船舶用自動追尾アンテナによる BS, CS の 受信と航海支援情報の伝送に関する考察

鈴木 治* ・ 安田 明生**
山下 勝博*** ・ 駒宮 正男***

Onboard Reception Antenna for BS/CS and a Study on the Transmission of the Navigational Aids

Osamu SUZUKI, Akio YASUDA,
Katsuhiro YAMASHITA and Masao KOMAMIYA

Abstract

The Japanese BS and CS are transmitting TV programs to the wide area including Japanese waters. The authors have devised a 2-axis type automatic tracking antenna on board for them and are acquiring the CNR of their reception on a vessel (5856 G/T) steaming about around the Japanese archipelago. The apparatus is composed of inexpensive 2-axis rotator, a 2-axis servo clinometer and a personal computer and directs the antenna to the calculated satellite position. It has been working almost perfectly for three years. The measured values show that the nominal radiation patterns of BS-3a, JCSAT-2 and Superbird-B are almost consistent. The Teletext that is carried by the video synchronous signal might be effective to transfer the sea safety information to ships steaming on Japanese waters, as the numbers of the ships that install the reception apparatus on the market are increasing rapidly recently.

1. はじめに

現在船舶で使用可能な通信回線で高品質のものは全世界的にはインマルサット, 日本沿海に限れば船舶電話があるが, これらのいずれも通信容量が小さく, 大量のデータの伝送は困難である。一方, 放送衛星 (BS) と民間の通信衛星 (CS) は, 日本周辺の海域で大量のデータ伝送が可能なメディアで, 最近これらを船舶への情報伝送手段に用いようとする動きも出始めている。CS とは, 民間の通信衛星で, 双方向通信が可能で, チャンネル数が多く放送や移動体で利用されている。BS との比較を表 1 で示す。周波数は BS に近いが, しかし, 出力が半分程度であるので高利得のアンテナを使用しなければならない。そこで, この大量の伝送量を持つメディアとして, 衛星放送に着目し, BS, CS を船舶で受信できるように自動追尾アンテナを試作, 性能を評価した。そしてこの装置を使用して洋上で受信電界強度の測定を行った。また, これらを使って船で情報を効果的に利用できるように, 航海支援情報の新しい伝送方法について検討を行った。

* 学生会員 東京商船大学大学院 (〒135 東京都江東区越中島 2-1-6)

** 正 会 員 東京商船大学 (〒135 東京都江東区越中島 2-1-6)

*** 正 会 員 運輸省航海訓練所 (〒231 横浜市中区北仲通 5-57 横浜第 2 合同庁舎)

2. 追尾機構

船舶上で衛星放送を受信するためには、船位の変化や横揺れ(Roll)、縦揺れ(Pitch)、船首揺れ(Yaw)等の船体動揺と船首方位の変化、これらの変化分を追尾装置で補償しなければならない。

この装置として、一般に電波の到来方向を常にアンテナで探知する従属追尾方式があるが、高速で精密な回転装置を用いなければならない

ため機構が複雑となる。また、構造物の影に入る時に、制御が不安定になるという問題もある。

本研究では追尾方式を、機構を簡単にするために方位角軸、仰角軸の2軸で構成し、船首方位、船位、動揺から衛星方向を決定し、アンテナを駆動させる2軸絶対方位追尾方式とした。この方式は、船首方位、船位のセンサーとして既設の機器を使用できること、回転装置自身で到来方向を探す必要がないので、汎用の低速な回転装置が使用でき、電波の質に左右されず、さまざまな衛星の追尾に使用できるなどの特徴を持つ。また、今回のようなBS、CSの受信では、市販の機器でシステムを構成できる。

2.1 システム構成

試作した船舶用自動追尾アンテナの構成を図1に示す。装置構成は機構の簡易性、堅牢性および低廉性を考慮して以下の機器を用いている。アンテナは市販のBS、CS用を用い、アンテナ支持装置は2軸回転機構の中でも最も簡易で、低廉な装置のひとつであるアマチュア無線家用ローテータ(EV-800D、EMOTATOR製)を使用した。また、船体動揺センサは、高価なバッチカルジャイロ等を用いずに重力加速度からそれらを検出する構成の簡易なサーボ傾斜計(TCM-2X-10、東京計器製)を用いた。船体の位置と方位の検出は船舶の既設設備を利用した。使用機器の特性を表2に示す。システム全体の動作は以下の通りである。船体の位置と方向はGPS等とジャイロコンパスで検出し、インターフェースを介してパーソナルコンピュータに送られる。一方、船体の動揺量はサーボ傾斜計の出力電圧を12bitでAD変換することにより得られる。パーソナルコンピュータはこれらから船を中心とする座標における衛星の方向を計算し、ローテータを駆動してアンテナを衛星に指向させる。ローテータの回転角は組み込みのポテンショメータにより検出できるので、これを監視しながら駆動スイッチをon-offすることでアンテナの姿勢が制御される。受信状態は実際の画像とBS/CSチューナー(FSR-3000P)のAGC電圧(受信CN比にほぼ比例)によって評価される。アンテナ姿勢情報の取得から姿勢制御に到る一連の動作は20msで行われ、パーソナルコンピュータの入出力情報とAGC電圧とは100ms毎にメモリに記録される。

2.2 制御特性

2軸制御方式では方位角と仰角の2軸によって、すべての動揺に対処しなければならないので、自動追尾アンテナの特性は、回転装置の角速度に依存する。特に、この回転装置の角速度が方位角軸で $4.2^{\circ}/s$ 仰角軸 $2.8^{\circ}/s$ であり、後者の回転角速度が方位角軸の半分程度であるために、この仰角軸のみで動作するときの特性が、このシステムの性能上限となる。

表1 BSとCSの比較

	BS	CS
用途	放送用	通信用
周波数	11.7~11.9GHz	12.2~12.6GHz
衛星	BS-3a,3b	JCSAT-1,2 スパ-ハ-バ-ト A,B
放送ch数	4ch	32+32 23+23
出力	120W	20W 50W
受信ANT	30cm以上	60cm以上 50cm以上
利用者	NIHK,JSB	放送局, 運輸会社, NTT他

図1 船舶用自動追尾アンテナの構成

表2 使用機器の特性

装置	特性
回転装置	回転範囲 方位角 365° 仰角 180° 角速度 $4.2^{\circ}/s$ $2.8^{\circ}/s$ 機械精度 0.5°
サーボ傾斜計	測定範囲 $\pm 10^{\circ}$
BSアンテナ	30cm平面型 利得31.0dB NF1.0 45cmオフセット型 利得33.4dB NF1.23
CSアンテナ	75cmオフセット型 利得38.5dB NF1.2

そこで、実際に試作した装置の仰角軸に一定の振幅の命令 (Order) を与えた時の、反応 (Answer) の利得と位相の変化を図 2(a), 図 2(b) のボード線図で示している。振幅 5° で周波数が 0.2Hz の時、つまり周期で 5 秒以上を超えるところから、位相が遅れている状態、つまり追尾遅れを生じていることがわかる。しかし、動揺の最大角速度がそれを上回って正確には追尾していない状態でも、許容指向誤差以内ならば、AGC 電圧は受信限界以上のレベルを維持し、継続して受信できることがわかっている²⁾。よって、この制御特性と動揺の性質、受信強度、Threshold level, 使用アンテナ、海域によって、この装置で衛星放送が受信可能であるか推測できる (図 2(c))。

図 3 は 30cm の BS アンテナで晴天時の東京で得られた受信利得パターンで、この時受信の Threshold level を放送内容が理解できる状態の CN 比 4dB とすると、受信可能範囲は 9° であるので許容指向誤差は 4.5° となり、動揺の振幅が 5° であれば約 0.2Hz 以下で衛星放送が受信できることがわかる。そして、同じアンテナでも海域によって電界強度が異なるので許容指向誤差も変化し、石垣島で 30cm のアンテナならば許容指向誤差は 3° となる。また、CS を東京で 75cm のアンテナを使用して受信する場合は JCSAT-2, スーパーバード B とともに許容指向誤差は約 3° である。

また、このシステムの制御方法は受信する周波数に依存しないので、BS, CS の他の衛星の追尾にも使用することができる。例えば、気象衛星ひまわりを日本周辺で 75cm アンテナで受信し、16 階調以上の画像を得るため³⁾の許容指向誤差は 8° であるので、このシステムで十分に対応できることがわかる。

図 2 仰角軸の制御特性

3. 実船実験

試作した装置の洋上における受信状況を調べるために、運輸省航海訓練所の練習船「北斗丸」(全長 125m 5856 総トン) のコンパスブリッジデッキに回転装置とアンテナを、制御機器を無線室に設置し受信実験と受信 CN 比測定を行った。北斗丸の船体動揺の固有周期は、ロールで 12~14 秒、ピッチで 5~7 秒であった。

3.1 航行中の制御データ

図 4 は「北斗丸」が振幅 5° の Roll を受けながら航走している時の衛星放送の受信状態を示している。横軸に時間、縦軸はサーボ傾斜計から得た動揺、方位角軸、仰角軸の制御状態と AGC 電圧を示しており、縦軸の一目盛りは 1° である。船体は不規則に動揺しているが、衛星放送受信に必要な AGC 電圧が得られ安定して受信していることがわかる。この試作した装置は、継続して設置されてほとんど完璧に動作をし、受信した衛星放送を UHF 帯に変換して船内に供給している。

図 3 受信利得パターン ($30\text{cm}\phi$ アンテナ)

図4 航走中の衛星放送受信例

3.2 受信 CN 比の測定

衛星放送が受信可能な海域を明らかにするために、日本南方海上で試作した装置を用いて衛星放送の受信 CN 比を測定した。

測定は、追尾が十分可能な時に数時間測定（航海中を除く）し、もっとも高い値を採用した。また、雨や雲などによる減衰を考慮するためにできる限り衛星方向に雲などが無い時に、測定している。受信 CN 比の測定には、CN 比チェッカーを使用した（BS：KTV-635；協立電子工業製，CS：TY-DK30S；松下電器製）。

3.3 放送衛星（BS-3a）の受信電界強度分布

BS の送信側パターンは南西諸島を含む日本列島と小笠原諸島をカバーする為に 2 つのビームを持っている。そのビームは BS-2b に比べ周辺部で鋭くなっているため、BS-3a では BS-2b で受信可能だった海域が受信不能になったところもあるが、全体的に日本周辺の電界強度は強くなっている。BS-3a の送信アンテナ利得パターンと、実測の受信 CN 比を図 5 に示す。測定点はほとんどが停泊中のもので、東京から父島の間は航海中に測定したものである。BS の受信強度は石垣島までは理論どおりの分布をしているが、石垣島西方から急激に減少していること、そして、鳥島近辺では設計値よりも測定値が低くなっている。CN 比 4dB を Threshold level とすると石垣島で CN 比 11dB が得られたので、45cm のアンテナでは太線で、30cm では点線の範囲内で受信ができると考える。これらから、現在衛星放送を小笠原を含んだ連続した海域で見るとためには（送信アンテナ利得 [26] で囲まれた海域）G/T で 11dB/K 以上*が必要であろう。将来的には衛星の出力増加と受信装置の高効率化で、さらに受信は容易になると考える。

3.4 通信衛星（JCSAT-2，スーパーバード B）の受信電界強度分布

JCSAT-2，スーパーバード B の送信アンテナ利得パターン（スーパーバード B は EIRP）と、75cm のアンテナで放送波を受信したときの受信 CN 比を図 6，図 7 に示す。送信側のパターンは日本列島を中心としたビームを持っている。しかし、双方とも小笠原諸島をカバーするビームは持っていない。

* アンテナ直径 40cm 程度 (33dB)，NF0.8dB，アンテナ雑音 80K

図5 放送衛星 (BS-3a) の送信アンテナ利得と受信 CN 比

JCSAT-2 は、衛星の送信出力が 20W と BS の 120W に比べ弱く、また、アンテナの利得も低いため、受信は BS に比べ厳しいもので、石垣島では CN 比 3dB と Threshold level 以下であった。よって、75cm のアンテナでは太線の範囲内で受信ができると考える。

スーパーバード B は、南西諸島も含め広い海域で受信することができた。これは JCSAT-2 に比べ約 2 倍の出力を持ったためと考えられる。EIRP で 43.5dB のエリアで可能であると思われる。

今回調査した CS は出力が弱いにもかかわらず BS 同様の放送波であったので、船舶での受信は難しいものであったが、送信帯域を限定し使用すれば、通信回線として有効な活用ができる。また使用可能海域は大部分の内航船が航行する海域をカバーし、外航船ではおおよそ入港前日から使用できる海域である。船での通信量が入港前日あたりに急激に増えることを考えると、これら CS の海域は有効であると考えられる。

図6 JCSAT-2の送信アンテナ利得と受信CN比

図7 スーパーバードBのEIRPと
受信CN比

4. BS, CSの情報伝送手段としての可能性

現在、船舶用の衛星放送受信装置は多くの船舶に搭載され、ニュースや気象情報等の情報入手手段として利用されている。そこで、テレビを使って効果的に航海支援情報を船に伝送する方法について考える。

例えば、文字多重放送であれば、現用のTV電波に多重してデータを伝送するもので、いつでも必要な情報を選択表示ができ、そして、必要なデータは補助記録装置(紙、磁気ディスク等)に記録保存が可能である。この方式の伝送速度は64kbpsである。また、衛星放送で計画されているデータチャンネルを使ったデータ伝送(ファクシミリ放送⁴⁾)は、現用の放送を行いながら224~1764kbpsでデータを送ることができる。これらを使って、気象衛星ひまわりのWEFAX画像(64階調画像 約470Kbytes:直接受信の場合200秒)を送る場合、データチャンネルを符号化率1/2で使用したとすると5秒~34秒で伝送できる。同様に、文字放送では120秒で伝送できる。このように衛星放送は、文字の航海支援情報として使用されているNAVTEX(50bps)やEGC(600bps)、またインマルサット(4.8kbps)に比べて大量な情報伝送手段であるので、短波のFAXで送られている情報に加え、泊地や狭水道等の特定海域の船舶の動静などの航海支援情報を伝送する回線となり得るだろう。

5. おわりに

構成の簡易な船舶用自動追尾アンテナとして、BS, CSの受信装置を試作してこれを北斗丸に搭載し洋上における受信を長期間行った。その結果、これは北斗丸においてほぼ完璧に動作し、衛星放送は日本の南方海上を広く含む海域で受信できることを確認した。そして、北斗丸において「船でのTVの利用状況」を調査したところ、TVの視聴時間が短い人ほど、娯楽よりも情報を入手する手段として利用しており、特にTVの台風情報がどの情報手段よりも速く情報を得られるので重要視していることがわかった。

このことから、日本周辺の広い海域でTV放送の受信が可能な衛星放送は、文字放送などを使うことで、さらに有効な情報伝送手段になるだろう。

そして、現在CSでは陸上移動体にはオムニトラックスという、簡単なメッセージをドライバーに伝え

ることのできる自動車用の通信システムが稼働中である。これは自動車電話の使用できない場所を走る拠点間を輸送するトラックの運行管理のために使用されている。このようなシステムがいずれ、船においてデータ伝送手段として使用できるだろう。

最後に、実船実験及び衛星放送の利用状況調査に協力頂きました北斗丸の全乗組員に感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 千葉 元他：船舶における衛星放送の受信に関する研究，日本航海学会論文集第 81 号，pp.39－48，1989 年 9 月
- (2) 鈴木 治他：船舶における衛星放送受信のための簡易型自動追尾アンテナシステム，pp.2－141，1992 年電子情報通信学会春期全国大会予稿集，1992 年 3 月
- (3) 廬 友新他：気象衛星画像の高画質受信とその評価，日本航海学会論文集第 87 号，pp.227－239，1992 年 9 月
- (4) 石田順一編：放送とニューメディア，丸善株式会社，pp.159－160，1992 年 4 月

質 疑 応 答

濱田悦之（東京水産大学）：CN 比は雨天，曇天時にどのくらい下がるのでしょうか。

鈴木 治：一般に時間あたり降水量に対する減衰は，10mm/h 程度ですと，CN 比は 2dB 減少と言われています。また，筆者らは雨に限らず伝搬上に雲があると，種類によって異なりますが最大 2dB 程度減少することを実測で確認しています。

田口一夫（鹿児島大学）：CS の受信パターンが日本列島に沿った形となっているが歪み（JCSAT-2）があるのはなぜか。ハードが試作のために精度が悪いのか。

鈴木 治：BS, CS とも衛星に搭載されているアンテナの利得のパターンから，受信可能領域を決めているため，この場合ハードとは特に関係なく，送信アンテナのパターンに左右される結果になります。