ĪSSM 0287-6450 Demer Hidlic

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

# 建级统统

JACRAN 42
2000

電波航法研究会発行

Published by the Japanese Committeefor Radio Aids to Navigation

# 高騒音下での作業に最適!

~ 遮音型トランシーバー~



#### 特長

- 特殊マイク(骨伝導型、咽頭型) を使用しているため、 騒音の多い場所でも明瞭な通信が可能です。
- 400 MHz 帯特定小電力無線を使用していますので、 免許、資格が不要です。
- ハンズフリーで通信可能な二周波同時送受話方式と VOX (音声入力自動送信)による交互通話方式の2 機種があります。
- すべての機能がヘッドセットに収納されているため、 外部には不要なケーブルがありません。



充電用ジャック

骨伝マイク

# 長野日本無線株式會社

〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷5丁目33番8号 CC 03 (5360) 4560 営業本部

# コミュニケーション空間の限りなき革新をめざし

#### 業品

#### 器 ■機

無線応用・航法援助機器 無線 装 置 通信 電子応用 装 置 事務器・OA関連機器

#### ■電源装置

放送用通信機器用 電力プラント用

#### ■部 品

コンデンサ. トランス ラインフィルタ 鉄 道 関 係 用 バンドパスフィルタ 事 務 機 器 用 P F Ν

# JRC 長野日本無線株式會社

本計・工場 〒381-2288 長野市稲里町下氷鉋1163番地 ☎026(291)1111 営業 本部 〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷5丁目33番 8号 2503(5360)4560

## 一目 次一 CONTENTS

頭 言	云文 圬	不		195( I
oreword Cha	airman Tutoi	nu S	UZU	KI .
<b>兌層圏無線中継システムの実用化にむけて</b>	竹	内	芳	明(3
oward the Realization of the Stratospheric Radio-Relay System	m Yoshiaki′	ΓAΚ	EUC	CHI
カき出した「ITS」とフロントランナー「VICS」の進展	青	木	和	之(9
ntelligent Transport Systems (ITS) in the First Operational Tehicle Information and Communication System (VICS) as	-	_	s of	
		uyuk	i AC	KI
解説]飛行船型成層圏プラットホームの研究開発		田	昌	彦(19
& D on Stratospheric Lighter-Than-Air Platforms	Masa	hiko	ONI	DA
OLAS条約第V章改正	今	津	隼	馬( 29
	Hav	ama	Ima	9.Z11
<b>国際宇宙ステーション計画</b>		Ш		康(37
nternational Space Station Program	Yasudh			
nernational Space Station Frogram	rasudn	1 110.	rika	wa
ガフロートにおける計器着陸システムの実験				

## 巻 頭 言

## 電波航法の値段と民営化

電波航法研究会 会長 鈴木 務

Chairman Tutomu SUZUKI

イリジウムシステムが会社更生法を申請した。自分の 携帯電話を持ち歩いて世界中で通話が出来るイリジウム 電話は「何時でも、何処でも、誰でも、会話が出来る」 という通信の夢を実現出来るシステムとして 20 世紀末 に登場したユーザーの数が予想ほど伸びないで赤字経営 となってしまった。

世界中で現在最も多くのユーザが利用している GPS はアメリカの軍用システムとして維持管理されているので無料で使用している。アメリカは時々 GPS の有料化をほのめかし使用料の試算をした論文も発表されている。 GPS はゴールド符号という擬似ランダム信号を使用しており我々が利用できるのはC/A信号で、精度が高い P信号はアメリカ軍用しか開放されていない。擬似ランダム信号は簡単に符号を変換できるので有料のC/A信号に切り替えることは可能である。当分は無料で GPSを提供するというアメリカの言葉を信じてますますユーザの数は増大している。

イリジウムは民営だから破産したが GPS は公営だから安全だという保障はない。

規制緩和と民営化の要求を外部から受けてわが国の政府、公社、協会から大学までが組織と運営に変革を求められている。競争原理を取り入れて能率を向上して採算制を高める効果が期待されている。国立大学を独立行政法人とする改革案に国立大学協会や教官有志が反対声明を出した。知識を探求する学問は利潤や利便を追求しても成果が得られないと言う意見が出ているが、他方で私立大学は税金を使わないで研究成果を挙げているではな

いかとの反論もある。

航法には援助が不要な自立航法と援助が必要な航行援助方式がある。天文航法や慣性航法などの自立航法は自分の力で航行するので民営化されていると考えてもよいが、航行援助システムは公費でシステムを構築して運用しているので民営化に問題が生じる。道路の信号、標識やブイなど国や自治体が責任を持って設備して運営しないと市民が安心出来ない。ロラン、GPS、海上交通センターなどは公費で運営されている。

然し、民営化された航行援助が生まれつつある。 PHS電話を利用した発信者の位置を200m程度の誤差で確認できる。PHS中継局の位置からその近くで使用している者の位置が見付けられる。徘徊老人に発振機を持たせて位置を捜し出す研究もされている。道路情報システム、VICSではGPSや道路に取り付けた発信機からの情報による自動車の位置を地図上に表示している。 VICSの機器の値段にシステムの施設費や運用費を含めてあるので購入するときだけ負担をして利用料は払わない。開発中の高度道路交通システム、ITSにも航法情報が含まれるが民営システムとなる。

海上における航行援助システムも将来民営化または独立法人化しろとの天の声?が出てくるかもしれない。位置測定に金を払う日がくるかも知れない。サーピス情報にコマーシャルを入れることから無料となるかも知れない。電波航法に値段を付ける必要が出て来るかもしれない。イリジウムの破産から電波航法の値段(価値)についてあらためて考えさせられます。

## 成層圏無線中継システムの実用化にむけて

郵政省電気通信局電波部衛星移動通信課企画官 次世代航空通信システム開発室長 竹内 芳明

Toward the Realization of the Stratospheric Radio-Relay System

Yoshiaki TAKEUCHI

Senior Advisor, Aero Stratosphere Communications Advancement Office, Mobile Satellite Communications Division, Radio Department, Telecommunications Bureau, Ministry of Posts and Telecommunications

#### 1. はじめに

郵政省と科学技術庁が連携して平成 10 年度より取り 組んでいる研究開発プロジェクトに、「成層圏プラットフォーム」とは、気象条件が比較的安定している高度約20 kmの成層圏に、通信機材、観測センサ等を搭載した無人の飛行船を滞空させ、通信・放送及び地球観測等に利用しようとするシステムです。このうち、郵政省が担当している、固定通信、移動通信、放送等の無線通信システムに利用する成層圏プラットフォームを特に「成層圏無線中継システムに成層圏無線プラットフォーム)」と呼びます。郵政省では、大空に通信ネットワークを構築することにちなんで、この計画を「スカイネット計画」と位置付け、取り組んでいます。以下、成層圏無線中継システムについて概要、研究開発の経緯、研究開発推進体制、研究開発の進捗状況を中心に述べます。

#### 2. 成層圏無線中継システムについて

#### 2.1 成層圏無線中継システムの概要

成層圏は高度  $10 \, \text{km}$ から  $50 \, \text{km}$ 程度に位層する大気層のことです。

成層圏無線中継システムの中継基地(プラットフォーム)が滞空する予定の地上高度約20kmとは

- ・静止衛星のそれの1/1800
- ・低軌道周回衛星(Low Earth Orbit: LEO)のそれの1/35~1/500
- ・ジェット機航行高度の2倍から3倍。

その環境【雨や台風のような気象現象とは無縁】は、

- 平均気温が -60 度から -50 度程度
- 風速が比較的安定
- ・空気密度(気圧)が地上の1/15~1/20程度。

成層圏無線中継システムは、このような性質を持つ成 層圏に通信機材を積んだ飛行船を滞空させ、次世代通信 システムを構築するものです。ここで、成層圏無線中継 システムの利用イメージを図1に示します。

#### 2.2 成層圏無線中継システムの特長

成層圏無線中継システムには、代表的な情報通信インフラである光ファイバや人工衛星等と比べていくつか優れた特徴がありますが、そのうち主なものは次の通りで

オ

#### 2.2.1 未利用の周波数の利用により高速通信が可能

人類による電波の利用は、ヘルツによる電磁波の存在の実証によって本格的に始まり、これまでわずか一世紀の歴史しかありませんが、無線通信技術の発展は戦後特に著しく発展し、近年では、携帯電話の利用が急激に増加するなど電波に対する需要が非常に高まっています。しかしながら、もともと電波は有限希少な資源であるため、これらの需要に対応する新たな周波数帯を開発することが喫緊の課題となっています。

このような状況で、ミリ波帯(周波数が30ギガヘルツから300ギガヘルツ:ギガは10の12乗)と呼ばれる高い周波数の電波(図2参照)は、高速通信を実現可能な周波数として従来より注目されていましたが、これらの周波数は、伝搬距離が長くなるにつれて伝搬損失が非常に大きくなるため、必ずしも十分に利用されてきませんでした。

つまり、ミリ波の優れた特徴を活かすには、短い伝搬 距離で用いることが大変重要な要素になるわけです。成 層圏無線プラットフォームによる無線中継は、人工衛星 等の伝搬距離と比較すると極めて短いため、伝搬損失は 静止衛星の約400万分の1であり、比較的少ないと考えられます。

したがって、これまで様々な無線通信システムで利用 されてきた周波数に加え、成層圏無線中継システムでは これらミリ波のような未利用の周波数も利用可能である ため、より高速な通信が可能になるだけではなく、周波 数の効率的な利用が期待されます。

#### 2.2.2 機動性があり、回線設定が容易

無線中継基地となる飛行船を移動させることができるので、通信需要がある地域に対して臨機応変に通信回線を設定することが可能になると期待されています。例えば、平成10年2月に冬季オリンピックが開催された長野では、開催期間中、通信需要が急激に高まりました。このような場合、成層圏無線中継システムを利用すれば、通信回線のパンクを防ぐことができ、必要な時期に必要な通信容量の回線を設定することができると考えられます。こういった機動性の高さは、光ファイバのような地上系情報通信インフラと比べると、注目すべき長所と言えるものです。

#### 2.2.3 災害に対して強い

平成7年1月に発生した阪神・淡路大震災では、地上 の電話回線は大きな損害を被りました。つまり、地上系 情報通信インフラを利用した通信は災害に対して脆い面を常に持ち合わせているのですが、成層圏無線中継システムは、飛行船を中心として空中に構築される通信ネットワークであることから、このような災害による損害を少なくできることが期待されます。

#### 2.2.4 広域性(都道府県又は数県にまたがる)

成層圏プラットフォームは1機で広いサービスエリアをカバーすることができます。また、複数の成層圏プラットフォームを一定間隔で配置することにより、より広域にわたってサービスを行うことが可能です。

また、2~3年毎にメンテナンスを行うことにより、 LEOの5~7年に比較しても長寿命が期待されます。 そのため、システムが経済的に構築でき、低価格でサー ビスの提供が可能であると考えられます。

#### 2.2.5 その他

その他の特徴としては、前述のとおり、静止衛星等に 比べて伝搬距離が短いため、双方向通信の支障になる伝 搬遅延はLEOの240msに対して0.2ms程度とほとん ど無視でき、円滑な通信が可能であり、技術の発展に あわせて最適な搭載機器に交換することによりプラット フォームの再利用や高度利用が可能であるなど、他の情 報通信インフラにはない点が挙げられます。

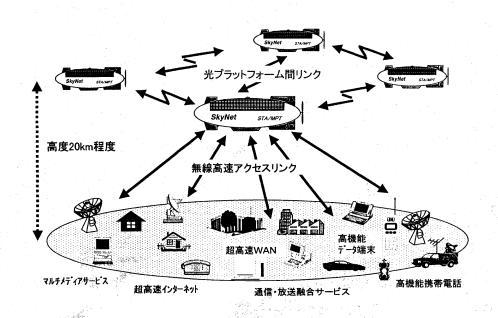


図1 成層圏無線中継システムの利用イメージ

	周 波 数	名 称	主	な	用	途
1	3 THz —	光領域 周波数帯	光通信システム			
多	(3兆Hz)	サブミリ波		【未利	月 用 周 波	:数 帯】
5	300 GHz — (3000 億Hz)	臣母臣 まり渡				
	20 015		一部のレーダ等	成層	图無線中継3	ノステム
伝送でき	30 GHz — (300 億Hz) 3 GHz —	SHF マイクロ波	衛星通信 • 衛星法 中継、放送番組中			
る情報	(30 億Hz) 300 MHz —	UHF 極超短波	テレビジョン放送 コードレス電話、			₹、PHS、
の量	(3 億Hz) 30 MHz —	VHF 超短波	テレビジョン放う無線呼出し(ホケゥ			
	(3000万Hz) 3 MHz —	H F 短波	短波放送 • 国際放	女送、船舶	自•航空通信	
少ない	(300万Hz) 300 kHz —	M F 中波	中波放送(AMラ 船舶・航空用ビー			融行)
	(30 万Hz) 30 kHz	L F 長波	船舶・航空用ビー	- コン、 <del>テ</del>	デッカ (無続	<b>康航行)</b>
	(3万Hz) 3 kHz —	V L F 超長波				
	(3000万Hz)	mas		.*		

図2 周波数とその用途

# 2.3 成層圏無線中継システムにおいて想定されるサービス

成層圏無線中継システムは2.2で述べたような特長を有しているので、具体的には次のようなサービスを行うことが想定されています。

- ① 固定サービス災害時通信、加入者系無線アクセス
- ② 移動系サービス移動通信網補完
- ③ 放送サービス地上波の代替、素材伝送、蓄積受信方式放送、通信・放送融合サービス
- ④ その他

成層圏プラットフォームは、成層圏無線中継システムのような通信・放送だけではなく、地球観測分野での利用も考えられています。人工衛星によって得られたデータに加えて、さらに低い高度で観測する成層圏プラットフォームによって得られたデータを用いることで、より詳しい解析を行うことが可能であることから観測データの精度が向上することが期待できます。

#### 3. 周波数の分配

成層圏無線中継システムを実現させるには、プラットフォームとなる飛行船を成層圏に滞空させなければなりませんが、同時に無線中継を行うための周波数が割り当てられることが必要です。

#### 3.1 ミリ波帯

前述のとおり、成層圏プラットフォームはミリ波などを利用した高速通信が期待されています。1997年に開催された国際電気通信連合(International Telecommunication Union)の世界無線通信会議(World Telecommunication Union: WRC -97)において、高高度プラットフォーム局(WRCでの成層圏プラットフォームの呼称)用の周波数として、ミリ波帯である  $47\mathrm{GHz}$ 帯がはじめて分配されました。

#### 3.2 その他の周波数帯

より成層圏プラットフォームを利用しやすくするには、移動通信、固定通信、放送といった幅広い業務に適した 周波数帯域がそれぞれに必要です。そのため、ミリ波の 他の周波数帯の追加分配を目指し、来年2000年に開催 される予定のWRC-2000に向けて準備を進めている ところです。

#### 4. 研究開発

#### 4.1 研究開発の経緯

成層圏に無線中継基地を作り、情報通信インフラとして利用するという構想は古くからありました。わが国では、郵政省が平成元年より取り組んでいます。

平成元年9月 成層圏無線中継システム調査研究会 (座長:鳥井弘之/日本経済新聞論説 委員)発足、成層圏無線中継システム について基本的な検討を実施。

平成8年8月 通信総合研究所 (Communication Research Laboratory: CRL) がマイクロ波送電による小型飛行機飛行実験を実施。

平成8年12月 成層圏無線中継システムの実用化に向けた調査研究会(座長:鈴木務/日本工業大学教授)発足、成層圏無線中継システムの実用化に向けて、同システムの基礎的な調査を実施するとともに、開発・導入に向けた技術的課題の明確化、研究開発の指針作りを実施。

平成9年5月 成層圏無線中継システムの実用化に向けた調査研究会報告書完成、成層圏プラットフォーム無線中継システムの実現の可能性を確認。

一方、科学技術庁においても平成9年度より成層圏プラットフォームの飛行船システムに関する検討が実施されています。

#### 4.2 研究開発体制

成層圏プラットフォームの研究開発は、郵政省及び科 学技術庁傘下の研究機関などを中心に行われています。 両省庁の担当分野は次のとおりです。

#### ①郵政省

- ・飛行船の追跡管制システム:通信・放送機構三鷹成 層圏プラットフォームリサーチセンター
- ・通信・放送用搭載機器:通信・放送機構横須賀成層圏プラットフォームリサーチセンター

#### ②科学技術庁

- 飛行船全体システム: 航空宇宙技術研究所
- 地球観測用搭載機器:海洋科学技術センター 宇宙開発事業団

郵政省の関係では、所管法人である通信・放送機構が、 追跡管制システムの研究開発のために東京都三鷹市に、 また搭載機器の研究開発のために神奈川県横須賀市に、 成層圏プラットフォームリサーチセンターを開設しています。三鷹にあるセンターは、飛行船全体システムの研究開発を担当している科学技術庁航空宇宙技術研究所と連携するために、同研究所の近くに設置されています。一方、横須賀にあるセンターは、情報通信分野の関連企業の研究施設や通信総合研究所横須賀無線通信研究センターなどが集結する横須賀リサーチパーク(Yokosuka Research Park: YRP)内に設置されており、通信総合研究所横須賀無線通信研究センターがその研究開発に協力しています。

#### 4.3 現在までの研究開発状況

追跡管制システムについては、平成10年度には、飛行船システムの運用イメージを検討し、その運用に必要な追跡管制システムの概念検討を行いました。さらに、既存技術の調査を行い、最適な追跡管制システムを実現する上で必要な技術課題の抽出とその対策を検討しました。

通信・放送ミッションについては、成層圏プラットフォーム中継による固定・移動体通信及び放送の概念検討を行いました。

その他、飛行船システムについては、科学技術庁航空 宇宙技術研究所が詳細なフィージビリティ・スタディを 行い、今後の技術トレンドを前提とした成層圏プラット フォーム飛行船システムの成立性を検討しました。

#### 5. 研究開発推進体制 (成層圏プラットフォーム 開発協議会)

平成10年3月、成層圏プラットフォームの早期実現に向け、産業界、学識研究者、関係省庁など、産学官の連携を図るため、「成層圏プラットフォーム開発協議会」(会長:藤井義弘/経団連情報通信委員会委員長(日立造船(株)会長)が発足しました。同協議会では、成層圏プラットフォームに関する研究開発方針などの検討、意見交換、情報交換などが行われています。また、同協議会の下には、研究開発評価、飛行船、通信・放送及び地球観測の各部会が設けられています。

#### 6. 研究開発計画の策定

郵政省と科学技術庁は平成10年度のフィージビリティ・スタディの結果を踏まえ、本研究開発の当面の方向性を与えるために、研究開発の目的、研究開発課題、研究開発スケジュール、研究開発体制についてまとめた「成層圏プラットフォーム研究開発計画案」を作成しました。平成11年8月4日には「成層圏プラットフォームの研究開発」に対して国民に意見を求めたところ、17件の意見の提出がありました。

また両省庁は、平成11年6月、成層圏プラットフォーム開発協議会に「成層圏プラットフォームの研究開発」に対する評価を依頼したところ、同年9月に「成層圏プラットフォームの研究開発評価報告書」の提出を受けました。その総合評価の概要は次のとおりです。

- ① 前例のない技術分野を世界のフロントランナーと して切り開き、国際的に貢献することは大変意義深い。
- ② 様々な課題を解決しながら世界をリードするよう、 このプロジェクトを着実に推進すべき。
- ③ 今後の研究開発の成果等を踏まえた柔軟な研究開 発運営、及び関係機関との連携が必要。
- ④ 今回の指摘事項が研究開発に反映され、十分な成果を上げることを期待。

#### 7. 成層圏プラットフォーム研究開発計画

郵政および科学技術の両省庁は、6の評価及び国民からの意見を踏まえて成層圏プラットフォーム研究開発計画を確定しました。その概要は次項のとおりです。

#### 7.1 研究開発課題

#### 7.1.1 飛行船システム

- ① 飛行船製作、追跡管制等の運用技術等の確立が可能な全体システムの最適設計
- ② 大規模膜構造技術、飛行制御技術、超軽量膜材料
- ③ 低抵抗の空力形状の選定、空力設計技術、高効率 推進技術
- ④ 太陽電池及び再生型燃料電池からなるクリーンな 電力供給技術
- ⑤ 熱•浮力制御技術
- ⑥ 風観測·予測技術、追跡管制技術
- ⑦ 飛行船製造・組立て及び整備・検査技術

#### 7.1.2 通信・放送ミッション

- ① 広帯域伝送を可能とするマルチビームホーンアンテナ
- ② 様々な伝送速度に対応可能な搭載用交換中継技術
- ③ 成層圏プラットフォーム間光通信技術、成層圏プラットフォーム用端局技術
- ④ 様々な帯域を持つマルチメディアデータに対応可能な無線アクセス技術

#### 7.2 研究開発スケジュール

飛行船システムについては、平成11年度より、全体システムの最適設計技術のほか、膜材料及び膜構造、空力・推進・電源技術等の革新的要素技術、運用・追跡管

制技術等の研究開発を実施します。

通信・放送ミッションについては、平成11年度より、 搭載機器の研究開発、周波数の有効利用及び様々な帯域 を持つ多くの利用者の収容が可能な無線アクセス制御技 術の研究開発を実施します。平成12年度より、通信・ 放送アプリケーションの研究開発を実施します。

技術実証については、平成11年度より技術実証機の計画・検討、実験場等の調査・検討を実施。また、平成12年度より個々のシステム技術及び全体システムの研究開発を行い、平成15年度より飛行実証試験を実施する予定です。

なお、郵政省のホームページに「成層圏プラットフォームの研究開発 評価報告書」、「成層圏プラットフォーム研究開発計画」、国民からの意見並びにそれらに対する郵政省と科学技術庁の考え方等を掲載しています。

#### 8. おわりに

成層圏プラットフォームは、航空宇宙、情報通信、地球観測など、多様な先端技術を結集して初めて実現されるシステムです。そのため、研究開発にも困難が伴いますが、これを世界に先駆けて開発することは、これまで当該分野において欧米の後塵を拝してきた我が国が、大いに貢献できる良い機会と考えられます。

今後郵政省では、この成層圏無線中継システムの実現 に向けて、成層圏プラットフォーム研究開発計画に従っ て、関係機関などと密接に連携しながら、着実に成層圏 無線中継システムの研究開発に取り組んでまいります。

【スカイネット計画に関するお問い合わせ先】 郵政省電気通信局電波部衛星移動通信課振興係

TEL: 03-3504-4859 FAX: 03-3595-0967

E-MAIL: skynet@mpt.go.jp

郵政省ホームページアドレス:http://www.mpt.go.jp/

## 動き出した「ITS」と フロントランナー「VICS」の進展

脚道路交通情報通信システムセンター 青木和之

Intelligent Transport Systems (ITS) in the First Operational Stage, and Progress of Vehicle Information and Communication System (VICS) as its Front-runner

Kazuyuki AOKI

Vehicle Information and Communication System Center

#### 1. はじめに

ITS (高度道路交通システム) については、巷間、インターネットと並んで高度情報社会が進展する 21 世紀に向けての社会、経済発展のキーワードと言われているが、すでに実用化されているナビゲーションシステムの高度化としての VICS (道路交通情報通信システム)、平成 11 年度末の運用開始が予定されているノンストップ自動料金収受システムの (ETC) 等、実用の域に達しているものもかなり見受けられるようになっている。

ITS構想は、現在、年間約12兆円の損失を生じていると言われる交通渋滞、年間約80万件を数える交通事故と約1万人の死者数、さらに、 $CO_2$ の約20%を排出する車による環境の悪化等を改善し、安全性の向上、交通の円滑化、環境の保全、ひいては、経済活動の効率化、市場の創出等を図ろうとするものである。

内閣に設置された高度情報通信社会推進本部は、平成 7年2月に「高度情報通信社会推進に向けた基本方針」 を策定し、国が推進すべき重要項目としてITSを明確 化した。

引き続き、警察庁、通商産業省、運輸省、郵政省、建設省の関連5省庁は、平成7年8月に「道路・交通・車両分野における情報化実施指針」を策定し、ITSの開発分野、推進方策を公表し、さらに、平成8年7月にはこれを補完する形で「高度道路交通システム(ITS)推進に関する全体構想」を取りまとめ、開発や実用化に向けた取り組み、スケジュール等を明示した。

#### 2. 動き出した ITS

#### (1) 推進構想

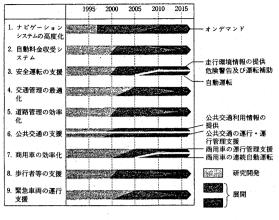
ITSの全体構想は、第1表に示すように、9の開発分野と20の利用者サービスから構成されている。また、

#### 第1表 ITSの全体構想

	艮 IISの全体構想
開発分野	利用者サービス
1. ナビゲーションシステム	(1) 交通関連情報の提供
の高度化 (VICS)	(2) 目的地情報の提供
2. 自動料金収受システ ム (ETC)	(3) 自動料金収受
3.安全運転の支援	(4) 走行環境情報の提供
(AHS/ASV)	(5) 危険警告
	(6) 運転補助
	(7) 自動運転
4.交通管理の最適化	(8) 交通流の最適化
(UTMS)	(9) 交通事故時の交通規制情報の提供
5. 道路管理の効率化	(10) 維持管理業務の効率化
	(11) 特殊車両等の管理
	(12) 通行規制情報の提供
6. 公共交通の支援	(13) 公共交通利用情報の提供
	(14) 公共交通の運行・運行管理支援
7. 商用車の効率化	(15) 商用車の運行管理支援
1	(16) 商用車の連続自動運転
8.歩行者等の支援	(17) 経路案内
	(18) 危険防止
9.緊急車両の運行支援	(19) 緊急時自動通報
	(20) 緊急車両経路誘導・救援活動支援
L	

ITSの推進スケジュールである開発・展開計画は、 第1図のとおりである。

ここで、ITSの発展段階を国民生活との関わりから見ると、2000年前後の第1フェーズは、ITSの始まりの時期であり、一部先行システムのサービスが開始され、① 渋滞情報、最適経路等のナビゲーションシステムへの表示により、移動時間の短縮や快適な移動が可能となる、② 自動料金収受の開始により、料金所での渋



第1図 ITSの開発・展開計画

滞が解消され始める。

2005年頃の第2フェーズは、交通システムの革命の時期であり、各種サービスが開始され、①利用者のリクエストに応じた目的地までの最適経路、交通機関等を容易に選択することが可能となる、②高速道路や一般道路における交通事故の減少、緊急・救急活動の迅速化が図られる、③公共交通機関の定時性、輸送サービス等の充実により、その利便性が飛躍的に向上する。

2010年頃の第3フェーズは、自動運転という夢の実現の時期であり、ITSの高度化と社会制度の整備が図られ、①自動運転のサービスが本格的に開始される、②ITSを社会システムとして定着させるための法的・社会的制度が整備される。

2010年頃以降の第4フェーズは、社会システムの革 新の時期であり、ITSが熟成し、①ITSのすべてのシ ステムが実現する、②自動運転が一般的なシステムと して定着する、③交通事故の死者数が大幅に減少し、 都市部を始めとする道路の渋滞が緩和される、④業務 交通量の低減により、沿道環境、地球環境との調和が図 られる。

次に、ITS構想を支える国の予算について見ると、研究開発関係は、平成8年度に約75億円と大幅に増額され、9年度に約87億円、10年度に約95億円となり、11年度には約122億円  $+\alpha*$ (約2/3が建設省の自動運転のための道路施設関連)、10年度補正分(郵政省、通商産業省のETCの利用拡大関連等)を加えると、約179億円  $+\alpha$  と10年度の倍近くまで増額された。

これを米国と比較すると、同国の研究開発予算は、1991年に成立したISTEA法に基づき、1992~1997年度の6年間で約12.9億ドル(約1,484億円(1ドル=115円換算))であり、1年間の平均額は、我が国の平成11年度予算のほぼ倍である。また、1998年に成立したTEA-21法に基づく予算が1998年度から6年間に約12.8億ドル(約1,472億円)計上されており、このうち、

(注) \*:一定の予算枠の中の内数であり、実績による。

約6.0億ドル(約690億円)が研究開発費に、残りが実用化とインフラ整備に当てられることとなっているので、この段階では我が国と同水準となる。

実用化とインフラ整備の関係は、平成8年度に約596億円とかなり増額され、9年度に約690億円となった。10年度には約433億円と建設省のVICSの電波ビーコン関連が一段落したため減額となったが、11年度には約868億円 +  $\alpha$  (2/3近くが建設省のETC関連)、10年度補正分を加えると約1,592億円 +  $\alpha$  (同)と9年度の倍以上の大幅な伸びとなった。ちなみに、米国では、1998年度から6年間に約6.8億ドル(約782億円)の予算が計上されているが、我が国の11年度予算は、この金額をも上回る大きな額となっている。

#### (2) 実用化の現状

第1表に示したITSの開発分野と利用者サービスのうち、トータル又は部分システムとしてすでにサービスが開始されているもの、また、今後の実用化の道筋が明確化されているものがかなり出てきている。

ナビゲーションシステムの高度化については、平成8年4月からITSのフロントランナーとしてVICSのサービスが開始され、エリアは、11年5月末現在13都道府県と全国の高速道路に拡大されている。11年3月末には端末数が100万台を超え、この1年で2倍以上の大きな伸びとなっている。VICSの効果については、首都高速道路で20%普及すると、渋滞が約10%減少し、年間約300億円の節約になるとの試算がある。

ETCについては、平成11年度中に千葉県の有料道路(東京湾アクアライン等関連部分を含む)の54か所の料金所に設置し、サービスを開始する予定である。さらに、全国拡大を進め12年度に350か所に設置し、14年度までには、主要な料金所730か所に導入することを計画している。高速道路の渋滞の約35%は料金所が原因であり、ETCの導入により、車の通過台数は約4倍になると予測されている。ちなみに、渋滞解消により、車のCO2排出量の約11%を削減することが可能であると試算されている。

安全運転の支援については、危険警告関連で居眠り警報装置、運転補助関連で車間距離自動維持運転システムが一部の大型車で実用化されている。また、自動運転関連で走行支援道路システム(AHS)及び先進安全自動車(ASV)の開発が進められており、最近は、それぞれ、スマートウェイ(知能道路)、スマートカーとも呼ばれ、これらをつなぐ情報通信システムであるスマートゲートウェイと併せた統一システムとして取り扱われている。平成12年の公開実証実験を経て、15年頃に第二東名・名神、大都市高速道路等へ先駆的に導入することを計画している。スマートウェイ等の効果として、①

渋滞解消により2015年に年間約1.2兆円を節約する、②交通事故を現在の1/3程度に削減する、③ 死傷事故を10年後に15%削減(年間約5,500億円節約)、30年後には50%削減する、④ 30年後に、燃料消費量と $CO_2$ を15%、都市部の $NO_X$ を30%削減することが可能であると予測している。

交通管理の最適化については、交通流の最適化関連で UTMS(新交通管理システム)の一環として、バスを 対象とした公共車両優先システムが実用化されつつある。

緊急車両の運行支援システムについては、緊急時自動通報関連でダイムラー・クライスラー系が平成 10 年 9 月から緊急通報システム「Eコール」のサービスを開始している。我が国の自動車メーカ等も、同種のサービス会社を11 年 9 月に設立しており、12 年春からサービスを開始する予定である。

#### (3) モデル地区実験構想

我が国におけるITS分野の取りまとめ機関である VERTIS(道路・交通・車両インテリジェント化推進協議会)は、米国や欧州でITSモデル実験への取り組みが広がっていることを背景として、ITSの全国普及を図るため、平成9年度から3か年計画で地方自治体を主体とした「モデル地区実験構想」を進めている。

平成10年度には、この候補地に第2表の5地区の応募がなされ、審査の結果すべての地区が選定された。11年度後半に、実験の実施と評価が予定されている。

このうち、豊田市は、約8億6千万円の予算で、駐車場案内情報の提供や、郊外までは車、都心はバス等の公共交通によるパーク&ライドシステムの実験を行う。高知県は、15億円前後の予算で、中四国・近畿の広域道路情報のインターネットによる提供、地域観光情報の発信や、

利用者の要求に応じて運行されるデマンドバスシステムの実験を行う。警視庁は、約4億4千万円の予算で、バスを対象とし信号機を制御することにより公共車両優先システムの高度化の実験を行う。岐阜県は、約1億9千万円の予算で、道路交通情報提供システムや、産業廃棄物運搬車両の動態把握の実験を行う。岡山県は、約7億3千万円の予算で、インターネットによる総合交通情報の提供や、緊急車両への道路情報の提供の実験を行う。

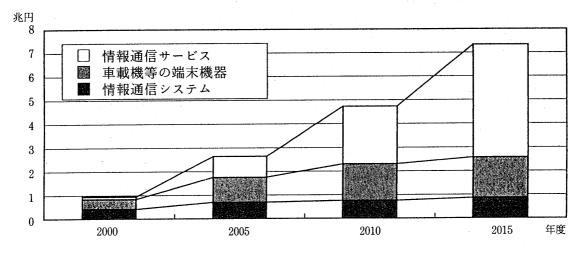
#### (4) 市場予測

ここでは、郵政大臣の諮問機関である電気通信技術審議会が平成11年2月に答申した「高度道路交通システム(ITS)における情報通信システムの在り方」の市場予測の概要について述べる。

ITSの情報通信関連として、情報通信サービス、車 載機等の端末機器及び情報通信システムの市場規模の推 移は、第2図に示すとおりであり、2015年度分は7兆

第2表 ITSのモデル地区実験候補地

自治体等	実験テーマ
豊田市	ITSモデル地区実験・IN 豊田
高知県	KoCoRo(kochi communication road) -地域からのITSの提案
警視庁	東京都内都市部における公共車両優先システム(PTPS)の効果検証実験
岐阜県	<ul><li>・民間活力を利用した岐阜県ITS関連情報 提供システムの実現性検討</li><li>・移動体通信による「資源循環型社会」の 構築</li></ul>
岡山県	岡山県におけるITSモデル地区実験



第2図 ITSの情報通信関連市場規模の推移

円を超えることが予測されている。また、同年度までの 累計では約60兆円となり、関連分野を含めた全産業で は約100兆円に上るものと見られている。

2015年度までの累計額の順で見ると、情報通信サービスの内訳は、①ETCサービス(約9兆5千億円)、②DSRC(狭域通信)サービス(ガソリンスタンド利用)(約5兆9千億円)、③道路交通情報提供サービス+カーマルチメディア・サービス(約4兆9千億円)、④車上オンラインショッピング(約3兆円)、⑤DSRCサービス(高速道路サービスエリア等の利用)(約2兆8千億円)等となっている。

同じく車載機等の端末機器の内訳を見ると、①カーナビゲーション車載機 + 高機能車載機(約9兆1千億円、うち、2015年度分約7千3百億円(約4千2百万台分)、②安全運転支援関連車載機(約6兆2千億円、同約7千2百億円(約2千9百万台分)、③物流・公共交通分野における専用車載機(約1兆8千億円、同約1千6百億円(約610万台分)となっている。ちなみに、ETC車載機+多機能(DSRC)車載機については、約7千3百億円、同約600億円(約5千3百万台分)である。

また、ITS情報通信関連市場の雇用効果は、2005 年度分約33万人、2010年度分約63万人、2015年度 分約107万人と予測されている。

#### 3. フロントライナー「VICS」の進展

#### (1) 開発から導入まで

VICSの前身となるシステムとして、昭和61年に建設省関連のRACS(路車間情報システム)プロジェクトが発足し、2.5 GHz 帯電波ビーコンによる実用化実験等が行われた。また、62年には警察庁関連のAMTICS(新自動車交通情報通信システム)実用化推進協議会が設立され、63年に首都圏、平成2年に大阪の「国際花と緑の博覧会」で800 MHz 帯テレターミナルシステムによるパイロット実験等が行われた。

これらの成果を引き継ぎ、新たな道路交通情報通信システムとして VICSの開発を進めることとなり、平成

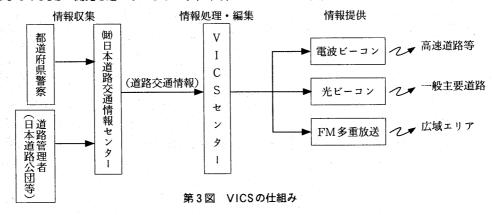
2年に警察庁、郵政省及び建設省によりVICS連絡協議会が発足し、3年にはVICS推進協議会が設立された。その後、郵政省関連のFM多重放送が加わるとともに、警察庁関連は赤外線による光ビーコンに変更され、公開デモを含む実験が行われ実用化の見通しが得られたため、7年7月に(財)道路交通情報通信システムセンター(VICSセンター)が設立され、サービスの提供に向け準備が進められた。この結果、8年4月に東京都、埼玉県、千葉県及び神奈川県と、都心から100㎞程度までの高速道路及び東名・名神高速道路全線でのVICSサービスの提供が開始された。

ちなみに、同種の民間の道路交通情報提供サービスとして、①警察系の「ATIS(交通情報サービス)」(平成6年2月にサービス開始(現在のエリアは関東地域+a(一部の隣接県)、加入電話・携帯電話と専用情報端末)、生活、観光情報等も含むものに、②トヨタ系の「モネ」(10年4月にサービス開始、カーナビ付属携帯電話と専用情報端末)、③日産系の「コンパスリンク」(10年11月にサービス開始、カーナビ付属携帯電話と専用情報端末)、③日産系の「コンパスリンク」(10年11月にサービス開始、カーナビ付属携帯電話)があり、また、生活、観光情報等に加えて、今後道路交通情報の提供を検討するものとして、④本田系の「インターナビ」(10年7月にサービス開始、カーナビ付属携帯電話とインターネット端末)、⑤ソニー系の「モバイルリンク(10年6月にサービス開始、同)があるが、いずれも、端末の普及はあまり進んでいない模様である。

#### (2) システムの概要

VICSの目的は、①道路交通状況の明確な把握による運転心理の安定化、②迷走・誤走の削減、最短時間ルートの選択による所要時間の短縮、③交通流の分散、スムーズな駐車による渋滞の緩和・解消を図り、ひいては、道路交通の安全性・円滑性を向上し、交通環境を改善することである。また、VICSシステムの成立条件としては、①道路交通情報の収集、②地図を含む表示画面や位置情報を提供するナビゲーションシステム、③両者を結ぶ移動通信技術が上げられる。

VICSの仕組みは、第3図に示すとおりである。道



路交通情報は、交通管理者である都道府県警察及び道路管理者である日本道路公団、建設省地方建設局等の車両感知器やTVカメラで収集、側日本道路交通情報センターに伝送され、テレビ・ラジオで放送される。VICSセンターは、同財団からこの原データを取得しコンピュータでデジタルデータに処理・編集し、VICS情報として道路管理者の高速道路等をサービスする電波ビーコンに交通管理者の一般主要道路をサービスする光ビーコンに提供するとともに、VICSセンターが、表示ソフトの制作を行い、自身の広域エリアをサービスするFM多重放送局に伝送している。

笙	3	耒	各	メデ	17	m	蛙!	土

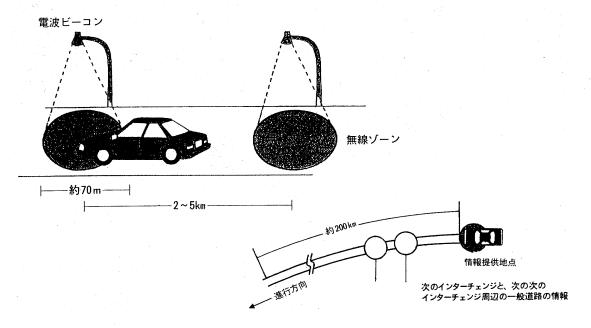
	電波ビーコン (2.5 GHz)	FM多重放送			
伝送速度	64kbps	1Mbps	16kbps		
サービスエリア	極小ゾーン の繰返し	極小ゾーン の繰返し	広 域		
1基(1局)	60~70 m	3.5 m	10∼50km		
情報提供繰返し	2~3回/1受信	2~3回/1受信	2回/5分		
実効情報量	約8Kバイト 相当/1か所	約10Kバイト 相当/1か所	約50Kバイト 相当/5分		

各メディアの特性は、第3表に示すとおりである。伝 送速度は、FM多重放送よりビーコンの方が大きいが、 受信範囲が狭いことから実効情報量は小さい。また、光 ビーコンは、アップリンクにより旅行時間を把握するた めの車のIDの吸い上げを行っている。ちなみに、FM 多重放送は、NHKが開発し国際的にも優れ最近米国標準の一つとなったDARC方式を用いているが、その誤り訂正分を差し引いた情報速度は、約 $6.8\,\mathrm{kbps}$ 、さらに、親局を運用しているNHKの多重放送と折半しているので、この $1/2\,\mathrm{と}$ なる。

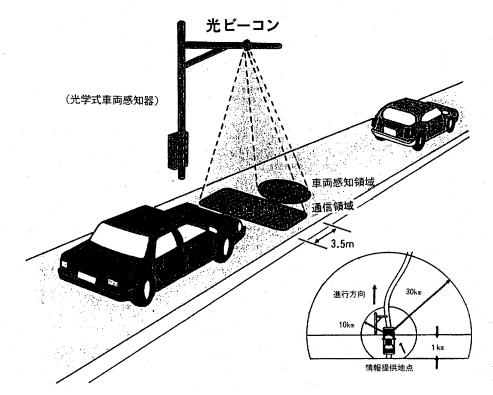
電波ビーコンシステムは、第4図に示すとおりであり、約200 km先までの高速道路、次と次の次のインターチェンジ周辺の一般道路の情報を提供している。光ビーコンシステムは、第5図に示すとおりであり、車両感知器と並設されており、前方約 $10\sim30$  km、後方約1 kmの情報を提供している。FM多重放送の情報提供範囲は、東京都の例では、第6図に示すとおりであり、一般道路は全域+ $\alpha$ (隣接県の一部)、高速道路は都心から約 $40\sim80$  km先までの情報を提供している。

VICS情報の種類としては、① 渋滞(10 km/時以下、 混雑は 10 ~ 20 km/時、混雑なしは 20 km/時以上)の区間、程度、② 事故、工事等の事象規制の場所、区間、 内容、③ 交叉点間等のリンク、区間の旅行時間、④ 駐車場の場所、名称、満(90 %以上)空、⑤ 緊急、注意、 警戒情報等がある。

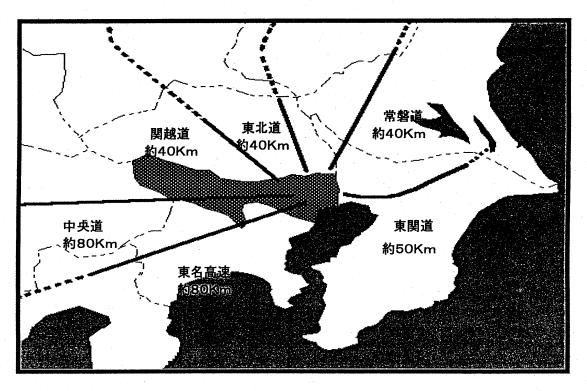
VICS情報の表示形態は、レベル1として文字、レベル2として簡易図形、レベル3として地図表示があり、いずれもカーナビのモニタ画面を使用しているが、レベル3の場合はその地図に重ね合わせて表示している。また、メディアごとに提供情報の範囲に応じて表示ソフトも異なってくるが、ユーザが見安いように基本部分は合わせている。



第4図 電波ビーコンシステム



第5図 光ビーコンシステム

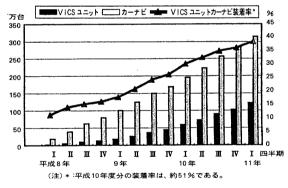


第6図 FM多重放送の情報提供範囲

#### (3) サービスの現状と今後の計画

VICSサービスは、平成8年4月の関東地域の4都 県、東名・名神高速道路等における運用開始を皮切りに、 同年12月に大阪府と都心から60㎞程度までの高速道路、 9年4月に愛知県と全国の高速道路、同年11月に京都 府、10年1月に冬季オリンピックを契機に長野県、同 年3月に兵庫県、11年4月に福岡県、広島県、同年5 月に宮城県、北海道・札幌地区の13都道府県において サービスを提供し、現在に至っている。ちなみに、11 年5月末の各メディアのインフラ設置数は、電波ビーコ ン約2,100基、光ビーコン約8,900か所、FM多重放送 親局13局、中継局111局となっている。今後の計画と しては、高速道路を含む既存エリアの周辺部を中心に、 平成11年度中に福島、群馬、静岡、岡山、サミットを 契機に沖縄の5県を、また、12年度以降に茨城、岐阜、 三重、山口、栃木、滋賀等の9県を予定しているが、さ らに、残りの地域も含め早期の全国拡大を図るべく検討 を進めているところである。

VICS端末の普及状況をメーカの出荷数で見ると、第7図に示すように、平成11年3月末で約102万台と大台に乗り、この1年で約58万台増加し2倍以上の伸びとなった。また、11年度の第1四半期は約19万台増加し、年間の伸びの予測値約753台を達成しうる数字となっている。



第7図 VICSユニット及びカーナビ出荷実績(累計)

その背景には、狭あいで入り組んだ道路、車の増加による渋滞の発生等、特に大都市部とその周辺の道路交通事情が悪化していること、得意な分野である携帯電話端末やゲーム機と類似のハード・ソフト技術が活用できること等の我が国の特徴があると考えられる、③ VICSの端末数の増加に伴いその価格が低下しており、この約3年間で 3 メディアで約10万円  $\rightarrow 8$  万円、2 メディア(ビーコン)で約6万円  $\rightarrow 4$  万円、F M多重放送で約4万円  $\rightarrow 2$  万円となっていること等が上げられる。 ちなみに、カーナビの価格は、CD-ROMを用いた普及型が約10万円、DVDを用いた高機能(バードビュー、ボイスコントロール等)型が約30~40万円と2極分化の傾向にあり、2 ~3年のサイクルで新製品が登場するという厳しい競争下において11年7月時点で27社258機種が販売されている。

今後の需要動向については、約7千万台の車(約2千万台の軽自動車を含む)の1割にも満たないカーナビの需要拡大の可能性を背景とした、VICS端末の内蔵化等によるカーナビ装着率の増加と、車の純正部品化率(現在はVICS端末約30%、カーナビ約50%)の上昇等を考慮して、平成12年度約97万台、13~15年度約120~150万台の増加が予測されている。

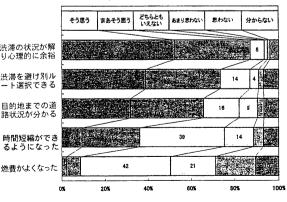
#### (4) ユーザ・ニーズの把握

ここでは、平成 11 年 3 月のアンケート調査の概要について述べる。

VICSの利用端末のタイプは、約7割のユーザがFM多重放送のみで、残りが3メディアであった。

VICS情報の利用感としては、「必需品となった」が 毎年増加し42%となり、「あると便利」と合わせると94 %とほとんどが有用性を認めている。

VICSの具体的効果については、第8図に示すとおりである。心理的に余裕が1位であり、時間の短縮は4位で5~10%の縮小効果となっている。ちなみに、時間の節約に一番効果があるのは、プレトリップ情報によ

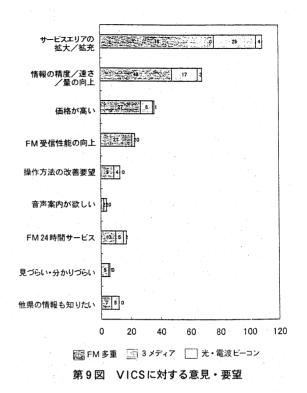


第8図 VICSの具体的効果

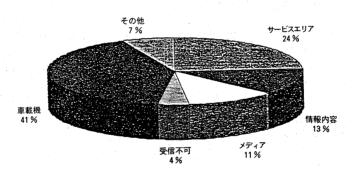
り出発時間を変えることであり、米国の情報提供のほと んどが家庭等でのインターネット利用によっているとい う例がある。

VICSに対する意見・要望は、第9図に示すとおりである。1位がサービスエリアの拡充、2位が情報の精度・速さ・量の向上、3位が価格が高いことである。特に、情報の精度・量については、トラック運転手の一番欲しい情報は道路交通関係で、しかもカーナビにも表示されない細い道路についてであり、自ら情報を収集しデータベースを作成して利用することも検討したいとのことであるが、欧州では、すでに民間情報を活用することが試みられている。また、平成10年11月のメーカによるアンケート調査によれば、カーナビで欲しい情報として、1位にトイレ、2位に駐車場、3位にガソリンスタンドが、50%前後の比率で上がっている。

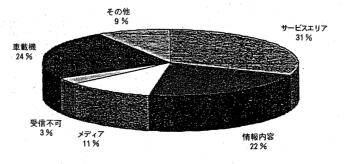
次に、実ユーザからの問合せについて平成10年度分の内容を9年度と比べて見ると、第10図に示すように、車載機は41%で17%の増加、サービスエリアは24%で7%の減少、情報内容は13%で9%の減少となっており、車載機は台数の増加や高機能化、サービスエリアと情報内容は改善効果の影響が出ていると考えられる。



平成10年度(1.489件)



平成 9 年度 (1,664件)



第10図 実ユーザからの問合せ

#### (5) 標準化の動向

VICSを含むITSの標準化については、ISO(国際標準化機構)とITU-R(国際電気通信連合-無線通信部門)と、これらに対応する国内の標準化関連機関によって行われている。

ISOにおいては、TC(技術委員会)204(車両交通情報制御システム)で検討されており、WG(作業班) $1\sim16$ に分かれ作業が行われている。VICS関連では、WG3(地図データベース)、同10(旅行者情報)、同11(ナビ・経路誘導)、同15(狭域通信)、同16(広域通信)があるが、特に、WG10では、BBC(英国放送協会)を中心に欧州で検討されてきたTPEG方式が提案されており、WG16でも再検討が必要となっている。これは、ISOレイヤーの3(ネットワーク)、 $4\sim6$ (パケット化)、7(アプリケーション)を含む汎用性のあるプロトコルである。

ITUにおいては、SG(研究委員会)8(移動通信) - WP(作業分科会)8 Aで作業が行われている。VICS 関連は2.5 GHz 帯電波ビーコンがあるが、その他、IT S関連で、ITS機能と無線通信方式の選択、ETCを含む5.8 GHz 帯狭域通信、60/76 GHz 帯小電力短距離自動車レーダーシステムがある。また、VICSのFM 多重放送関連では、SG10(音声放送)で検討されているが、欧州で、FM 多重放送のRDS方式(伝送速度は1kbps)、地上デジタル放送のDAB方式がすでに実用化されており、我が国でも、FM 多重放送のDARC方式(伝送速度は16kbps)がすでに実用化され、地上/衛星デジタル放送も実用化に向けた検討が進められている。

#### 4. おわりに

ITSは、21世紀に向け開発・実用化が一層進展していくこととなろう。その一翼を担い、フロントランナーの VI CS を含むナビケーションシステムの高度化も推進され、平成 11 年 2 月に提出された郵政省・電気通信技術審議会の ITS情報通信システムの答申によれば、2005 年頃に、他の情報への検索等も可能なリクエスト型システム、動画等の情報も享受可能なシステムへ、2010 年頃以降には、移動車両間の情報交換も可能なオンデマンドシステム、自動運転を考慮したシステムへと発展することが予測されている。このため、郵政省では、端末の操作を代行するワイヤレスエージェント技術、地図データ等ソフトウェアの自動更新技術等の研究開発を進めているところである。

VICSの今後の展開としては、①提供情報・場所の改善・拡充、②サービスエリアの全国展開、③システム・サービスの高度化が考えられる。具体的には、情報の精度・速さ・量の向上と予測情報を含め気象情報等関連情報の拡充、サービスエリアの早期全国拡大について対応するとともに、さらに、ユーザから要望のあるガソリンスタンド、駐車場等関連場所への情報提供や、今後の展開に応えうる新たな高機能メディアとしての、地上/衛星デジタル放送、アップリンク等としてを活用できる携帯電話・インターネット機能を含む高機能車載装置の利用への対応をどうするかについて考えていく必要がある。

## 飛行船型成層圏プラットフォームの研究開発

科学技術庁 航空宇宙技術研究所 (併任) 通産省 工業技術院 機械技術研究所 恩田昌彦

## R & D on Stratospheric Lighter-Than-Air Platforms

#### Masahiko ONDA

National Aerospace Laboratory Science and Technology Agency Mechanical Engineering Laboratory, A.I.S.T., Ministry of International Trade & Industry

#### 1. はじめに

新しい情報化社会の構築と地球環境保全に役立つ成層 圏プラットフォームの実現のための研究開発とこのプラッ トフォームの特徴と用途について解説する。

成層圏プラットフォームとは長期間、高度約20kmの 成層圏に留まれる飛行体のことである。 平成 10 年度か ら科学技術庁と郵政省が省庁連携のプロジェクトとして、 成層圏プラットフォームの開発を取り上げた。同プロジェ クトは成層圏プラットフォーム開発協議会を推進母体と して運営される。同協議会は図1に示すように飛行船、 地球観測、通信・放送の3つの部会からなっており、こ れらの部会が連携を取りながら、プラットフォームとそ のミッション・システムを並行して開発するように組織 されている。

#### 2. 成層圏での飛行

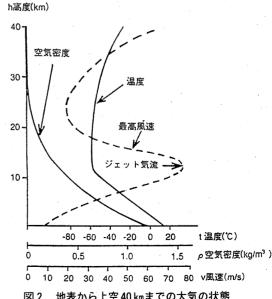
地上から4万5千フィート(約15km)より高い空は普 通の飛行機の飛ばない空域である。また、地上からの高 度が約20kmの空は成層圏の下層になり、この空間は一 年中晴天で風速がもっとも低く穏やかな気象状態である。 気圧 50hPa の高度が地上約 20kmの高さになり、日本の 代表的な気象観測地点での通年の平均風速を表1に示す。 成層圏とは図2に示すように、地上13km位から40km位 の高さ迄の空域で、上に行くほど下よりも気温が高くなっ ている空間である。ここでは、いわゆる対流が起きず、 したがって雨や雲もなく、大気状態の安定した空域となっ ている。この空域に、無人で数年の長期に渡って滞空し、 人工衛星ではできないような高精度でリアル・タイムの 観測や、地上の大規模災害でも壊れることのない情報基 地としての役割を果たす実用上の空中基地を太陽光を推 進源とした無人飛行船で実現できる。



成層圏プラットフォーム開発協議会

50hPa 気圧面の年平均風向風速温度値

地名	稚内	館野	鹿児島	那覇	父島
高度(km)	20.57	20.65	20.67	20.68	20.6
気温(℃)	-52.6	-58.4	-60.8	-63.4	-63.7
風向(度)	251	256	255	96	101
風速(m/s)	8.8	6.2	3.0	3.3	2.9



地表から上空 40 kmまでの大気の状態

地上約20kmの風のもっとも弱いこの成層圏下層に長期間滞空する無人飛行船を情報基地として打ち上げれば、地上生態系、すなわち野生動物や森林などや、環境汚染源の継続的監視等のサービスを効率的に、また安価に行うことができるようになる(図3)。また、地上の交通状況がいつも把握でき、また地上・水上や空中を移動するビークルにこれらの交通状況情報を知らせることもできる。さらに、低電力で、したがって超小型の携帯電話の通信中継も可能となる。

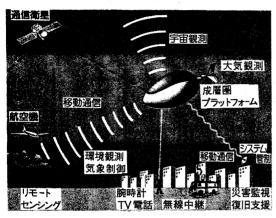


図3 成層圏プラットフォームの用途の概要

#### 3. 成層圏プラットフォームについて

図4は平成4年夏に低空での初飛行をした、成層圏ソーラー飛行船の縮尺模型の一つである。一方、図5に示すのは平成7年秋に神戸で催された無線送電の国際会議WPT (Wireless Power Transmission)'95でマイクロ波の電波で無線送電してプロペラを廻してデモストレーションの空中静止飛行をした無人飛行船である。

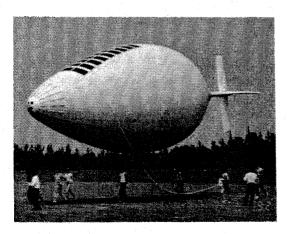


図4 成層圏ソーラー飛行船の1/10縮尺 模型の飛行実験

成層圏に留まる、この無人飛行船に絶え間なく推進パワーを供給する代表的な方法はこのように二つあり、一つは日中、太陽電池で推進のための電力を得て、夜間の推進のためには二次電池に充電する方法である。しかしながら、冬の極地地方は太陽が照らないので、太陽エネルギーを利用することは出来ない。もう一つのパワー供給法は地上からの無線によるパワー伝送で、この中、マイクロ波の電波による無線送電が有望である。極地地方は定住者人口が小さく、過疎地なので、こうした地上からの無線送電法の可能性が考えられる。

まず、滞空に必要なパワーは、空気が薄くなるのに比例して小さくなるが、低空域に留まるために抗すべき風速の3乗に比例して大きく(付録10.1参照)なるので、風速のもっとも低い高度空域を選ぶことがパワーの経済上重要で、この高度が地上約20kmである(図2参照)。

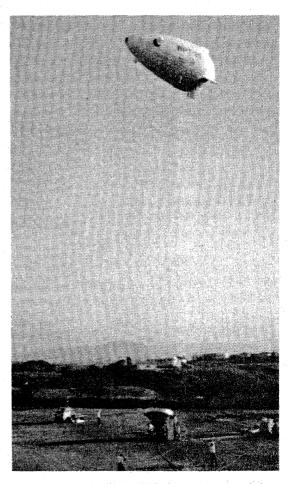


図5 マイクロ波の電波で推進プロペラを廻して空中に 静止させた飛行実験。下腹部に下がっているのは 電波収吸用のアンテナ。

地上から継続して、パワーを成層圏に留まる飛行体に供給できる方法はもう1つ考えられる。それはパワー・レーザーであり、レーザー光は雲や雨で吸収されるので、図6に示すように、水分のある対流圏は光ファイバーで通り抜け、成層圏に係留された飛行船にパワー供給し、そこから水分の無い成層圏の下層を水平にレーザー光でパワーを伝送して100~200km離れた同じ高度に浮かぶ第2の成層圏飛行船へパワーを供給する方法も考えられる。

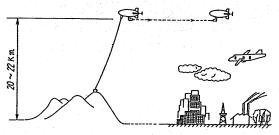


図 6 パワー・レーザーでの成層圏飛行船へのパワー 供給法

こうした無人基地となりえる飛行体の形式としては飛 行船がもっとも適しており、後に述べるように飛行船だ けが大きな積載重量を取れ、広い用途に使用できること、 操縦が比較的簡単で安全性が高く、環境にもっとも優し く、さらに成層圏下層のミッション空域への上昇や、地 上への帰還も他の航空機と比べてもっとも容易である点 から、最も好ましい高高度長期滞空機である。高高度長 期滞空機の方式には大別すると飛行機(固定翼航空機)、 飛行船(浮力のみで自重を支える飛行船、フーリィ・ボ イヤント (fully buoyant) 型と呼ぶ。) と、この両者の 合いの子であるハイブリッド型飛行船の形式があるが、 いわゆるフーリィ・ボイヤント型飛行船方式が一番良い ことを理解するために、以下に、これらの航空機を比較 した結果を紹介する。フーリィ・ボイヤントとは船体の 全重量と全浮力がほぼ同じで、静的な浮力のみで空中に 浮く形式の飛行船で、単に飛行船という場合はこの型を 言う。

#### 3.1 固定翼機

長期滞空機としてもっとも一般的な形として考えられるのが図7(上)に示す固定翼航空機である。地上20kmの成層圏低層の風速は冬に大きくなる。関東平野上空の通年平均風速は約6m/s。過去20年間の冬期3ヶ月間(12月、1月、2月)の最大風速の平均は15m/s、まれには最大風速が40m/sにも及ぶので、この風に流されずにほぼ一定空域内に留まるには飛行速度を比較的高く取れると考えられる固定翼機が有利である。固定翼機方式では機体の抵抗が小さいため耐風動力が少なくて済む

が機体表面積が小さいので、推進用のエネルギーは通常、地上からのマイクロ波などの高パワー密度の無線電波のエネルギーを収束して常時受電し、パワー源とする。したがって、この場合は送電施設から遠くには自由に離れていくことはできない。固定翼機は構造上、次の2つの制約で大型化が困難で大きな搭載量を得にくい。その第一の理由は機体寸法の3乗で自重が増加するのに反して、自重を支える揚力は機体寸法の2乗でしか増大しない翼面積に従うと言う、いわゆる「2乗3乗則」である。

もう1つの理由は、揚抗比の大きい性能の良い翼は長大な片持ち梁の構造となり、翼と胴体の接合部に力が集中して、この力が機体の大型化と共に飛躍的に増大するからである。搭載量が小さいということは信頼性の高い設計が出来ないことを意味している。固定翼機は常に揚力を得るためには常に空中を移動していなければならず、この為、直径数kmの円状もしくは8の字状の飛行経路を取ることになる。薄い空気中で、効率の良い大きな直径のプロペラを持つ通常の固定翼機は空気の濃い地上近辺では動力飛行は困難であろう。こうした形の機体様式では搭載量は数10kg程度に制限される。

ちなみに、推進パワーを大きく取れる高々度滞空機としてはガソリン等を燃料とした内燃機関を持つ固定翼機が、多くは軍用偵察機として開発されている。しかしこれらは、搭載できる燃料や酸化剤に限りがあり、滞空時間は、ミッション用搭載機器と燃料とのトレード・オフである。たとえば開発中の翼長約20m、総重量1トンのDemonstrator 2の設計値では、70kgのミッション機器を搭載した場合では2日間程度の滞空時間である。(1)

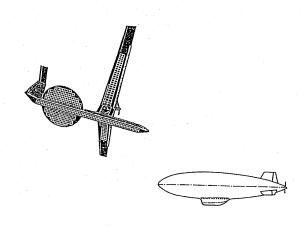


図7 高々度長期滞空航空機としての固定翼機(上)と 飛行船(下)

一方、推進効率が高く取れる機体方式としてフライン グ・ウイングと呼ばれる胴体が無い単一の固定翼のみの 機体の型があり、機体への集中荷重を軽減できる構造様 式でもあるが、推進機が停止した場合の機体の姿勢安定 性が低かったり、いずれにしても搭載量は大きくとれな い。従って、これらの機体は安全性や信頼性は多少低く ても良い軍用などの用途に向く。ローレンス・リバモア 国立研究所では、太陽電池でパワーを得て、電気分解槽 をかねた再生型燃料電池に電力を蓄えて数カ月間、地上 約20㎞に滞空し、軍事偵察や地球環境観測を行う翼長 60mのフライング・ウイング機(図8)を開発した。平 成10年8月には翼長37mの試作機パスファインダ・プ ラスが高度24,500mまでの試験飛行を終えたが、太陽 光を受ける翼の面積が小さく常に太陽に向けることがで きないため低空での速度は低く、上昇のみに7時間半を 要している。長期間の運用も太陽高度の高い夏季や低緯 度地域に限られる。また機体の信頼性も都市上空など人 口密集地上空を飛行するには十分ではなく、商業機とし ての実用化は難しいと考えられている。

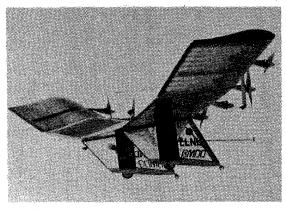


図 8 NASA の太陽光推進のフライング・ウィング機 「パスファインダ」<sup>(4)</sup>

一方、有人機による、短期間の成層圏滞空での無線中継の実用化も試みられている。米国のベンチャー企業エンジェル・テクノロジー社の新型機プロテウス号がそれである。この機体はビジネス・ジェット級の規模で、空気の薄い成層圏下層の地上17kmに滞空できるように翼の面積を大きくとってある。しかしながら、定点滞空はできないので直径約20kmの円弧を描いて都市上空を飛行し続けることになる。ミッション高度での滞空時間は8時間であるので、一日、3交代でミッションをこなす。搭載量は800kgであり、飛行実験を継続中であり、まもなく耐空証明が得られると言われている。

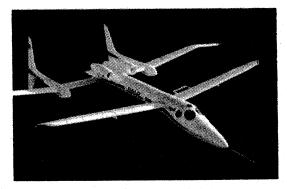


図9 エンジェル・テクノロジー社の成層圏滞空機

#### 3.2 飛行船

ここでの飛行船とはフーリィ・ボイヤント型と言い、 いわゆるヘリウムなどの浮揚ガスの浮力で自重のすべて を支える方式のビークルである (図7下)。飛行船は 「2乗3乗則」には支配されず、機体寸法の増大による 自重の増加よりも浮力の増加の方が大きく、大型化が容 易にできる。これはすでに半世紀以上昔に全長 250m級 の大型飛行船が建造され実際に使われていた例からも理 解できる。従って十分な安全余裕を持って機体の設計が 出来る。しかし、飛行船の成層圏飛行上の問題は機体に 働く空気抵抗の力の大きさである。過去に建造された大 型硬式飛行船には体積抗力係数が小さく2%代のものが ある。硬式飛行船とはジュラルミンの骨材でできたカゴ 状のフレーム構造の機体の中にガス袋を複数入れて、へ リウムガスなどの浮揚ガスを保持するが、加圧はしない。 一方、軟式飛行船は一つの大きな流線形状のガス袋(エ ンベロプと言う) に浮揚ガスを入れ、さらに小さなガス 袋(バロネットと言う)をこのエンベロプ中に入れて、 このバロネットを電動ファンなどで空気を加圧して入れ、 常にエンベロプ全体の圧力を一定に加圧して、機体形状 を保つ構造様式の飛行船である。軟式船体の通常の体積 抗力係数は4%代である。機体重量のかさむ硬式では成 層圏の飛行には不利なので、軟式で2%以下を実現しな ければならないだろう。

成層圏への往還方法は、推進機を使った動力式上昇・下降法と、もう一つは、上昇は機体内の余剰浮揚ガスによって行ない、成層圏の所定高度に到達すると余剰浮力分のガスを放出してミッションのための水平飛行に移り、降下はさらに浮揚ガスの一部を放出して行う重力式往還法がある。上昇・下降をマッコウ・クジラのように頭を上に向けたり、下に向けたりして垂直の姿勢でする場合は、上昇・下降に要する時間は各々30分程度である。

#### 3.3 ハイブリッド型飛行船

このビークルの形は図10にあるように固定翼航空機と 飛行船のハイブリッド(合いの子)である。機体への荷 重を分散できる飛行船の利点を保持したまま、揚抗比を 高く取れるので、高風速での長期滞空が可能となる。し かしながら硬式構造や補強材を多く使用することによっ てしか機体の翼形状は維持できないので、どの程度の構 造材増加で済むかが問題である。また機体を翼形状とし たために表面積に対する体積の比が不利で、この面でも 浮力が大きく減少する難点がある。この浮力損失と構造 材の増加がどの程度、動的揚力の増加で補えるかは疑問 で、技術的に多くの未解決問題を含んでいる。

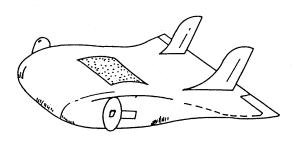


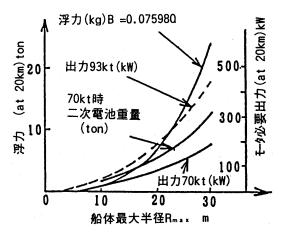
図10 ハイブリッド型飛行船

#### 3.4 飛行船の優位性

固定翼機とハイブリッド型飛行船は動力系に故障を生 じた場合、または操縦系に故障を生じた場合は、かなり の速度で地上に向けて沈下し始めるか、もしくは滑空飛 行の方向が定まらなくなる難点があるが、通常の飛行船 方式では沈下に時間がかかり、また、操縦系の故障に対 しては動力推進を停止すれば、ほとんどの場合、日本上 空からは西風によって太平洋に流されて行くので航空路 侵害等の起きない区域で降下させることが可能となる。 内圧の上昇を押さえるための調圧用の安全弁を備えた軟 式飛行船は推進系が故障した場合、日照により浮揚ガス 温度が高まり、動力飛行による冷却作用がまったく無く なるので、調圧弁からのガス放出が起こり、いずれは徐々 に沈下するが、沈下速度は極めて遅く、沈下状態をモニ ターすることも容易に出来る。また、機体は単なる大き なガス袋なので地上物と衝突して大被害を生じる可能性 は小さい。さらに前述のように、飛行船は搭載量に余裕 が取れるので冗長度の高い多重安全システムを装備でき る利点がある。

#### 3.5 成層圏飛行に必要なパワー

飛行船の耐風性能を向上させるためには大容量のパワー・システムが必要になり、飛行船は必然的に大型化する。滞空に必要なパワーと風速および、船体規模の関係を図11に示す。この図では船体の規模は船体の半径の大きさで示されている。この図を見れば、船の規模が大きくなるにつれ、風に対して留まるのに必要なパワーの増加よりも浮力の増加の方が大きく、大きな船はそれだけ有利となることが分かる。耐風性能と機体規模との関係の解析を付録10.2 (8) に示す。



体積Q =  $11.7 \, R_{max}^{3} \, (m^{3})$ 必要出力P =  $0.5 \, \rho \cdot v^{3} \cdot C_{D} \cdot Q^{2/3} / \eta_{\, r} / 102 \, (kW)$ 空気密度 $\rho = 0.0091 \, (kg \cdot s^{2} / m^{4})$ 対気速度 $v = 47.8 \, m/s \, (93 \, kt)$ ,  $35.0 \, m/s \, (70 \, kt)$ 推進効率 $\eta_{\, r} = 0.90 \, (-)$ 抗力係数 $C_{D} = 0.018 \, (Q^{2/3} \, に基く)$ 

図11 飛行船体規模に対する飛行動力

成層圏飛行船の小型化の観点からはマイクロ波の電波による無線送電が適する。この方法の利点は太陽光発電と違って夜間の推進用電力のための蓄電池が不要になることである。また、マイクロ波は吸収パワーの密度が太陽光よりも大きくできるので、受電アンテナをうまく送電アンテナにいつも向けておけば、パワーの獲得効率が極めて高くなるため、受電アンテナ等が小さくて済み、結果として、成層圏プラットフォームを小型化できる。図12に示す受電アンテナは実験中の調整等のため、機体の外に出ているが、ガス袋の膜はマイクロ波に対して透明なので、実用機では受電アンテナは、船体のガス袋内に配置する。

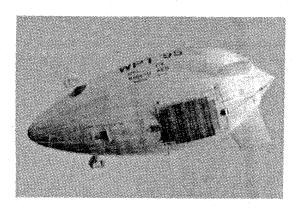


図12 マイクロ波送電パワー吸収用のアンテナ

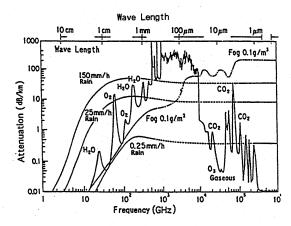


図13 マイクロ波の周波数と大気中での減衰の関係

マイクロ波の周波数帯としてはSバンド(2.45GHz) が大気中での空気による吸収がほぼ無く理想的であるが (図13参照)、20km、場合によっては40km以上離れた距離 の電送では電波のビームが拡がり過ぎ、受電アンテナで のパワー密度が低くなるため、送電パワーをメガ・ワッ ト・オーダーにしなければならない欠点があることであ る。また、Sバンドが盗難防止システムなどですでに広 く利用されているため、無線送電の電波のサイドローブ などの影響によって、既存の利用者に不利益を与える可 能性がでてくる。このように大気に吸収されずに遠くま で到達する周波数のマイクロ波はパワー伝送に適してい るので、一般に開放して使用させると言うよりは、パワー 伝送に限った用途に使わせるべきだと言う意見がある。 これに関しては平成7年秋、神戸で開かれた国際無線送 電学会で、将来の化石燃料が涸渇した時代に太陽発電衛 星からマイクロ波送電で地球にエネルギー伝送する用途 にSバンドを確保しておくべきとの決議がなされた。

#### 4. 太陽光推進で東京上空に留まる機体規模

春から秋にかけての夏の数カ月間は最大70hPaの高度においては風速が冬期よりもはるかに低く、夏期のみの運用を前提とすれば浮力もほぼ倍に取れ、設計上はエネルギー的にも容易となる。しかし設計高度を冬季の風のもっとも弱くなる約22kmに設定すると、対気速度の3乗が推進パワーとなるので、経済のため、とりあえず耐風速度31m/sを考える。この風速は東京上空で冬期3カ月間の最高風速の生起率で99%(通年では99.75%)の風に対抗して定点滞留できる風速である。この仕様で東京上空に留まる飛行船の規模は表2となる。

表 2 東京上空にほぼ一年中滞留できる機体の要目

エンベロプの体積	400, 000 m³
エンベロプ最大直径	68m
エンベロプ表面積	30, 000 m²
ハル(機体本体)長さ	185 m
ハル細長比	2.72
飛行体全長	223 m
総浮力	20ton
搭載重量	2ton
設計最大速度	31 m/s
推進動力(必要推進パワー)	98.7kW
燃料電池出力容量(全機必要パワー)	116kW
太陽電池平均必要出力容量(冬至)	460kW
太陽電池取り付け面積	4, 400 m²
1日の必要総電力量	6MW•hr

#### 5. 成層圏電気推進飛行船型プラットフォームの用途

成層圏での空中基地としての太陽光推進プラットフォームの利用法として考えられるものは、大別してその滞空 高度とクリーンな推進法を生かした4つの領域がある。

その第1は観測であり、この分野は地上、空中、海上の交通監視・管制と、いわゆる大気と地表、野生動物などの環境監視と台風などの気象観測(図14)も含む。

第2の領域は無線中継の機能であり、人工衛星の中継機能と比較して、信号の伝播路がはるかに短いため、通信時間遅れによる間延びの問題が無く、また通信機器のパワーや感度が低くて済む利点があり、移動体通信の分野の広い可能性を開拓できる。成層圏無線中継基地は言うまでもなく、地上の中継基地と異なり、地上での大規模災害にも耐えて情報中継が出来る。

第3の領域は長期に渡って成層圏に残留してオゾンを破壊する触媒となる塩素原子を太陽エネルギーやマイクロ波でイオン化して除去したり(図15)、豪雪や豪雨を

緩和したりできる局地気象の制御の可能性である。たとえば、雹の被害を緩和するため(図16)には、雹を作り出す雲の上から1トン位の火山灰を散布すれば雹の核の数が多くなり、雹の成長が分散され、雹の粒径が小さくなり、雹の落下による破壊力を小さくすることが出来る。

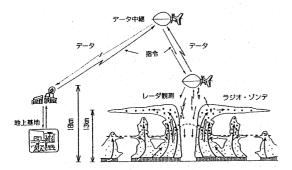


図14 台風の観測。台風の上からゾンデを落して内部の 様子を測定する。<sup>(3)、(7)</sup>

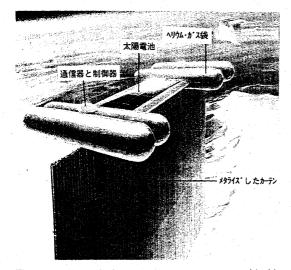


図15 アメリカで提案されたオゾン·ホール修復法 <sup>(5)、(6)</sup>

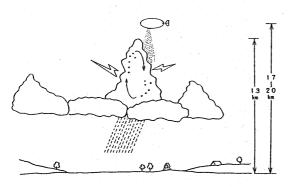


図16 雹を作り出す雲への火山灰散布での雹粒の小径化

第4の領域はジェット気流と太陽光の両方の自然エネルギーを利用して大陸間の貨物輸送を行なうことである。

これらの利用法の中で航行体のマルチメディヤの発展 に寄与する機能は、小電力広域の情報中継能力と高分解 能広域の観測機能であろう。高度20kmは低軌道人工衛星 の飛行高度と比べると数十倍小さくなる分だけ優利にな る。

#### 5.1 観測·監視

以下に成層圏基地のカバーする高分解能で広域の実地 観測機能の用途をとくに取り出して示す。

地球環境の観測、監視には次の分野で役立つ。当然ながら、成層圏の下層に出来るオゾン層の破壊の状態や、地球の温暖化を加速する高い高度の炭酸ガスなどの濃度を精密に調べたり、酸性雨の原因となる硫黄酸化物などの大気中の濃度も詳しく分かる。また、熱帯雨林の減少の度合いもつぶさに分かり、その原因が水分の不足なのか、虫害なのかといったことも分かる。砂漠化についても、その進展の度合いだけが分かるというのではなく、原因の究明にも成層圏基地は役立つ。海洋汚染を監視するのも容易に出来るが、レーザー・レーダを使えば水面下の魚群の観測も出来る。陸上では赤外線センサを使えば、動物の数も簡単に数えることもでき、野生生物種の減少の原因も探ることが出来る。さらに、河川などや大気中での有害廃棄物の越境移動も常時、監視することも可能である。

気象観測としては、気象の広域立体把握ができ、前に述べたように、台風観測が出来る。さらに集中豪雨や豪雪などの局地気象精査等がある。

エネルギー鉱物資源探査、森林調査、水産資源調査に も成層圏基地は威力を発揮する。

地表や空中、海上交通の監視では、たとへば、カー・ナビのための交通状況の把握に役立ち、またコミュータ・ ヘリの飛行状況を監視して衝突事故の防止に努めたり、 海上船舶等の海難事故防止のための監視が出来る。

地震予知や火山噴火予知にも成層圏プラットフォームはその威力が発揮できる。近年これらの前兆現象として電磁波が放射されることが知られて来ており、こうした観測にも成層圏プラットフォームは好適な位置を占める。(2)

#### 5.2 無線中継サービス

成層圏無線サービスがその威力を発揮するのは、放送と移動通信の分野と電波監視業務である。これらに必要な機器類の搭載量は、固定通信や放送用途のためには数100kgから数トンの重量となる。放送の主なものは、交通情報サービス、UHFテレビなどである。

移動体通信のためにはその交信範囲を広げると共に小さいパワーで交信できるため機器の小型化に役立つ。このため携帯電話やポケットベル、地域防災無線、船舶通信や交通情報サービス、信号制御や航空管制、さらにアマチュア無線や山岳通信などの機能が広がり、ダムや水門の制御などのための遠隔施設管理用通信や救急車等への医療等の随時情報サービス等が木目細かくなる。

#### 6. 人工衛星との違いは何か

成層圏の大型空中基地が人工衛星と異なる点、さらに 人工衛星の機能の代りを期待される理由と、人工衛星に ない成層圏基地の機能について紹介する。

- 1)まず、人工衛星は打ち上げに大型ロケットと広大な 基地や危険防止のための立入禁止区域の設定や漁業保障 などが必要で、特に我が国では経済的・環境的に打ち上 げコストが大変高くなっている。成層圏プラットフォー ムの打上げはロケットを使用せず、安全性が高いので、 打上げコストが安く、また環境に優しい。
- 2)人工衛星は打ち上げ後の軌道上での故障修理やメンテナンスが事実上出来ない。すなわち、非常に高価なスペース・シャトルをこの為に使うことでもしなければ実際上は出来ない。このため、余分なバック・アップ機構を必要としたり、不意の故障では寿命を十分残したまま使用不能になったりするので不経済である。成層圏プラットフォームは随時地上に降ろせるので、定期整備や補修が簡単に出来る。
- 3) 人工衛星の打ち上げは回収不能なスペース・デブリ (宇宙の人工浮遊物)を撒散らし宇宙空間のゴミの積み 増しを行うことにもなる。成層圏プラットフォームは排 出物は全く出さない。
- 4)人工衛星では一般に、地上への距離が遠すぎるが、 地球に比較的近い低い軌道上の人工衛星は猛烈なスピー ドで移動しているため、高分解能の観測もしくは定点を 高精度で常時監視することは出来ない。一方、成層圏プ ラットフォームは広域高分解能の常時観測が可能である。
- 5)人工衛星では、通常の軌道は地上から500km以上となり、通信路の距離が遠くなるため、小電力での通信中継が出来ない。このため携帯用の電話などがどうしても大きくなり地上での中継基地がさらに必要となる。成層圏プラットフォームは地上高度は20kmなので、プラットフォームの覆域を限れば、通信路が短く、迎角も大きく取れるので、高い周波数の電波での交信が可能となる。
- 6) 人工衛星では大気上層部での汚染物質の反応などを 調べる実地観測をしたり汚染軽減を直接的にすることは 出来ない。成層圏プラットフォームは大気の直接サンプ リングをしたり、大気中の微量物質の吸着をして、汚染 物質の濃度を低減出来る。

- 7) 人工衛星では局地気象を直接制御して、集中豪雨や 豪雪被害を軽減できない。成層圏プラットフォームでは 雹の粒径制御による被害低減策の例のように可能である。
- 8) 人工衛星では大陸間の貨物輸送は出来ない。成層圏 プラットフォームはジェット気流を作って地球周回の貨 物輸送が可能である。
- 9) 人工衛星では地上へ給電するための太陽発電コスト が極めて高価につく。成層圏基地は人工衛星に比べてコ ストが安いので、発電コストも相対的に安くなる。

以上の人工衛星ではできない機能は成層圏の空中基地 で可能となる。

#### 7. おわりに

第3節で述べたように、交通のための情報化に成層圏の情報基地は絶大な機能を与えてくれる。それは単に、通信の自由度を拡げるのみではなく、程良い高さからのリモートセンシングによる広域の交通情報の把握も含む。20~40kmの距離からは雲があっても合成開口型のレーダを使えば自動車大のビークルや釣船、救命ボートの大きさまで見えるので、交通状況のみではなく広域犯罪の捜査や密入国船の発見などにも役立ち、防犯上の利益も大きくなる。成層圏情報基地のもっとも大きな利点は地上の中継局と異なり、大規模地上災害時にもその機能をそこなうことなく、移動体通信中継や観測、交通流制御などを行えることであり、災害状況の即時把握、救出活動の支援を効率良く実施できる。

#### 8. 謝辞

本稿を上梓する機会を与えて頂いた日本工業大学教授 鈴木務氏と電波航法研究会の皆様に深く感謝致します。

#### 9. 参考文献

- (1) Aviation Week & Space Technology, pp.51, July 10, 1995
- (2)早川正士:「電磁波を用いた地震予知」、pp.36-43、 JACAN (電波航法)、電波航法研究会、No.40、 1997
- (3) 恩田昌彦:「移動体マルチメディアを支える成層圏 基地-地上20kmからの情報サービスー」、pp.44-51、 TES Magazine、第48巻第2号、1997年2月
- (4) Brown, Stuart F.: The Eternal Airplane, pp.70-74, 100, Popular Science, April 1994
- (5) Sover, Dawn: Repairing the Ozone Layer, pp.23, Popular Science, Jan. 1995
- (6)駒林誠、恩田昌彦、山岬正紀:「成層圏浮遊ステーションの製作とそれによる台風の誕生から消滅までの追跡観測 | 科学技術庁資源調査所:地球系科

学技術の研究開発方向の調査 昭和63年3月

- (7) Alfred. Y. Wong: Research on Mitigation of Stratospheric Ozone Depletion, PPG 1488, Institute of Plasma and Fusion Research, Univer-sity of California, Los Angeles, August 1993
- (8)G. E. Dorrington: Feasibility of Remotely Pi-loted Station-Keeping Solar-Electric Powered Airship Platforms, 11th Bristol International RPV Conference, Bristol, England, 12-14 Sep. 1994

#### 10. 付 録

#### 10.1 耐風速と飛行のための必要パワーの関係

一般に、空中を飛ぶ飛行体が対気速度 v を得るための 必要パワー Preq は、

 $P \operatorname{req} = (1/2) \cdot \rho \cdot C_D \cdot V^3 \cdot A_V$ 

ここで、ρ: 大気密度、 C<sub>D</sub>: 機体の全機抗力係数、 A<sub>V</sub>: 機体の代表面積、

となり、対気速度 V の3乗に比例する。

#### 10.2 耐風速と機体排除体積との関係

風速と、これに耐えて位置を保持するために必要な機体の体積との関係式を導く。飛行体を太陽光推進で昼夜、定点に留まろうとするフーリィ・ボイヤント(fullybuoyant)型の軟式飛行船と仮定する。フーリィ・ボイヤント型飛行船では機体総重量と全浮力は釣り合っている。今、平均風速 v の風に対抗して、定点に溜まろうとすると、必要なパワーPreg は、10.1節と同様に

 $P \operatorname{req} = (1/2) \cdot \rho \cdot C_{DV} \cdot V^{3} \cdot Q^{2/3}$ 

となる。ここで、 $\rho$ :飛行空域の大気密度、 $C_{DV}$ :機体の体積抗力係数、Q:機体の排除体積であり、 $Q^{2/3}$ は代表面積に相当し、 $C_{DV}$ は全機抗力係数に相当する。 今、推進機のパワー効率を  $\eta_{TH}$ とすると、機上で推進機に投入すべきパワー $P_{TH}$ は、 $P_{TH}$ =  $P_{T}$   $P_{TH}$   $P_{T}$   $P_{$ 

ビークルの総重量を、WTOTとすると、これは全浮力、 すなわち、機体中のヘリウムが空気と置き換わって発生 する浮力と釣り合う。すなわち、

 $W_{TOT} = (\rho_{air} - \rho_{he}) \cdot Q \cdot k_G$ 

ここで、 $\rho_{air}$ :空気密度、 $\rho_{he}$ : へリウム・ガス密度、 $k_G$ :機体全体積中のヘリウムの占める割合。 ここで滞空高度は、ほぼ一定なので、

W<sub>TOT</sub>=Q·k<sub>B</sub> となり、k<sub>B</sub>は定数となる。

ここで、全機重量WTOTの内訳を見る。飛行船のガス袋(エンベロブ)の重量は膜材の面積に比例し、膜材の強度はガス袋のフープ張力に比例する。フープ張力はガス袋の内外圧差とガス袋の直径の積に比例する。エンベロプへのせん断突風に耐える曲げ剛性は、突風速が一定とすると、エンベロプ形状が相似であれば寸法にかかわりなく曲げ剛性を保つための内外圧差も一定となる。したがって、一定内外圧差でのフープ張力は機体寸法に比例するので、ガス袋重量はQに比例することになる。他の構造材である尾翼、ペイロード・ベイおよびペイロードとバラスト等も同様にQに比例すると考えられるので、すべての機体構造材重量は、

W<sub>ST</sub>=k<sub>ST</sub>•Q となる。ここで、k<sub>ST</sub>は定数。

次に、太陽電池(solar cell)の重量Wsc について考える。太陽電池面積Asc は太陽エネルギーの光電変換効率と夜間推進用二次電池の再生効率が一定とすると、推進に必要なパワーの大きさに比例し、電池の面密度を一定とすると、太陽電池の重量Wsc は PTH に比例するので、

W<sub>SC</sub>= k<sub>SC</sub>• P<sub>TH</sub> となり、k<sub>SC</sub>は定数。

推進システムの重量WTHを考えると、これらは推進ブレードや、減速器、モータ、インバータ等のパワー制御器、動力線等からなるが、やはり PTH に比例すると考えられる。したがって

W<sub>TH</sub>= k<sub>TH</sub>• P<sub>TH</sub> ここで、k<sub>TH</sub> は定数。

最後に、夜間推進用の二次電池の重量を考える。今、1日の放電時間(夜間)t<sub>DIS</sub>は地域と季節により異なるがプラットフォームの滞留は特定の地点なので一定となり、η<sub>BAT</sub>を電池のエネルギー密度とすると、

 $W_{BAT} = P_{TH} \cdot t_{DIS} / \eta_{BAT}$  となる。

よって、全機重量WTOTは、

 $W_{TOT} = W_{ST} + W_{SC} + W_{TH} + W_{BAT}$  $= k_{ST} \cdot Q + (k_{SC} + k_{TH} + t_{DIS} / \eta_{BAT}) \cdot P_{TH}$ 

と表現できるが、これはすなわち、

 $(k_B-k_{ST}) \cdot Q = (k_{SC}+k_{TH}+t_{DIS}/\eta_{BAT}) \cdot P_{TH}$ 

となり、

Q= $k_{TOT} \cdot P_{TH}$  ここで $k_{TOT}$ は定数となる。 =  $k_{TOT} \cdot (1/2) \cdot \rho$  air ·  $C_{DV} \cdot V^{3} \cdot Q^{2/3} / \eta$  TH

 $\therefore Q^{1/3} = k \cdot C_{DV} \cdot V^3 \quad \text{となり、} k \text{ は定数},$  よって、  $Q = k^3 \cdot C_{DV}^3 \cdot V^9$ 

となり、昼夜滞空するのに必要な機体の体積は、単純に は耐風速の9乗に比例することになる。

ここで、 $C_{DV}$  は、 $\nu$ イノルズ数 Reによって変わり、 $Re=10^7$ 以上の領域では、 $Re=10^5$ 以下の領域よりも小さくなるので、 $Re=10^7$ 以上では、 $Q=V^7$ 程度となろう。

## SOLAS 条約第 V 章改正

東京商船大学

# Hayama IMAZU Tokyo University of Mercantile Marine

#### 1. NAV 45 の議題

1999年9月20日(月)から25日(金)の間、英国ロンド ンの IMO (International Maritime Organization) において NAV 45 (45th session of the Sub-Committee on Safety of Navigation) が開催された。今回の NAV はSOLAS 条約第V章 (Capter V of the International Convention for the Safety of Life at Sea:以下、「S OLAS-V章」という) 改正検討の最終であった。会合 は K. Polderman(蘭) を議長とするプレナリー(plenary) で、表1に示す14の議題について審議された。また、議 事を効率よく進めるため、今回は C. M. Young(米) を 議長とする議題 5 関係の WG (Working Group) 及び DG (Drafting Group)、K. Fisher(英) を議長とする 6、7、8関係のWG、J.F. Lameijer(蘭) を議長とす る議題3、4関係のWG、M.U. Ahmed(バングラディシュ )を議長とする議題 9 関係の DG が設けられ、それぞれ 関連する資料について活発な討議を行い、その討議結果 はWP(ワーキングペーパー)としてプレナリーに報告 され、プレナリーで審議が行われた。

表1 NAV45で討議された議題

	題目
議題1	議題の採択
議題2	他のIMO機関の決定
議題3	航路、船舶通報、及び関連事項
議題4	COLREGSの改正
議題5	SOLAS-V章の改正
議題6	船橋機器と配置に関する人間工学的基準
議題7	船行援助及び関連事項
議題8	ITU (International Telecommunications Union) 関連
議題9	水先人の訓練と証書及び決議 A.485(XII) の改正
議題10	旅客潜水船の安全
議題11	作業計画
議題12	2000年の議長及び副議長の選出
議題13	その他
議題14	MCS (Maritime Safety Committee) へのレポート

また、会議の合間には、スウェーデンの BAFEGIS プロジェクトで行われた AIS (Automatic Identification System: 船舶自動識別装置) 及び ECDIS (Electronic Chart Display and Information system:電子海図表示情報システム) の評価についての報告 (NAV45/INE8) や、英国の Tideland Signal と Marine Data System による UAIS (Universal AIS) のデモンストレーションがテームズ川で行われた。

#### 2. SOLAS-V章改正(議題5関連)

#### 2.1 SOLAS-V章の全体構成

全部で35の規則からなる SOLAS-V章改正案は、 $\mathbf{表 2}$  に示す構成となっている。

表 2 SOLAS-V章改正案~規則の構成~

規則	内 容	規則	内 容
1	適用	19	航行システム及び機器の
2	定義		機能要件並びに搭載要件
3	免除及び同等物	20	航海データ記録器
4	航行警報業務	21	国際信号書
5	気象業務及び警報	22	航海船橋の視界
6	氷の監視業務、管理及び費用	23	水先人用移乗設備
7	捜索及び救助業務	24	自動操舵/トラック装置の使用
8	救命信号	25	主電源及び操舵装置の作動
9	水路業務	26	操舵装置
10	船舶航路指定	27	海図及び航海用刊行物
11	船舶通報制度	28	航海記録
12	船舶通航業務	29	遭難船舶、遭難航空機又は
13	航行援助施設の構築及び運用		遭難者が用いる救命信号
14	船舶での人員配置	30	運航の制限
15	船橋設計、航行システム及 び装置の設計と配置並びに	31	危険通報
	船橋手続きに関する原則	32	危険通報に必要な情報
16	設備の保守	33	遭難通報
17	電磁適合性	34	危険事態の回避
18	航行システム及び機器の 承認及び検査	35	危険信号の濫用
	承認及び検査		75/21/21/21/21

規則の構成やその内容において、従来の規則とは多くの点で異なるが、その中でも特に、第15規則と機器搭載要件(第19規則及び20規則)に大きな改正が見受けられる。そこで、ここではこれらの規則を中心に説明することとする。なお、改正案では、適用要件について現行SOLAS-V章で適用除外となっている軍艦及び専ら内水面のみを航行する船舶に加えて、政府が運航する船舶等を適用除外とする提案を行った国があり、係る議論はNAVとしては結論が出ず、次回MSC72で検討されることになった。

また、設備の搭載要件等に関する規定については、国際航海に従事する150 総トン未満の船舶及び国際航海に従事しない500 総トン未満の船舶については SOLAS-V 章の適用を主管庁の裁量により決定できることとなっている。

### 2.2 船橋設計や航行システム配置などに関する原則 (第15規則関連)

第15規則は、「船橋設計、航行システム及び装置の設計と配置並びに船橋手続きに関する原則」と非常に長い名前を持ち、従来の規則には無い「原則」を規則として取り込んでいる。

#### 表3 第15規則の条文案

本章の第19、22、24、25、27、28規則で要求されている事及び船橋設計、航行システム及び装置の設計と配置並びに船橋手続きに関する事項では、次のことを目ざすべきである。

- 1 船橋チーム及び乗船中の水先人による、状況総合評価及び船舶の安全航行のための仕事があらゆる運航状況において容易にできること
- ・ 2 船橋資源取扱い (Bridge Resource Managemant) における効率性と安全性を促進すること
- ・3 制御や表示に関する記号やコード標準方式に従って明確に表示された主要な情報へ、船橋チーム及び乗船中の水先人が容易かつ連続してアクセスできること
- 4 自動機能や、統合された要素やシステムや副シ ステムの作動状況を示すこと
- 5 船橋チーム及び乗船中の水先人により、迅速で連 続した効果的な情報処理と行動決定が可能なこと
- 6 船橋チーム及び乗船中の水先人への、過度あるいは不必要な仕事及び、監視を妨げたり、疲れを起こさせるような状況や気を散らせるものの存在を防止するか最小限にすること
- 7 人間の誤りによる危険を最小限にし、もし誤りが起きた場合は監視や警報システムにより船橋チーム及び乗船中の水先人が的確な行動が取れるように早期にこれを検出すること

この規則は、SOLAS-V章改正案としてノルウェー が提案した Functional Requirement の流れを残した 規則である。規則の内容は表3の通りである。またこの 規則の関連として、船橋機器と配置についての人間工学 的観点からのガイドライン (船橋配置と配置に関する人間 工学的基準) がコレスポンデンスグループ(独) により作ら れた。しかし同様の基準が既に ISO や LR (ATOMOS-2)にあることから、こうした基準を使っている国から反対 意見が出されたこともあり、本ガイドラインの検討・合意 はNAV 46 (2000年7月開催予定)まで延期され、MSC73 で承認される予定である。我が国は以前に船橋配置のガ イドライン作成を試みたこと(この流れから本ガイドライン 作成において独と組んだこと)、ISOやLR 基準のような複 数の基準をIMOにおいて統一するためにもガイドライン作 成が必要であることから、我が国として積極的にコレポン デンスグループに協力する姿勢が必要であろう。

# 2.3 航行システム及び機器の搭載要件 (第19及び20規則関連)

改正案では、第19規則及び第20規則に各種航行システム及び機器の搭載要件が規定されている。2002年7月1日以降に建造される船舶(新造船)についての航行設備搭載についてまとめると表4となる。この表中の記号の意味は次の通りである。

●:現在のSOLAS-V章でも適用されている

○: SOLAS-V 章改正により新規に適用される

□:旅客船のみに適用される

★:現行のSOLAS-V章では国際航海に従事する船舶への適用であるが、今回の改正により国際航海に従事しない船舶にも適用拡大

☆:改正により国際航海に従事する船舶に適用

△:改正による適用のうち主管庁裁量

先述のとおり、本規則の適用については、国際航海に従事する 150 総トン未満の船舶及び国際航海に従事しない 500 総トン未満の船舶についてはその適用を主管庁の裁量により決定できることとなっている。また、今回改正される SOLAS-V 章は原則的に 2002 年 7 月 1 日以降に建造される船舶 (新造船) に適用される。したがって、2002 年 7 月 1 日より前に建造された船舶 (現存船) については、現行の SOLAS-V 章第 12 規則が適用されるが、今回の改正により現存の船にも搭載要件が課せられる機器として電子航法装置 (GPS等)、AIS 及び航海データ記録器 (VDR) があり、その搭載要件は表 5 の通りとなっている。但し、VDR の貨物船への適用については NAVでは結論に至らず、ブラケットを付して次回の MSC に報告されることとなった。

表 4 SOLAS-V章改正案による航行設備搭載要件

				適	用	(総)			段:				
規則	項目	設 備	備考	0	150	300	500	1600	3000	1万	2万	5万	10万
/SCK-1	7.0	H.Z. DIN		150	300	500	1600	3000	1万	2万	5万	10万	
19	1.2.1	操舵用磁気コンパス		0	•	•	•	•	•	•	•	•	•
19	1.2.2	方位盤等方位測定装置	2	0	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	1.2.3	真方向への変換手段		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.2.4	海図及び航海用刊行物	海図の代わりに ECDIS も可		•	•	•	•		•	•	•	•
	1.2.5	海図のバックアップ装置	1.2.4 が電子海図の場合	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.2.6	電子航法装置(GPS等)	航海中自動測定	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.2.7	レーダーリフレクター	実行可能であるならば設置	0									
	1.2.8	音響受信システム	全閉型船橋の場合、	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.2.9	非常操舵場所との船首方向通信設備	非常操舵場所がある場合	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
l .	1.3.1	第2磁気コンパス	1.2.1 の予備等		•	•	•			•	•	•	•
	1.3.2	昼間信号灯			*	*	×	*	*	*	*	*	*
l	1.4.1	音響測深機				0	×	*	*	×	*	*	*
	1.4.2	9 GHzレーダー	旅客船	*	*	*	•	•		•			
			貨物船			*	•	•		•		•	
	1.4.3	EPA (電子プロッティング装置)				0				l			
	1.4.4	船速距離計	(対水速力航程)			0	×	*	*	×	*	*	*
	1.4.5	ТМНД	1.4.2.1.4.3.1.5.3 の機器に真方向を供給			0							
	1.5	AIS	旅客船	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			貨物船			耸	0	0	0	0	0	0	0
	1.6.1	ジャイロコンパス	1.4.2.1.5.3.1.6.5 の機器に真方向を供給				•		•	•	•		•
	1.6.2	非常操舵場所操舵用レピータ	非常操舵場所がある場合				•	•	•	•	•	•	•
l	1.6.3	360° 方位測定レピータ	1600GT未満は可能な限り設置		<u> </u>		Δ	•	•	•	•	•	•
1	1.6.4	舵角・回転数・推力計	指揮場所から読みとり可能				•						
	1.6.5	ATA(自動物標追跡装置)				<u> </u>	10	0	0	0	0	0	0
	1.7	方位測定能力の2重化	1.2.1. 1.2.2. 1.2.4 の予備機能	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	0	0	0	0	0	0	0
1	1.8.1	第 2 レーダー	3GHz(主官庁が認める場合は9GHz)		<u> </u>		<u> </u>		0	•	•	•	
1	1.8.2	第 2 ATA	第 2 レーダ用 ATA	<u> </u>	ļ	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	0			1	
	1.9.1	ARPA		1						•			
	1.9.2	トラックコントロールシステム		1		<u> </u>	L_	<u> </u>	_	0	0	Q.	0
	1.10.1	旋回角速度計		ļ		<u> </u>	ļ.,	<u> </u>	<u> </u>			O.	•
L	1.10.2	船速距離計	船首尾・正横方向の対地速力航程						<u> </u>			0	0
20		VDR	旅客船、ro-ro旅客船	<b>*</b>	38	127	耸	垃	₩.	圿	耸	郑	W
			貨物船	<u> </u>		<u> </u>			☆	☆	圿	☆	常

(1999.10.現在)

注1) 適用除外:軍艦及び専ら内水面のみを航行する船舶に対しては本章の適用を除外する。 国際航海に従事する150トン未満の船舶、国際航海に従事しない500トン未満の船舶については、その適用を主管庁が決定する。 注2) 適用欄: ●: 現行 (す章の適用、○: 改正案の適用、□: 旅客船のみ適用 ★: 現行は、国際航海船のみであるが、改正により非国際航海船も適用拡大、☆: 改正案の適用で国際航海船のみ適用、△: 改正案による適用のうち主管庁裁量

注3) : 現行V章と比較した場合強化されている部分

表 5 現存船に対する新規航行設備の搭載要件適用

		衣	0 -5013	州に刈りる新規が	ואמנוי	出って1日	****	1,000/11						
					100	1		適	用	項	B			
規則	項目	設 備		対象船舶	~	2002.7.1	2002.7.1	2003.7.1	2004.7.1	2005.7.1	2006.7.1	2007.7.1	2008.7.1	2009.7.1
					2002.7.1	~	2002.7.1 以降 初回検査	~	~	~	~	~	~	~
19	1.1.2.1	電子航法装置	新船	全ての船舶		•								
		(GPS等)	現存船	全ての船舶	•								1	
	1.5.1.1		新船											
	1.5.1.2.1			旅客船及びタンカー	•									
19	1.5.1.2.2	AIS (全ての旅客船、3000GT	現存船	5000GT以上のタンカーを除く貨物船	•		7.5			1				
	1.5.1.2.3		(国際航海)	10000GT以上 "	•									
	1.5.1.2.4	非国際航海貨物船)注1)	(EIDA DUILLE)	3000GT以上"	•									
	1.5.1.2.5	71 E. M. D. 17 S. (1982) E. 17		300GT以上 "	•			`	ļ .	<u>                                     </u>				
	1.5.1.3		現存船 (非国際航海)		•									
Γ								適	用 項	<b>1</b> B				
規則	項目	設備		対象船舶	2002.7.1	2002.7.1	2002.7.1 以降 初回検査		2004.1.1	ř	2006.1.1	2007.1.1	2008.1.1	2009.1.1
	1.1		新船	旅客船	2002.7.1		初凹便宜	<del> </del>	<del> </del>			-		<del> </del>
20	1.2	VDR	現存船	ro-ro 旅客船	•									
-	1.3	(国際航海に従事する	1.	旅客船 (ro-ro 船を除く)	•									
l	[ 1.4 ]	全ての旅客船、3000GT	新船	20000GT以上貨物船		•								
1	[ 1.5 ]	以上貨物船)注1)		3000GT以上貨物船		•								
	[ 1.6 ]		現存船	20000GT以上貨物船	•									
ı	[ 1.7 ]		1	3000GT以上貨物船								I		

注1) 適用除外:軍艦及び専ら内水面のみを航行する船舶に対しては本章の適用を除外する。 国際航海に従事する150トン未満の船舶、国際航海に従事しない500トン未満の船舶については、その適用を主管庁が決定する。

●:建造期日

#### 3. 新設備について

今回の改正に伴ない新たに船舶に搭載される設備(船舶の大きさ、航行区域によって拡大適用されるものを除く。)の主なもとして、AIS、VDR、トラックコントロールシステム(Track Control System:自動航路保持システム)がある。ここではこの3つの機器の概要について説明する。

#### 3.1 AIS

海難事故の防止と事故後の対応のために船舶の交通管制が行われているが、この場合に最も重要な機能が相手船の識別である。この問題は古くから検討され、船体や甲板に船名を大きく書く等の案が検討されたが、実行に移されてはいない。しかし、最近の通信機器技術の進歩により、船舶を自動的に識別する種々の方法が提案され、その検証が進められている。こうした船舶の自動識別が可能になると、船と陸、船と船の間で通信することが可能となるので、VTS (Vessel Traffic Service Systems)、船の衝突防止、船舶通報 (Ship Reporting)、探索救助(Search and Rescue) それに海賊対策等に役立つ。

今回の SOLAS-V章の改正で、総トン数 300トン以上の国際航海に従事する船舶及び総トン数 500トン以上の国際航海に従事しない船舶に搭載要件が課された AISについては、NAV43での審議を得て MSC69 (1998年5月開催)で採択された性能基準では、VHF-DSC (Digital Selective Calling) 技術を利用した 2-S方式

(DSC 方式)、あるいはSTMDA技術を利用したユニバーサル方式 (4-S 方式、STDMA 方式、放送方式)を採用するかを巡り審議がなされ、その結果、機能要件化された基準とし、規定された機能を満足すれば方式は問わないこととなった。しかしながら、この性能基準は、通報容量について 2,000 レポート/分を要求しており、現段階ではユニバーサル方式のものしか対応できないものとなっている。したがって、船舶に搭載される AIS はユニバーサル方式の AIS (以下、「ユニバーサル AIS」という。)となることが想定される。

- 1) DSC 方式: IALA の要求性能を満たすべく開発されたシステムで、交信したい相手を選びディジタル信号を送って交信する方式で、主として船と陸の間の通信など VTS で使われている。この方式でも船と船の間で通信することは可能であるが、選択が手動であることもあり通信できる船の数は制限される。
- 2) STDMA 方式: STDMA は Self-Organized Time Division Multiple Access の略で、時間分割多元接続方式による通信方式である。この方式では多くの情報を自動的に高速で送ることができるので、船対陸、そして船対船の間の通信として利用できる。

図1にはユニバーサルAISの機器構成を表す。このように外部との通信のために時間分割多元接続方式 (TDMA) の受信機2つとTDMA送信機及びDSC受信機各1つを持っている。

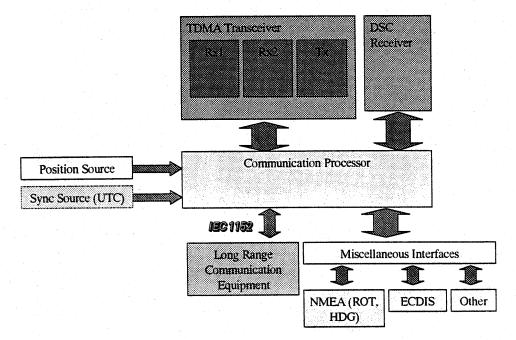


図1 ユニバーサル AISの機器構成

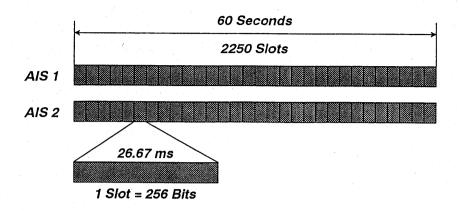


図2 AISにおける GPS 時刻を利用した時間分割

図2は時間分割における各スロットの大きさであり、個々の船舶はこのスロットを使って自分の情報を送信し、残りのスロットの信号を受信することにより、相手船の情報を得る。 目視や ARPA (Automatic Radar Plotting Aid:自動衝突予防装置)による情報収集では、他船の行動変化を素早く検知し、正確に推定することは困難であるが、AISでは、相手が自船の情報を送信するので、情報の遅れや精度に問題は無い。しかも、送信される情報としては上述性能基準では、表6に示す情報が規定されており、従来に比べ多くの情報を迅速にしかも正確に入手することが可能となる。

表 6 AISによる送信情報

静的情報	I MO 識別符号
	コールサイン & ネーム
	船のディメンション
	船舶のタイプ
	測位センサーの種類
	測位アンテナ位置
航海関係情報	船の喫水
	目的地
]	航海計画等
動的情報	船の位置 (WGS-84)
	対地針路
	対地速力
	船首方向
·	航海の状況
	回頭速度
	ヒール角度 (optional)
	ピッチやロール角( ″ )
	外部センサー付加情報

またこうした情報の更新間隔は、動的情報を例にとると表7の様に規定されているので、変化の激しい情報ほど更新時間が短く、この点でも現在に比べ大きく改善される。なおAISで重要な情報である位置情報は、WGS-84であり、このためにも我が国の測地系を世界測地系に急ぎ変える必要がある。AISの欠点はAIS 搭載船にのみ有効であることである。AIS 搭載船が増えれば増えるほど他船情報を自動的に収集できるようになるが、全ての船に搭載しない限り、AIS に情報の全てを依存することはできず、AIS 非搭載船に対して ARPA や目視による情報収集は欠かせない。

表7 AISの情報更新間隔

船舶のタイプ	通常航行時の間隔	変針中の間隔
錨泊中	3分	<u>-</u>
速力 0-14 ノット	12分	4秒
速力 14-23 ノット	6分	2秒
速力 23 ノット以上	3分	2秒

また、AIS情報の衛星を利用した長距離通信についての研究が一部の国で行われており、これが実現すると船舶運航形態を大きく変えることが可能となる。

我が国で研究されているフリートマネージメントシステム(図3)においても、こうした通信技術の発展には 注目する必要がある。

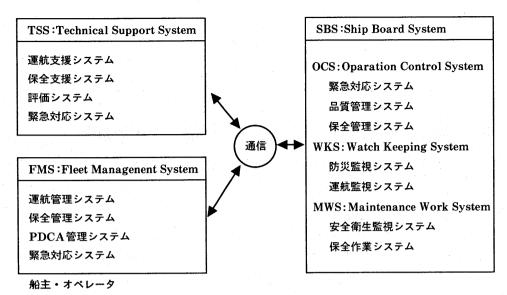


図3 SR238での海上と陸上の作業分担モデル

#### 3.2 VDR

IMO第20回総会 (1997年11月開催) において VDR の性能基準が決議された。当該性能基準では VDR に記録する最小限のデータセットは次の15種類の項目である。

- 1) 日時と時刻: UTCに基づいた日時。以下の項目の 記録はこの時刻で行い、再生できること。
- 2) 船の位置:電子測位システムによる自船の緯度、経 度そして使用測地系。また再生のときのために測位 システムの種類と状態についても記録。
- 3) 速度:対水または対地速力。また、どちらの速力であるか判るように記録。
- 4) 針路:船のコンパスが示すとおり。
- 5) 船橋音声:船橋の指令をする場所、レーダ表示画器、 海図テーブル等の近くに置いた一つあるいは複数の マイクで収録。できるだけ船無い通信システムや音 声警報などを補足できるようにする。
- 6) 通信音声: VHFによる会話を専門に記録。
- 7) レーダデータ:ここでは記録時のレーダ画面に表示されている情報を記録する。これは距離リングあるいは距離マーカー、方位マーカー、プロッティングシンボル、レーダマップ、それに選択されている SENC、 航海計画、航海データやレーダの状況など表示画面上に表示されているデータである。
- 8) 音響測深機: キールから下の水深、表示されている 深度目盛、その他の状態に関する情報。
- 9) 船橋の主要警報の状況: これには GMDSS アラームを含む。
- 10) 操舵命令と応答:オートパイロットが装備されてい

るならばその状態と設定を含む。

- 11) 機関操作命令と応答:エンジンテレグラフやプロペラコントロールそしてその指示器を含む。またバウスラスターが装備されていればその状況を含む。
- 12) 船体開口部の状態
- 13) 水密扉と防水扉の状態
- 14) 加速及び船体応力: 船体応力・応答監視装置を装備 している船舶では、記録されるデータ。
- 15) 風速と風向:相対的な風速と風向。ただし可能な船舶。

このような項目別データは、最低12時間保持されなければならないこととなっている。これより古いデータは書き換えられてもよい(上書き可)。

#### 3.3 トラックコントロールシステム

計算機の進歩は、情報処理を飛躍的に向上させた。このため船舶でも計算機が導入されたが、船内の情報の電子化は遅れていたため、十分に機能することはできず、計算能力だけが使われていた。ところが海図情報が電子化(ENC: Electronic Navigation Chart)され ECDISが出現すると、船舶運航の自動化が一挙に進んだ。その一つがトラックコントロールシステムである。これはECDIS等を使って計画された航海計画に基づき、ウェイポイントを結ぶ航路上を船が航行するように、船の速力や針路を制御する装置である。この装置では予め次のことを決めておく。

- ① 計画航路からの偏位の許容限界(偏位警報)
- ② 2種類の測位システムの選択と位置モニタ(自船位 置警報)

- ③ 変針や変速が必要になったときの手続き(針路差警報)
- ④ その手続きに従って変針・変速する方法(低速警報)これにより後は自動的に針路速力が制御されるので、運航者はトラックコントロールシステムが正常に機能しているかどうか表示を見てチェックすればよい。装置では選択された測位システム(一般には GPSやDGPS)による位置を使って、自船の航路からの偏位量を求め、次にこの偏位量を修正するための新しい針路を算出し、最後にこの針路になるように自船針路を制御する。今までこの作業は航海士によって行われていたが、測位、海図への位置の記入、計画航路からの偏位量とこれを修正するための新しい針路の計画、オートパイロット(トラックコントロールシステム)への新しい針路入力等の、4つの作業が全て自動化されたことになる。また、運航者との間にスムーズな補完関係を確保するために、システムとして次のような情報を運航者に表示する。
  - 1) 各種の警報(次のような警報を出し、運航者の指示を待つ)
    - ・偏位警報:自船の位置が計画航路から外れ、その量 が許容限界を超えた場合に出す音響や視覚による警 報
    - ・自船位置警報: 2種類以上の測位位置 (Heading、 Position)をモニタして、それが前もって設定して いた許容量以上の差を生じたときに出す警報
    - ・針路差警報:自船の現在の船首方向が計画針路から 設定許容値以上にはずれた場合に出す警報
    - 低速警報:対水速度が自船の操船に必要な速力以下

となった場合に出す警報等

- 2) 各種の表示(次の情報を常時表示し、運航者に現状を知らせる)
  - · Steering モード
  - 航路のコースと実際の船首方向
  - ・現在の位置、航路からの偏位量、及び速力
  - 現在の船首方向、位置及び速力の情報源
  - TO-ウエイポイント、NEXT-ウエイポイントに関する 情報
  - TO-ウエイポイントまでの時間及び距離
  - 各種センサーの状態と故障等
- 3) 準備しておく情報(次のような情報を用意し、運航 者の要求に基づき表示する)
  - ・ウェイポイントのリスト、これにはウエイポイント間のコースや距離を含む
  - トラックコントロールに関係する全ての許容限界値 や設定値
- 4) コース変更の早期表示(コース変更にあたって事前に運航者に知らせる) 計画に基づくウェイポイントでのコース変更では、

舵を切る1分前までにコース変更を表示する。

このようにトラックコントロールシステムではセンサーとして測位システム、船首方向計測システムそして速力計測システムが不可欠であり、しかもそれらは連続的に使用できるものでなければならない。こうした条件を満足する測位システムは現状では GPS やDGPS のみである。

# 国際宇宙ステーション計画

宇宙開発事業団 堀川 康

# International Space Station Program

Yasudhi Horikawa National Space Development Agency of Japan

Key words: International, Space Station, ISS, Japanese Experiment Module, JEM

#### Abstract

The International Space Station (ISS) Program is an international endeavor to achieve permanent manned base in space in the beginning of the 21st century. Japan is participating in this program, providing Japanese Experiment Module (JEM) where space environment utilization experiments will be conducted.

#### 1. はじめに

国際宇宙ステーション計画は米国、ロシア、欧州諸国、カナダおよび日本の世界15カ国が参加する国際協力プロジェクトで、科学技術の発展に寄与すべき各種宇宙実験を行うことを目的に21世紀初頭に宇宙に恒久的有人施設を建設する計画である。わが国はこの国際宇宙ステーション計画に日本の実験モジュール(Japanese Experiment Module: JEM)を取り付け無重力環境等を利用した各種宇宙実験を行うことを目的として参加している。国際宇宙ステーションは本年11月に最初の要素が打ち上げられ、段階的に建設されることとなっている。日本のモジュールは2001年から2年にかけて打ち上げられ、宇宙ステーションの完成は2004年初頭を予定している。本稿では宇宙ステーション計画の概要およびわが国が開発をしている日本の実験モジュールについて紹介をする。

## 2. 国際宇宙ステーション計画の概要

国際宇宙ステーションはその建設完了時には全長約110m、太陽電池の長さ約75m、全体の重量が約420トンの大型構造物で、高度約400kmの軌道上を1周約90分で地球を周回する。宇宙ステーションの組立は米国の

スペースシャトル、ロシアのプロトンロケット等が用い られ、運用開始後は日本や欧州のロケットも補給運用に 用いられる。地上との通信には米国のデータ中継衛星 (TDRS) やロシアの衛星が用いられ、日本や欧州のデー タ中継衛星も定常運用段階で使用される。 米国 NASA はトラスと呼ばれる構造体に約100kwの電力を発生す る太陽電池パネル、各モジュールを結合するためのノー ドを取り付けるとともに無重量実験を行う実験モジュー ル、宇宙飛行士が居住するための居住モジュールを提供 し、通信系、電力系、熱制御系、環境制御等の機能中枢 の役割を提供する。ロシアは1986年以降運用を行って いる宇宙ステーションミールとほぼ同等の機能を持つ二 つの実験モジュール、軌道・姿勢制御機能を有する機能 モジュールやサービスモジュールの提供を行う。欧州は 実験用モジュールの他、ロシアの建設部分の組立に用い るロボットアームを提供し、カナダは宇宙ステーション 組立および保守に用いる大型のロボットアームと精密作 業用ロボットアームを提供する。

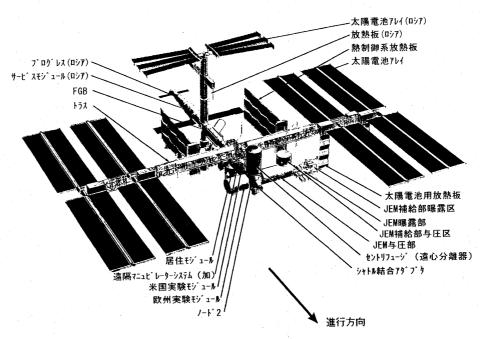
宇宙ステーションには初期段階における居住機能を有 するロシアのサービスモジュールと緊急帰還機の機能を 有するロシアのソユーズが打ち上げられる1999年半ば 以降3名の宇宙飛行士が常時滞在可能となり、米国の居 住モジュール、および2機目の緊急帰艦機が打ち上げら れると最終的には7名の宇宙飛行士が常時滞在可能とな る。これら7名のうち、3名はロシア人宇宙飛行士、残 り4名がアメリカ、日本、欧州およびカナダの宇宙飛行 士が国際間取り決めに応じた割合で搭乗する。日本の宇 宙飛行士は一年の内半年間1名が搭乗可能である。宇宙 ステーションの各与圧モジュール内は1気圧の空気で満 たされており、摂氏 22±3℃、湿度 30~60 %に制御さ れた環境に維持され、宇宙飛行士は地上と同様の服装で 快適に滞在できる。宇宙ステーションの電力系は太陽電 池パネルから約100kwの電力が直流160Vで発生され、 各要素、モジュールに配電され、直流-直流変換器を経 て120 V直流として利用される。各モジュール等で発生 される熱は基本的に与圧部分は水ループで排熱され、曝 露系の排熱を行うアンモニアループとの間で熱交換され る。各部から吸収された熱は NASA の排熱放射板を通 して、宇宙空間に排熱される。宇宙ステーションの姿勢 制御はトラス上に置かれた4つのコントロールドモメン トジャイロと推進用スラスタにより制御され、軌道制御 は組立当初はロシアの機能モジュールを、その後はロシ アのサービスモジュールにより行い、燃料補給、軌道制 御の補助はロシアのプロトンロケットおよびヨーロッパ のアリアンロケットで打ち上げられる軌道変換機等が用 いられる。ステーションの軌道決定は GPS を用いて行 われる。宇宙ステーションの運用は基本的にはロシアの 部分はロシアが、米国の部分はNASA が運用を行うが 全体の運用の統括はNASA が行うこととなっている。 日本、ヨーロッパ諸国およびカナダもそれぞれが提供し ている要素についての運用は、それぞれ NASA と連携 しつつ、それぞれが責任を持って運用することとなって

宇宙ステーション内の通信系統はコマンド、テレメトリィについては MIL 規格の 1553B ネットワークが張り巡らされており、実験用データ伝送については 100 Mbps の高速データ伝送系、イーサーネットによる中速データ伝送系があり、他にビデオ系、音声系が整備されている。これらのデータが束ねられて、データ中継衛星を経由して地上局との間で通信が行われる。

## 3 日本の実験モジュール(JEM)の概要

宇宙ステーション計画により、長期に宇宙に滞在する 能力が取得できることになり、これにより、材料科学、 生命科学等の分野における長期間の宇宙実験や地球、天 体等の観測が可能となり、新たな科学的知見の取得が期 待される。また、先端的宇宙システムを構築するために 必要となる有人宇宙開発技術の取得と向上を通じて、人 類が将来さらに宇宙での活動範囲を広げるために必要な 基盤技術を習得することができる。また、宇宙環境を利 用した材料、医薬品等の製造プロセスに関する実験を通 して、将来的には産業としての基盤造りに貢献すること も期待できる。これらにも増して、この計画に参加する ことにより、科学技術全般の振興、さらには国際社会へ の貢献という見地からも意義深い計画と考えられる。こ のような視点からわが国は宇宙ステーション計画に参加 することとし、軌道上で多目的に宇宙実験可能な日本の 実験モジュール (JEM) を開発することとした。JEM は宇宙飛行士が地上と同じ服装で実験等の作業のできる 環境を提供する与圧部と、宇宙空間に直接曝された環境 で地球観測、天体観測や各種理工学実験を行う曝露部、 曝露部上の機器の交換操作が宇宙飛行士の船外活動を必 要とせず行うことができる JEM マニピュレータ、 曝露 部上の機器を与圧部との間で出し入れすることのできる エアロック、さらに与圧部、曝露部上の実験装置や補用 品を地上と JEM の間で輸送するために必要な補給部与 圧区、曝露区がある。1990年から開始された JEM の開

# 国際宇宙ステーション



発は計画に参加する各パートナーの国内事情、資金事情、 技術的困難等によりたびたび計画の遅延が余儀なくされ、 今日にいたっているが、本年11月に最初の要素が打ち 上げられるところにまで来ている。

この間、日本は初めての本格的有人宇宙技術の開発ということもあり、着実な技術開発を目指し、開発を進め、2001年から、2002年にかけて打ち上げられる、各構成要素のフライト品の製作、試験に入っている。

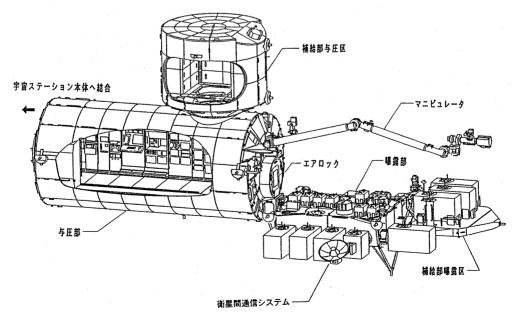
### 3.1 与圧部

与圧部は外径4.4m、長さ11.2mの円筒形をしており 実験装置を除くシステム重量として約18トン、内部は1 気圧の空気で満たされている。JEM 内では空気の循環、 温湿度の制御を行う。宇宙ステーション全体の各モジュー ルはそれぞれ独立しているが、すべての与圧空間はそれ ぞれハッチを開けた状態で運用される。従って均一な空 気の供給のため、空気の再生は米国モジュール内で行わ れる。与圧部内にはJEM全体への電力供給を行う配電 機能、テレメトリ、コマンド配信を行うネットワーク、 高速、中速データ、音声、ビデオ等の通信を行う通信中 継機能、与圧内の人間や機器から発生する熱を排熱する 排熱機能、実験装置、特に材料科学の実験に必要なアル ゴン、ヘリウム、炭酸ガス等のガスを共通的に供給する 実験支援系、JEM内の機能を集中的に管理できるワー クステーション等が整備されている。与圧内は宇宙飛行 士が地上の環境と同じ感覚で実験ができるよう実験装置 やワークステーションは両サイドに、システム機器は天井と床下に配置するようにしている。実験装置は国際間で共通な国際間標準実験ラックと呼ばれるラック内に収納して、共通的実験支援機能の提供を受けて実験ができるようになっている。国際標準ラックはJEM内には10個搭載することができ、国際間の約束として、日本は米国から、電力、排熱、通信、環境制御等のインフラストラクチャに関するリソースの提供を受ける見返りにJEM内の約半分のラック搭載位置をNASAに提供することになっている。

#### 3.2 陽露部

曝露部は幅5m、長さ5.2m、高さ4mの直方体をしており実験装置を除くシステム重量が約4トンの宇宙空間に曝露された曝露環境での実験を可能とするシステムである。曝露部の側面および上面に12個の装置交換機構がとりついており、常時10個の実験装置を取り付けて実験が可能となっている。この取り付け箇所の内約半分もNASAの使用に供せられる。各装置交換機構は実験装置に対する冷却流体、電力、通信等のインターフェースを自動結合する機能を有している。補給部曝露区により輸送された曝露実験装置はJEMマニピュレータを用いて宇宙飛行士が与圧船内から操作をして曝露部に取り付ける。曝露部のシステム機器は曝露部の上面および下面に配置されている。

日本実験モジュール(JEM)の概念図(ミッション機器搭載例)



#### 3.3 JEM マニピュレータ

JEM マニピュレータは曝露部実験装置の交換、修理や、曝露部実験試料の交換の他、曝露部上のシステム機器の交換、修理も行えるよう、大型の親アームと、精密作業用の小型アームから構成される。親アームは全長10m、6自由度で打ち上げ時は与圧部に折り畳んで取り付けられた状態でうちあげられる。子アームは全長1.8mで同じく6自由度を持っている。親アーム、子アームの操作は何れも与圧部内の専用ワークステーションからビデオカメラの画像を見ながら操作される。子アームは補給部曝露区を用いて打ち上げられ、打ち上げ後曝露部上の保管場所に保管される。実験試料や一部の曝露部システム機器は与圧部と曝露部の間に取り付けられたエアロックを介して交換出し入れができる。

#### 3.4 補給部

補給部は実験や運用に必要な補給品を搭載し、地上と 宇宙ステーションを往復するコンテナである。与圧区は 与圧部で用いられる実験装置、実験試料、システムの補 用品等を輸送するとともに、軌道上では保管庫としても 用いられる。与圧区には最大8個のラックが搭載可能で 与圧部天頂部に取り付けられる。曝露区は曝露部のペイ ロードやシステム機器の輸送に用いられ、標準ペイロー ド3個分の1500 kgまで輸送が可能である。装置の取り 付けは曝露区の面上グリッドに沿って自由に取付が可能 になっている。実験装置は4つのペイロードラッチ機構 を通して取り付け、取り外しが可能である。

#### 4. 有人宇宙飛行技術

宇宙ステーション計画では安全性、居住性、作業性、 人間機械インターフェース等の機能性能要求は国際間で 極力共通化、標準化をはかるべく調整し、JEM の設計、 開発に反映させており、これらの開発を通じて日本の有 人宇宙活動の技術基盤の確立をはかることを目指してい る。JEM と宇宙ステーション本体との機能の配分は基 本的に電力、排熱、通信、環境制御等のリソース供給は 宇宙ステーション本体に依存し、また宇宙飛行士の居住 空間、睡眠、飲食料、衛生関連、手洗い、健康管理等の 居住機能施設も宇宙ステーション本体に依存し、JEM は宇宙飛行士が実験運用を実施できる施設を提供するも のである。宇宙飛行士が緊急時に地球に帰還する設備も 宇宙ステーション本体に依存する。宇宙ステーション全 体のリソース管理、制御は宇宙ステーション本体が実施 し、JEM はJEM内の管理制御を行い、その情報を宇 宙ステーション本体に通知する。船外活動のための宇宙 服、エアロックなどの設備、支援機材は宇宙ステーショ ン本体に依存し、JEM は船外活動を支援する移動用補 助具、器具および、宇宙飛行士の拘束具などの補助具を 備えるとともに、船外活動による保全性の設計、検証を 行う。JEM はまた軌道上組立、保全および補給時に使 用するカナダのマニピュレータの運用手順の作成、検証 も行う。JEM のシステムはシャトルにより、3回のフ ライトに分けて打ち上げられる。JEM は打ち上げから 軌道上に至るまでさまざまな環境に曝され、それらの環 境に対し十分な安全率を持って設計され、その性能が検 証されなければならない。JEM の構造強度については シャトルによる打ち上げ荷重の他、他要素が軌道上で字 宙ステーションにドッキングするときの加重、宇宙飛行 士が船外活動を行うときのキック加重があり、また与圧 部にあっては軌道上での圧力荷重がこれらに加わる。軌 道上に於いては軌道傾斜角51.6度に伴う熱環境、放射 線環境、デブリ環境に曝される。JEM システム機能と しては JEM 内圧力を一定に保つため、宇宙空間へ大気 をベントするオーバプレッシャリリーフ機能、モジュー ル間の差圧を均圧化する機能を有し、14.3~15Psiaに 維持する。与圧部内の温度は±1℃の精度で 18℃~27℃ の範囲で制御でき、相対湿度は25~70%、露点温度を 4~16℃に維持する。与圧部内の大気循環は5~12m/ 分の範囲に維持し、宇宙ステーション本体と大気を交換 する。与圧部内の照明は明るさのレベルを制御し、全体 の明るさは集中制御する。JEM はシステムを最低限 24 時間自律運用ができるよう機能の故障に対しあらかじめ 決められた回復手順を自動的に実行する。JEMの性能、 コンフィギュレーション、機器ステータス等を統合し、 ディスプレイの形で宇宙飛行士に表示し、クラス1(緊 急)、クラス2(警告)、クラス3(注意)の警報を視覚 及び音声で知らせる機能を有すると共に宇宙ステーショ ン本体及び地上へ通知できる機能を有している。JEM ではシステム機器に可燃性材料を使わないこと、直接空 気以外の酸化剤の供給を行わないことを条件に固定消火 システムは整備していないが、実験用ラック等火災の危 険性を伴う区画には火災検知システムを整備し、搭乗員 により可搬式消火器を用いて消火することとしている。 機器への過電流等異常が発生した場合は電力と空気循環 を停止し、火災か否かを識別する。与圧室内の空気が汚 染された場合は大気を宇宙空間に排出し、宇宙ステーショ ン本体からの空気により再加圧を行う。飛行士の安全及 び宇宙ステーション全体のシステム維持に危害を与える ハザードに対し、そのようなハザード源及び危険な運用 を排除し、ハザードを解消すると共に、安全装置を付加 しハザードを防止する。又、警報装置、運用手順、非常 用設備を用いてハザードを制御し、充分な保全を行うこ とによりハザードを最少化することとしている。JEM 内でハザードが発生した場合、JEM内の搭乗員は宇宙

ステーションの安全な区域に安全に非難すると共に、緊 急用の携帯酸素マスク等の必要な救命設備を整備してい る。全ての与圧エレメント、圧力容器は破壊の前にリー クをする特性を有している。JEM のシステム及び各機 器は搭乗員に対する致命傷、宇宙ステーション全体の損 傷を引き起こさないよう、2重の故障または誤操作を許 容するようになっている。また、搭乗員に対し致命傷に はならないが障害や危険を与えるものについては単一故 障を許容するようになっており、冗長設計を行わない機 器についてはリスクを最少にするよう充分な設計マージ ン、安全係数を考慮して管理している。更に、不注意な 操作が搭乗員に致命傷を与える潜在的危険のある機器に 対しては2つの独立した制御手段をもたせている。宇宙 ステーションでの搭乗員の安全確保の観点で重要なもの に放射線と隕石、デブリの衝突に対する対策がある。放 射線に対しては地上での許容値をベースにシステムを設 計しており、太陽活動等の状況により、搭乗員の軌道上 での滞在期間を見直す等の運用での対策も含めて検討し ている。また、隕石、デブリについても、地上において、 与圧部構造に対し高速水素ガスカンを用いて隕石、デブ リの非貫通評価を行うと共に防御バンパの設計を行い、 また、軌道上での非貫通確率の計算等を行って安全の確 保を図っている。JEM は点検、交換、調整等の保全及 び消耗品の補給を行うことにより10年以上の運用が行 えることとしている。JEM システムの構成品は構造、 配管、配線を除き全て軌道上保全単位を設定して保全が 可能となっている。従って、軌道上保全単位で機器の故 障について故障検知、故障分離、故障識別が可能なよう になっている。全ての交換可能な機器はそのアクセス及 び取り付け/取り外しが容易になるよう配慮されている。 搭乗員が容易かつ誤りの無いよう保全作業が実施可能な ようヒューマンファクタを考慮したマンマシンインター フェースを持つよう設計している。寿命期間中に機器故 障や機器の性能低下によるシステムへの影響を未然に防 止する予防保全を行うものは全て識別され、それ以外の ものは全て事後保全としている。JEM を構成する要素 はシステムの運用の効率性の向上、ライフサイクルコス トの低減、実験運用の効率向上、安全性、操作性、保全 性を確保するとの観点から極力共通化を図っている。搭 乗員が円滑な作業が行えるよう搭乗員の人体特性を考慮 すると共に、居住領域における方向性、中立姿勢を考慮 しシャープなエッジを排除するようにしている。搭乗員 の移動を円滑に図る移動補助具、固定を図る拘束具、搭 乗員の直接・関節の視野を確保できるよう窓、TVカメ ラによるモニタが可能なようにしている。搭乗員の作業 環境を快適に維持するため汚染の検知システムを設ける と共に、軌道上へ搭載する前にオフガス、臭気性等に関

する試験を行ってから搭載する。また、騒音、振動等に より搭乗員が影響を受けない環境を維持するようにして いる。

JEMの開発における有人技術の修得にあたってはここに述べたシステムの開発の他、実験装置とのインターフェース、シャトル搭載のための安全性の確保、組立のためのカナダのアームを用いた運用、更にこれら全てを含めた設計解析、安全解析のための手法、地上での検証等における有人ならではの技術の修得に務めているところである。特に日本ではこれまでに経験の無い搭乗員による船外活動の設計、検証を確実に修得すべく開発を進めている。無重力環境における船外活動の設計検証にあたっては無重量環境模擬施設として大型の水槽にJEMのモックアップを沈め、実際の宇宙服を着用した宇宙飛行士による操作性、ワークサイトのクリアランス、移動性、作業姿勢等の確認検証のための試験を行っている。

#### 5. あとがき

人類がその活動領域を地球外に展開していくことは科 学技術の発展のプロセスとして重要なことであり、ぜひ 実現して行かなければならないと考える。しかしながら、 人間が宇宙へ出ていくことは大変なことである。この困 難を克服することによる波及効果も多大なものがある。 日本は米ソ両国が長い年月と、膨大な資金をつぎ込んで きた有人技術開発を宇宙ステーションの開発を契機に取 得して行こうとしている。人間を確実に、安全に宇宙へ 送り出し、宇宙での活動を支援するための有人宇宙シス テムの開発はここで述べた技術の開発を通して取得しつ つある。この他に、実際に宇宙へ出ていく宇宙飛行士そ のものの様々な側面、すなわち医学、心理学、人間行動 学といった面があることは冒頭に述べたとおりである。 JEM の開発、宇宙飛行士の養成を通して有人システム 技術を修得すると共に、JEM 並びに宇宙ステーション 全体の運用、利用を等して、更に宇宙での有人技術を発 展させ、有人による月探査、月面基地、さらには有人に よる惑星探査へと総合的な有人宇宙技術の開発を着実に 展開して行きたいと考えている。

# メガフロートにおける計器着陸システムの実験

運輸省 電子航法研究所 航空施設部 横山尚志

# Test Results of the ILS-GP Performance on the MEGA-FLOAT

Hisashi YOKOYAMA

Electronic Navigation Research Institute, Ministry of Transport

#### 1. はじめに

海上空港には、関西空港のような埋め立て方式と横須 賀港沖合で実験が行われている箱形 (pontoon type) のメガフロートを使ったものがある。後者の海上空港の特徴は前者に比べて安価にできることであるが、海上に 浮かべるため実用化に向けて種々の研究が必要になる。 空港にはレーダや通信・航法援助装置等多くの無線施設が設置されており、これらの電波は滑走路面や周辺の建造物の反射・遮蔽の影響を受けて特性が変化することが 知られている。

メガフロートは、現用空港と比較して以下に示す構造 上の相違点があり、これが空港の無線施設に対して現用 空港とは異なった影響を及ぼす可能性がある。

(a)鋼板上を舗装した複層地面構造を持っている。

(b)海面隣接部で段差がある。

(c)波浪による浮体の弾性変形がある。

(d)潮位による上下の変位がある。

ILS (計器着陸装置) は、空港内に設置される着陸援助無線装置で、ローカライザ (LLZ)、グライドパス (GP) 等で構成されている。このうち GP は地面反射を利用して3度の高低角度進入コースを形成しており、特にメガフロートの地面構造等の影響を大きく受けることが懸念される。そこで、われわれはメガフロートの地面構造に対する GPの基本特性を解明するため、地面構造を模擬した電波反射モデルを用いて予測計算を行い、その有効性の確認方法として当研究所の無響室におけるスケールモデル実験と浮体における飛行調査を実施している。

本稿では、まず、2. にメガフロートのGPの研究計画を、3. に浮体の地面構造の反射特性、4. にスケールモデル実験により透過波の多重反射の影響の確認とその影響を最小にする舗装面の厚さの条件を提案、5. ではメガフロートにおける飛行調査結果と予測計算結果について述べる。

# 2. メガフロート地面構造のGPに対する影響に 関する研究計画

GP進入コースに対してメガフロートの地面構造がどのような影響を及ぼすかを解析するため次の研究を実施した。

(1)メガフロートの地面構造によるGPの基本特性の研究 平成9年~平成10年:予測計算及びスケールモデル実験

平成11年: 航空機による実証実験

(2) GP進入コースに及ぼす浮体の弾性変形の研究

平成11年:弾性変形の予測プログラム作成

平成12年:弾性変形のGPに及ぼす影響の解析

本稿は、(1)の研究成果について報告する[1]、一方、(2)の弾性変形のGPに及ぼす影響については、周辺構造物の影響に比べて少ないと考えられているが、平成12年度に予測計算により詳細に検討する予定である。

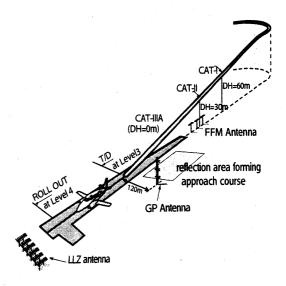


図1 ILSによる最終進入方式の概念図

# 3. ILSの最終進入方式と浮体の地面構造による GPの反射特性

#### 3.1.ILSの最終進入方式の概要

図1にカテゴリー別のILSによる最終進入方式の概念 図とILSのローカライザ (LLZ) アンテナとGPアンテナ の設置位置を示す[2]、最終進入時のカテゴリー (区分) は、滑走路上の視程によって決定する。各カテゴリーで の航空機の運航は、地上側ではILSの信頼性のレベルや 進入燈火の整備状況に依存する。各カテゴリの航空機の 進入限界として、DH (決心高度) が用いられ、DHで着 陸に必要な地上物標を視認できないときには進入復行が 行われる。

GPアンテナは、滑走路中心線より120m離れた位置 に設置され、GPアンテナの前方反射面からの反射波に より3度の進入コースが形成される。陸上空港では反射 面が平坦な芝地であるため解析が容易である。

#### 3.2.GP進入コースの形成

図 2 (a)は浮体にGPを設置したときのGP進入コースの形成概念図を示す。上段アンテナからSB (サイドバンド) 信号を下段アンテナからCAR (キャリア) 信号を輻射する。両アンテナから輻射された電波は地面反射との空間合成により図の 2 つの放射パターンが形成される。 3 度の進入コースは、SB パターンのナル点で、マルチパスの影響がなければコース上ではCAR 信号のみ受信される。受信機の復調回路は 90Hz/150Hz の変調信号の差 (DDM; the Difference of Depth of Modulation)を求める回路になっている。このため航空機がコース上ではDDM=0  $\mu$ Aになり、進入コースから上下にずれると、パス角からの偏位に等しいDDM が表示される。表示器 (D に対する。

陸上空港では、GP反射面が大地となり表面反射のみ 考慮すれば良かった。メガフロートの場合、図 2 (a)に示 すように地面構造が複雑になる。そこで、われわれは図 2 (b)に示す複層構造の電波反射モデルを適用し反射波を 解析する。

## 3.3.複層構造の反射特性

GPの電波は、周波数が330MHz、水平偏波で、入射波のグレージング角は数度以下と小さい。図 2 の反射面に電波が入射すると、表面反射と透過成分に分かれる。透過成分はアスファルトの境界面で反射を繰り返し、その一部が再び自由空間に放出される。この成分を多重反射波  $\Gamma$ mとすると、浮体の地面反射  $\Gamma$ g は表面反射  $\Gamma$ s と多重反射  $\Gamma$ m のベクトル和になる。図 3 (a)はGPアンテナの90m前方にあるフィールドモニタの反射面の舗装の厚さを可変したときの $\Gamma$ s、 $\Gamma$ m および $\Gamma$ g の変化を示している。表面反射成分 $\Gamma$ s の位相は入射角が一定に

なって変化しないが、 $\Gamma$ m は舗装の厚さによって位相 遅延を生じて楕円状に変化する。従って、 $\Gamma$ g は $\Gamma$ m の楕円上を移動する固有の振幅・位相特性になる。

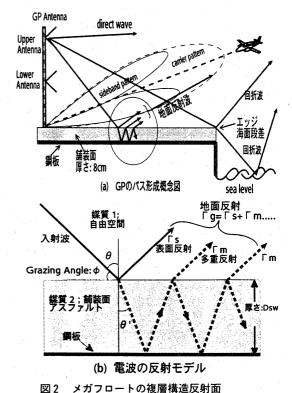
#### 3.4.天候による反射特性の変化

浮体の地面構造の表面は、気象の変化により乾燥または降雨(積雪)により湿った状態になる[3]。図 2 (b)の舗装の表面が降雨により水の皮膜で覆われると、水の誘電率が  $\varepsilon$  = 60になり、乾燥時と比べて反射特性が大きく変化する。そこで、今回は、水の皮膜の厚さが薄いと仮定して、舗装面の誘電率を水の誘電率に置き換えて近似計算をした。

図3(b)は、舗装の表面を乾湿状態にして舗装面の厚さを変化させたときの $|\Gamma_g|$ を求めたものである。破線は表面が乾燥している場合、実線は濡れた場合である。

表面が乾燥している場合、舗装の厚さにより  $|\Gamma_g|$ が周期的に変化する。厚さがC点では、多重反射の位相遅延量が表面反射に対して逆相になり、反射係数が最小になる。厚さが $0.23\,\mathrm{m}$ になると、再びA点に戻って最大になり、濡れたときの実線と交差する。また、表面が濡れた場合には、水の皮膜の生成により表面反射が支配的になって多重反射の影響が抑圧され反射係数が一定になる。

図3(c)は、舗装の表面を乾湿状態にして、舗装の厚さを変化させたときのGPモニタのコース変化を求めたも



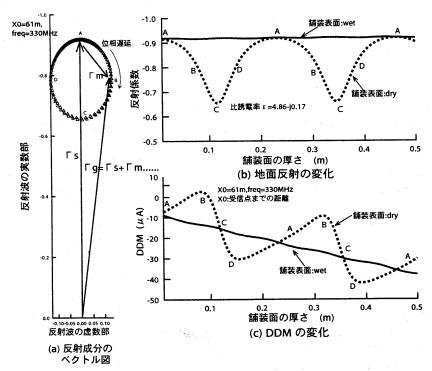


図3 復層構造の反射面の反射特性

のである。表面が乾燥すると、DDMは厚さB点、D点をピーク値とする周期波形になる。B点、D点のDDMの傾きは、A点では小さく、C点では大きくなる。表面が濡れると、DDMは一定の傾きの直線になる。両曲線は厚さA点、C点で交差する。

# 4. スケールモデル実験の概要

スケールモデルのメリットは、巨大な浮体構造物の代わりに縮尺率が1/30の小型のアルミ平板で浮体の基本特性を評価できる点である。そこで、スケールモデル実験では、アルミ平板に地面構造を模擬した等価誘電材料を敷いて、浮体の地面構造の影響を評価する。

# 4.1.スケールモデル装置の概要

図4にGPスケールモデル実験の概念図を示す。スケールモデル送受信装置の周波数はGPに比べて30倍の9.6 GHzを使用している。GPのパス角は通常3度に設定するが、無響室の奥行きの制限で測定距離を短縮するため6度に設定した。この角度差はGPが水平偏波であるため、反射特性に大きな影響を与えないと考えられる。

スケールモデルでは、GP反射面として  $3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ の アルミ平板を使用している。アルミ平板の上に敷く等価 誘電材料として、今回は厚さ1.1 cmの石膏ボード  $(1 \text{ m} \times 2 \text{ m})$ を用いた。乾燥した石膏ボードの比誘電率は、9.6 GHzでアスファルトが  $\varepsilon = 4.86 - \text{j}0.17$ であるのに対

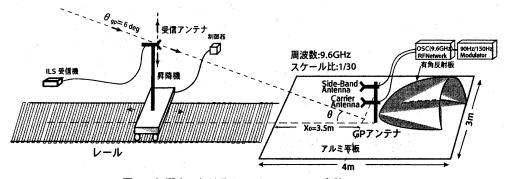


図4 無響室におけるGPスケールモデル実験

して、 $\varepsilon=2.4$  – j0.3 と小さい。このため地面構造の相似性が若干失われるが、今回の実験では、主として二層構造をもった地面における多重反射の影響を行うこととした。また、GPアンテナから見たアルミ平板の先端部分の形状は、電波的に有限な矩形反射面になるので、メガフロートや大分空港などの海上隣接空港の形状にほぼ等しくなる。このためアルミ平板を用いることによって、地面構造の影響と周辺構造物の影響を評価することができる。

#### 4.2.スケールモデル実験結果

#### 4.2.1.アルミ平板の場合

図5(a)に石膏ボードを敷いていないときのアルミ平板によるGP進入コースの測定結果である。実験値は受信点の距離が6m以上になると周期の長いDDMの変化が生じている。図より実験値と計算値は良く一致する。回折波の計算にGTD(Geometrical Theory of Diffraction)を用いている。その結果、6mより遠方に生じている周期の長い変動は、アルミ平板の前方エッジによる回折波の影響であることが分かった。

# 4.2.2.アルミ平板に誘電材料を敷いた場合

石膏ボードをアルミ平板に敷いたときのGPの進入コース特性を図 5 (b)に示す。計算値の実線と実験値の○は石膏ボードの表面が乾燥している場合、計算値の破線と実

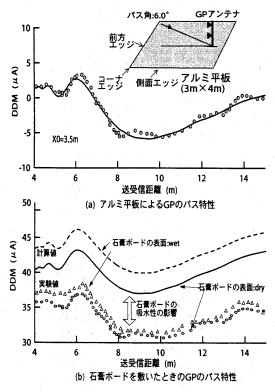


図5 スケールモデル実験結果

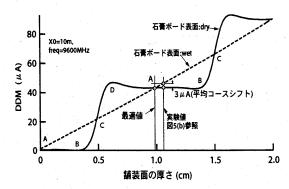


図6 石膏ボードの表面の乾湿時におけるDDM変化

験値の△はスプレーで水を散布し水の皮膜を生成した場合である。石膏ボードを敷くことによりGPの進入コースが+側に約40μAも偏位する。これが多重反射の影響である。

スケールモデル実験の計算結果と実験結果を比べると、平均進入コースが数 $\mu$ Aのずれを生じている。これは時間の経過と共に石膏ボードが湿気を吸って誘電特性が変化したためと考えられる。このような現象は積雪が融雪したときに水分含有の増加により積雪の誘電率が変化する現象と類似している。そこで、石膏ボードが吸湿した状態を想定して誘導率の実数部を可変して図5(b)の進入コースの実験値と一致する誘電率を求めた。その結果、 $\varepsilon=3.4-i0.3$ で実験結果とよく一致することが分かった。

図 6 は石膏ボードの誘電率を  $\varepsilon=3.4$  – j0.3として石膏ボードの厚さを変化させ、石膏ボードの表面乾湿時におけるGP 進入コースの偏位を求めたものである。石膏ボードの厚さが1.1cmであるので、乾湿時のGP 進入コースの偏位は  $2\mu$  A となり、図 5 (b)の実験値と一致している

#### 4.3 乾湿時のGP進入コース偏位低減法

石膏ボードの表面が乾湿状態になると、多重反射の影響で進入コースが全体的に上下に偏位することを前項で示した。ここでは乾湿時のずれの低減法について提案する。

本低減法は、舗装の厚さをAにし、乾湿時の地面構造の影響を最小にするものである。舗装面の厚さがA点になると乾湿時の地面反射係数が一致する。このときのGP進入コースは、図6の交点になり、乾湿時の進入コースのずれがなくなる。従って、この条件を満足すれば、メガフロートにおいて天候に左右されないGP進入コースを形成することができる。

#### 5. メガフロートにおける飛行調査結果

図7に横須賀沖で実験を行っているメガフロート空港 利用実証実験モデルの写真を示す。図の浮体のGP反射

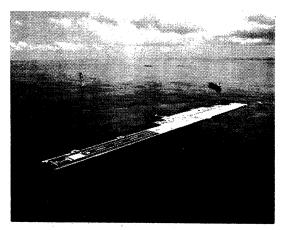


図7 横須賀沖メガフロートの全景

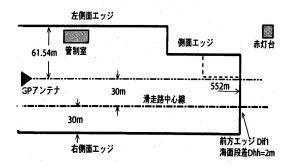


図8 GPアンテナ前方反射面の周辺構造物

面は、アスファルト舗装する前の鋼板の状態である。平成11年9月末より、運輸省航空局の飛行検査機による調査を実施した。今回の飛行調査は図5(a)のアルミ平板のスケールモデル実験に相当するもので、図8に示すGPアンテナ前方の周辺構造物の基本特性が求められる。地面構造による多重反射の影響はアスファルトを舗装した後に再び飛行調査を予定している。舗装前後のGP進入コースの差分から多重反射の影響が確定する。本項では飛行調査によるGPの基本特性と予測計算の一例を述べる。

#### 5.1.飛行調査結果

ILSの飛行調査では、航空機位置測定装置により電波の進入コースからの航空機のずれを測定し、受信機出力から航空機の位置補正をしてGPの進入コースを求める。高精度の航空機位置測定装置としてレーザートラッカーやGPSキネマティック測位によるオフライン処理技術がある。今回の航空局の飛行調査では可搬型のレーザートラッカー装置を使用した。

図9にメガフロートのGP進入コースの飛行調査結果 を示す。近傍から遠方まで波状的なパスベンドが発生し

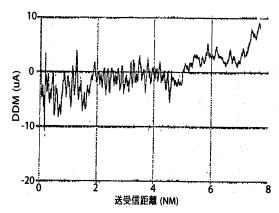


図9 航空局飛行検査機によるGPパスストラクチャー

ている。図の5NM以遠で生じている+側のDDMの変化は、他の調査データには生じていないことから、進入コース直下を航行する大型船舶からのマルチパスの影響と思われる。

# 5.2.予測計算結果

GTDは、プログラムを階層構造にするのが容易であ

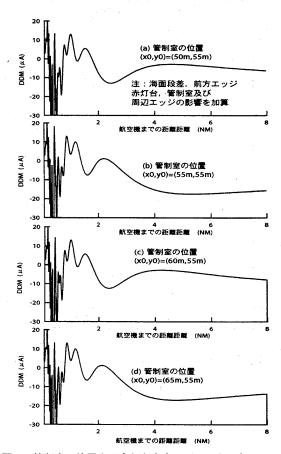


図10 管制室の位置を可変したときのパスストラクチャーの変化

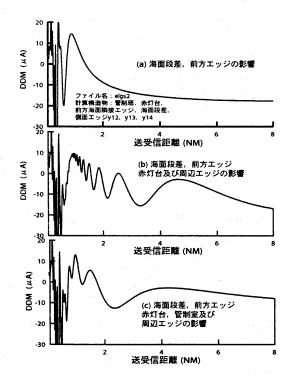


図11 前方構造物によるGPのパスストラクチャーの変化

り、図8に示す複雑な周辺構造物からのマルチパスの計算に適している。計算結果を図10と図11に示す。図10は管制室の位置を Xo方向にずらしてGP進入コースの2NM付近の変化を求めたものである。図の(c)が実際の管制室の設置位置であり、図9の2NM付近の平均コースの変化と良く一致している。

図11は周辺構造による影響を分析するための計算結果である。(a)は前方エッジと海面段差を、(b)は(a)の構造物に図8の赤灯台を加えたとき、(c)は(b)の構造物に管制室を加えた図8の全てを考慮したときの計算結果である。周辺構造物の配置が図8のように複雑な場合、管制室の影響が支配的であることが確認された。

5.3.将来の海上空港の前方反射面によるGP特性の予測

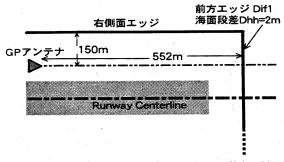


図12 将来のメガフロートのGPアンテナ前方反射面

将来の実空港のメガフロートは3000m級の滑走路、ターミナルビル、エプロンおよび誘導路を有する巨大なものになると思われる。図12に将来の浮体モデルを想定したときのGP前方の反射面の形状を示す。GP進入コースを計算すると図11(a)になる。1NMより遠方ではパスベンドの少ない良好な進入コースが得られるものと予想される。

#### 6. まとめ

GP進入コースに及ぼすメガフロートの地面構造の影響について、浮体の地面構造と等価な電波の反射モデルを導入して予測計算し、その有効性をスケールモデル実験と実浮体の飛行調査によって確認した。その結果、次のことを明らかにした。

(1)複層構造であるメガフロートの地面構造の反射特性は、 天候による舗装表面の乾湿状態と舗装面の厚さにより、 固有の反射特性を生じる。

(2)乾湿時の反射特性の相違により、乾湿時のGP進入コースは進入コースの全体が上下に平行移動し、舗装面の厚さによって変化する。

(3)複層構造における乾湿時の影響は、陸上空港にはない 現象であるが、GPの進入コースのずれを最小にする厚 さの条件を提案した。

(4)メガフロートにおける飛行調査の結果、GP進入コースは周辺構造物によって複雑な変動を生じるが、周辺構造物の中で管制室の影響が支配的であることを予測計算により確認した。

#### 謝辞

本研究の実施にあたって終始ご協力を頂いたメガフロート技術研究組合の関係各位にお礼を申し上げます。また、 実機による飛行調査データを提供してくれた航空局飛行 検査官室の担当各位に感謝いたします。

## 参考文献

[1] Yokoyama: "Evaluation of ground structure of Megafloat using with scale model", Proceedings of the Third International Workshop on Very Large Floating Structures VLFS'99, Vol.2, pp.506—510 sep22-24,1999.

[2]横山: "カテゴリーⅢILSの信頼性の現状と今後の課題について", 日本信頼性学会誌 Vol.21, No.8, pp.464-471 通巻100号, 1999年11月

[3]横山:"積雪時におけるILSグライドパスの進入コースの予測について",第37回飛行機シンポジウム,pp.373-376,平成11年10月15日

# 会員の移動

脱 会 日本電気㈱

(社)日本海難防止協会

編集 · 出版監事 長岡 栄 電子航法研究所

" 綾塔輝美造 海上保安庁装備技術部

// 越水 豊 日本郵船(株)

ッ 中村 幹男 日本無線(株)

" 廣田 直照 元海上保安大学

〃 山田 秀光 (株)トキメック

# -電波航法-

# -ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW -

平成12年3月28日

印刷 2000

平成12年3月30日

発 行 No.42

編集東京都千代田区霞ヶ関2-1-3運輸省9階

発 行 海上保安庁灯台部電波標識課気付

電 波 航 法 研 究 会 Japanese Committee for Radio

Aids to Navigation

c/o Radio Navigation Aids Division

of Maritime Safety Agency

2-1-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo, Japan

印 刷 東京都文京区湯島1-2-4 神田セントビル7階

岩城印刷株式会社

デジタル無線データ伝送装置

# SENA LINK

セナーリンク

より信頼性の高いデータ通信を実現!





電波法に基づく小電力型スペクトラム拡散方式の無線データ伝送装置に、 セナー独自のエラー訂正機能付モデム(特許取得)を接続。

マルチパスフェージング環境にも優れ、更に信頼性の高いデータ通信が可能となった画期的なデータ伝送装置です。 操作性に優れているため、高品質のデータを必要とするGPS測量(RTK OTF)や、

各調査機器などのデータ伝送装置として高い評価を受けています。

sena

セナー株式会社

波

法

行