

電波航法
平成二十八年三月二十七日発行

電波航法
二〇一五年

第五十七号

電波航法研究会
電波航法研究会
発行

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

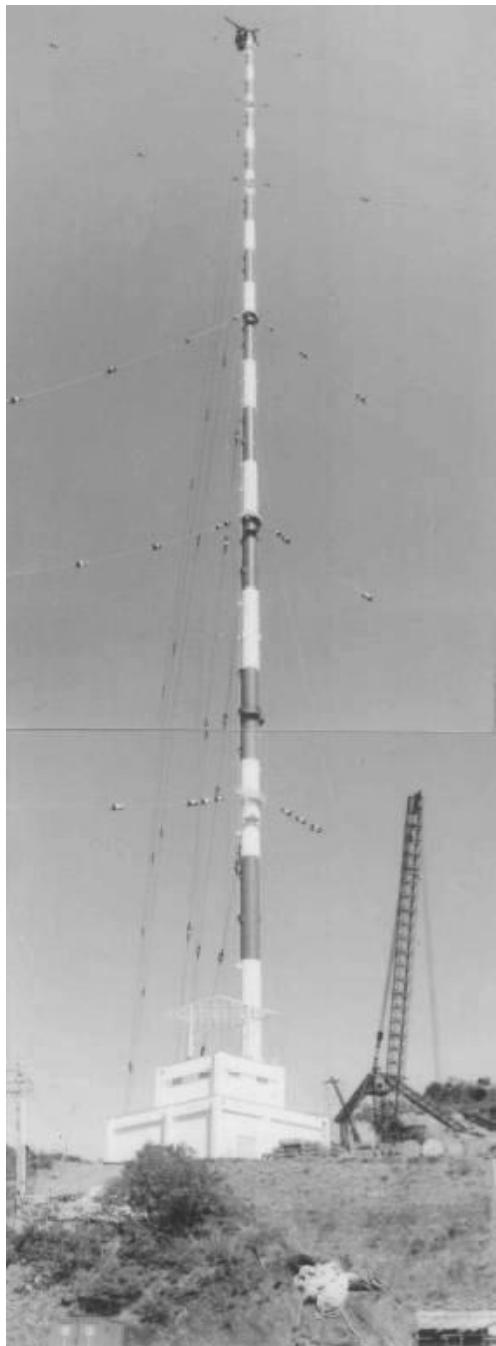
電波航法

JACRAN. 57
2015

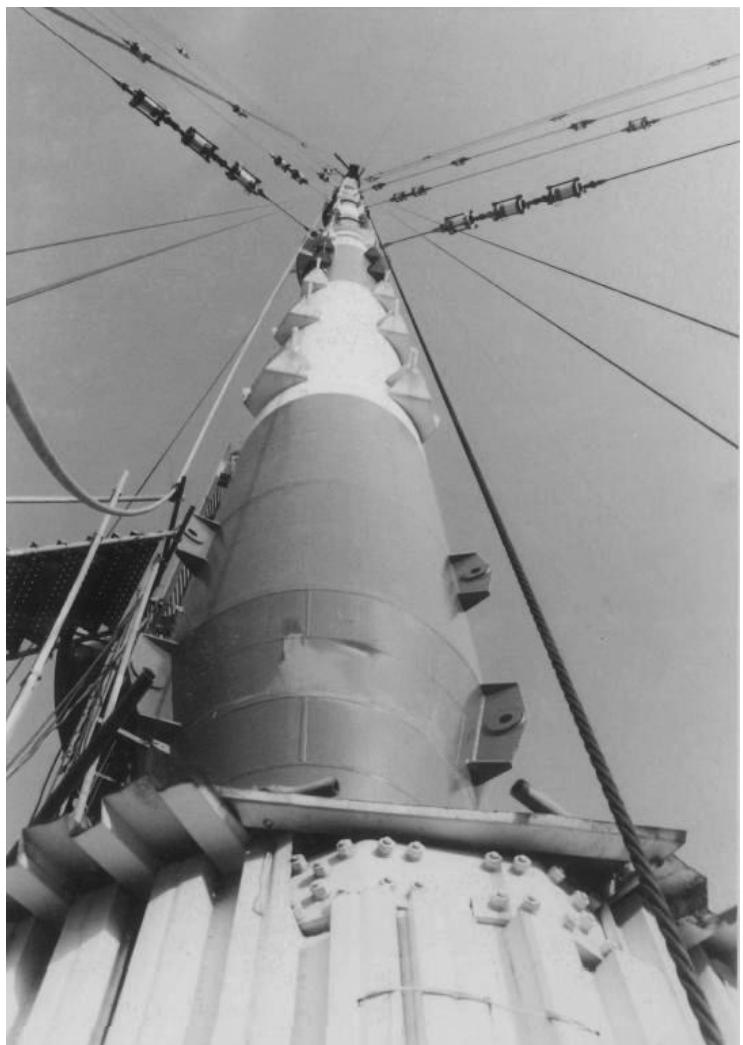


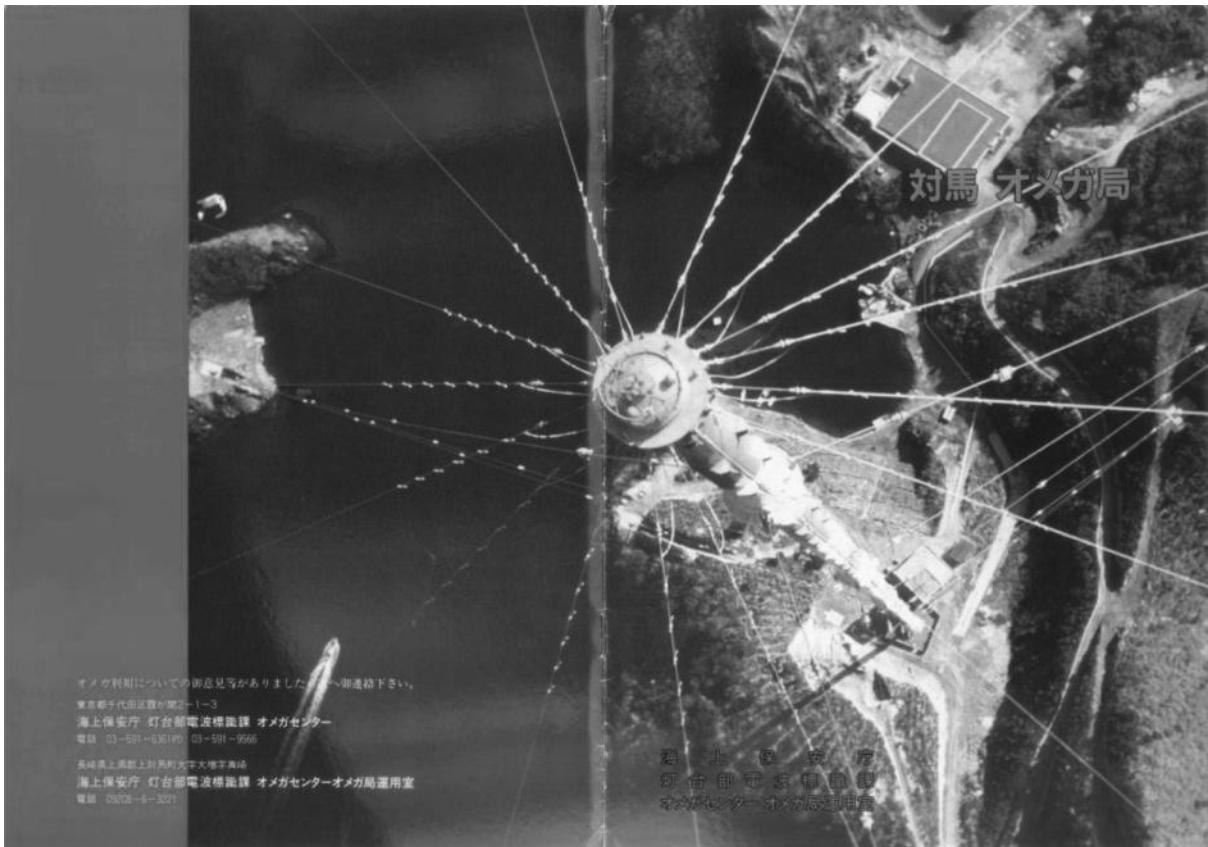
電波航法研究会 発行

Published by the Japanese Committee for Radio Aids to Navigation



← ↓ 建設中のオメガ鉄塔





対馬オメガ局沿革

昭和43年、汎世界的な遠距離無線航行援助方式である、オメガ航法システム唯一の送信局をわが国に建設するため、候補地の選定及び技術的調査研究に着手した。

昭和45年10月に建設工事を開始し数々の難工事を経て、昭和50年5月1日正式運用の運びとなっ

た。オメガシステムの導入計画が胎動を始めてから実に7年を要している。

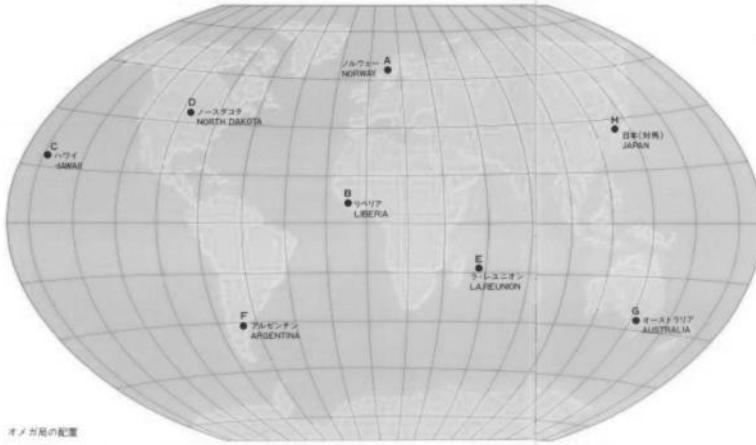
昭和54年4月、発射電波を3周波数から5周波数に増波したほか、装置の改良を重ね、性能及び安定性の向上が計られてきた。

同時に長期間にわたるオメガ電波の伝搬調査にもとづき、予測伝搬補正値航法と相補完するシステムとしての評価を受けるに至っている。

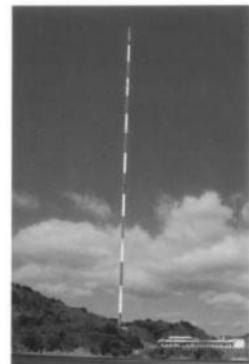
対馬オメガ局は、昭和60年5月、10周年を迎えて、国際協力のもと、七つの海で船舶あるいは航空機の安全な航行に貢献している。



オメガ局施設

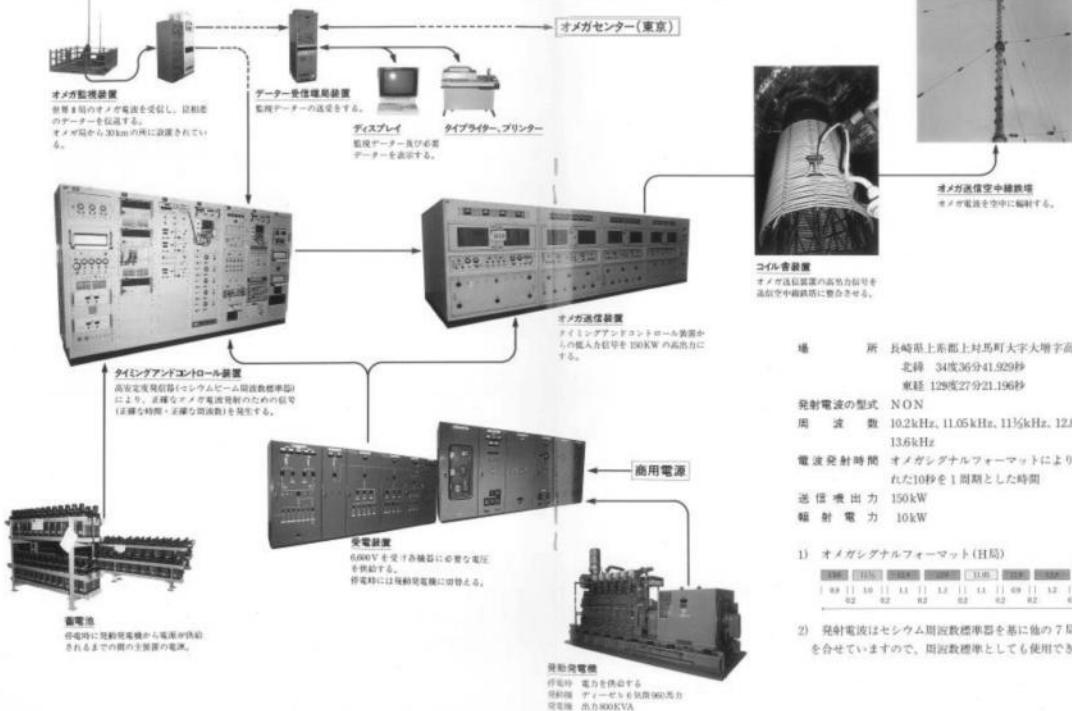


オメガ局の配置



送信空中線塔

対馬オメガ局機器構成図

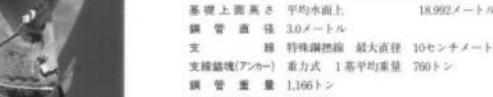
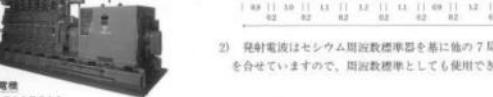
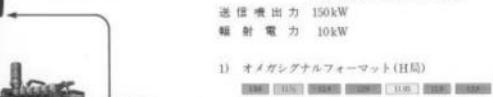
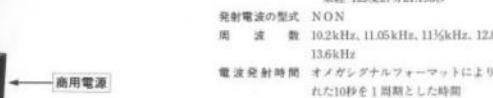
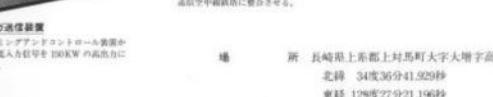


鉄塔頂部

鉄塔古子子

支線鉄塔

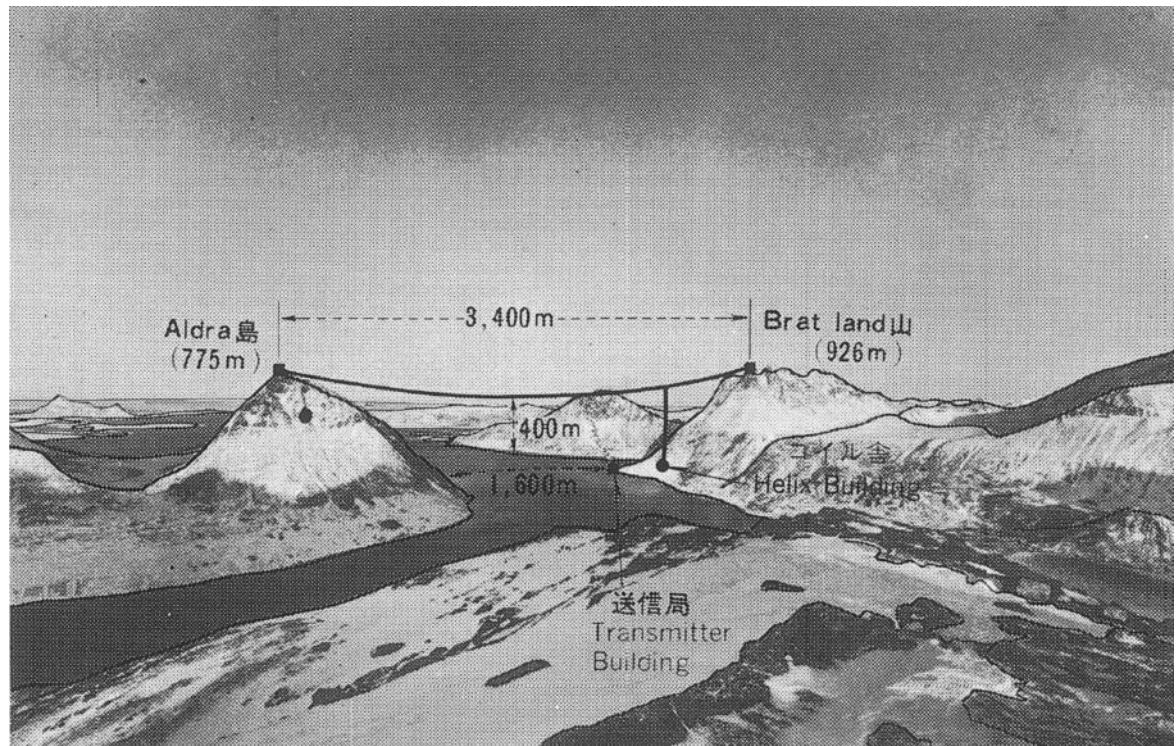
支線鉄塔

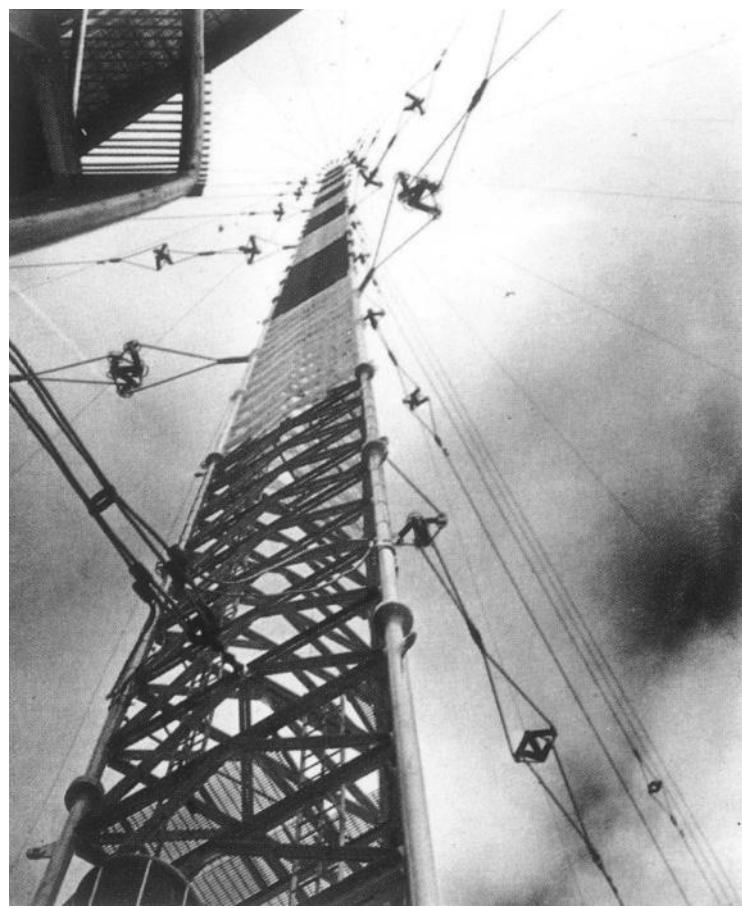




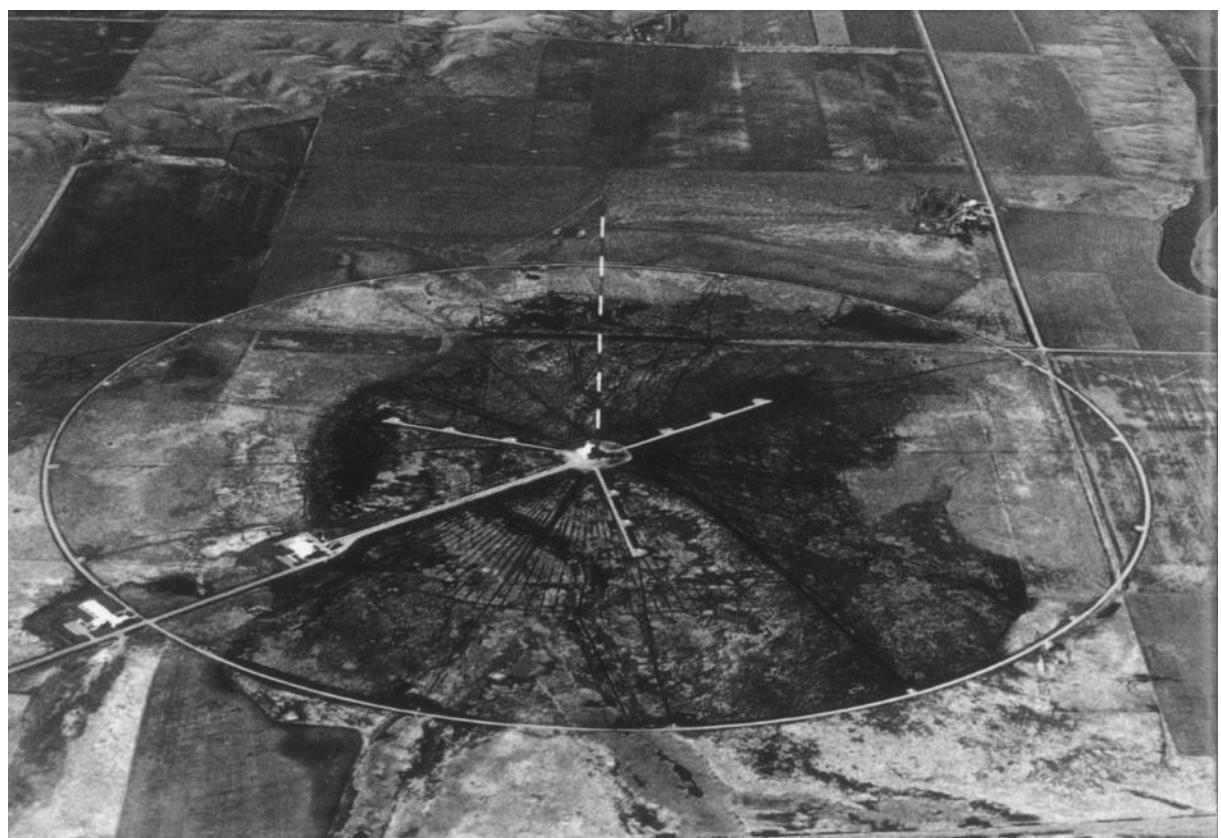
↑ ↓ ノルウェー・オメガ局

バレスパン型空中線の代表的なもので、ノルウェー中部のプラットランド山頂と、海をはさんだ向かい側のアルドラ島の山頂との間にオメガ送信空中線が展張されている。





←↓ ノースダコタ・オメガ局
鉄塔傘型空中線の代表的なもの
である。高さ 366m。





← 支線の固定作業

↓ 塔頂部での作業



— 目 次 —

CONTENTS

巻頭言 「電波航法とオメガをめぐる隨想」 **会長 長岡 栄** (1)
Chairman Sakae NAGAOKA

特集

「オメガ航法システムを回顧して」 **田口一夫** (2)
Kazuo TAGUCHI

「電波標識温故知新(1) ~オメガ航法システム 第2部~」 **千葉 潤** (10)
Jun CHIBA

講演の記録

[AIS]

「JAXA の衛星 AIS 実験 (SPAISE1&2) について」 **篠原季次** (17)
Suetsugu SHINOHARA

[レーダ]

「船舶用固体素子レーダ」 **川口 優** (27)
Masaru KAWAGUCHI

特別研究会報告

「特別研究会 UEC コミュニケーションミュージアムの見学」 **事務局** (35)
Secretariat

臨時研究会報告

「臨時研究会 『VDES 開発のための IALA ワークショップ』 オープンフォーラム」 **事務局** (38)
Secretariat

電波航法研究会事業報告 (平成 27 年度) **事務局** (43)
Secretariat

※表紙は、対馬オメガ局の鉄塔の画像。

電波航法とオメガをめぐる隨想

電波航法研究会

会長 長岡 栄

Chairperson Sakae NAGAOKA

本号の表紙は在りし日の対馬オメガ局のアンテナである。オメガは周知のとおり双曲線航法システムの一種で、10kHz 帯の電波で、8つの送信局で全世界をカバーした。その意味で最初の全地球航法システムであった。提唱者の、ギリシア語の最後の文字Ωをとり、「オメガ航法」と名付けたらしい。1971年頃の運用開始から1997年の停波に至るまで、まさに20世紀の最後を飾った航法システムである。

私が運輸省の研究所に入所したのが1974年である。この頃の航空における長距離航法の先端技術は慣性航法装置（INS）やオメガ航法であった。INSは加速度を二回積分して移動距離を計算する。このため誤差は経過時間とともに増大する。誤差は95%確率で2[NM/hr]程度だが、長時間の洋上飛行では大きな誤差となる。この誤差特性を改善すべく、位置更新にオメガ・センサが用いられた。今ではGPSがとて替わってはいるが、航空の分野でもオメガはこの時期、重要な役割を果たした。

その頃、日本にL-1011型機が導入された。この飛行機は航法センサと計算機とを融合し、任意の経路を飛行できるRNAV（Area Navigation）の機能を備えていた。因みに私の最初の仕事は、この新型機の航法精度の評価であった。航空路監視レーダ（ARSR）の指示器のPPI表示画面の写真を撮り、こ

れから機影の距離と方位角を測定した。これらと二次監視レーダ（SSR）の高度データを用いて、航空機の3次元位置を推定した。そして、球面三角法を用いて経路からの横方向逸脱量を算出した。この解析結果をまとめ英王立航法学会（RIN）のJournalに投稿したのが最初の論文であった。

振り返れば、私が電子航法と関わっていた最盛期はオメガの運用時期と重なっている。当初はアナログからデジタルへの移行期であった。その後、計算機の性能向上、通信技術、マイクロエレクトロニクス、宇宙技術が進歩し、GPSなどの衛星航法システムが普及してきた。この頃には私も管制システムの安全性など運用上の問題に関わることになった。21世紀に入るとGPS受信機の低廉化に伴い、目覚ましく普及した。今や、測位センサとして、カーナビ、携帯電話をはじめ、様々な領域で利用されている。

人々、電波航法は安全で効率的に移動体を目的地に導くための技術であろう。要素技術としては、概ね、衛星航法システムにより確立されたように思われる。今後も電波・電子技術の重要性が減ることはなかろうが、応用システムの安全性や効率など、運用面の性能向上のための問題解決の技術が問われそうな気がする。

オメガ航法システムを回顧する

鹿児島大学名誉教授

田口 一夫

1はじめに

私が血道を上げて研究してきたオメガ航法システムが短命（1975–1997）であったことに落胆していたら、林前会長から本システムについて一言書くように依頼された。しかし対馬のオメガ塔が撤去されて既に15年近く経つので、私の研究資料類の多くは散逸したし、老人の記憶も定かでない。ここでは乏しい記録を頼りに、本システムに魅せられた経緯と、GPSが主役になった理由を推測したい。

2 VLF電波とは

電波の到達距離を伸ばすには、できるだけ低い周波数（very low frequency : VLF）を使うのが、無線電信を開発以後の通信の手法であった。真空管が誕生しても、当初の技術は幼稚だったから遠距離通信のツールには使えなかつたので、低周波数を発生させるには巨大発電機に頼っていた。

超長波を放射するには、波長に対応した巨大アンテナが必要なために、平野部では高い鉄塔を建設する。しかし、巨大アンテナの建設費は多額だから、従来は山岳・峡谷のような地形を利用して長大なアンテナを展張していた。平野部アンテナの典型例はわが国の国際通信を行う旧佐美送信所（刈谷市）がある。そのアンテナ塔は東海道線の車窓から望見できるほど巨大だった（現在は解体された）。国際通信の開祖である、マルコニー社

の大西洋を挟んでの横断信用アンテナ塔群の跡を見ると、規模の壮大さには驚かされる。

こうした巨大アンテナの建設費用は膨大であるが、維持管理の厳しさも通信費用を膨張させていたので、間もなく主役から外れた。しかしながら水中にある潜水艦との通信はVLF波に限られているために、対潜水艦通信では今日でも主役である。

3 研究の動機

ここで私がVLF波を知るに至った経緯を述べよう。大学での研究の始まりがロランAの測定だったのは、ロランを頼りに操業する船が多くたからである。夜間でもロランを頼りに操業していたが、受信機の故障とともに船位誤差に悩まされていたので、その原因解明へと発起した。誤差の原因は主として電波伝搬の振舞いが不明だったからだ。伝搬の研究は長期にわたる上に成果が目立たないから、研究する人が少ないからだ。だが現場の漁労長は、狭いベッドの空間を受信機に明け渡してまでして、受信機のCRT像に釘付けだったのには驚いた。

他方、商船では天文航法に勝るものなしとして、ロラン受信機は天測位置の補助具と見なしている船が多くた、と言ってもオーバーではあるまい。

一方、電波伝搬分野の研究誌には、宇宙空間領域の伝搬が時々取り上げられ、「VLF」な

る単語が年を追って多く見られたが、研究の主題は物理現象であり、航法に関連する分野は皆無に等しかった。私とて、そうした低い波を航法を使う長所を理解できていなかつたものの、VLF 波の将来性を感じていた。私の知見外であった Radaux/オメガなる術語が紙上に現れるので、時代を感じた。

ところが、米国海軍はオメガ航法システムを全世界航法に位置付けして、米本土を主軸にした臨時の 4 送信局による運用(1956 年頃)を始めた。地上局 8 局を設置すれば、地球上のいかなる点にあっても位置測定が可能であるとした。すなわちギリシャ語の最終字母であるオメガにあやかり、オメガ航法と名づけたのだった。

だが当時の国際情勢を反映し、本システムは軍事用であるとする反対論が強まったあげく、当初予定していたニュージーランド局はオーストラリアへ変わった。こうしたニュースを追いかけるわれわれは翻弄された。わが国に設置する送信局の位置が決まるまでの経緯は『オメガとともに』⁽¹⁾ に詳しい。

4 わが国の VLF 研究の始まり

4.1 VLF 測定器とは

その頃、わが国で VLF 波伝搬に関する研究は、名古屋大学空電研究所（旧呼称）と郵政省電波研究所（旧呼称）が実施していた。オメガ波の長期観測は電波研の犬吠観測所が米国製の測定器で行っていた。とは言え船用オメガ受信機（以後オメガ受信機と呼ぶ）なるものは米国でも開発途上であった。同機の基本構成は①受信アンテナ②VLF 受信機+位相追従装置③位相表示機からなり、ロラン受信機に代表される従来型の航法装置とは一線を画していた。

このため航法受信機のあるべきコンセプトを欠いていたので、製作者はもちろん航海士にとっても、取得資料の解釈をはじめ、船位決定値の精度を検討する根拠を欠くために困惑させられた。その原因は VLF 電波の伝搬に関する研究が不十分であったことによると私は思っている（後述）。それは受信電波の振舞いの検討が不十分のまま、システムが公開されたのが原因と私は言いたい。だが公開資料は不十分であるため、一私人の憶測ともいえるだろう。

4.2 オメガ受信機情報の入手

その頃、わが国ではオメガ航法への対応はほとんど目立たなかったが、海保庁が早い時期(1966 頃)から米国と協議をしていたと『オメガとともに』⁽¹⁾ は述べている。一方、米国でも航法用オメガ受信機は未開発であったし、わが国ではこうした情報すらも入手に苦労させられていた。その背景には当時の緊迫していた国際情勢があった。ことに全天候性である航法技術の情報が、非共産国を経由して共産圏に流出することの懸念から、わが国の民間ではこの種の米国製品を輸入できなかつた。また国立大学の通常予算でこうした機器の購入はほとんど不可能であったから、海外ニュースとして概要を知るにとどまつていた。

4.3 検見川の報時信号の受信

とは言え、私は VLF 波の将来システムに備えて VLF 電波測定の初步的な受信実験を始めた（1968）。国内では 40kHz の報時信号が微少出力ながらも検見川より放送されていたので、鹿児島でも受信（TLF-S402、東洋通信機）できたが受信状態は芳しくなかった。このとき問題になるのは、VLF 波長に対応するアンテナの長さだ。10kHz 電波の波長は 30 km

であるが、付属のアンテナは 1m もないのに受信できた。その結果、安定した位相追従能力と連続記録ペンの作動の円滑さが資料取得に重要なことが分かった。

このころ国内で唯一 VLF 波を受信している電波研・犬吠観測所（銚子市）に、同研の共同研究パートナーである米国海軍研究所（NRL）の技術者が来日することを知ったので、測定作業を見学する許可を得た。同所は太平洋を望む小高い丘の上にあるが、戦時中は陸軍のレーダ基地であった。その後を引き継いだ当時の観測所は、広い敷地にある木造平屋であった。敷地内の一角に 2m の方形（ループ）アンテナを置き、臨時オメガ 4 局の信号を受信していた。これにヒントを得て、後に電波研・山川観測所にあった電離層風観測装置の円形ループアンテナが廃棄になったのを譲り受け、LF/VLF 波枠型アンテナとして活用した。

なお余談だが、銚子から帰京の途中電車の車内が騒然、乗りこむ客の多くは夕刊を手にしていたので、覗き見した記事のヘッド・ラインは 3 億円強奪事件（1968. 12）だった。

4.4 オメガ電波の測定開始

この頃になると、オメガ航法は米国科学界の話題に取り上げられることが増えたが、システムに関する報告をわが国では全く目につきなかったので、本プロジェクトのリーダーである米国コースト・ガード Polk 大佐に研究報告書の寄贈を依頼したところ 30 冊余を送って頂いた。これらの報告書は新規の術語が多く解読に難儀した思い出がある。しかしオメガ受信機の価格は当時 350 万円といわれ、大学では入手不能と思っていたところ、某社の寄付金で鹿児島大学が機器を購入したうえで、共同研究したいとの申し出があった。

しかし、当時のオメガ受信機は多分に科学研究向けだから、そのまま航海用にするには難があった。またオメガ航法は双曲線システムであるから、使用する周波数発振器の安定度が低くても用が足りた。一方、科学的研究では単一局からの電波伝搬現象を見出す必要から、基準発振器には原子周波数発振器相当の安定度が求められていた。各送信局には当時実用化されたばかりのセシュウム発振器を設置したため、送信局間の距離を拡大できだし、システムの目指した全地球面での使用が可能になった。

4.5 原子周波数発振器の導入ができた

このようにオメガ電波研究に高安定な発振器は必須であるが、わが国で当時入手できる原子周波数発振器は、米国ヒューレット・パッカード（HP）社製で価格は 200 万円を超えた。その上、修理に必要な期間は最短でも 2 週間とされていたのでは、私の研究には不適であった。

その頃、電波研の小林研究室が開発中の Rubidium (Rb) 発振器のプロジェクトが成功し、日本電気（株）がこの発振器の量産に入ったことを知った。発振器の耐久テストの現場では、新幹線の走行音とともに、管球 100 本が瞬いていたのは壯觀であった。この発振器の 1 号機（後に 2 号機も）を入手できたのは文部省科学研究費の補助があったからで、これでようやくオメガ電波の研究の目途がついたと思った。

しかし私の研究では Rb 発振器を船上に装備するので、船載機器の防振問題が立ちはだかった。米国製の Rb 発振器の要求する使用環境は厳しく、船に搭載した場合には荒天時のパンティングに耐え得るかは保証できないとある。このため NEC の発振器の設計者に

耐震装置の配慮を依頼すると共に、漁船用小型ジャイロ・コンパスの製造に成功した東京計器製造所の河田博士に同装置の知識の指導をお願いした。

4.6 太平洋横断航海での測定実験

当時、わが国ではオメガ受信機の開発は未着手だったので、製造コンセプトを得るために海上実験が必要だった。しかも、多様な伝搬路をとるオメガ信号を受信することが望ましいので、北太平洋域での航行を選らんだ。これらの条件を満たせるのは、開発されたばかりの自動車専用船の北米西岸航路の就航船だった。同船は往航に自動車、復航に小麦を積み取るが、幸いにも船橋内にすべての機器を配置できだし、1航海を約40日間で済ませた。

乗船期間をさらに短くしたいので、アラスカ発の木材船にて連続2航海を行った。この航路を選んだのは、カナダ北部にあるとされる磁北極による磁気擾乱の効果を確かめるためでもあった。だが、初秋のベーリング海は壮烈な荒天で迎えてくれたので、発振器の架台の支持部の安全性を懸念するほどの大時化だったが、異常のないことを確かめた。なお後述するが、北アメリカ大陸の太平洋岸沖での、ノルウェー局信号はアラスカ南部あたりから北方でしか受信できなかった。しかしふーリング海で受信した位置の三角形は綺麗で安定していたのには驚いた。

5 米国のオメガ・システムあれこれ

5.1 関係者との対話

これら一連の航海に使用したのは、テキサスにある軍用電子機器メーカ Tracor 社のオメガ/VLF 受信機で、米海軍研究所が犬吠埼での観測にも使っていた機器だった。しかし、

わが国には未輸入であったし、わが国におけるオメガ周波数（10.2+13.6kHz）の受信実績は不明だった。その上、当時のオメガ信号の送信状況は安定していなかったので、受信が不調でも原因を探すことが難しかった。装備したてのわが受信機は 13.6kHz のみ受信できたが、肝心の 10.2kHz は不調であった。日本での受信実績が不明では相互比較もできないから、お手上げだった。多分、機器不良が主因と思ったが、船の日程変更ができないので、往航時は 13.6kHz のみ受信した。

結局受信機は、船が米国に碇泊している間に、私がテキサスまで運んで修理する始末。工場では徹夜同然の作業で修復した。しかし、バンクーバーに転錨した船まで運ぶのは、異国（カナダ）だけに通関が大仕事だった。乗機した時のダラス空港は、「アポロの月面着陸」（1969.7）成功で大賑わいだったのを傍目で眺めて・・・。

米国碇泊中にオメガ受信機メーカ 2 社と米国海軍電子研究所の Swanson 博士を訪問できたが、予定したワシントン行きは受信機修理のために断念した。しかし、彼らからの情報は、オメガ航法新入生の私にとり全てが新鮮であったが、その情報自体ですら、わが英語力では完全に理解できたかは疑わしい次第。有益と思った情報だけでも記しておこう。

5.2 大圏距離を測れる特殊地球儀

彼ら研究者たちとオメガ航法の話をすると、時には、わが国では見たことのない地球儀を使った。その素晴らしい機能を話そう。

受信機記録を拡げて論議するとき、伝搬路の特性を確かめるのに、伝搬距離（海陸の別を入れて）、方位に加え、例えばグリーンランド島のような陸地の存在を配慮する。これらの伝搬路を漸長図上に記入するのはかな

り厄介な仕事の繰り返しになる。そこで登場するのは（初見の）特殊地球儀（National Geographic 社、1971）であった。当時、同社のカタログに地球儀名は記載されていたが、近年は見かけない。

例えば、地球儀上の地図は大図であるから、東京とノルウェー局を結んだ直線を描けば、それは最短伝搬路（大団）である。水性マジックペンで直線を引き、距離スケールで測るだけ。仕事が終わればスーと拭き去るだけで良い。アナログ的な伝搬路の討論にはこれで十分なデータがとれる。わが国で地球儀に関する関係書を調べても、この種の地球儀への言及は見当らないようである。

5.3 グリーンランド島は電波を遮断した

当時のオメガ網は仮配置の4局構成であった。その伝搬路に海陸が混在していても、地質の違いによる減衰量が変わるので、VLF電波は直進していくものと思っていた。ところが、ノルウェー局電波の伝搬域にあるグリーンランド島の背後では、信号を受信できないと彼らは説明する。まるでレーダ映像にある巨大目標の背後にできる陰のようだ。

すなわちノルウェー局からグリーンランド島の（概念的に）南北端に接線を引くとき、島の陰に相当する範囲（図1）ではオメガ信号を受信できないと。その範囲を知るために大西洋航路の豪華客船に乗船し、海上実験を行ったと話す。ニューヨーク港では全く受信できない信号は、船がノヴァスコシアに近づくと、次第に回復してきた。同様の発想で、北側の接線を太平洋まで延ばすとアラスカ南部を通る。一方、南限線はユカタン半島を通るので、グリーンランドの陰になる米国全土はノルウェー局をほとんど受信できない。

こうした情報は、わが国では公知されてい

ない。もっとも、わが国船舶でこの海域を航

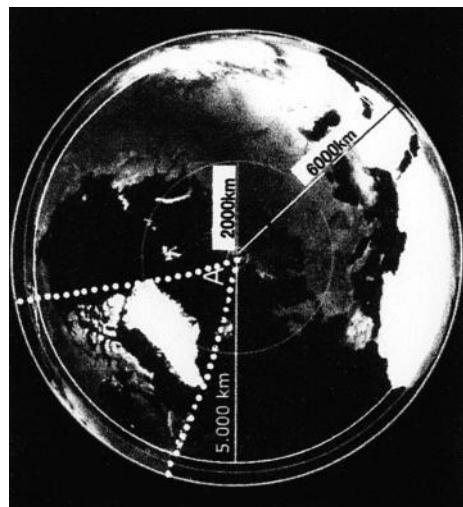


図1 米本土ではノルウェー(A)局信号を受信できない

行する船の数は少なかったこともある。またグリーンランド島の陰についての研究は明らかではない。

同島の面積は世界第一で、領域は緯度で約24度幅もあり、島の80%は氷冠で覆われている。氷厚が3000mに達する部分もあるので、電波が氷を透過するときに著しく減衰すると言う。また氷壁による電波の反射効果も無視できないようである。たとえば、ニュージーランドから南極への物資補給をする航空機は、南極へ向かうパイロット・ラインにオメガ信号を使うが、氷塊からの反射のために航路を誤ったと現地で聞いたが、私はこの種の調査はしていない。

5.4 國際オメガ協会 (International Omega Association : IOA)

オメガ航法は新しいシステムであり、米国が主導するもののソ連グループを除き、全世

界で共同運用を目指していた。そこでシステムについて情報の共有化を目指し、国際オメガ協会を作り、毎年例会を行ってきた。会員には米国とカナダ籍の航空会社関係者が多かったのはオメガ航法の利用者だったからだ。例会と併行してオメガ局運用国の担当官による事務的な会議もあった。したがって例会での発表は、技術的・研究的分野に限定されなかつたので、わたしには物足りなかつた。IOA 席上で漏らされる小話では、オメガ受信機の最大の供給国である日本からの出席者の姿はほとんど見ないと。昔話になってしまったが。

6 オメガ送信局さまざま

6.1 送信局設置と建設

オメガ/VLF 電波は海中通信が可能のために、原子力潜水艦の活動を支援することになるとして、送信局の設置を猛反対する国もあった。ニュージーランドに予定されていた局がオーストラリアに変更されたのだった。

オメガ局建設用地のポイントは、周辺からの通信妨害の少ないと、VLF 送信アンテナ用に広い敷地が確保できることが必須であった。このため自然の地形を利用した展張法の工夫の好例がノルウェー局である。近年は建築技術が著しく進歩したので自立式のアンテナ建設が増えた。例えば、わが国が建設した対馬局のアンテナ高さは 455m にもなり、スカイ・ツリーの出現までわが国で最も高い建造物だった。また送信効率の向上のためにはアンテナ周辺の土地が高導電率であることが望ましいので、海岸あるいは塩分の多い湿土帯などが選ばれた。

アンテナ位置を決めるに当たってもう一つ重要なことは、8 送信局が作り出す双曲線

による、位置の線の交角が適切に形成できることである。そのために考慮しておかねばならないのは、VLF 電波の伝搬特性である。だが、伝搬に関する研究は当時も現在もほとんど進んでいないようである。

6.2 オメガ航法は世界をカバーできる

第二次大戦後に双曲線航法が導入され、常時船位が測定できるとして好評だった。しかし送信出力が小さいために使用範囲は狭く、双曲線の発散が大きくなるので、位置精度に不満があった。このため長距離航海には不適だったから、強力な VLF 波の送信により、基線長を延長することで伝搬範囲を拡大する諸構想が提起された。その中で、米国のピアース博士が提唱するシステムは、全地球をカバーできる点が買われた。だが、超長距離を伝搬する VLF 波の挙動（伝搬）の研究は充分に行われたとは言い難かったので、とりあえず試験システムにより送信技術の改善と VLF 波の測定を並行して進めることにした。

いずれにせよ、このシステムは国際協力で行うとして、米国コースト・ガードが主導することになった。そこに至る背景と経緯を私は忖度できない。

ただ問題にしたいのは、VLF 波の伝搬に関する研究発表数が意外にも数少ないと。

そもそも VLF 波が超長距離を安定して伝搬できるのは、理論的に予測可能な電離層が地球を包み込んでいたとした、伝搬モデルの存在が前提であった。地面上に置かれたアンテナから放射された電波は、電離層と地球表面との間を繰り返し反射しながら伝播することを根拠にした、導波管理論で説明できた⁽³⁾。モデル構築には、世界各地の VLF 波の長期観測値の蓄積が欠かせない。そのためには、それら資料の整理方法の統一化を含め、多くの

問題点が残っていたが、詳細は不明である。

私の研究成果を援用すると、受信信号の安定性は到来波の磁気方位に大きく支配されてしまい、太陽活動年にも関連している。しかしこの現象についての指摘はほとんど見られない。

なお、ここに述べるオメガ波の伝搬に関する質問は、筆者の個人的意見であり、研究討議を得たものではない事をお断りしたい。残念なことは、本プロジェクトは未完のまま GPS に肩代わりされたためか、それまでに測得されていたであろう VLF 波の研究成果の発表が見あたらないと再度述べたい。

問題とする具体例を鹿児島の測定例から略述しよう。(東にある) ハワイ局と(西にある) インド洋のレユニオン局を受信したところ、ハワイ局は測定不能になることがしばしばあったが、レユニオン局は極めて安定していた。世界各地の測定では、伝搬磁気方位と測定値の乱れについての関連はほとんど報告されていない。私見では、①測定者がそれを見過ごしたか、②あるいは現象が発生していないかであるが、この現象はいずれの局でも必ず発生いると思うし、システムの存亡に関わる重要な現象と私は読んでいる。

ひいては VLF 波の伝搬モデルの構築を搖るがすものと思っているし、先に指摘したように、世界各地の長期観測値の吟味が不充分だったために起きたと思った。

問題の現象とは、測定値が 1 サイクルあるいは 2 サイクル跳ねるので、サイクル・ジャンプ(cycle jump : CJ) と呼ぶ。乱調の記録から、この現象を見出したのは電波研・犬吠観測所の測定員たちであった。この現象は一見読み取り不能のようだが、注意深い観察を続けていた測定員の教示により私も学ん

だ。だが、そうした知識がなければ、多分受信機の不調のための誤動作として処理されるだろう。

オーストラリア及び英本土のオメガ信号の研究室を見学したところ、整然たる信号の記録を見せられた。想起すると、乱調記録は省いていたのではなかろうかと。私の実験室のように乱れたものは見なかった。測定者は専従で記録だけを整理していると思った。

7 オメガ・システムの解体

7.1 GPS との競合問題

電波による位置測定システムは多種類あるが、衛星による航法として NNSS に次いで米国防総省の GPS が登場したこと、航法技術は一変した。しかし GPS の測位精度が余りにも優れていたため、米国は自国の安全保障の面から民間の測位には精度を劣化させる措置 (SA) が取っていた。しかし東西の緊張緩和を受け、2000 年に SA が解除されたのを機に GPS は使用者が急増したことは言うまでもない。しかしその当時は、GPS またはオメガ航法システムのいずれが将来の航法システムの主役になるかは、予想できなかった。

その背景にあるのは、日本製航法機器の輸出攻勢が盛んで、欧米の市場には日本製品が溢れていた。いわく「アメリカ国民の税金で開発した GPS 市場を日本勢に渡せるか」と。したがって SA は当分解除されないし、オメガ航法の精度が 100m なら、GPS よりオメガ航法の方が有利であると踏んでいたのだった。しかしオメガ波の抱えていた伝搬問題の解決は予想以上に深刻だったと私は推察していた。ところが米国レーガン大統領の声明はこの問題に触れずに、GPS の整備ができたので、オメガ航法から移行すると述べた

だけで本システムは終末を迎えた。

7.2 オメガ塔の解体

オメガ・システムの象徴であったオメガ・アンテナ(塔)建設の苦労話は有名だが、あれだけの巨大建造物を撤去するのは建設に劣らず大変な仕事である。ウェブにはオーストラリア局のアンテナ塔を爆破解体した動画が掲載されているが、オメガ塔は各国でも高層建築の粹として大きく取り上げられた歴史を知るだけに、クニヤッと折れ曲がった鉄塔を見ると哀惜さえ感じる。オメガ局はもともと人跡稀な土地を選んで建てたので、解体には経費の安いこの手法が各局で使われた。

たとえばリベリア(B)、レユニオン(E)、アルゼンチン(F)、オーストラリア(G)局の解体であった。

米国の所管する各局は、潜水艦とのVLF波通信施設などに転用され、一部は公園などになった。対馬局では最初から解体を予期した建築方式をとっていたので、狭い敷地でも問題なく処理できた。その跡地は『跡地公園』となり、オメガ塔の基部などが展示されている。

ちなみに対馬局の建設費用を海保庁に尋ねたところ、建設に約26億3千万円、撤去に約6億5千万円、計32億8千万円とあった。さらにシステムに関係した人員の費用を考えると、国際的な付き合いは大変な出費だと思った。

7.3 オメガ局運用中の事件

オメガ局を運用中に起った事件を報告しよう。オーストラリア局を訪問した時の話だが、基地担当者は鉄塔から飛び降りた人身事故で騒いでいた。この局はメルボルンの東に広がる荒漠たる湿地帯にあり、一般道も近くを通るので、誰でも容易にアクセスできる。深夜に侵入した男が鉄塔に上がり、ザイルの訓練あるいはパラシュートを使ったなど詳細は伏せていたが、日本人では考えられない事例と思った。

1990(平成2年)、バリ島で第15回IOA集会のとき、米国コースト・ガードの職員たちが緊張した面持ちで報告したのは、リベリア(B)局が暴徒により占拠された。職員が殺傷されたので、運用不能になったと。彼らは互いに知人同士のようだったが、部外者も多くいたので、会場での話題は中絶したままだった。それ以後に起こった国際テロ事件を考えると、こうした事件は国際関係が絡むと常に伏在しているのであろう。

参考文献

- (1) オメガ局開局20周年記念事協賛会:「オメガとともに」、燈光会、1996
- (2) 桜沢晃、石井隆広雄:「VLF遠距離伝搬波の位相日変化」、電波研季報、No.34、pp.10-15、1964
- (3) 田口一夫:「オメガ航法システム」、成山堂書店、1971

電波標識温故知新(1)～オメガ航法システム 第2部～

海上保安庁交通部整備課安全システム開発室
千葉 潤

1 はじめに

電波航法の手段として利用されてきた我が国の電波標識の多くは、現在では役割を終え廃止されている。しかし、その整備に携わった先人の安全への思いや技術にかけた意気に対する敬慕の念が深まることはあっても薄れることはなく、また歴史から学ぶものは少なからぬものと思量される。そこで、本誌では各種電波標識の原理や整備について「電波標識温故知新」シリーズとして紹介することとし、シリーズ第1弾として前号よりオメガ航法システムを取り上げている。

今号では、本邦におけるオメガ局の建設に至るまでの経緯を、手続面より詳解する。

2 オメガとの出会い

昭和41年春、デッカチェーンの建設を開始していた海上保安庁燈台部に、ノルウェー政府からレールホット陸軍大佐が来訪した。デッカ鉄塔の建設を視察したレ大佐であったが、雑談を深めるうち、デッカ後の電波標識として日本に初めてオメガ構想がもたらされた。もたらされた情報によると、ノルウェーはすでに米国のハワイ、トリニダートとともにバレースパン型空中線を展張し、共同で実験を行っているとのことであった。さらに、全球をカバーするために極東に建設される送信局はフィリピンへの設置を予定していたが、米国としては日本

の参加を希望しているとの情報ももたらされた。⁽¹⁾

これに基づき清野電波標識課長が更なる情報を求めたところ、8月に米国ポーク海軍大佐より書簡が届き、本格的にオメガ構想への参加が始まった。技術的側面に関する数度の書簡を経て昭和42年5月に亀山海上保安庁長官の交渉指示も得られ、昭和43年8月に始まった外交ルートでの協議も12月に結実し、昭和44年1月には中曾根運輸大臣が決裁することとなった。なお、中曾根運輸大臣が決裁の際に検討を指示したマルチラテラルによる協定体制は、オメガについては結局果たされることはなかった。⁽¹⁾⁽²⁾

3 オメガ局建設候補地の選定

3.1 バレースパン型空中線の検討

昭和42年7月には日米オメガ技術会議が開催され、バレースパン型空中線の検討が開始した。これは、渓谷を挟んだ山の間に空中線を展張し、渓谷に送信局を設置する方式である。12月には全国地図の子細な調査から17か所の候補地を決定し、米国側との書簡による議論を経て、昭和43年8月には米国ペディ海軍中佐が来日しての実地調査が上高地において実施された。しかしながら、上高地については国定公園として環境庁に拒絶されたため、昭和44年1月から屋久島、紀伊半島及び黒部に候補を絞

つて改めて調査を実施したところ、最有力候補であった黒部は雪崩のおそれのため、また屋久島についても樹木伐採による洪水のおそれのため、ともに断念することとなり、バーレースパン型空中線による建設には暗雲が立ちこめることとなった。⁽²⁾⁽³⁾

3.2 鉄塔傘型空中線への転換

昭和 44 年 8 月、アメリカにてノースダコタ局の空中線が支線式鉄塔により建設されるという情報が、来日したポーク大佐よりもたらされた。折しも昭和 44 年度の予算で 4,925 万円の調査委託費及び海外調査旅費が認められており、さっそく 6 月に電波標識課より只野補佐官と伊藤専門官が実験局の調査へと向かい、途中バージニアにて支線式鉄塔のスケールモデルを見学したことであった。これらの調査を経て、バーレースパン型から鉄塔傘型への転換が図られることとなった。⁽²⁾⁽³⁾

ノースダコタ局の立地条件は広大にして平坦な湿地原野であり、対地導電率も極めて良好であった。我が国においてはそのように利用可能な湿地がなく、海面を有効に利用できる立地が求められていた。折しも昭和 44 年度の調査委託費により対馬においてバーレースパン型空中線の実験が行われており、バーレースパン型空中線の建設自体は 10 月には断念されたところであったが、代わりに鉄塔傘型空中線の適地を見いだすこととなり、これに基づき空中線の設計等が急遽行われることとなった。12 月にはバーレースパンを鉄塔傘に置き換えた予算要求が大蔵省に提出された。⁽²⁾

対馬においては、美津島等を含めた 8 か所が検討にあったが、飛行場建設設計画のあ

った地を除き、また所要の支線及びラジアルを展張できる地に絞るうち、豊玉と加勢ヶ浦が候補地として残ることとなった。この 2 地区は大地導電率こそ同等であるが、海面の利用効率では大きな差があり、またラジアルを 19 本展張できる上対馬町加勢ヶ浦地区へ建設する方向に最終的な舵は切られた。加勢ヶ浦は壱岐対馬国定公園特別地区の区域内にあったが、同区域への工作物新築について長崎県知事の同意を昭和 45 年 2 月に経て、5 月 14 日に保燈電第 86 号として海上保安庁長官の決裁が得られ、ここにオメガ局の建設が開始された。⁽²⁾⁽⁴⁾

なお、ノースダコタ局の鉄塔は 120 フィートであるが、対馬の接地特性はノースダコタに劣るため、これより高い 455m の鉄塔を建設することとなった。この塔頂から展張するラジアルの本数は 16 本から 19 本までの間で検討がなされたものの、顕著な性能差はなく、最終的に約 1,000m のラジアルを 16 本展張する鉄塔が建ち、150kW の入力に対して 10kW を輻射することとなる。⁽³⁾⁽⁴⁾

4 用地取得

オメガ局の建設には、103 万平方メートルの広大な敷地が必要となる。上対馬町にある建設予定地には、当時 13 世帯が生活していたほか、多くの土地所有者があり、また椎茸栽培等も行われていた。オメガ局の建設が決定され、これを開始するための一歩となったこの用地取得であるが、居住者の移転補償や農林漁業者の所得補償もさることながら、そもそも土地の境界が未確定であったり、相続手続がなされていなかったり、あるいは所有者が在外であったりと様々な障害があった。果てには墓地の移

転も課題として立ちはだかったが、上対馬町の全面的な協力のもと、時の清野電波標識課長が相手の要求にない補償対象物まで洗い出して積み上げる等の強い誠意をもって交渉にあたり、昭和45年11月までに全員異議なく移転を同意した。なお、これらの土地はいったん上対馬町が買収し、その後国が買い受ける方式によった。総額は9,583万円余であった。⁽⁵⁾⁽⁶⁾

5 社会の理解

オメガのような大型の無線局を建立するにあたっては、社会の同意も当然必要となる。冷戦下にあってアメリカから提案されたシステムに参加することに対しては懸念する声も多く、オメガ建設計画はたびたび国会の質問の場に登った。その初出は昭和46年10月29日の衆議院予算委員会であり、日本社会党の檜崎委員に対して丹羽運輸大臣が概略の説明を行っている。続いて昭和48年6月19日の衆議院内閣委員会では同党の横路委員から潜水艦用の設備でないかという指摘があり、海上保安庁から横田燈台部長が答弁に立っている。昭和50年6月18日の衆議院外務委員会で再び質問した檜崎委員は、超長波を用いるオメガシステムは原子力潜水艦の運用のためのものであると断じたうえで、前年に国際連合総会で決議された海洋における連続した電磁場生成の禁止に違反するのではないかという疑念を示し、またその電波の発信についてもアメリカの管理下にあるものと断じた。これに対して、只野参事官は、電波による航行援助が禁止されるとは解されず、また電波の発信は海上保安庁の運用のもと電波法の規制下で行われている旨の答弁を

行った。このほか、昭和51年9月10日の参議院ロッキー問題に関する調査特別委員会では同党の野田委員から軍事目的であるとの疑惑が改めて示され、オメガシステムに対する左派の懸念は後々まで尾を引くこととなった。なお、昭和53年10月17日には参議院農林水産委員会において、坂倉委員よりユーザー視点に立った質問があり、豊福電波標識課長が受信機の価格について答弁している。

このほか、昭和48年8月3日には前出の檜崎議員ほか数名の視察、9日には左派学生活動家の案内、10月16日には衆議院内閣委員会一行の視察をそれぞれ実施し、理解を得るため最大限の努力を行った。⁽⁷⁾

6 日米間の取極めと機器の貸与

日米間の正式な取極書簡の交換は、昭和47年8月15日に行われ、25日の官報第13703号に外務省告示第181号として掲載された。この取極めにおいては、アメリカが送信装置等を無償貸与するほか、建設及び運用は日本国政府において行うことが定められた。また、9月20日の官報第13724号には付録としてオメガの特集が掲載された。

機器類の貸与は、昭和44年の後半に意見の調整を行っていたものであった。昭和47年7月には大蔵省と、8月には通商産業省との協議を行い、最終的に貸与された装置は送信装置2組、バリオメーター類1式及び電子タイミング装置1式であった。これらは昭和47年10月に輸入関税免除承認申請を行い、12月の承認を経て昭和48年1月にオークランドから横浜へ到着した。なお、センシウム標準器の輸送は空輸によった。⁽⁶⁾

7 オメガ組織の設置

オメガ送信局の運用にあたっては、当然それを担う組織の設置が必要である。このため、昭和 48 年 1 月にオメガ送信局開設準備室が組織され、12 月にはオメガセンターが電波標識課内に設置されることとなった。オメガセンターの組織はオメガ局運用室とオメガシステム解析室の 2 つにわかれ、実際の運用を担うオメガ局運用室は対馬に、位相の監視による補正等を担うオメガシステム解析室は東京に置かれた。

当時、海上保安庁本庁は海軍省庁舎跡地の中央合同庁舎第 1 号館に入居しており、オメガシステム解析室を同居させる余裕はなかった。また、屋上に増築するにも耐力が不足しており、ついには建設予定地を調査する段階にまで至った。しかしながら、折しも昭和 45 年になって中央合同庁舎第 3 号館を増築して海上保安庁を移転する計画が出て、昭和 48 年 1 月の移転に併せて無事 9 階に収まることとなった。その後、昭和 48 年度に機器の工事が、昭和 49 年度に回線の工事があり、しばし正式業務の開始を待つこととなった。⁽³⁾⁽⁸⁾

オメガセンターでは、あらゆる電波標識を集中管理するという構想があった。当時のコンピューターの制約や時代の趨勢により結局これが果たされることはなかったが、昭和 52 年 10 月には全世界のオメガシステムの位相同期計算を行って各局に通知する業務がアメリカより移管され、全世界のオメガシステムの中核となった。⁽³⁾

8 電波の発射

8.1 コイル舎の整備

オメガ局は往々にしてその空中線の規模

をもって語られるが、整合コイルの規模も空中線に見合うだけの壮大なものであった。これらはコイル舎と呼ばれる建屋に格納されたものであり、昭和 49 年 9 月の空中線完成を待って契約された第 3 次無線工事により整備された。⁽³⁾⁽⁹⁾

終段のヘリックスコイルは、直径 66mm のリップ線を直径 4.3m で巻いた巨大なものであり、またその巻き枠も集成木材をベークライトで留める構造により損失低減に徹底的に配慮した設計となっている。オメガ局は複数の周波数の電波を断続的に放射する構造となっているため、このヘリックスコイルもタップを設けて整合する構造を採っている。このタップ位置を決定するためには空中線リアクタンスの精密な測定が必要となるが、このための低周波を出力する信号源にはオーディオアンプが用いられた。これも超長波を用いるオメガの特殊性を物語っているといえよう。⁽⁹⁾

ヘリックスコイルが粗同調を取るためのものであるならば、発射する周波数ごとの精同調を取るためのバリオメーターもコイル舎に設置されていた。これは、固定されたコイルの内側に上下方向に可動であるコイルを配置したものであり、気象や潮汐により変化する空中線定数に追従して整合を保つものである。内側コイルの上下位置は、空中線の電圧位相と電流位相との比較から同調状態を自動検出のうえ、全バリオメーターのものが同時にサーボモーターと変速ギアにより調整された。⁽⁹⁾

8.2 予備免許から落成検査まで

コイル舎の整備を終えて 12 月には発射態勢を整えたオメガ局は、昭和 50 年 1 月

末に無線局の予備免許を受け、ついには 2 月 7 日に最初の試験電波を発射した。⁽³⁾⁽⁹⁾

空中線系の設計耐電圧は 250kV となっている。他方、送信機の最大出力は 150kW であるから、おおむね 160kV ほどが確認されることとなる。コイル舎の機器がこれに耐えきれず絶縁破壊を起こす場合には、それに先んじてコロナ放電が観測されることとなる。このため、2 月に職員を動員し、試験波である 9.8kHz の入力電力を徐々に増加させてコロナ放電の有無を観測する試験が実施された。しかしながら、極めて微弱であるコロナ放電の観測には相応の経験が必要であるにもかかわらず、多くの職員にその経験がなく、順調に出力を上げていたところ突如 100kW 程度に達した時点でフラッシュオーバーが発生した。結局、唯一フラッシュオーバーの生じたオースチントランスの碍子やコロナリングを改修し、最大出力に耐えられるよう整備を行った。⁽⁴⁾⁽⁹⁾

このように、いわば手作りのようなカット・アンド・トライの過程を経て建立されたオメガ局は、4 月に九州電波監理局のほか郵政省本省の検査官による無線局落成検査に合格した。検査ではまず基準周波数である 1MHz の計測を行ったが、オメガ局が用いるセシウムビーム周波数標準器の方が検査用の周波数カウンターよりもはるかに高精度であるため、難なく合格となった。しかし、テスト用周波数の 9.8kHz は標準信号生成器により生成していたため、これが検査官の指摘を受けることとなった。これについては、後付けで 9.8kHz の水晶発振器を整備することとされた。⁽³⁾⁽¹⁰⁾

検査の仕上げである電界強度の測定についても、オメガ局の電波が極端な長波長で

あることから、鉄塔位置から 36km 離れた万関橋においてディンガー・ガーナー法により計測した。これは、標準信号発生器の出力を計測用ループアンテナの出力と同等になるよう調整し、そのときの出力値から電界強度を推算する方法である。この結果、アンテナの実効高は約 200m であり、効率は 10%程度とほぼ設計値 9.5%のとおりであった。なお、精密な測定は、ヘリコプターにより行われた。このように行われた落成検査に合格したオメガ局は、慣熟運用を経て 5 月 1 日に無事正式業務を開始した。⁽⁴⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

9 工事上のハプニング

電波標識課長自らが主任監督職員となつたオメガ局の建設に際しては、前例を見ない 455m 鉄塔であるという中、1 件も大きな事故を惹起することなく完了した。しかしながら、その成功の陰には、尽力した者の様々なハプニングがあったという。本オメガ特集の締めくくりとして、そこから選りすぐりの 3 エピソードをご紹介したい。

9.1 影も形もなくなった台碍子

オメガ鉄塔の台碍子は、耐圧縮荷重 2,000t の碍子を六角形に配置して、設計最大風速のもと 4,000t となる荷重を支えている。当時、耐圧縮荷重 2,000t を実現する碍子はなく、ここぞとばかりに壳込みに来た外国メーカーも引き下がってしまうほどであった。最終的に昭和 45 年度予算で発注された碍子であったが、その集大成として昭和 46 年 3 月 31 日に実施された 2,000t の耐圧縮荷重試験のさなか、通常であればクラックの生じる 1,700t を悠々と耐えた碍子であったが、検査合格を目前にした

1,998t の荷重で午後3時半に破碎してしまった。このエピソードは関係者の回顧録には必ずといっていいほど登場するものであり、あまりの衝撃と轟音に爆発と勘違いした近隣住民が押しかける中、立ち会った堀江工事係長が本庁への電話連絡で発した第一声は「影も形もありません」であったという。そのような事故を経た台碍子であつたが、従来実験的に決定されていた構造からスケールモデル実験をもとに再設計し、無事8月に完成した。⁽³⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾

9.2 鋼管の交換

支線1本あたり6個使用される支線碍子には、アルミナ磁器を用いることとしていた。これは、支線の躍動とともにあらゆる応力を受けながらも破壊されずに絶縁を保つという要求を満たすためであり、これを満たす軽量の碍子はアルミナ磁器が最良であったことによる。通常の長石碍子より高い焼成温度を必要とし、専用の製造設備を要するアルミナ磁器であるが、既にデッカ鉄塔において実績があったことから、試作と実験を繰り返して基礎設計を行った。しかししながら、実際に製造するためにはメーカーの製造設備を改修しなければならず、オメガ鉄塔のみのためにその費用を負担する用意はいずれの者にもなかつた。⁽³⁾⁽¹¹⁾

小さなアルミナ碍子しか製造できないのでは、それを連成して所要強度を得るしかない。だがこの頃、折しも台碍子では、抜本的に構造を見直して大幅な改善を成し遂げたところであった。そこで、支線碍子についてもこの結果を受けて再設計し、長石碍子をもって所要の性能を満たすことに成功した。無論、ひとことで再設計したとい

い切るのは後世の者の傲慢であり、その陰には強風下に揺動する支線碍子が受けた応力の解明や応力伝達の解析、応力の分散を図る抜本的な再設計がなされている。特に、従来用いられていた球座方式による接合の有害性を解明し、代わって剛接方式の有効性を実験で示したことは、支線碍子の構造を革命的に進歩させるものであった。⁽¹¹⁾

さて、一方の支線を接続する鉄塔本体は、支線碍子を軽量なアルミナ磁器として設計されていた。これが1個5tにも達するような長石磁器に変更されたのであるから、当初設計による鉄塔への最大応力を超過する箇所が生じることとなる。本来であればその結果を承けて再設計もできようところ、オメガ鉄塔の建設に際してはそれぞれの部材を分割して同時並行式に発注する方法によっていたため、この問題が顕在化したときには既に钢管の製造や支線錨塊の打設も最終段階にあつたばかりか、鋼索の製造も始まっていた。分割発注ゆえの責任は発注者に帰属するものであるから、この問題は発注者において解決する必要があった。⁽¹¹⁾

最終的に、大型計算機の元へ工事係の堀江係長と永田係員が通う日々が続き、この問題は平和裡に解消された。钢管を組み替えて応力を分散したのであるが、その過程にあつたであろう憔悴や矜持が今もってなお忍ばれる。⁽¹¹⁾

9.3 工事中止命令

数多の苦労を経て、昭和48年11月5日に鉄塔本体が完成をみた。残るは16本の中線の架設作業であり、その最初の1本も12月20日には架設を完了した。しかし、そもそも鉄塔上部はたとえ地上が無風でも

10m/s を超えるような風の吹く環境であり、作業位置が高所となるにつれその影響を受け作業を中止することが増える中、折しもこの頃より冬季の季節風が激しくなっていた。12月の稼働率が41.9%となる等工事の進捗への影響が懸念される中、ついには12月26日から翌年4月2日までの工事を中止する命令を発出することとなった。府内でも前代未聞といわれた工事中止命令の発出については、工事の強行を主張する意見を人命と施設の保全で鎮めたこともさることながら、原課のみならず経理補給部の深い理解があつたことを今一度記しておくべきであろう。その後再開された工事では3か月で残りの空中線を架設し、昭和49年9月7日に工事の全工程が完了した。⁽³⁾⁽¹³⁾

10 おわりに

本稿では、オメガ航法システムについて、本邦におけるオメガ局の建設に至る経緯及びこれに係る手続について紹介した。オメガ局の建設工事について触れる機会がなかったことがいささか残念であるところ、優れた参考文献が高い濃度でこれらの情報を集約していることから、詳解を求める読者諸氏には末尾に掲げる参考文献の一読を強くお勧めする次第である。

謝辞

本稿の基となる資料作成にご尽力された先輩諸氏に対し、心より御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 清野浩：「オメガシステムへの参加」、電波航法、No. 34、pp. 10-11、1987

- (2) オメガ開局20周年記念事業協賛会：「オメガとともに」、pp. 31-34、社団法人燈光会、1996
- (3) 只野暢：「オメガ局の建設」、電波航法、No. 34、pp. 12-20、1987
- (4) 海上保安庁燈台部電波標識課：「オメガ技術資料（空中線編I）オメガ送信アンテナ（II）」、pp. 1-34、海上保安庁燈台部電波標識課、1977
- (5) オメガ開局20周年記念事業協賛会：「オメガとともに」、pp. 35-38、社団法人燈光会、1996
- (6) オメガ開局20周年記念事業協賛会：「オメガとともに」、pp. 197-220、社団法人燈光会、1996
- (7) オメガ開局20周年記念事業協賛会：「オメガとともに」、pp. 44-46、社団法人燈光会、1996
- (8) オメガ開局20周年記念事業協賛会：「オメガとともに」、pp. 139-141、社団法人燈光会、1996
- (9) オメガ開局20周年記念事業協賛会：「オメガとともに」、pp. 132-139、社団法人燈光会、1996
- (10) オメガ開局20周年記念事業協賛会：「オメガとともに」、pp. 165-170、社団法人燈光会、1996
- (11) オメガ開局20周年記念事業協賛会：「オメガとともに」、pp. 80-103、社団法人燈光会、1996
- (12) 電波標識五十周年記念事業委員会：「電波の灯を守って」、pp. 238-245、海文堂出版株式会社、1978
- (13) 三住裕泰：「オメガ鉄塔建設工事」、横河橋梁技報、No. 5、pp. 138-148、1975

JAXA の衛星 AIS 実験 (SPAISE 1 & 2)について

宇宙航空研究開発機構 衛星利用運用センター 篠原 季次

はじめに

船舶自動識別装置 (AIS : Automatic Identification System) は、船舶の航行安全等のために広く使用されているVHF帯の地上通信システムである。近年、人工衛星から AIS 信号を受信し、広範囲の船舶の動向の把握等に利用することが盛んに行われつつある。また、AIS 情報は画像データの付加情報としての価値もあり、特に広範囲の船舶を昼夜天候を問わずに観測を行うことが可能な合成開口レーダ (SAR) を搭載する衛星に AIS を搭載し、組み合わせ観測を行うことが、PAZ (ESA)、NovaSAR (SSTL)、RADARSAT (CSA) 等、各国で計画されている。宇宙航空研究開発機構 (JAXA)においても衛星 AIS 実験 (SPAISE1&2 : SSpace based AIS Experiment1&2) を実施し、実用化に向けた技術実証評価を行ってきた。[1]

(1) SPAISE1: 2012年5月18日に小型実証衛星4号 (SDS-4) に AIS 受信機を搭載し打ち上げ、3年以上にわたって実験運用を継続している。

(2) SPAISE2: 2014年5月24日打上げの L バンド SAR 搭載 ALOS-2 (陸域観測技術衛星2号: だいち2号) に改良した AIS 受信機を搭載し実験運用を実施しているもので、SAR と SAR衛星搭載 AIS の組み合わせ観測実験については、JAXA が世界に先駆けて実施した。本稿では、JAXA の衛星 AIS 実験 (SPAISE 1 & 2) の実験概要について報告する。



図 1 世界の衛星 AIS



図 2 SAR と AIS の組み合わせ

1. 船舶自動識別システム (AIS)

(1) AIS は船舶の航行安全の確保を主たる目的とした船舶から船舶、船舶から陸上間の通信システムである。(図 3 参照) (AIS 信号の特性は、ITU-R M. 1371-4 に規定されている。[2]) AIS 信号の送信は、自己管理型時分割多元接続 (SOTDMA) であり、自船の周りの船舶の送信状況を把握し空いた

スロットに AIS メッセージを送信する方式である。このため、自船の周り（以下セル）においては、信号の衝突がないように制御されているが、AIS メッセージを人工衛星で受信する場合には、アンテナ視野内の多数のセルからの AIS メッセージが衝突し、受信性能が低下するという問題が生じる。

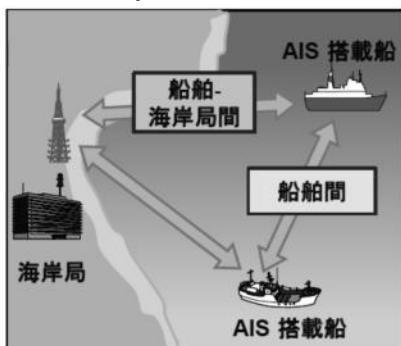


図3 地上 AIS の構成

- (2) AIS の使用周波数は、AIS#1 (CH87)、AIS#2 (CH88) のみであったが、人工衛星での受信頻度の向上を目的とし、2012 年より AIS#3 (CH75)、AIS#4 (CH76) の周波数も使用できるようになり（表 1 参照）、メッセージ 27（表 3 参照）の使用が今後増加する見込みである。
- (3) AIS は搭載する船舶に応じて CLASS-A (SOLAS 搭載義務船)、CLASS-B (非 SOLAS 搭載義務船) と分類され送信電力が異なる。また、近年、海難時の使用するブイの一種である AIS-SART も今後の使用の検討がされている。
- (4) AIS メッセージで一般的に使用されるものはメッセージ (MSG) 1, 2,

3 の位置報告（動的情報）と MSG 5 の静的・航海情報である（表 2 参照）。全 AIS メッセージの概要を表 3 に示す。

表 1 AIS 信号概要

項目	AIS_CLASS-A	AIS_CLASS-B	AIS-SART
周波数	AIS#1: 161.975MHz AIS#2: 162.025MHz AIS#3: 156.775MHz AIS#4: 156.825MHz		
変調方式	GMSK		
ビットレート	9600bps		
船舶アンテナ	ホイップアンテナ		
送信電力	12.5W	2W	1W

（＊：300 トン以上の外航船並びに 500 トン以上の内航船）

(5) 現在、次世代の AIS システムの検討も国際的に実施されており、帯域の拡大や CH 数の増加により通信能力を改善することが検討されている。

表 2 動的・静的情報等 [3]

種類	含まれる情報	送信間隔概略
動的情報	緯度・経度 世界標準時 位置情報（高精度・低精度） 対地針路/速度 船首方位、回頭率他 航海ステータス	• 23knots 以上 : 2秒毎 • 14~23 knots : 6秒毎 • 0~14 knots : 10秒毎
静的情報	IMO番号 呼出符号、船名 船体長・幅 船種（14分類） 積載物(4分類) GNSS ANT 位置他	6分毎

表3 AIS メッセージ概要

メッセージ シ* No.	内容	メッセージ シ* No.	内容
1	位置報告	15	照会
2	位置報告	16	モード割当て命令
3	位置報告	17	DGNSS 放送
4	基地局の報告	18	CLASS-B 位置報告
5	静的・航海関連	19	CLASS-B 拡張位置報告
6	宛先指定ハイナリデータ	20	データリンク管理
7	ハイナリ受信証	21	航路標識局の報告
8	ハイナリ放送	22	チャネル管理
9	SAR 航空機位置報告	23	ケルーフ振分けコマンド
10	UTC 日時問合せ	24	静的データ報告
11	UTC 日時応答	25	ハイナリメッセージ
12	宛先指定安全関連	26	複数スロットハイナリーメッセージ
13	安全関連受信証	27	長距離 AIS 放送
14	安全関連放送		

3. SPAISE1 概要

(1) 受信システム概要

AIS 受信機並びに AIS アンテナの概要を表4～5、図4～6に示す。主な特徴は以下である。

- ①受信機は、AIS 信号のサンプリングデータを取得するモード（地上局の回線成立範囲でリアルタイムに地上局にデータ伝送し、地上システムで復調する）、並びに軌道上で復調まで行う軌道上復調モードを有する。
- ②軌道上復調データは受信機内のメモリに蓄積が可能である。
- ③軌道上復調モードにおいては、アンテナ2基を同時に使用でき、ダイバーシチ効果を利用できる。

表4 AIS 受信機概要

No.	項目	諸元等
1	質量	約 1.3 kg
2	消費電力	・最大 13 W ・平均 4 W
3	寸法	110 x 130 x 98.5mm
4	周波数	AIS#1, AIS#2
5	受信モード	①サンプリングモード ②軌道上復調・蓄積モード ③軌道上復調・リアルタイム伝送モード

表5 AIS アンテナ概要

No.	項目	諸元等
1	方式	モノポールアンテナ
2	質量	約 0.6 kg (2基)
3	寸法	345mm (有効長)

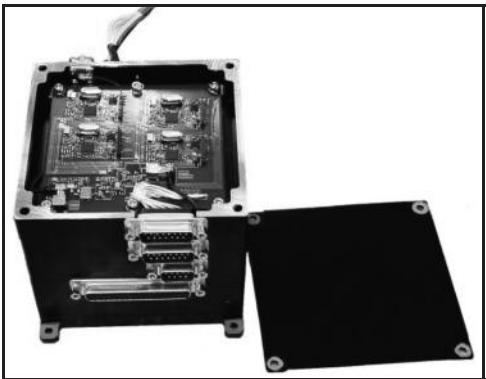


図4 AIS受信機



図 5 AIS アンテナ（展開アンテナ）



図 6 ATS アンテナの展開状態

(2) 実験結果概要

SPAISE1 の定常運用段階並びに後期利用段階における実験成果を以下に示す。

① 基本受信実験

AIS 信号の軌道上取得に成功し、受信環境を評価することができた

(a) サンプリングモード実験

- ・日本近海のパスにおいて、軌道上の AIS 信号の混信状況に関するデータの取得を行った。図 7 のサンプリング波形の例では、地上からのノイズと考えられる波形も観測された。
 - ・サンプリングモードは、自動ゲインコントローラを有していないため、実験データより適切なアッテネータ値を定めた。
 - ・日本に近づくにつれ、パケット信号衝突が多くなり、受信時間後半の受信メッセージ数が少なくなることが確認できた。
 - ・東寄りのパス（北海道東方を衛星が通過）と比較し西寄り（九州西方を衛星が通過）のパスでは、より混信が多くなることが確認できた。（中国の港湾周辺の多数の船舶からの信号の影響と思われる。）
 - ・受信電力のヒストグラムの時間推移を分析し、東寄りのパスと西よりのパスではピーク電力に顕著な差が見られることが分かった。これは信号衝突数の変化によるものと考えられ、西寄りのパスでは、平均受信電力の増加量から 10 波以上の信号の衝突が発生していると考えられる。

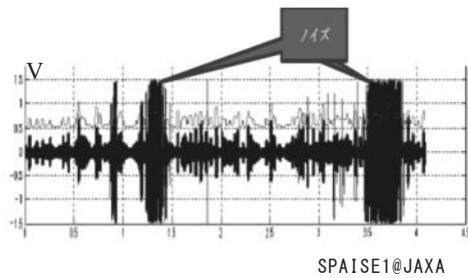


図 7 サンプリング波形の例
(東寄りのパス)

(b) 軌道上復調モード

・衛星の軌道運動により、受信信号にはドップラーシフトが生じる。受信機ハードウェアとしては、アンテナ1基当たり4CHの待受け周波数が設定できる設計となっており、信号受信数を最大にするドップラー周波数設定パターンを選定した。結果的には信号衝突の少ない外洋域用と船舶過密域用の2種類の周波数設定を使用することとした。

・軌道上復調モードの利点は、受信データを受信機内のメモリに蓄積できる点である。(サンプリングモードは地上局との回線成立範囲内でのリアルタイム運用のみ)

海外海域の受信実験には当該モードを使用し、良好にAIS信号を受信できていることを確認した。

② 受信性能向上実験

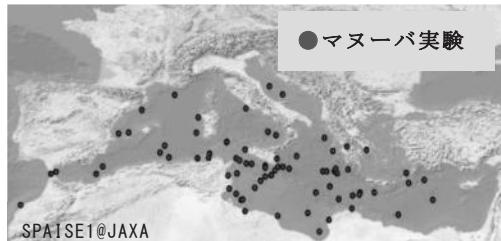
日本の西寄りのパスにみられる10波以上の信号衝突の条件では、通常の復調アルゴリズムでは受信は難しく、アンテナによる信号衝突数の緩和が有効な受信性能向上策となる。

このため、SPAISE1搭載衛星(SDS-4)の姿勢を制御し、積極的にアンテナパターーンの利得変化(ヌルや利得の高い領域)を利用した受信実験を実施した。

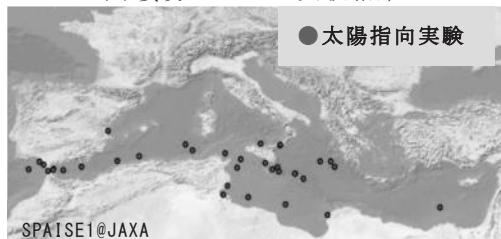
本実験結果の例としてヨーロッパ域での典型的な船舶過密域である地中海における受信状況を図8、衛星姿勢を図9に示す。SDS-4の通常姿勢(太陽指向モード)時では困難であった地中海内部のAIS信号受信数の大幅向

上を達成した(図8参照)。

- ・AIS受信信号数: 2.5倍の向上
(38信号→97信号)
- ・観測範囲の拡大: 地中海北部まで



(i) 姿勢マヌーバ実験結果



(ii) 通常姿勢実験(太陽指向)

図8 姿勢マヌーバによる受信率向上実験(地中海)

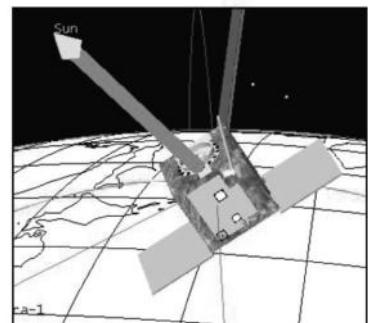


図9 地中海実験時の衛星姿勢

② 共同実験者との利用研究等

SPAISE1の実験運用は、他のミッション機器の実験運用がある関係で隔週運用、1日の受信時間は約32500

秒である。(土日は両日で 32500 秒) 受信した AIS メッセージについては共同実験者に提供し、AIS データの利用可能性の検討を共同で行った。なお、当該受信メッセージには世界域で 7000 隻以上/日、日本域で 800 隻以上/日の船舶データが含まれていた。各共同実験者との共同研究の他に、AIS データによる北太平洋の航路図を作成し、海難防止広報活動に協力した。(図 1 1 参照)



図 1 0 SPAISE1 での受信状況(受信時間 : 14000SEC)

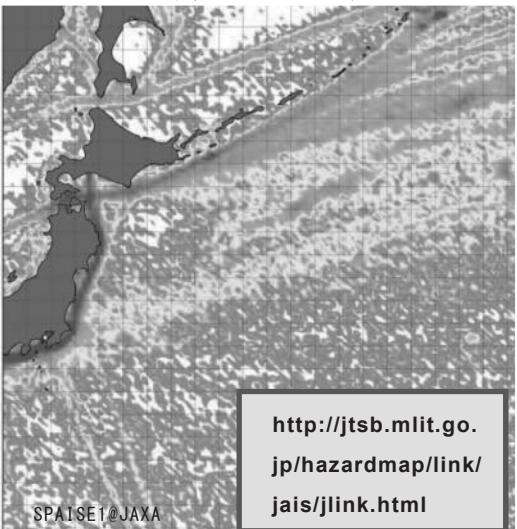


図 1 1 海難防止広報活動への協力

4. SPAISE2 概要

(1)受信システム概要

AIS 受信機並びに AIS アンテナの概要を表 6 並びに図 1 2 ~ 1 3 、ALOS-2 への搭載位置を図 1 4 に示す。主な特徴は以下である。

①受信機は AIS#1, #2 の同時受信可能である。船舶からは AIS#1, AIS#2 のメッセージが交互に送信されており、2 CH の受信ができることで信号受信の成功 rate を高めることができる。(SPAISE1 は、同時に受信できる周波数は 1 CH で切り替えて実験を行っていた。)

②任意地点のサンプリングモードでの受信が可能である。SPAISE1 では地上局可視範囲内でのみサンプリングデータの受信が可能であったが、SPAISE2 では常時サンプリングモードでの受信を行い、ALOS-2 のデータレコーダーに蓄積、地上へ伝送し地上で高度な復調処理を実施することができる。

③AIS#3, #4 の同時受信が可能である。AIS#3, #4 は信号の送信間隔の延長(3 分毎固定)、信号長さの短縮(256bits ⇒ 170bits) 並びに送信海域の限定が図られており、人工衛星受信時の信号衝突数が緩和され船舶過密域における受信率向上が期待されている。

④短時間でのデータ配信が可能である。SPAISE2 地上システムは、ALOS-2 地上システムからのデータ受領・処理・ユーザーへの配信を自動で行うことができ、休日・夜間でもデータ

の配信が可能である。また、ALOS-2 の高いダウンリンク能力により、1 日に複数回のダウンリンクが可能であることと合わせて SPAISE1 に比べて大幅なデータ配信時間の短縮ができている。(共同実験者に観測後 6 時間以内に全体の 85% の受信データを配信できている。)

表 6 SPAISE2 諸元

AIS 受信機	
受信周波数	AIS#1 (161.975MHz) AIS#2 (162.025MHz) AIS#3 (156.775MHz) AIS#4 (156.825MHz)
消費電力	最大 12W 平均 6W
質量	2.55kg
寸法	201×261×83mm
AIS アンテナ	
アンテナ方式	円偏波クロスダイポール
質量	7kg×2 台
寸法	1050×800×800mm

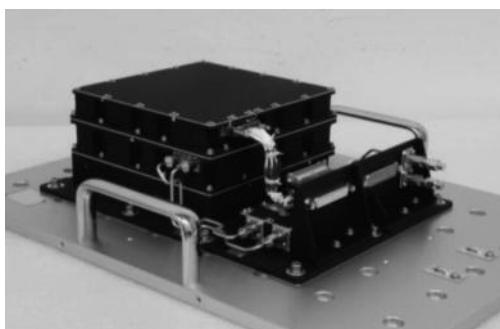


図 1-2 SPAISE2_AIS 受信機

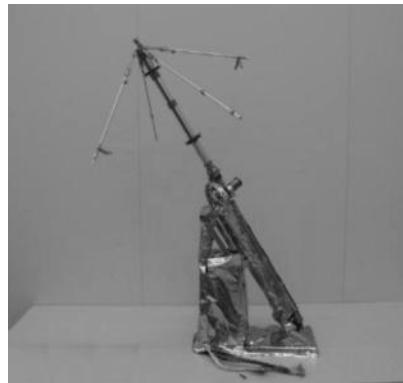


図 1-3 SPAISE2_AIS アンテナ

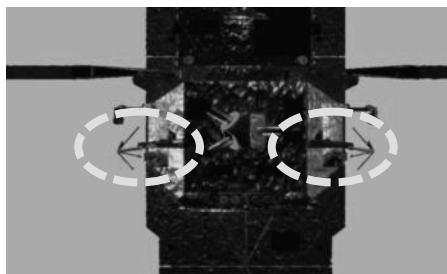


図 1-4 アンテナ搭載位 (ALOS-2 を上から見た図)

(2) 実験結果概要

SPaise2 では打ち上げ後 1 年間を定常運用段階、それ以降を後期利用段階として実験運用 (1 年 365 日) を実施している。

① AIS#1 受信状況

打上げ後の初期機能確認段階以来、最低受信感度等の劣化等もなく順調にデータ取得ができている。SPAISE2 の船舶検出数については、半月周期の変動が見られるが、ALOS-2 は回帰周期 14 日の軌道のため、SPAISE2 の受信計画も 14 日で受信パスのパターンを構成している影響と判断している。定常段階の 1 日当たりの受信時間は 4060

秒であり、当該条件で 2014 年 10 月 20 日～11 月 2 日で取得した位置情報

のプロットを図 1 6 に示す。

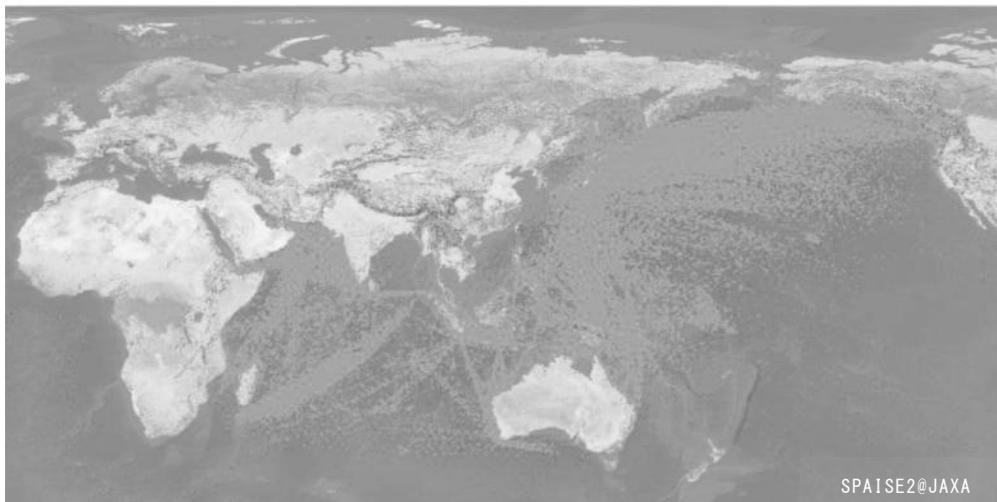


図 1 6 AIS#1, 2 の受信状況 (2014/10/20～11/2)

②AIS#3, #4 の受信状況

SPAISE2 は AIS#1 と AIS#3 はどうちらかを選択して実験する必要があり、14 日の実験パターンの後半に AIS#3 の受信時間を多く配分して実験を行った。受信結果を図 1 7 に示す。結果として 11 か月間において確認できた船舶検出数は 1978 隻、1 週間（平均）で確認できた船舶数は 42 隻、国籍は 66 か国であり AIS#1 に比べて普及は進んでいないと判断される。なお、AIS#3 の送信機能に対応した船舶用 AIS が利用され始めたのは 2012 年以降に新造された船舶からであるが、AIS#3 送信機能を有した AIS の搭載義務はない。混信域における受信性能評価のた

めにヨーロッパ域での北海、アジア域における東シナ海、南シナ海での受信実験を行った。従来の AIS#1 を使用した受信では困難であった上記の海域からの受信ができることが確認できたが、ITU-R M. 2169 で推定された性能（アンテナ視野内に 20000 隻の船舶がいたとしても 95%以上の船舶検出率[4]）には両海域ともに至らないと考えている。北海域とアジア域を比較した場合、ノイズフロワーがアジア域のほうが 4 dB 程度高く、これがアジア域が受信数が少ない要因の一つと考えている。ノイズフロワーが高い原因としては、アジア域については人間の生活圏からのノイズがヨーロッパ域よりも多

いためと考えられる。

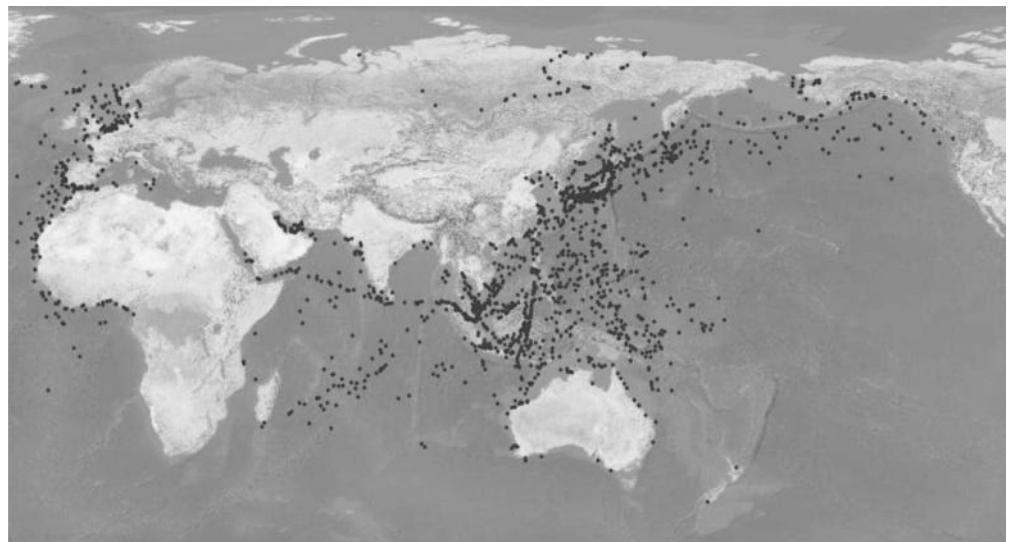


図 1 7 AIS#3, #4 (衛星用 AIS) 信号の取得状況 (2014/6/8-11/2)

③SAR と AIS の組み合わせ観測実験 ALOS-2 の SAR 画像と AIS 情報の組み合わせ (データフュージョン) を行う際の問題点等を洗い出すために組み合わせ観測用の実験パスを設定し、評価を行った。図 1 8 はオーストラリア～日本の主要航路上のパプアニューギニア域におけるマッチング結果の一例である。同図の右に示す拡大図は高分解能モード (分解能 : アジマス方向 1m、レンジ方向 3m) の SAR 画像 ($50\text{km} \times 50\text{km}$) と AIS からの位置情報のマッチング結果を示す。マッチングに際して AIS 情報の受信時刻、SAR シーン撮像時刻、船舶の速度を用いて

位置補正を行ったところ、SAR 画像と AIS 情報の位置誤差は最大でも 500m 以下でマッチングできることが確認できた。

AIS 情報から検出した船舶はオーストラリアに向かうばら積み貨物船やコンテナ船が多いことが分かり、船種並びに物流に関する情報が把握できることが分かる。

このように、SAR 画像に AIS 情情報を付加することで、画像の解釈や認識について大きな向上が得られ、SAR 画像プロダクトとしての価値が向上できるものと考えられる。

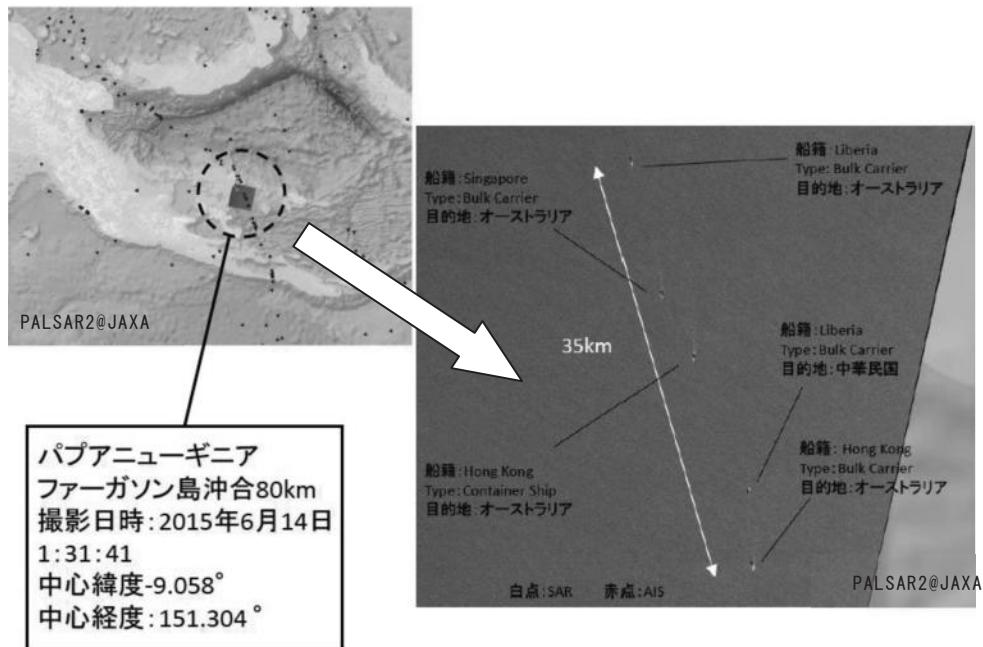


図18 SAR画像とAIS情報の組み合わせ

5.まとめ

SPAISE1は日本における最初の衛星AISの技術実証実験であり、当初の目的である①基本受信性能の確認、②軌道上での受信環境評価、③受信性能向上に関わる知見の取得を行うことができた。

SPAISE2についても、①基本受信性能の確認、②将来衛星AISのための受信性能向上に関わる知見の取得、③SARとAISの組み合わせ観測の実施・評価を完了し当初の目的を達成した。

AIS情報の利用に関する研究については、AIS情報単独やSAR画像とAIS情報の組み合わせによる利用可能性の検証、地球観測衛星

データや高次プロダクトの利用等も含めて、共同実験者と検討を行っている。今後のSPAISE1&2実験については、利用研究用のAISデータの取得を主目的として実施する予定である。

6.文献

- [1] <http://satnavi.jaxa.jp/experiment/spaise/>
- [2] ITU-R M.1371-4 “Technical characteristics for an automatic identification system using time-division multiple access in the VHF maritime mobile band”
- [3] 矢内崇雅, 他, “高度海上交通システムの動向,” 沖テクニカルレビュー, 187号, vol.68, no.3, Jul. 2001
- [4] ITU-R M.2169 “Improved satellite detection of AIS”

船舶用固体素子レーダ

日本無線株式会社
川口 優

1 はじめに

近年、半導体デバイスの進歩にともない送信部に従来から使用されてきた真空管（マグネットロン）を半導体素子に置き換えた固体素子レーダの開発が盛んに行われています。その背景としては、マグネットロンの定期交換に掛かるメンテナンス費用の削減や、電波有効利用を目的とした占有周波数の狭帯域化への法規制対応があげられています。また、従来のマグネットロンレーダでは実現が難しかった、送受信波の位相情報を積極的に利用した信号処理によって、荒天時における海面反射や雨雪反射に埋もれた物標の探知性能を向上させる狙いがあります。

固体素子レーダは、空港監視レーダ、海域監視レーダ、気象レーダなど、様々なレーダ分野で実用化されていますが、送信部のパワー・アンプに使用される高周波高出力 FET (Field Effect Transistor) を中心としたキーデバイスの価格低下に伴って、民間向けの船舶用レーダとしても開発が進み製品化されています。

本稿では、当社で開発した船舶用 S 帯固体素子レーダの実施例⁽¹⁾を含めて、船舶用固体素子レーダの現状と課題、システムの概要について記載します。

2 固体素子レーダの概要

2.1 特長

(1) 物標探知性能の向上

固体素子レーダでは、デジタル回路などを用いて位相を高精度で制御した送信波を生成することで、コヒーレントシステムを構築することができます。これにより、受信信号から物標を検出する処理において、従来のマグネットロンレーダのように主に振幅情報に依存していた手法から、位相情報も加えた手法が可能となります。例えばドップラ処理を用いて物標の移動情報を把握し、不要信号との差別化を行うことで良好な物標検出が可能です。

また、固体素子レーダでは一般的に周波数変調をかけた電波を長い時間送信しますが、その周波数偏移幅を大きくすることで高い分解能を得ることができます、よりきめ細かな映像を画面上に表示することができます。

(2) 信頼性の向上

尖頭出力が数十 kW におよぶマグネットロンレーダでは、マグネットロンを駆動する変調部に 600V を超える変調高圧を生成する電源回路が必要となり、使用する電気部品も高耐圧特性の品種が要求されます。

一方、尖頭出力が数百 W 程度の固体素子レーダでは、パワー・アンプ用 FET を駆動する電源として 50V 程度の比較的低い電圧であり、部品の寿命や耐圧に起因する故障事故のリス

クも軽減されるため、高い信頼性を確保できます。

さらに、固体素子レーダではマグネットロンの定期交換という行為がないため、ランニングコストの削減のみならず、交換時期を気にすることなく継続運用が可能で、経年的にもメンテナンスに頼らず安定した性能を維持できる利点があります。

(3) 装置の小型軽量化

固体素子レーダは、マグネットロンや導波管などの大型部品を使用しないため、回路規模の縮小が可能であり、結果的に装置全体の小型軽量化が実現できます。これは使用する材料資源を削減する点で、対環境面における資源の有効利用につながります。

また、コヒーレントシステムを積極的に利用して、分解能を上げる信号処理を行うことで、アンテナ長の短縮も実現可能です。

(4) 消費電力の低減

マグネットロンレーダに比べて送信出力が低いことからも装置の省電力化が可能です。また、アンテナ長の短縮により耐風速性能が向上すれば、アンテナを回転させる駆動系の消費電力削減にもつながります。この点からも固体化レーダは対環境性能の面で優位なシステムといえるでしょう。

2. 法規動向

2.2.1 国内電波法

電波資源の有効活用の観点からも送信波の帯域狭化を可能とする固体素子レーダの普及は有益です。従来から規制されていた電波形式とその利用目的を部分的に緩和する方向で総務省を中心に大学や研究機関、レーダメ

ークを含めた検討委員会で議論が進められてきました。

S 帯における船舶用レーダでは、2012 年 7 月より、型式検定規則に関連して周波数変調パルスの使用が可能となり⁽²⁾、X 帯についても緩和が検討されています。

ただし、マグネットロンレーダを含めた既存の無線設備への電波干渉の影響を考慮して、送信出力など固体素子レーダの仕様について一定の規制を設ける対応が必要となり、S 帯固体化レーダに対する送信出力、送信パルス幅などの送信諸元について技術的条件⁽³⁾が定められました。

2.2.2 ITU-R スプリアス規制

国際的なスプリアス規制として 2011 年 10 月、ITU-R (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector) Recommendation SM1541-4 Annex 8 ではレーダ装置に対する帯域外発射の要件として、それまでの 20dB/dec roll-off マスクから 30dB/dec roll-off マスク⁽⁴⁾の厳しい規格に改訂されました。今後はさらなる規制強化のため、40dB/dec roll-off マスク適用⁽⁴⁾の可能性についても議論が進められるもと考えます。国内の電波法についても、ITU-R の規制強化の動向を踏まえ改正が検討される方向です。

このように、今後、ますます規制強化が進むればマグネットロンレーダでは対応が困難となり、固体素子レーダへの置き換えがさらに加速すると考えられます。図 1 に当社固体素子レーダのスペクトラム測定の一例（導波管端の測定；PON、パルス幅 70ns）を示します。現行 ITU-R の規制（30dB/dec roll-off マス

ク)のみならず、40dB/dec roll-off マスクにも十分適合可能となっています。

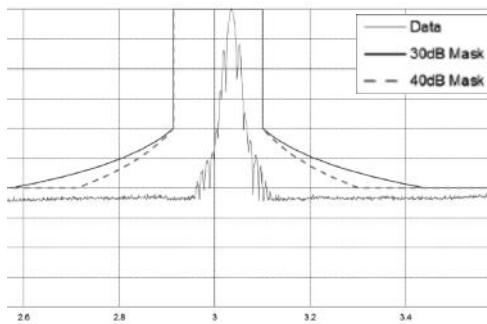


図1 スペクトラム測定例

2.2.3 輸出規制

日本では交際条約やWA (Wassenaar Arrangement) 等の規制内容を反映して、外為法等のもとで、貨物の輸出や役務（技術）の提供等についての規制を行っています。

固体素子レーダに関わる規制対象としては、パルス圧縮比が150を越える場合、パルス圧縮後のパルス幅が30ns未満の場合などがあげられます。

上述の規制に関しては、探知距離や分解能の向上といったレーダ性能を大きく左右する内容であり、規制緩和に向けた検討や議論が進められています。

3 固体素子レーダの基本システム

3.1 方式

一般的に、固体素子レーダはマグネットロンレーダに比べておおよそ1/100～1/10000程度の低い送信出力であっても所望の探知性能を実現するために、伸長パルス送信によるパ

ルス圧縮方式または連続送信によるFMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 方式などが採用されています。通常、大型船舶向けの固体素子レーダでは、S/X帯の出力数百W前後のパルス圧縮方式が採用されることが多いですが、中小型船舶向けに数十W程度のパルス圧縮方式や数百mWのFMCW方式がX帯レーダに採用され、製品化されています。

以降の説明では、固体素子レーダとして広く採用されているパルス圧縮方式について紹介したいと思います。

3.2 パルス圧縮方式の概要

遠距離感度と高分解能（距離分解能）を確保するためには、高出力で幅の狭いパルスを送信する必要があります。これを固体素子レーダで実現するためには、数多くのFETを使用して高出力のパワーアンプ（PA；Power Amplifier）を構成する必要がありますが、各FETからの出力を合成する際の損失や高額なコストを考慮すると、あまり現実的ではありません。

そこで、送信出力は低くても周波数変調を施した幅の広いパルスを送信し、物標からの受信信号に対してパルス圧縮処理で、そのエネルギーを時間軸上的一点で積み上げることによって探知性能を向上^⑤させることができます。これにより、高出力で幅の狭いパルスを送信した場合と同等の効果を得るパルス圧縮方式があります。図2にパルス圧縮方式の概要を示します。

通常、パルス圧縮による処理利得を高めるために送信波形には、鋭い自己相関関数を持ったチャーブ波形や擬似乱数符号による

位相変調波形等が用いられます。

伸張パルスの生成やパルス圧縮の実現は SAW (Surface Acoustic Wave) デバイス（弾性表面波素子）を使用することで可能ですが、近年は DDS (Direct Digital Synthesizer) や FPGA (Field Programmable Gate Array) 等の LSI (Large Scale Integration) を使用してデジタル処理で実現することが一般的です。

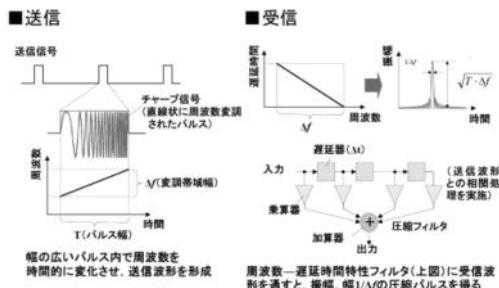


図2 パルス圧縮処理の概要

3.3 パルス圧縮方式の基本構成

図3にパルス圧縮方式の基本構成を示します。比較のためにマグネットロン方式の基本構成も図4に示します。

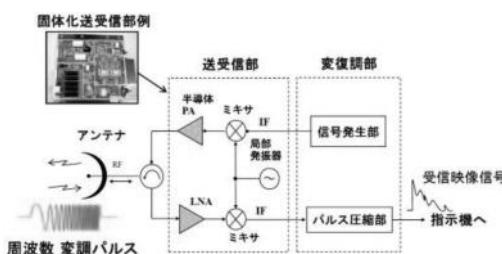


図3 パルス圧縮方式の基本構成

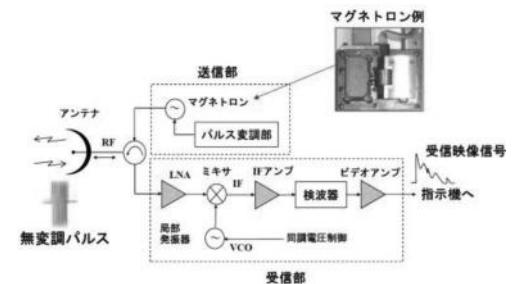


図4 マグネットロン方式の基本構成

図3のパルス圧縮方式の基本構成において、変復調部の信号発生部で生成された中間周波数 (IF ; Intermediate Frequency) の送信波は、ミキサと局部発振器を用いてマイクロ波にアップコンバートされ、半導体 PA で所定の出力に増幅された後、送受切換器（サーチューレータ）を通してアンテナに給電され空間に輻射されます。受信波は、LNA (Low Noise Amplifier) で増幅された後、ミキサで送信波と同じ周波数帯の IF にダウンコンバートされ、変復調部のパルス圧縮部で圧縮処理され映像信号として指示機に供給されます。

なお、送受信号の周波数変換においては、共通の局部発振器を使用していることから送受同じ周波数の IF 信号となるため、受信時の同調制御が不要です。

実形態においては、一般的に QON (周波数変調パルス) に加えて PON (無変調パルス) の電波を時分割で送信します。これは、近距離からの強い反射で受信飽和が起き、パルス圧縮特性の劣化による弊害（後述のレンジサイドロープ）を回避するためで、近距離探知用に PON 送信を行い、中遠距離探知用には圧縮利得が得られる QON 送信を行います。

また、マグネットロン方式の場合は送信までの予熱時間（3分程度）が必要になりますが、固体素子レーダでは不要であり、電源投入から瞬時に送信が可能となります（実際には指示機側を含めたシステム起動のための待ち時間が発生します）。

一方、図4に示すマグネットロン方式の基本構成においては、パルス変調部で所定のパルス幅に制御されたマグネットロンの送信波（PON）が、サーチューレータを通してアンテナに給電され空間に輻射されます。受信波は、LNA（Low Noise Amplifier）で増幅された後、ミキサで IF にダウンコンバートされ、IF アンプ（ログアンプ）、検波回路およびビデオアンプ回路を通って指示機に供給されます。

マグネットロンの発振周波数は温度特性により変化しますので、局部発振器の周波数を調整（同調制御）して、IF 信号を安定化させて最適な映像感度が得られるよう同調制御が必要です。

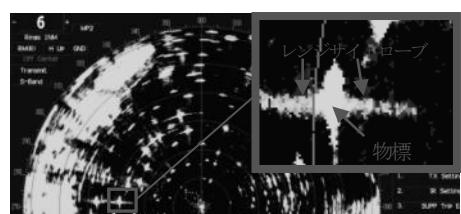
4 固体素子レーダの課題

パルス圧縮方式では、受信時に行うパルス圧縮処理の結果としてレンジサイドロープ（タイムサイドロープとも呼ぶ）という不要信号が発生します。受信飽和が起きた場合は特に顕著となります。図5(a)にレンジサイドロープが発生（物標の距離方向前後に発生）している映像例を示します。パルス圧縮処理を行った圧縮後の信号は sinc 関数形状となり、レンジサイドロープレベルは 13dB 程度となります。これは、レーダの使用上、一般的に許容できるレベルではありません。タンカー、コンテナ船などの大型船舶ほどレーダ反

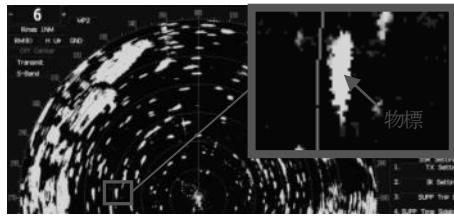
射断面積が大きく、レンジサイドロープレベルも強くなりますので、レーダ反射断面積が小さい小型船舶等がレンジサイドロープに埋もれて識別できなくなります。

そこで、レンジサイドロープレベルを抑圧する対策として、送信波形として周波数変調を時間とともに非直線的に変化させるノンリニアチャーブを用いる手法の他に、窓関数を適用した信号処理を行うことで、圧縮後信号の周波数特性に重み付けする手法があります。これにより、レンジサイドロープを 60dB 程度のレベルまで低減することが可能です。図5(b)にレンジサイドロープ抑圧後の映像例を示します。

レンジサイドロープは、物標の大きさや距離に応じた受信信号強度に従ってレベルが変化しますので、60dB の抑圧では十分とは言えない状況も考えられます。また、レンジサンドロープを抑圧することで、信号の損失（S/N の劣化）が生じることや圧縮後のパルス幅が広がることで距離分解能が劣化するなどのデメリットもありますので（図6参照）、これらの性能とのトレードオフが必要となります。



(a) レンジサイドロープ抑圧前



(b) レンジサイドローブ抑圧後

図5 窓関数を用いたパルス圧縮処理

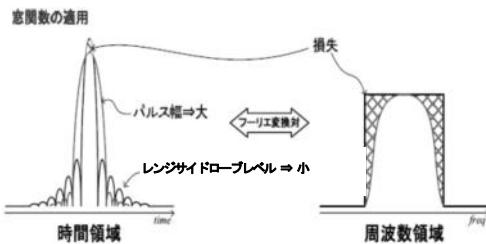


図6 窓関数の適用によるデメリット

5 船舶用固体素子レーダ実施例

5.1 概要

実施例として、当社が今回開発した IMO 性能基準に適合した船舶用 S バンド固体素子レーダ⁽¹⁾について記載します。

2009 年に開発した機種からのモデルチェンジであり、パワーアンプに使用している FET やパルス圧縮処理に使用している FPGA など、キーデバイスの高性能化、低価格化により装置全体の小型軽量化およびコストダウンを実現しました。

図 7 に本固体素子レーダの空中線および指示機の外観を示します。空中線は今回小型軽量化を実現した輻射部長 8ft モデルに加え、従来と同じ輻射部長 12ft モデルも開発しました。主な諸元を表 1 に示します。

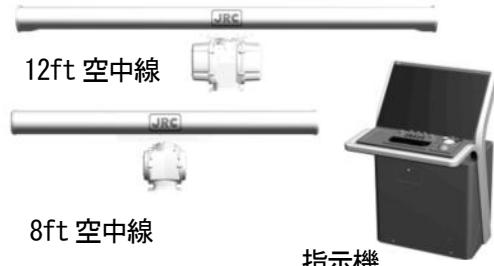


図7 固体素子レーダ実施例
(JMR-9200 シリーズ；日本無線(株))

表1 主要諸元

項目	仕様
電波型式／指示方式	PON・QON／ ラスタンクサン、 PPI 方式
送信出力	250W
送信周波数	PON : 3035MHz QON : 3060MHz ± 4MHz 3065MHz ± 4MHz
送信パルス幅	PON : 0.07~1.14 μs QON : 4.6~18.3 μs
送信繰り返し周波数	640~2280Hz
空中線質量	8ft モデル : 85kg 12ft モデル : 160kg
表示器液晶寸法	26 インチ / 19 インチ
距離分解能	30m 以下
最小探知距離	40m 以下
方位精度	1° 以下

空中線の小型軽量化により、大型船舶のみならず、従来大きさや重さなど装備上の制約で搭載できなかった漁船クラスにも幅広く搭載が可能となっています。

5.2 空中線概要

本固体素子レーダの空中線内回路ブロックを図8に示します。主要な構成ブロックとして、送受信部、信号処理部、駆動部、電源・インターフェース部があります。

送受信部のパワーアンプに高出力のFETを、信号処理部には高速大容量のFPGAを採用することで、従来機種から基板面積を65%以上の大幅削減をし、装置全体の小型化を実現しています。

信号処理回路で生成されたIF送信波は、送受信回路で3GHz帯までアップコンバートされた後、パワーアンプで250Wまで増幅されてアンテナへ給電されます。

アンテナから入力される受信信号は、送受信回路内で適切に利得制御され、IFにダウンコンバートされて信号処理回路に伝送されます。信号処理回路では、A/D変換後、不要波除去やパルス圧縮処理等が実施され、映像信号を指示機へ出力します。

送信波の種類や送信繰り返し周波数などの各種パラメータは、シリアル通信によって指示機から制御されます。

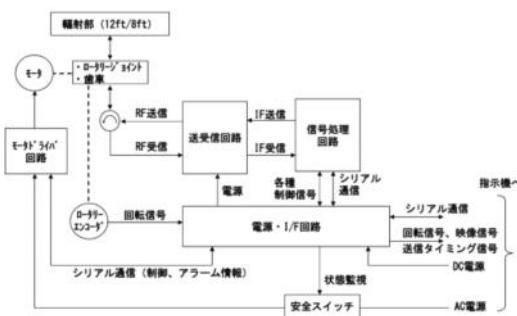
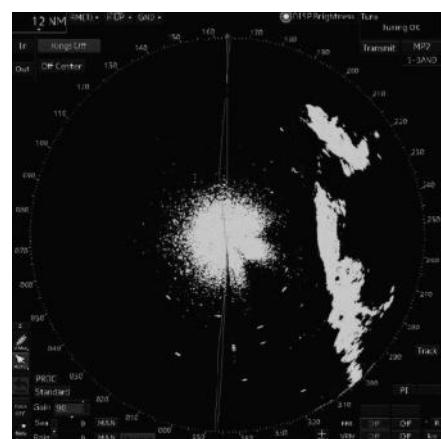


図8 空中線内回路ブロック

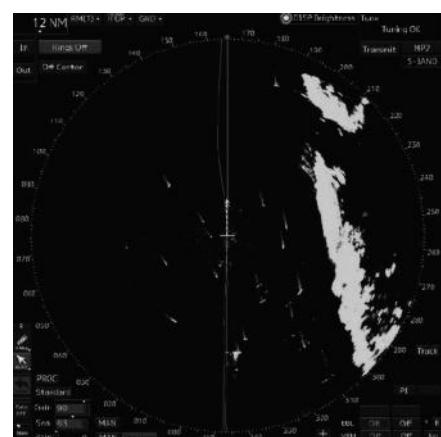
5.3 映像例

図9に船上評価時の映像例を示します(12ftモデル)。

図9(a)では、シーステート3程度の海況において、海面反射の映像が約3nm程度まで確認できます。図9(b)では、信号処理により海面反射に埋もれた小型漁船群の映像を良好に確認できます。



(a) 海面反射除去前の映像



(b) 海面反射除去後の映像

図9 映像例

6 おわりに

固体素子レーダは、探知性能の向上、メンテナン費用の削減、不要発射の低減などメリットが多い一方で、レンジサイドローブの低減や、既存無線設備との干渉回避などの課題も残されていますが、今後の技術進歩とともに法的な整備も進めば、ますます普及していくことが期待されます。

参考文献

- (1) 「船舶用小型 S 帯固体化レーダー装置」、
日本無線技報、No. 66、p. 52、2014
- (2) 無線機器型式検定規則別表第 1 号
- (3) 平成 24 年総務省告示第 252 号：「船舶に備えなければならないレーダーの技術的条件を定める件の一部を改正する件」、官報本紙、No. 5835、p. 5、2012
- (4) ITU-R : 「Unwanted emissions in the out-of-band domain」、Recommendation SM. 1541-4、pp. 47-54、2011
- (5) 吉田孝監修：「改訂 レーダ技術」、
pp. 275-278、電子情報通信学会、2003

特別研究会

UEC コミュニケーションミュージアムの見学

電波航法研究会事務局

1 はじめに

2015年11月11日に電波航法研究会の特別研究会を実施した。本研究会では、12名が東京都調布市にある国立大学法人電気通信大学のUEC コミュニケーションミュージアムを見学した。

2 UEC コミュニケーションミュージアムの概要

UEC コミュニケーションミュージアムは、無線通信機器やコンピュータ等、電気通信大学の教育研究に関する歴史的機器や資料を収集・保存・展示している施設である。ここでは、電気通信大学の前身である無線電信講習所で使用された装置類や寄贈品を含めて1万本を超える真空管類、各種放送設備、アマチュア無線機器、アンティークラジオ、オーディオ装置やコンピュータ関連機器類等が7つの部屋に分かれて展示されている。

3 UEC コミュニケーションミュージアムの見学

UEC コミュニケーションミュージアム到着後、まず展示室の見学が行われた。本章では、その概要を紹介する。

3.1 第1展示室

第1展示室では、火花放電を利用した初

期の無線通信設備、第2次世界大戦で使用された軍事用無線機、戦後のテレビジョン放送用送信機等の各種無線装置が展示されており、電気通信大学名誉教授の芳野先生からご説明を頂きながら、これらの装置を見学した。図1は見学の様子である。



図1 第1展示室見学の様子

3.2 第7展示室

第7展示室では、日本初の電波時計や電子スピニ共鳴(ESR)分析装置、現在の先端医療に欠くことのできないMRIの原型ともいえる日本最初の核磁気共鳴(NMR)装置等が展示されており、これらの装置を見学した。

3.3 第6展示室

第6展示室では、20世紀初頭に発明された最初期の二極真空管やマグネットロン、第二次世界大戦当時に使用されていた国内外

の軍用管を始めとする各種真空管が展示されており、芳野先生及びUEC コミュニケーションミュージアム職員の山肩氏からご説明を頂きながら、これらの装置を見学した。

3.4 第5展示室

電気通信大学の前身である無線電信講習所の教室を再現している第5展示室では、国産のモールス信号送受信機や印刷電信送受信機等の有線電信機器が展示されており、これらの装置を見学した。

3.5 第4展示室

第4展示室では、電気通信大学に設置されていた気象衛星「ひまわり」の受信装置や気象庁衛星送信所に最初に設置されたデータ処理装置等が展示されており、これらの装置を見学した。

3.6 第3展示室

第3展示室では、世界に1台しか現存していない世界最初のダイバーシティラジオを始め、希少価値の高い通信用受信機やアマチュア無線用の機器等の通信機器が展示されており、芳野先生からご説明を頂きながら、これらの装置を見学した。

3.7 第2展示室

第2展示室では、1909年に製造されたビンテージラジオや真空管式ラジオを始めとするラジオ受信機、卓上計算機やコンピュータ、オーディオ機器等の装置が展示されており、芳野先生からご説明を頂きながら、これらの装置を見学した。

特にオーディオ機器については、1911年に製造されたエジソンによる蝶管蓄音機を

実際に再生していただいた。図2は蝶管蓄音機を再生している様子である。



図2 蝶管蓄音機を再生している様子

4 芳野先生との座談会

展示室の見学終了後、UEC コミュニケーションミュージアム内の会議室で、芳野先生を囲み座談会を催した。座談会では、芳野先生から、これまでのご功績についてお話をいただき、出席者との活発な意見交換が行われた。図3は座談会の様子である。



図3 座談会の様子

5 おわりに

展示室の見学はもちろんのこと、芳野先生やUEC コミュニケーションミュージアム職員の皆様による展示品の説明には興味深い内容が多く、大変有意義な特別研究会と

なった。

最後に、特別研究会のために施設見学の手配や各施設の紹介を行っていただきまして片山様を始めとする UEC コミュニケーションミュージアム職員の皆様に、心より御礼申し上げます。

UEC コミュニケーションミュージアム

- ・所在地
東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1
- ・ウェブサイト
<http://www.museum.uec.ac.jp/>



図4 集合写真

臨時研究会

「VDES 開発のための IALA ワークショップ」

オープンフォーラム

電波航法研究会事務局

1 はじめに

2016 年 2 月 15 日から 19 日にかけて、「VDES 開発のための IALA ワークショップ」が、国際航路標識協会（International Association of Aids to Navigation and Lighthouses Authorities : IALA）と海上保安庁の共催で開催された。

このワークショップは、次世代 AIS である VDES (VHF Data Exchange System) の国際標準化を図ることを目的としており、その技術標準等について議論が行われた。

ワークショップ初日には、一般の参加者を対象とした AIS 専門家による講演及びパネルディスカッションが実施された。電波航法研究会では、この講演及びパネルディスカッションを臨時研究会と位置づけ、会員各位の参加を募った。

本稿では、臨時研究会の概要について述べる。

2 「VDES 開発のための IALA ワークショップ」開催の背景

AIS は、海上における人命の安全のための国際条約（SOLAS 条約）に基づき、平成 20 年 7 月までに対象となる船舶への搭載が完了した。その後、AIS は、航路標識 AIS、クラス B AIS、捜索救助用位置指示送信装

置 (AIS-SART) 等、その用途の多様化が図られ、船舶の安全航行への寄与のほか、物流の効率化、船舶の捜索救助活動等の分野でもその有用性が世界的に認識されるようになった。今後、さらに AIS の利用が拡大すると、大量にやりとりされる情報によって AIS の通信が圧迫され、円滑な通信ができなくなることが危惧される。

そこで、予測される通信容量の不足を解消し、拡大する利用者のニーズに対応するため、情報を高速かつ効率的に通信することができる VDES の開発が IALA 等で検討されている。

この流れを受け、VDES に求められる機能や採用すべき技術等について議論するため、海洋政策研究財団（現：笹川平和財団）の支援のもと、海上保安庁主催の「次世代 AIS 国際標準化のためのワークショップ」が 2012 年から 2014 年にかけて 3 回開催された。

今回のワークショップは、「次世代 AIS 国際標準化のためのワークショップ」の成果等を踏まえ、VDES の技術基準等について議論を行うものである。

3 講演者の紹介

講演者は以下のとおりである。（発表順）

- ・今津 隼馬博士
(日本・東京海洋大学)
- ・原 学氏
(日本・海上保安庁)
- ・Mr. Stefan BOBER
(ドイツ・連邦水路海運庁)
- ・Mrs. Peggy BROWNIG
(カナダ・Exact Earth 社)
- ・Ms. Jillian CARSON-JACKSON
(オーストラリア・海洋安全庁)
- ・今田 吉彦氏
(日本・日本無線株式会社)
- ・Mr. Daeho KIM
(韓国・電子通信研究院)
- ・Mr. Hannu PEIPONNEN
(フィンランド・Furuno Finland 社)

4 オープンフォーラム概要

「VDES 開発のための IALA ワークショップ」オープンフォーラムは、2016 年 2 月 15 日 13 時よりフクラシア品川クリスタルスクエア（東京都港区）にて開催された。Session 1 では、IALA の Michael CARD 副事務局長及び海上保安庁の尾関良夫交通部長からワークショップ開催の挨拶があった後、東京海洋大学名誉教授の今津隼馬博士より基調講演が行われた。Session 2 及び Session 3 の前半では、AIS 専門家による講演が行われ、Session 3 の後半では、AIS 専門家によるパネルディスカッションが実施された。

講演の様子を図 1 に示し、各講演の概要及びパネルディスカッションの概要を以下に記す。



図 1 講演

4. 1 Expectation to VDES for Safety Navigation (基調講演)

今津 隼馬博士

今津博士は、船舶の航行の安全性向上について、AIS データの活用方法及び VDES の活用が期待される分野について講演した。今津博士は始めに、ニアミスの原因のほとんどがヒューマンエラーであってニアミスを減らすためには行動決定プロセスを見直す必要があることについて触れ、行動決定プロセスにおける情報収集の改善策として、衝突危険評価方法の改善の必要性を指摘した。次に、衝突危険評価方法として現在使用されている最接近時間 (Time to Closest Point of Approach : TCPA) に代わる評価方法として相手船による妨害ゾーン (Obstacle Zone by Target : OZT) を利用した評価について触れ、OZT による評価はふくそう海域においても有効であると述べた。最後に、OZT による評価を行うために必要となる各種データの収集や関係機関と密接なコミュニケーションを取るためのツールとして VDES の活用が期待されることについて言及し、講演を終えた。

4. 2 Results of OPRF Workshops from 2012 to 2014

原 学氏

原氏は、2012 年から 2014 年にかけて 3 回開催された「次世代 AIS 国際標準化のためのワークショップ」の成果について講演した。原氏は始めに、ワークショップ開催の背景について触れ、3 回のワークショップの概要について説明した。次に、各ワークショップのエグゼクティブ・サマリーを引用して各ワークショップにおける成果を報告した。最後に、原氏は、「次世代 AIS 国際標準化のためのワークショップ」の開催を支援した笹川平和財団に謝辞を述べ、講演を終えた。

4. 3 RESULT OF ITU WRC15

Mr. Stefan BOBER

BOBER 氏は、国際電気通信連合 (International Telecommunication Union : ITU) の VDES に関する動きとして、2015 年 11 月 2 日から 27 日にかけてジュネーブで開催された世界無線通信会議 (World Radiocommunication Conference 2015 : WRC-15) における VDES の周波数割当の検討結果について講演した。BOBER 氏は始めに、WRC-15 に至るまでの検討状況について触れ、WRC-15 に向けて VDES のチャンネルプラン案の作成等の準備を行ったことを述べた。次に、WRC-15 の検討結果について述べ、チャンネル 2027 及び 2028 が用途特定メッセージ (Application Specific Message : ASM) に割当てられたこと等について説明した。最後に、2019 年に開催予定の WRC-19 に向けた検討事項について言及し、講演を終えた。

4. 4 VDES TECHNOLOGY

Mrs. Peggy BROWNIG

BROWNIG 氏は、VDES の技術について講演した。BROWNIG 氏は始めに、VHF Data Link (VDL) 通信量の増加により現在世界中で AIS 受信範囲の減少が報告されていることについて触れ、ASM を新たなチャンネルに移すこと等の解決策について説明した。次に、2015 年 11 月に開催された WRC-15 の結果について述べ、ASM や地上系 VDL について、その変調方式等を説明した。最後に、世界中の気象情報のリアルタイム入手や北極域における通信等のユーザー要件を満たすため、ビットスクランブル技術を用いて強固なリンクを確保することや通信にかかる費用が重要であること等を述べ、講演を終えた。

4. 5 VDES OPERATION

Ms. Jillian CARSON-JACKSON

CARSON-JACKSON 氏は、VDES の運用要件に関して講演した。CARSON-JACKSON 氏は始めに、VDES の開発を進めていく上で運用要件を特定することが重要であることを述べた。また、VDES に対して利用者が求める運用要件について、船舶が港を出港し、洋上を航海して再び港に戻るという航海の各段階において、船員がどのようなサービスや情報を求めているか例を挙げて説明した。次に、VDES の運用要件を特定するため、「意見の聴取」、「分析」、「技術要件の集約」及び「検証」のサイクルを通じて検討を行うことが必要であると述べた。最後に、VDES は海上通信に大きな影響を与えるものであり本ワークショップにより VDES の開発が進むことを期待していると述べ、講演を終えた。

4. 6 VDES DEVELOPMENT STATUS AND FUTURE PLAN

今田 吉彦氏

今田氏は、日本無線で取組んでいるVDESの開発状況について講演した。今田氏は始めに、VDESの開発経緯や周波数の割当等、VDESの概要について触れた後、VDESに関する勧告について取上げ、変調方式等の技術的な検討が進められていることを説明した。次に、VDESの開発を進めていく上でシミュレーションや実証実験を行う必要があることから、VHF帯に特化したソフトウェア無線機を開発したことを報告した。最後に、日本無線が検討している実証実験のスケジュール等について説明し、講演を終えた。

4. 7 OVERVIEW OF THE DEVELOPMENT OF ASM PROTOTYPE AND TRIAL

Mr. Daeho KIM

KIM氏は、韓国で取り組んでいるASMの試作機とその実証実験について講演した。KIM氏は始めに、ASMの試作機について、その周波数特性等について説明した。次に、韓国国内で実施したASMの実証実験について報告し、経路損失については理論値と測定結果にほぼ差が無かったこと等を説明した。最後に、ASMのプロトタイプを作成し実証実験を行ったことでASMのメッセージの信頼性等を検討できたことについて言及した後、今後はITUの勧告に沿ってテストベッドを開発していきたいと述べ、講演を終えた。

4. 8 IEC PROCESS FOR MAKING INTERNATIONAL STANDARDS

Mr. Hannu PEIPONNEN

PEIPONNEN氏は始めに、国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission:IEC）の概要について説明した。説明では、IECの設立や組織体系、活動内容等について触れた後、技術委員会（Technical Committees:TC）のTC80において国際海事機関（International Maritime Organization:IMO）と協力しつつ海洋の通信システムの標準化に取組んでいることを説明した。次に、VDESの標準化の進捗状況について述べ、関連するIEC基準について説明した。最後に、IEC基準の作成手順について言及し、IEC基準の作成ではパブリックコメント等を通じて一般の方からも意見を聴取するプロセスがあること等を説明し、講演を終えた。

4. 9 パネルディスカッション

講演の後、パネルディスカッションが行われた。パネルディスカッションは原氏を除く講演者が登壇し、聴講者及び司会の野口氏からの質問に回答する形式で行われた。パネルディスカッションの様子を図2に示す。



図2 パネルディスカッション

4. 9. 1 VDES の干渉

BOBER 氏に対し聴講者から、VDES の干渉問題に対する取組についてより詳しい説明が求められた。BOBER 氏は隣接するチャンネル間の干渉問題や陸上系と衛星系間での干渉問題等により他のサービスが影響を受ける心配が無いか調査を行ってきたことを説明した後、WRC-15において干渉問題については引き続き検討し、他のサービスに悪影響を与えないか調査することを報告した。

4. 9. 2 COLREG 条約について

今津氏に対し聴講者から、船舶が巨大化し操作性が悪くなっている中で、退航に関する考え方を改める必要があるのではないかと質問があった。今津氏は、海上における衝突の予防のための国際規則に関する条約(COLREG 条約)が制定された当時から比べると AIS 等の機器により船舶の航行環境が大きく変わっているため、船舶の能力に応じた対策がとれるよう COLREG 条約を時代に合わせて変更する必要があるのではないかと見解を述べた。

4. 9. 3 VDES と MSP の関係について

聴講者から、VDES と Maritime Services

Portfolio (MSP) の関係について質問があった。CARSON-JACKSON 氏は、MSP は今回のワークショップでも議題になっていることからワーキンググループに参加しともに検討してほしいと述べた。

4. 9. 4 VDES を活用した港内の効率化について

聴講者から、港内の効率化について VDES をどのように活用するのか、現在の検討事項について質問があった。CARSON-JACKSON 氏は、VDES を利用して陸上に情報を伝え管理することで、荷役作業等の効率化につなげていきたいと考えていると述べた。

4. 9. 5 VDES の実用時期について

今田氏に対して司会の野口氏から、VDES 装置を入手できるのはいつになるか質問があった。今田氏より、製品化には VDES がいつ頃規格化されるのかを見越して作業を行う必要があると前置きし、現在のところ 2019 年に規格化されるスケジュールになっているのでその時期に合わせ、製品を投入したいと述べた。

5 おわりに

本研究会では、国内外の AIS 専門家による講演及びパネルディスカッションを聴講し、複数の国際機関において議論がなされている VDES に対する理解を深めることができた。

最後に、講演者を始め、関係各位にこの場を借りて御礼申し上げます。

電波航法研究会 平成 27 年度事業報告

Record of work carried out by the Japanese Committee for Radio
Aids to Navigation in fiscal 2015

電波航法研究会事務局
Secretariat office of the JACRAN

総会

平成 27 年度総会は、平成 27 年 5 月 15 日 15 時から国立大学法人東京海洋大学越中島キャンパス越中島会館で開催された。会員総数 86 名のうち、出席者 27 名、委任状提出者 32 名の計 59 名が参加し、規約第 10 条第 4 項の規定により総会は成立した。各議題の審議結果は次のとおりであった。

1. 平成 26 年度事業報告が事務局から行われた。
2. 平成 26 年度会計報告が事務局から行われ、承認された。
3. 平成 26 年度監査報告が議長から行われた。
4. 平成 27 年度会長の選任について、元水洋会 中村氏の推薦に基づき、長岡氏の就任が満場一致で承認された。副会長の選任については、長岡会長の推薦に基づき、渡邊氏及び池田氏の就任が満場一致で承認された。なお、各幹事の委嘱については、事務局案のとおり承認された。
5. 平成 27 年度事業計画案について事務局から説明が行われ、原案のとおり承認された。
6. 平成 27 年度予算案について事務局から説明が行われ、原案のとおり承認された。

研究会

1. 第 1 回研究会は、平成 27 年 5 月 15 日、国立大学法人東京海洋大学越中島キャンパス越中島会館で総会に引き続き開催され、海上保安庁交通部整備課長 粟井次雄氏から「IoT 環境における航路標識の効率的管理について」、情報通信研究機構執行役 細川瑞彦氏から「時間をめぐる話題歴史から最新研究まで」と題する講演が行われた。出席者は 27 名であった。
2. 第 2 回研究会は、平成 27 年 9 月 15 日、国立大学法人東京海洋大学品川キャンパス白鷹館で開催され、日本無線株式会社海上機器事業部 川口優氏から「船舶用 S 帯固体化レーダー装置」、海上保安庁交通部整備課安全システム開発室 千葉潤氏から「AIS パケットの受信成功率」と題する講演が行われた。出席者は 38 名であった。
3. 第 3 回研究会は、平成 28 年 2 月 5 日、国立大学法人東京海洋大学品川キャンパス白鷹館で開催され、海上技術安全研究所 宮崎恵子氏から「自律船に向けた取組 - 国内研究と海外プロジェクト - 」、交通安全環境研究所 関根道昭氏から「自動運転車両におけるドライバの役割と国際基

準調和活動への技術的支援」と題する講演が行われた。出席者は 26 名であった。

特別研究会

平成 27 年 11 月 11 日に東京都調布市の電気通信大学 UEC コミュニケーションミュージアムを訪問し、同ミュージアムの見学を行った。参加者は 12 名であった。

臨時研究会

平成 28 年 2 月 15 日に国際航路標識協会 (IALA) と海上保安庁が開催した「VDES 開発のための IALA ワークショップ」のオープントフォーラムを臨時研究会として聴講した。

幹事会

幹事会は、平成 27 年 4 月 24 日、5 月 15 日、9 月 15 日、平成 28 年 2 月 5 日に開催され、事業計画、講演テーマ、会誌発行等について審議が行われた。

会誌等発行

会誌「電波航法」第 57 号を発行した。

会員数

平成 28 年 3 月 31 日現在

正会員 22 名 43 口

個人会員 8 名 (うち終身会員 3 名)

推薦会員 19 名

特別会員 36 名

計 85 名

会員の異動

入会 推薦会員 中村 勝英

退会 推荐会員 真田 良

正会員 日本舶用エレクトロニ

クス株式会社

— 電波航法 —— ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW —

平成28年3月23日 印刷 2015

平成28年3月28日 発行 No.57

編集・発行 電波航法研究会
Japanese Committee for Radio Aids to Navigation

印 刷 東京都千代田区飯田橋2-15-5
日経印刷株式会社
