

2.2 モバイルインターネットプロトコル

NTTドコモ マルチメディア研究所
石川 憲洋¹ 高橋 修²

無線ネットワークのインパクト

i-modeに代表される携帯電話などのモバイル端末からのインターネットアクセス、IEEE 802.11bに代表される無線LAN、2Mbpsまでの高速伝送を実現する第3世代移動通信ネットワーク (IMT-2000: International Mobile Telecommunications-2000) など、新しい無線ネットワーク技術が次々に出現し、社会インフラとして急速に浸透しつつある。このことは、従来、有線ネットワークを前提として研究開発、標準化が進められてきたインターネット技術にも大変に大きな影響を与えている。本稿では、モバイルインターネット技術の標準化および研究開発の最近の動向について概説する。

最初に、モバイルインターネット技術の標準化の代表例として、携帯電話などのモバイル端末を対象としたアプリケーションとプロトコルの標準化を進めているWAP Forum¹⁾の動向について述べる。

無線ネットワークのインターネット技術に及ぼす影響は、下記の3つの観点に分類して考えることができる。続いて、それぞれの観点から、代表的な研究開発および標準化の動向について述べる。

(1) 無線ネットワークへの最適化

インターネットプロトコルは、できる限り物理ネットワークに依存しない普遍的なプロトコルであることが望まれる。したがって、無線ネットワーク向けに新しいプロトコルを開発するのではなく、既存のインターネットプロトコルを、高遅延、高誤り率などの特性を持つ無線ネットワークにいかに対応させるかが重要な研究課題となる。この観点からの代表事例として、無線ネットワーク向けTCPの動向について述べる。

(2) モバイル端末向けアプリケーションプロトコル

モバイル端末は、ユーザが常に携帯して、いつでもどこでも利用できるという特性がある。この従来のデスクトップPCにはない特性を活かした、モバイル端末向けの新しいアプリケーションの実現に向けた研究開発が重要である。この観点からの代表事例として、WAP Forumで標準化されたモバイル端末向けプッシュプロトコルについて述べる。

(3) 動的な移動性管理

当然であるが、モバイル端末は絶えず移動するという特性がある。モバイル端末が移動している場合でも、インターネットへのアクセスが途切れることなく継続できる必要がある。IMT-2000などの特定の無線ネットワークに閉じたモバイル端末の移動性管理は、無線ネットワークのローミング技術でも解決可能であるが、異なる無線ネットワーク間、有線ネットワークと無線ネットワークの間の移動性管理は解決できない。モバイル端末からの要求として、インターネットに接続される端末の動的な移動性管理を実現する技術が求められている。この観点からの代表事例として、IETFで標準化が進められているモバイルIPの動向について述べる。

WAP Forumの標準化動向

WAP (Wireless Application Protocol) とは、携帯電話などのモバイル端末からインターネットのコンテンツへのアクセスを実現することを主な目的に、WAP Forumで標準化が進められているプロトコルとアプリケーション環境である。WAP Forumは1997年6月に設立され、以来、世界の主要なオペレータ、メーカ、コンテンツプロバイダが参加している。

WAP Forumでは、当初、低速、高遅延などの有線ネットワークとは異なる特性を持つ無線ネットワークには、TCP/IPなどの標準的なインターネットプロトコルではなく、無線ネットワークに最適化された独自のプロトコルが必要であると考え、WAP 1.xプロトコルを新たに標準化した (以下、WAP1と総称する)。最新仕様は2001年7月に公開された。

一方、2001年10月からサービスが開始されたIMT-2000では、開始時に最大384Kbpsと、第2世代の約40倍の速度のパケット通信サービスが提供される。第3世代などの高速ネットワークでは、WAP1などの無線ネットワークに最適化されたプロトコルではなくとも、TCPなどの標準的なインターネットプロトコルでも十分な性能を得ることができる²⁾。モバイルインターネットを発展させるためには、急速に進展するインターネット技術をタイムリーに取り込むことが必要であり、そのためには、WAPとインターネットとのより一層の融合

¹ ishikawa@mml.yrp.nttdocomo.co.jp

² osamu@mml.yrp.nttdocomo.co.jp



を図ることが望ましい。以上を踏まえて、NTTドコモは、エリクソンなどの協力を得て、インターネットプロトコルに基づく次世代WAPを提案した。本提案はWAP Forum内で広く受け入れられ、急速度で標準化作業が進められ、WAP 2.0として2001年7月に公開された³⁾(以下、WAP2と総称する)。

WAP Forumで規定している内容は、マークアップ言語、スクリプト言語など多岐に渡るが、本稿では、プロトコルの観点から、WAP1およびWAP2の概要について述べる。

■ WAP1プロトコル ■

WAP1のアーキテクチャは、WAPクライアント、WAPゲートウェイ、オリジンサーバから構成される。WAP1のプロトコルアーキテクチャを図-1に示す。WAPクライアントは携帯電話などの小さい画面のモバイル端末を想定している。オリジンサーバとしては、WWWサーバなどの既存のインターネット上のサーバを使用することを前提としている。WAPアーキテクチャは、基本的にインターネットのWWWアーキテクチャを無線ネットワーク向けに拡張したものであり、WAPゲートウェイが無線ネットワークとインターネットの間のゲートウェイの役割を果たしている。

WAPクライアントとWAPゲートウェイの間は、WAP Forumで新たに標準化したWAP1プロトコルを使用して通信する。WAPゲートウェイとオリジンサーバの間は、TCP/IP、HTTP1.1などの標準的なインターネットプロトコルを使用して通信する。したがって、WAPゲートウェイは、WAP1プロトコルとインターネットプロトコルのゲートウェイの役割を果たしている。さらに、WAP Forumでは、モバイル端末向けにWAPプッシュプロトコルを規定している。

WAP1プロトコルは、WSP (Wireless Session Protocol), WTP (Wireless Transaction Protocol), WTLS (Wireless Transport Layer Security), WDP (Wireless Datagram Protocol) から構成される。WAP1プロトコルの概要を表-1に示す。

■ WAP2プロトコル ■

WAP2では、下記の理由から、WAP1と同様にスプリット型のプロトコルアーキテクチャを採用している。

- (1) WAP1からのスムーズな移行を可能とするために、できる限り、WAP1との後方互換性を保持することが望ましい。
- (2) 無線ネットワークの特性を反映してTCPの最適化を図るためには、無線区間と有線区間を分離して、無線区間に対してのみ最適化を図るスプリット型TCPが

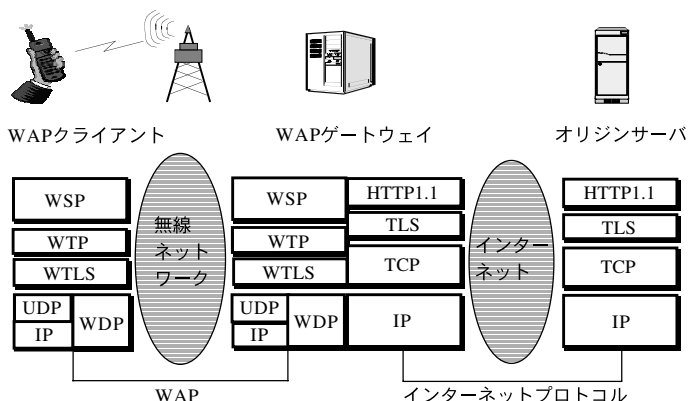


図-1 WAP1のプロトコルアーキテクチャ

プロトコル	概要
WSP	HTTP1.1と同等の機能を持ち、無線ネットワークの要求を満足するために、以下の機能拡張を行っている。 ・無線ネットワーク上での伝送量を削減するためのヘッダのコンパクト符号化 ・WSPセッション中断/再開機能 ・プッシュ機能
WTP	信頼性の低いデータグラム上で、信頼性のあるリクエスト・レスポンス型のトランザクションを実現するためのプロトコル。TCPと比べて、WWW型のトランザクションに特化することにより、プロトコルの軽量化を図っている。
WTLS	TLS/SSLをベースに、帯域が狭い無線ネットワークに最適化したセキュリティプロトコル。データ秘匿(共通鍵による暗号化)、データ完全性(MACを使用)、認証(認証局による証明書を使用)などをサポートしている。
WDP	IPをサポートしない無線ネットワーク(GSM SMSなど)上でUDPと同等の機能を提供するプロトコル。IPをサポートする無線ネットワークの場合は、UDPを使用する。

表-1 WAP1プロトコルの概要

有効である。

WAPクライアントとWAPゲートウェイの間は、Wireless Profiled TCP, TLS, HTTP1.1を使用して通信する。WAPゲートウェイとオリジンサーバの間のプロトコルは、WAP1と同様である。Wireless Profiled TCPは、高遅延、高誤り率などの特性を持つ無線ネットワーク上で使用するために最適化されたTCPである。WAPクライアントでTLSをサポートすることにより、TLSトンネリングによるWAPクライアントとオリジンサーバの間のエンド・エンドセキュリティを可能としている。WAP2のプロトコルアーキテクチャを図-2に示す。なお、NTTドコモのIMT-2000サービスであるFOMAのi-modeでは、図-2に示すWAP2と同等のプロトコルを採

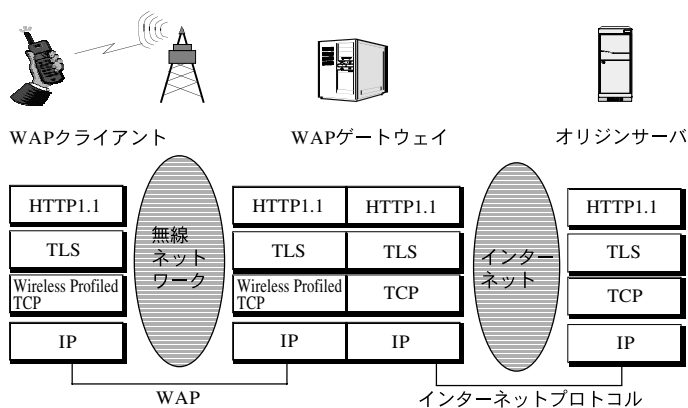


図-2 WAP2のプロトコルアーキテクチャ

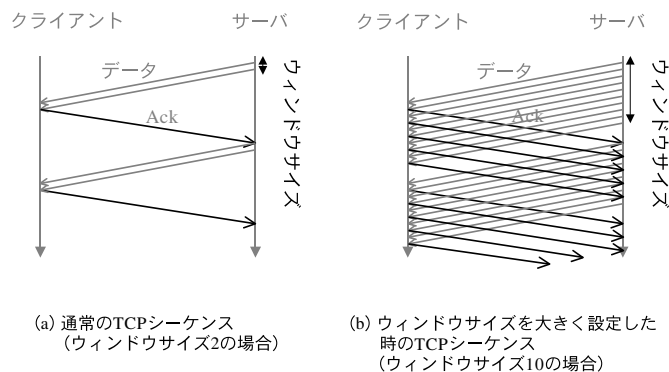


図-3 TCPシーケンス

用している。

現在のWAPアーキテクチャは、WWWアーキテクチャに基づいて、モバイル端末からインターネット上のWWWサーバへのアクセスを主な対象としている。RTP/UDPなどを利用したマルチメディア情報のモバイル端末へのストリーム配信などについては、今後の検討課題となっている。

無線ネットワーク向けTCP

TCPは、その開発経緯からLAN (Local Area Network) のような高速、低遅延で誤り率の低いネットワークで利用され、発展してきた。したがって、高遅延、高誤り率などの特性を持つ無線ネットワークに対してTCPが適しているかどうかについては従来から議論があった。たとえば、IMT-2000では、無線区間に再送方式 (ARQ: Automatic Repeat Request) や誤り訂正符号化方式 (FEC: Forward Error Correction) の適用によりパケット誤り率を低く抑えることが可能である一方、その結果生じる長い遅延時間が問題となる。

上記の問題を解決するアプローチとして、WAP1プロトコルのように無線ネットワークに最適化したプロトコルを新たに研究開発することが考えられる。しかしながら、このアプローチはインターネットのセグメント化につながり、長期的にみてインターネットの普遍性の観点からは望ましくない。TCPには非常に長い研究の歴史があり、さまざまな最適化手法が考案されてきた。これらを組み合わせることにより、TCPの無線ネットワークへの適用を図るアプローチをとることが望ましい。

遅延時間の長いネットワークでのTCPの最適化を図-3の例で説明する。サーバからクライアントに向けてデータが転送され、クライアントはサーバに送達確認

(Ack) を送出している。クライアントでデータあふれを起こさないために、サーバはAckを待たずに転送できるデータ量の上限値を設けている。この値はTCP接続時にクライアントとサーバの間で行われる3ウェイハンドシェイクと呼ぶ折衝で交換される。この上限値をウィンドウサイズと呼ぶ。

図-3 (a) はウィンドウサイズが2の場合であるが、図-3 (b) はウィンドウサイズが10の場合である。これらの図から、ウィンドウサイズを変化させるとサーバ・クライアント間のネットワークにおいて転送間隔が変わり、その結果、ネットワークの利用効率が異なることが分かる。すなわち、遅延時間が長いネットワークでTCPを使用するとネットワークの利用効率が低下する可能性があるが、ウィンドウサイズというパラメータを適切に設定することで効率低下を回避できる。

このようにTCPの最適化手法を使用することにより、TCPを効率的に無線ネットワークに適用することが可能となる。無線ネットワークに有効なTCPの最適化手法を以下に示す⁴⁾。下記のTCPの最適化手法はすべて、WAP2のWireless Profiled TCPに採用されている。これらの最適化手法は、すでにRFC化されているよく知られたTCPオプションであり、これらのオプションをサポートしない通常のTCPの実装との相互接続性も確保されている。

- (1) ウィンドウサイズの拡大：無線ネットワークのような遅延時間が長いネットワークの場合、回線速度と遅延時間を考慮してウィンドウサイズを拡大することにより、ネットワークの利用効率の向上を図る必要がある。
- (2) 送信側の初期ウィンドウサイズの拡大：TCPでは、輻輳制御のためのスロースタートアルゴリズムにより、TCP開始時の送信側の初期ウィンドウサイズを1または2パケットに設定する。このサイズを大きく

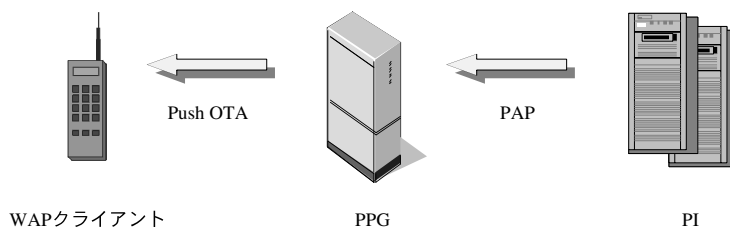


図-4 WAPプッシュアーキテクチャ

することにより、遅延時間の長いネットワークでの性能向上を図る。

- (3) パケット長の拡大：スロースタートアルゴリズムのより、送信側のウィンドウサイズは、Ackを受信するごとに1ずつ増加する。パケット長を長く（たとえば、1,500バイト）設定することにより、遅延時間の長いネットワークでの性能向上を図る。
- (4) 選択的再送機能（SACK: Selective Acknowledgement）：TCPでは、パケットを紛失した場合、スロースタートアルゴリズムにより送信側のウィンドウサイズが減少する。スロースタートによる性能低下を防ぐため、紛失したパケットのみを再送するSACK機能を利用する。

モバイル端末向けプッシュプロトコル

インターネット上のプッシュ型情報配信は、Point-Cast Networkなどの出現を契機に大きな注目を集めたが、現在までのところ、本格的な普及には至っていない。しかしながら、常に携帯しているという特性を持つモバイル端末に対しては、より大きなニーズがあると考えられる。たとえば、i-modeのメール着信通知は、プッシュ型情報配信の一種である。モバイル端末向けプッシュプロトコルの事例として、WAP Forumで標準化されたWAPプッシュについて述べる。

■ WAPプッシュアーキテクチャ ■

WAPプッシュのアーキテクチャは、PI (Push Initiator), PPG (Push Proxy Gateway), WAPクライアントから構成される⁵⁾ (図-4)。PIはプッシュコンテンツとプッシュ制御情報をPPGに送信し、PPGは、PIから送られてきたプッシュ制御情報を基にWAPクライアントに対してコンテンツをプッシュする。PPGはWAPクライアントへプッシュを行うために、無線ネットワークのアドレッシング方式に基づいてアドレス解決を行うことを主な役割とする。そのほかに、PPGは、WAPクラ

イアントの能力情報に応じたコンテンツ変換やプッシュの結果をPIに通知する機能を提供する。

WAPプッシュでは、コンテンツプッシュに加えて、スマートプルを実現するSI (Service Indication) とSL (Service Loading) を規定している。SLのプッシュを受けたWAPクライアントは、プル型によりSLに含まれるURLで指定されるコンテンツの取得を行い、擬似的にプッシュを行うスマートプルを実現する。

■ WAPプッシュプロトコル ■

PIとPPGの間の通信にはPAP (Push Access Protocol) が用いられ、PPGとWAPクライアントの間の通信には、Push OTA (Over The Air) プロトコルが用いられる (図-5)。

PAPは、プッシュ制御情報の転送と任意のMIMEコンテンツタイプのプッシュを行う。PAPのオペレーションには、プッシュの実行、プッシュのキャンセル、状態問合せ、PPGからPIへのプッシュ結果通知などがある。PAPの転送プロトコルとして、HTTPまたはSMTPを使用する。

Push OTAプロトコルには、コネクションレス型とコネクション型がある。コネクションレス型Push OTAの転送プロトコルとして、WAP1のWSPを使用する。コネクション型Push OTAの転送プロトコルとして、WAP1ではWSPのプッシュ機能を、WAP2ではHTTPを使用する。

コネクションレス型Push OTAでは、WAP1のWDPを用いるため、IPパケット転送をサポートしている無線ネットワークのほか、SMS (Short Message Service) などのIPパケット転送をサポートしていない無線ネットワークにおけるプッシュも実現可能である。

コネクション型Push OTAでは、HTTPを使用する場合、HTTP POSTメソッドを用いる。すなわち、PPGがHTTPクライアントとなり、WAPクライアントがコンパクトHTTPサーバとして動作する。

プッシュを行う際に、あらかじめ無線ネットワーク

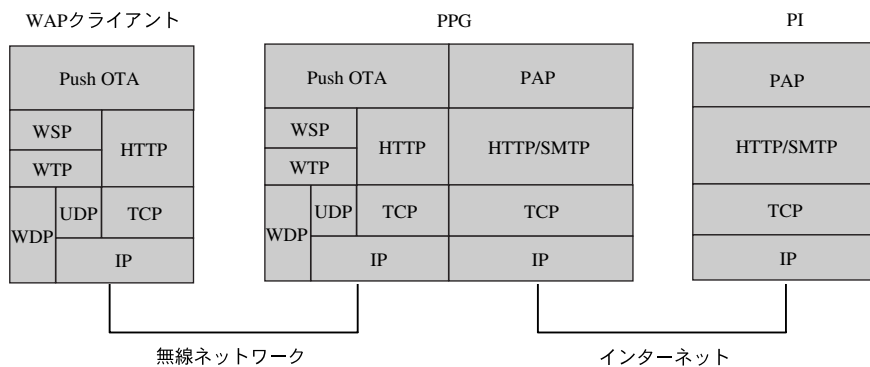


図-5 WAPプッシュのプロトコルアーキテクチャ

およびプッシュセッションが開設されていない場合には、PPG側からこれらの開設をWAPクライアントに要求することが必要となる。このための仕組みとして、SIR (Session Initiation Request) が規定されている。SIRでは、SMSを用いてSIA (Session Initiation Application) メッセージをプッシュすることにより、PPG側から無線ネットワークおよびプッシュセッションの開設をWAPクライアントに要求することができる。

■ WAPプッシュの実現例 ■

WAPプッシュの実現例を以下に示す(図-6)。

- (1) SLを用いたスマートプルの実現例：①SMS上のコネクションレス型プッシュを用いてSLをプッシュし、②WAPクライアントから無線ネットワークを開設後、③プル型にてコンテンツを取得する。
- (2) HTTPを用いたコンテンツプッシュの実現例：①SMS上のコネクションレス型プッシュを用いてSIAメッセージをプッシュし、②WAPクライアントからの無線ネットワークの開設および③プッシュセッション(TCPコネクション)の開設を行った後、HTTP POSTメソッドを用いたコンテンツプッシュを行う。

モバイルIP

モバイル端末の移動性の問題は、DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)、動的DNSなどの移動先でモバイル端末にIPアドレスを動的に割り当てる技術を利用すれば、ある程度、解決できる。しかしながら、これらの技術が有効なのは、通信中に移動によりIPアドレスが変更しない場合のみである。特定の無線ネットワーク内に閉じて移動する場合は、GPRS (General Packet Radio Service) などの無線ネットワークのローミング技術を利用することにより、IPアドレスを変更することなくモバイル端末の移動性を実現できる。しかしながら、この手法は異なる無線ネットワーク間の移

動には適用できない。さらに、次世代の移動通信方式として検討が進められているオールIPネットワークでは、基地局 (BS: Base Station) ごとにサブネットワークが異なる可能性があり、この場合、BSハンドオーバー時にIPアドレスが変更される。

IETFで標準化が進められているモバイルIPは、移動時にIPアドレスが変更されることを前提として、IP層でインターネットに接続される端末の移動性管理を実現する技術である。

■ モバイルIPv6 ■

本節では、IPv6上でのモバイルIPであるモバイルIPv6の概要について述べる⁶⁾。モバイルIPv6では、IP層での移動性管理を実現するために、ホームネットワークで固定的に割り当てられるホームアドレスと移動先ネットワークで動的に割り当てられる気付アドレス (Care-of Address) の2種類のIPアドレスを定義している。

モバイルIPv6の動作概要を以下に示す(図-7)。

- (1) モバイル端末は、ステートレス自動設定またはDHCPv6などによるステートフル自動設定により、移動先ネットワークで動的に気付アドレスを取得する。
- (2) モバイル端末は、結合更新 (BU: Binding Update) により、気付アドレスをホームネットワークのホームエージェントに通知する。
- (3) 通信相手ノードは、ホームアドレス宛にパケットを送信する。ホームアドレス宛のパケットを受信したホームエージェントは、そのパケットを気付アドレス宛のパケットにカプセル化して、モバイル端末に送信する。
- (4) 通信相手ノードからのパケットを受信したモバイル端末は、結合更新により、気付アドレスを通信相手ノードに通知する。
- (5) 結合更新を受信した通信相手ノードは、以降、モバ



イル端末宛にパケットを直接送信する。

なお、モバイル端末が通信相手ノードにパケットを送信する場合は、通信相手ノード宛にパケットを直接送信する。

■ マイクロモビリティ ■

モバイルIPについては、パケットがホームエージェントを経由するいわゆる三角経路によるオーバーヘッド、移動時のパケット遅延および紛失、ホームエージェントを経由することによる耐障害性 (Robustness) の低下など、さまざまな課題が指摘されている。無線ネットワークなどの特定ドメイン内での移動をマイクロモビリティと呼ぶ。マイクロモビリティでは、移動が頻繁に発生する可能性があるため、上記の課題が特に大きな問題となる。たとえば、次世代の移動通信方式として検討が進められているオールIPネットワークにモバイルIPを適用した場合、BSハンドオーバー時にIPアドレスの変更が発生することが想定されている。

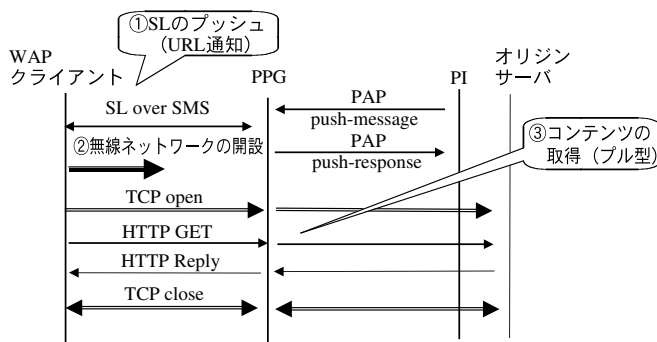
近年、マイクロモビリティの課題を解決するための研究開発が非常に活発に進められており、階層的モバイルIPv6 (Hierarchical Mobile IPv6)⁷⁾、Cellular IP⁸⁾、HAWAII⁹⁾ などさまざまな方式が提案されている。これらの方式の多くは、マイクロモビリティの課題を解決するために、モバイルIPと組み合わせて適用することを狙いとしている。たとえば、階層的モバイルIPv6では、ドメイン内に一種の代理エージェントであるMAP (Mobility Anchor Point) を設置することにより、ドメイン内の移動をホームエージェント、通信相手ノードなどに隠蔽することを提案している。

マイクロモビリティについてはまだ研究段階にある。また、これらの方式はモバイルIPの課題を本質的に解決するものではない。モバイル端末の移動性管理は未解決の課題であり、モバイルIPの評価も含め、今後の研究および標準化の進展に期待したい。

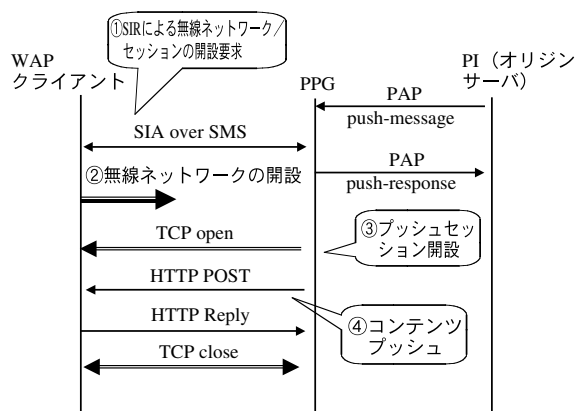
参考文献

- 1) WAP Forum Web Page: <http://www.wapforum.org/>
- 2) Ishikawa, N. et al.: Consideration on the Mobile Internet Architecture for High-Speed Wireless Networks, INET 2001 (June 2001).
- 3) WAP Forum: WAP Architecture Specification WAP-210-WAP Arch (July 2001), Available From <http://www.wapforum.org/>
- 4) 石川太郎, 稲村 浩, 高橋 修: W-CDMA向けTCPプロファイル, 情報処理学会第15回MBL/第3回ITS合同研究会報告 (Nov. 2000).
- 5) WAP Forum: Push Architecture Overview WAP-250-PushArchOverview (July 2001), Available From <http://www.wapforum.org/>
- 6) Johnson, D. and Perkins, C.: Mobility Support in IPv6, Internet Draft (July 2001).
- 7) Soliman, H. et al.: Hierarchical MIPv6 Mobility Management (HMIPv6), Internet Draft (July 2001).
- 8) Valko, A.: Cellular IP - A New Approach to Internet Host Mobility, ACM Computer Communication Review (Jan. 1999).
- 9) Ramjee, R. et al.: HAWAII: A Domain-based Approach for Supporting Mobility in Wide-area Wireless Networks, 7th International Conference on Network Protocols (Nov. 1999).

(平成13年9月28日受付)



(a) SLを用いたスマートプルの実現例



(b) HTTPを用いたコンテンツプッシュの実現例

図-6 WAPプッシュの実現例

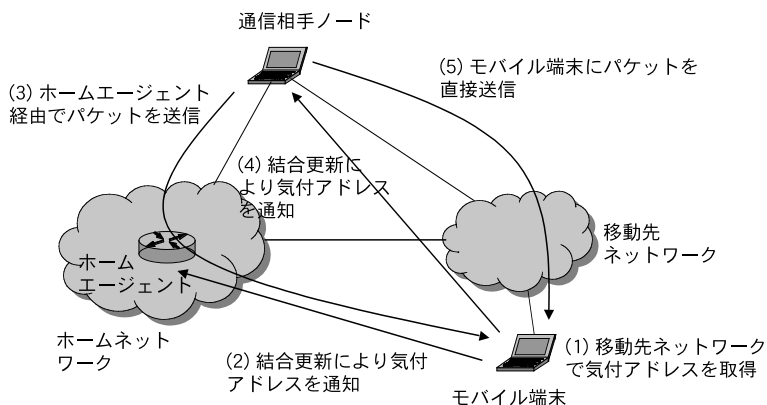


図-7 モバイルIPv6の動作概要

