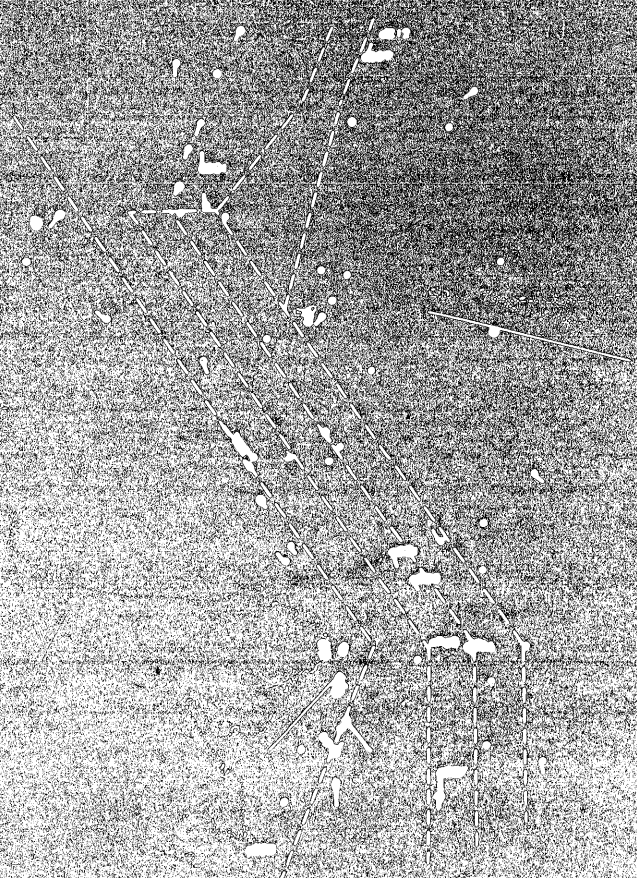


ISSN 0287-6450
Denpa kōhō

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

電波航法



JACRAN. 35

1988

電波航法研究会 発行

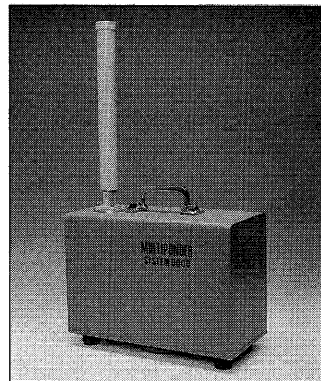
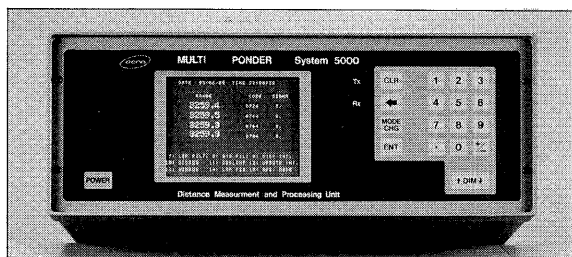
Published by the Japanese Committee
for Radio Aids to Navigation

MULTIPONDER

マルチポンダー System 5000

マイクロ波精密位置測定システム

マルチポンダー・システム5000は、当社の運用・技術の両面にわたる豊富な経験を基に開発した、新しいマイクロ波精密位置測定システムです。



主な仕様

測定距離 100m~100km
位置測定精度 $\pm 0.5m$
マルチユース 主局30局迄可能
送信周波数帯 8 GHz
緯度、経度またはX、Y表示可

水深測量自動集録処理装置 SYSTEM 900

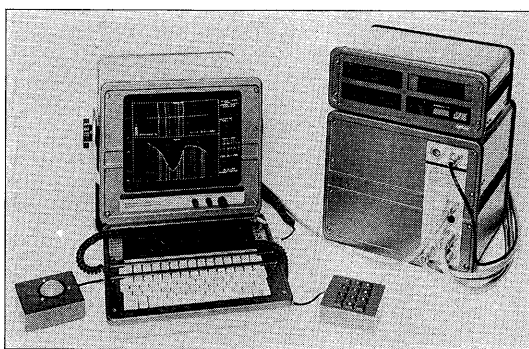
システム900は水路測量、浚渫／埋立作業のために開発されたシステムでデータ集録、処理の機能を持ち、迅速なる海図作成を実行します。

データ集録

オンライン作業として水深データの集録、及びトラックプロット、計画測線へのガイダンスを行なう。

データ処理

CRT画面を用いたデータ処理／編集、デジタイザーによる海岸線記入等の処理を経て海図を作成する。



 **セナー株式会社**

本社 〒100 東京都千代田区千代田2-1-1(飯野ビル)
TEL (03) 506-5331(代表)

札幌営業所 〒060 札幌市中央区南1条西1-1(東ビル)
TEL (011) 231-8421(代表)
仙台営業所 〒980 仙台市中央2-8-16(仙台東京海上ビル)
TEL (022) 63-0171(代表)
神戸営業所 〒650 神戸市中央区栄町通3-6-7(大栄ビル)
TEL (078) 331-7292(代表)
福岡営業所 〒810 福岡市中央区天神1-14-16(三栄ビル)
TEL (092) 711-1451(代表)

—目 次—
CONTENTS

巻 頭 言	鈴 木 裕···(2)
Foreword	Hiroshi SUZUKI

展 望
Observation

安全な航空を支える電子航法	米 本 恭 二···(3)
Electronic Navigation to Support Aviation Safety	Kyoji YONEMOTO

超伝導センサーについて	関 根 松 夫···(8)
Superconducting Sensors	Matsuo SEKINE

移動体衛星通信の各国の動向と今後	大 森 慎 吾···(15)
Worldwide Activities in Mobile Satellite Communications Fields	Shingo OHMORI

最近のディスプレイについて	小 島 健 博···(21)
Trends on Recent Disply Device Technologies	Takehiro KOJIMA

海洋ロボットへの胎動	望 月 光 宣···(30)
Moving under water to Oceanic Robots	Mitsunobu MOCHIZUKI

新製品紹介
New Products

GPS 受信器 MX-4400 型	域 地 隆···(43)
GPS Receiver Type MX-4400	Takashi JOCHI

研究会記事	事 務 局···(7)(45)
Records	Secretariat Office

巻 頭 言

(Foreword)

会 長 鈴 木 裕

President

Hiroshi SUZUKI

電波航法研究会が発足して今年で38年になる。実に長い間、勉強を続けてきたものだと思う。忘れられないのは、今から丁度30年前、昭和34年4月6日から4月9日にかけて、電波航法研究会の面々が東京水産大学の練習船海鷹丸に乗船し、八丈島までロラン A 電波の受信試験に行ったことである。事務局から巻頭言の執筆依頼を受けたのが今日4月6日でまったく偶然というには不思議と言える。

当時、乗船された方々は鮫島、茂在、庄司（当時商船大）、木村（運研）、今吉（水路部）、木戸、飯塚（沖電気）、高坂、土井（光電製作所）、箕原（吉野電気）、佐々木の諸氏と鈴木（水産大）で、船長は小沢氏であった。5日、館山で乗船し、その夜、実験の打ち合せをした。乗船各社のロラン受信機と海鷹丸のスペリー社のロラン受信機を計4台並べスコープ上に現われる諸現象の撮影とロラン位置精度の測定を行った。6日午前5時に館山を出航したが途中南西の風、風力7,8の大時化となり夜10時には洞輪沢（ボラワザワ）に仮泊し徹夜で観測をし、翌日は転錨して、八重根泊地で観測を継続した。各社の時間差は、よく合っていた。今年は、ちょうどロラン A 設置30年になり感無量である。

電波航法はそのころからレーダ、ロラン C、デッカ、オメガ、NNSSそしてGPSと発展し、今や衛星航法は数10トンの小型漁船まで普及してきた。そして単に海上の船舶だけでなく、航空機はもちろん、陸上の自動車、果てはヨットにまで使われ、ハンディー機まで登場する時代になってきている。海中では、大小のROVが活躍しており、海中における位置決めに精度が必要になってきた。これは、超音波ピンガーを魚に取り付け、パルスを受信して魚の位置を追跡表示する技術にも応用させている。

海上の船舶の位置を衛星から定めるARGOSシステムは漁船の監視に利用され、MOS-1のDCPは漁船や海上のデータ収集とデータ処理に一役買っている。

1986年、IMOで世界的規模の海上遭難・安全システムGMDSSが決議された。従来型のほか、静止型航行衛星を利用したシステムまで1991年には、全船舶に適用し、遭難通報、国際救助協力通信その他関連通信を行うことになっている。

本電波航法研究会は来るべき21世紀に向けて、活性化を必要としている。あらゆることが研究し尽くされ、もうやるべきことがなくなった。ということはできない。常に、精力的にこの道の問題点を探り、ニーズを謙虚に受け止め、時間をかけてハードソフトの開発研究を始めなければならない。

一方、本研究会はそろそろ任意団体から脱却し、法人化へ、または法人として機能することを考える時期に来てはいないだろうか。

どうか電波航法の諸氏が、新年度から新しい研究方向を見いだし、行動されるように期待してやまないものである。

安全な航空を支える電子航法

航空機操縦士養成振興協会

米 本 恭 二

(前運輸省電子航法研究所)

Electronic Navigation to support Aviation Safety

Japan Pilot Training
Promotion Association

Kyoji YONEMOTO

(Previously, Electronic Navigation Research
Institute, Ministry of Transport)

1. はじめに

航空関連の技術は近年著しい発展をとげた、航空機本体はもちろん、航行を支援する施設、システムにも最先端の近代技術が駆使されている。これらの航空関連システムは、近代技術の集積と言っても過言ではなからう。

航空輸送はこの10年ほどの間に大変普及し、国際輸送はもちろん、国内輸送においても長距離移動の手段として主力を占めるようになった。国内で1000キロメートル程度以上の旅客の移動では、70パーセント以上が航空によるようになってきている。特に東京—札幌の場合は90パーセントをこえる旅客が航空を利用していている。このような航空輸送の伸びは何と言っても、高速度かつ大量の輸送が可能になったのによるが、安全性に対する国民の信頼感が増大したことがこれに対して何よりも貢献しているものと思われる。定期航空による死亡事故は近年は非常に減少し、1985年の死者数は1067、1億人キロ当りの死者数は0.09であった。1986年にはこれらはそれぞれ330と0.03となっている。(航空振興財団発行「数字でみる航空」1988年版による。) 1987年の日本国内の道路交通事故による死者数が9347であることと比較すると、航空輸送の安全性の向上の程度を理解することができるでしょう。(数字は1988年版運輸白書より引用した。)

しかし、このような高い安全性は決して容易に達成

されたものではなかった。全世界の航空分野の小さな単位における努力の集積が、現在の巨大システムとも言える航空システムを形成したのである。

2. 安全確保の要件

航空機が安全に運航できるための条件は、大きく分類すると次の3点になると考えられる。

- (1) 航空機が墜落しないこと。
- (2) 航空機が迷子にならないこと。
- (3) 航空機が他の航空機と衝突しないこと。

これらは当然のことと考えられるかも知れないが、どれも簡単に達成できるものではない。航空がライト兄弟の時代から現在まで発達する過程において、上記の3点について払われた努力は莫大なのであった。

まず(1)について考える。墜落しないということは最低の条件の表現であって、航空機が安全に空中で飛行を継続できる状態を意味する「耐空性を有する」ということである。船が海上を安全に航行する能力を有することを seaworthy といい、この能力が seaworthiness であるが、これから派生した表現として airworthy 又は airworthiness がある。これが日本語で耐空性に相当するものである。耐空性を確保することがこの条件の基本である。このためは、航空機の設計が適切であり、その設計に基いて適切に製作され、さらにその後正しく整備が行われることが必要である、こうして耐空性は確保されることになるが、航空機が

飛行するにはパイロット等の乗組員が必要で、その乗組員が十分な技術を有することを要する。整備要員の技術も同様に重要である。また、これらの操縦及び整備の要員の訓練も適切な方法で行われることが必要である。

次に(2)の条件を考える。現在の航空機は全天候運航を目標としているが、このためには航空機が常時その位置を正確に把握していなければならない。つまり、航法的能力が完全でなければならない、これには、地上の援助施設からの電波等による情報を利用する方式(station-referenced)と機上装置のみによる方式(self-contained)とがある。いずれの場合にも機上装置の信頼性が高くなければならない。また、前者の場合には地上の援助施設も高い信頼性が必要となる。これら装置や施設に対しては適切な保守・整備を行うことを要し、要員にも適切な訓練を行わなければならない。

最後の(3)は、飛行している航空機の数が増加するにつれて極めて重要な問題となった。この条件を満たすために航空交通管制が行われているのであるが、情報伝達が無線通信で行われているので、この通信系の信頼性が機上、地上共に高いものであることを要する。これらの保守・整備や関連要員の訓練も重要な要素である。航空交通管制では、管理官の技術も重要であり、その訓練も適切に行われなければならない。

電子航法と呼ばれているものは、せまい意味では(2)、広い意味では(2)、(3)を含めた条件を確保することを目標としている技術である。

3. システムの発展の経過

上記に述べた安全確保の要件が、航空システム発展の過程においてどのように考慮されて来たかをふり返ってみる。

(1) 初期の航空機

最初に航空機が出現した時、その目的は輸送の手段ではなかったと思われる。しかし、比較的早い時期から、小規模ながら郵便輸送等が開始された。この時代の航空機は低速であり、飛行高度は低く、飛行も主として晴天時の昼間に行われてたので、航法的には地上の物標を見ながら行う地文航法で十分であった。飛行している航空機の数も少く、交通整理の必要もなかった。従って安全性についての配慮は、航空機の耐空性とパイロットの技術のみに集中していたと考えられる。

(2) 航空機の大型化と高速化

その後航空技術の発展と共に、航空機は大型化の傾向をたどり、また高速化した。双発以上の多発機の出現と共に、1発動機的不作動時の飛行が安全に行える

ようになる、航空機本体の安全性は格段に向上した。一方、大型化により重量に余裕が生じ、そのため装備も多様化した。航法装置に電波を用いたものが普及し、電波航法が航法の主体となって来た。最初は長・中波を用いたNDB(Non Directional Radio Beacon)とADF(Automatic Direction Finder)による航法等が用いられたが、次第にVHFとUHFによるものが一般化し、VOR/DME(UHF Omni Directional Radio Range/Distance Measuring Equipment)とILS(Instrument Landing System)が基本的な国際標準システムとなった。一方、空地通信もHFを用いるものからVHFへと変わり、VHF通信による管制システムが確立された。この段階になると、航行援助システム及び航空交通管制システムは不可欠のシステムとなり、これらの信頼性が航空機本体の安全性と並んで安全上の重要な要素となった。電子航法が航空機の運航の安全に占めるウェイトが極めて大きくなったということである。

(3) ジェット機の就航と高々度飛行

ジェット機が民間輸送に用いられるようになったのは1960年頃からであるが、その直前の世代に属する航空機はかなり大型となり、ピストンエンジンの4発プロペラ機ながら飛行高度は高く、客室の与圧等現在一般化した設計上の多くの要素が取入れられている。(ダグラスDC-6、DC-7、ロッキード1049G(スーパーコンステーション)、1649A、ボーイングB377(ストラトクルーザー)等がこのカテゴリーに属する機種である。)この結果として、機体構造は与圧に耐える強度が要求され、設計思想も変化することとなった。また、高々度飛行に対応することとなった。また、高々度飛行に対応する保安装備の重要性が増大した。

(4) 情報処理技術の発達と管制システムの向上

最近の大型ジェット機においては非常に多くのシステムに情報処理システムが用いられ、これらの信頼性が航空機の安全性に大きく影響するようになって来た。制御システムも高度化し、航法システムの情報が最大限に活用され、自動操縦システム(オートパイロット)も初期のものとは格段の差のあるものとなった。航法システムもINS(Inertial Navigation System)が一般化し、機上のコンピューターにより地上の標識施設(VOR/DME等)の情報を再処理して用いる航法システム(Area Navigation)により柔軟なルートの設定ができるようになった。

航空交通管制のシステムでも情報処理システムが導入されて、レーダー情報の表示や、飛行計画の情報の蓄積と更新により管制官が使い易い情報の提供が可能となった。空地通信及びレーダーの覆域(サーブス区

域)の拡大と共にその信頼性を高めている。さらに管制の機能を補うための衝突防止システムの導入や、データ通信、人工衛星の利用等も実現が近い。

これらの情報処理システムは、人間が短時間に大量の操作をこなせないという限界を打破することを可能にした。現在の航空システムは巨大システムとなっているが、情報処理システムにより支えられていると言うことが可能である。

4. 安全確保のための制度

ここでは安全を確保するための制度面にふれてみたい。

民間航空の安全確保のために、各国政府はそれぞれの法律・規則等に基づいて必要な措置をとっている。航空交通の国際性から、国際民間航空条約及びその附属性から、国際航空の安全を確保するためにとるべき措置を定めており、各国の法律・規則等は国際的統一を目指した標準方式に可能な限り合致させるように制定されている。

(1) 航空機の飛行の安全

航空機本体に対して耐空証明、操縦士、整備士等の航空従事者に対して技能証明及び身体検査証明を行うと共に、航空運送事業に対して運航と整備の方式の基準を定めている。

航法システム、管制システム等の機上装置も耐空証明制度の中に含まれていており、その取扱の技能は技能証明制度等(計器飛行証明を含む)の中に含まれている。

(2) 航空援助施設及び飛行場

主として国(成田の新東京国際空港は関西国際空港株式会社)又は地方自治体が設置し、管理している。これらに対しても技術基準が定められている。

(3) 航空交通管制

大部分の国では、国が直接実施している。航空交通管制の方式は、国際的統一が重要なものであり、また、管制官の技能証明の要件も国際基準に従って定められている。航空交通管制用の機器で、航空機との信号の授受等で通信設定上必要なものについては技術基準が国際的に定められている。

国際技術基準は、国際民間航空条約に基づいて、国際民間航空機関(ICAO)の理事会の補佐機関である航空委員会(Air Navigation Commission, ANC)が作成し、理事会がこれを条約附属書として規定している。この過程で加盟国の専門家の会議が頻繁に開催される。基準・方式等は発展途上国のガイドラインにもなっている。

5. 航空システムの現状

これまで、安全確保の要件、システムの発展の過程及び制度面等を見て来たが、ここでは電子航法システムを中心として現状を整理して述べる。

(1) 航空機

航空輸送に用いられる航空機は多発機で、T類という基準で設計されたものが用いられている。エンジンはターボ732エンジンと呼ばれるものが主として用いられている。環境問題にも配慮された設計で、低騒音、低い排気ガスの排出率のエンジンとなっている。客室には与圧が行われ、乗客の快適さは向上している。操縦操作はパワー操縦である。

航法システムは、機上装置のみによるINS等と、地上施設を利用するVOR/DME、ILS等が装備されている。これらの航法システムの情報は自動操縦システムに入力され、離陸直後から着陸時まで自動操縦によることができる。高度制御等が含まれ、機上データ及び航法システムからの情報により動作するようになっていく。

なお、航空管制のバックアップとして衝突防止システムの装備が検討されている。

(2) 航法システム

地上に置かれる航行援助施設は、進入着陸用の援助施設とルート飛行用の援助施設とに大別される。

進入着陸用の施設は、ILSが標準施設となっていて、国内では35空港に設置されている。VHFのLocalizer(108—112MHz)とUHFのGlide Path(328.6—333MHz)により、進入の経路を与えるようになっている。なお、進入路中で接地点からの距離を示すVHF Marker(75MHz)も用いられている。

ILSはその使用周波数帯の特性から、空港内及び空港周辺の物体によるマルチパス等による誤差を生ずることが多く、これを改善するためマイクロ波を用いた新しいシステムが国際標準として予定されている。これはMLS(Microwave Landing System)と呼ばれるシステムで、1998年からはILSに代えてこれを国際標準とすることとされている。5GHz帯のマイクロ波を用い、方位と高低についてビームを走査し、受信の時刻を機上で測定することにより滑走路位置からの角度情報を得ようになっている。同時に距離をDME/P(MLSと併用するDME)きより測定できるようにしているので、サーピス空間内で航空機の位置が求められる。

ルート飛行用(航空路用)の援助施設は、VOR/DMEが標準施設で、84施設が国内に設置されている。VORはVHF(108—118MHz)で方位情報を与え、DMEは

UHF (962—1215MHz) で距離情報を与える。VOR/DME の通達距離は約200海里 (360km) が限度で、これをこえる距離では NDB が用いられる。NDB の通達距離もせいぜい500km 程度までなので、洋上等でこれより遠距離を飛行する航空機には地上からの情報を与えることは困難で、主として機上のみ装置によることとなる。(Self-contained Navigation Aids) これには INS が用いられているが、時間の経過による累積誤差は避けられず、このため GPS で INS を較正しながら使う航法がとり入れられる傾向がある。また、地上の VOR/DME 等の利用可能なところでも、これらの援助施設で INS を較正しながら使う航法も行われている。

(3) 管制システム

航空交通管制は、複数航空機間に安全間隔を確保できるように指示を行い、空中衝突を避けることを目的としている。管制官がまず航空機の位置を知ること、次にパイロットと管制官が交信できることが必要である。位置情報の入手はかつては航空機からの位置通報によっていたが、現在ではレーダによって管制官が直接位置情報を入手できるようになっている。レーダには、航空機の自然反射波を利用する 1 次レーダと、航空機の装備している応答装置からの信号を用いている 2 次レーダがあり、両者が併用されている。

進入管制用には通達距離が約50海里 (90km) である空港レーダが使われ、国内23空港に設置されている。このうち6空港では、情報処理システムを介してレーダ情報を表示するシステムが導入されている。また、4空港においては、空港面の航空機や車輛の監視のためのレーダも用いられている。なお、VHF/UHF の空地通信施設はすべての空港に設置されている。

航空路の管制は、4ヶ所の航空交通管制部 (札幌、東京、福岡、那覇) で行われている。空地通信は遠隔施設を全国に置き、国内のどこでも VHF/UHF による通信が可能である。レーダは、通達距離が200海里 (360km) の航空路レーダが14カ所に置かれ、4管制部にそれぞれ必要な位置にあるレーダの情報が伝送される。レーダ情報は飛行計画の情報と共に処理されて管制官に提供される。この情報処理システムは、異常接近警報、悪天候表示、飛行の進行の予測等の機能も有する。航空路レーダの洋上空域での覆域の増加 (250海里, 450km)、最低安全高度警報の表示、間隔設定と進入順位の表示、飛行計画の矛盾探査等の性能向上も進められている。

レーダの覆域外においては、現在はまだ航空機からの位置通報に依存する管制が行われている。これはほとんど陸地から遠距離にある洋上の場合で、空地通信

も一部覆域拡張 VHF (ER-VHF) が用いられるほか HF を用いるので信頼性が低い。そこで静止衛星を用いて測位と通信を行うことが考えられている。レーダのように地上から航空機を独立に監視するには (cooperative independent surveillance)、2 個の静止衛星と航空機の高度が必要である。INS (又は GPS) の情報をデータ通信で地上に送る方法 (automatic dependent surveillance) では、衛星は1個でよい。当面後者の方式でスタートし、漸次独立監視の方式に移行するものと考えられる。

(4) 要員訓練

航空機が大型化、複雑化し、また、航法、管制のシステムが高度化すると、要員の訓練も実システムを用いて行うことは困難になって来た。このため、訓練のかかなりの部分はシミュレータを用いて行われるようになった。情報処理技術の発達により高度なシミュレータが出現し、航空の広い分野で活用されている。

自動システムが増大しているので、システムのダウンした状態、つまり非自動の状況をシミュレーターで作り出して訓練することが極めて重要になっている。

6. 研究と開発

すでにふれたものもあるが、近い将来の実用化を目指して研究開発の進められているシステムは次のようなものである。これらは、国際的な標準化が必要であり、国際協力で行われているものも多い。

(1) 静止衛星を用いた航空交通管制システム

レーダの届かない洋上空域で、レーダに代る測位情報を管制機関に提供することができるシステムの実用化を目標とし、各国が静止衛星を用いるシステムの研究開発を行っている。日本では、1987年8月に打上げられた「きく5号」(ETS-5) を用いて電子航法研究所が実験を行っている。実験により得られた結果は、ICAO による技術基準作成のために提供されることとなっている。

(2) MLS の実用化

MLS については国際標準がすでに定められ、近い将来 ILS に代ることとなっている。電子航法研究所では実用システムを設置して種々の評価を行っている。最初は仙台空港に設置して評価を行い、次いで長い滑走路のある熊本空港で評価が続けられている。

(3) 新しい方式のレーダ

現在用いられている 2 次レーダは、航空機との間で交換できる情報量が少いので、情報量を増加させ、応答を求める呼出しを選択呼出し方式とすることの可能な方式 (Mode S) の開発が進められている。

(4) 衝突防止システム

航空交通システムのバックアップシステムとして、機上装置のみによる衝突防止のシステムの開発が進行している。これについては、前述のとおり米国が義務化を急いでいることもあり、その運用方式等の国際的統一が必要となって来た。Mode S の 2 次レーダの応答装置を利用する方法が主流となっているが、管制システムとの関連において統合したシステムの検討も行われている。

(5) 空地データ・リンク

現在、航空機と管制機関等の地上機関との通信は、ほとんどが音声通信によって行われている。このうち定形的のものはデータ通信化することにより、双方の当事者の通信の負担を軽減できる。データ・リンクとしては、2 次レーダの Mode S のリンクが有力と考えられているが、衛星通信を用いても同様のことが可能である。

データ通信はすでに確立された技術となっているが、これを空地通信に応用する技術の開発が進行して

いる。

(6) 空域設計のシミュレーション

航空交通量の増大に対処するため、現在いわゆる 3 大プロジェクト（成田の新東京国際空港の拡張、羽田の東京国際空港の沖合展開及び新関西国際空港の建設）が進行中である。これらのプロジェクトが完成すると、空域構成（航空路や出発・進入方式を運航と管制の方式）をそれぞれに合せて改める必要がある。これらをシミュレーションで実験し、評価するための研究が行われている。電子航法研究所においては、ダイナミックシミュレータを開発し、これを用いて模擬管制を行って新しい空域構成を評価できるようになっている。

(7) その他

以上のほか、空港面探知システム、航空援助施設の遠隔監視・制御システム等についても、研究と開発が運められている。

電波航法研究会 昭和62年度会計報告

収 入 の 部	項 目	金 額	摘 要	支 出 の 部	項 目	金 額	摘 要
	前年度より繰越	1,340,994円			会 議 費	139,460円	研究会 6 回 幹事会 6 回
入 会 費		1,241,600円	正会員 (昨年度未収2口をふくむ) 100口×12,000=400=1,199,600 未収 4口×12,000=48,000	支 出 費	会 誌 出 版 費	1,462,900円	会誌33, 34号分
			個人会員 10口× 2,000=20,000 年会員 1口×20,000=20,000永久会員 未収 2口×2,000=4,000 入会金（個人会員） 2人×1,000=2,000 個人会員		事 務 編 集	129,791円	
					費 会 計	20,000円	
						40,000円	
					謝 金	76,000円	
雑 収 入	1,400円		会誌販売等		通 信 交 通 費	136,570円	
広 告 料	175,200円		会誌33, 34号分		雑 収 入	37,900円	60周年記念式典招待者会費等
銀 行 利 子	2,264円				小 計	2,042,621円	
計	2,761,458円				次年度へ繰越	718,837円	
					計	2,761,458円	

超伝導センサーについて

東京工業大学
大学院総合理工学研究科
関根 松夫

Superconducting Sensors

Tokyo Institute of Technology
Graduate School at Nagatsuta
Department of Applied Electronics

Matsuo Sekine

1. ま え が き

超伝導の工学的応用は広く、電圧標準、高感度磁束計、高感度ミリ波、サブミリ波検出器、高速スイッチング素子、高速論理素子が実用化されている。今までは1800円/lの液体ヘリウムを用いなければならなかったが、最近の酸化物高温超伝導体の発見により、70円/lの液体窒素で動作する超伝導素子が可能となり、ますます超伝導の重要性が認識されてきている。

超伝導センサーとしては大別して磁気センサーと電磁波検出器とにわけられる。磁気センサーとしてはSQUID (Superconducting Quantum Interference Device, 超伝導量子干渉素子)があり、 2×10^{-14} テスラの微小磁界が測定できる。又応答速度は 6×10^{-6} テスラ/秒で、このような高感度の磁気の磁気センサーは従来の方法では得られなかった。一方電磁波検出器としてはミリ波、サブミリ波領域における高感度検出器としてジョセフソン素子の応用が期待されている。現在、ミリ波帯において主として用いられているショットキー・バリア・ダイオードは室温で使うことができるけれど、サブミリ波帯では感度が1 V/w、ヘテロダイン検波時の Noise Equivalent Power (NEP) が 10^{-9} w/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 程度にしか過ぎない。これに反して、ジョセフソン素子はサブミリ波帯では 10^5 V/w以上の感度、 10^{-15} w/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 以下のNEPを得ることが可能であり、ミリ波からサブミリ波領域にかけて現在検出器として要請される性能をもっている。まず始めに超伝導の現象について述べ、その後磁気センサー、電磁波検出器について述べる。

2. 超伝導現象

超伝導現象の特徴はゼロ抵抗により無損失送電が可能になり、又強力磁場も発生できる。マイスナー効果により磁束が超伝導体内部に侵入できないで、この効果により磁気浮上列車が可能となる。超伝導現象の最大の特徴である抵抗がゼロであるということは一度電流を流せば減衰することなく永久に電流が流れて永久電流が得られる。又電位差がなくても超伝導電流が流れる。では何故超伝導現象では抵抗がゼロなのか？よく知られているように物質内では電子は原子・イオン等の格子に衝突して減衰する。これが抵抗の原因となっている。超伝導現象では電子と電子が対をなして、運動量の緩和がゼロである。すなわち一方の電子が格子に衝突しようとする、他方の電子が衝突させないと引張って結局格子に衝突することなく抵抗がゼロとなる。では何故電子と電子がペアを組むのかと

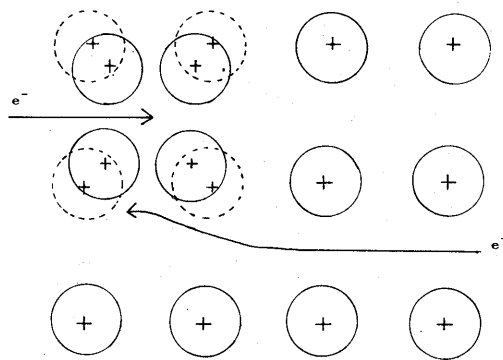


図 1 電子と電子がペアを組む。

+は格子で正の電荷、 e^- は電子で負の電荷をもつ。

いうと図1から次のように説明できる。

普通原子・イオンの格子は+の電荷を持っていて、電子は-の電荷を持っている。図1に示すように、電子が左上部から格子間を動くとき+の格子が引張られて点線からづれて電子の方に集まってきて+の電荷が実質的に多くなる。これを遮蔽作用という。ここにもう一方の電子が右下部からくればこの+の集団に引張られて電子と電子がペアを組むことになる。しかしこの説明は非常に定性的で本質的にはBCS理論によって説明されている。BCSはBardeen, Cooper, Schriefferの3名の頭文字でこの理論によってこの3名は1972年にノーベル物理学賞をもらっている。彼等の理論によると最終的には超伝導になる臨界温度 T_c は

$$T_c = 1.13 \omega_D \exp [-1/(N(0)V)]$$

で与えられる。ここで ω_D は最大の格子振動エネルギーに対応するデバイ角周波数、 $N(0)$ はフェルミ面での電子の状態密度、 V は電子間の相圧引力作用である。

$$V = V_{ph} - V_{Coul}$$

で電子-格子相互作用 (V_{ph}) と遮蔽クーロン相互作用 ($-V_{Coul}$) の和からなる。電子-格子相互作用が遮蔽クーロン相互作用に打ち勝った時、すなわち $V_{ph} > V_{Coul}$ の時に電子は対をなしてボソンとなり、より低いエネルギー状態をとり超伝導現象を引き起こす。

ここで金属、合金の場合の T_c の限界について考えてみる。上式の T_c の式で一般に $N(0)V \leq 1/2$ なので

$$T_c \leq 1.13 \omega_D \exp(-2) = 0.153 \omega_D$$

となる。ほとんどの場合金属のデバイ温度は $\omega_D \leq 300^\circ K$ なので

$$T_c \leq 45^\circ K$$

が限界となる。しかし $Be_{22}Re$ の場合には $\omega_D = 990^\circ K$ となるが、この時 $N(0)V \leq 1/4$ で結局

$$T_c \leq 20^\circ K$$

となる。このように ω_D が大きくなると $N(0)V$ が小さく、 ω_D と $N(0)V$ は無相関でありえない。すなわち $N(0)V$ が大きくなることは電子-格子相互作用が強くなることであるが、イオン格子系の方からみればイオン振動の電場が多くの電子により遮蔽されイオンの間の力が弱まる。これによってデバイ周波数が小さくなる。このように普通の金属、合金の場合に電子-格子相互作用による超伝導では高々 $45^\circ K$ しか期待できない。

ところで最近の酸化物超伝導体では、もし電子-格子相互作用だとすると $\omega_D \approx 800^\circ K$ と推定されている。 $N(0)V \leq 1/2$ なので臨界温度の上限は

$$T_c \leq 120^\circ K$$

と計算される²⁾。現在の上限はIBMによるTl-Ba-Ca-Cu-Oによる $125^\circ K$ である³⁾。

電子-格子相互作用以外の機構を考えれば室温の超伝導体も不可能ではない。例えば電子誘電分極による超伝導を考えてみる。超伝導の臨界温度 T_c はイオンの質量 M と

$$T_c \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$$

の関係で結ばれている。これは同位体効果としてよく知られている。これは以下のように説明される。もし格子が調和振動しているとする

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = -Kx$$

の関係式が得られる。これを解くと

$$x = A \sin\left(\sqrt{\frac{K}{M}}t + \theta\right)$$

で

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}}$$

が得られる。これより T_c が $\sqrt{M}$ に反比例することがわかる。今重いイオン振動のかわりに軽い電子振動を考える。この電子系の質量を m とすると

$$\frac{T_c(m)}{T_c(M)} = \left(\frac{M}{m}\right)^{\frac{1}{2}} = 100$$

が得られて $1000^\circ K$ の超伝導も可能となる。このようにもし室温超伝導が可能となれば以下述べる高感度磁気センサー、高感度電磁波検出器が液体ヘリウム、液体窒素の寒剤なくして可能となる。

3. 磁気センサー

磁気センサー素子として超伝導量子干渉素子(SQUID)がある。このようなジョセフソン効果を示す素子としては図2のように2つの超伝導体間に薄い絶縁体を挟むトンネル接合SIS (Superconductor-Insulator-Superconductor) 形と図3のような弱結合形(Weak-Link)のマイクロブリッジや図4の機械接触のポイントコンタクトがある。

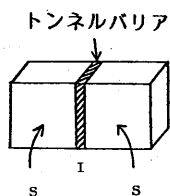


図 2 トンネル接合素子

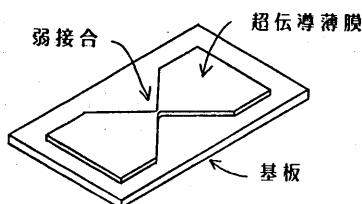


図 3 マイクロブリッジ素子

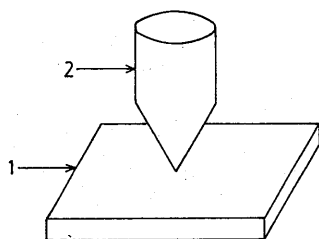


図 4 ポイントコンタクト素子
1: 超伝導電極, 2: 超伝導金属針

図2のトンネル接合素子は、ジョセフソン素子の基本型である。それは歴史的に見たとき最初に考案されたという理由からでなく、ジョセフソン効果そのものがこのトンネル接合素子から理論的に予言されたからである。図2の電極の超伝導体SにはPbやNbが用いられる。Pbは7.2°Kで超伝導になりNbは9.25°Kで超伝導となる。Pbは常温と極低温との温度サイクルに弱い、素子の信頼性を高めるためにPb-In, Pb-Bi, Pb-In-AuのようなPb合金が使われるのが一般的である。絶縁膜Iの厚みは数十Åであり、このように薄い絶縁膜を一様に制御して作ることは非常に困難であるために一般には下部電極の超伝導体を酸化して作る。例えば酸化鉛Pbのような絶縁膜を作る。

図3の薄膜マイクロブリッジ形素子は厚みが1000~3000Åの薄膜の一部を1μm以下の長さで幅でくびれさせたものである。電子と電子が対をなして超伝導になるが、その電子と電子の平均的距離をコヒーレント長といい、通常1μmである。従って1μm以下の幅と長さでくびれさせれば弱接合が得られる。薄膜の材料としては、SnやAlのように臨界温度は低く4.2°K以下であるが(Snは3.7°K, Alは1.2°K)、コ

ヒーレント長が長くて製作を容易にするものが初期の研究では用いられた。しかし、微細加工の進歩とともに臨界温度の高いPbやNb、あるいはNb₃Ge(臨界温度23.5°K)のような化合物超伝導体も使われるようになってきている。薄膜マイクロブリッジ素子は現在考えられている全てのジョセフソン素子の中で最も接合容量が小さく、10⁻³pF以下である。又構造上その特性は機械的に安定である。

図4のポイントコンタクト型素子はダイオードタイプのジョセフソン素子である。一方の電極(番号2)を機械的に研摩、あるいは、電解研摩することで先を針のように鋭くとがらせて、もう一方の電極(番号1)に圧力をかけて接触させることによって作られる。接触面の直径はコヒーレント長1μm以下にすることが必要である。ポイントコンタクト素子に用いられる超伝導体はNbであり、Pbは用いられない。Nbは固く、圧力をかけて接触させたときにつぶれるのは針先だけであるため、片方の端にねじを取り付けて接触の程度を調節できることはできない。しかし、ポイントコンタクト型素子の特性は針圧に大きく影響されるので機械的に特性の安定性の点で問題がある。

次にトンネル接合の場合と弱接合の場合の電圧-電流特性(V-I特性)を図5、図6に示す。なお図5のトンネル接合のV-I特性において、I_cは臨界電流で、これ以上電流を流すと超伝導性が破れる。V_gはエネルギー・ギャップに相当する電圧である。図5、図6からわかるように、電位差Vがゼロでも超伝導電流が流れ

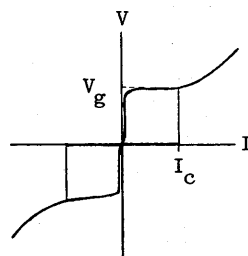


図 5 トンネル接合のV-I特性

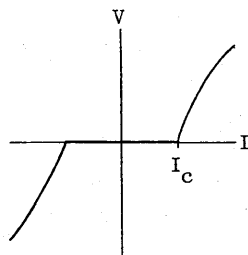


図 6 弱接合のV-I特性

る。

以上述べた超伝導素子を用いた磁気センサーとしての SQUID の動作原理について述べる。図 7 に示す超伝導リングを考えるとこの内部では磁束は量子化される。

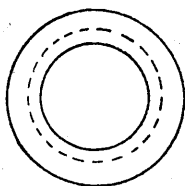


図 7 超伝導リング

すなわち磁束密度を Φ とすると、

$$\Phi = n\Phi_0 \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

である。ここで Φ_0 は磁束量子で

$$\Phi_0 = \frac{h}{2e} = 2.07 \times 10^{-15} \text{ Wb}$$

である。 h はプランク定数、 e は電子の電荷である。今のリングをくびらせて図 8 に示すような弱接合を含む SQUID を作る。

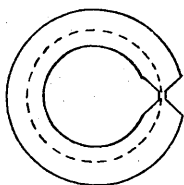


図 8 ジョセフソン接合を含む超伝導リング

このように一個をくびらせた SQUID を RF-SQUID と呼んでいる。この場合直流電圧は現れないで、すべての特性は交流的にインダクタンスの変化として取り出される。これに反して、リングの中に 2 つのジョセフソン素子を含むものを DC-SQUID と呼んでいる。この場合磁界の効果を直流電圧の形で取り出すことが可能となる。いずれにせよリングにジョセフソン素子を含むと、外部の磁界に対して磁束量子 Φ_0 の変化が検出できて、微小な磁界が測定できる。SQUID の応用について図 9 にまとめる。

このように SQUID による磁界の検出分解能は $2 \times 10^{-14} \text{ T}$ に達し $6 \times 10^{-6} \text{ T/S}$ の速い応答速度を持っている。

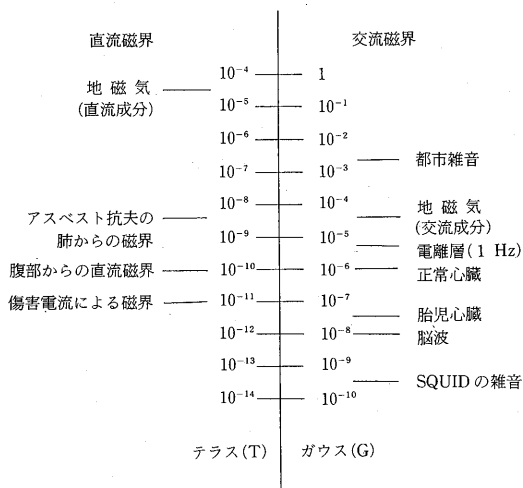


図 9 磁気センサーとしての SQUID の応用

4. 電磁波検出器

図 2 図 3 図 4 のジョセフソン素子に電磁波を照射すると図 5、図 6 の V-I 特性にステップが生じ、高感度の電磁波検出器となる。今照射する電磁波の周波数を fHz とすると、V-I 特性に生じるステップの電圧の大きさ ΔV は

$$\Delta V = \frac{hf}{2e}$$

となる。ここで h はプランク定数で、 e は電子の電荷である。例えば $f=10\text{GHz}$ のマイクロ波を照射すると $\Delta V=20.7\mu\text{V}$ のステップが生じる。このステップの数に相当する電磁波の周波数に応答する。すなわち $f=10\text{GHz}$ の電磁波を照射して 10 個のステップが観測できれば、100GHz まで応答できる。

例えば我々は図 10 のような電磁波検出器を製作し

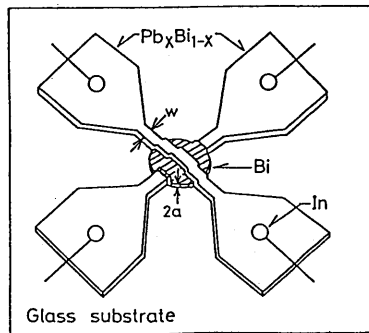


図 10 $\text{Pb}_x\text{Bi}_{1-x}/\text{Bi}/\text{Pb}_x\text{Bi}_{1-x}$ ジョセフソン接合

た。

図10において電極として Pb_xBi_{1-x} を使用した。ここで x は鉛の重量比である。2つの電極の間には Bi を挟んだサンドイッチ型のジョセフソン素子である。図2の SIS 構造では絶縁体 I は数十Åであるのに対して図10の Bi の厚み $2a$ は $6500\text{\AA}$ でジョセフソン効果を示した。なおこの時は Pb/Bi/Pb のジョセフソン接合素子であった。

今 $x = 0.5$ の $Pb_{0.5}/Bi/Pb_{0.5}$ ジョセフソン接合の場合、Bi の厚み $2a = 900\text{\AA}$ の時に 10GHz の電磁波を照射した時としない時の結果を図11に示す。

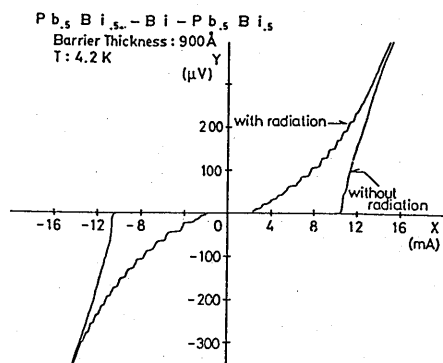


図 11 10GHz の電磁波を照射した時としない時の V-I 特性

図11で電磁波を照射した時ステップの数 n は $n = 15$ 観測できた。従ってこの素子は 150GHz までの電磁波に応答することができる。実際の素子を製作する場合には間に挟む Bi の厚みを制御することが重要である。この Bi の厚みを変えた結果を図12に示す。

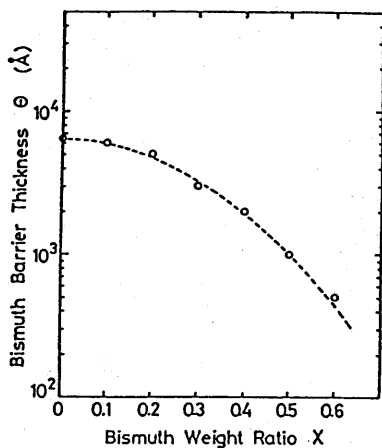


図 12 Bi の厚み $\theta\text{\AA}$ と Bi の重量比 X

図12の実験式は

$$\theta = 6500 \times 10^{-3.15x^{1.97}}$$

でこの曲線以下で電磁波が検出される。このように2つの電極に挟む Bi の厚みが厚いのでこの素子の製作は非常に容易である。

しかしこの素子では 150GHz まで応答しないが、我々は有機絶縁膜 LB 膜 (Langmuir-Blodgett 膜) を用いて 1000GHz まで応答する検出器を製作した⁵⁾。その素子を図13に示す。

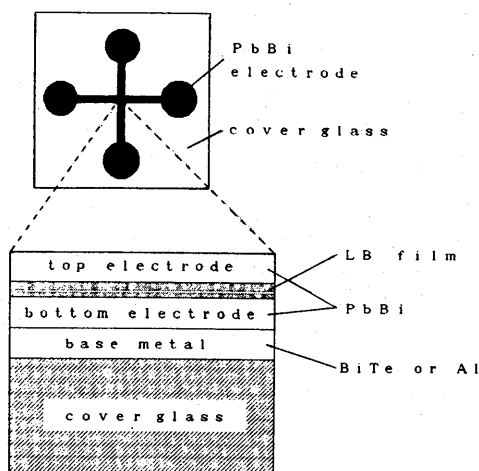


図 13 LB 膜を用いたジョセフソン接合素子

図13に示すように電極物質として PbBi を用いた。それは Pb 等他の金属よりも比較的転移温度 (T_c) が高く、真空蒸着によって薄膜が形成でき、しかも金属電極表面に自然酸化膜が形成されにくいという特徴がある。実験では Pb と Bi の比を $7:3$ とした。この条件のとき、もっとも転移温度が高く、 8.6K となる。表1に PbBi と Pb の超伝導に関する物性定数をまとめる。

表 1 PbBi と Pb の超伝導に関する物性定数

	PbBi	Pb
エネルギーギャップ (Δ)	3.6 meV	2.7 meV
コヒーレント長	—	83 nm
磁界侵入距離	—	39 nm
臨界温度	8.6 K	7.2 K

ここで、PbBi のコヒーレント長と磁界侵入距離は明らかではないが、PbBi は第2種超伝導体であるので、両者の値は Pb の値よりも小さいと考えられる。

又 LB 膜の成膜分子として、アラキン酸(C_{20})、ポリイミドの前駆体であるポリアミド酸長鎖アルキルアミン塩 (PAAD) という 2 種類を用いた。成膜条件は表 2 に示す。

表 2 成膜条件

C_{20}	subphase pH5.9 Cd^{++} 20℃ surface pressure 25mN/m dipping speed 5mm/min (first stroke) 10mm/min film type Y-type
PAAD	subphase pure water 20℃ surface pressure 25mN/m dipping speed 5mm/min film type Z-type

図13のジョセフソン接合素子は18mm 角のカバーガラスに約0.1mm 幅の上部下部電極により、LB 膜がサンドイッチされている。素子作製過程で PbBi がガラスに対する付着強度が小さいため、LB 膜累積時に水に漬けることによって電極材料の剥がれが問題となった。そこで PbBi 電極とガラスの間に Al または BiTe を下地電極として付着強度の向上を図った。

作製した素子の容量一周波数特性の一例を図14に示す。

図14からわかるように下地電極 BiTe, C_{20} の組合せにおいては、容量の遮断周波数の大きな変動は見られないが、下地電極 Al, PAAD の場合には大きな遮断周

波数の層数による変動が見られる。これは図15のような簡単な等価回路を用いて考えてみる。

図15の等価回路の遮断面周波数 W_f は

$$W_f = \frac{g_s}{C_s} + \frac{g_L}{C_s}$$

によって表される。すなわち、 g_L が小さくなると、つまり電極物質が剥がれ落ちることにより W_f は低周波側に移動するものと推定される。従って下地電極 Al, PAAD の場合には LB 膜層数の増加に伴い下部電極の剥がれによるコンダクタンス g_L の減少をもたらす。

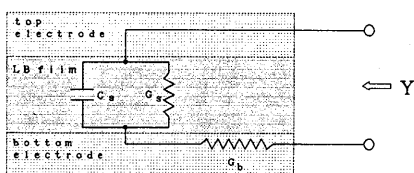


図 15 等価回路

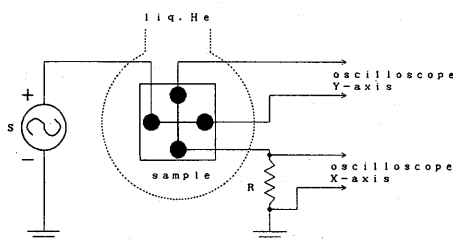


図 16 V-I 特性の測定

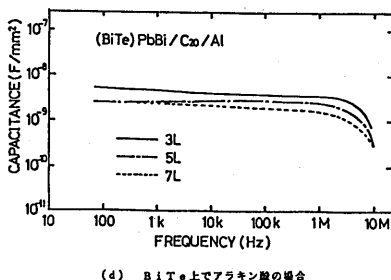
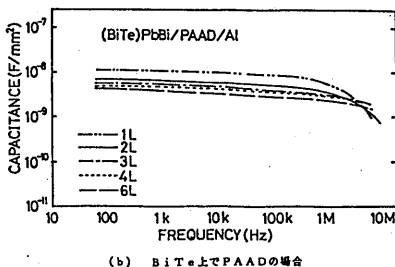
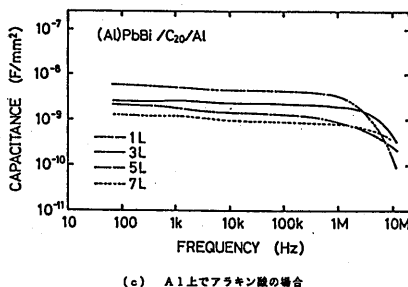
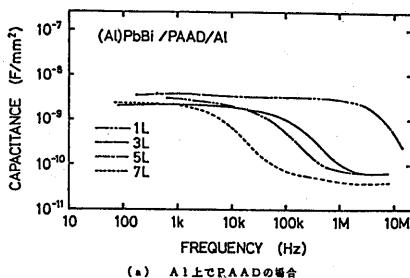


図 14 素子の容量一周波数特性

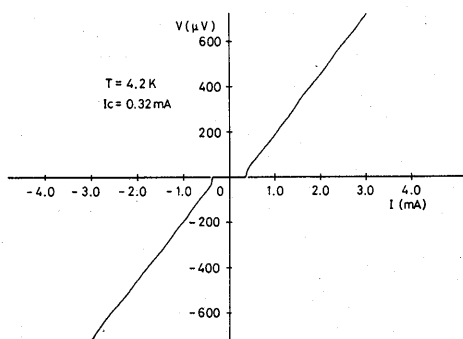


図 17 (A 1) PbBi/C₂₀(IL)/PbBi の V-I 特性

従って下地電極 A1, PAAD の組み合わせ以外なら安定な電気特性が得られて高感度電磁波検出器として使用できる。

今図13のジョセフソン素子の V-I 特性を測定するために図16のような測定系を考える。

図17に (A1) PbBi/C₂₀/PbBi 構造の素子の 4.2°K での電圧電流特性を示す。なお C₂₀ は 1 層 (1L) の monolayer である。図中の実線は直流ジョセフソン効果を示している。図17の特性は図 6 と同じ弱接合 (Weak link) 型の V-I 特性を示しており、LB 膜をはさむ電極間に Pin hole が存在することを示している。

今この素子に 10GHz の電磁波を照射したときの V-I 特性を図18に示す。この時は約100程度、すなわち 2 mV 程度の高い電圧までステップが観測され、これにより約1000GHz のサブミリ波の高周波に応答することになり、電磁波検出器として非常に優れたジョセフソン素子であることを示している。なお今回の測定では、LB 膜の種類による相違は認められなかった。

最後に電極間のコンタクトの大きさと数を評価する。ジョセフソンの基本式は

$$J = J_0 \sin \phi$$

である。ここで J_0 は臨界電流密度、 ϕ は電極間の位相差である。実験値がこの式に合うためには表 1 より超伝

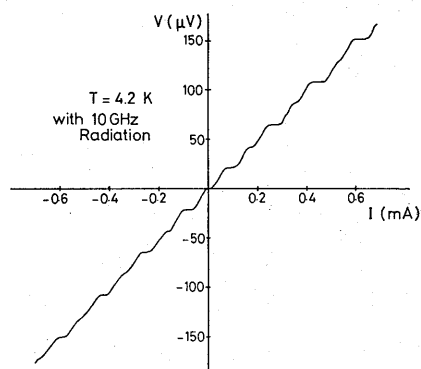


図 18 (A 1) PbBi/C₂₀(IL)/PbBi 1 : 10GHz を照射した時の V-I 特性

導体の磁界侵入長 ($\lambda = 39\text{nm}$) 以下の小さいものでなければならなかった。又電極に用いた PbBi の抵抗率の測定よりコンタクトの数を見積ると、約100~1000個/mm²となった。

参 考 文 献

- 1) J. Bardeen, L. N. Cooper and J. R. Schrieffer : "Theory of superconductivity", Phys. Rev., **108**, 5, pp. 1175-1204 (1975).
- 2) M. Sekine, Y. Okamoto, T. Nakamura and R. Liang : "T_c limitations on Ba-Y-Cu-O superconductors", Trans. of IEICE, **E70**, 8, pp. 706-708 (1987).
- 3) S. S. P. Parkin, V. Y. Lee, E. M. Engler, A. I. Nazzari, T. C. Huang, G. Gorman, R. Savoy and R. Beyers : "Bulk superconductivity at 125 K in Tl₂Ca₂Ba₂Cu₃O_x", Phys. Rev. Lett., **60**, 24, pp. 2539-2542 (1988).
- 4) M. Sekine, T. Kubota and T. Musha : "Pb_{1-x}Bi_x/Bi/Pb_{1-x}Bi_x Josephson Junction", Journal of Low Temperature Physics, **73**, 5, pp. 495-499 (1988).
- 5) M. Iwamoto, S. Shido, T. Kubota and M. Sekine : "Electrical properties of Langmuir-Blodgett films sandwiched between Pb-Bi superconducting electrodes", Japanese Jour. of App. Phys., **27**, 10, pp. 1825-1830 (1988).

移動体衛星通信の各国の動向と今後

郵政省通信総合研究所

大 森 慎 吾

Worldwide Activities in Mobile Satellite Communications Fields

Communication Research Laboratory

Shingo OHMORI

はじめに

現在、船舶、航空機、自動車、列車などの移動体に対して無線通信が広く利用されている。しかし、衛星通信の利用は、軍事通信を除けば実質的にインマルサットによる国際海事衛星通信のみである。近年は、海事衛星通信に加え航空機や陸上の移動体にも衛星通信を利用しうとする動きが世界的な大きな流れになっており、世界各国で種々の研究開発が行われている。

本稿では日本を含めた世界の移動体衛星通信の開発動向及び今後の展望について述べる。

1. 移動体衛星通信の特徴

1.1 移動体衛星通信の発展

移動体衛星通信はまず、海事衛星通信で実用化され、航空衛星通信、陸上衛星通信で今まさに実用化されようとしている(表1)。さらに、次世代の移動体通信となるであろう衛星通信間の研究開発も進められている。これら、移動体衛星通信の特色としては、以下のものが考えられる。

- (1) サービス域が広く、静止衛星三個で世界システムを構築できる。
- (2) 高品質、大容量、高信頼性の情報を通信できる。
- (3) コストが距離に無関係なため、地上系システムより安価なシステムとなる。
- (4) 移動体通信の絶対的条件として無線通信しか用いることができない。

これらの特色は固定衛星通信にも一般的に言えることであるが、(4)だけは移動体衛星通信固有の特色と言える。

海事衛星通信と航空衛星通信の発展を簡単にまとめると次のようになる。

★海事衛星通信

1976 米国軍事衛星の一部民間解放(MARISAT システム)で実用化。当初の加入船舶数は100隻、海岸地球局数2。

1982 国際的な海事衛星通信機構(INMARSAT)へと引継がれる。

1988 加入船舶は約7,200隻。海岸地球局数は世界中で18。加盟国数は52。

★航空衛星通信

1974 米国、カナダ、ESAの共同AEROSAT計画スタート。

1978 AEROSAT計画凍結、航空衛星通信見直し決定。

1980 サウジアラビアよりインマルサット船舶地球局の航空機への搭載申請。

1982 AEROSAT計画中止。

1985 インマルサット条約改正。航空衛星通信の提供が可能となる。米国ARINC、AVSAT計画発表。

これら、海事及び航空衛星通信発展の動きは世界的規模で行われているが、陸上移動衛星をめぐる動きは比較的地球局(国内的)なものとして見る事ができる。

2. 世界各国の研究開発動向

2.1 インマルサットシステム²⁾

世界で最初の実用衛星通信サービスは、米国軍事衛星通信マリサットの一部分民間開放により1967年に開始された。1982年にマリサットシステムを引継ぎ、国際的な組織として国際海事通信機構(INMARSAT)が設立された。現在、インマルサットは世界で唯一の機関として世界的規模で船舶に対し電話、テレックス及びデータ通信のサービスを行なっている。現在の加盟船舶は約7,200隻(日本船700隻;1988年7月1日現

表 1 移動体衛星通信システムの概要 (その1)

システム名	目 的 サービス内容	開発・運用計画	周 波 数	通信方式	衛 星				移 動 体 地 球 局			備 考
					形式	重量	アンテナ	e i r p	船 舶	航 空 機	陸上移動体	
インマルサット (国際海事衛星機構) [実用]	海事公衆通信及び航空通信システム(計画) 電話、テレックス、データ伝送等の国際システム	1982年7月31日現在を継承して国際機構としてスタート。 現在衛星8(現用3)加入船舶 約7200 1989年より第2世代のシステム導入の予定	1535~1542.5 1636.5~1694 (MHz) 第2世代システムでは3MHzの航空システムを含む。	FM-SCPC: 音声 TDM/TDMA: フレックス データ伝送	マルチ 三軸静止	572kg		34dBW (40ch) 18dBW/ch	第2世代システム 0.8~1.3mφ 利得 20~24dBi G/T=-48dB 船上設備重量 約150kg 大型船舶用	第2世代システムにおいて導入される計画。 G/T=-13dBK ARINC, SITAにおいても検討されている。	陸上移動体衛星業務を導入するために西独により47%の多約改正案が出されている。	第3世代(1995~)ではシステム導入の可能性有り。
ETS-V/ EMSS (日本) [実験]	移動体衛星通信実験システム 電話、データ伝送等の国内システム	1978年AMES計画としてスタート。 1984年EMSS計画として継承される。 1987年打ち上げのETS-Vを用いて実験を実施中。 ETS-Vの公称寿命は1.5年。実質4年	1540.5~1548 1642.5~1650 (MHz) 海事、航空それぞれ3MHzの帯域。	FM-SCPC BPSK MSK TDM/TDMA GFSK ACSSB	三軸静止 (150° E)	550kg	パナソニック 4.5°(2c°-1)	27dBW (8ch) 35.4dBW 40cmφ 利得: 15dBi G/T=-104dBK 船上設備重量 約40kg 小型船舶用 (一例)	パナソニック 利得: 14dBi G/T=-114dBK 重量 18kg (一例)	パナソニック 利得: 8dBi G/T=-174dBK (一例)	郵政省と運輸省が推進。 郵政省実験にはNTT, KDDも参加。 豪(AUSSAT)との共同実験も推進。	
ETS-VI (日本) [実験計画]	1. 衛星間通信実験 a. SH-70 b. 30波 c. 光 2. 国内用船舶、車対象の実験システム	1992年打上げ。 その後、実験の予定。	a. 2.2/2.1GHz b. 43/38GHz c. 300THz 2. 2.6/2.5GHz	a. POH-PSK/SS b. PSK c. AM 2.	三軸静止	約 210	a. 19c°-1 b. 3/4m c. 75mmφ 5c°-1	35.5dBW 35.4dBW 10mφ 重量 約10kg (一例)	改良型SH-70 アパチア素子 6面構成 7dBi以上、5W 重量 約10kg (一例)			ETS-VIにおいては、固定通信、移動通信、衛星間通信等に関する実験を行う
MSAT (カナダ) [実験 ↓計画 実用]	陸上移動体衛星通信システム 国内用実験・実用システム	MUSAT 計画を継承 1980年にMSAT計画スタート。 '80-'82 phase-A '82-'84 phase-B 1990年打上げ予定 その後、実験。 1995年より実行。	821~825 860~870MHz 航空用に1.6/1.5GHz用機器を搭載。	FM-SCPC ACSSB BPSK	三軸静止	950kg	パナソニック 5mφ、2個 (2c°-1) または、 9mφ、2個 (4c°-1)	30dBW	近海の船舶を対象に実験。		無指向性アンテナ 利得: 4dBi および、 追従型アンテナ 利得: 10dBi 5W	米国のUSS計画の第1世代システムとあわせて相補的に運用の予定。 Telesat Canada が運用
LMSS (NASA) [実験 ↓計画 運用]	3世代に分けて開発される米国の陸上移動体衛星通信システム	第1世代: 1979年 MSATと共用のシステムとして地上部分の開発を行う。 第2世代: 1990年代中頃打上げ予定であり、宇宙部分の開発を行う。 第3世代: 21世紀初頭に導入予定。	第1世代ではMSATと同じ予定であったが、FCCが1.6/1.5GHz等とするよう決定を下した('88.7)	FM-SCPC ACSSB	三軸静止	第1世代 950kg (HS-601)	第1世代では3c°-1 (3~10m) 第2世代では24c°-1 (15~20m)					第1世代のシステムに関する申請が12社よりFCCに提出されていたが、そのうち8社でコンソリウムが設立された('88.7)

表 1 移動体衛星通信システムの概要 (その2)

システム名	目 的 サービス内容	開発・運用計画	周 波 数	通信方式	衛 星				移 動 体 地 球 局			備 考
					形式	重量	アンテナ	e i r p	船 舶	航 空 機	陸上移動体	
PROSAT (ESA) [実験]	陸上空移動体衛星通信実験システム 地域システム	1984年 phase-1のシステムをのぞき、のぞきとして、フレックス衛星および地球局(2x4°)を用いて実験。	1.6/1.5GHz帯	BPSK TDMA CDMA	三軸静止 (太平洋のフレックス衛星をリレー)	500kg	パナソニック (9°B-10°)	34dBW	小型船舶を対象とした実験計画。 70Wとしては5種類検討されている。	DC-8を用いて実験を計画。 利得: 3~4dBi G/T=-24dBK	主としてトラックを対象とした実験計画。 実験局をそのままトラックに搭載。	TELE-Xのトラック通信実験を導入。
VOLNA (ソ連) [実用?]	全世界的陸上空移動体衛星通信システム 国際システム		船舶及び、航空機: 1.6/1.5GHz帯 陸上移動帯: 250~326.6 (MHz)		静止			39dBW	475Wの標準A局程度。		ソ連国内での使用。	Stationerの13チャンネルとして搭載されている可能性がある。
NAVSTAR/GPS (米国) [軍用 実用]	全世界的航行援助システム	1980年国防省として公式に開発着手 1980年代後半に衛星18個にて全面運用の予定。	1575.4MHz(1) 1227.6MHz(2)	2x4x4 拡散運用はP-1及びC/A-1の計2波。 民間用はC/A-1 1波。	低軌道 三軸	790kg	成形パナソニック 12本のリレーアンテナ		受信のみ、70Wは2x4x4等 精度: 軍事用 10m以内 民間用 100m以内			軍事衛星の一部を民間に解放。
GEOSTAR (米国) [実用 計画]	全世界的測位・メッセージ通信システム	1979年システム検討開始。 1983年GEOSTAR CORPORATION 設立。 当所、衛星3個で北米地域サービスを開始予定。 将来的には6個の衛星で全世界をカバーする計画。	1613MHz 2482MHz	SS TDMA	SpaceNet-3 Gstar-3 (失敗) Gstar-4 ('90.4)		10mφ パナソニック		70Wは2x4x4x4x4x4 簡単なパナソニック表示あり 精度: 第1モード 5~10m 第2モード 50~100m			1988年 3月にlink-1のための"40-1"が打ち上げられた。 SpaceNet3 LOCSTARはGEOSTAR出資の欧州版
NAVSAF (ESA) [実用 計画]	全世界的民間航行援助システム	ESAにおいて正式に承認された('88)。 最終的には24個(軌道上予備3個を含む)にて運用の予定。		TDMA	低軌道 三軸	200~300kg						同様のシステムである西独のGranasと併合

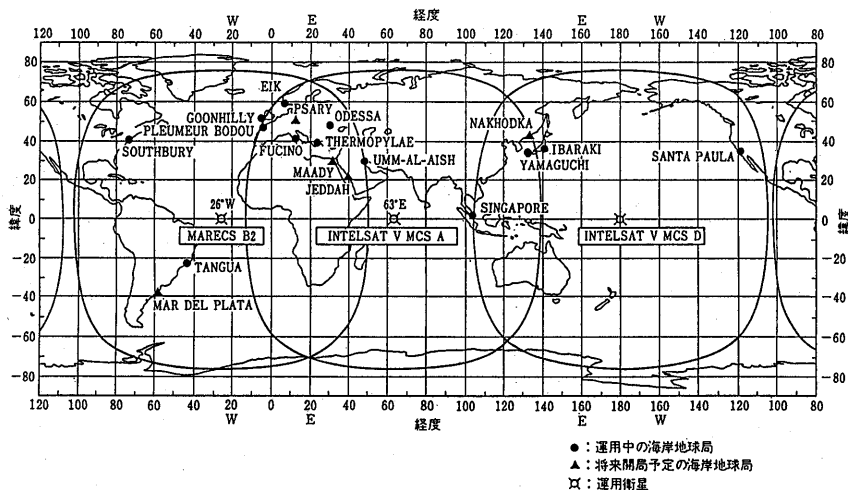


図 1 インマルサットシステム概念図

在), 加盟国数は52ヶ国である。図 1 にシステムの概念図を示す。

現在の主なサービスは、1.6/1.5GHz 帯周波数による電話 (ファクスを含む) およびテレックス通信である。現在のシステムはスタンダード A システムと呼ばれており、アンテナの直径は80から120cm, 重量は約200kg である。受信性能指数である G/T は -4 dB 以上と規定されている。スタンダード A システムに加え、デジタル通信対応のスタンダード B およびメッセージ通信が可能な小型のスタンダード C システム, さらにはスタンダード C システムに音声通信を加えたスタンダード M システム導入し新しいサービスを提供することを計画している。

インマルサットは航空衛星通信の導入も計画しており、衛星系通信での乗客への電話, 航空会社運航業務通信及び管制通信のシステム設計を行なっている。

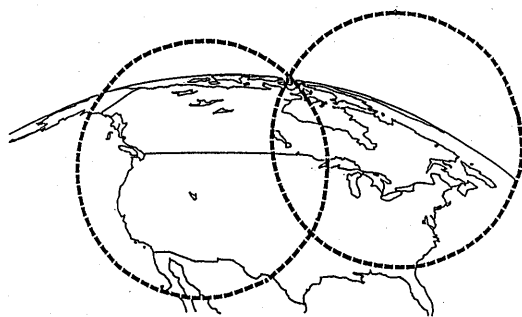
航空衛星通信の早期導入を図るため、世界各国、各機関がインマルサットを利用して低速度データ及びあるいは音声の実験を実行あるいは計画している。日本でも昭和62年11月より63年3月まで、郵政省 (通信総合研究所), 国際電信電話株式会社 (KDD) 及び日本航空株式会社 (JAL) の3者共同で太平洋路線のジャンボ旅客機で実験³⁾を行なった。

2.2 VOLNA システム

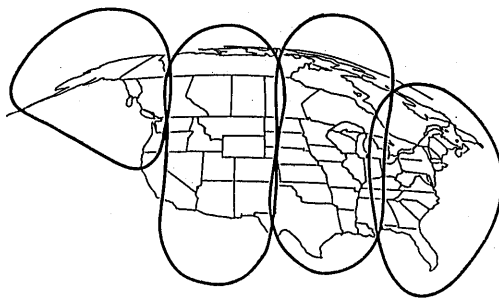
ボルナ (VOLNA) はソ連の世界的移動体衛星通信システムである。周波数計画及び衛星軌道位置等の情報は国連機関である周波数登録委員会 (IFRB) に通告されているが、詳しい情報は不明である。

2.3 MSAT 計画⁴⁾

MAST は、カナダ通信省 (DOC) が、WARC78で陸上移動体衛星通信業務に806から890MHz 帯が割り当てられたのを受けて、広大な国土のカバーと低コスト



2 ビーム構成の例



4 ビーム構成の例

図 2 MSAT カバレッジ例

トでの通信の確保を目的として計画を開始した移動体衛星通信システムである。開発初期段階では政府主導であったが、現在では民間により実用化が図られ Telesat Canada が開発を行っており、1990年に商用システムが導入される予定である。米国の移動衛星通信システム (MSS) と互換及び補完的なシステムとして運用することになっており、800MHz 帯での検討がなされていたが、世界的趨勢に従い MSAT も Lバンドへ移行した。

2.4 MSS 計画

米国の陸上移動衛星通信システム (MSS) はカナダの MSAT 計画に似ている。NASA は MSS の最終的な目標達成のため計画を三段階に分けている。第一段階は、周波数と衛星電力の有効利用のための地上部分の技術開発である。第二及び第三段階においては、直径が20mや30mのアンテナシステムのような大形構造物の展開性能の信頼性を実証する予定である。さらに第三段階では宇宙基地の将来計画についても検討実証する。第一世代のシステム運用者は AMSC (American Mobile Satellite Consortium; 1988年5月設立) となり衛星は1992年にスペースシャトルで打ち上げられ、商用として運用される予定である。NASA はこの商用衛星の中継器の一部の無償提供を条件に衛星の打上げを無償で行う。NASA はこの中継器を、将来の技術開発のための実験および移動衛星通信の有効性を評価するため各政府機関に開放し実験に供する⁵⁾。

2.5 AUSSAT-B 計画⁶⁾

AUSSAT は、オーストラリアの国内通信衛星であり、その第一世代は Ku バンドを用いて固定衛星通信システムとして既に運用されている。AUSSAT-B は

AUSSAT システムの第二世代衛星であり、Ku バンドの固定業務に加えて陸上移動体衛星通信サービスを行うため L バンドの中継器を搭載し、1993年には運用を開始する計画となっている。なお、郵政省と豪運輸通信省の間で ETS-V 衛星を豪が用いることが合意され (1988年11月)、AUSSAT と通信総合研究所の共同実験が開始された。

2.6 電波測位衛星システム (RDSS)

(1) NNSS⁷⁾

NNSS (Navy Navigation Satellite System) はアメリカ海軍の航行衛星システムである。衛星は重量約160kgであり、周期約108分の極軌道を周回している。現在6個が運用され、ユーザは衛星の発射する VHF (150MHz) と UHF (400MHz) 帯の電波のドップラー周波数偏移を測定して自分の位置を算出することができる。なお航空機のような速度の早いものには使えない。NNSS は後述の GPS が全世界に展開された後に廃止されるものと考えられる。

(2) GEOSTAR システム⁸⁾

GEOSTAR システムは、1982年に GEOSTAR 社により提案されたもので、地球上いかなる場所にいる移動体あるいは人に対してもその位置情報を提供できるものである。移動体から送信される識別信号を複数の衛星で中継し中央地球局で受信し信号の遅延時間差から移動体この位置を決定する。当画は、北米をカバーする3個の衛星と3つの大型計算機をもつ地球局より構成され、最終的には世界をカバーする6衛星で運用される予定である。現在、2個の衛星 (ミッション機器) とロラン C と組み合わせた Link-1 と呼ばれる限定サービスを行っている。1988年9月に GEOSTAR のミ

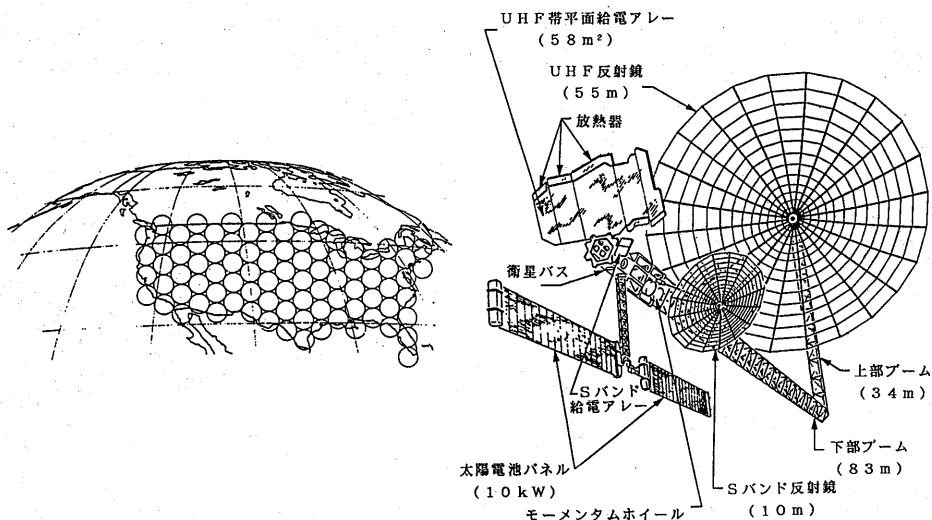


図 3 MSS 第三世代衛星概念図⁽²⁾

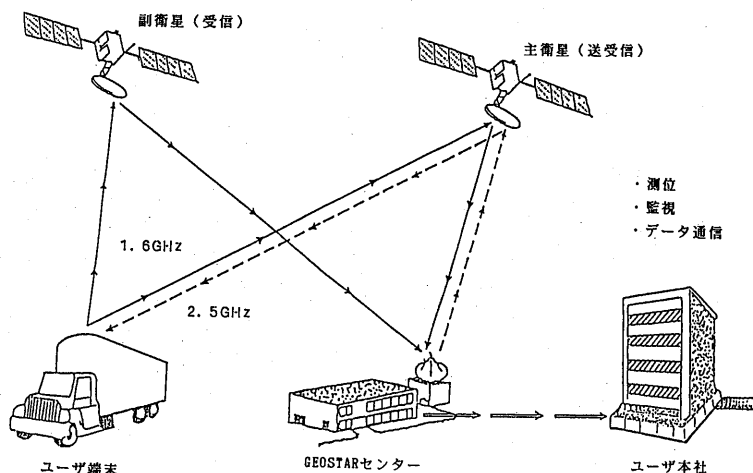


図 4 Geostar システム概念図

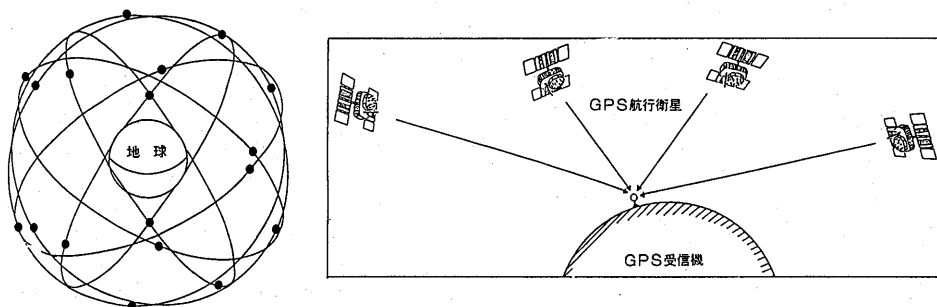


図 5 GPS 衛星の軌道と配置及び測位原理

ッション機器を搭載してアリアンロケットで打ち上げられた Gstar-3 衛星は静止化に失敗したため計画がさらに遅れることとなった。

(3) GPS⁹⁾

NAVSTAR-GPS は、米国国防省により運用されており、最終的には18個の中高度軌道衛星で全面運用となる。現在7個のプロトタイプ衛星が配備されており、複数(4個)の衛星からの高精度な基準信号を受信すふことにより移動体は自分の位置、速度及び時間を正確に知ることができる。このシステムは一方向通信である。

(4) NAVSAT

NAVSTAR が米国の軍事衛星システムであることに対抗して、民間用測位システムとして数年前からヨーロッパ宇宙機構 (ESA) で研究が進められているものである。当初は、NAVSTAR と同様に楕円軌道衛星を用いるシステム検討であったが、現在は楕円軌道と静止軌道の両方の衛星を用いることが検討されている。この理由は、システム運用開始の段階から特定の地域で完全な運用を可能とするためである。

3. 日本における移動体衛星通信の動向

3.1 ETS-V 計画¹⁰⁾

郵政省は移動体実験衛星通信システム (EMSS) とよばれる衛星通信の実験を行っている。EMSS は衛星、基地局、航空機地球局、船舶地球局、陸上移動地球局及びメッセージ通信用の超小型地球局より構成される。衛星と移動体地球局の間は1.6/1.5GHz 帯(Lバンド)で結ばれる。衛星は技術試験衛星 V 型 (ETS-V) と呼ばれ、H-I ロケットにより太平洋上東経150度に、昭和62年8月27日に打ち上げられた。550kg 級としては日本で最初の静止衛星である。ETS-V の特徴は L バンドアンテナが2つのビームを持っていることである。ビームを狭くすることにより地球表面での電力密度を上げることができ、その結果移動体地球局のアンテナを小さくすることが可能となる。

3.2 ETS-VI

ETS-VI は、H-II ロケットの打上げ能力の確認を行なうとともに、1990年代における実用衛星の開発に必要な大型静止三軸衛星バス技術の確立を図り、合わせ

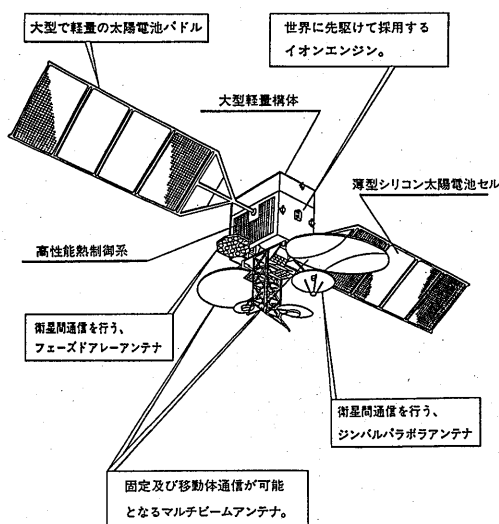


図 6 ETS-VIの外観

て衛星による固定通信及び移動体通信並びに衛星間通信に関する高度の技術開発及びその実験を行なうことを目的とした重量2トン級の衛星であり、宇宙開発事業団 (NASDA) により平成4年夏期に H-II ロケットで打ち上げられる計画である。移動体衛星通信に関するものとしては、Sバンド移動体衛星通信、ミリ波パーソナル通信、衛星間通信がある。

4. 移動体衛星通信の今後

衛星通信の特質を生かすのにより、移動体衛星通信は非常に広範なサービスを提供することができる。移動体衛星通信のユーザとしては、一般企業のほかに警察、消防、海上保安、運輸機関などの公共機関が考えられる。将来は、ファクシミリや画像伝送を含むデータ伝送の比重が大きくなるものと考えられる。そして、音声、画像、データの通信を利用し、計算機間通信、テレビ会議、位置決め、医療情報伝送、緊急時におけることができるようになるであろう。また移動体衛星通信の利用により、経済的な運送や流通システムを作ることとも可能となろう。なお、陸、海、空の移動体通信システムは統合されたシステムとなることも考えられる。このような場合は、安全通信や緊急通信に

対する保護についても考慮する必要がある。

おわりに

現在、いくつかの国や機関が新しい移動体衛星通信システムの開発を行っており、例えば、日本では ETS-V 衛星を用いて総合的な移動体衛星通信実験を行っている。この研究開発および実験成果は、1990年代から21世紀にかけての移動体衛星通信の実用化に多大な貢献をするものと期待されている。

現在分配されている移動体衛星通信用の周波数帯のうち実質的に使用できるのは、800MHz 帯 (第2及び第3地域)、1.6/1.5GHz 帯そして2.6/2.5GHz 帯 (第3地域) であろう。しかし、固定衛星通信や放送衛星業務と比べるとその帯域幅は比較的狭い。このことは、移動体衛星通信の世界的な発展のためには周波数と静止軌道の有効利用が必要なものも示しており、このための新しい技術の発展が望まれる。

参考文献

- 1) IEE 4th International Conference on Satellite Systems for mobile Communications and Navigation, London, 1988.
- 2) 「海事衛星通信入門」, 電子通信情報学会
- 3) インマルサット航空衛星通信実験中間報告書, 昭和63年3月, 郵政省
- 4) A. E. Winter et al. : "Land Mobile Satellite Communication via MSAT", 35th IAF84-279, Oct. 1984, Lausanne, Switzerland.
- 5) F. Naderi et al. : "NASA's Mobile Satellite Communications Program, Ground and Space Segment Technologies", 35th IAF84-84, Oct. 1984, Lausanne, Switzerland.
- 6) BRIEFING FOR INDUSTRY, "AUSSAT's Second Generation Space Segment", Sydney, Australia, 9Feb. 1987.
- 7) 下世古, "全世界測位システム (GPS) を利用した高精度測位", 電気通信時報, 昭和62年3月
- 8) G. K. O'Neill : "The Geostar Radio Determination Satellite System", Telecommunication Journal, Vol. 53, 1978.
- 9) R. L. Easton : "The Navigation Technology Program", NAVIGATION, Vol. 25, No. 2, 1978.
- 10) Y. Hase et al. : "Experimental Mobile Satellite System Using ETE-V", 15th ISTS, Tokyo, 1986.

最近のディスプレイについて

日本放送協会放送技術研究所

小島 健 博

Trends on Recent Display Device Technologies

NHK Science and Technical Research Laboratories
Takehiro KOJIMA

1. ま え が き

マン・マシン・インタフェースとしての情報ディスプレイは、機械の領域から人間の五感に情報を伝達するものであるが、このなかで、エレクトロニクに表示して視覚を通して人間に情報を伝える電子ディスプレイは最も重要である。

テレビを始めとする画像産業が急速に発展し、高性能の電子ディスプレイが広く利用されているが、ほかに社会や家庭内で数多くの電子ディスプレイが使われているようになった。そこでは、CRT (Cathode Ray Tube, ブラウン管)に加えて、各種の平板型ディスプレイが新たに実用化され、用途に合わせた選択が行われるまでに発展している。半導体の市場はSiが中心であるが、これによって支えられてきた電子ディスプレイは、電子機器の多様化とともに多くの方式によって市場を拡大させてきている。全電子ディスプレイデバイスの市場は、7年後の1993年には総額120億ドルになり、このうち、平板型ディスプレイを合わせた市場は4割の50億ドルに達すると予測されている¹⁾。

電子ディスプレイの動作の基本は、電気信号から、表示面の位置の情報と、明るさや色などの光情報への変換である。位置を指定する動作には、電子や光のビームなどを信号の指示に従って触針的に移動させる方式と、整列した多数の表示素子を切り替えて選択駆動する方式がある。光情報への変換では、現在ではディスプレイデバイスの動作機構に多くの方式があるので、種々に分類がされるが、表1のような実用化の進んでいる方式を中心に分類するのが一般的である。発光 (Emissive) 型は、電気入力を表示素子の中で変換、制御した光エネルギーを外部に放出し、能動型 (Active) 型とも呼ばれる。また、非発光 (Nonemissive)

型は、外部光源を利用し、表示素子の光学特性を変調してこれを制御するので、受動型 (Passive) 型、光制御型とも呼ばれる。また、ディスプレイを観視する形態では、デバイスの持つ表示面に作る情報を直接見る直視型と、デバイスから投射光学系を経てスクリーンに結像した情報を見る投射型に分類できる。

ディスプレイの用途が広がると、表示する情報、観察の仕方や条件が異なり、ディスプレイに要求される機能や性能も大幅に変化するので、表示情報量、表示品質、運用性、経済性など、多くの因子を目的に合わせて評価する必要がある。

2. 発光型ディスプレイ

2.1 CRT

CRT は、開発からカラー CRT が商品として成熟した1970年頃までを第1期とすると、その後の1980年頃までの第2期では、省電力低廉化に向けて経済性が追及され、インライン電子銃の導入や、ネック管径の縮小などが行われた²⁾。そうして最近に至る第3期では、性能が追及され高画質化の開発が活発である。

直視型では、テレビ用として、筑波科学博に合わせ高品位テレビ (HDTV, High-Definition TV) 用として40型が開発された³⁾のを契機に、標準テレビ用受像機の大型化が進んだ。37型⁴⁾で需要を起し、シャドーマスク方式の43型⁵⁾、トリニオン方式の45型⁶⁾まで多くの管種が開発された。ガラスバルブでは角型化がされに進み、画面中心部の曲率半径を従来の1.5~2倍にして表示面のフラット化も進んだ。シャドーマスクのピッチが高精細になり、電子銃の高解像度化も図られた。テレビ用に対して、用途が拡大し多機能化する各種のVDT (Visual Display Terminal) に使用されるディスプレイ用CRTでも、高精細化、高画質化は特に顕著である。ワードプロセッサなどへの利用が

多い白黒 CRT では、ペーパーホワイトのポジティブ表示⁷⁾、フルページ表示が増え、印刷書類に匹敵する高画質と見易さを目指している。X 線写真の画像診断などには、特に多くの情報量が要求され、走査線2,000本程度の超高解像度 CRT⁸⁾が採用されている。カラーでは、ドットトリオピッチが0.31-0.26mm の CRT が大型化され、設計用、IC パターン表示用などに使われ⁹⁾、さらに0.15mm ピッチシャーマスクを用いた500万画素表示 CRT¹⁰⁾も試作された。従来の管種と異なる構造のものでは、平面の面板と展張した薄いシャーマスクを組合せ、マスクの熱変形と外光の映り込みを減らした CRT¹¹⁾が開発された。

一方、小型管では、車載用として管長の短縮、コントラスト、耐振性の向上が図られ¹²⁾、コックピット用として高解像度・高コントラスト CRT¹³⁾が実用化された。超小型では、1.5型カラー CRT がシャーマスク方式¹⁴⁾とインデックス方式¹⁵⁾で、また0.5型白黒 CRT¹⁶⁾もビューファインダー用に開発された。

CRT の、特に大型化では、最近の総合的な技術改善が寄与している¹⁷⁾。ガラスバルブの形状、真空、熱応力、防爆構造の設計⁴⁾など強度解析が進歩し、シャーマスクでは、形状・保持機構の改善、ドローイング（動作中の熱変形）の抑制¹⁸⁾や、低熱膨張インバー材の実用化¹⁹⁾が行われた。大口径レンズ電子銃では、周辺まで偏向した状態を含めて高解像度化の設計が進み²⁰⁾、 Sc_2O_3 分散型²¹⁾など温度を特に上げずに動作する高電流密度陰極が開発された。偏向ヨークの低損失コア材²²⁾が開発され高速走査の特性が改善された。光学的なコントラストの改善も行われ、Nd の選択吸収性を利用した面板ガラス²³⁾も実用された。

蛍光体では、特筆する新しい材料開発はない。しかし、ディスプレイ用 CRT で、残光を適性にしたフリッカーなどの疲労防止、発光の色純度の改良など見易さの改善が行われた⁷⁾。蛍光面の塗布法では、経済性と特に高解像度を追及した光粘着法²⁴⁾が注目される。

今後のカラー CRT の開発において、ディスプレイ用では、17-20型画面で解像度や見易さが印刷品質並みに必要となるが、これに対して、EDTV (Extended-Definition TV) から HDTV へと高画質化が展開するテレビ用では、高いピーク輝度、ダイナミックレンジと大画面が重要視されるので、両者の間で CRT に要求される特性は異なってくる²⁵⁾。HDTV 用の直視型 CRT としては、日本電子機械工業会で32型、36型の2種にバルブの標準化が行われた²⁶⁾。したがって、当面これより大きい画面サイズの受像機は他の方式になるが、これに関して投射型 CRT 受像機の性能は優れている。

投射型 CRT では、耐熱ガラスバルブや液体冷却システムなど高負荷電流対策が進んだ。蛍光面も改良されたが、青の特性改良が最も重要である。高性能スクリーン²⁷⁾、大口径レンズなどの投射光学系でも、地道な改良が積み重ねられて性能は大幅に向上した¹⁷⁾。

明るい周囲光に対してコントラストが直視型より優れた最近の背面投射型では、奥行き寸法が、45型で555mm²⁸⁾、50型で650mm²⁹⁾の HDTV 受像機が開発され家具の寸法に近づいている。輝度や重量でも直視型より優位に立っている。

2.2 偏平 CRT

平板型ディスプレイの開発が活発になるにつれ、CRT の偏平化の研究が進むのは当然であるが、その開始は、むしろ他の平板型より早く、W. R. Aiken が1951年に始めており、5-17型が試作された³⁰⁾。その後、電子ビームの静電偏向でわが国での多段電極から単一電極への改良などを経て、2型白黒偏平 CRT が1981年に内外で実用化された^{31), 32)}。最近では、高精細6型白黒 CRT³³⁾、ビームインデックス方式4型カラー CRT^{34), 35)}が開発されたが、殆どは反射型蛍光面で電子銃部分が突き出たハンドミラー型構造である。小型で簡易な構成では、線状熱電子源によりリボン状マルチ電子ビームを制御、偏向する方式の3型 CRT³⁶⁾でテレビ表示が行われた。

大型高精細化には、高密度大電流の単一電子ビームを長い経路で複雑に制御、偏向するのが難しく、CRT の構成や分割、分散する方向が進んだ。50型テレビを目標に、画面を分割構成するビームガイド方式では、13型相当のカラー画像³⁷⁾が組立真空装置で表示された。さらに、200×15本のマトリックスビームを6×32本に水平、垂直偏向させる400×480画素の MDS (Matrix Drive and Deflection System) 方式10型カラー CRT³⁸⁾が開発された。初期の研究で上記の Aiken 管と共に注目された Gebor 管を改良し、蛍光面直前にチャンネル電子増倍器を設けた方式⁴⁰⁾で、最近、カラーテレビ表示が行われた。偏平 CRT の大型化は、後述のプラズマ電子源方式の PDP や VFD と共通して、耐真空スパーサーの導入が高精細化の障害となるので、その両立が大きな問題である。

2.3 PDP

ガスの放電発光を利用する PDP は、電極が放電ガスに直接接触した構成の DC 型と、誘電体層で被覆絶縁された AC 型に大別される。最初、AC 型を定義したこの名称は、直ぐに DC 型に拡がり、ガス放電型ディスプレイの中の平板型を含む多くのディスプレイを指して使われている⁴¹⁾。

放電ガスには、Ne に少量の Arなどを添加して、放

電圧の下がるペニング混合ガスが使われ、陰極には、DC型ではHgの添加⁴²⁾、AC型ではMgOの保護層の採用⁴³⁾で、スパッターの少ない実用上十分な寿命と安全性を示すものが実現されている。通常、放電は電圧印加に対して100 μ s程度遅れて発生するが、近接領域から荷電粒子、準安定励起粒子などを供給すると、1 μ s程度以下の遅れとなり、遅れの揺らぎや放電開始電圧も低減する⁴⁴⁾。この補助放電効果(またはプライミング効果)は、マトリックス型ディスプレイにおいては特に重要で、特定セルの選択放電、高速の駆動、ノイズの低減に広く利用されている。また、AC型には、固有な特性としてメモリー機能がある。放電開始電圧より若干低い振幅の交流パルス維持電圧を常時印加しておき、書込パルスを加えると、パルス放電の発生後、電極を被う誘電体層上に電荷が蓄積して壁電圧を形成する。次の半周期では外部電圧に壁電圧が加算されるので、放電開始電圧に達して再び放電を繰り返し点灯状態が維持される。

これらの機能を活用したPDPは、他の方式の平板型ディスプレイに先駆けて実用化され、大型画面に高い適性がAC型で示された。512 $\times$ 512セル(セル：発光などの動作の単位素子)PDPの早期実用に続いて、海外では、960 $\times$ 768セルの17型⁴⁵⁾、1596 $\times$ 1212セルの対角1m型⁴⁶⁾が民生用に、最近では2048 $\times$ 2048セルの1.5m型⁴⁷⁾が運用に開発された。しかし、この間、小表示容量が主であった市場では特徴を発揮できず用途が限定されていた。

このような状況下に、国内では、大型精細化に向け数種の方式で、構造の簡易化、駆動電圧・駆動素子数・消費電力の低削減、厚膜印刷の活用などで量産性の向上と低廉化が進んだ。640 $\times$ 400セルの10型クラスのDC、AC、DC-AC混成型PDPで70 $\sim$ 150cd/m²の輝度、10:1 $\sim$ 20:1のコントラスト、駆動回路を含めて1 $\sim$ 1.5kgの重量のユニットが開発された結果、ラップトップ型コンピュータに大量に搭載され、最初の実用的コンピュータ用平板型ディスプレイとなった。ここでは、微弱な補助放電の利用^{48)、49)}、壁電荷利用⁵⁰⁾・キャンセルアドレス法⁵¹⁾・位相選択法⁵²⁾による低電圧駆動、容量マトリックスによる駆動素子数の削減⁵¹⁾など、それぞれ特徴のある方式が実現した。その多くは4 $\sim$ 16階調表示が可能で、また15 $\sim$ 17型のパネルも開発されている。一方、海外でも、表示セルからアドレス用セルを独立させて駆動回路を低廉化し、容量性無効電力を回復し消費電力を1/10に低減させた512 $\times$ 512セル、11型パネル⁵³⁾が開発された。

カラー化は、放電の紫外線放射による蛍光体の光励起発光が主である。微小電極間隙の放電では、Hgガス

で蛍光ランプのような高効率を得られないので、HeにXeを添加したものなど、混合希ガスが採用される。最も広く利用されるXeの147nm真空紫外線放射に適合し、発光色、量子変換効率などが優れた材料に、(Y, Gd)BO₃:EuとYP_{0.95}V_{0.05}O₄:Eu(赤)、Zn₂SiO₄:MnとBaAl₁₂O₁₉:Mn(緑)、BaMgAl₁₄O₂₃:EuとYP_{0.85}V_{0.15}O₄(青)の3原色の蛍光体が開発されている^{54)、55)}。蛍光体は、直接イオン衝撃すると劣化が激しいが、適切なセル構成では長寿命が得られている。

一方、蛍光体を励起する紫外線の発生効率の改善は大きな課題である。DC型では、放電領域、放電モード、パネル構成、陰極材料、駆動法などが検討され、最近では、階調や動画表示に高速駆動を条件に、大型、高輝度、高効率を目標として、パルス動作でメモリー機能が発生する方式⁵⁶⁾について改良が進んでいる。書込と走査に補助放電セルを組合せたパルスメモリー駆動方式では、4 μ sのアクセス時間と高コントラスト表示が可能で、簡易構造の640 $\times$ 448セル、20型PDP⁵⁷⁾が開発された。白色で輝度60cd/m²と効率0.13lm/w、コントラスト90:1、階調256のテレビ画像が表示された。さらに、反射型蛍光面と透明無機質3色モザイクフィルターを導入した256 $\times$ 160セル、8型PDP⁵⁸⁾では、白色で輝度90cd/m²と効率0.15lm/w、外光反射率2.6%、面照度200lxの外光に対してコントラスト50:1が得られている。一方、パネル面に垂直で長い形状の表示セルに陰極を共用して補助放電セルを組合せた構造で、細幅パルスで効率的に紫外線が発生させるタウンゼント放電型の160 $\times$ 120セル、8型PDP⁵⁹⁾が開発され、白色で輝度700cd/m²と効率1.61lm/wの非常に優れた特性が示された。

AC型のカラー化は、初期の蛍光体劣化や紫外線のセル間クロストークの問題以降、研究が中断されてきたが、電極を背面板上に絶縁積層した構造の面放電型パネルで、前面板に蛍光面を設けた結果、これら、特に蛍光体劣化が改善され⁶⁰⁾、開発が再開された。100 $\times$ 100セル、3型PDP⁶¹⁾で64階厚のテレビがAC型で初めて表示されて以降、パネル構成に関する特性改善が活発である。セル構成の改善⁶²⁾のほか、パネル構成では、応答性改善⁶³⁾、簡易構造と安定性⁶⁴⁾、電極間浮遊容量の低減^{65)、66)、68)}が進んだ。

面放電型開発の機運に対して、従来構造の対向放電型PDPでも、蛍光体のイオン衝撃防止に保護層の導入が検討された。SiO₂誘電体層中への蛍光体の分散⁶⁹⁾のほか、陰極用MgO保護層を蛍光体にも共用した256 $\times$ 256セル、6型PDP⁷⁰⁾では50%輝度まで数千時間の寿命が得られている。これらの輝度や効率は十分期待でき、保護膜の分光特性に立脚した検討も重要であ

る。

光励起発光を利用する方式と別に、プラズマ中の電子を加速する陰極線励起方式では、放電ガス圧 p と電極間隙 d との積 $p \cdot d$ に対する放電開始電圧の特性で極小値を示すパッシェンの法則を利用する。パネル後部の広い空間の放電で電子を発生させ、マトリックス電極を通して導いた前面側の微小間隙空間でプラズマを形成させることなく高電圧に電子を加速する。720×288セル、12型カラーパネル⁷¹⁾と、これと構成の異なる352×256セル、35型緑色パネル⁷²⁾、100×96セル、6型カラーパネル⁷²⁾が開発された。前者は大型化に真空応力の問題が、後者はスペースの導入で耐大気圧構造を達成したがそのため高精細化にそれぞれ障害がある。高速電子を利用し、CRTと原理的に似て効率はよいが、生産性の点で進展が見られていない。

2.4 ELD

粉末蛍光体を用いた分散型 EL パネルは、平板型ディスプレイの先駆として1970年頃にマトリックス型 ELD でテレビ表示^{73), 74)}が行われたが、輝度と寿命の実用性が得られなかった。しかし、最近では LCD 用バックライトとして復活し、有機分散型のシート状光源パネル⁷⁵⁾が実用されている。現在の薄膜 ELD 開発は、ZnS:Mn を発光材料とし両面に絶縁層を設けた2重絶縁層型による120×90セル、2.4型 ELD の高輝度、長寿命特性⁷⁶⁾と、108×81セルの2.4型⁷⁷⁾で輝度200cd/m²とコントラスト50:1の黄橙色テレビ表示が発表された1974年以降活発となった。発光層や誘電体層材料、成膜技術などの研究開発は盛んで多くの特性比較評価に測定基準⁷⁸⁾が示され、720×400セル、10型に至る画面の ZnS:Mn 薄膜 ELD が実用化されている。

黄橙色発光の ZnS:Mn では、100V、60Hz 交流パルス駆動で輝度50cd/m²、外光の画面照度1,000 lx でコントラスト100:1を示す1088×256セルの9型⁷⁹⁾、1024×704セルの11.6型⁸⁰⁾、640×512セル、16型 ELD⁸¹⁾が試作された。発光層膜厚と Mn 濃度の大きい条件では、メモリー機能⁸²⁾が得られるが、実用はされていない。成膜技術では、結晶性のよい薄膜で駆動電圧の低減が示されている。⁸³⁾

発光材料では、ZnS やアルカリ土類硫化物で、カラー化の研究が進んでいる。ZnS は、希土類化合物で活性化すると種々の発光色を示すが、そのなかでスパッタリングで成膜した緑色発光の ZnS:Tb、F⁸⁴⁾では、輝度が340cd/m² (60Hz) に達した。赤色では、CaS:Eu, F, Cu, Br⁸⁵⁾で360cd/m² (1 kHz) の輝度が得られている。色と効率に優れた青色発光材料はまだ見出されていない。しかし、青緑色の SrS:Ce, K で、50 Hz で36cd/m²の輝度が得られている⁸⁶⁾。また、白色発

光材料も開発され、SrS:Ce, K, Eu⁸⁷⁾では30cd/m² (60 Hz) の輝度が示された。

誘電体層についても、多くの材料とそれらの積層が発光層と組み合わせて開発されている。材料の性能指数の検討⁸⁸⁾、薄い低抵抗層⁸⁹⁾を誘電体層と発光層の間に挿入した安定性の改善が注目される。

マトリックス型パネルでは、320×240セル、6型緑色発光 ELD⁹⁰⁾が開発された。多色化やカラー化には、透明セルを積層する構成が単純に考えられるが、透明電極の電気抵抗や積層構造での信頼性など、まだ見通しがない。最近では、青・赤発光層を1層に縞状に並列させた基板に緑単一の基板を重ねたパネル構成と、3色を1層に並列させた構成との比較が検討され、1層並列構成の320×240画素、6型カラーパネルが開発された⁹¹⁾。青緑発光層に青と緑のモザイクフィルターを積層して色分離した基板の前に、赤単一発光層基板を重ねた構成のカラー ELD⁸⁶⁾も実験された。1層並列構成では、赤、緑のセルを、市松模様に配列した48×48セルの12mm 角多色 ELD⁹²⁾が試作され、単色パネルと同様な安定性が示された。このように、最近では、材料や単色パネルの開発に留まらず、カラーパネルの構成についても具体的な開発が行われるようになった。また、駆動では、パネルの特性を安定にする対称駆動法の改善⁹³⁾、電気容量の大きい大型パネルの駆動技術⁹⁴⁾も検討されている。

薄膜 EL パネルにおけるその他の構成では、高誘電率多層セラミックスを利用した40×40セル、2型 ELD⁹⁵⁾や、薄膜の端面から出る強い発光を利用する構造のプリンターヘッド⁹⁶⁾が開発された。

2.5 VFD

導電性 ZnO:Zn 蛍光体を低速電子で励起し、手前側に設けた細線熱陰極とメッシュグリッドを透して青緑色発光を観察する反射型蛍光面構成の VFD は、1967年に我国で開発され⁹⁷⁾、セグメント型で数字1桁を表示する真空管構造から実用が始まった。現在ではマトリックス型パネルに発展したが、多桁数字、固定パターン表示を組み合わせた多色 VFD は A-V 機器や車載用などに需要が高い。

一般の蛍光体は、低速電子線励起に対して絶縁性による帯電が障害で、従来 ZnO:Zn に限られていた。しかし、In₂O₃ など透明導電性粉末材料の混合で避けることができ、現在では多くの発光色が、可視域をカバーして得られる⁹⁸⁾。硫化物系蛍光体が多く、効率は ZnO:Zn より低い改善が進んでいる⁹⁹⁾。

初期の構成に対して、表裏を逆転させ蛍光面を透過型で見る前面発光型は、視野角が広がるが、輝度が低かった。しかし、技術改良¹⁰⁰⁾で実用に達し製品化が進

んである。製作技術では駆動 IC をパネル外囲器に内蔵させた Chip in Glass 方式¹⁰¹⁾、従来の電子管の真空排気と封止に欠かせないチップ管を排除したチップレス封止方式¹⁰²⁾が開発された。パネルやその周辺回路を小型化し、搭載機器への適用性を著しく高めている。

マトリックス型開発は、セグメント型の大きな需要で他の方式に較べると遅れて立ち上がった。高精細化では、隣接セル間のクロストークの低減に電極構造や動作が改良されたが、加速電圧も100~150V に上昇している。大型化では、320×200画素、8.3型の前面発光型グラフィック用カラー VFD¹⁰³⁾が開発された。スペーサーを内蔵できず、真空応力に対する厚い面板と重量の点で他の方式に較べて不利である。薄膜熱陰極をセル毎に設け、スペーサーを導入した2電極構成パネル¹⁰⁴⁾が検討されたが、ヒーター電力などでまだ課題が多い。そのため、大型化には細長い構造のパネルが多く、小容量のマトリックス構成を採用し同一外囲器にセグメント型と混成したハイブリッド VFD¹⁰¹⁾などの実用性が高い。

精細化では、最近グリットによる静電偏向が導入され、640×400セルで5.9型の超高精細 VFD¹⁰⁵⁾が開発された。このパネルでは、ZnO:Zn 蛍光体の広い発光スペクトルを利用し、液晶シャッターを組み合わせることで解像度を低下させずに多色表示が行われた。さらに、微細セルピッチの超小型ディスプレイには、MOSFET によるアクティブマトリックスが適用され、246×216セル、0.45型ビューファインダー用、24×24セル、3 mm 文字高のチップを多数内蔵した漢字表示 VFD が開発された¹⁰⁶⁾。

高輝度、高効率表示に向けた応用では、高速電子線励起による大画面ディスプレイの展開が行われた。22 mm 画素ピッチで2×4画素¹⁰⁷⁾、10mm セルピッチ、4×4セル¹⁰⁸⁾の小数マトリックス型発光パネルを配列した構成で、それ以前の屋外用巨大画面を精細化して屋内用に発展させている。

2.6 LED

LED の市場は LED に匹敵し、III-V 族化合物半導体による赤から緑にわたる発光色の表示ランプが大部分を占めている。ランプ構造は、約0.3mm 角のチップを種々の形状にプラスチックモールドされているが、最近の高輝度化は目覚ましい。実用の GaAlAs ダブルヘテロ接合赤色 LED ランプ¹⁰⁹⁾では、外部量子効率21%、発光効率12lm/W、光度3,000mcd に達している。セグメント型数字表示やレベルメーターなど小型ディスプレイが主であった用途は、高輝度化で白昼でも視認性が向上し、自動車用ハイマウント型停止ランプ、交通標識、屋内外用の長寿命ディスプレイに利用が進

んだ¹⁰⁹⁾。多くは、GaAlAs LED (ピーク波長660nm) の赤色な、これに GaP:N (565nm) の緑色を組合せた多色表示で、表示ランプを並べて構成される。マトリクス型は16×16画素程度の駆動回路一体のモジュールを単位とし、大型の場合には1画素に多数のランプを使用する。

個別チップを並べたマトリクス型 LED パネルでは、320×240交点の半分に市松模様にチップを配列した構成の5.5型緑色パネル¹¹⁰⁾でテレビが表示された。チップを用いたモジュールでは、外囲器が高張らず継ぎ目を目立たなく構成できる。赤と緑のチップを1画素とし、16×16画素の20mm 角で回路系を一体化の可能性が示された。

モノリシック型では、セグメント型数字表示の超小型パネルが実用されている。チップに多数セルを1列に構成し、セル配列に継ぎ目が出来ないようにチップを並べた9.4セル/mm ピッチ、B 4 版用¹¹²⁾など、プリンターヘッドへの応用が図られた。さらに、モノリシック型のマトリクスディスプレイでは、40×40セル、11.2mm 角の GaP 緑色パネル¹¹³⁾で13,000cd/m²の超高輝度が示された。ヘッドアップディスプレイへの応用などが期待される。

青色発光材料では、SiC や GaN の LED ランプが製品化され、SiC 結晶の大口径化¹¹⁴⁾や、GaN の特性改善¹¹⁵⁾が行われた。しかし、市場には出回っていない。さらに、カラー原色としては発光色、効率の改善が望まれる。これとは別に1 a-SiC 薄膜 LED の製法と特性¹¹⁶⁾が検討され、面発光素子としての可能性が示された。

3. 非発光型ディスプレイ

3.1 LCD

非発光型で、低電圧、低消費電力の LCD は、ねじれ角90度の TN (Twisted Nematic) 方式でセグメント型数字表示の小型 LCD が新しい用途を開拓し、腕時計、電卓では需要が飽和するまで延びた。最近では小型カラーテレビや携帯型、可搬型のパーソナルコンピュータなどにマトリクス型 LCD が実用されている。その研究開発層は他の平板型ディスプレイより厚く、大型化や改良に積極的である。

従来の TN 方式の単純マトリクス型では、走査行数が増すとコントラストが低下し、上下2分割駆動で200行程度が実用上の限界である。この改善に、ねじれ角を270度とし、複屈折効果を用いて急峻な光透過率-電圧特性を利用する SBE (Supertwisted Birefringence Effect) 型 LCE¹¹⁷⁾が開発され、コントラストや視野角が大幅に改善された。しかし、大きいねじれ角での安

定動作には液晶分子の配向に20-30度の高いチルト角を要し、配向膜の生産性に問題がある。これを避けて、180-240度のねじれ角、5度程度のチルト角に止めたSTM (Super TN) 型LCDは、視認性は十分とは言いがたい。両者はいずれも応答が遅く、着色のためカラー化には適さない。

しかし、最近になって白黒STN型LCDが開発されたため、著しく実用性が向上し、10型クラスのLCDを用いたラップトップ型パーソナル・コンピュータには殆どこの方式が採用されている。ここでは、屈折率異方性 Δn とセル厚さ d との積 $\Delta n \cdot d$ の低減¹¹⁸⁾や、補色の2色性色素の添加¹¹⁹⁾など着色を減らす改善がされた。さらに、電界を加えないときにパネルを透過して生ずる楕円偏光を元の直線偏光に戻す光学補償板を積層した2層型¹²²⁾が開発された。これには、 $\Delta n \cdot d$ のほぼ一致した逆のねじれを持った電極のない液晶パネルを重ねるが、ねじれ角を持たない複屈折性フィルムを用いた2層型¹²¹⁾も開発されている。着色が減れば、フィルターを組合せたカラー表示が可能なので、特性の改善が進められている。これらの改良でも応答性は遅く、SBE型で薄いセル厚を採用した改善¹²²⁾や、さらに2層STN型でも液晶材料を含めた改良¹²³⁾がされたが、大型化にはなお改善を要する。

テレビ表示では、時分割駆動の改良¹²⁴⁾や蛇行電極の採用¹²⁵⁾など、単純マトリクス型で多くの白黒、カラーLCDが実用、改良され、さらに、TFT (Thin Film Transistor, 薄膜 Tr.)や薄膜非線形2端子素子をセルに導入したアクティブマトリクス型の実用と開発が活発である。カラー平板型ディスプレイの最初の実用化としては、3色モザイクフィルターと3波長型蛍光ランプを用いた2型LCDテレビ¹²⁶⁾が1984年に市販された。3色の光透過率-電圧変換性をよく揃えた3型LCD¹²⁷⁾を始め、最近では、画質の優れたLCDテレビ5型¹²⁸⁾まで製品化された。

アクティブマトリクス型LCDでは、歩留まりなど製造技術の向上が重要である¹²⁹⁾。

1個の液晶セルに複数のTFTを設ける冗長方式¹³⁰⁾、電極線の交差を回避したパネル構成¹³¹⁾などが検討され、最近では、製作プロセスを簡易化した14型が試作され¹³²⁾、また、点欠陥の少ない642×480セルの高コントラスト14型LCD¹³³⁾が開発された。大面積poly-Si薄膜の均一高速成長¹³⁴⁾、薄膜電線の低抵抗化¹³⁵⁾など、材料面でも開発が進んでいる。白黒STN型VCDのカラー化では、なおかなりの特性改善が望まれている現在、OA用カラーグラフィック表示にもアクティブマトリクス型LCDが今後採用される可能性も生じている。

カラーフィルターでは、従来から染色法が主流であるが、高精度でプロセスの簡略な分散法、低廉化に適した印刷法や、電着法が進められている¹³⁶⁾。

バックライトには、シート状の分散型ELパネル⁷⁵⁾や、LED¹³⁷⁾が単色表示LCDに使われている。カラーLCDでは、3色フィルターに3波長型の熱陰極あるいは冷陰極型蛍光ランプを用い広色再現域を実現しており、その分光分布¹³⁸⁾も検討されている。

直管型蛍光ランプと薄い構成の光学系の均一面光源¹³⁹⁾が種々開発かれ、12型までの平板型蛍光ランプ¹⁴⁰⁾も開発された。バックライトを組み込むと、LCDユニットの厚さ、重量、消費電力が増大するので、明るさが採れば反射型のカラーLCDが望ましい。布¹³⁸⁾も検討されている。そこではコレステリック・ネマティック相転移ゲストーホスト型¹⁴¹⁾と、その明るさ改善¹⁴²⁾が検討された。

アクティブマトリクス型をライトバルブに用いた投射型ディスプレイでは、640×400セルの9型LCDによる電子OHP¹⁴³⁾が開発された。さらに、フルカラーのビデオプロジェクターでは、3枚の480×440セル、1.9型LCDを用い、 $\Delta n \cdot d$ を3色に対して最適化してコントラスト50:1以上のテレビ表示が行われた¹⁴⁴⁾。最近では投射型テレビの開発も活発で、今後の高精細ディスプレイへの発展が期待される。

投射型ディスプレイには、熱と電界でスメクチックA液晶の光散乱状態を制御するメモリー機能を持ったライトバルブも開発された。3400×2200画素をレーザーダイオードで書込む超高精度カラーグラフィックディスプレイ¹⁴⁵⁾が実用化された。

屋内外用に用いる大画面ディスプレイもLCDで実用化されている。数mmのセルサイズでA4画面程度のモジュールを並べるものが多く、ゲストーホスト型液晶を用いた方式¹⁴⁶⁾では、セル間のクロストークを考慮してスタティック駆動を採用している。

高速応答とメモリー機能が期待された強誘電性液晶では、639×400セル、12型マルチカラーLCD¹⁴⁷⁾の試作などが行われたが、液晶分子配向の均一性、動作の安定性、画面書込み速度など問題で、さらに基礎的な研究が必要と考えられている¹⁴⁸⁾。しかし、極く最近、ディスプレイデバイス開発にも活発な兆しが再び見えてきた¹⁴⁹⁾。

3.2 ECD

ECDは、エレクトロクロミズム、すなわち電気エネルギーによる物質の色変化を利用するが、実体は、このうち、電気化学的な酸化還元反応を用いるディスプレイを指す。印刷物と同じように明るい背景に視野角の広い自然な表示が可能である。5×7セルのWO₃系

大型 ECD モジュール¹⁵⁰⁾や、長寿命の $\text{IrO}_2\text{-SnO}_2$ 複合膜によって全固体型の可変反射率鏡¹⁵¹⁾が開発されたが、広く実用の段階には至っていない。閾値特性が不明確で時分割駆動が出来ないのでマトリクス型パネルの構成が難しく、情報のディスプレイよりも、調光などへ応用が期待され、防眩ミラーやメガネへの応用が始まった¹⁵²⁾。

4. 電子ディスプレイの平板化の動向

テレビ用、ディスプレイ用 CRT は、高いコストパフォーマンスを持ちながら、さらに高性能化が追及されている。後発の平板型ディスプレイが CRT に迫っていくのは容易ではない。平板型ディスプレイの最大の特長は、奥行き的小さい構造である。従って、開発は CRT で難しい携帯型の小型表示、可搬型の小型画面から始まった。

時計や電卓のディスプレイは、PDP、LED、VFD を経て、LCD に移行し、その長所は 35mm カメラや各種の測定器に広く使われている。ポケットテレビでは、LCD でカラー化や画質改善が進み、偏平 CRT でも実用化とカラー化の開発が行われた。また、多くの AV 機器、測定器や自動車のダッシュボードには VFD や LED が、さらに、株値の店頭表示、客室内の案内には PDP が採用されている。このように、新しい用途に、平板型の各方式が実用化を達成し、明るさ、発光色、コントラスト、表示容量、駆動電圧、応答速度、消費電力、価格など、目的に合わせディスプレイ方式を選択できるまでに発展し、一部では需要が飽和する程の成長を見せた。

これらは引き続き、マトリクス型ディスプレイで大型化が進み、実用化は 10 型白黒 CRT に相当する領域に達した。これらを採用する機器では、多くの機能を搭載して外部電源を必要とするため、低消費電力で携帯型に適した LCD に固執せず、可搬型として性能を重視しており、発光型や、非発光型に光源を組合せた形での発光型ディスプレイが多く使われる。駆動回路系を含めたユニットとして薄型、軽量化が進み、デスクトップ型、特にラップトップ型のパーソナルコンピュータで、机上の占有面積の節減、外光の映り込みの少ない画面、揺らぎの発生しない表示など、平板型ディスプレイの特徴が良く発揮されている。

さらに、メートル級を越す 2-3 m 級の大画面にも、セルピッチの大きい A 4 版程度の LCD モジュールを並べて蛍光ランプと組合せた構成が実用され、VFD 類似構造で高電圧動作の小数マトリクス型表示パネルも採用されている。

電子ディスプレイの画面サイズは、超小型の 0.5 型か

ら屋外用巨大画面に至る広範囲に及ぶ。この中で、1-2 m 級の画面は今後開発望まれる領域である。単体のデバイスでこれを実現するには、直視型 CRT ではかなり難しく、また、小型から大型へと順次にデバイス開発が進む平板型ではこれからの目標となる。高精細大画面で臨場感を得る HDTV は、この領域である。直視型 CRT では、40 型が開発され、投射型 CRT でも高性能化や奥行の短縮が図られてきた。HDTV の受像は、当分はこれらの方式に頼らざるを得ないが、メートル級の平板型テレビは普及の大きな鍵である。平板型ディスプレイが大型の分野で共存競合するには、今後も発展する CRT に対して比肩できるコストパフォーマンスが不可欠で幾多の努力が要求される。平板型ディスプレイは、小型、単色、2 値表示の段階を脱し、大型、カラー化、中間調動画表示に向けて開発が進んでいる。大きな目標としての大型高精細ディスプレイの実現は、全く新しい家庭用受像機としての巨大な市場は勿論のこと、情報量が多く、デジタル走査で異なった方式に柔軟に対応できるなど、各種の情報システム表示端末としての大きい可能性を持っている。

5. む す び

ディスプレイ用 CRT では、直視型を中心に高性能化が進み、テレビ用 CRT でも、直視型、投射型で、大型高精細フルカラー中間調画表示であり、HDTV が大きな目標である。

平板型ディスプレイは、開発の過程で用途を見出し、実用化を図るという初期段階を既に脱し、高性能化に向っているが、方式によって足並みは揃っていない。カラー化では蛍光体や光学フィルターなど、特性の豊富な材料を利用する方式が先行し、画面サイズ、表示容量、階調表示などを総合した大型高精細テレビ表示には、PDP、バックライト付き LCD や偏平 CRT に高い可能性が揚げられている。しかし、いずれも未開の領域で、メートル級で高精度のデバイス製作技術・装置は開発されておらず、パネルの方式や構成とともにこれを合わせた総合開発が重要である。

将来の発展については、平板型ディスプレイの各方式、あるいは、これに CRT を加えて優劣の論議や開発予測がよく行われるが、ディスプレイの拡大した用途には、目的に合ったそれぞれの観点での比較検討が必要である。一度実用化を達成した各方式は、発展過程で単純に淘汰が進むのではなく、むしろ適切な領域や用途を担共存して行くと考えられる。

ディスプレイの方式を限定して概説したが、ほかにも重要な方式は少なくないと思われるが、特殊用途に限定、あるいは、開発が中断されているものなどは割

愛した。

参 考 文 献

- 1) J.A.Castellano : テレビ学技報, **10**, 21, IPD111-3, pp. 17-20 (1986)
- 2) 常田 : 蛍光体同学会第 202 回資, **10**, 21, pp. 25-41 (1984)
- 3) 鈴木, 他 : テレビ学誌, **39**, 12, pp. 1168-1175 (1985)
- 4) 利安, 他 : テレビ学報, **9**, 31, IPD101-36, pp. 39-44 (1985)
- 5) S. Ashizaki, et al : Psoc. Japan Display' 86, 6. 3, pp. 226-229 (1986)
- 6) M. Nakamura, et al : SID 88 Digest, 20. 1, pp. 386-388 (1988)
- 7) 森, 他 : 昭 61 電気・情報連大, 14-3, pp. 2-159/162 (1986)
- 8) 徳富, 他 : テレビ学技報, **10**, 6, IPD107-19, pp. 19-24 (1986)
- 9) 例えば, 菅原, 他 : 同上, **11**, 13, ID87-68, pp. 37-42 (1987)
- 10) K. Ando, et al : SID 85 Digest, 18. 2, pp. 338-340 (1985)
- 11) L. Dietch, et al : SID 86 Digest, 18. 1, pp. 322-323 (1986)
- 12) 山中, 他 : テレビ学技報, **9**, 5, IPD96-12, pp. 77-83 (1985)
- 13) 生垣, 他 : 東芝レビュー, **38**, 1, pp. 47-50 (1983)
- 14) 木谷, 他 : テレビ学誌, **38**, 4, pp. 300-303 (1984)
- 15) Y. Miyata, et al : Proc. Japan Display' 83, P1. 7, pp. 132-134 (1983)
- 16) 芦崎, 他 : テレビ学技報, **10**, 40, IPD114-2, pp. 5-10 (1986)
- 17) 藤村 : 1988 テレビ学全大, P1-2, pp. 441-444 (1988)
- 18) 時田, 他 : テレビ学誌, **39**, 12, pp. 1162-1167 (1985)
- 19) H. Yamazaki et al : Toshiba Reviw, No. 156, pp. 29-32 (1986)
- 20) 例えば, 芦崎, 他 : 信学技報, **86**, 367, EID86-28, pp. 9-12 (1987)
- 21) 斎藤, 他 : テレビ学技報, **12**, 7, ID88-30, pp. 25-30 (1988)
- 22) 前田, 他 : 同上, **10**, 8, ED977, pp. 51-56 (1986)
- 23) 小林, 他 : 同上, **5**, 38, ED618, pp. 7-12 (1982)
- 24) 野々垣, 他 : 蛍光体同学会, 第 191 回資, pp. 3-12 (1982)
- 25) 山崎 : 昭 62 信学材料部門全大, S5-1, pp. 1-281/282 (1987)
- 26) 山崎, 他 : 信学技報, **8**, 7, 407, EID87-78, pp. 21-24 (1988)
- 27) 本田 : 同上, **86**, 367, EID86-30, pp. 17-20 (1987)
- 28) 福田, 他 : テレビ学技報, **10**, 45, ED87-3, pp. 13-18 (1987)
- 29) 金沢, 他 : NHK 技研月報, **30**, 4, pp. 125 (1987)
- 30) W. R. Aiken : IEEE Trans. Electron Devices, **ED-31**, 11, pp. 1605-1609 (1984)
- 31) C. Sinclair : SID 81 Digest, 13. 4, pp. 138-139 (1981)
- 32) 大越, 他 : テレビ学誌, **37**, 8, pp. 635-640 (1983)
- 33) 米田, 他 : テレビ学技報, **11**, 13, ID87-67, pp. 31-36 (1987)
- 34) 井上, 他 : 同上, **10**, 40, IPD114-3, pp. 11-16 (1986)
- 35) 日野谷, 他 : 同上, **11**, 27, ID87-86, pp. 19-24 (1987)
- 36) 宮崎, 他 : テレビ学誌, **41**, 7, pp. 648-654 (1987)
- 37) T. L. Credelle, et al (福島 訳) : 同上, **38**, 4, pp. 295-299 (1984)
- 38) 野々村, 他 : 同上, **40**, 10, pp. 1024-1030 (1986)
- 39) D. Gabor, et al : Proc. IEE, **105**, Part B, 24, pp. 581-606 (1958)
- 40) J. R. Mansell, et al : Proc. Eurodisplay' 87, F. 20, pp. 77-80 (1987)
- 41) H. G. Slottow : SID 75 Digest, 5. 2, pp. 138-139 (1975)
- 42) 小泉 : 電子管の歴史, 日本電子機械工業会電子管史研究会 (1987), 9. 2, p. 403, オーム社
- 43) 安藤 : 同上, 9. 5, p. 417
- 44) R. Cola, et al : Advances in Image Pickup and Display, B. Kazan (1977), 3, pp. 106-114, Academic Press
- 45) P. Pleshko : SID 84 Digest, 11. 1, pp. 164-167 (1984)
- 46) T. J. Soper, et al : SID 87 Digest, 15. 2, pp. 163-163 (1982)
- 47) D. K. Wedding, Sr., et al : SID87 Digest, 7. 4, pp. 96-99 (1987)
- 48) 中川, 他 : National Technical Report, **33**, 1, pp. 108-117 (1987)
- 49) 小松 : 沖電気研究開発, **53**, 3, pp. 3-8 (1986)
- 50) 淡路, 他 : テレビ学技報, **10**, 14, IPD109-1, pp. 1-6 (1986)
- 51) 里見, 他 : 同上, **10**, 14, IPD109-2, pp. 7-10 (1986)
- 52) 種田, 他 : 同上, **8**, 50, IPD95-1, pp. 1-6 (1985)
- 53) L. F. Weber et al : Proc. Japan Display' 86, 13. 3, pp. 469-499 (1986)
- 54) J. Koike, et al : SID 80 Digest, 14. 3, pp. 150-151 (1980)
- 55) 谷水, 他 : 第36回応物, 22a-C-6, p. 149 (1975)
- 56) G. E. Holz : SID 72 Digest, 3. 4, pp. 36-37 (1972)
- 57) 村上, 他 : テレビ学技報, **12**, 15, ID88-37, pp. 37-42 (1988)
- 58) 坂井, 他 : 同上, **12**, 7, ID88-34, pp. 55-60 (1988)
- 59) S. Mikoshiba et al : SID 86 Digest, 21. 1, pp. 387-390 (1986)
- 60) 吉川, 他 : テレビ学技報, **4**, 27, IPD53-13 (1980)
- 61) 横沢, 他 : テレビ学技報, **8**, 30, IPD91-11, pp. 13-18 (1984)
- 62) H. Uchiike, et al : SID 87 Digest, 7. 2, pp. 88-91 (1987)
- 64) 篠田, 他 : 同上, **9**, 43, IPD104-7, pp. 37-42 (1986)
- 65) G. W. Dick et al : Proc. Japan Display' 86, 13. 5, pp. 504-506 (1986)
- 66) 金沢, 他 : 信学技報, **47**, 408, EID87-92, pp. 53-58, (1988)
- 67) N. C. Andreadakis : SID 88 Digest, 9. 4, pp. 153-156 (1988)
- 68) M. Gay, et al : SID 88 Digest, 9. 5, pp. 157-159 (1988)
- 69) P. D. T. Ngo, et al : Proc. Japan Display' 86, 13. 2, pp. 494-495 (1986)
- 70) P. E. Knauer, et al : SID 87 Digest, 7. 1, pp. 84-87 (1987)
- 71) A. Schauer (御子柴 訳) : テレビ学誌, **38**, 4, pp. 318-320 (1984)
- 72) M. DeJule, et al : SID 86 Digest, 21. 7, pp. 410-413 (1986)
- 73) 伊吹, 他 : テレビ学固体画像変換研究委資, 25 (1969)
- 74) 由山, 他 : National Technical Report, **17**, 6, pp. 670-676 (1971)
- 75) 佐藤 : テレビ学技報, **9**, 47, IPD105-3, pp. 9-14 (1986)
- 76) T. Inoguchi, et al : SID 74 Digest, 8. 3, pp. 84-85 (1974)
- 77) S. Mito, et al : SID 74 Digest, 8. 4, pp. 86-87 (1974)
- 78) 学振光電相互変換委, 第 126 回研究資, pp. 47-52 (1988)
- 79) 松岡, 他 : National Technical Report, **33**, 1, pp. 118-123 (1987)
- 80) 大脇, 他 : テレビ学技報, **11**, 8, ID87-47, pp. 37-42 (1987)
- 81) M. R. Miller, et al : SID 86 Digest, 10. 1, pp. 167-170 (1986)
- 82) 鈴木, 他 : テレビ学誌, **32**, 11, pp. 969-974 (1978)
- 83) 楡, 他 : 信学技報, **86**, 368, EID86-36, pp. 1-4 (1987)
- 84) H. Ohnishi, et al : SID 87 Digest, 13. 3, pp. 238-241 (1987)
- 85) H. Ohnishi, et al : SID 88 Digest, 16. 3, pp. 289-292 (1988)
- 86) 小林, 他 : 信学技報, **86**, 368, EID86-41, pp. 21-24 (1987)
- 87) S. Tanaka, et al : SID 88 Digest, 16. 4, pp. 293-296

- (1988)
- 88) 藤田, 他: 学振光電相互変換委, 第 115 回研資, 444, pp. 24-29 (1985)
 - 89) T. Hayashi, et al : SID 87 Digest, 13. 6, pp. 249-251 (1987)
 - 90) 布村, 他: 信学技報, **86**, 368, EID86-39, pp. 13-16 (1987)
 - 91) C. N. King, et al : Proc Eurodisplay' 87, B. 77, pp. 14-17 (1987)
 - 92) 山内, 他: テレビ学技報, **11**, 13, ID87-71, pp. 55-60 (1987)
 - 93) S. Harada, et al : Proc. Japan Display' 86, 7. 1, pp. 238-241 (1986)
 - 94) J. Kuwata, et al : SID 88 Digest, 16. 5, pp. 297-300 (1988)
 - 95) 佐野, 他: テレビ学技報, **11**, 13, ID87-70, pp. 49-54 (1987)
 - 96) D. Leksell, et al : Eurodisplay' 87, F1. 8, 86-87 (1987)
 - 97) 中村, 他: 蛍光表示管とその応用 (1977), pp. 1-2, 日刊工業新聞社
 - 98) 下条, 他: 応用電子物性分科会資, 401, pp. 26-31 (1983)
 - 99) 小林: NEC 技報 **38**, 2, pp. 124-126 (1985)
 - 100) 弥永, 他: NEC 技報, **40**, 5, pp. 135-138 (1987)
 - 101) 岸野, 他: テレビ学技報, **10**, 46, ID87-8, pp. 1-6 (1987)
 - 102) “チップレス蛍光表示管”, Futaba News and Information (June 1, 1986) または日刊工業新聞 (86-1-27)
 - 103) K. Morimoto, et al : Proc. Japan Display' 86, 13. 8, pp. 516-519 (1986)
 - 104) M. Yamaguchi, et al : SID 87 Digest, 7. 5, pp. 100-102 (1987)
 - 105) 渡辺: 信学技報, **87**, 407, EID87-81, pp. 39-48 (1987)
 - 106) 上村, 他: テレビ学誌, **40**, 10, pp. 1010-1017 (1986)
 - 107) H. Nakagawa et al : SID 86 Digest, 14. 1, pp. 246-249 (1986)
 - 108) 岩田, 他: 三菱電気技報, **60**, 9, pp. 609-642 (1986)
 - 109) 坂田: 学振光電相互変換委, 第 124 回研資, pp. 6-11 (1987)
 - 110) 新名: 電子技術, **27**, 5, pp. 44-50 (1985)
 - 111) 市川, 他: テレビ学誌, **38**, 4, pp. 327-331 (1984)
 - 112) 千葉, 他: テレビ学技報, **10**, 6, IPD107-24, pp. 46-54 (1986)
 - 113) H. Yamane, et al : Proc. Japan Display' 86, 13. 9, pp. 520-523 (1986)
 - 114) 古賀, 他: 真空, **30**, 11, pp. 886-892 (1987)
 - 115) 赤崎: 学振光電相互変換委, 第 124 回研資, pp. 24-29 (1987)
 - 116) D. Kruangam, 他: 同上, 第 124 回研資, pp. 12-17 (1987)
 - 117) T. J. Scheffer, et al : SID 85 Digest, 8. 1, pp. 120-123 (1985)
 - 118) K. Kawasaki, et al : SID 87 Digest, 20. 6, pp. 391-394 (1987)
 - 119) 原, 他: テレビ学技報, **12**, 6, ID88-14, pp. 1-6 (1988)
 - 120) 奥村, 他: 同上, **11**, 27, ID87-96, pp. 79-84 (1987)
 - 121) 長江, 他: テレビ学技報, **12**, 32, ID88-75, pp. 29-34 (1988)
 - 122) 岡田, 他: 同上, **12**, 6, ID88-15, pp. 7-12 (1988)
 - 123) 奥村, 他: テレビ学技報, **12**, 32, ID88-78, pp. 45-50 (1988)
 - 124) T. Hirohara, et al : Proc. Japan Display' 86, PD3 (1986)
 - 125) 諸川, 他: 信学技報, **86**, 255, EID86-21, pp. 21-24 (1986)
 - 126) 両角, 他: テレビ学技報, **84**, 4, IPD86-4, pp. 65-69 (1986)
 - 128) 木村, 他: テレビ学技報, **12**, 32, ID88-72, pp. 13-18 (1988)
 - 129) 両角: 日経エレクトロニクス, 452, pp. 179-187 (1988)
 - 130) 竹田, 他: National Technical Report, **33**, 1, pp. 76-84 (1987)
 - 131) N. Bryer, et al : Proc. Japan Display' 86, 3. 5, pp. 80-83 (1986)
 - 132) 坂井, 他: テレビ学技報, **11**, 27, ID87-94, pp. 67-72 (1987)
 - 133) 大山, 他: 日経エレクトロニクス, 451, pp. 100-101 (1988)
 - 134) 中沢, 他: テレビ学技報, **12**, 6, ID88-19, pp. 33-38 (1988)
 - 135) M. Dohjo, et al : SID 88 Digest, 17. 6, pp. 330-333 (1988)
 - 136) 岡崎: 信学技報, **87**, 407, EID87-77, pp. 13-20 (1988)
 - 137) 三橋: テレビ学技報, **9**, 47, IPD105-4, pp. 15-20 (1986)
 - 138) 富永: 同上, **11**, 25, ED87-59, pp. 17-21 (1987)
 - 139) 沢野, 他: 同上, **11**, 8, ID87-50, pp. 55-60 (1987)
 - 140) 日野谷, 他: 同上, **12**, 15, ID88-40, pp. 49-54 (1988)
 - 141) 内田, 他: テレビ学誌, **40**, 10, pp. 984-990 (1986)
 - 142) 小泉, 他: 信学技報, **86**, 255, EID86-16 (1986)
 - 143) 高橋, 他: テレビ学誌, **42**, 3, pp. 254-260 (1988)
 - 144) S. Aruga, et al : SID 87 Digest, 6. 4, pp. 75-78 (1987)
 - 145) F. J. Kahn, et al : SID 87 Digest, 14. 1, pp. 254-257 (1987)
 - 146) 中村, 他: National Technical Report, **33**, 1, pp. 27-34 (1987)
 - 147) H. Hatoh, et al : Proc. Japan Display' 86, 2. 15, pp. 356-359 (1986)
 - 148) 内田: テレビ学誌, **42**, 1, pp. 2-9 (1988)
 - 149) H. Inoue, et al : 1988 IDRC, pOSTER 25 (1988)
 - 150) 安藤, 他: テレビ学誌, **40**, 10, pp. 1005-1009 (1986)
 - 151) T. Niwa, et al : Proc. Japan Display' 86, P2. 19, pp. 372-375 (1986)
 - 152) 丹羽: テレビ学技報, **13**, 2, ID89-2, pp. 7-14 (Jan., 1989)

海洋ロボットへの胎動

極限作業ロボット技術研究組合

海洋ロボット開発室長 (当時)

望 月 光 宣

Moving under Water to Oceanic Robots

Mitsunobu MOCHIZUKI

1. はじめに

海洋は、人類に、石油を含む鉱物資源、水産資源、及びレジャーの場を提供してきた。

それらに伴う各種の海中作業を行ってきたダイバーは、水深が10m 増すごとに1 気圧増加して生命の危険がそれだけ増す高圧、空気中に比較してその抵抗が800 倍程度大きくなる流れ、浮力、暗黒等に悩まされてきた。このような非人間的な環境から、人間を開放しようとする地道な努力が続けられてきた。

海洋における無人化技術は、海洋石油生産、及び軍事面からのニーズに支えられて発達してきたといっても過言ではない。現在のところ、作業対象設備の一部に組み込まれた専用遠隔操縦装置、複数設備を対象にできる汎用遠隔操縦装置が実用化されているが、判断を自身で行う自律的な海洋ロボットについては、まだ研究開発の段階であり、実用には供されていない。

ここでは、汎用遠隔操縦装置を中心とする具体例を通じて、無人化技術の現状、並びに海洋ロボットへの試みについて紹介したい。

なお、あくまでもひとつの私見に過ぎないことを了解いただきたい。

2. 概 観

米国空軍が、スペイン沖868m の海中に誤って落とした水爆を、1958年に建造された米国海軍の、一般的には無人潜水機と呼ばれている、汎用遠隔操縦装置 (CURV I) が回収して世界に注目されたのは、1966年のことであった。1973年には、CURV IIIが、水深420 m の地点に沈没した有人潜水船 PISCES IIIから乗員2 名を救助するときに使用された。

1974年には、産業用としてベストセラーとなった、

操縦性が良く、小型・軽量で取り扱いが簡単な外観検査用無人潜水機 RCV 225 (米 Hydro Products 社製) が発表されて、1973年の第1 次石油危機以来の海洋石油生産の活況とあいまって、無人潜水機の活躍の場を広げた。

現在では、海洋石油生産設備の点検、海中作業時のダイバーの監視及び誘導には、必要欠くべからざる存在となっており、その累積生産数は、100基を越えるという。

1977年頃になると、作業用無人潜水機 SCARAB, SCORPIO (米 Ametek 社製) が登場し、1979年の第2 次石油危機も加わって、無人潜水機の海洋石油生産関連作業への導入も本格化した。

SUCORIO クラス無人潜水機によって、海洋石油生産設備の腐食防止用犠牲電極の交換 (水深122m)、開かなくなったバルブの開放作業 (水深110m)、海中に墜落した航空機のフライトレコーダーの回収 (例えば、水深2200m) 等の作業が行われている。また、スペイン沖では、水深754m において、無人潜水機 (英 Subsea Offshore 社製) による海底石油生産設備 (Chevron Oil 社製) の検査・保守に関する実験が行われている。

1984年には、一層の軽便化・小型化を図って、十分の一以下の低価格化を実現した検査用無人潜水機 MINI ROVER (米 Deep Sea International 社製) が発表され、無人潜水機の普及に拍車をかけた。

このように、実績が積み重ねられるにつれて、信頼性及び経済性を重んじる保守的な果実生産関連業界でも、無人潜水機を積極的に評価するようになった。

その結果、1970年には、10にも満たなかった有索式無人潜水機 (索により動力供給及び信号伝送を行う) の累積生産基数が、1987年には、10箇国以上の海軍に採用され、250基以上に達する機雷除去用の軍用海中走行型無人潜水機 PAPI04 (仏 Eca 社製) を含めて、

1100基を越えている。

一方、海底石油生産設備の一部に無人遠隔操縦装置を組み込み、信頼性を一層向上させる専用設備も実験又は実用化されている。

最近では、海洋石油開発、軍事面に限らず、水中土木・下水道・プール・発電設備等の水中部の検査、沈没船・水中遺跡・水中にある犯罪証拠物件又は紛失物体等の探索にも大いに利用されているようになってきた。

特に、放射能汚染の問題をかかえる原子力発電設備の検査に、無人潜水機を利用すれば、経済性が向上することが立証され、今後の有望市場と目されている。

日本における代表的な例としては、海中データ採取用海洋空間計測ロボットシステム（通産省プロジェクト「オスパー計画」、1973年）、軽作業用 MURS-300（三井海洋開発株式会社、1979年）、海中捜索救難システム（海上保安庁、1985年）、科学調査用 DOLPHIN-3K（海洋科学技術センター、1988年）が挙げられる。

3. 海中作業の種類

海洋石油産業、軍事産業、漁業、海中土木産業、電力産業、海洋レジャー産業等における主な海中作業は、次のように整理される。

- (a) 観 察：科学調査、監視、塗装等
- (b) 運 搬
- (c) 保 守：検査、清掃、塗装等

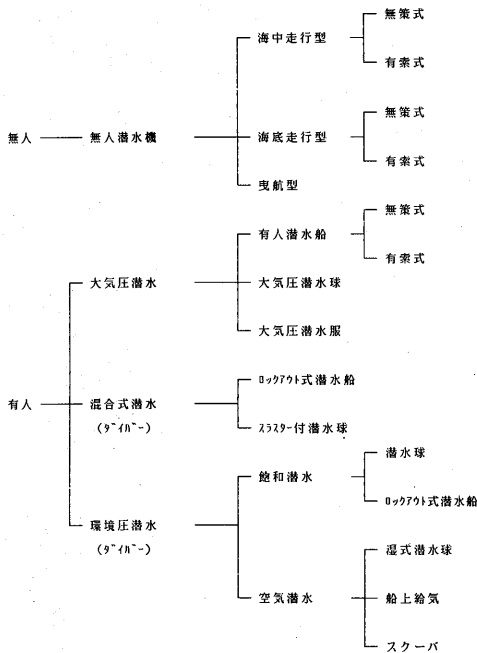


図 4.1 海中作業の方法

- (d) 修 理：工具操作、切断、溶接等
- (e) 軍 用：機雷除去等
- (f) 土 木：掘削、発破、構造物設置、／据え付け、パイプライン／ケーブル敷設、解体引き上げ作業、コンクリート施工等
- (g) 測 量

4. 海中作業の方法

現在行われている海中作業の方法を、4.1 に示す。また、代表的な方法についてその得失を、表 4.1 に示す。

今後、海洋石油生産を行う水深が増加すると予想されており、その様な状況に対応すべく、生産に必要な機器を現在のように洋上に設置するのではなく、海底に設置する海底石油生産設備が各種提案されている。それらの設備の保守を行う手段は、水深、設備の複雑さ、油田の特性等によって必ずしも画一的に論じられない面があるが、一般的にいえば、水深の影響を受け難い大気圧潜水装置は、高価ではあるが、対象設備の保守作業の内容が複雑なときには、人間が近付けられる分だけ有利となる。

無人潜水機については、現在器用性に欠け、どちらかといえば、単純な作業に用いられる。

一方、専用遠隔操縦装置は、複雑な作業も可能であるが、現状では比較的小さい個々の構成機器の保守を目的としており、海底設備がより複雑かつ大型化すると、限界が生じると予想される。

最終的には、知覚センサー（特に、視覚）と手足を持ち、かつ完全又は部分的にでも判断機能を有する自律海洋ロボットと、高度な専用工具を利用する方法が考えられよう。

表 4.1 代表的な作業方法による得失

項目	有 索 式	有 人	飽 和 潜 水
	無 人 潜 水 機	潜 水 船	ダイバー
特 徴	安全性が高い 長時間作業ができる 支援設備が小規模	信頼性が高い	信頼性が高い 作業能率が低い
問 題 点	信頼性が低い 作業能力が低い 操作性が悪い 索のもつれがある 位置決め能力が低い 速度能力が低い 天候に左右される	生命の危険がある 連続作業ができない 支援設備が大規模 作業人員数が多い 操作性が悪い 天候に左右される	生命の危険がある 経済性が悪い 作業水深に限界がある 連続作業ができない 支援設備が大規模 作業人員数が多い 作業が不正確 天候に左右される 資格が必要

5. 海中作業の無人化

海中作業を無人で行う各種方法に対応した代表例を具体的に説明しながら、併せて海中作業の無人化技術に関する一般的な現状に触れる。

(1) 専用遠隔操縦装置

(a) Exxon の MMS

(Maintenance Manipulator System)

Exxon は、1974年から1977年にかけて、水深600m 用海底石油生産設備を開発するため、メキシコ湾水深52 m の地点において、設置、掘削、修理等に関する基礎実験を行った。MMS と称する遠隔装置を、洋上の支援船から、海底生産設備 (Underwater Manifold Center : UMC) の中に敷設されたレール上に吊り降ろす。その後、MMS は、保守の目的である機器の所まで、レール上を移動し、例えば、バルブ及びスイッチの操作、制御装置及びバルブ類の交換の作業を行った。

この成果は、北海のセントラルコーモラント油田に設置された Shell/Exxon の海底生産設備 (1982年) に生かされた。

(b) Ele Aquitaine の TIM

(Telemanipulator for Intervention and Maintenance Vehicle)

1976年、アフリカガボン沖50km、水深60m の地点 (Grondl) に実験用ステーション (図5.1-1) が設置され、1978~82年の間、従来ダイバーが行っていた建設、保守、及び緊急時の作業を遠隔制御で行った。

約15億円の TIM のパッケージとしての重量は、12トンであり、キャリッジの寸法は、長さ4.15m、幅2.25 m である。テレスコピッククレンは、360度回転可能であり、リフトは、4.8m 展張時で1.5トンである。

同じ仕様の2本のマニピュレーター (図5.1-2) は、キャリッジの四隅のいずれにも設置できる。

TIM に引き続いて、ELF は、1984年、ノルウェーのベルゲン沖、水深100m の海域にわたって、20年分に相当する操業実験を行った。海底モジュールの設置、結合、及び回収には、仏の ACB が建造した COM (Connection Operation Module : 図5.2) が用いられている。

(2) 有索式海中走行型無人潜水機

(a) RCV225

図5.3に示すとおり、代表的な中継基地 (ランチャー) 方式の小型無人潜水機 (ROV) である。

諸寸法は、長さ0.51m×幅0.66m×高さ0.51m、空中重量82kgf、水中重量2kgf である。

ROV を固定した中継基地を、支援船の甲板に設置されているウインチ又はAフレームを操作して、海中

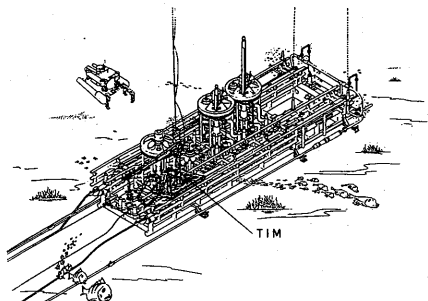


図 5.1-1 TIM GRONDIN ステーション

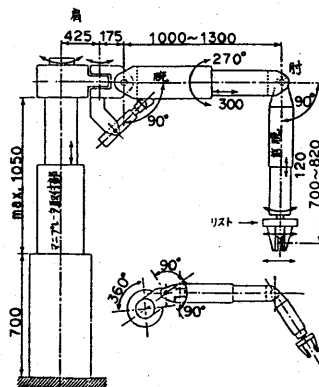


図 5.1-2 TIM マニピュレーター

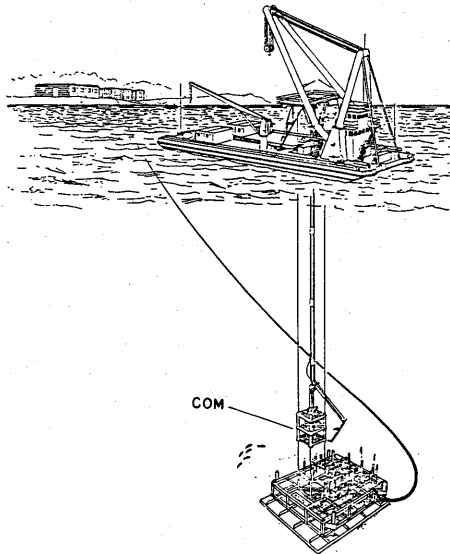
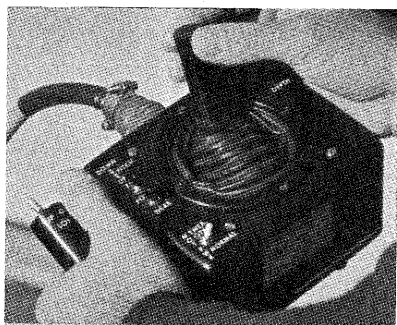
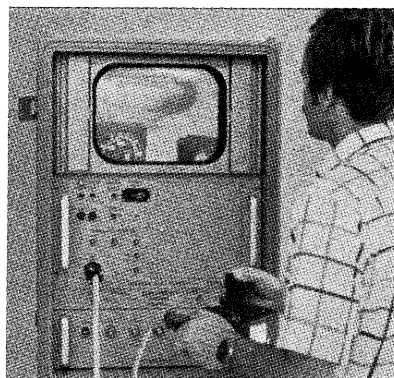
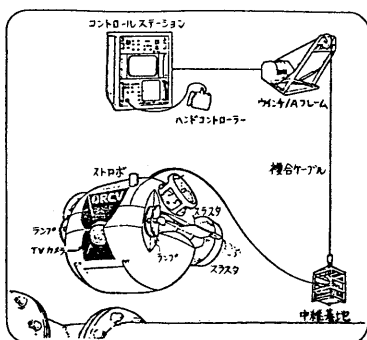


図 5.2 COM ベルゲンステーション

に降ろす。作業を行う水深に達すると、中継基地を止め、小型軽量のハンドコントローラーを操作して、吊り下げ状態となった中継基地から、ROV を発進させる。動力供給及び信号伝送を行う複合ケーブルを通じて、ROV に装備されている TV カメラから送られて



くる、コントロールステーションの TV カメラモニターの映像を見ながら、作業地点まで ROV を操縦する。TV カメラの垂直面内の回転(チルト)は、ハンドコントローラーによるが、水平面内は、ROV 機体の水平面内の回転(パン)による。

北海での作業例によると、1組2名のオペレーターが、2組支援船に乗船し、12時間交替で、ROVの24時間運転を行っており、長い時には、3～4日にわたる連続運転を行うこともあるという。

有索式の一般的な傾向でもあるが、RCV225の場合、良く利用されているだけに、海洋構造物近辺又は内部での作業中に、複合ケーブルの切断、ケーブルが絡んだときの損縦ミス、ROVオペレーターと支援船の船長との協調ミス等により、機体を紛失する機会も多いという。

(b) Mini Rover

最近の ROV の傾向として、特別な揚収装置を必要とせず、小型・軽量・低価格化を狙ったものと、複雑作業をこなそうとする中又は大型のものへの二極化が進んでいる。

小型・軽量・低価格化の旗手として、Mini Rover があり、そのほか、例えば、RTV100(三井造船株式会社製：図5.4)、Sprint 101(ノルウェー Radio-Elektro 社製：図5.5)がある。これまでのRCV 225が、1セット1億円程度であったが、1セット1500万円以下であり、寸法も約半分 (Mini Rover：長さ0.66m×幅0.47m×高さ0.37m×空中重量25kgf) である。いずれも、状況観察作業が主体である。

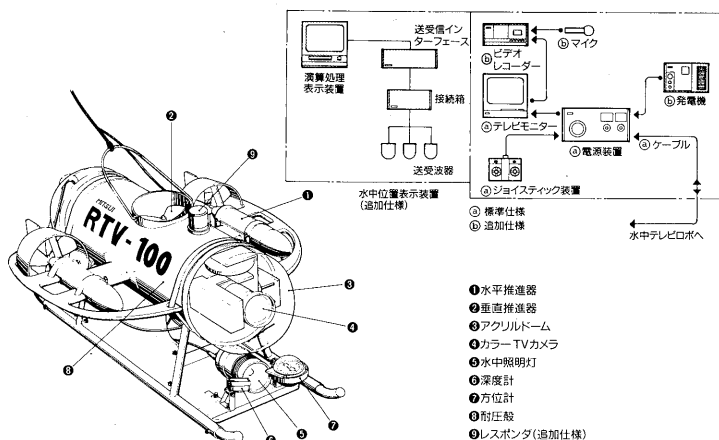


図 5.4 RTV100 システム構成図

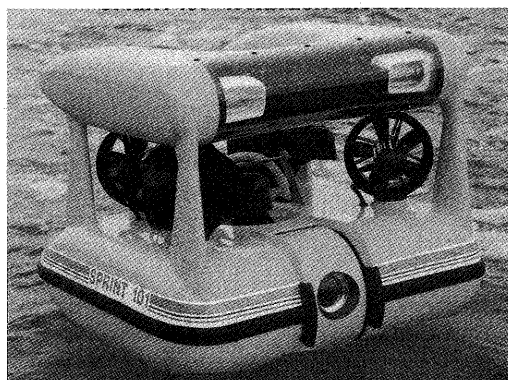


図 5.5 SPRINT101 外観図

Sprint 101 には、スチルカメラ 1 台と TV カメラ 2 台のカメラモジュールが、ただ一つのレンズを通して対象を見ることのできる光学系を有するトリプルヘッドシステム (スコットランド Osprey Electronics 社製) が搭載されている。つまり、TV カメラモニターの映像を見ながら、パララックスなしに、スチルカメラの焦点を合わせたり、構図を検討できる。

このような試みのほかに、ROV の臨場感を高めるべく、各種の研究開発が行われている。

例えば、米国海軍 (図 5.6) や、通産省電子総合研究所では、オペレータの頭の動きに応じて、ROV の TV カメラをパン・チルトさせている。

日本では、Mini Rover の出現以来、多くの小型・軽量機が参入しているが、典型的な例としては、海上保安庁が、海中捜索救難システムの構成機器の一つとして、RTV100 クラスの ROV を組み入れている。

(c) Scorpio

水深が増し、例えば、330m のとき、10 分間作業をすると、ダイバーのコストは、2000 万円を越えるともいう。ダイバーに代わって、軽作業を行う ROV のなか

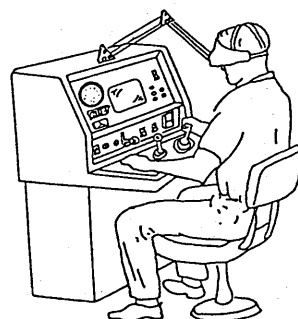
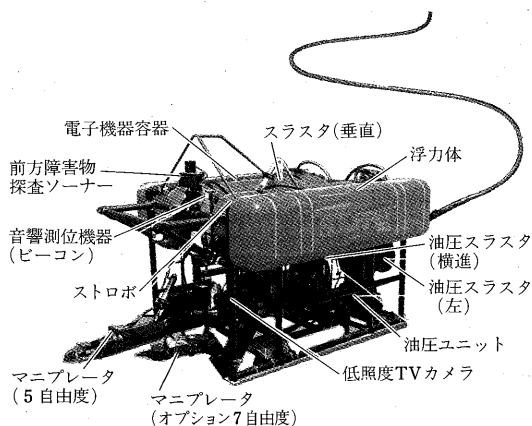


図 5.6 米国海軍ヘッドカップルドシステム

で、実績の多い Scorpio (図 5.7) を取り上げる。必要に応じて、中継基地を利用できる。

中継基地方式は、支援船～中継基地間を太いケーブルで結び、波浪による支援船の運動を ROV に直接伝えない、荒天時に空中で吊り下げ状態にある ROV に損傷を与え難いという利点がある。しかし、ケーブルの長さ及びケーブルによる流体抵抗によって行動の制限がある、システム重量及び大きさが増す等の欠点を有する。一方、無中継方式のときは、より行動半径が広く、システムがより簡単となる反面、動力源容量が問題となる。

1984 年、嵐のために、海底の掘削装置 (ウエルヘッド) と支援船を結ぶライザー管が切断された。Scorpio は、搭載しているソーナーで、水深 160m の海底にあったウエルヘッドを見つけ、その先についているライザー管の位置を確認した。その後、マニピュレーターに、油圧式のグラインダーを取り付けて、防噴装置上にあ

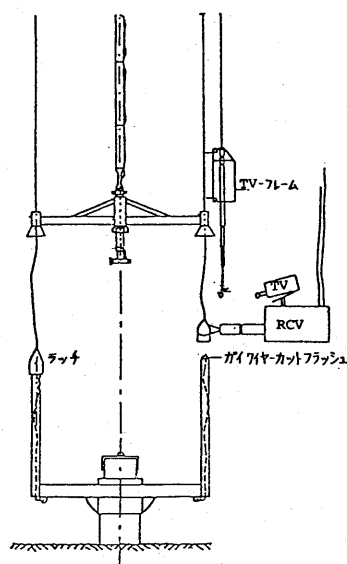


図 5.8 SCORPIO ガイドライン取り付け作業例

るボルトを切断した。更に、9月間に、26回の潜水を行って、ライザー管を再びウエルヘッドに取り付けた。

また、110mの海底で、強い流れと索のもつれに悩まされながら、4時間半を要して、4本のガイドポストに、ガイドラインを取り付けている。その作業要領を図5.8に示す。

Scorpio (長さ2.23m×幅1.22m×長さ1.63m×空中重量1800kgf)が航走するときに、オペレーターに提供されるグラフィックディスプレイ画面情報の例を図5.9に示す。また、マニピュレーターは、信頼性、経済性、オペレーターの疲労等の面で優れているレート方式である。

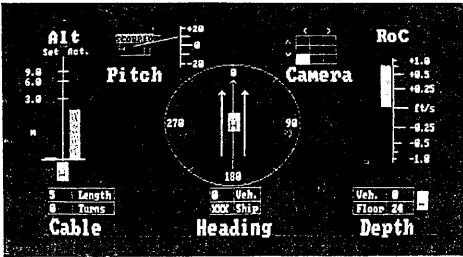


図 5.9 SCORPIO グラフィックディスプレイ

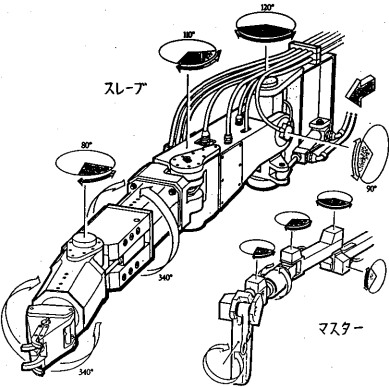


図 5.10-1 SEL TA9 マニピュレーター

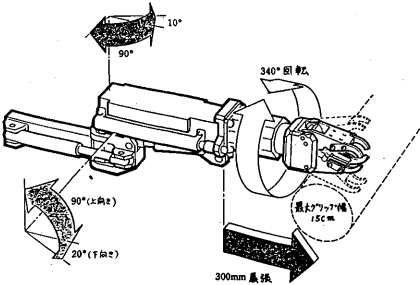


図 5.10-2 SEL TA16 マニピュレーター

図5.10に、英 Slingsby Engineering (SEL) 社が開発した中型無人潜水機 Trojan (長さ2.2m×幅1.6m×高さ1.6m×空中重量1800kgf)に採用されている、マスタースレーブ及びピレート方式のマニピュレーター (TA9 & 16) を示す。

人間の聴覚を利用して、触覚を音色で、力を音量で、微妙な動きをリズムでフィードバックする新しい多感覚マニピュレーター (Sensory Manipulator System : 図5.11) が、米の Deep Ocean Engineering (DOE) 社によって開発されている。

表5.1に、SEL 社、DOE 社、及び代表的メーカーである米 GE 社 (後、Western Space and Marine 社として独立)の代表的なマニピュレーターの仕様を示す。

DOE 社のマニピュレーターは、ガイドワイヤーを利用した掘削装置保守用有索式無人潜水機 Bandit (米 DOE 社製 : 図5.12)、及び有人潜水船 Deep Rover に採用されている。

米国海軍 (NOSC) と Massachusetts 工科大学 (MIT) は、マニピュレーターの管理制御技術に関する共同研究 (図5.13) を行っている。

英 Osel Offshore 社は、最近の傾向であるモジュール化思想を取り入れた、Dragonfly (長さ2.54m×幅

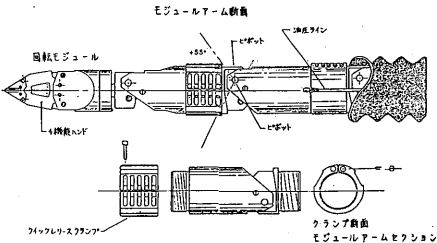


図 5.11 DOE SENSORY MANIPULATOR

表 5.1 マニピュレーターの仕様例

会社名	SLINGSBY ENGINEERING Ltd.	DEEP OCEAN ENGINEERING Inc.	WESTERN SPACE and MARINE Inc. (G E)	
型 名	TA 9	TA 16	SENSORY MANIPULATOR SYSTEM "L" 型	THE ARM1 THE ARM
方 式	位置制御式 マスタースレーブ	レート式	ON-OFF 制御式 ※1	カフィードバック式 マスタースレーブ
自 由 度 (除く、つかみ)	6	4	6 ※2	6
最大アウトリーチ (m)	1.3	1.06	1.8	1.4
取扱重量 (kgf) (最大アウトリーチにて)	45.4	102	90	45.4
駆 動 方 式	油 圧	油 圧	油 圧	スレーブ : 油圧 マスター : 電動
重 量 (kgf)	空 中	36	41	—
	水 中	18	32	—
備 考	TROJAN*	グラバー用 TROJAN*	※1 音響で触覚、力 覚、速度フィード バック ※2 モジュール間で 自由度可変 BANDIT* DEEP ROVER*	SCORPIO*

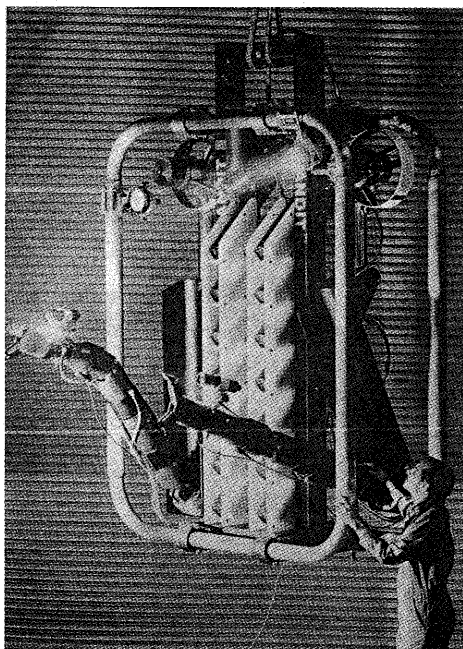


図 5.12 BANDIT 外觀図

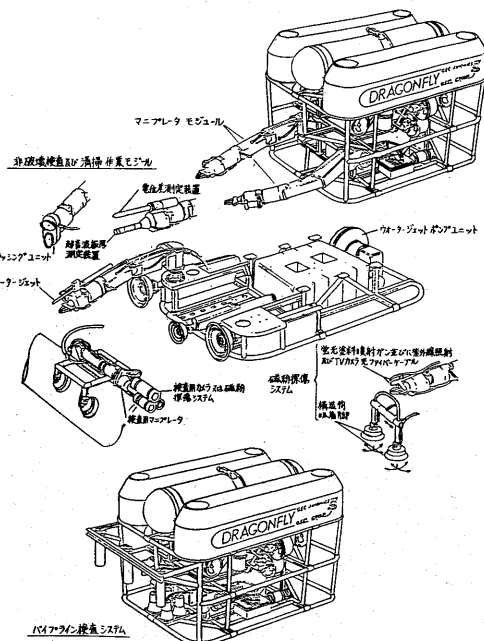


図 5.14 DRAGONFLY モジュールシステム

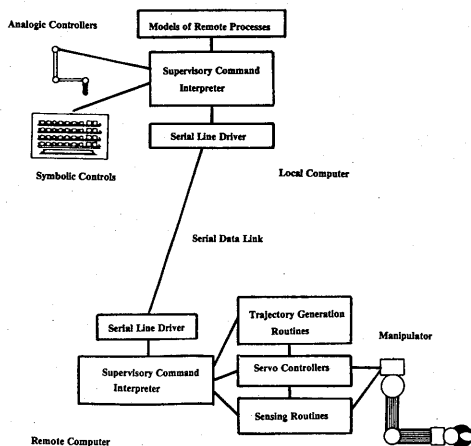


図 5.13 NOSC & MIT の管理制御システムブロックダイヤグラム

1.8m×高さ1.07m×空中重量2500kgf：図5.14）を開発している。作業に応じて、マニピュレーターの手先を交換したり、底部に清掃用ウォータージェットモジュールを取り付けたりして作業効率の向上を図っている。

1985年に開始された ESSO の Deep Integrated Production System (EDIPS)の海域実験では、英 Sub Sea Offshore 社製の Pioneer (本体寸法：長さ2.20m×幅1.62m×高さ1.90m 空中重量1360kgf)を利用して、バルブの回収を行っている。そのときの作業手順を図

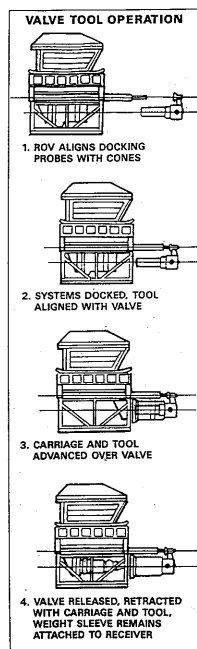


図 5.15 PIONEER バルブ回収手順

5.15に示す。なお、作業の信頼性を向上させるために、メイティング機構を利用して、潜水機を構造物に固定させる工夫を講じている。前述の Dragonfly では、差圧方式の吸着モジュールによっている。

(3) 海底走行型無人潜水機

海底走行型無人潜水機は、遠隔操縦により、パイプライン・海底電話線・動力線の埋設、海洋土木建設工事のための岩盤の破碎・掘削・整地、ヘドロの除去、捨て石ならし等の作業を行っている。

図5.16～17に、捨て石マウンドを±5 cmの精度で仕上げる有索式無人潜水機（株式会社小松製作所製、長さ16m×幅10m×高さ6.2m×空中重量72トン×最大水深300m）、並びにパイプライン又はケーブルの埋設を行う無人潜水機（伊 Tecnomare 社製、長さ7 m×幅9 m×高さ3 m×空中重量22トン×最大水深50 m×最大掘削深さ1.5m×最大パイプ外径0.5m）を示す。

仏の原子力生産性局（CEA）では、水深6000mの海底からマンガンノジュールを採取するため、鉛電池を搭載した、図5.18に示す無策式無人潜水機 PLA2（長さ5.5m×幅3.3m×高さ2.6m×空中重量16トン）を開発中である。

（4）曳航式海中走行型無人潜水機

自身では、推進装置を持たず、支援船からケースで曳航され、そのケーブルの長さ、及び船速を変化させて、潜水機の種類、海底からの高度を調整する。通常、

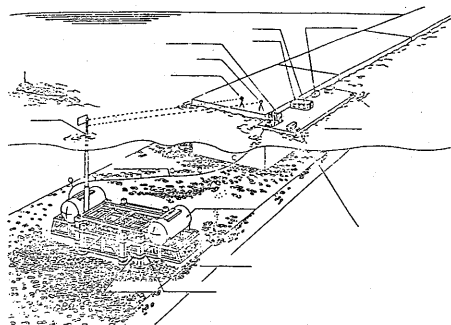


図 5.16 捨て石ならし用無人潜水機

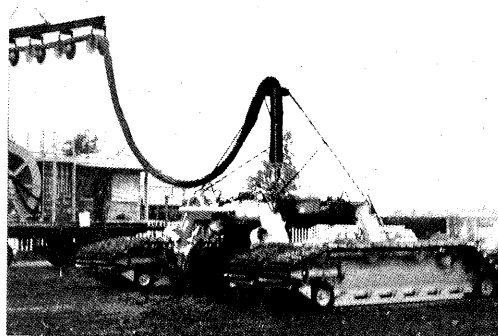


図 5.17 ケーブル埋設用無人潜水機

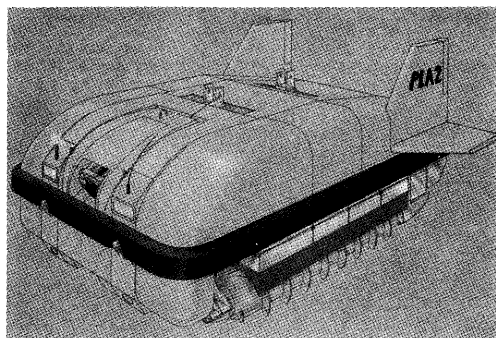


図 5.18 PLA2 外観図

支援船の波浪による運動が直接潜水機に伝わらないよう、デプレッサーを潜水機と支援船の間に配置することが多い。

1984年～85年、Sperry Corporation が、潜水機に自航能力、及び6自由度のマニピュレーターによる作業能力を持たせた英国海軍用システム TUMS（デプレッサー長さ3.6m：図5.19）の海洋実験を行っている。

日本では、金属事業団のマンガン団塊賦存状況調査用無人潜水機（長さ6.0m×幅1.4m×高さ1.4m×空中重量1680kgf×デプレッサー重量564kgf）がある。

（5）無策式海中走行型無人潜水機

代表的なものとしては、潜水回数200回以上の実績を誇る、仏 ECA 社製の大水深海底資源（マンガン等）調査用無人潜水機 Epaulard（長さ4.0m×幅1.1m×高さ

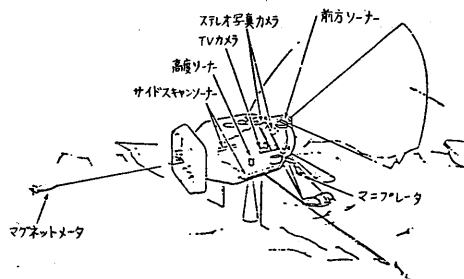
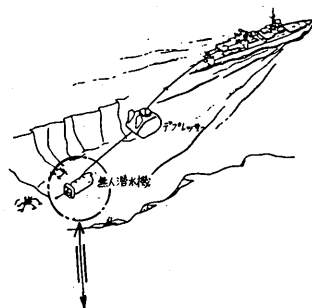


図 5.19 TUMS システム

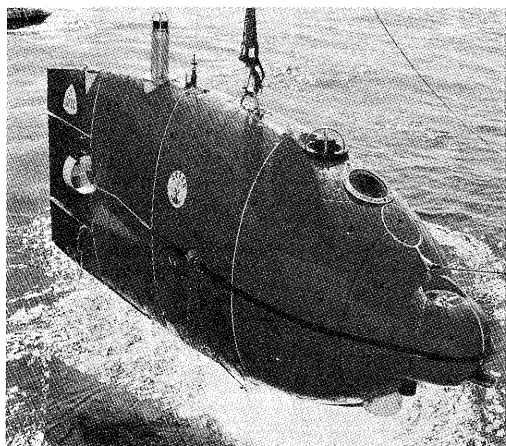


図 5.20 EPAULARD 外観図

2.0m×空中重量2.9トン×最大水深6000m：図5.20)がある。動力源として380AHの均圧型鉛電池を持ち、海底から数mの高度を保って、35mm スチル写真を最大5000枚撮影する。海底での標準走行距離/時間は、約20km/6～7時間である。走行パターンは、潜水前に設定する。音響式前方障害物探査ソナーが搭載されており、障害物を検知すると、自動的に停止する。また、音響通信が1時間以上とだえると、自動的に浮上する。

なお、発注者かつ運用者である Ifremar (仏国立海洋研究所) は、リアルタイムコントロールを可能とするべく、音響通信による TV 画像の伝送を試みており、トムソン CSF 社 (仏) の協力を得て、1984年末現在、4フレム/分 (水深6000m) の伝送に成功している。

International Submarine Engineering 社 (カナダ) は、177AH のニッケルカドニウム電池を内蔵する、魚雷状の、氷海海面下水路調査用無人潜水機 ARCS (長さ7.0m×直径0.7m×速度2.6m/秒) を建造している。

日本では、通産省電子総合研究所及び(財)機械システム振興協会が、1974～75年に、海水データ採取用無人潜水機 OSR-V (長さ4.32m×幅2.04m×高さ1.75m×排水量2.6トン) の実海域実験を行っている。

6. ロボット化への試み

手塚治虫が描く鉄腕アトムが、理想のロボットの姿といっても差し支えないであろう。

しかし、コンピューター関連機器のみを考えても、その実現は、15年以上先といわれている。

したがって、(a)視覚等の知覚センサーからの情報に基づいて、(b)自律的に判断を行い、(c)必要に応じて、陸上又は船上の安全な基地にいる人間の確認又は判断を得た上で、(d)手足等のエンドエフェクタ

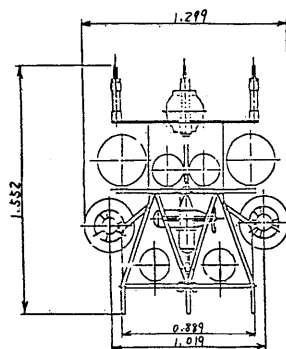


図 6.1-1 EAVE EAST 正面図

ーを制御しながら、(e)自律的に所定の作業を行うロボットが当面の目標となろう。海洋石油生産関連作業を例にとれば、海洋ロボットが自律的に行う作業対象としては、次のようなものが考えられる。

- (a) ロボット自身の判断によって、流れ、海底地形、障害物等に対応して移動しながら、人間の大局的な指令に基づく、観測・検査・科学調査等を行う。
- (b) 自律的に、海底石油掘削/生産装置、パイプライン等の構造物の保守、点検、並びに簡単な修理を行う。
- (c) 構造物の設置/据え付け、並びに解体作業等のための、穴あけ、切断、溶接等の作業を精度良く行う。

目標を達成するために解決しなければならない技術的課題に関する主要項目を次に示す。

- (a) 知覚：視覚、距離覚、触覚、聴覚
- (b) 管理制御：制御、情報処理、知能 (認識・判断)、マン・マシンインタフェース
- (c) アクチュエーター：マニピュレーター、移動機構、動力源、材料

日米欧各国において、海洋ロボット実現へ向けて、各種の胎動が聞かれる。代表的なプロジェクトについて具体的に説明して、課題技術の現状に触れる。

(1) Eave East

New Hampshire 大学 (米) では、自律無人潜水機 (海洋ロボット) Eave East (長さ1.29m×幅1.30m×高さ1.55m×空中重量272kgf：図6.1-1) に、5個のプロセッサを搭載して、外部から制御することなく、湖底 (Lake Winnepesaukee, N. H.) にあるパイプラインを見つけて、それに沿って航走する実験を行っている。

1983年には、図6.1-2に示す構造物を障害物として設置し、うまく構造物をすり抜ける実験に成功している。

1984年、Daedalean Associates Inc. (米) が開発した高速キャビテーションジェットと、リチウム利用の高密度エネルギー源技術を組み合わせて、構造物の表面を自律的に清掃する実験を行い、位置保持等の航

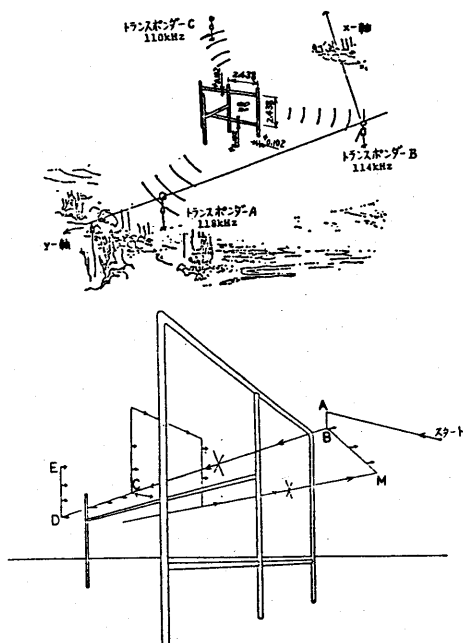


図 6.1-2 EAVE EAST 実験概要

行制御に成功している。

同大学は、知識ベースの航行制御システムの開発に鋭意努力しているが、今のところ、潜水機に搭載するコンピューターによって、ほとんど即時に近い短い時間で、何らかの結論を導き出せるシステムはまだない。図6.1-3に示す開発中のフローにおけるスラスタ制御機能については、比較的早い応答が得られている。

そのほか、米では、Charles Stark Draper Laboratory, Lockheed 社及び Marietta 社等でも研究が進められている。

(2) **Rover**

Heriot-Watt 大学（スコットランド）では、数年以上にわたって、自律無人潜水機の研究開発を推進してきた。

海洋におけるロボット化のための大きな問題点の内、データ伝送、及び誘導に関するインテリジェンスに焦点をあてている。

同大学、米国国防総省先進研究局 (DARPA)、電子総合研究所、海洋科学技術センター等では、レーザーによる伝送も研究しているが、海中では、音響通信が一般的である。減衰、マルチパス、伝送速度、変換器の大きさ等を考慮して、通常、8～100kHzの周波数が用いられている。

前述の Epaulard, Arcs では、数百ビット／秒の伝送速度であるが、トムソン CSF 社は、支援船直下1000m から、20kbits／秒の伝送速度（搬送波60kHz、バンド

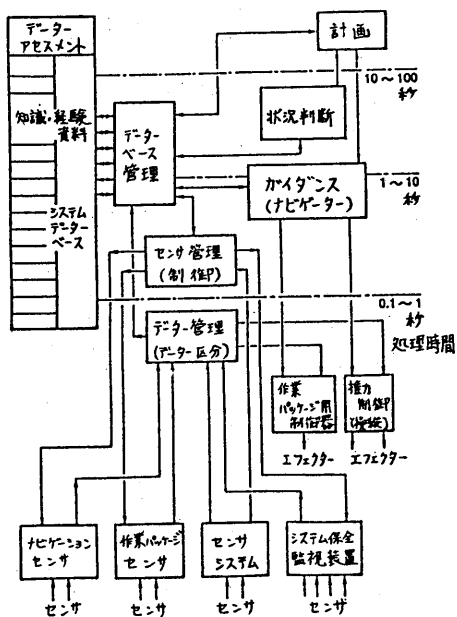


図 6.1-3 EAVE EAST 制御システム

幅20kHz)で、120本の分解能をもつTV画像1画面を、2秒かかって伝送している。画像圧縮には、Motor Nla 68000 32Bits マイクロプロセッサが用いられている。

Heriot-Watt 大学では、搬送波：600kHz、伝送速度：120kbits/秒、伝送距離：100m の水平方向の伝送実験を行っている。また、目視用無策式海中走行型無人潜水機 ROVER（長さ 1.34m×幅0.63m×高さ0.54m×空中重量120kgf）を、ケーブルがあると作業がむづかしくなる構造物内又は近辺での作業を行わせ、Rover から 100m 以内に、中断基地機能をもつ2.41m×幅1.45m×高さ1.45m×空中重量1000kgf）を待機させる Angus システム（図6.2-1）について、海洋実験を北海で行った。

海中での通信には、伝送速度が低いことによる画像圧縮、並びにソーナー・支援船の各種機器が発生する雑音・海老等の生物が発生する様々な雑音等による誤りの訂正が必須となる。

Heriot-Watt 大学では、誤り訂正技術についてはまだ確立していないが、画像圧縮については、フレームレート：4 フレーム/秒、圧縮比：60で、256×256ドットの画像を送信する実験室テストに成功している。

一方、New Hampshire 大学では、圧縮比15の実験に成功している。

なお、有索式の場合、同軸ケーブル又は光ファイバーケーブルを用いると、250kbits/秒(／1000m)又は100～200Mbits/秒(／2000～4000m)程度である。光

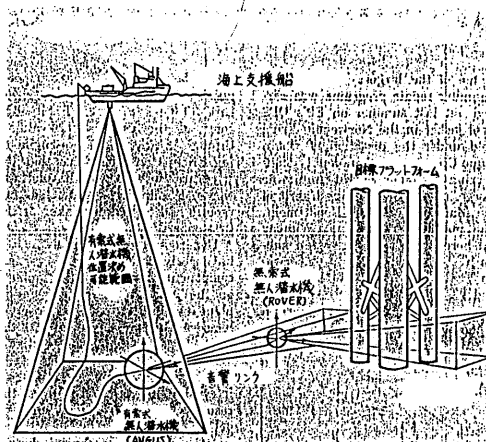
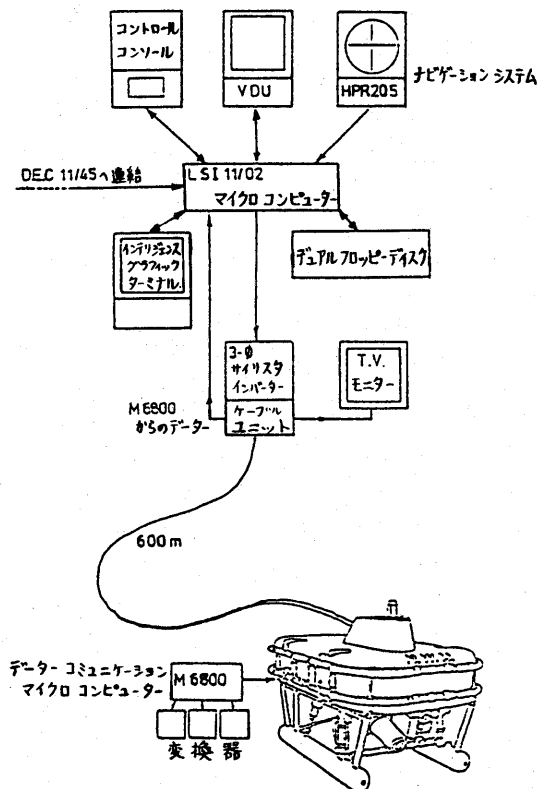
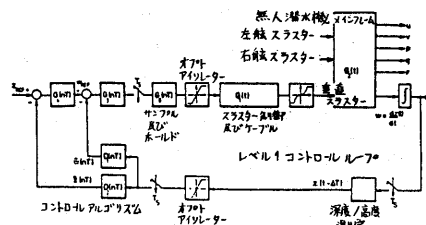
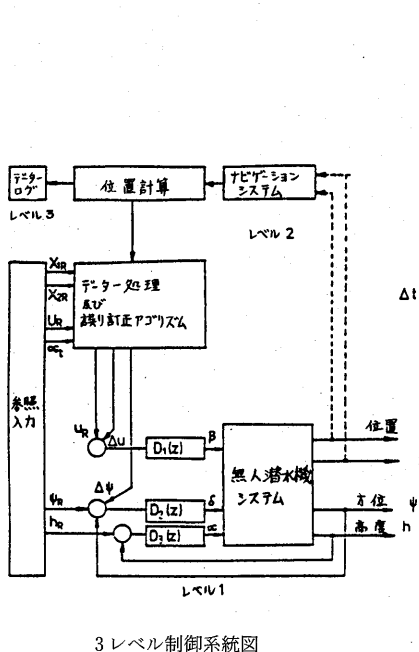
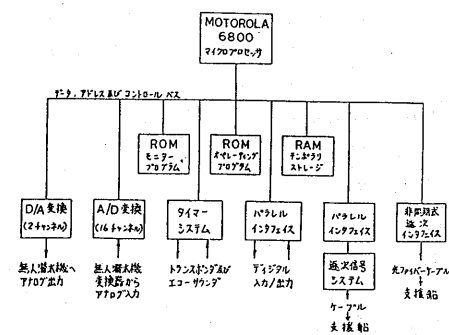


図 6.2-1 ANGUS システム構成図

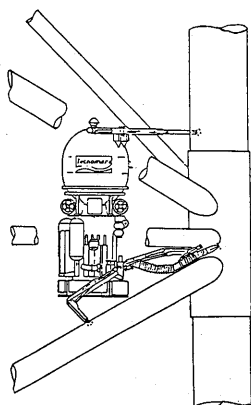


高度制御レベル 1 コントロールループ

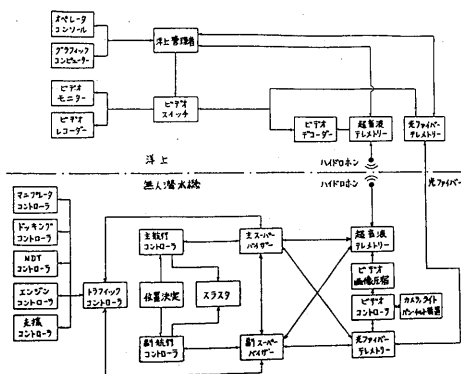


マイクロコンピュータ通信・データ収集システム

図 6.2-2 ANGUS 制御系統図



側面図



系統図

図 6.3 TM308

ファイバーケーブルを ROV に最初に適用したのは、米国海軍の有索式海中走行型無人潜水機 Eave West (長さ2.7m×幅0.56m×高さ0.56m×空中重量204 kgf) である。

また、Heriot-Watt 大学では、無人潜水機を誘導するためのロジックを確立するため、潜水機の機体運動に関するシミュレーションを行い、図6.2-2に示す制御系統図を発表している。更に、判読のむづかしいソナー映像を画像処理して、例えば、プラットフォームに対する潜水機の位置を、アニメーション的にカラー表示している。

(3) TM 308

Tecnomare 社(伊)では、プラットフォームの保守・検査を目的とした海洋ロボットの構想を1983年に発表している。直径1.5m×高さ3.6mの無策式海中走行型無人潜水機である。主な搭載機器としては、マニピュレーター1本、吸着パッド付固着腕4本、清掃用工具(ウォータージェットクリーナー、グラインダー、及びブラッシ各一式)である。

特徴としては、動力源として、10~12時間の連続作業ができる、ピークパワー50kwのクローズドサイクルディーゼルエンジンを採用していることである。

無策式無人潜水機の動力源としては、クローズドサイクルディーゼルエンジンのほかに、二次電池、一次電池、燃料電池等が考えられる。軍用を除けば、経済性、信頼性、取り扱いの容易さ等から、二次電池(鉛電池、銀亜鉛電池、ニッケルカドニウム電池ほか)が多く用いられている。

伊では、潜水艦並びに有人潜水船に、クローズドサイクルディーゼルエンジンを試みており、TM308は、それらのエンジンを基本としている。

TM308の側面図及び制御系統図を、図6.3に示す。

(4) 極限作業海洋ロボット

通産省工業技術院では、ナショナル大型プロジェクトの一つとして、「極限作業ロボット」を推進している。海洋、原子力、防災の三分野を対象としているが、海洋分野では、海洋石油生産プラットフォーム全数の90%以上を占めるジャケットフォームの保守・点検を行うロボット(図6.4)を、1983年から1990年まで8年間、研究開発することを目標としている。環境条件は、対象水深50~200m、潮流2KTS、対象作業内容は、プラットフォームの格点部分を重点とした、外観検査、付着生物の除去、清掃、非破壊検査等である。

主要要素技術は、移動、マニピュレーション、知覚の三技術である。

具体的には、

(a) 可変ピッチ機構を利用して、1基のみで、希望する方向・量の推力を発生できるバリバックプロペラ3基をアクチュエーターとする三次元位置・姿勢・経路制御技術、並びに差圧吸着式エンドエフェクター付6

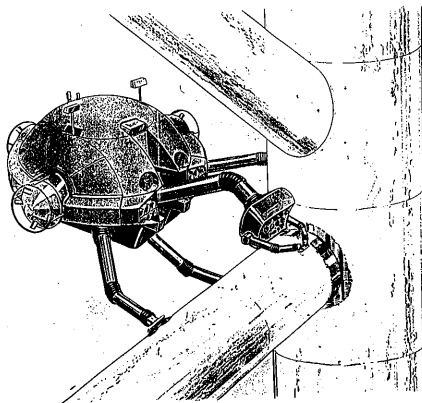


図 6.4 極限作業ロボット (海洋)

自由度脚3脚による機体固着技術,

(b)外乱補償制御と力制御を複合して、展張部付6自由度双腕マニピュレーターによる精密作業を可能とするマニピュレーション技術,

(c)暗黒下でも対象物を検知できるクロスファンビーム電子フォーカス型音響映像センサーによる知覚技術である。

7. おわりに

陸上では、ロボットが、画像認識を行いながら、時速100kmで高速道路を走行することも技術的には可能になったといわれている。

海洋においても、複雑な環境条件を克服して、総合的な意味で、信頼性、経済性に優れたロボットが一刻も早く実現することを期待したいものである。

拙文が、海洋ロボットに関する、皆様のご討論の叩き台になれば幸いである。

参 考 文 献

- (a) 海洋科学技術センター：海中活動新技術の動向調査報告書 1982～84年
- (b) Busby Associates Inc. : Undersea Vehicles Directory 1985～86
- (c) 岡田 裕, 小滝 徹：海中搜索救難システムの開発研究 開発技報第11号昭和60年7月
- (d) 岡田 泰：極限作業ロボット研究開発の現状 日本海洋産業開発協会誌1987年
- (e) 望月光宣：無人潜水機の現状と展望 日本航海学会自動航法研究会1985年
- (f) 機械振興協会 新機械システムセンター：「ロボットによる海洋計測システム開発事業の昭和47年度の成果の概要」

1973年4月

- (g) 金属鉱業事業団：「昭和50年度深海底鉱物資源の新探査技術等の開発調査報告書」1976年3月
- (h) Freudenreich, M. : SKULD-A MODULAR SUB SEA HIGH RELIABILITY SYSTEM
- (i) Castel Yvon and Roirand Gilles : TIM : Remote control Manipulator for Intervention and Maintenance
- (j) Lenning, K. and Archer, E. : Successful Use of Unmanned Submersible, Scorpio, on Deepwater Exploration Drilling Proves Feasibility of Removing Divers
- (k) Walker, W. W. : ROV's of the late '80s
- (l) Watts, R. L. : Cable Controlled Under-water Recovery Vehicle (CURV III C)
- (m) Hampson, D. J., et al : Dragonfly-A Modular R. O. V. produced by a Modular Design Process
- (n) Wernli, R. L. : The Work Systems Package-Remote Work Experience Oceans'79
- (o) Talkington, H. R. : Undersea Work systems, 1981
- (p) Hamson, D. J. : Two Approaches to Under sea Work
- (q) IFREMER : IFREMER RAPPORT ANNUEL 1984
- (r) Russel, G. T. : Tetherless ROV offers major advantages Offshore, Nov., 1984
- (s) Mazzor, M., Brighenti, A. and Prendin, M. : TM308-Towards Tetherless Inspection of Platforms
- (t) University of New Hampshire : An Overview of the Marine System Engineering Laboratory, Sep., 1984
- (u) Blidberg, D. R. : An Examination of the Application of Expert system in Unmanned Untethered Submersibles OCEANS'83
- (v) Scholoser, A. J. : Ten Years of Operational Experience with CURV III
- (w) Hawks, G. S., Etchemendy A. and Earle, S. A. : Bandit : A New Guidewire-Deployed Remotely Operated Vehicle
- (x) Commissariat A L'ENERGIE ATOMIQUE 資料

新製品紹介

Introduction of New Products

GPS 受信器 MX-4400 型

横河ナビテック(株)
営業技術部

城 地 隆

GPS Reciever Type Mx-4400

Yokogawa Navitec Corporation
Sales Engineering Division
Takashi JOCHI

1. はじめに

GPS を民間で使用できるようになったのは最近であり、現在ではまだ受信できる時間が限られた状態ではありますが、日本では既に数社が GPS 受信器の販売を行っています。

各社のねらいを見てみますと、現状では限られたマーケットに絞って製品化しているように思われます。それは、船舶の中でも漁船、商船、その他の船、又、自動車、測量、資源調査のための受信器といったぐあいです。

その中で横河ナビック(株)が販売を行っている安定した測位ができ幅広い用途をねらった MX4400GPS 受信器を紹介します。MX4400 は、NNSS で知られた米国のマグナボックス社 (MX 社) が開発した受信器です。MX 社は GPS 開発初期から参加し米国軍用(陸、海、空)の受信器を開発してきたノウハウを基礎に MX4400 をはじめ種々の受信器の製造販売も行っています。

2. MX4400 の仕様

表 1 は MX4400 の仕様を示しています。仕様については他社と比較しても大きな違いがないのは、「衛星から発信される限定された同じ信号を利用している」「どの受信器も目的は測位である」という理由からと思われるのですが、いかに安定した測位を行い、精度を上げるかによって違いがあるように見られます。MX4400 は

表 1

1. 寸法、重量			
アンテナ本体	375 (H) × 208 (D)	1.25 kg	
AC電源用ユニット	102 (H) × 362 (W) × 326 (D) 110 (H) × 175 (W) × 210 (D)	7.5 Kg 4.6 Kg	
2. 電源/消費電力			
	+10 ~ +28V DC (または 110/220VAC)	20W	
3. 環境条件			
アンテナ本体	-40 ~ +70℃ -20 ~ +50℃	相対湿度 100% 密閉型	
4. 性能			
精度 (実測値)	15m RMS	静止状態	5.1m (30分平均)
初期測位時間	最大3分	速度	0.1knot (0.05m/s)
測位時間間隔	1.2秒毎		
最大速度 (加速度)	400m/s (6m/s ²)		
測位モード	3D-4衛星 2D-3衛星 2D-2衛星		
アンテナタイプ	L1円形極性型アンテナ		
アンテナ最少ゲイン	-4dBic (仰角20度以上)		
受信器バンド	L1帯 (1575.42MHz)		
受信器コード	C/Aコード		
受信チャンネル数	2チャンネル		
受信感度	-143dBm		
5. 入出力			
RS422出力	2ポート	No. 1ポート	生データ出力
		No. 2ポート	測位関連出力
高精度周波数発生器入力	5MHz基準周波数		
方位入力 (オプション)	ジャイロコンパスよりのステッパまたはシンクロ信号		
船速入力 (オプション)	スピードログよりのパルス信号		

飛行機、自動車にも使用できるようになっていますが、船舶用として他社にないところは、2チャンネルの受信器であることと外部から高精度の基準周波数を入力できることでしょう。

3. 特徴と他社との相違

①精度30mRMS

この精度は実際に船舶に搭載して得られた実測値です。

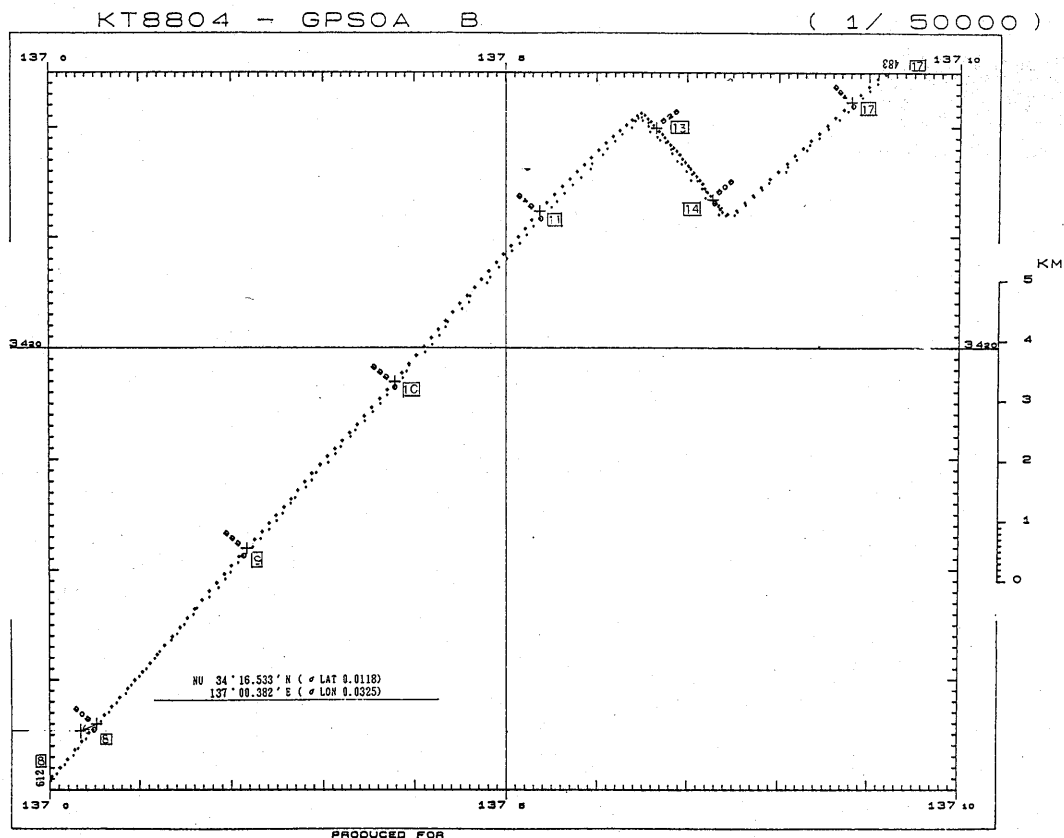


図 1

②安定した測位

MX4400 は 2 チャンネルの受信器を利用しています。日本で他社受信器と同時に測位した結果では極端に外れることはなく安定した測位が行えることが確認されています。

③環境に応じたケース

構造は防滴形で内部には防湿済が標準装備されるようになっています。又、ケースは強固に造られています。

④多目的仕様

船舶のみならず飛行機、自動車にも使用できるものとなっています。又、測位データだけでなく衛星からの生データを標準出力できるようになっており研究用にも使用可能となっています。

⑤ディファレンシャル GPS 対応

現在米国では衛星からの信号を変更し測位精度を 100m まで下げることを計画しています。民間で 100m 以上の精度を要求する場合の方法としてディファレンシャル GPS 方法があげられます。MX4400 はこの方式にも対応できるようになっており、米国では実験が

進められています。

⑥早期 GPS 情報入手

前記しましたように MX 社は開発初期からノウハウを蓄積しており、又、GPS に関する変更等に対して既対応/早期対応ができます。昨年末に衛星からの信号に変更があり、その変更に対して MX4400 は既に対応されているとの情報も入っています。

4. 実験データ

図 1 はハイブリッド航法装置と MX4400 で測位した結果を表わしたものです。図の下から上に船は航海を行い、途中で受信器の追従性能を確かめるため 90 度変針を行っています。このデータからは MX4400 を一台使用するだけで十分な測位ができ、追従性能も何等問題のない事が読みとれます。

5. 終りに

各社の受信器には航路計画等の機能が入っていますが、本来の役目は測位のみであり、1 つのセンサーとして要求されることは「精度が良い」「安定したデータ

を得ることができる」「小形、軽量で強固」「安価」等ですが、MX 社では受信部と外部出力部を組み合わせユニット化した MX4802 の製品化も行っています。又、MX4400 からディフアレンシャル機能を省き案価にした MX5400 も販売しています。

GPS のメリットは「乗組員の作業軽減」「安全な換

船」「経済的航海」のように思われますが、いつでも、どこでも、だれにでもこのメリットを実現するには海図プロッター、トラッキングシステム等と組み合わせる必要があります。商船ではこのメリットは重要なポイントであり、少人化になるに従ってシステムの組合せは重要なものとなると思います。

研究会記事

Records

電波航法研究会昭和62年度事業報告

Records of the Work Carried Out by the Japanese Committee
for Radio Aids to Navigation During Fiscal Year 1987

Secretariat Office of the JACRAN

総会

昭和62年度総会は、昭和62年5月22日14時から、海上保安庁水路部会議室で開催された。出席者23名、委任状提出者38名、計61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. 昭和61年度事業報告が事務局により行われ承認された。
2. 昭和61年度会計報告が事務局より行われ、会計監査、森川 卓 氏及び倉繁 貴志子 氏の監査報告(森川 氏は書面報告)があり、承認された。
3. 昭和62年度会長、副会長の選出が行われ、満場一致で、会長に鈴木 裕 氏が、副会長には木村 小一 氏、飯島 幸人 氏及び鈴木 務 氏が選出された。

また、各幹事の委嘱については原案どおり了承された。

4. 昭和62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. 昭和62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. 昭和62年度第1回研究会は、昭和62年5月22日、海上保安庁水路部会議室で総会に引き続き、「電波標識の思い出について」と題し岡田 實 氏、清

野 浩 氏、田中 仙治 氏及び J. タングエイ 氏による電波標識60周年記念講演が行われた。

出席者は23名であった。

2. 第2回研究会は、昭和62年7月7日、海上保安庁水路部会議室において開催され、電気通信大学保原 信 氏の「知識工学的手法を用いた漢字認識について」、東京商船大学 杉崎 昭生 氏の「AIと船舶運航について」、東京大学 水町 守志 氏の「航空管制におけるエキスパートシステムの検討について」と題する講演が行われた。

出席者は49名であった。

3. 第3回研究会は、昭和62年9月9日、海上保安庁水路部会議室において開催され、海上保安庁田中 正昭 氏の「GMDSSの概要について」、東京商船大学名誉教授 庄司 和民 氏の「第33回 COMにおける GMDSSの審議状況について」と題する講演が行われるとともに、SARTに関するビデオが上映された。

出席者は54名であった。

4. 第4回研究会は、昭和62年12月11日、東京商船大学練習船「汐路丸」において開催され、東京商船大学 飯島 幸人 氏の「備讃大橋における偽像対策実験について」、東京商船大学 林 尚吾 氏の「汐路丸の航法システムについて」と題する講演が行われるとともに「汐路丸」の見学が行わ

れた。

出席者は27名である。

5. 第5回研究会は、昭和63年1月20日、海上保安庁水路部会議室において開催され、海上保安庁佐々木 稔 氏の「人工衛星と航法測地について」、東京水産大学 鈴木 裕 氏の「漁船向け衛星画像の伝送について」と題する講演が行われた。

出席者は47名であった。

6. 第6回研究会は、昭和63年3月24日、海上保安庁第一会議室において開催され、極限作業ロボット技術研究組合 望月 光宣 氏の「無人潜水機の動向について」、日本放送協会放送技術研究所 小島 健博 氏の「最近のディスプレイについて」と題する講演が行われた。

出席者は36名であった。

特別研究会

昭和62年度の特別研究会（見学会）は、昭和62年11月27日、本州四国連絡橋（倉敷市、坂出市）及び11月28日、海上保安庁備讃瀬戸海上交通センター（宇多津町）において開催され、それぞれ施設についての説明を受け、引き続き見学を実施した。

参加者は19名であった。

幹事会

企画及び編集幹事会は、合同で昭和62年5月8日、7月22日、9月9日、12月11日、昭和63年1月20日及び3月24日に開催され、予算案、事業計画、研究

テーマ、行事計画、会誌「電波航法」の編集刊行等について審議が行われた。

会誌発行

会誌「電波航法」第33号及び34号を発行した。

電波標識60周年記念祝賀会

昭和62年5月22日、海上保安庁水路部会議室において、昭和62年度総会及び第1回研究会に引き続き、電波標識60周年記念祝賀会を行った。

出席者は89名であった。

会員数

昭和63年3月31日現在

正	会員	45社	102口
個人	会員	19人	7口（永久会員） 12口（年会員）
推薦	会員	14人	
特別	会員	39人	

会員の異動

1. 入会

- (1)個人会員 小野 確良 氏（永久会員）
(2) " 高橋 恵 氏
(3)個人会員 佐野 典達 氏

2. 退会

- (1)個人会員 淵本 正勝 氏
(2) " 鈴木 恒由 氏

3. 名称変更

- (1)正会員 横河電機(株)→横河ナビテック(株)

電波航法研究会 昭和63年度予算

収入の部	項 目	金 額	摘 要	支出の部	項 目	金 額	摘 要
	前年度より繰越	718,837円			会 議 費	150,000円	研究会、幹事会、専門部会
入 会 費			正会員 106口×12,000=1,272,000 (昨年度未収分を含む) 個人会員 14口×2,000=28,000 年会員 (昨年度未収分を含む) 入会金 2人×1,000=2,000 個人会員	支 出 費	会誌出版費	900,000円	会誌35号分
					事 務 費	140,000円	
					編 集 費	20,000円	
					会 計 費	40,000円	
				支 出 金	謝 金	76,000円	
雑 収 入		2,000円	会誌販売等		通信交通費	130,000円	
広 告 料		85,000円	会誌35号分		予 備 費	654,837円	
銀 行 利 子		3,000円					
計		2,110,387円			計	2,110,837円	

電波標識

A 5 判 クロス装製 函入

上巻 2,200 円 311 ページ

下巻 2,800 円 313 ページ

編集：電波標識編集委員会

各種の電波航行援助システムについて、実地的なデータにより、簡潔にわかりやすく説明してあります。航海者や学生の方々に最適の解説書です。

上巻：総論，誤差論，中波標識及び無線方位測定機，ロランA，C，デッカ

下巻：オメガ，ハーバーレーダ，マイクロ波無線標識，レーダレフレクタ，航行衛星

▶購入申し込み方法

一般書店では扱っておりませんので、

右記に直接お申し込み下さい。

〒272 千葉県市川市大野町 2 の 657

鶴巻書房 (代表 川俣貞子)

T L E 0473-37-0268

——電波航法——

——ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW——

平成元年11月10日 印 刷 1988

平成元年11月15日 発 行 No. 35

編 集 東京都千代田区霞ヶ関 2-1-3 運輸省 9 階
発 行 海上保安庁燈台部電波標識課気付

電 波 航 法 研 究 会

Japanese Committee for Radio

Aids to Navigation

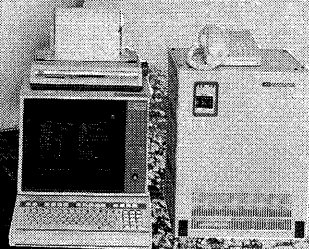
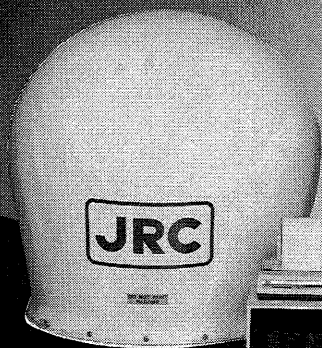
c/o Radio Navigation Aids Division
of Maritime Safety Agency

2-1-3, Kasumigaseki, Chiyoda-Ku,
Tokyo, Japan

印 刷 東京都新宿区早稲田鶴巻町 565-12 啓文ビル
(有) 啓 文 堂 松 本 印 刷

JRC 海事衛星通信用船舶地球局 JUE-45A

よりコンパクトに、より高機能に、世界一の
実績をベースに、強力な新型誕生。



世界の海に世界の船に

JRC 日本無線

東京都港区赤坂2丁目17番22号
(赤坂ツインタワー本館)
TEL 03-584-8787 (ダイヤルイン)

コミュニケーション空間の限りなき革新をめざし

営 業 品 目

■機 器

無線応用・航法援助機器
無線通信装置
電子応用装置
事務機・OA関連機器

■電源装置

放送通信機器用
電力プラント用
鉄道関係用
事務機器用

■部 品

コンデンサ、トランス
ラインフィルタ
バンドパスフィルタ
PFN



長野日本無線株式會社

本社・工場 〒381-22 長野市稲里町下氷鉤1163番地
☎長野(0262)85-2525(代表) 加入電信3322-119
東京支社 〒107 東京都港区赤坂2丁目17番22号赤坂ツインタワー本館11F
☎東京(03)584-1621(代表)

——エレクトロニクスの

OKI

水中音響技術をリード。

水中音圧計はハイドロホンを吊下するだけでどなたにでも容易に水中音圧レベルを測定することができます。音圧レベルの直読や録音もでき、しかもポータブルタイプですので使用場所を選びません。手軽に使用でき、幅広い利用範囲を持ったレベル計です。

仕様

- 測定周波数範囲……10Hz～100kHz（オプションにより250kHzまで測定可能）
- 測定音圧範囲…100～180dB(0dB=1 μ Pascal)
- フィルタ……HIGH PASS、LOW PASS
外部フィルタ端子付
- レベル校正……内蔵発信器により可能
- 寸法……W320×D230×H90(mm)

特長

- 小型軽量ポータブルタイプ
- AC、DC両電源可能
- 音圧レベルの直読可能
- 高精度テープレコーダなどに録音可能

応用範囲 ●ソナー、ピンガ、トランスポンダ、測深機、魚群探知器などの動作診断や性能確認 ●海中雑音の測定 ●海岸工事や水中工事雑音の測定 ●船体振動やスクリューなどによる船舶航走雑音測定 ●海中騒音公害モニタ用●その他あらゆる水中音の聴音、測定、監視



小形軽量ポータブルタイプ

SW1020

水中音圧計

沖電気工業株式会社 官公営業本部 〒105 東京都港区虎ノ門1-17-1 (第5森ビル) ☎(03)501-3351 (代)

夢をかたちに 信賴と創造の 富士通

FUJITSU

富士通の 光ディスク電子ファイル EFSは、

▼大量の文書を収納でき、
12インチの光ディスク1枚にA4文書10万
枚(CCITT標準200dpi)の書類を収納。
欲しい書類をすぐに検索。

▼ネットワークも得意で、
FACOM MシリーズやFACOM Kシ
リーズをホストコンピュータとして接続し、
大量の情報を活用。さらにEFS、パソコン
などつなげてネットワークを構築。

AutoRec
キーワード自動登録機能

(さらに).....

マウスを使ってキーワード設定もワンタッチ

文書登録が断然カンタンだから、

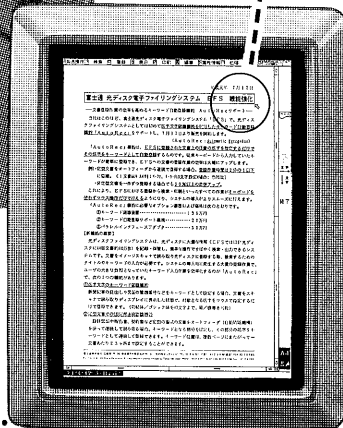
文書中の一部をマウスで
指定するだけで、キーワー
ドの登録が完了します。

平成元年 7月12日

EFS 機能強化

utoRecサポート

「EFS」で、光ディス
クキーワード自動登録



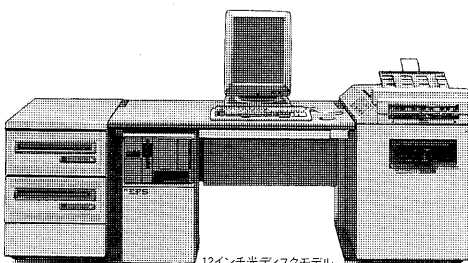
富士通のEFSに、新開発のキーワード
自動登録機能「AutoRec」が装備。
キーワードの設定は、文書中の一部
分をマウスで指定するだけでOK。しか
も入力から登録、検索、編集まですべ
てマウスによるアイコン指定だけで操作
できます。

キーワード認識装置
F3077A1



●新開発のAutoRec機能により、キーワードの登録を自動化
●400dpiの高解像度による鮮明入出力●最大A3サイズまで
の原稿が出入力可能●かな漢字変換で容易に日本語入力
●最大16画面表示可能なオーバーラップマルチウィンドウ
●32ビットCPUにより、印刷中にも入力や検索、編集などの
操作が可能●JIS配列とQWERTY配列の親指シフトキーボード
の2タイプが選択可能●操作がより簡単なマウスを採用

4月1日以降全ての事務用機械並びにそれに関連する消耗品および役務に關し
ては、3%の消費税がかかることになりました。税抜き表示価格に加えて、別途消費税
をお支払い頂くこととなりますのでご承知願います。(仕入税入日本事務機械工業会)



12インチ光ディスクモデル

富士通光ディスク電子ファイリングシステム

EFS
Electronic Filing System

お問い合わせおよびカタログ請求は——富士通株式会社 官庁第一営業部 〒100 東京都千代田区丸の内1-6-1 ☎(03)216-3211(代) 大阪支店 〒530 大阪市北区堂島1-5-17 ☎(06)344-1101(代)