無線アクセスポイントリンクWAPLの方式とインターネット接続

加藤 佳之　大石 泰大　小島 崇広　伊藤 将司　渡邊 晃

名城大学　理工学研究科

Internet connection of "WAPL" Wireless Access Point Link

Yoshiyuki Kato Yasuhiro Oishi Takahiro Kojima Masashi Ito Akira Watanabe

Meijo University

1　はじめに

インターネットは企業や家庭において急速に導入され，今日の電子化社会の実現に欠かせないものとなっている．加えて通信端末の小型化や性能向上も進んでいることから，時間や場所にとらわれずにインターネット接続を行いたいという需要が高まってきている．

上記のようなインターネットインフラの整備にはアクセスポイント (AP) の整備が不可欠である．現在 AP 間は有線で結合される事が一般的であり，AP の設置に多大な工事費や時間を伴うのが現状である．そこで AP 間を無線で結合できれば，無線エリアの拡大が容易となる．

無線 LAN ベースで通信エリアを簡易に拡大する方式としてネットワーク内の全端末がアドホックモードで参加し，アドホックルーチングにより互いに通信を行うものが考えられる．しかし，この方法では参加する端末数が増加すると，各端末間の制御パケットのトラヒックが増大するうえ，中継を担う端末は常時電源を投入しておく必要があり，消費電力が増大する．また，全端末が統一したアドホックルーチングプロトコルを用いる必要があり，導入面や運用面で課題がある．

上記の問題を解決し，容易に通信エリアを拡大する方法としてメッシュネットワークがある．メッシュネットワークは無線 LAN の AP 間をアドホックネットワークで結合するもので，一般端末が容易にネットワークに参加することが可能である．メッシュネットワークは IEEE802.11 Task Group S(IEEE802.11s) において標準化が進められており，さまざまなアーキテクチャが提案されている．しかし，具体的な仕様，および標準化される時期に関しては現時点では未定である．

我々は，メッシュネットワークの実現手段の一つとして Wireless Access Point Link(WAPL: ワップル)[1] の提案を行っている．端末間のパケット転送は最寄の AP によるカプセル化/デカプセル化により実現する．適切なカプセル化を実現するために特有のリンクテーブル (LT) を保持する．これは AP とその配下の端末の対応関係を記録したものである．LT は必要に応じてオンデマンドで生成し，余分なトラヒックを発生させないようにしている．また，AP 間のアドホックルーチングプロトコルとは独立しており，ルーチングプロトコルを用途に応じて変更する事が可能であるという特長がある．

WAPL には以下のような様々な応用が考えられる．例えば，災害発生時のような通信設備が破壊された状況で即座に通信環境を回復させることが考えられる [2]．また車車間通信に応用することにより利用者は一般の携帯端末を車内に持ち込むだけで，他の携帯端末との通信が実現できる [3]．WAPL はシステムを独自に開発しているため，用途に応じて機能を自由に追加できるという利点がある．例えば，災害通信であればトラヒックの輻輳を避けるためにプロトコルを限定するなどが容易に実現できる．

いずれの用途においても，インターネットとの接続は必須である．WAPL は Ethernet をエミュレートしているため，LAN で実現可能な機能はそのまま WAPL においても実現可能である．本稿では災害通信のような適用例を想定し，単一のデフォルトゲートウェイを通したインターネット接続の詳細について検討した．また，VRRP の適用によるデフォルトゲートウェイの二重化について検討した．

本稿は 2 章で既存の関連技術について，3 章で WAPL について紹介し，4 章で WAPL のインターネット接続について述べ，5 章でまとめる．

2　関連技術

メッシュネットワークは，利用できる周波数帯が日本に比べて多い事や，ラストワンマイル問題が深刻である事を背景に，北米の企業が積極的に検討を進めている．Tropos Networks 社 [4] の Cellular Wi-Fi は，ホットスポットサービスのエリア拡大や警察の連絡用無線システムとして利用されている．PWRP と呼ぶ独自のルーチングプロトコルを採用し，レイヤ 1 の電波強度監視機能と連携して，AP 間の最適リンクパスを算出し，オーバーヘッドの少ない通信を実現している．

MeshNetworks 社 [5] ではフルモバイルアドホックというコンセプトを軸にメッシュネットワーク製品の展開を行っている．これは AP だけでなく，さまざまな通信機器のメッシュネットワーク化を実現するものである．

このようにいくつかのベンダが製品化を行っているが，それぞれ独自の方式でメッシュ化の機能を実現しているため，現状では他ベンダとの相互接続性は実現されていない．そのため，IEEE ではメッシュネットワークの標準規格として IEEE802.11s を策定中である．本規格は MAC 層の拡張によるマルチホップ

環境での性能劣化の抑制，通信強度の変化によるチャネルの調整，MANET のルーチングプロトコルの適用可能性等を視野に入れて検討が進められている．しかし上記の製品/規格は現時点で仕様が公開されていない．

現状で仕様が公開されているメッシュネットワーク技術に M-WLAN(Multi-hop Wireless LAN)[6] がある．M-WLAN は複数のアーキテクチャが提案されているが，WAPL とコンセプトが似ている LAN エミュレーション方式について詳細に記述する．M-WLAN のシステム構成を図 1 に示す．AP は 2 つの無線インターフェースを持ち，それぞれ端末間接続と AP 間接続に使用される．端末側インターフェースは AP モードに設定して，インフラストラクチャモードの端末と接続を行う．AP 間接続インターフェースはアドホックモードに設定し MANET のルーチングプロトコルにより経路制御を行う．AP は配下端末から受け取った Ethernet フレームをそのままアドホック側で UDP パケットにカプセル化し，目的の AP へと転送する．AP は目的の端末が接続している AP へ適切にフレームをルーチングするために，エンド端末の MAC アドレスとそれを配下に持つ AP の MANET 側の IP アドレスの関係を把握しておく必要がある．そこで，全 AP がネットワーク内のすべての端末と AP との対応関係を記録した共通の物理/IP アドレステーブルを持つ．このテーブルを生成するために AP は自分が所属している端末の MAC アドレスを定期的にフラッディングする．これは MANET(Mobile Ad-hoc Network) の OLSR[7] を改造することにより実現している．M-WLAN はすべての AP が物理/IP アドレステーブルを一定間隔でフラッディングするため，ネットワーク全体のトラヒックへの影響が懸念される．また，端末の移動などに伴うテーブル変更が即座に反映できないという課題がある．さらに,OLSR を改造しているために，他のルーチングプロトコルに変更することができない．

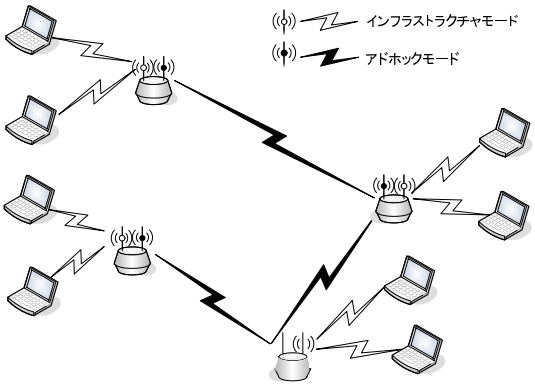


図 1: M-WLAN のシステム構成

3 WAPL

3.1 概要

WAPL のシステム構成は，M-WLAN のシステム構成と同様である．WAPL における AP を WAP と呼ぶ．WAPL では，カプセル化されたパケットを適切な WAP に転送するために LT(リンクテーブル) を用いる．LT は端末の MAC アドレスとその端末の所属する WAP のアドホック側の IP アドレスの対応関係を記述したテーブルである．LT は端末の立ち上げ時に実行される DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)[8] シーケンス，または通信開始時に実行される ARP(Address Resolution Protocol)[9] により生成される．LT はオンデマンドで生成し，定期的なテーブルの交換は行わない．WAP の構成を図 2 に示す．図 2 のように，APF(Access Point Function) と CAPF(Capsulation Function) という 2 つの機能の集合体として構成される．APF は通常の AP と同様に無線 MAC ヘッダと Ethernet ヘッダの変換処理を行う機能を担う．CAPF は APF から受け取ったデータを IP でカプセル化して WAP 側へ転送する．カプセル化したパケットを受け取った CAPF はデカプセル化を行い，APF へ渡す．このような WAP の動作により WAPL は Ethernet をエミュレートする事が可能となる．

実際の実装では，APF に市販の AP を用い，CAPF を PC 上で実装する．CAPF には様々な機能を実装することが可能であり，災害通信や車車間通信に適したシステムを構築することが容易に実現できる．

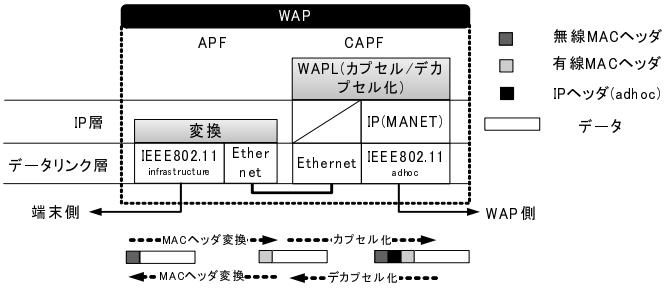


図 2: WAP の構成

3.2 リンクテーブルの生成

DHCP による LT 生成シーケンスを図 3 に示す．DHCP シーケンスは DISCOVER， OFEER，REQUEST，ACK の 4 つのパケットから構成される．DISCOVER パケットを最寄りの WAP1 が受け取ると，WAP1 はこれをカプセル化し，WAP 側へフラッディングする．WAP2 が上記フラッディングパケットを受け取るとデカプセル化し，配下端末へとブロードキャストすると同時に送信元端末の MAC アドレス T1 と送信元 WAP の IP アドレス W1 の対応関係を示す情報を書き込む．DHCP サーバは OFFER パケットをユニキャストで返信すると WAP2 はカプセル化を行い，先ほど生成した LT を参照して送信元 WAP へと上記パケットを送信する．WAP1 はこの OFFER パケットから DHCP サーバの MAC アドレス D1 と接続している WAP2 の IP アドレス W2 の関係を示す情報を LT に書き込む．その後，REQUEST，ACK シーケンスにより端末に IP アドレスが設定される．上記のシーケンスを各端末が立ち上がる度に行う．以上に示す LT 生成を実現するために，WAPL では DHCP サーバはシステム立ち上げの段階での設置を必要とする．また DHCP サーバは固定の IP アドレスを割り当てる．

3.3 移動に伴うリンクテーブルの更新

端末移動に伴う LT 更新シーケンスを図 4 に示す．WAP2 の配下端末 T1 は移動すると ARP キャッシュがクリアされる．

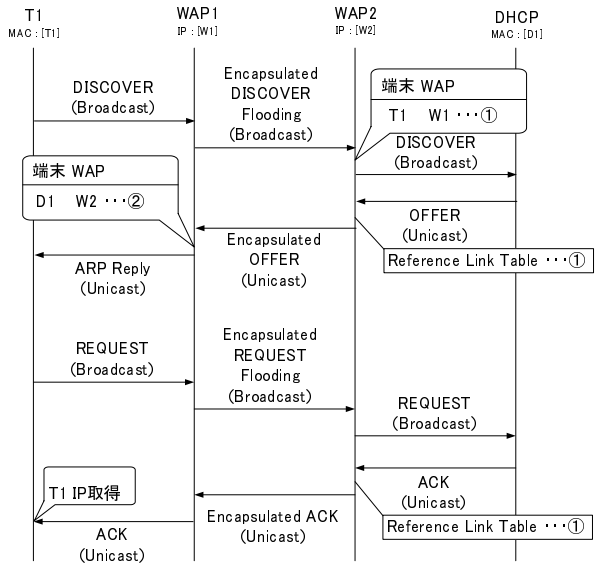


図 3: リンクテーブル生成シーケンス

Windows では，このときデフォルトゲートウェイのアドレス解決のための ARP Request パケットが実行される．すなわち，デフォルトゲートウェイ宛の ARP Request を WAP がいきなり受信した場合には端末の移動が発生したものと判断できる．WAP1 は上記 ARP Request パケットを検知すると LT 中の古い T1 に関する情報を削除すると同時に，カプセル化とフラッディングを行う．これを受け取った各 WAP は T1 に関する情報の重複を検出し，古い方の LT 情報を新しい LT 情報に上書きする．このため各 WAP はデフォルトゲートウェイの IP アドレスをあらかじめ登録しておく必要がある．

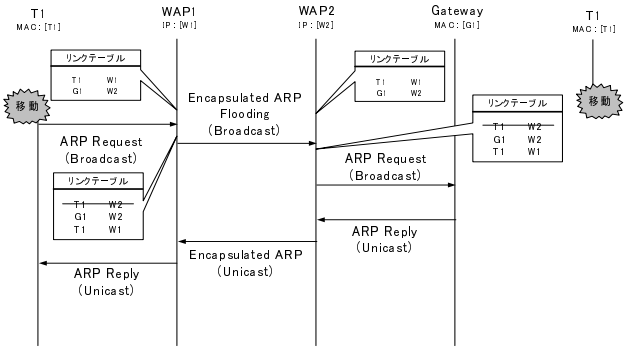


図 4: 端末移動時のリンクテーブル更新シーケンス

3.4 リンクテーブルの修正

LT は DHCP シーケンス，および ARP メッセージにより生成されるため，これらのパケットが何らかの理由で WAP へ届かないと，WAP の LT と実際の構成との間に不一致が生じる．LT の不一致はパケットの誤転送を生じ，WAPL の正しい動作を保証できない．この問題に対処するために，WAP は L2 のアソシエーション情報を定期的に監視し，配下端末の存在を確認している．このアソシエーション監視には AP の MIB(Managed Information Base) から情報を得る．MIB は SNMP(Simple Network Management Protocol)[10] メッセージにより取得できる状態データベースである．アソシエーション情報と LT に矛盾が生じた場合には Gratuitous ARP を発行して LT の修正を行う．また，WAP が配下端末からの通信パケットを受信時に LT に情報がなければ，Gratuitous ARP を発行して，新たに LT 生成を行う．以上の動作により，リンクテーブルの不一致を検出/修正する．

3.5 無駄なフラッディングの除去

WAP 間通信における無駄なフラッディングを防止することはネットワーク全体のトラヒックを低減する上で重要である．このため端末から ARP Request を受け取った場合，WAP は LT を参照し，アドレス解決対象の端末の情報が LT に存在する場合には WAP が代理で ARP Reply を返送する．また APF を担う市販の AP は移動処理のために種々のメーカ固有のマルチキャストパケットを送出する [11]．これらのパケットは無駄なフラッディングを生み出すため破棄する．

4 WAPL のインターネット接続

4.1 接続方式

WAPL は Ethernet をエミュレートしており，WAPL をインターネット接続するにはこの特性を生かす．ルータの配置の仕方により，WAPL のインターネット接続には 2 つの考え方がある．ひとつはインターネットに接続できる特殊な WAP を準備し，WAPL 内部の全端末がそこを経由してインターネットに接続する考え方である．これは WAPL を通信インフラとして用いる場合に有効である．この場合には WAP は基本的に移動を行わないため，リンク状態は安定しており WAPL 内の端末のインターネット接続を一元的に管理できる．

もうひとつはすべての WAP をインターネット接続のゲートウェイとする考え方である．これは WAP を車車間通信に利用する用途において有効である．車車間通信では移動体のリンク状態が不安定であり，端末同士は直接通信ができなくてもインターネットに接続したい要求などがあると考えられる．本章では前者に焦点をあててインターネット接続の解説を行う．

4.2 GWAP によるインターネット接続

単一の WAP によりインターネット接続機能を提供するために，WAP 内の Ethernet インターフェースにルータ機能を接続する．これを GWAP と呼称する．GWAP の構成を図 5 に示す．GWAP は通常の WAP と同様に CAPF を持ち，パケットのカプセル化/デカプセル化を行う．GWAP においては Ethernet インターフェースに向けたパケットは外部向けインターフェースでルーチングされてインターネットへ転送される．トラヒックが集中する部分であるため，GWAP は配下に端末を収容しない．GWAP のルーチング機能は GWF と呼ぶ．ネットワーク内の端末に配布するデフォルトゲートウェイの IP アドレスは GWF の内部 IP アドレスである．これは DHCP シーケンスによって全端末に通知される．

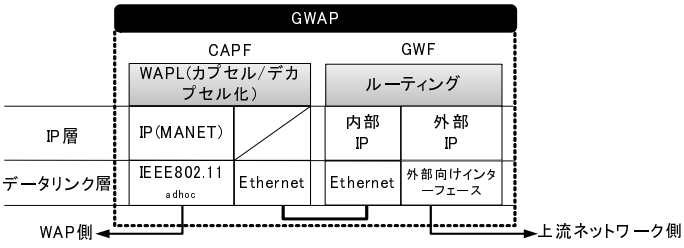


図 5: GWAP の構成

4.3 GWAP の冗長化

WAP を通信インフラとして用いるためにはデフォルトゲートウェイを二重化し，信頼性を確保する必要がある．LAN では同一ネットワーク内で指定できるデフォルトゲートウェイは一般的に 1 つである．そのため単に GWAP を二重化してもデフォルトゲートウェイと指定した GWAP が障害を起こすと WAPL 内の端末はすべてインターネットへ接続できなくなる．これに対処するために GWAP に VRRP[12] を適用することを検討した．VRRP はデフォルトゲートウェイ冗長化のために利用できる技術である．VRRP は初期状態でデフォルトゲートウェイとなるルータをマスタールータ (以下 MR) と呼称し，それ以外のルータをバックアップルータ (以下 BR) と呼称する．MR の IP アドレスを端末に割り当てるデフォルトゲートウェイの IP アドレスとする．BR は MR が定期的に送信する VRRP メッセージから MR の存在を常時確認している．MR に障害が発生すると BR が新たな MR(NMR) となる．このとき BR は MR の IP アドレスと自身の IP アドレスを同時に持ち，MR の機能を代行する．

WAPL に VRRP を適用した GWAP を検討した．図 6 に VRRP を適用した WAPL の通信シーケンスを示す．GWAP には MR に相当するマスター GWAP(M-GWAP) と BR に相当するバックアップ GWAP(B-GWAP) がある．M-GWAP は一定間隔で VRRP メッセージをマルチキャストする．M-GWAP が障害を起こすと，B-GWAP は VRRP メッセージの停止を確認し新たにマスター GWAP(NM-GWAP) となる．このとき Ethernet ベースのネットワークとの違いが 2 点ある．

1 点目は WAP のリンクテーブルに変化がないため WAP は GWAP が切り替わったことを感知できない事である．この状態で端末がインターネット向けのパケットを送信すると，WAP は M-GWAP に転送してしまう．これを回避するために B-GWAP が NM-GWAP になったことをトリガにして Gratuitous ARP(NW-GWAP 自身の IP アドレスを宛先アドレスとした ARP) パケットを送信する機能を新たに実装する．これにより各 WAP の NM-GWAP に関するリンクテーブルが書き換えられて，パケットの転送が可能となる．2 点目は B-GWAP は実際に他の端末と通信を行っていないためにリンクテーブルが生成されないという点である．このため B-GWAP を経由してインターネット側からのパケットを WAP に送信する事ができない．この問題の解決のために M-GWAP は自身のリンクテーブルを定期的に B-GWAP へ送付する．

5 まとめ

AP 間の接続の無線化を行うメッシュ技術の関連研究と本研究で検討している WAPL の解説を行った．それをふまえて WAPL をインターネット接続するための方法を検討し，ルータ機能を付加した GWAP をネットワーク中に配置する方法を提案した．またインフラとしての信頼性を確保するために VRRP の適用による GWAP の二重化を行った．今後は WAP 単位のインターネット接続機能の提供についての検討を進めていく．

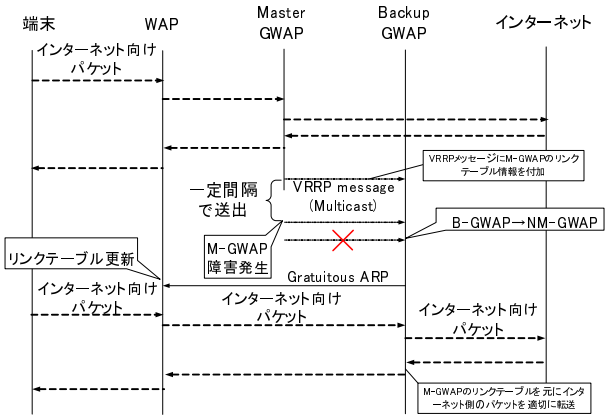


図 6: VRRP を適用した通信シーケンス

【参考文献】

[1] ”アクセスポイントの無線化を実現する WAPL の方式”
市川祥平，渡邊晃 DICOMO2005，Vol.2005，No.6，pp.225-228，Jul.2005.

[2] ”災害時における電子メールを利用した安否通信方法の検討”
竹山裕晃，渡邊晃 DICOMO2005，Vol.2005，No.6，pp.657-659，Jul.2005.

[3] ”WAPL を適用した車車間通信の実現”
大石泰大，増田真也，渡邊晃 DICOMO2005，Vol.2005，No.6，pp.153-156，Jul.2005.

[4] http://www.troposnetworks.com/

[5] http://www.motorola.com/

[6] ”無線マルチホップ LAN のアーキテクチャにおける検討”
大和田泰伯， 照井宏康， 間瀬憲一 電子情報通信学会 信学技報 2004-11 pp.25-30

[7] T.Clausen P.jacquet, “ Optimized Link State Routing Protocol ” (OLSR) RFC3626 Oct.2003

[8] R.Droms ,“ Dynamic Host Congiguration Protocol ”, RFC2131（1997）

[9] David C. Plummer. ”Ethernet Address Resolution Protocol: Or converting network protocol addresses to 48.bit Ethernet address for transmission on Ethernet hardware ” RFC 826 November 1982

[10] J. Case，M. Fedor，M. Schoffstall，M. Schoffstall. ”A Simple Network Management Protocol ”(SNMP) RFC 1157 May 1990

[11] ”WAPL のアーキテクチャとハンドオーバーの実現方式 ”
山崎浩司，小島崇広，市川祥平，竹尾大輔，渡邊晃 情報処理学会 第 68 回全国大会

[12] R. Hinden, Ed.“ Virtual Router Redundancy Protocol “ (VRRP) RFC3768 April 2004

無線アクセスポイントリンクWAPL*の方式とインターネット接続

名城大学 理工学研究科

加藤 佳之　伊藤 将志　渡邊 晃

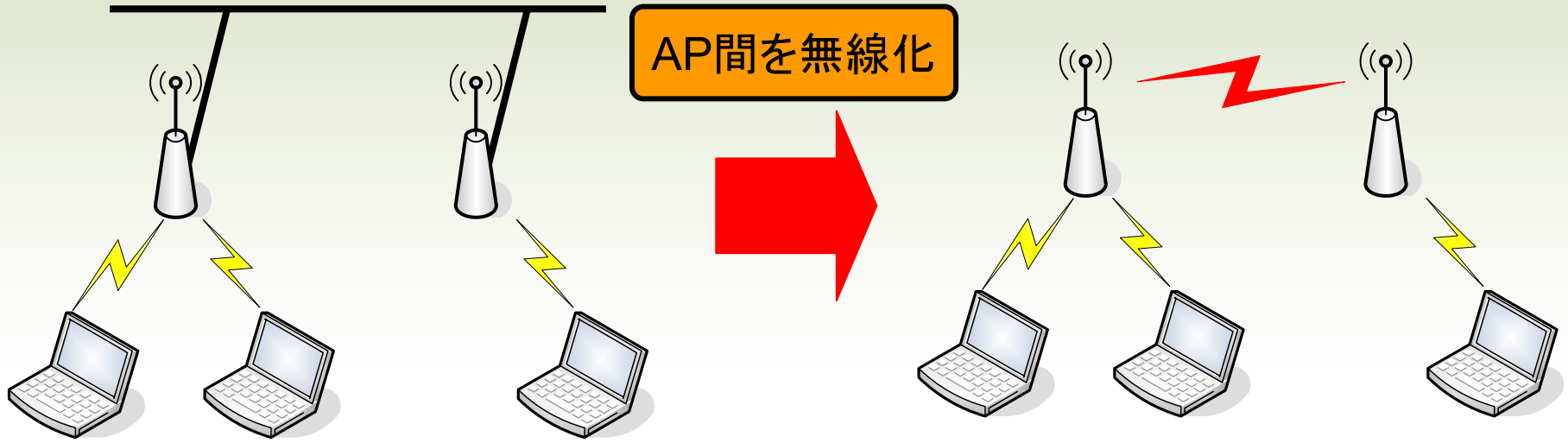
＊:Wireless Access Point Link ; ワップル

はじめに

研究背景

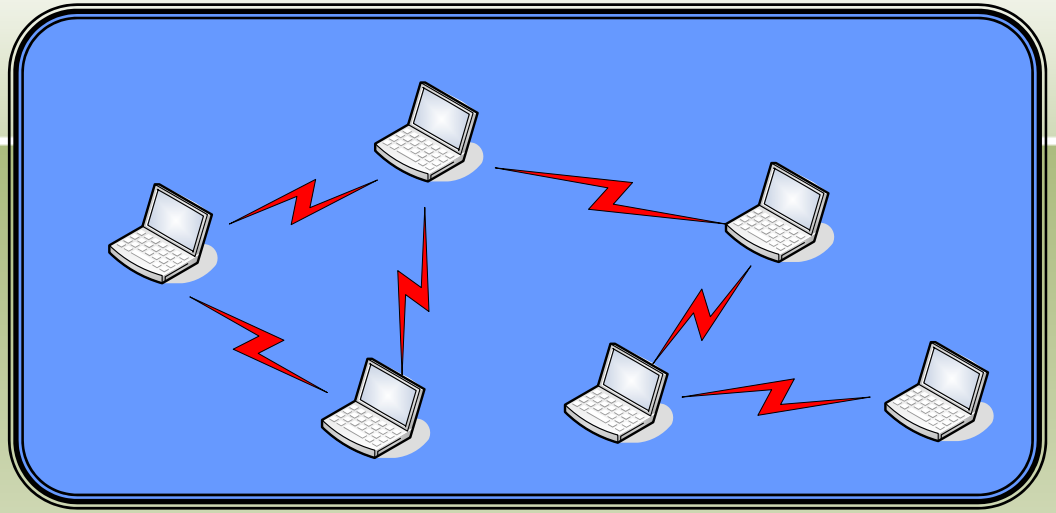
- メッシュネットワーク
  - 既存端末をアドホックネットワークに参加
  - ユビキタスネットワークへの応用に期待

・設置の自由度が高い・メンテナンスが容易



はじめに

➢全端末アドホック



- 全端末をアドホックモードに設定し，同一のルーチングプロトコルを適用しなければならない

  →端末はインフラストラクチャモードで参加可能
- 安定したネットワークの維持には端末の電源供給が必要⇒消費電力の増大

  →APの電源供給が可能なため，端末は任意に電源断が可能
- 端末台数の増加とともに制御パケットのトラヒックが増大する

  →AP間のみで制御パケットが流れる

➡ メッシュネットワークでは全端末アドホックの問題を解決

関連技術

～既存のメッシュネットワーク技術～

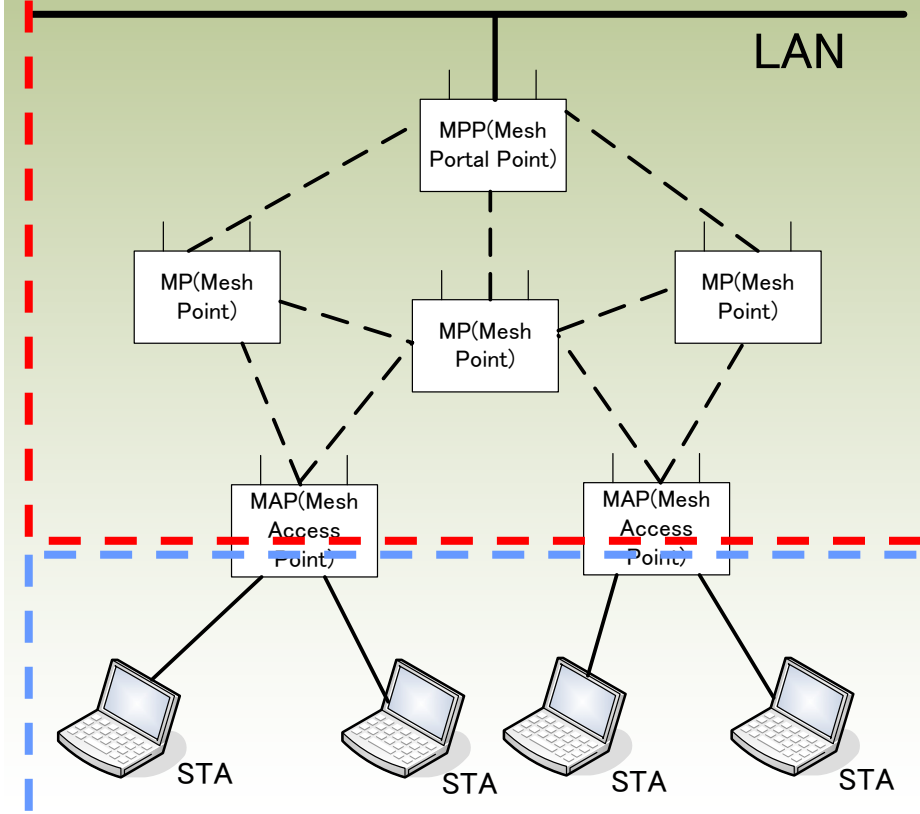
IEEE802.11s

AP間の通信に関する技術

端末収容に関する技術

- IEEE802.11 タスクグループS(TGs)で検討

IEEE802.11sにおける中心的議論



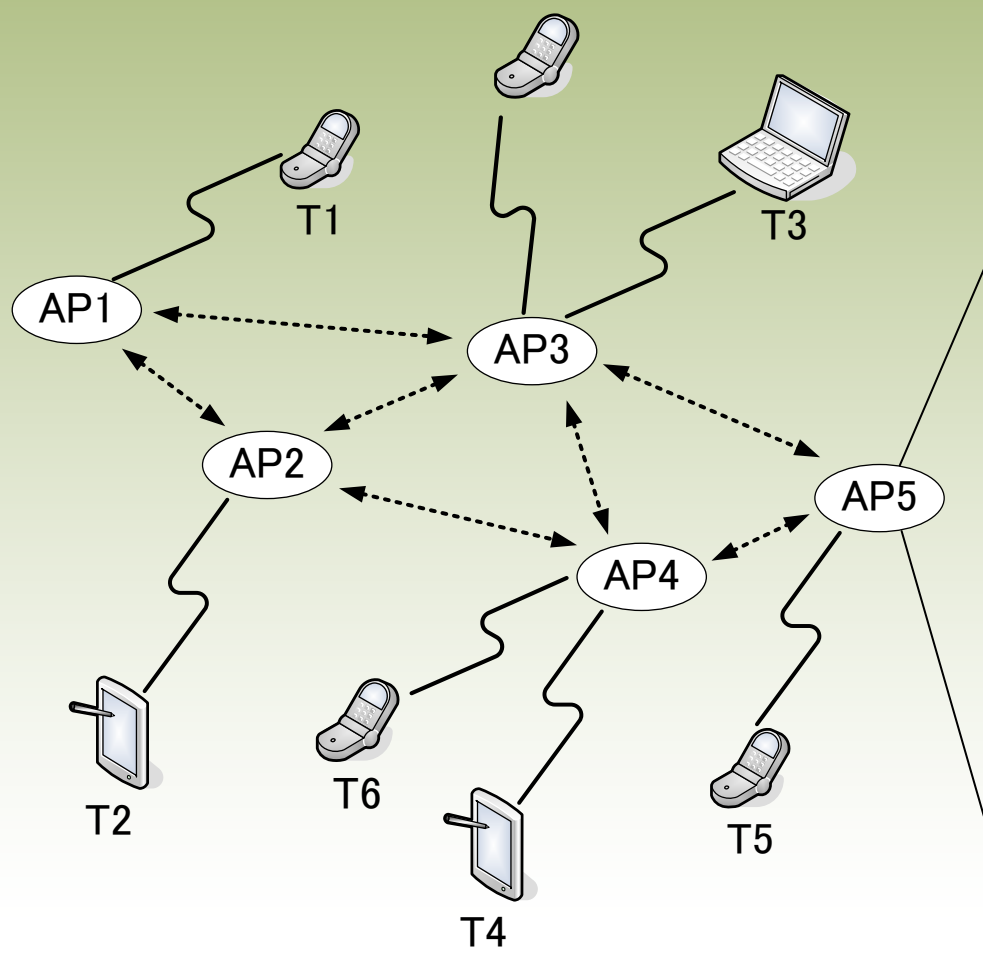
- メッシュに適したアドホックルーチングプロトコルの検討
  - リアクティブ(RM-AODV)
  - プロアクティブ(HWMP)
- 電源管理
- チャネル制御
- アソシエーション情報管理
  - 拡張WDS (Wireless Distribution System) フレームの交換により実現

→一定の検討が行われている

→M-WLAN, iMesh, WAPLでは詳細に検討

本方式で検討している範囲

アソシエーション情報管理

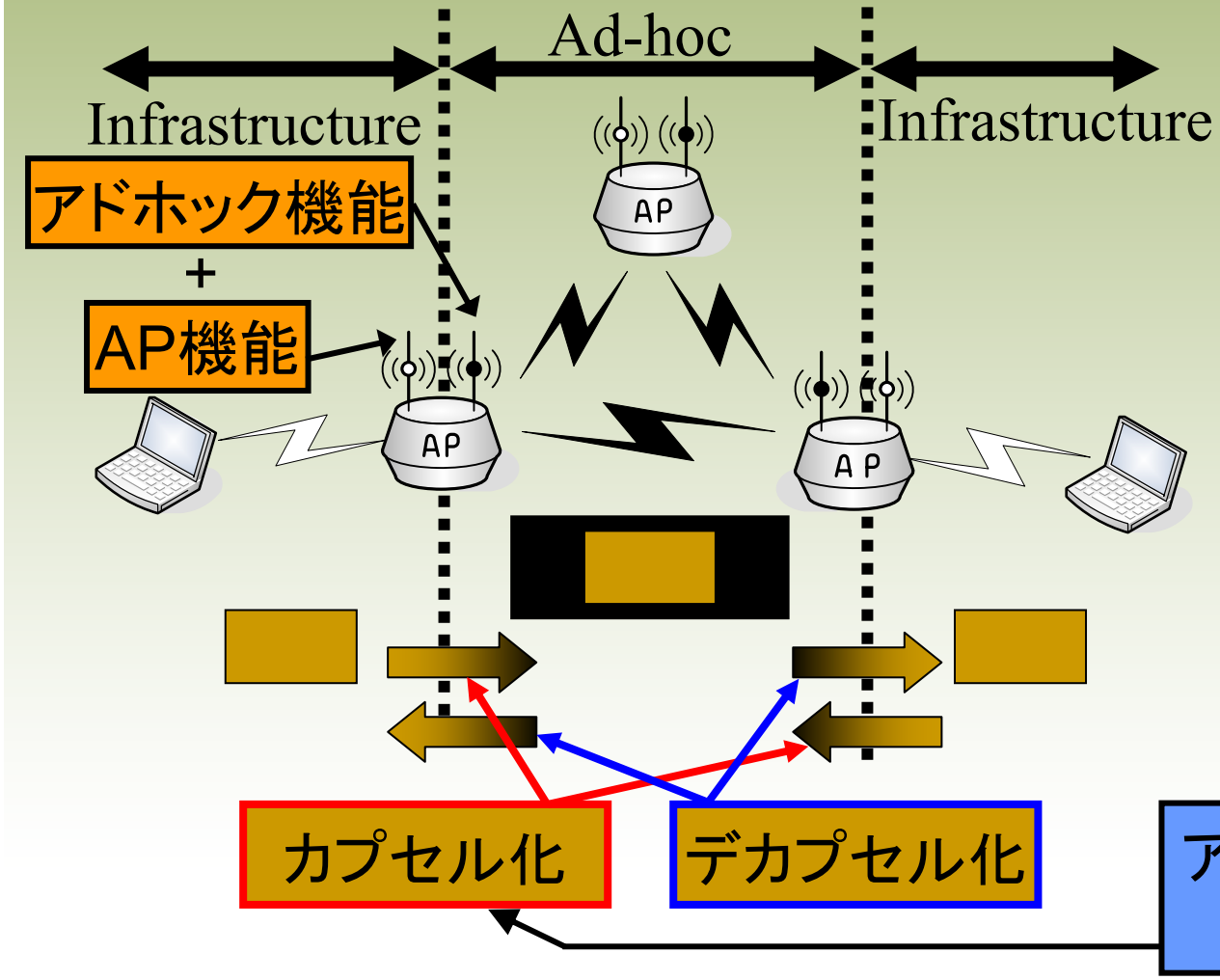


端末	AP
T1	AP1
T2	AP2
T3	AP3
T4	AP4
T5	AP5
T6	AP3

- 通信相手の端末とアクセスポイントの関係を記録した情報
- メッシュネットワークに不可欠な情報
- いくつかの管理方式が提案されている

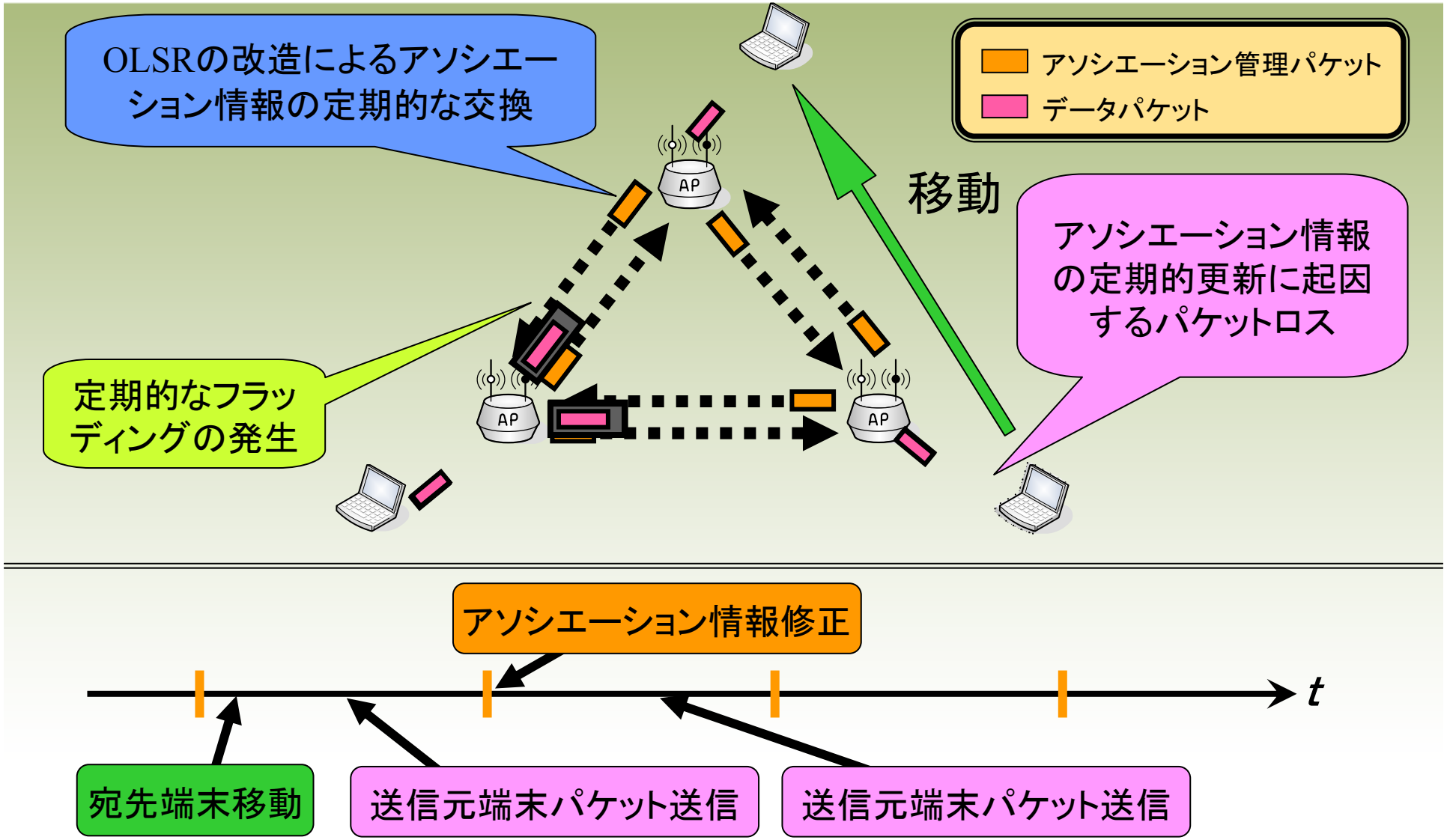
M-WLAN

- 詳細な実装が公開されているメッシュネットワーク（新潟大）



- アドホック + AP機能を持った専用APを用いる
- カプセル化・デカプセル化によるL2トンネリング

M-WLANのアソシエーション交換



M-WLANの課題

- 定期的なアソシエーション情報の交換
  - 無駄なトラヒックの発生が起こる
- 通信中の端末移動時の問題
  - パケットロスが発生
  - アソシエーション情報修正にフラッディングが必要
- ルーチングプロトコルの依存性
  - OLSRに改造を加えておりプロトコルの変更が難しい

WAPL

WAPL ～特徴～

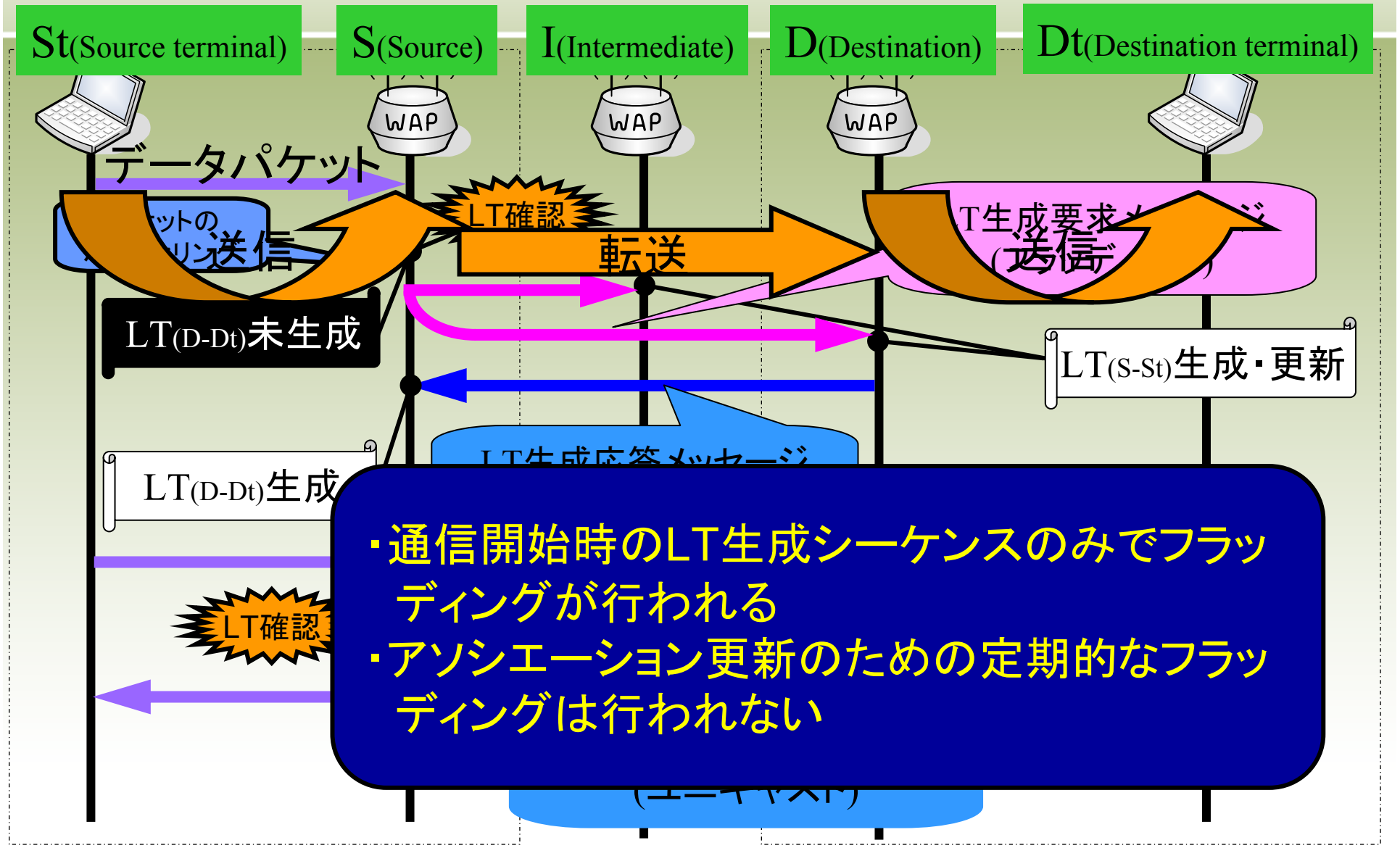
- アソシエーション情報のオンデマンドな更新
  - 定期的なアソシエーション交換を行わない
  - フラッディングを最小限に抑えることができる
- 通信中の端末移動時の対処
  - フラッディングを行わずにLTの修正が可能
- アドホックルーチングプロトコルに依存しない
  - ルーチングプロトコルの変更が可能

WAPL ～概要～

- M-WLANと同様にアドホック+APの構成
  - WAPLのメッシュAPをWAP (Wireless Access Point) と呼称
- WAP間はカプセル化によるトンネリング
- WAPが持つアソシエーション情報のテーブルをリンクテーブル (以下LT)と呼称
- LTの生成・更新
  - 制御メッセージのフラッディングを必要最小限に抑える
- アドホックルーチングプロトコルにAODVの採用(*1)を検討

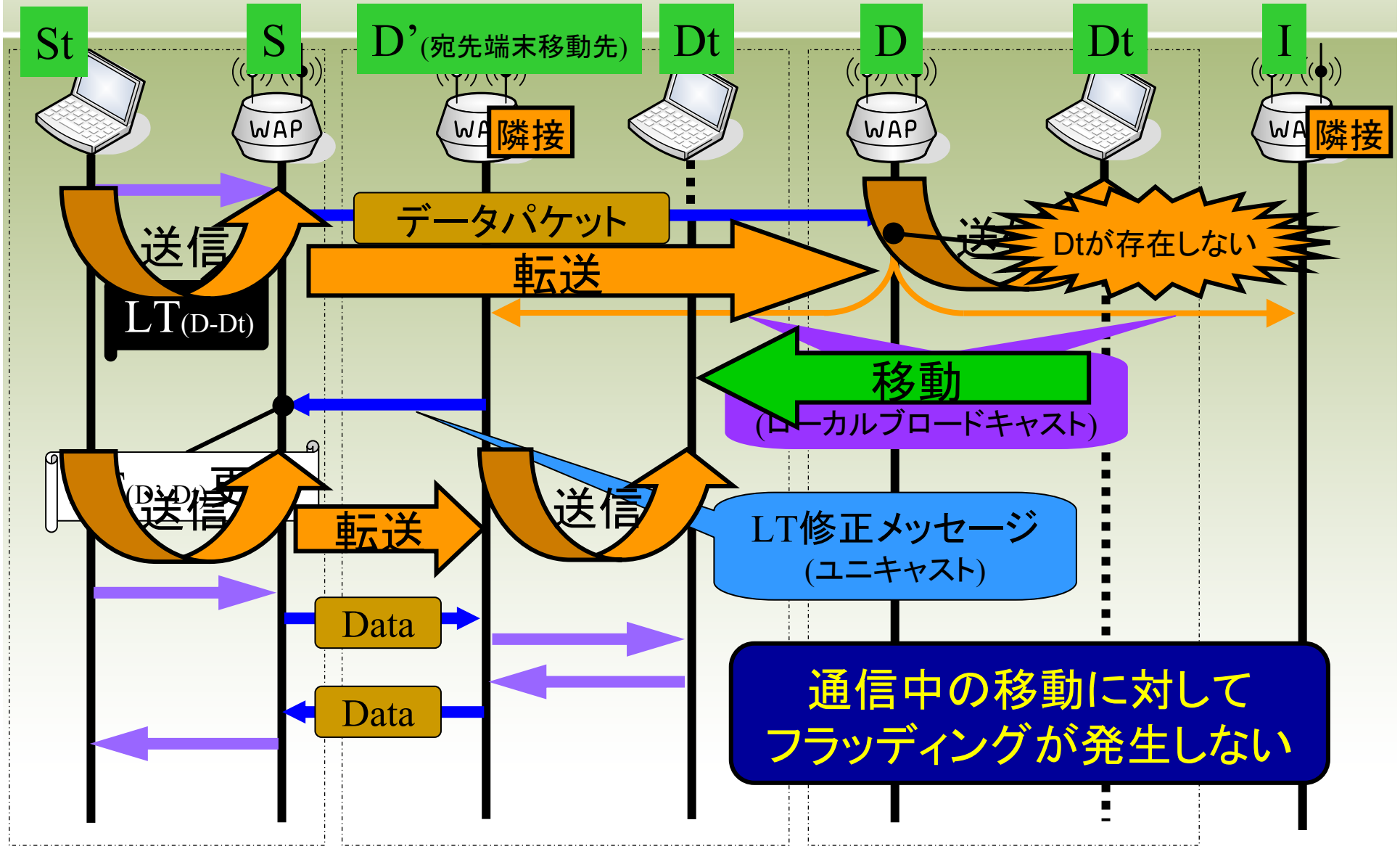
*1 : 3A2 メッシュネットワークに利用するアドホックルーティングプロトコルのシミュレーション評価
伊藤 将志（名城大）, 鹿間 敏弘（三菱電機）, 渡邊 晃（名城大）

WAPLの通信(LTの生成)



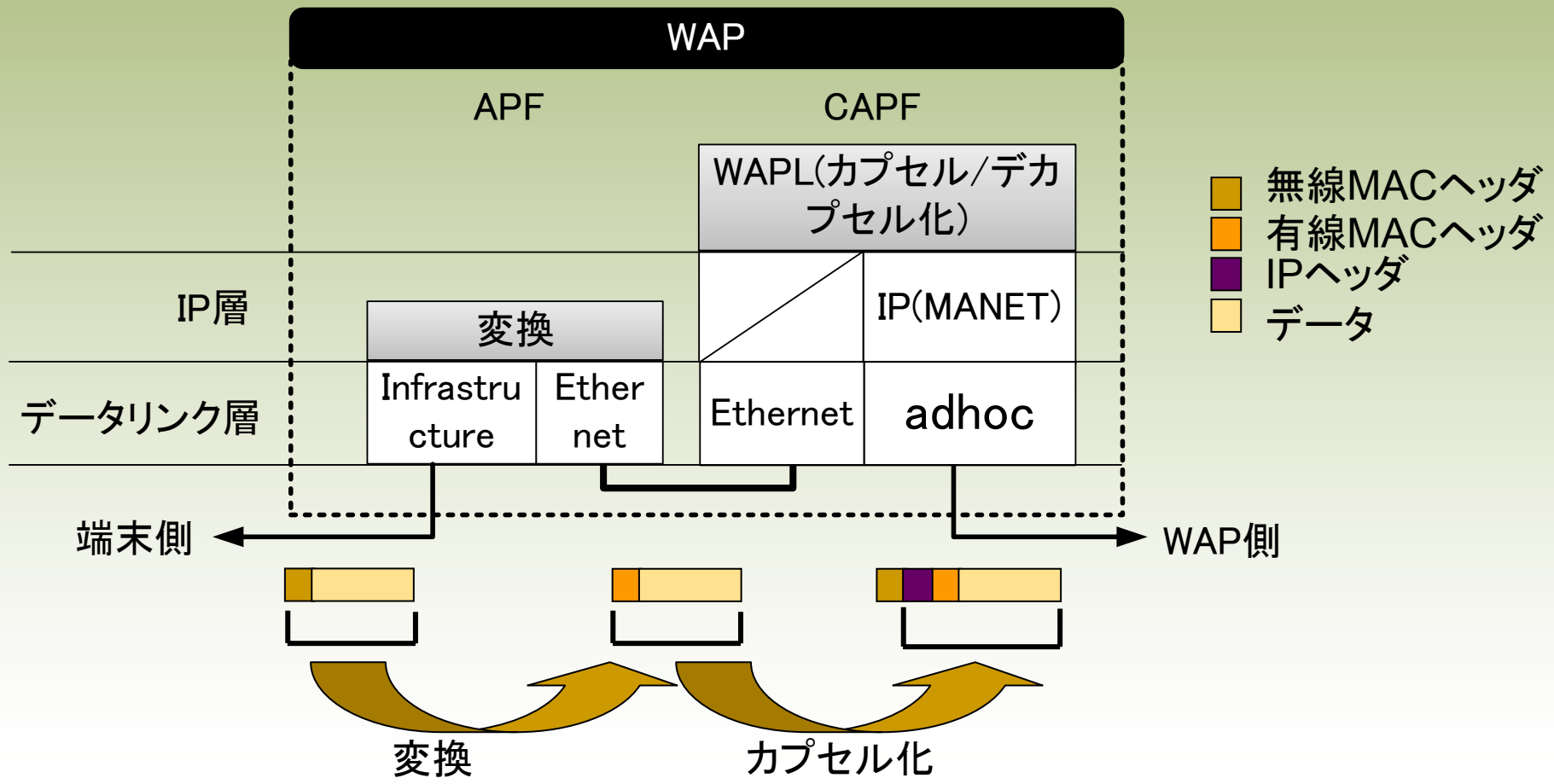
・通信開始時のLT生成シーケンスのみでフラッディングが行われる
・アソシエーション更新のための定期的なフラッディングは行われない

WAPLの通信(通信中端末移動)



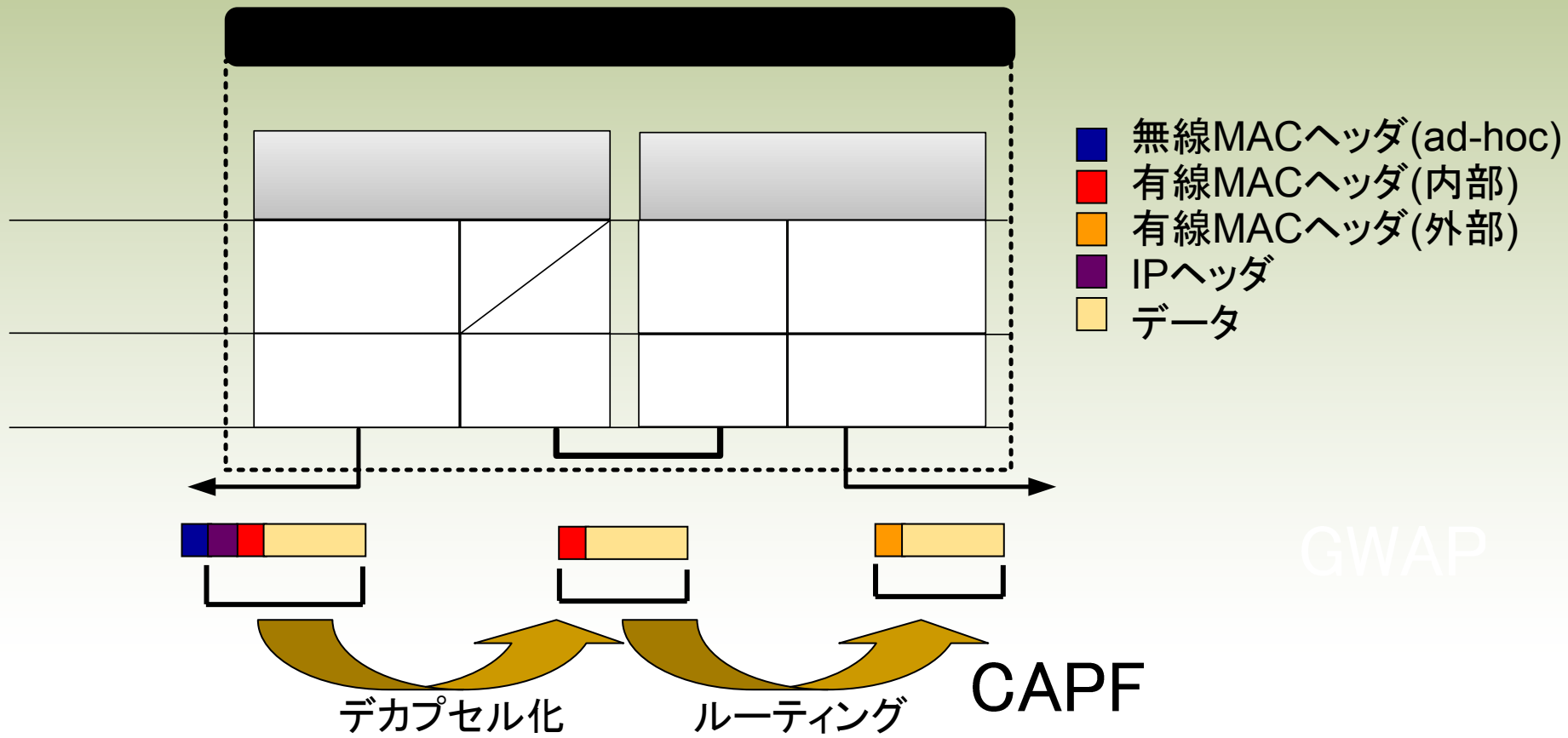
WAPのアーキテクチャと実装

➢ IP層への実装



インターネット接続

- IP層に影響がない
  - 既存技術をそのまま適用可能
  - インターネット接続のためにルータを導入



GWAP

CAPF

WAPL(カプセル/デカプセル化)

G

ルーテ

評価

	全アドホック（OLSR）	M-WLAN	WAPL
ネットワーク負荷	×	×	○
端末の消費電力	×	○	○
通信開始時の遅延	○	○	△
ルーチングプロトコルの依存性	×	×	○

むすび

◇まとめ

- WAPL
  - オンデマンドなアソシエーション情報の交換を目的としたメッシュネットワークシステム
  - アドホックルーチングプロトコルに依存しない
  - 既存技術との親和性が高い
- WAPLのインターネット接続
  - ルータ導入によるインターネット接続

◇今後の展開

- オンデマンドなアソシエーション交換によるトラヒック量の評価
  - シミュレーションによる定量的な評価
- 実装と評価