンド-エンドで実現される』(The goal is connectivity, the tool is the Internet Protocol, and the intelligence is end to end rather than hidden in the network.) と述べられている。

PC 等の端末能力の向上と、このエンド-エンド原則が相まって、インターネットは急速の成長を遂げてきたという事実がある。しかし、本節 (2) 項で指摘したように端末への制約が強いモバイルサービスを実現するには、固定サービスを中心として発展したインターネットにおけるエンド-エンド原則が相応しいかどうかをよく検討する必要がある。また、キャリアネットワークとしてモバイルサービスを提供する場合、オープンでエンド-エンド原則を基本とする IP 技術をネットワークに導入するとして、(3) 項で述べた設計方針との整合をどのようにとるかについて十分な考察が必要である。

現時点では、インターネットにおいてモバイルサービスといえるネットワークサービスを本格的に提供しているのは、日本の i-mode[34]を代表とする所謂「モバイルインターネット」しかない。これは、インターネットの中にモビリティ制御機能が入れているのではなく、モバイルネットワークのモビリティ機能をもつ携帯端末からインターネットへアクセスするサービスとして実現されたものである。インターネット側は固定網としてコ

コンテンツサービスの多様化を担う一方で、モバイルネットワークがアクセスのセキュリティと端末の高速モビリティを確保している構造である。この様子を図3.3.1に示す。

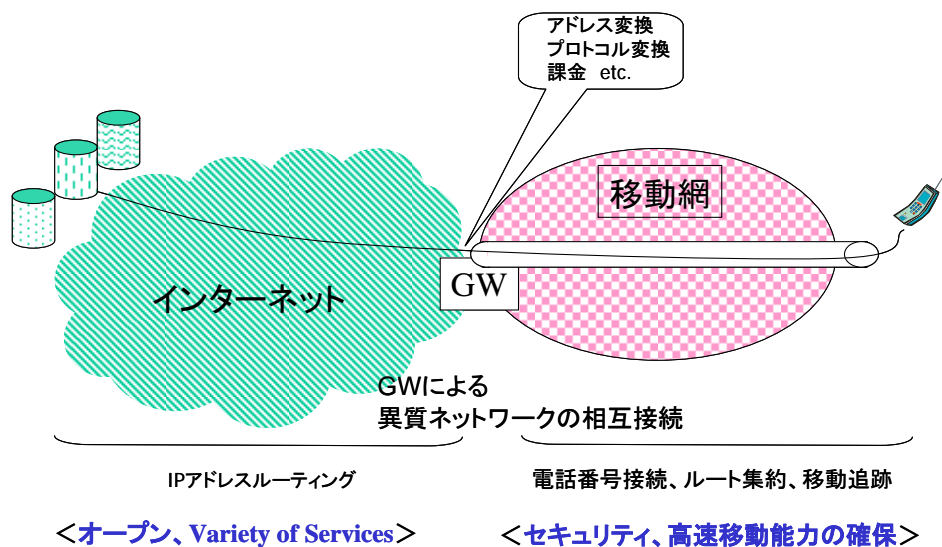


図3.3.1 移動網とインターネット：モバイルインターネットの現状

この構造から発展して、将来は双方のネットワークが融合された「モバイルインターネット」が構築されることが期待されるが、現在のモバイルネットワークとインターネットは、これまで述べてきたようにその設計思想も機能も異なり、また、インターネットサービスプロバイダと通信キャリアはビジネスモデルも異なるため、将来どのような発展を遂げるかは現時点では不明瞭である。

本論文では、キャリアモバイルネットワークを次世代に向けてどのように発展させるべきかというスタンスに立ち、インターネットの設計思想の優れた点を如何に取り入れ、またキャリアネットワークとしての設計思想とどのように整合すべきかという視点で、以降の議論を進める。理想的には、図3.3.2に示すように、両者がそれぞれの特徴をもって融合し、あらたなアーキテクチャとして、サービス開発に対する **Open** 性を維持しつつ、ネットワークとしての安全性のために、その制御能力を **Closed** な形で実現する“Controlled Transparency；制御された透過性” [35]が実現できることが期待される。

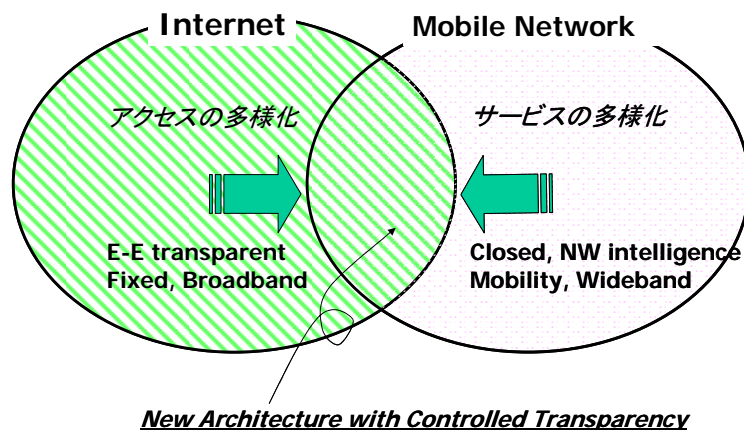


図 3. 3. 2 モバイルとインターネットの融合化

(5) デザイン思想のコンフリクトとあらたなデザイン方針の提案

モビリティ機能が（固定網と比して）モバイルネットワークを特徴づける機能であり、インターネットにおいても、“モバイル化”のために移動管理機能の検討が盛んに行われている。本節（3）項のモバイルネットワークの設計方針からみて、インターネットのモビリティ機能の設計にどのような相違、課題があるかを示す。

インターネット上での移動管理は“Mobile IP” [36]、[37]の名の下、仕様化が進んでいる。Mobile IP は、IP v 4 と IP v 6 では、異なるプロトコルで実現しているが、IPv6 になって、外部エージェント（Foreign Agent : FA）機能のエンドホスト端末への組み込み、相手ノード（Corresponding Node : CN）へのロケーションアドレスの通知によるエンド-エンド直接パスによる経路最適化の導入等により、エンド-エンド原則がより重視されてきている。

この Mobile IP 技術は、モバイルネットワークへの利用を考えた場合、高速移動下でのハンドオーバー品質上の課題が指摘されているが[38]、[39]、ここでは、モバイルネットワークの設計方針と照らし合わせて機能上の課題点を整理する。

a) 冗長メッセージパケット

端末移動にともない、ネットワーク上の経路切り替え（ハンドオーバー）を起動するために、移動ホスト（Mobile Host : MH）からホームエージェント（Home Agent: HA）に対して無線インタフェースを通して制御メッセージを送るプロトコル方式をとっている。これはホットスポットで使われている無線 LAN システムのように、ネットワーク側がハンドオーバー起動機能を持たないような無線システムにおいては必要な機能である。また、

インターネットにおいては、伝送媒体に依存しないことをひとつの設計思想としているため、端末が移動することによって IP アドレスが変わることに対しては、これを IP パケットで（アプリケーション層の制御メッセージとして）でネットワークへ通知するという方式は、その思想に沿ったものといえる。しかしながら、セルラーネットワークのように、無線基地局側の無線資源管理機構（Radio Resource Management: RRM）が無線リンクレベルでの監視で端末の移動を検出できることを考えれば、網内で経路切り替えを起動することは可能であり、この種の制御メッセージパケットを無線区間を通じて端末側から送ることは冗長で、避けるべきである（設計方針 1 関連）。

b) ホームエージェントアドレスの露出による安全性の問題

移動制御メッセージは、移動ホストからホームエージェント（HA）に対して HA の IP アドレスを使って送られる。このため、どの MH も HA のアドレスを知っている必要がある、HA が悪意の MH によって攻撃にさらされる可能性があるということである。（設計方針 2 関連）。

c) カプセルングを用いた網内ルーティングによるオーバーヘッド

相手ノード（Corresponding Node: CN）からのデータは HA でカプセル化した後、気付けアドレスにもとづいて MH に転送される。このカプセル化はネットワーク資源に対しオーバーヘッドになってしまう（設計方針 3 関連）。

d) 位置情報の漏洩問題

HA を経由したトロンボーン・ルーティングをさけるため、Mobile IP では相手ノード CN から移動ホスト MH に対して（HA を介さず）直接 IP パケットを転送する最適ルーティング方式を実装している。これは具体的には、MH が CN に対して自分の気付けアドレスを直接通知する方法による。これにより CN は MH の IP アドレスを知りえることになり、これは MH のネットワーク上の収容位置がわかることであり、この収容ルータの地理的な場所を同定することができれば、MH のユーザの場所がある程度の範囲で特定できてしまうことになる（設計方針 4 関連）。

以上の Mobile IP がもつ、モバイルネットワークからみた問題点を図 3. 3. 3 にまとめる。

これらの問題が生じる原因は、IP アドレスの二義性（ホスト識別子とルーティングアドレスの二つの意味をもつ）とエンドーエンド原則で制御を行うというインターネットのアーキテクチャによると考えられる。IP アドレスの二義性に対応するために、Mobile IP においては、ホームアドレスと気付けアドレスの二つのアドレスを導入し、経路変更のため

に、移動端末からの気付けアドレス通知を実施している。そこで本論文では、IP アドレスを用いた IP ルーティングという考え方は維持しつつ、キャリアモバイルネットワークとしての設計方針を維持できる独自の方法を提案する。詳細については、3. 3. 3 節において述べるが、新たなデザイン方針としては移動制御に関わる端末の負荷をできるだけ減らすという考え方をとる。具体的には、

- 1) 端末の移動透過性を可能なかぎり維持する
- 2) 無線区間上の制御メッセージの往来を可能な限り減らす
- 3) 網内でのルーティング処理は網内で閉じる
- 4) ロケーション管理も網内で行い、端末にスリープモードを導入する

等の方針を導入する。

結果として、移動管理・制御に関しては、エンド（端末）のインテリジェンスに依存するのではなく、ネットワーク側にインテリジェンスを置くという IP ネットワーキングにおける新たなデザイン方針の提案である。

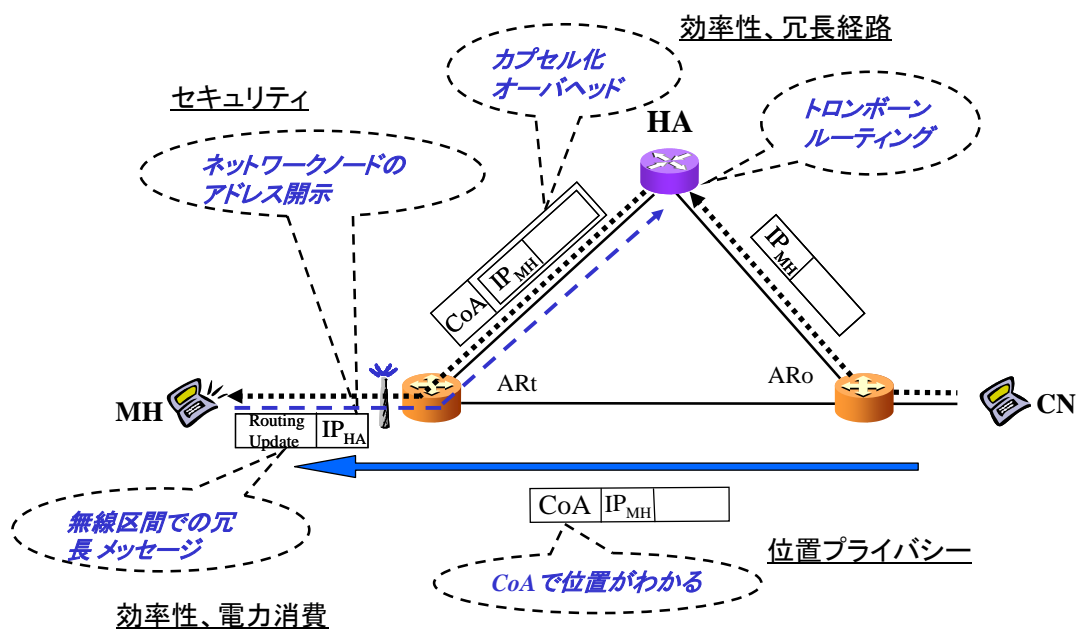


図 3. 3. 3 モバイルネットワークからみた Mobile IP の問題点

3. 3. 2 次世代モバイルネットワークのアーキテクチャ

(1) 要求条件

次世代モバイルネットワークを構築するにあたって、最終的なターゲットネットワークとして、4G時代のマルチメディアサービスをサポートできるキャリアグレードの高度化IPネットワークを実現することを想定することとし、そのための主要要求条件をまとめると以下のようなになる[40], [41], [42]。

- 大容量マルチメディアトラフィックの効率的転送
 - リアルタイム系IPトラフィックへのQoS制御能力の提供と低コスト化
- 多様な無線アクセスのサポート
 - 無線LAN等の収容や多様な速度クラスへの対応
- モビリティ制御の高度化/効率化
 - 多様な移動ユーザに対してモビリティマネジメント(位置登録、呼び出し、ハンドオーバー機能等)を柔軟かつ高品質に実施
 - 複数種無線アクセス間のシームレスなハンドオーバーの実現
- シームレスサービスの提供
 - 移動網間ローミングから異種ネットワーク間、異種端末間へ
- サービスオーバーレイを支える支援プラットフォームの提供
 - サービス豊富化のためのネットワーク機能の切り出し(API提供)、あるいは端末サービス能力のネットワークからの支援

これらの項目について、その考え方を以下に述べる。

a) 大容量マルチメディアトラフィックの効率的転送

移動網においては、インターネットとの接続によって大量のIPデータトラフィックが流入してきているが、3Gアクセス、無線LANあるいはそれ以降の高速アクセスの導入によって、大容量のファイル情報のみならず、リアルタイムのマルチメディア系トラフィックも確実に増加する。音声系トラフィックも現在の音声品質に匹敵するIPマルチメディアトラフィックとして処理されることが十分に予想できる。これらから今後の移動網は膨大なIPマルチメディアトラフィックを効率的かつ安価に扱うことが基本条件として要求される。

b) モビリティ制御の高度化、効率化

移動網で扱う信号トラフィックの中では、モビリティを制御するための信号が大きなウェイトを占めている。ユビキタス時代を迎え、人のみならず、さまざまなモノ、動物、流通物品などもモビリティの管理対象とする次世代移動網においては、モビリティ管理・制御の効率化が重要な課題の1つとして挙げられる。第3世代(3G)までのモビリティ制御は、自動車のような高速に移動する対象

物に対して最適になるように設計されており、対象物によってモビリティ方式を変えるようなことはしていない。しかし、殆ど移動しない自動販売機、計画的に移動する鉄道車両、特定地域に移動範囲が限定される人々などについて、それぞれのモビリティ管理制御方法を多様化(個別化)することによりモビリティ制御に必要な信号トラフィックが削減され、その結果、管理コストを削減できることが予想される。

さらに、今後の移動端末(管理対象)の多様化、通信形態の多様化を考えると、単に信号トラフィックを削減するだけでなく、新たなサービスの創造に向け多様なモビリティ制御が必要となる。例えば、アドホックネットワークと連携したモビリティ制御およびそのグルーピングを考慮したハンドオーバーなどが重要な検討要素として挙げられる。

多様に増加するユーザに対して、効率的で柔軟かつ多様なモビリティを提供することが要求される。

c) 多様な無線アクセスのサポート

3G の W-CDMA を始めとし、下りリンク高速パケットアクセス(HSDPA: High Speed Downlink Packet Access)、無線 LAN、WiMAX さらには第 4 世代(4G)無線アクセスなどのさまざまなアクセス系の出現が予想され、これら多種類のアクセスを即時にかつネットワークへの影響を少なく収容できる仕組みが期待される。また、無線制御においては、さまざまなサービス品質(Quality of Service : QoS)制御を提供できるとともに、上りと下りの伝送速度は独立かつ柔軟に制御できることが期待される。このように多様な無線アクセスを柔軟に収容し、かつそれらの異なるアクセス間においても一貫した制御をサポートできることが要求される。

d) シームレスサービスのサポート

移動網が異種の複数の無線アクセスをサポートすることを考えると、ユーザが通信中に異なる無線アクセス間を移動しても通信を切断することなく、アクセス手段を円滑に切り替えることが要求される(“ネットワークシームレス”)。例えば、屋内の無線 LAN 環境から屋外にでて、3G ネットワーク上で継続してストリーミングデータを受信し続けるという場合があげられる。

また情報家電や街角のキオスク端末を含め、ユーザが置かれている環境に応じて利用する端末を変えたいという要求が生じることを考えると、利用中のサービスを利用中の端末から別の端末に移動させて、サービスを継続させることが要求される(“デバイスシームレス”)。例としては、ユーザが会社で固定端末を用いてTV 会議をしている最中に外出する必要がある場合、このサービスを携帯端末に移しサービスを継続させることがあげられる。

さらに、サービス提供端末の変更あるいはユーザの状況変化に伴い、サービス内容(コンテンツ、メディア)を変更することが要求される場合も考えられ、これを実現することも求められる(“コンテンツシームレス”)。例としては、TV 会議から移動中は音声やテキストにメディアを変更してサービスを継続させるというようなことである。

以上のように、サービスの提供環境におけるさまざまな継ぎ目(シーム)でサービスを継続させるシームレスサービスを提供することが要求される。

e) 各種アプリケーションサービス提供のためのネットワークサポート

モバイルネットワークとインターネットを連結したモバイルインターネットサービスの普及に伴い、移動網オペレータとコンテンツやアプリケーションサービスのプロバイダとは、より一層の連携が必要になってくる。そのためサービスプロバイダが、モバイルユーザがもつめるサービスを迅速かつ容易に構築できるように、移動網の方で制御可能なサービス機能群を整え、これをプラットフォームとしてサービスプロバイダをサポートすることが期待される。これがネットワーク伝達層に対するサービスオーバレイの考えかたである。例えば、移動網がもつ加入者情報管理機能、課金機能、位置情報などを安全性の高い適切なアプリケーション・プログラミング・インタフェース(API)をもってサービスプロバイダへ提供することにより、それらを活用した新たなサービスの創出が期待される。

従来のインターネットの考え方は、サービスの豊富化はエンドにまかせ、キャリアはトラフィックの転送能力だけを提供して土管化するモデルである。しかし、モバイルネットワークの特質や携帯端末として能力に限界のあるホストの利用形態を生かしたコンテンツ、サービスの拡大のためには、ネットワークの情報とユーザの状況に関する情報を基盤にしたサービスサポート機能と連携することが重要である。この点は、第4章で述べるユビキタス時代のサービスにおいては特に重要である。それは、ユビキタス環境では、エンドホストはPCのように高度な処理能力をもつものを前提にはできず、また、きわめて多様な実世界情報(コンテキスト)が収集されてくるため、これらを管理して用途に応じた形で提供する機能がネットワーク上に必須となってくるためである。

以上、サービスプロバイダに対するサポート機能を充実させ、付加価値の高いサービスを創造するためのサポート環境(サービス支援プラットフォーム)を提供することが、新たなモバイルネットワークには要求される。

(2) All-IP モバイルネットワークアーキテクチャ

大容量マルチメディアトラフィック処理、高度な移動管理、多様な無線アクセス収容、シームレス/ユビキタスサービス支援といった、モバイルインターネットの主要要求条件を満たすIPベースのネットワークプラットフォームを提案する。本論文でも、既に発表しているとおりの[40],[41],[42]、このプラットフォームを IP-based IMT Network Platform (IP²) と呼ぶこととする。

図3.3.4にアーキテクチャ概要を示す。IP²アーキテクチャは、IPパケット転送に専念する転送網であるIP-BB(IP-Backbone)と、ネットワーク・インテリジェンスとして、高度なネットワーク制御を司るミドルウェア層から構成される。ミドルウェア層には、

今後の新しいサービスの生成を促進するためのサポート機能や、効率的なモビリティ制御を司る制御機能、高品質な通信を提供するための制御機能が必要である。これは、パケット転送機能と独立に発展させることが望ましく、IP-BB とミドルウェア層とは論理的に機能分離してモデル化を行う。さらに、ミドルウェア層は、ネットワーク制御プラットフォーム (NCPF : Network Control Platform) とサービスサポートプラットフォーム (SSPF : Service Support Platform) の2つのプラットフォームから構成される。今後、トランスポート制御機能とサービス高度化に伴うサポート機能も独立に発展して行くものと考えれば、これらの機能分離も行い、その発展に自由度を持たせることが望ましいとの考えに基づく。

NCPF には基本的な移動通信の管理に必要なモビリティ管理、セッション管理、QoS 管理、認証/承認、共通無線リソース管理といった機能が含まれる。異種アクセス間において、シームレスにサービスを継続させるためには、無線方式には依存しない共通のモビリティ管理機能が必要になるため、IP² では多様な無線技術、3G 無線アクセス (W-CDMA, HSDPA)、無線 LAN (W-LAN)、Bluetooth、4G 無線アクセスなど、個々の無線方式の違いを吸収し、これら異種無線アクセス間においても一括して移動制御できるアーキテクチャが要求される。

この構造を持つことにより、3. 2 節で述べた、二つのターゲットネットワークモデルタイプ B (高速データ向き IP ネットワーク) からタイプ A (キャリアクラス高機能型 IP ネットワーク) への円滑な機能高度化も実現が容易となる。

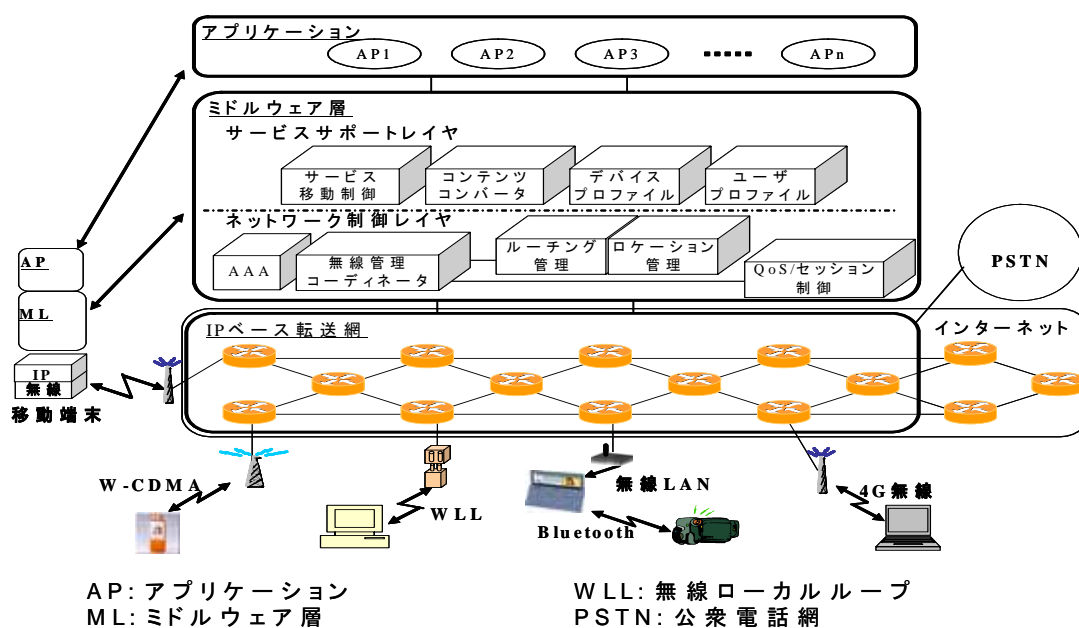


図 3. 3. 4 IP²のアーキテクチャ

SSPF はコンテンツ変換/配信に代表されるサービス機能群から構成される。更に、SSPF には位置情報サービスサポートのように移動通信特有なサービスを提供する機能も含まれる。これらの機能要素を総合的に用いることで、既述のシームレスサービスをユーザに対して提供することが可能となる。又、これらの機能群は、アプリケーションサービスに付加価値をつける上で NCPF と協調して動作する。

以下、IP² アーキテクチャの中で、移動網に特徴的な移動管理制御を中心とした考え方について議論する。インターネットにおけるエンド・エンド・インテリジェンス型の Mobile IP 技術に対し、ネットワーク・インテリジェンス型の移動管理方式の実現可能性を議論する。具体的には、ネットワークのエッジであるアクセスルータ AR に移動制御機能を集約し、網内の移動管理機構との連携によって、端末においては移動制御を可能な限り隠蔽(透過)するネットワークエッジモビリティ (Network Edge Mobility) 制御方式を提案する。

3. 3. 3 次世代ネットワークにおける移動管理方式の提案

(1) 無線リソース管理機能と移動管理機能の配備法と制御メッセージの転送法

IP²は将来のコアネットワークとして W-CDMA、W-LAN、HSDPA、4G 無線といった複数の無線アクセスシステムを円滑に収容できねばならない(3.3.2節 要求条件(c))。各無線アクセスシステムは、主にレイヤ1, 2の管理機能として、無線リンクや移動端末 MH が在圏する無線セルなどの無線リソースを監視することで、無線インタフェース上の MH の移動を管理する無線リソース管理機能 (Radio Resource Management :RRM) を持つ。それぞれの無線アクセスシステムは、その方式に応じて異なる RRM を実装していると考えられ、既存のものを含めたすべての無線アクセスシステムに対して、単一の RRM を再構築するという事は現実的ではない。そこで、それらに共通に記述できる無線リソース情報をあつかう機能を共通 RRM としてネットワーク内に配備し、アクセスルータ (Access Router : AR) を介して、それぞれの無線アクセスシステム固有の RRM とインタワークすることを考える。さらに、移動に伴う経路を管理する移動管理機能は、この共通 RRM との間で共通的なインタフェースで接続する。これらの接続構成を図 3. 3. 5 に示す。

以上のような考え方により、無線アクセス方式との独立性の高い移動管理制御を可能とし、新規の無線アクセスを追加するときも、移動管理機能に大きなインパクトを与えずにすむようになる。また、移動ホスト MH から移動管理機構への直接の移動制御メッセージも不要とする。

具体例として、ある無線システム (W-CDMA) から他の無線システム (4G 無線システム) へ MH が移動して異システム間のハンドオーバーが発生した場合の動作を説明する。

- ① W-CDMA の無線リンクは、MH と W-CDMA の個別 RRM との無線区間インタラクションにより移動（転出）が検出される解放される
- ② 4G の新しい無線リンクは、MH と 4G 用の個別 RRM とのインタラクションにより移動（転入）が確認されると確立される
- ③ この 4G の個別 RRM は、MH が新たに接続したアクセスポイント AP のアドレスと無線インタフェース上でのハンドオーバータイプ（品質条件等）を AR に教える
- ④ AR は NCPF 内の移動管理機構に該当 MH へ接続するための AR への転送用アドレスを教える。また無線インタフェース上のハンドオーバータイプと対応する経路切り替えタイプ（品質条件等）も通知される。

以上のような手続きにより、IP²の移動管理機構は移動ホスト MH との直接の情報交換ではなく、AR との情報交換によって動作することになる。無線インタフェース上での RRM メッセージは無線インタフェース上での MH 移動を検出通知するためだけに利用されるリンクレイヤに関する最小限の情報であり、Mobile IP 方式において、HA に移動情報である気付けアドレス（CoA）を通知するような、移動管理機構とのレイヤ 3 以上のメッセージのやりとりは行われない。これは無線資源の有効利用（設計方針 1）に合致するものである。

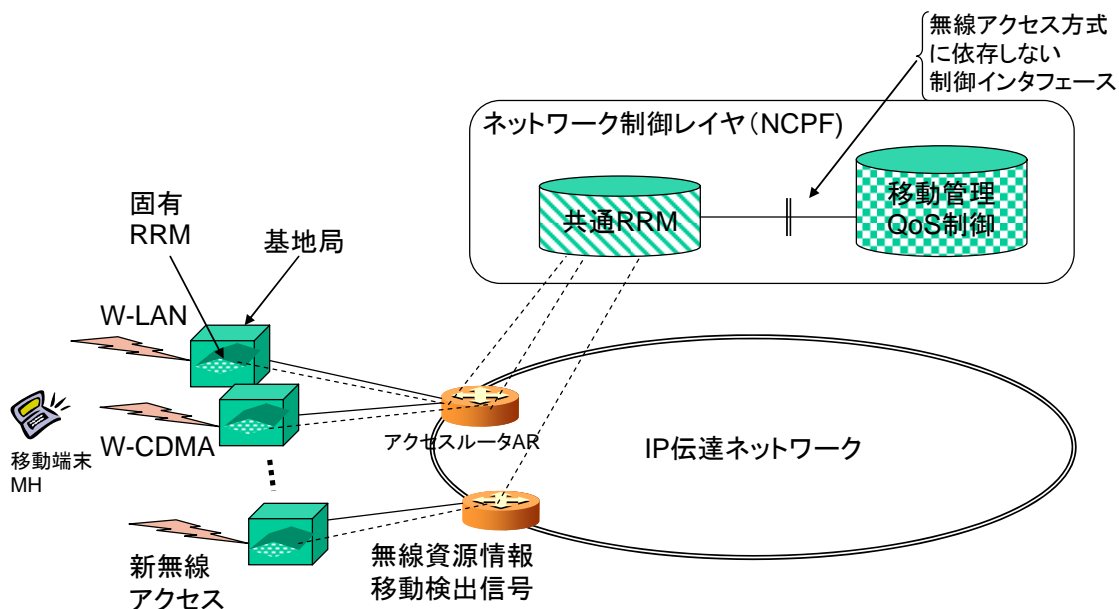


図 3. 3. 5 無線アクセスからの移動管理機能分離

この構成において、無線システムを収容するアクセスルータ AR は NCPF 内の各種機能

構成を移動ホスト MH から隠蔽するためのプロキシとして機能させることができる。具体的に述べると、MH は無線インタフェース上で AR と必要な制御メッセージ（呼制御信号等）を AR 割り振られたデフォルトアドレスを用いてやりとりするが、AR は一旦終端してそのメッセージを分析し、これらの制御信号を NCPF 内の対応する機能要素に振り分けて転送する。逆に、NCPF の各機能要素は制御メッセージを AR に送り、AR は自らを送信者としてその制御メッセージを該当の MH に転送する。

AR にこのような中継プロキシ機能を与えることにより、MH からネットワーク内部の構造を隠蔽することができる（設計方針 2 に合致）。

（2）新たなモビリティ制御方式：ホストアドレスとルーティングアドレスの分離とネットワークエッジ・インテリジェンス制御方式

移動通信ネットワークでは、移動端末に対して移動しながら通信を継続できる環境を提供する必要がある。現在のインターネットは、移動しない端末をベースに設計されているため、IP アドレスは端末を識別する識別子と端末のネットワークにおける接続位置（物理的な位置であり、ルーティングのためのアドレスとなる）を示す識別子の両方の意味をもたせて使用されている。このため、移動に伴いネットワークへの接続点が変わると（サブネットワークが変わると）使用する IP アドレスが変化し元の IP アドレスのままでは通信を継続できない。この問題を解決するため Mobile IP ではもともと接続されているサブネットワークのホームアドレス以外に気付けアドレス（Care of Address : CoA）を与え、これを移動にともない逐次変更して、これをホームエージェントに通知して移動先をネットワークに登録するとともに、IPv6 では相手ノード（Corresponding Node : CN）に直接通知する（Binding Cache Update）により最短経路により通信を継続させることも実現している。この方式によって、インターネットにおいてモビリティ制御が実現されるが、同時にキャリアネットワークの設計方針から見ると様々な問題も生じることは既に指摘したとおりである。

そこで IP² では、（1）で述べた無線リソース管理機能が整備されていることを想定して、移動ホストが移動制御にできるだけ関与せず済むような設計方針で移動制御方式を検討した。具体的には、移動ホスト MH の IP アドレスを、移動に対しても不変となるホスト識別子（IP-mobile host address : IPMH）として与え、該当 MH が収容されるアクセスルータ AR への経路変更は網内ルーティングアドレス（IP-terminating access router routing address : IPAR_t）の変更によってのみ追従する方式を提案する。なお、この両方のアドレス IPMH と IPAR_t は一対一に対応しており、当該アクセスルータ AR においてを変換される。よって、この方式は、ネットワークのエッジである AR が重要な機能を果たしており、以下、本論文ではこの制御方式を Mobile IP の End-End モビリティ制御（EEM）方式に対して Network Edge Mobility 制御（NEM）方式と呼ぶことにする。

このトランスポートにおけるアドレス変換を用いたルーティング機構の基本的な動作を図3.3.6に示す。この動作を説明すると、CNはMHのホストアドレス IP_{MH} によってデータを送る。ネットワークのエッジに設置された発信アクセスルータ AR_0 はMHを収容する AR_t へのルーティングアドレス IP_{AR_t} に変換する。データパケットは IP_{AR_t} によってMHが収容されるエッジアクセスルータ AR_t までルーティングされ、 AR_t において、IPアドレスは IP_{AR_t} から IP_{MH} に復元される。 AR_t は、MHのホストアドレス（移動に関して不変） IP_{MH} によってMHにデータを転送することでCNとMH間のエンドーエンドの転送が完結する。なお、ホストアドレス IP_{MH} とルーティングアドレス IP_{AR_t} との関係は、MHが AR_t に接続した時点で AR_t のテーブルと移動管理機構に登録されている。この関係は、最初のデータがCNから AR_0 に届いた時に、移動管理機構に問い合わせることにより AR_0 にも登録される。

以上のようにネットワークエッジにおけるARによって、データは、 AR_0 から AR_t までカプセルリングされずに、かつ、CNにMHの位置(例えば収容される AR_t のIPアドレスやMHのIPロケーションアドレス)を教えずに、最適にルーティングすることが可能となる。この方式は、移動通信におけるネットワーク資源の効率的な使用、移動端末の位置情報の隠蔽という基本的な条件（設計方針3、4）を実現するものである。

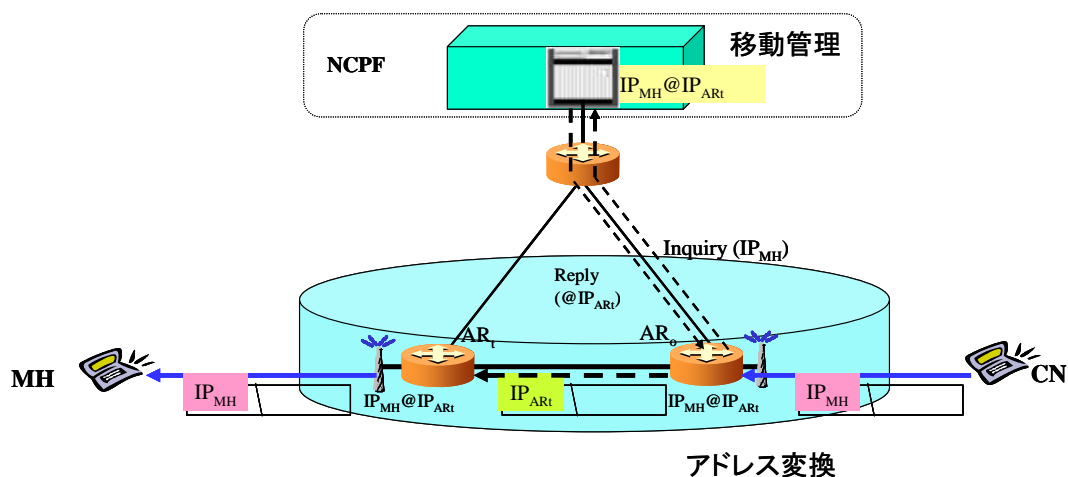


図3.3.6 ホストアドレスとロケーションアドレスを分離したルーティング

アクセッスルータ間のホスト移動にともなう経路切替（ハンドオーバー）についても、網内のアクセッスルータと移動管理機構の処理によって実現される。その動作は次のとおりである。MHがAR_{t1}から別のAR_{t2}にハンドオーバーした時、基地局における無線リソース管理機能RRMによってその移動が検出され、移動先のAR_{t2}において、MHのホストアドレスIP_{MH}とあらたなアクセッスルータのIPアドレスIP_{ARt2}の対応関係が、AR_{t2}自身と移動管理機構（MMエンティティ）に登録される。また、MMエンティティから相手ノードを収容するAR₀にも登録される。また当該MHがAR_{t1}を去ったことは、やはり基地局における無線リソース管理機能RRMにより検出され、RRMからの情報によってIP_{MH}とIP_{ARt1}の関係は、AR_{t1}、MM、AR₀の登録から消される。（図3.3.7）

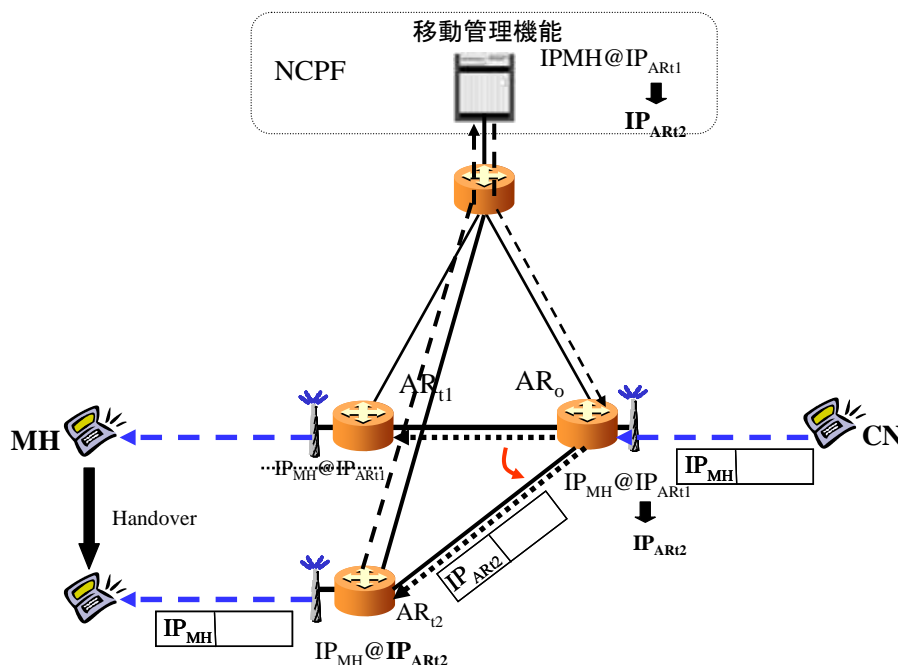


図3.3.7 ハンドオーバーにともなうルート切替

(3) ロケーション管理機構の導入：端末休止状態の導入およびルーティング管理と位置管理の連携

Mobile IPv6では移動端末がARを移動する毎にCoAを生成し、HAに登録する。又、ライフタイムと呼ばれるタイマー満了前に定期的にHAにCoAを通知することから、無線リンクを介した上りパケットを常時送信しなければならない。このような手続きに従うことにより非通信状態の長い移動端末にとっては、移動端末自身の電力を無駄に消費してしまうという問題がある。

新たに提案する **NEM** 方式では、従来のセルラー移動網と同様、データ通信を行わない非通信状態には **Dormant** 状態（休止状態）にシフトすることによって、MH のバッテリー消費を極力節約することをねらう。MH は、休止状態においては位置登録をし、この登録情報を用いてデータを受信する前に MH の在圏位置を捜し出せるようにする。無線セルは、位置登録の頻度を減少させるために、ある地理的規模をカバーできるよう論理的にグループ化され、位置登録エリアを構成する。位置登録は、通常 MH がある位置登録エリアから別の位置登録エリアへ移動した際にのみ行われる。

ある MH に対してデータを着信するためには、ネットワークは MH が在圏する無線セルを捜さなければならない。このために、ネットワークは位置登録エリア内の全ての無線セルに対して呼び出しを行う。呼び出しを受けた MH はアクティブ化し、在圏するセルから呼び出しに対して応答を行う。

以上のように、**NEM** 方式は、ルーティング管理（ハンドオーバ）に加えて位置管理（位置登録と呼出）を移動管理機能として具備する方式である。すなわち制御機構としては、移動管理機能はルーティング管理機能（**Routing Management : RM**）と位置管理機能（**Location Management : LM**）から構成される。

図 3. 3. 8 は、IP² ネットワークにおいて、位置登録エリアに AR が 1 つ、RRM が 1 つある場合の位置登録の手順を示したものである。MH が位置登録エリアを移動する時、位置登録は、位置登録エリアを示す LAI（**Location Area Identity**）を用いて、RRM を通し AR_t に対し行われる。AR_t は LAI からアドレス IP_{ARp}（呼び出しをするアドレス）を引き出す。そして、AR_t は IP_{ARp}、IP_{MH}（MH のアドレス）により位置登録を LM に対して行う。LM にはこの関係が登録される（IP_{MH}@IP_{ARp}）。

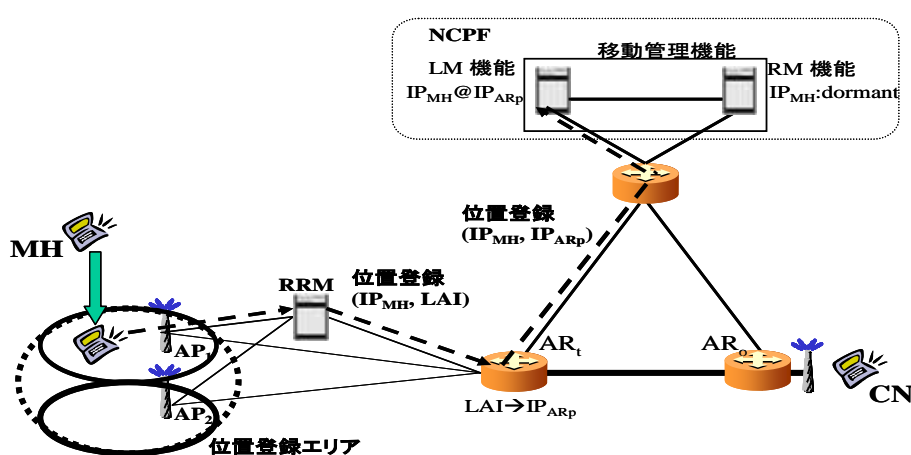


図 3. 3. 8 位置登録方式

図 3. 3. 9 は位置登録後の呼出とルーティング管理の手順を示したものである。CN が、ホストアドレス IP_{MH} を用いて MH ヘータを送る時、発信アクセスルータ AR_0 は MH がいるアクセスルータ AR へのアドレスをルーティングマネージャ RM に要求する。MH が休止状態の時、 RM には MH のいる AR へのアドレス (IP_{AR_t}) は存在しない。そのとき、 RM は LM に対して MH を呼出すように要求する。 LM は登録されているアドレス (IP_{AR_p}) を用いて休止状態の MH がいる AR_t に対し呼出しを行う。 AR_t は呼出しメッセージを RRM へ送信する。そして、 RRM は位置登録エリア内にいる MH を呼び出す。MH がアクセスポイント AP_2 の無線セルにいる時、MH は AP_2 を通じて RRM に応答を返す。さらに、 RRM は AP_2 を収容する AR_t に応答を送信する。そして、 AR_t は IP_{MH} とルーティングアドレス IP_{AR_t} の関係を登録し、 RM にこの関係を通知する。 RM は AR_0 にもこの関係を通知する。これによって、 AR_0 はデータを AR_t に図 3. 3. 6 と同様の方法で送信する。 AR_t は、 AP_2 ヘータを転送し、そのデータは AP_2 を通ってアドレス IP_{MH} をもつ MH に到着する。

複数の RRM が単一の位置登録エリアに存在する場合、 AR_t は、呼び出しメッセージが全ての RRM に対してマルチキャストされるように、マルチキャストアドレスを割り当てなくてはならない。また、複数の AR が単一の位置登録エリアに存在する場合、 AR_t は、 LM からの呼出しメッセージが、全ての AR を通じて全ての RRM に対してマルチキャストされるように、マルチキャストアドレスを割り当てなくてはならない。

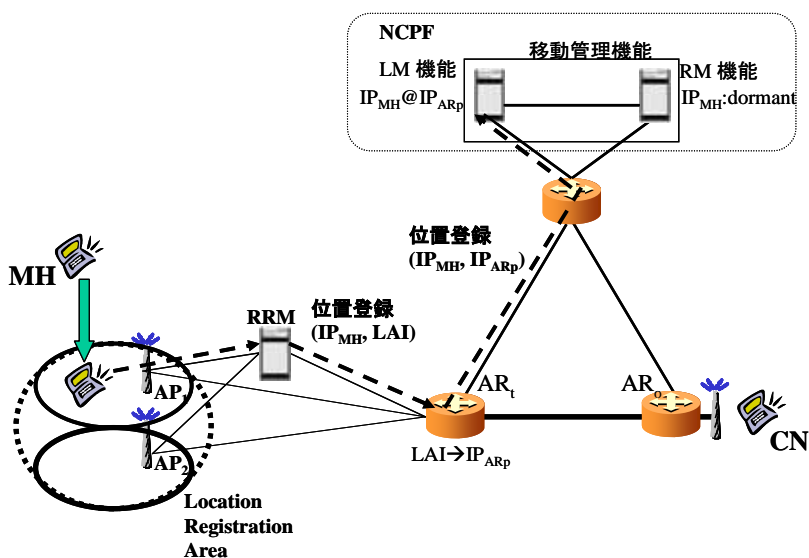


図 3. 3. 9 呼出とルーティング制御の連携

3. 3. 4 制御系 (NCPF) と転送系 (IP - BB) の分離アーキテクチャの実現法

IP - BB を構成するルータ装置の処理はネットワーク制御を実施するための各種プロトコル処理とプロトコルに基づいた様々なパケット単位の転送処理に分類できる。現在のルータ網はそれらのプロトコル処理とパケット転送処理が統合してルータ内で実施されており、ノード装置全体としての負荷が大きく、結果として転送能力低下にもつながる。IP²アーキテクチャでは、高機能なネットワーク制御を司る NCPF をパケット毎の処理やその転送に専念する転送網機能としての IP - BB を分離することで、IP - BB はネットワーク制御プロトコル (移動制御を含むルーティングプロトコル等) には非依存にさせる。

一方、NCPF は移動通信のネットワーク制御に必要なモビリティ制御、QoS 制御、セッション・呼制御、無線リソース管理といった (パケット単位の処理を超えた) 制御機構を提供する。これらの機能はルータに対して汎用的なプリミティブ (制御メッセージの基本要素) を用いて指示を行い、ルータに実装された汎用的な機能を組み合わせて動作させることで実現する。

この NCPF/IP - BB 分離構成により IP トラnsポートの進化 (例えば、IP v 4 から IP v 6 への発展) や複数アクセスを収容したネットワーク (IP - BB) 上でユニークな移動管理を維持することも容易となる。NCPF はインテリジェントな処理能力を有することを目指し、IP - BB は高性能化とスケーラビリティ拡大を目指す。

図 3. 3. 10 に NCPF/IP - BB 分離によるネットワーク構成図を示す。IP - BB に設置されたルータは、従来のフォワーディングやルーティング処理に加え、コピー (複製)、フィルタリング (破棄)、ヘッダ変換、カプセル化、リルーティング、コンポジット (多重化) /セレクション (選択)、バッファリング (一次蓄積) といった汎用的で単純なパケット処理機能のみを持ち、高速なパケット転送及び、パケット処理に専念する。これらの処理機能は単純な処理のため、FPGA (Field Programmable Gate Array) や NPU (Network Processor Unit) 等のハードウェア処理で実現することで、より高速処理も可能になる。

NCPF で管理されたネットワーク制御手順にもとづき、上記の IP - BB の該当ルータの処理機能に対しプリミティブ制御信号により動作を指示する形をとる。例えば、NCPF の移動管理機能は、MH のハンドオーバーの際に該当ルータに対し経路切替指示を送る。また、セッション管理機能は、経路設定信号によりルーティングテーブルの変更を行ったり、マルチキャストサービスの為に分岐すべきルータに対してコピーを指示する。

NCPF だけがこれらのプリミティブ信号がどのような制御手順において使われるのかを知っており、IP - BB は、どのような手順が実施されているかを知らずに、プリミティブに基づいた基本機能を実行する。

以上のような構成をとることで、単純で高速な IP 伝達系を配し、必要に応じ制御系を高度化していくことで段階的にネットワークを高度化していくという方式をとることも容易となる。これによって 3. 2 節で論じたように、次世代モバイルネットワークの構築に

むけてシンプルなモデルであるタイプ B の IP ネットワークから高度な機能を有するモデルであるタイプ A の IP ネットワークへの円滑な移行も可能となる。

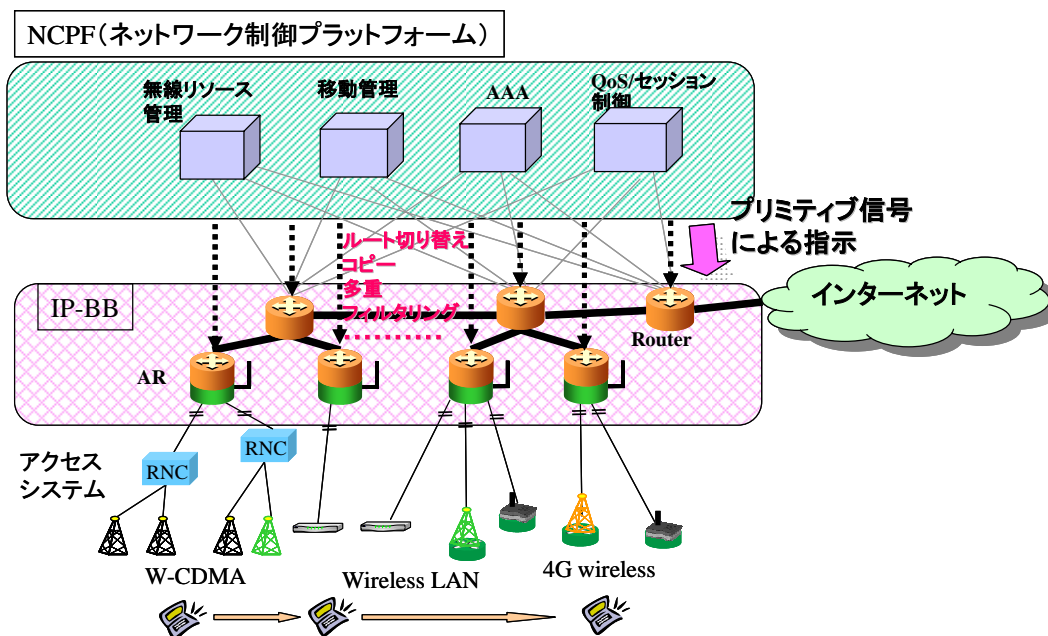


図 3. 3. 10 NCPF と IP-BB の分離モデル

3. 4 ネットワークエッジモビリティ (NEM) 制御方式の評価

3. 3 節において、モバイルインターネットの新アーキテクチャとしてホストアドレスとルーティングアドレスを分離し、エッジルータでアドレス変換を行うことを提案し、その概要を示すとともに、網リソース利用効率の向上、位置隠蔽への効果等、キャリアモバイルネットワークとしての設計方針に合致した方式であることを説明した。本節では、次世代モバイルインターネットにおける新たなモビリティ管理方式として、ネットワーク・インテリジェンスによる NEM 制御方式プロトコル仕様をより具体的に示し、そのフィジビリティに関する定量的な評価結果 [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49]を紹介する。これらは、NTT ドコモにおける研究チームを中心に行われたものであり、提案方式が将来の実用システムとして適応しうるかを評価するために実施された。

3. 4. 1 NEM 制御方式の基本動作と課題点

対比のためインターネットにおける End-End 型のモビリティ制御方式である Mobile IP 方式の特徴を図 3. 4. 1 に示す。アクセスルータは(モビリティ制御機能を意識しない)通常のものでよく、網内の制御はシンプルであるが、在圏位置確認のための周期広告をうけホームエージェント HA への周期的位置登録が行われる必要があり、また、AR 間を移動するときには、常に収容 AR 情報を得るために、Prefix 要求信号が飛ぶ等、無線エリアを情報が頻繁に往來することによって無線利用効率が良くない。また、網内のノードである HA へのアクセスが端末から直接行われることによるセキュリティ面での課題も存在する。

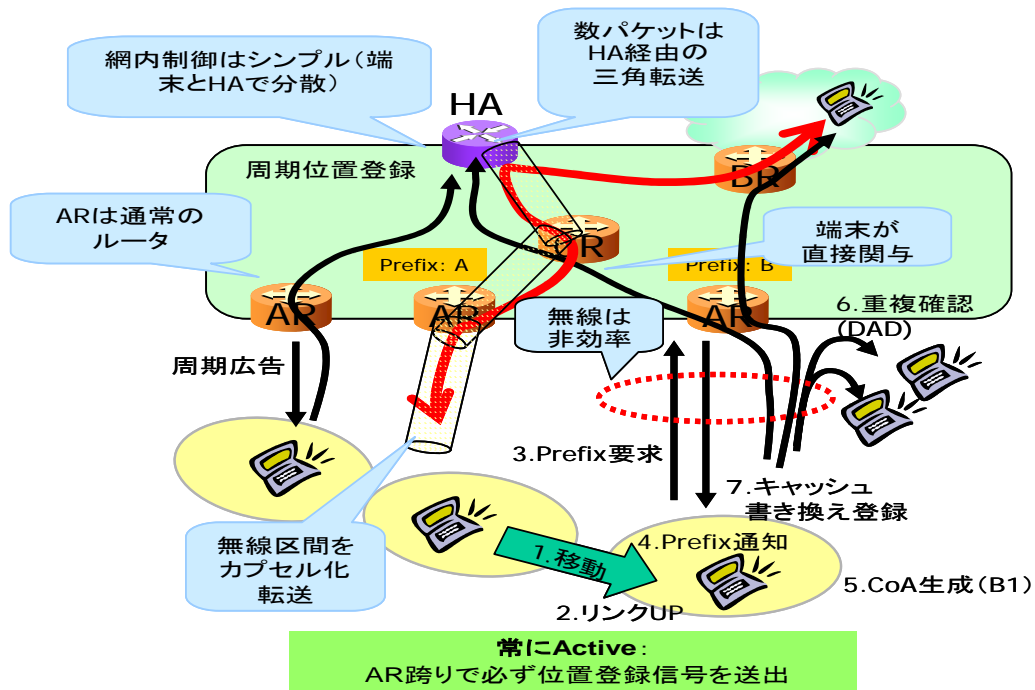
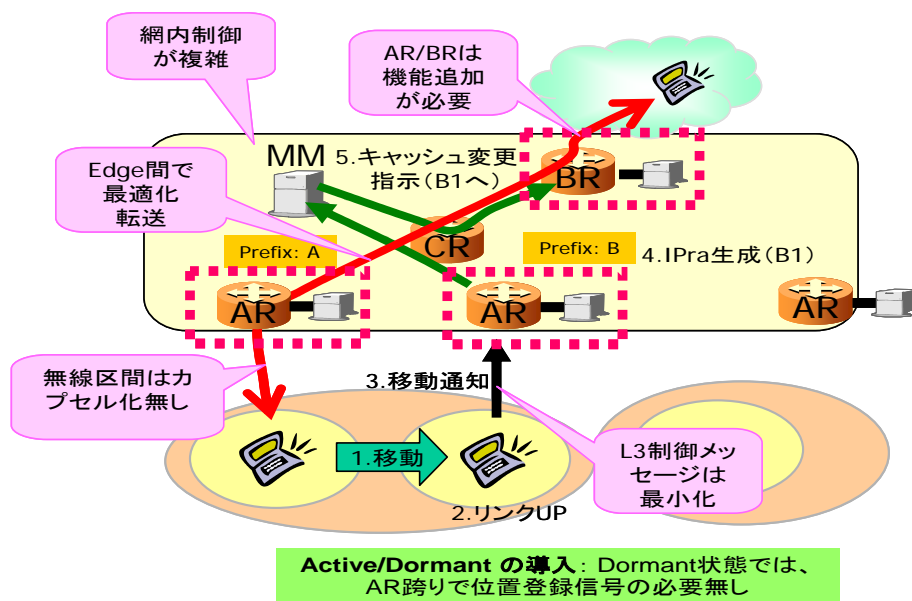


図 3. 4. 1 End-End 型の IP モビリティ制御方式 (Mobile IP) の特徴点

IP²における NEM 方式は、ここに示されたような課題点を解消するために提案するものである。IP²のNEM制御式の特徴をまとめて図 3. 4. 2 に示す。



AR:アクセッスルータ、CR:コアルータ、BR:ボーダールータ、MM:移動管理

図3. 4. 2 ネットワークインテリジェンス型 IP モビリティ制御 (NEM 制御方式) の特徴点

IP² のNEM方式では、移動端末MHのホストアドレスは固定しており、移動にともなって変更の必要はない。この意味で、MHは「移動透過」であると言え、ホストアドレスが維持されている限り、網内の移動管理方式が変更されても対応が容易である。これは、IPv4とIPv6でMobile IPプロトコルが異なり、端末の機能を変更しなければならないインターネットでのモビリティ管理方式と比べて有利な点である。この移動透過性を実現するのは、ネットワークエッジに置かれたアクセッスルータARにおいて、端末移動にともなう経路変更を網内のルーティングアドレスのみを変更することにより実現しているためである。そして、その変換アドレスの生成は、変換アドレスの組合せを集中的に管理している網内の移動管理機能 (Mobility Management: MM) で行われる。よって、この方式の実現可能性、有効性を確認するためには、ARでのアドレス変換処理のオーバーヘッド (ハード量、ソフト処理量・遅延等) やこれを指示するMMでの処理負荷、そしてAR間、AR-MM間での制御信号の処理遅延等を見積もり、評価していくことが重要である。

以下、評価測定評価すべき対象を明確にするために、NEM方式の移動管理プロトコルについて詳説する。

まず、以下の説明のため、新たに簡単化した記号を規定する。

- 移動端末の識別を行うための IP アドレス: IP ホストアドレス (IPha: IP-host address)、
- 網内のルーティングのための IP アドレス: IP ルーティングアドレス (IPra: IP-routing address)
- 移動端末を統一的に表現: MH、CNではなく MT#1, MT#C等で表現:

図 3. 4. 3 に IP_{ha} と IP_{ra} を分離した基本 IP パケットリルーティング手順を示す。IP²では、第 3 章で提案したように、移動管理機能 MM が NCPF 内の機能として IP-BB とは分離された形で配備される。MM は移動端末の位置情報を管理し、ページングを実施するロケーション管理 (LM) とルーティング制御及び、ハンドオーバー制御 (リルーティング) を行うルーティング管理 (RM) で構成される。IP-BB はエッジに配備される AR (Access Router) や中継ルータ、移動にともなうルート切替の切替点となる ANR (Anchor Router) から構成されるが、ここでは移動管理にともなう処理負荷が最もかかる AR を中心に、その処理方式を述べる。

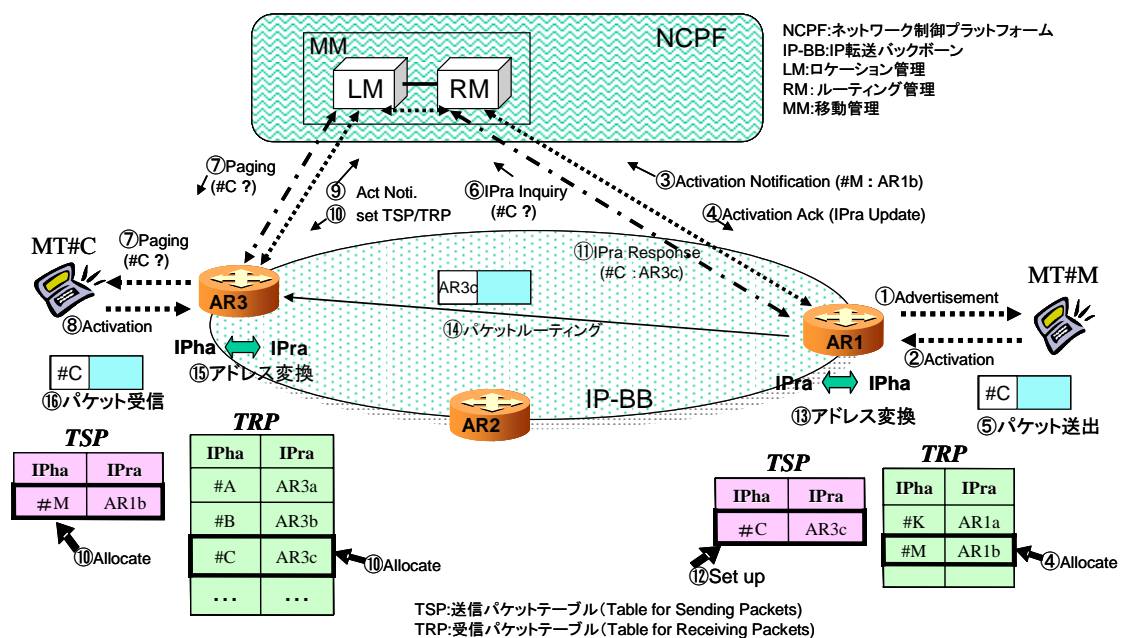


図 3. 4. 3 IP アドレス分離にもとづく基本 IP パケットルーティング

NEM方式では、移動端末 MT について、Dormant 状態 (休止状態) と通信中状態である Active 状態 (活性状態) を区別し、休止状態の MT の位置管理や着信時のページング (呼び出し) 処理を LM が管理する。以下では、Dormant 状態の MT#M (Mobile Terminal #M) がネットワークに対し、Activation (通信状態に入ること) を提示し、Active 状態の MT#C へパケットを転送するまでの手順 (Call setup)、ハンドオーバー時の手順、そして Deactivate するときの手順を示す。

- 1) **Activate 手順**: AR1 配下の移動端末 MT#M は、ネットワーク AR1 からの広告 (Advertisement) を受信し (①)、ネットワークに対して起動 (Activation) を実施する (②)。AR1 は MT#M からの起動要求を受信すると、MT#M に接続するために AR1 まで到達するたのルーティングアドレス IPra を割り当て NCPF 内の RM へ IPra を登録する (Activation Notification) (③)。RM からの Ack (許可) にあたる IPra Update (IPU) 信号を受信後、MT#M 用の IPha と IPra の対応関係を示す TRP (Table for Receiving Packets) を正式エントリとして生成する (④)。
- 2) **Call setup 手順**: MT#M は MT#C 用の IPha 宛にパケットを送信し (⑤)、AR1 は RM を介して MT#C の IPra を解決するまでの間、受信パケットを一時的にバッファリングさせ、RM に MT#C の IPra を問い合わせる (IPra Inquiry) (⑥)。ここでは、MT#C が Active 状態であれば RM は MT#C の IPha と IPra の関係を保持している。もし、MT#C が Dormant 状態であると、RM は IPra をもたないので、LM に指示して呼び出し (Paging) をかけ、RM は新たに MT#C の IPra (=AR3c) を設定する (⑦~⑩)。RM は、AR1 からの問い合わせにより、MT#C の IPra を返信し (⑪)、これを受けた AR1 は、その中で、パケット送信用の TSP (Table for Sending Packet) を生成する (⑫)。AR1 では、この TSP を参照して、受信パケットを IPha から IPra にアドレス変換し (⑬)、該当パケットは MT#C 用の IPra により AR3 までルーティングされる (⑭)。AR3 では、既に生成されている TRP を参照し、今度は IPra から IPha (=AR3c) に変換し (⑮)、MT#C 宛に IPha のパケットがルーティングされる (⑯)。
- 3) **Handover 手順**: 端末 MT#C が AR3 から AR2 へハンドオーバーすると、MT#C は、レイヤ 2 信号などによる移動検知をトリガーとして、AR2 へ Activation 信号を送る。AR3 は Activation 受信により、RM に対して Activation Notification (AN) を送出する。RM は、AN を受信すると保持している IPha/IPra キャッシュを参照することで MN#C のハンドオーバーを検知する。RM は、保持する MT#C および MT#M のキャッシュを更新し、MN#C の通信相手である MN#M が接続する AR1 に対して IPU を送信して MN#C の更新された IPha/IPra 情報を通知する。AR1 は、IPU 受信により TSP を更新し、RM へ確認 (IPU Ack) を送信する。RM は、AR1 からの IPU Ack を受信すると AR2 に対して IPU を送信し、MN#C に割当てする IPha/IPra 情報と MN#M の IPha/IPra 情報を通知する。AR2 は、通知された IPha/IPra 情報をキャッシュし、MT#C へ Activation Ack を送信することでハンドオーバー処理を完了する。なお、ハンドオーバー完了後、移動前の AR3 に対して MT#C の IPha/IPra 組情報を削除する IPra Delete を送信し、不要となった IPha/IPra 組の削除を行う。
- 4) **Deactivation 手順**: MT#M が Deactivation を送信することで処理が開始される。AR1 は、MT#M からの Deactivation Notification (DN) により、RM に対して通知を行う。これを受信した RM は、通信相手である MT#C が接続する AR2 に対して IPra Delete (IPD) を送信し、TSP、TRP を削除する。RM は、AR2 からの Ack 受信後、AR1 に対して

IPD を送信し、これにより AR1 は TSP, TRP を削除して Deactivation は完了する。

以上のような手順で、NEM方式では、パケットは常に網内の最適経路で転送される。更に、カプセル化転送ではなくアドレス変換を実施するため、無線区間及び、ネットワーク内において、効率的にパケットを転送することが可能になる（設計方針 1、3）。また、移動端末は常に IP_{ha} のみを使用し、位置情報を含む IP_{ra} はネットワーク内で隠蔽されることから、ユーザのロケーションプライバシーも保護される（設計方針 4）。

更に、本方式では AR が移動端末の IP_{ha} をキーとして、RM や LM のアドレス解決をするので、移動端末にはネットワーク内の RM 及び LM アドレスは通知する必要はない。このため、ネットワーク内の MM 機構は移動端末から隠蔽され、少なくとも集中的に制御が行われるネットワーク制御装置のアドレスを知られることは無いことからネットワークの安全性は高まる（設計方針 2）。AR が、そこに収容される移動端末からの攻撃はありえるが、特定の AR に局所化されていることからネットワーク全体への影響は最小限におさえられる。

3. 4. 2 NEM 制御方式の評価

NEM 制御方式では、アドレス変換を行う AR での処理負荷や通信各ステージでのモビリティ制御プロトコルを実現するための AR、MM 等での処理遅延が、その実現性や拡張性を制約する可能性があるものとして懸念される。また、AR においてアドレス変換を実施するために変換テーブルを保持しておく必要があり、そのハード量的な問題も実現性を評価するうえで重要である。これら具体的に評価すべき主要課題ポイントを図 3. 4. 4 に示す。

- ①網内制御の複雑性：プロトコル手順の実行可能性評価
- ②既存モビリティ制御方式（Mobile IP）から性能劣化：パケット転送遅延、ハンドオーバー処理遅延
- ③AR での処理負荷：スループット評価や処理負荷からの拡張性評価、ハード規模的実装可能性
- ④AR システム実現性：アドレス変換用ルーティングキャッシュテーブル量

①、②および③の処理負荷評価については、実際に試験システムとして PC ベースのハードシミュレータを構築して評価が行われている [44]～[49]。また、④については、AR のシステムの実現性を評価するため、アドレス変換テーブルのハード規模評価をシミュレーションにより実施されている [43]。以下、それらの結果を記述する。

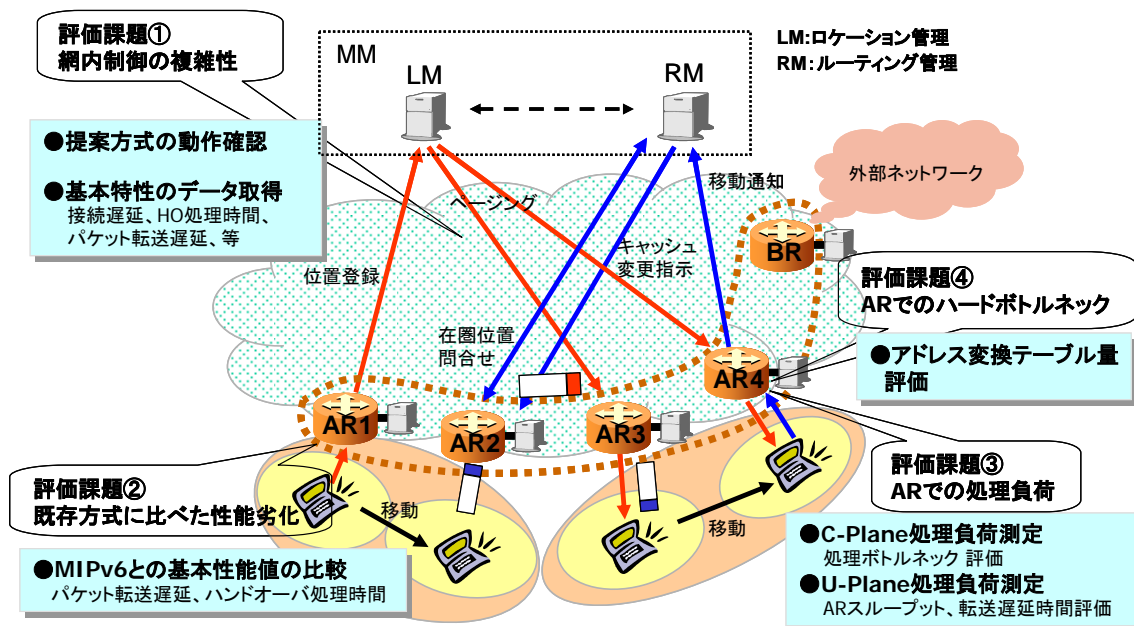


図 3. 4. 4 IP²モビリティ管理方式の評価課題

3. 4. 2. 1 NEM 制御方式プロトコル処理ボトルネック評価

NEM 制御方式の性能的な面での実現可能性を評価するために、ハードシミュレータを利用した実測が行われており、本節では、これらについて主要な結果を紹介する。

(1) 基本モビリティ管理方式の実行可能性評価

図 3. 4. 5 に評価システム構成を示す。各ノード (LM/RM, AR) は、Pentium4 クラス (2GHz) の PC サーバを用いられている。また、各ノードは、100Mbps の Fast Ethernet により接続されている。MN エミュレータにより、端末の各種プロトコル動作を行わせ、U/C-plane パケットの送受信に要する処理時間やスループットの測定を行うことにより、性能特性が評価されている。

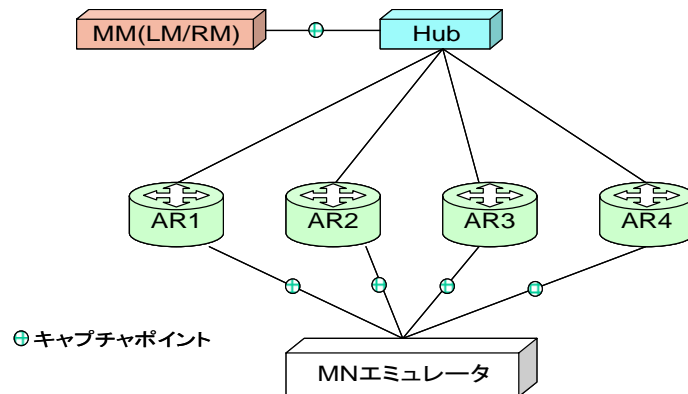


図 3. 4. 5 評価システムの構成

① 基本性能評価 : IP²モビリティ制御方式の各手順の動作確認と処理時間を測定することでプロトコルの実現性と基本性能は確認されている。手順としては、3. 4. 1節で示したように、a) Activate b) Deactivate c) Handover d) Call setup の基本手順がある。これらについて1 Call 試験（単一セッション利用のみ）をした結果は、表 3. 4. 1 のとおりであり、処理時間は、基本的にメッセージ数に対応しており、特定の手順において処理時間が増加することはないことが確認された [48]。つまり、これら基本手順は実行可能で、かつ手順的なボトルネックはないということである。

表 3. 4. 1 基本性能評価結果

手順	処理時間(ms)	メッセージ数
Activate	1.420	6
Deactivate	2.574	8
Handover	2.866	10
Call setup	5.002	16

② ARにおける処理性能負荷 (大規模化へむけた処理ボトルネック評価) : ネットワーク大規模化の影響を調べるため、発信移動端末 MT 数 (TSP エントリー規模に対応) および MT が通信する相手端末数 (MT がひとつのサービスの中で、アクセスするセッション数に対応し、TRP エントリー規模に相当) をパラメータとして、制御信号処理への影響 (C - Plane 評価) とユーザパケット転送への影響 (U - Plane 評価) をみた。信号メッセージが発信 MT 数と相手端末数 (セッション数) にどう依存するかは、すでに述べた信号手順でメッセージ数をカウントすればよい。その結果が表 3. 4. 2 である。

表 3. 4. 2 各制御手順におけるメッセージ数

制御手順	記号	メッセージ数
Activate	Msg act	6
Deactivate	Msg deact	$6 + 2 \times AV_s$
Call setup (Active→Dormant)	Msg su1	$16 + 2 \times Narl$
Call setup (Active→Active)	Msg su2	6
Call setup (Active→Border Router)	Msg su3	12
Handover	Msg ho	$8 + 2 \times AV_s$
Location registration	Msg lr	4

AV_s : 平均セッション数 (通信相手端末数) $Narl$: ロケーションエリア内 AR 数

端末数 (TRP, TSP エントリー数) の変化の C - Plane と U - Plane への影響評価結果は以下のようにまとめられる。

a) AR に收容される発信端末 (MT#M) 数、すなわち TSP のエントリー数を 1 から 100 万まで増やしても、C - Plane 処理時間の変化は、1Call (1 セッション) の値 (表 3. 4. 1) から 5 % 程度におさまる。即ち、TSP エントリー増加による C - Plane 処理ボトルネックは発生しないといえる。

この理由は、ノード内のキャッシュ検索回数が TSP エントリー数に依存しないことと、TSP の管理にハッシュテーブルを用いることにより処理時間が大きく増加しないためである。

b) 一方、平均通信相手数 (平均セッション数)、すなわち TRP のエントリー数の増加に対しては、表 3. 4. 2 から想定されるように、Call setup 手順には変化がないが、Handover や Deactivate 手順では、処理時間は、通信相手数に比例して増加することがわかった。実測によれば、Handover 時の処理時間増が大きく、仮に 500 端末 (セッション) まで通信相手を増やすと、処理遅延時間は、450ms を越えボトルネックとなりえる。ただし、ひとつのサービスで、通信相手が数百に及ぶことは現在のサービスからすると考えにくく、数十程度であれば、処理時間は数十 ms 程度であり、C - Plane 処理はボトルネックとならないと考えられる。

c) U - Plane における、TSP エントリー数を変化 (1 から 10 万まで) させたときの AR における転送処理時間については、40 μ s 程度で変化がなく、エントリー数の増加による影響は小さいことがわかった

これは、AR 内処理時間でエントリー数の変化の影響を受けるのは、アドレス変換テーブルのキャッシュ検索時間だけであり、これも 10 万エントリーであっても 0.4 μ s が 1 μ s 程度に増加するだけであるためである。

d) U - Plane における、スループットについては、TSP エントリー数を 10000 エントリー程度まで変化させてもほとんど低下しない。

e) 以上の結果から、ネットワークエッジ (AR) におけるアドレス変換という IP² の NEM 制御方式は、C/U 両 Plane 処理において、ネットワーク規模拡大に対する特定のボトルネックはないと結論できる。

(2) Mobile IPv6 (MIPv6) との基本性能比較

Mobile IP の基本的な動作は図 3.4.2 に示しているが、これを簡単に説明すると、MIPv6 では端末 (MT#M) が Home Network 上で使用する Home Address (HoA) と、外部 Network に移動したときに使用する CoA of Address (CoA) の関係を Home Network に設置される Home Agent (HA) が保持することにより MT#M の移動管理を行う。パケット転送には、HA 経由で冗長経路であるが、通信相手 (MT#C) に対して MT#M の移動を HA で隠蔽する方式 (Bidirectional Tunneling) と MT#C に MT#M の CoA を通知し (Binding Update)、MT#M-MT#C 間で直接パケットを送受信する経路最適化方式 (Route Optimization) の 2 方式がある。経路最適化のために、Binding Update の送信の前に、MT#C の認証手続きが必要である。

MT#M がハンドオーバーした場合の動作を説明すると、MT#M は、移動先 AR からの Router Advertisement 受信を契機として CoA を新規に自動作成する。この際、新 CoA に重複がないかを確認を行うために、Duplicate Address Detection (DAD) 処理を行う。重複がないことが確認されると HA と MT#C に対して Binding Update を送信する。

以上の処理を前提に、図 3.4.5 の評価システムを用いて評価を行った。MIPv6 では、MM 部が HA 機能になり、AR 部は IPv6 ルータとして機能する。その結果は以下のとおりである。

a) AR の U-Plane パケット転送処理時間：IP²NEM 方式との差はほとんどない。
(NEM : 83 μs に対し、MIPv6 : 96 μs)

b) 制御メッセージ (C-Plane) 処理能力評価：

NEM と MIPv6 の共通機能にあたる処理を比較評価。

・ Attachment 手順：端末が電源を入れてから、通信可能となるまでの一連の処理。

NEM 方式が高速である。DAD なしでは、ほぼ同等。 (MIPv6 : 2000.93ms (with DAD)、1.70ms (without DAD)。NEM : 0.90ms (Location Registration のみ)、2.32ms (including Activation))

・ ハンドオーバー手順：通信状態を保ったまま、新 AR へ移動する際の一連の処理手順。

NEM 方式が高速である。DAD なしでは、MIPv6 が高速だが影響は小さい差異。 (MIPv6 : 1000.3ms (with DAD)、0.25 ms (without DAD)、IP² : 2.87ms)

c) 無線区間の信号量は、端末の周期位置登録トラフィックが発生する MIPv6 に比べ、Location Area による位置管理を行う NEM 方式が少ない (30%程度; トラフィックモデル依存)

3. 4. 2. 2 アクセスルータ (AR) におけるハード実装ボトルネック評価 [43]

提案する移動管理方式は、ひとつの移動端末に対応する二つの IP アドレス (IPha 及び IPra) を導入し、移動制御とルーティングは IPra を用いて網内に閉じて行う方法である。そのためネットワークエッジであるアクセスルータ AR において、ホストアドレス IPha からルーティングアドレス IPra への変換が必要であり、変換キャッシュテーブル (TSP, TRP) の制御 (生成/変更/削除) が本方式実現の鍵となる。ルーティングキャッシュテーブルの管理、ユーザデータのアドレス変換処理等の処理負荷と通信相手端末ごとに用意する必要のあるテーブル量の評価が必要である。

これらそれぞれについて予備的に考察すると；

- a) ルーティングキャッシュテーブルの検索処理負荷：ハッシュ関数を使ったハードレベルでの高速検索処理技術を用いれば検索処理自体は大きな問題とならない。
- b) アドレス変換のための AR 内処理負荷：アドレス変換処理はソフト処理ではなく、専用 ASIC 若しくは、Network Processor や FPGA 等を使用することで、数 μ sec オーダで処理可能になっていることから大きな問題とならない。
- c) IPha から該当する IPra を RM を介して解決するまでに、初期送信データを一次蓄積するために必要になる AR 内のバッファ量：端末がセッションを確立するまでに送信されるパケット数は多くないと考えられるため、必要なバッファ量は大きくないと考えられる。実際、TCP アプリケーションを使用する場合、通信相手端末とのセッション確立が必要であり、それまで多量の情報パケットの送信は行われぬ。また情報転送に UDP を適用するアプリケーションの場合でも、アプリケーション層において何らかのセッション確立をもとめる場合が多いと考えられることから、セッション確立のための制御パケットが事前に送信されることになり、このためのパケット量は少なく、バッファ量も大きな問題とならない。

以上より、AR のシステム構成へは、送受信のルーティングキャッシュテーブル量 (エントリー量) 及び、RM との間のシグナリング量が影響すると考えられ、これを計算機シミュレーションにより定量評価した結果を示す。

(1) ルーティングキャッシュテーブル管理法

ルーティングキャッシュテーブルとしては、送信側の TSP が各 MT ごとの通信相手対応にエントリーを持つ必要があり、通信相手の数によって大きなメモリ量を必要とする可能性がある。一方、受信側のアドレス変換を示す TRP は、各 MT 対応に一つのエントリがあればよく、メモリ規模は問題とならない。よって TSP の規模について検討をする。

①エントリー管理手順：AR は自配下の移動端末 MT から通信相手端末の IPha 宛のパケットを受信し、該当する宛先 MT の IPra を RM へ問い合わせる。AR は RM からの応答により、送信用ルーティングキャッシュテーブル (以下 TSP) を生成し、管理する。MT

が休止状態になると、この端末のキャッシュエントリは登録されたテーブル TRP から消去される。同時に、この MT により利用された送信先テーブル TSP のエントリは削除される。RM の管理情報と整合を取るために、このエントリの削除と同時に RM に対して削除確認要求を出さなくてはならない。

②TSP の管理方法： 個別キャッシュ方式 (Individual Cache : IC) と共用キャッシュ方式 (Shared Cache : SC) が考えられる[43]。個別キャッシュ方式とは、TSP を配下の MT 単位に複数生成し個別管理する方式である。共用キャッシュ方式とは、AR 配下のすべての MT で一つの TSP を共用する方式である。図 3. 4. 6 に IC 方式と SC 方式の概念図を示す。

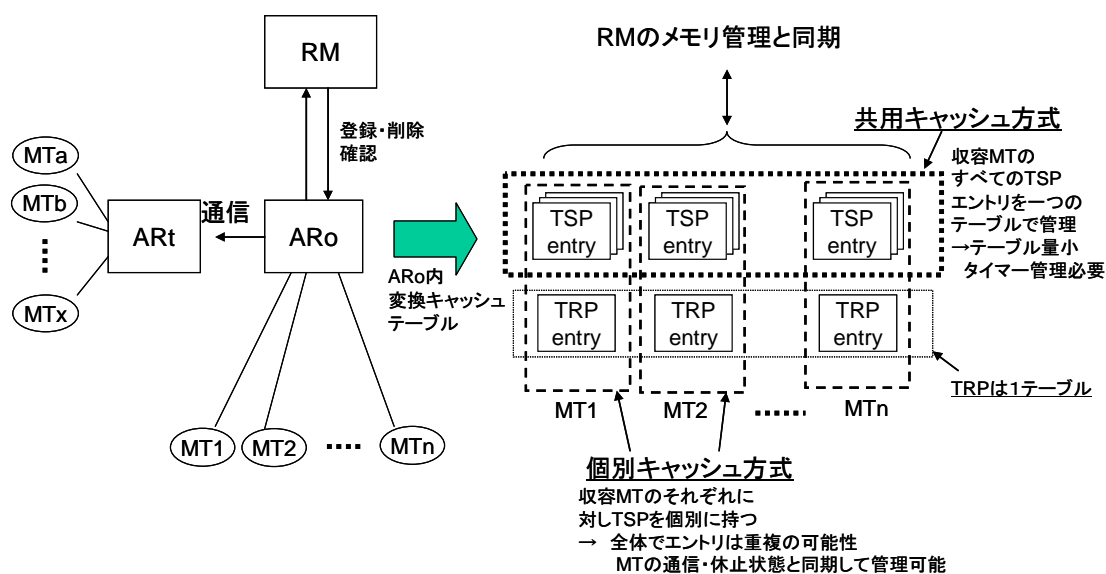


図3. 4. 6 共用キャッシュ方式と個別キャッシュ方式の概念

個別キャッシュ方式では、MT が休止状態に遷移する場合、TRP 上の該当 MT エントリを削除すると同時に、この MT が使用していた TSP を削除して、RM に対してエントリ削除確認要求をする。一方、共用キャッシュ方式では、共用 TSP の各エントリについてタイマーが満了した際に、やはり RM と AR 内のキャッシュ状態の不整合を防ぐため、RM にエントリ削除のための確認要求を実施した後、TSP の該当エントリを削除する。

個別キャッシュ方式は共用キャッシュ方式に比べ、AR 配下の MT が同一の通信相手と通信する可能性が高い場合は冗長になるデメリットがある反面、MT の通信・休止状態と

対応する TRP エントリーと連携させることで TSP を TRP と同期して管理でき、各エントリーのタイマー管理が不要であることから、共用キャッシュ方式と比較して TSP の管理処理負荷が軽減されるという利点がある。また、共用キャッシュ方式では1エントリー単位（通信相手 CN ごと）での管理になるため、各エントリーのタイマー満了時（どの MT からも該当 CN への通信がなくなって一定のタイマー時間が経過した時点）に常に RM に削除の確認要求を出す必要があり、個別キャッシュ方式と比べ RM へのシグナリング量が増加してしまう問題がある。

(2) テーブル量評価のためのシミュレーションモデル

シミュレーションモデルを図 3.4.7 に示す。ある特定の AR に着目し、半径 $R (=0.1\text{km})$ の RA (Routing area) をカバーする AR 配下に、常時平均的な数 (=3140 台) の MT が在圏するものと仮定する。この IP² ネットワークの特定の MT が、複数の通信相手ノード CN と通信するモデルである。具体的には、図に示すように、MT は 10 台の Web サーバに順次アクセスしていくモデルを想定。

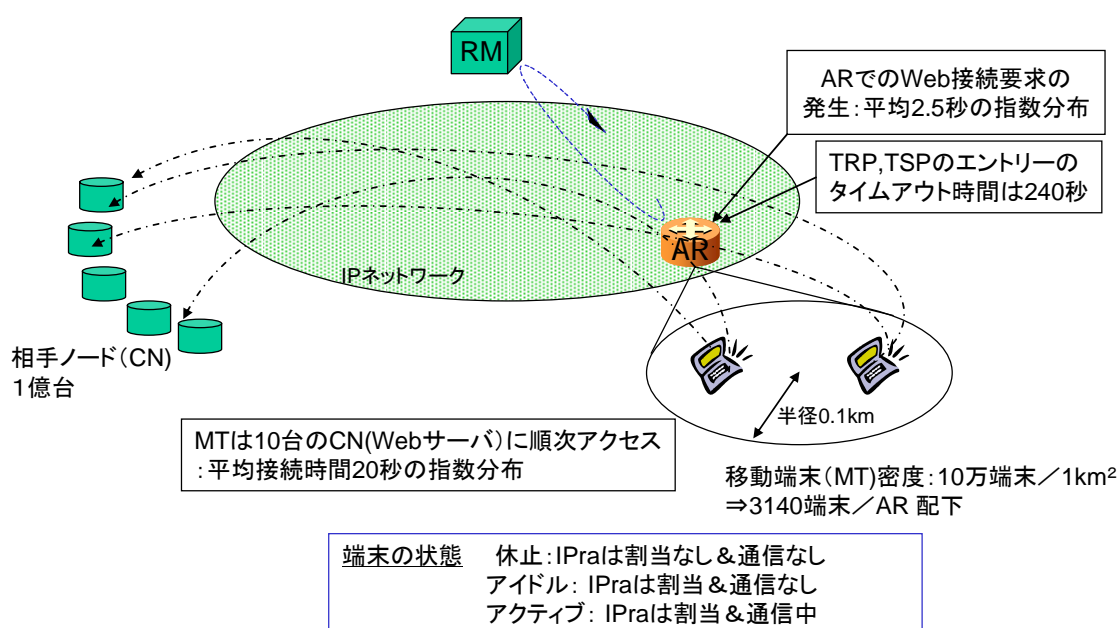


図 3.4.7 シミュレーションモデル

この際、ある AR 配下の MT の通信相手 CN が移動した場合、移動に伴い変化する IPra を送信元端末側の AR へ通知し、AR 内の TSP を書き換える処理が一般に発生するが、本シミュレーションの前提条件として CN は移動しないこととし、TSP におけるこの処理負荷は考慮しないこととする。これは、大規模なモバイルネットワークにおける移動制御の

ための機構として、ネットワークのあるエリア単位に、そのエリア内に存在する AR のルーティング上の上位に位置するアンカールータ ANR を置く構成を想定すると、送信先の CN の移動はこのエリアを出ないかぎり、ルートの変更は ANR のテーブルの書き換えで処理され、AR の TSP 処理負荷への影響なしと想定できるからである。

MT の状態としては、①IPra が AR 及び RM に既に割り当てられている状態（通信状態である Active 状態）と、②IPra が割り当てられていない状態（非通信状態である Dormant 状態）、更に、③一定の通信が終了し、タイマーが満了するまでの状態である Idle 状態、の 3 つの状態を仮定する。

ある AR 配下のエリアに移動する MT の数と AR 配下から他のエリアへ移動する MT の比率は同一であるものとした。このシミュレーションで使用したトラフィックモデルとしては、携帯電話からのインターネットアクセスを使用した。具体的なパラメータは図 3. 4. 7 に示すとおりである。

(3) シミュレーション結果（送信用ルーティングキャッシュテーブル量）

AR における TSP、TRP のキャッシュ量の最大値に関するシミュレーション結果を表 3. 4. 3 に示す。SC 方式及び IC 方式における TSP、TRP の瞬間最大エントリー数と、1 エントリーを 32byte (IPv6 アドレスが 128bit であるため、IPha/IPra の変換テーブルとして最小値の 32byte で算出) として計算したメモリ量を表したものである。更に、この結果を元に、AR 配下の MT 数を増加させた際の、AR の TSP、TRP のキャッシュメモリ量を計算した結果を示す。

表3. 4. 3 シミュレーション結果 キャッシュメモリサイズ

AR配下セルサイズ半径0.1kmの場合(3140端末在圏)

		キャッシュエントリー数	キャッシュサイズ
TRP		173	5.54KB
TSP	個別キャッシュ方式	2211	70.8KB
	共用キャッシュ方式	1598	51.1KB

AR配下の端末数を変化させた場合テーブルメモリ量

端末数		10,000	10万	100万	1000万
TRP		17.6KB	176KB	1.76MB	17.6MB
TSP	個別キャッシュ方式	225KB	2.25MB	22.5MB	225MB
	共用キャッシュ方式	175KB	1.75MB	17.5MB	175MB

高速メモリ検索は、最近では高速のネットワークプロセッサを用いてワイヤースピードで 64Mbyte クラスの処理も可能であり、将来は更なる能力向上が期待できる。この点を考慮すると、以下の考察のように、これら変換テーブルの AR への実用的な実装が可能であることがわかる。

【考察 1】例えば、現在の 3G ネットワーク (IMT-2000) における複数基地局を制御する無線制御装置 (Radio Network Controller: RNC) 配下における同時接続 MN 数は約 10,000MT 数で設計されている。AR を RNC レベルに配備したとしても、TSP、TSP の所要メモリ総量は 0.5MB 以下であり、現状のルータにおけるメモリ量の実装レベルを考慮しても十分満足可能な値であるといえる。次世代移動通信ネットワークでサポートする MT の数は、現在の携帯端末を超えて多くのデバイスが移動端末として収容される可能性があるため、IMT-2000 の設備設計を単純に適用することはできない。しかし、表 3.4.3 の結果から、AR 配下の同時接続 MT 数が現状の RNC レベルの 100 倍 (100 万端末) になったとしても十分実装可能な範囲であると言え、AR 実現のボトルネックとはならないことがわかる。

【考察 2】 TRP に関しては、AR 配下 MT の状態に応じてキャッシュエントリの生成及び、削除が行えるため、AR 配下の在圏 MT 数を見積もることにより、TRP のメモリ量は予め予測することが可能になる。一方、TSP に関しては、AR 配下の MT 数が Active 状態中、どの程度の CN と通信するかにより、AR で必要になる TSP のメモリ量は変化するため、現状のネットワークサービスを想定すれば問題はないが、将来の通信モデルの変化によってはメモリ量を圧迫するかもしれない。

【考察 3】 AR 内のメモリ量以外の処理負荷の要素として、AR の CPU 処理負荷の要因に繋がるネットワーク内のシグナリングは極力増加させないように設計すべきである。また、効率的に TSP のキャッシュエントリを削除し、タイマー管理等の AR 内のキャッシュ管理処理負荷を削減することも重要である。シェアドキャッシュ方式では TSP エントリー量が削減できるというメリットがあるが、シミュレーション結果からは、メモリ量自体の問題はさほど大きくないことがわかった。一方、SC 方式では AR 内の 1 エントリを削除するために、RM ヘアドレス開放要求を送出するため、各々のエントリを削除する度にシグナリングが発生することになり、AR のシグナリング処理負荷が増加することが懸念される。よって、AR の処理負荷軽減を重視するのであれば、各エントリのタイマー管理が不要になり、シグナリング量を削減可能な IC 方式がキャッシュ管理方式としては有効であるといえる。

以上、新たなモビリティ制御の実現方式として、ネットワークエッジ AR と網内で集中されたモビリティ管理 (MM) によるネットワーク・インテリジェンス型パケットリルー

ティング方式における実現上の課題として、Access router の送受信用のルーティングキャッシュテーブル量を評価した。計算シミュレーションで算出した結果、現状のルータの実装レベルで十分実現可能であり、かなりの端末数増加（現行収容エリアの同時接続数の100倍）を見込んでもARでのアドレス変換方式は実装上および処理上のボトルネックとはならないことがわかった。

3. 4. 3 NEM制御方式評価のまとめ

本章では、次世代モバイルインターネットにおける新たなモビリティ管理方式として、ネットワーク・インテリジェンスによるNEM制御方式プロトコル仕様を具体的に示し、そのフィジビリティに関する定量的な評価結果を示した。その結果をまとめると次のとおり。

- 1) ARでの変換テーブル実装量は、現行のハード技術で対応可能
- 2) C/U両Plane処理において、ネットワーク規模拡大に対する特定のボトルネックはない
- 3) MIPv6に比して、現行のルータレベルの処理能力を前提としても性能上劣るところはない（IPv6でのDAD処理を含めば、遥かにNEM方式が有利）

なお、文献[44]、[48]によれば、端末数2億台規模のネットワークモデルを想定して評価した結果、現在の商用利用のサーバ20台程度でモビリティ制御機能を実現できることが示されている。

以上のような評価から、NEM方式は、機能的に次世代モバイルインターネットに求められる要求条件と設計方針を満たす方式であり、かつ、性能面でも大規模なネットワークとなったとしても、現行のIPベースの汎用的なシステム化技術によって実現可能である見通しが得られた。

3. 5 今後の展開へ向けて

現在、次世代のモバイルネットワークとしてIP化を進めるという方向性自体については、世界的コンセンサスができており、その特徴的な機能である移動管理を中心に、世界の研究機関で検討が進められている。たとえば、WWRFにおけるCoNet (Cooperative Network) working group やEUの第6研究フレームワークのプロジェクトの中のAmbient Networkにおいて、多種のアクセス間のシームレスなハンドオーバ等が検討されている。また、標準化機関においても、3GPP (3rd Generation Partner Project) においてはAll-IPモバイルネットワーク(AIPN)の標準化検討が開始されている。

3GPPのAIPN検討では、まだアーキテクチャ検討(3GPP TR22.978)が開始されたばかりであるが、モビリティに関しては、エンド型モビリティとネットワークエッジ型モ

ビリティ（ネットワーク・インテリジェンス）の両方が議論の対象になる可能性が高い。プロトコル標準仕様としての議論が進んでいないネットワーク・インテリジェンス型（NEM方式ベース）については、インターネットのプロトコルを制定する IETF での反応も見る必要があり、提案のための下地作りが研究フェーズの議論ができる IRTF を対象に現在行われているところである。

3GPP では、現在、All-IP モバイルネットワークに対する定義および要求条件として、以下のような項目を挙げており、これらは本論文の 3.2 節で示した次世代モバイルネットワークの要求条件や 3.3 節で示した設計方針と（3G の発展系という 3GPP の立場に依存した項目は別として）基本的に合致している。

(1) APIN の特徴：

- ① 3GPP システムの発展型
- ② 高度なサービスを提供
- ③ ネットワーク能力の向上
- ④ 設備投資の削減
- ⑤ 課金方法の多様化

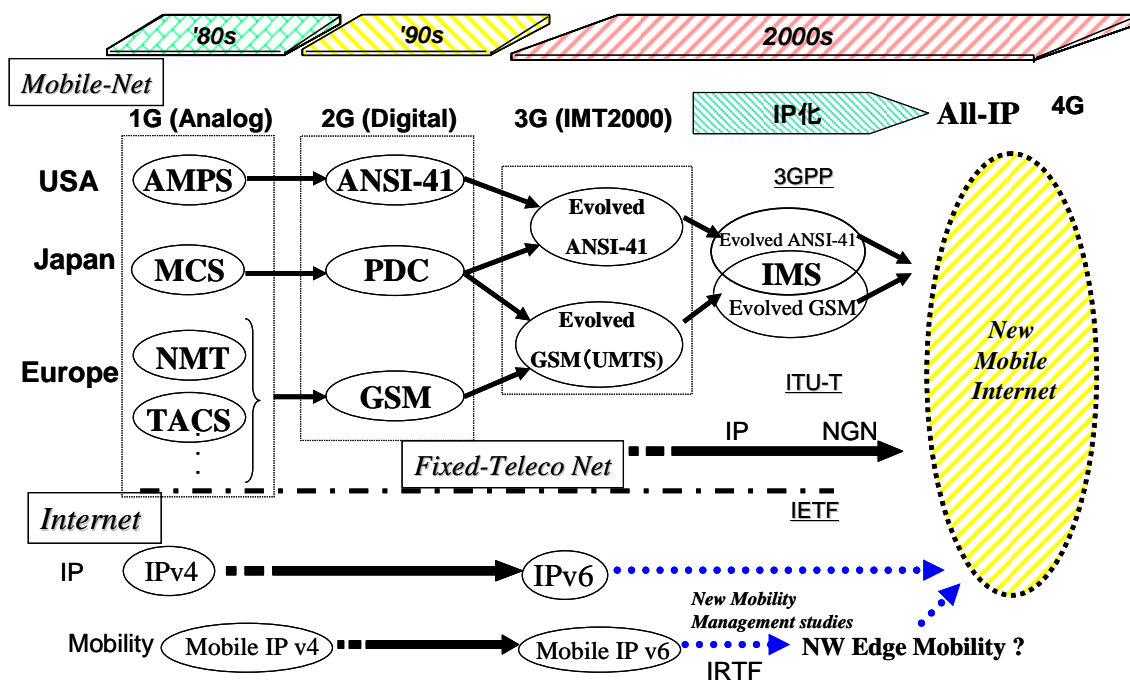
(2) AIPN ネットワーク制御要求条件と技術課題：

- ① IP ベースネットワーク制御
- ② 異無線システム間の移動性（ユーザが意識しない切り替え制御／データ損失無し/瞬時の切り替え制御／自由な可搬性）
- ③ ネットワーク主導による呼制御
- ④ 無線、端末リソースの有効利用
- ⑤ セキュリティ、プライバシー（ユーザ位置情報等）の確保
- ⑥ 旧世代端末の受け入れ

一方、固定網の IP 化に関しては、NGN（Next Generation Network）として ITU - T SG13 において、2005 年 9 月を目処に IP 化仕様（Release1）を完成しようとしている。この仕様検討では、① トランスポート層とネットワーク制御層の分離 ② 様々なアクセスシステムをコアネットワークに収容 ③ IP サービス制御にモバイル用に規定された IMS（IP Multimedia Subsystem）を適用 ④ 階層的なモビリティ管理、などが主要課題としてあがっており、アーキテクチャ的には、本論文で提案している IP² 方式との共通点も多い。今後、固定/移動網融合化（Fixed&Mobile Network Convergence : FMC）をどのように進めるかという検討が移動通信ネットワークの標準化を担当する ITU - T SG19 と合同で行われる可能性が高い。

本論文で示した研究は、All-IP 化によって固定端末の収容も含めてユビキタス時代の様々な端末を収容することを目指した新たなモバイルインターネット構築を目指したものであり、本研究の成果が今後の通信網の高度化に向けた世界の研究活動、標準化活動に寄与することが期待される。

図 3.5.1 に国際標準化のこれまでの流れと All-IP 化に向けた期待する方向性を示す。



AMPS: Advanced Mobile Phone System, MCS : Mobile Communications System, NMT: Nordic Mobile Telecommunication System, TACS: Total Access Communication System, PDC: Personal Digital Cellular, GSM: Global System for Mobile Communications, ANSI: American National Standard Institute, UMTS: Universal Mobile Telecommunications System, IMS: IP Multimedia Subsystem, NGN: Next Generation Network

図 3. 5. 1 モバイルネットワーク標準化の流れと IP 化への方向性と期待

第4章 ユビキタスサービスに適應する新世代ネットワーク構成法

4.1 はじめに

今後のネットワークサービスを展望すると、マイクロチップや近距離無線技術の発展により、人の身の回りのあらゆるモノにコンピュータチップが埋め込まれ、それらが連携して人の行動を支援するというユビキタス（コンピューティング）サービスが現実的なものとなってきた。このサービスの実現には、遍在する膨大な数の端末デバイスをネットワーク化する必要があり、きわめて多様なトラフィックを扱う必要がある。また、個々のデバイスは一般に能力が制限されているため、その機能・性能をネットワークが補うことも必要となると考えられる。このように、ユビキタスサービスに適合するネットワークは、これまでの通信ネットワークの進化の方向とは若干異なる位置にあるものと考えられ、機能的にも構造的にも、新たなパラダイムを想定して研究に取り組む必要があると考えられる。

本章においては、まず、将来のユビキタスサービス時代のネットワークとは如何なるものであるのかを考察し、環境への浸透と理解を機軸とした新たなネットワークのビジョンを提案し、それが実現すべき価値について論ずる。次に、ユビキタスサービスに対する考え方を整理し、実世界（フィジカル）を対象を含め、人や周囲環境の状況に応じて（コンテキストウェア）、人にはさりげなく（インビジブル）サービスが提供されることが、ユビキタスサービスの特徴づける機能概念であることを指摘し、これら概念にもとづくサービスの実現モデルを提示してサービス研究の方向性を示す。次に、ネットワークビジョンを実現する具体的なネットワーク構成論として、次世代のモバイルネットワークをコアとしてユビキタス世界へ拡張を図る“モバイルユビキタス・ネットワークング”の概念を提唱する。人に常時携帯される携帯電話端末がフィジカルな世界へのゲートウェイとして優れていることを示し、ローカルなユビキタスネットワークとモバイル端末、モバイルネットワークとの連携によって生じる効果を示すことでモバイルユビキタス概念の有効性を論じる。次に、今後の研究の推進に向けて、ネットワークアーキテクチャを規定し、その主要構成要素についてネットワーク技術とサービス支援技術の両面から要求条件や新たな研究課題を体系化してまとめている。最後に、ユビキタスサービスをキャリアビジネスとして提供していくことを想定した場合に考えられる種々の課題について、サービス提供上の特性に着目して論じ、ユビキタス社会を進展させていくための留意点を指摘する。

4.2 ネットワーキング研究の新ビジョン

従来、ユーザの通信要求にもとづいて通話相手やインターネット上のコンテンツへ接続性（コネクティビティ）を提供することがネットワークサービスの基本であった。今後の通信サービスにおいては、その基本的なサービス形態に加え、ネットワーク側がユーザ自身やその周りの環境の状況を把握し、ユーザ自身が具体的にニーズを伝えられなくても、

あるいはタイミングを意識しなくても、その状況に適したサービスをやさしく（優しく、易しく）提供することが重要となってくると考えられる。これは、ユーザ層の多様化と社会情勢の変化により、様々な環境でいろいろな目的のために情報通信技術に頼る機会がますます増えてくることによる。すなわち、高齢者の社会参加の促進や人々の趣味・余暇環境の多様化に伴う幅広い社会活動実現（あるいは自己実現）の容易化、更に、増加するテロ・犯罪や自然災害に対する安心・安全保障といった要望が高まることから、社会インフラとしての情報通信技術とサービスの汎用化（誰にでも、いつでも、どこでも、簡単に利用できる、あるいは、間接的に利用している状態）が強く求められることになるからである。

この新たなニーズは、まさに、人々の様々な実生活に情報通信技術がより密接に、しかし負担をかけずに連携するということであり、人が電話で通話したり、PCでインターネット上の情報にアクセスするだけでなく、人の周辺に存在するあらゆる機器やモノ（正確には、人やモノに着けられたセンシング・計算・通信デバイス）を介して、実世界（環境）の情報にもアクセスし、これをもとに人に直接情報を提供したり、あるいは間接的に働きかけるサービスを提供するという“ユビキタスサービス”を実現することを意味している。

こういったサービスを実現するには、まず、ユーザを含む実環境の状況を“理解”することが必要である。そして、そのためには、現在すでにネットワークの端末となっているコンピュータ機器や携帯電話へのコネクティビティの提供だけでは不十分で、実環境に存在するあらゆるモノや、人の状態を感知するセンサーへのコネクティビティ、到達性を提供するという“遍在性（Ubiquity）”あるいは環境への“浸透性（Osmosis）”を究極まで高める必要が出てくる。

一方、ネットワークを介してあらゆるメディア（コンテンツ）の流通を促進するためには、ネットワークで運ばれるコンテンツに対するある種の“理解”をすることで、それに応じたネットワーキングサービスを提供できるという期待がある。すなわち“コミュニケーションを理解する”、“ネットワーク状況を理解する”ということが、ネットワークの制御を高度化し、より自律性を増した動作によって、ユーザに負担の少ない、より快適で安心できるサービスを提供するために有効であると考えられる。

以上の視点をユビキタス時代のあらたなネットワーキング研究ビジョンとして提案する。すなわち、ユーザやその周囲環境を含むあらゆる物理世界に浸透するようなネットワークを提供することによりユーザのおかれた実世界を理解するための情報を取得して実世界とサイバー空間を連携を実現すること、これにもとづいて環境状態を理解し、また通信の状況を理解することで、ユーザにやさしいサービスを提供するようなネットワークを構成すること、である。このビジョンを実現するネットワーク化を **Cognitive & Osmotic Networking (CosmoNet)** と呼ぶこととする。

図4. 2. 1に、研究ビジョンをまとめる。

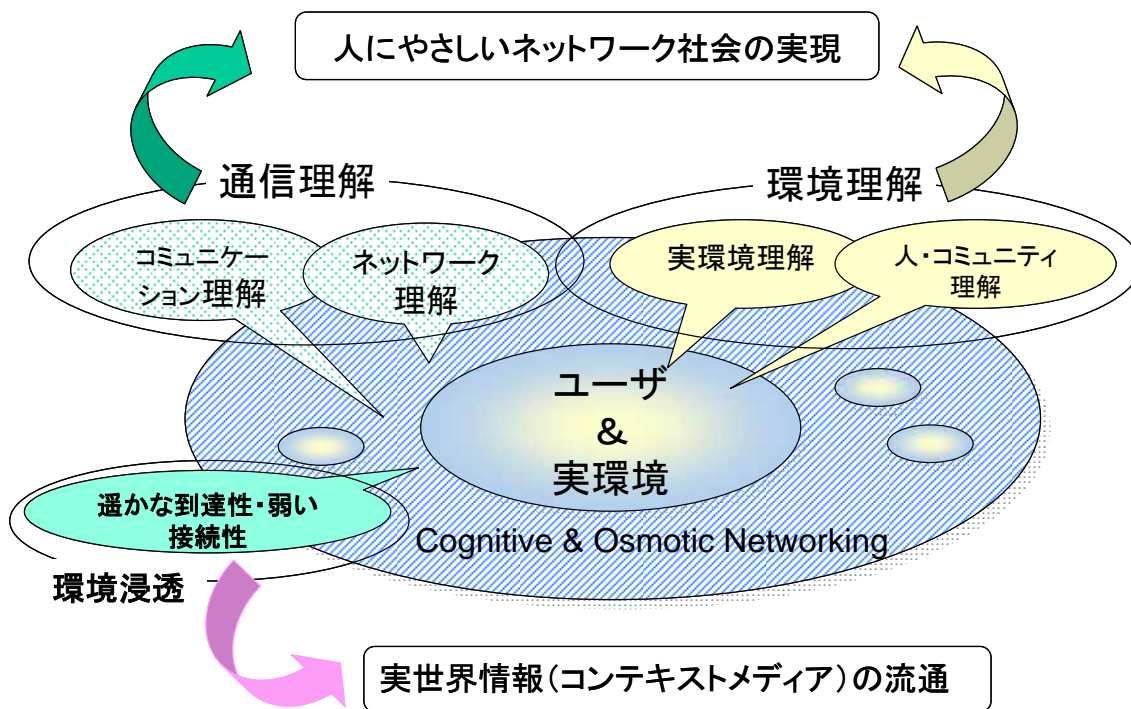


図4. 2. 1 ユビキタス時代のネットワーキング研究ビジョン

この CosmoNet のビジョンの実現により、目指す価値、能力の目標をネットワーク能力とサービス提供の点でやや細かく概念的にまとめたものを図4. 2. 2に示す。環境理解、通信理解によりネットワークが目指す価値は、ユーザに特段の意識をさせることなく意図や状況に応じたサービスを提供できる‘気配り’ができ、セキュリティが高く‘安全・安心’でユーザが最も使いやすい‘快適’な通信環境を提供することである。また、通信状況の変化に対して柔軟性、拡張性そして信頼性に優れた‘しなやかさ’のあるネットワーク構造をもち、広帯域化と品質制御によってあらゆるコンテンツを流通させることを可能とすることである。また、環境浸透というコンセプトにより、あらゆる機器、デバイスが端末として接続可能とし、いつでもどこでも、いつもつながっているシームレスなネットワークであることをめざす。そこでは固定的なインフラが用意されていなくても簡単に一時的にでもネットワーク化される構造が求められる。これらのネットワーク価値目標は、まだ概念的で、一般的かつ理想的な状態を言っているに過ぎない。この理想にどれだけ近づけるか、具体的な数値目標を立て研究を進めることが、次のステップとして重要である。

サービス価値についていえば、これもまだ概念的な目標を示しているのみである。具体的には何ができるのか、また、実際にそれらにニーズはあるのかという点については、実際にサービスを提供しながら確認していく必要がある。その意味で、ネットワーク価値創

造のための技術確認とサービス試行を平行して研究開発活動を実施していくことが今後求められる。

本論文では、本節で提案した研究ビジョンに従い、考えうるサービスとこれを実現するために必要となる技術について考察し、ユビキタス時代のネットワーク構成論、すなわち **CosmoNet** の実現形態について提案を行い、今後の産学官での研究展開のための課題を明確にする。

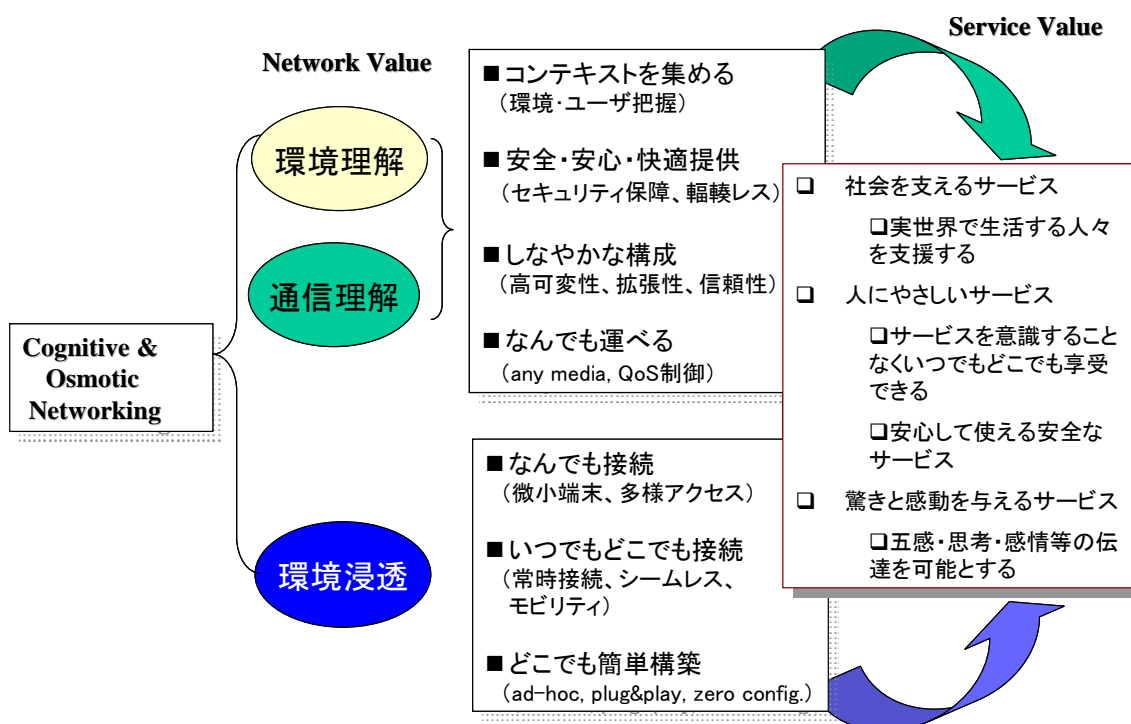


図4. 2. 2 CosmoNet による価値創造目標

4. 3 ユビキタスネットワーク (CosmoNet) による新たな能力の創出

4. 3. 1 サービスとネットワーク概念の拡張

(1) サービス能力の拡大

従来、キャリアネットワークは、固定網の高速・広帯域化が主要な発展の軸であった。携帯電話サービスの発展により、移動性の提供が重要な要素となり、エリアカバーレッジの拡大、あるいは移動中のサービスの継続性保証がサービス提供の条件となってきた。モビリティとブロードバンドを生かした将来の方向性としては、リッチでリアリティのあるコンテンツの流通によりコミュニケーションの質を上げるという基本的な発展の方向がある。一方、あらゆる機器や実世界のモノがネットワークにつながるユビキタス化という方向が進めば、ネットワークを介した実世界のセンシング、追跡、検索、制御といった機能がひろがり、実世界の情報を取得・利用し、また実世界のモノを仮想空間から制御するといったことが実現可能となり、この能力にもとづく様々なサービスが展開される可能性がでてくる。 図4. 3. 1にその一例を示す。

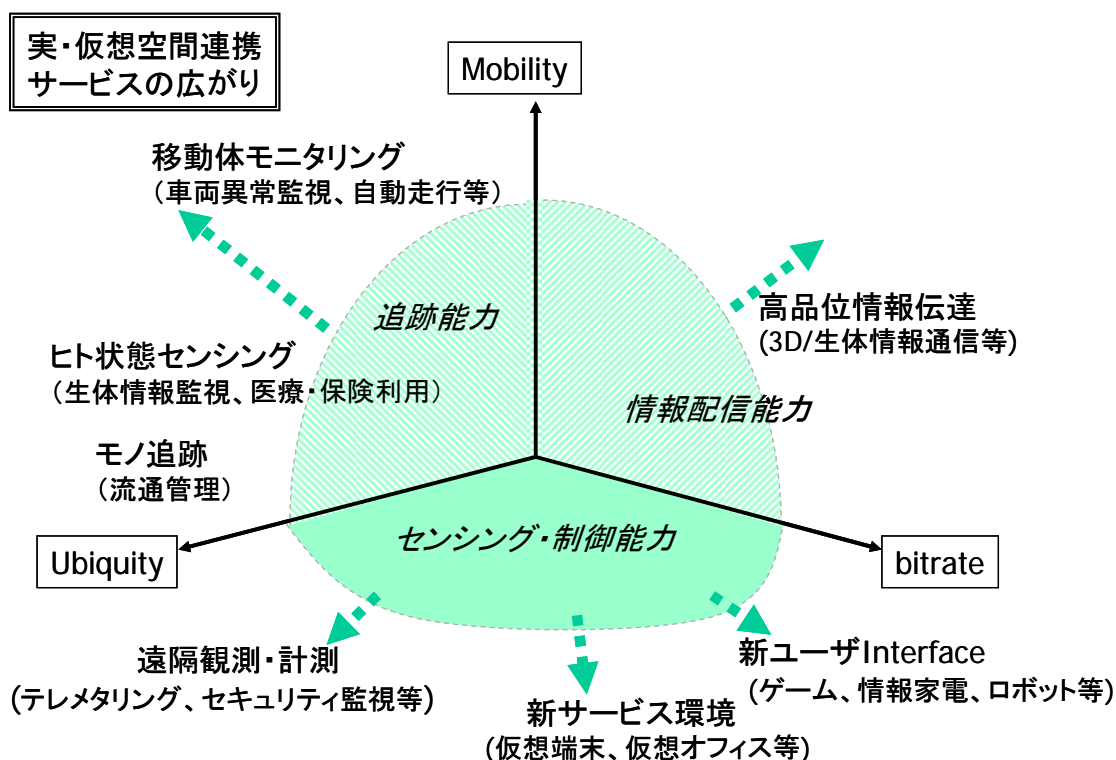


図4. 3. 1 ユビキタスサービスの展開

一般に“ユビキタスサービス”とは、こういった実空間の情報や実体と仮想空間の情報が

連携して新たに作り出されるサービスであると考えられることができるが、その定義はまだ多様であり、次節（4. 3. 2）で、本論文で考えるユビキタスサービスの特徴づけを試みる。

（2）ネットワーク能力の拡大

サービス能力拡大を支えるネットワークの特徴は、ユビキタス化が発展することで多種多様で、極めて多数のデバイスがネットワークに接続されねばならないことである。それらデバイスから発生するトラフィックは、また、極めて多様な性質を持つと考えられ、従来の音声、映像やファイルアクセス等のデータ通信とはまったく異なる流通のさせ方が求められる。

ユビキタス化は、ネットワーク能力でいえば接続性、到達性の拡大を意味するが、拡張性に優れたインターネット技術ですら、不十分となる可能性が高い。それは、1) 端末となるデバイスの能力が極めて低く、インターネットの原則といえるエンド主義によってインテリジェント化をエンドデバイスに託すという方法が難しくなること、2) 多数の同類の端末が実空間にある場合、特定の端末を指定して接続することよりも、どれかを代表者として情報を得れば十分であることがあり、この場合、識別子（IP アドレス）を各デバイスに付与することが無効となること 3) ネットワークを構成するデバイスが脆弱・不安定であることによりネットワーク構成が逐次変化する可能性が高く、固定的アドレスにもとづいたルーティングが困難であること 等の特徴が考えられるためである。

ユビキタスの軸が加わることで、明らかに従来のモバイルネットワークやインターネットでは不都合な状況が想定され、ネットワーク構造や伝達プロトコル方式に変革が必要と考えられる。ネットワーク能力を拡大するための課題については、第4. 4節でより詳しく議論する。

4. 3. 2 ユビキタスサービスの考え方[50]

“ユビキタス”という言葉は、近年とくに日本においては、いろいろな分野で頻繁に用いられている。しかし、技術的にも明確な定義が共有されているとは言い難い状況であり、さらにビジネスやサービスの分野全般にまで広げると、ほとんど「いつでも」、「どこでも」といった標語的な意味しかもたない場合もある。

コンピュータ研究の世界で“ユビキタス”という言葉は初めて用いたのは、Xerox PARC の Mark Weiser 氏であり、1987 年ごろから “ユビキタスコンピューティング” についての議論を PARC において開始したとしている [51],[52],[53]。本節では、4. 2 節で述べた研究ビジョンにもとづき、キャリアによる次世代ネットワークサービスとして提供しようと筆者が考えている “ユビキタスサービス” が備えるべき特性を抽出して、ユビキタスサービスを新たに規定する。

(1) 通信キャリアが提供するユビキタスサービスの概念

“ユビキタスサービス”は、利用される端末デバイスの能力から、大きく分けて二つの概念があると考えられる。一つは、あるサービスに着目したとき、ユーザがどこにいても同じように継ぎ目なくそのサービスを受けられるという状態に関する概念である。これは、人が直接利用するモバイル情報端末（携帯電話や PDA あるいは PC といった比較的高性能なデバイス）を対象にするサービスであり、それらの多様性から生じる問題を解決し、端末種別や場所に関わらずサービスを継続的に受けられるようにするものである。例えば、PC でも携帯電話でも、あるいはアクセス手段が有線か無線であるかを問わず、ユーザがいつでもどこでも同じサービスを受けられることを意味する。ここでは、端末、アクセス手段、伝達メディアの相違という、サービス提供におけるある種の“継ぎ目（シーム；seam）”をなくすことが目的となっており、サービスのモバイル化を拡張した概念としてモバイルキャリアにとって次世代のサービスのひとつの鍵となると考えられる（“シームレスサービス”）。

一方、もう一つのユビキタスサービスは、文字通り極めて多くの端末が極めて高い分散度であらゆるところに存在することにより得られる情報および提供できる情報を、情報利用者（エンドユーザとは限らない）との間で授受するサービス概念である。この場合は、端末は一人のユーザの周りに多く存在し、ユーザはこれら端末を意識することなく、サービスが“さりげなく”提供されるという状態を想定することができる。これは、究極のユビキタスサービスともいえるもので、Mark Weiser 氏の描いたユビキタスコンピューティングの世界に対応し、また、本論文における研究ビジョンで述べたサービス価値を実現するひとつの究極の姿でもある。

これら両方の概念ともに、将来のキャリアサービスとして重要であるが、シームレスサービスについては、第 3 章においても触れたとおりモバイルネットワークの高度化の一環として要求条件にも挙がっており、すでに世界各所で研究開発に着手されている課題 [54],[55]であることから、本章においては、後者の実世界に直接作用する新たなサービス概念である究極のユビキタスサービスを主な議論の対象とし、以降このタイプのサービスを“ユビキタスサービス”と呼ぶことにする。

(2) ユビキタスサービスを特徴づける機能概念

ユビキタスサービスを特徴づける機能概念を選定する。次の三つの概念が必須要項と考えられる。

- (a) コンテキストアウェア（状況理解）：ユーザの状況やユーザの意図などに応じてサービスを受けられること。ユーザにサービスを提供するシステムは、ユーザの状況や意図を理解し、サービスを適合させて提供する。
- (b) フィジカル（物理世界対応）：仮想空間の情報だけでなく、物理的なモノや物理的な事象を直接の対象としたサービスを受けられること。システムは物理世界を認識し、また物

理世界を制御することができる。

(c) インビジブル (見えないこと) : いつでもどこでもどんな状況でも、ユーザが意識することなくサービスを受けられること。システムはいたるところに存在し、ユーザが明示的な要求をしなくとも自然にサービスが提供される。

これら 3つの機能概念を図 4. 3. 1 に示す。これらは互いに関連しあっており、これらの機能を連携して実現することで研究ビジョンに示したユビキタスサービスの能力が提供できると考える。

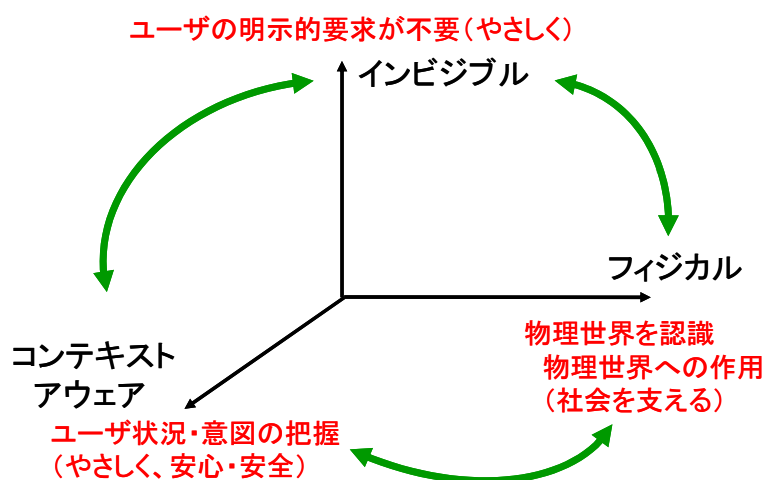


図 4. 3. 1 ユビキタスサービスの基本機能概念

次に、ユビキタスサービスを提供する全体の仕組みについて、そのモデルと重要な要素について議論する。図 4. 3. 2 にサービス提供モデルを示す。

まず、この図面で示された要素と動作について説明する。ユーザは、サービスに関してなんらかの意図あるいは要求をもつ。従来の IT サービスでは、ユーザは情報通信端末を用いて明示的にサービスを要求し、ネットワーク (サイバー空間) から、その要求に応じてサービスを受けていた。ユビキタスサービスでは、ユーザ自身がそのサービスを欲しいときに明示的に要求できない (意識できない) 場合もあることを注意する。例えば、時間がきたら教えてくれるアラームや、落とし物をしたら教えてくれるようなサービスは、ユーザは事前に要求を出しているが、その提供時期は意識できないものである。また、情報通信機器の使い方がわからないことによってサービスを具体的に要求できないといったケース (いわゆるデジタルデバイド) も考えられる。

また、ユーザ周辺の物理的状态やユーザのこれまでの経験は、ユーザの要求に影響を与えるはずである。このユーザに直接影響を与える様々な状況をまとめてコンテキスト

(Context) と呼ぶ。ユーザを取り巻くコンテキストの外側には、該当ユーザに直接関係のないさまざまなモノや事象が存在するリアル世界（物理空間）が広がる。この空間のコンテキストもまた、実空間情報としてユビキタス時代のサービス（コンテンツ）の一つとなりえる。それは必ずしも現時点のユーザに直接関係していなくても、過去に訪れた場所の情報としてサービスの意味・価値があったり、また、単純に遠隔地の物理的なコンテキストを得たいという要求が、そこに居ないユーザから発生する可能性があるからである。

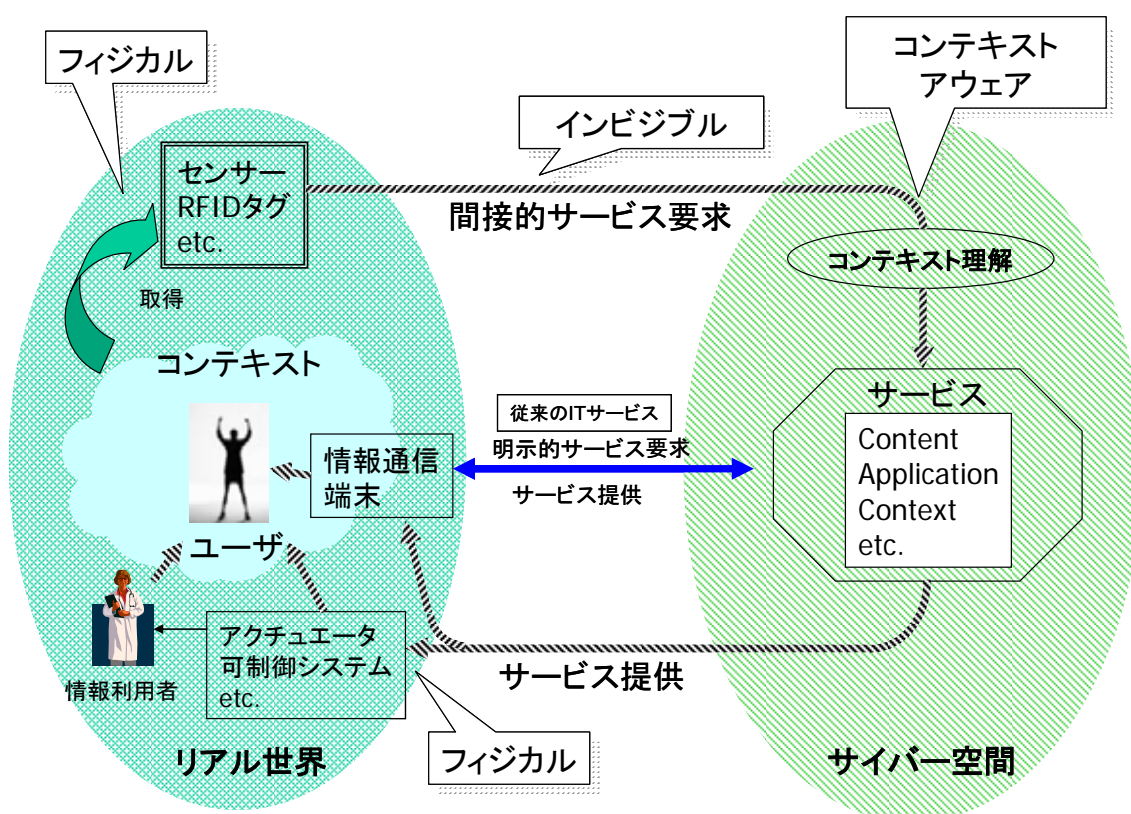


図4. 3. 2 ユビキタスサービスの提供モデル

一方、ユーザにサービスを提供する主体は、情報サービスの場合はネットワーク上のサイバー空間にあったり、リアル世界のサービス提供者である可能性もある。前者は、これまでのインターネットを介した情報配信サービス等と同様であるが、後者のリアル世界のサービス提供とは、ユーザに直接働きかける様々な人間からの直接的なサービスであったり、ネットワークからの制御によって動く様々な機器からのサービスであったりする。

これらサイバー空間と物理世界の間で情報を運ぶ仕組みがモバイルネットワークやインターネット等の通信ネットワークである。ネットワークの端末要素としては、人が直接操作できる情報機器の他、物理世界から情報を取得するセンサーや物理世界に制御を与え

るアクチュエータなどがつなげねばならない。

ユビキタスサービスを規定するそれぞれの機能要素の役割を次に示す。

(a) **コンテキストウェア**： 従来の情報サービスは、ユーザが PC 等の情報端末を介して要求をアクティブにサイバー空間に提示し、サービスを受ける。このようなサービス提供形態では、通常、ユーザのコンテキストも物理世界もサービスに影響を与えない。しかし、ユーザからのアクティブな要求に加えて、ユーザのコンテキストがサイバー空間に提供され、これが加味されると、よりユーザの状況に適応したサービスを提供することが可能となる。例えば、目覚ましのアラームが、もしユーザがすでに起きていることをユーザのコンテキストから理解できたなら、ベルを鳴らす必要はない。コンテキストウェアとは、こういったユーザの状況を踏まえたサービスを具体化するための中核となる機能概念である。なお、コンテキストから状況を理解し、それにもとづきサービスを選定するには、知的な処理が必要であり、そのための機能はサイバー空間に設けられる必要がある。

(b) **フィジカル**： コンテキストは、多くの場合、時空間的にユーザの近傍の状態を示すものである。一方、ユーザの周囲には物理世界が広がっており、近傍系だけでなく物理世界全体を、このユーザへのサービスの対象と考えることもできる。物理世界のあらゆるモノの存在が新たな情報、コンテンツを生み、またモノ自体もユーザとなりえる。ネットワークが取り扱う情報やユーザの概念が広がったことにより、新たなサービスの概念が生まれる。例えば、図 4. 3. 1 で示したような、リアル空間のモニタリング、追跡サービスを支える概念として、実世界（フィジカル）を指向することは、ユビキタスサービスが人の社会生活や実ビジネスを支援していくうえで重要な機能である。

(c) **インビジブル**： 実世界のモノがサイバー空間に対してサービスを要求し、モノへサービスが提供されるという形もありうる。モノがサービスを受けた結果、コンテキストや物理世界が変化し、人にとって暗黙のうちに更にサービスが要求され、サービス要求と提供のループが形成される場合がある。ユーザは、このモノとサイバー空間のサービス・ループからメリットだけを享受することになる。日常の簡単な例を挙げれば、室内のエアコンの自動温度設定がある。室温の他、外気との比較、室内にいる人の温度の好みといったコンテキストがサイバー空間で理解されれば、エアコンとサイバー空間の温度コントローラの間で温度調整が行われ、結果として、室内にいる人にとって快適な環境が提供されることになる。このようなコンテキストを用いた間接的自動制御のメカニズムは、ユビキタスなデバイスとネットワーク環境が整備されるにつれ、人を支援するためのいろいろな応用分野で利用されると考えられる。他のタイプの例として、人が街角の店舗のウィンドウ・ディスプレイの前を通過するとき、その人のコンテキスト情報にあった広告や商品に関する情報をタイミングよく出すというプッシュ型のサービスも、ユーザがアクティブに要求しなくてもサービスが様々なところで提供されるという意味で、インビジブル性をもったサービスといえよう。

このようにユーザが明示的に指示せずとも、物理世界のコンテキストを活用して、いつでもどこでも（さり気ない）サービスによるメリットを受けられることが“インビジブル”の意義であり、ユビキタスサービス機能のひとつの本質である。

4. 3. 3 ユビキタスサービスを支える技術エリア

ユビキタスサービスは、多岐に渡る技術の集合体によって実現されるものであるが [56],[57],[58]、ここでは、特に前節でのべた基本機能概念に着目してユビキタスサービスにとって重要であると考えられる要素技術エリアを抽出する。なお、ネットワーク技術については、具体的なネットワークアーキテクチャを提示する 4. 4 節において議論する。また、サービス方式のより具体的な課題については、4. 5 節においても議論する。

(a) コンテキストアウェアの観点から：コンテキストとして基本要素となるユーザ位置情報を簡便かつ精密に得るための測位技術の開発は重要である。デバイス性能の制限や屋内での測位も考えると **GPS** 以外のいくつかの測位方式をもっておく必要がある。ユーザ周辺のコンテキスト情報取得のためには、その耐久性や精度そしてコスト面で容易に利用可能な新たなセンサーデバイスの開発が必要である。また、獲得情報を単純に送信するだけでなく有効情報を選択的に処理しつつ転送するようなセンサーネットワーク上の自立的な処理能力も必要であり（インテリジェントセンサー）、専用 **OS** 等新たな取り組みが必要である。

仮想空間においては、収集したコンテキストを理解するために、様々なセンシング情報から環境状況の認識やユーザの意図理解等の処理を行う必要がある。このためにはいわゆる人工知能の分野に属する高次の機能も求められる。また、コンテキストは最もセンシティブなプライバシー情報などを含む。プライバシー情報に関しては、開示相手との関係でそのレベルも変わるため、まず、どのような相手に対してどの範囲を保護すべきかという基本的なポリシーの設定方式と、自動ネゴシエーションによりポリシーに従った適切な範囲の情報を開示するような仕組みの検討が重要であろう。また、コンテキストとして開示する個々の情報が僅かなものであっても、ある個人をキーとして集約すると、予期せぬプライバシー情報が得られてしまう可能性もある。これを防ぐために、システム全体としてセキュリティ管理をいかに行うかは重要な問題である。複数の応用分野にわたる情報利用を監視できるようなセキュリティ連携の仕組みの検討が必要である。こういったセキュリティに関する技術は、ユビキタスサービスが社会で受け入れられるために最も重要なものの一つである。

(b) フィジカルの観点から：ネットワークが物理世界とどのようにリンクするかがポイントになる。物理世界の中の個々のモノを識別する技術としては、無線 **IC** タグなどの利用が広まりつつあるが、画像理解技術による物体認識などと組み合わせて、物理世界をサイバ

一空間側で認識できるようにすることが必要である。逆に、サイバー空間から物理世界の中のモノを指し示す技術も必要である。これらのために、物理世界をサイバー空間の中でモデリングするための手法が開発されねばならない。これにはモノの識別子の記述、モノとモノの間の関係の記述などが必要となり、オントロジー技術としての知識の集積が必要になる。

(c) インビジブルの観点から：ユーザにサービスを意識させないためには、優れたインタフェースが必要なことはいうまでもない。また、いつでもどこでも常にユーザを支えるために、広く分散されたシステムが必要である。よって、ヒューマンインタフェース技術と超大規模分散処理技術が基本的な技術エリアとなり、それらを支える端末インタフェースやウェアラブルコンピュータ技術、モバイルネットワーク技術、分散する計算能力を柔軟に管理する技術などが必要となる。

4. 4 ユビキタス時代へ向けたモバイルネットワークの発展

本節では、既にモバイルネットワークを持つ通信キャリアが、来るべきユビキタス社会のインフラとしてのユビキタスネットワーク **CosmoNet** を構築しようとしたとき、モバイルネットワークをどのように発展させてこの新しい世代のネットワークをデザインするか、という視点で新世代のネットワーク構成法を検討する。前提としては、本論文第3章でのべたモバイルネットワークの **All-IP** 化が進んでおり、様々な無線アクセスインタフェースが容易に追加できるような環境が整ってきているものとする。提案したアーキテクチャにもとづく諸研究課題についても論じ、今後の研究の方向性を示す。

4. 4. 1 モバイルサービスとネットワークの発展方向

モバイルサービスとネットワークの発展と今後の展開のステップは、日本においては、**図4. 4. 1**のように整理できる。すなわち、セルラー網のデジタル化を実現した第2世代（2G）においては、パケット通信方式とブラウザフォンを用いて、インターネットとのゲートウェイ接続を提供するインターネット・モバイルアクセスサービスが導入され、従来の音声中心のサービスからデータ、画像を含むコンテンツを扱うノンボイス通信へとサービスが発展した。このサービスの成功により、日本においては“モバイルインターネットサービス”としてユーザに定着した。次に、第3世代（3G）においては、ATM（非同期転送モード）技術を使ったネットワークのマルチメディア化、ブロードバンド化が図られ、2Gからのカメラ付携帯の普及も相まって、よりリッチな動画画像を含むAV系のサービスが発展しつつある。3Gネットワークは“モバイル・マルチメディアサービス”を立ち上げたということができよう。

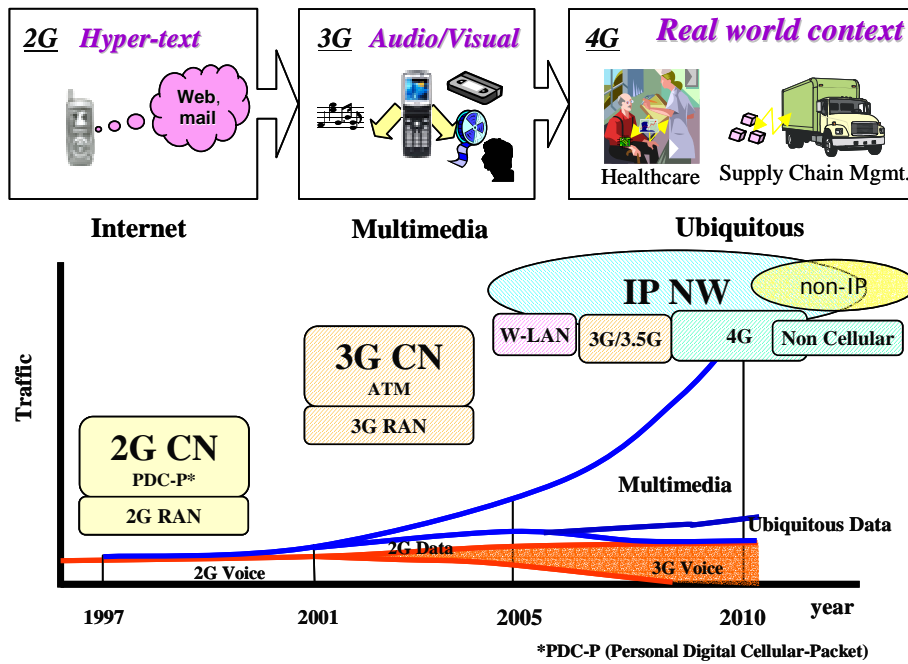


図 4 . 4 . 1 モバイルサービスとネットワークの発展

では、この次の世代、即ち第 4 世代（4G）の時代ではどのようなサービスが現れ、それを支えるネットワークはどのような構造になるであろうか。ネットワーク構造については、本論文第 3 章で提案したとおり、ブロードバンド化とマルチメディア化を一層経済的に推し進めたモバイルネットワークとして、All-IP 化が進められていると考えており、これからの 10 年程度の間、これまでの音声・映像通信の常識を超えた、より臨場感のあるリアリティの高いコミュニケーションサービスが人と人の通信の中核となっているものと期待される。例えば、あたかも相手がそばにいるような映像、あるいは遠くにいてもどこから話しているのかその方向と遠近がわかるような立体的（3D）な音声・映像通信等が実用化しているであろう。またロボット等を使って聴覚、視覚だけでなく触覚や動作を伝え、場の雰囲気や感情の伝達を支援する、いわゆる分身通信もあらたな通信の形として誕生しているであろう。この方向では、モバイルネットワークのブロードバンド化とマルチメディア化がサービスをドライブするための重要な鍵となっている。

一方、もうひとつのサービスの発展として、前節までに述べたユビキタスサービスが実現される時代となっていると考える。無線タグや各種センサー、超小型のコンピューティングデバイスの発展により、人と人が直接対話する通信サービスばかりでなく、実空間のあらゆる機器やモノがつながり情報を交換し、それらが直接または間接的に人にサービスを提供するユビキタスサービスが出てくる可能性が期待される。

このユビキタスサービスを支えるネットワークへの基本的な要求条件は、遍在するあらゆるデバイスをネットワークングするため、環境に埋め込まれた微小デバイスから情報家電のような高機能な端末まで、多様で膨大な数の端末（ユビキタスデバイス）に対して接

続性（コネクティビティ）を提供することにある。ユビキタスデバイスは、無線タグやセンサーのように極めて限られた通信能力しか持たないものもあり、また、そのデバイスが機能する場所や期間に限界もあり、ネットワーク構成自体が非定形で一時的（アドホック）となる場合も考えられる。また、そのデバイスとネットワークの所有、管理も従来の公衆網のように通信キャリアによる統一的な所有、集中的な管理が成されるとは限らない。こういった条件の下でネットワークの接続性、情報の到達性を提供するというユビキタスネットワークが次世代ネットワークの（マルチメディア・ブロードバンドに加えての）もう一つの新たな特徴であると考えられる。

以上のような、モバイルブロードバンド性とユビキタス化も含んだ新たなネットワークによるサービスとネットワークの概念を、本論文では“モバイルユビキタス”と呼ぶことにする。これは、また、第4.1節にて提案した将来のユビキタス時代のネットワークビジョンを **CosmoNet** のひとつの実現形態でもあり、次に示すように4G（セルラー）ネットワークの拡張版と見ることもできる。

以下、より具体的にモバイルユビキタスの構成法を与えていく。

4.4.2 新たなモバイルネットワークの構成

(1) モバイルユビキタス・ネットワークの考え方

通信のリアリティ化とユビキタス化により、ネットワークに新たな要求条件が発生するが、要求条件のすべての具体化は、現時点では未知な事象が多いため困難である。ただし、特に通信のマルチメディア化、超リアリティ化をサポートするためのネットワークのブロードバンド化という発展という軸でみれば、3Gセルラーネットワークの更なる高速化と経済化という従来からの発展アプローチの延長線上にあるものであり、すでに（狭義の）4Gアクセス無線技術の研究開発のために、そのターゲットは明確にされているといえる[59]。この能力をもつ4G（セルラー）モバイルネットワークは、携帯電話サービスを中心としたキャリアネットワーク発展の基本であり、モバイルユビキタスの時代にも、ネットワークとサービスの中核として重要である。このセルラー網には、その広帯域性を生かす高度な携帯端末（4G端末）が接続され、人と人の通信のマルチメディア化、超リアリティ化を実現する。

そこで、この4Gブロードバンドモバイルネットワークをコアとして、更に、ユビキタス化も包含するネットワークへの拡張を想定する。これが“モバイルユビキタス”概念の実現のイメージであり、広義の4Gネットワーク（4G+（プラス））とも呼べるものである。

(2) 4G（セルラー）モバイルネットワーク

モバイルユビキタス・ネットワークのコアとなる狭義の4Gネットワーク、すなわ

ち3Gからの更なる高速化と広帯域化を図り、サービスのマルチメディア化や超リアリティ化に対応するモバイルネットワーク構成については、第3章で述べたAll-IPモバイルネットワークが対応すると考えている。無線アクセス技術としては、4Gセルラー無線だけでなく、3Gの高速版やIEEE802系の無線アクセス技術もふくめ、複数の方式が利用され、それらをシームレスに利用する方法も導入されていることは要求条件として第3章で議論したとおりである。

(3) モバイルユビキタス・ネットワーク構成法

物理世界を対象とするユビキタスネットワークは、研究ビジョンで述べた“環境へ浸透”するネットワークを基本としており、ローカルな或る場所、或る時間に存在する物理世界、実空間情報を扱うことがひとつの特徴である。この物理世界の情報を扱うユビキタスデバイスは、当然、その特定の場所と時間に存在しており、同様な目的をもったデバイスが複数あって協調する必要があるれば、それらはローカルにネットワーク化されることになる。すなわち、実空間の固有の場所でのコンテキスト情報を収集する必要のあるユビキタスネットワークでは、時空間的にローカルなエリアでネットワークが行われることが基本となっていて、それらが必要に応じてグローバルなネットワークと接続され情報の流通が行われる。そこで、ローカルに形成されるデバイス間のネットワークをユビキタスローカルネットワーク (Ubiquitous Local Network : ULN) と定義する。

一方、高機能なモバイルデバイスを接続するモバイルネットワーク (及びインターネット) は場所フリーな通信と仮想世界を扱うことを得意とする。このモバイルネットワークは、グローバルなネットワークとして (時空間的に移動性のある) ULN 間を相互につなぐことにより、ローカルな実空間情報をグローバル化し、またインターネット上の仮想空間へ導くことも容易にできる。よってモバイルネットワークと ULN による実環境空間が「うまく接続」できれば、従来のインターネットのコンセプトを超えた、実世界までを包含するあらたなユビキタス (グローバル) ネットワークが出現し“モバイルユビキタス世界”を形成することが期待できる。

この接続のために、筆者は、モバイルネットワークの“エッジ (縁)”においたゲートウェイによってこの接続を行うことを提案する (図4.4.2)。ここで注意したいのは、エッジとは、ネットワークのノードではなく、人が常時携帯する携帯電話端末を想定しているということである。人を中心として、この先に実世界を対象としたユビキタス世界が広がるものと考え、携帯電話端末を関門 (ゲートウェイ ; Gateway : GW) としようという考え方である。ただし、ゲートウェイ機能はモジュール化して、携帯電話だけでなくさまざまな端末に搭載できるようにすることを考える。これにより、固定系のアクセスラインに対してもユビキタスローカルネットワークを接続することができ、ユビキタス化への機会が広がる。このモジュール化した機能をユビキタスゲートウェイ (Ubiquitous

Gateway : UbG)と呼ぶことにする。

携帯電話端末に UbG を設定することを提案する理由は以下のとおり。

- (a) 携帯電話端末は、通信ツールとして常にユーザが持ち歩くものであり、ユーザのパーソナルなコンテキストを集約して蓄積したり、必要に応じてこれをグローバルな仮想空間へ転送するには最適のツールである。
- (b) 携帯電話端末は、通常人間が行動するエリアは常時グローバル通信が可能となっているため、ULN が人と共に移動するような場合は、固定系ネットワークのアクセス系にゲートウェイを置く場合と比較して、より信頼性の高いユビキタスサービスが可能である。例えば、固定系において W-LAN をアクセス手段として利用したとしても、ULN がそのエリアを通過してしまえば、グローバルな通信は遮断され、ULN からの緊急を要するコンテキストの転送はできなくなってしまう。これは緊急通報等、安心・安全のためのユビキタスサービスへの適用のためには不都合であり、常時接続可能なモバイル端末へのゲートウェイ設置は必須。
- (c) 携帯電話端末は、高機能・高性能なモバイルネットワークの直接的な接続が到達する端末として高機能デバイスとしての能力を備えているため、ユーザの周りに広がる実世界環境における非力なデバイス群に対する記憶領域や処理能力の支援をすることが可能。また、情報家電等の高機能デバイスにたいしても、モバイルネットワーク／インターネットからの制御信号をあたえる橋渡し（コントローラ）としての役割も果たすことができる。
- (d) 携帯電話端末は、プロトコルや扱うデータの性質が大きく異なるグローバルなモバイルネットワークと ULN の接続点になり、プロトコルやデータ変換機能を配備するにも適している。

UbG 機能を携帯端末に搭載してモバイルユビキタス・ネットワークを形成する概念を図 4. 4. 3 に示す。

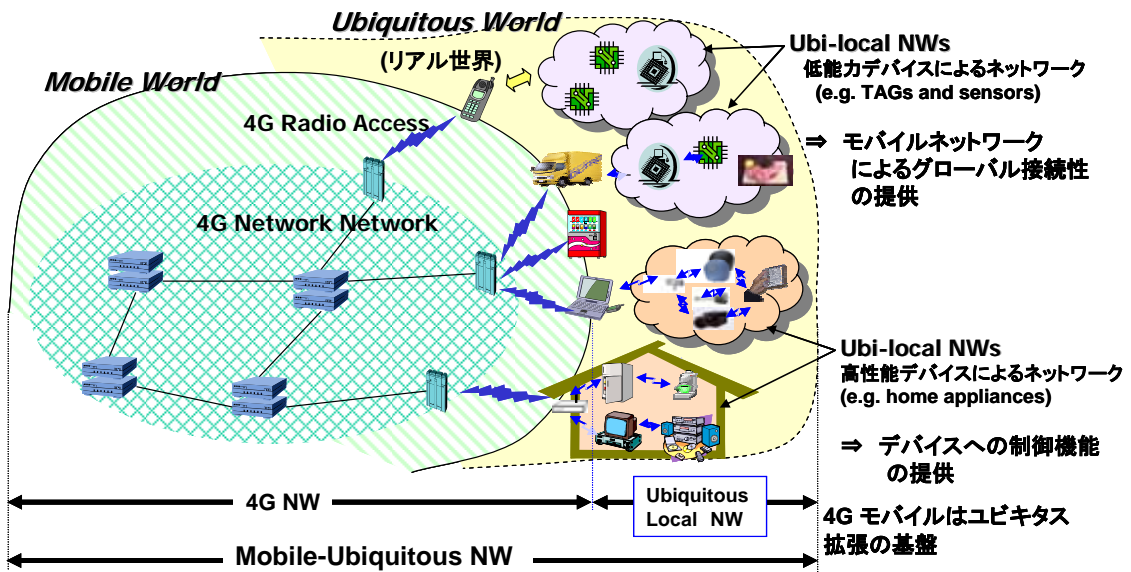


図 4. 4. 2 モバイルユビキタス・ネットワークの概念

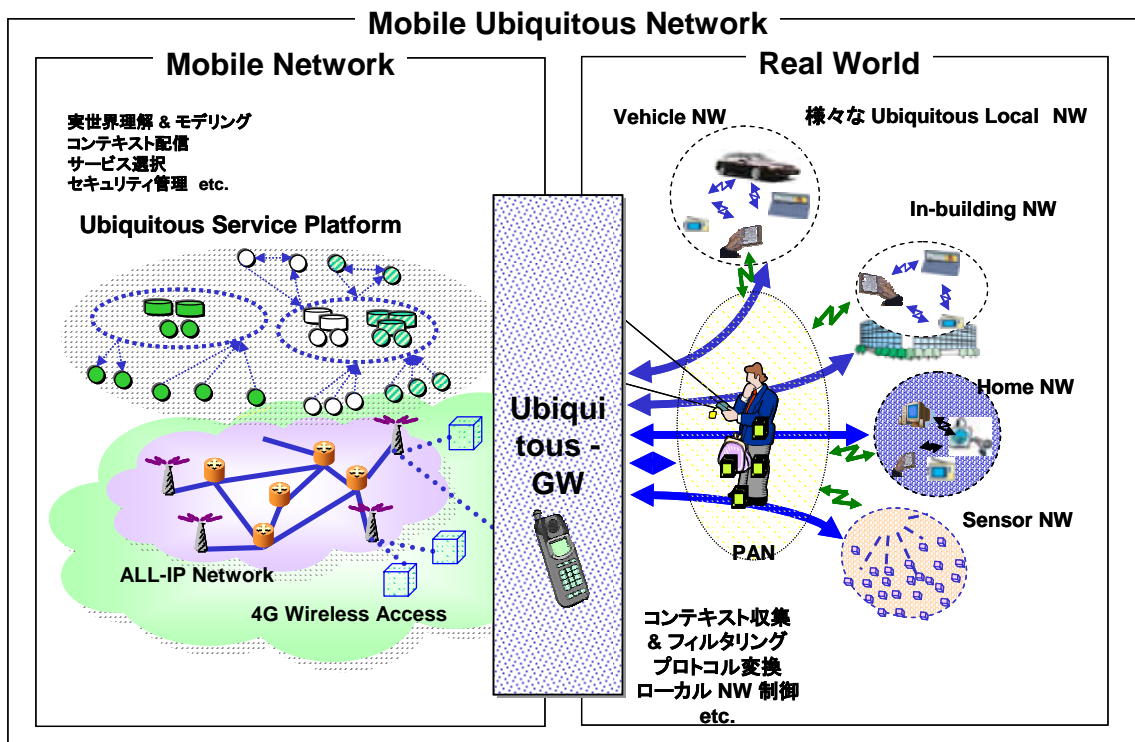


図 4. 4. 3 携帯端末をゲートウェイとしたモバイルユビキタス・ネットワーク

携帯端末 (UbG) で収集されたコンテキストは、必要に応じモバイルネットワーク上のユビキタスサービスプラットフォームに集められ、ここでユーザの状況や意図が解釈され (コンテキストウェア)、適切なサービスが選定されて、また、携帯端末 (UbG) を経由してユーザ自身や、ユビキタスローカルネットワークへアクションが提供されることになる。

グローバルなモバイルネットワークと ULN は多くの点で異なる特性をもっており、それらを結びつけることは困難が多いが、これが実現すれば多くの新たな価値が生まれると考えられる。

例えば、ユビキタスローカルネットワーク ULN は、キャリアグレードでパワフルなモバイルネットワークからさまざまなサポートを受けることが可能である。インターネットの情報サーバへの接続するグローバル接続や離散した複数 ULN 間の相互接続は、基本的なサービスであるし、時空間的にアドホック性の高いユビキタスネットワークの構造的脆弱性を補完するために、迂回ルートを提供したり、能力が限定的なユビキタスデバイスに処理パワーやメモリ機能を一時的に提供 (肩代わり) して支援したりすることも可能である。

一方、モバイルネットワーク自身も、多数の ULN との接続によってその価値が高まる。例えば、伝達能力で言えば、ユビキタスデバイスをホップバイホップにつないでいくことにより、従来セルラー信号が届かなかった空間領域への到達性を広げることが可能となる。また、ユーザの周囲の入出力デバイスを一時的にネットワーク化して仮想端末や仮想オフィス空間を生成したりすることで、モバイルネットワークへのアクセス機会を増大させる効果もある。ビジネス的に言えば、様々なローカルコンテキストを持つ ULN が接続されることで、従来の位置情報以外の様々な実空間情報を対象としたコンテキスト情報流通等の新たなサービスが生成されることが期待される。図 4. 4. 4 と 4. 4. 5 に、モバイルユビキタス化によるネットワーク価値の拡大について、それぞれユビキタス化への効果とモバイル強化への効果についてまとめる。

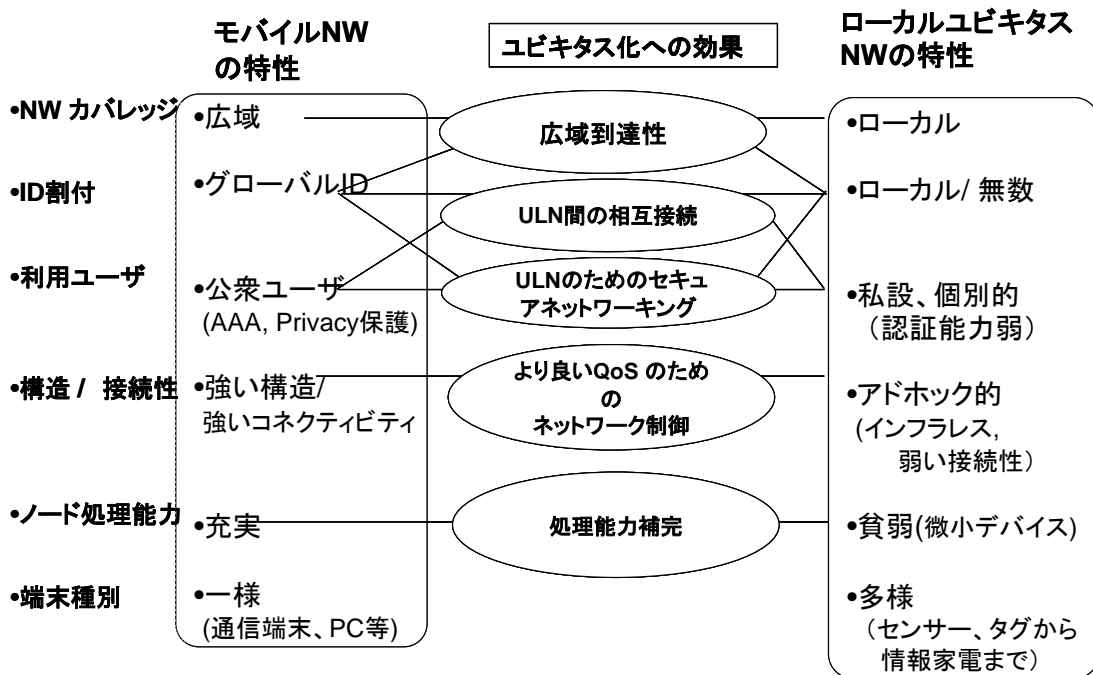


図 4. 4. 4 モバイルユビキタス連携によるネットワーク価値拡大 (対ユビキタス)

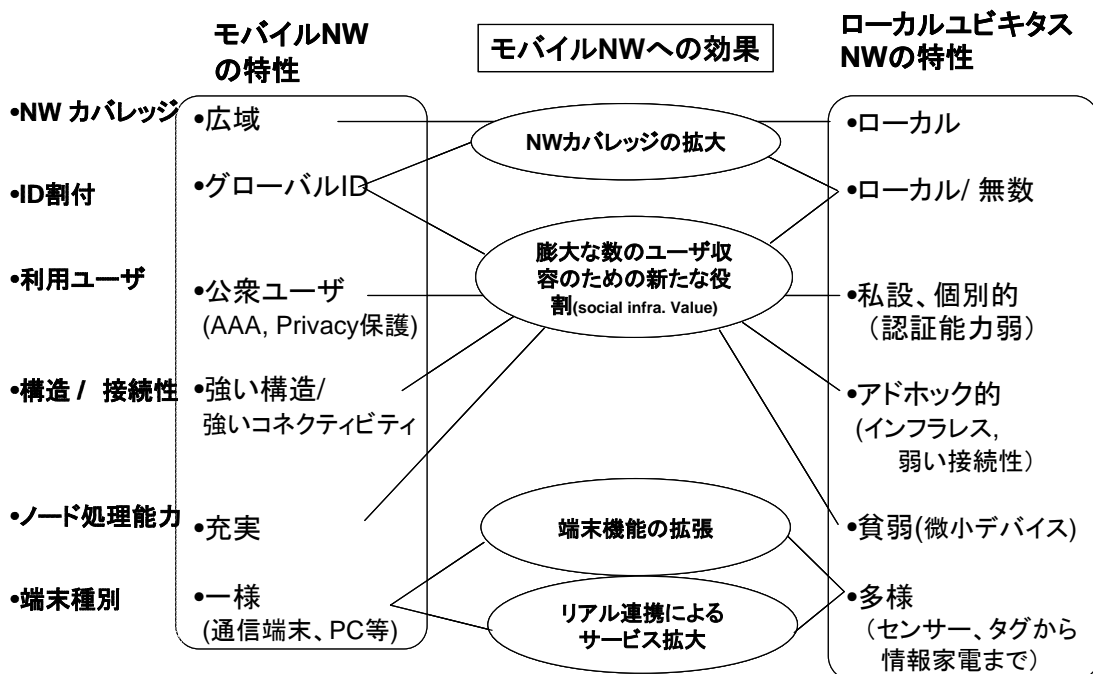


図 4. 4. 5 モバイルユビキタス連携によるネットワーク価値拡大 (対モバイル NW)

4. 4. 3 モバイルユビキタスの有効性評価

モバイルネットワークとユビキタスローカルネットワーク (ULN) を携帯端末 (UbG) により連携させるモバイルユビキタス方式の適用性、有効性をみるため、具体的なユビキタス指向サービスを想定して評価をおこなう。固定網を利用して同様のサービスを提供する場合を比較のためにとりあげ、そのサービス性をいくつかの側面から対比することにより評価する[60]。

(1) 固定ネットワークをベースとしたユビキタス化

固定グローバルネットワークと ULN を連携させることによって、モバイルユビキタスと同様にグローバルに情報流通のできるネットワークを構築することは可能である。この場合、ユビキタスデバイスと (固定) グローバルネットワークとの接続のためには、有線による接続の他、無線 LAN 等のワイヤレス接続も当然利用可能である。モバイルユビキタスとの大きな相違点は、グローバルネットワークとのゲートウェイがビルや家屋等の固定建造物に固定されていることである。ここでは、この方式を、モバイルユビキタスに対比して“固定系ユビキタス”と呼ぶことにする。固定系ユビキタス方式の特徴を、4G 提供時点の技術を想定して具体的に示すと以下のとおりである。

- ・ユビキタスデバイスからグローバルネットワークへ有線、無線のアクセス提供
- ・超高速のグローバルアクセス可能 (1 Gbps/リンク以上)
- ・超低遅延のグローバルアクセス可能 (10ms/リンク以下)
- ・カバレッジ、モビリティは限定的 (ゲートウェイから固定無線アクセスカバー範囲内)
- ・ゲートウェイにおける処理能力大 (安定的電力供給)

固定系ユビキタスでは、一旦、グローバルネットワークにアクセスできれば豊富な帯域や処理能力を利用することができるが、ユビキタスデバイスからのアクセスが有線ネットワークが到達している端点 (ゲートウェイ設置場所) の近傍に限定されるといふところもとても大きな制約となる。通常、建物内やその建物の近傍がグローバルネットワークへのアクセスポイントとなり、ユビキタスデバイスがその近傍にないときは、ユビキタスデバイスあるいはユビキタスローカルネットワーク (ULN) のグローバルな情報流通は遮断される。

(2) モバイルユビキタスと固定系ユビキタスの基本能力比較

まず、グローバルへのアクセスリンクの容量に関して両者を比較すると、固定系ユビキタスは 4G で 100Mbps 程度のモバイルユビキタスに対して 1桁よい性能を持っている。ユビキタスサービスの場合は、しかし、それほど容量を必要とすることは稀と考えられる。実際、個々人の生活支援や医療・健康ケア、流通系等で想定されるユビキタスサービスでは、環境におけるセンサーや無線タグの情報を集約してグローバルネットワーク (仮想空間) へ送ることが主体と考えられ、100 ビット長程度の無線タグ情報が同時に 100 万個集まったとしても、100Mbps の容量があれば十分である。また、遅延の問題に関し

ては、モバイルユビキタスは、**50ms**程度の時間となると考えられるが、これも通常のリアルタイム通信には問題ないという意味で、両者の差は問題とならない。

次に、サービス提供エリアについて比較すると、現在のモバイルネットワークのサービスエリアは全国に渡っており、屋外も屋内も原則カバーされている。一方、固定系ユビキタスの場合は、全国に固定ネットワークは張り巡らされてあるが、アクセスできる端点が到達しているのは建物の中とその近傍のみということになる。また、移動体に対して、モバイルユビキタスでは常にサービスを提供可能であるが、固定系ユビキタスの場合は、それがネットワークアクセス範囲内に留まらない限り継続的なサービスは困難である。よって、ユビキタスサービスが移動する環境で求められる場合は、モバイルユビキタスのカバレッジ能力、モビリティ能力は威力を発揮する。

ゲートウェイ部分の処理能力の相違の影響について言えば、携帯端末の能力は4Gの時代でも（安定して電力の供給される）PC等と比較して一桁以上劣っているであろうことは想定

される。しかし、ユビキタスサービスの場合は、仮想空間情報との連携が重要であり、端末系自体での処理よりもネットワーク上の仮想空間、すなわちユビキタスサービスプラットフォームでのサーバによるデータベース化や解析処理が主体となると考えられる。したがって、データ転送やフィルタリング処理が主体となる携帯端末においては、処理能力は不足しないと考えられる。ディスプレイや操作キーなど **HMI (Human Machine Interface)** については、固定系との相違は大きいですが、携帯端末自体の使い勝手の向上も期待され、また、将来のユビキタス環境下では周辺機器との連携によって **HMI** の補強も可能となると期待される。このようなことから、ゲートウェイでの処理能力の相違によるサービス性や利用のし易さの差異はユビキタスサービスに関していえば大きくないといえる。

最後に、ユーザ個人情報の保持について比較すると、モバイルユビキタスは携帯端末への保持が可能で、固定系ユビキタスでは一般にネットワーク上の共用サーバへ蓄積されることになる。それぞれ利便性とセキュリティレベルにおいて若干の相違が出る可能性がある。また情報の種類によって、ユーザがどちらに置くことを好むか、という問題もある。これについては、融通性のあるモバイルユビキタスが有利かもしれない。

以上、いくつかの項目について比較をしたが、ユビキタスサービスは移動性のある人間に対して、いつでもどこでもどんな状態でもサービス提供できることが重要な要件であるので、この点で優れているモバイルユビキタスは、固定系ネットワークをベースとしてユビキタス化を図る方法よりも適用性が高いとすることができよう。

(3) ケーススタディ

具体的なサービスを想定して、モバイルユビキタス方式の評価を更に行う。具体例とし

では、ヘルスケアサービスの一環として高齢者向けの電動車椅子による外出支援サービスを取り上げる。

高齢社会となった日本では、歩行が不自由になり外出に不安を感じる高齢者が増加してきている。そのため電動車椅子あるいは電動カート（シニアカー）といった乗車走行機器が販売されており、利用者も増えてきている。これを利用した外出を安全で快適なものにするため、ユビキタスネットワークサービスの適用を考える。

サービスは、電動椅子の位置や走行状態の監視と利用者の身体状態の把握（心拍数や体温、血圧、酸素濃度等）を遠隔で実施し、事故や身体上のトラブルがあった場合に救急車等の緊急駆けつけの手配を可能とするサービスを想定する。

このための基本的なシステムは、モバイルユビキタスの場合は、**図4.4.6**の上部に示すように、ユビキタスローカルネットワークとしての種々のセンサーを搭載した電動車椅子とウェアラブルセンサーデバイス、そしてモバイルネットワークへのゲートウェイである携帯端末である。グローバルネットワーク側には、センサー情報を収集してユーザ自身の状態や周辺の状況を解析するコンテキスト分析システムがユビキタスサービスプラットフォームとして用意される。なお、携帯端末とウェアラブルセンサーデバイスおよび車椅子とは近傍無線リンクによって結ばれている必要がある。また、車椅子には、その走行状態を把握するための様々なセンサーが取り付けられている。これにより路上の障害物の検出や路面状況の観測を自動的に実施し、車椅子自身が衝突や転倒の危険を回避することが自律的にできることを想定している。また、そういったセンサー類で把握しきれない周辺の状況（例えば近づいてくる自動車）については、グローバルに収集した周囲の物理環境情報をプラットフォーム側で解析することにより把握することも可能とする。こういった環境情報が常時集められていればコンテキスト分析によって、危険が近づいていれば例えば予めアラームを出すことが可能であり、またトラブルが生じれば、車椅子の状態、ユーザの身体状態のチェックに基づき、救急車の呼び出し等適切な対応サービスを提供することが可能となる。

固定系ユビキタスによって同様のサービスを提供する場合も、**図4.4.6**下部に示すように基本的なシステム構成はモバイルユビキタスと変わらない。但し、グローバルネットワークとウェアラブルセンサーデバイスや車椅子のユビキタスローカルネットワークと接続するのは、固定のアクセスポイントからの近距離無線リンクしかなく、このアクセスポイントから大きく離れるとグローバルネットワークへの接続性が維持されない。したがって常時ユーザの状態や周辺の状況をコンテキスト分析システムが収集するのは不可能であり、これを補うために、ユーザ状態や周囲状態についてプラットフォーム側で予測・推定によって対応する必要がある。

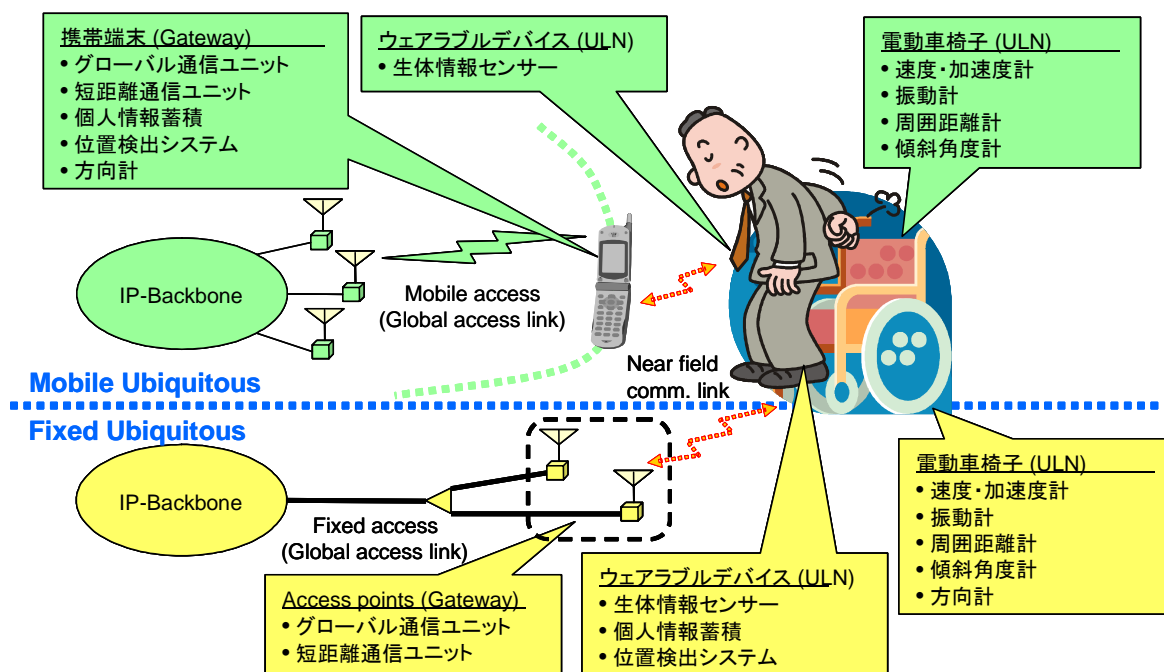


図 4. 4. 6 モバイルユビキタスと固定系ユビキタスによるサービス方式

この電動車椅子走行支援のサービスを想定した場合、モバイルと固定系ベースのサービスの差はその信頼性の差として出てくる。固定系ユビキタスでは、ユーザ自身やその周囲のコンテキストが常時は取得できない可能性があるということで、危機を常に監視し、安心・安全を保証するためのサービスでは明らかに不利であると言える。モバイルユビキタスでも、勿論、コンテキスト情報配信のための無線リンク接続性の常時確保が求められ、コンテキスト情報の解釈が正しく迅速に行われなくてはならないが、そのような条件を技術的にクリアできれば、ユビキタスネットワークサービスとして有望なシステムとなると考えられる。

4. 5 モバイルユビキタス・ネットワークアーキテクチャと技術課題

CosmoNet の具体形態としてのモバイルユビキタスを実現するためのネットワークアーキテクチャを提案し、これにもとづき各エリア（伝達ネットワークとサービスプラットフォーム）での今後取り組むべき基本的な技術課題を抽出、整理する。

4. 5. 1 ネットワークアーキテクチャ

モバイルユビキタス・ネットワークは、伝達層としては物理世界に直接浸透するユビキタスローカルネットワーク（ULN）とグローバルなブロードバンドモバイルネットワークがユビキタスゲートウェイ（UbG）で連結されることにより、グローバルな到

達性をもつユビキタスネットワークが形成される。モバイルネットワークは第3章で述べたように IP 技術により構築される可能性が高い。一方、ULN については、前節でも述べたように特殊な性質をもつネットワークであるため、その構成法やプロトコル技術についても新たな方式を導入する必要がある。この ULN に対するノードデバイスの管理や新たなルーティング処理のためには情報転送層と分離したネットワーク制御層（プラットフォーム）を設けることが有効である。この転送系と制御系分離の概念は、第3章の次世代モバイルネットワークの構築法で主張したことと同様であるが、特に ULN の制御に関しては、高度な制御を ULN の中で展開することは、その性能的な制約から不可能となる可能性が高く、モバイルネットワーク、具体的にはそのネットワーク制御層から制御能力を提供することが必要と考えられる。ネットワーク制御プラットフォームにおいては、サービス名や属性から NW 接続空間におけるアドレス解決が行なわれたり、ユーザコンテキストやネットワークの状況の理解にもとづきルーティング処理を行なうような高度なネットワーク制御を行なう。これは研究ビジョンで示した **Cognitive Networking** のための機能要素が配備されたプラットフォームであるので、この制御層は **Cognitive Network Control Platform**（理解型ネットワーク制御プラットフォーム）と呼ぶこととする。また、環境やユーザのコンテキストにもとづき最適なサービス選択を行なうための理解処理や実世界モデル化のための知識処理機能が必要であり、これらをプラットフォーム機能として具備する **Real World Oriented Ubiquitous Service Support Platform**(実世界指向ユビキタスサービス支援プラットフォーム)が必要となる。これは略して **Ubiquitous Service Support Platform** と呼ぶこともある。

図4.5.1に、以上述べたモバイルユビキタスネットワークアーキテクチャを示す。

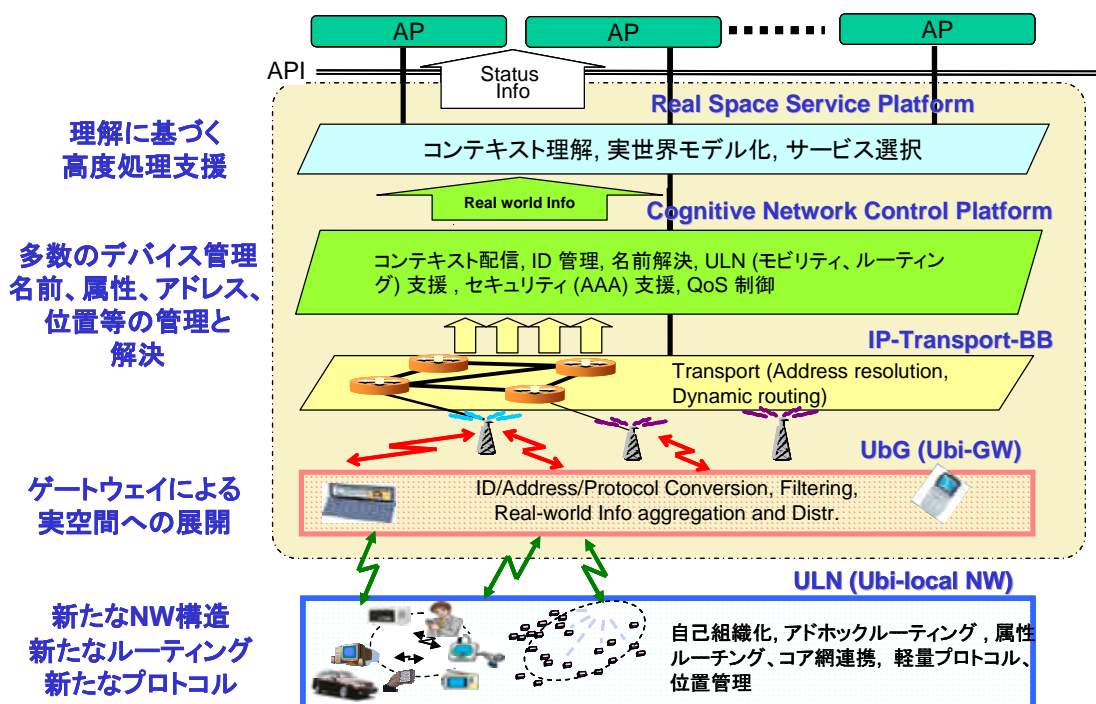


図 4. 5. 1 モバイルユビキタス・ネットワークアーキテクチャ

以下、本アーキテクチャの構成要素、特にユビキタスローカルネットワークへの拡張に関係する技術研究課題について述べる。

4. 5. 2 ネットワーク伝達系技術課題

(1) ユビキタス・トランスポート技術

(a) 新通信方式の必要性

IP を用いたインターネットのアーキテクチャの特徴は、エンドーエンド原則である。アプリケーションは両エンドホストによって実現され、これらをつなぐネットワークは IP パケットを転送するだけの単純なダムパイプ (**dumb pipe**) でよいとする考え方である。センサー等、非常に多数の能力の低いデバイスを用いて物理空間のコンテキストを収集・利用するユビキタスネットワーク環境においては、この原則は最適であるとは限らない。まず、単純に TCP/IP スタックが重いことから IP 以外のよりシンプルなプロトコルが少なくともユビキタスローカルネットワーク ULN の内部では適用される可能性がある。組み込み機器やセンサーチップ等に TCP/IP スタックを載せることは、技術的にはそれほど問題はないとしても、処理能力や消費電力を極力抑え利用時間の長期化や経済化をはかるといった目的のためには工夫が必要である。したがって、プロトコルを見直して処理能力やメモリ量を極限まで削ることに意味があり、実際、センサーネットワーク研究では、

その面からのアプローチは多い[61]。また、無線タグやセンサー類は通常、ある限られたエリアで限られた情報をリアルタイムに収集するものであり、情報のワールドワイドのグローバルな到達性は不要と考えられる。また、膨大な数のデバイスのなかから特定のデバイスを指定して情報を得るのではなく、ある空間のどれかのデバイス（センサー等）から情報を得れば十分といったケースも考えられ、各デバイスに個別にアドレスを付与することすら不要な場合も考えられる。このような観点から、ワイドエリアネットワークの転送プロトコルは従来どおり IP が適用されたとしても、コンテキストを収集するような ULN には IP とは異なる専用の伝達プロトコルを適用することは有効と考えられる。したがって TCP/IP にかわる、より効率を重視してかつ汎用性の高い軽量プロトコルの検討が望まれる。

センサーネットワークや無線タグのネットワークが、今後ユビキタスネットワーク時代において、量的にも機能的にも、どの程度の役割を果たすかは未だ不明である。よって、モバイルユビキタスのアーキテクチャでは、こういった ULN は IP ベースのモバイルネットワークとはひとまず分離して考え、ゲートウェイで連結する構成を提案しているが、将来、ULN から生まれた情報がドミナントなトラフィックとしてグローバルネットワーク上も流通するようになれば、モバイルネットワークの構造そして IP 利用のパラダイムへ大きなインパクトを与えると考える。

(b) オブジェクトの識別子とアドレッシング[58]

ネットワーク伝達系においては、その接続の対象（オブジェクト）を指定するための識別子（ID ; Identity）と実際にそのオブジェクトにネットワーク上で到達させるためのアドレスが基本的な役割をする。電話網における電話番号（固定電話では、ID とアドレスが同一）やインターネットにおけるドメインネームや IP アドレスが、それらの代表である。それらの関係を記述（resolve）するための名前解決機構も伝達系における基本機能である。それでは、ユビキタスネットワークにおいては、これらはどのように規定されるべきか？

オブジェクトを記述するには、その名前としての ID とその特質を示す様々な属性値が考えられ、属性を使うことにより、より柔軟性の高い記述が可能となる。ユビキタス時代の ID に関しては、モノや実世界情報の識別のために識別子の規定検討が近年、盛んに行われている [62] , [63]。これらは、個体識別までを可能とするが、逆に、例えば、センサーによる物理空間情報を扱うためには、特定のセンサーではなく、ある属性をもつグループであればどれでもよいといったように、より柔軟性の高い指定の仕方をする必要も出てくる。こういった柔軟性を高めるためには、属性ベースのネーミングの仕方とその名前 ID から、アドレスを解決する機構を準備する必要がある。

更に、アドレスに関しては、すでに述べたように、モバイルネットワークにおいては、All-IP 化されることによってネットワークアドレスは IP アドレスにより表示されること

になろう。ところが、ULN を構成するデバイスについては、その数は膨大であり、通信能力も含め多種多様である。また、移動性があることから位置依存性のあるアドレス体系では不適合であり、使い捨てセンサーのように、一時的にしか利用されないデバイスすら存在する。よって、IP アドレスのようにあらかじめ定まった ID 空間を規定するのではなく、記述方法に関する柔軟性も重要な要求条件となろう。

以上のような点から、とくに属性までを加味した ID の付与方法、これに対応するネットワークアドレス方式と名前解決機構、さらにこれら基本情報をもとに実際に情報を運ぶためのルーティング方式について、今後、研究を進める必要がある。

また、ID の管理方法について言えば、物流における管理のように、その利用者が多岐にわたる可能性があり、同時に複数の立場・観点でオブジェクト ID を管理する方法、ひとつの ID が複数の管理サーバで管理された場合、特定のサービスで連携するための横断的なアクセス管理方法、各管理サーバ、ユーザ間の認証、セキュリティ管理方法、そしてオブジェクトの初期登録 (ID 付与) の自動化等が課題となる。

(2) ネットワーク制御技術 (Cognitive Network Control Platform : CNC-PF)

ネットワーク制御については、これを伝達レイヤとは分離した形で制御プラットフォーム (CNC-PF) としてコアとなるモバイルネットワーク上に設けることが有効と考えられる。これは制御処理機構を転送機構と分離して集中化することによって機能高度化、高性能等を柔軟に図ることができるためである。ネットワーク全体の品質やセキュリティ管理、接続のための ID・アドレス解決とこれにもとづくルーティング・接続制御、モビリティ制御等がこの制御プラットフォームで行われる。以下、いくつかの主要な課題エリアについて議論する。

ユビキタスデバイスで構成される ULN は、例えば車載のセンサーネットワークや人とともに動くウェアラブルデバイスのように、移動するネットワークとして自律的に移動する可能性がある。更に、携帯デバイスのゲートウェイ (Ubiquitous Gateway: UbG) を介してモバイルネットワークに接続されることを想定すると、より複雑な問題が生じる。人の動きに対応して UbG が移動するので、それに接続される ULN の構成要素は、時々刻々変化していく可能性がある。これは UbG 配下のネットワーク境界が移動するためであり、これは従来のモバイルネットワークになかった新たな移動性である。ネットワーク全体が動くネットワークモビリティの研究は従来から行われているが、これに加え上記のようなモビリティを対象にした検討が必要である。

さらに、ネットワーク構造的に見ればアドホックにネットワークが構成されるため、アドホック・ネットワーク制御の研究として、ノード管理・制御方式、ルーティング方式の研究も重要となってくる。特に、キャリアによってインフラレスのアドホックをいかに高信頼に制御できるかという課題は、ユビキタス時代の新たな課題として、モバイルユビキタスのコンセプトを実現するために重要となってくるため、モバイルネットワークから

の支援を前提にした、ユビキタス端末の位置管理、通信状態管理、端末間接続制御等の研究は今後重要と考える。

図4.5.2にモビリティに関するあらたな課題を示す。図4.5.3にユビキタス化に関連する伝達系の課題をまとめる。

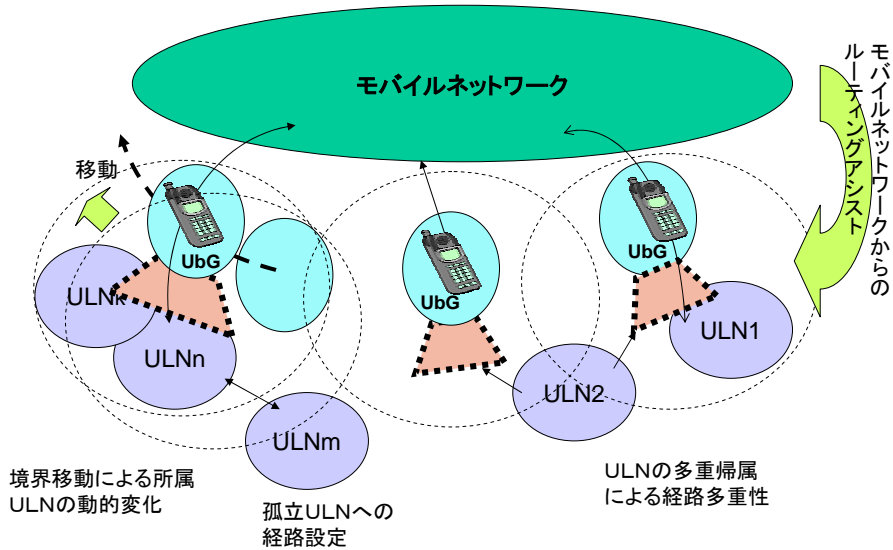


図4.5.2 ユビキタスネットワークにおける新たなモビリティの課題

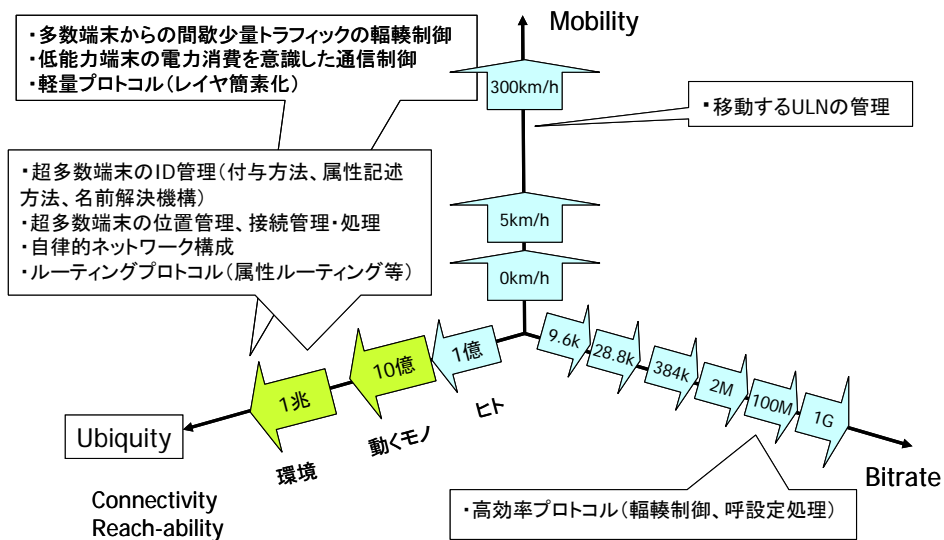


図4.5.3 ユビキタスネットワーク伝達系の課題

4. 5. 3 モバイルユビキタス・サービス提供のアーキテクチャと技術課題

モバイルユビキタス・ネットワークは、ユビキタスサービスを提供する基盤としての情報流通の仕組みであり、具体的なサービスの提供と連携してはじめて意味がある。そのサービス提供を支援する仕組みが、Ubiquitous Service Support Platform(USS-PF)である。

本節では、その基本的な構成について議論し、今後の技術課題について述べる。

(1) サービス提供支援アーキテクチャ : Ubiquitous Service Support Platform(USS-PF)

4. 3. 2節でのベータユビキタスサービスの主要機能概念、すなわち、フィジカル、コンテキストウェア、インビジブルの三つの概念区分にしたがってサービス提供支援のアーキテクチャを記述する。これらの概念は、相互に関係するもので完全に機能で分類できるものではないことを注意しておきたい。

フィジカル機能に関しては、センサー等で実空間情報を取得し、処理を加えてコンテキスト化するまでの過程が対象である。また、サービスとして実際にユーザや環境に作用する部分もフィジカルといえる。次に、コンテキストウェアに関しては、コンテキスト情報にもとづき環境や人の状態を計算機が理解できる形式(言語)で記述する必要がある。それをモデル化と呼ぶが、次の三つのモデル化がユビキタスサービスには必要と考えている。

(a) 物理世界に存在する物や場所の意味を明示的に記述した環境モデル

(b) ユーザの好みやサービス利用履歴に加えて、実世界におけるユーザの場所や動作などの意味を明示的に記述したユーザモデル

(c) 実世界におけるユーザの活動の意味を明示的に記述したタスクモデル

こういったモデルを形成するためには、コンテキストの解釈が必要で知的処理が必要となる。この処理機能はコンテキストウェアの中核である。

サービスは、それを享受するユーザの状態から明示的または暗黙的に指示され、その結果、ユーザ活動(タスク)に変化を与えるものであるとの考えから、サービスによってタスクモデルがどのように変化するかを想定することによりサービスを選択できると考える。これを実行する過程がインビジブルということができる。選択すべきサービスは、それが情報サービスであれば、一般に仮想空間のなかに存在するが、その検索を効率的に実施するためには、あらかじめシステムの中にサービスのデータベースをもつべきであろう。そのデータベース(サービスレポジトリ)では、提供されるサービスが実世界に対してどのような作用をするか、その意味を明示的に記述されている必要がある。

以上の機能を情報フローと合わせて表したものを図4. 5. 4に示す[64]。

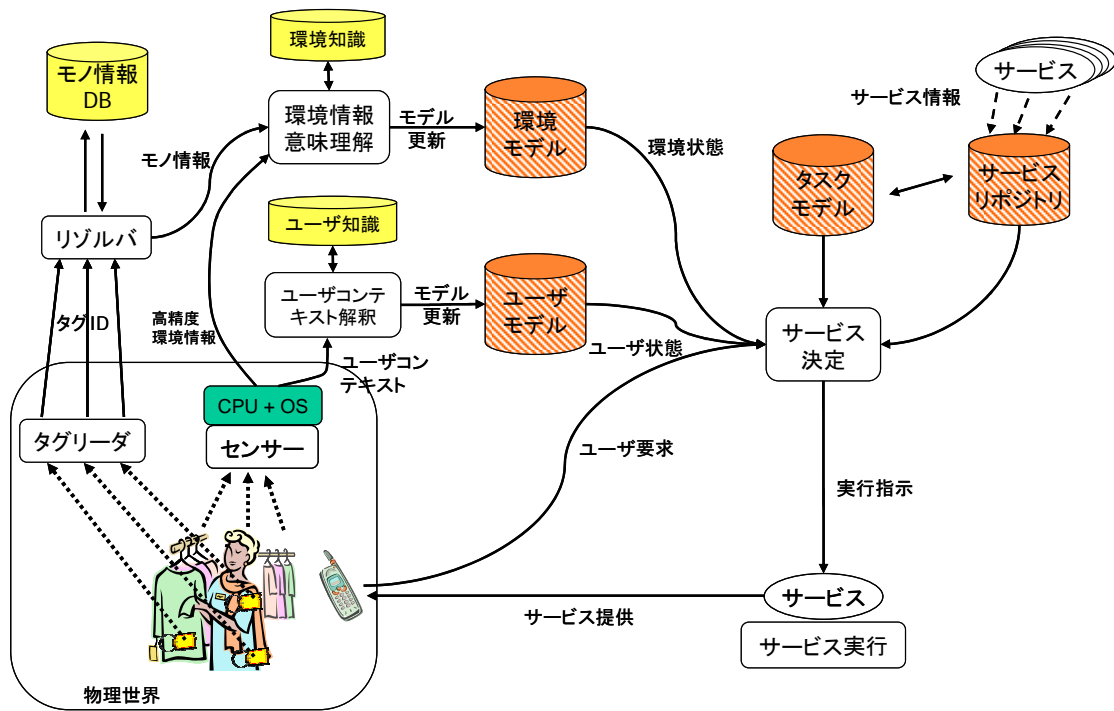


図 4. 5. 4 ユビキタスサービス提供支援アーキテクチャと情報フロー

以下それぞれの機能群での要求条件や研究課題について議論する。

(2) 実空間情報取得

フィジカルな機能として最も基本的な部分である。いかに精度の高い情報を得て、意味のあるコンテキストに効率的に変換するかが課題である。そのためには、どのような情報を取得するのかを明確にして、それにあつた情報取得システムを準備する必要がある。実空間情報としては、いくつかのタイプが考えられる。まず、位置、方向、速度、温度、湿度等、単純でそれ自体が意味をもつ物理情報である。これらについては、それぞれの情報を得る環境に即したセンシング機能の高度化が必要である。すでに環境センサーや生体情報センサーは、実用化が進んでいるものがあるが、ユビキタス環境でいつでもどこでも安定して、かつ（人も含む）環境に負担なく情報が取得できることが重要であり、前節で議論したネットワーク化（通信機能）も含めて、経済化や長時間動作等の高信頼化などに多くの研究課題がある。また、ネットワークに流れる情報量を減らし、より有効な物理情報を効率的に得るためには、単純な物理情報からより高度なコンテキスト情報に変換するため、或る程度の情報処理をセンサーシステムのなかで実現する研究も有効であると考えられる。プラットフォームでのコンテキスト解釈処理との機能分担を考えるべきであろう。このような情報取得段階における情報処理は、ULN 上における属性ルーティング方式とも関連して検討する必要がある、さらに携帯端末でのユビキタスゲートウェイ (UbG) やグロ

一バルネットワーク上の情報処理システムとあわせたネットワークミドルウェア層の分散処理システムとして機能するようトータルで検討することが重要と考える。なお、画像情報や音声情報等、情報量が多く、その情報を或る程度処理しないと意味が得られないものについては、特に取得段階での処理技術の進歩が求められる。

なお、ユーザに関する情報については、人の行動を位置情報だけでなく、ものをつかむ把持行為や特定の物体への接触、着座等の情報からモニターすることによって、環境情報と同様、情報の質を上げる工夫が試みられている。ここでは特にモニターされている人間にとっての負担を減らし、プライバシー情報がユーザの許可なく流出しない仕組みが極めて重要である。

(3) コンテキスト解釈機能と物理世界モデル化

環境のモデル化については、多くの課題がある。位置情報は、もっともシンプルなコンテキストのひとつであるが、個々の位置がわかっただけではその環境は解釈できないし、環境全体をモデル化したことにはならない。一方、無線タグを使って実空間のすべてのモノに ID をつけることは、不可能ではなくなりつつあり、モノの情報をかなりの程度記述することが可能となっている[62], [63]。実世界のあらゆる場所とそこにあるモノに、この ID を対応させることにより、これがネットワーク化されれば、実世界の様々な空間に関する(位置情報以外の)状態情報が得られることになる。したがって、このモノに関する情報を取得することで、そのモノの置かれた場、環境の状況をどこまで解析し、理解できるかという検討を行うことは、実環境全体をモデル化するための第1歩として重要と考える。

ユーザコンテキストの解釈とユーザおよびタスクのモデル化については、これも検討が始まったばかりである。従来は、時間と位置情報にもとづく大まかなコンテキスト情報しか取得されてきておらず、ユーザの状況を高精度に記述することはできていないし、その状況にあったユーザの要求が何であるのかを決めるようなことは困難である。今後、取得情報の高精度化とタスク知識の蓄積により、場所(ドメイン)やシチュエーションに応じて人間がどのような行動をとるかというタスク記述の汎用化研究が求められる。これが出来上がれば、環境状況がわかることにより、ユーザの状況が更新され(ユーザモデルの更新)、その際、どのようなタスクを実行する可能性が高いかを推論することがある程度可能となるであろう。

(4) サービスの決定と提供

ユビキタスサービスでは、物理世界の変化、ユーザコンテキストの変化によって、暗黙のうちにサービスが要求され、ユーザにサービスが届けられるインビジブル性を究極の目標としている。そのためには、ユーザの要求を推論する技術、要求にあったサービスを発見あるいは合成して作り出す技術、そして、サービスを予期していないかもしれないユー

ずにサービスを届ける仕組み（どういったデバイスにどのように届けるか）の研究が必要である。一部研究が進んでいるものもあるが、どれも多くの課題があり、一般的な解を得る状況には至っていない。

サービスの決定にあたっては、複数のサービス提供者が対応するユビキタス環境下ではいくつかの類似サービスが競合する可能性も高い。このサービス間の競合が生じた場合は、サービス提供者間や利用デバイス間の比較もしたうえでユーザにもっとも適したものを選んで競合を解消するという高度な選定処理までシステムは実施する必要がある。

以上、インビジブル化にかかわる技術は、その完成には時間を要するものが多いと思われるが、中間段階として、ユーザのアクティブな操作を支援する形のサービス提供によって、インビジブル効果を徐々に上げていくアプローチがあると考えられる。

4. 6 ユビキタスサービス発展へのステップと具体課題

前節までは、ユビキタスサービスのコンセプトとこれを実現するための新世代のネットワークアーキテクチャとしてモバイルユビキタス・ネットワークを提案し、この技術的課題を中心に、これからの研究課題をやや一般的に述べた。本節においては、これからのユビキタスネットワーク研究をより現実性のあるものとしていくため、ユビキタスサービスを実際のマーケットに適用していくことを想定し、当初に期待したユビキタスサービスの効用や **CosmoNet** ビジョンとして掲げた狙いが実現されるために如何なる点に留意し、克服していかなければならないかを、より広い視点で検証することとしたい。

本論文で述べたユビキタスサービスが適用されるエリアとして有望と考えられるマーケットは、**図4. 3. 1**にも示したように、ユビキタスネットワークによる実世界に対するセンシング、トレーシング、検索、遠隔制御、通知といった基本能力を生かす領域である。よって、基本的なユビキタスデバイスである無線タグやセンサーが活用される実応用空間をもつ①生活支援系、②医療・介護・ヘルスケア系、③流通・物流系のマーケットの中に特に応用範囲が広がっていくと期待される。

そこで、これらのサービス領域を想定し、モバイルユビキタスネットワークアーキテクチャにおいて、サービス拡大の視点からみてこれを左右する主要ポイントを明確にする。そして、そのポイントに着目して、ネットワークとサービスの進化のプロセスを整理する。

さらに、ケーススタディとして、今後、超高齢社会を迎える日本においてとくにニーズが高まると考えられる医療・介護・ヘルスケアの領域をとりあげ、サービス発展のための技術的要因や社会システムとしての課題を抽出し、ユビキタスサービスとネットワーク進化の可能性を探る。

4. 6. 1 サービスから見たモバイルユビキタスネットワークの課題

通信ネットワークは、ユーザ数とサービスの拡大により成長する。ユビキタスネットワ

一クも同様であり、利用者の拡大とサービスの拡大がどのように図れるか、そのポイントを押さえることが重要である。そこで、提案したネットワークアーキテクチャに照らし合わせて、そのサービス発展のためのマクロなレベルでの鍵となる項目を抽出する。

図4.6.1にモバイルユビキタスのサービス生成プロセスをネットワークアーキテクチャと対応させて表わす。

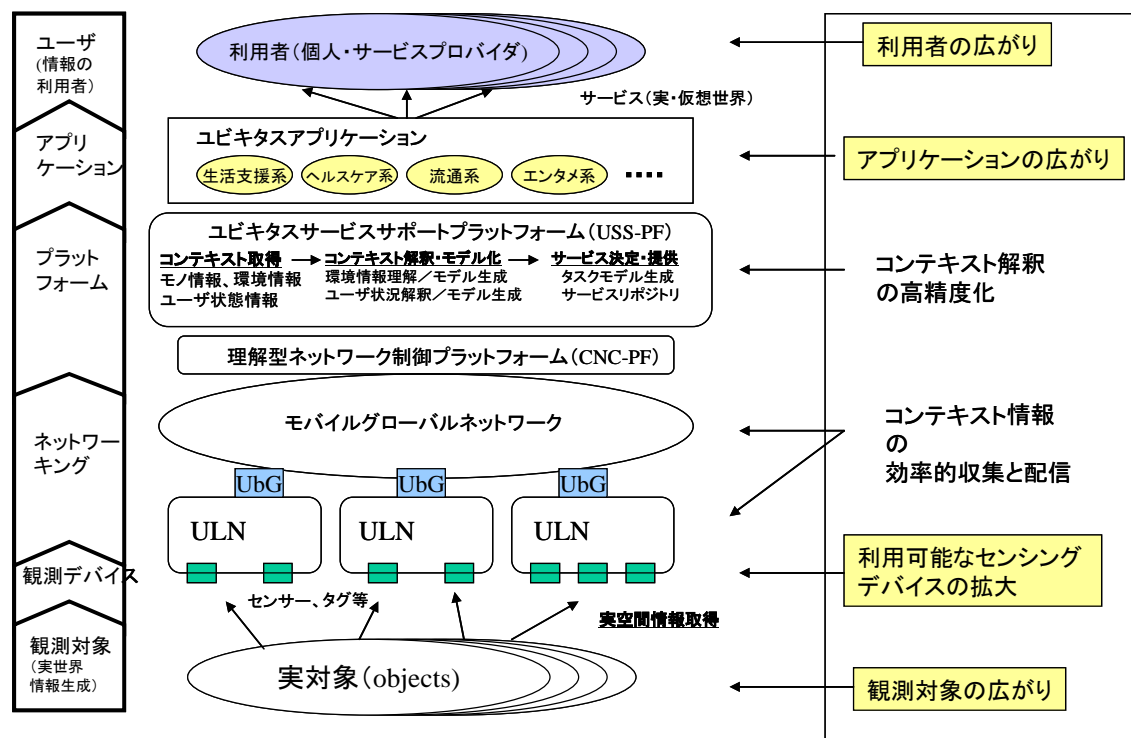


図4.6.1 モバイルユビキタスネットワークとサービス生成プロセス

モバイルユビキタスのサービス生成プロセスは、実世界の観測対象から始まる。様々な物理世界の対象（人を含めオブジェクトと呼ぶ）が情報を発生しており、このオブジェクトに対して、ユビキタスデバイスが（観測デバイスとして）観測を行なうことになる。観測デバイスとしては、実世界情報をモニターするセンサー類をはじめ、貼付された個体の情報を提供するRFIDタグ等も含まれる。これらから得られた情報は、ローカルな領域でのユビキタスローカルネットワーク（ULN）を介してゲートウェイ（UbG）に集約され、モバイルグローバルネットワークへ転送される。この情報はコンテキストとして、プラットフォームへ集められ、前節で示したコンテキスト解釈処理が施され、対象オブジェクトの状態が必要に応じた形で把握され、モデル化される。この結果を利用して、様々なアプリケーションが起動され、その情報の利用者へ届けられることになる。この場合、利用者とは、ヘルスケアサービスの個人生体情報の本人への通知のようにオブジェクト自身であ

る場合もあるし、コンテキストにもとづきなんらかのサービスを提供する第3者あるいは企業等の機関である場合もある。

このプロセスに対応して、ユビキタスサービスを拡大していくための主要なポイントを抽出すると以下のとおりである：

- ① 観測対象オブジェクトの広がり：観測対象が増えることによって利用者にとって有効な情報が増加すれば、一般にサービス性は高まる。何からどのような情報を得ることが、誰にとってどう有効であるのかを明確にしてオブジェクトが選定されることが重要である。
- ② 利用可能な観測デバイスのひろがり：これは観測デバイス（センサー類）の多様化（多種化、多数化）を意味している。同時に、これを所有したり、設置する者の多様化や利用目的の多様化という意味も含んでいる。
- ③ ユビキタスアプリケーションの広がり：実世界から取得される様々な情報、コンテキストにもとづき、どのようなサービスを誰に対して提供するか、といったことを考え、アプリケーションを提供するプレイヤ（アプリケーションサービスプロバイダ：ASP）の存在は、基本サービスの提供が確立したあとのサービスの豊富化のために極めて重要である。
- ④ 利用者の広がり：これは実世界情報（あるいはそれを加工した2次情報）の利用者の数と種類の広がりをいう。これが拡大されるということはサービス受益者と提供者が増加するということであり、なんらかのビジネスモデルが成立することを意味する。この拡大がオブジェクト（+観測デバイス）の増加とともに、ユビキタスサービスが立ち上がり、発展するための鍵である。

これらを実現していくために、伝達ネットワークとプラットフォームは基本的なシステムツールであり、サービスの拡大と相関をもって発展していく。以上のような視点を踏まえて、サービスとネットワークの発展の段階を考えた。ネットワークの発展を牽引するのは、上にも記したように、対象オブジェクトおよび観測デバイスの広がりとおよび観測データを利用するユーザの広がりである。これらをパラメータとして考えた展開のステップを図4.6.2に示す。

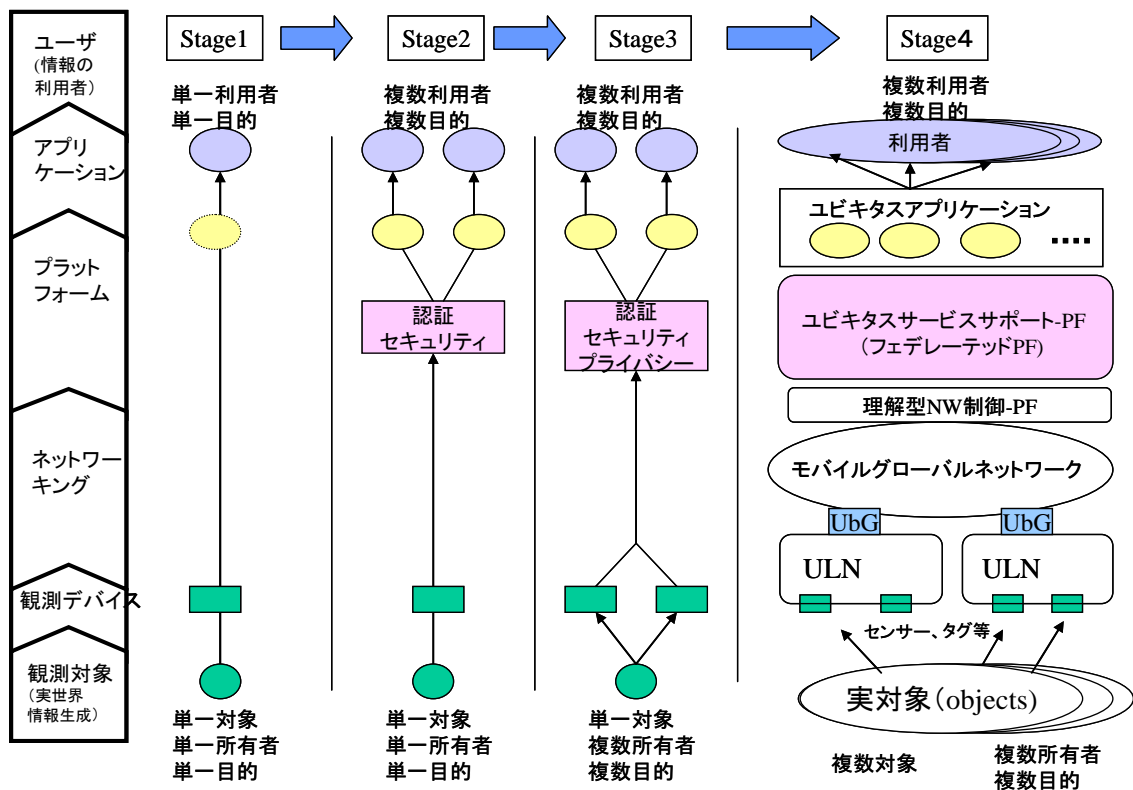


図 4. 6. 2 サービス進展のステージとネットワークの成長

図 4. 6. 2 に示したように、オブジェクト（観測デバイス）の多様化と利用者の多様化のステップに従い、ネットワークに求められる能力も高まっていく。例えば、デバイスの増加、多様化により、ULN が拡張され、ネットワークの接続能力が向上しなくてはならない。また、同じ情報が複数の第 3 者利用者によって使われるためには、利用者認証やプライバシー管理等のセキュリティ性能を高めねばならない。利用者が増えて、アプリケーション種別が増えてくれば、それらを連携させて、より広がりのあるアプリケーションサービスを提供することも求められるかもしれない。この場合は、異なるアプリケーション機能を相互に連携させるフェデレーション能力をプラットフォームに与える必要も出てくるであろう。

このような発展により、ユビキタスネットワーク／CosmoNet はその理想形態に近づくと考えられるが、そこに至るまでの段階として、特に、オブジェクト＋観測デバイスの広がり（デバイスや通信方式の向上といった技術面とともに、デバイスの所有者や設置者の拡大等も含む）のステップを、社会的なニーズや課題も踏まえ具体的に検討していくことが、実際にユビキタスサービスを展開するために肝要である。

4. 6. 2 ユビキタスサービス適用ケーススタディ

本節では医療・介護・ヘルスケアに関連するサービス領域を「ヘルスケア領域」とまとめて呼ぶことにし、まず、この領域で、本論文で議論しているようなユビキタスサービスにニーズがあるかどうか、また、現状からみてどのような発展の期待と課題があるかを具体的に議論する。これにより、前節でのベタネットワーク発展のステージを登るために、どのような点を克服する必要があるかを検証する。

(1) ヘルスケアサービス・ニーズ

まず、人々の健康への関心度をみると、野村総合研究所「生活者 1 万人アンケート調査」[65]によれば、日本国民全体の半数以上は自身の健康に対して不安や悩みを抱いているという推計がある。また、自身の健康を筆頭に、家族（配偶者や子供）の健康、親の健康が、国民の抱える不安や悩みの上位 3 位を占めるという結果が出ている。このようなことから、一般にヘルスケアに関する関心は極めて高く、健康・医療に関する様々な情報やアクションをそれぞれの人の健康度に対応する形で、タイミングよく提供できれば、ユーザの喜びは大きいと考えられる。例えば、最近特に問題となっている糖尿病等の生活習慣病については、健康は心配としながらも自覚症状が薄い状態で本人の対応が遅れがちであり、日常の健康モニタリングや生活上の注意点への気づきをさりげなく与えるケアが大変有効であり、まさにユビキタスサービスコンセプトの原点と合致している。

この調査においても「親の健康への不安」という項目が増加傾向にあるが、健康問題が顕在化している高齢者にとっては、いろいろな形でのユビキタスなサポートが必須となると考えられる。内閣府の「高齢社会白書」[66]によれば、日本は確実に高齢化が進展しており、65 歳以上の高齢者人口は、2004 年に過去最高の 2488 万人となり、総人口に占める割合（高齢化率）も 19.5%と上昇している。今後も、高齢者人口は 2020 年まで急速に増加し、その後概ね安定的に推移すると見込まれているが、総人口が 2006 年以降減少に転じることから、高齢化率は上昇を続け、2015 年には高齢化率が 26%、2050 年には、国民の約 1/3 が 65 歳以上の高齢者となるという超高齢社会が到来すると見込まれている。このような中で、高齢者の一人暮らしの増加は顕著であり、1980 年には、男性約 19 万人、女性約 69 万人であったものが 2000 年には、男性約 74 万人、女性約 229 万人に増加し、高齢者に占める割合は、男性 8.0%、女性 17.9%となっている。今後も一人暮らしの高齢者は増え続けると見込まれている。また、当然ながら全体の高齢化に伴って要介護高齢者も今後、急増することが予想されている。

以上のような状況から、これらの高齢者を対象として、日常の健康状態をいつでもどこでも見守り、何か異常が起こったときは、その状況を関係者に知らせ、これに応じて適切なサービス（手助け）を起動・提供することのできる“安心提供型”のユビキタスケアサービスへの潜在的ニーズは大きいと考えられる。

(2) ユビキタス・ヘルスケアサービスの現状と仕組み

いくつかの事例は既に商用あるいはそれに近いものとしてマーケット評価が行われている。

【事例1】みまもりサービス： 「みまもりネット」 [67]においては、例えば一人暮らしの老親の家の中に設置した複数のセンサーが、その親の在室状況（時間・部屋名）を、遠隔にいる家族（モニター者）に対して携帯電話や PC に対して一日一回、電子メールで知らせるようなサービスである。これは、日常の生活パターンを見ることと、それからの変化（寝室に長時間いる、夜何度もトイレに行っている等）を知ることによって、体調不良などに気づくことができるというものである。このシステムは、見守り対象者に対して負担をかけずに、モニター者が、さりげなく気をつかってあげられるという点でユビキタスサービスのプリミティブな例を与えている。しかし、緊急通報サービスではないので、緊急時の発見はできないし、また、状況判断のインテリジェンスは在室パターン情報を受け取ったモニター者の判断に任されることになり、コンテキストウェアな処理がないという意味で、“ユビキタスサービス”とはなっていない。この先のサービスとしては、個々人の活動パターンを分析して健康状態を診断するというようなサービスに高度化するというようなことも考えられよう。実際、このシステムを利用して見まもりデータから健康管理を行う試みもベンダーと大学との共同研究により行われている [68]。

【事例2】ウェアラブルセンサを用いたヘルスケア： 健康状態モニタリングを常時行うために、ウェアラブルセンサが製品化されつつある。たとえば、フィンランドで開発された、体調モニター・異常自動通報システムとして「リストケア」という製品が日本でも提供されている [69]。リストケアは、腕時計のような形をした生体センサーであり腕にはめるとセンサーが装着者の健康状態（体温・体動・脈拍・発汗）についてモニターを開始する。数日間装着するとその利用者の日常的な生活リズムが基礎データとして記憶される。以後、常に変動するデータは体調信号として、住宅や施設内に設置された受信機器「ベースユニット」に1分ごとに無線で送られる。日常の生活リズムと大きく外れた“異常”が検知されると、無線で医療施設内のコンピュータに連絡したり、電話回線を経由して遠隔にある安全管理センターへ自動通報することができるというものである。

また、指輪型の生体センサーによって脈拍、脈圧、血中酸素飽和量（SpO₂）を自動的に測定するシステムが販売されている [70]。センサーによる測定データは、20 秒毎あるいは 6 時間ごとにグローバルネットワークとのゲートウェイとなる通信端末へ転送される。

これらの例のように、ユビキタス環境を意識したウェアラブル型の健康状態常時モニターシステムも徐々に製品化されつつあるが、通信機能の制約やコスト面での制約があり、一般へ普及はまだ進んでいない。また、より高度なウェアラブル生体センサーやその通信ネットワークとの連携という研究も進められている [71]が、まだ研究段階にある。

ここで掲げた事例に共通することは、観測するオブジェクトは一つ（個人）であり、その情報は、家族等信頼できる利用者（単一）への通知に留まっていることである。もちろん緊急連絡のためや、生体データ等を見やすい形にするため、センサーサービス提供会社が仲介するが、これはセンサー情報提供サービスの一環であり、健康データ通知以外の他の目的をもった新たなユーザが加わったわけではない。以上の現状のヘルスケアサービスの利用イメージを図4.6.3に示す。この状態は、基本的には、図4.6.2で示した発展段階のうち、もっともプリミティブなサービス提供段階であるステージ1の段階と言えよう(図4.6.3)。

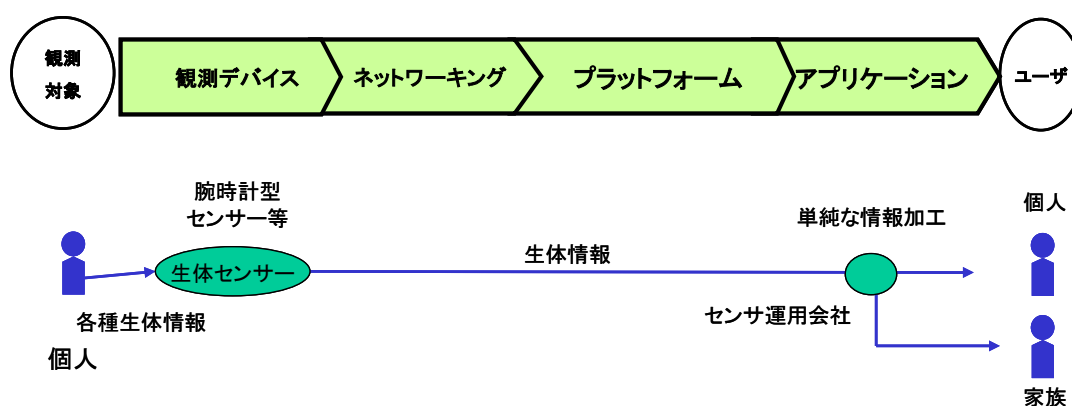


図4.6.3 現状のヘルスケアサービス利用イメージ

(3) ヘルスケアサービス発展への課題

既に述べたように、高齢社会の到来により、一人暮らしの高齢者や要介護高齢者が安心して暮らせるように、ヘルスケアサービスの充実が期待されているところである。また、一般に生活習慣病が心配な年齢層に対しては、適切なタイミングで気づきや注意情報を与える予防的健康情報サービスも、ニーズが高いと考えられる。そのため、マーケットとしては有望と考えられるが、実際は(2)で述べたように、ウェアラブルセンサーデバイスを用いた健康モニタリングサービスも存在するものの利用者はまだ限られており、ユビキタスデバイス（センサー類）によるヘルスケアサービスのマーケットは確立されたとは言いがたい。その原因としては、通信機能をもつセンサー自体がまだ大変限られており（観測デバイスが質、量ともに不足）、取得したデータを医療機関等の遠隔の第3者へ送るには、固定的に配した別の通信機器が必要であること等、情報配信の仕組みも限定されているからであると考えられる。そのため、第3者利用者（医療機関等企業）にとっては、健康状態モニタリングサービスのための健康データが十分に入手できず、結果としてサービス（ビジネス）として充実させるという企業側の動機も不足していると考えられる。これを改善

していくためには、以下のような点を充実させる必要がある。

情報生成側（オブジェクト+観測デバイス）の視点から：

- a) 通信機能をもつヘルスケアセンサーデバイスの充実。具体的には、サイズを含めた使いやすさや機能向上とコストダウン。
- b) ネットワーキング機能の充実。センサーデバイスからの情報を確実に観測し、安全確実に所望の場所へ送りどけるネットワーキング（ローカル、グローバルを含む常時接続能力等）を安価に提供できること。
- c) 第3者に健康データを送ることによるセキュリティ不安の解消。これは、プラットフォームにおけるセキュリティ機能、プライバシー保護機能の充実をはかり、センサー提供とあわせて、各個人に対して安心感を醸成する。（マルチ利用者化への対応）
- d) 観測デバイス所有者、設置者が情報提供者自身でない場合でも、プライバシーやセキュリティの保証がおこなえ、センサー所有者、設置者にとって設置管理、運用の費用負担が容易にできるコストと仕組み（公的な支援が初期的には必要か）。

情報利用者側の視点から：

- e) 膨大な量の健康データを集約し、利用しやすい形にデータベース化されていること。またデータ分析、マイニングが適切に行われること。
- f) それぞれの利用者の用途に応じたデータ配信（本人、家族、コミュニティ、安全センタ、介護センタ、病院、医師、薬局等々へ）。
- g) 複数利用者間での情報シェアのためのデータフォーマット標準化等々。

以上のような点の改善により、個人の健康データが企業（医療機関等）にも集まるようになれば、新たなヘルスケアビジネスの展開が期待できる。ただし、当初は、プライバシーやセキュリティ、費用負担問題等からハードルも高く、立ち上がりに時間はかかるかもしれない。この障壁を打ち破るには、初期的には公的な資金や機関によるテストベッドトライアル等を実施し、実際的な成果の積み上げによって、個々の課題を解決していくことが重要であろう。

また、技術的に言えば、本章の前半で議論してきた“ユビキタスサービス”を提供していくということは、コンテキストウェアとインビジブルサービスの実現を意味しており、ヘルスケアサービスをこのレベルにするためには、更に、多くの問題を解決する必要がある。例えば、生体情報をコンテキストとして解釈するということは高度に医療専門的な活動であり、これを ICT（情報通信技術）に委ねうるか、また民間（一般企業）に開放されるかという点については社会的コンセンサス、国家的な判断がいると思われる。また、生体情報とそれ以外の周囲環境情報を連携させ、コンテキスト情報を総合的に理解（個人の状態、そのいる場所や環境条件等）にもとづき、自動的に（プッシュ型で）ヘルスケア

指示をその個人に与えるといった更なるサービスの高度化には、そのニーズとコストをよく評価してアプリケーションの開発に当たらねばならない。

(4) サービスとネットワーク発展のイメージ

先に述べたように、情報収集のための端末であるセンサー類の充実、とくにネットワーク能力が進展することにより、データの集積が進み、データ（リアルタイム情報も含む）の利用価値が飛躍的に高まると考えられる。これによって健康管理を中心とした医療・介護・ヘルスケアビジネスに参入する企業や団体も増加し、ユビキタスサービスの普及が期待される。

明確な発達のステップは描けないが、センサー類の増加と設置者の拡大により個人とその行動に連携した環境情報等も取れるようになり、セキュリティ、プライバシー管理がネットワークプラットフォームで保証されたデータが集積することで、様々なアプリケーションを利用して、ヘルス情報、周囲環境情報にもとづく多くのサービス提供者が出てくると考えられる。

そのイメージを図4.6.4に示す。

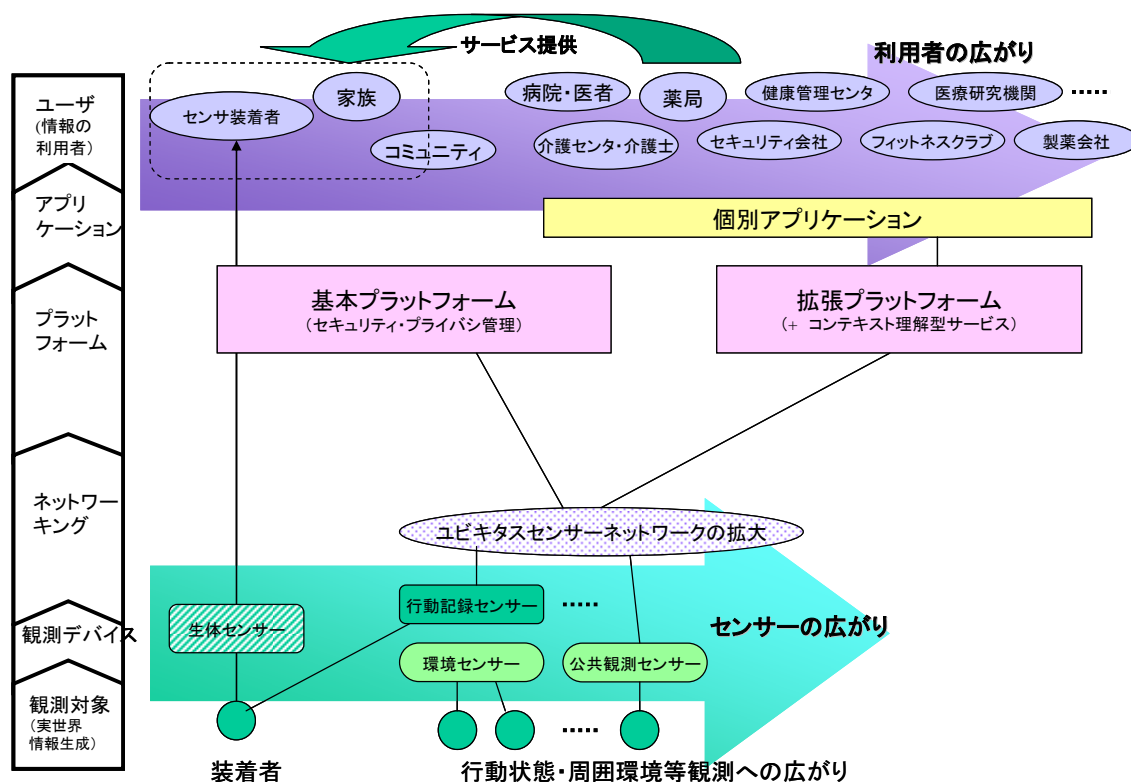


図4.6.4 ヘルスケアサービス発展のイメージ

4. 7 まとめ

以上、将来のユビキタス社会の実現にむけて新たなネットワークビジョンとネットワーク研究の方向性、具体的なネットワークモデルとしてのモバイルユビキタス・ネットワークの提案等を行い、その技術課題についての議論を行った。また、実際のサービスとしての適用性、発展の可能性を評価するために、ユビキタスサービスの展開の一般的ステージを導出するとともに、適用エリアとしてヘルスケアサービスを想定して普及のための課題を抽出した。

本論文では、技術課題に対して具体的な回答を出すに至っていないが、今後の研究開発のひとつの方向を示すとともに、ユビキタスサービスの市場的な発展可能性を示した。本節では、まとめとして、今後のユビキタスサービスの進展に向けて、全般的な課題について改めて整理する。

4. 7. 1 ユビキタス化へのビジネスからの期待と課題

総務省調査研究会の文献[56]によれば、ユビキタス関連分野市場は、2005年に30兆円、2010年に84兆円の規模と試算されている。また、野村総合研究所における検討では、ユビキタスネットワーク化による産業規模拡大への効果は2005年において58兆円と見ている[71]。ただし、これらの市場予測では、本論文での定義に比べより広くユビキタス化の概念をとらえている。即ち、ブロードバンド化やモバイルによる非PC機器の増大、家庭LANや車載LANの増加による様々な情報機器の接続性の拡大を想定し、これらを活用した産業の拡大・新ビジネス創生を試算している。いずれにせよユビキタス化は、これまでのPCとインターネットをベースとした「ビジネスプロセスの効率化」を中心とした90年代のIT化とは異なる形で、新たな領域へビジネスを拡大していくことが期待される。

ビジネス面から見たとき、ユビキタス化を推進するための課題については、サービスの受益者が、個人であるか企業や公共事業であるかによって提供するサービス、達成すべき目標は異なり、課題も異なると考えられるが、ここでは4. 3. 2節に述べたユビキタスサービスの特性に着目して基本的な課題を整理する。

(1) インビジブルの観点から：人或いは観測すべきモノが遍在する極めて広いエリアにネットワークを提供する必要がある。対象物を常に観測、追跡し、そして、さりげなく支援する（通信・コンピューティング）システムは規模的に膨大で、能力的にも多彩なデバイスの集合となると考えられ、誰がこれを建設し、維持・管理を行なうかというインフラ投資が第一の問題となる。ひとつの通信キャリアがクローズドなネットワークを構築し、運営するという従来のキャリアネットワークの概念は成り立たないと考えられる。したがって相互に個別のネットワークを接続してグローバルなネットワークを作り上げるという‘インターネット’のコンセプトがその基盤となることは間違いないと考えられるが、幾多のISPの集合体である現在の商用インターネットが、サービス提供上の信頼性・一貫性

も含めその答えとなるのかは不明である。連携によりクリティカルマスを押さえられるという強いインセンティブが必要である。また、普段見えないインビジブルなサービスをどのようにユーザに認識してもらい、どのように対価を課し、料金を徴収するか、というユーザマインドの問題もビジネスモデルを成立させるための基本的な課題となろう。もちろんそのためにサービス自体のスペックや魅力を明確に主張できることが前提となる。

(2) コンテキストウェアの観点から：ユビキタスサービスは、ユーザの意図や状況を理解し、その場に応じた、その人のためだけのサービスを提供する。このためには、嗜好や状況などのプライバシー情報をシステム側に開示する必要がある。セキュリティ、プライバシー管理の強化等によるユーザの心理的抵抗感を軽減する方策や、コンテキストを第三者にもなんらかの形で開示する場合の社会的なコンセンサス作りが必要である。また、すでに前節で指摘したようにヘルス情報のコンピュータによる自動的な解釈等、本来許されるかどうかという基本的な問題がある（情報解釈に対する責任所在の問題）。

サービス提供システム側においてもユーザ支援のために有効な情報やサービスを即時に収集できる情報収集能力と、個人コンテキストを利用しただけの価値あるサービス提示できるマーケティング力が必要となる。こういったユーザとシステムが接近したサービスを成立させるには、ユーザとサービス提供者間の相互の信頼感がきわめて重要であり、ハード的な情報管理の信頼性・安全性を高めることはもとより、サービス提供者自身の信頼感をどのように醸成できるかといった点が極めて重要である。そのために、ユビキタス時代の企業ブランド力、信用力をサービス提供者がどのように確立させるかは新たな課題となろう。

(3) フィジカルの観点から：これまでの情報通信技術 ICT は、ネットワークとコンピュータの中の仮想世界が対象であったが、ユビキタスサービスでは、物理世界が ICT の対象となる。物理世界がからむことにより、実世界での利用条件に適合した情報アプリケーション（端末デバイス、観測デバイス等）の重要性が高まり、これをどこに設置し、どう利用し、管理できるかがビジネスの成否を決めることになる。デバイスの普及には、技術革新による機能、性能の向上はもちろん、量産化による生産コストの削減は必須である。また、利用環境を考えた扱いやすさと機能の設定が重要である。デバイスの設置、管理に関しては、例えば、無線タグでいえば、対象物に対しどこでどのようにタグ付けをするかという問題がある。メーカーによる製品製造段階でのタグ付けを期待する場合には、世界規模でユニークなタグ番号を管理する必要がある。また、ある事業者がある時点だけ特定のモノ群管理をしたいとすれば、世界的なユニークネスより、そのモノの特性にあった番号方式で管理する方が便利であろう。モノによっては、既にその業界で管理番号が決まっているものもあり、従来からの管理番号を利用したいということは十分にありえる。このような管理に対する様々な要求条件を入れて標準化をどのように進めるかも、大きな課題で

ある。またこれは早期に定めないとユビキタス化が進まない。

以上、いくつかのビジネス展開に関する課題をユビキタスの特性に関連させて述べたが、サービスの発展には、ユーザの理解とサービスの提供者である企業の事業性、そして提供するシステムが相互に調和して発展していく必要がある。現時点では、そのどれについても検討が始まったばかりであり、すでに述べたことも含め多くの本質的課題がある。それぞれの側面から図4.7.1のように課題がまとめられるが、社会的なインフラとして成長していくためには、産官学共同で研究開発を進め、システムの社会的な普及を図るというアプローチも重要と思われる。

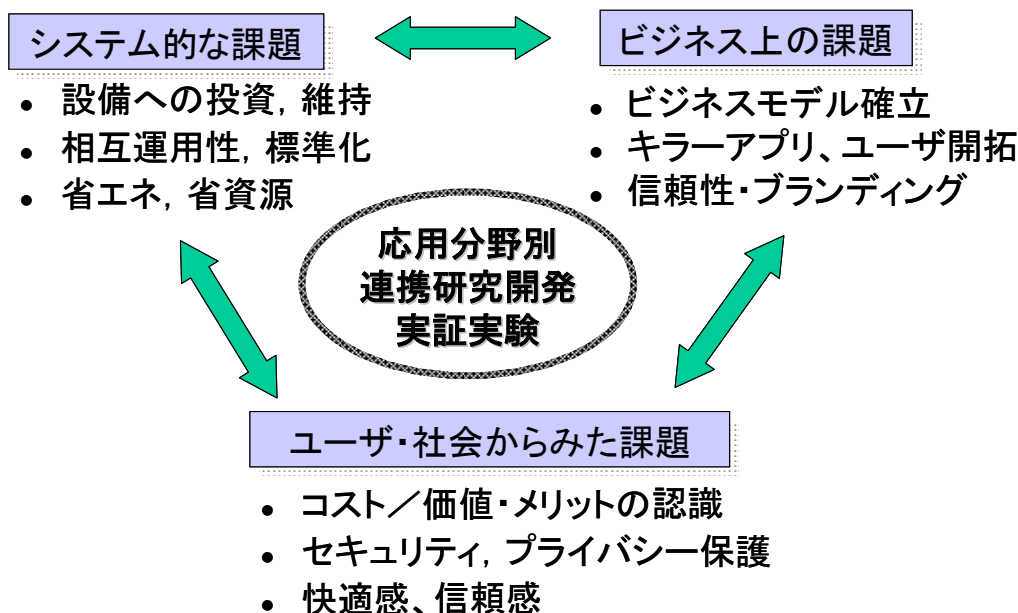


図 4. 7. 1 ユビキタスサービスを進展させるための基本的課題

4. 7. 2 ユビキタス化へのキャリアの役割

将来のモバイルサービスは、ネットワークの高速・広帯域化とともにあらゆるモノがつながり実空間と仮想空間が連携するユビキタス化を促し、モバイルユビキタスの世界へ発展するという考えを述べた。それを構成する次世代ネットワークとしては、3Gまでの(セルラー)モバイルネットワークの All-IP 化(高速・広帯域化)をコアとし、そのモバイル端末をゲートウェイとしてユビキタス環境にネットワークを拡張するモバイルユビキタス・ネットワークアーキテクチャを具体構成として提案した。このアーキテクチャにお

いても、端末とネットワーク（伝達と制御）とサービス支援プラットフォームの3つがネットワークの主要な構成要素であり、これらの各主要構成要素間をうまく連携させる仕組みを提供することがこれからの通信キャリアの役割であると考え。現在のインターネットでは、各構成要素が個別に発展し、それらの連携もまたサービス毎に独立になされている。モバイルユビキタス・ネットワークの世界では、キャリアがこれらをコーディネートし、サービスを迅速に提供しやすい「場」を整えることによって新たなマーケットを創造できるものと考えられる。

第5章 結論

従来、音声電話サービスだけを提供していた電気通信ネットワークは、80年代の後半から技術の発展と時代の要請により広帯域のマルチメディア化が求められ、ついで現在のモバイルネットワークにおいてもマルチメディア化が重要となり、さらに今後、実世界の情報を扱うユビキタス化への発展が求められている。本論文は、この背景のもと、サービスのマルチメディア化、モバイル化、ユビキタス化という視点から、それらに適應できる広帯域アクセスネットワーク、モバイルネットワークおよびユビキタスネットワークについて、その構成法を中心に論じた。以下、それぞれの章での結果の要点を記す。

第2章マルチメディアサービスに適應するアクセス系ネットワーク構成技術の研究：ここではLAN/MANを含むアクセス系ネットワーク構築のため、伝送媒体の利用効率に優れたシェアド・メディア型ネットワーク方式を取り上げ、ATMと親和性高いリング型ネットワークの構成法を示した。アクセスユニット(AU)間のアクセス公平性を保証し、帯域保証とリアルタイムの動的帯域制御を実現するメディアアクセス制御(MAC)方式の検討が研究の中心であり、その新方式としてATMをベースとしたMACプロトコルATMR(ATM Ring)を提案した。提案方式の主な特長は、分散的なウィンドウ制御によりAU毎の公平性制御(帯域保証)を実現したことと、マルチメディアサービス毎の品質保証のための分散優先制御機構を実現したことである。シミュレーションによる性能評価を行い、マルチメディア向けシェアド・メディア型ネットワークとしての有効性を明確にした。また、ATMRプロトコルをLSI化して実現し(156Mbps 試作版および622Mbps 実用版)、当時の世界最高レベルのスループット特性を実際に確認した。

第3章モバイルマルチメディアサービスに適應するAll-IPネットワーク構成法の研究：本章では、まず、次世代(4G)ネットワークとして目指すターゲットネットワークモデルをあきらかにするため、モバイルサービスマーケットの展開シナリオにもとづきビジネス的な要求条件を整理した。次に構築すべきターゲットネットワークの特性にもとづき、技術開発アプローチの考え方を示した。4Gに向けてはマルチメディアサービスをサポートできるAll-IPネットワークが最終的なターゲットモデルとなるため、これを念頭において、あらたな設計方針を提案した。要求条件と設計方針に適合するアーキテクチャとして、IP伝達層とその制御プラットフォームおよびサービス高度化のためのサービス支援プラットフォームの3階層構成をもつネットワークアーキテクチャを提案し、その具体的な機能構成についても述べた。特に、モバイルネットワークの能力を特徴づけるモビリティ(移動性)制御方式については、インターネットで検討されてきたMobile IP方式では、ネットワークの安全性やユーザの位置に関するプライバシー保護の観点から好ましくないことを

指摘し、あらたな方式の必要性を唱えた。そして、従来インターネットで尊重されてきた考え方（“エンドーエンド原則”）とは異なる方式、即ち、端末側では移動制御に関する処理を最少化し、ネットワーク側に主要な移動制御機能を持たせてモビリティを実現させる“ネットワークインテリジェンス”型の制御方式を提案した。これは、インターネットのアーキテクチャ原則を破るものではあるが、端末の移動透過性が簡易で、無線リソースへの負荷も軽く実現できるため、モバイル端末向きであり、上記の **Mobile IP** における課題も解決できる。ネットワークでの処理にかかる負荷やモビリティ性能低下が懸念される場所であるが、シミュレーションや試作システムを用いた評価によって、その実現を妨げるような処理ボトルネックはないことや、**Mobile IPv6** との性能比較においても劣化がないことが示されている。この新たな考えにもとづくモビリティ管理・制御方式については、その導入についてまだ世界的にコンセンサスが得られていないが、今後のモバイルネットワーク **All-IP** 化のひとつの方式検討材料となっており、世界の標準化の場での議論も進められている。

第 4 章 ユビキタスサービスに適応する新世代ネットワーク構成法の研究：本章においては、まず、将来のユビキタスサービス時代のネットワークとは如何なるものであるかを考察し、環境への浸透と理解を機軸とした新たなネットワークのビジョンを提案し、それが実現すべき価値について議論した。次に、ユビキタスサービスに対する考え方を整理し、実世界（フィジカル）を対象に含め、人や周囲環境の状況に応じて（コンテキストウェア）、人にはさりげなく（インビジブル）サービスが提供されることが、ユビキタスサービスの特徴づける機能概念であることを指摘し、これら概念にもとづくサービスの実現モデルを提示してサービス研究の方向性を示した。次に、ネットワークビジョンを実現する具体的なネットワーク構成論として、次世代のモバイルネットワークをコアとしてユビキタス世界へ拡張を図る“モバイルユビキタス・ネットワークング”の概念を提案した。人に常時携帯される携帯電話端末がフィジカルな世界へのゲートウェイとして優れていることを示し、ローカルなユビキタスネットワークとモバイル端末、モバイルネットワークとの連携によって生じる効果を実際のサービスを想定したケーススタディにおいて示すことでモバイルユビキタス概念の有効性を論じた。次に、今後の研究の推進に向けて、ネットワークアーキテクチャを規定し、その主要構成要素についてネットワーク技術とサービス支援技術の両面から要求条件や新たな研究課題を体系化してまとめた。また、技術面以外にも、サービスとして社会に受け入れられ発展していくための課題を探るため、ヘルスケアサービスをケーススタディとして発展のステップを考察した。そこで生じる基本的な課題を抽出し、今後、研究を進展させ、ユビキタス社会を構築していくための留意点を明確にした。

ユビキタスサービス自体は、まだ多くがコンセプトの段階であり、本論文で示したネットワーク構成法についても概念を提案し定性的な評価をするにとどまっている。しかしな

がら、本研究は、ネットワークのユビキタス化という大きな研究領域の中で、今後めざすべきネットワークビジョンを明確にして、取り組むべき技術課題とサービス実現とその発展のための課題点を具体的にまとめたことで、今後、ユビキタスネットワーク社会を実現するための世界の研究開発を加速するための一つの基盤的な素材になるものとする。

謝 辞

本研究は、筆者が日本電信電話株式会社および株式会社 NTT ドコモにおいて従事した広帯域 ISDN と次世代モバイルネットワークの研究開発の一環として担当したテーマをベースとして早稲田大学大学院 国際情報通信研究科において加納貞彦教授のご指導のもとにまとめたものであり、両社においてご指導ご鞭撻いただいた諸先輩、同僚研究者ならびに早稲田大学大学院においてご指導とご討論いただいた多くの先生、研究員に心から謝意を表すものであります。

本研究において懇切なるご指導、ご助言をいただいた早稲田大学大学院 国際情報通信研究科 加納貞彦教授、東京大学大学院 情報工学系研究科 青山友紀教授、早稲田大学大学院 国際情報通信研究科 北村歳治教授、富永英義教授、松本充司教授に心から感謝いたします。また、早稲田大学大学院加納研究室においてご議論をいただいた小舘亮之客員助教授（現 津田塾大学 学芸学部情報数理科学科 助教授）に深謝いたします。

日頃ご指導いただき本研究をまとめる機会を与えていただいたドコモ・テクノロジー株式会社 木下耕太代表取締役社長（前 ㈱NTT ドコモ 常務取締役 研究開発本部長）、株式会社 NTT ドコモ 歌野孝法取締役常務執行役員 研究開発本部長に深く感謝いたします。

NTT において広帯域 ISDN アクセス系研究の機会を与えていただき、ご指導とご鞭撻をいただいた青木利晴 株式会社 NTT データ相談役（前 ㈱NTT データ代表取締役社長）、石川 宏 NTT アドバンステクノロジー株式会社代表取締役社長（前 NTT 常務取締役）、鈴木滋彦 NTT ソフトウェア株式会社代表取締役社長（前 NTT 取締役 第三部門 部門長）、濃沼健夫 アイピーフレックス株式会社常勤監査役（前 NTT 交換システム研究所 広帯域交換研究部 部長）に深く感謝いたします。

ATM リング方式研究でご指導とご討論をいただいた大西廣一 NTT ソフトウェア株式会社取締役（前 NTT 情報流通プラットフォーム研究所 所長）、また研究を共にし、多くの討論とご助力をいただいた伊東 匡 NTT 研究所主幹研究員、森田直孝 NTT 研究所主幹研究員、笠原英樹 NTT 研究所主幹研究員に深く感謝いたします。

次世代モバイルネットワーク、ユビキタスネットワークの研究で、ご指導とご鞭撻をいただいた弓場英明富士通株式会社常務経営執行役（前 ㈱NTT ドコモ取締役）に深く感謝いたします。また、この分野で研究を共にし、多くの討論とご助力をいただいた藪崎正実 ㈱NTT ドコモ研究開発本部担当部長、山崎憲一 同主幹研究員、滝田 亘 同主幹研究員、中村 寛 同担当部長、平田昇一 同担当部長、倉掛正治 同主幹研究員、井原 武 同主任研究員、石井健司 同主任研究員、笠井裕之 同研究主任、澤田政宏 同主査ならびに藤谷 宏 ㈱NTT ドコモ知的財産部担当部長（前 研究開発本部主幹研究員）、岡川隆俊 ㈱NTT ドコモ人事育成部担当課長（前 研究開発本部担当課長）に心から感謝の意を表します。

最後に筆者の長年にわたる研究活動を忍耐強く支えてくれた妻 圭子と激励してくれた裕貴、智章、茉里奈に感謝します。

参考文献

- [1] CCITT Rec. I.121: Broadband Aspect of ISDN; 1991
- [2] CCITT Rec. I.311: B-ISDN General Network Aspects; 1991
- [3] CCITT Rec. I.327: B-ISDN Functional Architecture; 1991
- [4] CCITT Rec. I. 413: B-ISDN User-Network Interface; 1991
- [5] CCITT Rec. I.150: B-ISDN ATM Functional Characteristics; 1992
- [6] 今井和雄：“ATM フォーラムの全体的動向と技術検討課題” 信学技報 IN94-39 (1994-05)
- [7] 檜尾次郎・寺田松昭・天田栄一：“広帯域 LAN の技術動向と国際標準化”；信学会論文誌、vol. J72-B-1, No.11, pp.896-903, 1989
- [8] F. Davik et al, “IEEE 802.17 Resilient Packet Ring Tutorial,” IEEE Com Mag. March 2004 pp.112-118, Ethernet Transport over WAN 特集
- [9] R.M. Falconer and J.L. Adams, “Orwell: A protocol for an integrated services local network,” BT Technology J., vol.3, no.4, October 1985
- [10] J.O. Limb et al, “Description of Fasnet – A unidirectional local area communications network,” Bell System Tech. J. 61 (7) 1982)
- [11] I. Cidon and Y. Ofek, “MetaRing – A full-duplex ring with fairness and spatial reuse,” IEEE Trans. Comm., vol.41, no.1, pp.110-120, Jan. 1993
- [12] F. E. Ross, “An Overview of FDDI: Fiber Distributed Data Interface,” IEEE J. Selected Areas Comm., vol. 7, pp.1043-1051, Sep. 1989
- [13] M.M. Nassehi, “CRMA: An Access Scheme for High-Speed LANs and MANs,” SUPERCOMM/ICC '90 Atlanta, GA, pp.1679-1702
- [14] R.M. Newman et al, “Distributed queuing: A fast and efficient packet access protocol on QPSX,” ICC86, 1986
- [15] “Distributed Queue Dual Bus (DQDB) Subnetwork of a Metropolitan Area Network (MAN),” IEEE Standard 802.6 Dec. 1990
- [16] H. Ohnishi and N. Morita, “ATM ring protocol and performance,” ICC'89, June 1989
- [17] K. Imai, T. Honda, H. Kasahara and T. Ito, “ATMR: Ring architecture for broadband networks, IEEE GLOBECOM '90, vo. 3 Dec. 1990, 1734–1748
- [18] T. Ito, K. Imai, H. Kasahara, N. Morita and J. Aramomi, “Performance analysis of a high-speed ring network in multi-service environment,” ICC'92, Sept. 1992
- [19] 伊東 匡・笠原英樹・新羽 純・横田修成：“ATMR における複数品質クラス制御方式の検討”、信学技報 SSE91-147、1991
- [20] 笠原英樹、森田直孝、伊東 匡、今井和雄：“ATMリングのアーキテクチャと高速

マルチメディアネットワークへの適用”、情報処理学会研究報告、Vol.91, No.38(DPS-50),87-94, 1991.

[21] K. Imai, T. Ito, H. Kasahara, N. Morita, “ATMR: Asynchronous transfer mode ring protocol,” *Computer Networks and ISDN Systems* 26(1994) 785-798

[22] 山口 大輔 他：“高速・広域網への適用可能な ATM LAN システムとその評価、”
信学会論文誌 B-1 Vol. J80-B-1 No.8 pp577-585, 1997

[23] 秋山 稔監修： B-ISDN 絵とき読本； オーム社 1993 年

[24] 宮原秀夫監修： B-ISDN の基盤技術； リアライズ社 1994 年

[25] ITU-R Draft Recommendation, “Vision, framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT 2000,” November 2002

[26] ITU-T Q.1702, “Long-term vision of network aspects for systems beyond IMT-2000,” June 2002

[27] ITU-T Q.1703, “Service and Network Capabilities Framework of network aspects for systems beyond IMT-2000,” May 2004

[28] 3GPP Specification, “IP Multimedia Subsystem (IMS) –Stage 2 V6.5.0, “ March 2004

[29] 「2010 年の移動通信業界を見通す4つのシナリオ」国際大学グローバル・コミュニケーション・センター (GLOCOM) & アクセンチュア株式会社 2002 年 1 月 23 日 報道発表 <http://ascii24.com/news/i/mrkt/article/2002/01/23/632957-000.html?geta>

[30] WiMAX: <http://www.wimaxforum.org/home>

[31] H. Yumiba and M. Yabusaki, “Mobile Service History and Future,” *IEICE Trans. Commun*, Vol. E85-B, No.10, October 2002

[32] H. Yumiba, K. Yamamoto, and M. Yabusaki, “The Design Policy for A GSM-based IMT-2000 Network,” *IEEE Wireless Communication Magazine*, Vol.10, No.1 pp.7-14, February 2003

[33] IETF RFC1958, “Architectural Principles of the Internet,” June 1996

[34] “i モード特集” NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル、Vol.7, No.2 1999 年 7 月

[35] 青山友紀教授講演 “ユビキタス情報社会におけるネットワークの進化” at NTT DoCoMo R&D Center 2004.6.15

[36] C.E. Perkins, “Mobile IP,” *IEEE COM Mag.*, ppp.66–82, May 2002

[37] IETF RFC3775, “Mobility Support in IPv6,” June 2004

[38] 今井和雄、藤谷 宏、前田吉功、平田昇一：“動通信ネットワークの IP 化の検討—All-IP 実験の概要—” NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル、Vol.9, No.1 April 2001

[39] 石井健司、岡川隆俊、佐藤 恭、大迫陽二、檜山 聡：“移動通信網への IP 技術と Open

API 技術の適用評価－All-IP 実験結果－” NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル、Vol.9, No.3 Oct. 2001

[40] 弓場英明・今井和雄・薮崎正実: “IP-based IMT ネットワークプラットフォーム” 信学技報 SSE2000-290,IN2000-246 2001年3月

[41] H. Yumiba, K.Imai M. Yabusaki, “IP-based IMT Network Platform,” IEEE Personal Communication Magazine, Vol.8, No.5, pp.18-23, October 2001

[42] K.Imai, M.Yabusaki, T.Ihara, “IP2 Architecture towards Mobile Net and Internet Convergence,” WTC2002, September 2002

[43] T. Okagawa, K. Nishida and A. Miura, “A Proposed Routing Procedure in IP²,” VTC 2003, May 2003

[44] I. Akiyoshi, et al, “Scalability Evaluation of IP-based IMT Network Platform,” WITSP 2004, Dec. 2004 移

[45] K. Nishida, et al, “Implementation and Evaluation of a Network-Controlled Mobility Management Protocol,” WCNC2005, March 2005

[46] T. Okagawa, et al, “A Proposed Mobility Management for IP-based IMT Network Platform,” IEICE Trans. Commun., Vol. E88-B No.7 July 2005 (to appear)

[47] 岩崎 淳 他、“IP² モビリティマネジメント方式の実装評価” 信学技報 NS2004 - 69 (2004 - 7)

[48] 秋好 一平 他、“IP² モビリティマネジメント方式のスケラビリティ評価” 信学技報 NS2004 - 70 (2004 - 7)、

[49] 西田 克利 他、“IP² モビリティマネジメント方式と Mobile IPv6 方式の比較評価” 信学技報 MoMuC2004 - 45 (2004 - 7)

[50] 今井和雄・山崎憲一：“ユビキタスサービス” 電子情報通信学会誌 Vol.86, 2003-3 pp.186-192, 2003年3月

[51] M.Weiser, “The Computer for the 21st Century,” Scientific American, Vol.265, No.3, pp.94-104, Sept. 1991

[52] M.Weiser, “Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing,” Communications of the ACM, Vol.36, No.7, pp.75-84, Jul. 1993.

[53] M. Weiser, R. Gold and J. S. Brown, “The origins of ubiquitous computing research at PARC in the late 1980s,” IBM Systems Journal, Vol.38, No.4, 1999

[54] “モバイルネットワーク All-IP 化特集” NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル Vol.10, No.4

[55] “シームレス移動通信技術特集” NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル Vol.11, No.4

[56] 総務省：“何でもどこでもネットワークの実現に向けて－「ユビキタスネットワーク技術の将来展望に関する調査研究会」報告書－” 2002年

- [57] ユビキタスネットワークングフォーラム編 “ユビキタスネットワーク戦略” ユビキタス NW 技術の将来展望 2002 年
- [58] 監修弓場英明 未来ねっとシリーズ 8 “ユビキタスサービスネットワーク技術” 電気通信協会 2003 年
- [59] “第 4 世代無線アクセス技術特集” NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル Vol.11, No.2
- [60] K. Imai, W.Takita, S.Kano, A. Kodate, "An Extension of 4G Mobile Networks towards the Ubiquitous Real Space," IEICE Trans. Commun., Vol. E88-B, No.7 July 2005
- [61] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci: "A survey on sensor networks," IEEE Communications Magazine, 40(8):102--114, August 2002
- [62] Auto-ID Center : <http://www.autoidcenter.org/>
- [63] ユビキタス ID センタ : <http://uidcenter.org>
- [64] K. Imai, H.Nakamura, K.Yamazaki, W.Takita, and H.Kasai: "A Proposal for Ubiquitous Networking in Advanced Mobile Communications World," WTC2004, Sep. 2004
- [65] 野村総合研究所 「生活者 1 万人アンケート調査」
http://www.nri.co.jp/opinion/r_report/survey/
- [66] 「高齢社会白書」 内閣府
<http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2005/zenbun/html>
- [67] 「みまもりネット」 松下電工 <http://www.mew.co.jp/mimamori/index.html>
- [68] 第 1 回ユビキタス医療シンポジウム <http://www.jamina.jp/seminar/20050422/>
- [69] Vivago リストケア 山武&安全センター
<http://jp.yamatake.com/save/spirit/0111/spi0111.pdf>
<http://www.anzen-1.co.jp/file/taichou/index.html>
- [70] エム・シー・メディカル株式会社 <http://www.mcmed.co.jp/hcn/hcnd4.html>
- [71] ウェアラブルセンサーを用いた生体・環境情報統合システム等 東京大学大学院新領域創成科学研究科 <http://www.ita0.pe.u-tokyo.ac.jp/>
- [72] 野村総合研究所：“ユビキタス・ネットワークと市場創造” 野村総合研究所, 2002

研究業績一覧

論文

- “An Extension of 4G Mobile Networks towards the Ubiquitous Real Space,” IEICE Trans. Commun., Vol. E88-B, No.7 July 2005 【K. Imai, W. Takita, S. Kano, A. Kodate】
- “IP-based IMT Network Platform,” IEEE Personal Communication Magazine, Vol.8, No.5, Oct.2001 【H.Yumiba, K.Imai, M. Yabusaki】
- “ATMR: Asynchronous Transfer Mode Ring Protocol,” Computer Networks and ISDN Systems 26 1994 【K. Imai, T. Ito, H. Kasahara, N. Morita】

— 国際会議論文（査読有） —

- “A Proposal for Ubiquitous Networking in Advanced Mobile Communications World” WTC2004, Sep. 2004 【K. Imai, H. Nakamura, K. Yamazaki, W. Takita, H. Kasai】
- “IP2 Architecture towards Mobile Net and Internet Convergence,” WTC/ISS2002, September 2002. 【K.Imai. M. Yabusaki, T.Ihara】
- “Performance analysis of a high-speed ring network in multi-service environment, ICC’92, Sep. 1992 【T. Ito, K. Imai, H. Kasahara, N. Morita and J. Aramomi】
- “ATMR: Ring Architecture for Broadband Networks,” IEEE GLOBECOM 90, Dec.,1990 【K. Imai, T. Honda, H. Kasahara and T. Ito】

講演

- “A New Direction of B3G Research in Japan” (Keynote) WWI 1stSymposium, Dec.2004 【K.Imai】
- “第4世代モバイルネットワークとユビキタスへの展開” 第1回実世界指向ユビキタスネットワークワークショップ 2004年6月 【今井和雄】
- “IP2 移動管理アーキテクチャ” 信学技報 NS2002 - 308 , IN2002 - 281 2003年3月 【澤田政宏・今井和雄・薮崎正実・岡川隆俊】
- “Mobile Internet Services and Networking beyond 3G,” (Panel Session) WTC2002 Sept.23, 2002 【K.Imai】
- “Mobile Internet Services” (Keynote) Networks 2002, June24, 2002 【K.Imai】
- “モバイルサービスの変遷と今後の進展” 信学技報 IN2001-13 2001年5月 【弓場英明・今井和雄・薮崎正実・山崎憲一】
- “IP-based IMT ネットワークプラットフォーム” 信学技報 SSE2000-290, IN2000-246 2001年3月 【弓場英明・今井和雄・薮崎正実】

- ・ “IP-based IMT Platform のための網アーキテクチャ” 信学会大会 SB-4-6 2001 年 3 月
【谷 直樹・薮崎正実・今井和雄・弓場英明】
- ・ “次々世代へ向けたマルチメディア移動通信ネットワークの検討” 信学技報
SSE2000-84,RCS2000-73 【今井和雄・藤谷 宏・中村 寛・林 泰久】
- ・ “リセット型 GFC の単リング構成での性能評価” 信学会秋季大会 B-432,1993 年 9 月
【森田直孝・新粕 純・伊東 匡・今井和雄】
- ・ “サイクルリセット型 GFC プロトコルによる ATM MUX におけるフロー制御方式の
検討” 信学会秋季大会 B-433 1993 年 9 月 【新粕 純・森田直孝・伊東 匡・
今井和雄】
- ・ “ATM-UNI における GFC プロトコルの性能評価” 信学技報 SSE92-100,1992 年 11
月 【新粕 純・今井和雄・森田直孝】
- ・ “サイクルリセット型リングプロトコルの遅延特性評価” 信学技報 SSE92-101、1992 年
11 月 【伊東 匡・今井和雄】
- ・ “ATMリングのアーキテクチャと高速マルチメディアネットワークへの適用”、
情報処理学会研究報告、Vol.91, No.38(DPS-50),87-94, 1991.
【笠原英樹・森田直孝・伊東 匡・今井和雄】
- ・ “ATM-UNI における GFC プロトコルの評価” 信学技報 SSE91-95 1991 年 11 月
【森田直孝・大西廣一・今井和雄・新粕 純】
- ・ “加入者アクセス高速リングネットワーク(ATMR)の構成法に関する検討” 信学技報
SSEVol.90 - 41 1990 年 7 月 【伊東 匡・笠原英樹・田原勝則・本田隆司・今井和雄】
- ・ “ATM 網による CL 通信方式の検討” 春季全国大会 B-455 1990 年 3 月
【笠原英樹・今井和雄】
- ・ “ATM リングにおける CL 形通信の高速処理方式” 信学会秋季全国大会 B-171,1989
年 9 月 【笠原英樹・伊東 匡・今井和雄】

著書

- ・ 「IPv6 時代のインターネットプロトコル詳解」 毎日コミュニケーションズ社
2003 年 9 月 (編著)
- ・ 「次世代ネットワークサービス技術」 未来ネット技術シリーズ第 6 巻、電気通信協
会 2000 年 (共同執筆)
- ・ 「B-ISDN の基盤技術」 リアライズ社 1994 年 (共同執筆)
- ・ 「B-ISDN 絵とき読本」 オーム社 1993 年 (共同執筆)

その他関連業績

- “次世代モバイルネットワークとその技術課題” オペレーションズ・リサーチ OR 学会誌 vol.49 no.8, 2004 年 8 月 【今井和雄】(解説)
- “ユビキタスネットワーク社会のビジョンとその実現可能性” RITE シンポジウム パネル討論 2003-6 (海外電気通信 2003 年 8 月号に掲載、RITE : 国際通信経済研究所) 【今井和雄】(解説)
- “ユビキタスサービス” 信学会 学会誌 2003 年 3 月 【今井和雄・山崎憲一】(解説)
- “未来のモバイルネットワーク技術がもたらすユビキタス社会” ITU ジャーナル 2003 年 6 月 【今井和雄】 (解説)
- “移動通信ネットワークの IP 化の検討” ドコモテクニカルジャーナル Vol.9, No.1 2001 年 4 月 【今井和雄・藤谷 宏・前田吉功・平田昇一】 (解説)
- “ATM フォーラムの全体的動向と技術検討課題” 信学技報 IN94-39 Vol.94 No.29 1994 年 5 月 【今井和雄】 (講演)
- “B-ISDN の標準化動向と課題——高速データ通信サービスの実現に向けた技術課題——” 信学会論文誌 B-I Vol.J76-B-I No.11 1993 年 11 月【三宅 功・今井和雄】 (論文)

(以上)