

高速 MPEG-2 TS 信号の複数搬送波ケーブルテレビ伝送実験と その所要性能の検討

大須賀 英己^{†1} 中村 直義^{†1} 野田 勉^{†1,†2}
小山田 公之^{†1,†3} 伊東 晋^{†1,†4}

^{†1} 通信・放送機構 横浜次世代ケーブルテレビリサーチセンター
〒225-0002 横浜市青葉区美しが丘 2-14-5

^{†2} 日立製作所 デジタルメディア開発本部
〒244-0817 横浜市戸塚区吉田町 292

^{†3} 日本放送協会 放送技術研究所
〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11

^{†4} 東京理科大学 理工学部
〒278-8510 野田市山崎 2641

E-mail: ^{†1}{ohsuka,nakanao}@catv.tao.go.jp, ^{†2} nodatsu@msrd.hitachi.co.jp
^{†3} oyamada@str1.nhk.or.jp, ^{†4} itoh@itohws01.ee.noda.sut.ac.jp

あらまし 30Mbps を超える高速 MPEG-2 TS 信号をケーブルテレビで複数の搬送波を用いて分割伝送し受信側で合成する複数搬送波分割伝送方式の所要性能を求めめるため、試作機によりガウス雑音と正弦波妨害に対する BER 特性を測定した。その結果、これらの特性に関しては各伝送チャンネルが有線テレビジョン放送法施行規則で規定されている技術基準を満足すれば本方式でデジタル放送を伝送できることを確認できた。

キーワード ケーブルテレビ, デジタル放送, MPEG-2 TS, 64QAM, FDM 伝送

An experiment and examination of transmission performance for a high speed MPEG-2 TS signal transmission over cable TV with multiple carriers

Hidemi OHSUKA^{†1}, Naoyoshi NAKAMURA^{†1}, Tsutomu NODA^{†1,†2},
KimiYuki OYAMADA^{†1,†3} and Susumu ITOH^{†1,†4}

^{†1} Telecommunications Advancement Organization of Japan
Utsukushigaoka 2-14-5, Aoba-ku, Yokohama, 225-0002 Japan

^{†2} Digital Media Systems R&D Division, Hitachi, Ltd.
292, Yoshida-cho, Totsuka-ku, Yokohama 244-0817 Japan

^{†3} Science and Technical Research Laboratories, Japan Broadcasting Corporation
Kinuta 1-10-11, Setagaya-ku, Tokyo 157-8510 Japan

^{†4} Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo
2641, Yamazaki, Noda-shi, Chiba 278-8510 Japan

E-mail: ^{†1}{ohsuka,nakanao}@catv.tao.go.jp, ^{†2} nodatsu@msrd.hitachi.co.jp
^{†3} oyamada@str1.nhk.or.jp, ^{†4} itoh@itohws01.ee.noda.sut.ac.jp

Abstract We evaluate the newly developed digital distribution scheme. The divided high-speed MPEG-2 TS signal exceeding 30Mbps is transmitted with the multiple carriers cable TV and compounded on reception side. The BER characteristics versus gauss noise and sine wave interference are measured using prototypes. The result shows that transmission of a high-speed MPEG-2 TS signal by this system is possible for broadcasting if transmission performance meets Japanese standard.

Key words cable TV, digital broadcasting, MPEG-2 TS, 64QAM, FDM transmission

1. はじめに

2000年12月よりBSデジタル放送が始まり、現在多くのケーブルテレビ施設でデジタル放送が行われている。ケーブルテレビにおけるデジタル放送は有線テレビジョン放送法施行規則で技術基準が定められ、MPEG-2 TS 信号は6MHz帯域の64QAM信号を用いて31.644Mbpsで伝送されている^{[1],[2]}。

将来、ケーブルテレビの1チャンネルで伝送できる容量を超えるデジタル放送を分配伝送するためには新たな方式の開発が必要になる。伝送容量を拡大するためにはQAM信号の多値数を増す、信号帯域幅を拡げる等の方法が考えられるが、伝送路に高い所要性能が求められ、現行方式との両立性を保つため帯域運用の制約が生ずることが考えられる。

そこで、高速のMPEG-2 TS信号を複数の搬送波を用いて分割伝送し受信側で合成する複数搬送波分割伝送方式の検討をすすめてきた^{[3],[4]}。本稿では、本方式での試作機を用いたケーブルテレビ伝送実験の結果を報告する。

2. 測定条件

図1に伝送特性の測定システムを示す。複数搬送波では高速MPEG-2 TS信号をデータ分割部でTSパケット単位に分割する。分割されたMPEG-2 TS信号はそれぞれTS処理部でケーブルテレビの多重フレーム^[5]に多重し、相互に異なる周波数で6MHz帯域の64QAM信号に変調後、周波数多重して送出される。受信側では合成する各搬送波をチューナで選択し64QAM復調した後、データ合成部で元のMPEG-2 TS信号に合成する。

BER特性を測定するため、高速MPEG-2 TSパケットの同期バイトを除く部分にデータ分割部内蔵のPN信号(符号長 $2^{23}-1$)を挿入した。誤り訂正符号

は短縮化リードソロモン符号(204,188)とした。実験に用いた妨害波はガウス雑音および正弦波とした。各搬送波のレベルはQAM受信機入力端子で70dB μ Vになるように設定した。測定に使用した各搬送波の中心周波数を表1に、複数搬送波伝送に使用した搬送波と評価した信号の伝送速度を表2に示す。

表1 各搬送波の周波数

Frequency of each carrier

搬送波	中心周波数	CH番号	QAM受信機
f1	767MHz	62	A号機
f2	539MHz	24	B号機
f3	315MHz	C38	C号機
f4	93MHz	1	D号機

表2 伝送搬送波と伝送速度

Transmission carriers and bit rate

	使用搬送波	伝送速度
2搬送波伝送	f1, f2	63.288Mbps
3搬送波伝送	f1, f2, f3	94.932Mbps
4搬送波伝送	f1, f2, f3, f4	126.576Mbps

3. ガウス雑音に対する特性

3.1 受信機の単体特性

本方式の伝送特性を測定するに先立ちQAM受信機のCN比に対するBER特性を測定した。結果を図2に示す。

CN比の算出にあたっては有線テレビジョン放送法施行規則と同様に、Cは64QAM信号のレベル、Nは帯域4MHzの雑音レベルとした。

誤り訂正前のBERが 1×10^{-4} となるCN比は31.6dBから32.3dBの範囲にあった。固定劣化量は2.2dBから2.9dBの範囲でQAM受信機間の差は0.7dBであった。CN比が高い部分でBERの値に差

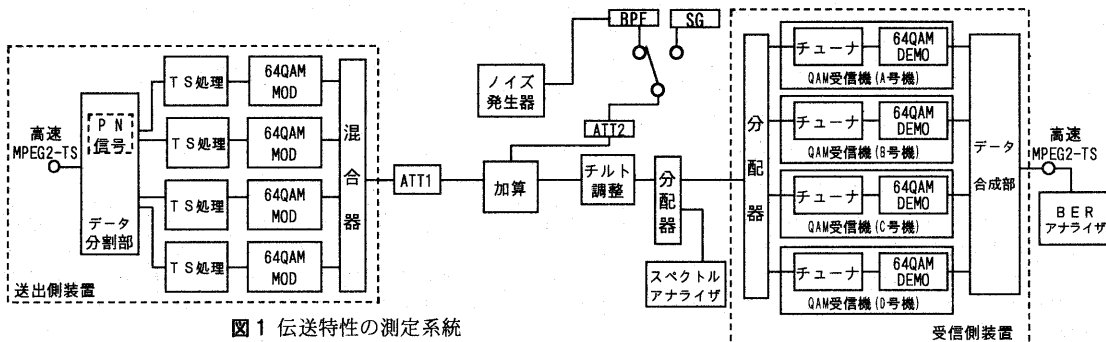


図1 伝送特性の測定システム

The measurement system of a transmission characteristics

があるのは QAM 受信機の内部雑音量の差の影響と
考えられる。

誤り訂正後の BER 特性に差はほとんどなかった。

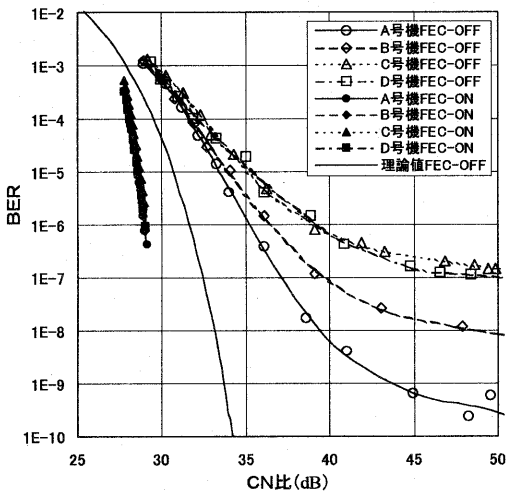


図 2 QAM 受信機の CN 比対 BER 特性
BER vs. CN ratio characteristics of QAM receivers

3.2 2 搬送波分割伝送

2つの搬送波を用いて分割伝送し受信側で合成した信号の BER を測定した。f1 と f2 の搬送波間で受信 CN 比が異なる場合について評価した。f2 の受信 CN 比を 49dB (誤り訂正前で BER=7×10⁻⁹) とし、f1 の CN 比を変化させた測定の結果を図 3 に示す。

誤り訂正前のグラフでは f1 の QAM 受信機 A 号機入力での CN 比が 35dB より小さい範囲では QAM 受

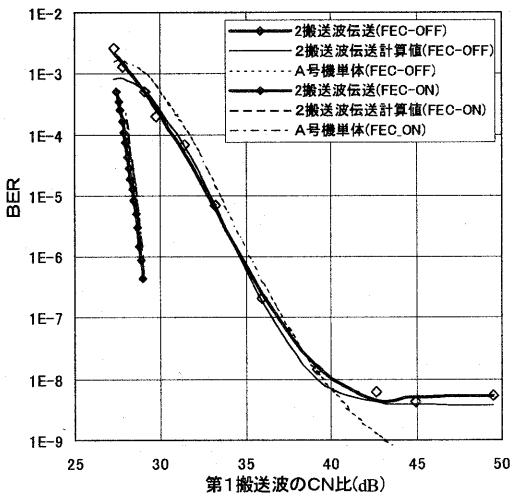


図 3 2 搬送波分割伝送の CN 比対 BER 特性
BER vs. CN ratio characteristic of transmission with 2 carriers

信機 A 号機で得られる BER 特性に依存し、その値は約 1/2 となっている。CN 比が 40dB より大きい範囲で f2 を受信する QAM 受信機の BER 特性に依存し、その値は約 1/2 となっていることが判る。

さらに、f1 を受信する QAM 受信機単体の入力 CN 比に対する BER と f2 の BER の平均の値を 2 搬送波伝送計算値として示す。測定値はこの計算値の特性とも合致している。このことは 2 搬送波分割伝送における BER 特性は双方の伝送チャンネルの BER を伝送容量による加重平均した値であることを意味している。

誤り訂正後の特性は QAM 受信機 A 号機の特性とほぼ同じ値を示している。

3.3 3 搬送波分割伝送

図 4 は 3 搬送波による分割伝送の BER の測定結果である。3 搬送波分割伝送では 2 搬送波分割伝送と同様に f2 の受信 CN 比を 49dB (誤り訂正前で BER=7×10⁻⁹)、f3 の受信 CN 比を 48dB (誤り訂正前で BER=1.5×10⁻⁷) とし、f1 の CN 比を変化させて測定した。

図 4 より誤り訂正前では f1 の CN 比が 35dB より低い部分では f1 の伝送特性に依存し、その値は約 1/3 となっている。CN 比が 40dB を超える所では f3 の BER 特性に依存しその値は約 1/3 となっている。

さらに、f1 を受信する QAM 受信機単体の入力 CN 比に対する BER と f2、f3 の BER の平均の値を 3 搬送波伝送計算値として示す。測定値はこの計算値の特性とも合致している。このことは 3 搬送波分割伝

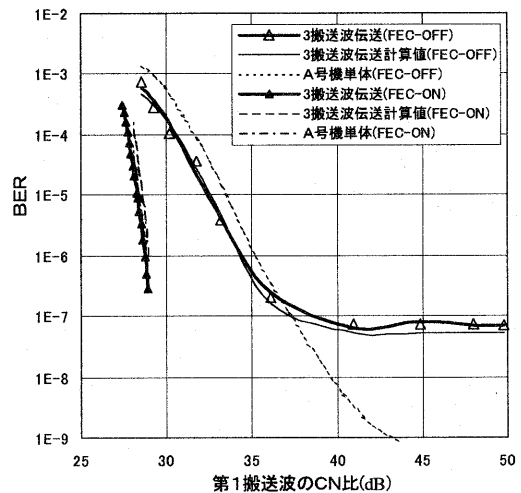


図 4 3 搬送波分割伝送の CN 比対 BER 特性
BER vs. CN ratio characteristic of transmission with 3 carriers

送における BER 特性は 3 つの伝送チャンネルの各 BER を伝送容量により加重平均した値をとることを意味している。

誤り訂正後の特性は QAM 受信機 A 号機の特性とほぼ同じ値を示している。

3.4 4搬送分割波伝送

図5は4搬送波による分割伝送のBERの測定結果である。4搬送波分割伝送では2搬送波3搬送波分割伝送と同様にf2の受信CN比を49dB(誤り訂正前で $BER=7 \times 10^{-9}$)、f3の受信CN比を48dB(誤り訂正前で $BER=1.5 \times 10^{-7}$)、f4の受信CN比を49dB(誤り訂正前で $BER=1.1 \times 10^{-7}$)とし、f1のCN比を変化させ測定した。

図5より誤り訂正前ではf1のCN比が35dBより低いところではf1の伝送特性に依存し、その値は約1/4となっている。CN比が40dBを超える所ではf3、f4のBER特性に依存し、その値は約1/2となっている。

さらに、f1を受信するQAM受信機単体の入力CN比に対するBERとf2、f3およびf4のBERの平均の値を4搬送波伝送計算値として示す。測定値はこの計算値の特性とも合致している。このことは4搬送波分割伝送におけるBER特性は4つの伝送チャンネルのBERを伝送容量により加重平均した値となることを意味している。

誤り訂正後の特性はQAM受信機A号機の特性とほぼ同じ値を示している。

誤り訂正前のBERが 1×10^{-4} となるCN比は2搬

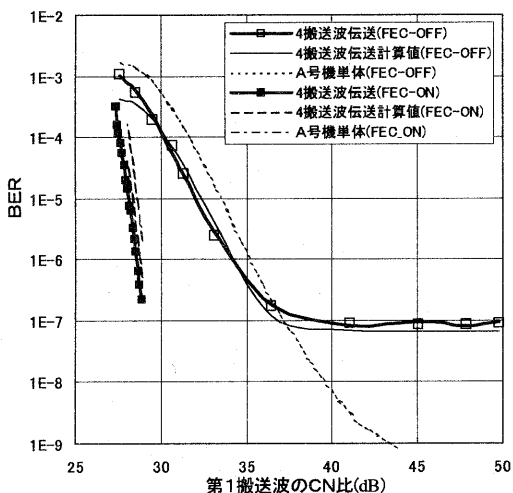


図5 4搬送波分割伝送のCN比対BER特性
BER vs. CN ratio characteristic of transmission with 4 carriers

送波伝送で約 25.8dB, 3搬送波伝送で約 25.6dB, 4搬送波伝送で約 25.3dBであった。

以上のように複数搬送波分割伝送ではガウス雑音に対する伝送特性は各伝送チャンネルのBERを伝送容量による加重平均をとった値であることが確認できた。また、ガウス雑音に関し各伝送チャンネルが有線テレビジョン放送法施行規則で規定されている技術基準のCN比31dB以上を満足すれば高速MPEG-2 TSが本方式で伝送可能であることが確認できた。

4. 正弦波妨害に対する特性

4.1 各受信機特性

複数搬送波分割伝送方式の正弦波妨害に対する影響を測定するのに先立ち、QAM受信機のDU比に対するBER特性を測定した。結果を図6に示す。

DU比の算出にあたっては、有線テレビジョン放送法施行規則と同じく、Dは64QAM信号のレベル、Uは正弦波のレベルとした。正弦波は64QAM信号の帯域内で、希望波の各搬送波の中心より0.5MHz高い周波数とした。尚、DU比に対するBERの測定では他の雑音を付加していない。

誤り訂正前の各QAM受信機でBERが 1×10^{-4} となるDU比は24.9dBから27.0dBの範囲内であり、QAM受信機間の差は2.1dBであった。

誤り訂正後ではBER特性の受信機間の差は測定範囲内で約0.7dB以内であった。

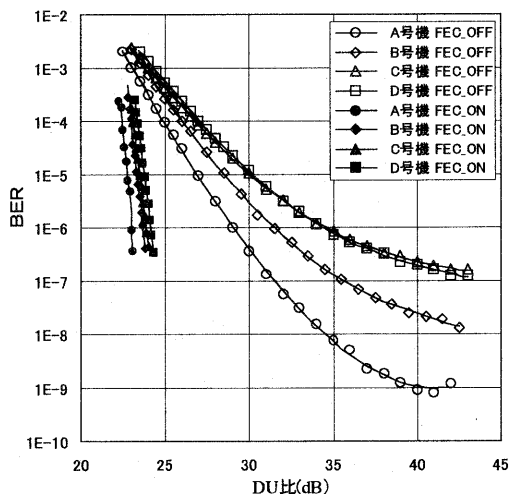


図6 QAM受信機のDU比対BER特性
BER vs. DU ratio characteristics QAM receivers

4.2 2搬送波分割伝送

2搬送波分割伝送の正弦波妨害に対する特性の測定に当たっては、 f_2 には妨害波を付加せず f_1 に重畳する妨害波のレベルを変化させた。

図7は2搬送波分割伝送時の f_1 のDU比に対するBER特性である。このとき f_2 を受信するQAM受信機B号機の内部雑音による誤り訂正前のBERが 1.6×10^{-9} であった。

誤り訂正前のBERは f_1 のDU比が35dB以下のときは f_1 の特性に依存し、その値は約1/2になっている。DU比が40dBを超える領域では f_2 の特性に依存し、その値は約1/2になっている。

さらに、 f_1 を受信するQAM受信機単体のDU比に対するBERと f_2 のBERの平均の値を2搬送波伝送計算値として示す。測定値はこの計算値の特性とも合致している。このことは2搬送波分割伝送におけるDU比に対するBERは双方の伝送チャンネルのBERを伝送容量で加重平均した値となることを意味している。

誤り訂正後では f_1 を受信するQAM受信機A号機の特性とほぼ同じ値を示している。

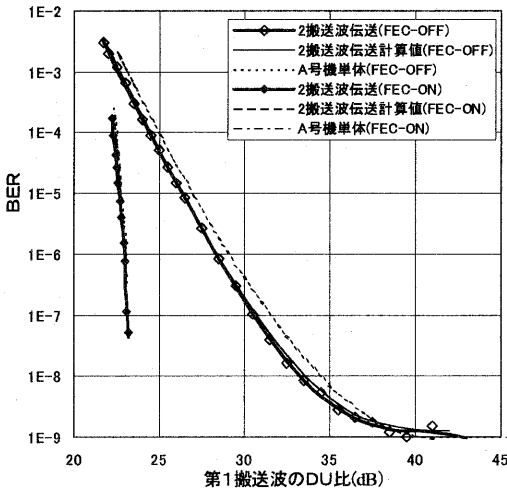


図7 2搬送波分割伝送のDU比対BER特性
BER vs. DU ratio characteristic of transmission with 2 carriers

4.3 3搬送波分割伝送

3搬送波分割伝送の場合にも2搬送波分割伝送と同様、妨害波を f_2 , f_3 には付加せず、 f_1 のみに重畳した。

図8は3搬送波分割伝送時の f_1 のDU比に対するBER特性である。 f_2 , f_3 を受信するQAM受信機

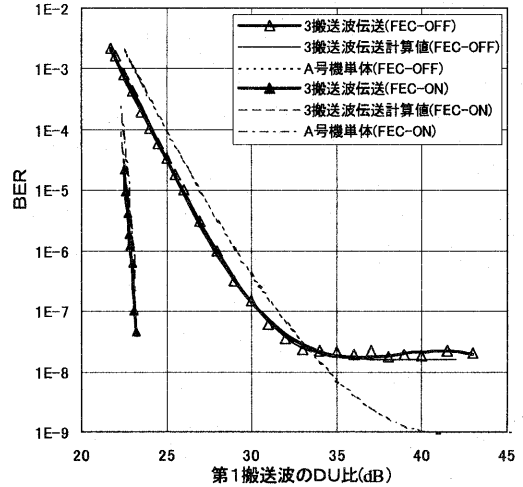


図8 3搬送波分割伝送のDU比対BER特性
BER vs. DU ratio characteristic of transmission with 3 carriers

の内部雑音による誤り訂正前のBERはそれぞれ 1.6×10^{-9} , 4.4×10^{-8} であった。

図8から誤り訂正前のBERは f_1 のDU比が30dBより低い領域では f_1 の伝送特性に依存し、その値は約1/3になっている。DU比が34dBを超える領域では f_3 のBERに依存し、その値は約1/3になっている。

さらに、 f_1 を受信するQAM受信機単体のDU比に対するBERと f_2 , f_3 のBERの平均の値を3搬送波伝送計算値として示す。測定値はこの計算値の特性とも合致している。このことは3搬送波分割伝送においてDU比に対する伝送特性は3つの伝送チャンネルのBERの伝送容量による加重値となることを意味している。

誤り訂正後には f_1 を受信するQAM受信機A号機の特性とほぼ同じ特性を示している。

4.4 4搬送波分割伝送

4搬送波分割伝送の場合にも2搬送波3搬送波分割伝送と同様、妨害波を f_2 , f_3 , f_4 には付加せず、 f_1 のみに重畳した。

図9は4搬送波分割伝送時の f_1 のDU比に対するBER特性である。 f_2 , f_3 , f_4 を受信するQAM受信機の内部雑音によるBERは誤り訂正前でそれぞれ 1.6×10^{-9} , 4.4×10^{-8} , 1.9×10^{-8} であった。

図9から誤り訂正前のビットBERの特性は f_1 のDU比が31dBより低い領域では f_1 の伝送特性に依存し、その値は約1/4となっている。DU比が34dBを超える領域では f_3 , f_4 のBERに依存し、その値は約1/2

となっていることが判る。

さらに、f1を受信するQAM受信機単体のDU比に対するBERとf2, f3およびf4のBERの平均の値を4搬送波伝送計算値として示す。測定値はこの計算値の特性とも合致している。このことは4搬送波分割伝送においてDU比に対する伝送特性は各伝送チャンネルのBERを伝送容量により加算平均した値をとることを意味している。

誤り訂正後にはf1を受信するQAM受信機A号機の特性とほぼ同じ特性を示している。

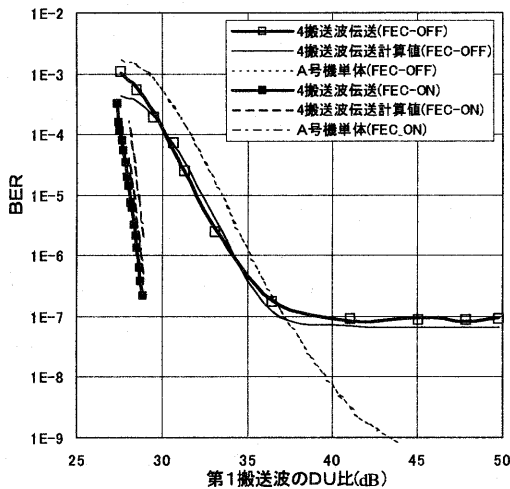


図9 4搬送波分割伝送のDU比対BER特性
BER vs. DU ratio characteristic of transmission with 4 carriers

誤り訂正前のBERが 1×10^{-4} となるDU比は2搬送波伝送で約24.4dB, 3搬送波伝送で約24.1dB, 4搬送波伝送で約23.9dBであった。

以上のように複数搬送波分割伝送ではDU比に対する伝送特性は各伝送チャンネルのBERを伝送容量による加重平均をとった値であることが確認できた。また、DU比に関し各伝送チャンネルが有線テレビジョン放送法施行規則で規定されている技術基準の所要DU比(30dB以上)を満足すれば高速MPEG-2 TSが本方式で伝送可能であることが確認できた。

4.5 妨害波の周波数が変化した場合の特性

4搬送波分割伝送において妨害波の周波数が変化した場合の特性を測定した結果を図10に示す。

64QAMの中心周波数に対し妨害波の周波数が変化したとき誤り訂正前のBERが 1×10^{-4} となる希望波に対する妨害波のレベル比を測定した。妨害波は他の測定と同様にf1のみに重畳した。

4搬送波分割伝送では帯域内のDU比は、f1の伝送チャンネルの特性に依存し、f1単独に妨害を加えて場合と比較して約1dB大きい妨害波まで許容できる。

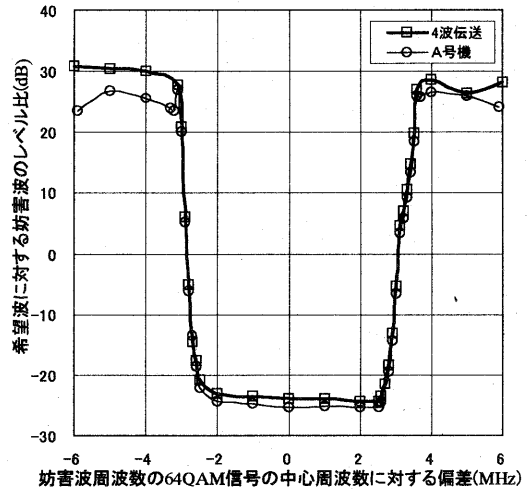


図10 BER= 1×10^{-4} となる希望波に対する妨害波のレベル比
Level ratio of interference to desire at BER= 1×10^{-4}

5. まとめ

本研究では高速MPEG-2 TS信号をケーブルテレビで複数の搬送波を用いて分割伝送し受信側で合成する複数搬送波分割伝送方式の所要性能を求めため、試作機を用いガウス雑音と正弦波妨害に対するBER特性を測定した。

測定の結果、本方式ではこれらの妨害に関してはBERが各伝送チャンネルのBERを伝送容量で加重平均した特性となることが認められた。

また、各伝送チャンネルが有線テレビジョン放送法施行規則で規定されている技術基準を満足すれば本方式で伝送した高速MPEG-2 TSが放送用の信号品質を満足することを確認した。

文献

- [1] 有線テレビジョン放送法施行規則 第26条
- [2] 野田, 原田, 宮沢, 石黒, 西山, 清水, 伊東, “デジタル有線テレビジョン放送方式の伝送実験と伝送路所要性能の検討”, 映情学誌, vol.51, no.9, pp.1509-1516, Sep.1997
- [3] 大須賀, 中村, 野田, 小山田, 伊東, “デジタルケーブルテレビにおける高速MPEG-TS信号の複数搬送波による分割伝送方式”, 2000映情学冬季大会, 予稿, no6-7, pp.93, Dec.2000
- [4] 大須賀, 中村, 野田, 小山田, 伊東, “MPEG-TS信号の複数搬送波によるケーブル伝送のための分割・合成方式”, 2001映情学年次大会, 予稿, no21-11, pp.318-319, Aug.2000