

# I P 通信技術利用による基幹通信ネットワークの構築

大阪管理部 大阪施設維持事務所 横 山 剛

## 要 旨

現在、阪神高速では、電気・通信・交通管制・営業管理設備等各種設備の情報伝送手段として、SDH装置による基幹通信ネットワークを構築している。しかしながら、近年のETC設備の整備、映像系設備の増大などにより伝送路の高速・大容量化ならびに高信頼性が求められている。こうした状況を踏まえ、最新の通信技術を取り入れ、なおかつ低コストで要件を満たすべくIP通信技術を利用した基幹通信ネットワークの構築検討をおこなった。検討にあたり、IP通信技術の動向調査、ならびに端末設備の情報種別、ネットワーク要件等を整理した上で、将来における伝送容量試算、ネットワーク信頼性向上手法、IPアドレス設計等をおこない次期基幹通信ネットワークについて検討を実施した。

**キーワード:** IP (Internet Protocol), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), ATM (Asynchronous Transfer Mode), RPR (Resilient Packet Ring), トポロジー, IPアドレス

## まえがき

現在の通信端末機器は、インターネットで標準となっているTCP/IPプロトコルを使用して通信を行うIP通信機能を持った端末が多く製品化されており、従来の通信端末機器においても高機能化および小型化を実現すべくIP通信機能を持った製品へと移行しつつある。

今後、阪神高速においても各種通信端末機器の導入あるいは機器更新によって、IP通信機能を持った製品が多くなり、IPデータ伝送量の急激な増加が予想される。TCP/IPプロトコルによるデータ伝送は、瞬間的に膨大なデータを送受信することが可能であり、複数のサーバと接続するためのAny to Anyの接続形態となることが大きな特徴であり、今後は、IP通信機能を持った端末機器に応じたネットワーク環境を提供することが求められている。

本稿では、このような動向を踏まえ、阪神高速におけるIP通信技術を利用した基幹通信ネットワークの構築について検討を実施したので報告する。

## 1. 端末のデータ種別とネットワーク要件

### 1-1 端末種別とIP化状況

IPネットワークの導入においては既存端末がIP化に対応できることが基本となる。はじめに、阪神高速における各端末設備のIP化状況について調査を実施した。その結果を表-1に示す。

表中における「対応済み」のものには、直接端末にイーサネットのインターフェースを装備したものは当然ではあるが、低速シリアル/イーサネットのインターフェース変換アダプタによる対応も含んでいる。端末のコストに関しては既設端末の移行ではなく新設による導入を前提としている。

調査の結果、全端末ともコスト面、技術面においてIP化対応が可能であることが判明した。

表-1 各端末のIP化状況（平成16年1月現在）

No.	システム名	データ種別	コスト比較 (対既存比)	IP対応状況
1	道路情報板	一般	< 1	◎
2	E T C	一般	< 1	◎
3	トンネル防災	一般	< 1	◎
4	電気通信中央装置	一般	< 1	◎
5	情報ターミナル	一般	< 1	◎
6	総合防災	一般	< 1	◎
7	業務用電話	音声	< 1	○
8	気象観測	一般	≒ 1	○
9	地震観測	一般	≒ 1	○
10	電力遠方監視制御	一般	< 1	○
11	車両検知器（TDM）	一般	≒ 1	○
12	可変式速度規制標識	一般	≒ 1	○
13	車両番号読取装置 （A V I）	一般	≒ 1	○
14	道路情報通信装置 （V I C S）	一般	< 1	○
15	非常電話	音声	< 1	○
16	一斉指令装置	音声	≒ 1	○
17	路側通信	音声	≒ 1	○
18	トンネルラジオ再放送	音声	≒ 1	○
19	O Aシステム	一般	= 1	◎
20	交通流監視カメラ トンネル防災カメラ	映像	< 1	○

<凡例> ◎：対応済み ○：未対応であるが技術的問題なし

## 1-2 データ種別とネットワーク要件

各システムは音声データ、映像データならびに上記以外の一般データの3つに分類ができ、データ種別とネットワークに求める要件は表-2のようになる。

### (1) 一般データ

通信頻度もランダムに発生するTCPによる通信のデータで多少の遅延、廃棄があってもTCPレイヤまたはアプリケーションによる再送で業務上支障のないものとリアルタイム性を要する監視制御系データに分類される。

### (2) 音声データ

1回線自体は64kbps程度の低速であるがリアルタイム性を要するデータで通信頻度もランダムである。廃棄、遅延は音声品質としてあらわれる。

### (3) 映像データ

1回線あたり数Mbpsの定常トラフィックのデータでありリアルタイム性を要するデータである。

このように一般・音声・映像データの流れ方には上述の特徴があり、同一ネットワークに混在させる場合には、互いに影響を及ぼさないように配慮する必要がある。また、同一データ内においても端末設備間の独立性（システム間で互いに影響を与えないこと）が重要であり、ネットワークサービスとして提供することが必要である。これらについては、QoS（Quality of Service）制御、VLAN（Virtual Local Area Network）、VPN（Virtual Private Network）、フィルタリング等の技術を使用することにより可能と考える。

表-2 データ種別とネットワーク要件

データ分類	ネットワークに求める要件
1 一般データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>[リアルタイムデータ]</li> <li>・各サービス間の独立性</li> <li>[リアルタイムデータ]</li> <li>・各サービス間の独立性</li> <li>・障害時のネットワーク断時間が短いこと</li> <li>・遅延が小さいこと</li> </ul>
2 音声データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Voice over IP</li> <li>・各サービス間の独立性</li> <li>・障害時のネットワーク断時間が短いこと</li> <li>・遅延、データパケットの揺らぎは小さいこと</li> </ul>
3 映像データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Video over IP</li> <li>・各サービス間の独立性</li> <li>・障害時のネットワーク断時間が短いこと</li> <li>・遅延、データパケットの揺らぎは小さいこと</li> </ul>

## 2. IP通信技術の動向

IP通信技術については、インターネット市場の拡大および通信キャリアのIPサービスの開始に伴って、各種のIPネットワーク構成機器が製品化されている。また、各種機器の製品化に伴いIPネットワーク構築の方式自体も変化しているため、ここではIPネットワーク構築に関する技術動向について述べる。

### 2-1 IPネットワーク構築方式

現状におけるIPネットワーク構築方式としては、大きく以下の方式に分類される。表-3に各方式の概略比較を示す。

#### (1) SDHノード利用の方式

本方式は、従来であれば端末側に設置するルータをX.21インターフェース回線で接続しネットワークを構成する方式であり、現在、阪神高速において採用している方式である。特徴としては、

帯域が分割されており、データ廃棄、遅延に対する保証がなされている点があげられる。障害時のルート切替については、1回線2ルート構成による受信端切替方式であり、切替時間は、数msecである。上記理由により、迂回用回線を予め確保する必要がある。伝送方式は、基本である時分割多重方式であり、今後装置自体はなくなると考えられるが、中継装置としての使用に限定され、直接低速の端末を収容する仕様は減少する傾向にある。一般的には、IPネットワーク構築までの暫定方法として使用されている場合が多く、端末増加時における煩雑な回線設定の必要性ならびにインターフェースの経済性および端末インターフェースの高速伝送性に対する適応等に課題がある。

### (2) ATMノード利用の方式

本方式は、ATM交換機とATMルータを使用して構成する方式である。特徴としては、ATM交換機の機器二重化およびループあるいはメッシュ状接続などにより、ネットワークの高信頼性確保が可能であり、ネットワーク障害時の迂回が高速にできることがあげられる。ただし、ATM方式については、高速化が大きな利点であった

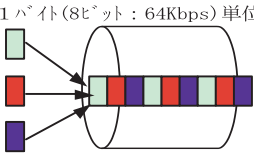
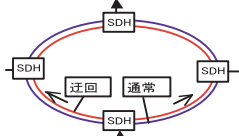

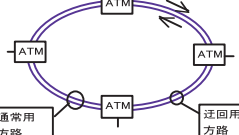
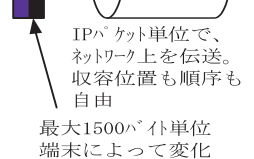
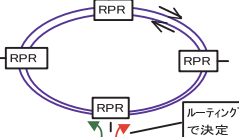
が、ATMの速度を超えるEthernetが登場したこと、およびセル多重を行うことによる処理損失の発生などから、IPネットワークにおいては、減少方向にある。

### (3) IPノード利用の方式

本方式は、ルータ（IPノード）間を直接光ファイバケーブルで接続し構成する方式である。現在、PC、サーバなどの端末やネットワーク機器がIPプロトコルを採用することでネットワークの主流となっておりネットワーク機器も大容量低価格化が進展し今後もIP化はさらに進む方向にある。本方式の場合も、IPノードの機器二重化およびノード間のループあるいはメッシュ状接続で高信頼ネットワーク構築が可能となる。障害時のルート切替については、一般的にルーティングプロトコルを用いてバックアップを実現しているので切替に数十秒程度を要するが、次項のRPR技術利用により瞬時に切替が可能である。

以上の方式を比較すると、IPデータの伝送を前提とした場合、広帯域伝送路の提供、技術動向、コスト等の面からIPノード利用の方式が最適と考えられる。

表-3 STM/ATM/IP 方式概略比較

	通信装置	同期方式	端末回線の帯域割付	回線の有効性	回線の冗長切替時間
1	SDHノード (STM)	同期式	1バイト(8ビット：64Kbps)単位  タイムスロットの位置は、固定で周期的に繰り返す	迂回用回線を予め確保する必要あり (迂回用回線は、通常時未使用) 	1:1回線×2ルート構成による、受信端切替 (事前に設定要) 切替時間：数msec
2	ATM交換機 (ATM)	非同期式	53バイト単位 (=セル) セル単位で、ネットワーク上を伝送。収容位置も順序も自由 :ヘッダ 	迂回路も通常時、使用が可能。ただし、迂回発生時に優先データが帯域を越えないことが必要。(低優先データは廃棄) 	PVC (Permanent Virtual Connection) ルート自動再設定で転送ルート再構築 (Soft-PVC機能) 切替時間： ~数10秒
3	IPノード (IP)		IPパケット単位で、ネットワーク上を伝送。収容位置も順序も自由 最大1500バイト単位 端末によって変化 (IP/Etherパケット) 	迂回路も通常時、使用が可能。ただし、IPルーティングプロトコルによるルート決定。迂回時に回線の帯域を越えた場合は低優先パケットから廃棄 	転送ルート検索により、伝送ルートがある限り転送ルート再構築 切替時間： 30秒 (ルータ) ~50msec (RPR)

### 3. 障害時バックアップ時間短縮技術

IPネットワークにおける障害時バックアップ時間短縮技術としてRPRがある。

RPRはリング型光伝送システムであり、システム内の障害に対して50 msec 以内にネットワークの自動バックアップ（厳密には迂回路への自動切替）を実現する新しいプロトコルである。

#### 3-1 RPRの概要

RPRとは、リング型の伝送路を用いてイーサネット・フレームを伝送する方式であり、MAN (Metropolitan Area Network) 規模のリングネットワークに適したMAC (Media Access Control) レイヤの伝送プロトコルである。

#### 3-2 RPRの機能

##### (1)カプセルリング方式

図-1にRPRのカプセルリング方式について示す。RPR装置のLAN側は、イーサネット・フレームで收容し、リング側は、イーサネット・フレームにRPRヘッダを付加してRPRフレームを生成し伝送する。リング内ではRPRヘッダ内のノードIDを用いて高速転送される。

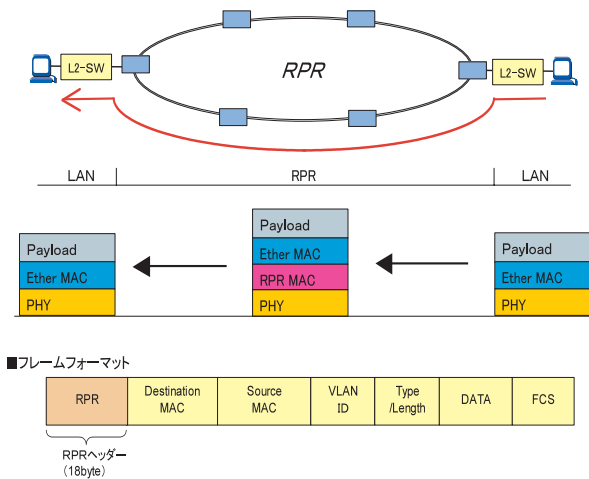


図-1 RPRのカプセルリング方式

##### (2)リングプロテクション

RPRネットワークでは各ノード間を結ぶ光伝送路の切断、光デバイスの劣化またはノードの故障が発生した場合でもサービスが継続可能となるようにこれら障害を自動的に検知してノード間情報の更新、リングの切替が行われる。切替時間は

50 msec 以内と高速である。RPRのリングプロテクションのイメージを図-2に示す。

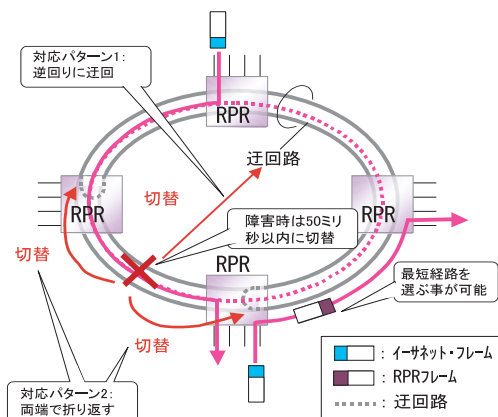


図-2 RPRのリングプロテクション

### 4. ネットワーク比較

#### 4-1 IPノード比較

IPノードの選択において、現行のSDHネットワークと同等の信頼性を有する高信頼性IPネットワークの構築を前提とし、機能ならびに経済比較を表-4に示す。

表-4 IPノード比較

No.	項目	一般IPノード			高信頼IPノード		
		汎用L3-SW	L3-SW	RPRノード (L3機能付)	汎用L3-SW	L3-SW	RPRノード (L3機能付)
1	機器概要	一般企業内向け、社内ネットワーク用	キャリア向けL3SW。容量/ポート数ともに大	RPRのフェーズ及びL3機能を持つスイッチ			
2	機器故障 (機器二重化対応)	○ 電源部のみ二重化	◎ 電源部：二重化 制御部：二重化 SW部：二重化	○ 電源部のみ二重化			
3	伝送路故障	X 差分シグナル・エラー検出 プロトコルによる検出 切替：30～60秒	X 差分シグナル・エラー検出 プロトコルによる検出 切替：30～60秒	◎ 差分シグナル機能 切替：50ms			
4	アクセス系故障	アクセス部：一重化	ケーブルによる冗長に対応可	アクセス部：一重化			
5	コスト比	1	5	1.2			

機器比較は、高信頼IPノードとして二重化対応L3-SWとRPRノードを想定し、比較のため一般IPノードも追加した。表-4を見てわかるように、機能的に大きな違いは機器故障と伝送路故障に関する項目である。機器故障については、機器単体での二重化が図れない場合、機器複数台を設置し冗長性を確保することが可能である。しかし、伝送路故障については、L3-SW（一般、高信頼IPノード共）の場合、現行網の切替時間(数msec)と比べ切替時間が大幅に増加することから、



端末へのサービスを考慮すると、通信の信頼性確保の面で問題があると考えられる。機器コストについては、一般IPノード、RPRノードはほぼ同等であり、それに対して高信頼L3-SWが一般IPノードの5倍である。

以上により、コスト面、伝送路障害時の信頼性を考慮すると、RPRノードが優れていると言える。

## 5. 信頼性向上策

### 5-1 機器一重化への対策

前項の検討によりRPRノードの選択が最適と考えられるが、懸念すべき事項として機器2重化が電源ユニットのみだけであることがあげられる。しかし、これについてはRPRノード2台を使用し二重化を行いレイヤ3機能の1つであるVRRP (Virtual Router Redundancy Protocol) を使用することにより、ネットワーク全体として冗長性確保が可能である。具体的には、後述する。

### 5-2 レイヤ3での経路切替時間短縮化

RPRリングネットワークから、他のIPネットワークに乗り入れるために、経路制御処理（ルーティング）が介在する。本検討においては、IPネットワークの特徴の1つでもある高い相互接続性を維持するため、一般L3-SWでも採用される汎用的な経路制御プロトコルのうち、標準的な設定において最も切替時間が短いOSPF (Open Shortest Path First) を採用した。（以下、OSPFの動作しているL3-SWをルータと称す）しかし、標準設定では経路収束まで最大40秒程度を要するため、End to Endの通信復旧までの時間としては長いものとなる。

OSPFの経路切替時間は、①経路障害を検出するまでの時間、②経路再計算を始める前に他のルータから経路情報待ちを行う遅延時間、③最短経路再計算時間の3つの和（①+②+③）となる。①が切替時間のほとんどを占め、②はパラメータによる設定（実測により、後述するネットワークで

は1秒）、③は経路数とハードウェアの処理能力に依存する。（後述するネットワークでは1秒程度）このため、切替時間に対し支配的な①を可能な限り短縮する検討を主におこなった。

#### (1) OSPFパラメータによる短縮化検討

ルータは、お互いにhelloパケットを周期送出し、一定時間helloパケットが受信できないとそのルータが障害と判断して最短経路の再計算を実施する。標準設定ではhelloパケット送出間隔 (hello interval) は10秒周期であり、受信タイムアウト時間 (dead interval) は最大40秒となるため、ルータの障害検出までの時間は最大40秒後となる。OSPFのRFC (Request For Comment) 2328には、dead interval はhello intervalの数倍（例えば4倍）にするべきとの記載があり、この比率を守りつつ数値を検討すると、パラメータの上ではhello intervalを1秒とすれば4秒後にはルータの障害が検出できるが、全ルータがこの周期でhelloパケットをやり取りすることはネットワーク機器への負荷となり好ましくない。

少なくともルータの経路再計算処理に影響を与えないためには、前記②+③の時間中にhelloパケットを受信しないことが望ましい。更に再計算完了後に1秒の余裕を与えるとする場合、hello intervalを3秒程度とすれば、ネットワークに負荷を避けられると期待できる。このとき障害検出までの時間①は12秒となり、②の1秒と③の1秒を加算すると、End to Endの通信復旧には14秒を有する計算となる。標準設定に対して切替時間は減少したものの、OSPFのパラメータをチューニングするだけでは切替時間を劇的に短縮することはできないことが判明した。

#### (2) ルータ直結による障害検出手法

helloパケットによるルータの生存監視は、複数ネットワークの相互接続を前提とした遠隔ルータに対する監視手法として採用されている。しかし、相手ルータの状態を直接知ることができれば、タイムアウト監視によらず再計算を開始することができる。ルータのポートにネットワークが直接割り当てられている場合、そのポートが電氣的に

接続（リンクアップ）されれば、ルータにネットワークが追加され、経路の追加が行われる。逆に電氣的に切断（リンクダウン）した場合はルータからその経路が削除される。ルータ同士を直結すればこの動作を利用してタイムアウト監視によらず互いの状態を直接監視できる。

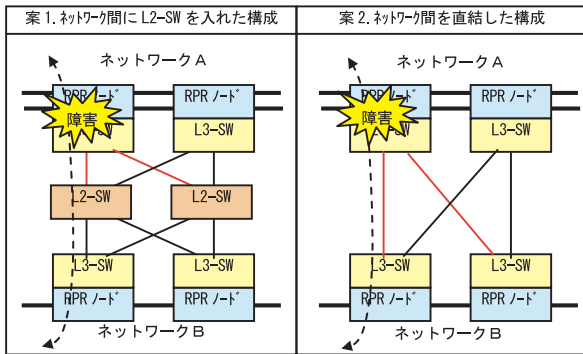


図-3 ルータの直結

図-3にて、ネットワークAとネットワークBがそれぞれ左側のノードを用いて通信していた場合、ネットワークAの左側ノードに障害が発生する場合を考える。

案1はネットワークAとネットワークBを相互接続するためレイヤ2スイッチを設置する接続案である。ネットワークBの2つのノードは、ネットワークAで発生したルータ障害を直接知ることができず、dead interval後にルータ障害を検出し、現在の通信経路に障害が発生していることを知る。

案2は相互接続をルータ同士の直結で実現する接続案である。ネットワークBの2つのノードは、ネットワークAで発生したルータ障害をリンクダウン情報により直接検出することができ、直ちに経路の再計算処理を始めることができる。後述する次期ネットワークの構成においては、この接続案2を採用することにより、障害検出時間①を実測で2秒程度に短縮することが可能となった。したがい、このような部分においては①+②+③=4秒で経路切替が完了する。

### (3)独自機能による障害検出手法

一方で、ルータ同士直結ができない箇所も存在する。図-4に示すようなRPRリングを挟んだL3-SWでの障害検出がその例にあたる。

図において、管理所の左側ノードと、通信塔Aに

収容された端末で双方向に通信が行われているとする。通信塔Aのノードがダウンした場合、L2-SWはVRRP機能により隣接通信塔への経路切替を実施し端末から管理所の通信は回復する。

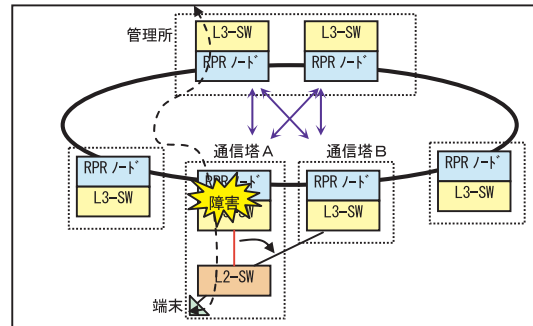


図-4 遠隔ルータの独自監視

しかし、管理所のノードは、通信塔AのノードとRPRインターフェースを介して接続されているため、直接的にこれを検知できない。したがって、端末から管理所への通信はdead interval後の再計算により通信塔B経由で回復する。

このためRPRノードに対して、他の登録したRPRノードの生死監視機能を独自に搭載することとした。実現手法としては複数存在するが、いずれの手法を実装しても実測で3秒程度で遠隔ノードの障害を検出できた。このような遠隔ノードの障害においても、①+②+③=5秒で経路切替を完了することができた。

上記のような対策を行うことにより、一般的なOSPFプロトコルを用いて外部ネットワークへの高い相互接続性を保ちながら、障害発生時のEnd to Endの経路切替時間を標準で40秒程度かかるところを5秒以内に短縮することができた。

## 6. トポロジー検討

### 6-1 現行ネットワーク構成

現行のSDHネットワークは、図-5に示すとおり、各地区間を結ぶセンター間通信網と地区内を結ぶ路線対応網より構成されている。

路線対応網は、基本的に路線毎のループとなっており、5ヶ所の管理所にてセンター間通信網に接続されている。

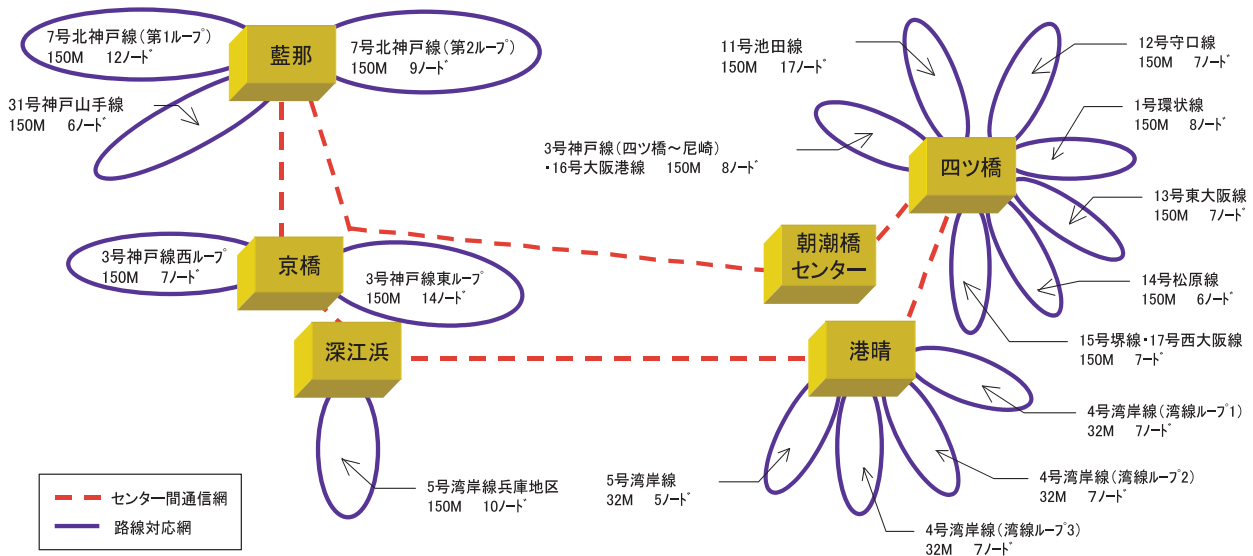


図-5 現行SDHネットワークの構成

表-5 ネットワーク容量試算

管理所	路線対応網名	通信塔数	伝送容量 (*注)									Total 容量 (M)
			現在の容量			今後 予定される容量						
			SDH容量 (Mbps)	PDH容量 (Mbps)	ITVカメラ (台数)	ITV容量 (Mbps)	ETC 出口数	ETC 出口容量 (Mbps)	ETC 出口カメラ (Mbps)	料金所 レーン数	料金所 レーンカメラ (Mbps)	
藍那	7号北神戸線 (藍那～伊川谷)	12	30	-	26	164	10	4	63	14	88	349
	7号北神戸線 (藍那～山口, 柳谷)	9	41	-	37	233	10	4	63	24	151	492
	31号神戸山手線	6	26	-	11	69	2	1	13	8	50	159
京橋	3号神戸線 (京橋～月見山)	7	25	-	9	57	4	2	25	12	76	185
	3号神戸線 (京橋～西宮)	14	55	-	23	145	11	4	69	38	239	512
深江浜	5号湾岸線 (兵庫地区)	10	-	23	27	170	4	2	25	15	95	315
港晴	5号湾岸線 (岸線ループ)	5	20	-	10	63	4	2	25	13	82	192
	4号湾岸線 (湾線ループ1)	7	-	18	15	95	8	3	50	20	126	292
	4号湾岸線 (湾線ループ2)	7	-	20	14	88	8	3	50	21	132	293
	4号湾岸線 (湾線ループ3)	7	50	-	13	82	10	4	63	27	170	369
四ツ橋	3号神戸線 (四ツ橋～尼崎) ・16号大阪港線	8	15	-	19	120	6	2	38	13	82	257
	1号環状線	8	30	-	15	95	8	3	50	20	126	304
	11号池田線	17	29	-	24	151	17	7	107	27	170	464
	12号守口線	7	13	-	11	69	9	3	57	16	101	243
	13号東大阪線	7	15	-	12	76	12	5	76	24	151	323
	14号松原線	6	35	-	10	63	11	4	69	13	82	253
	15号堺線+17号西大阪線	7	20	-	16	101	12	5	76	23	145	347
	4号湾岸線 (湾線ループ1) 4号湾岸線 (湾線ループ2) 4号湾岸線 (湾線ループ3)	32M 7ノド 32M 7ノド 32M 7ノド	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(\*注)  
 $ITV容量 = ITVカメラ数 \times 6.3Mbps$   
 $ETC出口容量 = ETC出口数 \times 0.384Mbps$

各管理所ではデータの一次処理がおこなわれ、朝潮橋センターにデータが送られる。現行のネットワークトポロジーは、当初構築されたPDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) の伝送容量 (32Mbps) の制限により路線ごとのループに分割された。その後、SDHノードへの更新がおこなわれ、150Mbpsに伝送容量がアップされた。

## 6-2 次期ネットワークの構成

### (1) 通信容量試算

IPネットワークを構築する上で中継回線容量を選択する基準として、現状のネットワーク容量

に将来必要とされる容量を加算することにより試算を実施した。表-5に各路線の容量試算を示す。

表中においてSDH容量およびPDH容量は現在の路線対応網で回線設定されている値である。

ITVカメラは交通流監視に使用され、現在は光ケーブルを用いた光切替器方式ならびに光パッシング方式により別ネットワークとして構築されている。試算では、ITVカメラ1台の映像をMPEG-2 (Motion Picture Experts Group) に変換し伝送することを想定している。このMPEG-2を利用するとNTSC (National Television System Committee) 方式で約6Mbpsの動画伝送が期待で

きる。容量算出には、デジタルハイアラキーに基づいて6.3Mbpsでの収容換算を行なった。さらにETC出口カメラ、料金所レーンカメラについても同様の換算を実施した。ETC出口容量は、既設の入口ETC回線に割り当てられている0.384Mbpsで試算した。

(2) 次期ネットワークのトポロジー検討

1) ループ構成の検討

IPネットワーク新設におけるネットワークトポロジーについて検討する。基本的には、現行の管理所、朝潮橋センター、路線の考え方を維持しながら、管理所単位での保守・運用ならびに、多数ノードのループ共用による効率的な利用（パケット多重による帯域共有）を図るため、路線対応網の集約化を図っていく。まず、現状の管理所ごとに路線対応網を1ループ化すると、通信塔数、将来伝送容量予測は表-6となる。

さらに、維持管理面を考慮し、通信塔数、伝送容量のバランスを図るため、京橋・深江浜管理所を1ループ、四ツ橋管理所を2ループ化すると路線対応網1ループあたり26~31通信塔、容量1.1~1.5Gbps程度となり、ループ単位の均等化が図れる。次期ネットワークのループ構成を表-7ならびに図-6に示す。

表-6 現状の管理所単位での伝送容量予測

管理所	通信塔数	将来伝送容量予測 (Mbps)
藍那	27	1000
京橋	21	697
深江浜	10	315
港晴	26	1147
四ツ橋	60	2189
合計	144	5348

表-7 次期ネットワークのループ構成

管理所	ループ名	通信塔数	将来伝送容量予測 (Mbps)	ヘッジを考慮した容量 (Mbps)
藍那	藍那ループ	27	1000	1203
京橋	京橋ループ	31	1012	1218
深江浜				
港晴	港晴ループ	26	1147	1380
四ツ橋	四ツ橋北ループ	31	950	1143
	四ツ橋南ループ	29	1239	1491
合計		144	5348	6435

センター間通信網の容量は、新十条ループを除く単純な5ループ合計で6.5Gbps程度となる。しかし、実際は管理所でのデータ処理内容や、朝潮橋センターで集約すべき業務内容・方法に関連する。IPネットワークは、フレキシブルな構成組み換えが可能であることから、業務内容、端末機器の変化による情報量の増加に対して柔軟に対応（拡張・分割）していけるものであり、所要伝送容量算出は詳細設計により実施することとした。

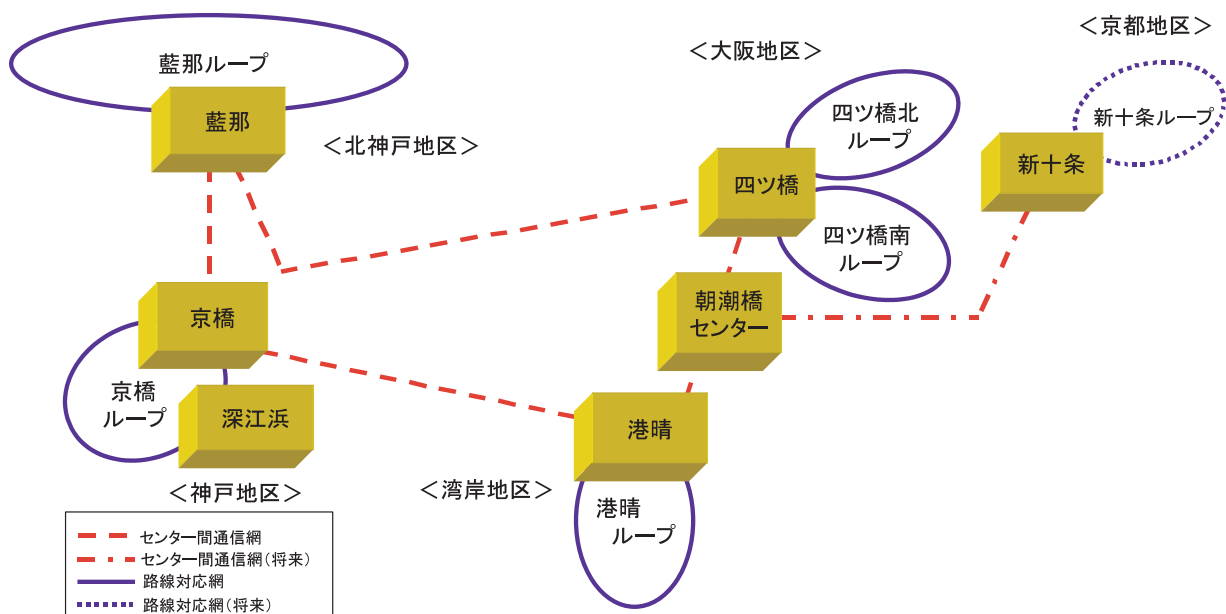


図-6 次期RPRネットワークの構成

## 2) ノード構成の検討

RPRの機器一重化対策として実際に路線対応網への適用を考えた場合、2案が考えられる。(図-7 参照) 図において案1は隣接通信塔と冗長を組んだ例、案2は通信塔内にノード2台を設置し冗長を組んだ例である。案1と案2はネットワーク機能としての差分はない。唯一の差分としては、冗長構成をとるための通信塔間に敷設される光ファイバーの費用とRPRノードの費用から生じるコスト差である。通常、通信塔間の距離は2km以内と比較的短いため、RPRノード1台より光ファイバー敷設のコストの方が安い。このため、路線対応網への適用に関しては、コスト比較の面から案1とした。

また、管理所については、各種中央装置ならびにネットワークどうしの接続場所であり、障害時に迅速な対応が出来るように維持管理面を考慮し案2の構成とした。

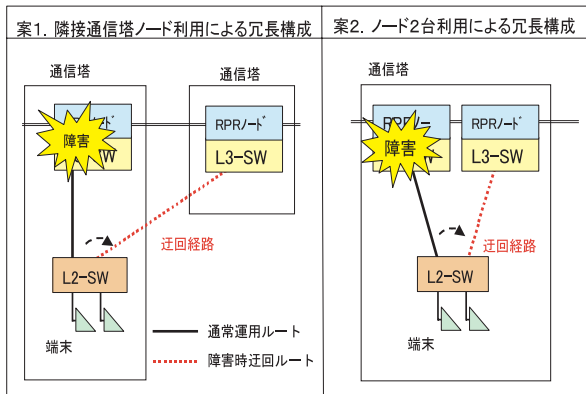


図-7 機器一重化対策

## (3) IPアドレスの検討

現在の阪神高速におけるIP端末収容は、SDHネットワークを利用した業務ごとのPoint to Pointによる接続であり、アドレス体系は、IP Version 4 (以下、IPv4と称す) クラスBによる業務ごとのネットワークアドレス体系となっている。しかし、現状において全てのネットワークアドレスが割り振られているため、将来の空き番号がない状態にある。

一方、将来ネットワークにおいては、全端末IP化の方向であり、伝送路も共有することから各

業務独自のIPアドレスの分立はアドレス体系の統一を欠き、アドレスの重複やアドレステーブルの増加によるネットワークの性能低下を招き、ひいては業務に支障をきたす可能性がある。このため、IPアドレス体系を定め、一元管理する必要がある。

現在のアドレス体系では、将来ネットワークへの空きアドレスが無いことならびに各業務へのアドレス割付の自由度を大きくするために、次期ネットワークではクラスAのプライベートアドレスを使用する。また、維持管理面を考慮し、地域・拠点・業務区分等を用いたサブネット単位でのアドレス配布を行う。

一方、IP Version 6 (以下、IPv6と称す) 対応については、以下のように考える。IPv6はインターネットの爆発的な普及に伴うIPv4のグローバルアドレスの枯渇を解消する目的を主として考えられたものではあるが、阪神高速においてはアドレス数からみてもIPv4の使用で十分であると考えられる。また、IPv6対応のネットワーク機器は市場に出始めているが、端末機器の市場導入はこれからであり、現状における端末機器への搭載は、実質困難であると思われる。また、IPv6の機能としてプラグアンドプレイ機能によるIPアドレスの自動設定やIPレベルによる認証・暗号化の機能もあるが、IPv4においてもDHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) サーバによる端末へのアドレスの配布、IPsec (Security Architecture for Internet Protocol) 対応ルータ等の使用による同等機能の実現が可能でありIPv4の使用で十分と考えられる。

以上の理由により、IPv6への早急な対応は必要ないと思われ、汎用化の進展に合わせた対応で十分であると考えられる。今後、他機関が阪神高速のネットワークにアクセスするためにIPv6を使用することも考えられるが、その場合にはIPv6-IPv4変換等の技術で対応が可能であり問題は無いと考える。



## 7. 既設ネットワークからの移行手順

### 7-1 端末の移行方法

IPネットワークへの具体的な移行方法については、ネットワーク構築後すぐに全ての端末をIP対応端末に変更し新ネットワークへ収容することは端末コストがかかる為、実質困難であると考えられる。基本的には、新規IPネットワークが構築されても当面の間は現行ネットワークと併設する。現状において、すでにIP対応した端末はIPネットワークへの収容を行い高速、大量転送の環境を提供する。非IP系端末については、端末の更新時期に併せて現行ネットワークからの業務・路線単位の段階的な移行を行うことで余裕もった移行が可能であると考えられる。移行のイメージを図-8に示す。

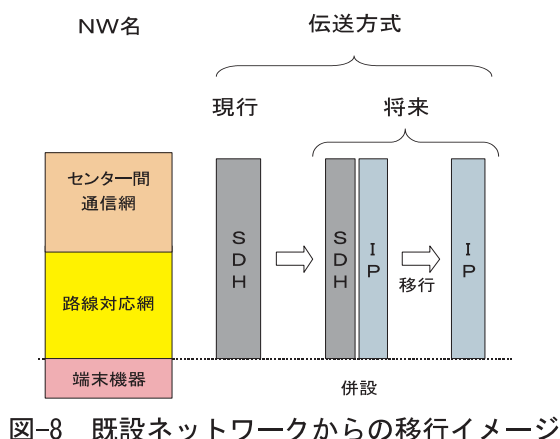


図-8 既設ネットワークからの移行イメージ

## おわりに

本稿で検討したRPRネットワークの構築により、今後の阪神高速におけるETC設備、映像系設備などによる情報通信設備の伝送容量の急激な増加に対しても、高効率、高品質、高信頼性を確保した通信の提供が可能となる。

通信ネットワークについては、構築後もネットワーク構成管理、ユーザ管理、トラフィック管理、障害管理、セキュリティ管理など多岐にわたる運用管理が必要であり、今後は維持管理面における検討が重要と考える。

今回検討したRPRノードを用いた基幹通信ネットワークが、今後の阪神高速における業務支援に役立つことを願うばかりである。

謝辞：本検討の実施にあたり、阪神高速道路の電気通信設備に関する調査検討委員会においてご審議を頂きました各委員の方々に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 阪神高速道路の電気通信設備に関する調査検討業務報告書，2003.3.
- 2) 阪神高速道路の電気通信設備に関する調査検討業務報告書，2004.3.

## THE CONSTRUCTION OF BACKBONE TELECOMMUNICATION NETWORK BASED ON IP TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY

Takeshi Yokoyama

At present, we have the backbone telecommunication network based on SDH equipment in the Hanshin expressway as the communication tool for Electricity, Telecommunication, Traffic control and some other systems. However we should develop more big capacity, higher speed and higher reliability transmission link because of the recent arrangement of the ETC system and the increase of the visual systems. Under such as conditions we studied the IP based Next Backbone Telecommunication Network of Hanshin expressway that is low cost and including enough performance, latest telecommunication technology.