

## 次世代自営系無線システムにおける拠点間冗長切替方式

松本 謙尚<sup>†</sup> 三村 和<sup>†</sup> 渡部 誠<sup>‡</sup> 西山 英俊<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> (株) 日立製作所 中央研究所 〒185-8601 東京都国分寺市東恋ヶ窪 1-280

<sup>‡</sup> (株) 日立国際電気 通信事業部 〒187-8511 東京都小平市御幸町 32

E-mail: <sup>†</sup> {norihisa.matsumoto.dw, nodoka.mimura.tj}@hitachi.com,

<sup>‡</sup> {watanabe.makoto3, nishiyama.hidetoshi}@h-kokusai.com

あらまし 筆者等が研究開発中の次世代自営系無線システムでは複数のサーバ装置が連携して通信制御を行う。防災・減災用途向けの高い耐障害性を備えるため、拠点内の全装置が被災しても遠隔拠点の装置で通信制御アプリケーションを継続実行する拠点間冗長切替方式を検討した。要件として、サブネットを跨る切替の実現、パケット転送先を切り替える中継装置の排除を挙げ、アプリケーション間のパケット配送方式3案を比較した。その結果、アプリケーション毎の改造工数の点で有利な、アプリケーションが仮想IPアドレスを使用し装置間をIPトンネルで接続する方式を採用した。今後試作を行い、機能評価、性能評価を行う。

キーワード 自営系無線, 防災, 冗長切替, 仮想アドレス

## Remote Site Failover in Next Generation Private Network System

Norihisa MATSUMOTO<sup>†</sup> Nodoka MIMURA<sup>†</sup> Makoto WATANABE<sup>‡</sup> and  
Hidetoshi NISHIYAMA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd. 1-280, Higashi-koigakubo, Kokubunji-shi, Tokyo, 185-8601, Japan

<sup>‡</sup> Wireless Communication Systems Division, Hitachi Kokusai Electric Inc.

32, Miyuki-cho, Kodaira-shi, Tokyo, 187-8511, Japan

E-mail: <sup>†</sup> {norihisa.matsumoto.dw, nodoka.mimura.tj}@hitachi.com,

<sup>‡</sup> {watanabe.makoto3, nishiyama.hidetoshi}@h-kokusai.com

**Abstract** In the Next Generation Private Network System, a server executes communication control in combination with other servers. We study a method of redundant failover by servers in remote sites in order to provide a continuance of calls even if all servers in a site crash by disaster. Disaster relief systems need such high availability. Three modes of packet delivery were compared under two requirements – support of failover by servers in other subnets, and no intermediate packet forwarding node which distinguishes active servers from standby servers. The best mode is tunnel mode in which applications use virtual IP addresses and communicate with each other through IP tunnels. The tunnel mode is effective in reducing developing costs of adaptation of each application. We are developing a prototype system to evaluate our method from the viewpoint of functionality and performance.

**Keyword** Professional Mobile Radio, Disaster Relief, Redundant Failover, Virtual Address

### 1. はじめに

自治体や企業が組織内通信のために独自に構築した無線システムを自営系無線システムと呼ぶ。例えば自治体の防災無線は、屋外拡声器による避難勧告や災害現場からの情報収集に利用する。また、消防署の消防・救急無線は、消火活動時や救急活動時の署、隊員間の連絡に使用する。自営系無線システムの特徴的な通信は、press-talk 通信と呼ばれる多対多の通信である。あるグループに属するメンバが送話したい場合は移動局に設けられた通話ボタンをプレスし、排他制御される送信権を獲得した後に送話する。音声信号は、同一

グループに属する全てのメンバに同報される。press-talk 通信は、グループ内で緊急の情報共有が必要な業務には欠かせない通信サービスである。

自営系無線システムに対する最近のニーズには次のものがある。OPEX 低減：基地局-センタ装置間の接続に利用するデジタル専用線の利用料を削減すること。相互接続：巨大地震やテロなどの非常時に、関連省庁、自治体の無線システムの press-talk 通信を柔軟に相互接続すること。ブロードバンド：WiMAX[1]に代表される広帯域無線を利用して災害現場の動画を伝送すること。上記相互接続とブロードバンドのニーズ

は、安心・安全社会を構築するための ICT の実現を産学官連携で推進するため設立された、次世代安心・安全 ICT フォーラム[2]でも取り上げられている。しかしながら、従来の自営系無線システムは回線交換技術を基に開発されているため、上記ニーズに応えることが難しい。そこで筆者等は IP 技術を基とする次世代自営系無線システム（NGPN：Next Generation Private Network システム）を研究開発中である。

図 1 に NGPN システムの全体図を示す。移動局は同じ無線方式の基地局と無線通信を行う。基地局は IP 網を介してセンタ装置である制御ユニットに接続する。制御ユニットは呼制御やメディア制御を行い、グループ内の press-talk 通信を実現する。制御ユニットは複数拠点に分散配置することができ、制御ユニット間で分散処理を行う。有線卓（指令台）は移動局と同様の音声通話ができる他、NGPN システム内の特定の呼を傍受することができる。OPEX 低減の観点では、基地局-制御ユニット間の WAN 回線に IP-VPN や広域 Ether を利用し、WAN コストを従来より小さくする。ブロードバンドの観点では、10Mbps 以上の IP 回線を使用することで広帯域通信が可能になる。相互接続の観点では、IP 上の一般的な呼制御プロトコルである SIP[3]を採用することで、プロトコルのうち press-talk 通信特有部分が限定され、相互接続のための追加実装、改造が容易になる。

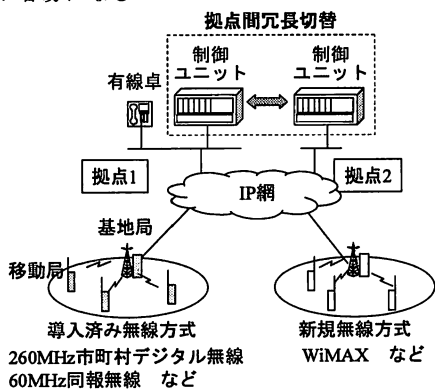


図 1 NGPN システム

防災・減災用途の自営系無線システムは、災害が大きいほどその必要性が増す。そのため、システムが被災した場合でも可能な限り機能が続ける必要がある。本報告では、NGPN システムのある拠点が被災し全く機能しなくなった場合でも、地理的に離れた別拠点の制御ユニットで通信制御を引き継ぎ、通話中呼を維持するための、拠点間に跨る冗長切替方式を述べる。以下では、2章で NGPN システムにおける冗長切替の要件を示す。3章で方式案の比較評価を示す。4章で採

用方式に基づく冗長切替手順を示し、5章でまとめる。

## 2. NGPN システムにおける冗長切替

拠点間冗長切替に関し、従来の回線交換技術を基とする自営系無線システムでは、2つの異なる拠点に設置したセンタ装置（回線交換機）が1対1冗長構成をとるシステムが開発されている[4]。このシステムでは、2つの拠点はそれぞれ周辺基地局からの回線を収容する。拠点内では、それら回線の接続先を、拠点内の回線交換機か、拠点間中継回線を経由した他拠点の回線交換機かを切り替えられる。これにより、常に片方の回線交換機がシステム内全ての基地局を制御し（現用系）、他方の回線交換機は待機する（待機系）。現用系の回線交換機に障害が発生した場合は、待機系の回線交換機に全ての基地局回線を接続し、新たな現用系として通信制御を継続する。このシステムでは、一方の拠点が被災し回線交換機本体にダメージを受けても、他方の回線交換機で運用を続けることができる。しかしながら、基地局からの回線が最寄の拠点を經由するため、拠点内設備が全て機能しなくなったり、拠点間中継回線が断絶した場合は、基地局自体は正常でも障害からの復旧が限定的となる。そこで、NGPN システムでは、従来よりもさらに耐障害性の高い、被災拠点を全く使用せずに運用を継続できる拠点間冗長切替を実現する。以下に NGPN システムにおける冗長切替の種類と、実現にあたっての要求条件を示す。

### 2.1. アプリケーション冗長切替

図 2 を用いてアプリケーション冗長切替を説明する。(a)は NGPN システムに障害が発生する前の、MS (Mobile Station: 移動局) 1 と MS2 が通話中の通信パスを示す。BS1, BS2 は基地局 (Base Station)、装置 1 ~ 4 は装置としての汎用サーバである。装置 1, 2, 3 にはそれぞれ通信制御アプリケーションとして AGW (Access Gateway)、呼制御サーバ、PT (Press-Talk) サーバが動作する。AGW は基地局制御を行う。呼制御サーバは SIP の基本呼制御を行う。PT サーバは SIP を用いての press-talk 通信制御を行う。呼制御シグナリングは次のようなルートで送受信される。MS1 → BS1 → 装置 1 (AGW) → 装置 2 (呼制御サーバ) → 装置 3 (PT サーバ) → 装置 2 (呼制御サーバ) → 装置 1 (AGW) → BS2 → MS2。音声データは次のようなルートで送受信される。MS1 → BS1 → 装置 1 (AGW) → 装置 3 (PT サーバ) → 装置 1 (AGW) → BS2 → MS2。この状態で装置 3 が障害となり、PT サーバを装置 4 に切り替えるのが、アプリケーション冗長切替である。切り替えた後の通信パスを(b)に示す。呼制御シグナリング、音声データ共に、装置 3 の代わりに装置 4 を經由するようになる。

アプリケーション冗長切替では、切替前のアプリケ

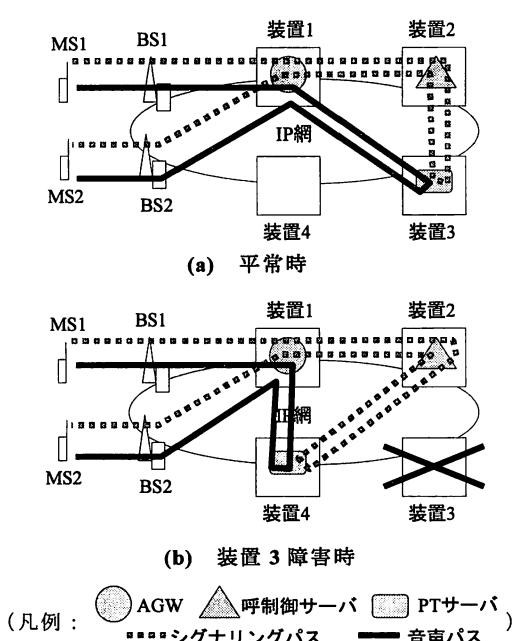


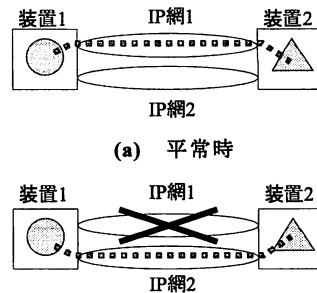
図 2 アプリケーション冗長切替

ーションが事前に出力したバックアップデータを用いて、切替先のアプリケーションが処理を引き継ぐ。したがって、最新のバックアップデータが出力された以降の処理は切替後に継続されない。バックアップデータの出力頻度を高めれば継続可能な処理が増えるが、バックアップのための処理負荷が増える。NGPN システムでは、通話中の呼の救済を目的に呼接続完了、呼解放完了のタイミングでバックアップデータを出力する。呼接続処理中の呼は救済せず発信前の状態（空き状態）となる。

## 2.2. WAN 回線冗長切替

図 3 を用いて WAN 回線冗長切替を説明する。本図は、図 2 の装置 1—装置 2 の区間を拡大したものに相当する。WAN 回線冗長切替は、図 3 のように WAN 回線 (IP 網) が 2 重化構成であることを前提とする。(a) では装置 1 の AGW と装置 2 の呼制御サーバが IP 網 1 を用いて呼制御シグナリングを行っている。この状態で IP 網 1 が障害となり、装置 1 と装置 2 の通信に使用するネットワークを IP 網 2 に切り替えるのが、WAN 回線冗長切替である。

WAN 回線の冗長切替は、IP ネットワークの動的経路変更には頼らず、エンドホスト（すなわち装置 1 や装置 2）自身による送信パケットの宛先変更で実施する。動的経路変更で通信を回復する場合は数秒以上の時間を要するため、通話音声の途切れを短くする観点から不適である。



(a) 平常時

(b) IP 網 1 障害時

図 3 WAN 回線冗長切替

## 2.3. 要求条件

上記冗長切替を実現する上での要求条件を示す。

### (1) サブネット間のアプリケーション冗長切替の実現

NGPN システムでは拠点間を IP-VPN で接続する場合がある。したがって、拠点間でアプリケーション冗長切替を実現するには、サブネットを跨る切替のサポートが必須である。いわゆる Web サーバの一般的な冗長切替は、同一サブネット内の異なるサーバに IP アドレスを引き継ぎ、 Gratuitous ARP で IP アドレスと引き継ぎ先サーバの MAC アドレスとの対応をルータに通知するものである。しかし NGPN システムではこの方法は使えない。

### (2) 冗長切替用中継装置の非使用

従来の自営系無線システムのように、通信パスが特定の拠点や装置を必ず経由する方式では、そこが単一点障害となりうる。一般の Web サーバでは、負荷分散のためサーバ群の前段にロードバランサを設ける場合、ロードバランサを 2 重化する方法で単一点障害を防ぐ。NGPN システムでは、拠点単位で障害になっても継続運用できることを目指しているため、仮にロードバランサを 2 重化する場合は異なる拠点に待機系のロードバランサを設置する。これは WAN 回線のラウンドトリップタイムのオーダの音声パケット遅延、ジッタの増大要因となる。これを避けるため、NGPN システムでは固定的な中継装置は設けずに冗長切替を実現する。

## 3. パケット配送方式の検討

上記要求条件(2)から、エンドホスト（装置）がアプリケーションパケットの配送先を制御する必要がある。要求条件(1)(2)を満たすエンドホストのパケット配送方式を 3 案検討した。

### 3.1. 方式案の説明

#### 3.1.1. 直接方式

直接方式は、装置の IP アドレスをアプリケーションが直接使用してパケットを送受信する方式である。通

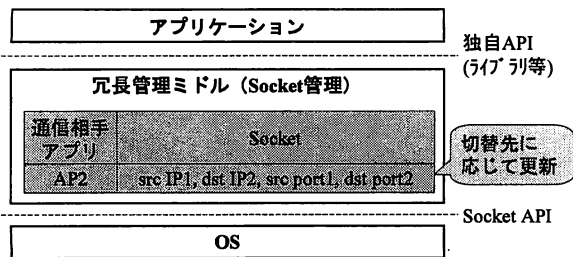


図 4 直接方式のソフト構成

信アプリケーションの極一般的な実装である。図 4 に装置のソフト構成を示す。アプリケーションは独自インタフェースで冗長管理ミドルウェアと通信し、冗長管理ミドルウェアが通信ソケットの管理を行う。通信相手装置との周期的なパケット送受信など何らかの方法で通信相手の障害を検出した場合、通信相手アプリケーションの切替先に応じてソケットを更新する。

### 3.1.2. NAT 方式

NAT 方式は、IP 網上で到達可能なアドレス（装置のアドレス）に 1 対 1 に対応する仮想 IP アドレスをアプリケーションが使用する方式である。通信相手アプリケーションがどの装置上に切り替わっても、同一の仮想 IP アドレスを使用し続けることで、アプリケーションはソケットの更新が不要になる。図 5 に装置のソフト構成を示す。アプリケーションは仮想アドレスに基づきソケットを生成する。アプリケーションはソケット API で OS とパケットを送受信する。OS はアプリケーションから受信したパケットのアドレス変換を冗長管理デーモンで行う。例えばアプリケーションが送信したパケットの送信元アドレス、宛先アドレスがそれぞれ仮想アドレス VIP1, VIP2 であった場合は、それを装置のアドレス IP1, IP2 に変換して IP 網に送信する。パケットを受信した装置では、OS が受信パケットの送信元アドレス、宛先アドレスを元の仮想アドレス VIP1, VIP2 に変換し、アドレスが VIP2 のアプリケーションに配送する。装置のアドレスとアプリケーションの仮想アドレスとの対応（どの装置上にどの仮想アドレスがあるか）は、NGPN システム内で一元管理する。現用系アプリケーションの実行装置が切り替わった場合は対応を更新し、システム内の各装置に通知する。

### 3.1.3. トンネル方式

トンネル方式も、NAT 方式と同様、アプリケーションが仮想アドレスを使用する（図 5）。NAT 方式との違いは、装置間のパケット転送に IP トンネルを使用する点である。冗長管理デーモンの処理において、例えばアプリケーションから受信したパケットの宛先アドレスが VIP2 であった場合は、装置のアドレス IP2 宛のパケットにカプセル化して IP 網に送信する。パケット

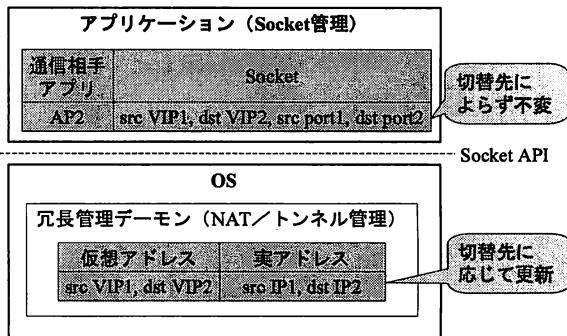


図 5 NAT 方式、トンネル方式のソフト構成

を受信した装置では、OS が受信パケットをデカプセルし、アドレスが VIP2 のアプリケーションに配送する。

## 3.2. 方式案の比較評価

上記 3 案の比較を表 1 に示す。

### 3.2.1. 複数アプリケーションの 1 装置への切替

例えば 3 装置からなる NGPN システムにおいて平常時は AGW, 呼制御サーバ, PT サーバをそれぞれ異なる装置で実行していたとする。災害が発生し、2 装置が障害となった場合、残る 1 装置に全てのアプリケーションを集約しシステムとしての機能を維持することが、防災・減災システムには望まれる。

直接方式では、1 装置上の複数アプリケーションが同じ装置 IP アドレスを使うため、ポート番号で両者を識別する必要がある。ただし直接方式は、冗長切替時に新しいアドレスを通信相手アプリケーションに連絡することが元来必要なため、それと併せて新しいポート番号も連絡すればよい。

NAT 方式は、装置アドレスと仮想アドレスが 1 対 1 対応なので、異なる装置で実行していた（＝異なる仮想アドレスを有する）複数アプリケーションを同一装置上に切り替えられない。アドレスとポート番号を組み合わせてアプリケーションを識別する、いわば NAPT 方式も考えられるが、この場合はパケットを受信した装置において、受信パケットが本当はどのポート宛か読み換える手段が必要である。つまり、アプリケーションが送信したパケットに関する補足情報を別途装置間で送受信する必要があり、手順が複雑になる。

トンネル方式では送信元アプリケーションが指定した宛先仮想アドレスがパケットに保存されるので、受信装置上で正しくアプリケーションに配送できる。

### 3.2.2. アプリケーション冗長切替時の処理

まず、UDP アプリケーションについて考える。直接方式では、切替対象のアプリケーションにパケットを送信していた通信相手アプリケーションは、パケットの宛先を新しいアドレスに変更する必要がある。一方、NAT 方式、トンネル方式では、通信相手アプリケーシ

ョンは何も変更する必要がない。デーモンが装置アドレスと仮想アドレスの対応を更新する。

TCP アプリケーションについては、直接方式では新しいアドレスに対しコネクションを確立する必要がある。NAT 方式、トンネル方式では、アドレスの変更はないが、TCP のシーケンス番号をリセットするため再確立は必要である。

### 3.2.3. WAN 回線の冗長切替時の処理

直接方式では、WAN 回線の冗長数分のソケットをアプリケーションが生成し、IP 到達性に応じて選択する必要がある。特に TCP ではソケットに入力したデータが相手に届いたか否かを知る手段がないので、WAN 切替を行った場合、どのデータから切替後のソケットで再送すれば良いかわからない。これを踏まえたうえで、アプリケーションはデータの再送および重複受信の検出を実装する必要がある。NAT 方式、トンネル方式では、WAN 切替処理はデーモンが全て行う。

### 3.2.4. パケット処理遅延時間

直接方式が最も小さく、NAT 方式が最も大きい。NAT 方式はパケットの送信装置、受信装置の両方で装置アドレスと仮想アドレスの対応テーブルを検索する。

### 3.2.5. CPU 負荷

直接方式が最も小さく、NAT 方式が最も大きい。NAT 方式では、通信相手の障害検出のため周期的に送受信するパケットと、アプリケーションパケットの分別を冗長管理デーモンで行う必要がある。

### 3.2.6. 使用通信帯域

トンネル方式が最も大きい。トンネル方式ではパケットをカプセル化するため、パケット長がパケットあたり 20 バイト大きくなる。

### 3.2.7. 外部ネットワークとの接続

NGPN システム以外のネットワーク、例えばイントラネットとの接続には、どの方式でもゲートウェイが必要である。

### 3.2.8. 比較結果

総合的に判断すると、トンネル方式が最も優れる。理由を以下に示す。

NAT 方式は、1 装置への複数アプリケーションの切替が不可能な点で選択すべきでない。防災、減災用途の自営系無線システムでは、被災を免れた設備を用いて可能な限り運用を続けられることが重要である。

直接方式は、アプリケーション冗長切替のために、

通信相手の UDP アプリケーションに対応機能が必要な点がトンネル方式より劣る。サードパーティのソフトウェアを冗長切替に対応させる場合を考える。切替対象（切替先のアプリケーション）として動作するための処理は初期化処理に実装すればよく、比較的容易である。一方、切替対象の通信相手としての処理は初期化処理ではなく、平常処理に実装す

表 1 パケット配送方式案の比較（網掛部：劣位点、太線枠：重点評価箇所）

[本文の章] 比較項目		直接方式	NAT 方式	トンネル方式
AP(アプリケーション)の使用アドレス		装置アドレス(AP切替に伴い変更)	仮想アドレス (AP 切替時の変更なし)	
[3.2.1]複数 AP の 1 装置への切替		可 (ポート変更要)	不可	可
[3.2.2] AP 冗長切替時の処理	UDP	通信相手 AP	切替先に応じたソケット生成	なし
		通信相手デーモン	—	アドレス対応テーブルの更新
		切替先 AP	バックアップ情報に基き通信相手に応じたソケット生成	
		切替先デーモン	—	アドレス対応テーブルの更新
	TCP	通信相手 AP	コネクション接続先を変更	コネクションを再接続
		通信相手デーモン	—	UDP と同処理
		切替先 AP	バックアップ情報に基き通信相手に応じたソケット生成	
		切替先デーモン	—	UDP と同処理
[3.2.3] WAN 回線の冗長切替時の処理	AP	・切替に応じたソケットを生成 ・TCP アプリケーションはソケット上で再送・重複受信解決	なし	
	デーモン	—	状況に応じ使用する装置アドレスを選択	
[3.2.4] パケット処理遅延時間		直接 < トンネル < NAT		
[3.2.5] CPU 負荷		直接 < トンネル < NAT		
[3.2.6] 使用通信帯域		直接 = NAT < トンネル		
[3.2.7] 外部 NW との接続	WAN 冗長切替	通信中に装置のアドレスが変化	仮想 IP アドレスは外部 NW からの到達性なし	ゲートウェイ要
	AP 冗長切替	—	—	ゲートウェイ要

る必要がある。平常処理で利用中のソケットの更新は、プログラム内の広い範囲に影響を及ぼす場合があり、実装の難易度がある。さらに、これらの改造はアプリケーション毎に行う必要がある。これに対しトンネル方式では、切替対象の通信相手としての処理は冗長管理デーモンに実装するので、アプリケーション毎の開発量が削減できる。NGPN システムはリアルタイム通信が必須なので、UDP アプリケーションの開発量削減は重要である。直接方式の別の欠点としては、WAN 回線冗長切替のために TCP アプリケーションにデータ再送処理、重複受信検出処理が必要な点がある。NGPN システムでは、アプリケーションの特殊化をなるべく排すことで、他社開発アプリケーションのポータビリティを容易にし、開発期間短縮、開発工数削減、製品コスト低減を狙う。この点で、トンネル方式の方が優れている。

トンネル方式はパケット処理遅延時間、CPU 負荷の点で直接方式より劣るが、これを左右する CPU 能力は、比較的短期間で性能向上した CPU が市場に登場する。一方、アプリケーション開発効率率は CPU 能力の向上と比べると、今後もほとんど変わらないと思われ、開発工数が少なくなるアーキテクチャの採用は重要である。

トンネル方式は使用通信帯域が大きい欠点があるが、以上に述べた開発容易性を重視し、防災・減災向け NGPN システムのパケット配送方式としてトンネル方式を採用した。

#### 4. 冗長切替手順

トンネル方式を前提としたアプリケーション冗長切替手順の概要を図 6 に示す。

- (1) アプリケーション通信を行う装置間で周期パケットを送受信し、通信相手の死活監視を行う。
- (2) NGPN システム内の冗長管理装置は装置障害の報告を受けると、障害装置上のアプリケーションの切替先装置を決定し、仮想アドレスと装置アドレスの対応テーブルを更新する。
- (3) 切替先装置では、切替対象アプリケーションの仮想アドレスを有効化し、アプリケーション固有の引継ぎデータを冗長管理装置から得る。
- (4) 各装置では、通信相手アプリケーションの仮想アドレスと装置アドレスの対応（トンネル管理テーブル）を登録・更新する。

#### 5. まとめ

防災・減災用途の自営系無線システムにおいて、異なる拠点に配備した装置間の冗長切替を実現するための、アプリケーション間パケット配送方式を検討した。サブネット間の切替を可能にすること、パケット転送

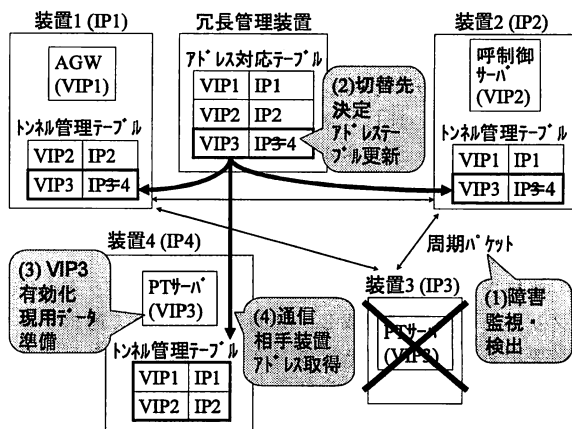


図 6 冗長切替手順

先を切り替える中継装置を設けないことを要件に 3 案を考案し比較した結果、冗長管理デーモンでパケットのトンネリング先を制御するトンネル方式を採用した。トンネル方式は冗長管理デーモンに冗長切替機能を集中させるアーキテクチャであり、個々のアプリケーションを冗長切替に対応させるための改造工数を他案より削減することができる。これは開発期間の短縮や様々なアプリケーションの導入の容易化にも繋がる。

装置間に IP トンネルを利用することは、見方を変えるとオーバーレイ網を利用することでもある。文献[5]では、IP 網上でコラボレーションを行うグループのための共有ネットワークを、動的に構築する技術を示している。メンバが仮想 IP アドレスを利用し、各メンバの PC 間通信に IPsec トンネルを利用する点で筆者等の研究と類似するが、通信中のアプリケーションの PC 間移動や、それに伴うトンネル管理テーブルの更新は考慮していない。筆者等の研究は、アプリケーション通信を維持しつつ、任意のサブネットの装置への冗長切替に、オーバーレイ網技術を適用する研究と言える。

今後は図 6 に示した冗長切替システムの試作を進め、機能の確認および性能評価を行う予定である。

#### 文 献

- [1] WiMAX Forum, <http://www.wimaxforum.org/home/>
- [2] 次世代安心・安全 ICT フォーラム, <http://www.scatt.or.jp/ictfss/>
- [3] J. Rosenberg, et al., SIP: Session Initiation Protocol, IETF RFC 3261, June 2002
- [4] 二木淳吉ほか 3 名, 大規模消防・救急デジタル無線システム, 日立国際電気技報 2006 年度版 No. 7
- [5] 藤田範人ほか 3 名, 大規模な動的グループ通信に適したオーバーレイ網制御方式, 信学技報 NS2004-95, Sept. 2004.