

研 究

VI-3 デジタル陸上移動通信における
GBN-ARQ 方式の特性

神 尾 享 秀*

(1990年8月20日受理)

VI-3 CHARACTERISTICS OF GBN-ARQ IN DIGITAL
LAND MOBILE COMMUNICATIONS

By

Yukiyoshi KAMIO

1. ま え が き

近年、コンピュータ技術の発展にともないデジタルデータ伝送が盛んであり、陸上移動通信においても重要となってきた。

ところで、データ通信においては、高信頼性が必要とされるため、ARQ (自動再送要求) 方式による誤り制御が必須である。

ARQ 方式は、衛星回線などでは多くの研究がなされている。しかし、陸上移動通信では MCA システムにおいてサブキャリアを用いた方式などアナログ回線を用いたものが実用化されている程度である。また、SAW (Stop And Wait) 方式の研究は盛んである⁽¹⁾⁽²⁾ がその他の方式は少ない⁽³⁾。

陸上移動通信におけるデータ伝送においては衛星回線と異なり伝搬遅延が無視できる。しかし、フェージングにより誤り率の変動が大きいと、誤り無しを要求されるデータ伝送において、その実現には過酷な条件である。

本稿では、陸上移動通信への ARQ 方式の適用に当たって、各種方式の比較及び、GBN (Go-Back-N) 方式の室内実験による評価、解析を行った結果について報告する。

2. ARQ の概念

誤り制御方式を分類すると、大きく次の2つに分けられる。

(1) ARQ (Automatic Repeat Request ; 自動再送

要求)

(2) FEC (Forward Error Correction ; 前方誤り訂正) 方式

ARQ 方式は古くから知られており、コンピュータを介するデータ通信への導入が進んでいる。

第1図に ARQ による伝送路モデルを示す。多くの ARQ 方式では、高符号化率の (n, k) ブロック符号が誤り検出符号として用いられる。これは、 k ビットの情報ビットに $n-k$ ビットのパリティチェックビットが付加された符号語である。

送信側では、送り手のユーザから渡された情報ビットを符号化する。ここで生成された符号語は、伝送路を介して受信側に送られる。受信側では、受信された符号語から誤りが存在するかどうかをチェックし、誤り無しであれば、符号語から情報ビットを取り出し、受け手のユーザに渡される。同時に受信側から送信側に対して帰還回線を介して ACK (Acknowledgment ; 肯定応答) 信号を返すことにより次のデータを要求する。一方、誤りが検出されると、NAK (Not acknowledgment ; 否定応答) 信号を返す。この場合送信側では、誤りとされたデータ (符号語) を再送信する。この再送は、そのデータに対する ACK を受け取るまで繰り返される。

この方式は、単純で信頼性が高いため広く用いられている。しかし、スループット (伝送効率) が一定とならず、回線誤り率が増加すると急速に劣化する。これに対して、FEC 方式では、訂正された結果が正しいか否かに関わらずユーザにデータを渡してしまうため、強力な誤り訂正符号が要求され、装置も高価で複雑になる。こ

* 通信技術部 通信方式研究室

送方式を組み合わせた混合モード方式が考えられている。例えば、(SR+GBN) 混合方式がある。これは、通常、SR モードで動作し、NAK がある回数以上続くと GBN モードに切り替える方法である。いずれにしても、ある程度の容量のバッファを必要とし、制御方法も複雑である。

3.2 その他の方式

その他の方式として、ARQ と FEC を組み合わせ、両者の特性を生かした、ハイブリッド ARQ 方式がある。本論文では、取り扱わないが概要を以下に示す。

(1) Type I ハイブリッド ARQ 方式

本方式では、誤り検出と誤り訂正を行うように設計された符号が用いられる。(誤り検出符号と誤り訂正符号が区別される方式もある).

送信側は、FECによる符号語を送信する。受信側では、受信語を復号し、誤り訂正が行われる。さらに、誤り検出が行なわれる。ここで正しく訂正されると ACK を返す。しかし、訂正できなければ NAK を返す。この手順はその符号語が正しく訂正されるまで繰り返される。比較的回線状態の悪い場合には、FEC による誤り訂正効果によりスループットの向上が期待できる。

しかし、この方式の欠点は、回線状態が比較的良好な回線では、FEC のパリティビットが無駄となり、スループットを劣化させる。

(2) Type II ハイブリッド ARQ 方式

Type II ハイブリッド ARQ 方式では、情報ビットと誤り訂正のための FEC のパリティビットを別々に送信する。もし、この 2 つが誤りとして受信されると FEC による誤り訂正が行われる。

この方式で注目すべき点は、再送として伝送された FEC パリティからでも情報が取り出せることにある。二つのデータとも誤りになれば、情報ビットと FEC パリティビットにより誤り訂正が行われる。

この方式の長所は、FEC によりデータの誤りを訂正し、回線状態が劣化した場合における (ARQ による) 再送回数を減少できること、情報ビットと FEC パリティを分けて送信することにより、同時に送信していた Type I ハイブリッド ARQ のスループットの劣化に比べて効率的なことである。ただし、他の方式に比べて論理構造、伝送手順は、複雑である。

3.3 陸上移動通信における ARQ 方式の選択

陸上移動通信では、伝搬遅延が無視でき、手順が簡単であることから SAW 方式が多く研究されている。しかし、伝送効率の面からは、得策ではない。また、伝搬遅延の影響をほとんど無視できることより、SR 方式のように複雑な手順として伝搬遅延による劣化の対策もそ

れほど必要ない。そこで、SAW より効率がよく、比較的簡単な手順である GBN-ARQ 方式について検討を行った。今回は、基本的特性把握を目的としており、ハイブリッド ARQ については誤り訂正符号の特性も加わり、複雑になるため、検討対象から外した。

4. GMSK 変調方式での特性

陸上移動通信に適用する場合の例として、GBN-ARQ方式について、室内実験による特性評価を行った。

4.1 実験系

第5図に実験系を示す。変復調装置としては、GMSK同期検波方式、伝送速度 16 kbit/s を用いた⁽⁵⁾。

また, ARQ 手順の部分は, 汎用 DSP 装置⁽⁶⁾により実現した。

陸上移動通信で、16 kbit/s 程度の伝送速度では、伝搬遅延は無視できるため $N=2$ とした。

想定したシステムとしては、双方向通信とし、伝送用、帰還用の2チャンネルの回線があり、フレーム同期は完全としている。また、帰還回線は誤り無しとし、DSP間で直接伝送している。

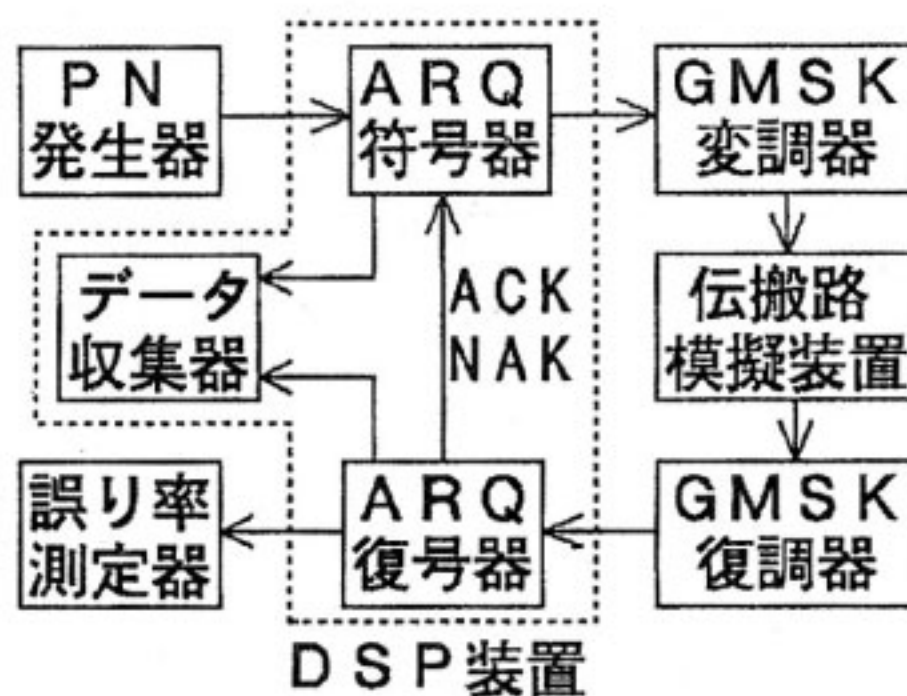
CRC (Cyclic Redundancy Check ; 誤り検出) は、すべてのフレーム長で15ビットの符号を用いている。

4.2 実験結果

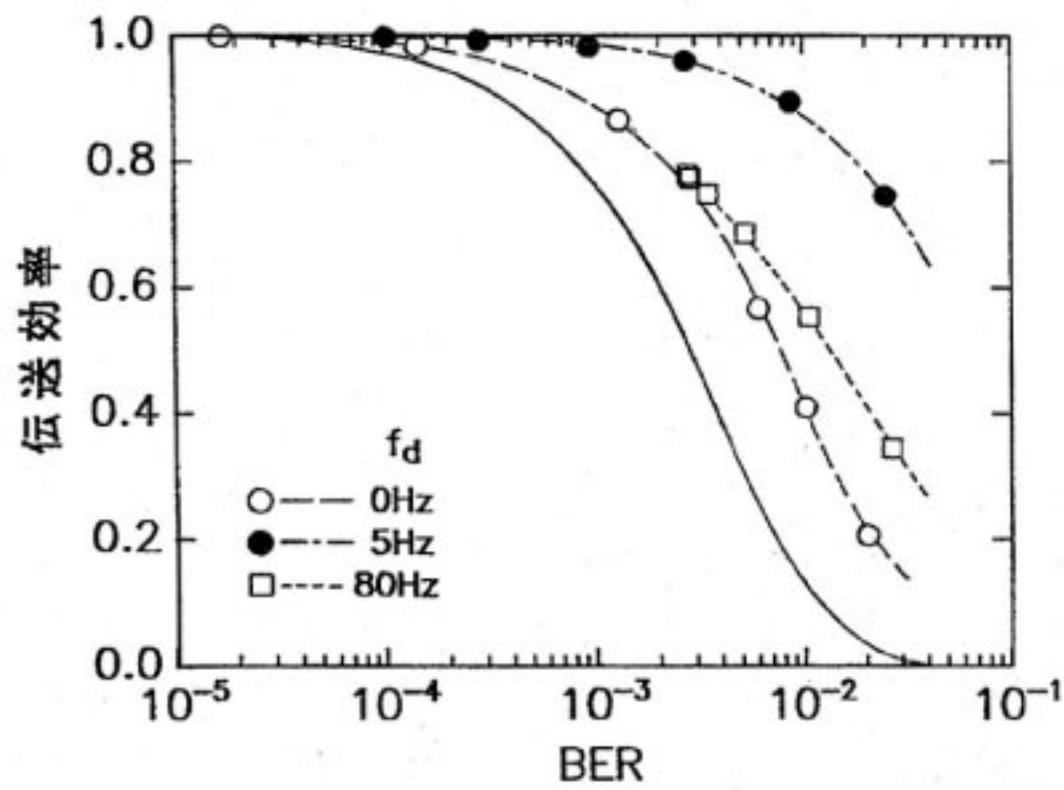
4.2.1 伝送効率特性

第6図(a), (b)に, f_d (最大ドップラー周波数)を変化させたときの誤り率に対する平均送信回数の逆数{この値に符号化率(情報のビット数/符号長のビット数)及び, 同期用シンボル挿入による効率低下分をかけるとスループット(到達した情報ビットに対する伝送したビット数)となる}を示す. 以下本論文では, この値を伝送効率とする.

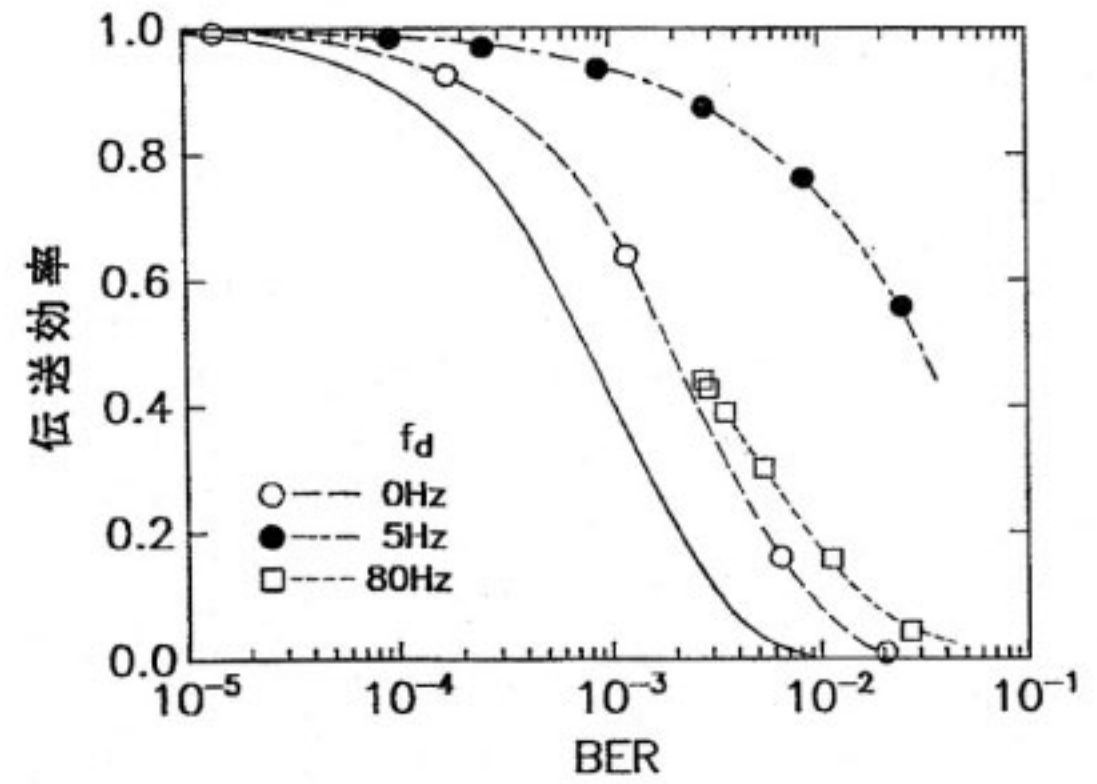
同図で、ランダム誤りでの理論値（図の実線）と静特性時の特性が異なるのは、GMSK 変復調方式では、2



第5図 実験系

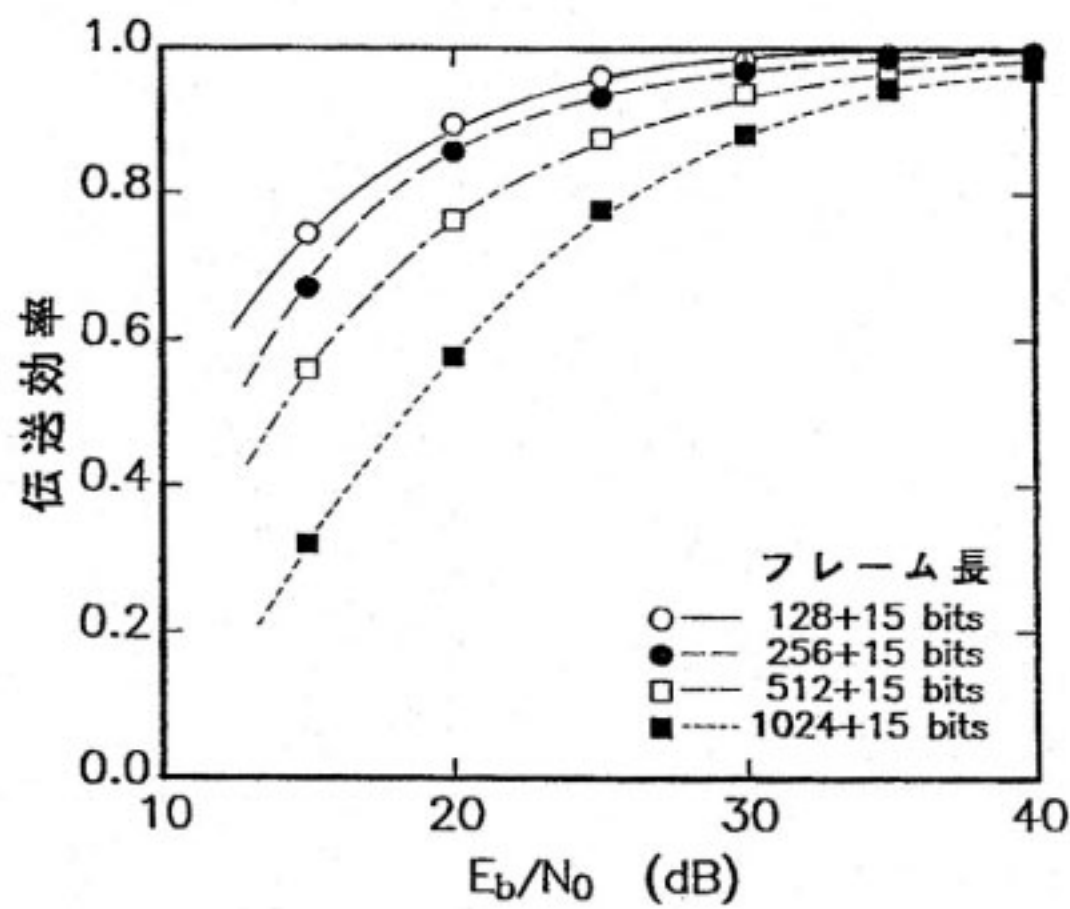
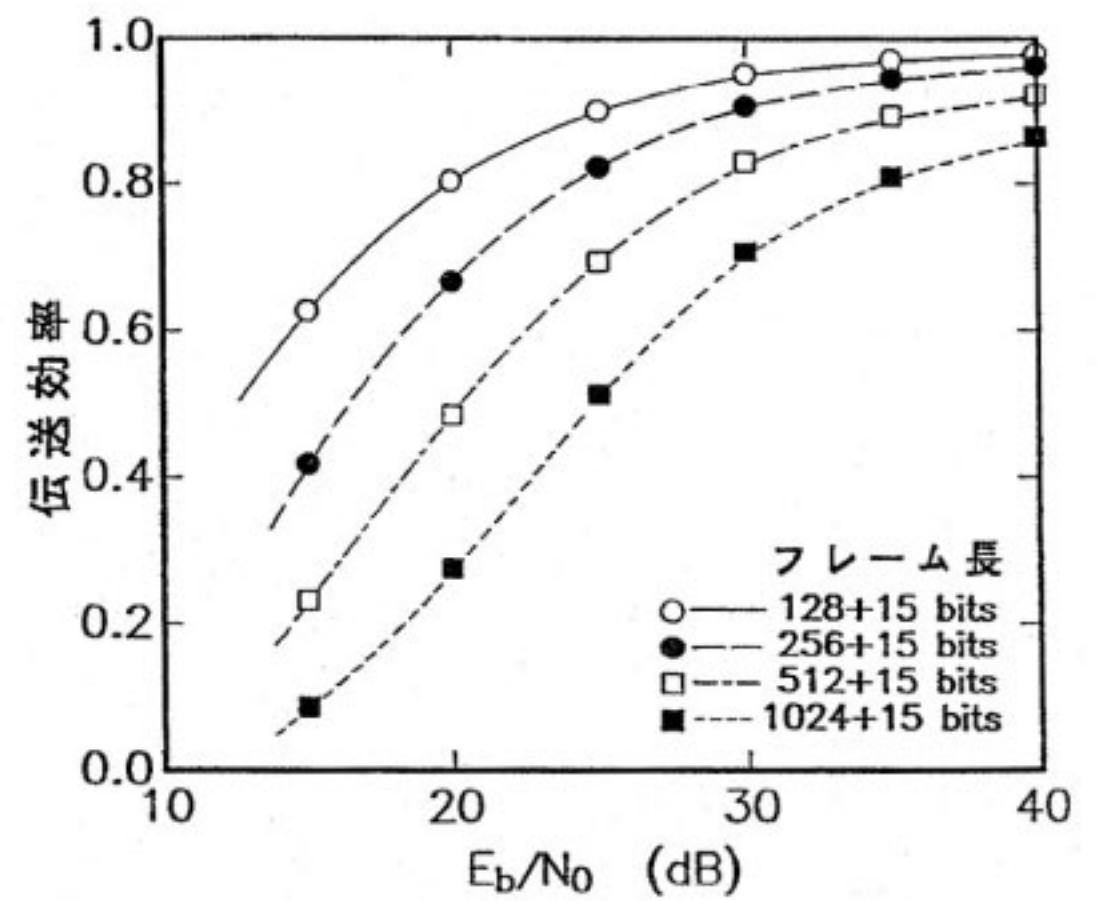
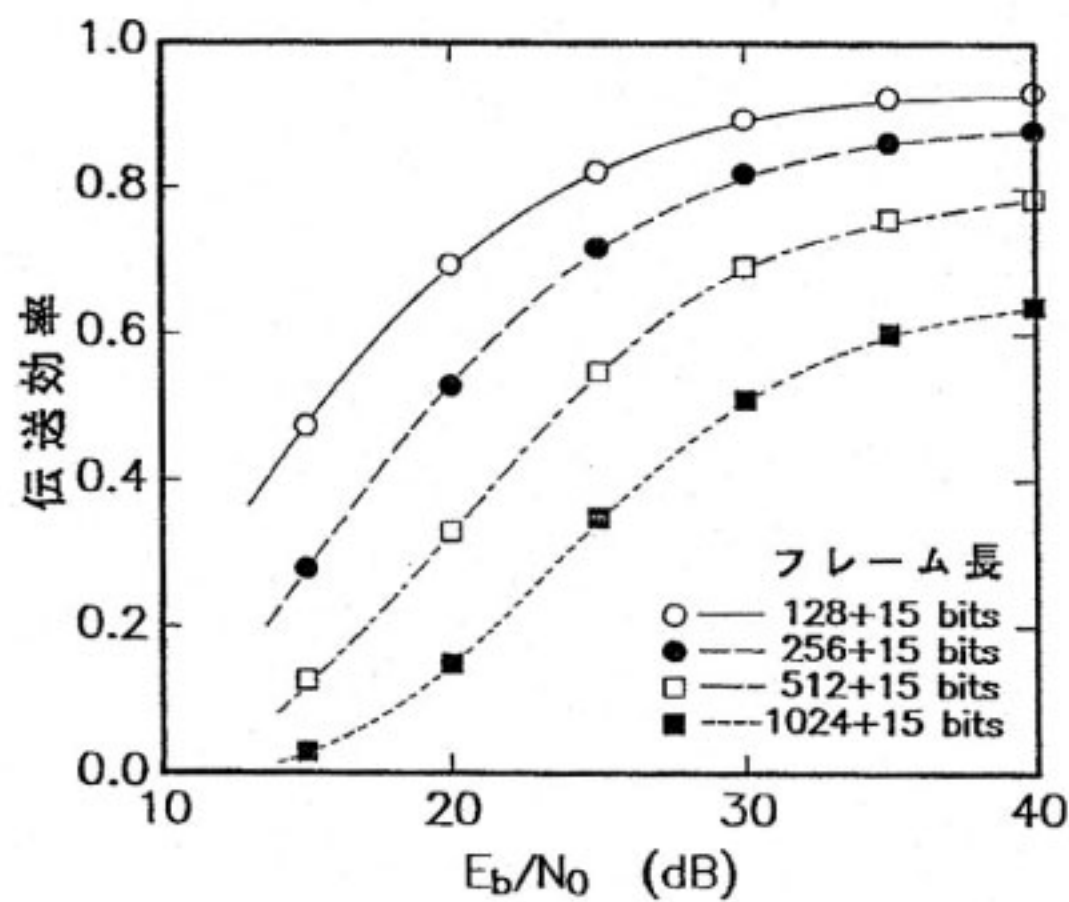
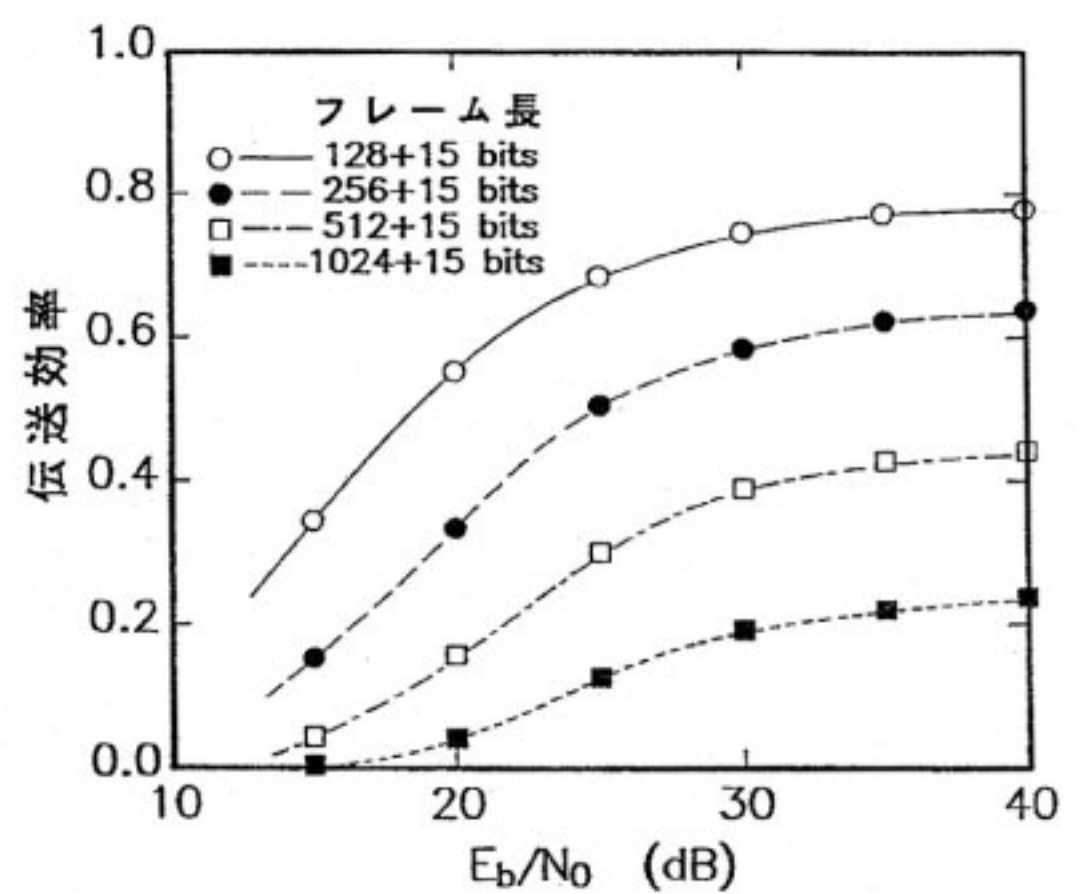


(a) フレーム長 128+15ビット



(b) フレーム長 512+15ビット

第6図 ビット誤り率に対する伝送効率

(a) $f_d = 5$ Hz(b) $f_d = 20$ Hz(c) $f_d = 40$ Hz(d) $f_d = 80$ Hz第7図 E_b/N_0 に対する伝送効率

ビット連続誤りとなるためである。

f_d が小さくなると伝送効率が良くなっている、これは同じ誤り率において、バースト誤りは、誤りが集中して起こり、誤り無しの区間が長いため、バースト誤り回線の方が通信容量が大きいと考えられる。

f_d が大きいところでは、ランダム誤りの特性に近づいていることがわかる。 f_d が大きくなると、フェージングの変動が速くなる。そのため、バースト誤りが短くなり、フレーム間の相関が小さくなるためである。

第6図(a), (b)より、フレーム長が大きくなると、同じ誤り率において伝送効率は劣化する。これは、1フレーム中のビット数が多くなり、1フレームの誤る確率が高くなるためである。それゆえ、フレーム長をパラメータとした検討も重要である。

第7図(a)~(d)に各フレーム長での平均 E_b/N_0 に対する伝送効率特性を示す。フレーム長が大きくなるにしたがって特性が劣化していく様子がわかる。また、フレーム長が短い方が E_b/N_0 による影響が小さいことがわかる。また、同じフレーム長において f_d が大きくなると伝送効率が劣化しており、 f_d による影響についての検討も必要である。

第8図(a), (b)に、 E_b/N_0 を変化させた場合の最大ドップラー周波数に対する伝送効率特性を示す。

$E_b/N_0=25$ dB 以下では急速に劣化していることがわかる。これは、BER が大きくなると再送回数が増すためと考えられる。

f_d が小さい場合には、劣化はわずかであるが、 f_d が大きくなると急激に劣化する。また、フレーム長が長いほどフェージングピッチによる影響が大きい。これは、

フレーム長が長いと誤り区間に入る確率が大きくなるためである。

4.2.2 再送パターン特性

4.2.1 より、フレーム長が短い方が特性が良くなることがわかった。そこで、フレーム長が短い場合の再送回数の特性について検討を行った。

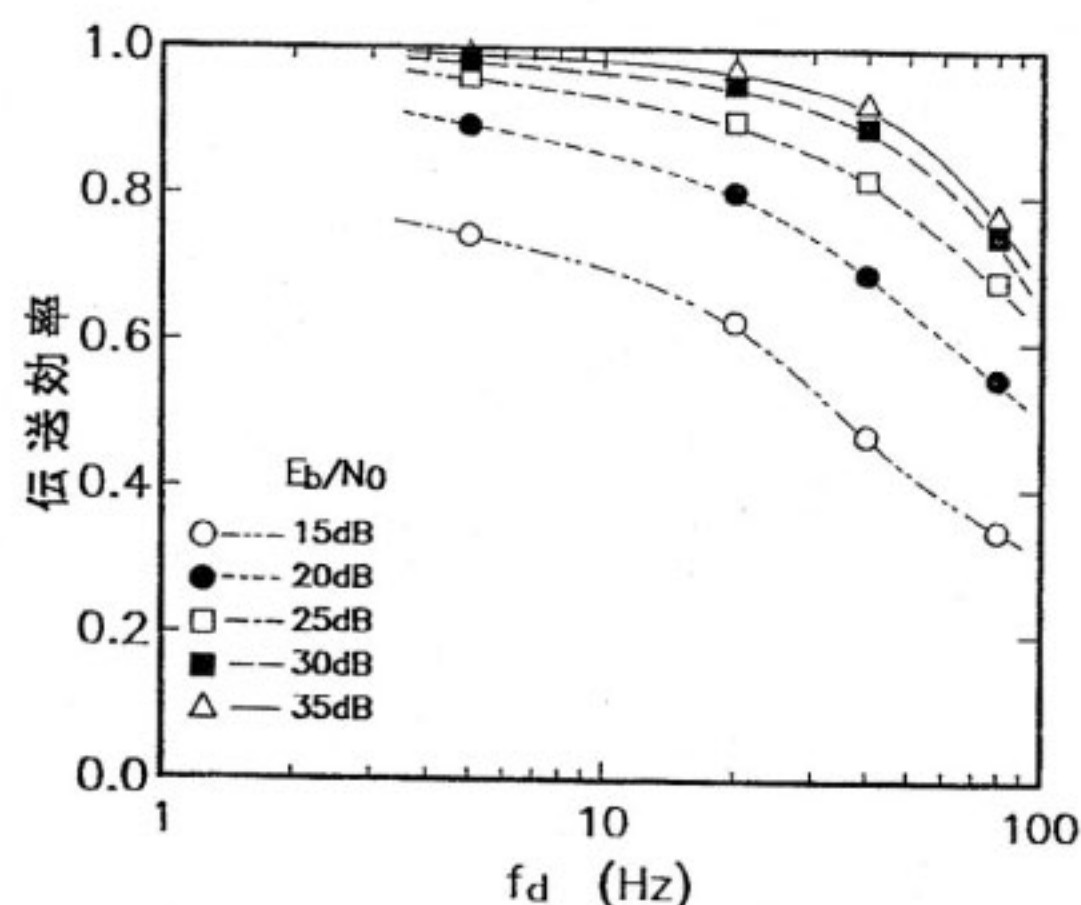
第9図(a)~(d)にフレーム長143 (128+15) ビット、527 (512+15) ビットのときの連続再送回数の確率を示す。

同図(a)と(b), (c)と(d)を比較すると、 f_d が大きくなると連続再送回数の大きなものの確率が大きくなる。また、同図(a)と(c), (b)と(d)を比較すると、フレーム長が長くなると連続再送回数の大きなものの確率が大きくなる。これは、フレーム長に比べてフェージングの変動周期が速いと多くのフレームが誤りとなるためと考えられる。

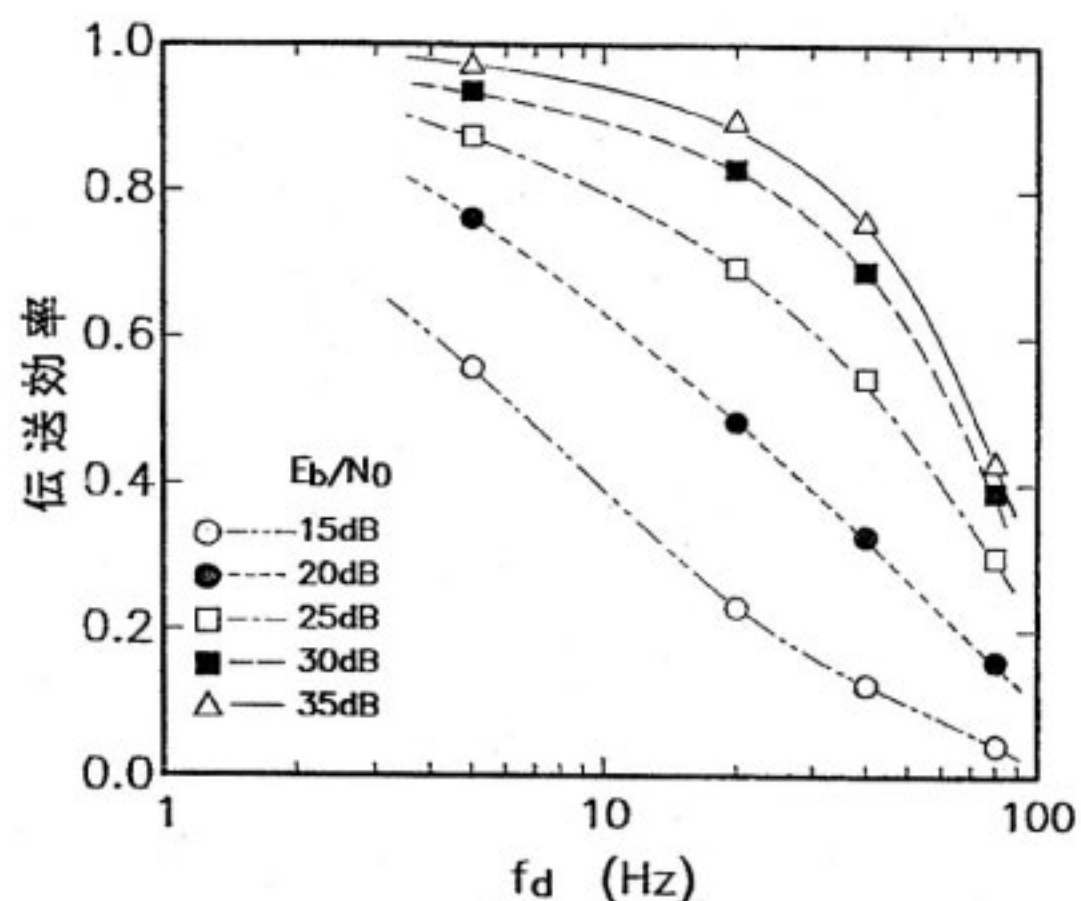
$f_d=5$ Hz, フレーム長143ビットの場合、連続再送回数1~2回の確率が同程度になっている。また、それ以上の連続再送回数の確率も大きいことがわかる。特に、 E_b/N_0 が小さい場合に顕著である。これは、フェージング回線の記憶性により、誤って受信されるフレームが続くことが多いことを示している。よって、 f_d が小さく、フレーム長が短い場合には、伝送効率が劣化する。さらに、フレーム長が短すぎると誤り検出符号、フレーム同期用シンボルなどのオーバーヘッドが大きくなり、情報伝送効率が劣化する。フレーム長、プロトコルの設計には、このような特性についても考慮する必要がある。

5. む す び

ARQ 方式の比較、特に、陸上移動通信の特性を考慮

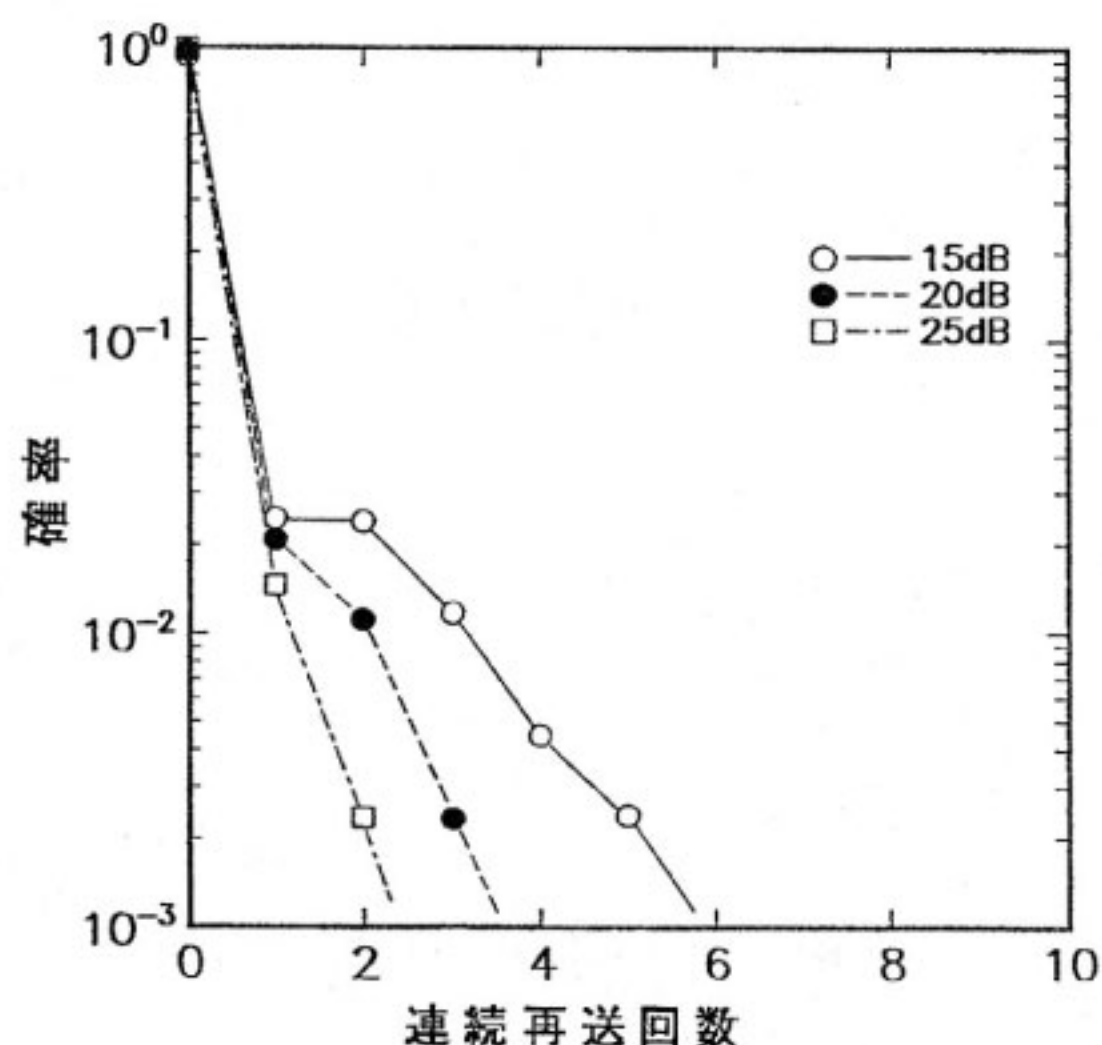
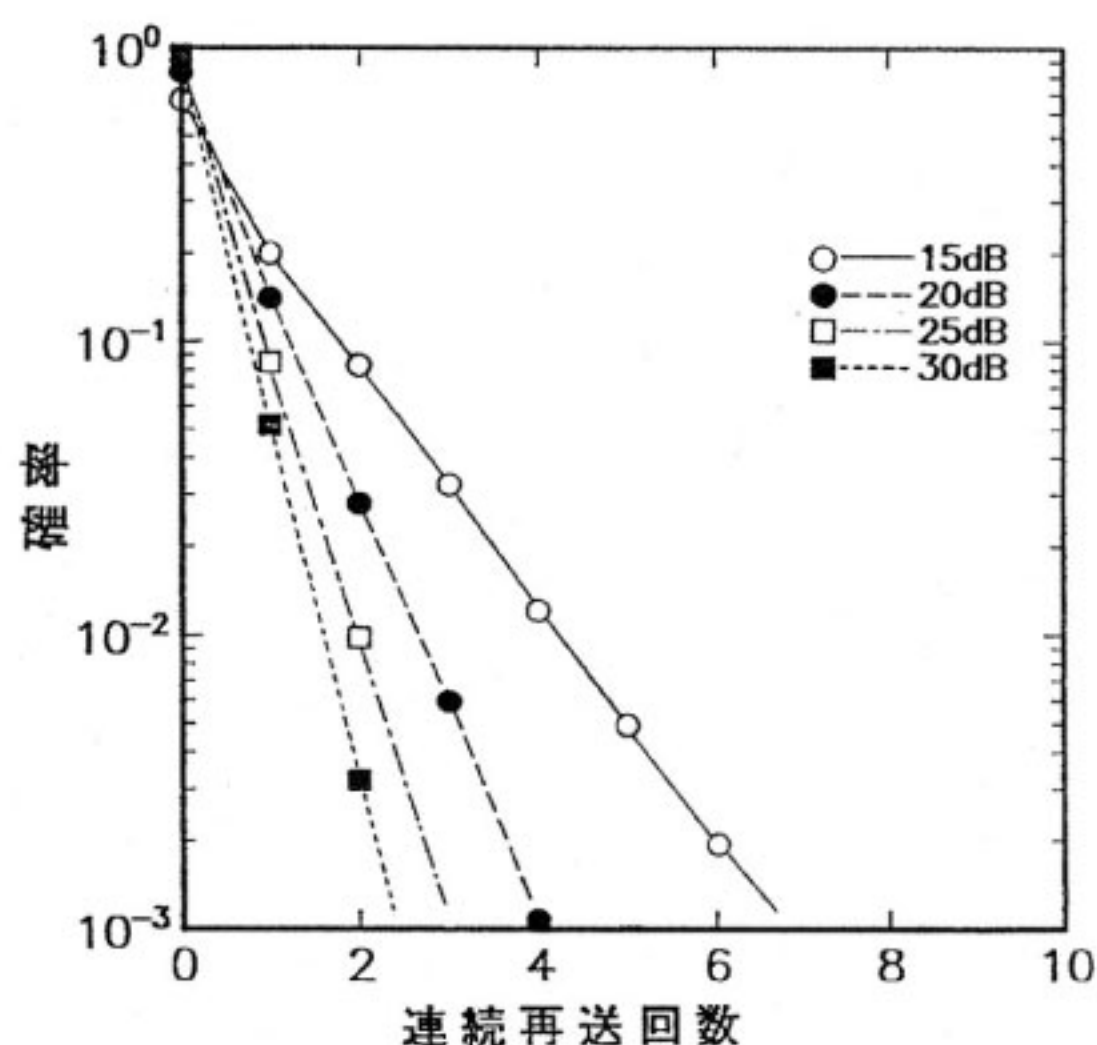
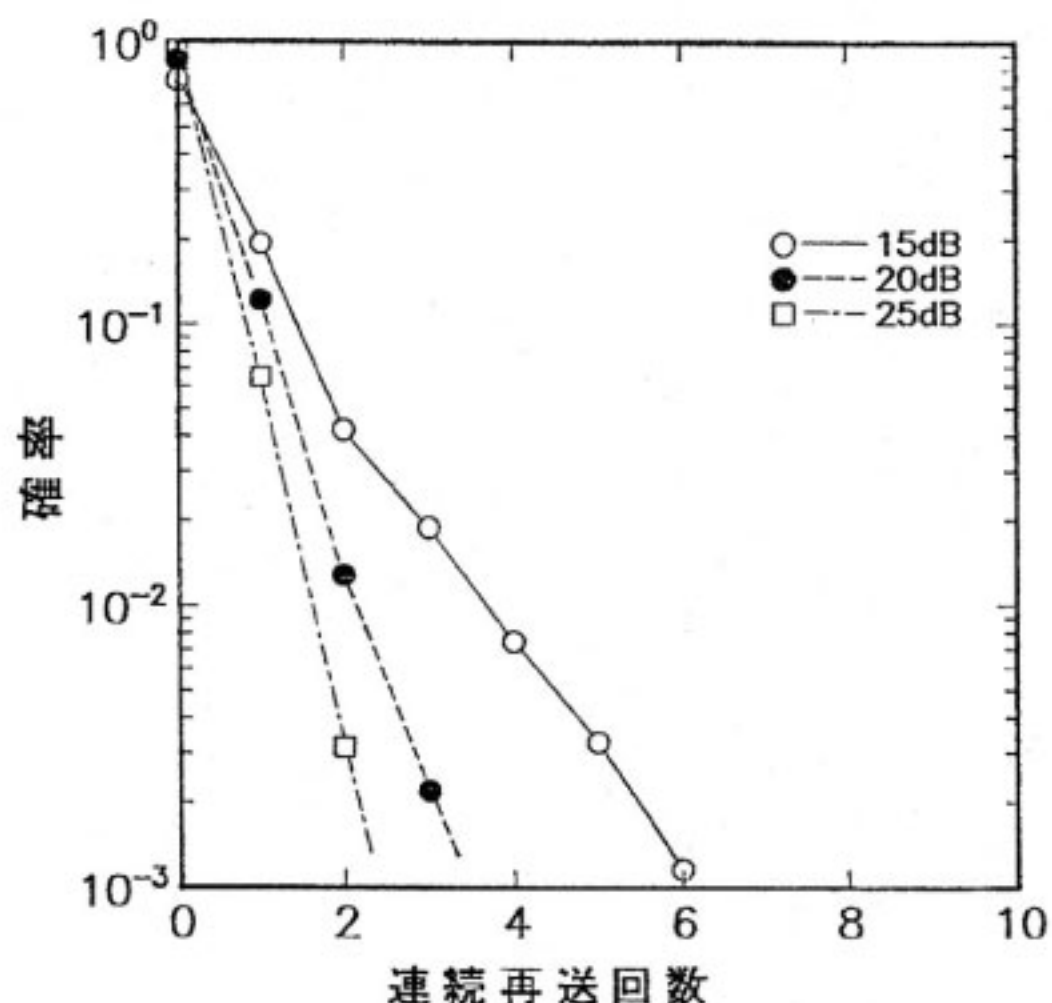
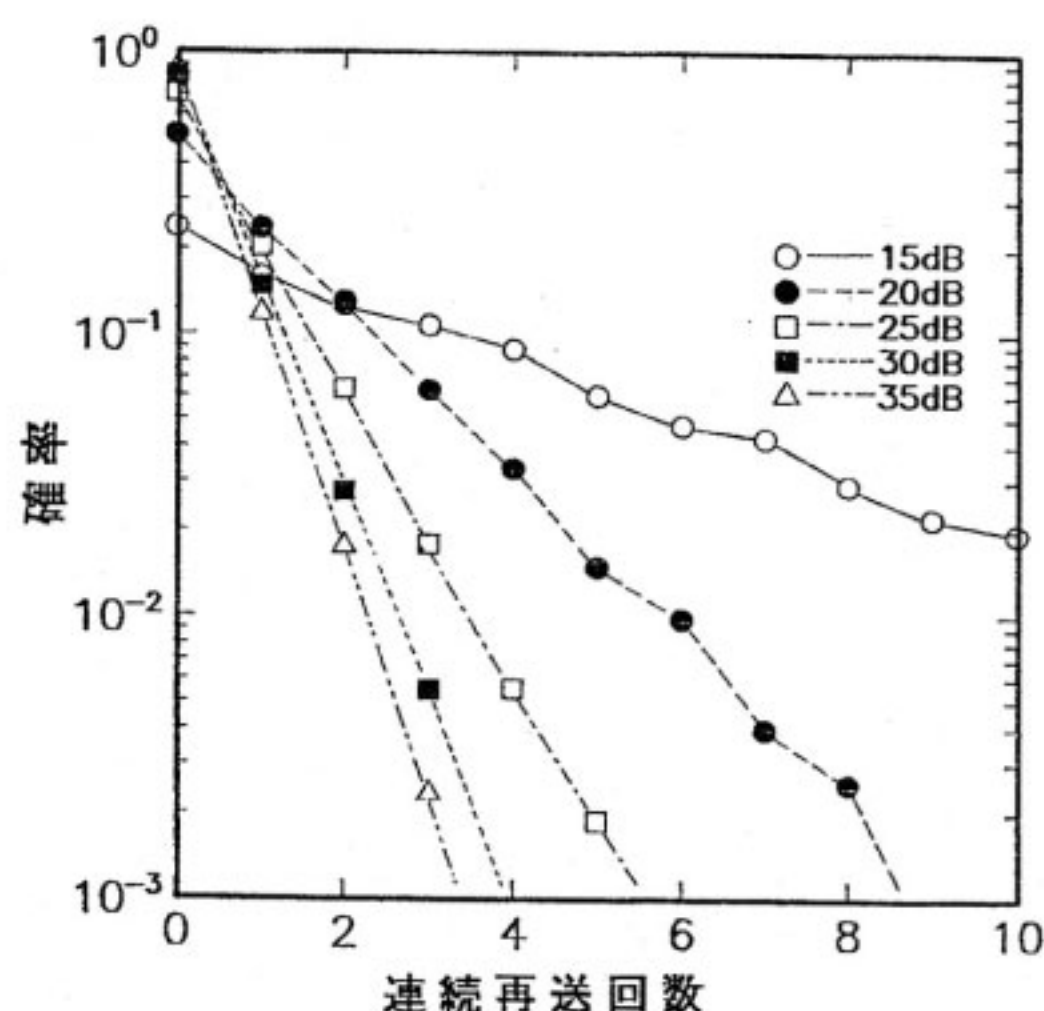


(a) フレーム長 128+15ビット



(b) フレーム長 512+15ビット

第8図 最大ドップラー周波数に対する伝送効率

(a) フレーム長128+15ビット, $f_d = 5 \text{ Hz}$ (b) フレーム長128+15ビット, $f_d = 40 \text{ Hz}$ (c) フレーム長512+15ビット, $f_d = 5 \text{ Hz}$ (d) フレーム長512+15ビット, $f_d = 40 \text{ Hz}$

第9図 連続再送回数の確率分布

して検討を行った。次に、フェージング下での特性評価のために GMSK 変復調装置を用いて、室内実験により GBN-ARQ 方式について、平均再送特性、連続再送確率特性の測定を行った。

その結果、

- フレーム長は、ある程度短い方が特性がよい
- $E_b/N_0 = 25 \text{ dB}$ 以下では、伝送効率が急速に劣化する
- フェージングがゆっくりしている方が特性がよいことよりインタリーブと誤り訂正を組み合わせた FEC 方式とは反対の性質を持っている

ことがわかった。

また、再送パターンの特性検討を行った結果、

- データ伝送速度に対して短すぎると、再送したフレームの誤る確率が大きくなる
- f_d 、またはフレーム長が大きい場合、連続再送回数の大きなものの確率が大きくなる
- f_d が小さく、フレーム長が小さい場合、連続再送回数の確率分布が変化し、伝送効率が劣化する

ことがわかった。

ARQ 方式では、ランダム誤りに比べてバースト誤り

回線の方が特性がよくなるため、ランダム誤りに強い FEC を組み合わせることにより、相互の欠点を補えると考えられる。すなわち、タイプⅡハイブリッド ARQ のような誤り訂正回路を併用した方式を用いると効果が大きいと考えられる。

今後、帰還回線に誤りのある場合の特性について評価する必要がある。また、他の方式との比較、特にタイプⅡハイブリッド方式を適用した場合の特性比較、フレーム同期方式の検討などがある。

さらに、フェージング下での理論的特性についても検討する必要がある。

謝 辞

プログラム作成などに御協力頂いた研修生の須藤氏（電気通信大学；現(株)ソニー）、御指導御討論頂いた笹岡通信方式研究室長を始めとする室員各位に感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 広池, 松本, “Stop-and-Wait ARQ 移動無線伝送特性”, 昭62年信学総全大, No. 2213, p.10-91.
- (2) 松本, 伊藤, 森, “レイリーフェージングチャネルにおける SAW-ARQ の最適ブロックサイズ”, 昭63年信学秋全大, No. B-465, p.B-1-250.
- (3) 浜田, 安田, “移動体通信におけるデータ伝送プロトコルの検討”, 第8回情報理論とその応用研究会シンポジウム, pp.354-359, 1985年12月
- (4) S. Lin, D.J. Costello, Jr., and M.J. Miller, “Automatic-Repeat-Request Error-control Schemes”, IEEE Commun. Mag., Vol. 22, 12, pp.5-15, Dec. 1984.
- (5) 三瓶, 神尾, 笹岡, 横山, “Ⅶ-3 評価実験装置—GMSK 装置—”, 通信総研季, 37, 特 1, pp. 1991年 2 月
- (6) 神尾, 三瓶, 大鐘, “Ⅶ-4 評価実験装置—デジタル信号処理装置—”, 通信総研季, 37, 1, pp.201-207, 1991年 2 月.

////////////////////////////////////