

ISSN 0287-6450

Denpa kōhō

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

電波航法



JACRAN 44

2003

電波航法研究会 発行

Published by the Japanese Committee
for Radio Aids to Navigation

今、話題の装置を検証する

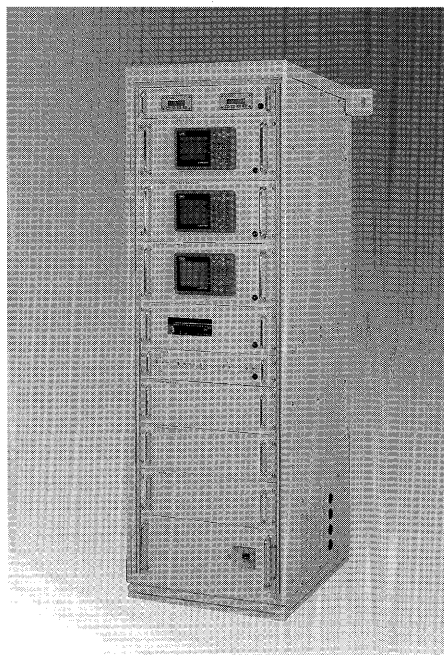
AIS システムの機能調査と評価に貢献

インテリジェントな船舶用システムの開発、設計はお任せください。

- ・ 船内LANシステム
- ・ UUCPメールサーバシステム
- ・ AISシステム評価装置
- ・ 各種システム評価装置

(AISシステム評価装置)

AIS 船舶局や AIS 陸上局等とのデータ送受信を行ない VHF データリンクを監視し、AIS システムの改善をはかるために必要な評価をします。



(AISシステム評価装置)



セナー株式会社

本社	〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-1-1(飯野ビル)	TEL 03-3506-5331	FAX 03-3593-3866
横浜事業所	〒225-0005 横浜市青葉区荏子田 2-1-2	TEL 045-903-5336	FAX 045-901-7488
葉山事業所	〒240-0111 神奈川県三浦郡葉山町一色 339 番地	TEL 0468-75-4141	FAX 0468-75-9721
札幌営業所	〒065-0042 札幌市東区本町二条 4-7-1(松長ビル)	TEL 011-787-5662	FAX 011-787-5662
名古屋営業所	〒465-0025 名古屋市名東区上社 3-102(東名ビル)	TEL 052-703-4421	FAX 052-703-4422
神戸営業所	〒650-0023 神戸市中央区栄町通 3-6-7(大栄ビル)	TEL 078-331-7292	FAX 078-331-7381
福岡営業所	〒810-0074 福岡市中央区大手門 3-3-24(小金丸ビル)	TEL 092-711-1451	FAX 092-711-1476

URL : <http://www.sena-jp.com>

E-mail : sales@sena-jp.com

— 目 次 —

CONTENTS

巻頭言「これからも」	会長 今津 隼馬	(1)
Foreword	Chairman Hayama IMAZU	

講演の記録

【レーダーに関する講演】

「渡り鳥とレーダー」	吉井 正	(2)
	Masashi YOSHII	

【GPSに関する講演】

「電子基準点を利用したリアルタイム測位」	松村 正一	(8)
	Syouichi MATSUMURA	
「RTK-GPSを用いた大型船の入港支援」	織田 博行	(13)
	Hiroyuki ODA	

【AISに関する講演】

「空のAIS—航空における通信・監視システム—」	長岡 栄	(24)
	Sakae NAGAOKA	

【その他】

「IT化時代に向けた海上通信の高度化」	鈴木 務	(30)
	Tsutomu SUZUKI	
「ミリ波・サブミリ波の新しい応用」	渡辺 康夫	(42)
	Yasuo WATANABE	
「標準時の国際的な仕組みと正確さと利便性の向上に向けた取り組み」	今江 理人	(47)
	Michito IMAE	
「世界測地系とナビゲーション」	仙石 新	(52)
	Arata SENGOKU	

特別講演

「The Loran Integrity Performance Panel」

「Present and Future Modernization of Loran Transmitter Site Equipment」

	Mr.Erik JOHANNESSEN	(57)
--	---------------------	------

ILA(国際ロラン協会)会議に出席して

「アメリカの憂鬱 (GPS脆弱性の解消に向けて)」	池田 保	(66)
	Tamotsu IKEDA	

特別研究会紀行

「おおたかどや山標準電波送信所 (通信総合研究所) を見学して」	廣田 直照	(68)
	Naoteru HIROTA	

電波航法研究会事業報告 (平成13年度)	事務局	(70)
----------------------	-----	------

あとがき「新しい電波航法の時代へ」	副会長 林 尚吾	(72)
Postscript	Vice-Chairman Shogo HAYASHI	

巻 頭 言

(Foreword)

これからも

電波航法研究会

会長 今津 隼馬

Chairman Hayama IMAZU

移動体において自分の位置を知ることが、目的地に向かう行動を求めるために不可欠であり、自分のこれからの行動を決めるための最重要情報である。今までは、この位置情報が間違っても、それにより付近の相手に迷惑をかけることは殆どなく、情報の間違いによる損失は全て自分が被ればそれで済んだ。ところが GPS が出現し、これを利用した AIS (船舶自動識別装置) により、自船の位置情報が相手に伝えられるようになると、この結果として、自分の位置情報が相手船の行動に影響を与えることとなった。このことは、航法が単独の船舶の行動を決める技術であった時代から、AIS を搭載した周囲の相手船と協力しながら、それぞれの船舶の行動を決める新しい時代に入ったことを意味している。

しかしながら、相手船との間に信頼できる協力関係を築くことはまだまだ難しい。それにはまず、自船の中での機器と運航者のしっかりした関係を構築しなければならない。機器はその性能において限界があり、また時折故障もする。一方、人は五感を使って外界の情報を集めるが、これにも限界があり、時々ミスを犯す。こうした不完全な物同士が協力することで、それぞれの欠点を補い、その結果として航行の安全性を向上させるには、機械と人との協力関係の構築において、さらなる工夫が必要である。そしてこうした工夫により船橋での作業の信頼性が上がれば、そこで初めて相手船との間に信頼関係を築くことができるであろう。

電波航法研究会では、航法に関する最新の情報を集めると共に、領域を設けず航法と何らかの関係があると思われる事項についても研究会での講演を依頼した。それは航法が多く、技術に依存した総合的技術であるからである。そして、これからの航法の発展のためには、様々な知識や技術を統合することが不可欠であるからである。また、この技術は海に限らず、空でも陸でも、そして船や飛行機や自動車などの乗り物から、今では各個人の移動についてまで使われる技術であり、航法の発展はこれからの生活様式を大きく変化させる可能性を持つからで

ある。

船舶における航法の改善のために、国際的には IMO を中心として、船舶の運航を支援するシステムや船舶に搭載すべき航法機器の性能等について、また、こうしたシステムや機器を取り扱う運航者の資格要件について規定している。そして、こうした規定の改善はそれなりに効果を発揮しているが、海難事故の海洋環境に及ぼす影響の甚大さから、船舶運航の安全性確保に対する社会的要求はますます厳しさを増している。一方で、現状の船橋において運航者を助けるはずの新しい機器の導入が、多くの運航者からは 歓迎されずに疎まれていたことも事実である。こうした事実を踏まえながら、厳しい社会の要求に応えるための対策を練ることが不可欠であり、本研究会としてもこの大事な課題には是非参加しなければならない。

GPS が生まれて、位置情報に対する船舶運航者の要求はほぼ満たされたが、それで航法が完成したわけではない。これからいよいよ本格的に位置情報等を駆使して、周囲の関係者との協調を計りながら、自分の行動を決める技術である 航法を確立していかなければならない。このための研究はこれからであり、本研究会の役割はこれからますます重要になる。

渡り鳥とレーダー

山階鳥類研究所
顧問 吉井 正

Masashi YOSHII

1. はじめに

このたび東京商船大学の林教授と電波航法研究会事務局のお薦めによりこの研究会の例会で「渡り鳥とレーダー」について講演する機会を頂きました。しかし筆者はレーダーに関しては専門家から見れば超シロウトです。こうした人間がこの分野の専門家が多い研究会の皆様の前でレーダーについてお話しするのは真におこがましい限りでお受けするのに躊躇致しました。しかし、迷った末、後述の事情を考慮してお引き受け致しました。

さて、自由に空を飛びその把握が容易ではない鳥類の行動、特に渡り行動の研究に関して、欧米においてはレーダーが極めて有効な道具として盛んに活用されています。各国の鳥学者(Ornithologist)がレーダーを用いて鳥類の行動の解明に競って挑戦し、未解明であった謎の部分を解明するなど続々と画期的研究成果を挙げ、鳥学の発展に大きく貢献しました。そしてレーダー鳥学(Radar Ornithology)という研究分野まで確立しました。

ところが、わが国におけるレーダー鳥学の実状はまことに淋しく、欧米諸国とは比べようもないくらい遅れた状態にあります。そして純鳥学の面でも応用の面でも、レーダーを活用すれば即解決可能と思われる多くの問題が未解決のままになっています。これまでに極く少数の鳥学者がレーダー鳥学的な研究や調査を試みましたが、種々な事情のため挫折することが多く、特記に価する成果は未だに皆無です。そこでこのたびの機会を利用して、レーダー関係の皆様方に外国におけるレーダー鳥学の研究、調査の実績ならびに筆者らの調査を含む日本の状況などをお話してご理解を頂き、現状打開の方策について専門家の適切なお指導、アドバイスを頂ければ幸甚と存じた次第でございます。

2. 渡り鳥の謎

渡り鳥とは簡単に定義すると、繁殖時と非繁殖時の生息場所が遠く離れ、その間を年に1回、定期的に往復移動(渡り)する鳥類と言うことになります。さて人間は、太古の昔大空を覆って飛ぶ鳥類を目の当りにした時、秋になると姿を消し、春になるとまた姿を現すことについて様々な考えを巡らせました。旧訳聖書エレミア記第8章には「コウノトリは定められた時を知り、ハト、ツバメ、ツルはその来たる時を遵守する」という記述があり

ます。二千数百年前、動物学の祖と言われる古代ギリシャの大学者アリストテレスはその著作の動物誌に「動物は環境の変化に敏感で生息環境が寒冷になると、人間が寒さから逃れて家の中で暮らすのと同様に、生息場所を変える。例えば、ツルはスキチアの草原からエジプトの湿地に渡り、ある種の小鳥類はツルと同様に渡りをする。ペリカンもストライモンからアイスターに渡る」と述べました。しかし残念なことに一方では「多くの鳥達は土中に潜伏して越冬する。鳥達は一般に考えられているようには渡りをしないものがある。ツバメ、トビ、コウノトリ、ヒバリなどは土中に潜って冬眠する。また、ある種の鳥は冬が来る頃姿を消すが渡りや冬籠もりしたのではない。変身するのだ。例えばシロビタイジョウビタキはヨーロッパコマドリに変身する」と間違った記述をしてしまいました。その後約二千年もの長期間鳥類の渡りについての奇妙な学説が後を絶たず、現代の生物の二命名法を確立した有名なスウェーデンの分類学者リンネ(1707~1778)さえも「ツバメは冬の間水中におり、春に出てくる」と述べ、同調する有名学者もいました。そしてわが国では、春季に渡来、繁殖した後、秋に南方の地域に向かって渡り去るツバメ類やオオヨシキリ、カッコウ、ホトトギス、ブッポウソウなどのいわゆる夏鳥の存在も、昔から人々によく知られています。また大陸の繁殖地から秋に渡来、越冬し翌春渡去するツル、ハクチョウ、ガン、カモの仲間など、いわゆる冬鳥の存在もよく知られています。

このように渡り鳥は、大昔から洋の東西を問わず人々の深い関心を集めて来ました。年々歳々決まった季節が来ると空を覆うように数多く出現、また急に姿を消す渡り鳥の去来は太古の人々にとって自然界におけるスペクタクルなページェントであり、驚異の現象であったでしょう。また春告げ鳥、種まき鳥に象徴されるような生活必須情報の伝達者として、あるいは自然が与える栄養食源などとして、渡り鳥には関心が集まったのに違いありません。

人間はこうした渡り鳥との長い関わりの中でいろいろな知識や経験を蓄積しました。そして科学が長足に進歩を遂げたこの100年間に鳥類の研究も大いに進み、それまで想像も出来なかった鳥類の驚くべき渡り行動の謎が明らかになって来ました。例えばキョクアジサシと言う

鳥は、北半球の北極圏の繁殖地を巣立った後、13,000～15,000 キロメートル離れたアフリカ南端の地域まで数週間で渡り着いたとか、ツルやガンの群れが酸素が平地の三分の一しかない高度 9,000 メートルのヒマラヤ上空を渡る事実が確認されたとか、高空飛翔時に有効に働く肺につながるエア・サックなどの特別な呼吸機構があることも明らかにされています。北米アラスカで繁殖するハシグロヒタキが繁殖後ユーラシア大陸北部を西に向かって横断し、アフリカ大陸の中・南部に至る壮大な渡りの旅をすることも標識調査により確認されました。北米に広く生息分布するハチドリ類は平均体重約 3 グラムで鳥類の中で最小ですが、その小さな体で繁殖地から 6,000 キロメートルも離れた越冬地までの間を往復するものもいることも判っています。また体重 4 グラム弱のノドアカハチドリは他のハチドリ同様目にも止まらない高速で翼を搏いて時速約 90 キロで飛ぶため代謝が著しいのですが、渡り時には約 2 グラムの体脂肪を渡りエネルギー源として蓄積し、消費することが明らかにされました。またこの脂肪は飛翔エネルギーに変換すると無着陸で 1,000 キロメートル以上の飛翔を可能にする事も計算上判明しています。ちなみにこの鳥は秋季フロリダから越冬地に渡る途中、メキシコ湾の洋上約 600 キロメートルを飛び越冬地に到着するものもいるそうですが、風などを当てにせず自力で渡りを繰り返しているわけです。

渡り鳥は主に昼間渡るものと夜間に渡るものと、おおむね鳥種によって決まっており、ツルやコウノトリ、ワシ、タカなどの大型鳥類は昼間渡ることが多く、反対に小鳥類はおおむね夜間に渡ることがわかり、そして英国のラック博士はレーダー観測によるデータに基付き「渡り鳥は、春は秋より高く飛ぶ、夜間は昼間より高く飛ぶ。大抵の渡り鳥は、一日のうち飛んでいる時間はせいぜい 6～8 時間である」と発表しました。

渡り鳥が何千キロメートルも遠く離れた目的地に誤りなく無事到達するためには高度な航法技術が必要ですが、これに関し、彼らの天測による定位能力や地磁気・磁場感知能力の有無を示す実験結果も得られています。また渡り鳥を実験室で観察すると渡り時期真近かになると決まってい立ち行動（ツェンゲルルーエ）が見られ、このころ鳥体内に渡りに特別に影響する甲状腺の変化やホルモンの分泌が生じることも確認されています。

このように現代における渡り鳥の謎解き解明のための研究は、アリストテレス先生もリンネ先生もさぞ吃驚されるほど進展していますが、謎解きとは別に、人間の造った航空機（例えば B-747 旅客機）とツバメの能力とをそれぞれの飛翔データ（燃費、体重、翼面積、同荷重、速度など）を比較して検討の結果、両者つまり科学技術と自然は、同じ航空力学の原理に沿う、と結論した

研究者なども現れ、渡り鳥という自然物から最新技術開発のヒントを得ようとする傾向も見られます。

また、渡り鳥は「東京がだめなら名古屋に行くさ」式の融通は効かず、先祖代々からの生活方式を厳守するので、繁殖地や渡り経路上の休息地の自然環境が悪化すると対応が下手で、犠牲者が多く出たりします。ツル、ハクチョウ、ガン、アホウドリ、オオミズナギドリにテレメーター（人工衛星経由で情報を地上に送信）を装着、研究室でリアルタイムで渡り鳥の動きを確認できる調査を山階鳥類研究所などが実施しています。その主目的は絶滅危惧鳥種の保護対策の一環として行っているのですが、何千キロもの広い地域にわたる渡り経路上の自然環境の状態の良否判定にも役立っています。近ごろ地球環境保全の問題が重視されるようになりましたが、今後こうした問題の解決に渡り鳥のデータの活用が一層考慮されるものと思われます。

3. 渡り鳥と疾病

アフリカのウガンダで 1937 年、老女の血液から初めて分離検出された西ナイル脳炎・ウイルス（WNV）はその後ヨーロッパやアジアに伝播し多くの感染者や死者が記録されましたが、新大陸での記録は長い年月にわたり皆無でした。ところが 1999 年 5 月、ニューヨーク市クイーンズ特別区で初めて感染患者が確認され、新世界最初の記録となりました。そして同年 10 月までに WNV 感染患者 62 名（内 7 名死亡）の発生が病原体分離により確認されました。これら人間の感染症例の 70% はニューヨーク市の僅か半径 10 キロメートルの区域で発生していますが、同時期、同地域にアメリカカラス（*Corvus brachyrhynchos*）を主とする約 80 種の野鳥の異常死が発生、死体から WNV が分離検出されました。関係機関の推定によると同市周辺で種々の野鳥数千羽が WNV に感染死亡したとされ、また野鳥に限らず動物園内飼育のチリーフラミンゴ、グアナウ、ハクトウワシ、ニジギジ、シロフクロウその他にも同時多発的に発生したことが報告されました。以来 2002 年まで、北はカナダ、南はフロリダ州にまで WNV 患者の発生範囲が急速に広まりましたが、アカイエカを媒介役とする WNV は、インフルエンザ・ウイルスの場合と同様に渡り鳥がこれを遠方まで運搬する重要な役割を担っている疑いが濃厚で、諸種の研究調査が実施されています。物語が少々横道に外れてしまいましたが、WNV が早晚日本に上陸することが確実視されていますので、敢えて付言させて頂きました。成田空港などでは WNV 汚染地域からの旅行者に焦点をおいて警戒を強めていますが、人間だけでなく鳥類特に渡り鳥にもご注目を、と申し上げたかった次第です。

4. わが国におけるレーダー鳥学への理解

以上述べて来た鳥類の謎解き調査研究は、大きく野外と研究室の研究に分けられますが、純鳥学あるいは基礎鳥学の範囲に限っても分類学、遺伝学、生理学、生態学、行動学、医学、鳥類標識調査、等々実に多様な角度から追求がなされており、さらに応用鳥学的調査研究も多岐に亘って行われています。こうした鳥類の研究のなかでレーダーによる方法は他の方法では到底得られない情報を取得出来る特長があることから、英国、スイス、スウェーデン、オランダ、ドイツなどの欧州諸国ならびに米国、カナダ、イスラエルその他で鳥類の移動や渡り行動の解明などに盛んに活用され成果をあげています。しかし、わが国は残念ながらこの面における立ち遅れが著しい、というのが実状です。

過去約 40 年の間に、筆者は気象庁や自衛隊のレーダー・サイト、あるいは電機メーカーでレーダーに携わっておられる何人かの方々と会ってお話する機会がありました。レーダーによる鳥類行動の研究、すなわちレーダー・オニゾロジー（鳥学）に関して強い興味や関心をお持ちの方は少なく、まして関係情報を欧米などから十分収集し、実状をよくご存じの方とか、自ら鳥学研究者と連携して日本にもレーダー鳥学グループを創設、発展させようと言うような方には遂にめぐり逢えませんでした。東京商船大学の林教授に初めてお会いした際も教授からお聞きしたのは「日本では確かにそういった人は少ないと思う」というお話でした。わが国ではレーダーが鳥類研究にどんなに有効であるかを一般の人が知らないのは無理として、レーダーの専門家の中には一人や二人、レーダー鳥学に詳しいとか、経験あるいは強い関心があるとかの方がおられることを期待していた私は教授のお話を聞いてガックリしました。日本の縦割りの社会風土の中では専門家が他の分野に首を突っ込んで仕事するとなるといろいろ障害があり、これは仕方がないかな、とは感じましたが、しかし、レーダーの専門家の一人でも二人でも、現状を理解し、興味を持ち、研究指導とか協力をされるということが実現すれば、この惨憺たる現状も忽然と好転する可能性はあると思いつきました。走り出したら猛進して遅れを取り戻し、さらに世界のトップを争うまで駆け上った多くの実例が示す通り、素晴らしい能力が日本社会の土壤中に常在している筈ですので、これは筆者の単なる思いつきとか独断偏見として沈黙しているより、どなたかに訴えようという気が起きた次第です。

本誌「電波航法 No.43 p.2(2002)」に茂在寅男第五代会長が「レーダー技術者の懐古談では日本はレーダーでアメリカに負けたと言う話がよく出る」「実はレーダーの基本原則も基本技術も日本の学者達によって世界に先駆け解明されていた云々」と述べられている記事を見

した時、筆者も思わず戦時を振り返り、「レーダーで敗戦」を認識したのは海軍軍人より専門家の方が強いのかも知れない、と思いつきました。先の世界大戦で海上の戦闘に参加した海軍軍人の多くも「日本はアメリカにレーダーで負けた」と思っています。ツラギ海戦のように狭い海域で、レーダーの威力が発揮困難な突然鉢合わせした出会い頭の夜間遭遇戦では、月月火水木金金の猛訓練をつんだ日本海軍が肉薄魚雷攻撃して大戦果をあげました。しかしレーダーが威力を発揮する広い洋上の海戦や目視困難な夜間とか濃霧下の戦闘ではわが艦隊は概ね敗退の憂き目を味わいました。戦闘のさなか海軍軍人は、味方のレーダーがもっと優秀ならば負けはしないものをと悔しがったものです。学生出身の予備海軍士官だった筆者は北千島の前線において濃霧下、夜間を問わず米軍から有効な艦砲、空爆攻撃を受け、対するわが海軍のレーダーは「ボケ電探」だった苦い記憶がありますので、茂在教授の記事に強く感銘したわけです。そして「日本の鳥学も欧米諸国にレーダーで負けた。それで随分損をした」と思わずボヤキたくなりました。

5. 欧米におけるレーダー鳥学的研究調査

英国の鳥学者ラック博士によると、初めて鳥類がレーダーに探知されたのは 1940 年の春で、クライストチャーチにある波長 50 センチメートルのレーダーがカモメ類をブラウン管に映し出しました。その翌年 10 センチメートル波のレーダーが開発されましたが、この短い波長のレーダーによって海鳥は実に厄介な存在でした。レーダーが海鳥をキャッチして、本来の使用目的（主に軍用）を果たせなくなる恐れが生じたからです。鳥がレーダーの関係者を慌てさせたのはこれが最初らしいのです。戦時中のお話です。ドイツ軍が海を越えた大陸から打ち込む V 1 号ロケット弾が飛んでくるたびにレーダーのスクリーンに正体不明の円形映像が生じました。これは敵がレーダーをごまかすための新手かも知れないと疑いましたが、よく調査した結果、大群で�していたホシムクドリが V 1 号の上空通過に驚いて一斉に飛び立ち、その鳥群のエコーがレーダー画面に映じた、と言うわけでした。レーダーの改良が進むと共に鳥が頻繁にスクリーン上に現れ、100 キロメートル先の鳥も捕捉されるようになり、本来の目標（飛行機）との区別に関係者は頭を抱えました。こうした鳥の映像をエンジェルと呼ぶことにしましたがエンジェルと思ったら実は敵機だ、となると困るので、軍当局は鳥学者の参加を要請、エンジェル識別法を研究することになりました。こうした契機により貧乏な鳥学者は渡り鳥研究に当時兵器だったレーダーに関係する機会を得ました。そしてカモメなどの鳥群のエコーがレーダー画面に映し出されることを知りました。エドワードグレイ研

研究所所員のデービット・ラック博士も戦時中、イングランド南岸に配置された軍隊のレーダーサイトに協力参加し、その間にレーダーが将来鳥学研究において有効かつ重要な道具となることを予感しました。しかし、最初にレーダーで鳥の行動を確認し、学会に報告したのはスイスの学者ズッターでした。彼はチューリヒ空港のレーダー画面に映し出される大きなエコーは渡り鳥の大群であり、スズメ目に属する鳥であると、1957年の学会誌に発表しました。ラック博士は同研究所の所長に就任してからレーダーを大いに活用して研究をダイナミックに進め、渡り鳥研究史上に不滅の業績をあげました。その頃レーダーを用いた研究は鳥学会に一大潮流となって広まり、ヨーロッパ各国、アメリカ、カナダ、イスラエルなどでそれぞれの国の鳥学者がレーダー使用の機会を掴んで研究を競い合い、純鳥学、応用鳥学の両分野で価値の高い研究成果が1950年代後半から1980年にかけて続々と怒濤のような勢いで発表され、レーダー鳥学という新しい研究ジャンルが認知されました。

6. 渡り研究用のレーダー

米国野生生物保護局の広報誌「鳥類の渡り」(Migration of Birds 1979)では、渡り研究用のレーダーを次の3タイプに分けています。

1. 見張り用レーダー(Surveillance radar): 一般によく使われている空港や船舶に設置されているのと同タイプ。広い範囲をスキャンして、広域に亘って移動する鳥群の飛翔方向、経路、時間などを捕捉する。

2. 追跡用レーダー(Tracking radar): 一つの目標(航空機、鳥類)を定めてロッキング・オンし、大空を横切って飛翔する目標を継続して追跡、記録表示する。

3. ドップラー・レーダー(Doppler radar): 交通取締りに関して走行車の速度測定に採用されているのと同タイプ。鳥の飛翔速度測定に有効。

さて、筆者は以前に気象観測レーダーを見学したことがあります。これは前述3タイプのどれに入れるのか少し迷いました。発射電波角度が広い普通の船舶レーダーはPPIだけで目標の高度は測定不能だが気象レーダーはRHIもあるので可能だ、と聞きました。そうすると両者は少し異なりますが、それでも同じタイプ1に分類して良いのか。こうした分類は何時かどなたかにお尋ねしたいと思っています。レーダー技術が著しい進歩をしている一方、レーダー活用の鳥類の研究も進歩し多様化していますので、上述3タイプだけに分けるのは今や不十分かも知れないと思いました。

また、これは筆者が約25年前米国バージニア州にあるNASA基地を内務省野生生物局のロビンズ博士の案内で訪問した際の経験です。当日は米ソ共同計画の人工

衛星が打ち上げられ、その作戦が一段落した休憩時間に若い科学者が自分のレーダー管理室に筆者を招き入れてくれました。この若い研究者はそこで2種のレーダーと望遠鏡付ビデオカメラを駆使して、1羽のヒバリの飛翔を観察していました。レーダー画面にはヒバリの姿勢、向き、時間経過に従って変化する翼の搏動数が波形として表示されていました。愚かにも筆者はこの時彼が使ったレーダーが何の種類の詳しくは確認しませんでした。どんな種類でどんな性能を持つレーダーだったのでしょうか。彼が「人工衛星を見張るレーダーだが、任務の仕事が終了して空いている時間に鳥類研究に活用させて貰っているのだ」と言っていました。それを聞いてNASAの寛大さにびっくり仰天しました。日本における気象庁、航空、防衛庁関係その他で使用する種々なレーダーにもかなり「空き時間」があるはずですが、もし彼のような利用をしたら多分職務違反か逸脱だと誰かに叱られると思います。規制が厳しいため部外者の鳥学者のアプローチがさらに困難なわが国の状態をつい思い浮かべてしまいました。さてちなみに、この若い研究者は「レーダーの弱点は、画面上のエコーが鳥類だと判っていても、その鳥種を断定することは熟練者でないと難しい。そこで鳥種判定用ガイドブックを作ることにになり、今その基礎資料蓄積のためグループを組織して努力している」と教えてくれました。

このたび筆者は電波航法研究会の皆様のお話を承った際、大地の僅かな盛り上がり数センチ以下でも空からレーダーで測定することが可能で、火山噴火や地震の予知にも役立つなど、驚嘆に値するレーダー技術の進歩発展ぶりを初めて知りましたが、もし、こうした素晴らしいレーダー技術を渡り鳥研究に導入できたら、欧米に比べ沈滞気味の日本の渡り鳥研究も必ず大きな発展を見せるに違いないと思いついた次第でございます。

7. バードストライク・委員会 (Bird Strike Committee)

人間と野生鳥類との共生の重要性は今や一般の常識ですが、野生鳥類が人間に不利益な存在に見える場合、どう対処すべきか、と言う問題があります。その中の一つで大きな問題とされているのは野生鳥類と航空機が衝突する問題です。時には航空機墜落、死傷者多数などと言う事故も発生します。対策として人命保護最優先は当然ですが、それだけに執着した単純幼稚な発想で対策を講じると大きな誤りを犯すことになりますので、担当官庁、空港関係、理工学関係、動植物学関係その他の専門家や識者が集合した委員会が各国内または二国間、多国間に作られ対策を講じています。筆者は関係者の勧めに応じてオランダのアムステルダム大学で開催の国際バードストライク・委員会(International Bird Strike

Committee) 2000 年度大会にオブザーバーとして参加しました。この大会では各国の空港における事故発生状況、鳥類飛来防止処置(ガス砲、忌避剤の使用など)、空港周辺の草地管理、有害鳥種の生態等々に関する研究調査結果の発表、討論などが行われました。筆者はその中でレーダー鳥学あるいはその応用に関する発表が必ずあることを知り、是非そこで学びたかったので出席しました。そしてレーダー鳥学の研究では国際的に有名なイスラエルのテルアビブ大学教授ヨシー・リーシェム博士などから論文のコピー、CDの資料を頂戴したり、アドバイスを受けて目的を果たして帰って来ました。この大会ではリーシェム教授のほかにレーダー鳥学関係の発表がいくつかあり、各国の空港でレーダーが鳥との衝突防止にごく普通に用いられている事を知りました。パイロットは天気予報ではなく、渡り鳥予報(警報)を空港レーダーサイトから受け、安心して操縦を続けるとか、米国では何十箇所もの空港が鳥類監視レーダーの情報網を結び、飛来する国内外の航空機に鳥情報を提供、衝突防止を計っていることも学びました。ちなみにこの大会には約30ヶ国から多数の委員が参加していましたが日本からは空港と無関係の筆者だけでした。そしてコロンビアから来た一人の若い参加者から「バード・ハザード防止の問題解決には国際協力が必要だが、なぜ日本からもっと参加しないのか」と問われて返事に窮しました。

8. レーダー鳥学の解説書

欧米で出版された鳥学(鳥類学)参考書の渡り鳥研究の項にはほとんど例外無くレーダー鳥学の解説が含まれており、中にはかなり詳しく述べているものも多く見られます。権威ある学会として有名な英国鳥学会(British Trust Ornithology)が1964年に発行した「A New Dictionary of Birds」にもかなりのスペースを割いた解説、参考文献表が見られます。そして鳥類の渡り解説書にはレーダー鳥学についてさらに詳しく、具体的な記述が見られます。「Bird Migration: Thomas Alerstam. Univ. of Lund, Sweden 1982.」や「Flight Strategies of Migrating Hawks: Paul Kerlinger. Univ. of Chicago 1989」また「Bird Migration: Chris Mead. British Trust for Ornithology 1983」などの渡り鳥解説書がそれで、専門家の助言を頂かないと素人や無経験者には十分理解できないような実技的、技術的の点まで述べている著作もあります。極め付けは「Radar Ornithology: E. Eastwood: Methuen and Co. Ltd. 1967」です。少し古い本ですが正にレーダー鳥学の教科書ともいべきもので、レーダーそのものの原理から始まってレーダー鳥学の全てに及んで解説しています。

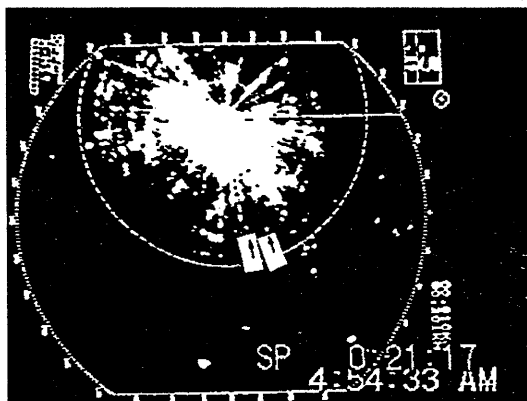
9. わが国の実状

筆者は上述の図書その他や、さらに孫引きで得た資料をたよりに、レーダーを使用して鳥類の行動を追跡する調査を開始したいものとチャンスを探していたところ、農林水産省農業研究センター中村和雄博士のご配慮で同センターが実施予定の「農地における主要鳥類の地域個体群動態の解明」計画の「レーダー等を用いたモニタリング手法の開発」の研究を受け持たして頂き、平成2年度より実施することになりました。レーダー使用に必要な無線技師ライセンス取得などは一応準備完了してはいたのですが、それまでは一切レーダーに触ったこともない素人です。先ず少ない予算内でのレーダー機種の選択、無線局開局許可取得の問題、等々の対処がかなりの難問でしたし、本業の鳥類標識調査(環境庁委託の全国規模調査)も超多忙というわけで、目的達成の途上では種々な障害を克服しなければと覚悟しました。欧米の水準が富士山頂上とすると当方は山麓の登山入口、道は遥か雲の上の先きという感じでしたが、それでも鳥の行動について観察、標識調査など従来の方法では得られなかった新知識、新体験が調査のたびに得ることが出来ました。そして予算、時間、労力が許せば、目的は必ず遠くない将来に達成出来ると闘志を沸かしたものです。

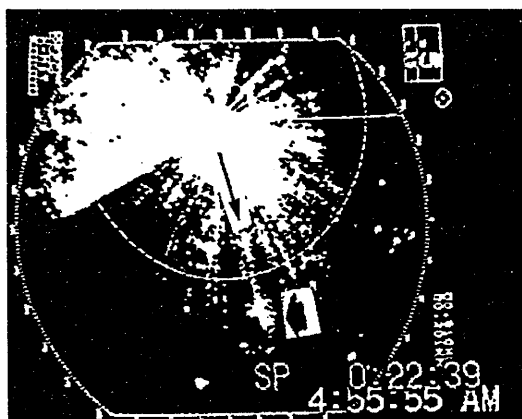
予算、時間、労力の不足のなかで筆者のチームが実施した調査の結果は先進国の水準から見るとあまりにも初歩的だと自認しますが、これがわが国におけるレーダー鳥学の実状です。それでも、わがレーダー鳥学には明るい展望があることを示す実例があります。例えば三番瀬の例です。ここは開発と保護の問題が激しい争点となっていた干潟で、千葉県は問題の決着を付けるため干潟の自然環境の調査を実施することとし、その中で山階鳥類研究所はレーダーによる干潟鳥類の行動調査を受け持ちました。

問題の焦点となったのはカモ類の夜間行動でしたがこれを明確に示す証拠資料が観察(ヘリコプターの空中観察を含む)や暗視カメラ(ナイトスコープ)観察その他の調査では得られなかったのですが、レーダー調査の記録は夜間行動を明示する証拠となり、これらを勘案して千葉県は三番瀬開発を見合わせたということでした。

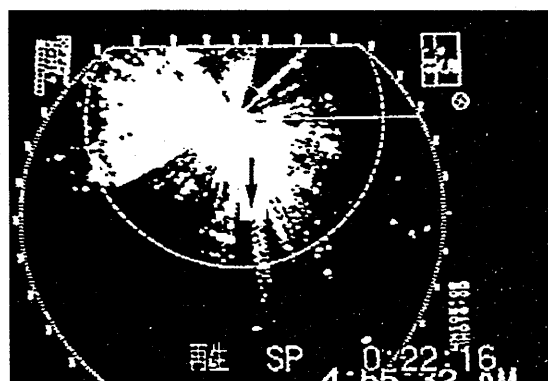
以下に千葉県つくば市で実施した調査の鳥類エコーを示す写真を掲げました。ご参考になれば幸いです。



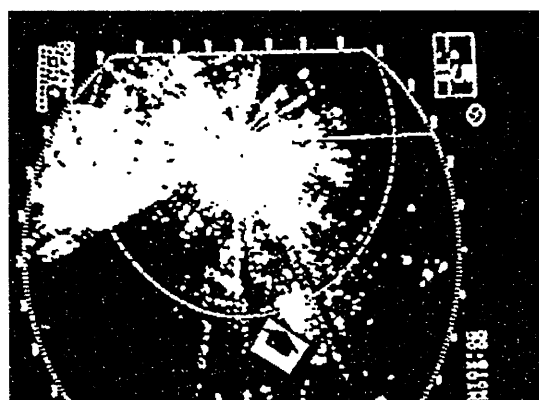
1992/8/19 つくば市ムクドリ塀(レーダーから 12 時方向,約 200m) 塀離れを始めるムクドリの小群(矢印が示す小点) 時刻 04:54:33



1992/8/19 つくば市ムクドリ塀,5 秒前まで帯状に進展して行った群れ先頭はそれ以上進まず,隊形に変化が生じた。



1992/8/19 つくば市ムクドリ塀,ムクドリの群れは続々発進,そのエコーは主として 5 時~6 時方向に拡散.矢印の方向に密集隊形で伸びる帯状エコーが目立つ



1992/8/19 先頭集団の編隊再編成はさらに進み,団子状に纏まる(AM04:56:11).数秒後,団子状エコーは消滅したが,これは餌場への着地か,低空飛行に転じたためか不明

電子基準点を利用したリアルタイム測位

国土交通省

国土地理院

測地観測センター 衛星測地課長

松村 正一

Syouichi MATSUMURA

1. はじめに

航法と測量というのは、共に位置を求めることに主眼があるものであるが、かつては全く次元の違う技術分野であった。航法は移動体の測位を主な目的とするため、いかに高精度であっても測位に時間を要しては意義が失われる。一方の測量については、精度が何よりも重要であって、測位に要する時間は比較的重要ではない。つまり、測位精度と測位に要する時間の関係において、下の模式図のような棲み分けが行われていた。

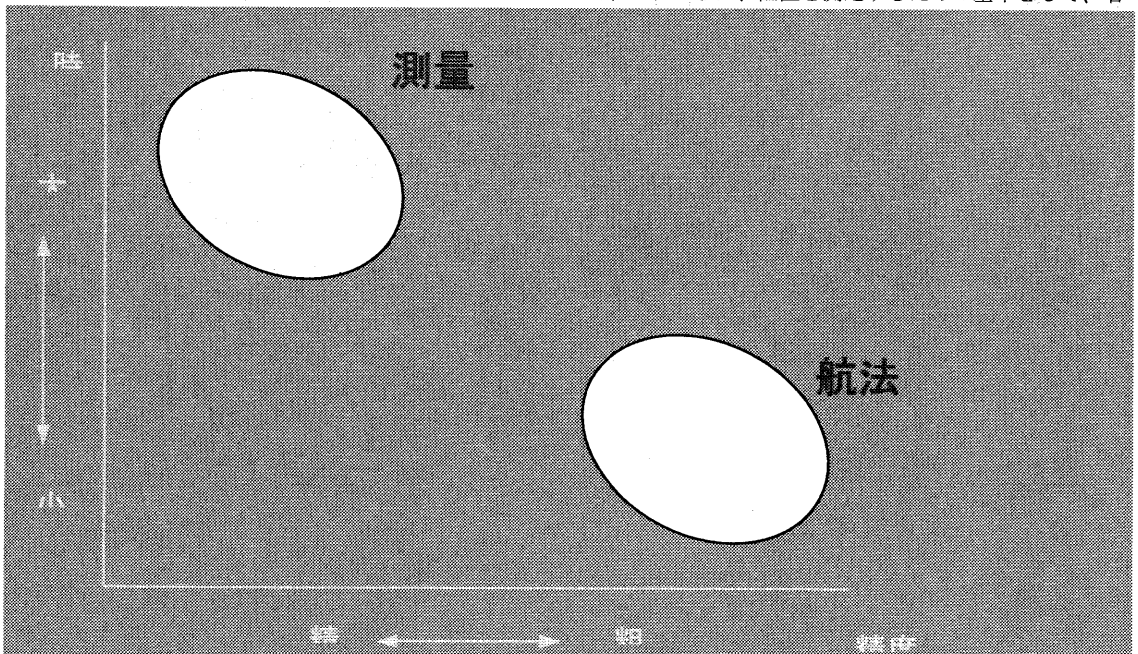


図-1 航法と測量の関係について

ところが、近年の GPS の登場を期に、航法の精度向上と測量のリアルタイム化が進展した結果、両方の境界がなくなりつつあるのではないかと感じさせられる。本稿では、測量のリアルタイム化の一例として、国土地理院が設置している電子基準点を利用した仮想基準点技術を紹介し、今後の展望を述べることとする。

2. 背景 —電子基準点に関する民間の期待—

平成 14 年 4 月から世界測地系を位置の基準とする改正測量法が施行され、電子基準点が公共測量等に使用できるようになった。電子基準点の位置は世界測地系に基づいて測定されていたため、測量法が改正される以前は公共測量には一切使用できなかったのである。これまで、地震や火山活動に伴う地殻変動の観測監視など防災や科学技術的用途には大いに活躍してきた電子基準点であるが、これからは、位置を測定するための基準として、名

実ともに三角点と同様の「基準点」となるわけである。電子基準点の存在は益々重要なものとなっていくことが予想される。

このような流れの中、電子基準点に対する民間の期待も非常に大きなものとなっている。後で述べる仮想基準点技術が実用段階に入って以降、特にその傾向に拍車がかかった感がある。

平成 12 年 8 月に社団法人経済団体連合会が策定した

「一つの電子政府に向けた提言」の中では、新事業・新産業創出を促進するプロジェクトとして地理情報システム(GIS)を紹介した上で、「リアルタイムの高精度位置情報は、災害対策、ITS、カーナビ、デジタル地図など、国民生活や企業活動の基本的インフラとして期待できることから、電子基準点の拡充、高機能化や適切な保守等を図る必要がある。」としている。

平成 13 年 11 月 27 日に民間企業 6 社が発起人となって「電子基準点を利用したリアルタイム測位推進協議会」が設立されている。この協議会は、国土地理院や関係する機関に対して、電子基準点リアルタイムデータの民間開放の早期実現を要望している。協議会には、通信事業者、測量および航測会社、ゼネコン、GPS メーカー、電機メーカー、また大学研究機関など 90 以上の企業や団体が参加している。

3. 仮想基準点方式とは

1センチメートル程度のリアルタイム測位精度を実現する可能性のある仮想基準点方式について紹介する。仮想基準点方式は、位置を測定したい地点に設置した GPS 受信機（以下、「移動局」という。）のデータを用いて、移動局の近傍に実際には存在しない仮想的な基準点を設置し、そこに実在の GPS 連続観測局を設置したなら受信できたであろう GPS 信号を周囲の実在する GPS 連続観測局において受信した GPS データから生成して、移動局との相対的な測位を行う技術をいう。仮想基準点システムには、その基本的な原理によって以下の3つの方式に分類される。この方式により 10 キロメートル程度の有効範囲しかなかった RTK(リアルタイムキネマティック)によるリアルタイム測位の限界を超えて、平均点間距離が 20 から 25 キロメートルの電子基準点を用いて全国どこでも高精度測位が可能となるのである。

3. 1 仮想基準点単独生成法

仮想基準点単独生成法は、3つの工程から構成される。まず、移動局の概略位置を求める必要がある。これには移動局における単独測位または DGPS による観測結果が用いられる。次に、周辺の電子基準点の観測データをベースに移動局の近くに仮想の基準点を設置し、その位置情報とそこで得られるであろう観測データを生成、伝送する。最後にこのデータを用いて RTK 測位を行うのである。

この方法では、移動局と仮想基準点データを生成・伝送する制御センターが必要であり、制御センターと移動局の間の双方向通信方式が必要である。移動局側では大きい計算は不要のため、移動局を簡略化できる一方、ユーザ数が極端に増加した場合には制御センターの負担は

大きくなると思われる。

3. 2 グリット補正法

グリット補正法は、基準点ネットワーク内にあらかじめ決められたグリットにおいて、基準点の観測データおよび補正値を計算しておき、移動局が一番近いグリットを選択して、その観測データと補正値を補間計算によって位置を計測するものである。移動局と仮想基準点の距離は短い方が良いため、より正確な測位には密なグリット点が必要である。これを実現するには大量な補正データが必要となる。この方法では、全グリット点の補正データが各ローパーに送信されるが、ネットワーク内の移動局に同じデータを送信するため、制御センターから移動局までは放送のように片方向通信のみで良い。

3. 3 エリア補正パラメータ法

エリア補正パラメータ法はグリット補正法と同様、双方向通信方式ではなく片方向通信方式によるものである。この方法は、基準点ネットワークを傾く平面と見なし、面補正関数により決定される補正パラメータを移動局に送信する。高次項の関数は複雑な補正面をよりよくカバーできる。この方法では、データの通信量は多くないが、移動局側で各自の計算を要するため、処理を行う専用ソフトが必要となる。

4. 平成 13 年度に実施した調査研究結果の概要

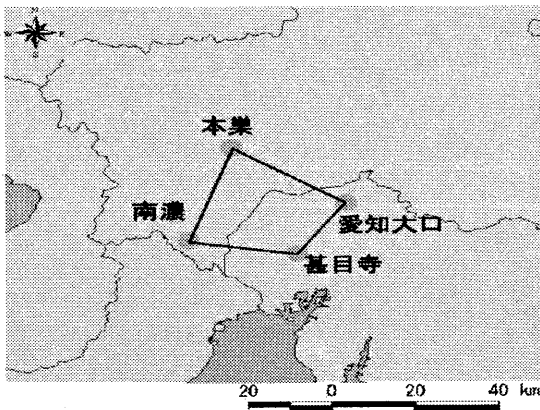
平成 13 年度には、平成 12 年度に引き続き、国土地理院の電子基準点リアルタイムデータを実験参加者に提供し、実験参加者が仮想基準点データの作成配信や実際の測位を行った。ここでは、この公開実験の結果とともに国土地理院部外研究員他による研究を含めて平成 13 年度に行った調査研究の結果を紹介する。

4. 1 電子基準点網の大きさ

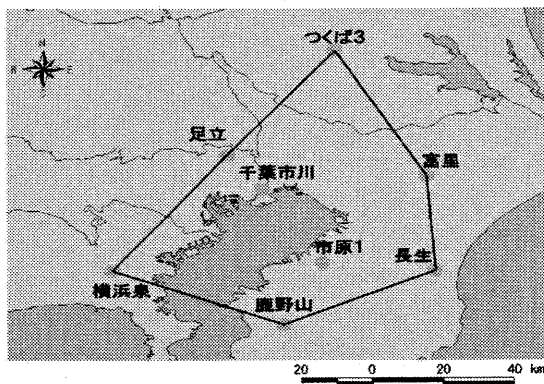
仮想基準点方式において、基準となる GPS 連続観測局の点間距離は 50 キロメートル程度であっても測位可能とされている。電子基準点は平均点間距離 20 から 25 キロメートルで設置されているため、これを基準とすれば全国を網羅した仮想基準点方式による測位サービスを実施することは可能である。網の大きさを様々に変えて、移動局の測位結果にどのような影響を及ぼすかを調査した。

結果は、網の大きさを変えても測位結果等には顕著な相違は見られなかった。しかしながら、我が国は4つのプレートから構成されており、地殻変動が非常に大きい地域である。電子基準点の座標値がいかに正確であっても、時間とともに変動が生じてしまう。実用的には測位

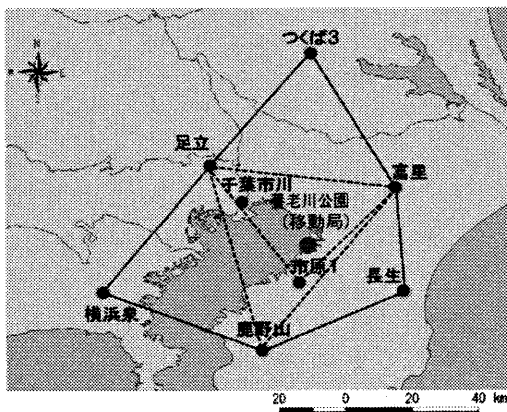
誤差を最小限とするため、移動局の最も近傍にある電子基準点を基準として仮想基準点を生成することが重要であろう。



図－2 実験に使用した電子基準点
(岐阜地区)



図－3 実験に使用した電子基準点
(関東地区)



図－4 ネットの大きさによる影響
仮想基準点を生成する電子基準点の組み合わせ
を様々に変更して、結果の評価を行った。

4. 2 電子基準点の座標値

基準となる電子基準点の座標値に誤差があった場合、測位結果にどのような影響を与えるかを考察することは重要である。時間が経過すれば、地殻変動のために、電子基準点の座標値も真値とは乖離していかざるを得ない。

リアルタイムの仮想基準点方式による測位と同様のプロセスを記録したデータに基づいて行う後処理仮想基準点方式がある。この後処理仮想基準点方式を用いて、電子基準点の座標値をさまざまに変動させて移動局の測位結果にどのような変動が生じるかを調査した。

結果は、電子基準点の座標値の乖離が数センチメートル程度であった場合には、移動局の座標値は、同じ電子基準点を用いて静的測量による網平均を行って求めた座標値と極めて整合的であることが分かった。また、電子基準点座標値の乖離が1メートルを越すような場合には仮想基準点を生成することができなかった。この結果は、今後の電子基準点の座標値の維持管理をどのように行うかという観点からも非常に重要である。

4. 3 電子基準点網と移動局の位置関係

仮想基準点において生成されるリアルタイムデータは、周辺の基準となる GPS 連続観測局全てのリアルタイムデータを平等に扱って生成するのではない（エリア補正パラメータ法を除く）。その中の1点（「プライマリステーション」とも呼ばれる。）のリアルタイムデータを元に、他の GPS 連続観測局のリアルタイムデータを加味して生成されるのである。通常、プライマリステーションは移動局の近傍の GPS 連続観測局が使用されるから、電子基準点網のどこに移動局が位置するかによって、測位結果に影響があることが想定される。この効果を検討するため、電子基準点網と移動局の位置関係により、測位結果への影響がどの程度発生するかを調査した。

結果は、特段の影響があるとは認められなかった。また、移動局が電子基準点に極端に近い場合には、その電子基準点を用いて直接 RTK による測位を行った場合と同様の測位結果が得られた。この結果は、プライマリステーションを用いるという仮想基準点による測位方式から予想されることと整合的である。

4. 4 安定性及び再現性

リアルタイム測位に限ったことではないが、GPS を利用した測位を行う場合に最も重要なのは測位の安定性と位置の再現性であろう。実験でも、受信する GPS 衛星の組み合わせが変更される際に測位結果に顕著な変動が見られる場合や、測位ができない時間帯が発生するケースが見られた。また、確たる原因がないにもかかわらず、

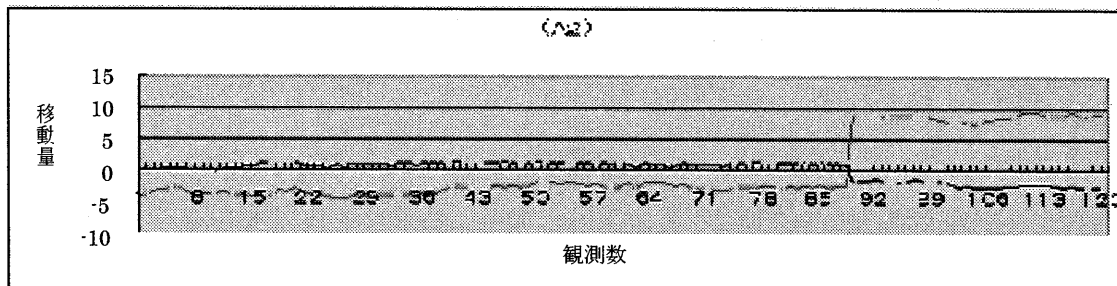


図-5 測位結果が不連続となった観測例

測位結果に数センチメートルの変動が見られたものもあった。

仮想基準点方式による測位結果の安定性・再現性を調査検討することは、今後、実際に測量に応用する場合に座標値の検定・検証を行う場合にも非常に重要である。

4.5 移動体への利用

電子基準点を利用したリアルタイム測位は、測量だけでなく、移動体測位への利用が重要である。公開実験では、レールの上を移動するクレーンに搭載された移動局や車両に搭載された移動局を仮想基準点方式と DGPS を併用して測位する実験が行われ、良好な結果が得られている



図-6 移動体の観測例（その1）
クレーンに取り付けた GPS によって観測を行った。

4.6 その他

平成 13 年度の公開実験に際しては、電子基準点観測データの瞬時停止現象が見られた。1 時間に 3600 回毎秒切れ目なく連続的に送られるべきリアルタイムデータが一時的に途切れてしまったのである。今回の実験の瞬時停止ではシステムがダウンしてしまうケースもあれば、大きな影響なく位置情報サービスを行っている場合もあった。実験の際発生した瞬時停止の原因は既に突き止められ、現在のシステムでは解決されているものであるが、仮想基準点データ提供システムの頑強性は今後の位置情

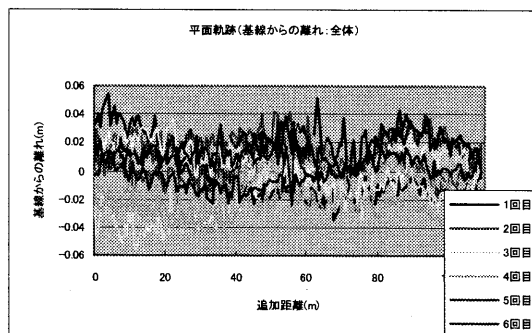


図-7 同左の観測結果
移動による直線成分を除去した残差

報サービスにとっても重要な課題となる。

GPS を利用した測量一般に関する問題であるが、GPS による測位結果が絶対値として正しいことが保証されない場合がある。たとえば、我々が有珠山で経験したことであるが、電子基準点周辺の木を 1 本切ったところ、その電子基準点の位置が 1 センチメートル程度変動してしまった。リアルタイム測位も含めて GPS を利用した測量は 1 センチメートル程度の精度を要する小範囲の測量には適切でない場合があると想定される。ただし、GPS を用いた測位には、容易に国家基準に準拠した座標値を取得できるという利点がある。作業効率性を考えると、小地測量には従来型測量を組み合わせたハイブリッドな測量方式が有効かも知れない。

平成 12 年度の実験結果でも見られたが、今年度の実験でも、高さ方向に静的測量に比べて仮想基準点による測位結果との数センチメートルの較差があることが確認されている。想定されるひとつの原因は、アンテナの位相特性の相違によるものである。電子基準点を利用した測位の場合には、異機種 GPS 受信機を利用することが一般的であるため、取り扱いには十分な注意が必要である。

5. 平成 14 年度以降の国土地理院の計画

平成 14 年度には、平成 13 年度第二次補正予算「電子国土位置情報基盤の整備」、平成 14 年度予算及び構造改革特別枠予算「リアルタイム GPS 民間活用基盤の整備」により、リアルタイム化を含めて、電子基準点の機能の大幅な拡充強化が図られる。これらの施策が、測量と測量を取り巻く分野における大きな転換点を生み出すことが予想される。

電子基準点リアルタイムデータ提供には電子基準点の常時接続が必要となるが、通常の専用回線を電子基準点と国土地理院の間に引くのではランニングコストが膨大となり実用性に欠ける。電子基準点の常時接続にあたっては、電気通信事業者により提供されており、比較的安価に効率的な接続が可能な仮想閉領域通信網 (IP-VPN) を電子基準点の常時接続に採用することとしている。IP-VPN は、インターネットプロトコルを用いて、あたかも独占的にインターネットを使っているかのように回線を利用するサービスである。インターネットに比べて安定性・安全性に優れているとされている。国土地理院では IP-VPN から電子基準点リアルタイムデータを配信機関に分岐させることにより、配信機関から民間への提供を実現することとしている。

国土地理院では 5 月から、関東・中京・京阪神地域等の大都市を中心として電子基準点 200 点のリアルタイムデータを民間に開放することとしている。平成 14 年度中には全国的に電子基準点についてリアルタイムデータを提供するシステムを完成する予定である。加えて、電子基準点の数も従来の 947 点から 1200 点に拡充されることとなる。

これにより、地殻変動の観測監視の更なる充実が図られることはもとより、ほぼ全国どこでもリアルタイム測位が可能となるインフラが整備される。

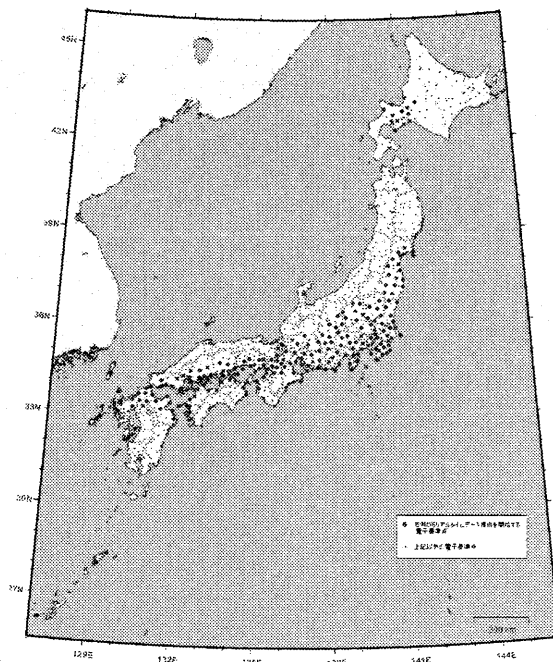


図-8 5 月からデータ提供を開始した電子基準点

RTK-GPS を用いた大型船の入港着岸支援システム

株式会社三井造船昭島研究所
部長 織田 博行

Hiroyuki ODA

1. はじめに

高度通信情報技術を活用することにより、船舶航行、港湾業務及び海上保安業務などについて、システム全体の体系的かつ総合的な改革が図られ、海上物流の効率性や海上交通の安全性の飛躍的な向上が期待されている。国土交通省においては、船舶の知能化、陸上支援体制の高度化及び情報ネットワークの形成など「海の ITS: 高度情報通信技術を活用した海上交通のインテリジェント化」に関する基盤構築のための技術開発を推進している。

海上交通の安全性向上の一環として、狭水路での衝突・座礁防止、輻輳海域における航行監視及び大型タンカーや危険物運搬船の入港着岸時の操船支援は、船舶の安全航行及び海洋環境保護などの観点からも重要である。このような要求に対して充分な精度で船体運動をモニタリングすることのできる測位システムとして、数 cm オーダーの測位精度を実現することができる RTK-GPS (Real Time Kinematics GPS) がある。

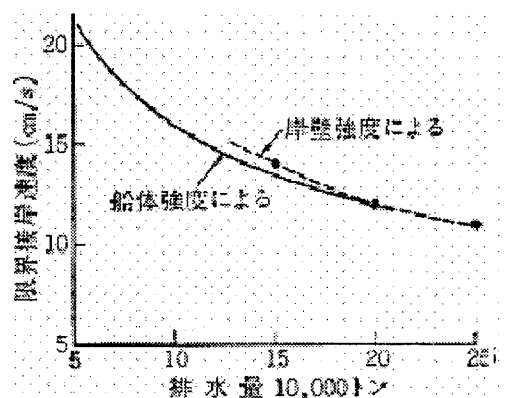
本稿では、RTK-GPS を用いた大型船の入港着岸支援システム（以下、本システム）の必要性、本システムの構成と機能及び運用例として、太陽石油（株）四国事業所における大型タンカーのアプローチから着岸・係留時の運航管理状況について紹介する。さらに、GPS コンパスや補強システムとして仮想電子基準点（VRS : Virtual Reference System）の応用についても概説する。

2. 入港着岸支援システムの必要性

大型船の入港着岸は、船長や水先案内人及びパースマスターがタグボートや警戒船に自船や周辺状況を把握しながら操船を支持しているのが現状である。特に大型船は船体の慣性が大きいため、波浪・風浪・潮流などの外乱環境下における低速航行時の操船では、高度な状況把握と熟練技術が操船者に要求される。さらに、タンカーや危険物運搬船が輻輳海域で航行する場合の安全運航は、衝突や座礁など海難事故の防止及び海洋環境対策の観点から運航会社のみならず地域社会からも要求されている最優先の課題である。

大型タンカーや LNG 船の着岸時には、船体のみならず岸壁設備の保護という面から毎秒数 cm という低速での接近速度が要求されるため、岸壁に設置した超音波や

レーザーを用いた速度計による速度表示が法令で定められている。LNG の入港着岸における一例を紹介する。関西国際空港北東に位置する泉北・浜寺航路（幅 300m、全長 6800m）は、大阪湾内随一の航路長を誇り航路内の水深は約 16m と深く掘り下げられて巨大船の入港が可能である。運航可能な最大船型は約 16 万総トン（26 万重量トン）、全長 300m、幅 60m の巨大タンカーである。図 1 に LNG 船（全長 272m、幅 47m、105,708 総トン）が、浜寺航路東側終点から泊地經由ドルフィンバースに着岸する状況を示す。本船の場合、ドルフィンバース設計強度面から毎秒 10cm 前後での接岸速度が要求されている。排水量と接岸速度及び棧橋からの距離と接岸速度の例を図中に併せて示す[1]。



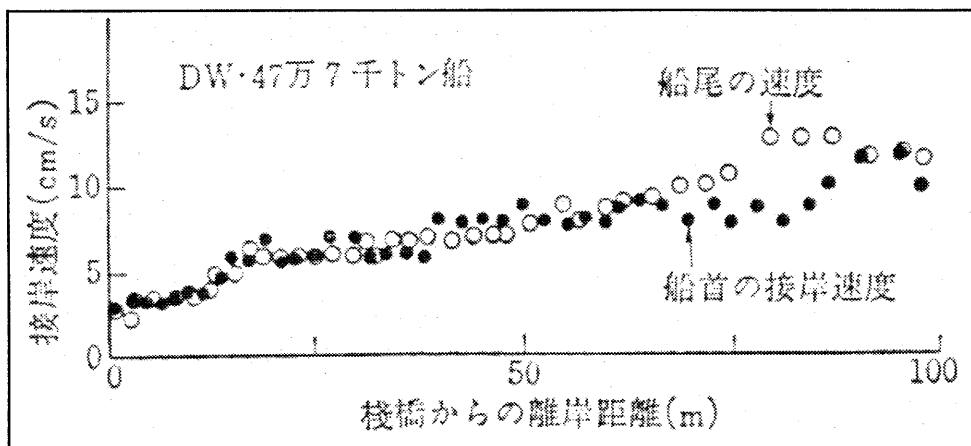


図1 接岸速度と船舶排水量及び棧橋からの距離の関係

図に見られるように船首・船尾の移動速度も監視対象であることが分かる。大型タンカーやLNGなど危険物運搬船の入港着桟及び荷役中の船体運動をリアルタイムに精度良く監視することは運航管理の観点から重要である。本システムは、対象船に自船位置を高精度かつリアルタイムに測定することのできる測位システムを装備することによって、船位や船体運動及び目的地までの残距離、接岸速度、船首方位及び推奨航路などの各種情報を提供することができる。更に基地局では同時に運航状況をデータベース化して管理することが可能である。

一方、国土交通省では海上輸送の高度化に向けた施策として「ITを活用した次世代海上交通システム」の構築を推進しており、その一環として「高度船舶安全管理システム構築」プロジェクトが実施されている。具体的なプロジェクトとして、ウェザールーティングシステム、フリートサポートシステム、衝突座礁回避システム、交通流制御システム、離着桟港内操船支援システム及び海陸一貫物流システムなどが実施されており、本稿で紹介するRTK-GPSを用いた大型船の入港着桟支援システムは、海のITSで提唱されている離着桟港内操船支援システムと目的を同じくするシステムと位置付けることができる[2]。

3. GPSによる測位

入港から着桟までを監視する本システムは、沖合からのアプローチでは数mの測位が可能なDGPS(Differential GPS)で充分であるが、つぎのような要求から数cmオーダーの測位が可能なRTK-GPSを採用している。一つは着桟時の接岸速度を毎秒数cmの精度が得られること、一つは本船搭載機器と接続することなく船首方位及び船体の任意位置での移動速度を推定する

ことである。GPSアンテナ1セットで得られる船舶の移動速度及び移動方向に関しては、前進速度が卓越している場合は移動方向と船首方位がほぼ一致するが、低速航行あるいはタグによる横移動時には移動方向と船首方位は異なることに注意しなければならない。このような理由から、本システムでは船首方位の推定を2セットのRTK-GPSを搭載することで実現している。

GPS(全世界的測位システム: Global Positioning System)は、1970年代にDOD(Department of Defense)により開発され1993年末に正式な測位システムとして完成が宣言され、全世界を24個の衛星でカバーしている。測位方法には、GPS単独、DGPS及びRTK-GPSがあり、DGPSとRTK-GPSは、図2のようにいずれも測位精度向上のためにコード情報或いは搬送波位相情報の補正情報を利用する必要がある。受信装置や受信環境に依存するが測位精度は、2000年に意図的に測位精度を劣化させていたSA(Selective Availability)が解除された後は、GPS単独で50~60m、DGPSで1~3m、RTK-GPSで数cmのオーダーで測位が可能となっている[3]。

特にRTK-GPSを利用する場合は、測位精度を維持するために基地局と移動局で同一の衛星群からの電波受信や電離層影響の最小化などを考慮する必要から両局間の距離は約10km程度が目安となる。RTK-GPSには、GPSの搬送波の位相差を利用する測位システムで静的な測位を行うスタティック測位と移動体の位置を測位するキネマティック測位に大別されている。キネマティック測位を、リアルタイムで補正処理を行う場合をリアルタイム・キネマティック(RTK-GPS)、さらにRTKにおける不確定要素(整数値バイアス)を移動しながら確定す

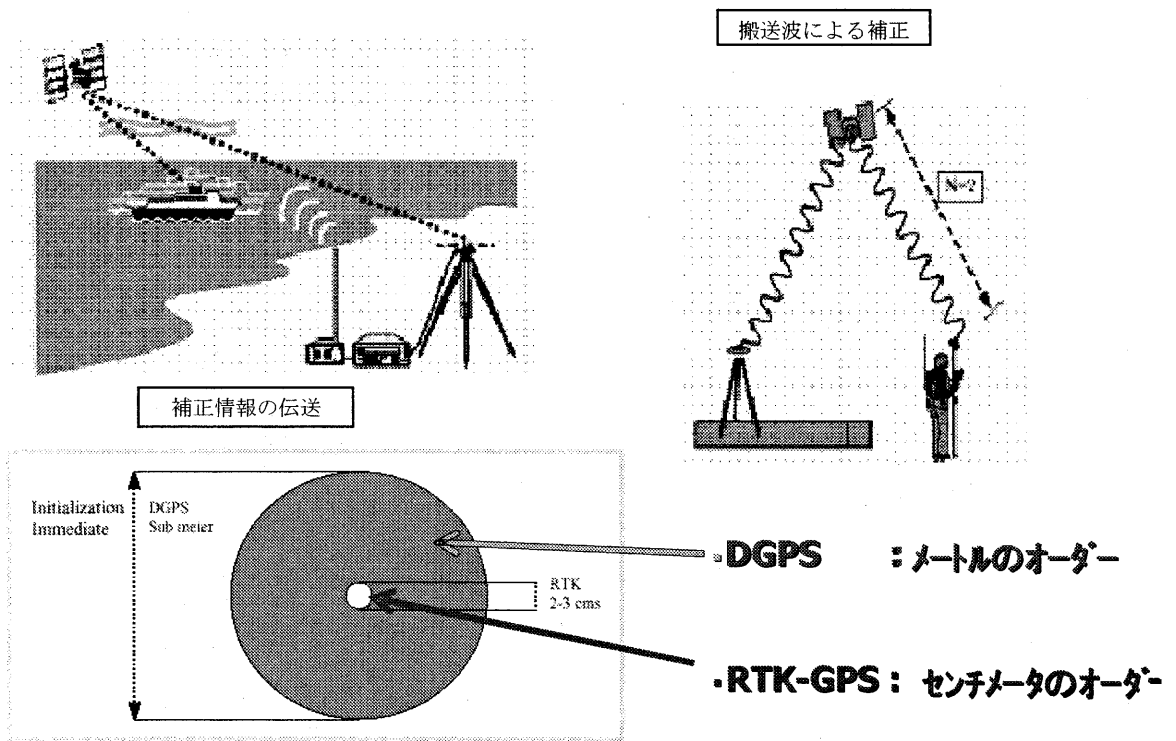


図2 補正情報を用いるDGPSとRTK-GPS

る手法が RTK-OTF (RTK - On The Fly) である[4]。

4. 入港着岸支援システムの運用例

本システムは、RTK-GPS を用いてアプローチから着岸・係留にいたるタンカーの位置及び船体運動をリアルタイムにモニタリングすることによって、入港時の操船支援、係留・荷役中の船体運動を監視するシステムである。導入例として、太陽石油(株)四国事業所に設置された本システムの構成、機能及び運用例について紹介する[5]。

4.1 システム構成と機能

本システムは、RTK-GPS による船体運動のリアルタイムモニタリングを実現するため、運航の計画と管理を行う基地局及びモニタリングの対象となる移動局(船舶)で構成させている。RTK-GPS としては、電離層遅延補正が可能な2周波 (L1&L2) 対応、測位演算高速化処理が可能な受信装置を採用している。基地局は常設であるが、移動局はモニタリング対象となる船舶に必要に応じて設置することから、マンマシン・インターフェイルに優れた簡易操作及び小型軽量かつ可搬型を念頭において開発されている。本システムの機器構成を表1、システムの全体構成を図3示す。

表1 システムの機器構成

設置場所	機器	数量
基地局	2周波 (L1、L2) RTK-GPS 受信機	1
	特定省電力無線 (片方向)	3
	計算装置 (入出力装置含)	1
	収録装置、他	1
移動局 (主)	2周波 (L1、L2) RTK-GPS 受信機	2
	特定省電力無線 (片方向)	3
	計算装置 (入出力装置含)	1
	無線 LAN	1
移動局 (副)	計算装置 (モバイル)	1
	無線 LAN	1

基地局のシステム構成は、運航の計画と管理を行う計算機及び補正情報や船位を移動局間で伝送するための送受信装置である。基地局での測位の信頼性向上のためGPSアンテナとして、マルチパスなどの影響を受け難いチョークリングアンテナを使用している。船陸間の情報伝送装置としては、伝送距離が10km以内のため維持費等を考慮して免許が不要な特定省電力無線を採用し、連続通信が可能な片方向伝送タイプの特定省電力無線を3系統運用している。

移動局のシステム構成は、船位及び船首方位をモニタリングするための2セットのGPS受信システムと基地局との情報伝送用の送受信装置である。図4のようにRTK-GPSを2セット装備しているのは、対象船のジャイロコンパスと接続を行うことなく2個のアンテナ位置とアンテナ設置間距離から船首方位及び船体任意での位置・速度を推定するためである。例えば、5m間隔で2個のアンテナを設置した場合の分解能は0.5度以内で、この数値はジャイロコンパスの指示精度(±0.5度)とほぼ同一である。

本システムの主な機能は、表2に示すようにGPS受信、両局間通信、情報表示及び監視警報である。

表2 システムの機能

機能	主な内容
表示モード	アプローチ(泊地～入港)
	ドルフィンバース接岸
	シーバース係留(ブイ係留)
警報監視	警報監視(GPS、通信、航路、船速、偏移、その他)
	警報表示(GPS、通信、航路、船速、偏移、その他)
	警報収録(GPS、通信、航路、船速、偏移、その他)
モニタリング	データ収録(船位、船体運動、風浪、その他)
	データ再生(船位、船体運動、風浪、その他)
システム設定	対象船、航路、入港位置設定
	GPS、通信仕様設定、その他
演算通信	船陸間通信(基地局～移動局)
	無線LAN通信(船内)
	船位、船速、方位角演算

これらの共通する機能以外での基地局の機能としては、対象船の航路設定、停船場所設定、移動局GPSアンテナ位置設定、潮汐・風浪情報伝達及び入港・着桟・係留中船体運動の監視と情報収録である。移動局の機能としては、対象船の位置、対地速度及び2セットのGPS受信装置による船首方位角の推定である。画面表示でアプローチモードは、対象船位置、推奨航路、対象岸壁、周辺海域、残行程、避險線及び各種警報を更新時間1秒(初期設定で変更可能)で表示している。ドルフィンバース接岸及び係留モードでは、対象船位置、ドルフィン防舷材或いは係留ブイ位置、マニホールド位置、船体停船位置、残距離、船首船尾移動速度及び各種警報を表示している。警報は、警報表示と警告音によるアラーム機能も設定することが可能である。

モニタリング及び警報監視では、RTK-GPSによる測位が何らかの原因でDGPS測位或いはGPS単独測位に

移行していないか、船陸間の通信が正常に行われているかを常時監視するとともにそれらの情報を収録している。GPSや通信状況に関する各種情報と同時に、データとして船位、船首方位角及び風浪情報などを収録しており、これらの記録はオフラインで再生することが可能である。

4.2 運用例

本システムは、導入後約1年が経過しておりその間の運用状況を紹介する。基地局は、写真1に示すように屋上のGPSアンテナ(チョークリングアンテナ)、特定省電力無線用送受信アンテナ(送信2局、受信1局)、管理センター内のGPS受信装置、特定省電力無線及び計算機で構成されている。移動局の主な構成は、写真2に示すように2セットのGPS受信装置用アンテナ2個、GPS受信装置内蔵型計算装置及び携帯用モバイル計算装置である。移動局の装置は、いずれも対象船に適宜搭載するため、1個あたりの重量を10kgf以内に押えるなど可搬性を考慮した。

太陽石油(株)四国事業所の荷役設備としては、10万トン以下の中型タンカーが主に入港するドルフィンバースと30万トン前後の大型タンカーを対象とした5点係留ブイによるシーバースがある。運用例として、沖合の泊地からドルフィンバースにアプローチしている状況のモニタリング画面を図5に示す。基地局と移動局で同時にモニタリングできる情報として、視覚情報では潮流状況や水深に応じて事前に設定した推奨航路(点線)や航路幅(実線)及び対象船の航跡が鳥瞰図として時々刻々表示される。数値情報としては、時刻、着桟予想時間、船首方位と移動ベクトル、船速及び航路偏差などが表示される。警報情報としては、GPS受信状況、船陸間通信状況及び各種初期設定値による判定情報が警報(警報音、警報ランプ)として運用者に提供される。その他に残行程・船速及び風向・風速については過去の経歴を含めたトレンド表示も可能である。補足衛星数や測位モードなどGPS受信状況の詳細は選択することによって確認可能である。また、基地局ではこれら全ての情報を収録することが可能である。

対象船がドルフィンバースに着桟する状況のモニタリング画面を図6に示す。着桟時に要求される船首・船尾の移動速度、船首・船尾の偏位及び船首方位角が数値とグラフィックで表示される。

ドルフィンバースでの荷役の場合は、タンカーのマニホールド位置と陸上設備のローディングアーム位置を2m以内に合わせる必要があるため、これらを考慮した船体停止位置を本システムで事前に設定することによって画面に表示している。船首・船尾及び船体の任意位置における速度ベクトルを表示することも可能である。

なお、岸壁に設置されている接岸速度計と本システムによる横移動速度を事前に比較した結果から両者はほぼ同一の数値を示すことを確認している。

シーバースでのブイ係留による荷役の場合は、図7に示すようにタンカーのマニホールド位置を海底から引き上げる送油管（マリンホース）近傍に合わせるための船

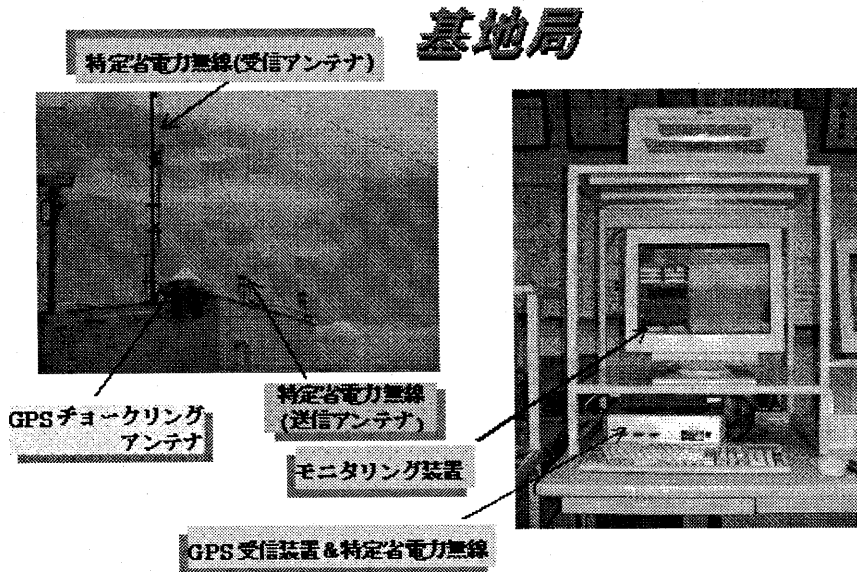


写真1 基地局のシステム構成



写真2 移動局のシステム構成

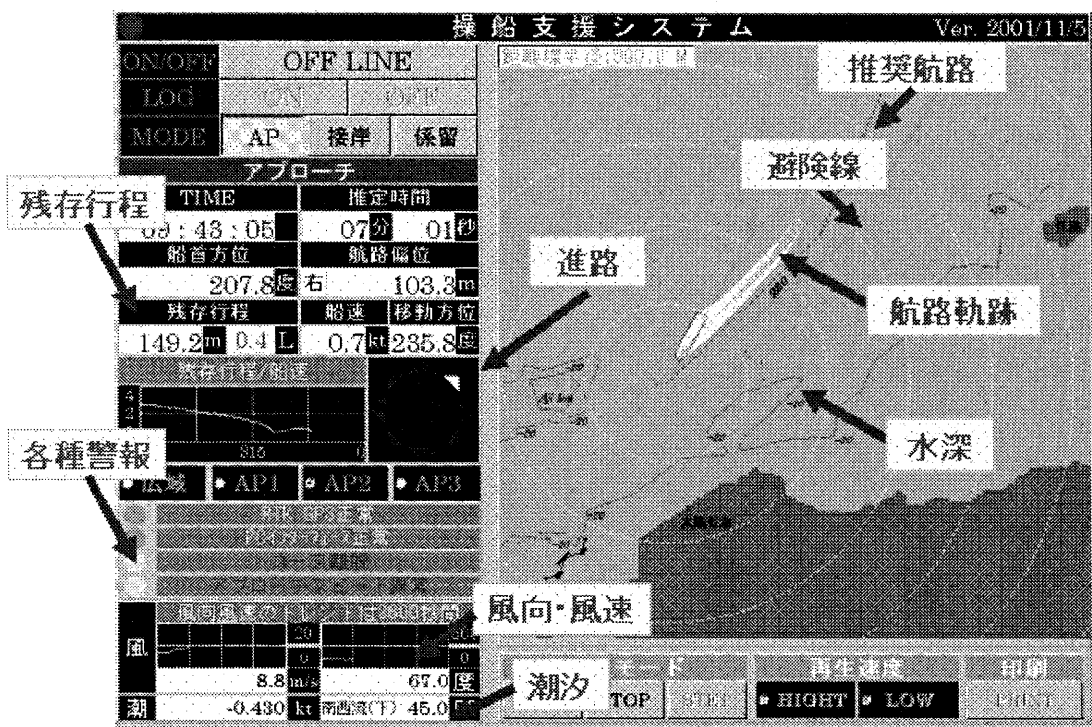


図5 アプローチ状況のモニタリング

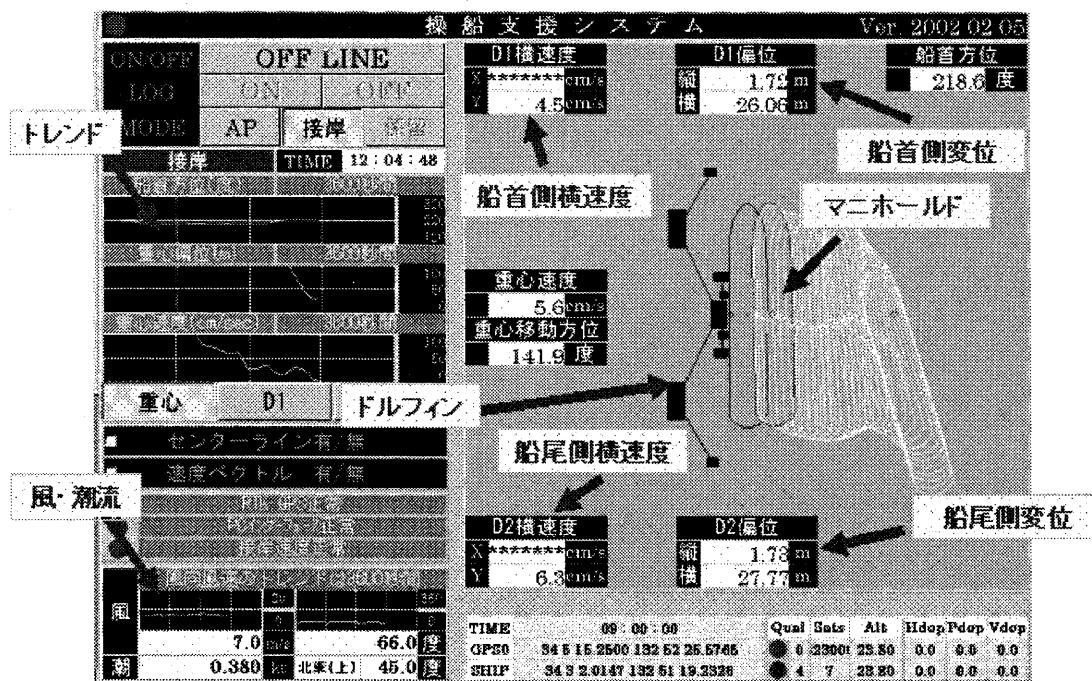


図6 着棧状況のモニタリング

体停止位置が設定される。ドルフィンバース着桟と同様に、船首・船尾・船央及び船体の任意位置における速度ベクトルを表示することも可能である。特に、ブイ係留の場合は岸壁やローディングアームなどの目標物がないため所定位置に船体を誘導することが操船者にとって苦

労の種であったが、本システムのモニタリング画面を活用することによって、鳥瞰図的に目標位置と現在位置を把握することができるため操船及び操船指示が非常に簡便になったとのコメントを水先案内人の方々から頂いている。水先案内人による操船状況を写真3に示す。

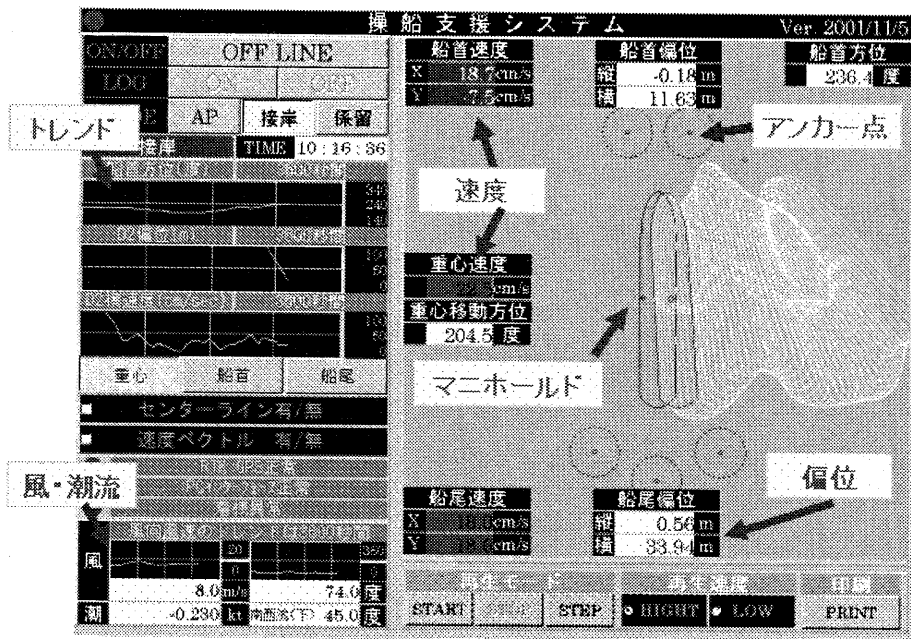


図7 ブイ係留状況のモニタリング



写真3 本システムによる操船状況

RTK-GPS を用いた本システムによる計測例として、種々の要因で高精度測位から単独測位までの測位モードを示した事例を図8に示す。計測値として、位置(緯度、経度)、衛星補足数、測位モード、船首方位及び船速の時系列を示す。図中の mode が測位モードを示しており、モード4が RTK-GPS による高精度測位 (Fix 解)、モード5はやや劣化した測位 (Float 解)、モード2が DGPS、モード1が単独測位、モード0は測位不可である。本システムでは、測位モードの数秒間の劣化に対しては、位置情報をフィルタリング処理などで推測することが可能である。しかし情報欠落が長時間におよぶ場合は、測位結果から計算によって求められる船首方位や船速は、測位モードによって大きく影響されることを留意する必要がある。

当然のこと、本システムでもこのような状況を使用者に警報として提供している。

5. GPS コンパス及び仮想電子基準点

本システムは、本船のジャイロコンパスと接続することなく 2 個の GPS で船首方位や速度を推定するため及び数 cm オーダーの測位精度を得るために RTK-GPS を

採用している。RTK-GPS を用いる場合は、補正情報を得るための独自基地局設置や高精度受信装置の装備などの面から高価なシステムとなる。このような課題に対して GPS 搬送波位相差と振動ジャイロを複合的に組み合わせた GPS コンパスによる船首方位計測や仮想電子基準点(VRS)の整備による RTK-GPS 補正情報の取得が可能となり、RTK-GPS を用いた本システムのような高精度測位システムの構築に関しても簡素化及び低価格化を図ることが可能となる。

本稿で紹介した RTK-GPS による入港着桟支援システム以外にも移動局のシステム構成としては次のような案が考えられる。入港及び着桟を考慮した高精度測位が可能な RTK-GPS を1セットと GPS コンパスによる構成、アプローチ時の利用を主目的とした DGPS と GPS コンパスによる構成、若干船首方位の精度が劣るが磁気方位ジャイロを採用するシステムなどもある。

5.1 GPS コンパス

GPS コンパスの基本構成は、図9に示すように表示器、処理器、アンテナの3ユニットである。処理器は補助センサー、計算機、GPS 受信機で構成され建築物や橋など

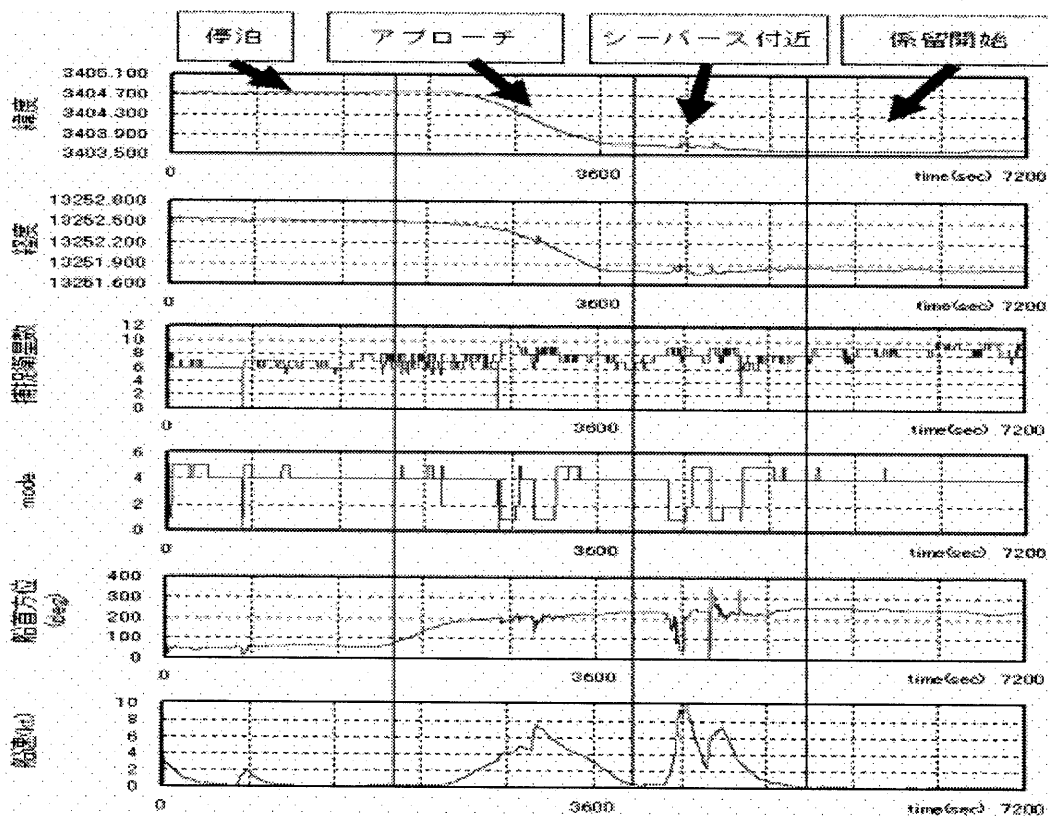


図8 本システムによる計測例

の障害物で GPS の電波が遮断され方位計算が不可能になった場合でも内蔵された補助センサーを用いることによって数分間程度の方位出力を実現している。

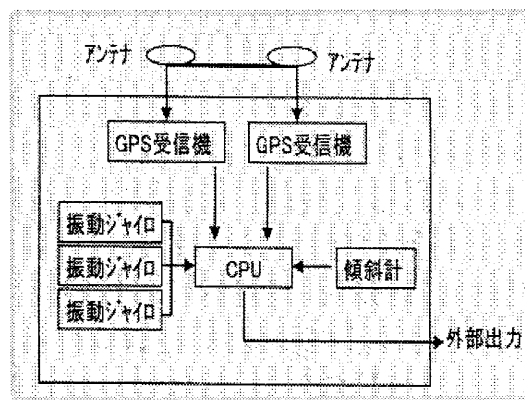


図9 GPSコンパスの構成

GPS コンパスの測位原理は、GPS 搬送波を用いて測定した2つのアンテナと衛星間行路差とアンテナ間の基線ベクトルを変化させて計算で求めた行路差を比較して最も誤差が小さい基線ベクトルから方位を求めている[6]。GPS コンパスの精度は、約0.7度RMSでジャイロコンパスの精度(約0.5度)とオーダー的に遜色ないばかりか、小型軽量かつ安価という点で方位センサーとして有望であり、国内外の機器メーカーで既に製品化されている。

5.2 仮想電子基準点(VRS)

仮想電子基準点(Virtual Reference Station)による測位とは、軌道情報誤差や電離層及び大気による誤差モデルを活用しながら、利用する電子基準点によって構成される三角形の内部面の網による幾何学的補正を行うシステムである。国土地理院の電子基準点を利用して、仮想的に基準点(基準局)を設けてRTK-GPS及びDGPSの補正情報を配信する測位システムであるため国内の広範囲でのRTK-GPS利用が可能となる[7]。VRSの特長は、1台のGPS受信機で測位可能、初期化時間が短い、基線長に関係なく高精度測位が可能、広範囲での測位が可能などであり、その測位イメージを図10に示す。VRSを用いたRTK-GPSのリアルタイムサービスを利用するための移動局の基本構成はRTK-GPS受信機、GPSアンテナ、補正情報の取得用通信機器(携帯電話)などである。

VRS補正情報は、国土地理院の電子基準点で得られたリアルタイム情報を(社)日本測量協会が一括管理して、配信契約した各サービス会社から携帯電話やインターネ

ットを通して取得することになる。平成14年10月時点で国内2社がサービスを開始しており、補正情報のサービスエリアは図11に示す範囲である。

この他、GPS測位の補強システムとして米国連邦航空局が運用しているWAAS(Wide Area Augmentation System)や日本国内及び沿岸域を対象としたMSAS(MTSAT Satellite Augmentation System)、さらに全世界的なサービス網を前提として民間による衛星を利用した補強システムも展開されている。

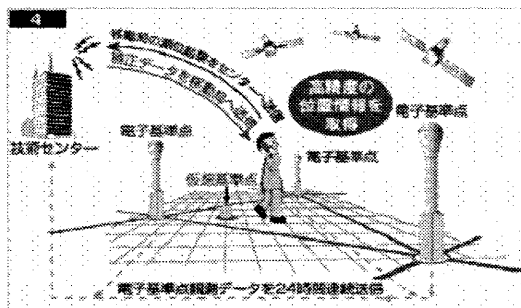


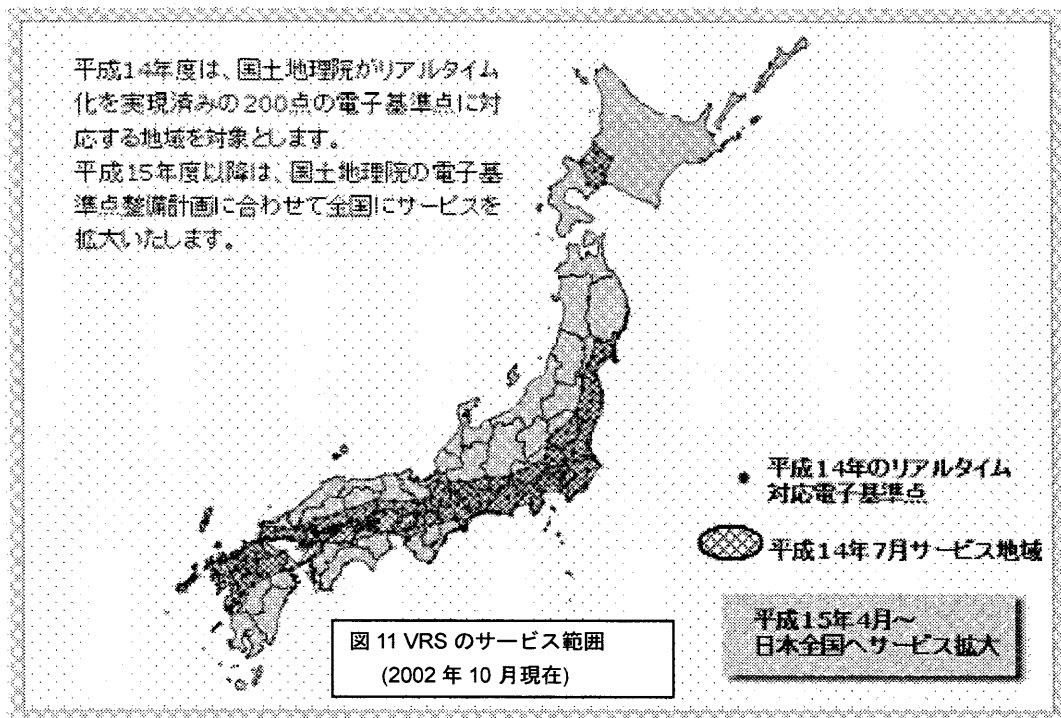
図10 VRSによる高精度測位

6. おわりに

RTK-GPSを用いた大型船の入港着岸支援システムは、大型タンカーや危険物運搬船の輻輳海域や入港着岸時の操船を支援すると同時に、荷役中の船体運動を監視することによって外乱環境下での操業管理用モニターとしても有効なツールである。本システムの基本機能は、海のITSで提唱されている離着岸・港内操船支援システムや港内AIS(Port-AIS)のコンセプトと一致する要素もあり船舶の安全運航管理にとって有望である。

視覚情報を主体とした本システムのようなモニタリングシステムは、操船者に直感的な状況把握を容易にしている。特に外乱や海域などの要因で操船環境が厳しい場合には、本システムを利用することによって、設定された移動速度での推奨航路内操船などが容易となり入港着岸操船の安全性向上が期待できる。さらに、本システムは入港着岸時の操船状況を収録してオフラインで再生することによって、個々の操船を評価・解析することが可能となり、運航管理者にとって貴重なデータベースとなることが期待できる。

入港着岸支援システムは、単なるGPS応用システムではなく対象船舶や海域・港湾設備に関する総合的なエンジニアリングを踏まえて実現することのできるシステムである。本稿で紹介したシステムは、RTK-GPSを用いた高精度測位システムであるが、利用対象によっては海上保安庁の中波ビーコンを利用するDGPSによる操



船支援システムを構築することも可能である。移動局が常設か可搬式かによってシステム構成時に考慮すべき重要な要素は、持ち運ぶための移動局設備の軽量小型化である。操船者や運航管理者のコメントをフィードバックしながら、将来的にはカー・ナビならぬ、シー・ナビとして中小船舶から大型船まで広く普及することに期待したい。

本稿で紹介した RTK-GPS を用いた大型船の入港着岸支援システムが、大型タンカーや危険物運搬船の操船者のみならず運航管理に従事する多くの方々にとって役立てば幸いである。また、GPS や運航管理に関しては、紙面の都合や著者の理解不足で不備な点があることをお許し願いたい。

最後に、本システムに関する貴重なコメントを頂いた太陽石油(株)四国事業所の関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 富田哲治郎、船舶基本設計論、中央印刷、昭和 57 年。
- [2] 平田信行、「海の ITS」、日本造船学会誌、861 号、2001。
- [3] GPS シンポジウム 2000、日本航海学会 GPS 研究会、2000。
- [4] 土屋淳、「GPS 測量の基礎」、日本測量協会、1996。
- [5] 永井俊徳、久津那芳夫、松下光男、堀江俊輔、織田博行、村田航、「RTK-GPS 測位システム利用入港着岸支援及び係留状態監視安全運航管理システム」、配管技術、Vol. 44、No. 1、2002. 1。
- [6] 織田博行、五十嵐和之、関信次、石井真、「GPS を用いた運動測定システム」、日本航海学会誌、第 126 号、1995。
- [7] GPS シンポジウム 2000、日本航海学会 GPS 研究会、2002。

空のA I S ―航空における通信・監視システム―

長 岡 栄

(独) 電子航法研究所

AIS in Aviation: – Communication and Surveillance System in Aviation –

Sakae NAGAOKA

Electronic Navigation Research Institute

1. はじめに

近年、海上交通の分野では船舶自動識別システム (Automatic Identification System : AIS) [1][2] が注目されている。航空の分野では、古くから通信と監視の機能を備えた二次レーダ・システムが使用されてきた。しかし、最近の通信技術の進歩に伴い、通信・監視システムも変化を遂げつつある。

本稿では空の AIS とも言うべき、航空における通信・監視システムについて現状を紹介するとともに将来を展望する。

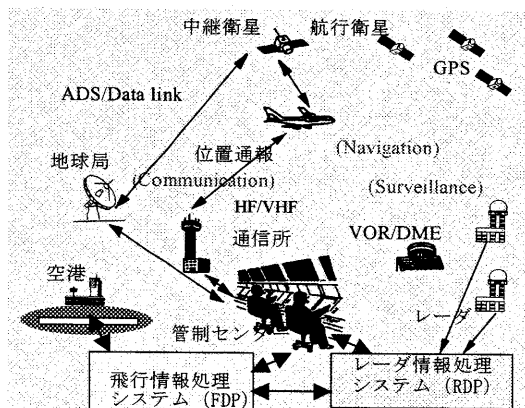


図1 航空交通システム

2. 航空管制システム

航空機の飛行にはパイロットが目視で安全を確認して飛行する有視界飛行方式 (VFR) と航空交通管制官の指示に従って飛行する計器飛行方式 (IFR) とがある。通常、旅客機は IFR で飛行している。

航空交通管制の主な目的は航空機の衝突を防止し、交通流を円滑にすることである。このため、航空機の周りの交通状況を把握し、航空機に安全な間隔を設定するた

めの指示を与える。これを支えているのが図1のような航空交通システムである。その機能を表1に示す。

表1 航空交通システムの機能

機 能	内 容
通 信	情報の授受、管制指示の伝達 (HF/VHF 帯、音声/データ)
航 法	航空機の誘導・制御 (機上装置+航法援助システム)
監 視	近傍の交通状況の把握 (位置通報、レーダ、ADS 等)
航 空 交 通 管 理	交通状況の把握と交通の管理 (管制情報処理システム、交通流管理システム、管制方式など)

航空機は、空港を飛び立ち目的空港に到着するまで、長い距離を飛行する。この区間は多くのセクターと称する管制の受け持ち空域から成っている。管制には、航空機の位置情報 (過去、現在、将来) に加えて、飛行に関する多くの情報が必要である。これらを管制官に自動的に提供するのが管制情報処理システム (飛行情報処理システム (FDP) やレーダ情報処理システム (RDP) など) である。

衝突防止には、予防と回避がある。管制では航空機に安全な間隔 (管制間隔基準) を設定することにより衝突を予防している。万が一、航空機間の間隔が安全な間隔より小さくなった場合 (コンフリクトと呼ぶ) でも、通常、レーダ情報処理システムでは自動的に警報 (Conflict Alert と呼ぶ) を発するようになっている。また、多くの旅客機は、後述する二次監視レーダ (SSR) を応用して自動的に衝突を回避する航空機衝突防止装置 (Airborne Collision Avoidance System : ACAS) を装備している。

レーダ指示器

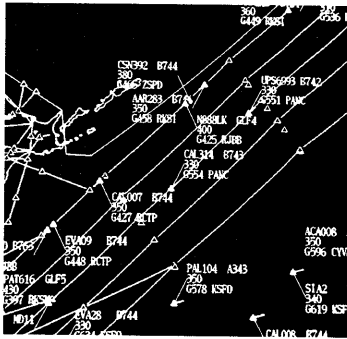
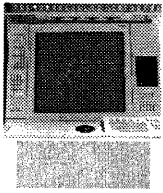


図2 レーダの表示例

3. 航空管制と通信・監視

航空管制における監視対象は、航空機間の間隔や交通流である。特に、衝突防止には航空機の将来の動きを推定する必要がある。それには、現在の位置、速度、高度等に加え、飛行計画情報などが必要である。通常、監視のために管制官に提供される情報は間歇的である。監視には連続表示が望ましいので、通報の情報を内挿して現在位置を推定している。従って、推定精度は監視データの精度と取得頻度に左右される。図2に指示器上への航空機の表示例を示す。

従来、洋上航空路の管制では、パイロットからの位置通報に基づいて交通状況を推測している。航空機が予め指定された地点上を通過したとき、HF帯の無線電話で、便名、高度など通報する。通報の間隔は約1時間に1回程度である。このため大きな管制間隔（例えば50～100NM）が必要となる。

他方、レーダの覆域内となる陸上の空域では、レーダによる監視が行なわれている。航空路監視レーダ(ARSR)では10秒毎、空港監視レーダ(ASR)では4秒毎に位置データを取得できる。このとき管制間隔は5NMまたは3NMである

表2には洋上管制とレーダ管制を比較する。

表2 洋上(マニュアル)管制とレーダ管制

管制方式	洋上(マニュアル)管制	レーダ管制
監視情報	位置通報(位置, 時刻, 便名)	レーダ情報(位置, 速度, 便名)
情報取得間隔	約1時間に1回	4または10秒
通信手段	音声: HF無線	音声: VHF無線
管制間隔基準	横: 50NM 縦(前後): 15分	水平: 3または5NM

4. 航空通信システム

4.1 航空通信網

1991年の国際民間航空機関(ICAO)の第10回航空委員会で、将来の航空システム(CNS/ATMシステム)の構想が承認された。これを機に、各国はこのシステムの実現に向けて進んでいる^[6]。この構想は通信・監視の分野では衛星利用とデジタル通信が目玉となっている。監視では自動従属監視(ADS)が登場する。

空地通信では、例えば、移動衛星通信、VHF無線、SSRモードSなどの異なるデータリンクが媒体として用いられる。また、空港と空港とを結ぶ通信や航空会社と航空機などを結ぶ通信などは別個の独立したサブ・システムとなっている。

これまで、機上や地上のコンピュータ・システムはサブ・システム毎に独立で、管制機関や航空会社、航空機と地上のシステム間では別々のネットワークになっていた。これを共通にし、端末間での情報の授受を容易にするのが航空通信網(Aeronautical Telecommunication Network: ATN)^[13]である。これは、いわば、インターネットに相当するものである。図3にATNの概念を示す。ATNは関連する全てのサブ・システムをISOの開放型相互接続(OSI: Open Systems Interconnection)に基づく通信網を介して統合することを目指している。

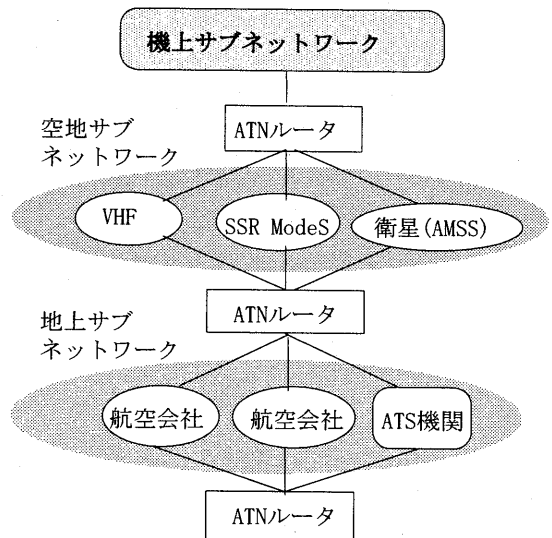


図3 ATNシステムの概念

4.2 通信の種類

航空の通信には航空機、管制機関、運航者などの間での情報交換がある。空間的には空対地、空対空、地対地がある。航空機が関わる通信には、航空管制など航空交通業務に要する通信である航空交通業務通信(ATSC),

航空機運航に関連する運航管理通信 (AOC), 航空会社の通信である航空管理通信 (AAC), そして乗員・乗客が私的に行なう航空旅客通信 (APC) がある。このうち ATSC や AOC は安全に直結する通信で, 情報を迅速かつ正確に伝達することが期待されている。

4. 3 現在の通信の状況

空対地通信の多くは音声による振幅変調による電波を用いている。ATSC の航空管制通信では VHF 帯で両側波帯 (DSB) の振幅変調 (AM), 洋上空域では HF 帯で単側波帯 (SSB) AM を用いている。VHF 帯では, 覆域が見通し距離に限られるため, 洋上空域では HF 帯が使われている。HF 帯の AM は雑音に弱く, 電波伝搬は外的要因に左右されやすい欠点がある。また, 音声による通信では, 聞き間違いなども起こりやすい。これが, 時には, 例えば 1977 年のカナリー諸島テリフェネ空港でのジャンボ機同士の衝突事故のような, 大惨事に繋がることもある。

4. 4 アナログ通信からデジタル通信へ

近年, 音声通信に加え, ACARS (Aircraft Communication Addressing and Reporting System) と呼ばれるデータ通信が使用されている。これは 1978 年に米国の ARINC 社が運航管理通信に使用開始して以来, 最近では ATSC にも一部で使用されている。これは, テキストを送信する, いわば電子メールのようなものである。キャラクタ指向 (1 文字=8 bit) で, 変調方式は MSK (Minimum Shift Keying), 伝送速度は 2400bps である。回線への接続には CSMA (Carrier Sensitive Multiple Access) を用いており, 他機が使用時には送信できない。これには, VHF, HF, そして衛星上のプロトコルが使用されている。しかし, これらは先に述べた ATN にはまだ対応できていない。

4. 5 VHF デジタルリンク (VDL)

わが国では, 1990 年にアビコム・ジャパン社が ACARS のサービスを開始し, 2000 年までは 131.45MHz の一波が使われていた。しかし, 利用機数の増加とともに, 輻輳による Up-link 成功率の低下が問題となっている。このため, 接続や送達が高速度で確実な VDL (VHF Digital Link) システムが登場しつつある^{[5][7]}。

現在, VDL に関する ICAO の国際標準には, VDL モード 2, 3, および 4 の三種類がある。表 3 にこれらを比較^{[2][5][7]}する。モード 2 には空対空の通信機能はない。モード 3 は時分割接続 (TDMA) であるため, 空対空の通信にも, 時刻基準となる地上局 (主局) を必要とする。モード 3 はデータと音声の双方に使用可能である。モー

ド 2 と 3 は時間が問題となる通信には適さない (特に高密度空域で)。モード 4 は容量が前者の 15 倍以上といわれ, これらの通信にも対応できる。モード 4 は様々な運用の広範な要求を満足する。

各国はこれらの実用化に向けてシステムの開発・評価を行なっている。航空管制通信では VDL モード 2 導入に向けた試行が欧米で行なわれている。運航業務通信では, 従来の ACARS のアプリケーションを高速の通信媒体 (VDL) に載せた AOA (ACARS over AVLAC (Aviation VHF Link Control)) データ通信が導入されつつある。アビコム・ジャパンでは 2003 年 9 月から VDL モード 2 / AOA サービスの提供を計画している^[8]

表 3 ICAO 標準の VDL の比較^{[5][7][10]}

VDL の型	モード 2	モード 3	モード 4
変調方式	D8PSK	D8PSK	GFSK
通信速度	31.5kbps	31.5kbps	19.2kbps
接続方式	ランダム (CSMA)	時分割多重 (TDMA)	自己組織型 時分割多重 (STDMA)
備考		音声使用可	監視機能有

GFSK: Gaussian Filtered Frequency Shift Keying

CSMA: Carrier Sensitive Multiple Access

STDMA: Self-organized Time Division Multiple Access

D8PSK: Differential 8 Phase Shift Keying

4. 6 各種通信システムの比較

表 4 には各種の通信システム^{[2][10]}を比較する。既存のものから検討中のものまでを挙げてある。なお, 参考までに, 後述する ADS-B のためのデータリンクをも含めてある。

5. 監視システム

5. 1 二次監視レーダ (SSR)

レーダには一次レーダと自動応答装置を利用する二次レーダがある。一次レーダでは, 受信電力が距離 R の 4 乗に, そして, 二次レーダでは 2 乗に反比例する。従って二次レーダの地上局は小電力で済む。この他に, 通信機能も付加できるという利点がある。

航空管制用の二次レーダが二次監視レーダ (SSR: Secondary Surveillance Radar) である。この原理を図 4 に示す。SSR では, 質問パルスのモード (P1 と P3 の間隔で決まる) に応じて, 12 ビットの応答パルスに乗せる情報が異なる。例えば, 航空機の識別符号や気圧高度情報などである。これにより, レーダ情報処理システムでは, SSR による航空機の情報と飛行計画情報とを自動的に照合し, 位置に加えて, 便名, 高度, 目的空港な

ども表示している。これにより、管制をしやすくしている。

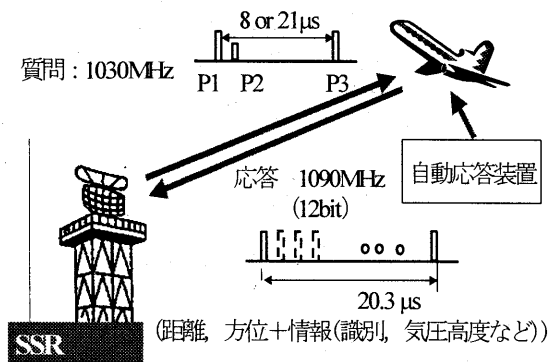


図4 二次監視レーダの原理

表4 航空における通信システムの比較 (文献[10]より作成)

通信手段	VHF(25/8.33kHz 間隔)DSB-AM	HF SSB	HF Data Link	航空移動衛星 業務 (AMSS)	VHF ACARS	VDL Mode 2
通報の型	音声	音声	データ	音声/データ	データ	データ
ICAO 国際標 準勧告方式	有	有	有	有	無 AEEC 基準有	有
接続形態	空⇄地, 空⇄空: 放送	放送 (地→空: アド レス選択可)	空⇄地: 二点間	空⇄地: 二点間	空⇄地: 二点間	空⇄地: 二点間
周波数帯 (MHz)	117.975-137	2.85-22	2.85-22 MHz	1545-1555 (up), 1646.5-1656.5 (down)	117.975-137	117.975-137
周波数帯の 現状	輻輳 (米/Europe)	負荷多し	負荷多し	負荷有	輻輳 (米国/欧州)	輻輳 (米/欧州)
地域的覆域	陸地近傍 空⇄空 全地球	全地球	全地球	全地球(極地域 を除く)	陸地近傍	陸地近傍
到達距離	見通距離	6500 NM,	6500 NM	衛星の footprint	見通距離	見通距離
ATN 接続	不可	不可	可	可	不可	可

通信手段	VDL Mode 3	VDL Mode 4	UAT	Mode S データリンク & 拡張スキット	次世代衛星	次世代地上 システム
通報の型	音声/データ	データ	データ	データ	音声/データ	音声/データ
ICAO 国際標 準勧告方式	有	監視について は有	作成中	有	着手予定	未着手
接続形態	音声: 放送 データ: 空⇄地: 二点間, 地上 放送	二点間, 放送	放送	二点間, 放送	音声; 二点間, 放送 データ; 二点間, 地→空; 放送	二点間
周波数帯 (MHz)	117.975-137	108-137	960-1215	1030 (up), 1090 (down)	1545-1555 (up) 1646.5-1656.5 (down)	5091-5250 (を目標)
周波数帯の 現状	輻輳 (米, 欧州の 中核部)	輻輳 (米, 欧州の 中核部)	現行は専用	専用	負荷有	使用中 (MLS 用)
地域的覆域	空⇄地: 陸地近傍 空⇄空: 音声 全世界	空⇄地: 陸地近傍 空⇄空: 全世界	空⇄地: 陸地近傍 空⇄空: 全世界	空⇄地: 陸地近傍 空⇄空: 全世界	全世界 (極地 以外)	陸地近傍
到達距離	見通距離	見通距離	見通距離	見通距離	衛星の footprint	未定
ATN 接続	可	可	不可	可	可	未定

5. 2 SSR モード S

SSR ではビーム幅内の目標は全て応答信号を発する。このため、応答信号の長さ (20.3 μ s) に相当する距離内にある目標の信号は重なって (Garbling という) 解読できなくなる。

この Garbling を解消したのが SSR モード S である。S は Selective の頭文字である。個々の航空機に個別のアドレスを付与し個別呼び出しが可能なくみになっている。図5のような信号形式を用いている。ビット長は 56 または 112 で、多様な情報の送受が可能となっている。また、モード S のセンサでは、モノパルス測角方式を採用し測角精度を向上させている。

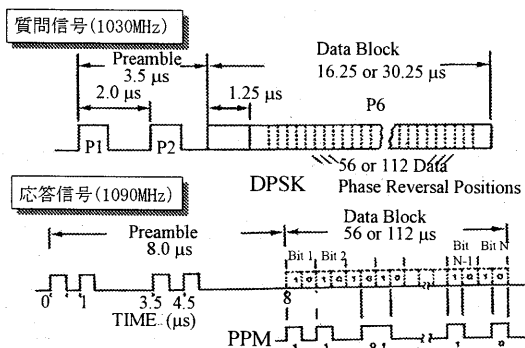


図5 SSR Mode S の信号形式

5. 3 自動従属監視

監視システムは、地上のデータのみに基づく独立監視、機上のデータに基づく従属監視、そして、地上と機上で協調を要する協調監視のように分類される⁹⁾。一次レーダは独立型、SSR は独立協調型といえよう。近年、洋上の航空管制には自動従属監視 (Automatic Dependent Surveillance : ADS) が用いられている。これは、機上装置で求めた航空機の位置情報等をデータリンクを介して自動的に地上に送信し、これに基づいて監視を行なうものである。通報には航空機の位置などに加え、管制に必要な情報が含まれる。

この ADS の情報の送信には ADS-C と ADS-B とがある。ADS-C の C は contract, ADS-B の B は broadcast (放送) の意味である。ADS-C では予め定められた地対空の手続き (例えば一定周期で位置等を通報する周期的通報や何らかのイベント発生時に通報するイベント通報など) に従い、メッセージが交換される。ADS-B では図6のように、ひたすらメッセージを放送する。

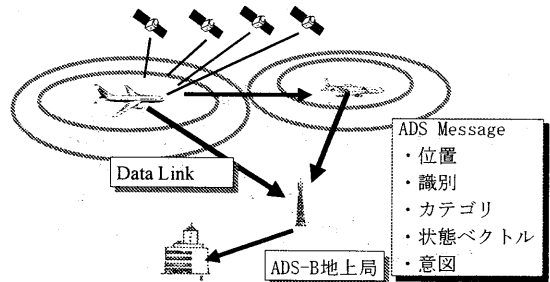


図6 放送型自動従属監視 (ADS-B)

5. 4 ADS-B^{[4][7][9][10]}

この ADS-B は様々な応用が考えられる。ADS-B で放送されるデータを用いて機上の交通情報指示器 (CDTI) でパイロットに表示してやれば、自機の周りの交通状況も把握できる。また、地上局で受信したデータを用いれば管制にも使用できる。さらに測位精度の高いセンサの情報を用いれば、衝突防止にも使用できる可能性がある。

ADS-B ではデータリンクの媒体の候補として、表5のように、Mode S 拡張スキット、VDL モード 4^[12]、それと UAT (Universal Access Transceiver) が上がっている。UAT は放送型データリンクのために米国 MITRE 社で開発されたもので、米国などで運用評価が行なわれている。

表5 ADS-B のデータリンク媒体

	SSR モード S 拡張スキット	VDL モード 4	UAT
周波数 (MHz)	1090	108-136.975 (評価用)	960-1215 (評価用)
変調方式	PPM	GFSK	BCPFSK
ビットレート	1 Mbps	19.2 kbps	1 Mbps
メッセージ長	112 bit	192 bit	128/256 bit
開発状況	米国主導	北欧主導	米アラスカで 実験中

BCPFSK: Binary Continuous Phase Frequency Shift Keying

6. AIS と空の AIS

航空で AIS^[3]に相当するのは ADS-B であろう。AIS で採用している自己組織型時分割多重アクセス (STDMA: Self-organizing time-division multiple access) は、VDL モード 4^[13]に用いている接続方式である。この方式では、単一周波数帯で複数のユーザからの送信を同期させるのに GPS の時刻データを利用している。表6に AIS と VDL モード 4 を比較結果を示す。

AIS は IMO で 2002 年より搭載義務化が始まっている

III)のに対し、ADS-Bはまだ国際標準勧告方式ができていない。この点では、AISは一步先を進んでいる感がある。

表6 AISとVDLモード4のデータリンクの比較

	AIS	VDL Mode 4
周波数 (MHz)	161.975 及び 162.025	108.00 ~ 136.975
伝送速度	9.6 kbps	19.2 kbps
スロット数	2250 slots/min.	4500 slots/min.
変調方式	GMSK ^{*1}	GFSK
メッセージ長	256 bit	192 bit
備考	実用(2002年7月から搭載義務化開始)	北欧で試験・運用中

*1 Gaussian Minimum Shift Keying

7. 新システムの普及状況

表7に文献等^{[7][9][10][11]}で調べた通信・監視システムの導入状況を示す。VDLモード2は欧米・日本などで実用段階にある。ただ、当面はキャラクタ指向のACARSアプリケーションを使うAOAでの運用である。

SSRモードSは幾つかの国で2003年以降に運用段階に入る。ADS-Bについては、まだ、評価段階であり、今後も、機上での航空機間の間隔確保システム(ASAS)や多くの応用についても検討作業が行なわれるものと思われる。

表7 各国での運用/評価状況

	SSRモードS (運用)	VDL (運用)	ADS-B (評価)
日本	データリンク (2004)	VDLモード2/AOA (2003)	ModeS拡張ス キッタ
米国	拡張監視 (2005)	VDLモード2 VDLモード3 (2007)	UAT
欧州	基本監視 (2003) 拡張監視 ^{*1} (2005)	VDLモード2 (2003) →CPDLC ^{*2} VDLモード4 (2003) →ADS	VDLモード4 (2002)
その他			豪(SSR Mode S)
ICAO SARPs ^{*3}	有	有	検討中

*1 拡張監視：機上の飛行管理システム(FMS)のデータも活用

*2 CPDLC：管制官・パイロット間データリンク通信
(Controller Pilot Data Link Communications)

*3 SARPs：Standards And Recommended Practices
(標準勧告方式)

8. まとめ

以上、「空のAIS」ともいうべき、航空における通信・監視機能を有するサブ・システムを紹介した。そして、

その現状と今後の動向について簡単に触れた。

航空でAISに最も類似しているのは、放送型自動従属監視(ADS-B)であろう。このシステムの通信媒体の候補であるVDLモード4には、AISと同じ回線接続方式(STDMA)が用いられている。

本稿が空のAISについて読者諸氏の何らかの参考になれば幸いである。

参考文献

- [1] 海上保安庁「ITを活用した船舶航行援助システムに関する専門家会議議事録」, 2002年2月。
- [2] M. S. Pereira: “Choosing the right VHF data link technology for commercial aviation air traffic services”, MS thesis, University of Colorado, May, 2002.
- [3] The Complete Guide to AIS, Leica Geosystems Inc. (<http://www.mx-marin.com/htdocs/downloads/>より利用可能)。
- [4] 宮崎裕己, 古賀禎, 三吉襄: “放送型データリンクによる航空機監視”, 日本航海学会誌, 151号, pp. 53-59, 平成14年3月。
- [5] 藤森武男: “VHF デジタルリンクについて”, 日本航海学会誌, 145号, pp. 49-56, 平成12年9月。
- [6] 長岡 栄: “FANS-1 装備機と管制間隔短縮の動向”, 日本航海学会誌, 130号, pp. 1-8, 平成8年12月。
- [7] 増田茂樹: “ICAO 航空移動通信パネル (AMCP) WG/W 会議及び第4回 WG/C 会議の報告”, 「航空無線」, No. 33, pp. 29-35, 2002年。
- [8] 松崎滋: “アビコム・ジャパンのVDL Mode-2 導入計画”, 航空無線, No. 33, pp. 63-68, 2002年。
- [9] 小瀬木滋: “航空機遠隔協調監視システム”, 2002年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演集, 講演番号TB-1-6, pp. 606-607, 2002年9月。
- [10] “Communication scenarios from present until and beyond 2010”, Attachment K, Report of the ICAO AMCP-WG C 5th Meeting, Kobe, Oct., 2002.
- [11] 航空保安システム技術委員会: 平成13年度調査研究報告書: 航空振興財団, 平成14年3月。
- [12] System Description for VDL Mode 4, AppedixE, Technical Link Assessment Report, FAA AND500, March, 2001.
(<http://www1.faa.gov/And/AND500/DocMGR/anddoc.cfm>で利用可)。
- [13] Comprehensive Aeronautical Telecommunication Network (ATN) Manual, ICAO Doc 9739, May 2001.

IT化時代に向けた海上通信の高度化

電気通信大学名誉教授
日本工業大学名誉教授
鈴木 務

Tsutomu SUZUKI

はじめに

21世紀はIT革命の時代といわれ、ITの言葉が新聞やテレビなどに毎日出ている。陸上における通信はインターネット、携帯電話、デジタルテレビが日常的に普及してきて、情報通信は戸外、家庭、国内、国外から宇宙まで何処でも、何時でも、誰とでも会話ができる「ゆびきたす通信」の時代が到来した。「ゆびきたす」はラテン語の「神はいつでも、どこでも存在される」を引用したもので、我々の生活から通信は切り離せなくなったことを表現している。

然し、海上通信は現在でも100年来からのモールスと音声のアナログ通信が中心であり雑音、混信やフェージングに悩まされながらの通信が続いている。IT化の恩恵に取り残された海上生活の孤立化が、近代化されてきた陸上生活との格差を増して所謂「デジタルデバイド」が生じてきている。

このためにユーザーの要望に応じて、近年になり海上通信を見直す活動が出てきて、諸官庁、関係団体及び民間による調査研究が実施されてきた。筆者はこれらの活動に参加して海上通信の向上に協力してきた。

現在の海上通信は音声、データ、FAXなどの情報ごとに専用回線による個別伝送が行われており、陸上のマルチメディア情報伝送が行われていない。回線設定（アクセス）も呼び出しチャンネルを介しての手動切り替えをしているので、電波伝搬状況の変動に即応した対策がとれない。海上には多数の周波数バンドが割り当てられているが、周波数分割のため周波数利用効率が低い。特に、短波帯ではフェージングと混信が大きな問題となっている。

海上通信の高度化について検討が進められてきた結果：

- ・無線機器とシステムの高度化；無線機器と通信方式のインテリジェント化及びネットワーク化、
- ・情報のコンテンツ（内容）の高度化；画像などを含めたマルチメディア化、医療支援、船員教育、インターネット利用、家族との会話などの海上生活の利便性向上のための情報、

が必要との結果が得られた。

本論文は、筆者が海上通信の高度化について短波通信

を中心とした講演を、電波航法研究会及び全国漁業無線協会において行った内容を紹介したものである。

海上通信高度化への展望

～IT革命時代に向けた短波通信のインテリジェント化を中心として～

まえがき

マックスウエル（James C. Maxwell）が1864年に電磁波の存在を予言したことから人類が電波を利用できる歴史が始まった。

その後、ヘルツ（Heinrich Herz）が1887年に電磁波を発生した年までに23年、マルコニー（Guglielmo Marconi）が1900年に電波を通信に利用した年までに36年の月日が費やされている。

1902年12月にマルコニーが火花式無線機で英国と米国との間の大西洋横断通信に成功したときの送信アンテナは、2本の柱を45メートルの高さに建て、その間に支線を張り、そこから55本の電線を逆扇形に吊り下げた構造で、受信アンテナは150メートルの高さに帆を揚げ、そこから吊り下げた電線を使用したと記録されている。送受信アンテナの大きさや構造から大西洋を飛んだ電波は短波と考えられる。

その後、無線通信の有用性が認められて、1912年ニューファンドランド沖で遭難した英国の豪華旅客船タイタニック号事件以来船舶に無線機搭載が義務づけられた。当時のB電波と呼ぶ火花の電波には、長波、中波及び短波が含まれているが、遠距離通信にはその中の短波による電離層を利用した空間波モールス電信が長い間使用されてきた。

現在の海上通信のメディアはモールス電信から、音声、テレックス及びFAXへと多様化してきたが、主体は従来どおりの低速のアナログ通信であり、陸上と船舶が個別の専用回線で結ばれている。

無線通信は短波から始められたと言えるが、マルコニーによる大陸間無線通信の成功から現在は既に100年の歴史が過ぎ去っている。

一方、陸上では1980年代から急速に進歩してきたマ

マルチメディア通信網が構築されて、インターネットと携帯電話を代表としたIT化時代へ突入した。

海上と陸上における通信技術の格差は年々増大して、海上生活はIT化時代の恩恵から取り残され所謂、情報格差「デジタルディバイド」を生じてきた。特に、短波通信は雑音や混信が通信品質を劣化し、不安定な電離層により通信不能となり、さらに画像通信、インターネットなどの現代的な要求を満たせないために年々無線局が閉鎖されて、現在では主として漁業無線で利用されるだけの状況となっている。

また、短波通信に関する研究が昭和30年代以降行われていないことも短波の利用を止めている原因にもなっている。短波は貴重な周波数資源であり、短波通信は衛星通信などと比較して小型で簡単な無線機により安価な

料金で全世界的な通信が行える利点があるので、最新のデジタル技術の導入とネットワークシステムを構築することから短波通信を見直し、高度化したインテリジェント短波通信を実現する必要がある。

本論文は、

1. 陸上におけるIT化時代の到来
2. 短波通信の見直し
3. 海上通信高度化への期待
4. 海上通信高度化（インテリジェント化）への項目
5. 海上通信高度化へのステップ
6. インテリジェント化短波通信システムのモデル
7. 海上通信の将来への展望

について述べる。

- ・IT革命の起爆剤：デジタル技術＋インターネット＋携帯電話
- ・新しい情報技術のキーワード：デジタル化、ネットワーク化、マルチメディア化、高速（ブロードバンド）化、パーソナル化、グローバル化

1. 陸上におけるIT化時代の到来

IT化時代の到来（図1～3）

図1

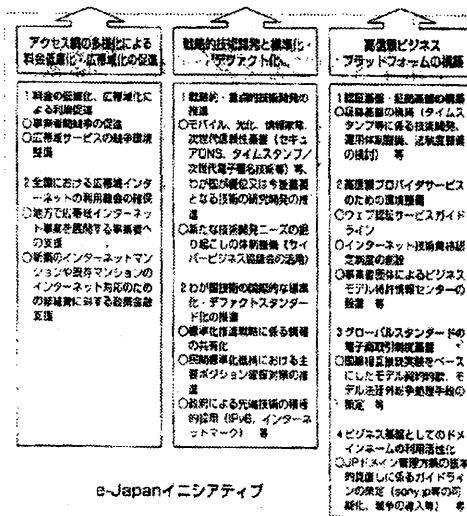


図3 アクセス網の多様化による料金低廉化・広帯域化の促進

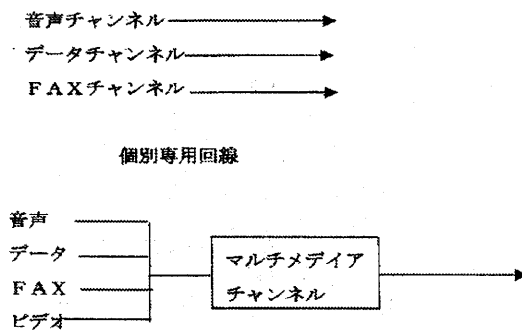
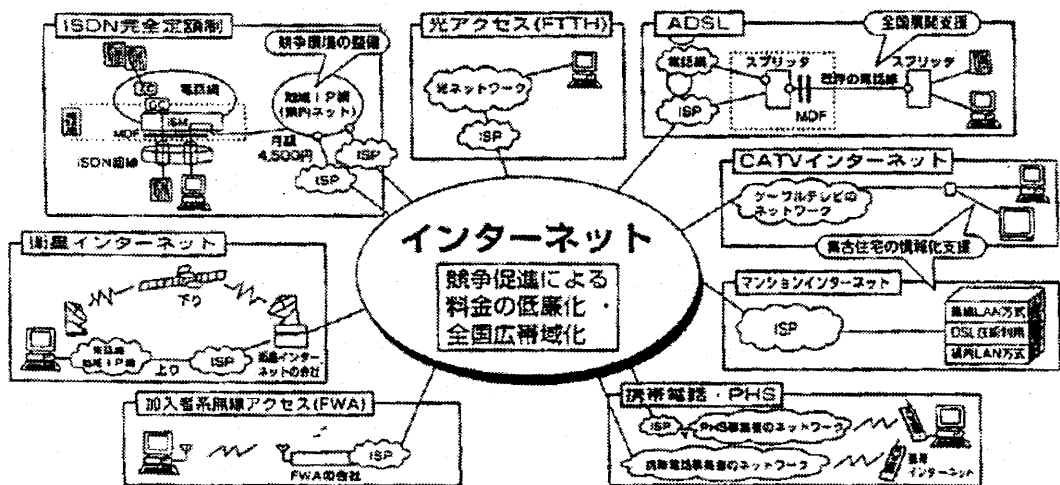


図 1.1 マルチメディア共用回線

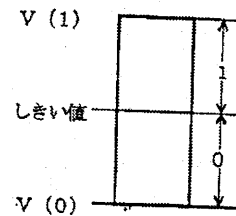


図 1.2 デジタル波形と符号の判別

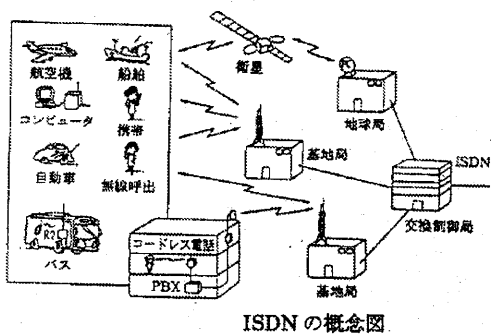


図 1.3

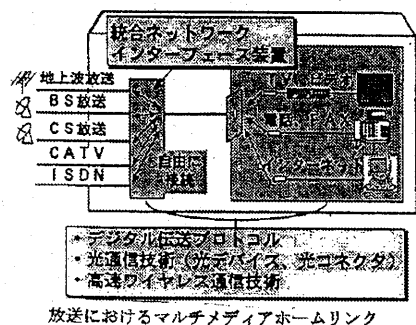


図 1.4 デジタル・マルチメディア化

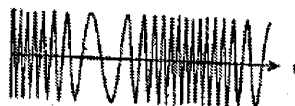
アナログ変調 ; 振幅変調AM、周波数変調FMと位相変調PM。
 デジタル変調 ; パルス変調及びシフトキーイング変調波形を示す。

振幅変調 AM



周波数変調 FM

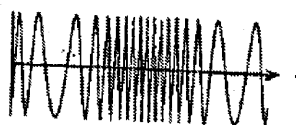
(c) FM波



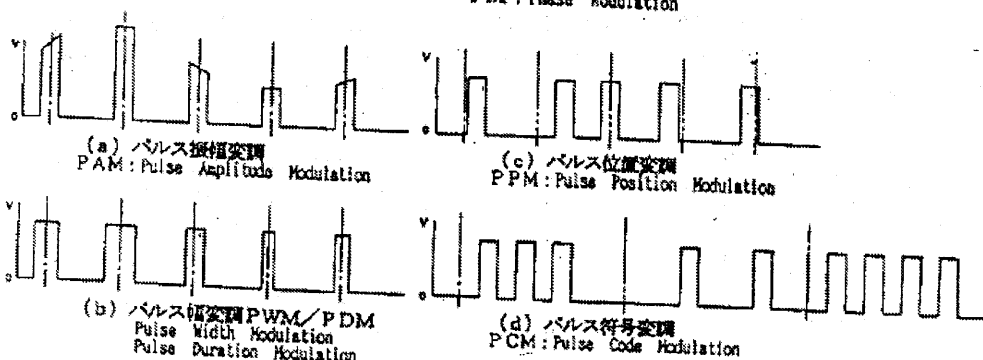
FM: Frequency Modulation

位相変調 PM

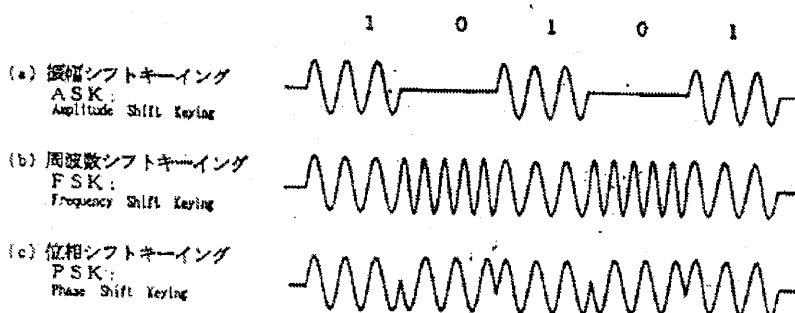
(d) PM波



PM: Phase Modulation



パルス変調、PAM,PWM,PPM および PCM



シフトキーイング変調、ASK,FSK および PSK

図 1.5 各種の変調波形

デジタル化の利点を列挙すると、

- * 雑音や変動に強い
- * コンピュータと組み合わせて高度なソフトウェア（信号処理）が可能となる
- * 誤りの検出と訂正ができる
- * 情報圧縮ができる
- * マルチメディア化できる
- * 安定なデジタルデバイスで回路が組める

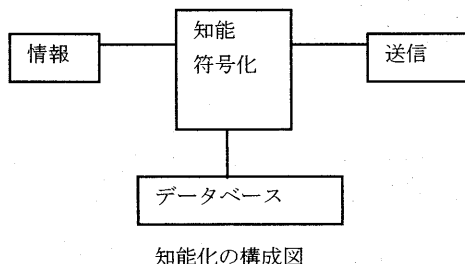
弱点としては、

- * アナログでは判定不可となるがデジタルでは誤りを語判読する
- * 周波数が広がるので帯域圧縮が必要となる
- * 回路構成が複雑となる

デジタル化の大きな利点は、高度なソフトウェア（信号処理）によりアナログでは不可能であった伝送方式が可能となることである。

* インテリジェント化

従来の通信は情報を電気信号に変換して送信する方式に対して、通信をコンピュータとデータベースなどと組み合わせて人間の知能を導入して高度化する。



知能化の構成図

図 1.6 デジタル化の特色とインテリジェント化

2. 短波通信の見直し

100 年も歴史がある短波通信は年々衰退してきて海上での短波公衆通信は漁業無線のみとなってきた。

衛星通信の出現が短波通信を衰退させる一因となっている。衛星通信は全世界的な海域で高速、安定した通信が行えるが、1 分間数百円の通話料が必要になる。グローブワイヤレスなど新しい外国の通信網が構築され始めたが、日本の漁業無線のように、海岸局一船舶間は 102 円/分、船舶一船舶間は無料で使用できる魅力があり、短波通信の利用が望まれている。

短波通信の弱点と海上通信への期待を列挙すると；

- * 通信の最も基本的要望である「何時でも、何処へでも、誰とでも」品質が良い通信ができない。特に、遭難、安全などの非常時に通信を確保できる

ことが重要である。

- * 不安定な電離層による空間波伝搬を利用するので、フェージング、空電、デリンジャー、磁気嵐、対蹠点効果、回り込み現象など短波固有の伝搬障害が発生する。従来の電波伝搬の研究はアナログ的な平均電力で電離層変動を評価してきたが、デジタルでは瞬間的な変動による影響が大きいので電離層の確立・統計的な変動を研究する必要がある。

- * 短波は遠距離まで伝搬する。また、呼び出し、通信チャンネルを全世界的に共有しているので、携帯電話のセルラー方式のように地域で空間的に分離することができない。このため混信妨害の影響が多い。符号分割多元接続（CDMA）のようなデジタル的な混信対策が必要となる。

- * 割り当て周波数帯幅が狭いので高速通信ができない。あるチャンネルで情報を符号化して伝送できる最高速度を通信容量と呼ぶ。どんな高度な符号化をしても通信容量を超えた速度で伝送すると誤りの発生が避けられないことをシャノンが理論的に定義して、

$$\text{通信容量 } C = W \log_2 (1 + S/N) \text{ (ビット/秒)}$$

の理論式を示した。ここで、W は伝送路の周波数帯幅、S は信号電力、N は雑音電力である。log₂ は 2 を底とする対数である。W = 3 kHz、S/N = 15 とすると通信容量 C は毎秒 12 (キロビット) までが限界となることが証明されている。ビデオ伝送するには毎秒メガビットの高速伝送が必要であるので、現在の短波帯ではビデオを送ることができない。周波数統合利用による広帯域化や情報圧縮技術で帯域幅制限をするなどの新しい技術の導入が必要である。

- * 専用回線となっているので周波数の利用効率が低く、マルチメディア通信ができない。デジタル符号化とパケット通信などにより共有化する必要がある。
- * 無線局の運用が単独局又はグループ局ごとに分かれた運営をしているので、広域を共用利用することができない。ネットワークを構築する必要がある。
- * 陸上とのシームレス通信ができない。インターネットと組み合わせるには短波品質の向上やプロトコルの整合などが要求される。
- * 衛星通信、携帯電話などと競合する時代となり、広い利用海域、安い通話料金、小型で安価な機器などの短波のメリットも要求される。
- * 秘話通信、グループ通信なども要求される。

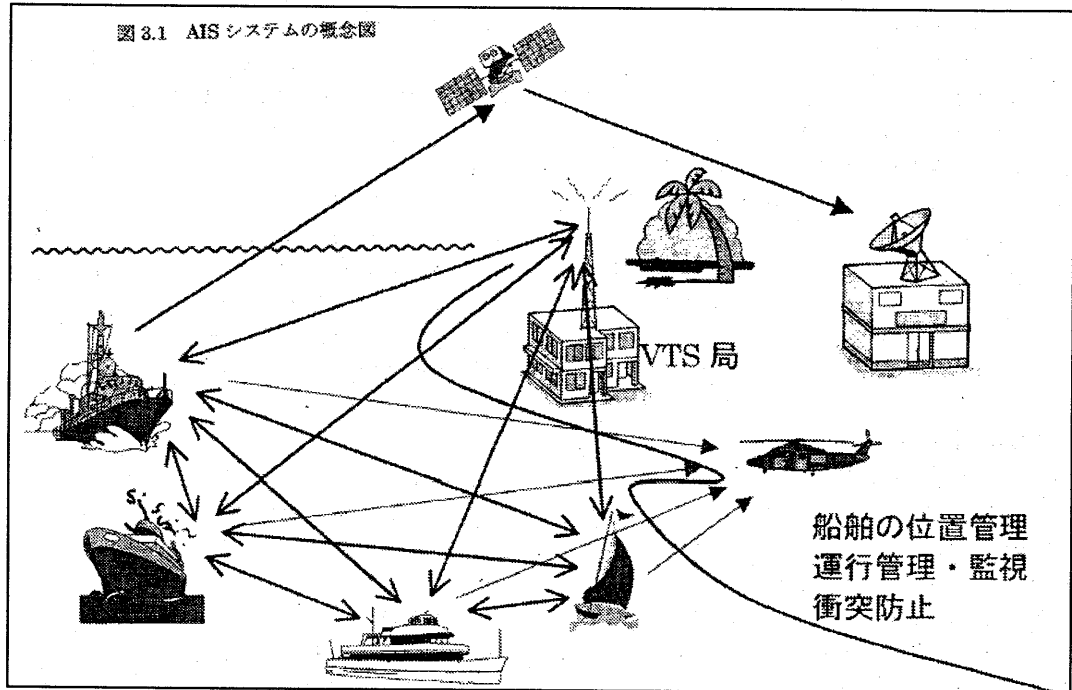


図 3.2 AIS (船舶自動識別システム) の概要

目 的	(1) 基地局：①船舶の位置管理、②船舶の運航管理、③衝突防止管理 (2) 船舶局：衝突防止	
機 能	周囲の船舶局や基地局に対して位置情報等を継続発信、自船において他船の情報を受信	
伝送情報	(1) 静的情報 (6分毎及び必要に応じて)： 船舶番号、呼出符号、船名、船長、幅、船の種類 等 (2) 動的情報 (速度に応じて、2秒～3分毎)： 位置、世界標準時、対地進路、対地速度、船首方位、回頭率 等 (3) 航行関連情報 (6分毎、データ更新時及び必要に応じて)： 船の喫水、危険貨物、目的地と到着予定時刻 等	
伝送形式	伝送速度：9.6 kbps 送信電力：2W/12.5W 通信方式：SOTDMA (自己管理型 TDMA)	
航海機器との接続	(1) GPS：世界標準時、対地進路・速度の情報作成 (2) 表示装置：プロッタ、レーダー指示器等への自船位置表示 (3) ジャイロ/マグネトコンパス：船首方位、回頭率等の情報作成	
搭載が義務付けられる船舶	・全ての旅客船、国際航海に従事する総トン数 300 トン以上の船舶及び国際航海に従事しない総トン数 500 トン以上の貨物船 ・但し、①総トン数 150 トン未満の全ての航海に従事する船舶、 ②総トン数 500 トン未満の国際航海に従事しない船舶及び③漁船については、主管庁裁量とされている。	
スケジュール	平成 14 年 (2002 年) 7 月 1 日から順次導入予定	
備 考	非義務船舶の扱いについても、導入するかどうかについて検討されている。	

イメージ図

(陸上船舶)

AIS センター (基地局)

150MHz 帯

(船舶間)

AIS により衝突回避

避航方法、要検討

小型船舶

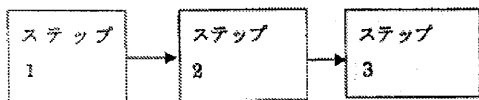


図 5.1 高度化への3段階ステップ

ステップ1：現用の送信機を活用して、ディジタル化、モデムの改良、適応型送信—受信システムとする。

2～3局間の小規模ネットワークを構成して無線局間協力運用によるダイバーシティを実現する。

既存のアナログシステムからディジタルシステムへ順次移行する。

ステップ2：無線局間の大規模共用ネットワークを構成する。短波帯に割り当てられた周波数を集約して符号分割多元接続（CDMA）システムを実現する。

ステップ3：ビデオ伝送を可能とする次世代情報インフラとの整合がとれるシステムを構築してグローバルシステムとする。

6. インテリジェント短波通信システムのモデル

6.1 送信機

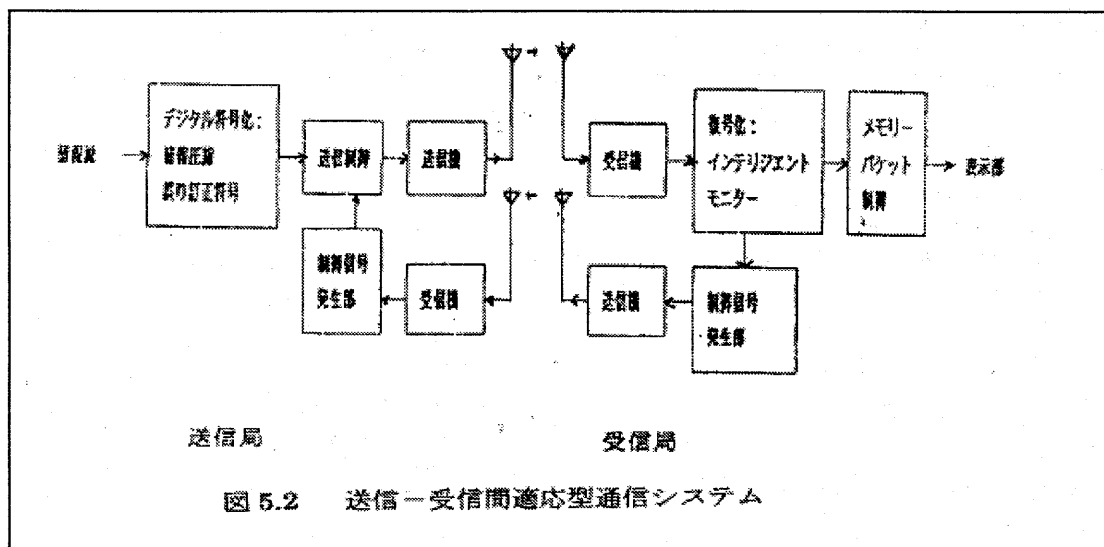
図 6.1 にインテリジェント送信機モデルのブロック図を示す。

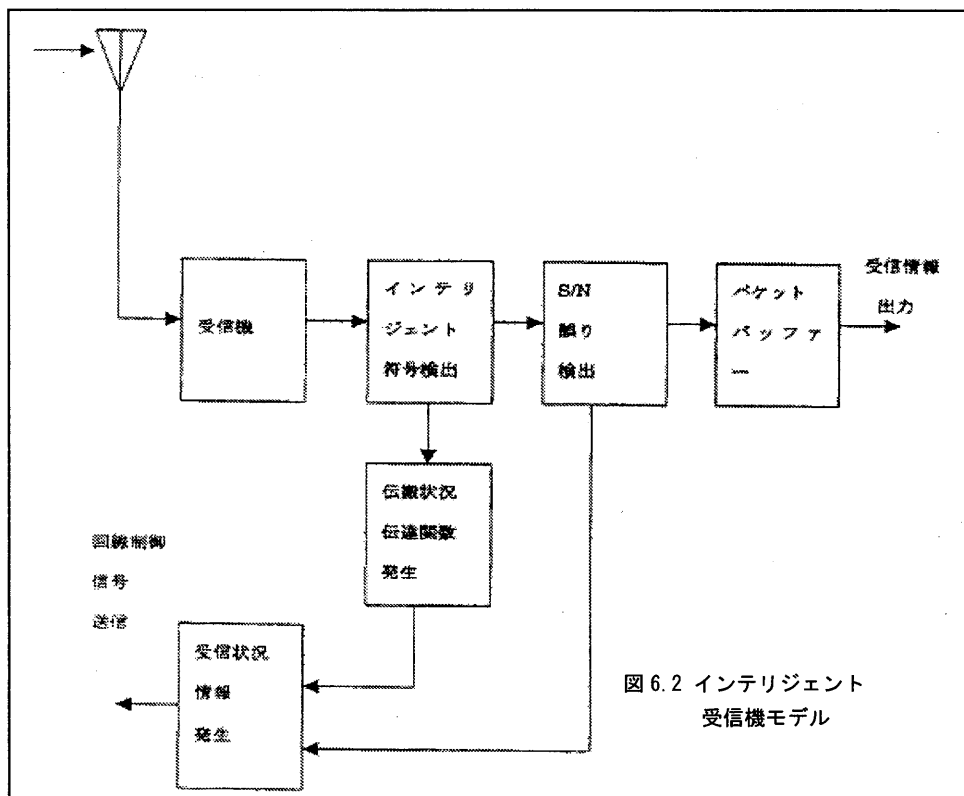
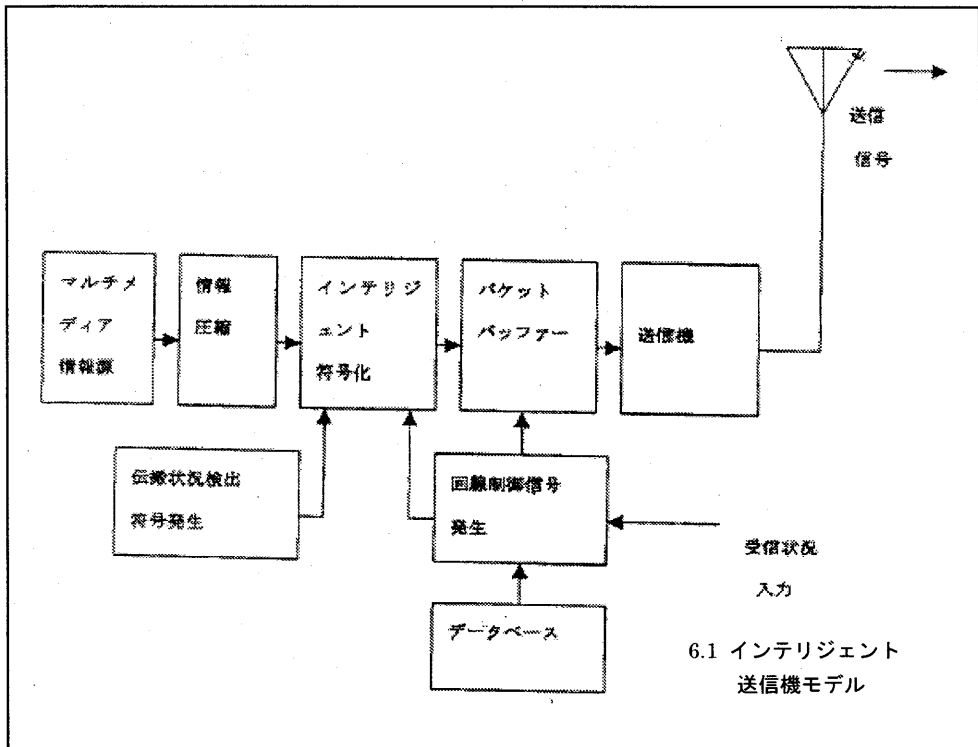
6.2 受信機

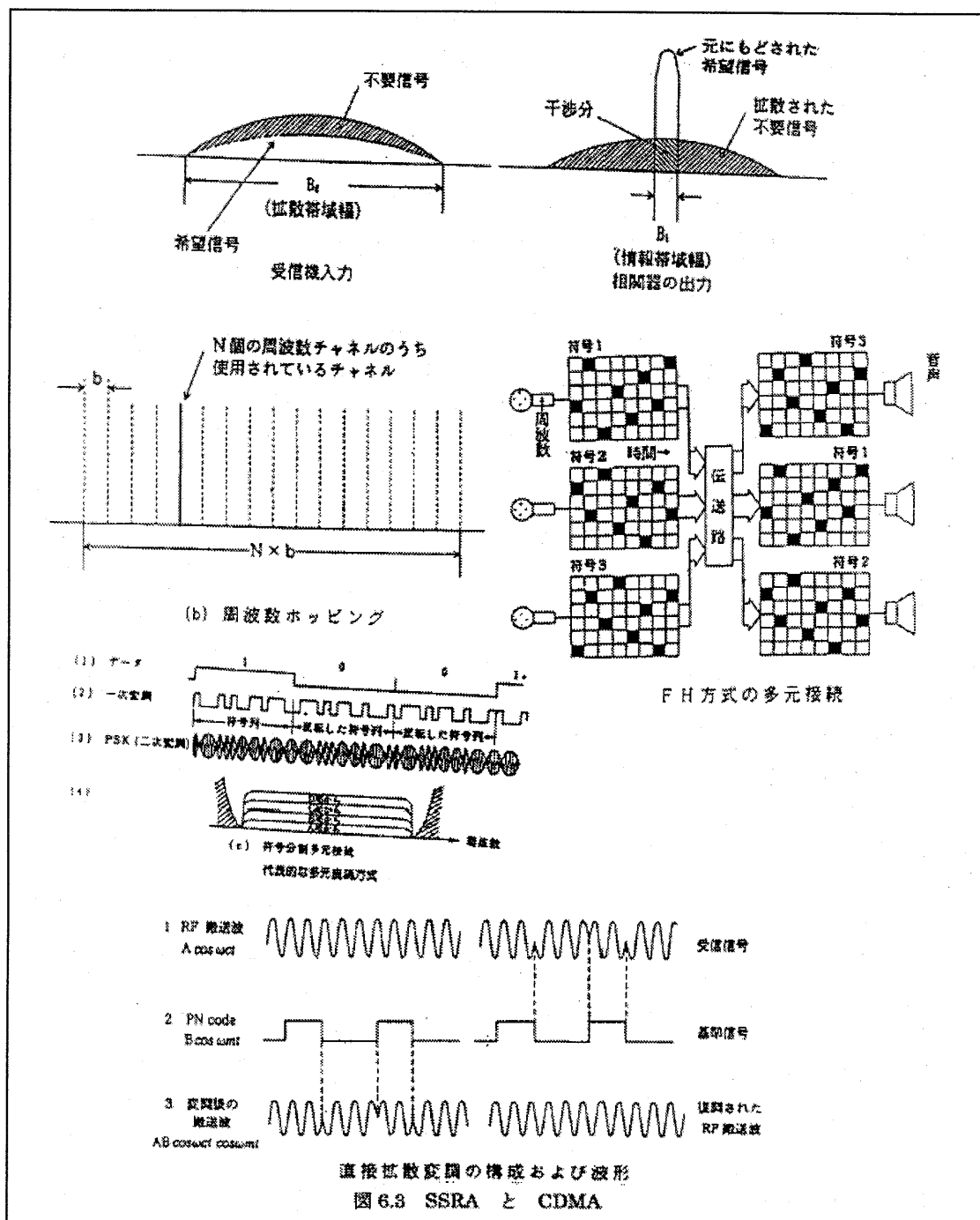
図 6.1 にインテリジェント送信機モデルのブロック図を示す。

6.3 周波数拡散通信 (Spread Spectrum Random Access;SSRA) と符号分割多元接続 (Code Division Multiple Access;CDMA)

図 6.3 にSSRAとCDMAの図を示す。







6.4 小規模（2局間）ネットワーク

フェージングや混信対策にダイバーシティが有効なことが知られている。ステップ1では2～3局間のダイバーシティと、インターネット又は無線LANの構築によりインテリジェント化を行う。

図 6.4 に2局ダイバーシティネットワークの構成図を示す。

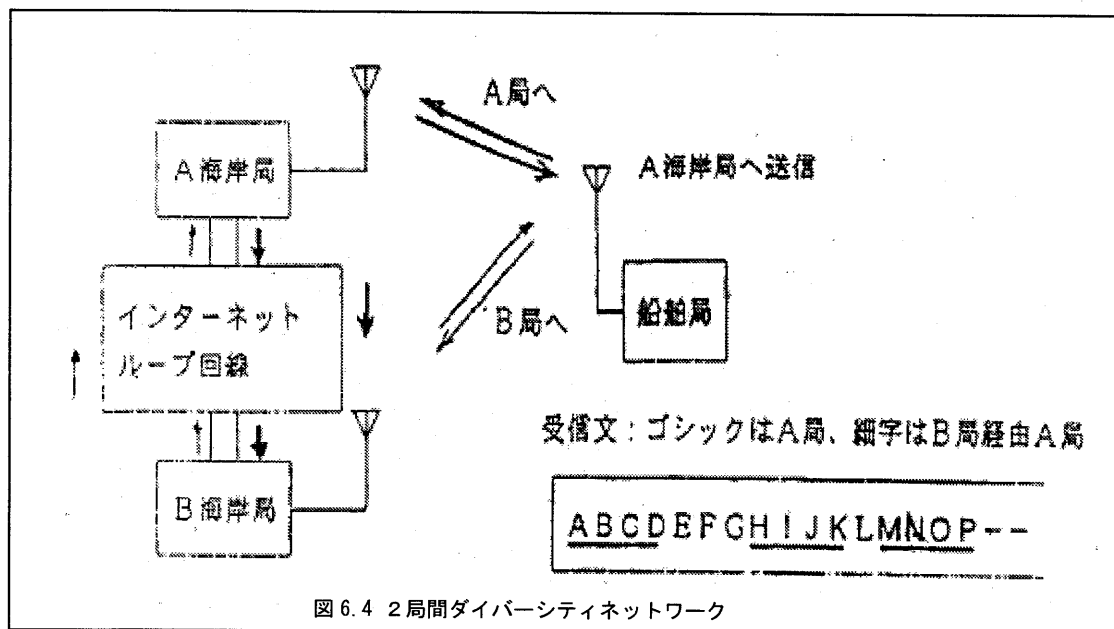


図 6.4 2局間ダイバーシティネットワーク

適応型通信システムとするためインテリジェント回線制御を行い、最適な局の切り替えと共に周波数、伝送速度、偏波までを選択できるダイバーシティとする。

図 6.4 ではA又はB局の送信を切り替えて船舶局へデータを送る場合を示し、電文の野線文字はA局、それ以外の文字はB局から自動切換えで受信する場合を示す。

従来の空間ダイバーシティとARQ通信方式より高品質のデータを短時間に伝送できる。

7. 海上通信の将来への展望

海上通信は、海上における人命の安全と財産の保全という重要な任務を持つと共に、漁業や運輸業などの生産と企業への社会的役割も重要である。

IT化は蒸気機関の発明による産業革命に続く21世紀の社会革命としての役割を期待されており、インターネットや携帯電話などを起爆剤としてのIT化社会は急速に普及しつつある。

漁業情報も漁労に関する通信だけを取り扱う業務から、船上からインターネットへ接続ができて家族との会話を楽しむ時代が望まれ、医療支援、種々の資格取得への通信教育、テレビ番組の録画から株の売り買いなどの広い陸上生活と同様な情報提供センターとしての今後の役割が漁業無線局へ期待される。このためには、海上通信が「何時でも：何処でも：誰とでも」行われるようにインテリジェント化する必要があり、ハード面―無線機器のデジタル化と適応型化、ソフト面―ネットワーク化、無線局の共同運用化、情報のマルチメディア化、

により順次3つの段階のステップで進められることが望まれる。

ステップ1. … 現用の無線機、周波数、運用形態などを活用しながら機器と運用の改良を行う。

- ・デジタル化により専用回線からマルチメディア回線へ移行する。

- ・2～3局間でネットワークを組み、フェージングや混信対策を行い安定した通信が常時確保されるようにシステムを構築する。

- ・インターネットとの接続を可能とする。

ステップ2. … 大規模ネットワークを構築してより安定で高速通信を実現する。

- ・周波数の共用化による周波数拡散技術による符号分割多元接続通信(CDMA)方式を採用する。

- ・全国的な無線局の共同運用を可能とする。

ステップ3. … IMT2000、MMACなど次世代情報インフラとの接続を可能とする。

- ・ビデオ伝送が可能となる等価ブロードバンド通信の構築を目標とする。

インテリジェント化は総合技術によってのみ実現可能である。関係者の方々が実現に向けて協力して目標にステップを踏んで進めて行くことを期待しています。

ミリ波・サブミリ波の新しい応用

渡辺 康夫

Yasuo WATANABE

(日本工業大学 工学部 電気電子工学科)

1. はじめに

ミリ波は一般に波長が概ね1 cm 以下の電波を指し、サブミリ波は3 mm から 30 m (100GHz-10THz) の電波を指す。サブミリ波はまたテラヘルツバンドとも呼ばれ、さらに近年急速な進歩を見せるテラヘルツ帯技術を反映して T-Ray と呼ばれ、周波数範囲も 30THz まで含める場合もある。ミリ・サブミリ波の特徴はガス分子の放射吸収線を豊富に含むことと、光と電波の両伝播特性を兼ね備えている点である。前者の特徴を利用して、電波天文観測や衛星搭載型リモートセンシングなどが盛んに行われている [1]。工学応用では産業用ガス分析や後者の特徴を利用した合成開口応用技術や車両レーダ等の研究開発が行われているが、工学的には特にサブミリ波は未開の領域になっている。しかしながら近年、ミキサ・通信方式の安定した送受信デバイスやベクトル計測技術が概ね 1THz にまで届くようになる一方、フェムトレザ光・テラヘルツコンバージョン方式の THz 帯タイム・ドメイン・スペクトロスコーピーや透視画像技術が開発され [2, 3]、新しい電波応用開発の環境が整ってきた。本発表ではこれらの最新技術及び応用について概括する。

2. ミリ・サブミリ波の歴史

ミリ・サブミリ波の歴史を表 1 に示す。1873 年にマクスウェルが電気磁気理論を発表してから 15 年後の 1887-1891 年にヘルツが電波の存在を実証したことはよく知られている。10 年後の 1897-1904 年にインドのポーズが初めて 12-60GHz のミリ波を用いて結晶の伝播特性や誘電率等を実測した。その後半世紀はミリ波の研究は殆ど行われず、1944-50 年になってベリンジャー等が大気酸素の 60GHz 帯吸収特性を計測した。1955 年にタウンズ、シャロウが電波天文学、リモートセンシング、ガス分析等の応用を論じ、1960 年代に入りこれらの研究が始まった。70 年代から車両レーダの研究も始まった。1990 年代には概ね 350GHz までのミキサ・通信方式の送受信デバイスの効率、信頼性はともに高くなった。今日では 500GHz から 2.5THz 帯ミキサなどの開発研究が行われている。一方、1990 年代中頃からフェムトレザ光・ミキサのダウンコンバージョンで得られ

たテラヘルツ波、いわゆる T-Ray を利用したタイム・ドメイン・スペクトロスコーピーや透視画像技術が実現されてきた。

表 1 ミリ波・サブミリ波の歴史

1873	J.C.マクスウェル	電気磁気理論
1887-1891	H.ヘルツ	60-454MHz 放射 受信
1897-1904	J.ポーズ	12-60GHz 物性 (ε)
1944-1950	R.ベリンジャー等	60GHz 帯大気酸素吸収特性
1955	C.H.タウンズ, A.H.シャロウ	マイクロウェーブ スペクトロスコーピー
1960-	電波天文学 OH(63, 17GHz)	リモート・センシング 車両レーダ O ₃ (60, 36GHz)
1970-	CO(115GHz)	H ₂ O(22, 183GHz) 50GHz
1980-	SO ₂ , CO(230GHz)	O ₃ (89, 111GHz) 60GHz
1990-	SO ₂ , HCN(330GHz)	雲(93, 95GHz) 77GHz
先端技術		
デバイス		
ショットキーダイオードミキサ : 500-2500G		
SIS/ミキサ : Hz		
フェムトレザ/ミキサ : 500GHz		
2.5THz		
ベクトル計測 : 1THz		
T-Ray : 3THz		
タイム・ドメイン・スペクトロスコーピー		
透視画像		

3. ミリ・サブミリ波の将来応用

ミリ・サブミリ波の特徴と工学的応用を表 2 に示す。90 年代中頃以降に目を向けると、27-35GHz ホログラフイによる衣服に隠蔽された危険物の探知画像 [4]、T-Ray による歯の断面撮像 [2-3] 等の特筆すべき成果が報告されている。

4. 大気リモートセンシング

ミリ・サブミリ波は雲を透過できる全天候性、大気の大気圧観測及び雲中の水の直接観測能力等の利点があるため、他の波長帯センサと組み合わせると豊富な気象情報が得られることになる。図 1 は、NOAA-15 衛星に搭載

されたサブミリ波観測装置 AMSU-B によって得られたスノーストームの 180GHz 帯ラジオメトリ画像で、雪雲中の水の分布、粒径の大小が観測できる[5].

表2 Functional Features and Salient Applications

Functional Features	Salient Application
Radiometric Imaging	Monitoring plant activity
	Environmental remote sensing
	Medical diagnosis (emission from tissues)
Spectroscopic Analysis	
Biochemistry	Medical diagnosis (expiration)
Industrial Gas Sensor	In-situ gas sensor for air pollution control and plasma gas synthesis
Coherent Imaging	Security protection (detection of concealed drug, gun, bomb)
	High resolution imaging radar for traffic control (highway, marine, airport)
	Structural analysis (surface and internal measurement of composite material)-----fluoroscope
T-Ray	Gas/dielectrics analysis
Communication	Medical diagnosis
	Last mile comm.
	Secure comm. in space

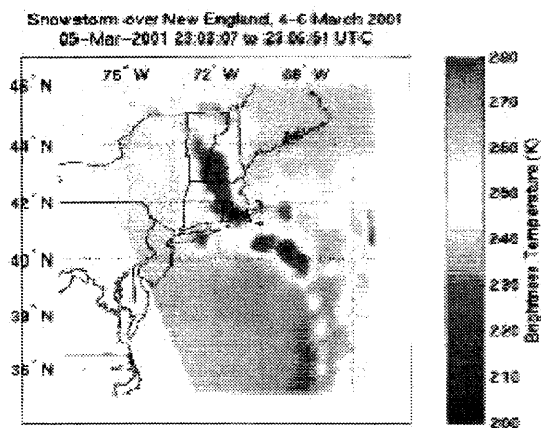


図1 118GHz 帯スノーストームのラジオメトリ

表3 吸収スペクトラム

化学種	周波数[GHz]
C ¹² O ¹⁶	115.735
C ¹³ O ¹⁶	110.6898
NO	102.169
OH	1131.6
C ¹² O ¹⁶ S ³²	12.16298
C ¹² O ¹⁸ S ³²	11.40966
H ₂ O ₂	52.36
C ₃ ¹² H ₄	17.09168
C ₃ H ₄	4.07146
O ₂	50-70, 118

5. In-situ ガスセンサ

ガス分子の回転運動に起因するミリ・サブミリ波帯の吸収周波数の一例と、酸素ガスの代表的な吸収周波数を表3に示す. in-situ ガスセンサはガスの発生源におけるガスの吸収周波数の計測から複数の分子種を同定するとともに、スペクトラム形状から濃度温度圧力を計測する機能を目指している[6].

図2は in-situ ガスセンサの概念図で、反応ガス中に設置された Fabry-Perot 共振器型吸収セルと入出力電波のベクトル（振幅・位相）計測系から構成される. F-P 共振器は優れた Q 値 (10^4 - 10^5) を容易に実現でき、等価的に長い吸収径路を形成できる. また、金属壁面積が小さく試料ガスの非接触性が高い利点がある. この方式のガスセンサの特徴はガスの選択性、濃度温度圧力等のパラメータの同時計測性、及び in-situ（その場）計測性に優れることである. このため、大気汚染ガスの発生源、処理部におけるガスセンサとして、またスーパーカーボン（ダイヤモンド等）等の高機能材料の合成プロセスにおけるガスセンサとして期待される. 図3に評価ガスとして使用した大気酸素ガスおよび純酸素の吸収計測結果を示す.

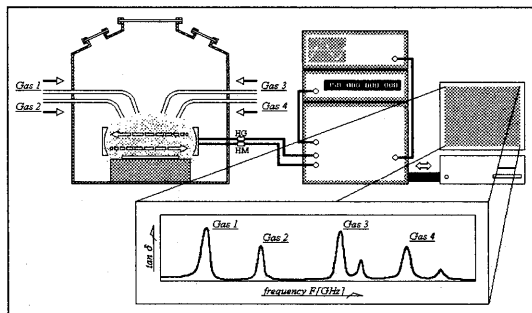


図2 Concept of in-situ gas sensor

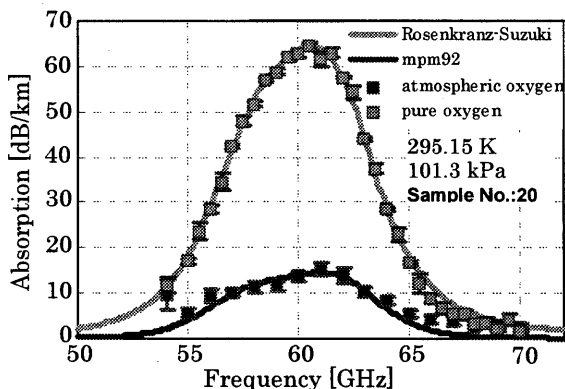


図3 酸素吸収特性

6. 高解像画像センサ

ミリ・サブミリ波をホログラフィ、合成・逆合成開口技術 (SAR/ISAR) に適用するとミリオーダの分解能をもつ高解像画像センサを実現できる。また、電波の透過性を利用すると衣服内隠蔽物や複合材・プラスチック内部等の透視 (フローラスコピー, Fluoroscopy) 及び弾性構造解析への応用が期待される [7]。

図 4 (a)–(c) はフローラスコピーの基礎実験で、 $f_0=140\text{GHz}$ 、周波数掃引 $=120\text{--}160\text{GHz}$ 、距離方向の分解能 $=3.8\text{mm}$ 、横方向の分解能 $=6.1\text{mm}$ である。アクリル板 (5mm 厚) の背後に 2 本の金属棒 (1 本は切断) を配置したときのブリュースター角入射の SAR モードによって断面図 (a–a' 及び b–b') を得た例である。

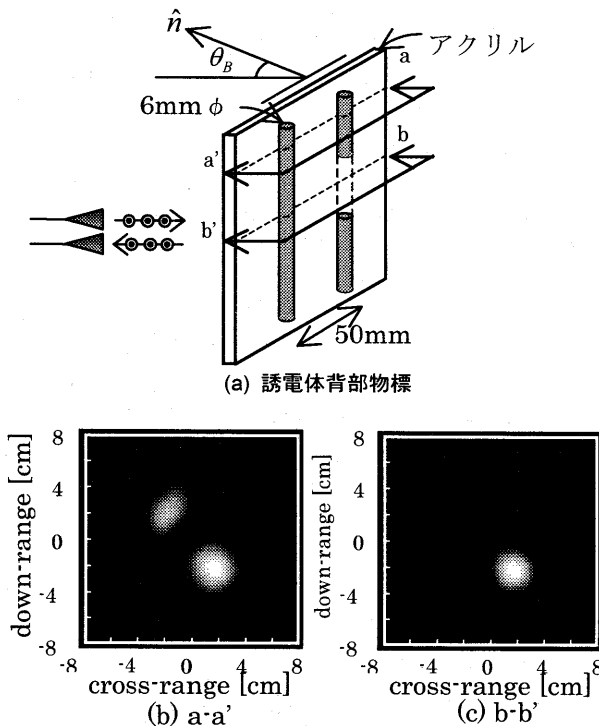


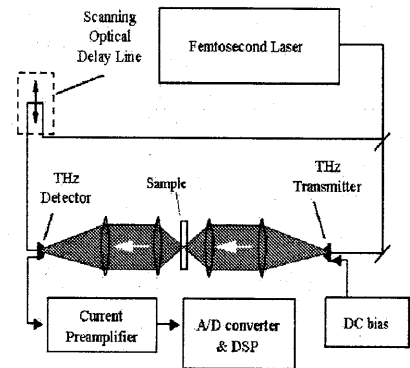
図 4 誘電体背部物標の再現画像

7. T-Ray とタイム・ドメイン・スペクトロスコピー (TDS) 及び透視画像 [2, 3, 8-10]

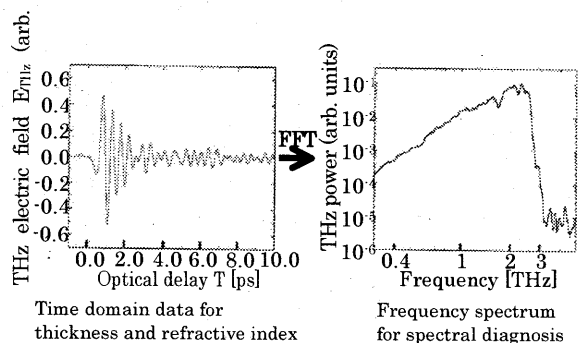
最近、医用、電子材料分野で注目を集めているのが TDS と透視画像技術である。図 5 に示すように、フェムトレーザビームを 2 本に分け、一本を GaAs 基板上に蒸着した電極部に照射してテラヘルツ波を発生させ、それを試料中に伝播させる。一方のビームをスキャン型遅延路に通して受信側の半導体に照射し、透過したテラヘルツ波をサンプル受信する。このとき、例えば遅延距離を 0.1mm 毎に受信すれば、テラヘルツ波の透過波形を 1ps

毎にサンプルすることになる。試料の屈折率が大きくなるほどテラヘルツ波の伝播速度は遅くなり、その分受信波は遅れて計測される。また、試料の減衰率が大きいほど受信波の振幅は低くなる。このサンプルされた受信波のスペクトラムは FFT でほぼリアルタイムで得られ、(ショートパルスのため概ね 0.5–2THz の広がりをもつ)、試料に含まれる吸収物質に固有の吸収周波数成分の落ち込みなどが現れる。プラスチック材などの製造過程で、特に厳しい品質管理が必要な場合に応用が期待されている。

TDS を応用して、試料の断面撮像も実現できる。一例を図 6 に示す。歯に対して細いビームのテラヘルツ波をスキャンしながら照射すると、ピクセルごとに得られる透過波の遅れ時間と振幅から、歯内部の誘電体分布を画像的に得ることができる。



(a) T-Ray imager schematic. (From D.M. Mittleman, et.al., IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics, Vol.2, no.3, Sept. 1996).



(b) T-Ray data showing field versus optical delay (time domain) and Fourier transformed frequency domain spectral content

(From D.D. Arnone, et.al., Proc. SPIE, Vol.3823, Munich, Germany, 1999).

図 5 THz タイム・ドメイン・スペクトロスコピー

8. 35GHz 帯ポラリメトリックレーダー

地表面すれすれにビームを放射するヘリコプタや車両搭載レーダーでは、クラッタの影響によって目標信号のシグネチャが歪むとともに RCS が減少する。このため木やブッシュ背部の目標探知が困難になる。しかし木々の葉などからの反射波の位相の時間的変動は相関性が低く、この傾向は周波数が高くなるほど大きい。ミリ波を用い、中間周波数段階でコヒーレント積分を行うとともに、ポラリメトリックレーダーと組み合わせると、木々の背部の静止目標を探知することができる [11]。海上レーダの場合にも、波の反射波の位相変動は相関性が低く、船は短時間なら固定目標に近いと見なせるため、同様の方法でシークラッタ中の船舶探知率の向上が期待される。

9. 60GHz 帯ブロードバンド通信

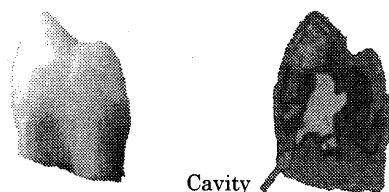
最近、ブロードバンド用のいわゆるラスト・マイル通信用赤外レーザリンクを霧環境下で補完する電波として 60GHz 帯が考えられている [12]。技術的にも 58GHz 送受信機 MMIC が発表されている [13]。

10. まとめ

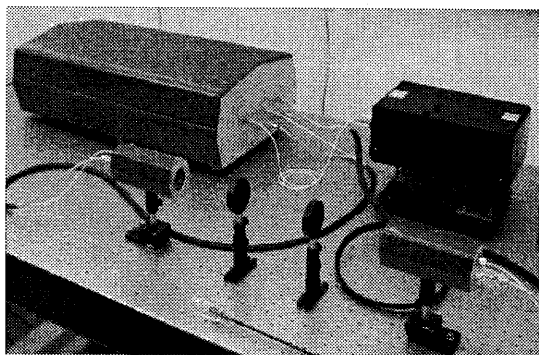
ミリ・サブミリ波の将来応用例を概観し、中期的アイテムで有望と考えられる in-situ ガスセンサ、合成開口応用の高解像画像センサ、及びテラヘルツ技術の研究状況を報告した。ホログラフィ利用の画像センサはニードが現実のものとなっており、また THz タイム・ドメイン・スペクトロスコピーは医用、産業分野に大きな効果が期待されるため、我が国でも力点を置くべき課題である。

参考文献

- [1] Proc. IEEE, Special Issue on Terahertz Technology. Edited by F. T. Ulaby. vol. 80, No. 11, Nov. 1992.
- [2] P. H. Siegel, "Terahertz Technology," IEEE Trans. MTT, vol. 80, No. 3, pp. 910-928, March 2002.
- [3] P. H. Siegel, "Terahertz Technology and Application," Proc. 2002 Asia-Pacific microwave Conference, WE4B-5, vol. 2, pp. 261-266, Nov. 2002, Kyoto.
- [4] P. E. Keller, et al., "Privacy Algorithm for Cylindrical Holographic weapons Surveillance system," IEEE AES Sys. Mag. vol. 15, No. 2, pp. 17? 24, Feb. 2000.
- [5] By courtesy of F. M. Chen, Research Lab. of MIT and D. H. Staelin, et al., "Precipitation Observations Near 54 and 183GHz Using the NOAA-15 Satellite," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol. 38, No. 5, pp. 2322-2332, Sept. 2000.
- [6] T. Suzuki, et al., "Vector signal Processing for 60-120GHz Gas Absorption Measurement," IEICE Trans. Electron. E84-C, 12, p.1900? 1904, Nov. 2001.
- [7] K. Sasaki, et al., "Coordinate Transformation by Nearest Neighbor Interpolation for ISAR Fixed Scene Imaging," IEICE Trans. Electron. E84-C, 12, p.1905-1909, Nov. 2001.



(a) T-Ray image of cavity in human tooth (From D.D. Arnone, et.al., Proc. SPIE, Vol.3823, Munich, Germany, 1999).



(b) Commercial T-Ray system from Picometrix (From D. Zimdars & J. Rudd, Photonic Spectra, May 2000).

図6 歯の透視画像及び T-Ray システム

- [8] D. M. Mittleman, et al., "T-Ray Imaging," IEEE JQE vol. 2, No. 3, pp. 679-692, Sept. 1996.
- [9] S. Hunsche, et al., "Terahertz "T-Ray" Tomography," (invited paper), 4th Int. Conference on Millimeter and Submillimeter Waves and Applications, pp.426-433, San Diego, July 1998.
- [10] D. D. Arnone, et al., "Applications of Terahertz (THz) Technology to Medical Imaging," (invited paper), EUROPTO Conference on Terahertz Spectroscopy and Applications II, SPIE Vol. 3828, pp.209-219, Munich, June 1999.
- [11] F. T. Ulaby, et al., "Radar System for Measuring Backscatter and Bistatic Scattering from Terrain," 2002 Asia-Pacific Microwave Conference, vol. 3, pp. 1722-1727, Nov. 2002, Kyoto.
- [12] A. Acampora, "Last Mile by Laser," Scientific America, pp. 32-37, July 2002.
- [13] T. Nakagawa, et al., "60-GHz Band and 5GHz Band Demodulator MMIC for More Than 1-Gbps FSK Transceivers," 2002 Asia-Pacific Microwave Conference, pp. 839-842, Nov. 2002, Kyoto.

標準時の国際的な仕組みと正確さと利便性向上に向けた取り組み

独立行政法人通信総合研究所
今江 理人

International Frame on Time Scale and Activities on Time and Frequency at CRL

Michito IMAE
Communications Research Laboratory

1. まえがき

各種標準の中で、時間・周波数標準は最も正確さが高く、その確度（定義値の実現の度合い）は世界最高レベルのもので 1×10^{-15} に達している。標準時は、このような高確度性に基づいて発生され、科学技術における基本量であり、また、交通・通信を初めとした各種人間活動において不可欠な情報である。

本稿では、標準時を決定する際の世界的な仕組み、正確さの現状について概説し、我が国の標準時に責任を有する通信総合研究所における正確さや利便性向上に向けた研究開発の現状などについて概説する。

2. 国際原子時、協定世界時構築のための枠組み

2.1 秒の定義の変遷

標準時を刻む上で、1秒の長さが重要であるが、その定義は、現在に至るまで科学技術の進歩と共に変遷があった。表1にその経過を記す。

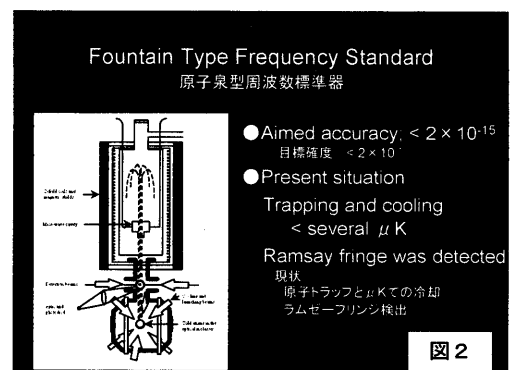
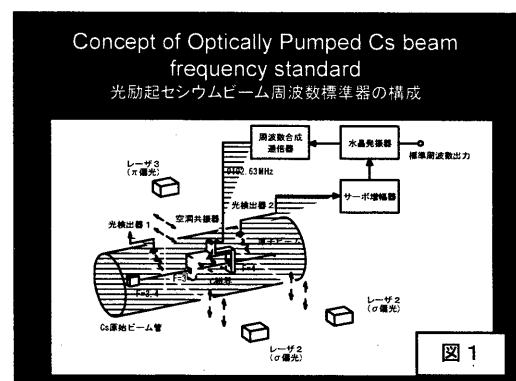
History of definition of "second"	
1秒の長さの定義の変遷	
～1956	Solar time
1 second = 1/86,400 of one mean solar day	
1秒=平均太陽日の1/86400	
- spin down rate of about -1×10^{-10} /year	
- 年の長期的減速	
- short term stability of 10^{-8}	
10^{-8} の短期的変動	
1956～1967	Ephemeris time
1 second = 1/31,556,925.9747 of one tropical year	
1秒=1回帰年の1/31,556,925.9747	
1967～	Atomic time

表1

現在は、セシウム原子のエネルギー状態間の遷移に対応した放射電磁波との周波数で定義付けられている。

1秒の長さの定義を物理的に実現するものとして、一次周波数標準器が開発されている。セシウム一次周波数標準器の技術開発も過去40年近くの間なされ、7～10年で1桁の割合で確度が向上している。方式も、

ラムゼイ共振器を横置きにし、セシウム原子の準位選別を磁界により行っていた方式（古典的な方式 1×10^{-13} 程度まで）から、図1に示すような準位励起・選別や検出にレーザー技術を用いた光励起形（ 1×10^{-14} 程度を実現）が開発され、現在は、図2に概念図を示す様なレーザー技術を用い、真空容器内にセシウム原子をトラップや冷却し、上方へ投げ挙げ、共振器を往路（上昇時）と復路（落下時）に横切ることを利用し、マイクロ波との干渉時間を長時間とることにより、ラムゼイ信号の半値幅を狭くして確度を向上（ 1×10^{-15} 程度）を実現した方式へ発展している。



標準時に関しても、この原子標準で実現される原子

時が現在基準として用いられており、次節で記す国際原子時 (International Atomic Time : TAI) や協定世界時 (Coordinated Universal Time : UTC) を刻む元になっている。

2.2 国際原子時(TAI)と協定世界時(UTC)

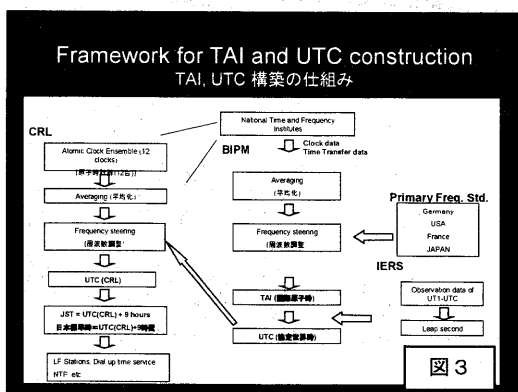
国際原子時(TAI) は世界 50 機関程度の時間や周波数に責任を有する研究機関で稼働している 200 数十台の原子時計の平均値と一次周波数標準器の精度評価データにより周波数調整がなされて計算される時系である。5 日毎の各機関における原子時計相互比較の結果や各機関間の国際時刻比較の結果、一次周波数標準器の精度評価結果が、毎月 1 度、月初めに国際度量衡局 (Bureau International des Poids et Mesures : BIPM) に報告され、前月分の結果が毎月中旬に BIPM より公表される。原点は 1958 年 1 月 1 日としている。その安定度や周波数精度は、平均化時間 30 日で 7×10^{-15} よりも良く、精度も 3×10^{-15} よりも良いとされている。

また、協定世界時(UTC)は、世界の法定時の基準となるもので、秒の整数倍の違いを除き TAI と同じである。「うるう秒」実施が国際地球回転観測事業 (International Earth Rotation Service : IERS) により決定され、UT1 と 0.9 秒以内に保たれる。2003 年 3 月現在の TAI と UTC の差は 32 秒ある。

TAI, UTC とともに上記の様に約 1 ヶ月遅れて計算される "Paper Time Scale" であり、実時間で決定されるものではない。

このため、各国の時間周波数標準機関では、実時間で UTC に準ずる時刻 (UTC(k) と表記し、k は機関の略称。通信総研の場合、UTC(CRL)) を発生して各種用途に使用される。

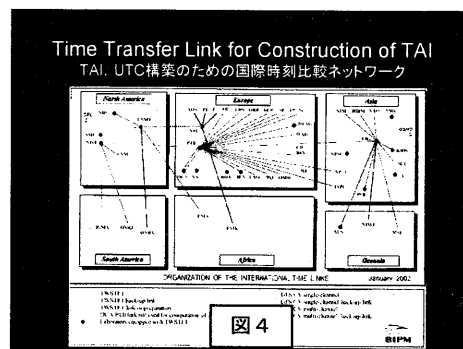
図 3 は TAI や UTC 決定の仕組みを図示したものである。



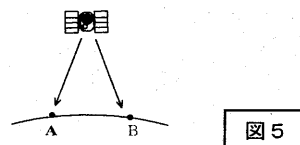
2.3 TAI 決定のための精密時刻比較網

高精度時刻比較は、原子時計の性能向上と共に、国際原子時 (TAI) の精度・安定度向上のため、最も重要な研究課題の一つである。図 4 は、現在国際原子時を構築するため、BIPM が採用している時刻比較ネットワークを示している。

従来、同時時刻比較ネットワークで使用される主力時刻比較手段は、1980 年代中頃から 1990 年代中頃までの 10 年間以上にわたり、GPS common-view 法と呼ばれる方式が用いられてきた。図 5 に概念図を記すが、遠隔地点で同時に GPS 衛星を観測し、GPS 搭載原子時計、或いは GPS time を仲介として比較がなされてきた。用いる GPS の信号も、L1 帯で送信される C/A code が一般的であったが、この場合の比較精度は、近距離で数 ns、大陸間の遠距離で 10~20 ns 程度であった。



GPS common view方式時刻比較法



一方、原子時計の性能向上が著しく、上記の GPS 衛星 Common-view 法では精度的に不足する状況になりつつあり、より精度の高い時刻比較方式の実現に対する要請が、CCTF (国際度量衡委員会傘下の時間周波数諮問委員会) や ITU-R (電気通信連合無線通信部門) の科学業務研究分野でなされ、3.2 節で紹介する衛星双方向時刻比較法などの研究開発が奨励されている。

図 4 の 2 重線で示されているリンクは上記衛星双方向時刻比較法が TAI の計算のための時刻比較法として正式に採用されているもので、欧米やアジア太平洋地

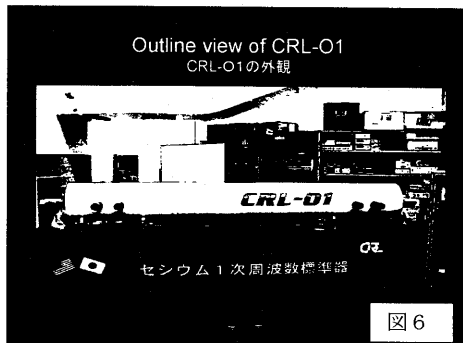
域の一部で活用され始めている。

3. 通信総合研究所における時間周波数標準研究開発

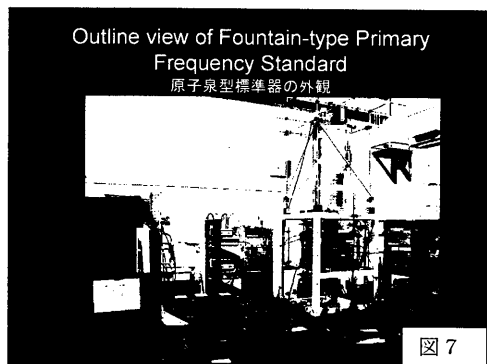
通信総合研究所では、時間・周波数標準に責任のある研究機関として、高精度の一次周波数標準器の開発から標準時のサービスに至る総合的な研究開発等を進めている。

3.1 一次周波数標準器の開発

当所では、図6に外観を示す米国 NIST との共同で開発した光励起型セシウムビーム周波数標準器 (CRL-O1) が平成 12 年より稼働をはじめ、現在 1×10^{-14} 程度の周波数精度を実現している。CRL-O1 は連続的に稼働するのではなく、1~2 ヶ月に一度、精度評価が行われ、評価結果が BIPM へ送付され、TAI の周波数調整に他の一次周波数標準器のデータと共に用いられる。

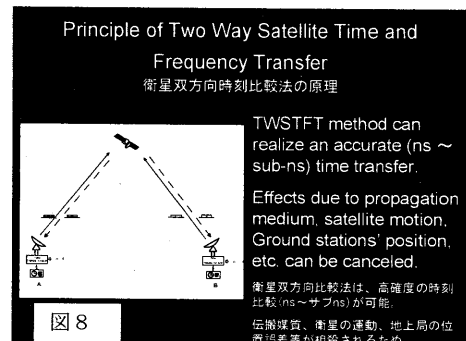


CRL-O1 の次の標準器として、 10^{-15} 台の世界トップレベルの周波数精度を目標として原子泉型セシウム一次周波数標準器の開発を数年前より進めている。図7はその外観を示すが、既に、セシウム原子のトラップ・冷却は世界レベルを達成し、原子の打ち上げによるラムゼイパターンの検出にも成功している。同信号の S/N 向上を図りつつあり、近い将来、精度評価に入れるものと期待している。



3.2 高精度時刻比較法

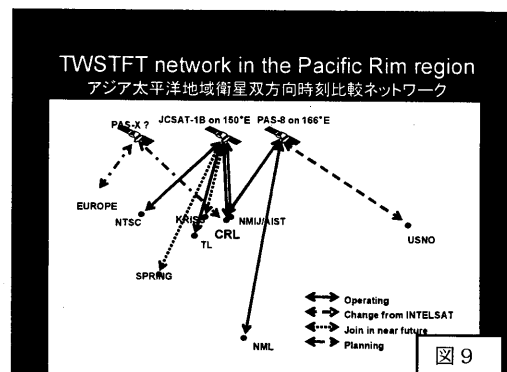
高精度時刻比較法の現在当所で最も力を入れているのは、衛星双方向時刻比較法である。図8に原理を示すが、同方式は、時刻比較を行う双方の局から時刻比較用の信号を通信衛星経由で相手局へ伝送し、各局では、相手局からの信号の到来時刻を自局の時計を基準にして測定し、両局の測定結果の差から2局の時計の比較を行うものである。双方からの信号がほぼ同一の経路をとることから、大気圏や電離層等の伝搬路に起因する誤差や衛星の運動による誤差が相殺され、高精度の時刻比較が実現できる。

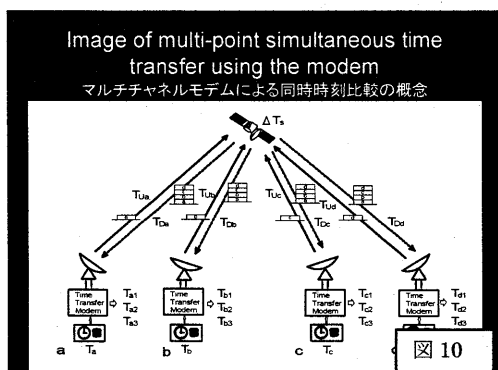


時刻比較精度は、用いる信号の帯域幅や回線品質 (S/N) に依存するが、一般的には、有効径 1.8m 程度の VSAT 地球局で数 W (4~6W) の送信電力、帯域幅 2.5 MHz 程度で、サブ ns が得られている。

図9は当所が中心となり、アジア・太平洋地域の時間周波数標準研究機関との協力で進めている同地域の衛星双方向時刻比較ネットワークの現状を示すものである。

さらに、当所では、図10に概念図を示す多地点同時双方向時刻比較が可能な装置を開発しつつあり、同装置を図9のネットワークで活用すべく国際協力を進めている。





3.3 時系の発生

当所の維持発生する UTC(CRL)は、長期にわたり、対 UTC 比で、 ± 100 ns 以内を維持している。これは、世界的にみて、優れた時系の一つといえるが、より短期安定度の優れ、UTC にできるだけ近いもの（目標としては、長期にわたり ± 10 ns 以内）を発生するようにシステムの改善を図りつつある。

現在は、12 台のセシウム原子時計の加重平均として UTC(CRL)が実時間で生成されているが、発生のための計算アルゴリズムの改善、各時計間の時刻差計測システムの高度化、短期安定度に優れる水素メーザ型周波数標準器の導入などにより、上述の目標を達成する様に準備を進めている。

3.4 時間周波数の供給法

前節までに記した高精度時系を各種利用分野に提供していくことが、CRL の重要な任務の一つである。その手段で特に一般利用者向けの方法として、下記の 4 種類の手段について概説する。

(1) 長波標準電波

我が国における標準電波の送信は、電波監理上の必要性から、昭和 15 年に短波帯で開始し、60 年以上の歴史を有する。残念ながら、短波帯標準電波は、電離層伝搬になるため、受信周波数精度は、 10^{-8} 程度しか得られないこと、諸外国の標準電波との混信の問題などから、2001 年 3 月末で送信を終了した。

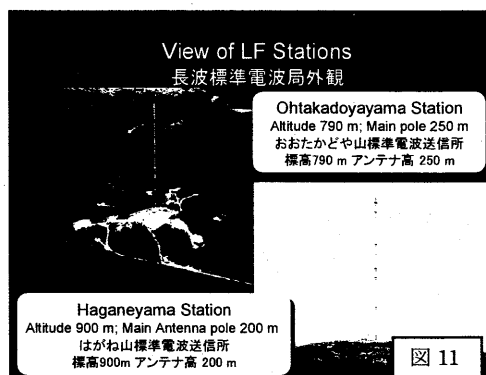
一方、長波帯標準電波は、地上波の範囲では、受信周波数精度が高く、タイムコード重畳に伴い、電波時計といった新たな市場を提供できることなどから、1999 年 6 月より福島県大鷹鳥谷山山頂に建設した「おおたかどや山標準電波送信所」が、また、2001 年 10 月には、福岡県と佐賀県の県境にある羽金山山頂に「はがね山標準電波送信所」が稼働を開始した（表 2、図 11 参照）。

Main Specifications of the LF Stations

長波標準電波局諸元

	Ohtakadoyama Station	Haganeyama Station
Begging of operation	June 10, 1999	October 1, 2001
Frequency	40 kHz	60 kHz
Transmitter	50 kW	50 kW
Antenna type	Umbrella type with 250 m main pole	Umbrella type with 200 m main pole
Transmission efficiency	~25 %	~30 %
Source	3 Cs clocks synchronized to UTC(CRL)	3 Cs clocks synchronized to UTC(CRL)

表 2



前者は、送信周波数 40 kHz、後者は 60 kHz で、送信機出力 50 kW で、基本的に両送信所から連続して信号を送信している。図 12 は、両局の位置関係と両局からの信号の受信電界を示している。長波帯という情報伝送的には、時代に逆行した周波数帯ではあるが、2 局ではほぼ日本全国をカバーすることができ、また、重畳して送信している時刻コードの有用性は高く、すでに電波時計の国内販売総数は、累積 1 千万台（2002 年実績で、年間 500 万台程度）を越えており、数多くの方々に利用していただいている。さらに、図 13 は、同標準電波の既利用分野や今後利用が期待される分野を記したものである。



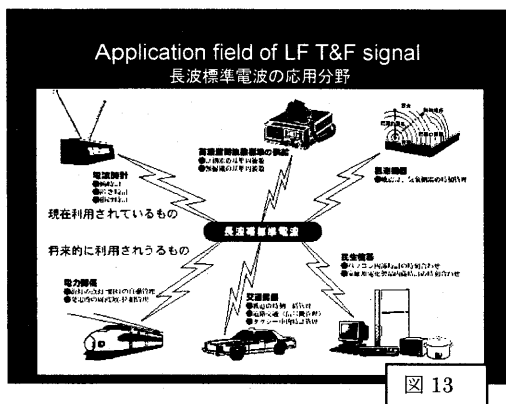


図 13

(2) テレホン JJY

テレホン JJY は、通常のアナログ電話回線を利用し、モデム等で電子的に標準時を提供するシステムである。往復の遅延を測定する機能を有しており、専用装置を用いて 1 ms 程度の誤差で日本全国で時刻合わせが可能なサービスである。現在 1000 アクセス/日程度の利用があり、特に放送局の時報の親時計の時刻合わせに活用されている。

(3) NTP

NTP は、インターネット等のネットワークに対する標準時の供給方法で、爆発的に利用者が増大している。当所では、日本標準時に直結した Stratum-1 サーバーを小金井本所で稼働させ、インターネットサービスプロバイダー(ISP)に Stratum-2 サーバーを準備してもらい、一般利用者は同 Stratum-2 サーバーへアクセスしていただく方式を採用して、当所のサーバーへのアクセスが集中しないような方策で普及を図っている。しかしながら、ISP 間の相互関係などもあり、別方策での展開を視野に入れ方針の再検討を行いつつある。

(4) 電子時刻認証

電子政府や電子商取引などで、最近、時刻情報だけでなく、「時刻認証」の必要性が高まっている。すなわち、高度情報通信社会の構築が期待されているが、その中で、電子商取引や、電子政府はその中心的な役割をもち、国民の利便性の向上に大きな期待が寄せられている。このようなアプリケーションにおいて、正確で

信頼性の高い時刻に対するニーズは、増大しており、当所では、このようなニーズに応えるため、我が国の電子時刻認証連鎖体系（トレーサビリティ）トップ NTA（National Time Authority : NTA）として国内機関への時刻認証サービスの準備を進めている。図 14 は、NTA から TA（Time Authority）、TSA（Time Stamp Authority）へ、更に、一般の利用者への連鎖体系を示している。

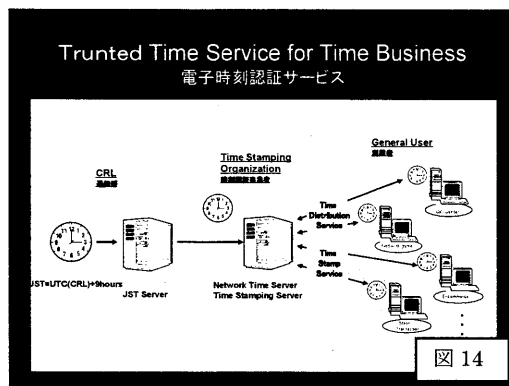


図 14

当所は、総務省や当該サービス関連組織が昨年末頃に組織した「タイムビジネス推進協議会」と密接にリンクを図り、同ビジネスモデルにおいて正確かつ信頼性の高い時刻の提供を早期に実現を目指し、実証実験実施や技術課題の検討を行い、かつ、当該ビジネスの普及・浸透を図るため、取り組んでいる。

4. おわりに

時刻標準は、各種物理観測等の基礎分野から、社会生活一般の活動に至るまで、必要不可欠な基本的な情報となっている。本稿では、時刻情報を決定するための国際的な仕組みから、我が国における当該分野の利便性等を向上するため通信総合研究所が行っている一連の活動を概説した。

当所では、より利便性が高く、正確さの優れた時刻情報を提供していくため、今後も総合的に研究開発

世界測地系とナビゲーション

海上保安庁海洋情報部企画課
課長補佐 仙石 新

Arata SENGOKU

1. はじめに

平成 14 年 4 月以降、海上保安庁が刊行する日本近海の全ての海図の経緯度は、経緯度に関する世界標準である世界測地系に基づいています。

本稿では、世界測地系とは何か、世界測地系によってナビゲーションはどのような影響を受けたかなどについて解説します。

2. 測地系とは

測地系とは、経緯度の基準です。

地図を作るためには、経緯度を定める必要がありますが、そのためには、どこが赤道で、どこが経度 0 度か、といったことを定めなければなりません。喩えていえば、地球に経度や緯度の線をどのように引くかを定める必要があるのですが、この決め方を測地系と呼ぶのです。

赤道はひとつではないか、経度 0 度の線もグリニッジを通る子午線と決まっている、これらを改めて定める必要などないではないか、と思われる方も多いと思いますが、必ずしも事はそれほど単純ではないのです。

3. 日本測地系

従来、日本で用いられていた経緯度の基準を日本測地系と呼びます。日本測地系は、明治初期に麻布に設置された旧海軍の観象台（天文台）で行われた天文観測などをもとに経緯度の原点を定め（日本経緯度原点）、ここを出発点として三角測量などによって全国に国家基準点を形成してできた経緯度の基準です。日本測地系は大正時代に経度だけ若干修正されましたが、それ以外は一度も改められることはありませんでした。日本測地系の経緯度は土地の登記簿など社会に広く浸透していたので、容易に変更することができなかったのです。しかし、日本測地系は明治から大正時代にかけて行われた古い測量の成果に基づいていたので、世界測地系とはかなり大きなズレがありました。

ズレが生じる原因は主に二つあります。一つは、言うまでもないことですが、古い測量成果には誤差が含まれていることでした。しかし、これはそれほど大きなものではありませんでした。主要な原因は、日本経緯度原点

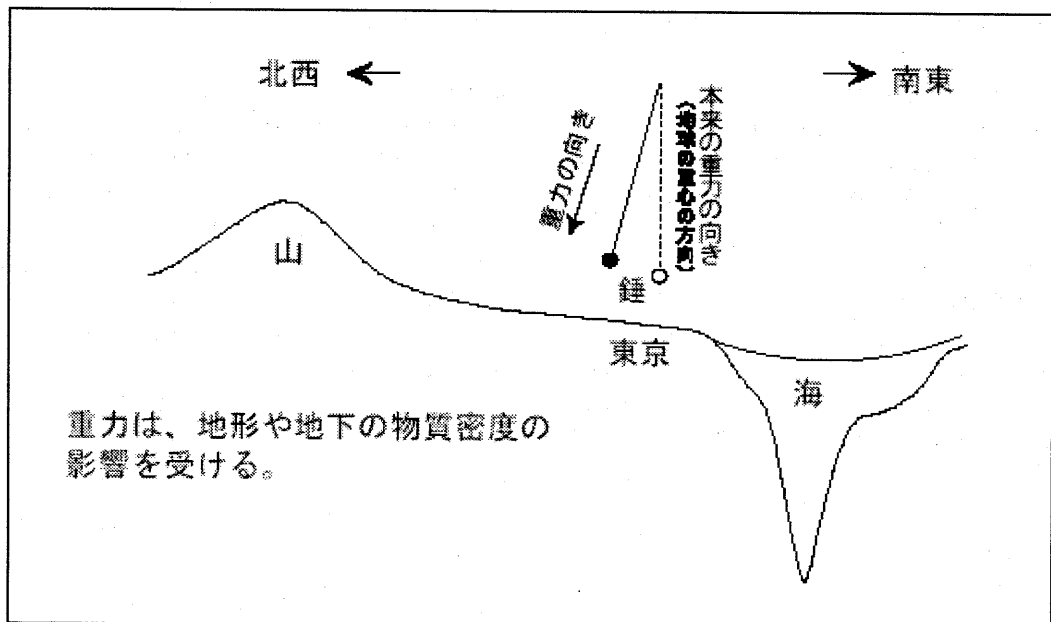


図 1 日本経緯度原点における鉛直線偏差

が天文観測によって決められたことによるものです。天文観測では、まず鉛直線を用いて直下の方向を定めます。直下の方向の逆方向が天頂であり、直下と 90 度をなす方向が水平線です。星の方向（水平線からの高度や方位）は、鉛直線を基準にして定められているのです。このため、天文観測で得られる経緯度は、その場所の重力の方向に依存していることになります。ところが、重力の方向は、地下構造や周囲の地形の影響を受け、必ずしも真下を向くわけではありません（これを鉛直線偏差と呼びます、図 1）。このため、天文観測から定めた経緯度は重力の方向のズレの分だけズレてしまうこととなります。日本経緯度原点では、周囲の地形や地下構造の影響で比較的大きな鉛直線偏差があったため、日本測地系の経緯度は世界的な平均値と大きくずれてしまったのです。

このようなわけで、日本測地系の経緯度は世界測地系の経緯度と比べると数 100m の違いがありました。このことは、日本本土から三角測量を用いて外地までつなげていった三角点の経緯度が、中国や樺太で他国の三角点の経緯度と比較すると合わないことから、薄々分かっていたのですが、定量的にどれだけ差があるのかは、人工衛星を用いた経緯度測定法が実現するまでは分かりませんでした。

日本測地系の問題点のもう一つは、用いていた地球の大きさと形が古い値であったことです。測量を行うと、2 点間の距離や方向が分かりますが、これを経緯度の差に直すためには、経緯度の 1 度が何 km に当たるのかを知らなくてはなりません。このため、地球の大きさと形が必要となります（地球は赤道方向が膨らんだ回転楕円体（図 2）をしているため、経緯度を正確に計算するためには地球の大きさだけでなく形（回転楕円体の膨らみ具合）も必要となります。

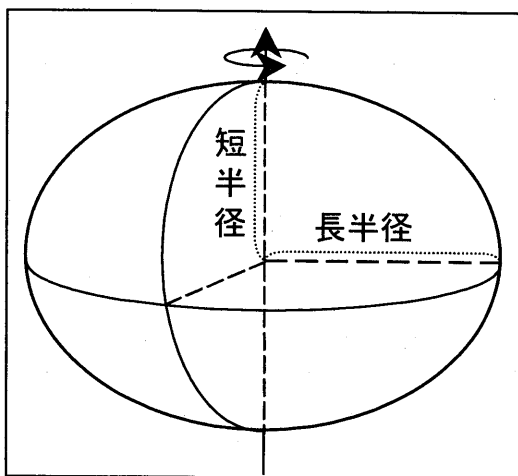


図2 地球は赤道方向が膨らんだ回転楕円体で近似できる

歴史的に、日本の測量技術はドイツから輸入されたもので、日本測地系では当時ドイツで使われていた地球の大きさと形が用いられていました。しかし、これはベッセルが 1841 年に定めたもので、現在知られている地球の大きさとは 700m も異なるものだったのです。海図では、当初、準拠すべき楕円体としてイギリスのクラーク楕円体が用いられ、経緯度の原点は海図毎に天測によって定められていましたが、大正 11 年以降平成 14 年までの約 80 年間に亘って、ベッセル楕円体と日本経緯度原点に基づく日本測地系が海図でも使われてきました。

従来、各国は日本測地系と同様に独自の測地系を構築してきました（これを局所測地系と呼びます）。イギリスは、オーディナンス=サーベイ大英測地系、中国は北京測地系、ロシアはブルコバ測地系といった具合です。ヨーロッパやアメリカなど国境を接している国同士は測地系が異なるというところが都合が悪いので、ヨーロッパ測地系、北米測地系といった地域的に統合された測地系が用いられてきましたが、これとても、異なる測地系とは連続性が無く、別個のものだったのです。歴史的に、世界各国で用いられている測地系は 100 以上もあることが確認されていました。

4. 世界測地系とは

人々の活動が国内に限られていた間は、局所測地系を用いても何ら差し支えなかったのですが、国際的に行われる航海や航空のナビゲーションでは、測地系は潜在的に大きな問題でした。特に、20 世紀末に GPS（全世界測位システム）が登場するに至って、局所測地系は破綻を来すこととなり、世界測地系に移行するという国際的な潮流が生まれたのです。

世界測地系とは、国や地方によらず、世界中どこでも一様な経緯度が得られる基準のことを指していますが、具体的にはどのようなものなのでしょうか。

世界測地系は、次の性質を持ちます。

- 1) 地心（地球の重心）を原点とする。
- 2) グリニッジ方向の子午線を経度の 0 度とする。
- 3) 地球の自転軸（地軸）の北向きの方を z 軸とする。
- 4) 最新の地球の大きさと形を用いている。

20 世紀後半に人工衛星を用いて測地測量を行う技術が登場し、このようなグローバルな経緯度の定義がはじめて可能となりました。これらについて、説明することとしましょう。

日本測地系などの局所測地系は、地上の点を経緯度の原点としていました。この原点から三角測量などによって他の点の経緯度を決めていったのです。しかし、世界測地系の原点を地上の点にしたのでは公平ではありません

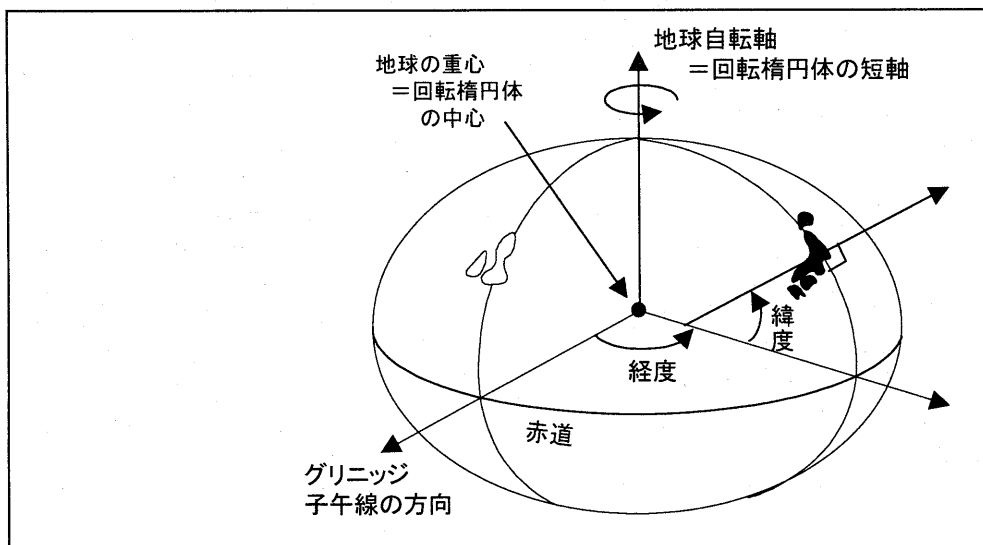


図3 世界測地系

んし、地上の点は地殻変動などで動いてしまいます。地球上に不動の点などというものはあり得ないのです。それでは、地球で最も安定して動かない点はどこか、ということになるのですが、それは地心をおいて他にありません。地心こそは地上の誰にとっても公平でありかつ物理的にも安定した点なのです。ところが、実際に地心に人間が到達できるわけでもありませんから、古典的な技術では地心の位置を計ることはとても難しいことで、人工衛星が登場するまではほとんど不可能でした。人工衛星を用いると、地心の位置を精密に計ることができます。人工衛星は地球の重力に支配されており、ケプラーの第1法則により、人工衛星が地心をひとつの焦点とする楕円運動をする性質があるため、人工衛星の軌道を観測することによって、地心の位置を間接的にですが正確に知ることができます。現代の人工衛星技術を用いると、地球の重心の動きを1mm以下の精度で捉えることが可能なほど、地心の位置は良く決まるので、世界測地系の原点として現在では最もふさわしいものになっています。

次に、グリニッジ方向を経度の0度とする、ということですが、これは平易に聞こえて、実現することは難しいものです。グリニッジ方向の子午線とは、歴史的にロンドン郊外のグリニッジ天文台の子午環と呼ばれる望遠鏡の中心を通る子午線を指すこととされています。しかし、現在では、グリニッジ天文台はもはや活動しておらず博物館があるばかりです。それでは、どのようにして、グリニッジ方向を経度の0度としているのでしょうか。実は、グリニッジの子午環が稼働していた頃の経度0度の位置と齟齬がないように定義し直しているのです。具

体的には、1984年に国際報時局(BIH)が定めた経度0度の方向と齟齬がないように、現在でも国際地球回転監視事業(IERS)が経度0度の方向を定めています。したがって、実態はともかく、グリニッジ天文台がいまだに経度の原点である、と考えても実用上差し支えありません。

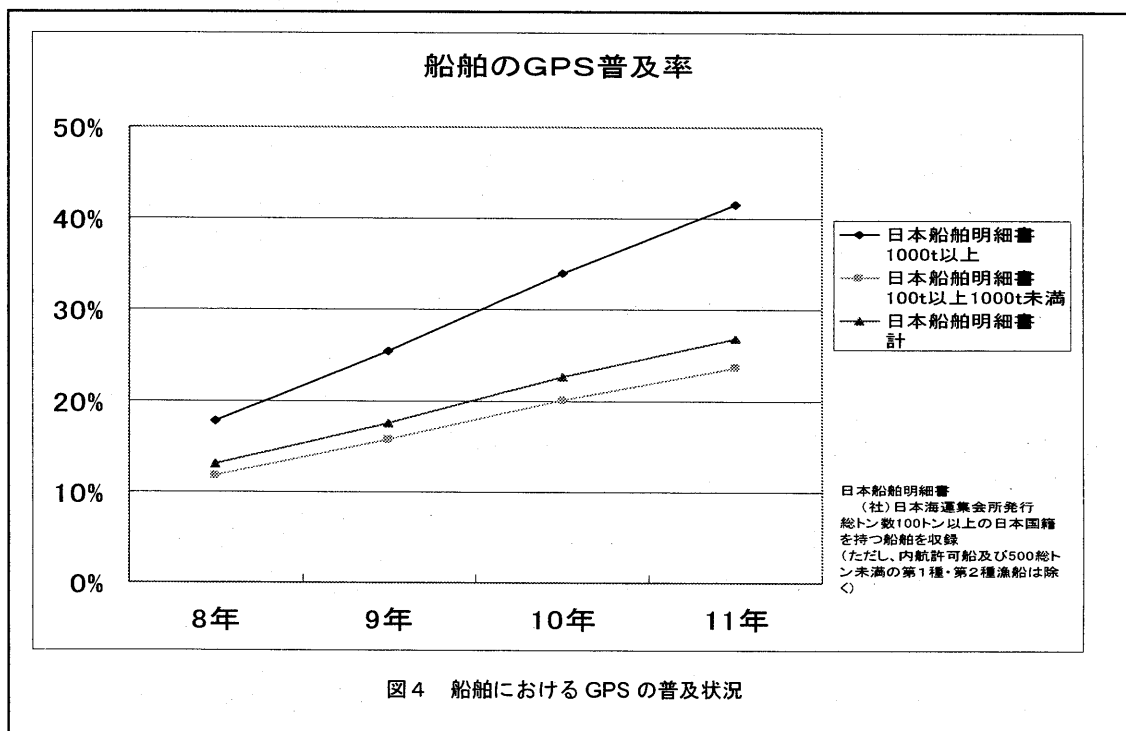
次は地軸の方向ですが、これも明確に見えて実はこれだけでは曖昧です。というのは、地球の自転軸である地軸は、約400日の周期で0.3秒角(地上の距離に換算して約10m)ほどふらつくことが知られているからです。地上にいる我々から見ると、地軸は北極(あるいは南極)付近を10m位ふらふらと動き回るように見えるのです(これを極運動と呼びます)。このため、地軸と定義しただけではいつの地球の自転軸なのかがわかりません。このため、1900年から1905年までの間の地軸の平均的な位置を国際慣用原点(CIO: Conventional International Origin)と呼び、これを通常z軸の方向として用いることになっています。

最後に、地球の大きさや形ですが、これはGPSが用いているもの(WGS-84)を使用します。航海にはGPSが用いられており、次節にも述べるように、国際標準はWGS-84を用いるべきことを定めているため、世界測地系ではWGS-84を用いることとします。陸上の測量では、GRS80という別の楕円体を用いられていますが、両者の差は最大でも0.3mmしかなく、実質的に同一のものですから、WGS-84と同一視して問題ありません。

5. GPSの普及と世界測地系

GPSは米国国防省が運用する衛星航法システムであり、1993年にシステムが完成して以降、各方面で急速に普及してきました。GPSは24のGPS衛星からの電波を用いて位置を測定します。GPSはカーナビでもおなじみですが、船舶でもGPSは急速に普及しています。特に、米国政府が国策としてGPSの無償利用を当分の間保証したことも普及を後押ししました。

このため、国際水路機関（IHO）は、1982年に海図は世界測地系に基づくべきこと、世界測地系に基づかない海図には世界測地系との変換量を掲載すべきことを決議しました（資料1）。この決議に基づき、アメリカ合衆国、カナダ等の北米の国々は世界測地系に基づく海図をすぐに刊行することとなりましたが、それ以外のほとんどの国では、しばらくの間、日本の海図と同様に各国独自の測地系に基づきつつ、海図に自国の測地系と世界測



GPSを用いると、世界中どこでも常時正確な位置を容易かつ安価に知ることができます。このGPSで得られる位置は、世界測地系に基づいています。このため、船舶では世界測地系に基づく経緯度を用いることが既にデファクトスタンダードとなっています。GPS受信機には、測地系を変換する機能が付いており、日本測地系やその他の各国が独自に定めている測地系に対応することが可能なのですが、国毎に異なる測地系を用いていると、国際的な航海では、異なる測地系を用いる国の間を航海する場合、GPS受信機の測地系の設定を途中で切り換えねばならず、煩雑でした。また、測地系の取り違いによる事故が発生する可能性があるため危険でもあります。世界測地系を用いれば、世界中どこでも同じ基準に基づいて一様に経緯度が定まりますので、安全かつ便利です。GPSが普及した現在、世界測地系を用いることは至極当然であり、まさに時代の要請といえましょう。

地系の差を記載していました。

その後のGPSの普及に押されて、1998年にIHOでは「水路測量基準」(S-44)が改訂され、水路測量の測地系としてWGS-84を用いるべきことが定められました（資料2）。

一方、国際海事機関（IMO）でも2002年7月に改正されたSOLAS条約（1974年の海上における人命の安全のための国際条約）において、船舶相互間又は船舶と陸上間で船位や目的地などの情報を相互に交換する船舶自動識別システム（AIS）の備置が2002年以降順次義務づけられることとなりましたが、AISには世界測地系（WGS-84）を用いることが別途定められています（資料3）。

この他、国際民間航空機関（ICAO）では、1998年以降、経緯度はWGS-84とすべきことが決議されており、既に民間航空の世界では5年前からWGS-84への移行が

完了しています。

海図の測地系として既に世界測地系を採用している国は、米国、英国、フランス、イタリア、カナダ、オーストラリア、シンガポール、韓国など約 30 数カ国に及んでおり、近年急速に増加しています。

国内でも、旧文部省測地学審議会測地部会が 2000 年 3 月に「日本測地系から世界測地系への移行について（取りまとめ）」において、日本測地系から世界測地系への移行を早急に行うべきことを取りまとめ、経団連も規制緩和の一環として世界測地系の導入を要望しました。

このように、近年、国内外で世界測地系への動きが急速に加速し、これに対応して平成 14 年 4 月に水路業務法及び測量法が改正され、水路測量や測量の測地系は日本測地系から世界測地系に移行され、同時に日本の法令に記載された経緯度は世界測地系に一括して変更されました。法令上、日本測地系に基づいた経緯度はもはや残っていません。

水路測量の基準だけでなく、海図の測地系も世界測地

系に統一されています。海上保安庁では平成 12 年 4 月から世界測地系に基づく海図を刊行し、測地系の変更に伴うずれの量が問題となる縮尺の海図約 600 版全てを平成 14 年 3 月までに世界測地系に移行させました。平成 14 年 4 月以降、混乱を防止するために日本測地系の海図は全て廃版とされ使用することが出来なくなっています。

GPS が登場し世界測地系の経緯度利用が進むことにより、ナビゲーションは、世界中どこでもより容易で安全になりました。将来は、世界中の経緯度が世界測地系に一元化され、どうして日本測地系のようなものがあつたのかさえ、なかなか理解してもらえない時がくるのかもしれない。

しかし、今後しばらくの間は、日本測地系のような局所測地系に基づいている国がまだ存在していますから、そのような国の海図を使用する際は、経緯度が世界測地系と何 100m もずれているかもしれないことを忘れてはいけません。

（資料 1）

国際水路機関（IHO）技術決議 海図 第 1 節 一般 平成 8(1996)年

B1.1 世界的及び地域的測地系

1. 陸海両域の地図作製のための国際測地準拠システムとして十分な代替測地基準を関係国際機関が採択するまで、WGS を海図について基本的な世界的座標系として使用することを勧告する。
 - a) 国際的に認められている地域的測地系又は局地的測地系は、それらが適用される区域の海図に引き続き使用してもよい。

注：WGS は全世界測位システム（GPS）が準拠する測地系で、したがって航海用海図もこの準拠測地系を使用することが不可欠である。

（資料 2）

国際水路機関（IHO）水路測量基準（特別刊行物第 44 号） 第 4 版 平成 10(1998)年

第 2 章 位置測定

2.1 総論

位置は、世界測地系 84（WGS-84）として推薦される地心座標系に準拠すべきである。もし、例外的に位置が局地水平座標系に準拠している場合、この局地座標系は世界測地系 84（WGS-84）として推薦される地心座標系に結合されるべきである。

（資料 3）

汎用船舶搭載型船舶自動識別システム（ユニバーサル AIS）の性能基準に関する勧告

（MSC 69/22/Add.1） 平成 10（1998）年

3. 能力

3.1 AIS は下記のものから構成されていること：

- 2 電子測位システム（1/10,000 分（経緯度）の分解能を有し、かつ WGS-84 測地系を使用）からのデータを処理する方法を持ち；

ロラン・インテグリティ・パフォーマンス・パネル

エリック・ヨハンセン
メガパルス 社長

Loran Integrity Performance Panel (LORIPP)

Erik Johannessen
President Megapulse

1. 背景

米国運輸省(DOT¹)は2001年9月、GPSの脆弱性に関するVNTSC²レポートの調査結果と勧告を受け入れた。そこで、連邦航空局(FAA³)はGPSのバックアップとして、確実な商業航空業務を続ける能力と能率を維持する十分なナビゲーション・インフラの一つとして、ロランがGPSのバックアップとなりうるかを調査・評価する作業グループを、ロラン・インテグリティ・パフォーマンス・パネルとして同局のロラン評価プロジェクトチーム内に設置した。ここでは、その概要を紹介する。

2. LORIPP

2. 1 ボルペ報告書の勧告

VNTSCレポートは、ロランCが堅固なバックアップになる可能性を指摘し、ロランに関し、次のような勧告を作成した。

一つは、利用者に最大の便益を提供するための努力の結果、GPS・慣性航法受信機、航空界承認のロランC受信機、GPS/ロランC受信機など、GPSのバックアップとしてロランCが不可欠となったときは、移動体が装備する実用性の高いバックアップ装置の開発を奨励すること。

二つには、VOR/DME、ILS、ロランC、慣性航法装置などGPSのバックアップとなる航法及び精密時刻のオプションとその運用手順を集中的に分析するよう努めること。

三つには、ロランCがGPSのバックアップシステムとなり得るかどうか決定されるまで、FAAとUSCGによるロランC近代化計画は継続すること、そして、ロランCが将来のシステム・ミックスの役割を持つと決定さ

れた場合、運輸省は電子産業界による新たなロランC技術の開発を奨励するため、迅速にこの旨を広報することである。

2. 2 FAA計画への参加者

産学官とのメンバーシップにより成り立っており、表1のとおりである。

2. 3 評価の目的・期間

ロランCが以下の各項目を満足するか否かを決定すること。

- ・ Accuracy (精度)
- ・ Availability (可利用性)
- ・ Integrity (完全性)
- ・ Continuity (連続運用性)
- ・ Coverage (有効エリア)

これらの項目は、非精密進入(NPA⁴)を含む飛行のすべての段階におけるラテラル航法を支援するために必要なものである。現在、ロランCは、有視界飛行(VFR⁵)及び計器飛行(IFR⁶)においてエンルート及びターミナル空域両者の航法ソースとしての利用の可能性があるが、国家空域制度(NAS⁷)においてロランCによる進入手続きは存在していない。

また、ロランCの継続運用からどのような付加的便益が生まれるか決定することである。例えば、航空機に対するWAAS⁸補正値の送信手段として代替となり得ることができ、堅固(ロバスト)性を持ち、バックアップとなり得るか、さらに、GPS/WAASが利用不能となったとき、ストレータムIクラス(精度が 1×10^{-11} より良い)の

¹ Department of Transport

² Volpe National Transportation Systems Center
ボルペ 交通システムセンター

³ Federal Aviation Administration

⁴ Non-Precision Approach

⁵ Visual flight rules

⁶ Instrument flight rules

⁷ National Airspace System

⁸ Wide Area Augmentation System

表 1 FAA 計画への参加者

	参加団体
政府機関	連邦航空局
	沿岸警備隊(USCG)
産業界	ローカス(LOCUS)社(ロラン C 受信機)
	ロックウェル・コリンズ社(総合通信機メーカー)
	イルゲン・シミュレーション・テクノロジー社(コンサルタント)
	ピーターソン・インテグレートッド・ジオポジショニング社
大学など	オハイオ州立大学
	スタンフォード大学
	米国沿岸警備隊アカデミー(士官学校)
	ロードアイランド大学
	アラスカ州立大学

タイミング・ソースとして代替となり、堅固(ロバスト)性を持ち、バックアップとなり得るかである。

精度、可利用性、インテグリティなどの内、インテグリティの達成は最も困難と考えられた。そこで、WAAS インテグリティパネル(WIPP)又は RTCA 作業グループと類似した非常設パネルとして設置されたのが、LORIPP である。開始は 2002 年 3 月で、期間としては 18~24 ヶ月が予定されている。

2. 4 ロラン C 評価プログラム

2.4.1 予算の推移等

ロラン C 評価プログラムに関する予算の推移は表 2 のとおりである。表からロラン C 評価の重要度が増してきていることが分かる。

2.4.2 マーダーボード (決定委員会)

2002 年 3 月 19 日、実施中のロラン C 評価の現状を決定し、ロラン C に関わる運輸省に対し連邦航空局が公式に対応することを支援するため連邦航空局の“マーダーボード”が召集された。非精密進入の要件 RNP0.3⁹(表 3)を支援するための特定要件がターゲットとされた。

また、GPS 利用不能の見地から冗長システム、バックアップ及び非常用システムが明記された。冗長システムとは、目的地への飛行を続けるための GPS に依存しない航法能力を有し、バックアップとは計画ルートの飛行、目的の空港への着陸ではないにしても飛行を継続できるものであり、非常用システムとは目的地以外であっても安全に空港に着陸できる能力を有するものである。

3. おわりに

LORIPP は、RNP0.3 に適合するロランの可能性の調査を行う。任務としては、インテグリティや有効性等に影響を及ぼす可能性のあるハザードの確認と調査、主要なロラン・ハザードのデータ収集・分析・証明、RNP0.3 に適合する手順の開発が挙げられる。

2002 年 9 月にオレゴン州ポートランドで行われた ION-GPS においては、ロランが RNP0.3 に適合するものとしている。

参考文献 <http://www.navcen.uscg.gov>

⁹ Required Navigation Performance 0.3

¹⁰ Federal Radionavigation Plan
(連邦電波航法計画)

表2 予算の推移

予算 年度	予算 要求額 (万\$)	予算額 (万\$)	予算 権限者	備考
1994				FRP ¹⁰ が99年12月25日をもってロランC業務の廃止を発表
1995				
1996				
1997		460	議会	ロランC航法システムの改良等のためにFAAに配分
1998		300	議会	ロランC改良継続のためにFAAに配分
1999		700	議会	ロランC改良のさらなる継続のためにFAAに配分
2000		1000	議会	ロランC改良のさらなる継続のためにFAAに配分
2001	2000	2500	大統領	大統領権限予算が与えられた初年度
2002	1300	1900	大統領	
	計	6860		

表3 RPN0.3

要求項目	値
精度(target)	307m
モニターの限界(target)	556m
インテグリティ	10 ⁻⁷ /hour
Time-to-alert	10 秒
再利用性(minimum)	99.9%
再利用性(target)	99.99%
連続運用性(minimum)	99.9%
連続運用性(target)	99.99%

ロラン送信局装置の改良 現在と将来

エリック・ヨハンセン
メガパルス 社長

Present and Future Modernizations of Loran transmitter Site Equipment

Erik Johannessen
President Megapulse

1. はじめに

ロラン C 送信局装置は現在、近代化促進の主要因である連邦航空局の評価計画と沿岸警備隊のリキャピタリゼーション・プロジェクトにより改良が進められている。送信局装置の重要部の設計は 10 年前のものであり、多くのコンポーネントが寿命に達し、維持不可能な状態になっている。日本でも改良が進められており、日本のロラン局における改良は、米国のロラン関連活動と将来のロラン/GPS 統合技術に協調したものである。ここでは、海上保安庁の新島局等を例にとり、ロラン送信局の改良について紹介する。

2. 概要

2. 1 送信機について

送信装置の改良は、現行の信頼性の高い設計をさらに進展させたものである。例として、アキュフィックス 7500 送信機を説明する。送信機の外観と動作原理を図 1 に示す。また、送信システム系統図を図 2 に示す。送信機の動作は、最初の 20 マイクロ秒間に駆動ハーフサイクル (DHC)¹ 4 がカップリングネットワークとアンテナ回路に供給される。そして、カップリング/アンテナ回路の共振周波数を 100kHz に同期させ、DHC が供給した総エネルギーを正確なロラン C 信号に変形するようにしている。

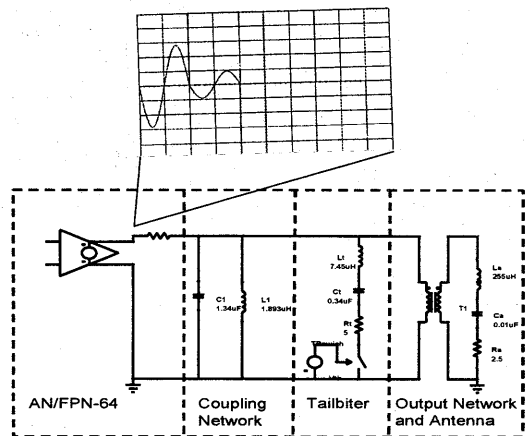
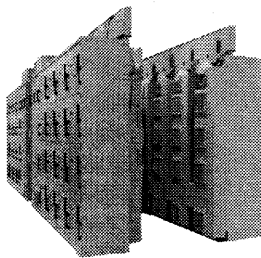


図 1 送信機の外観と動作原理

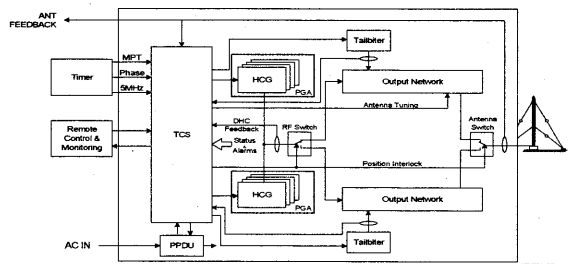


図 2 送信システム系統図

2. 2 改良点

改良点としては、以下の 3 つが挙げられる。

- ・ 新たな制御技術
- ・ データ・チャンネルの実現
- ・ 電源部の改善

新たな制御技術とは、性能の向上、運用コストの低減、将来の能力強化をサポートするといったことである。データ・チャンネルの実現に関しては、ユーロフィックスで既に実現している。

¹ Drive Half Cycles

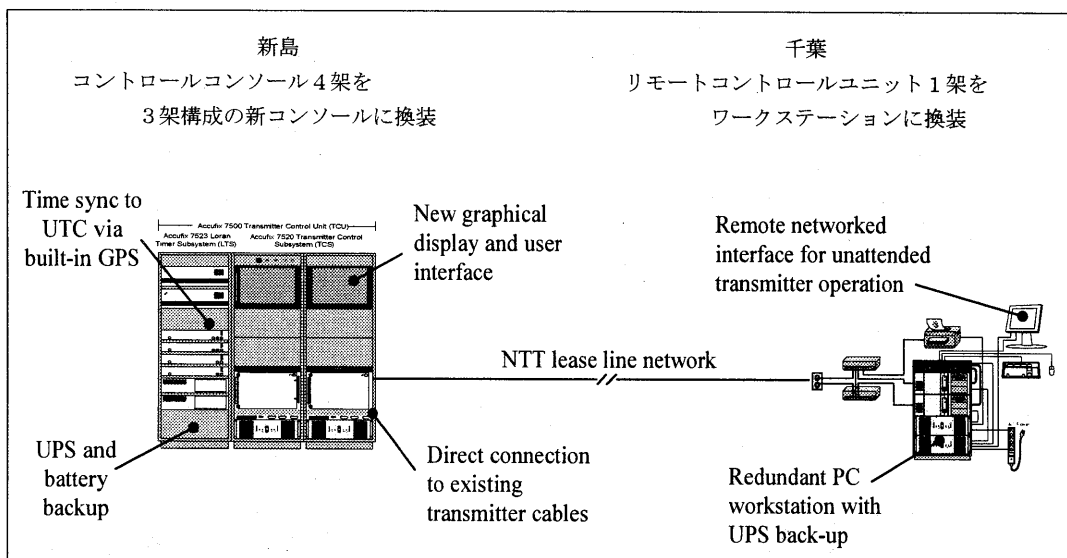


図3 改良システムの構成

3. 海上保安庁における改良計画

3. 1 目標と目的

改良計画における目標と目的を4点挙げる。一つ目は、コスト低減である。コスト低減するためには、まず無人化が考えられる。無人化には遠隔制御機能、さらに最新のコンポーネント数の少ない信頼性が高く堅固な統合が必要である。

二つ目には、操作性の向上とインターフェイスが挙げられる。操作性を向上するために操作ディスプレイのグラフィック化や局操と遠操の共通化を図る。

三つ目には、現用システムに対する容易な改良でなくてはならない。改良においては、現用送信機のケーブル及びユニットとの完全互換があり、据付と所要電源とが適合するものでなければならない。

四つ目には、今後の改修への適合もある。将来の改修を見越しての内蔵ソフトウェアとプログラマブルなハードウェアによるフレキシブルなシステム・アーキテクチャーを構築し、市販モジュール、サブコンポーネントを採用することも必要である。

3. 2 遠隔監視・制御システム

3. 2. 1 概要

新島局においての改良計画を紹介する。図3がそれぞれどこを改良するかを示した図である。換装する送信機制御ユニットが図4である。現用CCUを新送信機制御ユニット(TCU)に換装する。改良としては、3ラック構成にし、最新の一般市販部品を採用した。また、ソフトウェアを改修しグラフィックによるユーザーインターフェイス・コントロールを可能とした。UPS及びバッテ

リーバックアップもあり、千葉ロランセンターでリモートコントロールできるようにLANとハブによってNTT回線と接続できるようにしている。

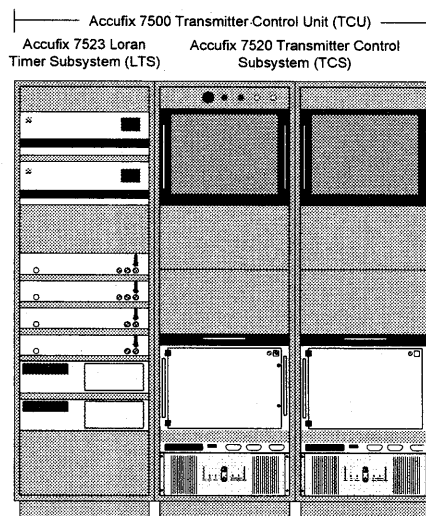


図4 TCU

3. 2. 2 ロランタイマー・サブシステム (LTS²)

ユニットごとに詳しく説明する。図4の左のユニットを拡大したのが図5である。図6がロランタイマー・アッセンブリー(LTA³)の平面図である。LTAは、デュアルレートのタイミングを発生する。また、送信パルス基

² Loran Timer Assembly

³ Loran Timer Assembly

準値の自動検出と調整ができ、手動位相調整を遠隔、現地の双方で可能としている。加えて内蔵ソフトウェア及びロジックにより単一ユニット化がなされ、19インチ幅ラックに搭載できるようになっている。UTC 同期アセンブリーによって、セシウム時計を GPS-UTC に同期させることにより、一致時刻の生成とエラーチェックや外部接続の GPS による日付設定とエラーチェックを行うことができる。また、ソフトウェア、ロジック内蔵によるシングルユニット設計になっており、同様に 19 インチ幅ラックに搭載が可能となった。

図 7 に LTS のダイアグラムを示す。

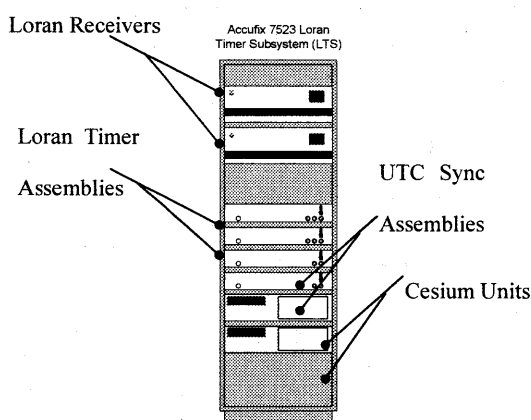


図 5 LTS

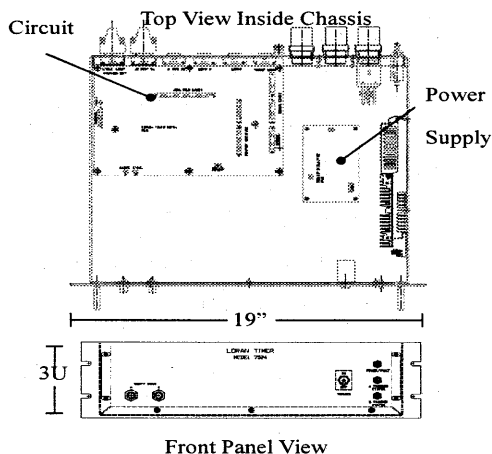


図 6 LTA

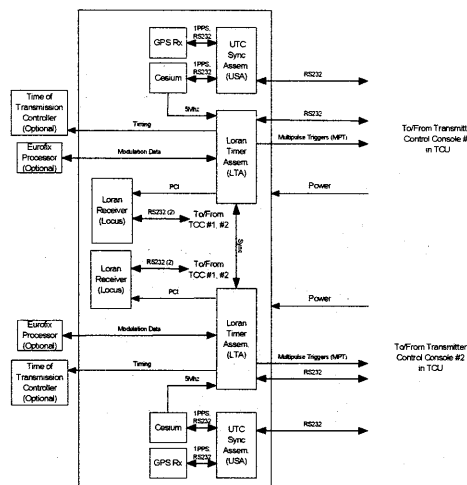


図 7 LTS のダイアグラム

3. 2. 3 送信機制御サブシステム (TCS⁴)

図 8 が TCS の概要図である。TCC が二つ並んでいる。図 9 に TCS のブロックダイアグラムを示す。TCC ユニットの下部に内蔵してあるのが TCA である。図 10 に TCA⁵ のブロックダイアグラムを示す。局設定画面は図 11 のタッチパネルで表示される。

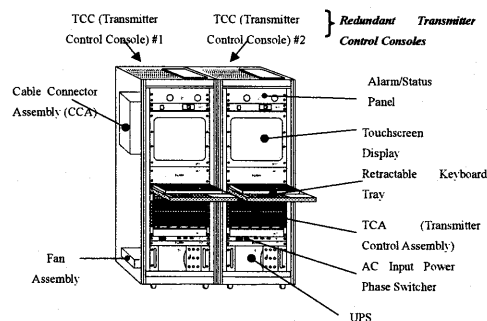


図 8 TCS 概要図

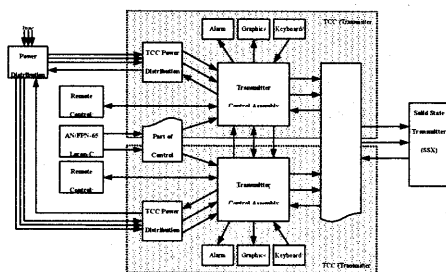


図 9 TCS ブロックダイアグラム

⁴ Transmitter Control Subsystem

⁵ Transmitter Control Assembly

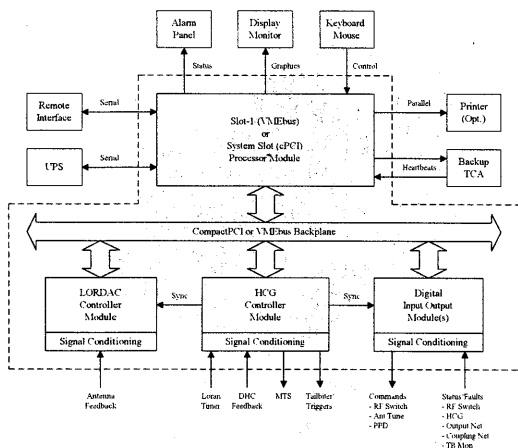


図 10 TCA ブロックダイアグラム

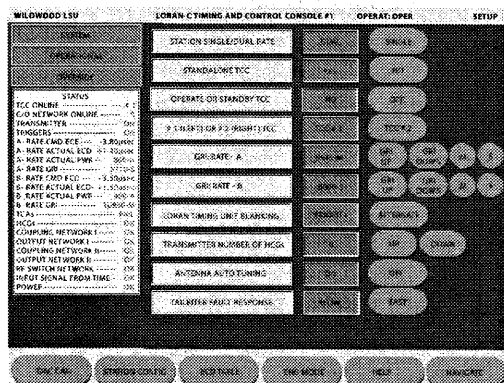


図 11 局設定画面表示

3. 2. 4 千葉ロランセンターWS

図 3 の右側が千葉ロランセンターを示しているが、それを拡大したものが図 12 である。図 12 に示しているのは、新たに設置された新島制御用ワークステーションである。新島の TCU と送信機の遠隔操作を可能とするため、グラフィックインターフェイスがあり、LAN とハブによって NTT 回線と接続するようになっている。

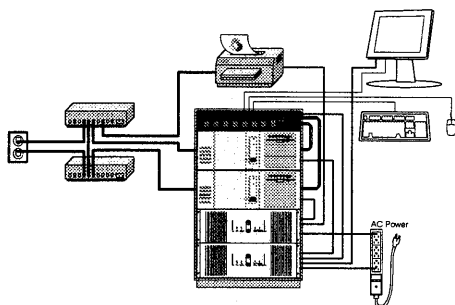


図 12 千葉ロランセンターWS(ワークステーション)

4. ロラン・データ・チャンネル

4. 1 変調方式

ロラン信号に符号情報を挿入できる新技術としては、ユーロフィックスや LOGIC が挙げられる。それぞれの比較を表 1 に示す。

	ユーロフィックス	LOGIC
データレート	50bps	250bps
変調	パルス I 変調	イントラパス周波数変調
レンジ	長い	短い
既存利用者に対するインパクト	小さい	大きい
世界標準	ITU 勧告	未定
受信機技術の複雑性	少ない	多い
交通体系のマルチ製	あり	あり

表 1 新技術の比較

変調の原理として、シングルレベル IFM の動作を図 13 と図 14 を用いて説明する。アンテナにコンデンサーとコイルを 2 個直列に追加する。コンデンサー用スイッチ (S1 又は S2) を閉じると周波数が低下し、コイル用スイッチ (S3 又は S4) を閉じると周波数が上昇する原理となっている。周波数及び位相シフトの例を挙げる。

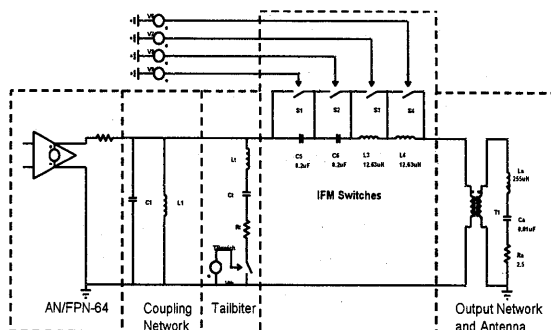


図 13 IFM 技術原理理論

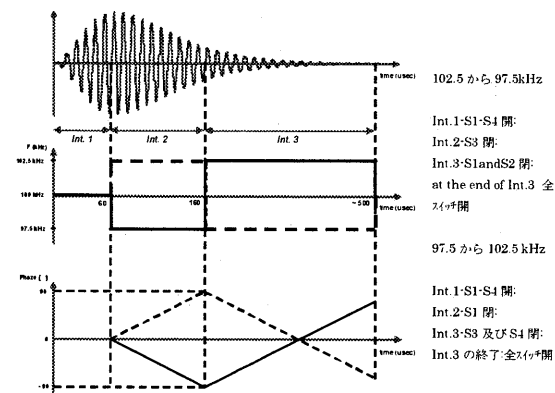


図 14 周波数及び位相シフト

102.5kHz から 97.5kHz にシフトさせるためには、

Int.1 S1—S4 を開けた状態で

Int.2 S3 を閉じる

Int.3 S1 と S2 を閉じる

Int.3 が終わると同時に全スイッチを開く。

また、97.5kHz から 102.5kHz にシフトさせるためには、

Int.1 S1—S4 を開けた状態で

Int.2 S1 を閉じる

Int.3 S3 と S4 を閉じる

Int.3 が終わると同時に全スイッチを開く。

という手順でシフトすることができる。これを応用して提案されているのが図 15 で示すマルチレベル IFM である。

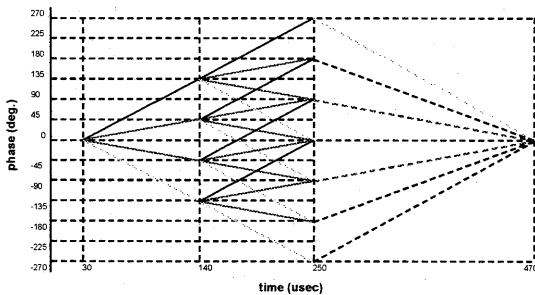


図 15 提案されている変調方式（マルチレベル IFM）

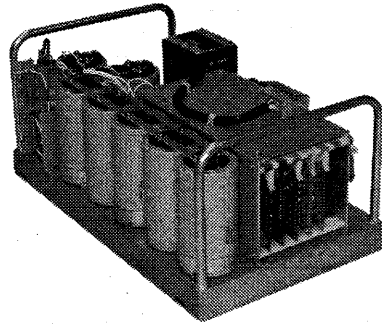
4. 2 TCS におけるデータ・チャンネル能力

新型 TCS 装置は内蔵機能によるパルス位置変調が実行可能である。必要な外部装置は、ユーロフィックス基準局装置であり、これは海上用ビーコン DGPS のものとほぼ同じである。また、新型 TCS 装置には将来 LOGIC の組み込みが可能となる。しかし、追加となる送信機用ハードウェアと再構築が必要である。

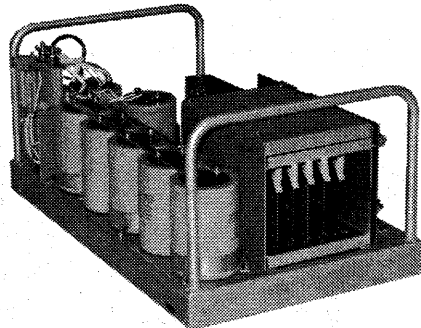
5. 電源効率の改善

海上保安庁のものは対象外であるが、電源効率について述べる。

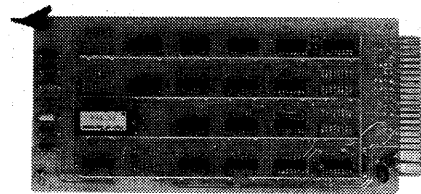
これまでのパワーユニット (HCG[®]) の設計を変更し、より高出力又は同出力をより少ない電力で達成する。改善点としては、HCG の動作は、これまでスロットとレンジを固定していたが、現在は動的に制御可能となっている点である。図 16 に HCG 用電源の例を挙げる。



6500シリーズ



7500シリーズ



制御用ロジック盤ユニット

図 16 HCG 用電源

6. まとめ

これまで見たとおり、新島局の改良の結果は以下の 5 点にまとめられる。

- ・ 遠隔操作性の向上
- ・ 保守の簡素化
- ・ 信号のタイミングと振幅の安定化
- ・ フレキシブル性の向上
- ・ 将来のデータサービスに向けた対応

6 Half Cycle Generator

講演者紹介

Erik Johannessen is the President of Megapulse Incorporated, a Firm he has been with since 1981.

He is currently a board member of the International Loran Association (ILA). Erik is a strong proponent of Loran data communications, H-field antenna applications, and integrated receivers. Prior to joining Megapulse, Erik worked at international navigation for 8 years. He has a B.S. (Bachelor of Science) from Northeastern University and M.B.A. (Master of Business Administration) from Bentley College.

エリック・ヨハンセン

メガパルス社の社長。1981 年以来メガパルスに勤務。

現在、ILA のボードメンバーで、ロランのデータ通信、H フィールドアンテナ分野、複合受信機の担当。メガパルス社に入社前は、インターナショナルナビゲーション社に 8 年ほど勤務。ノースイースタン大学の理学士、ベントレー大学の経営学修士。

(ILA(国際ロラン協会)会議に出席して)

アメリカの憂鬱 (GPS脆弱性の解消に向けて)

電波航法研究会

企画・編集幹事 池田 保

Tamotsu IKEDA

1. プロローグ

2002年10月アメリカの首都ワシントン、国防総省近くのクリスタルシティで開催された国際的にロランの普及・発展を強力に推し進めている国際ロラン協会の第31回年次総会、研究発表会に参加する機会を得ました。今年の総会メインテーマは「Determining Loran's Role in Mitigating Vulnerabilities in a Post-9/11 World」で、米国運輸省、USCG、FAA、NOAA、欧州のNELS、Trinity House、スタンフォード大学、ウエールズ大学ほか多数の民間企業が一同に会してロランの役割や今後の開発について活発な議論がなされました。とりわけこの会議のハイライトは、晩餐会の席上行われた米国運輸省 Jeffrey Shane 次官補の「国民生活の安全性向上策としてロランの役割を高く評価しており、長期間ロランを継続的に維持する政策決定を米国政府内で真剣に行っている」というスピーチでした。読者の方々にはゴミ箱に捨てたロランが今さらなぜ話題となるのかと疑問に思うのではないのでしょうか。

2. 諸葛孔明の策に溺れて

2001年9月10日、ニューヨークマンハッタン島にそびえるアメリカ経済の象徴である世界貿易ビルにテロ組織アル・カーイダに乗り取られた旅客機が次々に突っ込んでいった光景は、テレビ報道により何回も繰り返し報道されているので皆さんの記憶にもあると思います。この光景に接して、アメリカの友人は映画で見たのでしたが「第二次世界大戦時日本軍ゼロ戦のアメリカ艦隊への特攻作戦が連想され背筋が凍る思いがする」と話していました。私には稀代の兵法家・天才軍師諸葛孔明の「奇策に因って曹操軍から箭を奪い取る」との故事を連想させました。何故なら、いくさには兵員を増強・訓練し、兵器を増産し、補給路を構築するなど事前の周到な準備が必要であることは私にでも連想できるのですが、今回のテロは、普段何気なく利用している旅客機をハイジャックして攻撃用の爆弾に転用してしまったという事実が私を驚かせました。勝つか負けるかを別にして、相手を困惑させ社会不安を増大させ短期間社会生活を停止させるには、核施設など高度に警戒されている施設を攻

撃して社会不安を起こさせる以外にも現代の申し子のようなジャンボジェットを乗り取れば簡単に人々を恐怖のどん底に落とし込むことが出来る事が証明されたからです。では、現代社会を不安のどん底に陥れることが可能なジャンボジェットに代わりうるものは他に存在するのでしょうか。

3. GPSに内在するものとは

1994年ごろアメリカ政府はGPSを唯一の電波航法システムとして位置づけるGPS Solo-Mean (絶対無二) 政策を決定し、GPS技術の独占、他システムの開発制限などの政策遂行が行われたため、現時点でGPSは全世界で利用できる唯一の完成された電波航法システムとしてその地位を不動のものとしていると言う事は皆さんも同感ではないでしょうか。今後洋上を航行するジャンボジェットにもGPS+WAASシステムが搭載されることから、従来からの海上、陸上又は航空移動体別の電波航法システムがGPSに統合されGPSが唯一無二のシステムになる時代が到来するでしょう。

GPSの機能とは位置を求めるだけに限定されるのでしょうか。2002年7月からSOLAS条約によって導入されたAISでは船舶位置はGPSにより求められますが、AISの心臓部であるTDMA同期にもGPSが使われることは皆さんご存知でしょうか。AISの同期にGPSのUTC機能が使われているのですが、AIS以外にもGPSのUTC機能は携帯電話網、電力送電網、鉄道網など国民生活に深く関わっている分野にも広く利用されつつあります。さらに、将来の航空管制の検討において飛行間隔の短縮が取り上げられており、旅客機の持つ時計もUTCに統一する議論が既に持ち上がっています。すなわち、GPSは今や移動体の測位システムとしてばかりでなく携帯電話などの日常利用分野までその利用する裾野が広がっています。

現在、米国国防長官であるラムズフェルド氏は、国家安全保障の宇宙管理機構評価委員会に対する報告書において宇宙システムのエレメントに対する攻撃がありえないと考えてはならないと述べています。さらに、米国運輸省のボルペチームは、「GPSに依存する運輸交通イン

フラの脆弱性に関する調査報告書」でセーフティクリティカルな GPS 利用にはある種の防御が必要であると述べています。さらにその報告書で GPS が内在する脆弱性について ①交通機関における GPS への単独依存のリスクは人命の安全、環境汚染、経済的損失に直結する ②GPS は現在測位と精密タイミングの唯一の手段になりつつあり、GPS 信号が失われた時のリスクは増大の一途をたどっている ③テレビ、ラジオ、移動通信等との混信、ビル等による電波遮蔽など通常起こりえる干渉ばかりでなく、GPS 電波の受信を妨害するジャミング、GPS 電波もどきのダマシ電波の発射、GPS 電波に誤差を加工しての再発射、GPS 衛星への直接攻撃などの意図的な妨害にも対処する必要があると指摘しています。すなわち、社会生活に直結している GPS もテロ組織に乘っ取られないようにするばかりでなく乗っ取られたとしてもという前提で物事を考える必要があるということを示唆しているようです。

4. アメリカのダイナミズム

GPS の脆弱性という現実を突きつけられテロとの恐怖も相まって、GPS と同精度の測位機能と精密時間の供給を可能にするシステム開発を急激に進行させるアメリカのエネルギーには凄まじいものを感じました。ロラン C を発展させたロラン X (エンファンストーロラン) を実現しようというスローガンのもと、民間からの突き上げによりアメリカ連邦議会はロラン関係に約 70 億ドルの予算を決定し、学界では問題解決のアプローチを提案し、産業界は受信機などの製品開発を進め、政府機関では評価を繰り広げるなど産官学連携により問題解決を強力に推し進めているのが現状です。

5. 結論は

結論は昨年末までにアメリカ政府の政策決定として発表されるとのことでしたが、これは少し遅れている模様です。決定がなされていればいろいろ書ける裏話はあるのですがそれは次回で。

おおたかどや山標準電波送信所（通信総合研究所）を見学して

電波航法研究会

編集・出版幹事長 廣田 直照

Naoteru HIROTA

当会として毎年行っている特別研究会「見学会」として、本年は長波標準電波を発射している福島県の大鷹鳥谷山「おおたかどや山」標準電波送信所を見学することとなった。この見学会に先立ち、IT社会に必要な日本標準を決定、維持、供給する独立行政法人「通信総合研究所」電磁波計測部門・日本標準時グループの今江理人氏による「標準時の国際的な仕組みと正確さと利便性の向上に向けた取り組み」と題する講演が、10月21日に臨時研究会で行われた。

この長波帯標準電波施設は、従来あった短波帯の標準電波（5MHz、10MHz）に代わる長波帯を使用した標準周波数と日本標準時を日本全国に供給するための施設である。国内初の長波帯標準電波送信所の実用局である「おおたかどや山標準電波送信所」（福島県・田村郡郡路村／双葉郡川内村）は、1999年6月に標準電波（40kHz）の送信を開始した。

一方運用バックアップ局と西日本への安定供給を目的とした「はがね山標準電波送信所」（佐賀県佐賀郡富士町／福岡県前原市）は、2001年10月に標準電波（60kHz）の送信を開始した。

長波帯の標準電波には、時、分、1月1日からの通算日、年（西暦の下2桁）、曜日等の時刻コードが含まれており、標準電波を受信し、時刻を自動修正する機能を持った電波時計等に利用されている。

標準電波の時刻コードは、電波時計だけでなく家電製品内蔵時計やカメラ、車載用時計、計測震度計内蔵時計に、また標準周波数は計測機器、通信機器、電子機器メーカ等の社内標準器の基準に、さらに地上波デジタル放送の基準発振器、高精度な周波数標準として多様な応用が期待されている。

この両送信局の位置は、過去に海上保安庁がデッカ局として運用していた送信局の跡地が利用されている。

この送信所を見学する特別研究会当日の10月25日は、会員の日頃の行いのよさを証明するような雲一つ無い好天気で、東京駅前の中央郵便局前に集合、12名が小型借り上げバスに乗り、神田橋の入り口から首都高速道を三郷へ、ここから常磐自動車道を北上、途中サービスエリアで休憩及び昼食を取りながら走る。車中は添乗

員並びに茂在元会長の軽妙な話題で途中退屈知らず。常磐自動車道は、水戸、いわきを過ぎると車はぐっと少なくなり、対向車は殆ど無く、高速道の借金による延長建設の是非が問われるのも無理はないと思われた。終点の広野ICを出て一般道6号線の「ならは」道の駅で休憩の後、富岡駅から内陸方向へ、山道を辿って標高約790m大鷹鳥谷山頂の送信局へ13時過ぎ到着。担当者の説明を受け、局内見学。肝心の主要部分原器室は高性能なセシウム原子時計3台を安定運用するため室内温度、湿度が精密に管理され、さらに電磁界シールドが施され立ち入り禁止、50kW送信機は半導体素子による現用、予備の2系統、送信機とアンテナとのインピーダンス整合を取り、能率良く電波を送信するための整合器が整合器室に設置されている。この部屋は、強力な電場が通過する強電界域となるため内壁すべてが銅板でシールドされ、ここも運用中は人間立ち入り禁止。

アンテナは、地上高250m三方支線式鋼管柱に傘型トップローディングアンテナを展長してある。鋼管柱には、高輝度航空障害灯が設置されている。

発射電波は、セシウム原子時計の基準信号をもとに長波帯標準周波数信号及び時刻コードを生成し、さらに送信施設内各種計測機器の自動制御・計測データ収集や構内敷地の画像モニターなどの管理を行うための時刻信号管理室があり、職員が常時駐在している。

ここの施設の重要な部分は、電池でバックアップされており、停電にも対応できるよう自家発電装置を備えている。

発射電波は、東京小金井の通信総合研究所で監視制御され、日本標準時、協定世界時と比較され正確に運用されている。

この送信所の運用の苦労話としては、元海上保安庁運用のデッカ局時代と同様に落雷対策とのことで、雪害とともに当時と変わらないと感じた。

局外を見学の後、謝意を表してバスに乗り郡山方向に山を降り、磐越東線船引駅で今津会長が下車、所要のため帰京された。

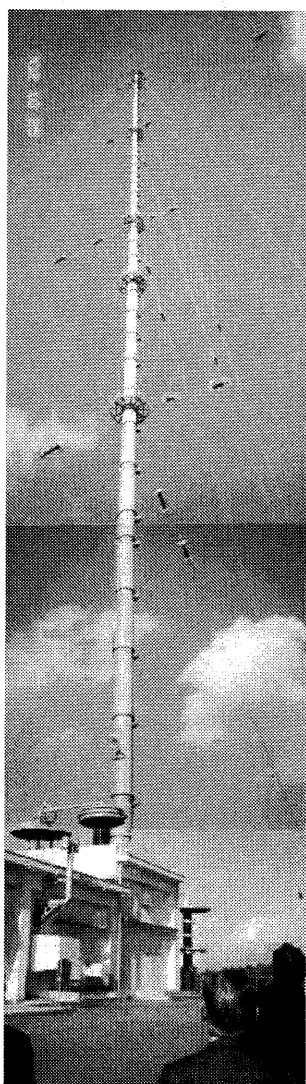
バスはさらに磐越自動車道・船引三春ICから入って西へ走り、郡山JCTを通過し磐梯熱海ICを降りて、

今夜の宿である金蘭荘「花山」に旅装を解いた。

温泉、露天風呂で疲れを癒し、懇親会の後就寝。

翌26日は、快晴とはいかなかったが、昨日の借り上げバスに乗り、母成グリーンラインを登り、錦秋の磐梯吾妻レークラインを通り秋元湖、五色沼を見て猪苗代湖畔へ、ここで今後紙幣の肖像となる野口英世氏の遺徳を偲びながら記念館を駆け足で見学、磐梯高原ICから磐越自動車道に入り、郡山JCTから東北自動車道を経て東京駅前へ17時前に無事到着、研究会は終了し解散した。終わりにこの研究会を計画、お世話戴いた皆様に紙上を借りて感謝の意を表します。

(文中で使用した標準電波に関する資料は、独立行政法人・通信総合研究所 電磁波計測部門 日本標準時グループ発行の資料を使用した。)



(追録 電波時計について)

デパートで電波時計なるものを見かけたが、時間がまちまちであるので聞いてみると、鉄筋のビル内では受信電波が弱くうまく動作しないとのことであった。

近くの店で大手の置き時計メーカー製デジタル式電波時計が千円足らずで売っていたので、興味半分で購入した。開封し、電池(単三型一個)を挿入するとリセット状態で00年1月1日00時00分00秒からスタートし、時を刻んでいる。いつ受信するのかと待っていたが一向に受信せず、ロックする気配が無い。しばらく放置しておいて見ると見事に受信して、年月日時刻まで正確にロックしていた。説明書によると受信は40kHzを伝搬状況の良い真夜中の時間に数回受信するプログラムになっているようである。受信失敗しても、内蔵クリスタルの精度で動き、次の受信時間にロックするようである。また強制的に受信させる操作もある。他の機種についてカタログを見ると、40/60kHz両周波数受信に対応した機種もあり、利用する地域によって機種、設置位置を検討の上購入する必要がある。

おおたかどや山標準電波送信所

施設の所在地

福島県田村郡都路村/同双葉郡川内村境界の大鷹鳥谷山(おおたかどややま)山頂付近

標高 約790m

北緯 37度22分10秒

東経 140度51分09秒

送信施設概要

送信所名称 独立行政法人通信総合研究所

おおたかどや山標準電波送信所

空中線電力 50kW(アンテナ効率約25%)

電波型式 A1B

送信周波数 40kHz

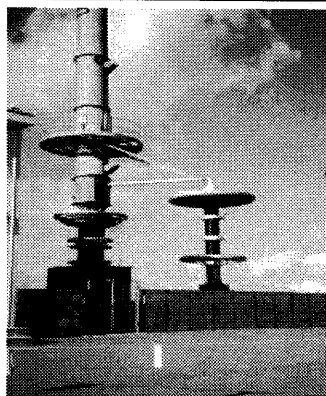
総敷地面積 約82,000㎡

アンテナ施設 地上高250m 傘型

トップローディングアンテナ

運用 連続運用

(機器/保守点検、落雷対策時を除く)



Record of Work Carried Out by the Japanese Committee for Radio Aids to Navigation During Fiscal Year 2001

Secretariat Office of the JACRAN

総 会

平成13年度総会は、平成13年6月4日14時から海上保安庁水路部大会議室で開催された。会員数95名のうち、総会出席者35名、委任状提出者27名、計62名で当会規約第10条第4項により本総会は成立した。各議題の審議結果は次のとおりであった。

1. 平成12年度事業報告が事務局により行われた。
2. 平成12年度会計報告が事務局により行われ、会計監査 中村勝英氏の監査報告があり、承認された。
3. 平成13年度会長、副会長の選出が行われ、満場一致で会長に今津隼馬氏が、副会長には、林 尚吾氏、長岡 栄氏及び田中 仙治氏が再任された。
また、各幹事の委嘱については事務局案のとおり了承された。
4. 平成13年度事業計画案について事務局から説明が行われ、原案どおり承認された。
5. 平成13年度予算案について事務局から説明が行われ、原案どおり承認された。

研 究 会

1. 第1回研究会は、平成13年5月4日、海上保安庁水路部大会議室で総会後に開催され、海上保安庁 灯台部 電波標識課 池田 保 課長から「電波標識の現状」及び電気通信大学 名誉教授・第9代会長 鈴木 務 氏から「IT化時代に向けての海上通信の高度化」と題する講演が行われた。
出席者は71名であった。
2. 第2回研究会は、平成13年7月26日、海上保安庁水路部大会議室において開催され、トキメック 西村 浩一 氏 及び 東洋信号通信社 田邊 幸司 氏 から「AISネットワーク技術と船舶情報サービス」、電子航法研究所 電子航法開発部 天井 治 主任研究官から「レーダーデータによるGPS装備機の航法精度の推定」、海上保安庁ディファレンシャルGPSセンター 宮本 茂樹 主任解析官から「海上保安庁が運用するデ

ィファレンシャルGPSの現状について」と題する講演が行われた。

出席者は40名であった。

臨時研究会（AISシンポジウム）

平成13年11月6日 日本財団ビルにおいて開催された海上保安庁主催のAISシンポジウムに当会からも会長（パネラーとして出席）を始め、100名が参加した。

50周年記念式典・祝賀会

平成13年11月6日のAISシンポジウム終了後、シンポジウムの招聘者を交え、霞ヶ関ビル33階にある東海大学 校友会館「望星の間」で開催された。

式典では来賓祝辞（海上保安庁長官、灯台部長代読）のあと、当会の運営に功績のあった10氏（3名は都合により欠席）及び10社に対し会長から感謝状が贈呈された。受賞者を代表し第5代会長茂在寅男様から謝辞が述べられた。

祝賀会は式典に引き続き行われ、多数の来賓並びに会員出席のもとに盛会裏に終了した。

当夜の出席者は、118名であった。受賞者は次のとおり（敬称略）。

（個人）森田 清、茂在寅男、庄司和民、鈴木 裕、飯島幸人、鈴木 務、濱田悦之、山田秀光、木村 小一、山越芳郎

（団体）日本無線、商船三井、日本郵船、日本船主協会、水洋会、トキメック、日本航路標識協会、長野 日本無線、セナー、富士通

特別研究会（見学会）

平成13年11月8日1300から観音埼（東京マーチス）において開催され、海上保安庁所属 航路標識測定船「つしま」によるAIS通信実験に立会い、3代目となる海上交通情報機構レーダー映像処理システム等を見

学した。

参加者は、当初予定の3倍を越える73名の希望があり、一部の会員については午前中に実施された海上保安庁主催の公開実験に併せ参加させて頂いたが、なおかつ、3班に分かれての見学となった。

50周年記念講演会

平成14年3月6日 東京商船大学越中島会館において開催され、廣田直照氏から「電波航法の揺籃期」、電子航法研究所 水城 南海男氏から「VTSにおけるAISとのマッチングと表示に関する研究報告」と題する講演の後、副会長 林 尚吾氏 司会のもと「新しい航法」と題して 三輪 勝二氏、松野 達夫氏、池田 保氏の3パネラーによりパネルディスカッションが行われた。

当日の出席者は55名で、終了予定時間より1時間延長となった。

幹事会

企画、編集の合同幹事会は、平成13年5月17日、6月4日、7月26日に開催され、事業計画、研究テーマ、50周年記念事業、会誌発行等について審議が行われた。

この他、編集幹事会は、平成14年2月7日に開催され、編集出版幹事長に廣田直照氏が推薦されるとともに、50周年記念誌の内容及び広告料の検討、AISシンポジウム報告書の複製配布について審議された。

会誌等発行

会誌「電波航法」第43号は、50周年記念号として3月末に刊行された。

会員数

平成14年3月31日現在

正会員 28名 53口

個人会員 12名 12口

(うち年会員7口、終身会員5口)

推薦会員 16名

特別会員 38名

計 94名

会員の移動

退 会 アンリツ(株)、日本航空(株)、(株)東芝 (正会員)
防衛庁管理局(旧、装備局)(特別会員)

入 会 海洋電子工業(株)、(株)加藤電気工業所(正会員)
柘植 茂二(柘植技術士事務所)(個人会員)

変 更 鈴木 務(前会長)(特別会員から推薦会員へ)
西 周次(元、電子航法研究所)
(個人会員から推薦会員へ)

新しい電波航法の時代へ

副会長 林 尚吾

To the age of a new radionavigation

Vice-chairman Shogo HAYASHI

電波航法研究会が創立 50 周年記念を行ったのは 1 年前でありましたが、もう随分と前のような気がします。創立してからの 50 年間は、文字通り電波航法の歴史そのものと言えます。この間、第 2 次世界大戦後に現れてきた多くの電波航法、例えばロラン A、デッカ、オメガそして NNSS (TRANSIT) が現れては消え教科書での歴史上の電波航法となりました。辛くもロラン C だけが現在も細々と残っている状況であります。GPS の出現は、前述した電波航法システムに新時代への交代を迫り、旧来のシステムを置き換えてしまいました。今や、航海の世界にとどまらず、自動車でのナビゲーション・システムの普及は驚くものがあります。このように位置の測定や時刻の管理そのほか日常生活のあらゆる分野に GPS が普及しその利用がシステムの中核として動くようになりました。時刻の管理としては、長い間、短波の JJY が周波数と時刻の管理のために運用されてきましたが、長波の 40 kHz と 60 kHz に置き換われ、置時計や腕時計が電波時計として正確に時刻を知らすようになりました。この状況もこの「電波航法」に報告されています。さて、GPS だけにすべてのインフラストラクチャが依存することの危険性が指摘されています。もし GPS が壊れたときやテロをかけられた場合に GPS が使用できなくなることで、社会的基盤が一時的に麻痺する危険性についても指摘され、その脆弱性の解決が新しい課題となっていることも今号で述べられております。GPS の出現は低廉な価格での飛躍的な測定位置の精度向上をもたらしましたが、この精度を更に向上させる仮想基準点の方式が研究され、その普及と実用的な航法への適用の試みが行われ、そのことも今号で詳しく述べられました。

さて、これからの 50 年の進歩の方向性を探る方法として、生物の航法から学ぶことも多いと思います。鮭の母川へ帰る航法、伝書鳩の帰巢本能などの諸説が解説されています。その中で今号の「渡り鳥の航法」のように未来の航法を考えていく上で、生物の頭脳の中に遺伝子に書き込まれているような航法の知識の研究は興味深

い内容であります。数千キロメートルも離れた地点が記憶され子孫に伝えられてゆくことは興味を超えて不可思議の世界の話であります。また、鳥は集団で飛行していても空中衝突することなく、全ての個体が一つの個体であるかのごとく 3 次元の空間を飛ぶ様子もわからないことだらけです。群れを成した魚の水中遊泳も同じです。私たちは生物から学ぶことが非常に多いと思います。

「電波航法」は言い換えれば扱いやすい電波を媒体とした通信手段による航法ですが、分子や電子の世界の情報で通信や記憶が行われる世界での航法が将来、現れてくるように思います。

これからの電波航法における位置測定システムは GPS だけになってしまうのではなく、50 年後は GPS が過去の航法として紹介されることになろうと思います。その日に向けて「電波航法研究会」は、新しいテーマを追い続けてまいります。ご支援くださいますようによりしくお願いいたします。

——電波航法—— ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW——

平成 15 年 3 月 28 日 印 刷 2 0 0 3
平成 15 年 3 月 31 日 発 行 N o . 4 4

編 集 東京都千代田区霞ヶ関 2-1-3 中央合同庁舎 3 号館 11 階
発 行 海上保安庁灯台部電波標識課気付

電 波 航 法 研 究 会

Japanese Committee for Radio
Aids to Navigation
c/o Radio Navigation Aids Division
of Japan Coast Guard
2-1-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo, japan

印 刷 東京都江東区富岡 1-26-10
カクチョウ印刷株式会社

電波と共に55年

船舶航行の安全と効率化をめざして—

加藤電気工業所は、人命の安全を確保するため、長年にわたって船舶用空中線の開発と海岸局並びに各種無線通信施設の設計・制作・施工にたゆまない努力と躍進をつづけております。

— 営 業 品 目 —

設計・製作・建設・保守

- 海岸局・陸上局・各種無線通信局
- 船舶用FRPホイップ空中線
- 航路標識用灯浮標
- パラボラアンテナ回転装置
- TV・ラジオ・FM局用鉄塔と空中線
- テレビ共聴・都市型CATV



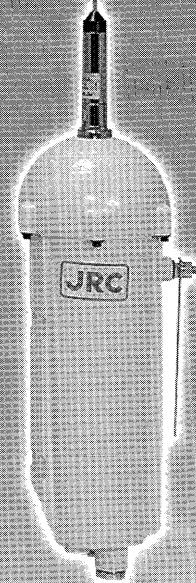
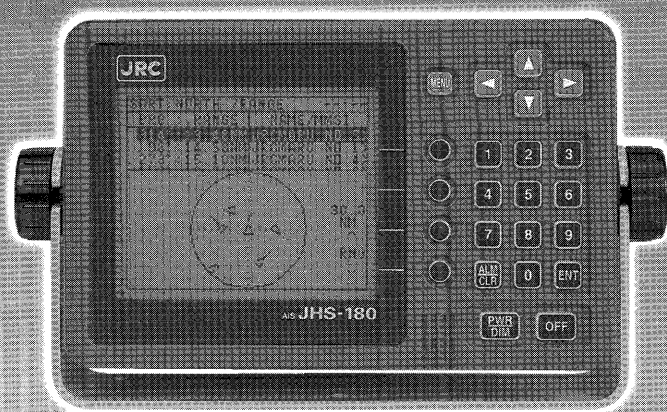
株式 加藤電気工業所
会社

Kato Electric Industry, Ltd.

本 社	〒114-0022	東京都北区王子本町 1-4-13	☎ (03) 3905-7311	FAX (03) 3905-5553
鳩ヶ谷工場	〒334-0013	埼玉県鳩ヶ谷市南 7-2-1	☎ (048) 288-2110	FAX (048) 285-6301
板倉工場	〒374-0111	群馬県邑楽郡板倉町大字海老瀬北 7118	☎ (0276) 82-4711	FAX (0276) 82-2240

JRC

世界の海に、世界の船に・・・



船舶自動識別装置 (AIS)

JHS-180

特徴

- アンテナ・トランスポンダを一体化※
することで装備性を向上させ、
トータルコストの観点から経済性を追及。
- 当社ARPAレーダとガードゾーン設定を
共通化することで衝突回避予測が飛躍的に向上。
- 僚船識別表示機能
- オンラインメンテナンス対応 (対応予定)

※ 特許出願中 (日本・海外9ヶ国)



日本無線株式会社

海上機器営業部 官庁営業部

〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-10-1日土地西新宿ビル

電話 (03) 3348-2351 (ダイヤルイン)

JRC ホームページ <http://www.jrc.co.jp/>



世界にはばたく

航路標識のエキスパート“JANA”

安全で美しい海を

事業内容

1. 航路標識用施設及び機器に関する調査，研究，開発及び維持管理
2. 航路標識用施設及び機器に関する啓蒙普及
3. 航路標識用機器の規格の制定，普及及び検査
4. 航路標識に関する国際協力
5. その他本会の目的を達成するために必要な事項

財団法人 **日本航路標識協会**

“JANA” Japan Aids to Navigation Association

(ホームページ <http://www.jana.or.jp>)

平成十四年三月二十八日印刷
平成十四年三月三十日発行

電
波
航
法

電波航法研究会 発行