

## 地上デジタル放送波の安定な海上移動受信のための実験と検討

生岩量久\*1, 近藤寿志\*2, 岩木昌三\*3, 小谷 孝\*4, 上田大一郎\*3,

\*1 広島市立大学 〒731-3194 広島市安佐南区大塚東 3-4-1, \*2 (株) 中国放送 〒730-8504 広島市中区基町 21-3

\*3 (株) NHK アイテック広島支社 〒730-0051 広島市中区大手町 2-11-10 NHK広島放送センタービル, \*4 (株) NHK アイテック 〒150-0041 東京都渋谷区神南 1-4-1

E-mail: \*1 haeiwa@im.hiroshima-cu.ac.jp

あらまし 広島—松山間を航行中の船舶を利用して、海上で安定に電波を受信する手法及び船内での再送信技術を確立するための調査を行った結果、地形によるガードインターバル越えの遠距離反射などによる予想外の受信不能区間があることや、地上では起こり得ない隣接チャネル妨害や海面反射等による受信電界強度の大幅なレベル変動が電波の質を大きく劣化させること等が判明した。そこで、これらについて検討・対策を実施し、12 セグ受信については、船体による遮蔽や受信電界強度に応じた受信アンテナの選択・使用等により航路上のほとんどの場所で受信を可能とした（改善前は20%）。またワンセグ受信については船内での再送信により全区間及び全船内で受信可能となった（改善前は40%）。

キーワード 地上デジタルテレビ放送, 海上移動受信, ワンセグメント受信, ガードインターバル

## Considerations and Experiments for Stable Ship Mobile Reception of Terrestrial Digital Television Waves

Kazuhisa HAEIWA\*1, Hisashi KONDO\*2, Syozo IWAKI\*3, Takashi KOTANI\*4 and Taiichiro UETA\*3

\*1Hiroshima City University, Hiroshima City \*2 RCC Broadcasting, Hiroshima City \*3 NHK Integrated Technology Hiroshima branch, Hiroshima City \*4 NHK Integrated Technology, Tokyo

e-mail: \*1 haeiwa@im.hiroshima-cu.ac.jp

**Abstract** We studied and investigated to realize stable reception of digital TV waves and re-transmission technology at ships connecting Hiroshima-Matsuyama. As a result, BER degradation of unexpected multi-path waves with over guard interval time, adjacent channel interference and large level changes of electric field that are characteristics of mobile ship reception occurred. Therefore, shielding of undesired waves using the ship structure and selection of receiving antennas according to electric field strength and so on are taken. By these methods, digital TV waves can be received at almost all lines and one segment reception can be available at whole cabin of a ship.

**Keyword** Digital Terrestrial TV Broadcasting, Ship Mobile Reception, One Segment Reception, Guard Interval

### 1. はじめに

島嶼部など海上交通による移動が日常的に行われている中国・四国地方の瀬戸内海に面する地域において、移動中の船舶内で地上デジタル放送、ワンセグサービスが安定して視聴できれば、防災面はもとより情報収集面における利便性は格段に向上するものと期待される[1]。今回初めての試みとして、瀬戸内海の広島—松山間を航行中の船舶を利用して、海上航行時における安定した電波受信手法及び船内での再送信技術

を確立するための調査・検討を行った。その結果、地形によるガードインターバル越えの遠距離反射などによる予想外の受信不能区間があることや、海上受信特有の現象といえる隣接チャネル妨害や海面反射等による受信電界強度の大幅なレベル変動が電波の質を大きく劣化させることなどが判明した。このため、これらについて検討・対策を実施し、船体による遮蔽や高ダイナミックレンジをもつプリアンプの使用、電界強度に応じた受信アンテナの選択・使用などにより航路上

のほとんどの場所で12セグ受信（ハイビジョン受信）が可能とした（改善前は20%）。ワンセグ受信（携帯受信）に限れば、受信設備の改善、船内での再送信等により全区間で受信可能とすることができた（改善前は40%）。

## 2. 移動船舶における電波受信調査

### 2.1 海面反射波による影響

図1に今回調査を行った広島—松山間の定期航路（フェリー及び高速船）を広島親局送信所と松山親局送信所の位置も含めて示す。このような航路を航行中の船舶で陸上局からの放送電波を受信する場合、海面反射波の影響で受信入力低下し画質不良が発生することが予想される。そこで、海面反射による電界強度変動が受信品質に与える影響について調査を行った。

デジタル波とアナログ波それぞれのハイパターンを測定した結果を図2に示す。デジタル波においては約20dB、アナログ波では約34dBの変動があった。陸上面での反射状況と比較するため、駐車場を反射面にした場合も測定したが、デジタル波で約9dBアナログ波で約14dBと海面反射に比べてはるかに少なく海上反射の影響は予想どおり大きいことが確認できた。また、デジタル波の受信終端端子電圧は最低でも64dB $\mu$ V程度あるが、海面からの反射波の影響によりMER（Modulation Error Ratio：変調誤差比）[2]が劣化した。電界が最大の点でのMERは44dBと最良値が得られたが、電界が最低の点では17dB（最悪値：受信不能）と大きく劣化した。航行中の船舶上での受信においては海面反射ルートが常に変動することから、海面の影響を受けにくい位置に受信アンテナを設置することが肝要である。

### 2.2 海上移動受信時の電界強度変動（フェリー及び高速船）

船内で使用する再送信機及び調査用測定器への入力レベルを確保するためには、受信アンテナ出力にプリアンプを設置する必要がある。しかしながら、航路において親局に近い地点の電界は95dB $\mu$ V/m以上であるが、50dB $\mu$ V/m未満の低いところもあり、従来の固定受信を想定したプリアンプを使用したところ、利得調整を行わない場合は入力飽和によりMERの劣化（20dB以下）が生じた。船内でのギャップファイラーによる再送信のためにも、各チャンネルの入力電界を一定レベルに保つ必要があり、50dBの電界変動に耐えられ、かつ低電界時にも劣化を最小限に抑えることができるNF（雑音指数）=1dBの高性能プリアンプを試作し、対応した。海上移動受信においてはこのように機器のダイナミックレンジに注意が必要である。また、受信電

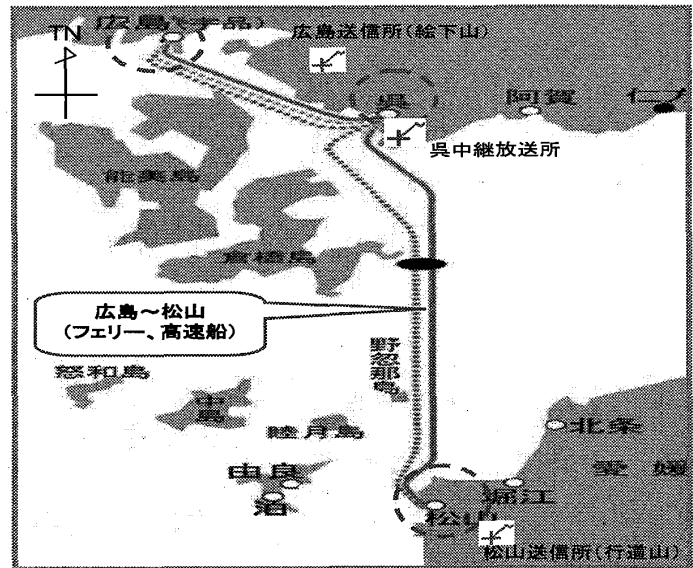


図1 広島—松山定期航路

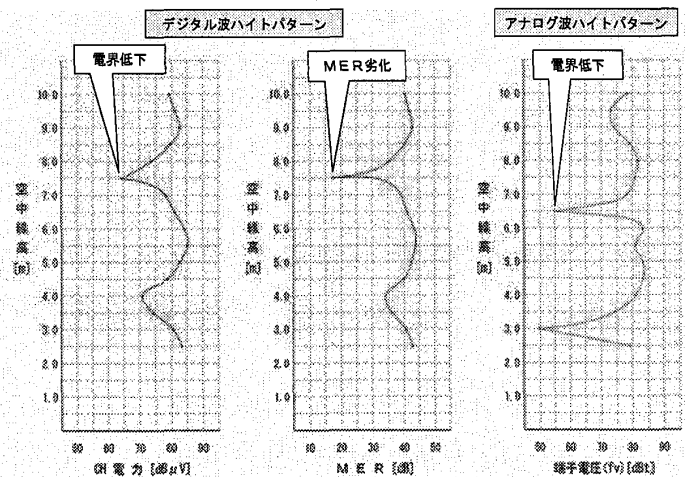


図2 反射点が海上の場合のハイパターン

界が80dB $\mu$ V/m以上の場合は安定した視聴が可能であるが、60dB $\mu$ V/m程度では海面反射や島嶼部からの反射により、ブロックノイズが生じ、不安定な受信となった。その他、低速(25km/h)のフェリーよりも高速船(70km/h)の方が安定に受信できるデータが得られた理由としては、高速船のほうが海面反射など電界低下点を通るスピードが速く、電界強度の復元が早いいため誤り訂正が有効に働くことなどが考えられるが、特定はできていない。

### 2.3 ガードインターバル越えマルチパスの影響

速度が遅く、測定が容易なフェリーで電界強度を測定していたところ、見通しのよい航路中間点付近で電界強度が60dB $\mu$ V/mを越えているにもかかわらず誤り率(BER)が $2 \times 10^{-4}$ 以下に劣化し、受信不能にな

る区間が見受けられた。調査の結果、原因はガードインターバル（ガードインターバル長：126 $\mu$ s）越えマルチパス波の到来によるもので、図3に示すように遅延時間が135 $\mu$ s（電波の行路差：約40km）と170 $\mu$ s（行路差：約51km）付近に強く現れ、D/U（希望波レベル/妨害波レベル）は呉・松山の間地点付近において約30dBであった。また、このときのMER（総合）は20dB程度で、最悪値は5dBであった。

この現象を詳しく調査したところ、広島親局の電波が西方遠方の山岳で反射し、松山港に近い海上航路ではガードインターバルを越える予想外の妨害波となっていることが判明した。なお、このようにD/Uが30dB以下となっている理由としては、航路が広島市内と反対側（松山側）にあり、世帯がなくかつ隣接チャンネルの関係で広島親局の電界が低いことも関係していると考えられる。対策として、妨害波到来方向（西側）を遮蔽するため、受信アンテナを船の右舷と左舷にそれぞれ設置し、松山への往路は左舷（地理的に東側）のアンテナ、復路は右舷のアンテナ（同じく地理的に東側）を切り替えて広島親局を受信するようにした。この船体構造を利用した遮断により、D/Uは35dB、MERは約25dBに改善され、十分受信が可能となった。

移動船舶の場合は、海上という遮蔽物のない環境で移動するため、遠方の反射物からも見通しとなりこのような高レベルのガードインターバル外の反射波が到来する可能性も十分考えられるため、注意を要する。

### 2.4 隣接チャンネルの影響

広島親局と松山親局はチャンネルが隣接関係（広島：14,15,18,19,22,23ch、松山：13,16,17,20,21,27ch）にあるため、その影響についてフェリーで調査した結果、広島チャンネルが低電界で松山親局が強電界である洋上の地点で、隣接チャンネルが干渉妨害となり、MERが20dB以下に劣化する状況が生じた。

この劣化原因を調査した結果、希望波と隣接妨害波のD/Uが-15dB以下となった場合、強電界隣接チャンネル波の影響でプリアンプが飽和することにより発生していることが判明した。このため、高ダイナミックレンジの増幅器、チャンネル間の電界強度差ができるだけ均一となるよう補正するチャンネルバランスを試作・使用する対策を行った。

今回のように放送エリアを越えて移動する場合には、お互いの空きチャンネルに隣接チャンネルが櫛状に入り込んでくるため、受信状況の異なる連続したチャンネル（本例では、13chから23chまで11ch連続）を受信しなければならない場合も起こり得る。使用する機器は、高いダイナミック特性を要求される可能性もあり、設計には十分な注意が必要である。

広島発  
往路  
(東側)  
受信良好

松山発  
復路  
(西側)  
受信困難

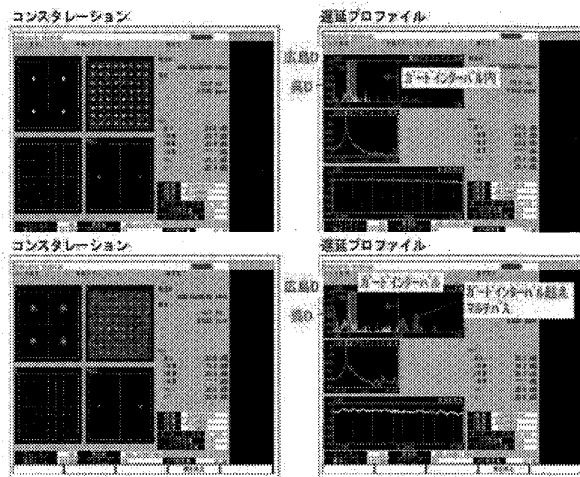


図3 ガードインターバル越えのマルチパスが発生したときの遅延プロファイルとコンスタレーション

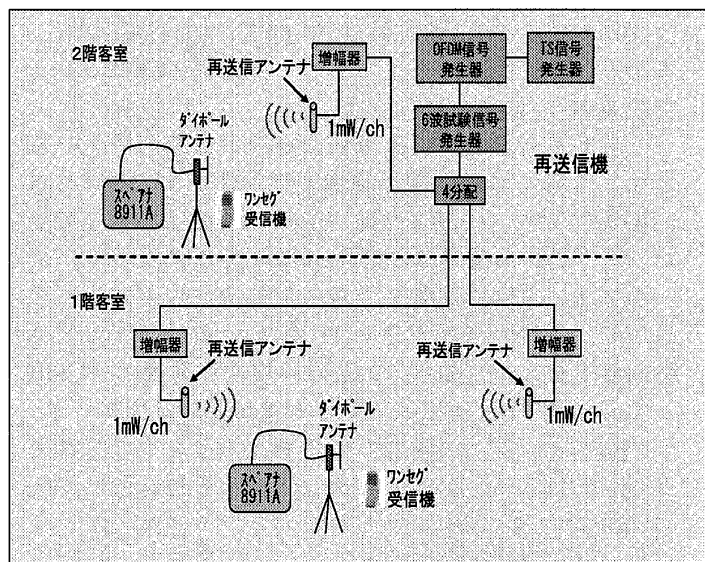


図4 高速船での実験に使用した再送信システム

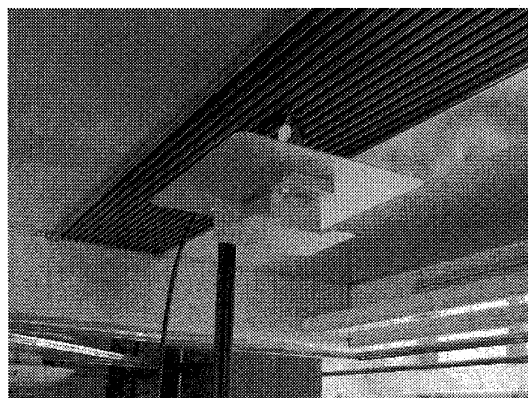


図5 使用した送信アンテナの外観

### 3. 船舶内での再送信に関する調査

#### 3.1 再送信システムの構成

早期導入がより求められている高速船内での同一チャンネル再送信時における伝搬状況を把握するために実施した実験システム構成を図4に示す。1階客室の前後に2台、2階客室に1台の計3台の送信機を各客室の天井近くに設置した。送信アンテナ(図5)への入力は1mW/ch, 送信チャンネル数は6である。また、チャンネル配置の中央にあたる28chのみOFDM変調を行っている。測定方法はまず、3ヶ所の送信機をそれぞれ単独で送信し、1階は6ポイント、2階は5ポイントで受信電界強度及び受信特性(MER, 周波数スペクトルなど)を測定した。その後3基の送信装置を同時送信し、単独送信の場合と同じ調査ポイントで測定した。

結果を図6に示す。2階単独送信の場合、調査5ポイントの受信電界強度平均値は97.2dB  $\mu$ V/m, 最大値は102.3dB  $\mu$ V/m, 最小値は93.6dB  $\mu$ V/mであった。また、1階の6調査ポイントの平均値は67.8dB  $\mu$ V/mで約30dBの減衰が見られた。

1階客室前方送信装置単独の場合もほぼ同様の結果となり、1階における電界強度の平均値は93.2dB  $\mu$ V/m, 2階の平均値は66dB  $\mu$ V/mで減衰量は約27dBであった(後方送信装置単独の場合もほぼ同じ値)。

次に1, 2階に設置した再送信装置3台を同時に再送信し、各階の全ポイント(11箇所)で電界強度などの特性測定を行った結果、2階の平均電界強度は97.2dB  $\mu$ V/m, 1階の平均電界強度は98.8dB  $\mu$ V/mであった。

MERについては2階の右前の調査ポイントで電界強度93.7dB  $\mu$ V/mにおいて38.7dB, その他においては43.7dBから45.1dBが得られており、放送品質として十分な値が確保されている。

#### 3.2 1階客室内における複数再送信による干渉

高速船1階客室に再送信機2台を配置し、6波(28chのみOFDM波)を同一出力(1mW/ch)で電波発射した場合に生じる干渉の影響について調査を行った。

2台の送信機の距離は9.4mであるため、中間の4.7m近辺のポイントに垂直ダイポールアンテナを1.5mの高さにセットし、前後左右に移動させたところ、図7のように周波数特性に局部的なディップが生じ、MERが31.1dBに劣化(約13dBの劣化)した。

しかしながら、この現象はきわめて微少な範囲で発生しており、数センチ前後左右に動かすとディップはなくなりMERも44.5dBに回復した。従って、通常のモバイル視聴状態においては、受信端末をわずかに移動させるだけで視聴可能となるため、複数再送信が品質に与える影響は問題がないことが確認できた。

#### 3.3 船内における人体による減衰の調査

再送信電波の客室内における人体による減衰や座

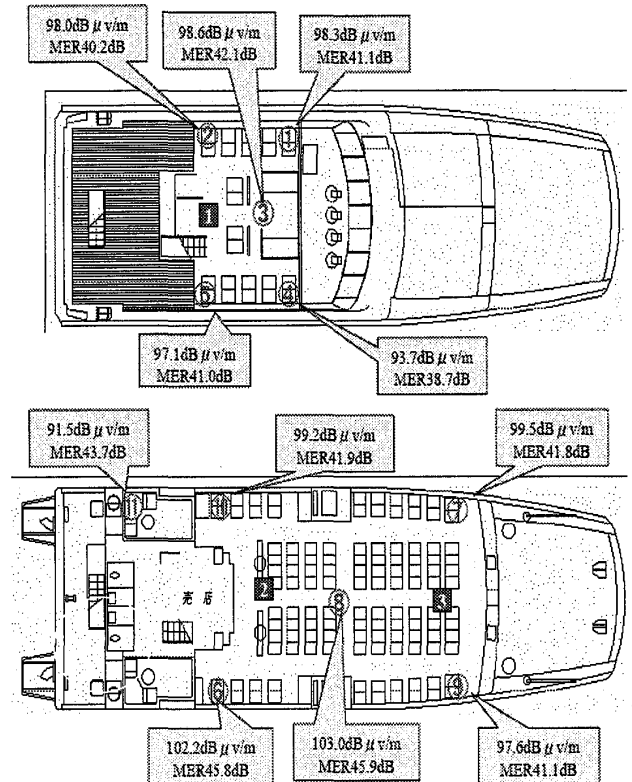


図6 再送信機3台を同時送信した場合の高速船内における電界強度分布

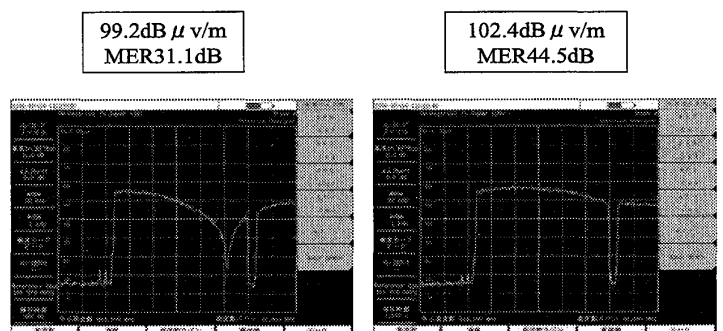


図7 2台の再送信機からの電波による干渉の影響

席の構造による受信電界への影響などについても定量的な調査を行った。高速船1階客室の中央通路付近の天井は2.15m, 再送信機の設置高さは床から2mである。実際の視聴形態を想定して、座席に座った状態の高さで人が立つことによる電波遮蔽が最大と思われる状況を設定して受信特性を測定したところ、受信電界の変動は図8に示すように4~5dB程度に納まり、複数機送信が有効であることを確認した。また、座席による影響については、背もたれより下では、電界強度、MERとも3~4dBの減衰が生じた。

本結果から無人状態での電界強度に対し、5dB程度のマージンを見込んで再送信機の配置を行えば、客室

内はほぼ全域で視聴可能なることを明らかにできた。

### 3.4 再送信波が隣接チャネルのC/Nに与える影響

今回の実験システムは、広島親局の受信・再送信だけでなく、松山親局の受信・再送信も可能となるように設計を行っている。この関連で広島フェリー発着所（宇品港）において信号発生器(SG)により松山親局(13,16,17,20,21,27ch)を再送信して広島潜在波への影響を確認したところ、図9に示すように隣接チャンネル再送信波(20ch)の影響により広島親局19chのC/Nが劣化する現象、すなわちD/Uが-20dB程度となりMER（総合）が13.5dBに劣化する現象が生じた。これは隣接再送信波の広島親局チャンネル帯域内への妨害（雑音妨害）が影響していると考えられる。このような場合は再送信波との隣接波との受信入力レベル差の管理、すなわち受信レベルに応じて再送信出力レベルを制御することが必要となる。このように再送信の場合は隣接波のD/Uについても十分な注意が必要である。

### 3.5 再送信波の受信アンテナへの回り込み

船内で広島親局・松山親局電波の再送信を行い、受信アンテナへの回り込みを抑制するための必要なマージンについて調査を行った。この結果、図10に示すように受信電界強度の低下などにより、D/Uが20dB程度となると遅延プロファイル上で回り込みによる発振が生じた。このため、D/Uを変化させて実験を行った結果、受信入力電界強度が最小時(60dB  $\mu$  V/m)においても、D/Uを30dB以上確保すれば発振を防止できることを確認した。海上移動受信では、前記のように受信入力が大きく変動する可能性があるが、船内で送受信の位置を決める場合はD/Uに加えて遅延プロファイルでの回り込み量の確認を必ず実施する必要がある。

以上のように海上移動受信の場合はかなり厳しい送受信レベルの制御が要求される。

## 4. 改良システムの系統と高速船での評価実験

### 4.1 システムの系統

以上の調査結果を元に図11に示す改良受信システムを試作し、広島-松山定期航路（高速船）で評価実験を行った。本システムの特長は以下の通りである。

#### (1) 受信電界に合わせたアンテナの切り替え

図12に示す無指向アンテナ（高電界用）、14素子八木（中電界用）及び20素子八木アンテナ（低電界用）を切り替えて、必要な受信レベルを確保している。今回は手動でアンテナの方向調整を行ったが、電子的に指向性を変えられるアンテナの開発も必要となる。

#### (2) 船体構造を利用したマルチパス波の遮断

往路（広島から松山）での広島親局受信は左舷のアンテナ、松山受けは右舷のアンテナで受信し、復路は

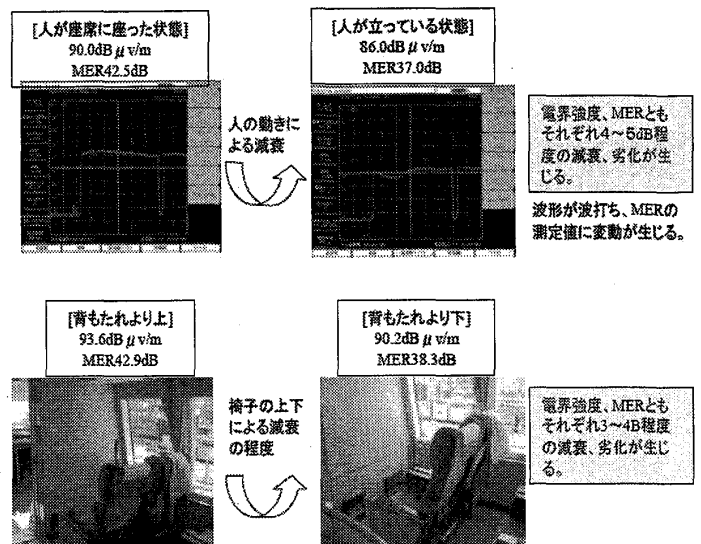


図8 人体及び着席位置による電界強度とMERの変動

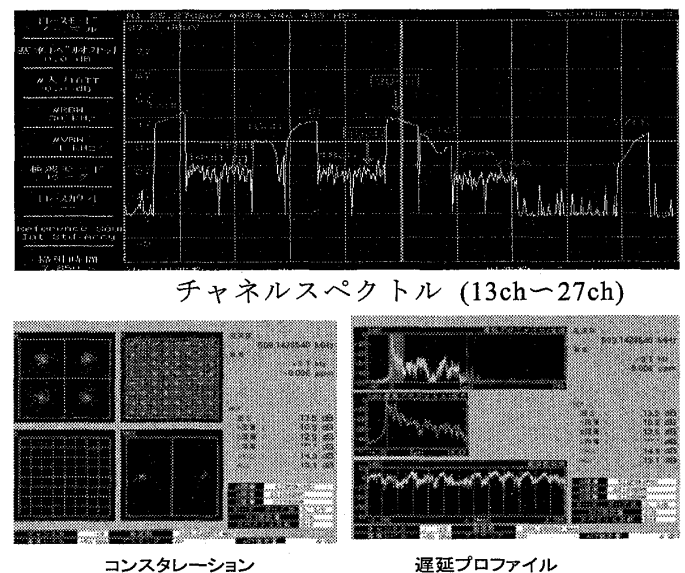


図9 広島親局電波(19ch)への隣接チャンネル(20ch)干渉

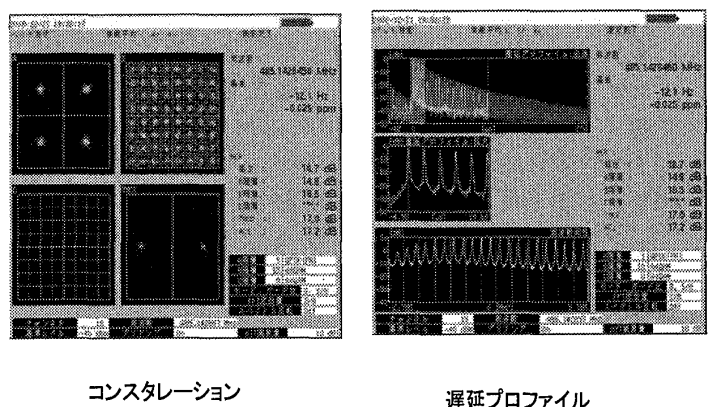


図10 回り込みによる発振現象（広島15ch）

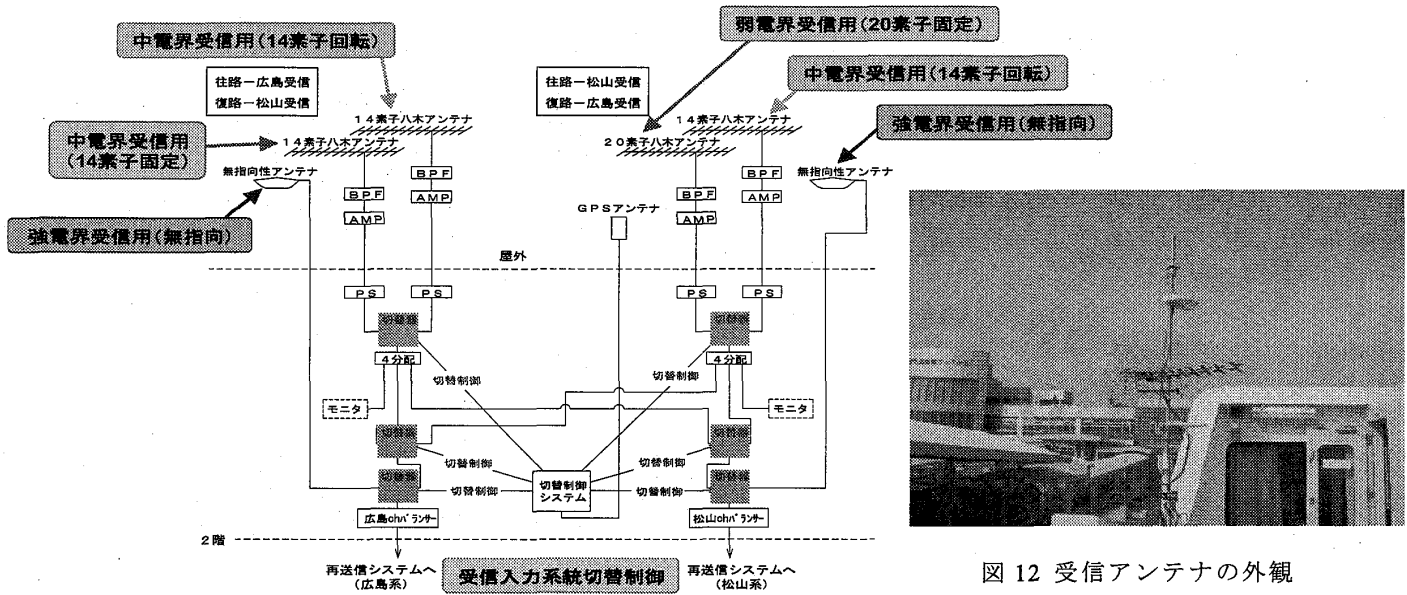


図 11 改良受信システムの系統

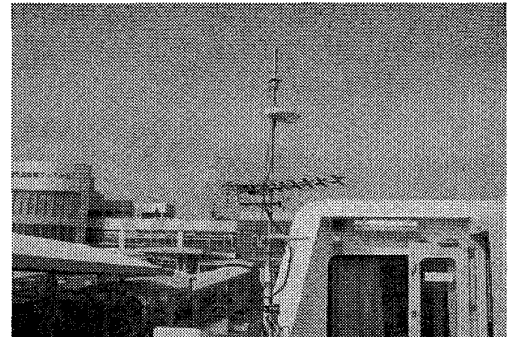


図 12 受信アンテナの外観

逆にすることで、西側山岳からのガードインターバル越えのマルチパス波を遮断している。

### (3) 広ダイナミックレンジで低雑音のプリアンプとチャンネルバランスの使用

受信電界強度の大幅な変動に耐えうるダイナミックレンジの広くかつ低雑音のプリアンプを使用するとともにチャンネル間の電界強度差を補正するチャンネルバランスを試作・使用するなどの対策を行った。

なお、以上は電気的特性のみに主眼をおいて検討を行ったが、実用化の面では高速船の航行速度(70km/h)に耐えられ、かつ塩害に対して耐久性のある受信アンテナの開発も必要である。

## 4.2 改良システムでの評価実験結果

### (1) ワンセグ受信 (携帯受信)

広島-松山航路の高速船内において、広島親局受信のみで再送信しない場合(船内直接受信)と、親局を屋外(デッキ)で受信し、船内に再送信した場合についてワンセグ視聴テストを行った。具体的には4台のワンセグ携帯機器を使用し、2階左右最後列座席(2箇所)、1階中央座席及び任意の座席においてGPS位置情報とタイミングを合わせて4ポイント同時に視聴結果を収集した。最も視聴が困難である船内1階客席中央部におけるワンセグの受信状況は、再送信なしの場合は、航路の約40%が受信不良であったが、再送信を行った場合はすべての場所で受信が可能となった。

### (2) 12セグ受信 (ハイビジョン受信)

12セグ受信についても再送信を行った場合・行わない場合で比較した。無指向性アンテナ使用した場合は、ガードインターバル越えのマルチパス(反射波)の影響、

隣接チャンネルによる妨害、受信電界強度の大幅な変動等により全航路の約20%しか視聴できなかった。

一方、改善システムを使用した場合は、航路上のほとんどの場所で視聴可能となり、本システムの有効性を確認できた。

## 5. あとがき

船舶や電車等移動体での受信そのものについては、地下街等の閉鎖空間と同様の条件であるが、最も異なる点は、その閉鎖空間自体が、放送エリアの枠組みを越えて移動することにある。このため予想外のガードインターバル越えマルチパス波の到来や、隣接チャンネルによる妨害などさまざまな課題に直面したが、適切な対策を実施し、実用化の目処をつけることができた。

日本近海には多数の定期航路が存在するが、本検討結果が今後他の定期航路等における地上デジタル波の安定な受信の参考となれば幸いである。

### 謝辞

本報告は中国総合通信局から委託された“地上デジタル放送の円滑な海上移動受信のための調査検討報告”をもとに作成したものである。ご助言・ご協力をいただいた中国総合通信局及び調査検討委員会・作業部会の関係各位並びに実験等にご協力をいただいた関係各位に厚く感謝申し上げます。

### 文献

- [1] “ワンセグ受信エリアの検討”, NHK 放送技術研究所 R & D No. 96 (2006.3)
- [2] 竹内, 生岩, 根岸, 初鹿, 後藤, “地上デジタルテレビジョン監視装置の開発”, 研究速報, 映像情報メディア学会, Vol.55, No.12, 1661-1664 (2001.12)