

## CSMA/CD方式LANの 拡張についての一考察

柳田耕二、太田義久、松下温  
(沖電気工業株式会社)

### 1. はじめに

ローカルエリアネットワーク(LAN)はオフィスオートメーション(OA)、ラボラトリオートメーション(LA)などの種々の応用分野においてシステム化する際に不可欠な通信網であるが、LANに対する要求はそのシステムの目的、機能に応じて異なる。

例えば、規模の面からもその対象は40~50階クラスの大きなビルから4~5階程度の小さなビル、さらに広大なキャンパスや工場と千差万別である。

従って1つのタイプのLANですべての要求を満足させることは経済的に不利である。表1にLANの種類を示すが、これらLANを階層化し、カバーする領域の小さいものから大きいもの、コストの安価なものから高価なものまで自由に組み合わせて使用できる柔軟性が要求される。

また、公道、鉄道、河川などをはさんだビル間、構内間のLAN接続の様に伝送路の布設が困難な箇所の対処も必要となる。

さらに、オフィス、研究室などの一般的作業環境に設置される端末のレイアウト変更などが容易にできるように考慮する必要がある。

表1に示したバス形LANの代表的なものとして通信速度が10MbpsでCSMA/CD方式のEthernetがあるが、本稿ではこのバス形LANの拡張方法について述べる。

上記CSMA/CD方式のLANは表2の仕様に示すように伝送距離が最大2.5Km(リピータ使用時)であるため、広大なキャンパスなどで用いる場合は他のLANと組み合わせて最適なネットワークを構築する必要がある。2項ではその相互接続の一方式について

表2 バス形LANの基本仕様

項目	基本仕様
伝送速度	10Mbps
伝送路	同軸ケーブル (ベースバンド方式)
伝送距離	500m/セグメント 総延長・最大2.5km
伝送路構成	バス
アクセス方式	CSMA/CD
ノード数	最大 1024
フレームサイズ	64~1518 オクテット
最大ラウンドトリップ 伝播遅延時間	51.2μs
トランシーバケーブル	最大 50m

述べる。

3項では、このバス形LANにより柔軟性をもたせるため、端末の移設、増設が容易にできるワイヤレス化についてのその適用箇所と実現方法について述べる。

### 2. バス形LANとリング形LANの相互接続

バス形LANはその最大延長距離、ノード数に制限があるため、広い構内で大規模なLANを構築する場合は単一のLANでは無理である。そのため、各地域毎にバス形LANを設置し、それらを接続して広域のネットワークを構築する必要がある。

そのための方法としては、構内に限れば大容量高速通信の可能なリング形LANを幹線として使用し、各所に点在するバス形LANを接続することが考えられる。

本項ではバス形LANとリング形LANを接続する相互接続モジュールの一構成法について示す。

#### 2.1 相互接続によるシステム

バス形LANとリング形LANで構成されたシステム例を図1に示す。バス形LANは同一フロア内または同一建物内程度の短距離もしくは中距離の範囲のシステムに適用される。バス形LANには分散処理プロセッサ(DDP)、ワークステーション(WS)、LANインタフェースユニット(LIU)等各種ノードおよびパーソナルコンピュータ等の端末が接続される。

リング形LANは、表3に示すように、大容量高速通信および長距離伝送を目的とし、伝送媒体に光ファイバケーブルを使用している。そのため、リング形LANは複数のバス形LANを接続する基幹回線として適用できる。

バス形LANは、リング形LANの中央ステーショ

表1 主なLANの方式例

トポロジ	伝送媒体	伝送速度	主な情報の種別	適用分野
スター	より対線	~84Kbps	文字、イメージ、 音声	音声主体のLAN (既設ケーブルの利用)
リング	より対線 光ファイバ	1~5Mbps 10~100Mbps	文字、イメージ、 音声、画像	OA、LA、 幹線のLAN (マルチメディア)
バス	より対線 同軸 光ファイバ	1~10Mbps	文字、イメージ	OA、LA、 (小、中規模)

ン (CS) または遠隔ステーション (RS) において接続され、複数のバス形 LAN のノード、端末間の通信が自由にできる構成となっている。

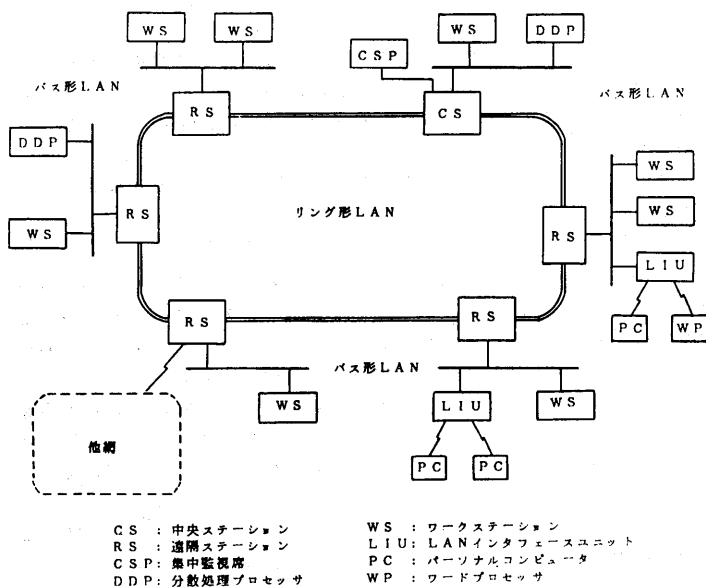


図1. 相互接続によるシステム構成例

表3 リング形LANの基本仕様

項目	基本仕様
伝送速度	3.2 Mbps
伝送媒体	光ファイバケーブル
伝送路構成	2重化ループ (バイパス、ループバック)
ステーション間距離	最大 7 または 2 km
ステーション数	最大 100
最大ループ長	200 km
交換方式	パケット交換
パケット交換のアクセス方式	トークンバス方式
通信形態	N:N

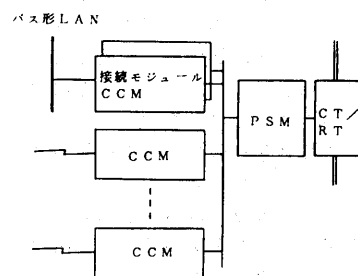


図2. ステーションのハードウェア構成

## 2.2 接続モジュールに対する要求条件

バス形 LAN とリング形 LAN の接続は CS または RS (以降ステーションと称す) 内の接続モジュールにて行なうが、この接続モジュールに対して要求される条件として以下のものがある。

- (1) リング形 LAN を経由したバス形 LAN 端末間の透過的通信を可能にする。
- (2) 多負荷に耐え得る処理能力。
- (3) 24時間運転を可能とするための高信頼性。
- (4) 保守・運用の容易性。
- (5) システムの拡張性・柔軟性への対応。

## 2.3 接続モジュールの実現方法

- (1) ステーションの中における位置付け。

図2にリング形 LAN のステーションのハードウェア構成を示す。ステーションは、光ループ端局 (CT/RT)、パケット交換モジュール (PSM) および各種の通信制御モジュール (CCM) で構成される。バス形 LAN との接続モジュールはステーションの中の一つの CCM として位置付けられる。システムの拡張性・柔軟性を考慮し、PSM と各種 CCM との間のインターフェースは共通化されている。

- (2) 接続モジュールの二重化

信頼性向上のため、CT/RT・PSM は二重化されているが、接続モジュールについても、その障害がシステム全体に与える影響が大きいため二重化されている。二重化された運用系・予備系の接続モジュールは、PSM の指示に従って常時ヘルスチェックを行い、即時に障害を検出できるようになっている。

- (3) 2 プロセッサ構成

接続モジュールの内部は、マスタ CPU 部とスレーブ CPU 部で構成され、それぞれルーティング処理とバス形 LAN 側の処理を分担させて行なわせることにより、処理能力の向上を計っている。

- (4) 接続モジュールの加入形態

接続モジュールのリング形 LAN への加入形態は、簡単化のために PVC (パーマネントバーチャルサーキット) を基本としている。図3に示す様に1対の接続モジュール間は1本のPVCで接続されている。

### (5) ルーティング方式

バス形LANを構成するノードにはアドレスが割当てられ、パケットを送受信する際の宛先および送信元アドレス(DSA, SSA)に使用される。アドレスはルーティングが容易に行なえるようにノード番号の他にエリア番号も含む。接続モジュールは、このエリア番号(接続モジュール配下のバス形LANに付与された番号)によってルーティング処理を行なう。

接続モジュールにおけるルーティング処理の例を以下に示す。(図5参照)

[バス形LANからリング形LANへのルーティング]

[1] バス形LANのノードから送信された宛先エリア番号を含むパケットを受信。

[2] 送信元エリア番号の変換。

[3] 宛先エリア番号に対応してリング形LANのパケットヘッダを付加して、宛先ステーションに送信。

[リング形LANからバス形LANへのルーティング]

[4] リング形LANからパケット受信。

[5] リング形LANのパケットヘッダ削除。

[6] 宛先エリア番号を交換して、バス形LANのノードに送信。

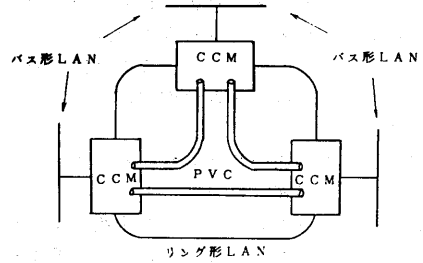


図3. 接続モジュールの加入形態

### 2.4 接続モジュールの評価

本接続モジュールにおいては、ルーティング処理のオーバーヘッドが少なく済み、リング形LANを経由したバス形LAN端末同士の通信が効率的に行える。

また、接続モジュール内に必要とされるルーティング情報はエリア番号のみであるため以下のように拡張性、柔軟性がある。

- (1) 端末増設時の変更が不要である
- (2) バス形LAN増設時の変更が少い

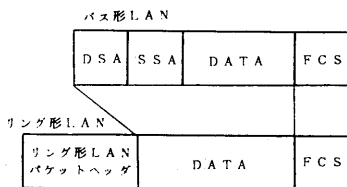
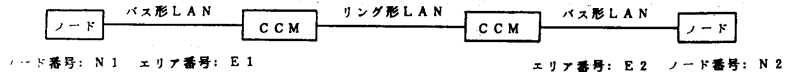
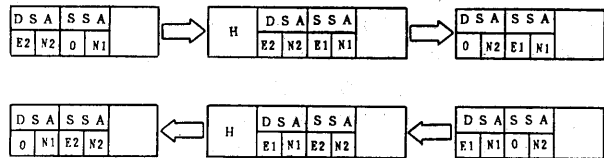


図4. パケット構成



H: リング形LANパケットヘッダ

図5. ルーティング処理の例

### 3. バス形LANのワイヤレス化による拡張

無線方式の利点は通信線を必要としないで、いつでも必要な場所へ端末装置を自由にできること、また端末の移設、増設は通信工事が不要で経済的な回線構築ができることである。さらに無線により通信路の布設が困難な場所でも接続可能であり、ネットワークの拡張が容易に行なえる。

本項ではバス形LANの無線化による拡張について適用箇所および方法について考察する。

#### 3.1 適用箇所

図6にCSMA/CD方式によるバス形LANのシステム構成を示すが、この中で無線化の適用箇所を

挙げると以下に示すように4箇所考えられる。

- (a) 同軸ケーブルセグメント間のワイヤレス化 (図6-a)
- (b) トランシーバ・ノード間のワイヤレス化 (図6-b)
- (c) LANインタフェースユニット(LIU) - 端末間のワイヤレス化 (図6-c)
- (d) 同軸ケーブルのワイヤレス化 (図6-d)

これら(a)、(b)、(c)、(d)の4箇所の無線化の適用について、必要性、経済性、現状のLANとの親和性、適合性の面から評価を試みた。

必要性の面から見ると、全ての箇所において適用されるべきであるが、特に(a)においては公道・河川

・鉄道越え、ビル間などの接続として不可欠である。また(c)においてもL I U収容の端末としてパソコン、パープロ、プリンタなどのような半固定装置、可搬形のものも多く、移設する頻度が高いため、無線化の要求は強い。

バス形LANとの適合性という面からは、(a)、(c)においては問題ないが、(b)、(d)においてはCSMA/CD方式で必要な衝突検出についての考慮が必要となる。特に(d)においては衝突検出が困難であるため他のアクセス制御方式、またはトポロジについて検討する必要がある。

経済性の面からは、無線化の効果と合せて考えるべきであり、(a)、(c)、(d)がよいと考えられる。

どの適用箇所においても無線化の対象として重要であるが、特に必要性の面から、(a)の同軸ケーブルセグメント間と(c)のL I U-端末間の無線化の方法について述べる。

### 3.2 同軸ケーブルセグメント間の無線化

#### 3.2.1 方式比較

同軸ケーブルのセグメント間を無線化する方法としては、図6-aで示したようなリピータ方式のほかにゲートウェイ方式も考えられる。

リピータ方式は、基本的には情報信号を中継するのみで、一つのバス形LANの延長といえる。この場合無線伝送速度として10Mbpsが要求される。

一方、ゲートウェイ方式は、無線伝送速度が10Mbpsよりも低く、速度交換が必要な場合に有効である。従って一方の同軸ケーブル上で発生した全ての情報をもう片方の同軸ケーブルへ流すことは不可能であるため、2項で述べたようなルーティング処理を行ない、片方のバス形LAN宛の情報のみ伝送するようにする必要がある。

リピータ方式は遅延時間も少なく、一つのバス形LANとして端末相互間の通信が可能であり、システムを拡張する場合に端末、その他の相互接続装置の変更が不要である。

ゲートウェイ方式は、ルーティング処理が必要となりシステム構成上も多少複雑となるが、無線伝送速度を低く抑えられること、無線区間の回線品質が低い場合に、誤り検出・訂正などリンクバイリンクの制御が可能であることなどの利点がある。

リピータ方式、ゲートウェイ方式の選択は、システムの用途、目的に応じてなされるべきものであると考えられるが、本稿では、リピータ方式についてその実現方法を述べる。

ゲートウェイ方式では2項で述べたようなアドレス

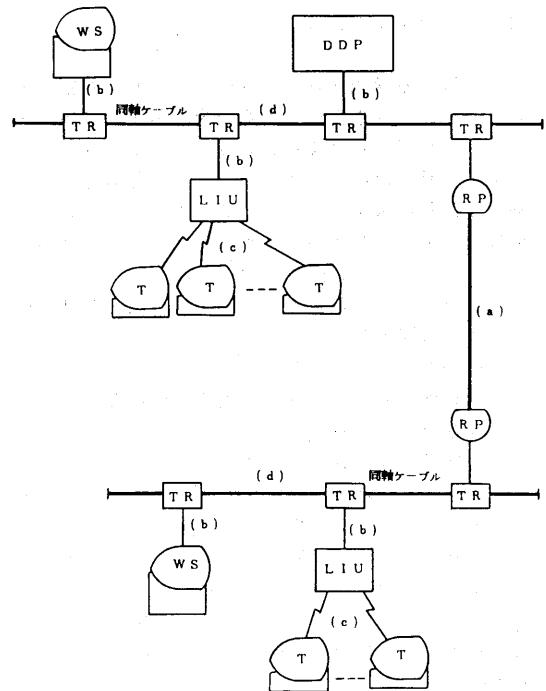


図6 バス形LANの無線化適用箇所

体系を持ちルーティング処理を行なえば実現が容易であるが、無線区間での誤り制御を含めたプロトコルの検討が必要である。

#### 3.2.2 リピータ方式で必要とされる機能・性能

リピータ方式で同軸ケーブルセグメント間の接続を行なう場合の無線リピータ装置の満足すべき機能・性能としては、伝送速度、通信方式、衝突検出機能、伝搬遅延時間などがある。

##### (1) 伝送速度

一方に発生した信号をそのまま他方の同軸ケーブルに中継するため無線区間の伝送速度としては最低10Mbpsが要求される。従って、広帯域伝送が可能な無線媒体、方式を選択する必要がある。

##### (2) 通信方式

同軸ケーブル間の双方向通信のため、少なくとも半二重である必要があるが、次に述べる衝突検出を実現するためには全二重方式つまり無線チャンネル数としては2チャンネル必要である。

### (3) 衝突検出機能

CSMA/CD方式のバス形LANのリピータでは衝突を検出した場合、両方の媒体に96ビットのジャムを送出する必要がある。

問題となるのは無線区間での衝突検出であるが、無線チャンネルが1チャンネルではその検出は困難である。そのため、それぞれのリピータに異なる送信用チャンネルを与え、一方のリピータが送信中に、もう片方からの送信(例えばキャリア)を検知できるようにして、衝突検出を行なうことにした。

### (4) 伝搬遅延時間

10MbpsのCSMA/CD方式のバス形LANではラウンドトリップ時間を最大51.2μsと規定しており、リピータでもその点を考慮しなければならない。

リピータに対する配分から両方のリピータでの遅延時間は、往路で約5μs以下、復路で6μs以下となる必要がある。

### 3.2.2.2 無線リピータの構成

#### (1) ブロック構成

無線リピータは図8に示す様にLAN接続装置と無線装置で構成される。

LAN接続装置、送受信ドライバ、FIFOなどのハードロジックのみで構成され衝突検出処理、プリアンプルの挿入、断片フレームの拡張等の機能をもつ。無線装置には、広帯域のデジタル信号伝送が可能で前項で述べた必要機能、性能を満足できる双方向50GHz帯無線装置を使用する。

50GHz帯無線方式の特徴を表7に示す。

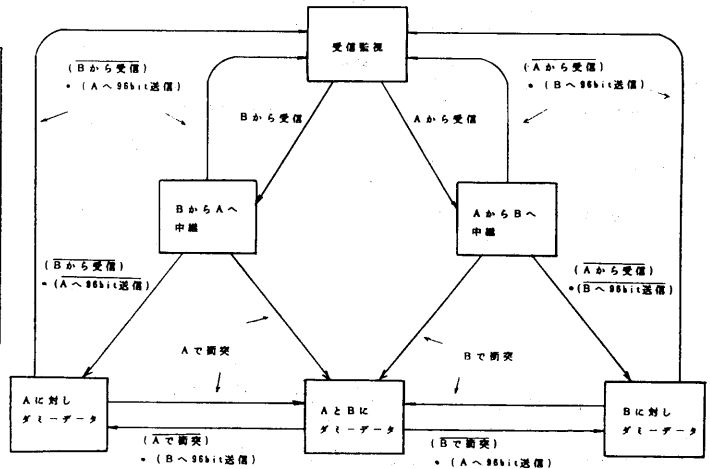
#### (2) 動作

無線リピータは図9に示す状態遷移に基づいて動作する。

以上述べた無線リピータは、伝搬遅延時間の関係で無線区間での誤り検出、訂正が不可能であるため、降雨時などの回線品質の低下の影響など今後検討評価していく。

表7 50GHz帯無線方式の特徴

- |   |
|---|
| (1) 広帯域信号の伝送が可能                               |
| (2) 小形軽量                                      |
| (3) 小形のアンテナで高い利得と指向性が得られるため、他の無線回線との干渉妨害が少ない。 |
| (4) ミリ波であるため降雨により回線品質が低下する。                   |
| (5) 閉局手続きが簡単である。                              |



A: 同軸ケーブル側  
B: 無線側

図9 リピータの状態遷移図

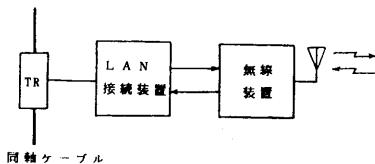


図8 無線リピータのブロック構成図

### 3.3 LIU (LANインタフェースユニット) - 端末間の無線化

#### 3.3.1 無線化の利点

LIU-端末間を無線化することにより、次のような利点がある。

(1) 端末の移設、増設、レイアウトの変更が容易にできる。特にパソコン、ワープロなどで可搬形・半固定形の端末は移設することがたびたびあり、ワイヤレス化は有効となる。

(2) ケーブル布設の工事が不要である。特にオフィスなどでの通路渡しなど布設が困難な所で効果がある。

(3) ワイヤレスにより、室内の美化が保てる。

### 3.3.2 適用する際の留意事項

L I U—端末間のワイヤレス化の適用においては、以下に示すような無線特有の問題について留意する必要がある。

- ・電波の周波数資源は有限である。
- ・反射波による影響を受ける。(伝搬遅延量の差)
- ・干渉、混信の可能性が多い。
- ・種々の雑音の影響を受けやすい。

従って、適用する場合には、無線チャネル数の制限、伝送速度の制限、通信エリアの制限、回線品質の低下などについて充分配慮する必要がある。

表8 無線方式において留意すべき事項

無線チャネル数の制限	電源の周波数資源は有限
伝送速度の制限	反射波による伝搬遅延量の差
通信エリアの制限	干渉、混信
回線品質の低下	種々の雑音

### 3.3.3 方式比較

L I U—端末間を無線化する場合、通信方式により、いくつかの方式が考えられるが、これらの方式について、必要無線チャネル数、拡張性、経済性、現状のL I U—端末間の方式との適合性の面から比較評価を行なう。

#### (1) 各方式の特徴

図10. a～図10. eに各方式の構成と特徴を示す。

方式Aは端末対応に無線チャネルが2チャネルあり全二重のポイントツーポイントの通信を行う。

方式Bは端末対応に無線チャネルが1チャネルであり、半二重のポイントツーポイントの通信を行う。

方式Cは、L I U送信用に1チャネル、端末送信用に1チャネルしかないため、端末同志の同時送信を

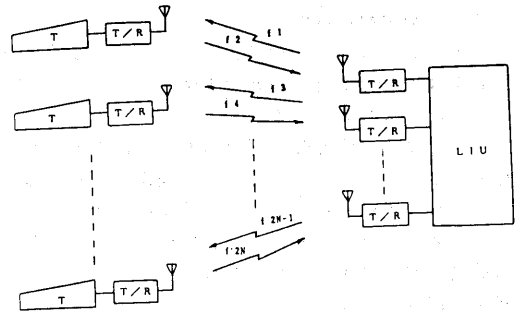


図10-a 方式A

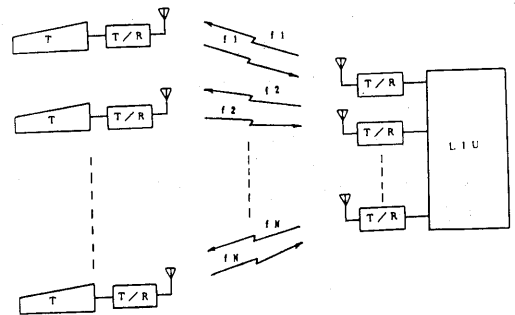


図10-b 方式B

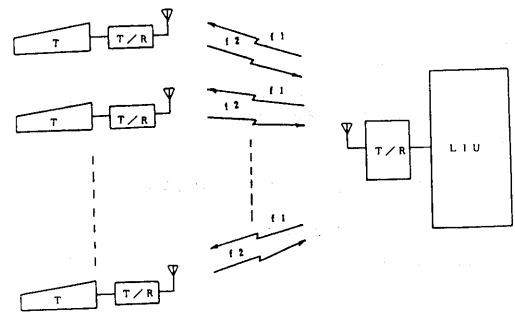


図10-c 方式C

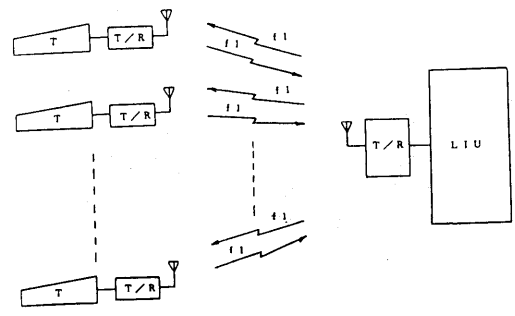


図10-d 方式D

避するため、チャネルアクセス制御を行う必要がある  
方式Dは、無線チャネルが全体として1チャネルしかないため、方式Cと同様にチャネルアクセス制御が必要となる。

### (2) 無線チャネル数の比較

各方式の無線チャネル数は、端末台数をNとすると方式Aで2Nチャネル、方式BでNチャネル、方式Cで2チャネル、方式Dで1チャネルである。

無線チャネル数に制限があることを考慮すると、方式C、Dが良い。

### (3) 拡張性

方式A、Bは、全システム中に無線方式LIUシステムの数が少ない場合、端末増設等容易であるが、無線方式のLIUシステムが多くなると、無線チャネルの管理が難しくなってくる。

混信の可能性を防ぐため、少なくとも隣接LIUシステム同士は全く異なる無線チャネルを割り当てる必要がある。

拡張時の無線チャネルの管理は、方式C、DではLIUを増設するときのみでよいが、方式A、Bでは端末を増設する時にも必要となる。

### (4) 経済性

無線機の数で評価した場合、方式A、Bの2N台に比べ、方式C、DではN+1台で済むため、方式C、Dの方が有利である。しかし方式C、Dではチャネルアクセス制御機能を各装置に取り込むことによる装置の価格増のため、LIUシステムの規模が比較的小さい場合には不利となる。

### (5) 現状のLIU-端末間の方式の適合性

現状の無線方式のLIU-端末間の通信形態は、全二重のポイントツーポイント方式であり、方式A、Bと適合性がある。方式C、Dは既存のLIU-端末間を無線化する場合、既存システム特にLIU側の変更が大きくなる。

以上、各方式の評価を行ったが、規模の比較的大きいシステムへの対応、柔軟性、拡張性を重視したことおよびチャネルアクセス制御の容易性から方式Cを選びその実現方法について述べる。

## 3.3.4 実現方法

方式Cについてその実現方法を考察する。

### (1) チャネルアクセス制御

端末側の送信用の無線チャネルは1つのLIUシステム中に1チャネルしか割当てられないため、端末同士の同時送信による衝突を防ぐ必要がある。

このためのチャネルアクセス制御方式としてCSMA、BTMA (Busy Tone Multiple Access) など各種提案されている。無線方式LIUシステムでは端末をLIU側から集中制御できること、およびLIU収容端末数は比較的少ないことなどから、LIUの指示に従って特定の端末だけに送信権を与えるポーリング方式をチャネルアクセス制御として採用した。

### (2) 誤り制御方式

回線品質が悪い無線方式では、誤りを何らかの手段で検出、訂正してデータ通信を行う必要がある。これを実現する方法として、受信側で一方的に誤り訂正を行うFEC (Forward Error Correction) 方式と誤り検出を行い誤りが検出されれば再送を要求するARQ (Automatic Repeat Request) 方式が考えられる。特に誤り率の高い場合は、FEC方式とARQ方式を組合せた方式が有効である。その他バースト誤りに対処するため、FEC方式にインターリーブを取り入れるとより効果的である。しかし、インターリーブを行うと回線品質は向上するものの遅延時間が問題となる。

誤り制御は無線回線の品質に応じて上記方式を選択組合せていくべきである。

### (3) 装置ブロック構成

LIU側の基本的な装置ブロック構成を図11に、端末側の装置ブロック構成を図12に示す。

この構成においては、LIU装置、端末装置側でチャネルアクセス制御、誤り訂正、再送などを行い、無線装置側で誤り訂正機能(ハードロジックで実現)を持つ。

また、既存の端末にも対応できるようにするため図-13で示すように、無線装置側にチャネルアクセス制御、誤り制御機能を持たせた構成も考える必要がある。

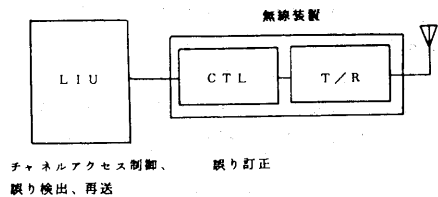


図11 LIU側のブロック構成

ないなど数多い利点を有しており、L I U-端末間のワイヤレス化の方式として検討する必要がある。

#### 4. あとがき

本稿では、バス形LANの拡張方法について、バス形LANとリング形LANの相互接続モジュールの方式と、バス形LANの無線化に関して、その適用箇所と実現方法について述べてきた。

バス形LANとリング形LANの相互接続モジュールの方式は、バス形LAN端末間の通信が効率的に行え、相互接続モジュールの処理の負荷も少なく、拡張性、融通性のあるネットワークを構築できると考える。また、バス形LANの無線化については、その必要性と適用箇所およびその実現方法について述べた。今後は、本方式の装置による実験、評価を重ねて行くとともに伝送遅延の少ない無線パケット方式および、無線回線における効率的な誤り制御方式を確立していく。

#### 〈参考文献〉

- [1] 関根他「ローカルエリアネットワーク相互接続の実現法」  
情報処理学会分散処理システム研究会 24-2, 1984
- [2] IEEE 802.3「CSMA/CD Access Method and Physical layer spec.」1983
- [3] (社)日本電子機械工業会 LAN調査研究委員会「無線を利用した構内ネットワークに関する調査研究報告書」1985

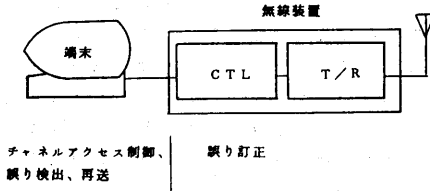


図12 端末側のブロック構成-1

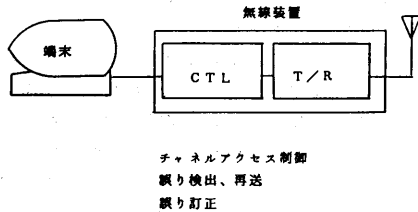
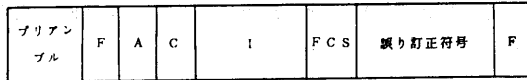


図13 端末側のブロック構成-2



- F : フラグシーケンス
- A : アドレス部
- C : 制御部
- I : 情報部
- FCS : フレーム検査シーケンス

図14 フレーム構成

#### (4) フレームのフォーマット

L I U-端末間で伝送されるフレームの構成を図14に示す。

フレーム構成は基本的には“J I S C6363 ハイレベルデータリンク制御手順のフレーム構成”に準拠する。図14中の誤り訂正符号は図11, 12の構成において無線装置がA, C, I, FCSフィールドに対して符号化し付け加えたものである。

この場合、誤り訂正符号化による遅延時間を最小にするため、無線伝送度を高くする必要がある。

以上L I U-端末間の無線化について述べたが、今後は本方式における伝送効率、伝送遅延時間等の評価を行う。

また、光空間伝播方式についても雑音の影響を受け