

永野好昭\* 三井茂太\*\*  
山本正幸\*  
西出和弘\*

# MCAシステムの接続回線IP化対応

## IP Line Implementation in MCA System

Yoshiaki Nagano, Masayuki Yamamoto, Kazuhiro Nishide, Mota Mitsui

### 要旨

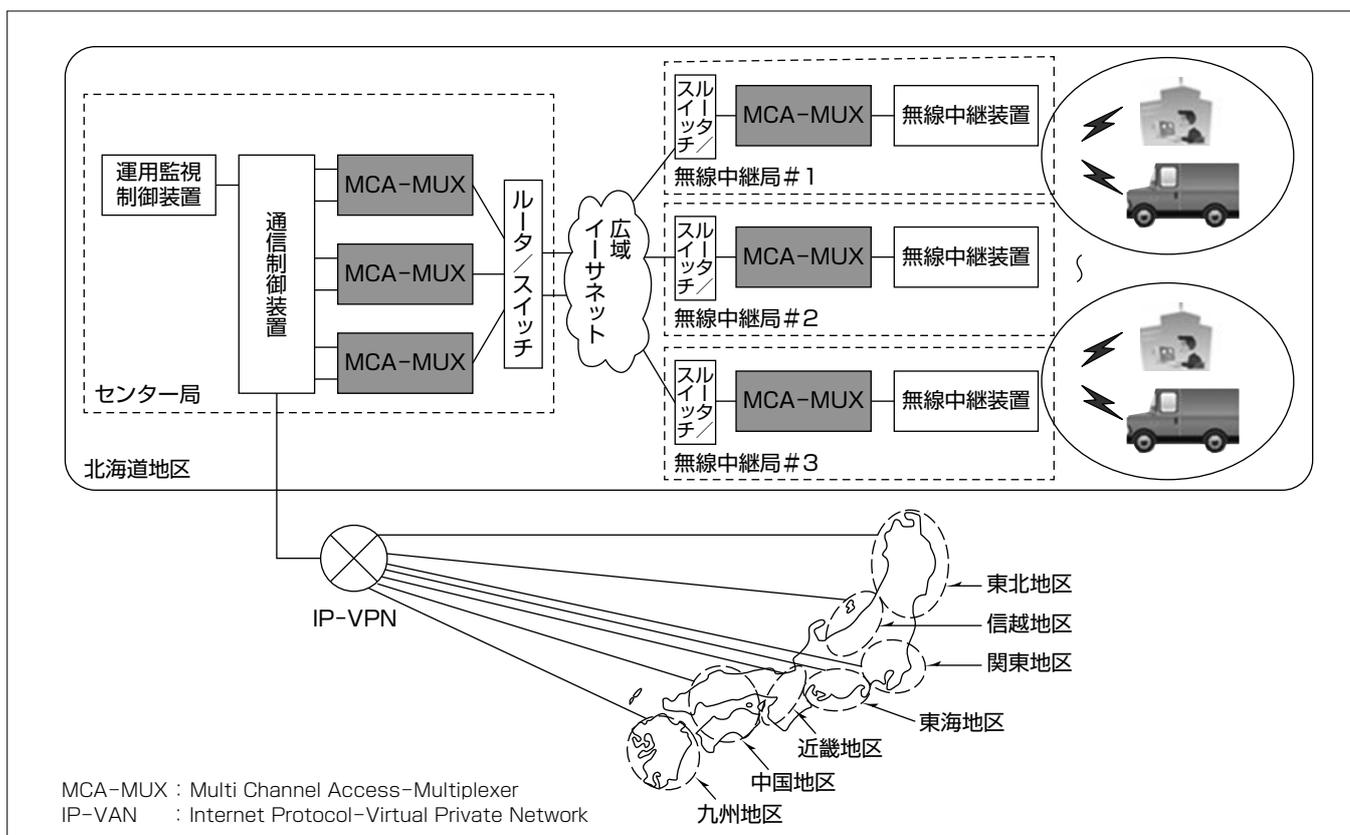
800MHz帯デジタルマルチチャネルアクセスシステム(以下“MCAシステム”という。)は、複数の周波数を多くの利用者で共用する業務用移動通信システムである。MCAシステムでは、各地区のセンター局に設置した通信制御装置と、山頂などの複数の拠点にある無線中継局内に設置されている無線中継装置との間を、デジタル専用線でスター型(集線装置を中心として放射状に端末を接続する方式)に接続し、各地区内での通信を実現している。

昨今、デジタル専用線通信機器の保守継続の困難化とIP通信のコスト低廉化等によって、各電気通信事業者にデジタル専用線サービスの終了に向けた動きがあり、デジタル専用線を利用しているMCAサービスへの影響が懸念される状況となってきた。このため、接続回線を、広

域イーサネット<sup>(注1)</sup>(IP)回線に置き換える開発を実施した。

従来の回線交換型のデジタル専用線とは異なるパケット交換型の広域イーサネット回線に対応するため、次の課題解決を行った。①伝送遅延対策について、データのペケット化時間間隔や、揺らぎ吸収バッファサイズを変更可能な設計とした。②網同期実現の方法について、GPS(Global Positioning System)の1PPS(Pulse Per Second)信号から基準クロックを生成する方式とした。③回線及び装置の冗長構成について、冗長構成のカードの、IPアドレス、MAC(Media Access Control)アドレスを仮想アドレスとして共通化することによって実現した。

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。



### 広域イーサネット接続による800MHz帯デジタルMCAシステム

800MHz帯の周波数を使用した業務用無線で、無線中継局の無線エリア内であればMCAシステムに登録された無線機間で通信可能な広域の無線サービスである。複数の通信チャンネルを多数の利用者が共用することで、電波の有効利用と利便性を実現した業務用移動通信システムである。

### 1. ま え が き

MCAシステムは、複数の周波数を多くの利用者で共用する陸上移動通信システムであり、ARIB STD-T85<sup>(1)</sup>に準拠した業務用移動通信サービスとして2003年からサービスが開始され、2011年公示の周波数割当て計画による再配備を経て現在に至っている。

図1に各地区内のMCAシステムの構成を示す。MCAシステムは全国を8地区に分割して運用されている。それぞれの地区のセンター局に設置した通信制御装置と、山頂などの複数の地点にある無線中継局内に設置されている無線中継装置が、MCA-MUX(MCA Multiplexer/demultiplexer)という多重/分離装置を介して、電気通信事業者が提供するデジタル専用線によって接続され、各地区内の通信を行っている。

2014年ごろから、デジタル専用線通信機器の保守継続の困難化とIP通信のコスト低廉化等によって、デジタル専用線サービスの終了に向けた動きが各電気通信事業者にあり、デジタル専用線を利用しているMCAサービスへの影響が懸念される状況となってきた。これを受け、MCAサービス継続のため対策が必要となった。そこで、MCAサービスを継続するために、デジタル専用線を広域イーサネット(IP)回線に代替する開発を行った。

### 2. 機 器 構 成

#### 2.1 従来の機器構成

従来機器の回線接続構成を図2に示す。PRI(Primary Rate Interface: 1.544Mbps)やBRI(Basic Rate Interface: 144kbps)のデジタル専用線が回線インタフェースカードに接続され、ユーザー端末の音声用データ(V.24インタフェース)や制御用データ(X.21インタフェース)が端末インタフェースカードに接続され、これらのデータが多重・分離される構成となっている。

#### 2.2 開発品の機器構成

現在のMCAシステムは長年安定運用されていることから、システム構成や運用保守作業の変更量を小さくすること、また、連続運転されているシステムであることから、回線切替えに伴う断時間を短くすることが必要であった。

広域イーサネット回線対応するWAEI(Wide Area Ethernet Interface)カードをMCA-MUX内の回線インタフェースカードとして新規設計した。図3に開発機器のWAEIカード使用時の回線接続構成を示す。

WAEIカードでは多重化されたデータを、一定周期ごとに、シーケンス番号等のヘッダを付加しパケット化して、UDP(User Datagram Protocol)伝送を行う。データ伝送に関わる処理はハードウェアで実現し、ARP(Address Resolution Protocol)処理やログ機能はソフトウェアで実現する。

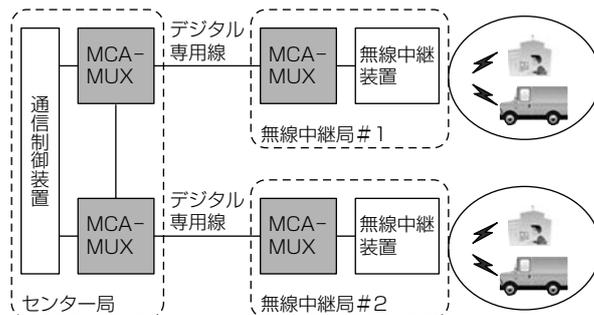
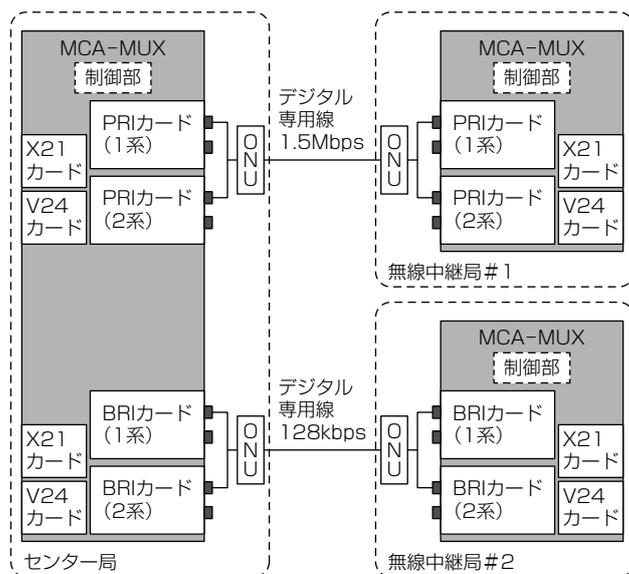
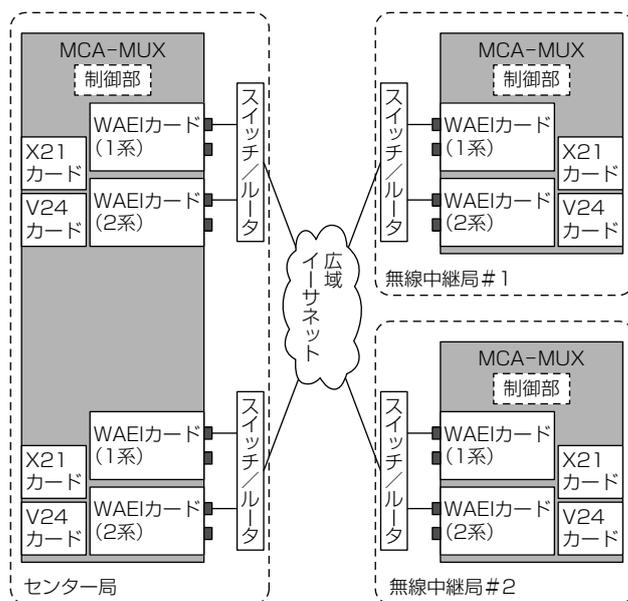


図1. 従来のMCAシステム構成



回線インタフェースカード：PRIカード／BRIカード  
 端末インタフェースカード：V24カード／X21カード  
 制御部：制御，多重／分離  
 ONU：Optical Network Unit

図2. 従来機器の回線接続構成



回線インタフェースカード：WAEIカード  
 端末インタフェースカード：V24カード／X21カード  
 制御部：制御，多重／分離

図3. 開発機器の回線接続構成

### 3. 開発の課題

MCA-MUXはデジタル専用線を利用することで、次の特長を持っている。

#### (1) データ伝送時の低遅延

MCA-MUXでは、入力されたデータをビット単位で多重／分離を行い転送する方式をとっており、装置内での遅延時間は2.6ms以下で実現している。

#### (2) クロックの網同期を実現

デジタル回線のデータ伝送クロックから基準クロック(8kHz)を抽出して、システム内のクロックを生成し、MCAシステム全体のクロックの網同期を実現している。

#### (3) 瞬断のない二重化切替え

MCA-MUX内の二重化されている回線インタフェースカードは、両系のカードを稼働状態として回線からの入力を両系に供給し、出力をスイッチで切り替える構成とすることで、瞬断のない二重化切替えを実現している。

回線交換型のデジタル専用線から、パケット交換型の広域イーサネット回線に代替えるためには、従来前提としていた低遅延とクロック伝送が得られないこと及び瞬断のない二重化切替えが不可能なため、次の課題の解決が必要である。

- ①データの伝送遅延増大と伝送時間の揺らぎへの対応
- ②網同期実現の方法
- ③装置及び回線の二重化構成の手法

### 4. 課題の解決策

#### 4.1 伝送遅延及び伝送時間の揺らぎ対策

伝送の遅延や揺らぎの発生は不可避であり、それらがMCAシステムの動作に影響を及ぼさない範囲にとどめる必要がある。

##### 4.1.1 MCA-MUXの遅延許容量の算出

MCAシステムではユーザーの音声通信(双方向通話及び同報通信)及びデータ伝送サービスが提供されている。伝送遅延時間増大の影響を評価するために、現行システムに意図的に回線遅延を挿入し、音声通話品質とデータ伝送を利用するアプリケーションの動作を検証した。その結果、遅延量を順次増大させ、60ms(往復)を超過すると、音声通話品質では問題はないが、一部のアプリケーションが正常に動作しなくなることが判明した。

この評価試験結果から、今回の回線変更によって増大する遅延量の設計上の許容最大値は54ms(往復)と設定した。

また、各電気通信事業者から、サービス品質保証制度(Service Level Agreement)として表明されている往復の遅延時間は県内10ms、県間30ms程度であり、これを正常な回線上で発生し得る最大値と想定した。回線とMCA-MUXとの間のルータ等の機器による遅延発生量は

1ms/通過とし、計4msと想定した。

これらから、MCA-MUX内の遅延許容量は、全許容量(54ms)から装置外の遅延量(最大34ms)を減算したものとなり20msと設定した。

#### 4.1.2 MCA-MUX内で発生する遅延量の制限値設定

MCA-MUX内の遅延要因を次の3つに分類し、それぞれの遅延量の制限値を設定した。

##### (1) 送信データのバケット化による遅延

連続データを一定時間間隔でバケット化すると、そのバケット時間間隔分の遅延が発生する。バケット化する間隔を短くすると遅延は短くできるが、データをバケット構造化した際に必要なヘッダ等のオーバーヘッドが大きくなり、データ伝送に必要な帯域が増大する。回線のコストは、契約する帯域が増大するに従い高くなる。そのためにデータ発生量に応じて、適切な間隔(帯域が512kbps以下の場合には、2.5ms、512kbpsより大きい場合は1.25msを標準の選択値とする)でバケット化する必要がある。MCA-MUX内では2.5msのマルチフレームタイミングを基準として動作しているため、この時間を基本に0.5倍と2倍のバケット化時間間隔を選択可能な設計とした。表1に元データレートに対する生成データレートとその増大倍率とバケット化間隔との関係を示す。

##### (2) 揺らぎ吸収による遅延

回線からの受信データを即座に転送する方式とした場合、回線上での伝送時間の揺らぎによって、データ受信が少しでも遅れると、データ未達によるエラー(Underrun)が発生する。これを防ぐために、受信データを一旦揺らぎ吸収バッファに格納してから処理をする。この機能によって吸収バッファ内でのバケット到着順序逆転、及び重複到着バケットの破棄の対応も可能となっている。吸収バッファサイズは5msに相当する量(2.5ms単位の場合には2個分)を標準をとして、設定によって可変可能な設計とした。また、WAEIカードの運用中の統計情報として、バケット通信情報(受信バケット数/バケットロス数)や受信バッファの状態(オーバー・アンダーフロー発生有無/バッファの使用量)等のログを最大1か月分内部保存する仕組みを備えた。

##### (3) 回路実装による遅延

回路実装によって発生する遅延は1.0ms以下で設計した。

表1. パケット化時のデータレート変化

元データレート	生成データレート					
	1.25ms間隔		2.5ms間隔		5ms間隔	
kbps	Mbps	倍率	Mbps	倍率	Mbps	倍率
64	0.74	11.6	0.50	7.8	0.38	5.9
128	0.81	6.3	0.56	4.4	0.44	3.5
256	0.93	3.7	0.69	2.7	0.57	2.2
512	1.19	2.3	0.95	1.9	0.83	1.6
1,152	1.83	1.6	1.59	1.4	1.47	1.3
1,536	2.21	1.4	1.97	1.3	1.85	1.2

これらの遅延量の制限値設定によってMCA-MUX内で増加する遅延量は標準設定値の場合に $17\text{ms} = ((\text{パケット化時間間隔} : 2.5\text{ms}) + (\text{吸収バッファサイズ} : 5.0\text{ms}) + (\text{回路実装による遅延} : 1.0)) \times (\text{対向機器} : 2\text{台})$ となり、 $20\text{ms}$ 以下を満足する。回線遅延が小さくMCA-MUX内の許容遅延量が多い場合には、パケット化間隔を $5\text{ms}$ として、伝送量を低減し、データ伝送間隔を小さくすることが可能である。

#### 4.2 網同期実現の方法

従来はデジタル専用線のデータ伝送クロックから基準クロック( $8\text{kHz}$ )を抽出して、PLL(Phase Locked Loop)によって生成したクロックでMCAシステム全体のクロックの網同期を実現していた。広域イーサネット回線ではクロックを送出できないため、対策が必要となる。GPS信号を受信し、GPS受信ユニットから出力される1PPS信号から基準クロック( $8\text{kHz}$ )を生成する方式を採用した。

GPS受信は設置環境や天候の影響を受けやすいので可用性(availability)の向上を図るために次の対策を実施した。

##### (1) 降雪によるGPS受信への影響対策

北日本/東日本等の山頂にあるMCA無線中継局では降雪が多く、GPS受信への考慮が必要となるため、雪山用のGPSアンテナを採用した。また、GPSアンテナ設置箇所は、GPS受信に適した全空に対しての見通しのよさだけでなく、落雪を受けにくい、積雪に埋まらないなどの条件を考慮して選定する必要がある。

##### (2) 落雷対策

MCA無線中継局は落雷がよく発生する山頂等に設置されることが多く、落雷によるGPSユニットやMCA-MUX本体の障害発生の可能性を低減するために以下の方策をとった。

GPSアンテナとGPSユニットの接続構成を図4に示す。

##### ①GPSユニットの保護

GPSアンテナからGPSユニット間にアレスタを取り付けGPSユニットの故障のリスクを低減する。

##### ②MCA-MUX本体の保護

GPSユニットの出力ポートにアイソレータを使用し、GPSユニットとMCA-MUX本体間のクロック信号の直流的な回路分離を実施した。またGPSユニッ

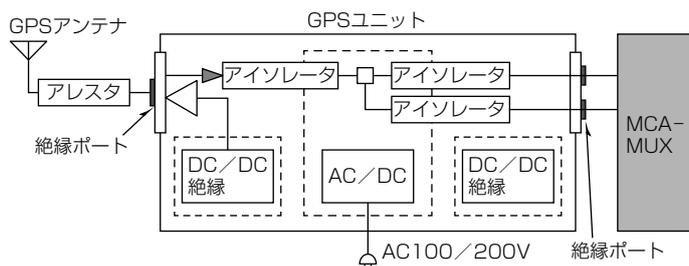


図4. GPSアンテナとGPSユニットの接続構成

トの入出力部には絶縁ポートを使用し、GPSアンテナ側からGPSユニットに雷サージが印加した場合でも、MCA-MUX本体に雷サージを流さない構造とした。

落雷等によってGPSユニットが故障し、1PPS信号が出力不可となった場合でも、MCA-MUXの自走クロックの精度を $0.03\text{ppm}$ とすることで、クロックスリップの発生等の影響が限定的になるように対応した。

#### 4.3 装置及び回線の二重化構成

##### 4.3.1 装置の二重化構成

WAEIカード2枚構成による現用/予備切替え方式とし、1枚をプライマリカード、もう1枚をバックアップカードとする。2枚のカードでIPアドレス及びMACアドレスを仮想アドレスとして共通のものを使用し、カードがStandbyからActive状態に変化する際に、GARP(Gratuitous Address Resolution Protocol)を送信することで、接続先に通知する方式を採用した。

IP対応で従来と同様の無瞬断でカード切替えを実現するには装置規模が大きくなるため、カード切替え時の一部パケット消失は、許容する仕様とした。

##### 4.3.2 回線の二重化構成

回線の二重化は信頼性向上のためには望ましい手段であるが、回線費用の増大を伴うために、その回線の重要度とコストのバランスで二重化を適応するかどうかを選択することが必要である。今回はシステム構成の変更規模を最小に抑制する観点から、MCA-MUX内では複雑な回線二重化を行わず、接続するルータの機能を利用して回線の二重化を実現できるようにした。

#### 5. 回線の特性・性能の事前評価

デジタル専用線からの円滑な移行を図るため、広域イーサネット回線の仕様・品質を事前に正確に把握した。3か所で異なる電気通信事業者の回線を敷設し回線の評価環境を構築し、回線帯域、回線遅延/揺らぎ、回線切替え時間等の評価試験を行った。開発品の動作を模擬するために、指定したサイズのUDPを定周期( $1.25\text{ms}/2.5\text{ms}/5\text{ms}$ 等)で送信し、パケット受信側で到達の有無、到着順序逆転、伝送遅延時間等を評価する装置を試作した。

##### 5.1 回線帯域の評価

回線の契約帯域に対して、伝送可能な通信量を評価した。評価は、特定のサイズの packets を一定間隔で継続して送信し、全送信パケットに対して正常に受信できたパケット数を基に実伝送容量を算出して行った。1つのパケットサイズにおける測定時間は30秒とし、パケットサイズを変更して同様の測定を行った。これを双方向で同時に実施した。その結果例を図5、図6に示す。それぞれ送信レートが契約帯域までは、受信欠落は発生せず、送信レートと受信レートが完全に一

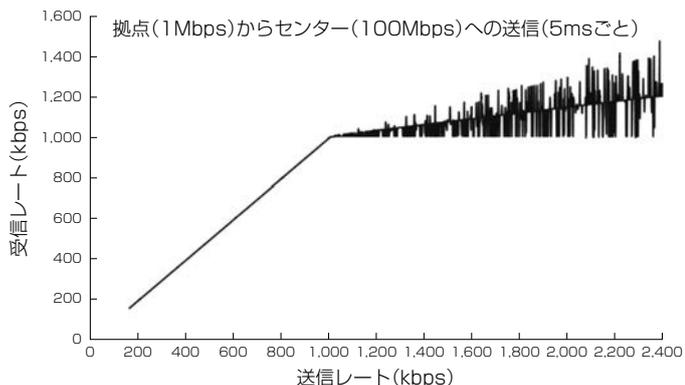


図5. 受信-送信レート評価結果 例1

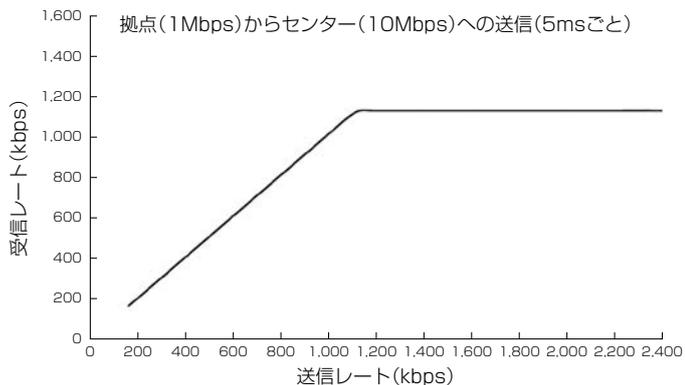


図6. 受信-送信レート評価結果 例2

致している。送信レートが契約帯域を少し超えたところから、受信欠落が発生し始め、超過パケットが破棄され、帯域制御が機能していることが読み取れる。UDPデータ送信周期を1.25ms、2.5msと変更した場合も同様の結果が得られ、送信周期の違いによる差は見られなかった。

このように広域イーサネット回線では、回線帯域の制御は厳密に行われており、契約帯域を超える通信は不可能と判断できる。よって必要となる帯域量算出時には、MCA-MUX間で必要となる回線帯域に加えて、ルータ/スイッチのリモート保守、各機器のブロードキャスト等の運用に伴い発生するデータの伝送量変動を考慮する必要がある。

### 5.2 回線遅延/揺らぎの評価

回線対向で遅延時間を測定できる機器を用意し、遅延時間とその揺らぎを評価した。L2スイッチのみで接続(ルータを使用せず)した場合の伝送遅延は1ms程度、ルータを

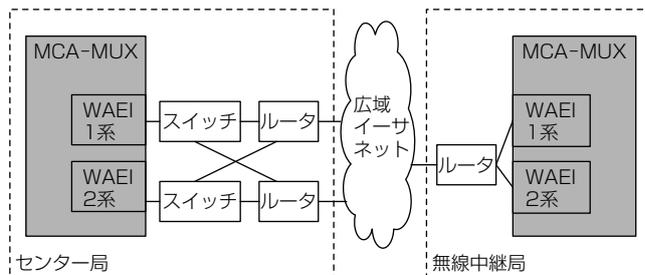


図7. 回線とルータ接続構成

経由した場合の遅延時間は2.2~2.9msで、今回の評価試験を行った試験用回線は、試験場所近隣の回線収容局から敷設されていたと推測されるものの、回線遅延に関するSLAの規定(県内10ms、県間30ms)は十分に満足されていると考えてよい。

### 5.3 回線切替え時間の評価

図7に回線とルータの接続構成を示す。図の左側は回線が二重化されており、右側は一重である。

MCA-MUX側がWAEIカード切替えを主導する場合はGARPによる切替え通知がルータに到着して切り替えが100msで完了し、回線の不通などでルータが回線を切り替える場合はルータの冗長化プロトコルによって差異があるが、数十秒から1分程度を要して切り替わることを確認した。

## 6. むすび

MCA-MUXのIP回線対応開発を実施し、フィールド試験で設計通りの良好な動作を確認した。今後デジタル専用線から広域イーサネット回線へ切替え工事の順次実施が予定されており、MCAシステムの継続運用に支障は発生しない。

現在デジタル専用線を利用している他のシステムでも、デジタル専用線からIP回線への変更は必然的な流れである。今回のMCAシステムの広域イーサネット対応開発での成果は、他のシステムのIP回線への変更を行う際にも活用可能であり、円滑なIP回線への移行に貢献可能なものである。

### 参考文献

- (1) ARIB標準規格 STD-T85：800MHz帯 デジタル MCAシステム、一般社団法人 電波産業会 (2003)