

障害に強い公衆無線 LAN の検討

永井 順也 伊藤 将志 渡邊 晃

名城大学理工学研究科情報工学専攻

地震等の災害時には、被災情報の配信や安否確認などの情報通信の必要性が高まる。混乱している被災者に確実な情報を与え、正しい行動をうながすことは二次災害の防止に役立つ。そのため、破壊されたネットワークの復旧や、新たなネットワークの構築など通信網の早急な整備が必要となる。特に断線による障害はネットワークが有線接続しているために発生する。そこで、被災地に無線メッシュネットワークを構築して、障害に強いインフラ網として利用する方法が研究されている。本研究では公衆無線 LAN の AP 自体に無線メッシュネットワーク機能を追加し、通常時は一般の AP として、高速で安定した有線経路を使い、被災時に有線や AP に障害が起こると AP が必要に応じて無線メッシュネットワークに移行し、即座にネットワークを復旧させる方法を提案する。

Proposal of public wireless LAN robust in a disaster

Junya Nagai Masashi Ito Akira Watanabe

Graduate School of Science and Technology

Meijo University

At the time of disaster, such as an earthquake, the demand of information such as the safety confirmation rises. It is very important of prevention of secondary damage to give disaster victims accurate information and press a correct action. Thus, it is necessary to rebuild a broken network or build a new network immediately. Especially, the trouble by disconnection is caused by cable connection. Therefore, the method of making infrastructure strong for troubles by building the Wireless Mesh Network has been studied. In this paper, we propose a robust wireless LAN system, which can be smoothly recovered from the destruction state when access points or wires connecting access points are broken by the disaster. In this system, we add functions of the Wireless Mesh Network into the access point used as public wireless LAN.

1. はじめに

地震等の災害時には、被災情報の配信や安否確認などの情報通信の必要性が高まる。混乱した状態の中で、適切な情報を被災者に早急に与え、正しい行動をうながすことは二次災害の防止に役立つ。被災者の安否情報を確実に周りの人間に知らせることも、混乱を緩和させるためには非常に重要である。我が国においては阪神・淡路大震災後、災害対策に関するサービスの提供や研究が活発に進められるようになった。これまで実用化された災害対策としては、災害伝言ダイヤル[1]による安否確認サービスやインターネットや携帯電話網を使った災害用伝言板サービス[2][3]がある。これらのサービスは膨大な数の通話が回線を混雑させてしまうことを防ぐためのものである。しかし、これらのサービスでもネットワークが物理的に破壊されてしまえばサービスを利用することができない。そのため、破壊されたネットワークの復旧や、新たなネットワークの構築など、通信網の早急な整備方法を検討することは重要である[4]-[7]。

そこで、被災地に無線メッシュネットワーク[8]-[14]を構築し

て、障害に強いインフラ網として利用する方法が研究されている[4]-[6]。無線メッシュネットワークは無線 LAN アクセスポイント(AP)間の接続を、有線ケーブルを利用せず、無線アドホックネットワークの技術を用いて無線化する。パケットを AP 間で中継する際、互いに無線範囲の届かない AP 間では、中間に位置する AP がパケットを中継する。さらに AP は自律的に経路を形成する機能を持っている。このため、AP を適切に設置していくだけでネットワークを素早く柔軟に拡張することができる。このように、無線メッシュネットワークは被災時の早期インフラ復旧システムとして有効である。

無線メッシュネットワークを使った災害支援を扱う研究としては、山古志ねと[4][5]や、スカイメッシュ[6]等がある。これらの研究を災害へのアプローチの違いから分類すると、無線メッシュネットワークを通常時からインフラとして利用する常時インフラ型と、災害が起こった後に臨時のインフラ網を構築する臨時インフラ型に分けられる。前者の方法は、無線メッシュネットワーク自体が安定した通信ができるものではなく、遮蔽物や天候などの影響を受けやすいといった問題点が指摘されている[4]。そ

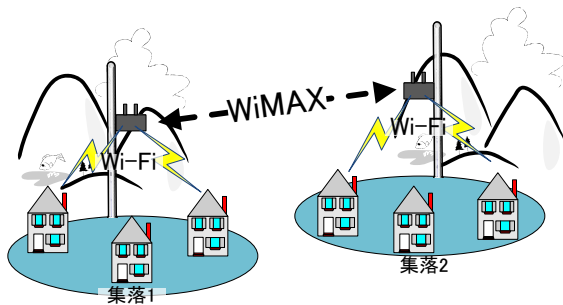


図 1 山古志ねっと概要

れに対して、被災時に一から無線メッシュネットワークを構築する臨時インフラ型は有用である。しかし、以下に示すような様々な課題がある。まず、AP を設置したい場所に電源があるとは限らない。電池を使うにしても、本来のネットワークが復旧するためにかかる時間を考えると、最低でも一週間は電源を維持する必要がある[7]。次に、臨時のインフラとして、外部との通信が不可欠である。そのため、無線メッシュワークと外部ネットワークをつなぐ経路の速やかな発見と確保が必要である。被災地で外部への経路を確保しようとしても、被災によりネットワークがどのように壊れるかを予測することは難しい。また、AP を誰が設置するかという課題もある。ボランティアが設置者となる場合には事前に講習などを受けてもらう必要が生じる。さらに、被災後に一からインフラ網を構築するため、被災直後から、インフラが利用可能となるまでに空白の時間が発生することは避けられない。そのため、被災直後に求められる安否確認と被災状況の情報を迅速に得ることが出来ない。このような多くの課題を全て解決するのは容易ではないと考えられ、後者の方法だけでは有用なシステムを提供できない。そこで、本論文では新しいアプローチとして、通常の公衆無線 LAN に利用する AP に無線メッシュネットワーク機能を持たせる。

現在、公衆無線 LAN のサービスは局所的に提供されている場合が多い。公衆無線 LAN は町内に AP を設置し、無線 LAN クライアントを搭載したモバイル機器が、AP の提供する電波範囲内で無線通信を利用できるサービスである。有料サービスでは、BB モバイルポイント、Mzone・mopera U、livedoor Wireless、無料サービスでは FREESPOT、FON などがあり、それぞれが独自に事業展開を行っている。ユーザがサービスを利用するには、どの事業者も ID とパスワードによる認証を必須としている。また、事業者ごとにサービス提供範囲が異なるため、町内でも自分の加入している事業者のサービスエリアを探すには苦労を要する。事業提携などにより、異なる事業者の間でローミングが利用できる場合もあるが、いずれにせよ、サービスはまだ局所的なため、本格的な普及には至っていない。しかし、最近では、動画など、リッチコンテンツに対する需要増加による回線の増強の必要性や、iPhone に無線 LAN クライアントが搭載された経緯などから、近い将来、高速で安定した無線ネットワークを提供する公衆無線 LAN が普及すると思われる。

公衆無線 LAN の AP 同士は、有線で接続されており、安定した通信が可能である。しかし、被災時では有線が切れてしまうと外部との通信が出来なくなる。さらに AP は障害が発生したことを自身の配下端末に通知する手段がなく、配下端末は障害の発生した AP に接続し続けてしまうという問題がある。

現時点では公衆無線 LAN は、まだ本格的な普及には至ってい

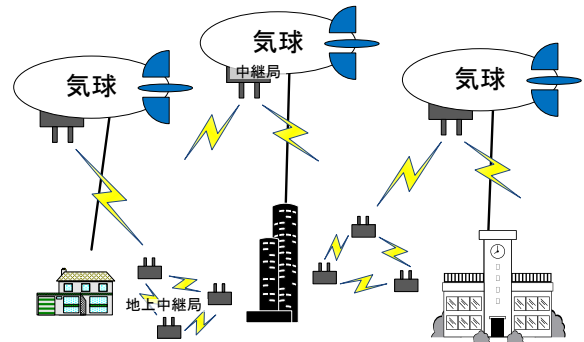


図 2 スカイメッシュ概要

ないが、今後の普及が期待できる分野である。そこで、本研究では公衆無線 LAN の AP 自体に無線メッシュネットワーク機能を追加し、通常時は一般の AP として、高速で安定した有線経路を使い、被災時に有線や AP に障害が起こると AP が必要に応じて無線メッシュネットワークに移行し、即座にネットワークを復旧させる方法を提案する。

さらに、本研究では、無線 AP を管理する管理サーバを準備し、公衆無線 LAN が普及した時、各地に設置された AP との通信で、有線部分の障害箇所を特定する。なお、提案方式は無線メッシュネットワーク WAPL(Wireless Access Point Link)[15]をベースに、様々な機能を追加することによりその実現方法を検討した。

以下、2 章では既存システムとその課題について整理し、3 章では WAPL と提案システムのモデルについて述べる。4 章では提案システムの実装方法について説明し、5 章で評価を行い、最後に 6 章でまとめる。

2. 既存システム

2.1. 山古志ねっと

山古志ねっとの概要を図 1 に示す。山古志ねっとは無線メッシュネットワークで旧山古志村に点在する集落を結ぶ。集落内では、集落をカバーするように AP を配置し、AP 間はモバイルアドホックネットワークで接続する。数カ所の遠く離れた集落どうしは WiMAX で接続する。通常はコミュニティーネットワーク、インターネット接続、遠隔医療などに利用する。災害時は安否登録と安否確認、外部からの災害状況のモニタリングに利用できる。山古志ねっとは中山間地に経済的に展開・構築し、災害に強いネットワークを構築できる。しかし、無線メッシュネットワーク自体が安定した通信ができるものではなく、遮蔽物や天候などの影響を受けやすいといった問題点が指摘されている[4]。そのため、現時点では無線メッシュネットワークによって、通常時にインターネット接続サービス等として、十分な帯域を常に確保することは難しく、常用インフラと災害に強いネットワークを両立するにはまだ課題がある。

2.2. スカイメッシュ

スカイメッシュの概要を図 2 に示す。スカイメッシュは災害発生直後から 1 週間程度の通信サービス空白の期間に、無線メッシュネットワークを使った臨時のインフラを提供するものである。スカイメッシュでは気球に無線 LAN の中継局を搭載し、地上高 50m~100m に設置することで通信の長距離伝送を可能とする。また、必要に応じて地上にも中継局を設置する。スカイメッシュはこれらの中継局を無線メッシュネットワークで接続することで臨時のインフラを構築する。スカイメッシュを構築する機材は、

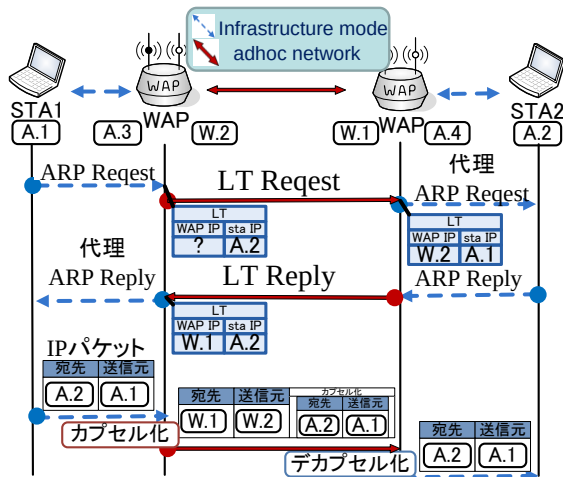
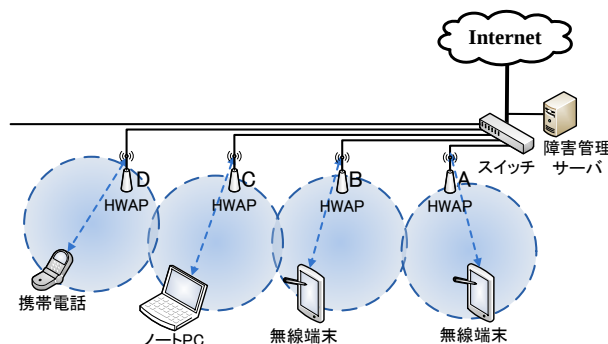
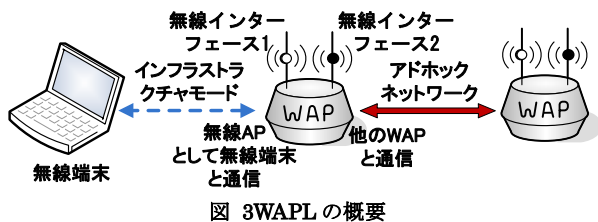


図 4 LT の生成シーケンス

通常時には自治体や通信事業者等により各拠点に備蓄され大規模災害時にはトラックやヘリコプターにより、被災地へ輸送される。しかし、電源確保、無線メッシュワークと外部ネットワークをつなぐ経路の速やかな発見と確保、インフラが利用可能となるまで時間を必要とするなどの課題がある。また、既に被災地でAPを利用して、端末がインターネット等に接続していた場合、利用不能となったAPからスカイメッシュの接続の切り替えをユーザが意識しなければならない。災害時にスカイメッシュが形成されても、ネットワークの知識の乏しいユーザは、有線部の断絶により外部ネットワークへの接続が不可能となったAPを利用し続けてしまう可能性がある。

3. 提案方式

3.1 WAPL の概要

本提案のベースとなるWAPLの概要を図3に示す。WAPLではWAPL独自のAPをWAP(Wireless Access Point)と呼称する。WAPはインフラストラクチャモードとアドホックモードの無線インタフェースを持つ。インフラストラクチャモードのインタフェースは一般のAPと同様に無線端末と接続する。アドホックモードのインタフェースはWAP同士で無線アドホックネットワークを形成する。無線端末は離れた通信相手に対して、中間に位置するWAPを中継して通信することができる。無線端末が通信を開始する前に、WAPとそれに所属している無線端末の対応関係（以下、マッピング情報）がわかっている必要があるが、WAPLではマッピング情報をオンデマンドで生成するため、制御パケットの負担が少ない。また、WAPLは無線アドホックネットワークのルーティング機能とは独立しており、ルーティングプロトコルを自由に選択できる。さらに、WAPが端末の通信の状況を常に監視することにより、端末が移動してもパケットロスのないシーム

レスなハンドオーバーを実現できるなどの特徴がある。

3.2 WAPL の通信方式

WAPは無線端末が通信開始する際のARP処理をトリガとして、WAPとその配下の無線端末のマッピング情報をWAP間で交換し、LT（Link Table）と呼ぶテーブルを生成する。LTの生成シーケンスを図4に示す。WAPは端末からのARP要求を受信すると、他のWAPへLT生成要求メッセージ(LT Request)を広告する。LT Requestには探索端末のIPアドレスと送信元端末のIPアドレスとMACアドレスが記載されている。LT Requestを受信したすべてのWAPは自身のLTに送信元端末と送信元WAPのIPアドレスの対応を記憶する。配下に目的の探索端末が存在することを見出したWAPは、ユニキャストで送信元WAPにLT応答メッセージ(LT Reply)を返す。LT Replyには探索端末と送信元端末のIPアドレスとMACアドレスが記述されており、送信元WAPはLT Replyを受け取ると、自身のLTに探索端末と、その端末が所属するWAPのIPアドレスの対応を記憶する。以上の動作により、互いのWAPにLTが生成され、以後のデータパケットはWAP間のアドレスによりIPカプセル化されて中継される。

3.3 HWAP

提案システムにより構築された公衆無線LANの構成を図5に示す。提案システムではAPの代わりにHWAP(Hibrid Wireless AP)と呼称する。無線メッシュネットワーク機能を追加したAPを配置する。HWAPの詳細は3.4節以降に記述する。各HWAPと障害管理サーバはスイッチで接続されており、障害管理サーバはHWAPの状態を常時監視する。提案システムではHWAPが障害により有線が切断され、ネットワークから孤立すると、必要に応じて無線メッシュネットワークに移行し、周辺の健康なHWAPから最適な物を選択してパケットを中継させる。それぞれのHWAPが障害を即座に検知し、自動的に中継処理を行うことで、迅速な復旧を可能にする。

3.4 HWAP の状態遷移

HWAPにはそれぞれ固有のIDを付加し、設置位置と対応付けで管理サーバに記録する。HWAPの状態遷移概要を図6に示す。HWAPは3.3節で説明するヘルスチェックによって自身の状況を判断し、AP State、Mesh State、Relay Stateの3つの状態に動的に遷移する。

AP State :

通常のAPとして動作する。自分自身と、近隣のAPがともに障害のない健康な状態。通常のAPとして、インフラストラクチャモードで配下の無線端末と通信する。自身の有線が断線すると

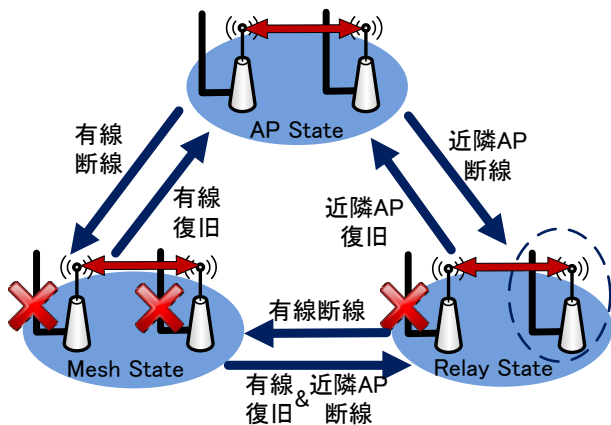


図 6 HWP 状態遷移概要

Mesh State に、近隣 AP の有線が断線すると Relay State に遷移する。

Mesh State :

従来の WAP として動作する。有線との接続が断線して外部ネットワークと孤立した状態。近隣の健康な HWP を探し、パケットを中継してもらう。有線が復旧すると AP State に、有線が復旧し、近隣に有線から切断された AP がいた場合は Relay State に遷移する。

Relay State :

WAP の有線部のゲートウェイ、および通常の AP として動作する。自分自身は健康であるが、近隣に Mesh State の HWP もしくは WAP が存在する状態。近隣 AP からの中継要請を受けて、アドホック側から受け取ったパケットを有線側に中継する。近隣の AP が断線から復旧すると AP State に、自身の有線が断線すると Mesh State に遷移する。

3.5 ヘルスチェック

HWAP は管理サーバや、他の HWAP との間で以下に示すヘルスチェックを行う。ヘルスチェックによって HWAP は自身の状態を知ることができる。

(1) 有線ヘルスチェック

図 7 に有線側のヘルスチェックの概要を示す。有線側のヘルスチェックは、HWAP による自身の接続状態のチェック、管理サーバによる HWAP の接続状態のチェックの 2 通りがある。HWAP によるヘルスチェックは、管理サーバが定期的に HWAP に送信する LS(Line State)メッセージにより行われる。管理サーバによるヘルスチェックは、HWAP が管理サーバに定期的に送信する AL(AP Living)メッセージによって行われる。

HWAP は管理サーバから送信される LS メッセージを一定時間ごとに受信し続ける。これにより、HWAP は自分が有線と接続していることを確認できる。LS メッセージのタイムアウト時の動作を図 8 に示す。ここでは HWAP(A) と HWAP(B) の間のケーブルが断線した場合を示す。A-B 間のケーブルが断線すると HWAP(B,C,D) の有線経路は全て断線し、孤立状態になる。有線が断線すると、HWAP は管理サーバから定期的に送信される LS メッセージを受信できなくなる。HWAP が LS メッセージを一定期間受信しなくなると、有線が切断したと判断し、状態を Mesh State へと遷移させる。また、LS メッセージには Df(Disaster flag)と呼ぶフラグを定義する。このフラグは被災時に、被災地の端末が公衆無線 LAN の認証を行わずに AP に接続できるようにするために使う。公衆無線 LAN の管理者が、災害が起ったと

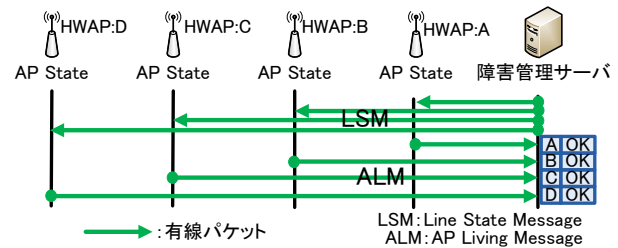


図 7 有線ヘルスチェック概要

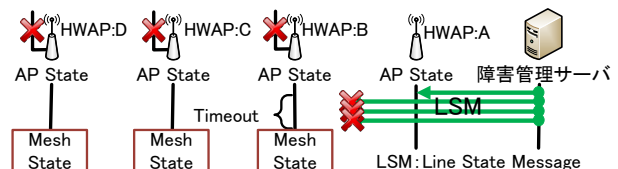


図 8 LS メッセージのタイムアウト時の動作

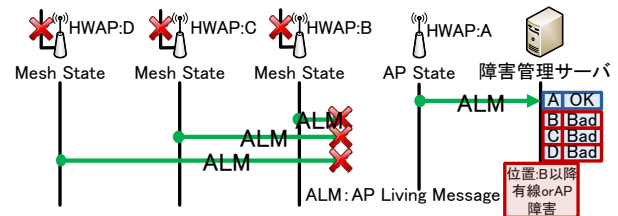


図 9 AL メッセージのタイムアウト時の動作

判断したとき、管理サーバを使ってこのフラグを ON にすることができる。有線で管理サーバとつながる HWAP は Df 付きの LS メッセージを受信すると、公衆無線 LAN の認証を解除する。これにより、一時的ではあるが、被災時のインフラとして誰でも公衆無線 LAN を利用できるようになる。Df を使用するかどうかはネットワーク管理者の判断にゆだねる。

HWAP は一定時間ごとに AL メッセージを管理サーバに送信し続ける。これにより、管理サーバは HWAP が生存していることを確認できる。AL メッセージのタイムアウト時の動作を図 9 に示す。管理サーバが一定時間 AL メッセージを受信しなくなると、有線の切断、もしくは HWAP 自体の故障と判断する。また、AL メッセージには送信元 HWAP の状態と、後述する HWAP 間の無線ヘルスチェックにより得られる近隣の HWAP の状態を記述する。これにより、管理サーバは公衆無線 LAN 全体の状態がわかるため、被災時にどこを復旧すればよいかの判断ができる。

(2) 無線ヘルスチェック

図 10 に無線側ヘルスチェックの概要を示す。無線のヘルスチェックは HWAP 間でアドホックネットワークを使って NS メッセージ(Neighbor State Message)を交換することで行われる。NS メッセージの扱いは HWAP の状態によって変わる。NS メッセージは AP State もしくは Relay State のとき一定時間ごとに送信する。NS メッセージには送信元 HWAP の ID・状態・hop 数などの情報が記録される。この状態の HWAP は NS メッセージを受信しても近隣には中継しない。Mesh State の状態になると、自らは NS メッセージを送信せず、近隣からの NS メッセージを受信したときに、自身の ID・状態・hop 数、接続する Relay State が決まっている場合はその Relay State の情報を追記して 1hop 先に中継する。Mesh State の近隣に存在する AP State や Relay State の HWAP は、この中継された NS メッセージから、近隣に存在する Mesh State の数や hop 数、Mesh State が接続

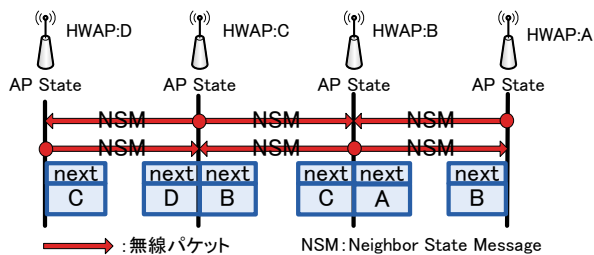


図 10 無線ヘルスチェック概要

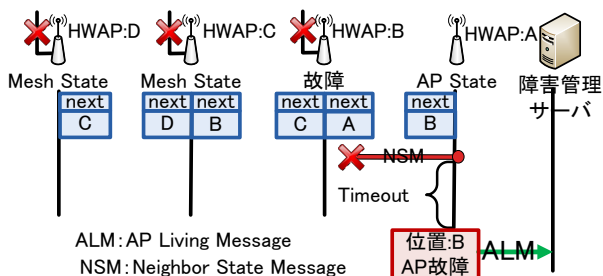


図 11 NS メッセージのタイムアウト時の動作

する Relay State の情報を取得できる。HWAP の状態によって NS メッセージの動作を変える理由は、被災時のパケット量を減らしてネットワーク効率を上げるためである。

図 8 の状態に加えて HWAP(B) が故障した時の、NS メッセージのタイムアウト時の動作を図 11 に示す。HWAP は互いに NS メッセージを送信し合うが、近隣からの NS メッセージが一定時間途切れると、送信元の HWAP が故障したと判断する。有線に接続している HWAP は管理サーバに定期的に送信している AL メッセージに故障した HWAP の ID を付加して、管理サーバに伝える。ID と位置は対応しているので、管理サーバは復旧が必要な HWAP の場所を検知することができる。

3.6 復旧方式

(1) 有線切断からの復旧

図 12 に有線が切断してから復旧するまでのシーケンスを示す。有線が切断され、LS メッセージの受信が一定時間途切れた HWAP(B,C,D) はタイムアウト後、AP State から Mesh State に遷移する。Mesh State の HWAP は近隣の AP State の HWAP(A) から一定間隔で送信される NS メッセージに自身の ID を付加し、hop 数の値を加算しながら中継していく。NS メッセージを受信した Mesh State の HWAP(B,C,D) は自身に中継されてきた NS メッセージの中から hop 数の値が最小のものを選んで Relay Request(RReq)を送信する。RReq を受信した HWAP(A) は AP State から Relay State へと遷移する。このとき管理サーバに一定間隔で送信している AL メッセージに自身が Relay State に遷移したことで、配下 HWAP(B,C,D) の情報を付加する。

(2) HWAP 故障からの復旧

図 13 に有線が断線し、かつ HWAP(B) 自体が故障してから復旧するまでのシーケンスを示す。HWAP(B) が故障すると、NS メッセージや RReq を送信しなくなる。近隣の健康な HWAP(A) がこれを検知し、AL メッセージに近隣の ID と状態を付加して管理サーバに送信する。管理者は ID から故障 HWAP(B) の位置を特定すると、そこへ新たな HWAP を配置する必要があることがわかる。新たに設置された新 HWAP(B) は Mesh State となり通信パケットを中継する。また、NS メッセージに自身の ID を

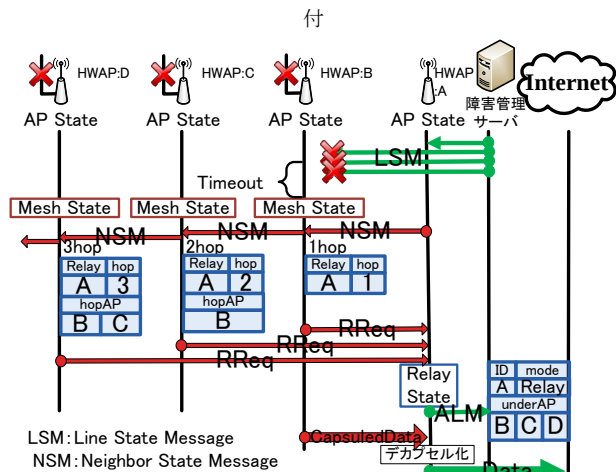


図 12 有線切断時のパケット中継シーケンス

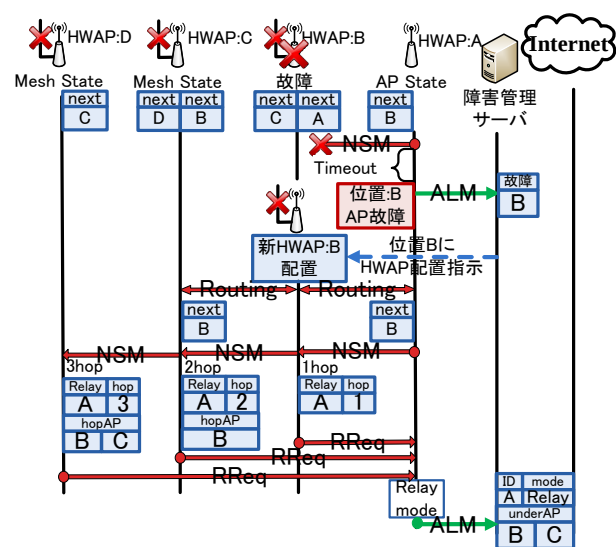


図 13 HWAP 故障時のパケット中継シーケンス

加して hop 数の値をカウントアップしながら中継する。その後の動作は有線切断からの復旧と同様にして RReq の中継とデータパケットの中継が行われる。

4. HWAP の実装方法

図 14 に実装予定の HWAP のアーキテクチャを示す。HWAP のプログラムを PC 上で動作させる。OS には Linux を利用する。HWAP 間の接続には PC 搭載の無線インタフェースを使用する。無線端末と HWAP の接続には市販の AP を使用する。PC と市販の AP を、HUB を介して Ethernet で接続し、PC と市販の AP を一体のものとする。無線規格は共に IEEE802.11g を使用し、AP/無線端末間はインフラストラクチャモードで、HWAP 間はアドホックモードで動作する。IP 層には、MANET のルーティングプロトコルを動作させる。WAP の機能は RAW ソケットによって IP 層および、MAC 層と接続しており、MANET のルーティングプロトコルにデータ転送を委託することも、MANET のルーティングプロトコルと独立して、制御メッセージを送信することもできる。WAPL はルーティングプロトコルと独立しているため、自由にそのプロトコルを変更することができる。外部ネット

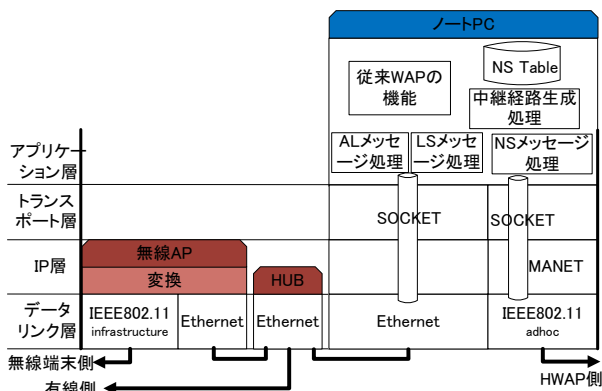


図 14 HWAP アーキテクチャ

ワーク・障害管理サーバとの接続には、HUB に接続した有線ケーブルを使用する。HWAP の機能は従来の WAP の機能と直接接続しており、WAPL の動作に加えて、管理サーバから届く LS メッセージの処理、HWAP が管理サーバに送信する AL メッセージの処理、HWAP 間の障害情報を通知する NS メッセージの処理を行うモジュールをそれぞれ独立して動作させる。各処理間の情報の共有のため NS テーブルを定義する。NS テーブルには HWAP の ID、状態、IP アドレスが記録される。

5. 評価

本稿ではメッシュネットワークを用いた災害復旧システムを比較する。表 1 に既存システムと提案システムの比較表を示す。今回は臨時インフラ型を利用する際は既に従来の AP システムが構築されていることを想定した。被災からの復旧速度は、はじめから無線メッシュネットワークを構築している常時インフラ型が最も早い。しかし提案システムも、障害発生箇所を自動で修復するため十分早いと判断できる。臨時インフラ型は輸送や設置箇所の決定などの手間がかかるため△とした。通常時の回線の安定度は有線をバックボーンに構築する提案システムと臨時インフラ型は安定している。常時インフラ型は無線システムのみの構成であるため、現状の無線技術では不安定となることが考えられる。導入、維持管理のコストは 3 方式で機材の価格が同じと仮定した場合、無線中継局を配置するだけで良い常時インフラ型が最も安価に導入できる。管理、維持に関しても、無線メッシュネットワークを通して遠隔地から管理することが可能である。提案システムは有線を引くコストがかかるが、通常時に公衆無線 LAN として安定した通信を提供することができる。管理・維持に関しても管理サーバと個々の HWAP を連携させてネットワークの障害を自動で監視するシステムを提案することによって管理負荷を削減するため○とした。臨時インフラ型は局所的に展開すれば安価に導入できる可能性がある。しかし、規模が大きくなれば通常時の保管場所の確保、輸送、構築にかかるコストは大きなものとなる。さらに他の 2 方式と比べて通常時には利用できないため△とした。総合して、提案システムは既存システムよりもバランスが取れた仕様となっていると考えられる。

6. むすび

公衆無線 LAN の AP に WAPL の拡張機能を内蔵させることにより、災害発生時においても迅速にネットワークインフラを復旧させる方法を示した。このシステムでは有線の障害箇所を AP が自動で無線メッシュネットワーク化することで、迅速な復旧を可能にする。また、管理サーバとの連携で障害箇所の迅速な特定も可

表 1 システム比較表

	常時インフラ型	臨時インフラ型	提案システム
復旧速度	◎	△	○
通常時の安定度	△	○	◎
コスト	◎	△	○

能となる。復旧速度については、今後は実装や、シミュレーション等により、その優位性を証明する予定である。また、他にも転送スループットや制御メッセージによって発生するトラヒックの影響などの検証を行っていく。

参考文献

- [1] 災害伝言ダイヤル
<http://www.ntt-east.co.jp/saigai/voicel71/index.html> (NTT 東日本)
<http://www.ntt-west.co.jp/dengon/> (NTT 西日本)
- [2] 災害用ブロードバンド伝言板
<http://www.ntt-east.co.jp/saigai/qa/web171/index.html> (NTT 東日本)
<http://www.ntt-west.co.jp/dengon/web171/index.html> (NTT 西日本)
- [3] 災害用伝言板
<http://dengon.docomo.ne.jp/top.cgi> (DoCoMo)
<http://dengon.ezweb.ne.jp/> (KDDI)
[http://dengon.softbank.ne.jp/\(SoftBank\)](http://dengon.softbank.ne.jp/(SoftBank))
- [4] 大和田泰伯, 鈴木裕和, 岡田啓, 間瀬憲一: 中山間地におけるメッシュネットワーク: 山古志ねつとの構築
- [5] 山古志ねつと共同実験プロジェクト, 電子情報通信学会総合大会, 2007
<http://www2.net.ie.niigata-u.ac.jp/yamakoshi-net/>
- [6] 間瀬憲一: 大規模災害時の通信確保を支援するアドホックネットワーク, 電子情報通信学会誌, Vol. 89, No. 9, pp. 796-800, 2006
- [7] 大本英徹, 岸三樹夫, 中城一, 田中大資, 三谷宗玄: 災害情報システム ONIGIRI の設計と試作, 情報処理学会論文誌, Vol. 1999, No. 61, pp. 381-386, 1999
- [8] 大和田泰伯, 照井宏康, 間瀬憲一, 今井博英: マルチホップ無線 LAN の提案と実装, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J89-B, No. 11, pp. 2092-2102 (2006)
- [9] MetroMesh
<http://www.tropos.com/>
- [10] MeshCruzer
<http://www.thinktube.com/>
- [11] Packethop
<http://www.packethop.com/>
- [12] Amir, Y., Danilov, C., Hilsdale, M. et al.: Fast Handoff for Seamless Wireless Mesh Networks, *ACM MobiSys* (2006)
- [13] Navda, V., Kashyap, A. and Das, S.R.: Design and evaluation of iMesh: an infrastructure mode wireless mesh network, *World of Wireless Mobile and Multimedia Networks*, pp. 164-170 (2005)
- [14] Aoki, H., Chari, N., Chu, L. et al.: 802.11 TGs Simple Efficient Extensible Mesh (SEE-Mesh) Proposal (2005)
- [15] 伊藤将志, 鹿間敏弘, 渡邊晃: 無線メッシュネットワーク”WAPL”の提案とシミュレーション評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 6, 2008

障害に強い公衆無線LANの検討

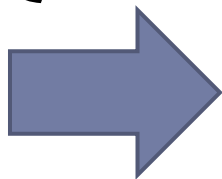
名城大学

永井順也 伊藤将志 渡邊晃

被災時のネットワーク

- ▶ 断線・停電・機器の故障など様々な要因で使えなくなる
- ▶ その中でも被災時に各地で断線したケーブルを修復するのは手間と時間がかかる
- ▶ 断線による故障はネットワークが有線で通信しているために発生する

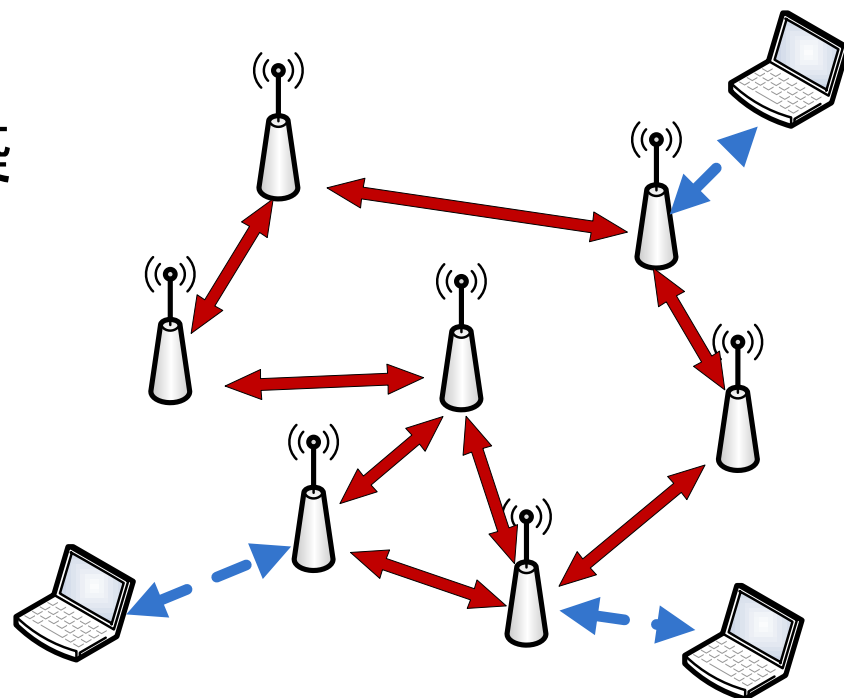
そこで



無線メッシュネットワーク
を利用して復旧する試み

無線メッシュネットワーク

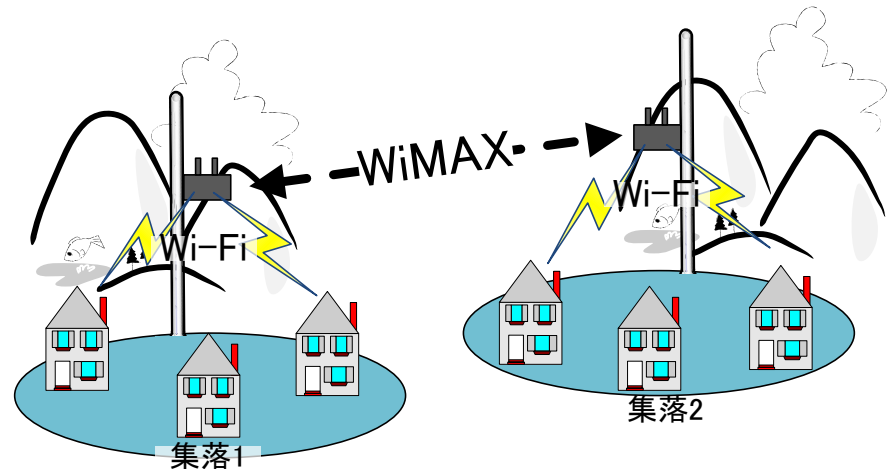
- ▶ 中継局を配置するだけで無線のネットワークを形成
- ▶ 無線だけでネットワークを構築できるため
 - ▶ 有線を引く必要がない
→ 低コスト・拡張性に優れる
 - ▶ 機器が故障した時は、機器を置き換えるだけで修復できる
→ 耐障害性がある



無線メッシュネットワークを使った被災インフラ復旧の研究

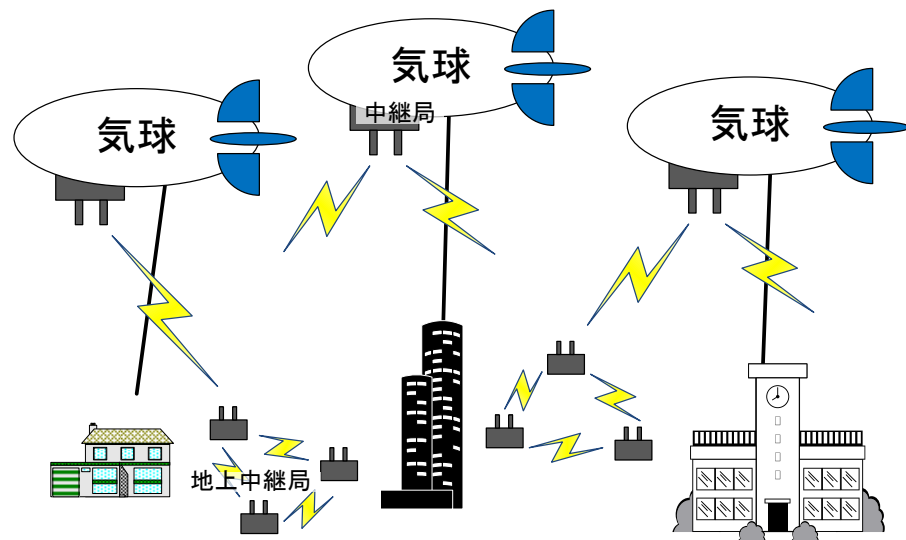
▶ 山古志ねっと(新潟大学)

- ▶ 無線メッシュネットワークを普段からインフラとして利用
- ▶ 目的: 無線通信で中山間地にネットワークを展開し、災害耐力を持たせる



▶ スカイメッシュ(新潟大学)

- ▶ 被災地に無線中継局を搭載した気球を配備
- ▶ 目的: 無線メッシュネットワークで被災地に臨時のインフラ網を構築



無線メッシュネットワークを使った 被災インフラ復旧の研究

- ▶ 他にも様々な研究があるが、既存の復旧方式は二種類に分類することができる
- ▶ 常時インフラ型
 - ▶ 被災前に無線メッシュネットワークを構築
 - ▶ 通常時はインフラとして使用できる
 - ▶ 例：山越ねっと(対象は中山間地)
- ▶ 臨時インフラ型
 - ▶ 被災後に1から無線メッシュネットワークを構築
 - ▶ 通常時は倉庫などに保管
 - ▶ 例：スカイメッシュ

無線メッシュネットワークを使った 被災インフラ復旧の課題(常時インフラ型)

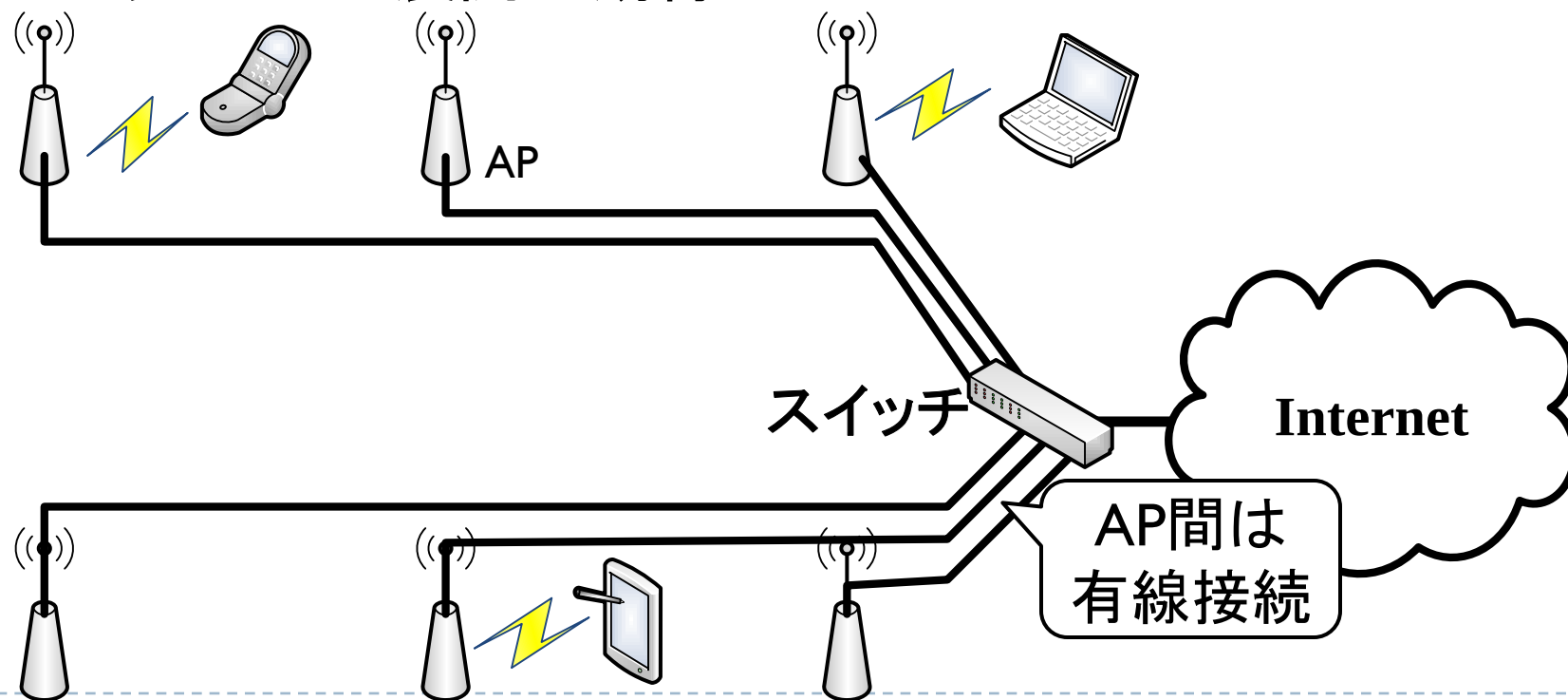
- ▶ 無線の特徴として、電波干渉や、ビルなどの遮蔽物、天候の影響などを受けて不安定になりやすい
→無線メッシュネットワークを通常時のインフラとして用いるのは頼りない
- ▶ 有線に比べて帯域、速度不足
→ユーザからの不満

無線メッシュネットワークを使った 被災インフラ復旧の課題(臨時インフラ型)

- ▶ 外部からトラックなどで輸送する必要がある
- ▶ 設置、準備にも時間がかかる
 - 迅速な復旧ができない
- ▶ 通常時は倉庫などに保管
 - 通常時に役に立たない
 - 定期的な整備をしないと、いざというときに使えなくなる恐れがある

公衆無線LAN

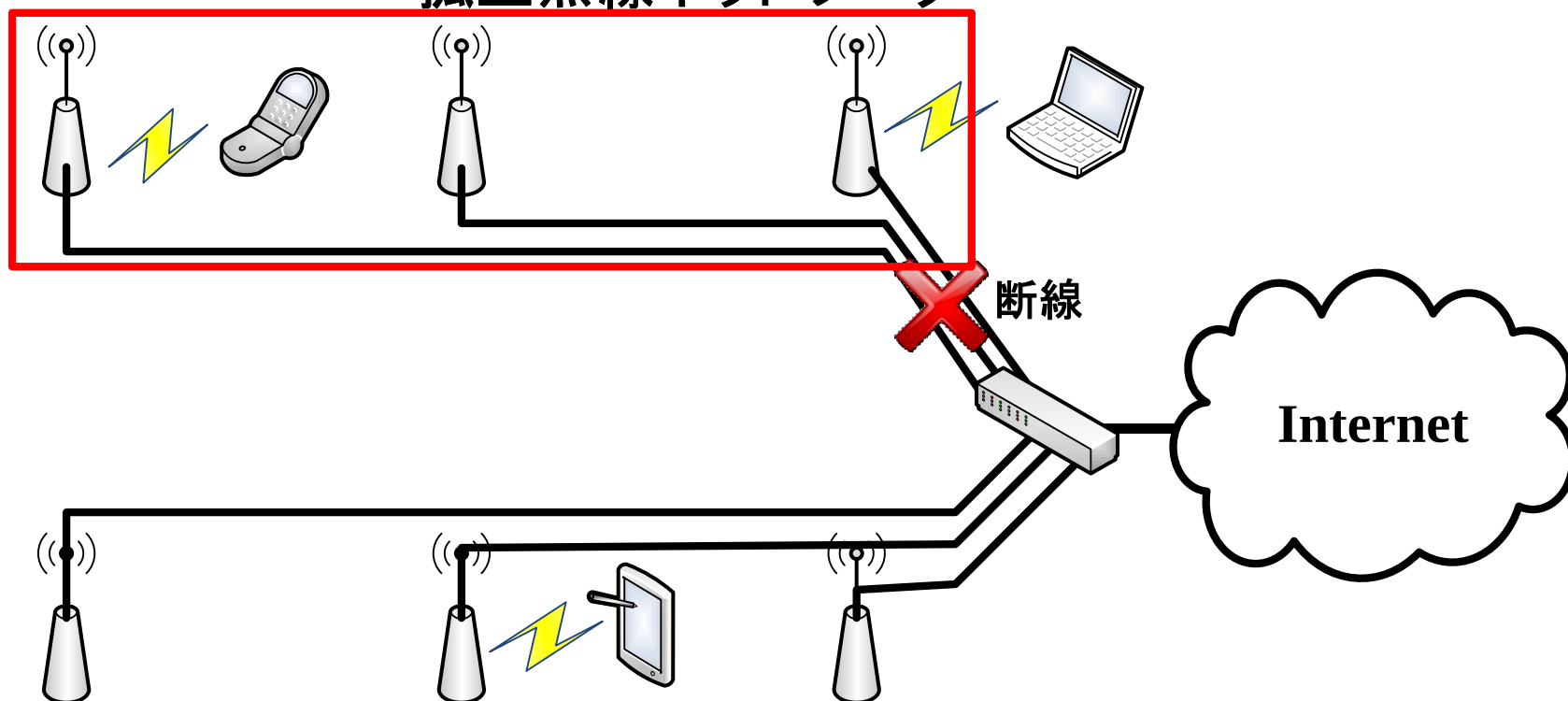
- ▶ 街中で無線LANを利用できるサービス
- ▶ 現在は局所的な展開のみ(空港、駅など)
- ▶ 今後は、電柱(livedoor Wireless)などにも設置され、公共インフラとしての展開が期待されている



公衆無線LANの課題

- ▶ APと外部ネットワークは有線でつながるため、被災時に有線が切断すると外部と通信できなくなる

孤立無線ネットワーク



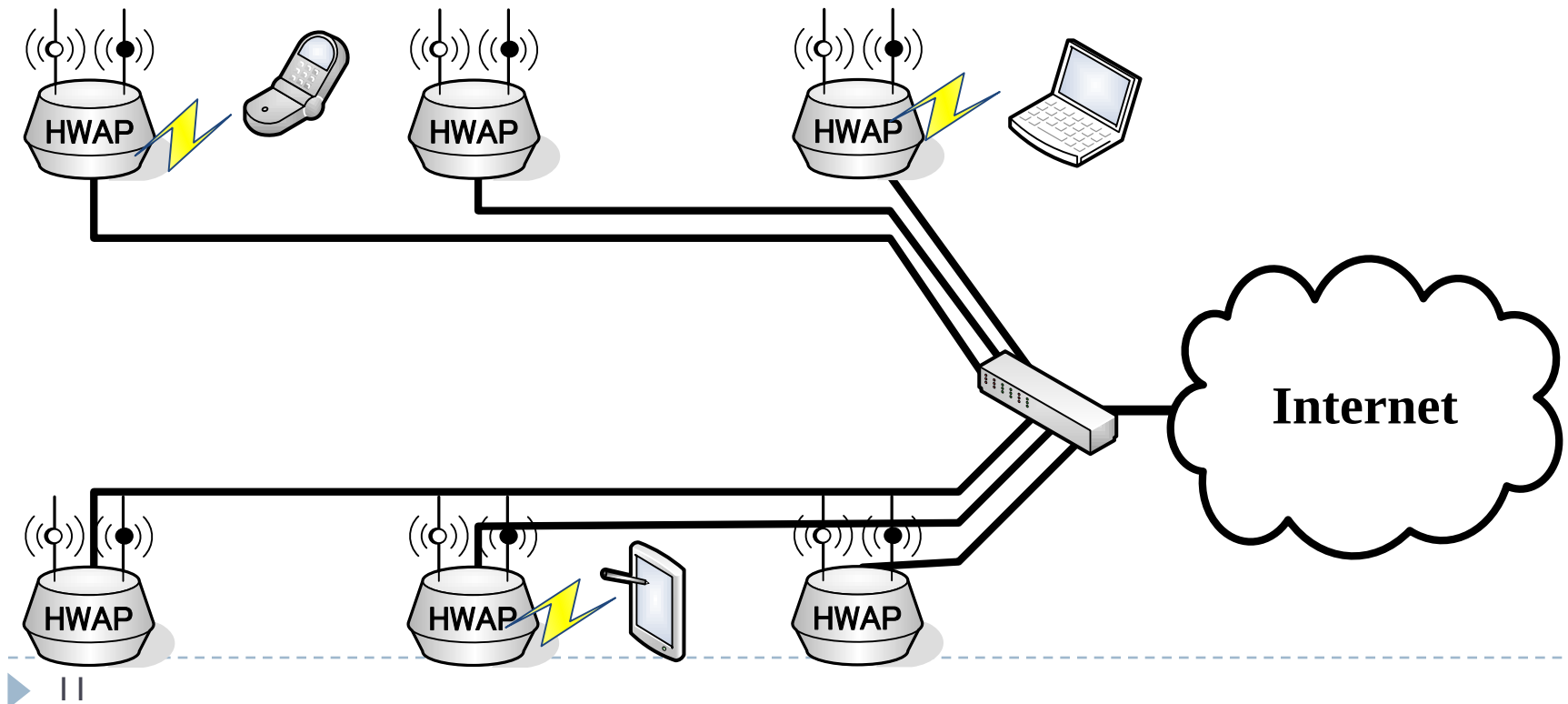
HWAP

Hybrid Wireless Access Point

- ▶ 有線、インフラストラクチャモード、アドホックネットワークの3つのインタフェースを持つAP(Access Point)
- ▶ AP間の接続に、有線と無線メッシュネットワークのハイブリッド接続を導入

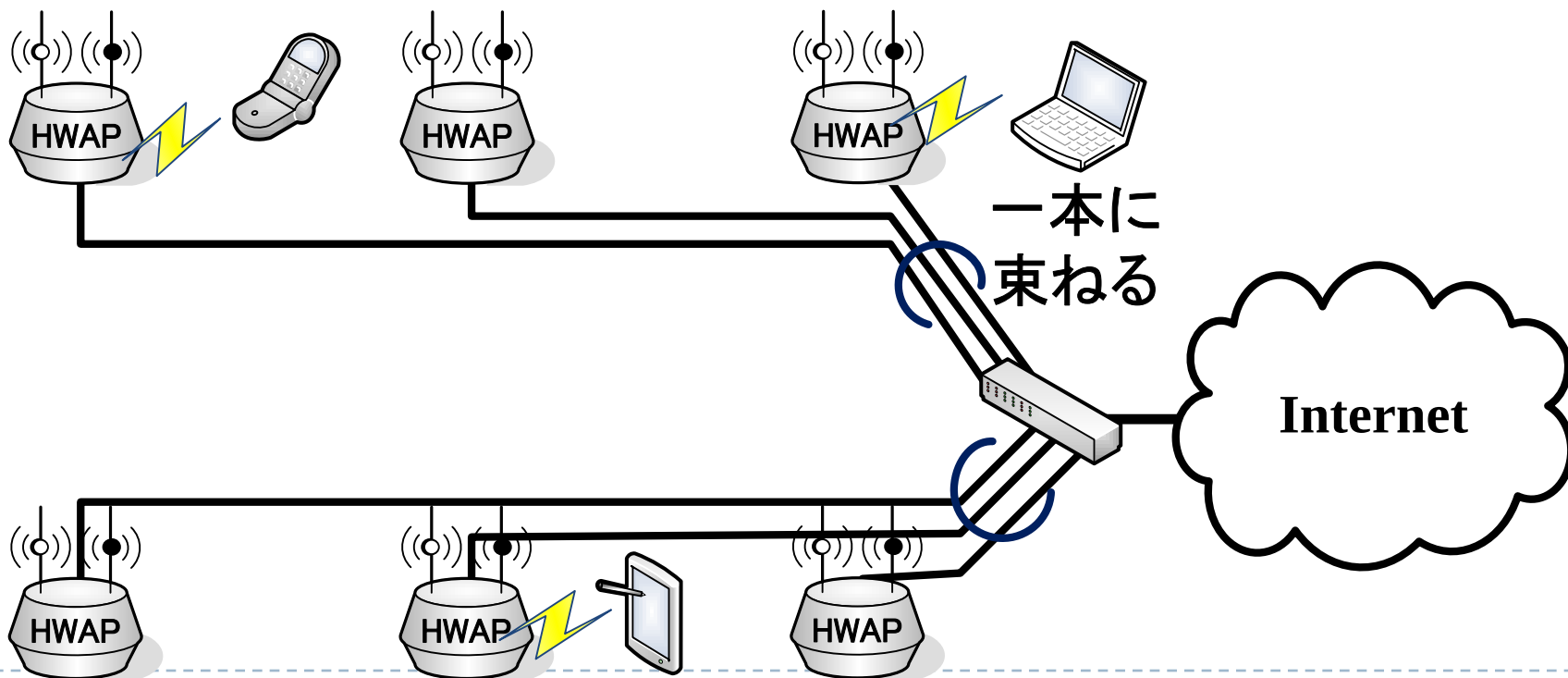
提案システム

- ▶ 既存のAPに代わり、公衆無線LANに HWAP(Hybrid Wireless AP)を導入する



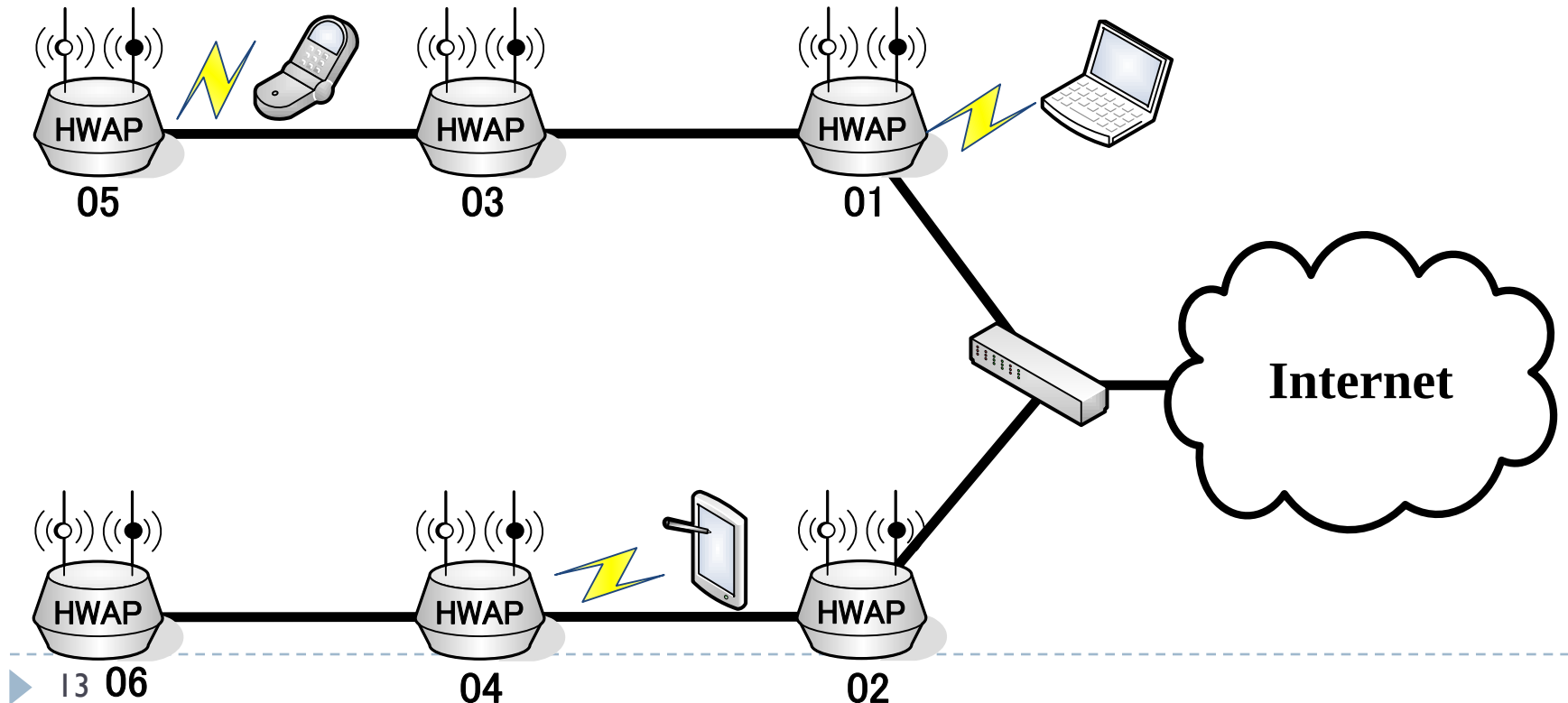
提案システム

- ▶ 今回は説明のために有線を簡略化して説明する



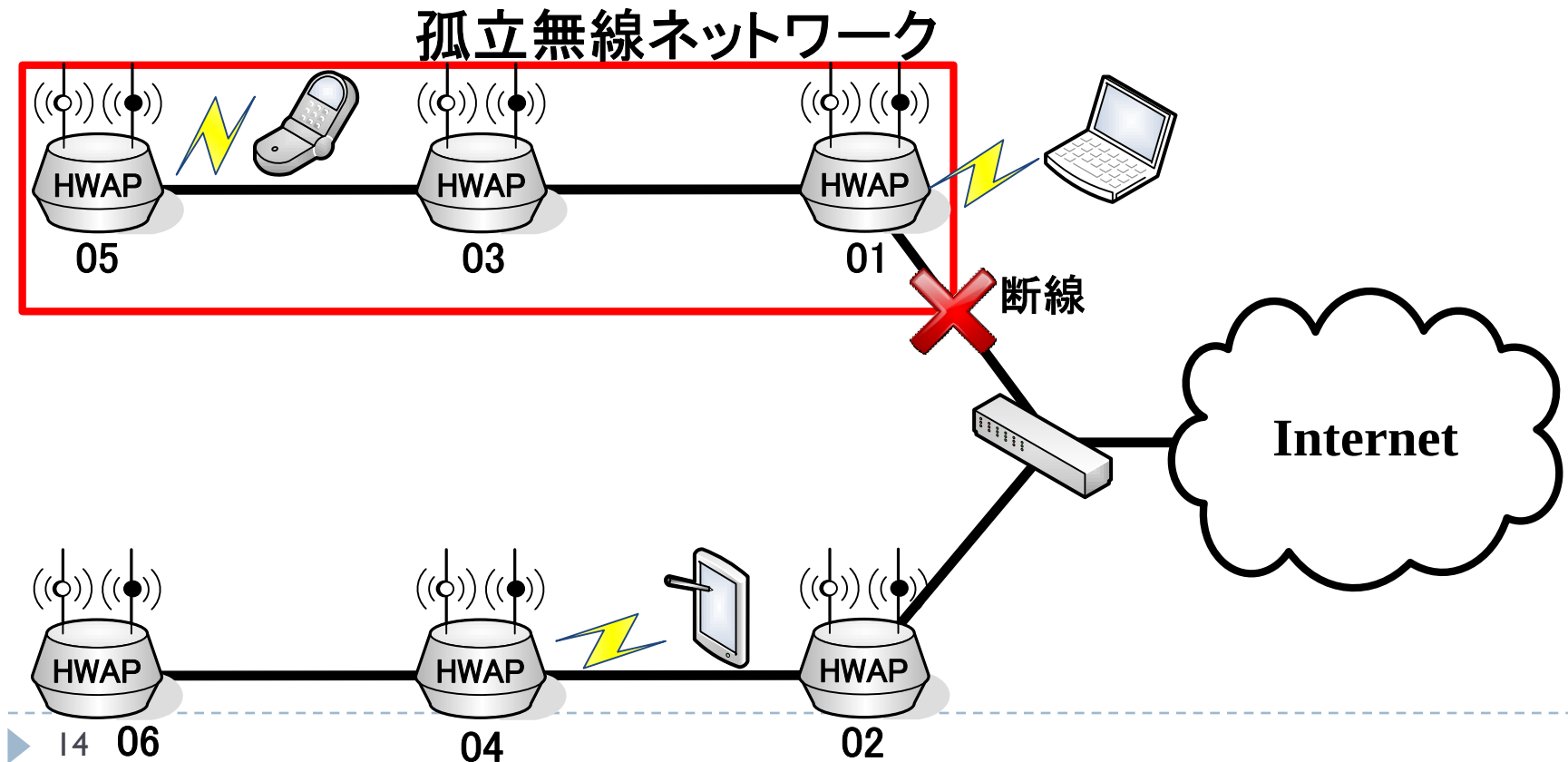
提案システム

- ▶ 今回は説明のために有線を簡略化して説明する



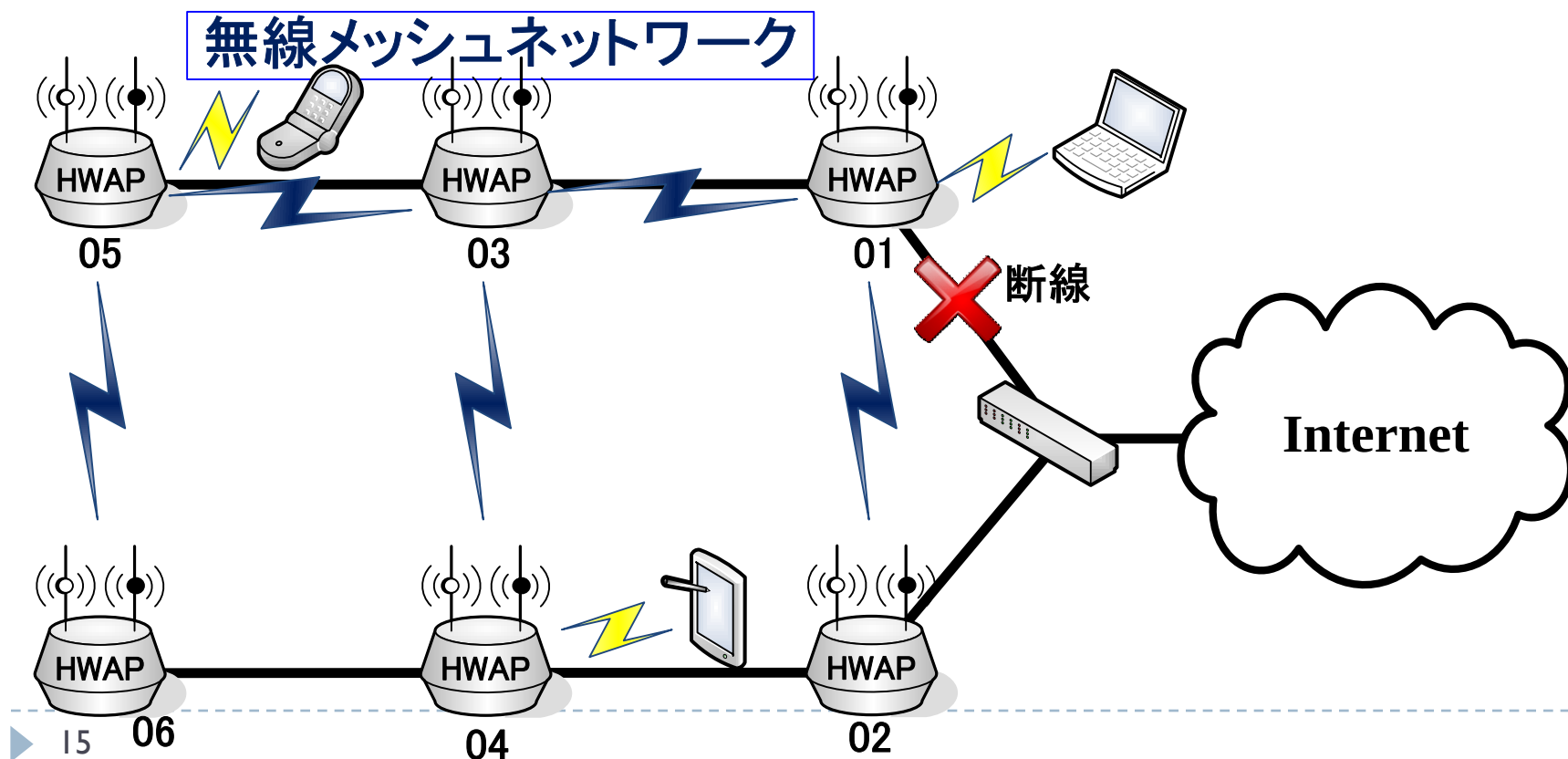
提案システム

- ▶ HWAPを導入すると、このように断線し、ネットワークの一部が孤立しても、



提案システム

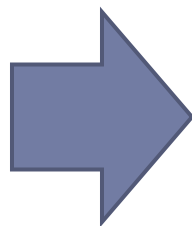
- ▶ HWAP間で無線メッシュネットワークを構築し、外部への接続を自動的に、すぐに復旧できる



既存の課題と提案システムによる解決

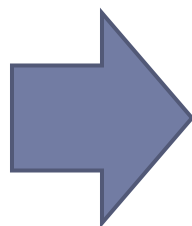
既存の課題

- ▶ 常時インフラ型
 - ▶ 無線だけでは通常時のインフラとして是不安定
 - ▶ 有線と比べて速度が遅い
- ▶ 臨時インフラ型
 - ▶ 設置準備に時間がかかる
 - ▶ 通常時には役に立たない



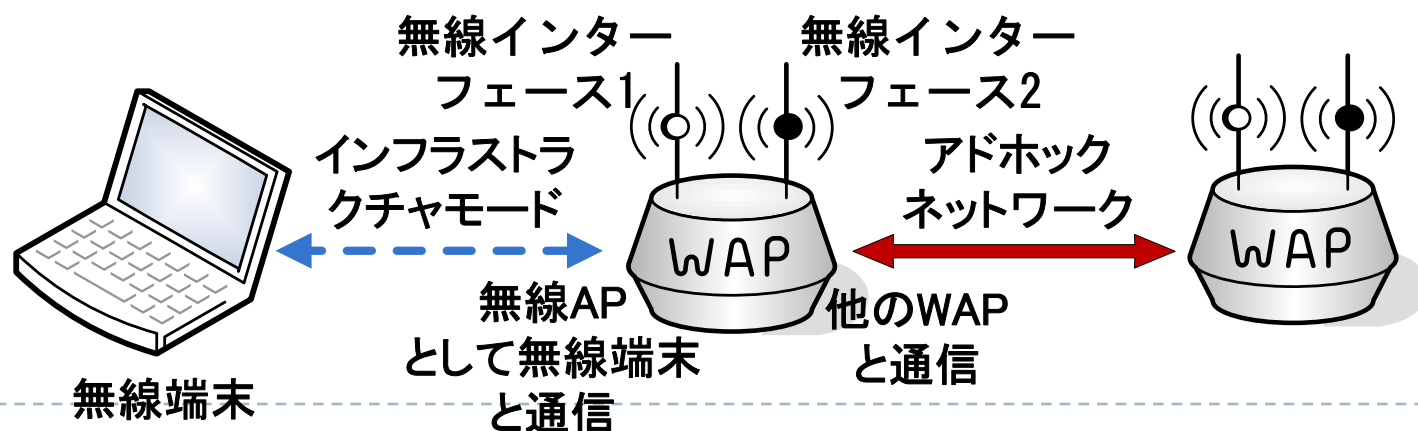
提案システムによる解決

- ▶ 通常時、APと外部ネットワークは有線でつながる
 - ▶ 有線で安定
 - ▶ 速度も保証
- ▶ 非常時、障害部分のみ無線メッシュネットワークに自動で移行
 - ▶ 設置、構築の手間がかからない
 - ▶ 通常時は普通のAPとして利用



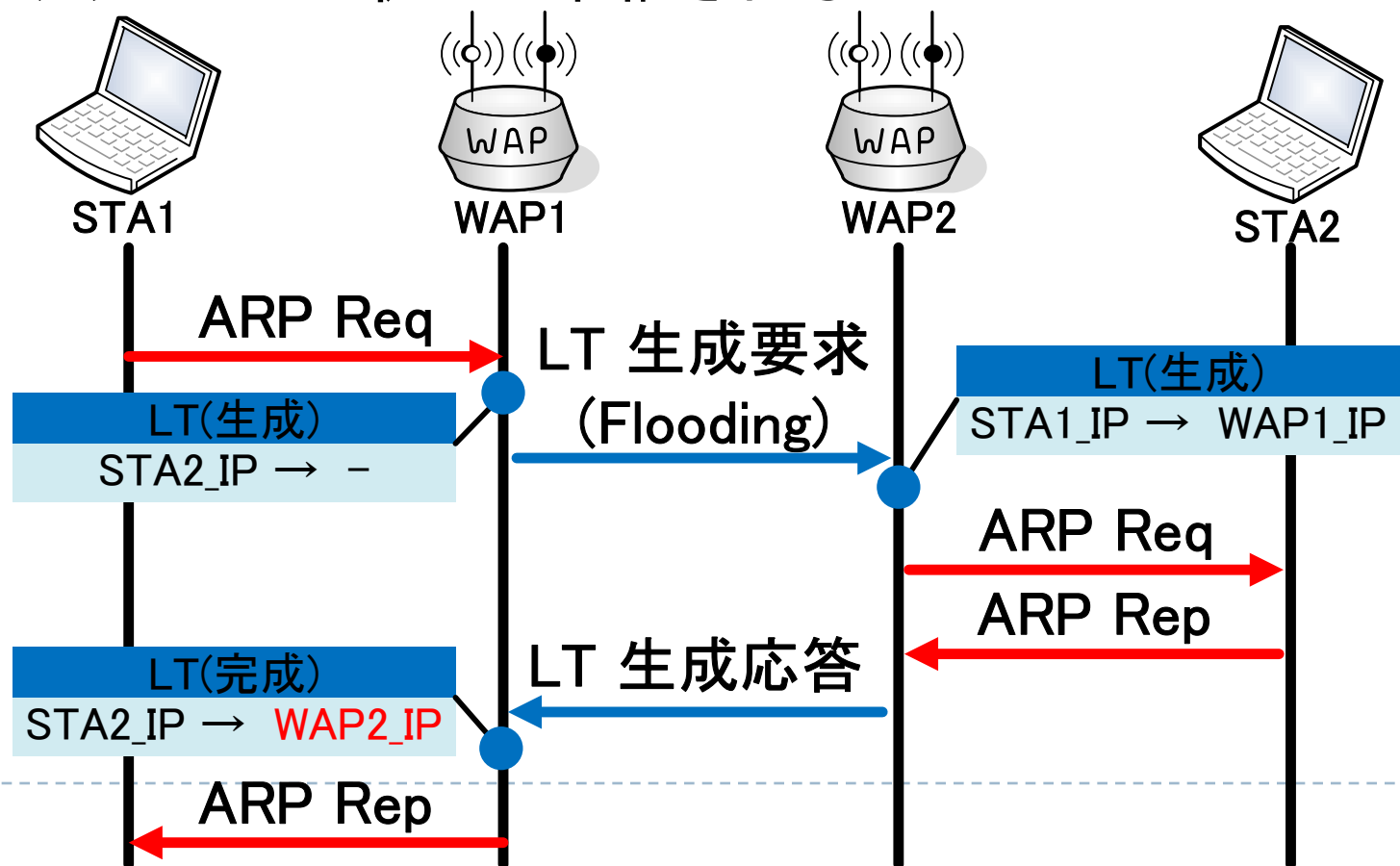
提案システム概要

- ▶ 提案する無線メッシュネットワークのベースとして、無線メッシュネットワークWAPL(Wireless Acces Point Link)を使用
- ▶ WAPL
 - ▶ アドホックルーティングプロトコルから自由な選択が可能
 - ▶ 端末/AP間のマッピング情報(端末とAPの対応関係)によるオンデマンドな経路生成



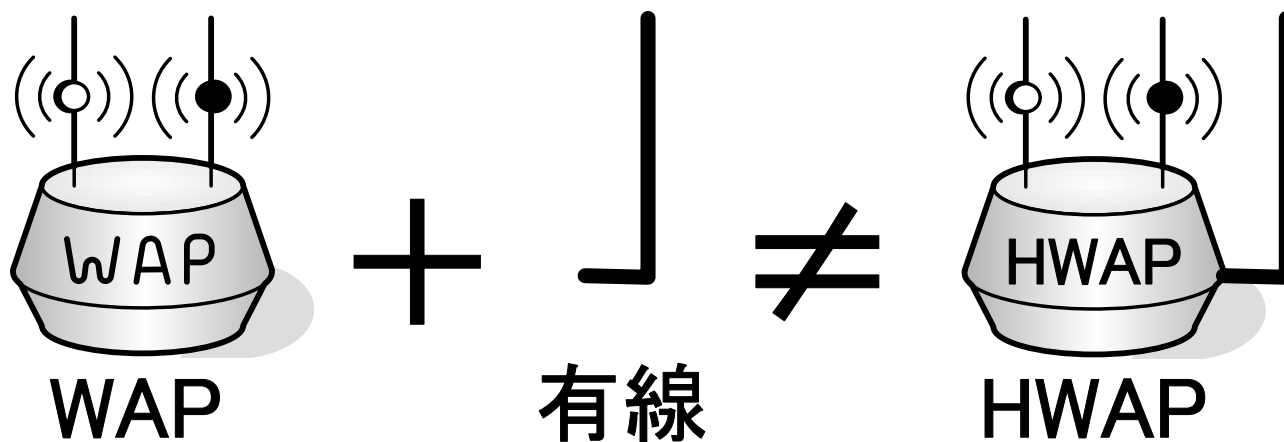
WAPLの経路生成

- ▶ 通信開始時のパケットで、端末/AP間のマッピング情報
LT(Link Table)を交換する
- ▶ パケットはLTに従って中継される



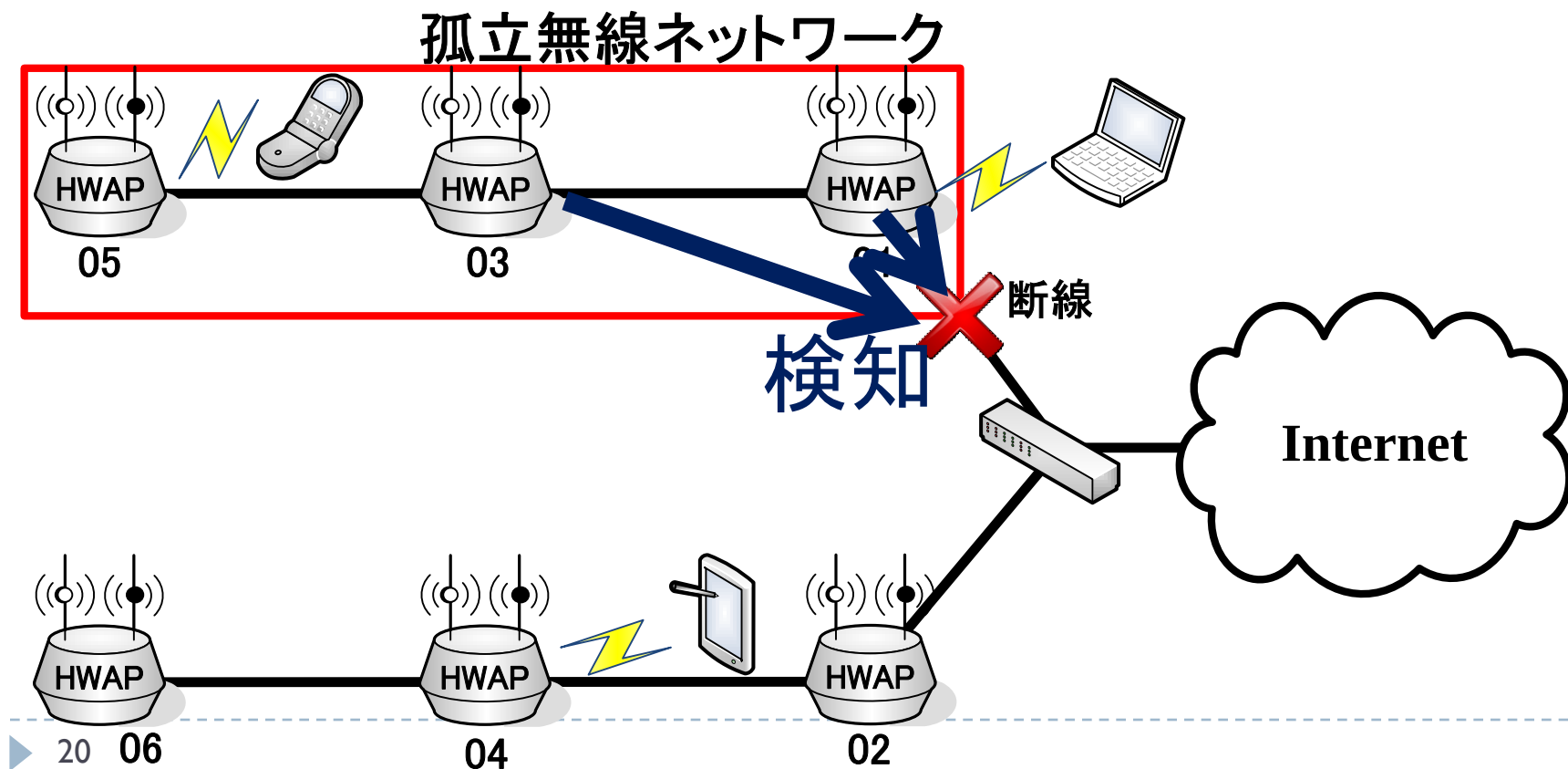
WAPL→HWAP

- ▶ 提案システムのAP(HWAP)はWAPをベースに作成する
- ▶ WAPに有線インタフェースを追加しただけでは提案システムは実現できない



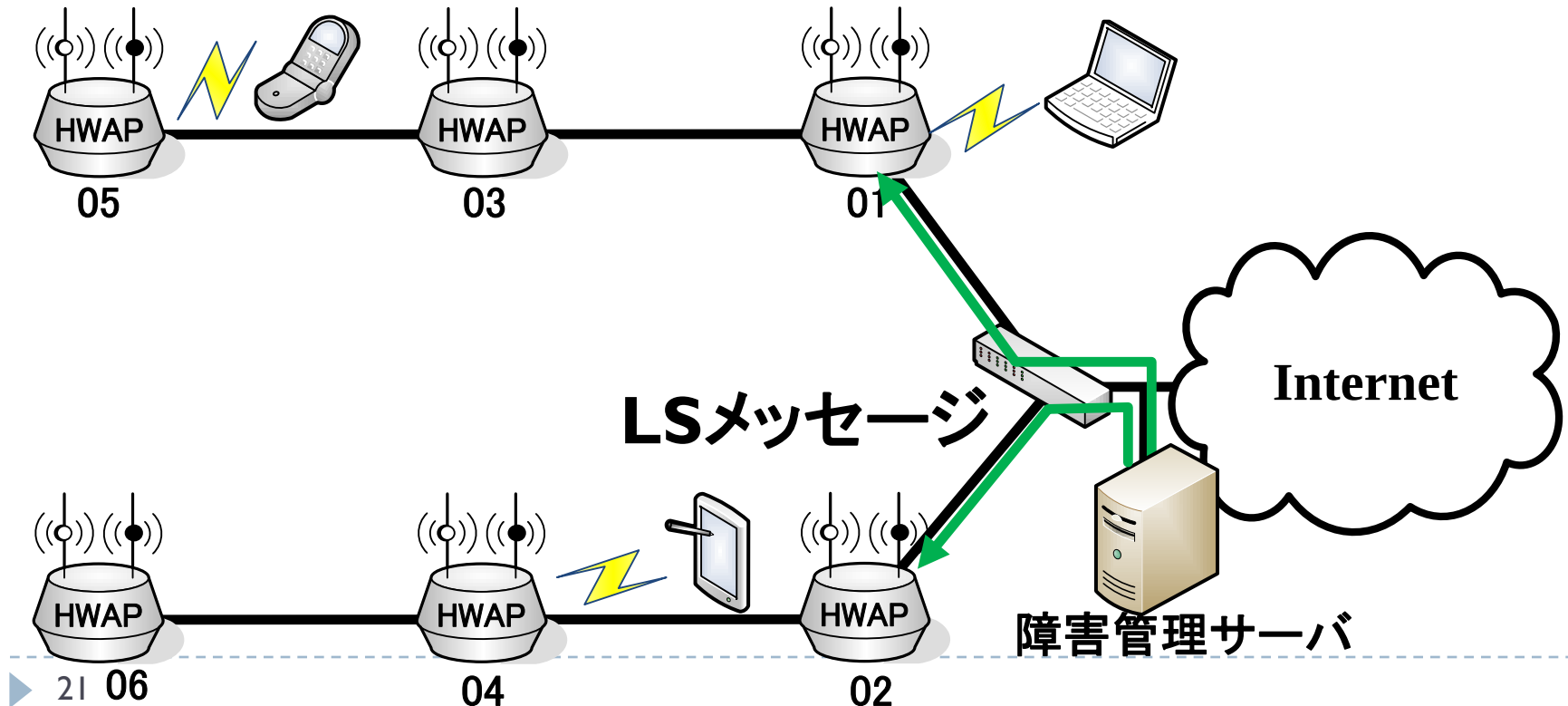
システム実現に必要な機能

- ▶ HWAPが自発的に復旧するために、HWAPが自分で、断線し孤立したことを検知する機能が必要



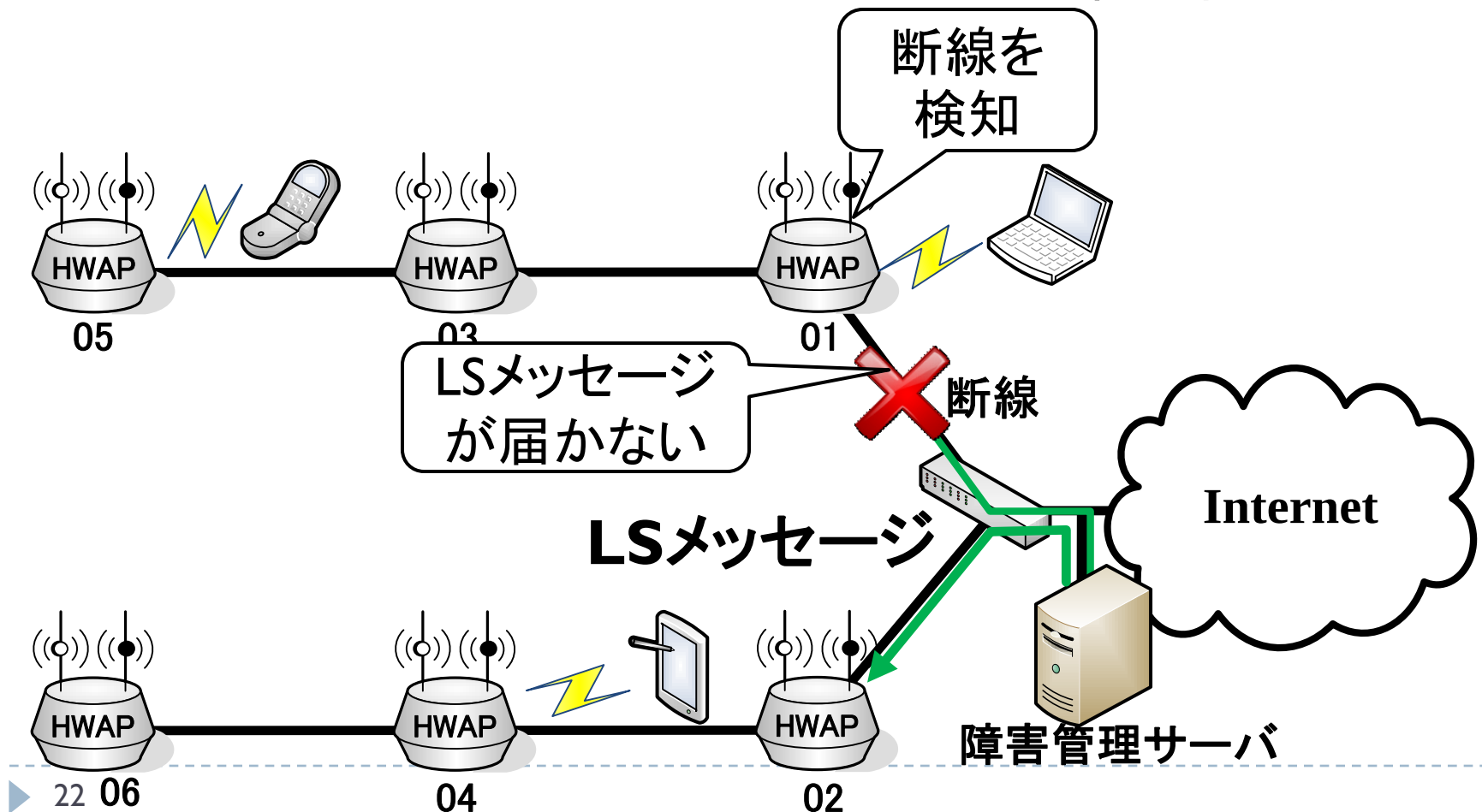
HWAPによる断線の検知

- ▶ HWAP自身が断線の検知を行うために、外部ネットワークに近い場所に障害管理サーバを設置
- ▶ サーバはHWAPに対してLS (Line State) メッセージと呼ぶパケットを送信し続ける



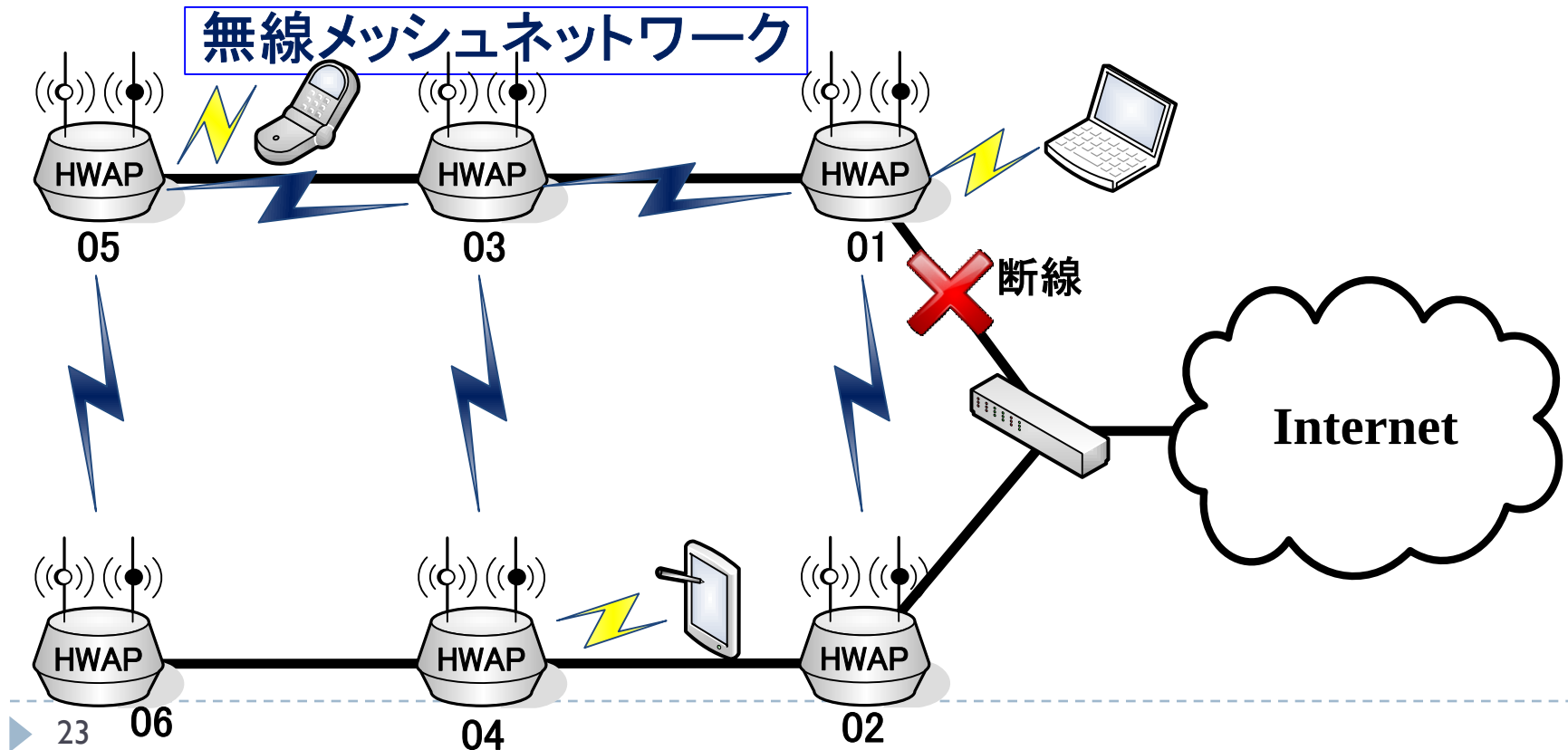
HWAPの断線の検知

- ▶ 断線するとLSメッセージが届かなくなる
- ▶ HWAPはLSメッセージのタイムアウトで断線を検知する



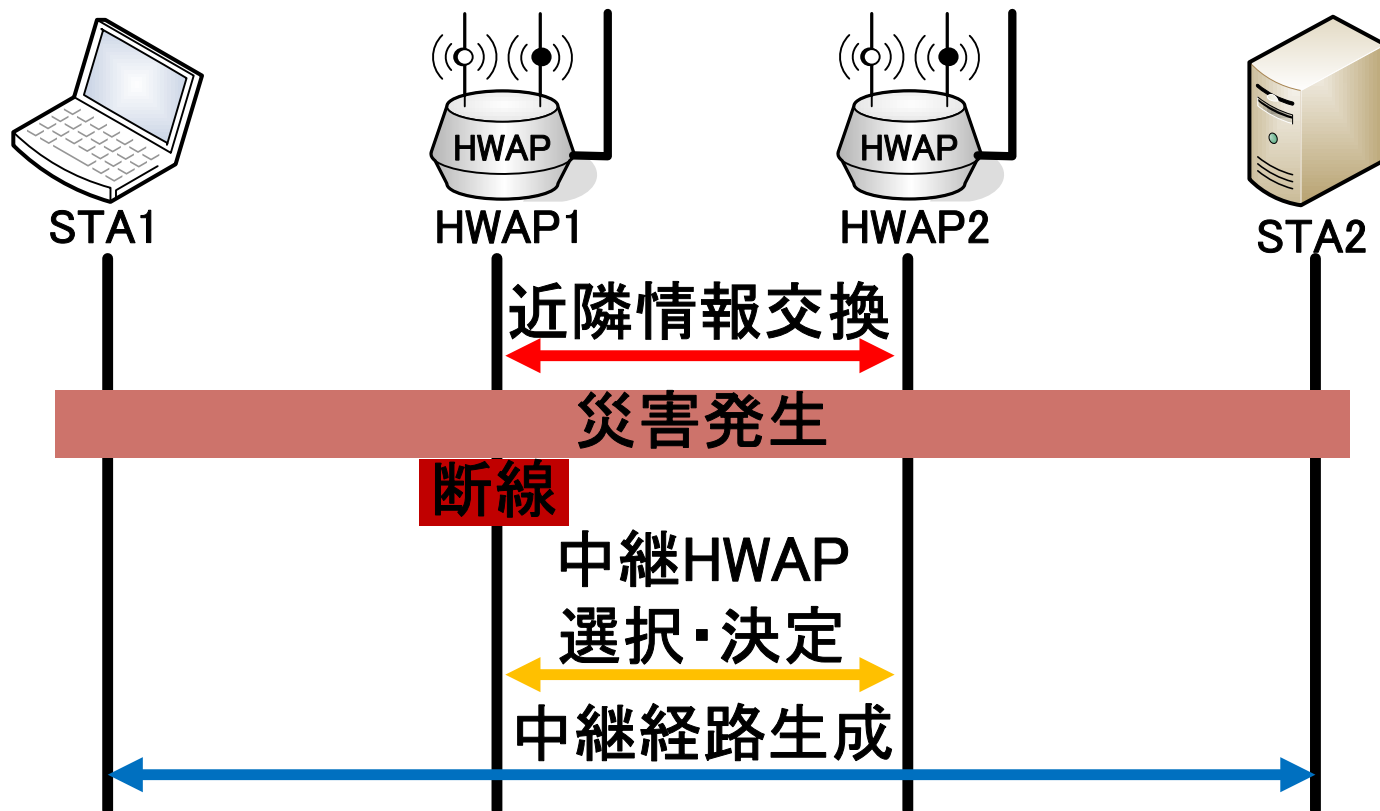
システム実現に必要な機能

- ▶ 断線を検知した後、HWAP同士が連携して無線メッシュネットワークを構築し復旧する機能が必要



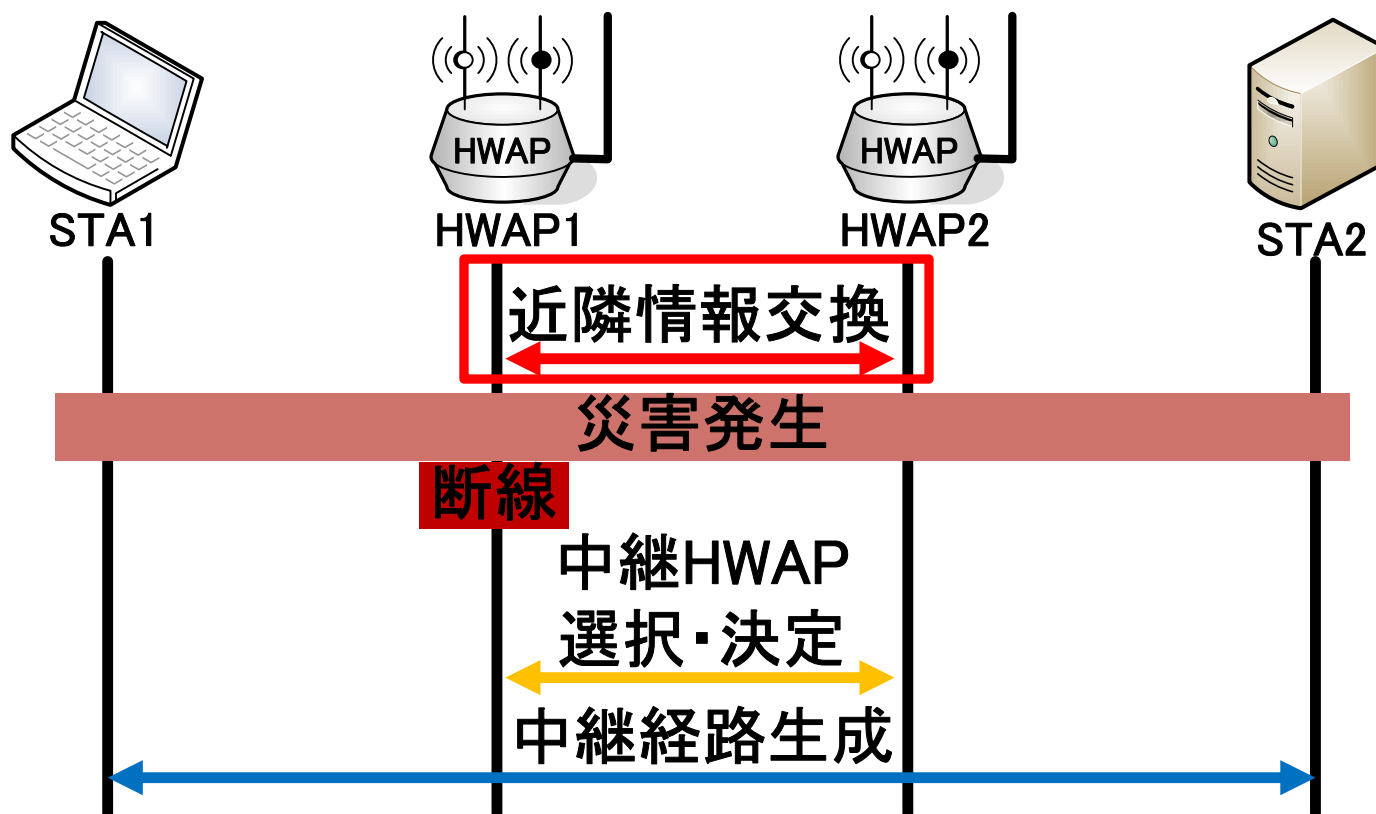
復旧方式

- ▶ メッシュネットワークの構築による復旧は3つの段階に分かれる



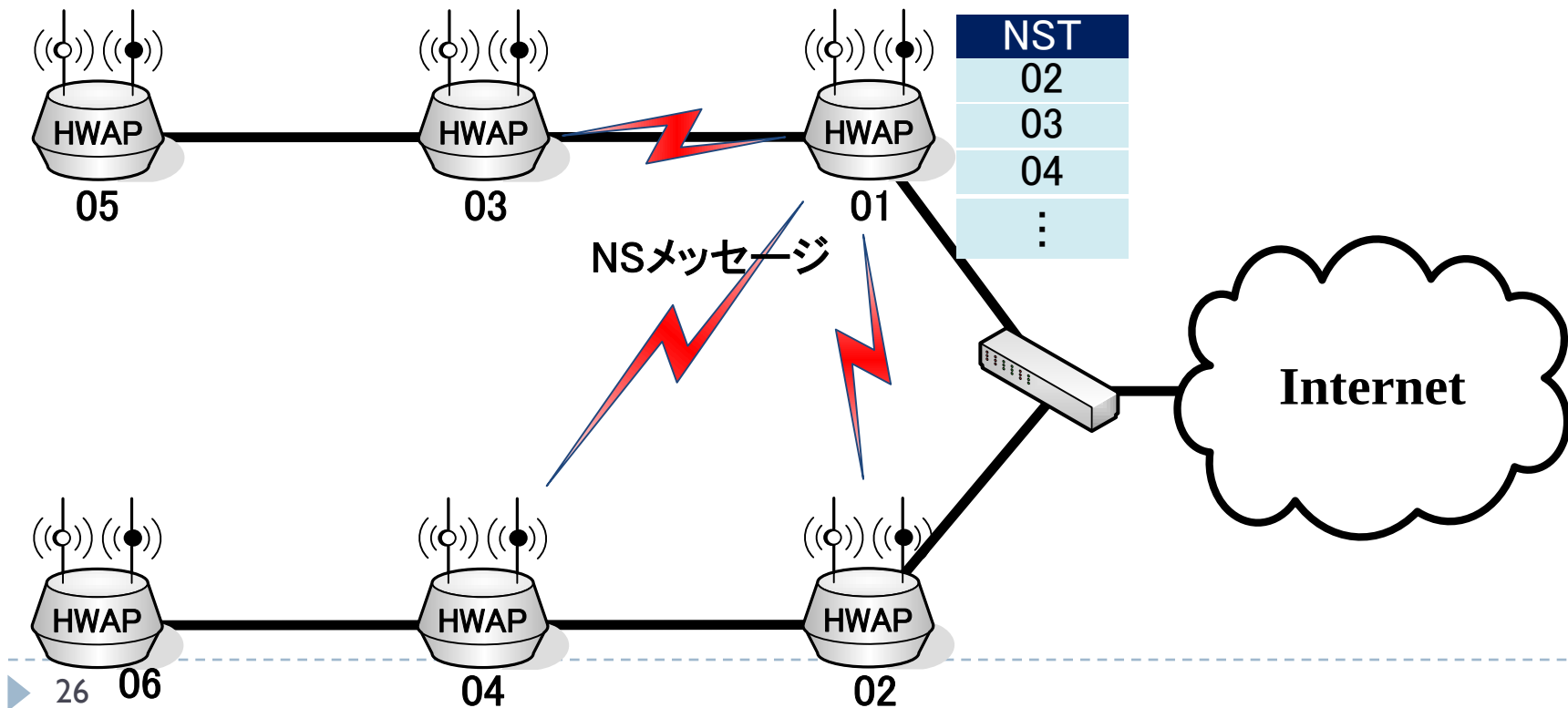
復旧方式 1.近隣情報の交換

- ▶ まずは、通常時の動作である、近隣情報の交換を行う



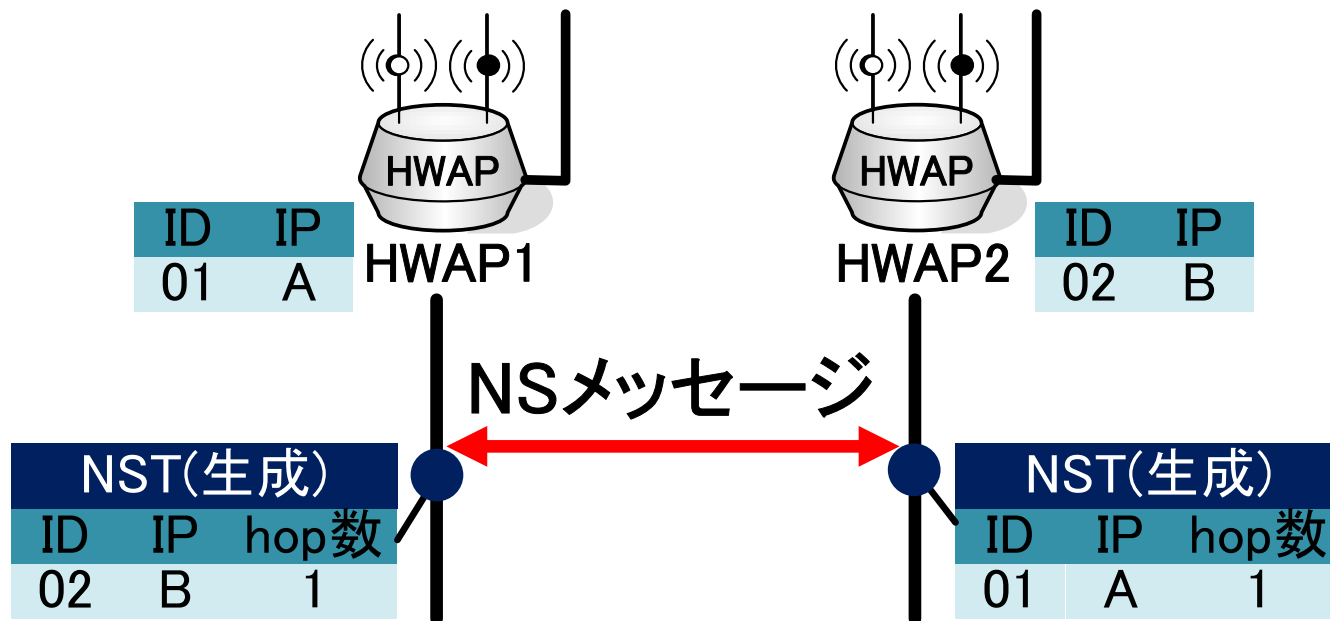
復旧方式 1.近隣情報の交換

- ▶ 近隣情報はNS(Neighbor State)メッセージと呼ぶパケットで交換する
- ▶ 交換した情報はNSテーブル(NST)と呼ぶテーブルに記録される



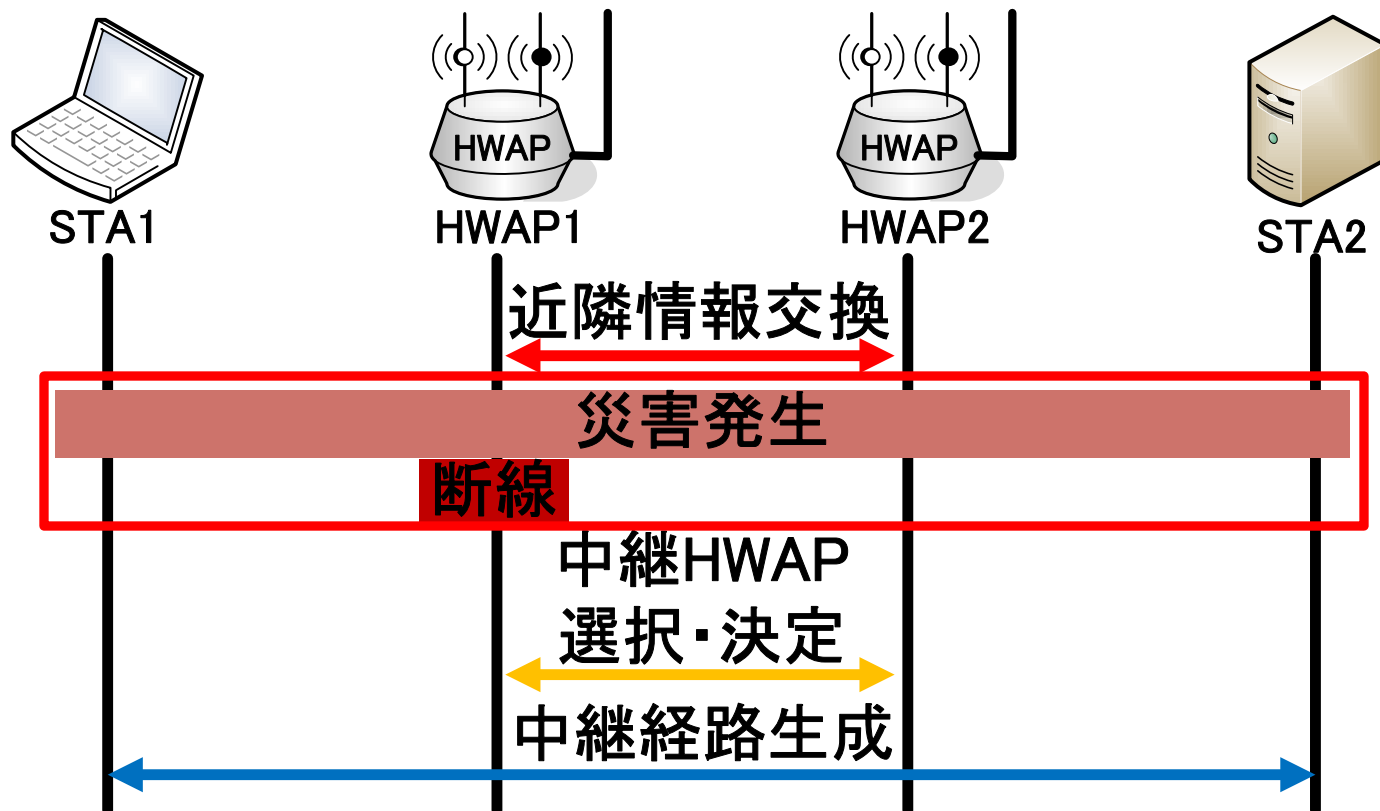
復旧方式 1.近隣情報の交換

- ▶ NSメッセージの交換で、近隣に存在するHWAPのID・IP・hop数がわかる
- ▶ NSメッセージを受信したHWAPは情報をNSTに記録する



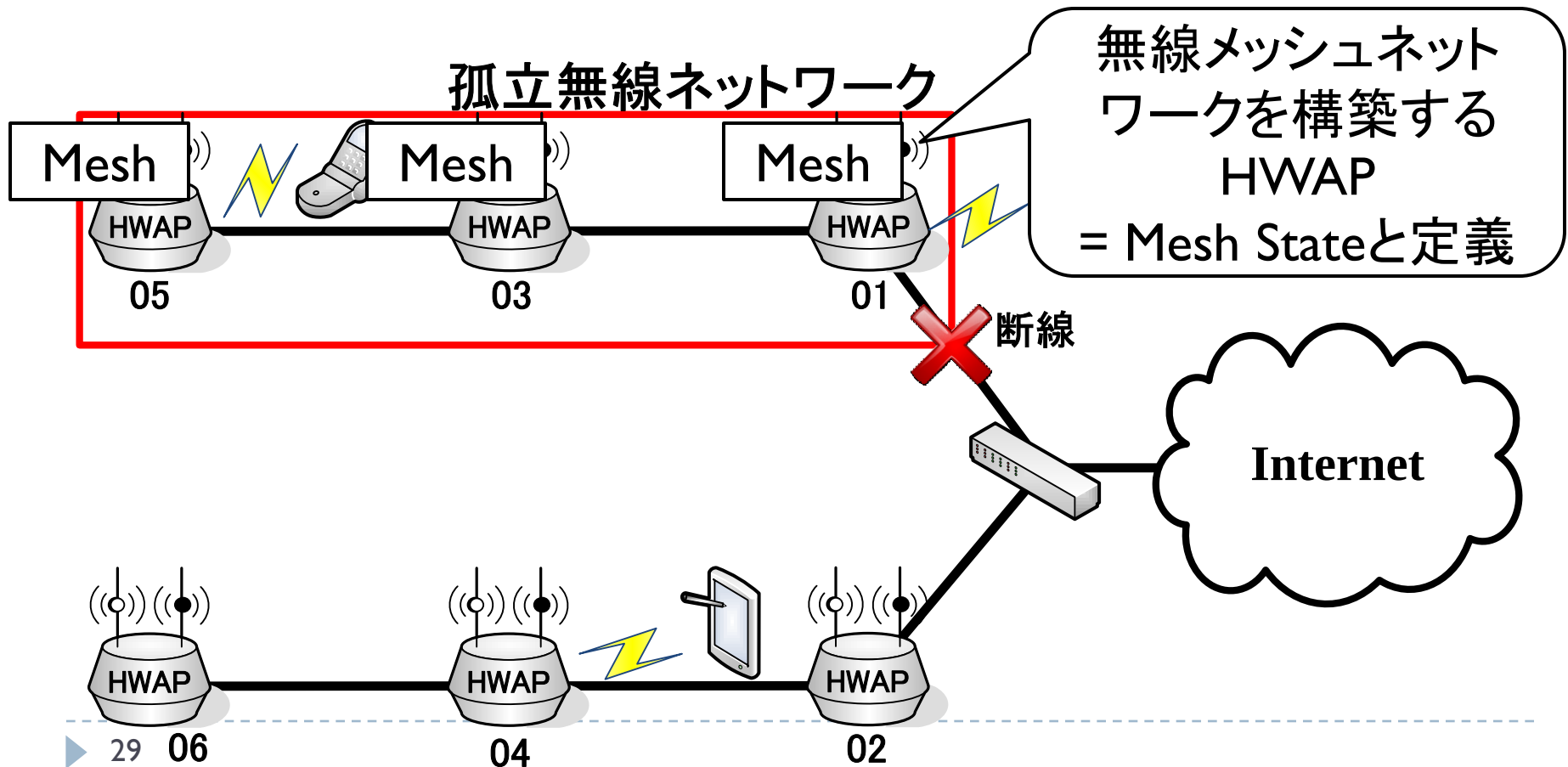
復旧方式

- ▶ 災害が発生し、断線により一部のネットワークが孤立する



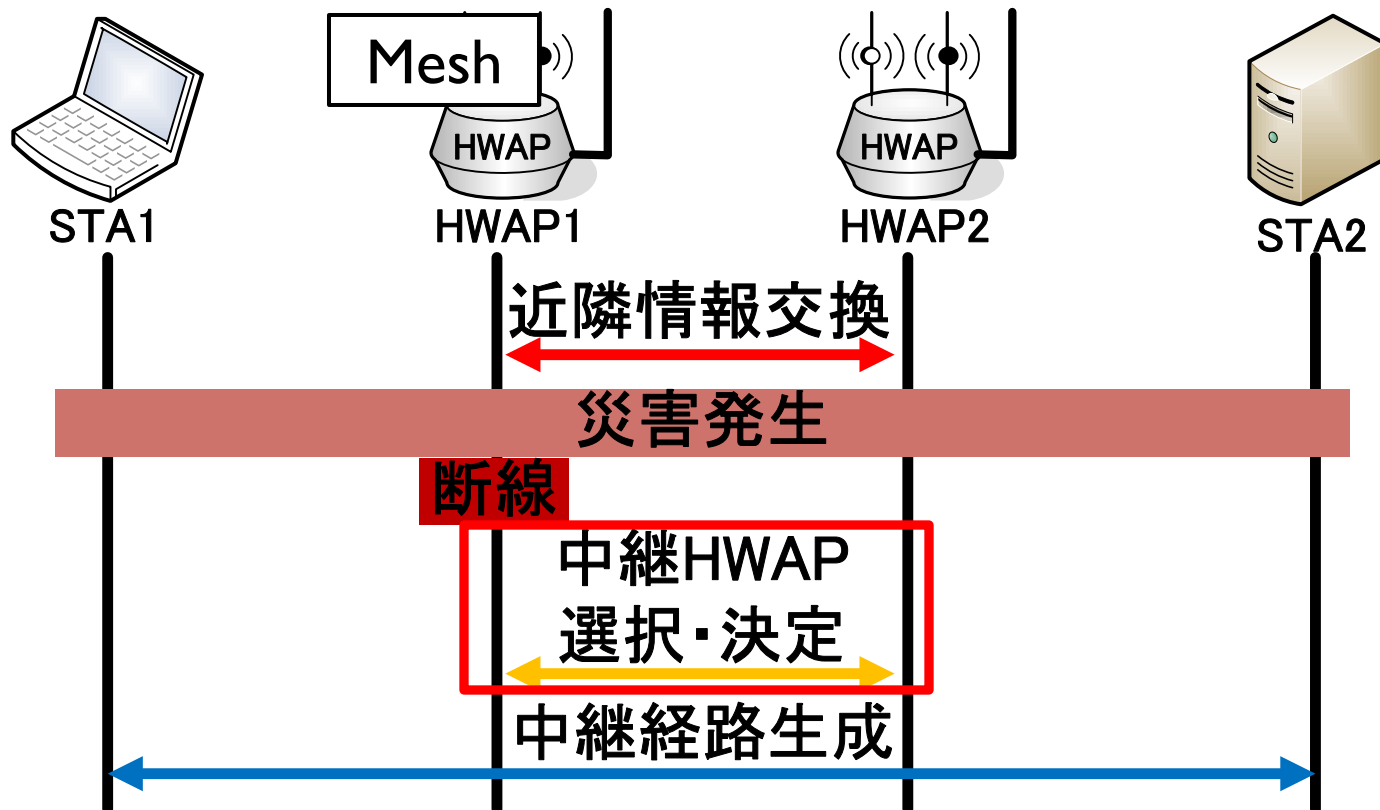
復旧方式 災害発生

- 断線によりネットワークから孤立したHWAPは、無線メッシュネットワークで新たな経路を生成しなくてはならない



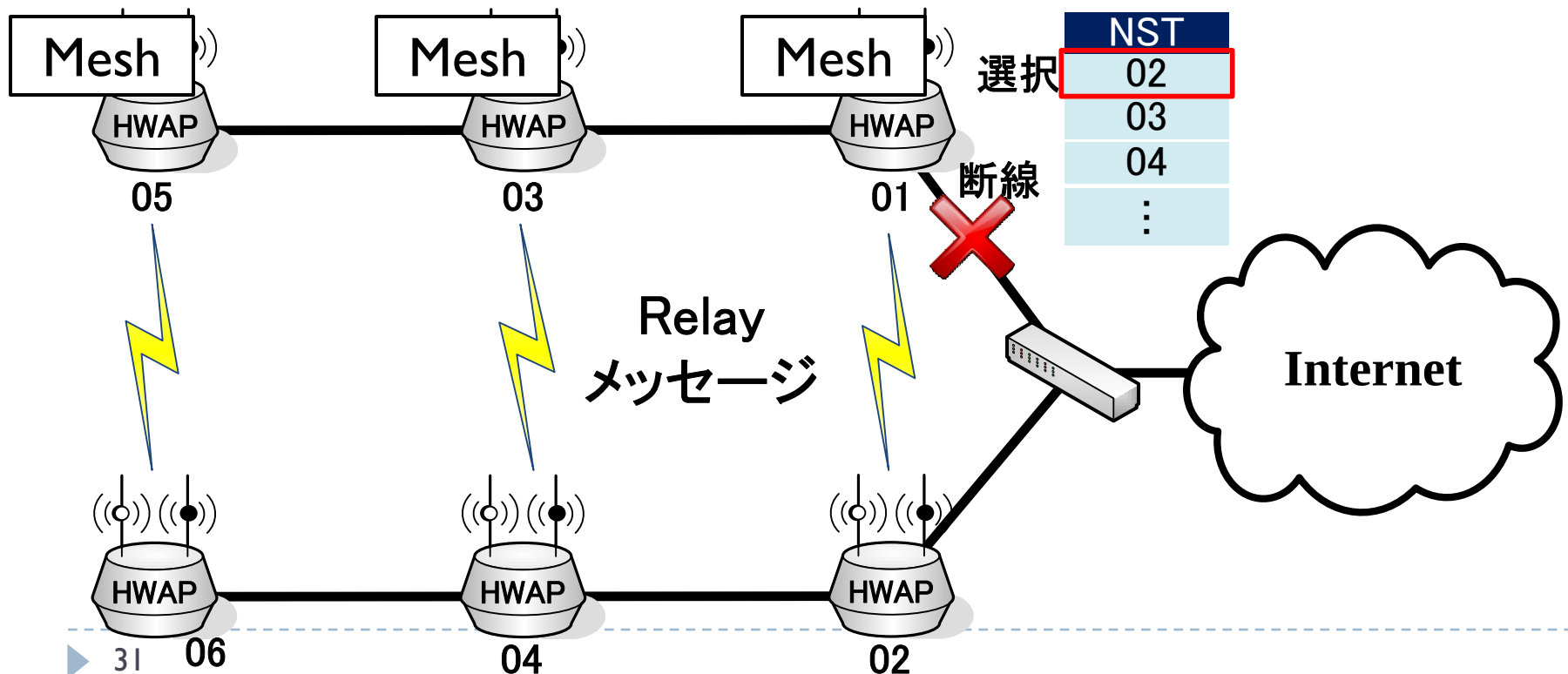
復旧方式 2.中継HWAPの選択

- ▶ 災害発生後、ネットワークから孤立したMesh Stateは無線メッシュネットワークを構築する準備として、パケットを中継してもらうHWAPを選択する



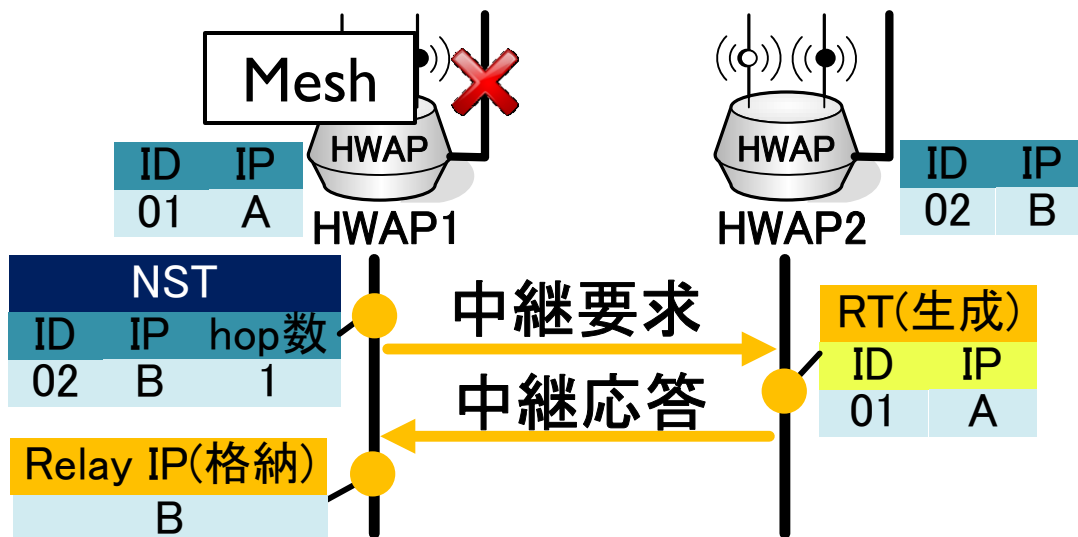
復旧方式 2.中継HWAPの選択

- ▶ Mesh StateはNSテーブルから最適なHWAPを選び、Relayメッセージと呼ぶパケットを交換し、中継処理を行う
- ▶ 最適なHWAPの選択基準としてhop数が最も小さいHWAPを選択する



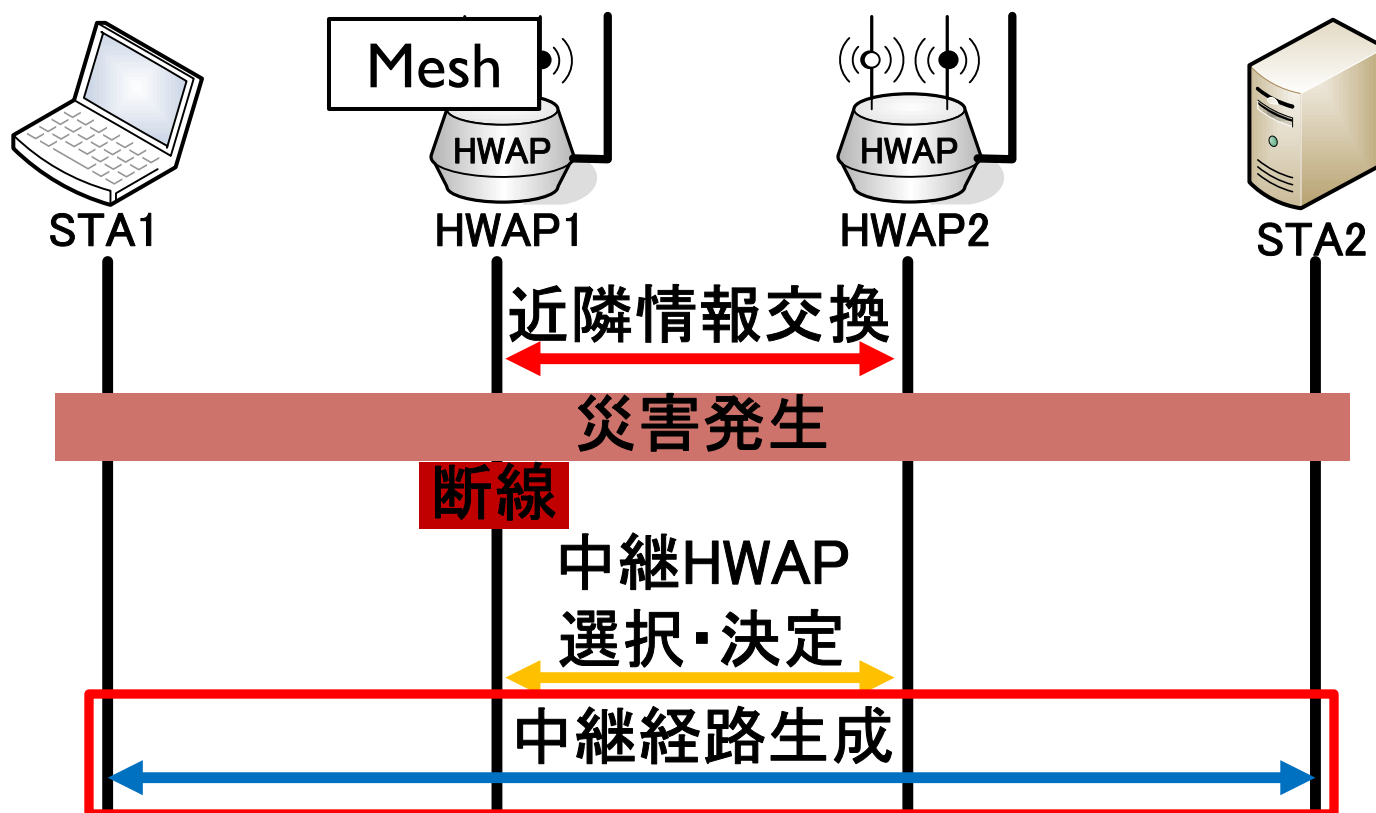
復旧方式 2.中継HWAPの選択 Relayメッセージ

- ▶ NSTから選んだ最適なHWAPに対して中継要求を送信する
- ▶ 中継要求を受信したHWAPが健康(有線で外部に接続できるHWAP)ならば、Relayテーブル(RT)を作成し、中継応答を返信する
- ▶ 中継応答を受信したHWAPはRelayIPに中継応答の送信元IPを格納する



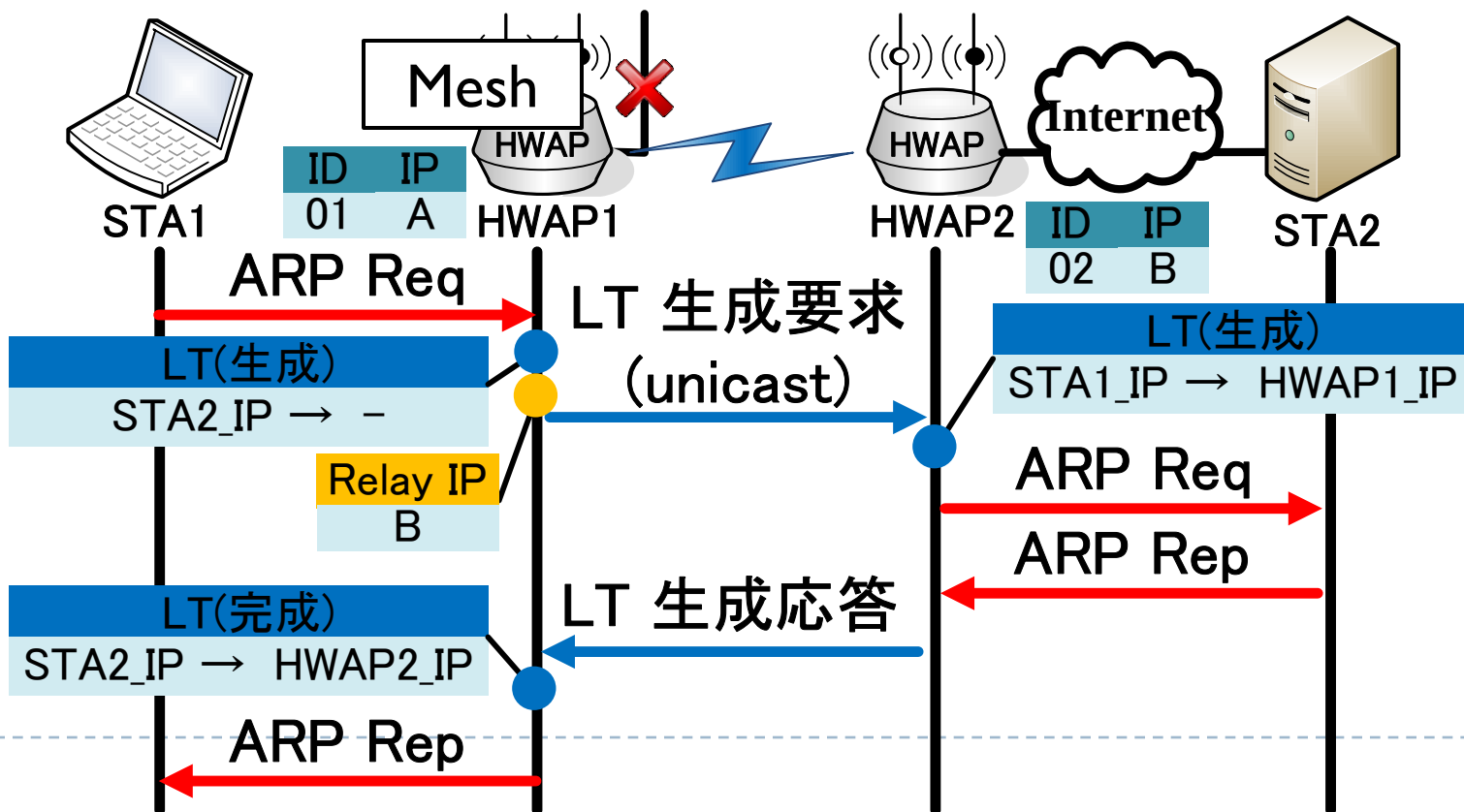
復旧方式 3.中継経路の生成

- ▶ 最後に、中継経路の生成に入る



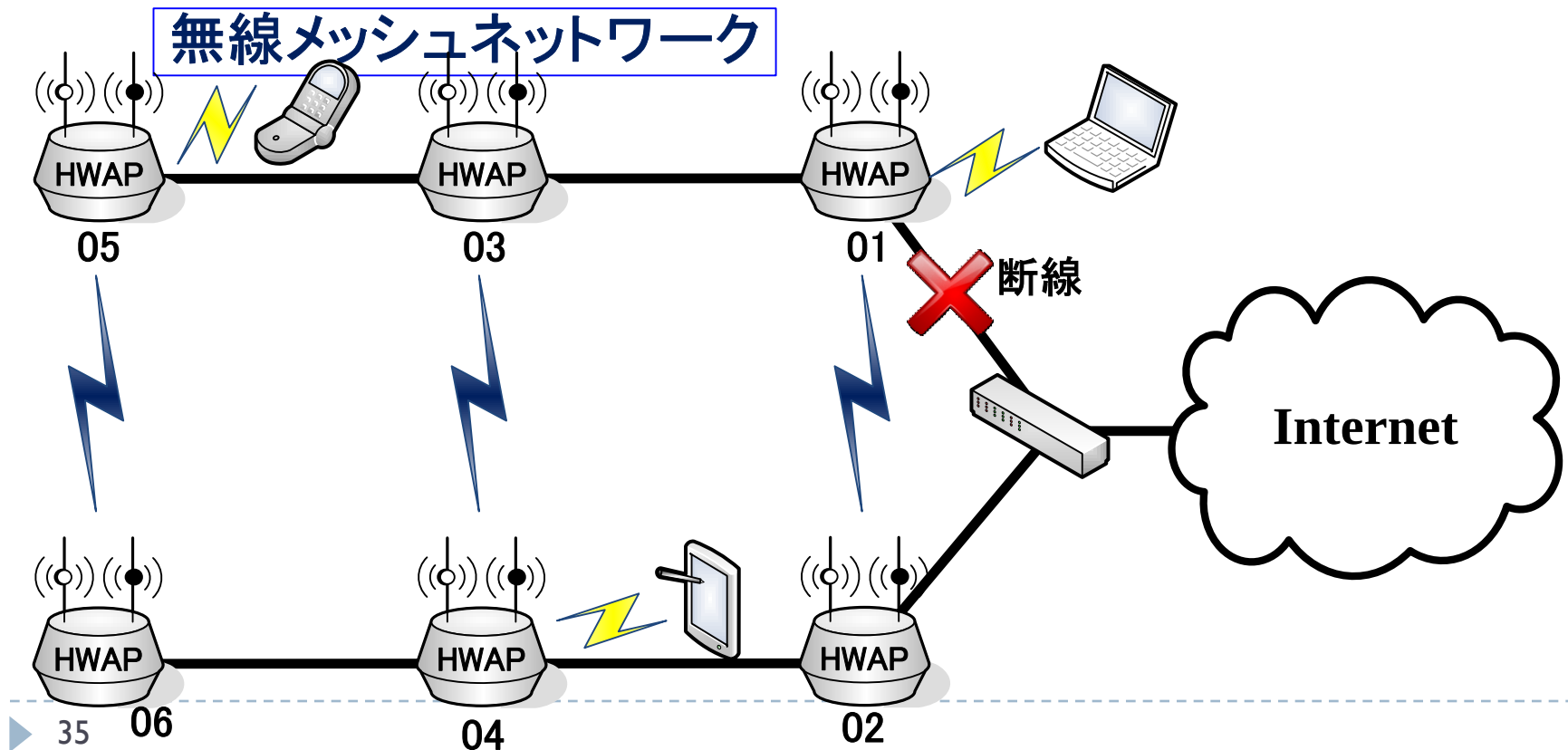
復旧方式 3.中継経路生成

- ▶ 中継経路の生成はWAPLと同様、オンデマンドで行う
- ▶ Mesh Stateの配下端末が通信開始時に送信するパケットの宛先が、外部ネットワークの時にLT生成要求をRelay IPのみに送信することで、最適な中継HWAPへの経路が生成できる



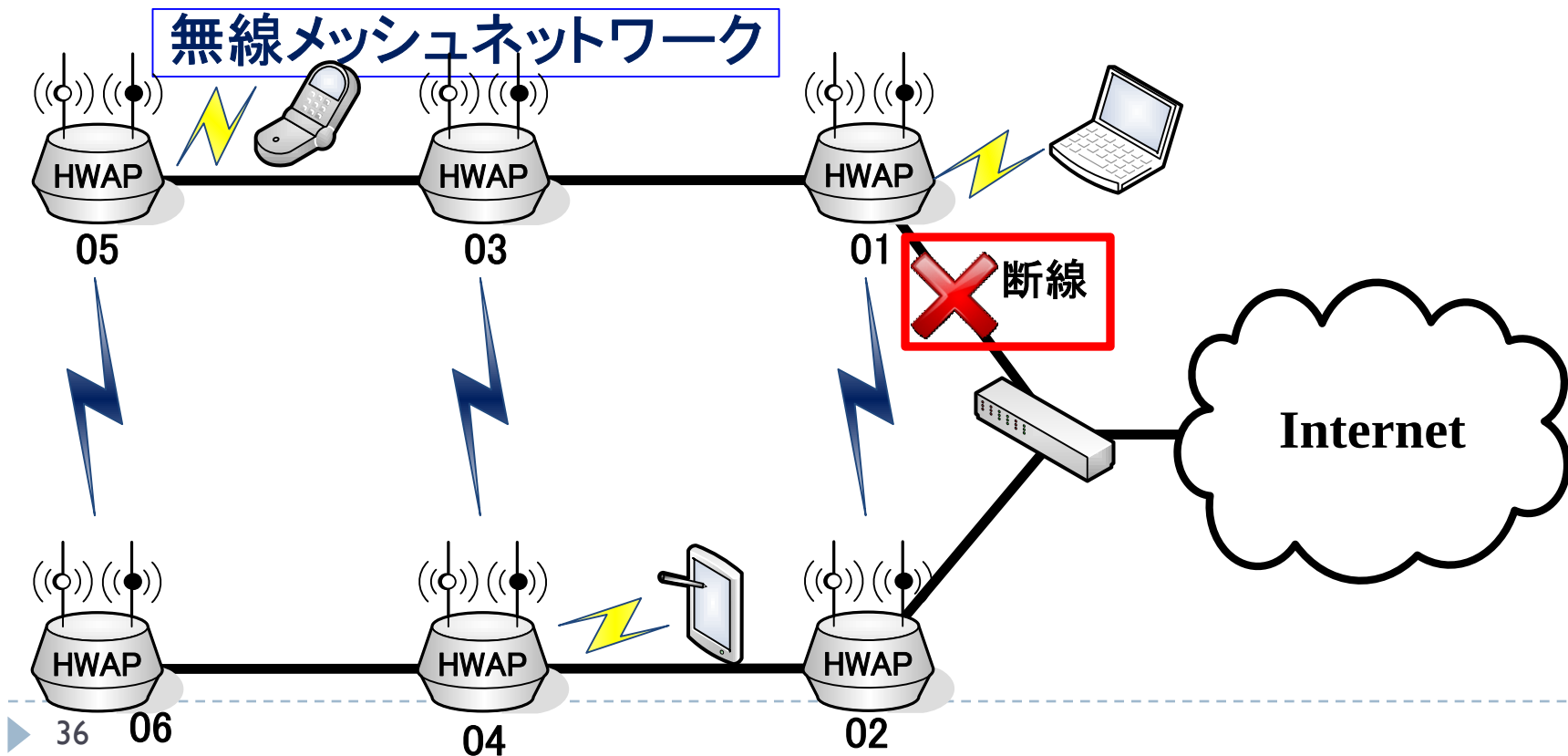
復旧方式

- ▶ HWAP間の無線メッシュネットワークで新たな経路を作成し、外部ネットワークとの接続を復旧した



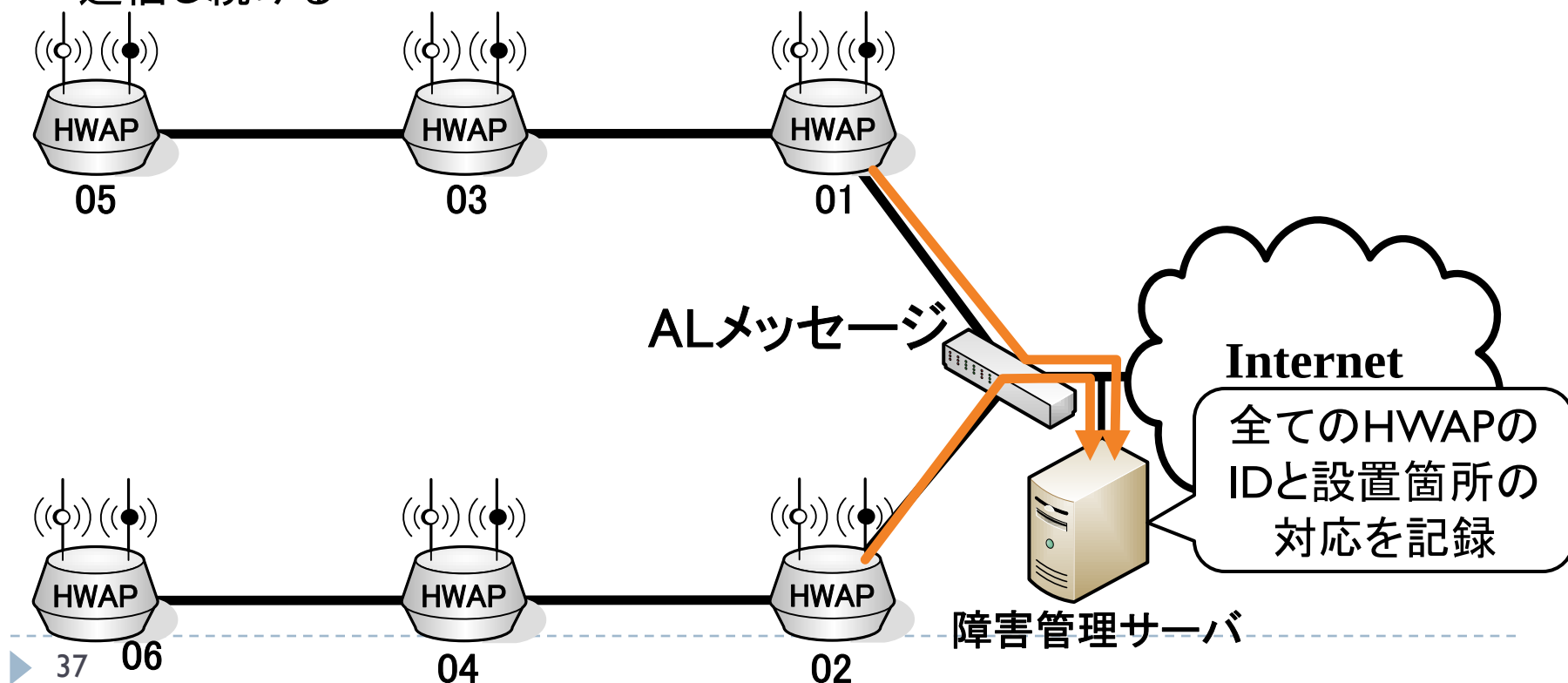
復旧方式

- ▶ しかし、無線メッシュネットワークはまだ不安定。被災から時間がたつにつれ、通信速度の面で不満が出てくる
→少しでも速く有線のネットワークを修復が必要



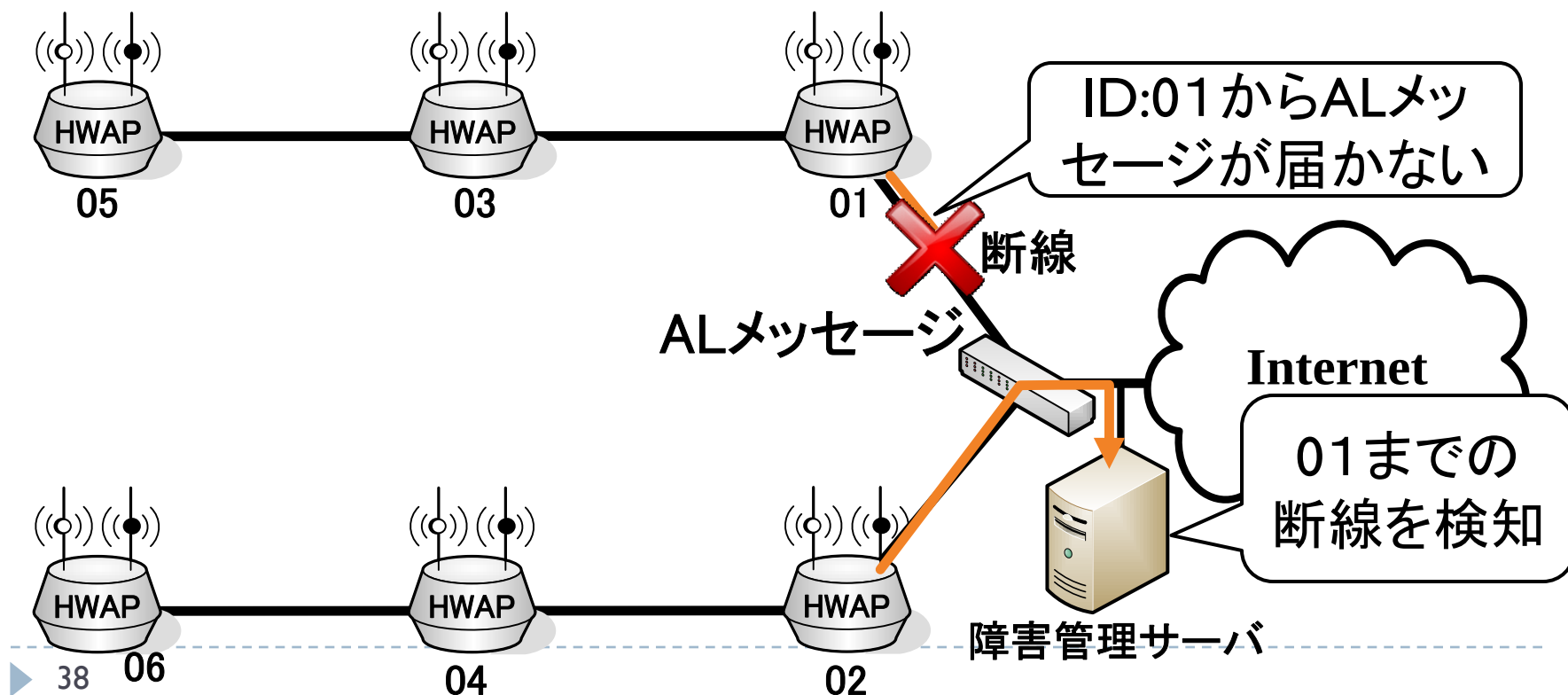
障害管理サーバによる断線検知

- ▶ 有線の断線箇所を特定するために障害管理サーバを使う
- ▶ 障害管理サーバにはHWAPのIDと設置箇所の対応が記録されているとする
- ▶ 全てのHWAPはサーバに対してAL (AP Living)メッセージと呼ぶパケットを送信し続ける



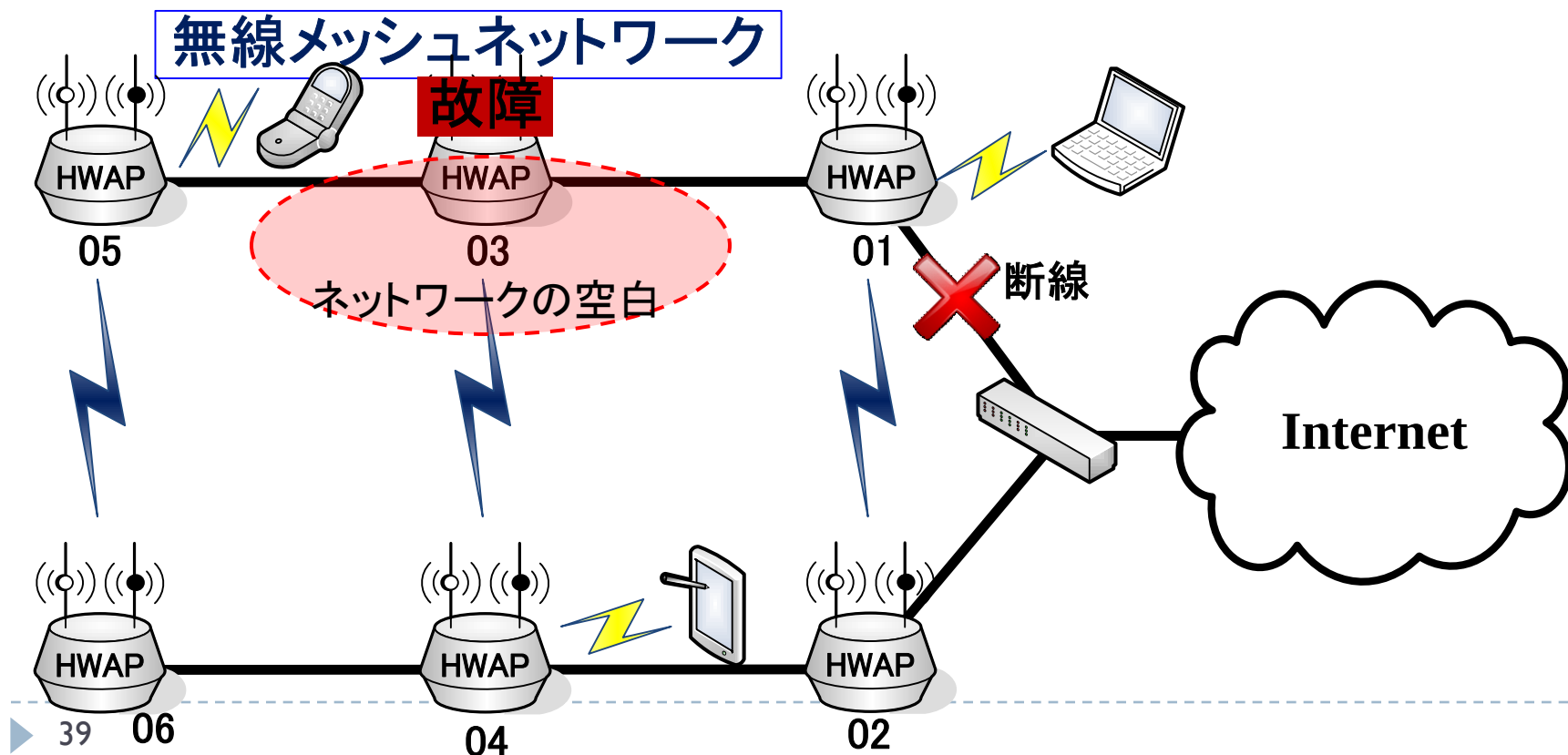
障害管理サーバによる断線検知

- ▶ 断線するとALメッセージが届かなくなる
- ▶ サーバはALメッセージのタイムアウトで断線を検知する
- ▶ HWAPのIDと設置箇所の情報に対応させれば、断線箇所の特定ができる



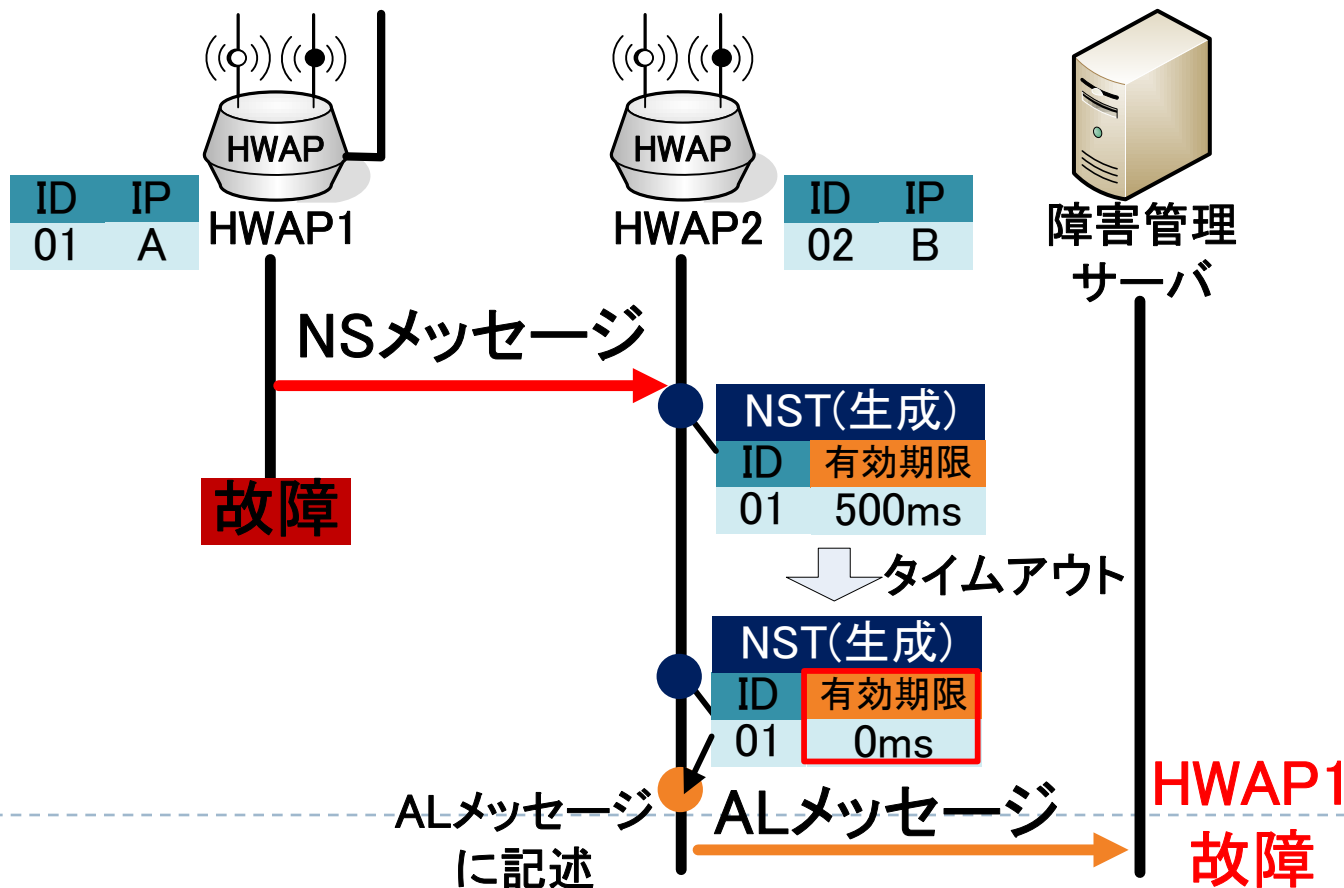
復旧方式 HWAP自体の故障

- ▶ しかし、この復旧方式では、HWAP自体の故障に対応できない
- ▶ HWAP自体が故障すれば無線ネットワークに空白ができてしまう
→HWAP自体の故障も検知する必要がある



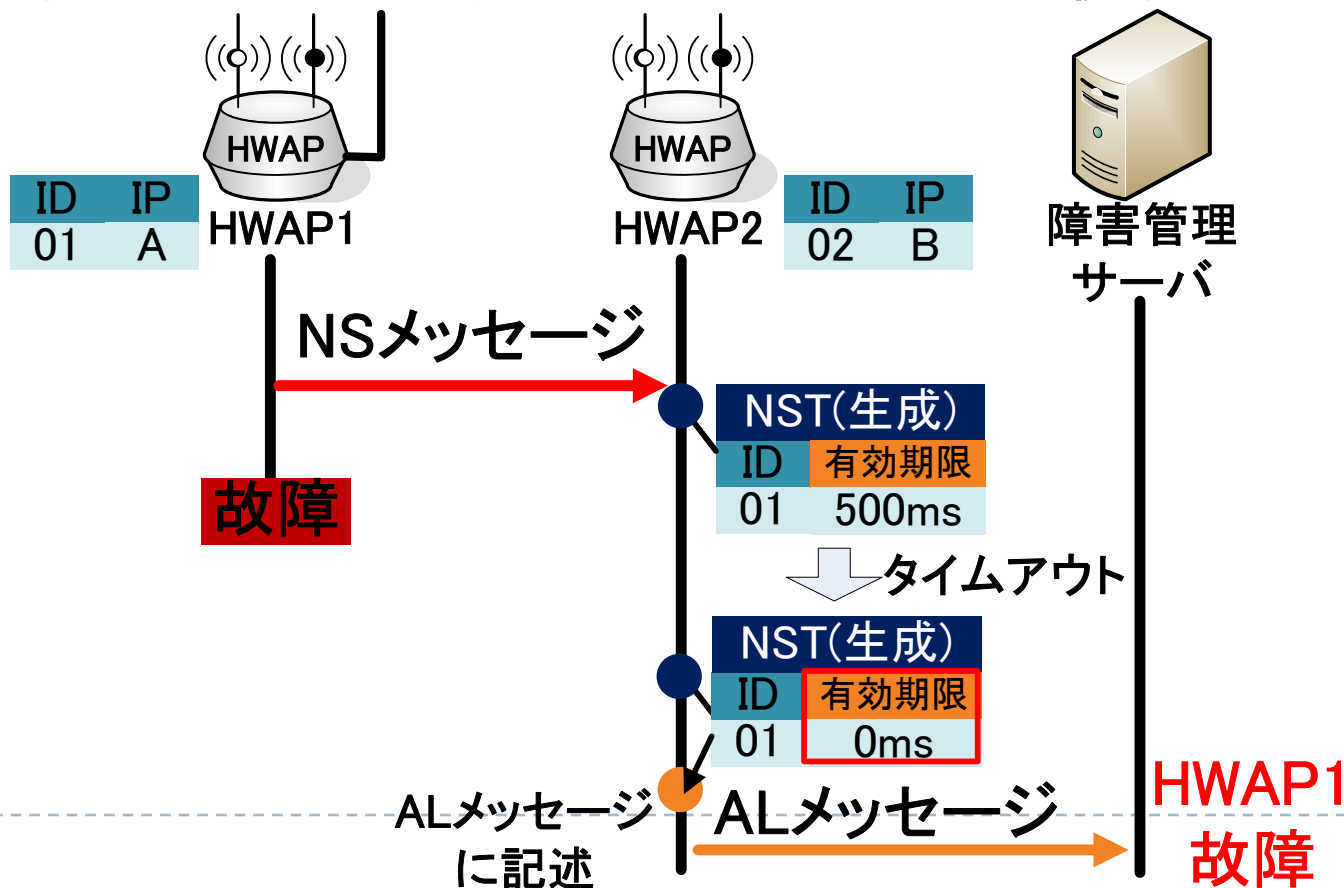
HWAP自体の故障の特定 有効期限の追加

- ▶ HWAP自体の故障の検知には、近隣情報の取得に使っていたNSメッセージとNSTテーブルを使う
- ▶ 故障の検知のために、NSTに有効期限を追加する



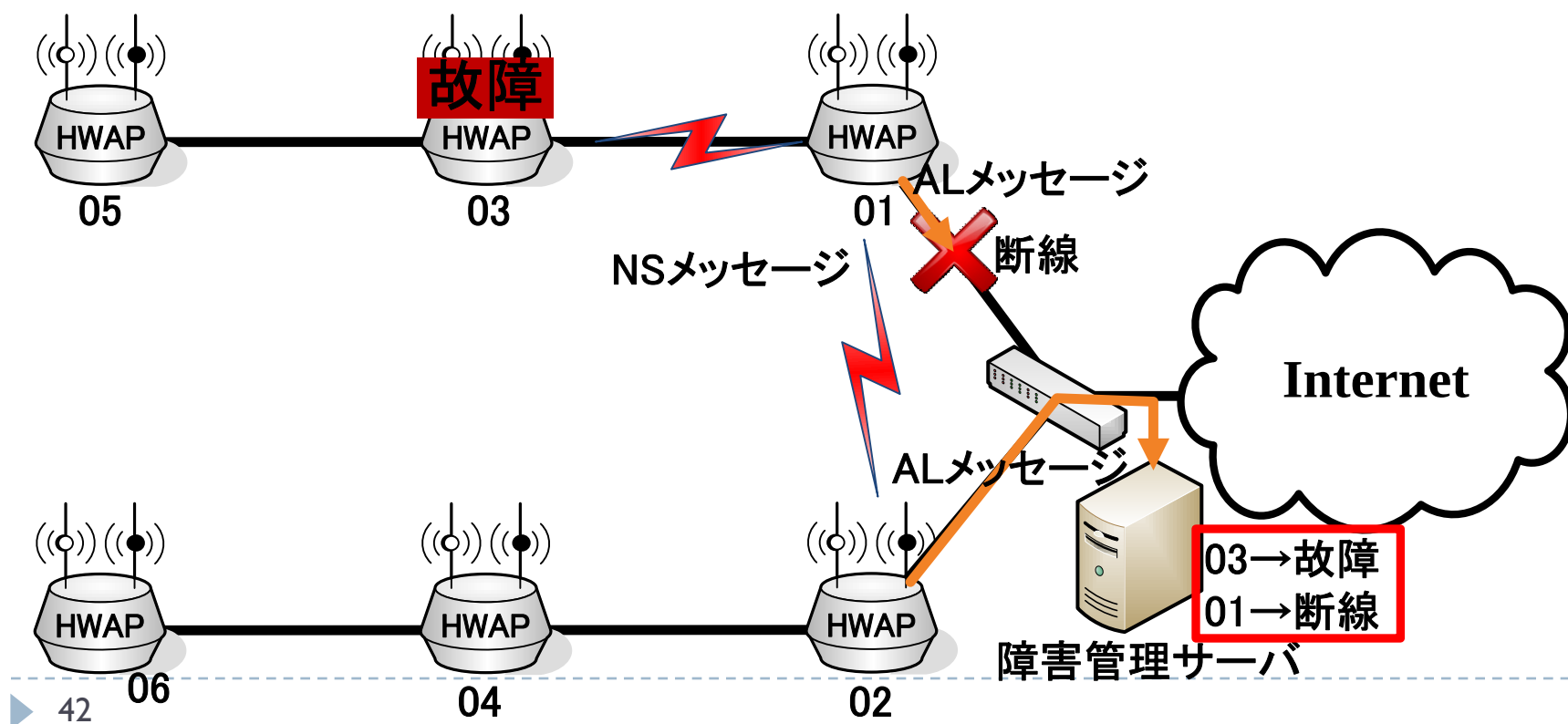
HWAP自体の故障の特定

- ▶ 故障したHWAPからは、NSメッセージが途切れる
- ▶ 有効期限が0になったHWAP = 故障 と判定する
- ▶ 障害管理サーバへの通知はALメッセージを使う



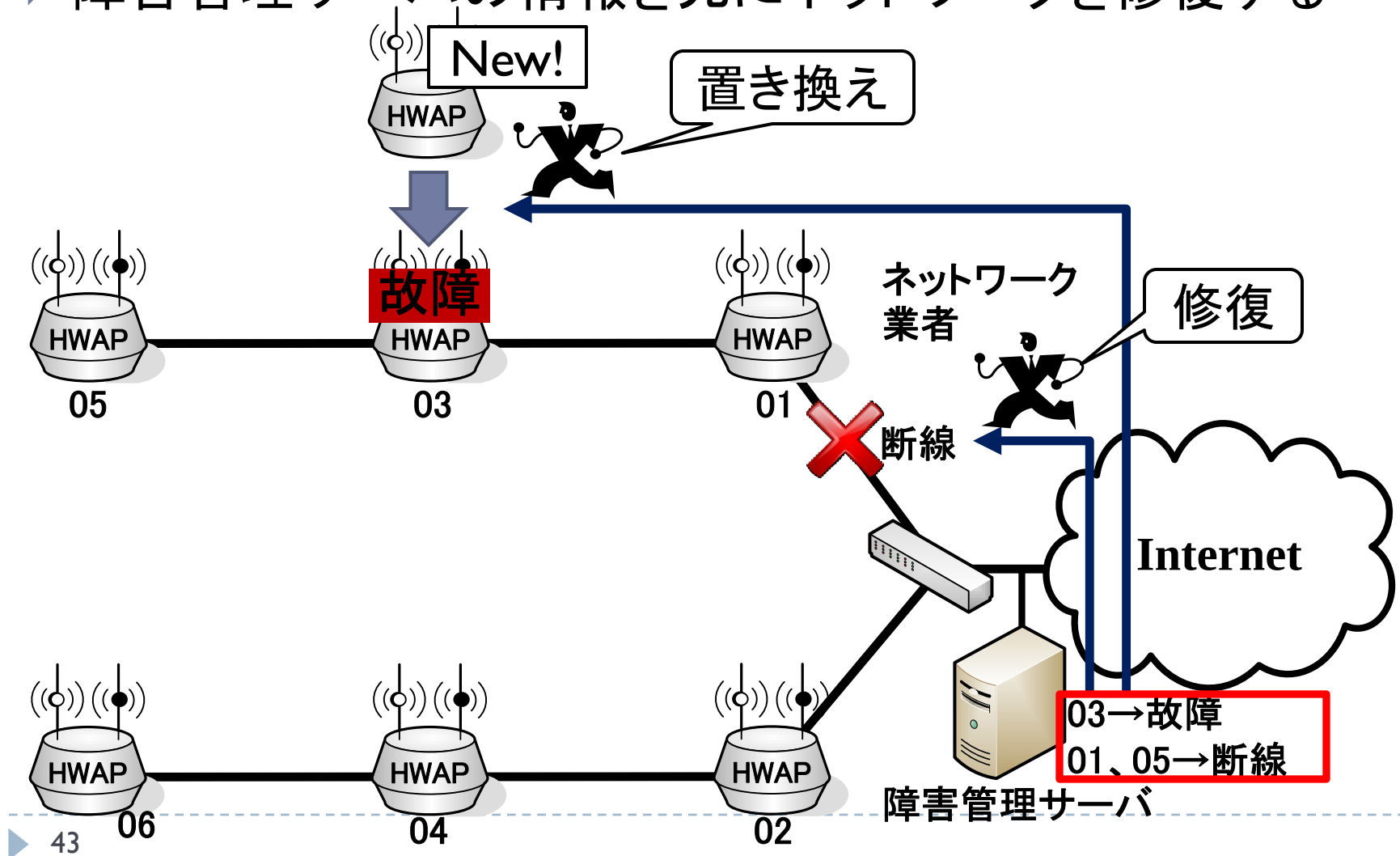
障害検知

- ▶ HWAPと障害管理サーバにより断線とHWAPの故障が同時に起きても、断線箇所と故障したHWAPを特定できる



障害検知→修復

- ▶ 障害管理サーバの情報を元にネットワークを修復する



むすび

提案

- ▶ HWAPによる公衆無線LANの復旧
- ▶ 障害管理サーバによる断線箇所と、故障したHWAPの特定

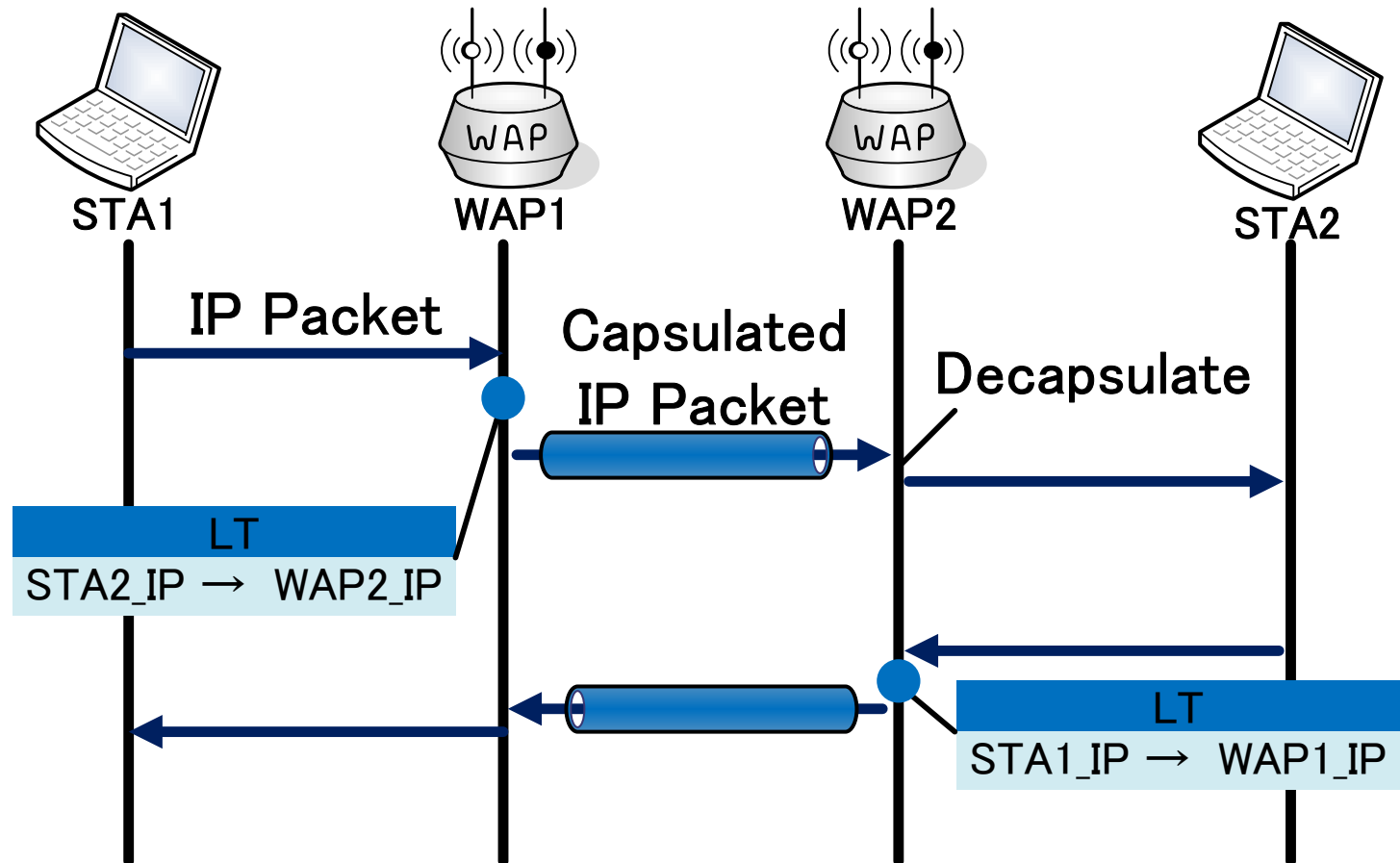
今後

- ▶ 実装と検討

補足

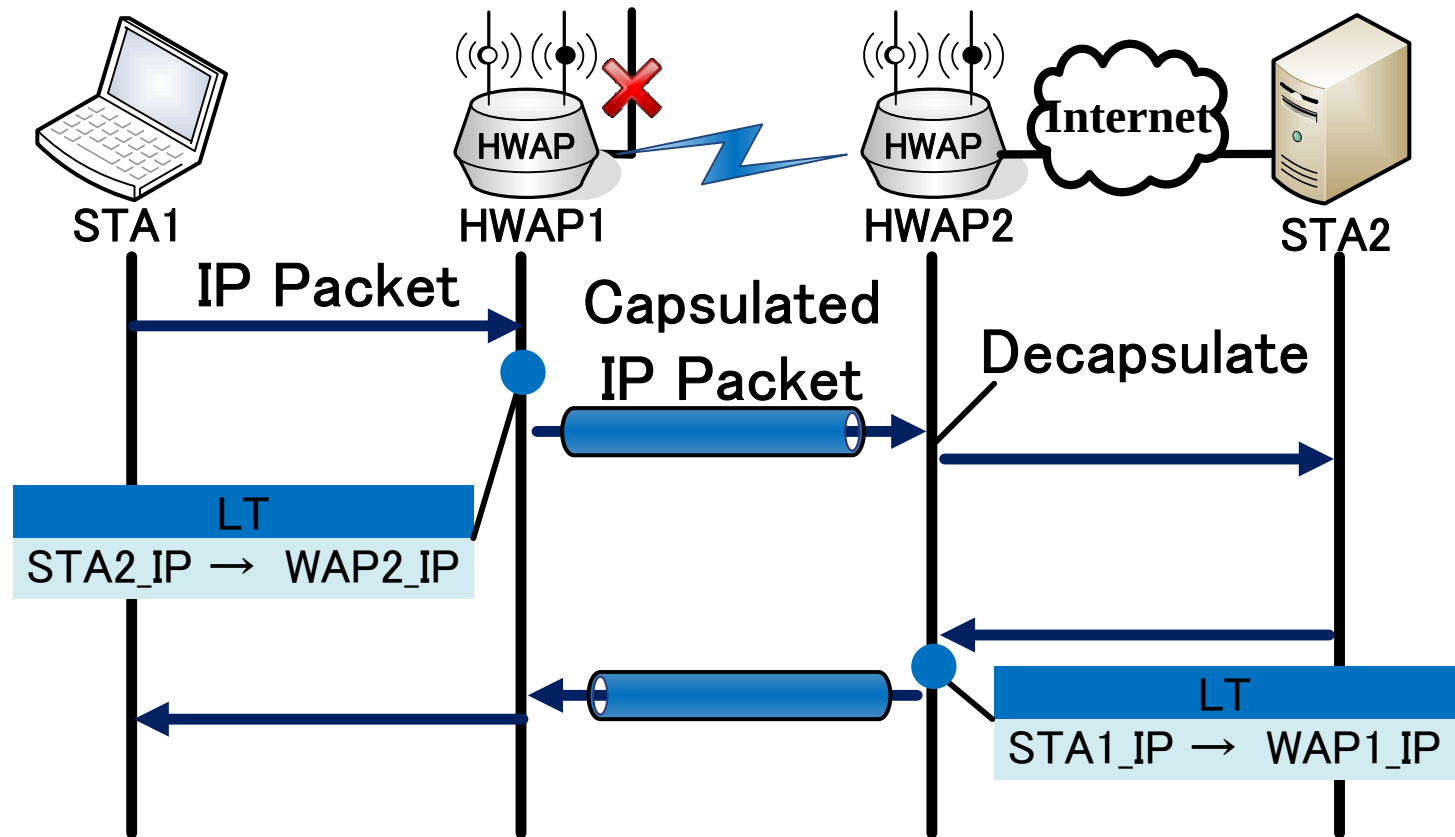
WAPLのIPパケットの中継

- ▶ WAP間のIPパケットの中継は、LTに従って、パケットをIPレベルでカプセル化して伝送



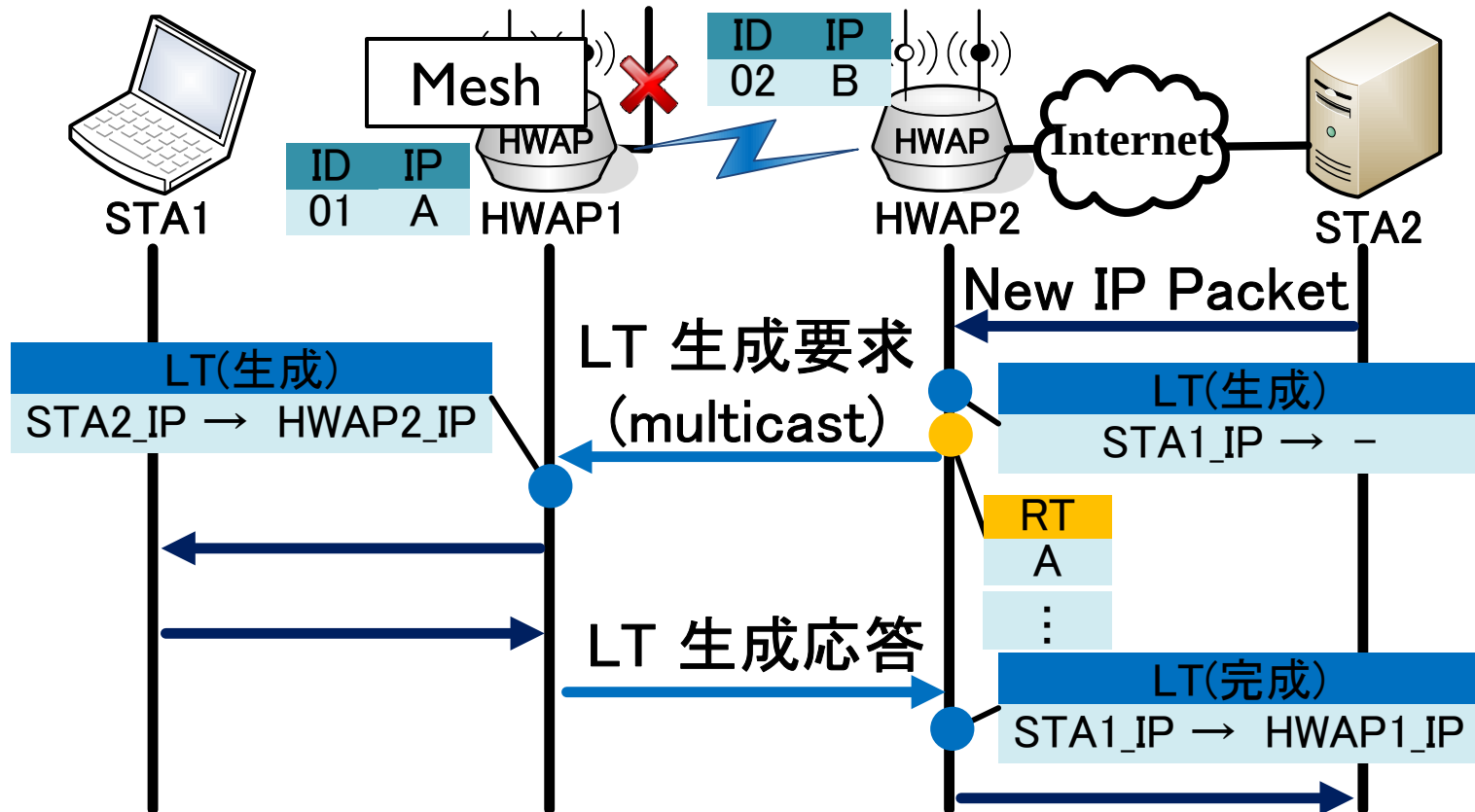
復旧方式 4.IPパケットの中継

- ▶ その後のIPパケットの中継にはWAPLと同様、LTに従って行う



復旧方式 3.中継経路生成 外部→内部

- ▶ 反対に、外部からのARPをトリガにする場合は、RTに存在するHWAP(Mesh)全てにLT生成要求を送信する



評価

- ▶ 臨時インフラ型を利用する際は既に従来のAPシステムが構築されていることを想定
- ▶ コストは3方式で機材の価格が同じと仮定

	常時インフラ型	臨時インフラ型	提案システム
復旧速度	◎	△	◎
通常時の安定度	△	○	◎
コスト	◎	△	○

- ▶ 提案は、バランスがとれたシステムとなっている

ヘルスチェックのために 状態

- ▶ 状態はHWAP近隣の故障状況の把握に使う
- ▶ ここで、MeshとなったHWAP1はNSメッセージを自ら送信することとはなくなるが、他のHWAPが送信したNSメッセージを中継するようになる
- ▶ 状態: NSメッセージの送信元→AP(健康) 追記されたID→Mesh

