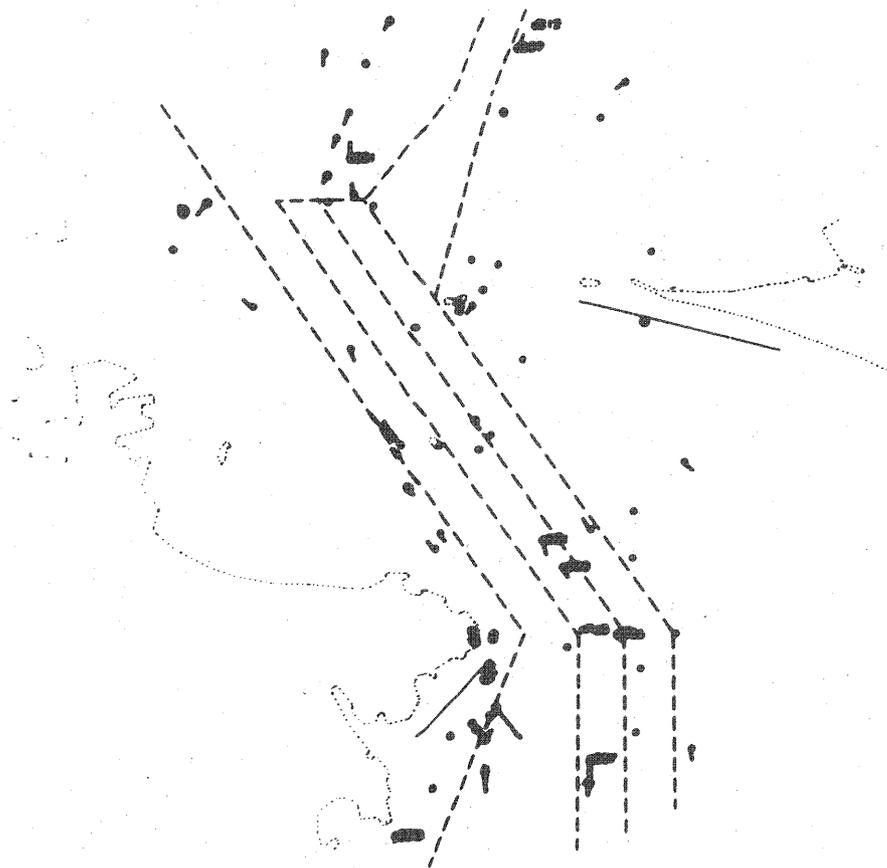


ISSN 0287-6450

Denpa khôhō

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

# 電波航法



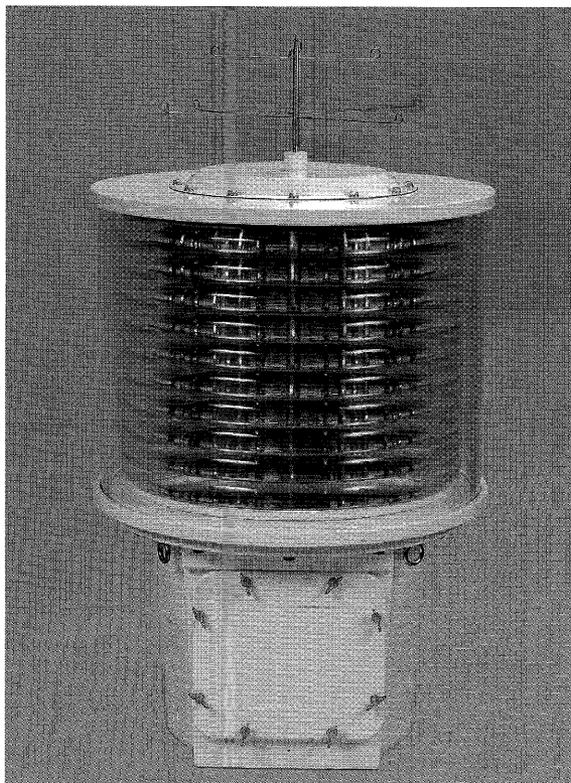
JACRAN. 50

2008

電波航法研究会 発行

Published by the Japanese Committee-  
for Radio Aids to Navigation

環境にやさしい自然エネルギーが海の安全を守る



LED灯器(高光度)  
塗色:白

- 高輝度LED素子をリング状に配置したコンパクトな光学系
- 光学系ユニットを積層することにより7400cd以上に対応
- 昼夜検出、灯質作成回路、灯火監視等の機能を備えた制御装置を内蔵
- 耐食アルミニウム鋳物製の筐体で、沿岸海域における長期間の利用が可能
- 自然エネルギーによる独立電源装置と組み合わせることでメンテナンスフリーを実現



**S-VANS** セナーアンドバーンス株式会社

本社 〒144-0041 東京都大田区羽田空港1丁目6番6号  
TEL)03-5708-7300 FAX)03-5708-0151  
札幌営業所 〒005-0004 北海道札幌市南区澄川4条2-10-17  
TEL)011-823-2250 FAX)011-823-2258  
神戸営業所 〒650-0023 兵庫県神戸市中央区栄町通3丁目6番7号  
TEL)078-331-7292 FAX)078-331-7381  
北九州営業所 〒802-0001 福岡県北九州市小倉北区浅野1-2-39  
TEL)093-533-5371 FAX)093-533-5372

— 目 次 —  
CONTENTS

巻頭言 「仮想水とGPS」……………会長 林 尚吾……(1)  
Chairman Shogo HAYASHI

講演の記録

【最新の極小センサ技術に関する講演】

「MEMS技術・デバイスの最近の動向」……………江刺正喜……(3)  
Masayoshi ESASHI

「マルチ出力MEMS慣性センサ – 浮上・回転型MEMSマルチ出力慣性センサ –」  
……………中村 茂……(17)  
Shigeru NAKAMURA

【海上通信サービスに関する講演】

「インマルサットおよびイリジウムサービスの現状と今後について」  
……………大野和美……(22)  
Kazumi OHNO

「ワイドスターの現状と今後について」……………西 泰樹……(28)  
Yasuki NISHI

【GPS補正技術に関する講演】

「高速移動体向け高精度測位補正技術に関する研究開発(その3)」  
……………伊藤 憲……(34)  
Ken ITO

投稿

「韓国航法学会ワークショップに参加して」……………長岡 栄……(43)  
Sakae NAGAOKA

「GPSのバックアップの必要性明示(米国電波航法計画2008年版)」  
……………池田 保……(49)  
Tamotsu IKEDA

電波航法研究会事業報告(平成20年度)……………事務局……(52)

電波航法 巻頭言

(Foreword)

## 仮想水とGPS Virtual Water and GPS

電波航法研究会

会長 林 尚吾

Chairman Shogo HAYASHI

「仮想水（バーチャル・ウォーター）」という概念をご存知だろうか。日本はその「仮想水」の輸入大国<sup>\*1</sup>だそうである。

ここで言う「仮想水」とは、ある輸入品について、それを国内で生産するときに必要な水の分量と置き換える考え方である。例えば、牛肉を輸入した場合、牛が育つ過程で飲んだ水だけではなく、食べたエサのとうもろこしを育てるのに使った水も積算する。その数値は輸入国ごとに異なり、さらには生産に適さない国もあるので一概には言えないのだが、同コラム<sup>\*1</sup>で紹介されている数字では、牛肉200gに対する「仮想水」は何と2万リットルである。たった1食分の牛肉の後ろに、2リットルのペットボトル1万本という量の「仮想水」があることに驚いた。こうして置き換えると、日本が輸入している「仮想水」は600億トン（他説もあり）になるらしい。国内での総水資源使用量は900億トンだそうで、それに迫る量である。

日本では「お天道様と安全と水はタダ！」が常識と言われていたが、まず安全について見直しを迫られた。会社も個人宅もセキュリティサービスにより安全を守られるようになって久しい。また太陽の光についても、燦々と降り注ぐ太陽を朝から晩ま

で浴びるには、郊外に居住する通勤時間とコストの両方が必要である。水についても、飲料水については「仮想」ではない正真正銘の輸入ミネラルウォーターを購入することは当たり前になった。さらに「仮想水」が加わり、「タダ」が常識と言われていたものが有償でしか取得できなくなっている。

さて、ここでGPSについて考えてみる。GPSは現在のところ「タダ」で使えて、しかも精度はとても良い。結果として、これまでの地上型の測位システムを駆逐し、30年で大市場を築いた。このGPSによる測位と正確な時刻のサービスに「仮想水」の概念を適用するとどれほどになるのだろうか？「工業製品」に関する「仮想水」の換算方法は、工業品目ごとの製品出荷額1億円あたりの生産に必要な水量として計算されていた<sup>\*2</sup>。「サービス」に関する「仮想水」ではどのようなになるだろうか？「サービス」を金額に換算することで「工業製品」と同様に計算できるかもしれない。

日本で開発している「準天頂衛星システム」の経済的波及効果<sup>\*3</sup>の試算では、直接投資額0.2兆円に対して、経済波及効果として27兆円、社会的便益として2.4兆円、さらに雇用の創出が83万人超となっている。

る。GPSを補完するサービスである「準天頂衛星システム」についてこの数字である。航法の世界のみならず、日常生活にまで浸透しているGPSでは、莫大な金額になるであろう。同時に日本における「仮想水」に置き換えても莫大な分量となることだけは確実である。

GPSの使用に関しては、有料化の話題も久しいが、世界はGPS無しでは立ち行かなくなっている。有料化や使用自体が停止されることを危惧して、一国家の施政方針に左右されないようにGNSSが提唱され、某国では独自の衛星航法システムの開発が急速に進められている。

冒頭のコラム<sup>\*1</sup>で紹介されていたが、「20世紀の戦争が石油をめぐる起きたものだ」とすると、21世紀の戦争は水をめぐる戦争になるであろう」と、イスマイル・セラゲルディン世界銀行副総裁（1995年当時）が述べたそうだ。日本はGPSの利用大国である。いずれは「仮想水」代を支払うことになるか、「仮想水」を巡る争いに巻き込まれない保証はない。

電波航法の世界にも、「仮想水」の概念が通用することが面白い。

\*1 産経新聞 「一筆多論、やはりタダは高くつく」、五十嵐徹氏、2009/3/30

\*2 「日本を中心とした仮想水の輸出入」、三宅基文氏ほか

\*3 総合科学技術会議、宇宙開発利用専門調査会資料、2003/10/2

# MEMS技術・デバイスの最近の動向

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構

江 刺 正 喜

## 1 まえがき

フォトリソグラフィを基本にした集積回路製造技術を発展させて、ある程度立体的な微細加工を行う「マイクロマシニング」技術を用いると、情報処理する回路だけでなく微細構造体やセンサ、あるいは機械的に動くアクチュエータを一体化・集積化できる。これはMEMS (Micro Electro Mechanical Systems, 微小電気機械システム) と呼ばれ、システムの鍵を握る重要な部品として使われている。以下では代表的なMEMSに絞り、応用分野ごとの産業展開について述べ、最後にMEMSの主流である回路と一体化した「集積化MEMS」や、多品種少量のMEMSへの対応など、産業化の問題点を議論する。

## 2 自動車・家電

マイクロマシニング技術は以前から圧力センサに用いられてきた。これはSiチップに薄いダイアフラムを形成したもので、その両側の圧力差によるダイアフラムのたわみを電気的に検出する。タイヤ圧モニタシステム (TPMS) が安全装備として使われている。回転しているタイヤ内の圧力センサから電波で情報を取り出す直接法では、ワイヤレスにする必要があり、そのために表面弾性波 (SAW) 素子を用いて外部からの電波に対して応答し圧力情報を取り出す、図1のSAWワイヤレスパッシブ圧力

センサが開発されている<sup>(1)</sup>。2.45GHzの電波を受信し、櫛歯電極で表面弾性波が発生して伝播し、反射して逆に送信されるトランスポンダと呼ばれるものである。伝播遅延時間が圧力で変化するように、圧力で変形するダイアフラムを形成してある。複数の反射器を形成し、温度と圧力の情報を分離して検出できるようにしてある。なお基板に用いる、圧電材料であるLiNbO<sub>3</sub> (ニオブ酸リチウム) の単結晶基板に薄いダイアフラムを選択エッチングで形成しているが、これでは加熱したときに表面分極反転層ができる性質を利用し、特定の分極方向だけを選択的にエッチングしている<sup>(2)</sup>。

加速度センサは自動車のエアバックにおける衝突検出をはじめ、TVゲームのコントローラなどに用いられている。回転による角速度を計るにはジャイロが用いられる。図2は振動ジャイロの例で、自動車のヨーレート (スピン) を検出する安全装備のために生産されているものである<sup>(3)</sup>。単結晶Siで音叉振動子が作られており、静電引力で駆動し2つの錘を左右に振動させ、回転によるコリオリ力で錘が図の上下方向に動くのを静電容量変化で検知する。2つの錘の動きを差動信号で検出すれば角速度を、また同相信号で検出すれば加速度を知ることができる。なお静電引力で調節して左右方向と上下方向の共振周波数を合わせるようにしている。このように複雑な形状

であっても、フォトリソグラフィでマスクパターンを転写するため、高精度で安価に作れる。

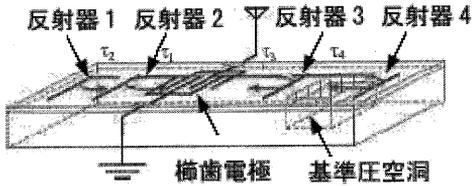


図1 SAWワイヤレスパッシブ圧力センサ

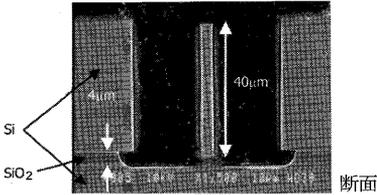
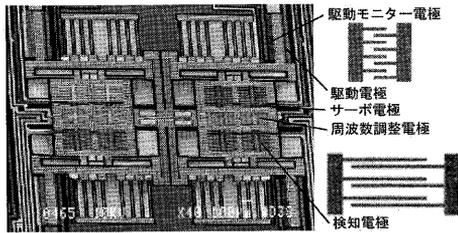


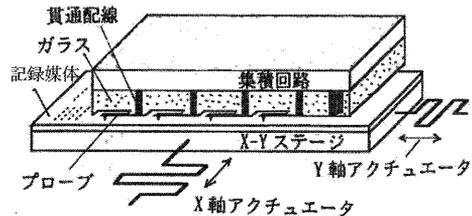
図2 自動車用ヨーレート・加速度センサ

### 3 情報・通信

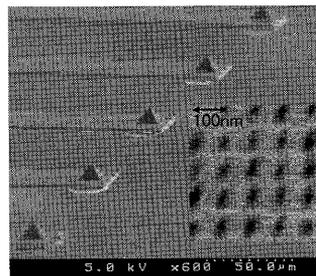
米国のテキサス・インスツルメンツ社で開発されたDMD (Digital Micromirror Device) では、静電引力で動く鏡とその駆動回路が100万個ほど集積化されており、それに光を反射させるDLP (Digital Light Processing) と呼ばれる方式のビデオプロジェクタに使用されている<sup>(4)</sup>。またインクジェットプリンタなども多数のノズルや駆動回路が集積化されたものが用いられており、MEMS技術は情報・通信分野で重要な役割を果たしている。

図3は多数のプロープで同時に記録・読

出を行うマルチプローブデータ記録装置で、次世代の高密度記録装置のために開発されている<sup>(5)</sup>。(a)はその構造であり並列で高速に記録・読出を行う目的で、プローブがガラス基板上に多数(32×32)配列され、それぞれのプローブから裏面にフリップチップボンディングした信号検出用集積回路にガラスの貫通配線を用いて接続する。なお(a)に示すように、記録媒体はプローブのピッチ分だけ動くステージの上に形成するが、そのための圧電セラミック基板に形成されたモノリシックXYZステージに位置検出制御用の容量型センサを一体化したのもも開発している<sup>(6)</sup>。図3(b)は記録媒体に強誘電体のLiTaO<sub>3</sub>単結晶を用いたもので、ダイヤモンドプローブを用い電気的な分極状態を変えて書込みを行い、誘電率の非線形性が分極状態で異なる性質を利用して読出している<sup>(7)</sup>。



(a) 構造



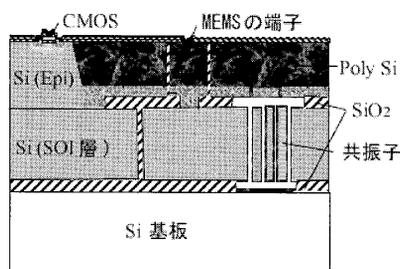
(b) ダイヤモンドプローブによる強誘電体記録

図3 マルチプローブデータストレージ

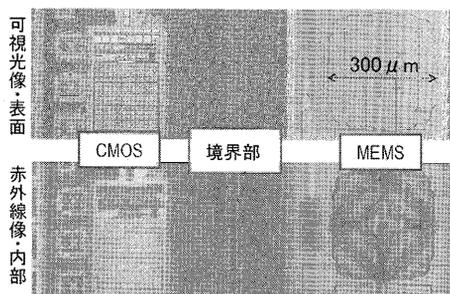
この他導電性ポリマーを用いた書き換え可能マルチプローブデータストレージの研究も行われている<sup>(8)</sup>。導電性ポリマーのポリアニリンをパターンドメディアとして記録媒体に用いるもので、ジブロックポリマーの相分離で形成した周期的なナノ構造に各ビットのポリアニリンを分離して形成し、電気化学的にプローブ先端で酸化・還元して記録（絶縁状態）・消去（導電状態）を行う。書込により抵抗が1桁増大するため、微小電圧で求めた抵抗を読み出しに用いる。ビットの間隔は30nmで0.7Tbit/inch<sup>2</sup>の記録密度に相当する。

共振子などの受動部品を集積回路と一体で製作する研究が進んでいる。図4(a)にはSiウエハ内部にMEMSによる機械的共振子を形成した例を示す<sup>(9)</sup>。この目的は基準時間・周波数信号発生（水晶振動子の代わり）のためである。小さいほどガスの吸着などで共振周波数が変化し易いため、周波数安定性を確保できるようにSiウエハ内部の真空空洞に単結晶Siで作られた機械的共振子を形成している。MEMS部が覆われているため樹脂封止して小形に製作できて衝撃に強く、200mm径のSiウエハに5万個ずつ大量生産されている。図4(b)に示す写真のように振動子とCMOS回路を一体で形成することもできる。

この一体化をすると位相雑音を少なくできるため、時間揺らぎの少ない低ジッタの時間信号を発生できる。しかし安価にするため、温度補償やPLL用の回路チップと共振子チップを別のウエハで製作し、重ねて樹脂パッケージングを行っている。周波数ドリフトは-50℃と80℃に温度変化させながら測定し、6000時間で±2ppm以内の優れた安定性を示している。



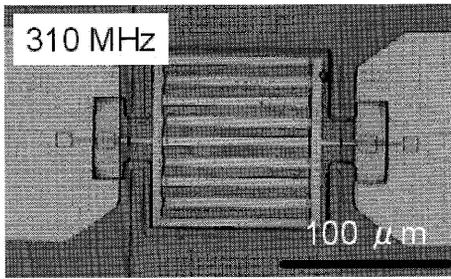
(a) 構造



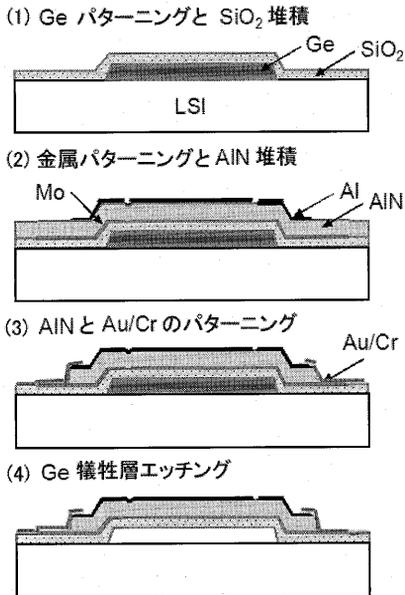
(b) 写真

図4 Siウエハ内部の真空空洞に形成した単結晶Si機械的共振子

基準時間・周波数信号発生あるいはフィルタとして用いるため図5のLamb波共振子が開発されている<sup>(10)</sup>。これには圧電材料であるAINを用いているが、すだれ形状電極のピッチで周波数が決まるため、チップ上に異なる周波数の共振子を複数形成することができる。AIN膜は300℃程の比較的低温で堆積することができ、図5(b)のように、その下のGe層を過酸化水素水でエッチング除去して形成するため、集積回路と同一チップ上に作ることができる。このような技術は将来の携帯電話などの無線機器をマルチバンド化し、電波帯を有効利用していくのに役立つ技術である。



(a) 上面写真



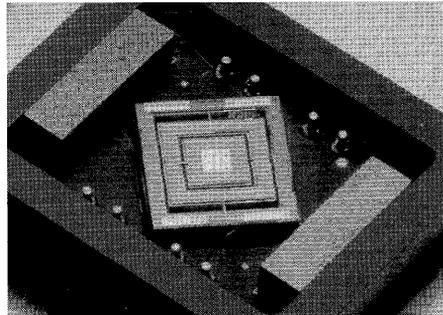
(b) 製作工程

図5 Lamb波共振子

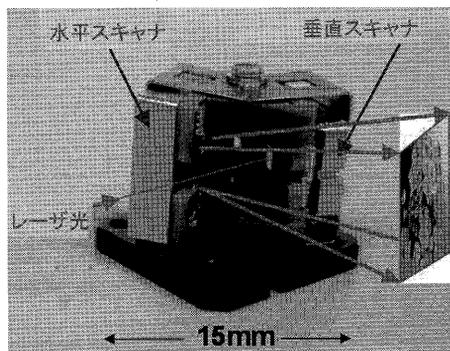
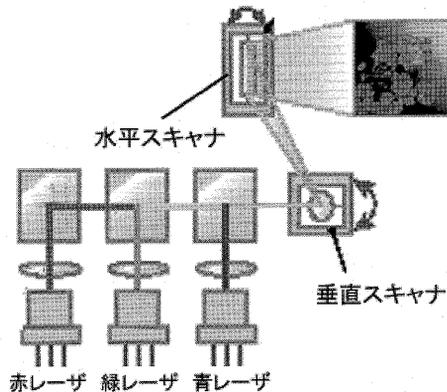
携帯電話などに搭載するレーザープロジェクタの目的など、光スキャナが開発されている。図6(a)は電磁力で鏡を2方向に偏向させる光スキャナである<sup>(1)</sup>。赤青緑のレーザーをオンオフさせ、このようなスキャナで走査することにより、省電力の小形プロジェクタが可能になる(図6(b)日本信号株)。

このほかゲーム機のコントローラや携帯情報機器のユーザインターフェイスにはMEMSによる加速度センサが、大量に

用いられている。また携帯電話をはじめ、TV放送などにもMEMSによるマイクロホンが用いられている<sup>(2)</sup>。



(a) 電磁力による2方向光スキャナ



(b) 光スキャナによるレーザープロジェクタ  
図6 光スキャナとそのプロジェクタ応用

#### 4 製造・検査

製造・検査あるいは安全・環境などの応用では、大量には使われなくても付加価値が高いものが多い。暗視装置などに用いられる赤外線イメージャは、MEMSによる熱型で安価になり自動車などにも搭載されるようになった。

図7はアドバンテスト(株)で最新の高速LSIテストに使われているMEMSスイッチである<sup>(13)</sup>。梁に通電して加熱すると曲がり、接点を導通させる。ウェハ状態で接合してあるため接点表面が清浄で信頼性が高い。小形で20GHzまでの高い周波数の信号を制御することができる。

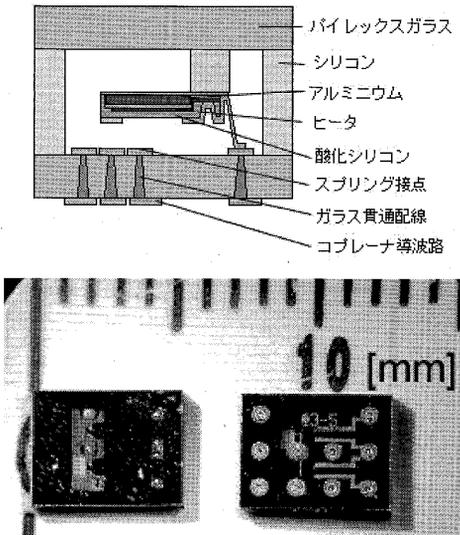
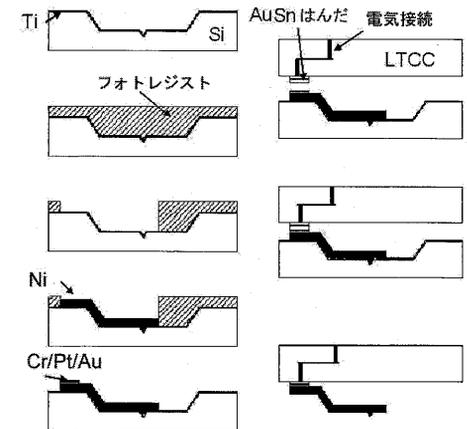


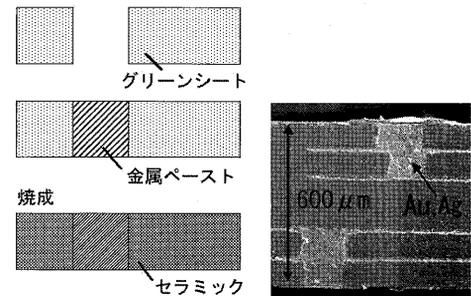
図7 MEMSスイッチ

LSIをウェハ状態でテストするには、IC端子に針を立てるプローブカードが必要とされ、端子の狭ピッチ化や多ピン化に伴いMEMSプローブカードが用いられるようになってきている。温度を上げて信頼性テス

トを行うことができる、ウェハレベルバーンインテスト用プローブカードを製作した<sup>(14)</sup>。図8(a)にはその製作工程を示す。Siにめっきで金属の針を形成し、これを貫通配線を形成したLTCC（低温焼成セラミック）基板にAuSnで半田付けし、Siを除去して作られている。SiのLSIウェハと熱膨張の合うLTCCを用いているが、これは図8(b)に示すように柔らかいグリーンシートの段階で機械的に孔明けを行い、孔に金属ペーストを入れ、焼成して製作するものである<sup>(15)</sup>。断面写真のように必要に応じて重ねて焼成することもできる。なおこのLTCCはSiと陽極接合を行うこともできる。

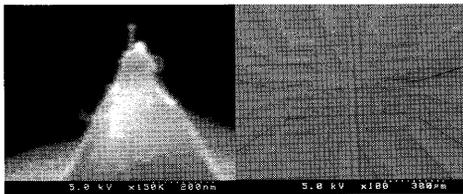


(a) ウェハレベルバーンイン用プローブカードの製作工程

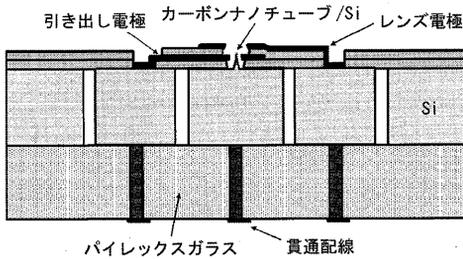


(b) 貫通配線付LTCCの製作工程と断面写真  
図8 ウェハレベルバーンイン用プローブカードの製作工程とこれに用いる貫通配線付LTCC

パターン幅が $0.1\ \mu\text{m}$ 以下で高スループットのマスクレス電子ビーム描画装置を目指し、電子源と静電レンズを並べたマルチ鏡筒並列電子ビーム描画装置を開発している<sup>(6)</sup>。これが完成すれば、マスク代が節約でき採算が合った形で多品種少量のLSIができるだけでなく、短期間で開発できることにもなる。単純な静電レンズで電子を集束させるにはカーボンナノチューブ(CNT)による微細電子源が有効なため、Si先端部に触媒となるニッケルを形成しておき、カーボンナノチューブを先端部に選択的に成長させた(図9(a))。図9(b)のようにカーボンナノチューブをSi突端に形成した電界放射電子源に、引き出し用ゲート電極を自己整合的に形成して配列させた<sup>(7)</sup>。図9(c)にはその構造の断面を示すが、裏面に配線を取り出し、集積回路で駆動できるようにしている。



(a) カーボンナノチューブ付Si (b) 配列した電子源



(c) 構造断面

図9 マルチ鏡筒並列電子線描画装置のための引出し電極付き電子源

ビデオディスプレイ装置に用いられているDMDと同様に、配列した多数の鏡が動くSLM (Space Light Modulator: 光空間変調器) をMEMSで製作することができる。これを用いたLSIマスク製造用の光学式マスクレス描画装置がスウェーデンのMicronic Laser Systems ABで製品化されている<sup>(8)</sup>。波長 $248\text{nm}$ のKrFエキシマレーザを使用し、 $200\text{nm}$ 以下の線幅で $256 \times 256$ のパターンを毎秒千フラッシュで高速に描画できる。このSLMは極めて付加価値の高いMEMSデバイスであり、ドイツのドレスデンにあるフラウンホッフ研究所で開発された。

型成形でプラスチックによる非球面レンズなどが作られているが、高温でしか加工できないガラスにもこの型成形を適用するため、高温でも強度を失わない炭化珪素(SiC)を型(モールド)に使う研究が行われている<sup>(9)</sup>。図10のように、微細加工したSiにCVDでSiCを堆積し、その表面を研磨して平坦にした後、ニッケル薄膜を堆積する。SiCセラミック板にこれを反応焼結させて接合し、最後にSiをエッチングし製作した。SiCを厚く堆積させた時に応力で変形するのを防ぐため、Siウエハの両面に対象にSiCを堆積する技術も開発されている<sup>(10)</sup>。なお非球面レンズなどの形は、ビデオプロジェクタ用のDMDを用いたマスクレス描画装置で多重露光してSi基板上的フォトレジストにその形を形成し<sup>(11)</sup>、エッチングでそれをSi基板上に転写して作る。

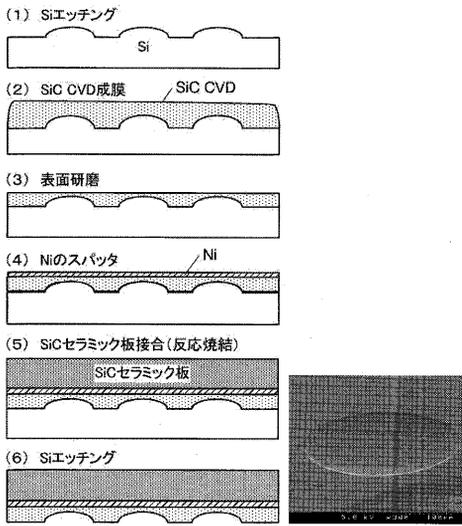


図10 ガラスプレスモーディング用SiC型の製作

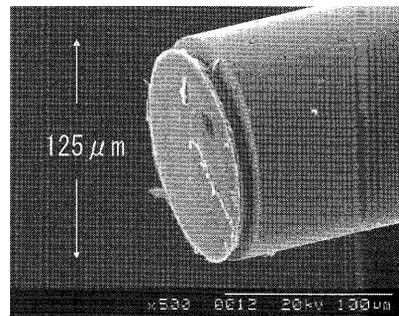
## 5 医療・バイオ

カテーテルや内視鏡のような低侵襲での検査や治療には小形で高機能なことが要求される。

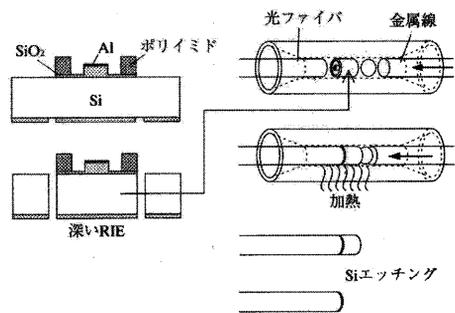
図11は直径 $125\mu\text{m}$ の極細光ファイバ血圧センサである<sup>23)</sup>。血圧によって光ファイバ先端に取り付けたダイヤフラムが変形するのを、光干渉スペクトルの変化で検出するものである。圧力によって干渉スペクトルが波長方向に移動することで圧力を知るため、光ファイバが曲がって光強度が変化しても影響を受けない。ダイヤフラムはSi基板上に製作し、ダイヤフラム部のSiを円柱状に反応性イオンエッチングで加工する。これをガラス管に挿入して光ファイバ先端に貼り付け、最後にSiをエッチングして製作した。直径 $10\text{cm}$ のSiウエハ1枚に10万個作ることができ組立も容易なため、安く製造できて使い捨ても可能である。

このような診断ツールあるいは治療ツールなどを体内の必要な患部に導入するた

め、自分で曲がる機能を持つ能動カテーテルも開発されている<sup>23)</sup>。これは超弾性合金のチューブをフェムト秒レーザーで加工して柔らかいチューブを被せた外径 $1\text{mm}$ ほどのもので、吸引すると曲がる。この他、先端で前方視するための三次元超音波イメージャ<sup>24)</sup>、あるいはMRI（磁気共鳴イメージング）装置内でカテーテル先端の近くを高解像度でイメージングするためのMRI用検出コイル<sup>25)</sup>、さらにはカテーテル先端の位置を検出するため外部からの磁場信号を検出する3軸磁気センサ<sup>26)</sup>、などをカテーテルの先端に取り付けた高機能化が進められている。



(a) 写真



(b) 製作法

図11 極細光ファイバ血圧センサ

バイオ関係では、使い捨て型ワイヤレスイムノセンサが研究されている<sup>(27)</sup>。アレイ状の磁気センサに無線機能が付いたセンサチップで、表面に抗体を付けておき、抗原抗体反応で結合した磁気ビーズを磁気センサで検出する。これは家庭でHIVやでんぐ熱などを同時に検出でき、安価な診断ツールとして使える可能性がある。なおこのようなヘルスケアチップの場合には、病院で再検査することになるため精度管理があまり問題にならない。これに対してチップ上にバルブや流路などを形成した分析チップを用い、血液を病院のベッドサイドで分析する目的で使うこともできる<sup>(28)</sup>。しかしこの場合は使い捨てにすると高価だけでなく、精度が悪いと医療ミスにつながる。そのため精度管理ができる場所に血液試料を運んで集中的に分析する方法がとられる。このように使う現場の問題を考慮して開発する必要がある。

## 6 集積化MEMSと産業化の問題点

画像用でたとえば赤外線イメージャあるいは3で述べたDMDのように平面的、あるいはプリンタヘッドのように直線的に多数の要素が配列したものでは、スイッチング回路などの集積回路をMEMSと一体化する必要がある。

いっぽう微小容量を検出する容量型センサでは、配線の寄生容量を減らし雑音を防ぐため容量検出回路を集積化するのが有効である<sup>(29)</sup>。集積化MEMSの構成法としてはSoC(System on Chip)MEMSのモノリシック集積型と、SiP(System in Package)MEMSの例えば図3(a)のようなハイブリッド組立型に大きく分けられる。以下では前

者のSoC MEMSについて議論するが、これでは同じSi基板にCMOS回路とMEMSを形成するもので、図4(a)のようにはじめにMEMSを形成してから回路を作る方法と、回路を形成してからMEMSを作る方法に分けられる。後者の例として図12に集積化容量型圧力センサの製作工程を示す<sup>(30)</sup>。これでは穴の開いたガラスをCMOSウェハに陽極接合し、封止してからダイシングしてパッケージングされた状態にするウェハレベルパッケージング技術が用いられている<sup>(30)</sup>。

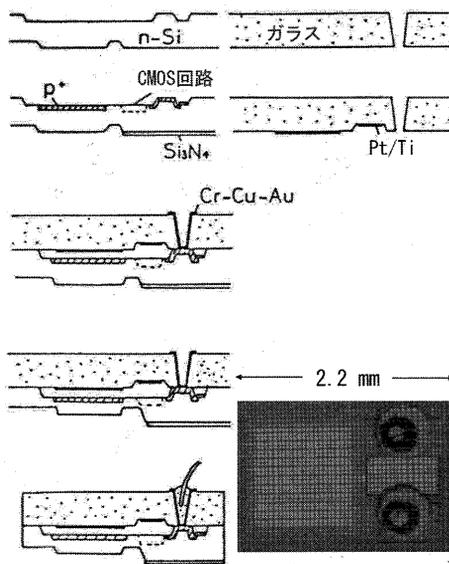


図12 ウェハレベルパッケージングによる集積化容量型圧力センサ

加速度センサが自動車のエアバックシステムの衝突検出、ノートパソコンのハードディスク保護のための落下検出、あるいはゲーム機のコントローラにおけるユーザインターフェースなどに用いられている。図13はこれに使われるアナログデバイス社による集積化容量型加速度センサの構造で

ある<sup>31)</sup>。錘がばねで支えられた構造が多結晶のPoly-Siで作られており、錘の動きが静電容量の変化として検出される。Poly-Siは優れた弾性材料であるが、CVDによる堆積時に厚さ方向に応力分布が生じるため、その下の犠牲層と呼ばれるりんガラス層などをエッチングで除去すると、図14(b)に示すように反る。このため図14(a)のように、堆積後1100℃で3時間の熱処理をして厚さ方向の応力を均一化してから、犠牲層エッチングする必要がある。この熱処理のため図13の集積化容量型加速度センサでは、現在標準的な微細トランジスタを使うことができず、3μmのものが使われている。

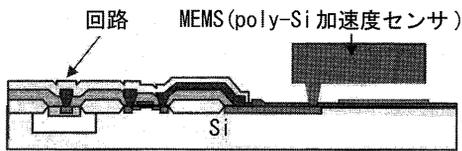


図13 Poly-Siを用いた集積化容量型加速度センサ

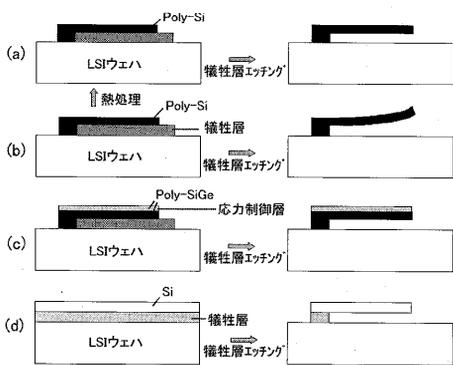


図14 優れた弾性材料でMEMSを形成する方法

標準的に使われている短チャネルトランジスタの回路上に、優れた弾性材料によ

るMEMS構造を形成するには、回路にダメージを与えない温度(400℃以下)でプロセスする必要があり、米国のカリフォルニア大学バークレー校などでは、これに多結晶のPoly-SiGeを用いる研究が行われている<sup>32)</sup>。このPoly-SiGeを用いベルギーのIMECとドイツのBosch社で作られた集積化振動ジャイロでは、図15に示すように0.35μmのAl CMOS回路上にPoly-SiGe構造を形成した。共振子部分をさらに厚いPoly-SiGe構造で封止し、通常の後工程の技術を適用し、樹脂封止で安価に製作できるようにしている<sup>33)</sup>。Poly-SiGeの応力制御はSiとGeの割合を変えることで行うことができ、成膜中に生じる反りは図14(c)のように異なる応力の膜を多層にすることで解決している<sup>34)</sup>。

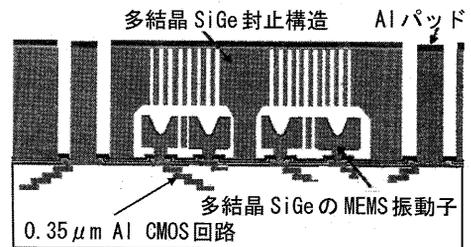
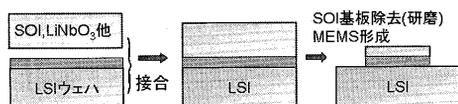


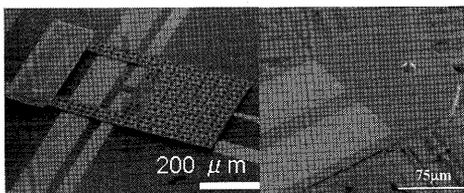
図15 Poly-SiGeによるMEMSを微細CMOS回路上に形成した振動ジャイロ

MEMS構造体に堆積した多結晶を用いるのではなく、図14(d)のように単結晶材料を低温で接合することによって、LSI上にMEMSを形成することができる。その原理を図16(a)に示すが、接合後に研磨してMEMS構造になる層を形成して加工を行う。図16(b)はSOI (Silicon On Insulator) ウェハをポリマー (パリレン)

で接合して形成したMEMSスイッチである。プラズマを照射して表面に高密度の水酸基を形成する「プラズマ活性化」を用いると、300℃程の低温でも接合できる<sup>36)</sup>。この方法ではプラズマ活性化後に大気中で位置合わせすることができる。また低温なため熱膨張の異なる基板どうしを接合することができる。インテルとU.C.Santa Barbaraではこれを用い化合物半導体のウェハをSiウェハに接合してSiチップ上に半導体レーザを製作している<sup>36)</sup>。図16(c)の例は、このプラズマ活性化接合を用いて、Siウェハに水晶ウェハを接合し、研磨後さらにSOIウェハを接合したAFM（原子間力顕微鏡）用プローブである<sup>37)</sup>。



(a) 接合による集積化MEMSの原理



(b) 単結晶Siスイッチ (c) 水晶AFMプローブ

図16 低温接合を利用したMEMSの集積化

金属どうしを低温で接合することができ、この金属接合を用いるMEMSを製作したウェハをCMOSウェハに貼り付けることが可能である。図17はデジタルカメラの手振れ防止などに使われているインベンセンス社の振動ジャイロの製作工程である<sup>38)</sup>。MEMSウェハのGeと、LSIウェハのAlを共晶接合させることによって、封

止と電気的な接続を同時に行うことができる。

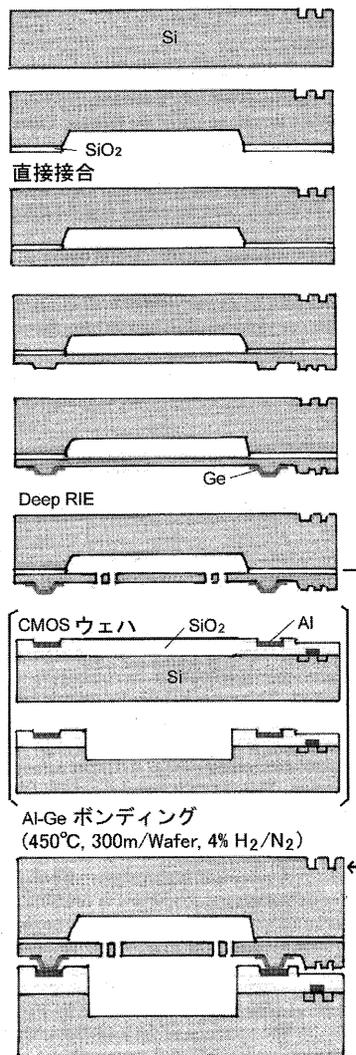


図17 金属接合を用いた振動ジャイロの製作工程

集積回路では集中的な生産施設で巨額の設備開発投資を行い、量産効果を活かし短期で投資を回収しながら再生産を続けているが、各社が一斉に設備投資し過剰設備になるいわゆるシリコンサイクルがあり、

しかも製品の寿命は短い。これに対してMEMSは品種ごとに設計・製造・パッケージング・テストが異なり多様な知識が必要で、少量であるためフォトファブリケーションの量産効果が活かせないが、付加価値は高く製品寿命は長いいため長期で投資を回収することになる。MEMSは毎年15%程の割合で成長し続けており、また多様な知識の集約であり、そのため産学連携が重要である。集積回路は微細化による性能向上だけでなく、多様化による高付加価値の方向への期待は大きく、その柱となるのは回路チップと一体化した集積化MEMSである<sup>39)</sup>。しかしその開発は容易でない。設備を使いリスクをかけることになるが、会社では設備があってもリスクをかけられず、大学ではリスクはかけられても設備を維持することはできない。また欧州などに比べわが国では、人材や非効率や縦割りなどで国公立研究機関などの公的研究機関があまり産業に寄与していない。我が国では、このようなリスクをかけ総合力を要する研究開発が行われてなく、将来の産業のねたを仕込んでこなかったために、開発が容易で数が出る同じような製品に、多くの企業が集中する傾向にある。図18は競合しない企業と東北大学とで行っているもので、プロジェクト内で外注したシャトルサービスのウェハを切り出して、それに低温接合や低温堆積などの追加工を行い、集積化MEMSの研究開発を低コストで行うものである。これによって比較的大量であっても開発ができないために製品化できない集積化MEMSへの道を拓く試みを行っている。これとは逆に開発はできても少量なために採算が合わなくて製造できない場合も

多い。償却済み設備の有効利用や大学との連携などで、固定費を減らし無駄を省くことや、装置開発販売を同時に手がけるなどのビジネスモデルの工夫で、少量の需要にも応えていくことができ<sup>40)</sup>、少量のMEMSを供給できれば、市場での新しい使われ方などでビジネスが広がる可能性もある。

米国は大学やベンチャ、台湾はMEMSファウンダリの活躍が目立つ。半導体とMEMS、基礎（大学）と応用（企業）の融合が我国では望まれる<sup>41)</sup>。

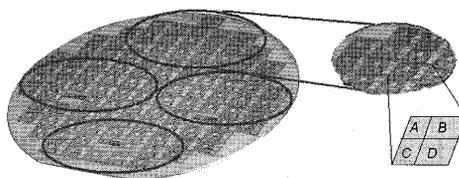


図18 乗り合いウェハによる集積化MEMS

## むすび

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems, 微小電気機械システム) は、付加価値の高い部品として使われシステムの鍵を握っている。有用なMEMSを応用分野ごとに述べた。また回路と一体化した「集積化MEMS」、および産業化の問題点について議論した。

## 謝辞

本研究の集積化MEMSに関する研究では、科学技術振興調整費（先端融合領域イノベーション拠点の形成）の「マイクロシステム融合研究開発拠点」として文部科学省の支援を受けた。

## 参考文献

- (1) S.Hashimoto, J.H.Kuypers, S.Tanaka and M.Esashi : "Design and fabrication of passive wireless SAW sensor for pressure measurement" , Proc. of the 24th Sensor Symposium, pp. 267-271, 2007
- (2) A.B.Randles, M.Esashi and S.Tanaka : "Etch stop process for fabrication of thin diaphragms in lithium niobate" , Jap. J. of Applied Physics, Vol.46, No.45, pp.L1099-L1101, 2007
- (3) M.Nagao, H.Watanabe, E.Nakatani, K.Shirai, K.Aoyama and M.Hashimoto : "A silicon micromachined gyroscope and accelerometer for vehicle stability control system" , 2004 SAE World Congress, 2004-01-1113, 2004
- (4) P.F.Van Kessel, L.J.Hornbeck, R.E.Meier and M.R.Douglass : "A MEMS-based projection display" , Proc. of the IEEE, Vol.86, No.8, pp.1687-1704, 1998
- (5) D.W.Lee, T.Ono and M.Esashi : "Microprobe array with electrical interconnection for thermal imaging and data storage" , J. of Microelectromechanical Systems, Vol.11, pp.215-221, 2002
- (6) H.G.Xu, T.Ono and M.Esashi : "Precise motion control of a nanopositioning PZT microstage using integrated capacitive displacement sensors, J. of Micromech. Microeng., Vol.16, pp.2747-2754, 2006
- (7) H.Takahashi, A.Onoe, T.Ono, Y.Cho and M.Esashi : " High-density ferroelectric recording using diamond probe by scanning nonlinear dielectric microscopy, Jap. J. of Applied Physics., Vol.45, No.3A, pp.1530-1533, 2006
- (8) S.Yoshida, T.Ono and M.Esashi : "Conductive polymer patterned media fabricated by diblock copolymer lithography for scanning multiprobe data storage" , Nanotechnology, Vol.19 p.475302 (9pp) , 2008
- (9) 江 刺 正 喜, J.McDonald and A.Partridge : "Si技術を使ったMEMS 発振器 水晶発振器の置き換えを狙う" , 日経エレクトロニクス, No.923, pp. 125-134, 2006
- (10) K.Hirano, S.Tanaka and M.Esashi : " Aluminum nitride lamb wave resonator using germanium sacrificial layer" , Proc. of the 25th Sensor Symposium, pp.195-198, 2008
- (11) N.Asada, H.Matsuki, K.Minami and M.Esashi : " Silicon micromachined two-dimensional galvano optical scanner, IEEE Trans. on Magnetics, Vol.30, No.6, pp.4647-4649, 1994
- (12) T.Tajima, T.Nishiguchi, S.Chiba, A.Morita, M.Abe, K.Tanioka, N.Saito and M.Esashi : "High-performance ultra-small single crystalline silicon microphone of an integrated structure" , Microelectronic Engineering, Vol.67-68, pp.508-519, 2003
- (13) 中村陽登、高柳史一、茂呂義明、三瓶広和、小野澤正貴、江刺正喜 : "RF MEMSスイッチの開発" , Advantest

- Technical Report, Vol.22, pp.9-16, 2004
- (14) S.H.Cho, S.Tanaka, and M.Esashi :  
"A matched expansion MEMS probe  
card with low CTE LTCC substrate" ,  
IEEE Internl. Test Conf. 2007, 20.2, 2007
- (15) M.Mori, Y.Kobayashi and N.Kidani :  
"Low CTE LTCC" , SEMICON Japan  
STS seminar Microsystem / MEMS  
session, pp.15-18, 2007
- (16) P.N.Minh, P.N.Hong, T.M.Cuong,  
T.Ono and M.Esashi : "Utilization  
of carbon nanotube and diamond for  
electron field emission devices" , Proc.  
MEMS'2004, 430-433, 2004
- (17) C.H.Tsai, J.Y.Ho, T.Ono and M.Esashi  
: "Parallel electron beam micro-column  
with self-aligned carbon nanotube  
emitters" , MEMS 2008 Technical  
Digests, pp.355-358, 2008
- (18) P.Durr et.al. : "Characterization  
of spatial light modulators for micro  
lithography" , Proc. of SPIE, No.4985,  
pp.211-221, 2003
- (19) K.O.Min, S.Tanaka and M.Esashi :  
"Glass press mold fabricated by SiC  
APCVD, SiC-SiC bonding and silicon  
lost molding" , Proc. of the 21th Sensor  
Symposium, pp.473-478, 2004
- (20) K.Ishizuka, B.Larangot, M.Esashi  
and S.Tanaka : "Double-side plasma  
enhanced chemical vapor deposition of  
silicon carbide for MEMS" , The 4th  
Asia Pacific Conf. on Transducers and  
Micro/Nano Technologies (APCOT  
2008) , pp.156-159, 2008
- (21) K.Totsu and M.Esashi : "Gray-  
scale photolithography using maskless  
exposure system" , J.Vac.Sci.Technol.,  
Vol.B23, 1487-1490, 2005
- (22) K.Totsu, Y.Haga and M.Esashi  
: "Ultra-miniature fiber-optic  
pressure sensor using white light  
interferometry" , J.of Micromech.  
Microeng., Vo.15, No.1, 71-75, 2005
- (23) Y.Muyari, Y.Mineta, T.Mineta and  
M.Esashi : "Development of hydraulic  
suction type active catheter using  
super elastic alloy tube" , Proc. of the  
20th Sensor Symposium, pp.57-60, 2003
- (24) 陳俊傑、江刺正喜、大城理、千原国宏、  
芳賀洋一 : " 血管内低侵襲治療のため  
の前方視超音波イメージャの開発" , 生  
体医工学, Vol.43, No.4, pp.553-559, 2006
- (25) 五島彰二、松永忠雄、松岡雄一郎、黒  
田輝、江刺正喜、芳賀洋一 : "カテー  
テル実装に適した血管内MRIプローブ  
の開発" , 電気学会論文誌 E, Vol.128-E,  
No.10, pp.389-395, 2008
- (26) K.Totsu, Y.Haga and M.Esashi :  
"Three-axis magneto-impedance effect  
sensor system for detecting position  
and orientation of catheter tip" ,  
Sensors and Actuators A, No.111,  
pp.304-309, 2004
- (27) T.Ishikawa, T.S.Aytur and  
B.E.Boser : "A wireless integrated  
immunosensor" , Complex Medical Eng.  
2005 (CME2005) , pp.943-946, 2005
- (28) S.Shoji, M.Esashi and T.Matsuo : "   
Prototype miniature blood gas analyser  
fabricated on a silicon wafer, Sensors &  
Actuators, No.14, pp.101-107, 1988

- (29) 松本佳宣、江刺正喜：“絶対圧用集積化容量形圧力センサ”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J75-C-II, pp.451-461, 1992
- (30) M.Esashi：“Encapsulated micro mechanical sensors”, *Microsystem Technologies*, Vol.1, No.1 pp.2-9, 1994
- (31) M.W.Judy：“Evolution of integrated inertial MEMS technology”, *Solid-State Sensors, Actuator and Microsystems Workshop*, pp.27-32, 2004
- (32) S.A.Bhave, B.L.Bircumshaw, W.Z.Low, Y.-S.Kim, A.Pisano, T.-J.King and R.T.Howe：“Poly-SiGe： a high-Q structural material for integrated RF MEMS”, *Solid-State Sensors, Actuator and Microsystems Workshop*, pp.34-37, 2002
- (33) A.Witvrouw, A.Mehta, A.Verbist, B.D.Bois, S.Van Aerde, J.Ramos-Martos, J.Ceballos, A.Ragel, J.M.Mora, M.A.Lagos, A.Arias, J.M.Hinojosa, J.Spengler, C.Leinenbach, T.Fuchs and S.Kronmuller：“Processing of MEMS gyroscope on top of CMOS ICs”, *ISSC 2005*, pp.88-89, 2005
- (34) A.Mehta, M.Gromova, P.Czarnecki, K.Baert and A.Witvrouw：“Optimisation of PECVD poly-SiGe layers for MEMS post-processing on top of CMOS”, *Digest of Tech. Papers Transducers' 05*, pp.1326-1329, 2005
- (35) S.N.Farrens, J.R.Dekker, J.K.Smith and B.E.Roberds：“Chemical free room temperature wafer to wafer direct bonding”, *J. Electrochem. Soc.*, Vol.142, pp.3949-3955, 1995
- (36) 大下淳一：“Siチップで1Tビット/秒へ複数波長のレーザー集積手法を開発”, *日経マイクロデバイス*, No.257, p.3, 2006
- (37) A.Takahashi, T.Ono, Y.-C.Lin and M.Esashi：“Fabrication of micromachined quartz-crystal resonators using surface activated bonding of silicon and quartz wafers”, *Proc. of the IEEE Sensors 2006*, pp.1305-1308, 2006
- (38) S.S.Nasiri, and A.F.Flannery Jr：“Method of fabrication of Al/Ge bonding in a wafer packaging environment and a product produced therefrom,” *Internl. patent W0 2006/101769*, 2005
- (39) O.Brand and G.K.Fedder：“CMOS-MEMS”, Wiley-VCH 2005
- (40) 宮崎勝：“新しいMEMSビジネスモデル”, *電子材料*, Vol.43, No.11, pp.31-35, 2004
- (41) 江刺正喜：“MEMSコラボレーション”, *SEMI News*, Vol.23, pp.22-23, 2007

# マルチ出力MEMS慣性センサ － 浮上・回転型MEMSマルチ出力慣性センサ－

東京計器(株) 研究開発センター

中村 茂

## 1 はじめに<sup>[2] [3]</sup>

慣性空間に対する加速度、角速度等を計測する「慣性センサ」は1851年フーコー(Foucault)による「振り子」を用いた地球自転の検証、翌1852年の回転円板による地球自転の検証と「ジャイロスコープ：回転(ジャイロ)・見る(スコープ)」の命名以来急速な進歩を遂げた。ジャイロスコープの角速度検出性能は地球自転角速度の百万分の一の角速度をも検出可能になり、加速度計の検出性能はダイナミックレンジで8桁、最小検出加速度は「地球潮汐」をも検出可能なレベルに到達している。

一方、半導体製造技術の進歩とともに急速な拡がりを見せるMEMS技術は、これらの「慣性センサ」の小型化、大量生産に大きく寄与し、特殊なセンサと認識されがちであった「慣性センサ」の一般化を加速している。<sup>[1]</sup>

しかし、MEMS技術を用いて製作されたマイクロ慣性センサは「角速度計測はジャイロ」、「加速度計測は加速度計」と機能別に研究開発されてきたが、慣性計測の分野では、これら角速度、加速度の単一パラメータを計測する用途以外に移動体の姿勢計測のニーズがある。本用途には3軸の角速度、及び3軸の加速度を計測する必要があり、数個のセンサを組み合わせるシステムを構成しなければならない。本稿では

角速度検出の原理として、ジャイロセンサとしては最も高精度な「静電支持ジャイロ：ESG」と同一の方式をMEMS技術で実現した新たな方式のMEMS慣性センサを紹介する。本センサはSi製のリング型回転体(直径1.5mm)を静電力で浮上させ、非接触で高速回転させることにより2つの軸回りの角速度を検出し、同時にロータを支持する力から3方向の加速度をも検出可能な「マルチ出力慣性センサ」である。本方式の採用により、従来は3個の1軸ジャイロ、3個の1軸加速度計、合計6個のセンサを必要とした姿勢計測装置を、2個のセンサで実現可能になる。

## 2 回転型慣性センサの動作原理

浮上回転型慣性センサの原理、特に角速度(レート)検出の原理は船舶用ジャイロコンパス等で広く使われてきた「機械式回転型ジャイロ」と同一である。高速回転している回転体の回転軸と直交する軸回りに角速度が入力されると、回転体とケースの間に傾斜変位が生じる。フィードバック制御により、回転体を常にケースのゼロ位置に保持するようトルク(プレセッショントルク)がフィードバックされる。このトルクは以下のように、入力角速度に比例することからフィードバックトルクを計測することにより角速度検出が可能になる。(図1)

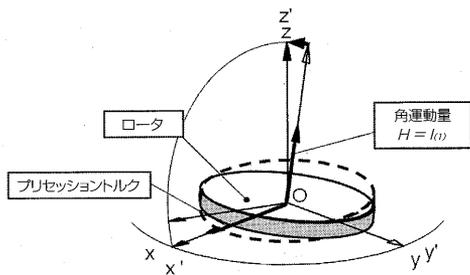


図1 回転型ジャイロの原理

回転体の慣性能率を  $I$ 、回転速度を  $\omega$ 、入力角速度を  $\dot{\theta}$  とすると、プレセッショントルク  $T$  は次式であらわされる。

$$T = I\omega \dot{\theta} \quad (1)$$

本形式のセンサは(1)式からわかるように、回転体の慣性能率を大きく、回転速度を大きくすることで性能向上が可能である。本センサのようにマイクロ化により小さくなった回転体の慣性能率を補うには、「回転速度を大きく」することで対処する。ちなみに本センサの場合、74,000rpm の高速回転で対処している。

図1のように回転軸 ( $z$  軸) に直交する軸は2軸 ( $x$ 、 $y$  軸) あることから、2軸角速度センサとして動作することが可能になる。又、回転体を常にケースのゼロ位置に保持するよう制御していることから、3軸加速度計としても動作し、1台で2軸 ( $x$ 、 $y$  軸) 回りの角速度と3方向 ( $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向) の加速度、合計5つのパラメータを同時に計測することが可能になる。

### 3 センサの構造

図2にセンサの構造を示す。

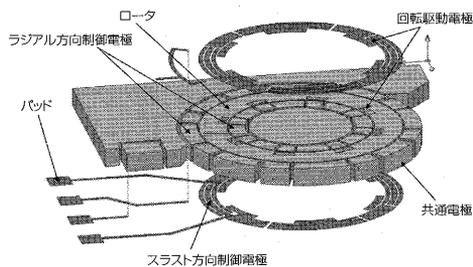


図2 センサ構造

本センサはガラス/シリコン/ガラスの3層構造で構成されている。リング型回転体の周りに制御用電極が配置され、回転体との間で変位検出及び静電駆動のためのコンデンサを形成している。ラジアル方向制御の電極は回転体と同一のシリコンウェハーで構成されており、スラスト方向制御及び回転駆動用電極は上下のガラス基板上にパターンニングされている。リング型回転体は外径1.5mm、厚さ50  $\mu\text{m}$  である。上下のガラス基板の電極と回転体とのギャップは約3  $\mu\text{m}$ 、ラジアル方向制御用電極と回転体との間は約2.5  $\mu\text{m}$  のギャップになっている。

写真1が実際のセンサチップ、写真2がパッケージに入れた例である。

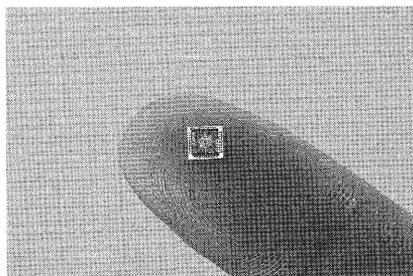


写真1 センサチップ

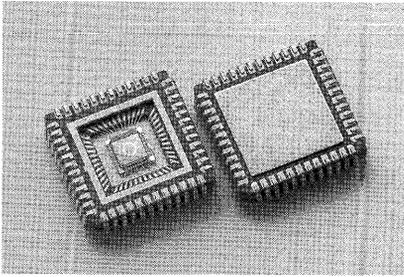


写真2 センサパッケージ

直径1.5mmのリング型回転体を内蔵するセンサチップは4.3mm□、厚さ1mmである。

写真3は2軸角速度、3軸加速度入力に対するフィードバック制御回路、及びロータ回転数を一定に制御する回路が組み込まれたセンサカードである。95×65mm・45gと小型・軽量が図られているが、実際は12V単電源で動作するよう各種電圧を生成する電源カードと組み合わせられ写真4のようなケースに収められている。

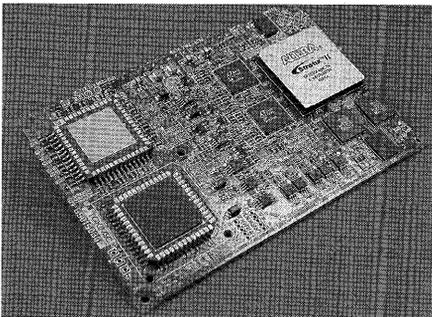


写真3 センサカード

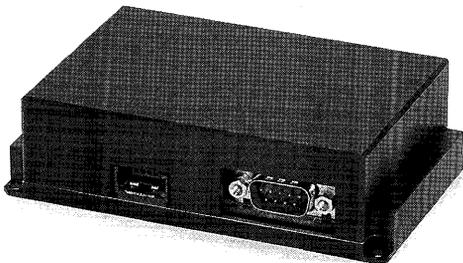


写真4 マルチ出力MEMS慣性センサ

## 4 性能

### 4.1 加速度計性能

本センサクラスの加速度計の性能評価は、センサを傾斜させ重力加速度の入力を変化させて行うのが一般的である。

図3にX軸周り、図4にY軸周りセンサを回転させた結果を示す。多軸出力加速度計として動作していることがわかる。

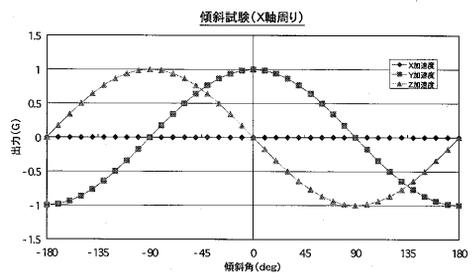


図3 加速度計出力特性-1

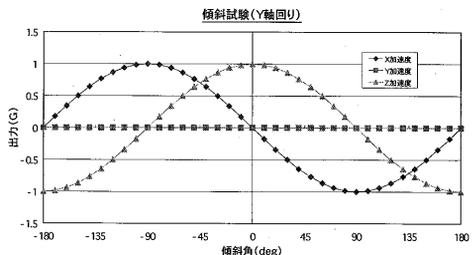


図4 加速度計出力特性-2

図5はY軸方向の加速度入力と出力の関係を示したものであり、±1Gの範囲で160ppmと1軸サーボ加速度計に匹敵する良好な直線性を示していることがわかる。

図6は低加速度入力(1mGステップ@0.06deg)時の出力であり、0.5mG以下の分解能を持っており、運動加速度が入力されない状況では分解能0.03deg以下の傾斜計としての使用も可能である。

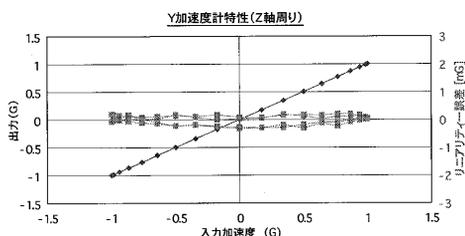


図5 加速度計直線性

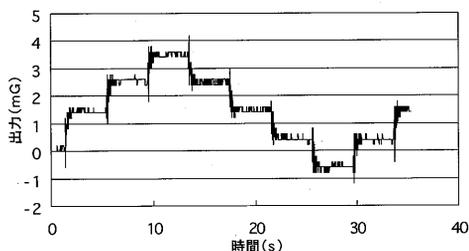


図6 低加速度入力時特性

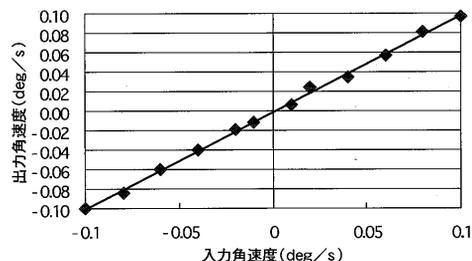
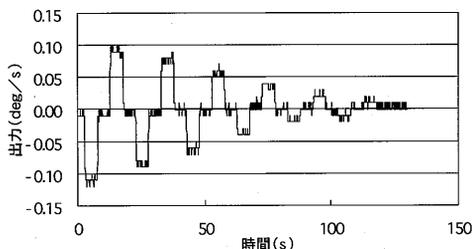


図8 低角速度入力時出力特性

## 4.2 ジャイロ性能

ジャイロセンサとしての性能評価はターンテーブルを使用し、実際に角速度入力を与えて行う。図7は $\pm 150\text{deg/s}$ での入出力特性、図8は $\pm 0.1\text{deg/s}$ 入力での出力特性である。直線性は $\pm 150\text{deg/s}$ で50ppmであり、MEMS技術で製作されたジャイロでは最高レベルの直線性である。

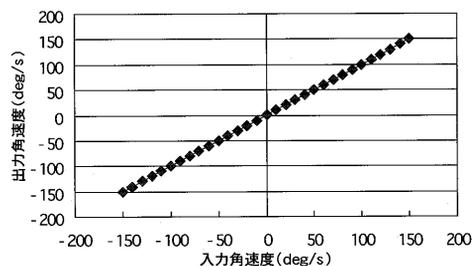


図7 ジャイロ入出力特性-1

本センサのようなマルチ出力センサを使用する上で考慮すべき重要な項目として、各計測パラメータ間の干渉がある。表1に2つの角速度 (X、Y角速度)、3つの加速度 (X、Y、Z加速度) 間相互の干渉出力の例を示す。角速度入力ある場合に加速度出力として現われる例で最大 $0.004\text{mG}/(\text{deg/s})$ 、加速度入力がある場合に角速度出力として現われる例で最大 $0.014\text{deg/s}/\text{G}$ に収まっている。同一次元間の干渉はほとんどがセンサの幾何学的寸法誤差による所謂「取り付け誤差」であるが、加速度入力の場合で最大0.043%、角速度入力の場合で最大0.005%と小さな値であり、ストラップダウン型姿勢計測装置として十分使用可能な値である。

## 5 まとめ

表2に概略性能の一覧を示す。2軸角速度・3軸加速度のマルチ出力を可能にするのみ

ならず、各パラメータに関してもMEMS技術を用いて製作された慣性センサとして最高レベルの性能であり、本センサを2台用いることで、超小型の姿勢・方位計測装置を実現することが出来る。

"Electrostatically Levitated Micro Motor for Inertial Measurement System" Tech.Dig.10th Int.Conf.Solid-State Sensor and Actuators(Transducers99) Sendai 1999 pp1558

### 参考文献

- 1) N. Yazdi, F. Ayadi and K.Najafi, "Micromachined Inertial Sensors" Proc.IEEE, Vol 86, No 8. 1998
- 2) K.Fukatu, T.Murakoshi, and M.Esashi

- 3) T.Murakoshi, K.Fukatu, S.Nakamura, and M.Esashi "Electrostatically Levitated Rotational Ring-Shaped Gyro/Accelerometer for Inertial Measurement System" Symposium Gyro Technology 2002 Stuttgart, Germany

表1 他軸干渉例

入力	出力				
	X加速度	Y加速度	Z加速度	Xレート	Yレート
X加速度	99.997%	0.028%	0.010%	0.014deg/s/G	0.007deg/s/G
Y加速度	0.028%	100.005%	0.006%	0.005deg/s/G	0.006deg/s/G
Z加速度	0.043%	0.047%	99.997%	0.009deg/s/G	0.006deg/s/G
Xレート	0.004mG/(deg/s)	0.004mG/(deg/s)	0.001mG/(deg/s)	100.001%	0.005%
Yレート	0.002mG/(deg/s)	0.000mG/(deg/s)	-0.001mG/(deg/s)	-0.001%	99.999%

表2 センサ性能概略

項目		
回転体寸法		1.5mm×50μm(H)×150μm(w)
ギャップ		2.5μm (ラジアル) 3.0μm (スラスト)
回転数		74,000 (rpm)
計測範囲	角速度	±150 deg/s
	加速度	±49m/s <sup>2</sup>
感度	角速度	0.01deg/s LSB
	加速度	1.96×10 <sup>-3</sup> m/s <sup>2</sup> LSB
直線性	角速度	0.05% (±150 deg/s)
	加速度	0.1% (±1G)
雑音	角速度	0.002 deg/s /√ Hz
	加速度	30μG/√ Hz

# インマルサットおよびイリジウムサービスの 現状と今後について

KDDI株式会社 MSATビジネス営業部

大野和美

## 1 はじめに

本稿は2008年8月に筆者が行った、電波航法研究会講演会での「インマルサットおよびイリジウムサービス現状と今後について」をもとに、2009年3月1日現在の状況を追記したものである。

インマルサットは1982年に船舶を対象とした衛星通信を開始し、その後航空機や陸上移動体にサービス範囲を拡充している。一方、イリジウムは世界中で利用できる携帯端末により、市場が拡大している。どちらも衛星を使用した通信サービスであり、海上やインフラが整っていない途上国など通常の通信回線が使用できない場所や、地震や災害時など陸上の通信回線が規制され使用できない状況で威力を発揮する通信である。

本稿では、インマルサット、イリジウム両サービスの概要や今後の両サービスの展望について述べる。

## 2 インマルサット

### 2-1 インマルサットサービスの歴史と 当社の関わり

インマルサットは海上における遭難・安全通信の向上を目指し、1979年に国際海事衛星機構 (International Maritime Satellite Organization : インマルサット) として設立された。インマルサット設立

初期の衛星としてはマリサット衛星の他、1981年に打ち上げられたマレックス衛星がある。1990年にはインマルサット独自の衛星、第2世代衛星が打ち上げられ、船舶向けサービスが徐々に拡大していった。その後1992年から航空機用、1996年からは陸上移動用とそのサービスを拡大した。

各国の通信の民営化の流れに乗り、インマルサットでも効率的な経営と次世代衛星の資金調達のため民営化が検討され、1999年4月に英国ロンドンに本社を設けるインマルサット社が設立された。

当社とインマルサットとの関わりは古く、インマルサット設立当時から約30年の歴史を共にしている。すなわち、1976年に「インマルサットに関する条約」及び「同運用協定」が採択され、日本政府は1977年に同条約に署名し、署名当事者として指名を受けた国際電信電話株式会社 (現KDDI) が同運用協定に署名した。

インマルサットが民営化した後からは、KDDIは主要株主という立場と同時にLESO (Land Earth Station Operator : 陸上地球局運用者) という両面の立場を有することとなった。

LESOとしては、山口衛星通信センターでインド洋衛星と太平洋衛星にアクセスし、インマルサットサービス (海事、航空、陸上移動) の提供ならびにNCS (Network

Coordination Station：通信網管理局) や SBS (Satellite Base Station：陸上地球局) というインマルサットシステム維持において重要な業務をインマルサットから受託し運用をしている。

さらに1980年代にはKDDIグループの1つであるKDD研究所(当時)が研究開発したデジタル衛星通信方式がインマルサットBサービスに採用されるなど、現在のインマルサットシステムの基礎となる技術の研究開発に貢献してきている。

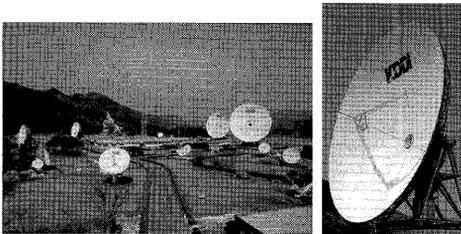


図1 山口衛星通信センターとアンテナ

## 2-2 ネットワーク概要

インマルサットネットワークの概要を図2に示す。

上述の通り、インマルサットは海上、航空、陸上の3分野でサービスを提供している。

利用者は軽量小型なアンテナを船や飛行機、車などに搭載する。赤道上空36,000kmに配置された静止衛星であるインマルサット衛星と移動体間のサービスリンクでは降雨の影響の少ないLバンド(アップリンク1.6GHz、ダウンリンク1.5GHz)を使用し、陸上地球局と衛星間の回線であるフィーダーリンクではCバンド(アップリンク6GHz、ダウンリンク4GHz)を利用する。

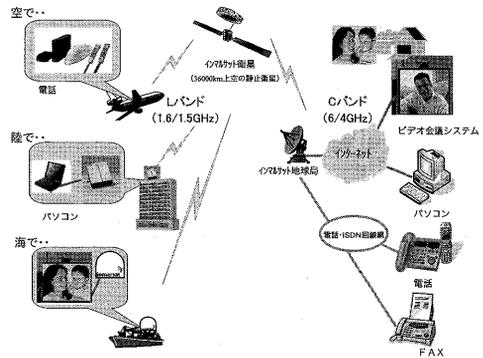


図2

## 2-3 海上・陸上システムの変遷

船舶向けサービスからスタートしたインマルサットサービスは30年の間に移動体用のアンテナも小型、軽量化が大いに進んだ。

1982年に最初のサービスとしてスタートしたインマルサットAサービスはアンテナ直径120cm、重さ120kgのアンテナを使用するインマルサット唯一のアナログシステムであった。(Aサービスは2007年12月31日をもってサービス提供を終了している。)その後、1993年にはデジタル化かつ小型化を図ったインマルサットBが登場し、さらにインマルサットMや、より高速化を遂げたインマルサットFleet(フリート)が登場した。そして更なる高速化を図り2007年11月には初のブロードバンドサービス、インマルサットFB(Fleet Broadband)が登場した。

陸上用のアンテナも同様の変遷の結果、2005年3月には初のブロードバンドサービス、インマルサットBGAN(Broadband Global Area Network)が登場した。

インマルサットFB、インマルサットBGANは従来サービスに比較して速度は

約7倍という高速化を達成した。デジタル化、衛星の高機能化によりアンテナの小型化、高速化を図っている。

## 2-4 衛星の変遷

表1にインマルサット衛星の比較を示す。第2世代衛星は全長14.5m、打ち上げ時の重量は1,500kg、音声チャンネル数は250である。その後、1996年に投入された第3世代衛星はインマルサットFB、BGAN以外のサービスに使用されているが、全長20.7m、打ち上げ時重量2,050kg、音声チャンネル数は1,000である。最新の衛星でありインマルサットFB、BGANを提供する第4世代衛星は全長45m、打ち上げ時重量6,000kg、音声チャンネルは18,000である。第2世代と第4世代衛星を比較すると、大きさ重さともに約3～4倍になっており、提供できるチャンネル数に至っては72倍となった。いかに衛星そのものの巨大化、高機能化が図られたかが推察できよう。

表1

	インマルサット第2世代衛星	インマルサット第3世代衛星	インマルサット第4世代衛星
衛星数	3	5	3
ビーム	グローバルビーム	グローバルビーム 7 ワイドスポット	グローバルビーム 19ワイドスポット 228 ナロースポット
最大EIRP	39 dBW	49 dBW	67 dBW
チャンネル数(音声)	250	1,000	18,000
全長	14.5 m	20.7 m	45m
重量(ドライマ)	700 kg	1,000 kg	3,000 kg
打上時重量	1,500 kg	2,050 kg	6,000 kg
設計寿命	10年	13年	10年

## 2-5 ビームの種類

同じく表1が示すように、インマルサット第4世代衛星には3種類のビームがある。

すなわち、地球全体をカバーするグローバルビームと、ビーム幅を小さくして地球の一部を照射するスポットビームである、ワイドスポットビームとナロースポットビームである。

第2世代衛星では上記3種類のビームのうち、3つのグローバルビームのみで地球を覆っていた。第3世代衛星ではグローバルビームに加え、7つのワイドスポットビームが搭載された。第4世代衛星にいたってはグローバルビーム、19のワイドスポットビーム、228のナロースポットビームを備えている。スポットビームはビーム幅を小さくして地球の一部を照射するため、照射領域が狭い分グローバルビームに比べて強い照射電力が実現できる。これによりアンテナの小型化が図れる。さらに、ナロースポットビーム間でのLバンド(移動体から衛星間)周波数の再利用による利用チャンネル数の大幅な増大で、それぞれ最大492kbpsおよび432kbpsのパケット通信が可能なBGANやFBの提供が可能となった。これらについては2-7で後述する。

## 2-6 今後の展開

### ～第4世代衛星の打ち上げ～

2005年3月12日インド洋域をカバーする第4世代衛星1号機が打ち上げられ、さらに同年11月8日大西洋域をカバーする2号機が打ち上げられ、それぞれサービスの提供を開始した。

日本を含む太平洋域をカバーするために3号機の打ち上げが長らく待ち望まれたが、2008年8月19日、ついにカザフスタンから打ち上げされ成功した。

その後、衛星の再配置を行い2009年2月

25日、日本時間朝5:00からインマルサット第4世代衛星はグローバルにサービス提供が可能となった。つまり日本ではこれまでは西日本でのみインド洋衛星経由で利用ができていたが、このフルカバレッジ化により、太平洋域の衛星を使用して日本全土でBGAN、FBを利用することができるようになった。

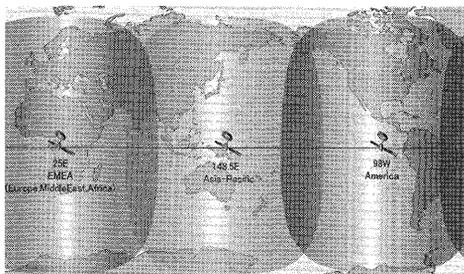


図3 2009年2月25日以降のカバレッジ

## 2-7 第4世代衛星を使った新サービス ～BGAN・FB～

第4世代衛星で提供するサービスにはインマルサットBGAN (Broadband Global Area Network) とインマルサットFB (Fleet Broadband) の2種類がある。

### 1) インマルサットBGANについて

陸上でサービスを提供するインマルサットBGANは最大492kbps (ベストエフォート) の速度を実現し、第3世代衛星で提供しているインマルサットM4のパケット通信が最大64kbpsであることに比べると約7倍の速度となる。

またこれまでは電話とデータ通信の同時利用はできなかったが、BGANでは可能となった。例えば、遠隔地と日本間でお互いメールを送受信しながら、そのメールの内容を電話で議論するといったことも可能と

なる。

また64kbpsのM4に比べるとより高品質の映像画像を高速に伝送できるようになった。

### 2) インマルサットFBについて

インマルサットFBはBGANサービスの海上版である。最大432kbpsの通信速度を提供しこれも第3世代衛星に比較すると約7倍の高速化を遂げた。インマルサットBGAN同様、例えば船長が業務用メールを送受信している時にも、船員が家族に電話をかけるということも可能である。

また、432kbpsの高速通信により、単に電話をする、メールやインターネットをするという使い方から、エンジンルームから機械の様子を定期的に陸上の船舶管理会社に報告する、陸との間でTV会議を行う、船員へ遠隔教育を行うなどといったことも可能となり、利用用途の拡大が期待できる。

## 3 イリジウムサービス

1990年6月モトローラ社から77機の周回衛星を利用して全世界をカバーする衛星携帯電話システムが発表された。77という衛星の数が電子番号でいうと「イリジウム」にあたることから、最終的に66機の衛星でカバーすることとなったものの本システムはそのままイリジウムサービスと命名された。

Iridium Inc.は1998年11月からサービス提供をスタートしたが、想定以上に携帯電話が急速に普及したことやグローバルスターなど競合する衛星システムの出現などにより、想定する顧客数を確保できなかった。そのため運転資金不足となりサービス開始1年後には破産に追い込まれた。

2001年3月にIridium Satellite LLC社がイリジウムサービスを再開し、日本では2005年6月から当時KDDIの子会社であったKDDIネットワーク&ソリューションズがサービスの提供を再開した。

### 3-1 サービス概要

インマルサット衛星は高度36,000kmの地球の自転に同期した軌道を持ち3つの衛星で地球をカバーできるという利点があるものの、往復70,000km以上となる伝播遅延の影響は避けられない。また衛星が赤道上空にあることから北極や南極といった高緯度の地域には電波が届かないという欠点がある。

一方、イリジウムは高度780kmの低軌道衛星を利用することから、遅延は少なく、より自然な会話ができるようになった。また66機の衛星が6つの軌道上に11機ずつ配置されているため、南極、北極という極地でも利用が可能である。

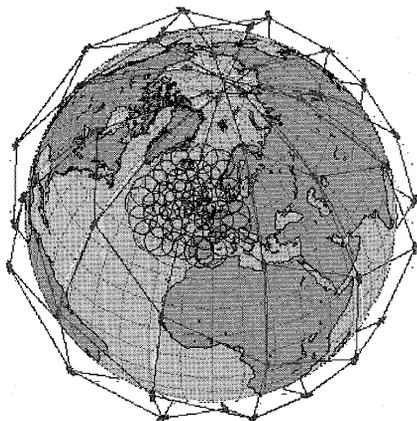


図4

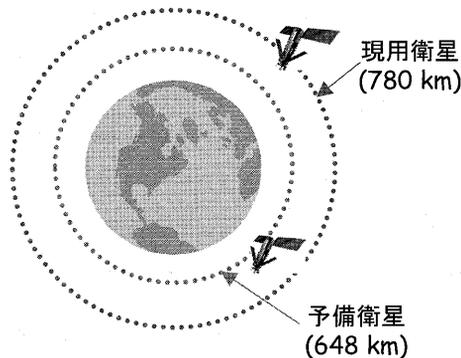


図5

### 3-2 イリジウム衛星について

インマルサット衛星に比べ、イリジウム衛星は打ち上げ重量640kg、ソーラーパネル長8.38mと小型である。各衛星には3つのフィーズドアレーアンテナが搭載されており、1つのアンテナで16個のスポットビームを形成する。すなわち、1つの衛星で48個のスポットビームを構成している。各スポットビームの直径は約400kmであるから衛星1個、スポットビーム48個で約4,500kmをカバーすることとなる。

### 3-3 今後の展開

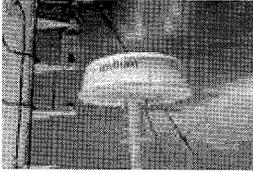
イリジウムサービスはサービス開始時からの音声電話サービス、低速パケットデータサービス、船舶用高速データサービスに大別できる。

表2にイリジウム用各種端末の概要を示す。

#### (1) 音声電話サービス (9555型端末)

電話サービスを提供する端末としては、サービス提供時からの9505A型端末に加え、2008年10月に新型端末9555が登場した。両者の機能はほぼ同じであるが、新端末は現端末に比べ約30%小型化した。またデー

表2 各種イリジウム端末

	9505A型端末	9555型端末	SBDモジュール	OpenPort
端末概観				
サイズ (mm)	158 × 62 × 59	143 × 55 × 30	106 × 56 × 13	ADU : 230 × 570 BDU : 200 × 250 × 55
重量	375 g	266 g	117 g	ADU : 11 kg BDU : 1.35 kg
特徴		ミニUSB	RS232C インタフェース	データ速度 : 128kbps (ベストエフォート)

SBD : Short Burst Data

タ通信 (2.4kbps) 用のUSBインターフェイスを有していることが特徴である。

#### (2) 低速パケットデータサービス

低速パケットデータサービスはSBD (Short Burst Data) サービスと呼ばれモジュールを用いて提供される。SBDで一度に送受信できるデータ量は端末発方向が最大340バイト、端末着方向が最大270バイトである。端末から送信されたパケットデータはイリジウムゲートウェイ内においてEメールに添付され、インターネット経由で所定のアドレス宛に送付される。本モジュールはRS232Cインタフェースを有し、PCなどの外部制御装置によりATコマンドベースにて、データ送受信などを実施するものである。

#### (3) 船舶用高速データサービス

2008年11月には、高速パケット通信を可能とする船舶向け端末 (OpenPort) がリリースされた。概要は表2に示される通りである。OpenPortは最大128kbps (ベストエフォート) のIPパケット通信を最

大の特徴としており、さらに電話3回線の同時利用も可能である。パッチアレイアンテナで形成される7個のアンテナビームを衛星方向により電氣的に切り替えている。

#### 4 終わりに

インマルサット、イリジウムサービスの現状、最近の状況などを概説した。

インマルサット通信の高速化は、陸上のインターネット網の発展には及ばないものの、地上型インフラのない地域や船舶においてのデジタルデバインド解消を進めてきたといえる。また、イリジウムサービスは、衛星携帯端末による音声通信が主体であったが、OpenPortによる高速化もすこずつ進んできている。

#### 参考文献

「インマルサットシステム概説」  
電気通信振興会、2007年編著 千葉 榮治、  
監修 安永 正幸 工学博士

# ワイドスターの現状と今後について

株式会社 NTTドコモ

法人ビジネス戦略部 西 泰樹

## 1 はじめに

ワイドスターはサービスを開始してから13年近くが経過し、既に時代遅れとなりつつあるシステムであるが、料金・信頼性を含めた利便性が高いこと等の理由から、現在も多くのお客様にご利用頂いている。

しかし、近年、携帯電話等を用いたデータサービスの利用拡大に伴い、ワイドスターにおいてもインターネット利用・画像伝送等の高速データサービスに対するお客様要望が顕在化しつつある。

弊社は、これらのお客様要望に応えつつ、更なる利便性の向上を目指し、次期サービスの検討を進めている。

本資料では、ワイドスターの現状と、現在検討を進めている次期サービスの構想について述べる。

## 2 これまでの取組み

図1にこれまでの取組みを示す。ワイドスターは船舶電話のエリア拡大と、携帯電

話のエリア補完を目的として1995年度末よりサービスを開始した。当初はポータブルホン、カーホン、ポータブルマリンホン、マリンホンの4種類の端末による回線交換サービスの提供であったが、1999年にDopaN21というパケット端末を導入し、パケット交換サービスを追加した。現在は、ワイドスターデュオという回線交換/パケット交換の共用端末により陸、海にサービスを提供している。一時は、ワイドスターによる航空機電話サービスも提供したが、ご利用数が伸びないことから現在は、陸、海のみへの提供となっている。

衛星は、サービス開始時にN-STARa、N-STARbの2機を打ち上げ、その後お客様の数が増加したため、システム高信頼性を目指し2002年にN-STARcを追加し、また、衛星更改の目的で2006年度N-STARdを打ち上げ現在に至っている。現在はc号とd号の2機運用である。

西暦 (年度)	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
衛星	東経132° △N-STARa 打上げ												△N-STARd (JCSAT-9) 打上げ	
サービス		△衛星移動通信 サービス開始			△アナログ 船舶電話廃止			△衛星パケット通信 サービス開始	△衛星航空機電話 サービス開始		△衛星航空機電話 サービス廃止			
端末	△ポータブルホン発売 △カーホン発売 △ポータブルマリンホン発売 △マリンホン発売					△DoPaN21発売				△ワイドスター・デュオ (可搬/車載)発売 △ワイドスター・デュオ (船舶)発売				

図1 これまでの取組み

### 3 システム概要

図2にシステム構成を示す。日本の南方上空、東経132度と136度の静止軌道上にそれぞれN-STARdとN-STARcの2機の静止衛星を配置し、これら2機の衛星から放射される半径約600kmの4つのビームにより日本全土並びに周辺海域をサービスエリアとしている。2機の衛星が共にほぼ同一エリアをカバーすることでサービスエリアの二重化を実現している。

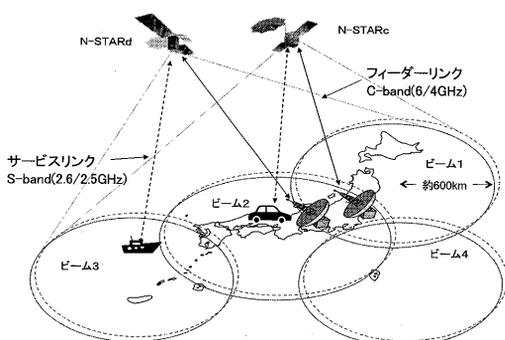


図2 システム構成

地上系設備についても、完全二重化構成を採用し、自然災害にも十分な耐性を持たせるべく地理的に十分離れた場所へ分散設置している。さらに、これら設備はFOMA等の携帯電話とは独立の衛星専用設備としていることから、輻輳等の地上系からの悪影響を排除可能な構成となっている。

利用周波数としては、フィーダリンク（基地局～衛星）にCバンド（6/4GHz）、サービスリンク（衛星～移動機）にSバンド（2.6/2.5GHz）を利用しており、降雨減衰等の影響を受け難いシステムとなっている。

### 4 サービス概要

#### 4.1 サービスの特徴

主に下記3点の特徴を持つ。

##### (1) 広域なサービスエリア

日本本土を含む周辺海域概ね200海里をカバーしており、南の空40度（北海道）～60度（沖縄）が見通せる場所なら何処でも通信可能である。

##### (2) 信頼性の高い通信サービス

地上災害の影響を受けない2機の静止衛星と、衛星専用の完全に二重化された地上系ネットワークと、なおかつ降雨・降雪の影響を受け難い無線周波数帯を用いていることから、極めて信頼性の高い通信サービスが提供可能であり、災害時の通信手段として最適である。

##### (3) 高品質な通信サービス

デジタル方式の採用により、高い通信品質を確保しており、これにより、音声、FAX等を高品質で送受可能である。

#### 4.2 サービス内容

表1にサービス概要を示す。回線交換方式とパケット交換方式の組み合わせにより、音声、FAX、データ通信サービスを提供している。回線交換方式では時間課金により、音声、4.8kbpsデータ通信（モデム利用）、G3FAXが利用可能であり、パケット交換方式では従量制課金により、上り4.8kbps、下り最大64kbpsのベストエフォートデータ通信が利用可能である。

表1 サービス概要

項目	内容	
	回線交換方式	パケット交換方式
提供サービス	音声 データ通信(モデム利用) FAX	データ通信 (プロトコル:TCP/IP, UDP/IP)
データ通信速度	上下4.8kbps (速度保証型)	上り:4.8kbps 下り:64kbps (ベストエフォート型)
課金方式	通信時間課金 (平日・昼間10円/6.5秒)	データ従量制課金 (ベンチマーク:0.4円/パケット)

サービス提供形態としては、(1)衛星電話サービス、(2)衛星パケットサービス、(3)衛星パケットサービス(通話+通信)の3種類が選択できる。図3にサービス提供料金を示す。料金は、基本使用料と通話・通信料の合計である。

(1) 衛星電話サービス

プランAとプランEの2種類のプランを用意している。プランAは基本使用料が15,000円で、通話・通信料は10円/6.5秒(平日昼間)の料金プランであり、プランEは基本使用料を4,900円と安価に設定し、代わりに通話・通信料をプランAの2倍としたプランである。プランAは通話時間の多い方にお徳なプランであり、プランEは

通話時間の少ない方にお徳なプランとなっている。

(2) 衛星パケットサービス

衛星電話サービス同様、パケットについても、データ送受信の多い方にお徳なプランBと、データ送受信の少ない方にお徳なプランAの2種類のプランを用意している。

(3) 衛星パケットサービス(通話+通信)

衛星電話サービスと衛星パケットサービスを組み合わせたサービスである。本サービスの基本使用料は、従来、両サービスの基本使用料の合計としていたが、平成20年2月より、基本使用料の大幅値引きを実施し、音声の基本使用料+500円でプランAのパケットサービスをご利用可能とした。詳細は図3を参照されたい。

4.3 衛星端末と利用スタイル

先に述べた通り、現在販売している端末は、ワイドスター・デュオのみである。図4に端末概要を示す。本端末は、開発コストの低減化を目的に無線機本体を1種類と

プラン名	基本使用料	通話・通信料
<b>1 衛星電話サービス</b> WIDESTAR 通話時間の多い方にお徳なプラン WIDESTAR 通話時間の少ない方にお徳なプラン	15,000円(税込15,750円) 4,900円(税込5,145円)	10円/6.5秒(平日昼間)~15.5秒(深夜・早朝) プランAの通話・通信料の2.0倍
<b>2 衛星パケットサービス</b> データ送受信の多い方にお徳なプラン データ送受信の少ない方にお徳なプラン	25,000円(税込26,250円) (110,000パケット分含む) 4,900円(税込5,145円) (2,000パケット分含む)	0.6円(税込0.63円/パケット) 0.4円(税込0.42円/パケット)
<b>3 衛星パケットサービス(通話+通信)</b> WIDESTAR WIDESTAR	15,000円(税込15,750円) 4,900円(税込5,145円)	20,000min@21.630円(110,000パケット分含む) 500min@525円(2,000パケット分含む) 0.6円(税込0.63円/パケット) 0.4円(税込0.42円/パケット)

※衛星パケットサービスは、一部の端末でお取り扱いがない場合があります。  
 ※衛星電話サービス、衛星パケットサービス(シングル、デュアルサービス)の他のプラン変更時には1回あたり1回につき手数料が2,000円(税込2,100円)がかかります。  
 ※1回あたり1回につき1回から10回までの料金プラン変更時には、それぞれ1回につき手数料が1,000円(税込1,050円)がかかります。  
 ※1パケット=20バイト

図3 サービス提供料金

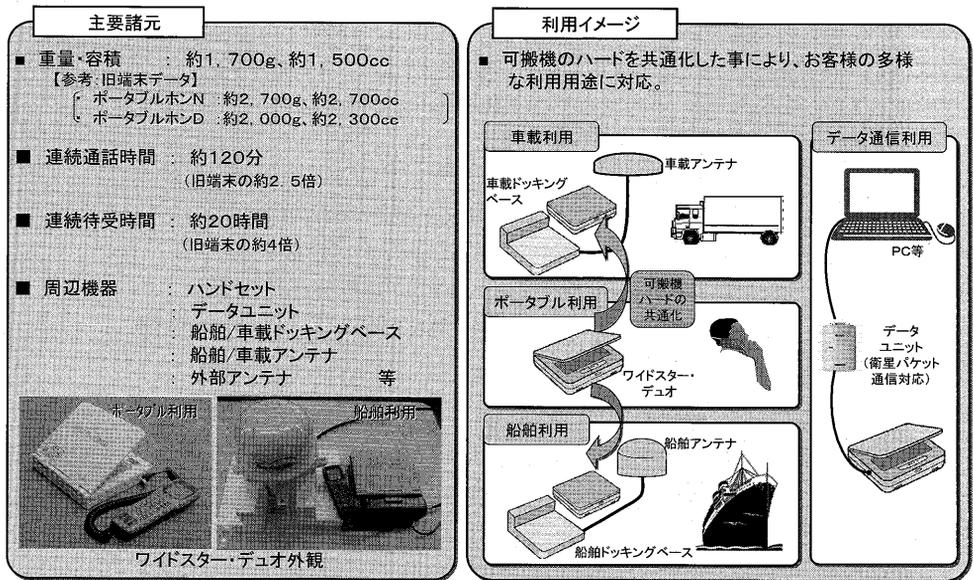


図4 端末概要

し、これに外部アンテナとドッキングベースを組み合わせることで、可搬利用、屋内設置利用、車載利用、船舶利用を実現可能とする構成となっている。また、データユニットを組み合わせることで、回線交換データ通信やパケットデータ通信も利用可能となっている。

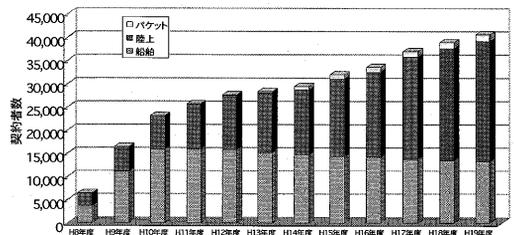


図5 契約者数の推移

#### 4.4 契約者数の推移

図5に契約者数の推移を示す。近年、陸上ユーザは災害対策利用を中心として増加傾向が継続しているが、船舶ユーザは船腹調整等の影響で微減傾向となっている。データ通信は、潜在ニーズは大きいと予想しているがパケットユーザは微増傾向に留まっている。これは、料金、速度がユーザニーズに合致してないことが原因であると考えられる。

#### 4.5 アプリケーションの紹介

表2に現在お客様にご利用頂いているアプリケーション一覧を示す。音声からデータまで幅広くご利用頂いている。データについては、主に位置管理システム、画像伝送システム、テレメトリ伝送等の利用が多い。現在のワイドスターのデータ伝送速度は回線交換で4.8kbpsと低速であるにも係わらず、画像伝送に多くご利用頂いていることから、遠隔地における画像伝送の潜在ニーズの根強さが伺える。

表2 アプリケーション一覧

システム分類	システム名称	通信方式	主なユーザ	主なSIベンダー等
公衆電話	コインスター	回線交換	山小屋、自治体第3セクター	ドコモエンジニアリング東北
PBX收容システム	—	回線交換	不動産、ビル管理、自治体	協和エクシオ
FOMA連携システム	デュプレスター	パ/回	自治体等	アイコム
高規格救急車システム	FAX伝送、心電図伝送	回線交換	消防	日本光電工業
船舶位置管理システム	センチュOperator	パケット	貨物・輸送船舶会社	ドコモモバイル
	内航船運航管理システム	パケット	貨物・輸送船舶会社	三菱重工業
車両位置管理システム	警備会社車両位置管理システム	パケット	警備会社	NECパーソナルプロダクツ
画像伝送システム	デジカメ画像伝送システム	回線交換	報道、ゼネコン	ニコンシステム、リコー
	可搬型画像伝送システム	回線交換	警察、消防	三菱電機エンジニアリング
	PW-2100	回線交換	鉄道、消防	丸紅テレコム
	ハイコムアイ	回線交換	自治体、官庁	多摩川精機販売
	画像及び観測データ伝送システム	回線交換	研究機関	ヴァイサラ
テレメトリ	PDAを活用した画像・文字伝送システム	回線交換	自治体	—
	気象観測システム	回線交換	自治体、電力	ヴァイサラ、ユニバース
	火山地下水位・気象観測システム	回線交換	自治体、研究機関	メック
	地震動データ伝送システム	回線交換	官庁、自治体	応用地震計測
ISP、ASP	地殻変動監視システム	回線交換	観測機関	テクノバード、近計システム
	センチュネット	パ/回	船舶	ドコモモバイル
漁業情報受信システム	シー魚ツチャー	パケット	船舶	太陽無線
	トレダス	パケット	船舶	スペースフィッシュ

■ : 船舶での利用

また、データ通信は、パケット交換と回線交換（モデム利用）が利用可能であるが、現状は、パケット利用より回線交換利用の方が多。これは、画像伝送などの高速データ通信ニーズは、移動機側から固定局方向への伝送ニーズの方が多いためであると考えられる。

## 5 今後の展開

図6に陸上における将来のサービスイメージを、表3に次期衛星サービス構想を示す。基本的な考え方は下記の通りである。

### (1) 現行サービスの継承

今後、IP化、高速化等、ネットワークは進化するが、必要とされるサービスは現在提供しているサービスの延長線となるはずであり、現在提供中のサービスは可能な限り継承する必要がある。これは船舶利用、陸上利用を問わず同様である。

### (2) 高速化とパケット料金の低価格化

今後、高速化・IP化等を目指し技術面でネットワークの進化に寄与することは当然であるが、料金面でも可能な限り寄与し、トータルとしてお客様の利便性を向上させる必要がある。

### (3) 輻輳に強いサービス提供

昨今、衛星通信サービスは災害対策利用として注目を浴びているが、大規模災害発生時等の輻輳による接続率低下を懸念されるご指摘を多数頂いており、これについても何らかの対策が必要である。

これらに加え、同報等、お客様の利便性をさらに向上可能な新たなソリューション開発にも今後積極的に取り組み、最終的には2010年頃のサービス導入を目指していきたい。

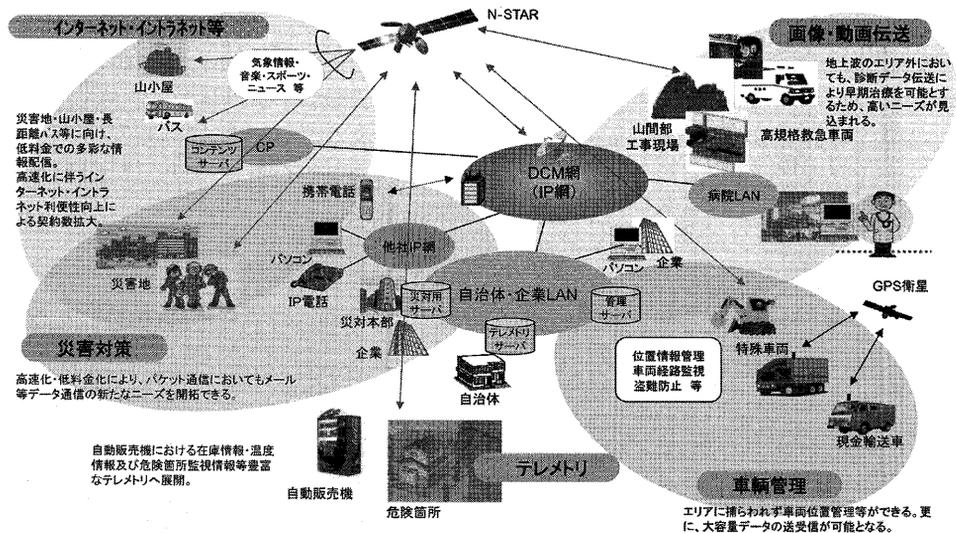


図6 サービスイメージ

表3 次期衛星サービスの構想

	次期衛星サービス	現行衛星サービス	
		回線交換	パケット通信
音声サービス	○ (現行同等以上の品質確保)	○	—
データ通信サービス (伝送速度)	上り:最大144kbps 下り:最大384kbps	4.8kbps	上り:4.8kbps 下り:最大64kbps
G3FAXサービス	○	○ (ワイドスターデューはPCFAX対応)	—
同報サービス	○ (方式検討中)	△ (接続性の保証不可)	—
輻輳対策	○ (排他的なリソース割当て等)	△ (災害時優先電話のみ)	—

## 6 おわりに

ワイドスターは主に、他の通信手段を持たない船舶や、災害対策用の通信手段としてご利用頂いている。次期サービスにおいても、これらの用途に十分配慮するとともに、これまで頂いたお客様要望等を十二分に考慮し、これまで以上にお客様に喜んでお使い頂けるサービス提供を目指していきたい。

# 高速移動体向け高精度測位補正技術に関する研究開発 (その3)

電波航法研究所 伊藤 憲

## 1 はじめに

現在、我が国においては全地球的測位システム（GPS）による測位技術の利用が拡大しており、カーナビゲーションを始めとした交通分野や測量、防災、国土管理など幅広い分野で利用されているが、GPSには山岳や都市部のビル等により遮られ、十分な数の衛星からの信号を受信できない地域が存在するという問題がある。

さらに、現在のGPSを単独で用いて得られる位置の精度は、列車などの高速移動体にとっては十分ではなく、さらに、位置精度の信頼性が保証されていないことから、安全性を重視する用途では何らかの手段を用いて、求められた位置の信頼性を確保する必要がある。

そのため、国土交通省では、常に天頂付近に見える準天頂衛星（平成22年度打上げ目標）を利用することにより、測位不可能な地域を縮小し、高速移動体にも適用できる高精度測位補正技術とともに移動体への利用技術を確立するための研究開発に取り組んでいる。

電子航法研究所は、国土交通省における技術開発の一環として、平成15年度から、高速移動体に適用可能で、かつ、信頼性を確保できる高精度測位補正実験システムの開発を開始した。

ここでは、国土交通省の委託を受けて、電子航法研究所が実施している研究開発の

概要について紹介する。

## 2 準天頂衛星システム（QZSS：Quasi Zenith Satellite System）<sup>[1]</sup>

図1は準天頂衛星軌道の地上軌跡の例である。この図では、離心率が約0.1で、軌道傾斜角が45度である。このような軌道の衛星は、日本付近で、約8時間、仰角が70度から80度と高くなり、その間はだいたい天頂方向に見えることになる。そのため、この衛星は準天頂衛星（QZS）と呼ばれる。この準天頂衛星を3個組み合わせると、各準天頂衛星が8時間ずつ次々に日本上空に見えるようにすることができる。言い換えると、24時間のうち、いつでも、いずれかの準天頂衛星が天頂方向に見えることになる。

このような準天頂衛星は、常に、高い仰角で見えるので、都市部や山間部でも、準天頂衛星から送られてくる信号が建物や山岳により遮られることが少なくなる。これが、準天頂衛星の大きな特徴である。

準天頂衛星を用いたシステムについては、民間の通信放送事業（高仰角からの移動体通信・放送サービス提供）に国の衛星測位研究開発（GPS補完・補強）を組み合わせた形で、平成15年より研究が開始された。平成18年3月にこの方針が見直され、次のように、段階的にシステムを整備することになった。

- (1) 第1段階：初号機（測位単独衛星）による技術・利用実証（平成22年打上げ）
- (2) 第2段階：2号機、3号機を打上げ、システム実証（打上げ年度は未定）

民間は第2段階以降に事業化を行うかどうかを判断する予定である。初号機の開発・実証はJAXA（宇宙航空研究開発機構）が担当する。計画レベルでは文部科学省がとりまとめを行う。

準天頂衛星を用いる測位関連技術開発は4省（文部科学省、総務省、経済産業省、国土交通省）関連の研究機関が中心になって実施しており、宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、GPSと互換性を持った、L1C、L2、L5信号の開発を行う。電子航法研究所は、GPSより更に精度の高い測位精度を実現できる補正情報を送信する信号（L1-SAIF信号：Submeter-class Augmentation with Integrity Function）の技術開発を担当している。測位衛星に欠かせない原子時計は、日本の時刻標準を管理している情報通信研究機構、さらに産業技術総合研究所が担当している。

なお、準天頂衛星初号機は質量約4,100 kg、設計寿命10年（目標12年）、軌道上での大きさは2.9 m（奥行き）× 25.3 m（幅）× 6.0 m（高さ）、発生電力5300W以上である。

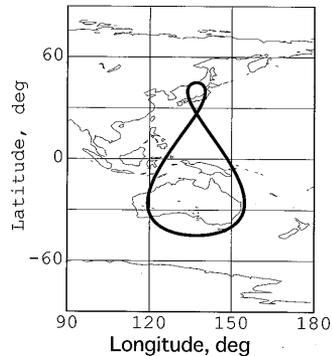


図1 準天頂衛星軌道の地上軌跡

### 3 実験システム [2] - [5]

電子航法研究所は国土交通省の委託を受けて、準天頂衛星を用いる高精度・高信頼性の測位補正技術を開発している。この開発の目的は、鉄道などの高速移動体の安全性向上に寄与する高精度測位補正システムの実現ということである。

目標としている測位精度はサブメータ級（1 m程度）、そして、信頼性の確保のために完全性監視機能を持つ方式の開発を進めている。高精度・高信頼性の実現のために、国土地理院の電子基準点で得られる観測データを利用する。なお、この開発は、SBAS（静止衛星型衛星航法補強システム）で用いられている方式に基づいて行っている。

図2は、高精度かつ高信頼性を持つ高精度測位補正技術の実験システムである高精度測位補正実験システムの概念図である。

電子基準点で得られた観測データを電子航法研究所で収集し、その観測データを用いて、高精度かつ高信頼性の測位を可能にする補正情報を、電子航法研究所におけるテストシステムで生成する。ここで、テストシステムとは、高精度・高信頼性の測位

補正技術を実現するために用いられるハードウェア・ソフトウェアのことであり、補正情報リアルタイム生成・配信システムと呼んでいる。

測位誤差要因には、衛星の軌道推定誤差・時計誤差、電離層や対流圏における伝搬遅延の推定誤差がある。補正情報リアルタイム生成・配信システムは、これらの誤差に対する補正情報を生成する。

生成した補正情報は、地上局および準天頂衛星を経由して利用者へ送信される。送信周波数はGPS L1 (1575.42MHz) であり、補正情報のデータ伝送速度は250bpsである。利用者はその補正情報を利用することにより、高精度・高信頼性の測位が可能になる。

なお、補正情報を利用者に向けて送信するときに、GPS互換信号も送信する。

L1-SAIF信号はSBASと同様、測位誤差改善および信頼性確保のための情報を含み、かつ追加のレンジング信号(C/Aコード)として利用できる、という特徴を持っており、信号とメッセージ構造はSBASと同じとなっている。L1-SAIF補正情報データ構造を図3に示す。この図のとおり、L1-SAIF信号に含まれる補正情報のデータ形式は、8ビットのプリアンブル、6ビットのメッセージID、そして24ビットのCRCから構成される。残りの212ビットがデータフィールドとなるが、これはSBASと全く同じ構造である。

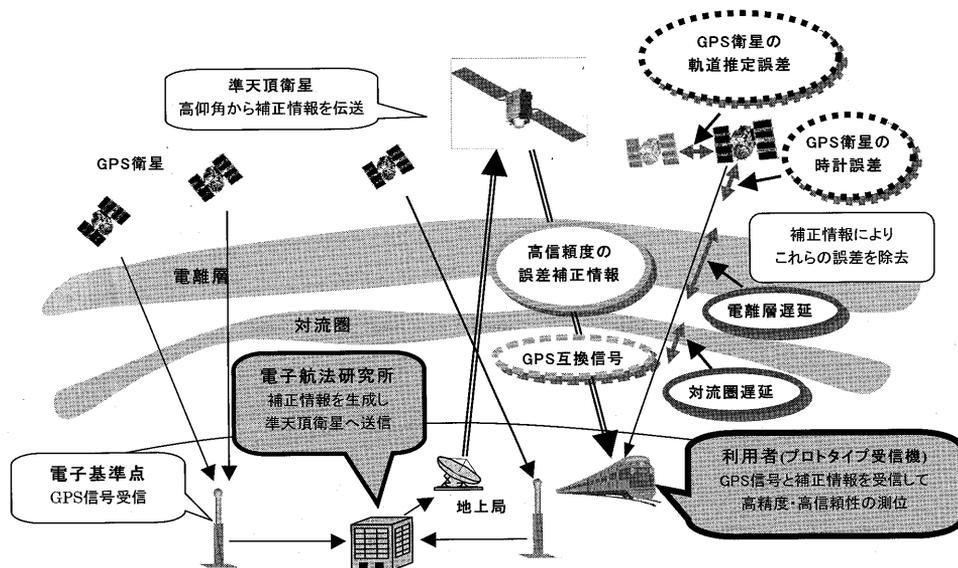


図2 高精度測位補正実験システム概念図

8 bits Preamble	6 bits Message ID	212 bits Data	24 bits CRC
--------------------	----------------------	------------------	----------------

図3 L1-SAIF信号補正情報データ構造

#### 4 年次計画

図4に示す年次計画は大きく3つに分けられる。すなわち、補正情報生成方式の検討期間、補正情報リアルタイム生成システムの開発期間、そして、開発したシステムの評価期間、である。

平成15、16年度において、補正情報を生成する方式を検討し、その方式により生成された補正情報を用いることで高精度かつ高信頼性の測位が可能であることを、電子基準点観測データをオフラインで用いて検証した。

平成17年度から19年度にかけては、平成16年度までに開発したシステムを改修し、電子基準点観測データをリアルタイムで利用して、高精度かつ高信頼性の測位が可能となる補正情報を生成するシステムを開発した。また、この期間には、平行して、利用者用受信機であるプロトタイプ受信機の開発も行った。

平成20年度には、補正情報をリアルタイムで生成するシステムとプロトタイプ受

信機を組み合わせ、高精度かつ高信頼性の測位が可能であることを実証するための総合試験を実施する計画である。総合試験は、衛星シミュレータ（準天頂衛星信号模擬システム）を用いて地上で実施する。

そして、平成22年度に打ち上げられる予定の準天頂衛星を用いて、平成22年度に、実衛星を用いる評価試験（技術実証実験）を行う。

#### 5 研究開発項目

ここでは、高精度測位補正実験システムの開発において、電子航法研究所が実施している研究開発項目について述べる。

##### (1) 補正情報リアルタイム生成・配信システムの開発

##### (1-1) 完全性監視方式の開発

完全性監視とは、利用している衛星測位システムが期待される性能で利用できるかどうか判断することである。利用している衛星測位システムが利用できないと判断されたら、利用者に警報が出される。この警

平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	
(補正情報生成方式開発)		(高精度測位補正実験システム開発)			(実	証	試	験)
方式調査・ 検討	方式評価	補正情報リアルタイム 生成・配信システム開発			総合試験	技術実証試験		
評価用ソフトウェア作成		プロトタイプ受信機開発						
							 準天頂衛星 打上げ	

図4 年次計画

報により、利用者は、安心して衛星測位システムを利用できることになる。このようにして、完全性監視により信頼性が確保できることになる。

### (1-2) 伝搬遅延推定方式の開発

本システムでは、誤差要因毎に誤差を評価して、その誤差に対する補正情報を利用者に送る。誤差要因という場合、具体的には、衛星の位置誤差、電離層や対流圏を通過するときを生ずる遅延誤差、マルチパス誤差、受信機ノイズなどがある。

電子航法研究所における研究開発ではこれらの誤差要因のうち、電離層遅延および対流圏遅延を高精度に推定し補正する方式について検討した。

### (1-3) 補正情報作成・配信方式の開発

この開発では、どんな内容の補正情報を、どんな形式で作成し、作成した補正情報を、どんな順番で送信するか、などについて検討した。

### (2) プロトタイプ受信機の開発

プロトタイプ受信機というのは利用者用受信機のこと、今回開発しているシステムにより生成された補正情報を用いたときに、どのような測位精度が得られるかなど、補正情報の評価に利用する。

### (3) 評価試験

開発したシステムが、実際に、要求される機能・性能を持っているかを評価するための評価試験を実施する。

#### (3-1) 単体評価試験

補正情報リアルタイム生成・配信システムおよびプロトタイプ受信機それぞれの単体評価試験である。

補正情報リアルタイム生成・配信システムの単体評価試験での確認項目は次のとお

りである。

- (a) 電子基準点観測データからリアルタイムで補正情報を生成・配信できる
- (b) 生成・配信された補正情報により、測位精度の改善・信頼性の確保が可能である

プロトタイプ受信機の単体評価試験での確認項目は次のとおりである。

- ① プロトタイプ受信機が準天頂衛星から送信されるL1-SAIF信号を受信できる
- ② プロトタイプ受信機がL1-SAIF信号に含まれる補正情報を解読できる
- ③ プロトタイプ受信機が、補正情報を利用した測位計算を実施できる

ここで、プロトタイプ受信機単体評価試験で利用されるL1-SAIF信号は、衛星シミュレータにより発生される模擬的な信号である。また、上記③項での試験では、補正情報をプロトタイプ受信機に直接入力する。

#### (3-2) 総合試験

補正情報リアルタイム生成・配信システムとプロトタイプ受信機（および衛星シミュレータ）を地上で組合せて実施する評価試験である。

この評価試験では、電子基準点観測データにより補正情報リアルタイム生成・配信システムでリアルタイム生成された補正情報を衛星シミュレータに入力する。その衛星シミュレータが発生する模擬的準天頂衛星信号、およびGPS信号（実際の衛星から送信されてくる信号）をプロトタイプ受信機に入力する。こうして、補正情報の生成から利用まで、システム全体として機能確認を行う。図5に総合試験の構成を示す。

### (3-3) 技術実証実験

平成22年度に打ち上げられる準天頂衛星を用いて実施する評価試験である。

この評価試験では、電子基準点観測データにより補正情報リアルタイム生成・配信システムでリアルタイム生成された補正情報をJAXA地上局経由で準天頂衛星に送信する。準天頂衛星から送信されるL1-SAIF信号、およびGPS信号（実際の衛星から送信されてくる信号）をプロトタイプ受信機で受信して、プロトタイプ受信機により、補正情報の評価を行う。こうして、補正情報の生成から利用まで、実際の準天頂衛星を用いて、システム全体として機能確認を行う。

## 6 補正情報リアルタイム生成・配信システム

### (1) 補正情報生成・配信方式

SBASではすべての補正量が一度に送信されるわけではない。補正量の種類、すなわち、電離層遅延量や、衛星軌道・クロックの補正量、完全性監視に関する補正量など、それぞれの補正量に対応した「補正情

報」が生成される。各補正量に対応した「補正情報」は「メッセージタイプ」と呼ばれる番号で区別される。0から63までのメッセージタイプがあり、SBASでは、そのうちの半分程度が使われている。SBASでは、この補正情報を、適当な順番で送信することで、利用者が必要な補正量を送信している。

各補正量に対応した「補正情報」の長さは250ビットで、1秒に1個送信される。すなわち伝送速度は250bpsである。

準天頂衛星システムQZSSでは、高精度測位を実現するためにSBASの場合よりも多くの補正情報が必要になると予想され、SBASで利用されていないメッセージタイプに、QZSSで必要となる高精度測位用補正量を割り当てることとしている。このメッセージタイプには、QZSの軌道情報や対流圏遅延量に関する情報などが含まれることになる。QZSSで用いられる補正情報のビット構造や伝送速度はSBASと同じとしている。

### (2) 補正情報リアルタイム生成・配信システムの構成

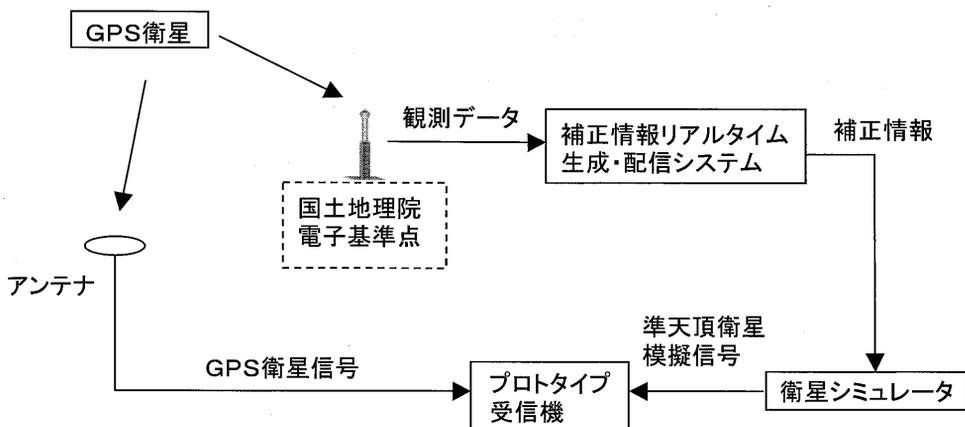


図5 総合試験構成図

図6は補正情報リアルタイム生成・配信システムの構成図である。モニタ局データである電子基準点観測データは日本測量協会から収集する。そのデータを用いて補正情報を生成する。その補正情報は、JAXA地上局を經由して準天頂衛星に送信される。本システムには、生成した補正情報を保存するデータサーバやシステムを監視する装置も含まれる。また、電子航法研究所

にプロトタイプ受信機を設置して、準天頂衛星から放送される補正情報をモニタすることも計画している。

図7は補正情報リアルタイム生成・配信システムの外観図である。一番左側のラックが電子基準点観測データをリアルタイムで収集する装置、その隣が補正情報を生成・配信する装置、右側のラック2本はデータサーバである。

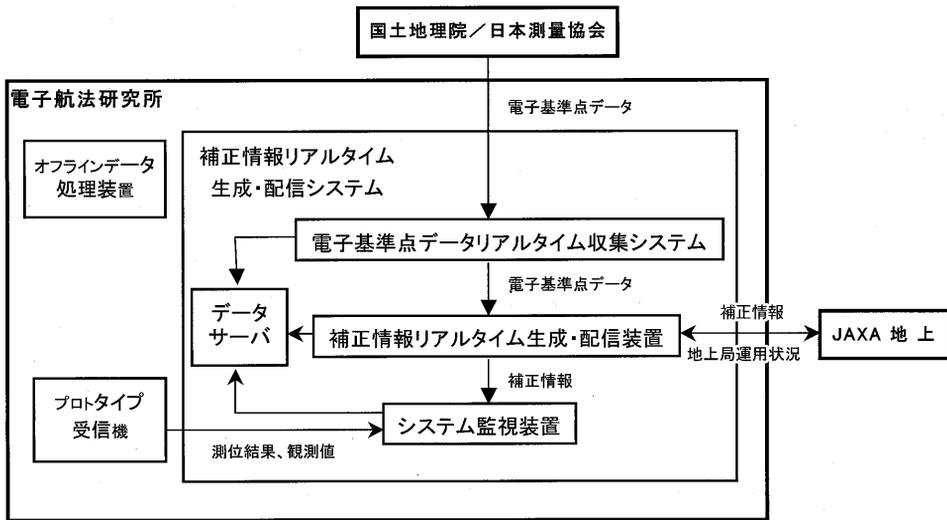


図6 補正情報リアルタイム生成・配信システム構成図

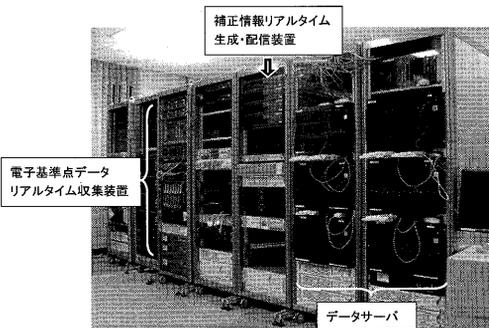


図7 補正情報リアルタイム生成・配信システム外観図

## 7 プロトタイプ受信機

平成17年度から平成19年度にかけて、利用者用受信機に相当するプロトタイプ受信機を開発した。図8はその構成図であり、図9は外観図である。受信機本体は、信号捕捉・追尾、データ取得を行う信号処理部と、測位計算を行う部分から構成される。受信機で取得されたデータや、測位計算結果は、外部のモニタ用パソコンで表示・処理される。このプロトタイプ受信機の概略仕様は下記のとおりである。

大きさ：45 cm (W) × 45 cm (D)  
 × 20 cm (H)

重量：約 11 kg

受信可能周波数：GPS L1

受信可能衛星数：16

測位演算機能：GPS 単独測位、  
 補正情報利用測位

また、マルチパス誤差軽減機能として、  
 信号処理回路およびソフトウェアによるもの  
 を備えている。

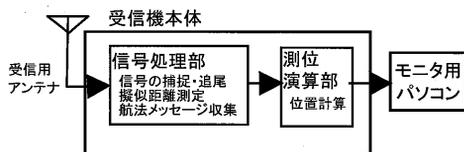


図8 プロトタイプ受信機構成図

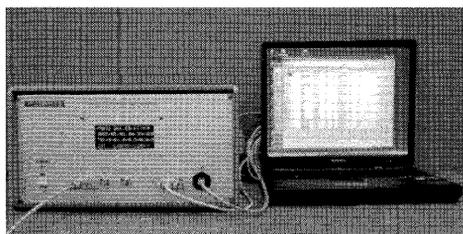


図9 プロトタイプ受信機外観図

## 8 単体評価試験結果一例

ここでは、プロトタイプ受信機単体評価  
 試験結果の一例を示す。

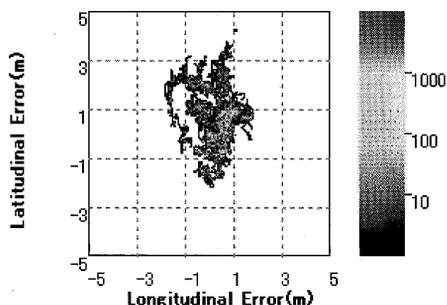
図10はGPS単独測位（補正情報を使用  
 しない場合の測位）と補正情報を用いたと  
 きの測位について、水平方向測位誤差の分  
 布を示したものである。このときプロトタ  
 イプ受信機は固定点（調布）に設置した。  
 測定時間は約18時間である。図10で、横  
 軸は誤差の経度方向成分（単位m）、縦軸  
 は誤差の緯度方向成分（単位m）を示す。  
 また、図10の中各点の色は、図の横に

描かれている縦長の長方形の中の色に対応  
 し、それぞれの色に対応する数のデータが  
 その点に含まれていることを示している。  
 たとえば、濃い点なら約1000個、薄い色  
 なら約100個のデータ数に相当すること  
 になる。たとえば、図10(b)の場合、測位誤  
 差が0 m 近辺のデータ数がきわめて多いこ  
 とになる。

図10で、補正情報を利用したときの水  
 平方向測位誤差の平均値は約0.4 m rmsで  
 あり、GPS単独測位の場合の平均値は約1.4  
 m rmsであった。このことから、補正情  
 報を用いることで測位誤差が改善されるこ  
 とが確認できる。なお、このときのHDOP  
 は2程度であった。

また、図10から、補正情報を用いる測  
 位の場合、測位誤差が、おおむね±1 mの  
 範囲に入っていることがわかる。これは、  
 補正情報を用いることで、サブメータ級測  
 位精度を実現できる可能性を示すものであ  
 る。

Horizontal Performance (326106 epochs)



(a) GPS 単独：補正情報を利用しない場合  
 (図10)

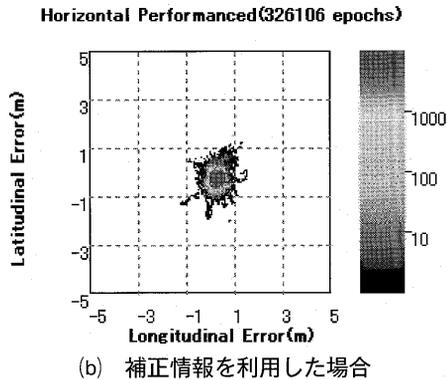


図10 単体評価試験結果一例：固定点測位

## 9 おわりに

ここでは、国土交通省の委託を受けて電子航法研究所が実施している、準天頂衛星を用いる高精度測位補正技術の開発の概要について述べた。準天頂衛星信を用いる高精度測位補正システムはSBASで用いられている技術に基づいて開発しているが、この高精度測位補正システムがSBASと異なる点をまとめると次のようになる。

- (1) 利用する衛星が静止衛星 (MTSAT) ではなく、高衛星仰角を持つ準天頂衛星である
- (2) 利用するモニタ局が国土地理院電子基準点である
- (3) 想定している利用者が、地上の高速移動体 (鉄道) である
- (4) 利用可能地域が日本近辺である
- (5) 国際民間航空機関ICAOで定められた国際標準に、完全に準拠しているわけではない

電子航法研究所は、平成19年度までに補正情報リアルタイム生成・配信システムおよびプロトタイプ受信機の開発を終了した。平成20年度は総合試験を実施している。

今後、技術実証実験において、実際の衛星により、これらのシステムの機能・性能を確認する必要がある。

## (参考文献)

- [1] 小暮ほか、“QZSSの開発状況”、日本航海学会GPS/GNSSシンポジウム、pp.27-34、2007年11月
- [2] 伊藤ほか、“準天頂衛星L1-SAIF利用者装置”、第8回電子航法研究所研究発表会、2008年6月
- [3] 坂井ほか、“準天頂衛星L1-SAIF実験局の構成”、第8回電子航法研究所研究発表会、2008年6月
- [4] 武市ほか、“L1-SAIFメッセージによる対流圏遅延補正方式”、第51回宇宙科学技術連合講演会、2007年10月
- [5] 坂井ほか、“準天頂衛星L1-SAIF補強信号のインテグリティ機能”、第51回宇宙科学技術連合講演会、2007年10月

# 韓国航法学会ワークショップに参加して

電子航法研究所 東京大学 東京海洋大学

長岡 栄

## 1 はじめに

2008年10月17日、韓国金浦国際空港の近くの韓国航空大学で開催された韓国航法学会（Korea Navigation Institute：KONI）ワークショップに参加した。これは、KONIワークショップでの特別講演への招聘に応えたものである。

わが国では韓国の航法関係の学会とその活動についてはあまり知られていないように思われる。そこで、このワークショップでの講演と韓国航法学会について簡単に紹介したい。

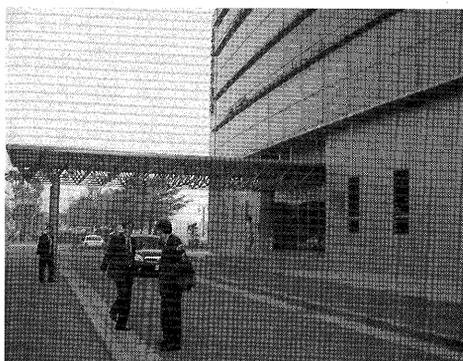


図1 ワorkshop会場の韓国航空大学

## 2 韓国航法学会と韓国航海港湾学会

この学会KONI<sup>[1]</sup>は1996年に設立、1998年に社団法人化された学会だそうである。KONIのホームページの情報によれば会員数約450(そのうち正会員が約250名)名である。

取り扱う分野は、衛星航法、航空電子、通信、航行保安施設、車両の自動運行、交通、物流管理、船舶の航行などである。航空、陸上、海上、宇宙に至るまで、人類の全活動領域に渡る分野での航行技術や効率的な運用の総合的な研究を支援し、学問的な発展を図ることを目指している。現学会長は韓国航空大学のイムサンセオク（Lim Sang-Seok）教授が務めている。KONIの役員や参加者の多くは通信・航空関係者である。この学会は最近できた、どちらかといえば航空航法を中心とした学会である。航海を中心する学会は後述する韓国航海港湾学会である。

日本航海学会が共同で開催しているアジア航法会議（Asia Navigation Conference）に参加している韓国の学会は韓国航海港湾学会（Korean Institute of Navigation and Port Research：KINPR）<sup>[2]</sup>である。これは1976年に創立され、30年以上の長い歴史を有している。韓国航海港湾学会は、海事協会と港湾協会が統合した学会である。この目的は、船舶の運航や海事産業および港湾地域社会のバランスある発展を図り、これに関連する分野の学問と技術に関する研究、産学協同、会員間の研究交流や相互協力を通じて、この分野の発展に寄与することである。KINPRはこれまでも日本航海学会や海事関係の大学などと共同で会議等を開催してきている。

### 3 KONIワークショップ

#### 3.1 経緯

今回の参加は、韓国航法学会からの招きによる。開催の一月ほど前に、韓国航空宇宙研究所 (Korea Aerospace Research Institute : KARI) の知人 (Dr.Kim) を通じて打診があった。彼は数年前に電子航法研究所 (ENRI) を訪問したことがあり、韓国の航空交通管理 (Air Traffic Management : ATM) の研究を推進しようとしている研究者である。今回、KONIのワークショップ開催にあたり、基調講演としてATMの話を設定した。

KONIの要望は、航空交通管理の中核的研究機関である電子航法研究所の研究・開発状況の概要を紹介することであった。小生の航空賃、日当・宿泊等の全費用は同学会が負担してくれた。講演謝礼の申し出もあったが、これは公務の一環なので受取れないと辞退した。

この年会は10月17日がワークショップ、18日がConference (学術講演会) となっていた。小生の日程の都合でワークショップのみの参加とさせてもらった。

会場は韓国航空大学の航空宇宙センターの2階国際会議場であった。図1に建物の概観を示す。

この会議の主催は韓国航法学会である。後援は国土海洋省 (航空安全本部)、知識経済省 (情報通信研究振興院)、韓国空港公団、仁川国際空港公団、韓国航空大学である。協賛として大韓航空、三星SDS(株)、ムンエンジニアリング(株)、(株)タブエンジニアリング、(株)韓国空港情報技術などの会社が名を連ねている。これからも、航空航法関係者、電子情報通信関係者が多いのが窺

える。

パンフレットには、『KONIは航法技術の発展を目指して、インフラ構築、技術開発、産・学・官・研の協力及び政策研究に努めてきた。このような努力の一環として、今年は「新しい成長動力創出のためのITの航空への集中」を主題にワークショップ及び学術発表大会を準備した。くれぐれも産・学・官・他のすべての関係者が参加して、お互いの関心事を幅広く討論し有益な情報交流と意見交換の場としよう。』というようなことが書いてある。

#### 3.2 ワークショップ前日 9/16(木)

羽田発12:05のJAL/KAL共同運航便にて、14:20頃、韓国金浦国際空港に到着。地下鉄でソウル市内のホテルに移動した。

夕方、学会側のKARIのDr.KimおよびProf.Koo (Inchon大学教授) の誘いで、市内のKorea Houseで韓国の王宮料理で会食した。明日の講演のことや電子航法研究所が3月に都心で開催を予定している国際ワークショップ (EIWAC2009) <sup>[3]</sup> などについて話をした。

KARIは韓国の通信・航法・監視/航空交通管理 (CNS/ATM) のロードマップを米国MITRE社と共同で作成したという。彼らの話では、韓国航法学会は航空が中心の学会で、10年程前に設立され会員は300名程度、大学、研究所などの関係者が多数を占めており、電気・電子関係の教育を受けた人が大多数とのこと。ちなみに大会実行 (またはプログラム) 委員長と思われるProf.Kooは韓国電子学会 (IEEK) の通信部門長である。

今回の講演では、航空交通管理 (ATM)

の研究の重要性を参加者、特に政府の関係者に認識してもらいたいという。研究所や大学の研究資金は政府の補助金や委託研究に依存しているところが大きいそうである。

### 3.3 ワークショップ当日 9/17(金)

表1にワークショップの講演プログラムを示す。このプログラムの第一部では6件の講演があり、このうち3件は外国人による招待講演である。日本から2件、中国から1件である。講演は表1の英語で書いてある部分のみが英語で、他は韓国語での講演であった。通訳は無いので、韓国語のものについては内容を正確には把握できなかった。

表1 ワークショップ講演プログラム

1	Chair: キム・ドンク教授 (延世大 学校)
Recent Research Topics of ENRI (Dr.S. Nagaoka (ENRI Japan))	
CNS/ATM R&D 推進戦略及びロードマップ (金洞民 (KARI))	
- Coffee break -	
航空機ソフトウェア技術開発現況及び見込み (様相優 (韓国航空宇宙産業株))	
衛星航法システム及び関連地上インフラ技術紹介 (イ・サンウック (電子通信研究所))	
Some ATM Issues (Yutaka Fukuda, ENRI)	
Methodology and Process under DO-178B (Dr. Y.M. Wang, Esterel Technologies)	
2	chair: 宋学景飾り (情報通信研究振興院)
次世代航空データ通信技術現況及び見込み (ギョングホン (仁川大 学校))	
GPSの現況と利用 (ファンユラ (電子通信研究所))	
航空製品輸出育成のための認証システム構築 (バックヒョングテック (航空安全本部))	

まず、10:00から開会式と学会の表

彰式があった。来賓挨拶は、学会長の Prof. Sang-Seok Limの挨拶に続き、韓国航空安全庁 (Korea Civil Aviation Safety Authority: KCASA) のCNS/ATM BureauのDirector GeneralのMr.Imの挨拶もあった。韓国語なので内容はわからなかった。

10:30からワークショップが開催された。来賓挨拶に続いて、第1番目の特別講演が小生の役割である。

講演題名は表1の事前プログラムとは異なり、「将来の航空交通管理に向けたENRIの研究・開発活動 (R&D Activities of ENRI towards Future Air Traffic Management)」であった。

内容はENRIの活動と研究長期ビジョンのロードマップ<sup>[4]</sup>などの紹介である。なお、ENRIの長期ビジョンは2020年頃までの研究開発課題をまとめたものである。これは国際民間航空機関 (ICAO) の運用概念 (図2)<sup>[5]</sup>に基づいている。

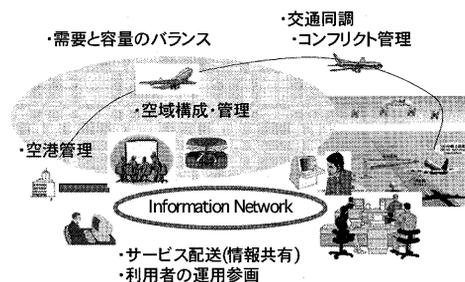


図2 将来のATMの運用概念<sup>[4]</sup>

講演は持ち時間が30分、発表25分、質疑 (Q) 応答 (A) 5分を目安にした。講演はちょうど25分で終えたが、質問はかなりあり、予定時間より10分ほど長くなった。主な質疑応答は以下のとおり。

Q：ロードマップのどのあたりにパラダイムシフトがあるのか？

A：キーワードはTrajectoryと協調的意思決定（Collaborative Decision Making）。

Q：超短波データリンク（VDL）のアプリケーションの研究はやっているのか？

A：世界の趨勢を見ながら研究をしている。

Q：このロードマップは日本の研究開発（R&D）のものなのか？これにより予算は増えるのか？

A：これはENRIのR&Dに限ったロードマップで、国としてのものではない。予算は、年間約20億円で、毎年ほぼ一定で、ロードマップを作ったからといって特に増えることはない。

Q：他の機関との研究協力は？

A：ENRI独力ですべての研究をカバーできるわけではないので、他機関との連携や協力は必要。研究協力は歓迎する。

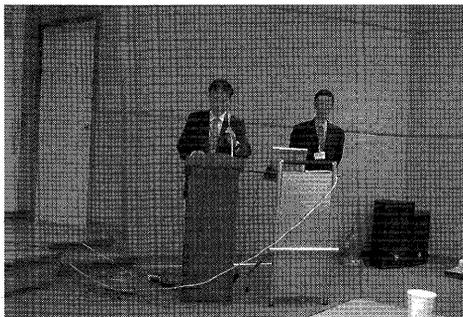


図3 会場での司会者による講師紹介の場面

続いて、韓国航空宇宙研究所（KARI）のDr.Kimの「韓国のCNS/ATMのR&Dの推進戦略とロードマップ」と題する報告があった。彼はこのロードマップ作成の中

心人物でMITRE社との共同で作成したとのこと。韓国語の発表で内容は明確には把握していないが、ロードマップにはVDL Mode 2、ADS-B、ATMなどのキーワードが入っていた。内容としてはATMよりはCNSが中心という印象であった。

Coffee Breakの後のワークショップの講演は、1件の持ち時間が20分であった。韓国人の講演が2件つづいた。このうちの一つは講演者が時間にルーズで10分程度超過した。このため質疑応答無しで進んだ。

その後、日本のENRIの福田氏の招待講演と中国からの招待講演があった。福田氏の発表はENRIで行っているATMパフォーマンスの研究に関するものである。

中国からの招待講演はプログラムにあるESTREL Technologies社のDr.Wangに代わってSenior ConsultantのMr.Jinsuo Maが発表をした。内容はRTCAのDo-178の進捗状況の報告である。Do-178は「機上装置とシステムの証明におけるソフトウェアの考察（Software Considerations in Airborne Systems & Equipment Certification）」と題する文書で、ソフトウェアのAssurance（保証）に関するものである。事故防止にはソフトウェアの安全性が重要だが、このエラーはハードウェアと異なり確率的なアプローチが必ずしも適当ではなく、Assuranceを考える必要があるとのこと。RTCAではこうした検討をしており、現行のDo-178B（1992年に作られた）を改定しDo-178C（2010年発行予定）の作成を進めているというものである。

ワークショップ講演の第一部（前半）は13：15分頃終了した。その後、大学内の

食堂の特別室で韓国航法学会の役員と招待講演者として昼食会があった。

### 3.4 講演終了後

当日は夕方のフライトで帰国予定であったため、第一部に参加しただけで会場を離れた。このため、午後の第2部には時間の関係で出席できなかった。参考までにプログラムの和訳を表2に示した。

表2 第2部(学術論文発表)の講演

〈Session I〉: IT 航空技術政策及び航空通信技術
■航空技術政策座長: ガングフィンソ教授 (木原大)
■航空通信技術座長: 孤峰陣教授 (昌原台)
〈Session II〉: IT 技術基盤航法技術及び監視・管制技術
■航法技術座長: 催熔石チーム長
■監視・管制技術座長: ナゾングファ教授 (航空隊)
〈Session III〉: Methodology and Process under DO-178B (Dr. Y.M. Wang, Esterel Technologies)
■コードレス通信及びRF座長: ゾングゼピル教授 (仮天意科学大)
■航行、航空応用座長: ゴウングナム教授 (白石大)

表2はインターネットの自動翻訳サイトで翻訳・作成したものである。表2で座長とあるのは研究会の委員長のことだと思われる。テーマを見ると、KONIの研究分野が窺いしれる。Dr.KimによればATMの研究は韓国では行われていないので、今後、推進して行きたいとのことだった。



図4 会場でのKONI学会長 (Prof. Sang-Seok Lim (中央)) を囲んだ記念撮影。筆者は右から2番目。

## 4 おわりに

今回の会議では、韓国の国をあげてCNS/ATMの近代化を推進しようとの気運が感じられた。ただ、熱心なのは研究者側(特に、研究所や大学)で、国家的プロジェクトを起こして、研究資金を獲得しようとしているように思われた。この学会の構成員は電子・情報・通信関係者が多数を占めているせいか、やはりATMというよりはCNSが中心のように思える。そこで、ATMとは何かを関係者に周知させるために、我々が招待されることになった。特に、政府関係者やエアライン関係者にATMの重要性を理解させて欲しいとのことだった。

こうした期待にどれだけ応えられたかは疑問だが、韓国の研究者との意見交換と交流の機会を得られたことは有意義であった。

### 参考文献

- [1] 韓国広報学会 (KONI) のURL : <http://www.koni.or.kr/zboard/index.php>
- [2] 韓国航海港湾学会 (KINPR) の

URL : <http://www.kinpr.or.kr/>

- [3] ENRI International Workshop on AM/CNS (EIWAC 2009) のURL : <http://www.enri.go.jp/eiwac/ja/>
- [4] 電子航法研究所の研究長期ビジョン、2008年7月 : [http://www.enri.go.jp/news/osirase/pdf/choki\\_ver1\\_1.pdf](http://www.enri.go.jp/news/osirase/pdf/choki_ver1_1.pdf)
- [5] 長岡 栄 : 航空交通管理とその動向の概観、日本航海学会誌、168号、pp.6-11,2008年6月

# GPSのバックアップの必要性明示 米国電波航法計画2008年版（2008FRP）

国際ロラン協会理事 東京計器株式会社 電子事業部  
海上交通部顧問 池田 保

## 1. はじめに

本稿では2008年2月のIALA e-NAV委員会、2008年10月の英国王立航海学会／国際ロラン協会合同シンポジウムなどの資料を基にGNSSの現状について述べる。さらに、2009年2月米国の連邦電波航法計画の最新版が発刊され、直近の2005FRPと比較して初めてGPSのバックアップを明示したことからその概要について述べる。

## 2. GNSSの現状

### (1) GPS（米国）

現在31基の衛星が軌道上で運用されており、最新の打ち上げは2008年3月15日であった。精度は13m以内（95%）とされ衛星監視用地上局の機能強化が進行中である。現在打ち上げられる衛星はBlock II RでL2Cが利用可能となり、運用は2014年に開始予定である。また、L5を搭載した最初のII F衛星が打ち上げ予定であり、その運用開始は2016年に予定されている。次期GPS衛星であるGPS IIIはまだ設計段階で2013年の打ち上げを目指し2021年にフル運用の予定である。

### (2) GLONASS（ロシア）

現在のところ15基の衛星が軌道上で運用され、内1基は現在停波状態である。

2007年に3基の衛星が打ち上げられ、ロシア政府は2009年後半に完全状態に戻す意向である。最新の衛星は第二の民間信号をもつ改良型GLONASS-M衛星が打ち上げられている。L3と称する三番目の民間信号を持つGLONASS-K衛星は2009年以降打ち上げ体制に入る予定である。この衛星にはディファレンシャル情報、インテグリティ情報の放送機能及びSAR機能も搭載される。

### (3) GALILEO（欧州共同体）

最初の実証衛星GIOVE Aが軌道上で測位信号を送信している。第二実証衛星GIOVE Bが2008年4月27日Baikanour基地からSoyuzロケットで予定軌道打ち上げられ、現在運用中である。欧州委員会は最終的に民間運用機関に引き渡すことを条件にGalileo開発資金を民間から調達する作業を行っており、Galileoの完成予定は2013年と予定している。

### (4) COMPASS（中国）

中国は五番目のBeidou/Compass衛星を2007年4月に打ち上げた。今回の衛星は中高度軌道衛星だが、それ以前に打ち上げられた4基の衛星は静止軌道衛星であった。中国の目指すシステムが、30基の中高度軌道衛星で構成されるのか、4基の静

止軌道衛星と12基の中高度軌道衛星の組み合わせか、静止衛星と中高度軌道衛星及び傾斜同期衛星を組み合わせたものなのかCompassの詳細は不明である。

#### (5) QZSS (日本)

宇宙航空研究開発機構は2009年打ち上げ予定の3基の長楕円軌道の衛星配置等を記したユーザインターフェース仕様書の意見聴取を開始した。衛星はL1、L2、L3信号を持ちGPSと相互運用可能な仕様となっている。

### 3. 2008年版米国電波航法計画

#### (2008年度版FRP) の変更点

2005年版FRPでは2001年の米国運輸省ボルベ運輸研究所のGPSの脆弱性に関する調査報告書をもとに米国の対応を検討するとしていたが2008年版FRPでは2008年2月の米国国家安全省声明に沿って米国国内において民生用GPS利用サービス、システムなどがGPSの突発的不能状態でも運用できるよう米国内に電波標識によるGPSバックアップを整備することが明記されている。具体的なバックアップ方法として、ロランCを改修・高度化によってe-ロラン化し、利用者に対しては現在使用しているGPS受信機をe-ロラン受信機能を付加したものに換装するとしている。

その背景には、今後活発化する太陽風によるGPS衛星障害によるGPSの利用不能、GPSが使用するLバンド帯電波の混信によるGPS障害、船舶、航空機などに搭載したGPSへのジャミング並びに携帯電話、電力網などの維持に必要なGPS同期信号に対するジャミングなど社会秩序の混乱を

狙った意図的GPS攻撃の脅威がある。

現状では、海上関係に例をとればGPS障害時でも灯台や灯浮標などにより船舶の安全航行に支障を起こすことはない。しかしGPSの利便性が高いこと、IMO（国際海事機関）に対するGPS無償利用を認める米国保障などにより旅客船、貨物船、VLCCなどの大型船ばかりでなく小型船舶でのGPSもかなり普及していること、航路標識関係者では船舶へGPSがかなり普及していることから灯台、灯浮標などの光波標識の整備を取りやめたり、廃止するなどの合理化を進めようとしている。したがって、今後GPSバックアップの必要性はさらに増すことになるだろう。

また、e-ロランのGPSバックアップは、単にバックアップに留まらずe-ロラン機能付加型GPS受信機が真北を表示する機能も持つことから船舶方位装置にもなり船舶が容易に位置、時間、進路を得ることができる。さらにメムス技術を付加すればロラン電波の建物などへの廻りこみ効果によりインドナビゲーションも可能となり、これによる新たなサービスの創設も期待されている。

しかし、2009年1月、新大統領就任に伴い、状況は変化しつつある。米国大統領直轄の行政管理予算局は連邦政府が行っている業務で廃止縮小するものをリストアップする作業を進めておりロランが廃止事業に指定された。このため連邦政府、議会でGPSバックアップの必要性を再度議論することになる模様である。

*Press Office*  
U.S. Department of Homeland Security



**Homeland  
Security**

February 7, 2008  
Contact: (202) 282-8010

**STATEMENT FROM DHS PRESS SECRETARY LAURA KEEHNER ON THE  
ADOPTION OF NATIONAL BACKUP SYSTEM TO GPS**

Today the U.S. Department of Homeland Security will begin implementing an independent national positioning, navigation and timing system that complements the Global Positioning System (GPS) in the event of an outage or disruption in service.

The enhanced Loran, or eLoran, system will be a land-based, independent system and will mitigate any safety, security, or economic effects of a GPS outage or disruption. GPS is a satellite-based system widely used for positioning, navigation, and timing. The eLoran system will be an enhanced and modernized version of Loran-C, long used by mariners and aviators and originally developed for civil marine use in coastal areas.

In addition to providing backup coverage, the signal strength and penetration capability of eLoran will provide support to first responders and other operators in environments that GPS cannot support, such as under heavy foliage, in some underground areas, and in dense high-rise structures. The system will use modernized transmitting stations and an upgraded network.

###

GPS脆弱性のための国内措置（GPSバックアップ）に関する米国家安全省声明

# 電 波 航 法 研 究 会

## 平 成 20 年 度 事 業 報 告

### 総 会

平成20年度総会は、平成20年5月30日14時30分から独立行政法人海上安全技術研究所講堂で開催された。会員総数93名のうち、出席者17名、委任状提出者31名の計48名で規約第10条第4項の規定により総会は成立した。各議題の審議結果は次のとおりであった。

1. 平成19年度事業報告が事務局により行われた。
2. 平成19年度会計報告及び監査結果の報告が事務局から行われ、承認された。
3. 平成20年度会長選出に関して立候補者がいなかったが、水洋会 中村氏からの推薦で林会長の留任が満場一致で了承された。副会長については立候補者、推薦者がいなかったため、会長からの推薦で長岡 栄氏及び新田 太久三氏の両名の留任が了承された。なお、各幹事の委嘱については事務局案のとおり了承された。
4. 平成20年度事業計画案について事務局から説明が行われ、原案どおり承認された。
5. 平成20年度予算案について事務局から説明が行われ、原案どおり承認された。

### 研究会

1. 第1回研究会は、平成20年5月30日、独立行政法人海上安全技術研究所講堂で総会に引き続き開催され、独立行政法人

海上技術安全研究所 沼野正義氏から「スーパーエコシップについて」と題する講演が行われたのち、独立行政法人海上技術安全研究所の「操船リスクシミュレータ」、「深海水槽」及び「氷海船舶試験水槽」の見学が行われた。

出席者は40名であった。

2. 第2回研究会は、平成20年8月22日、東京海洋大学 越中島キャンパス越中島会館で開催され、海上保安庁交通部計画運用課 三宅真二氏から「海上保安庁の海上交通安全政策について」、KDDI株式会社 ICT営業本部 MSATビジネス営業部主任 大野和美氏から「インマルサットおよびイリジウムサービスの現状と今後について」、株式会社NTTドコモ法人事業部 法人ビジネス戦略部 衛星ビジネス担当部長 西泰樹氏から「ワイドスターの現状と今後について」と題する講演が行われた。

出席者は45名であった。

3. 第3回研究会は、平成20年11月28日、東京海洋大学 越中島キャンパス越中島会館で開催され、独立行政法人電子航法研究所 吉原貴之氏から「GBAS（地上型衛星補強システム）の研究開発」、独立行政法人電子航法研究所 伊藤憲氏から「高速移動体向け高精度測位補正技術に関する研究開発（その3）」と題する講演が行われた。

出席者は35名であった。

4. 第4回研究会は、平成21年2月26日、東京海洋大学 越中島キャンパス越中島会館で開催され、海上保安庁総務部情報通信課 技術企画官 粟井次雄氏から「LRITについて」、総務省総合通信基盤局電波部衛星移動通信課 松井明氏から「海上における船舶のための共通通信システムについて」、Com Dev社 George Best氏から「衛星AISについて」と題する講演が行われた。

出席者は42名であった。

日本郵船株式会社  
個人会員 関口 利男 氏(死亡)  
中川 隆政 氏

### 幹事会

幹事会は、平成20年4月21日、5月30日、8月22日、11月28日、平成21年2月26日に開催され、事業計画、講演テーマ、会誌発行等について審議が行われた。

### 会誌等発行

会誌「電波航法」第50号を発行予定。

ホームページで、研究会の案内及び速報を実施した。

### 会員数

平成21年2月1日現在

正会員	25名	48口
個人会員	12名	12名のうち
		年会員7名
		終身会員5名
推薦会員	17名	
特別会員	37名	
計	91名	

### 会員の異動

入会 個人会員 石田 邦光 氏

退会 正会員 五洋建設株式会社

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

平成21年3月27日 印刷 2009  
平成21年3月31日 発行 No.50

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

印刷 東京都江東区富岡1-26-10  
カクチョウ印刷株式会社

---



# STEERING TRUE FOR RELIABILITY

私たち商船三井の定期航路ネットワークは、世界トップクラスの寄港地数・運航ルートで国々を結び、最新鋭の船隊で世界の暮らしと産業を支えています。より高品質なサービスを展開するために、さらなる大型高性能船を今後も投入してまいります。すべては、お客様の信頼に応えるために。目指すのは“世界の海運をリードする強くしなやかな商船三井グループ”です。

**MOL**  
商船三井

[www.mol.co.jp](http://www.mol.co.jp)

クリアな画像を  
リアルタイムに描写。  
JRC独自の最先端レーダー技術で  
世界トップレベルの高性能と高信頼性を実現



## 高性能船舶用カラーレーダー JMA-5300MK2シリーズ

- 最新の国際規格2008 IMOLレーダー性能基準に完全適合
- ヘッドアップモードでも真航跡が表示できるリアルタイムヘッドアップ (Constaview™)、物標の大きさに応じて拡大率が変わる最適化物標拡大機能 (TEF™) など、JRC独自の先進機能を搭載
- 優れたクラッタ抑圧性能を実現する超ワイドダイナミックレンジ受信機 (UDR™) と、長寿命を約束するブラシレスモーターを全レーダーアンテナに標準搭載
- 視認性に優れた19インチ/23.1インチ高輝度・高精細LCDディスプレイを採用

**JRC** 日本無線株式会社

<http://www.jrc.co.jp/>

ソリューション営業部 〒160-8328 東京都新宿区西新宿六丁目10番1号 日土地西新宿ビル  
電話 (03) 3348-3790(ダイヤルイン) ファックス (03) 3348-3804

# 電波と共に60年

## 船舶航行の安全と効率化をめざして—

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

### — 営業品目 —

設計・製作・建設・保守

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

品質／環境 ISO 認証取得  
ISO9001：2000  
登録番号 JQAQ-M5746  
ISO14001：2004  
登録番号 JQA-EM5002



株式  
会社

# 加藤電気工業所

## Kato Electric Industry, Ltd.

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

平成二十一年三月二十七日印刷  
平成二十一年三月三十一日発行

電  
波  
航  
法

電波航法研究会 発行