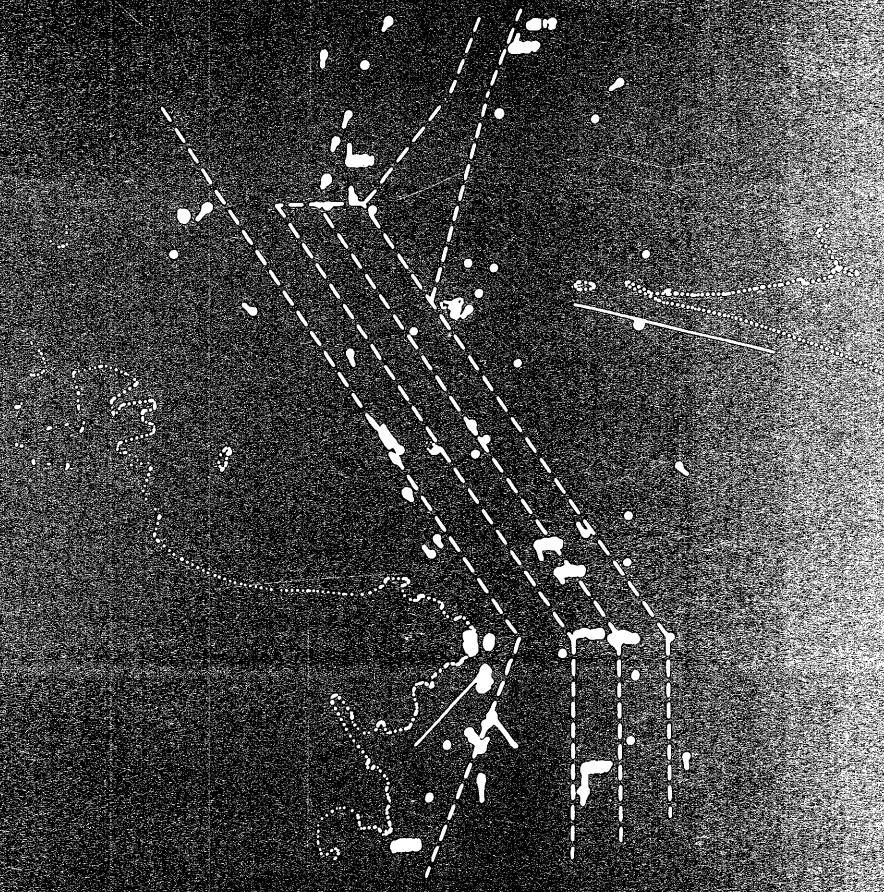
ISSN 0287-6450
Denpa-kōhō

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

電波航法



JACRAN 52

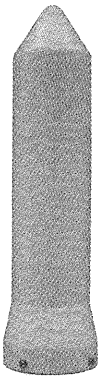
2010

電波航法研究会発行

Published by the Japanese Committee for Radio Aids to Navigation

最先端の技術と英知を駆使し、船舶航行の安全を守る

SV 型レーダービーコン



灯台用アンテナ

灯浮標用アンテナ

本装置は、船舶に搭載されているレーダーからの電波を受信後、局識別コードを発射し、船舶のレーダー画面上に表示させ、船舶が安全で効率的な航海ができるように情報を提供する装置です。

- 舶用レーダー波帯のXバンド専用で周波数アジャイル方式を採用
- 応答符号は遠近によりパルス幅の切替えが可能
- 気密性はIP67規格を満足しており、通常運用下においてメンテナンスフリーが可能
- 保守用端末により、レーダービーコンの動作休止間隔、感度及び局識別コードを設定可能
- レーダービーコンの性能に関わる運用状況と周波数精度を監視する自己診断機能
- 空中線は、耐紫外線と耐候性にすぐれたレードームを採用
- 軽量でコンパクトな設計により、低消費電力を実現

S-VANS セナーアンドバーンズ株式会社

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「研究のエネルギー」……**会長　林　尚吾**……(1)
Chairman Shogo HAYASHI

講演の記録

[レーダーについて]

「航空管制用レーダについて」……**古賀　禎**……(3)
Tadashi KOGA

「X帯船舶用固体化レーダーの開発　スプリアス低減技術について」
……**沢柳雅哉**
Masaya SAWAYANAGI
齊藤壽寛……(11)
Toshihiro SAITO

[会議報告]

「「第17回IALA総会」に参加して―航路標識分野における国際的・技術的動向―」
……**野口英毅**……(20)
Hideki NOGUCHI

[雷対策]

「雷害とその対策」……**柳川俊一**……(29)
Shunichi YANAGAWA

[電子タグ]

「RFID物流応用の現状と今後」……**粟本　繁**……(38)
Shigeru AWAMOTO

「海上安全管理のためのIT技術の応用」……**具　滋永**
Ja-Yeong GU
林　尚吾……(48)
Shogo HAYASHI

[先端ナビゲートシステム]

「東京海洋大学海洋工学部　先端ナビゲートシステムの紹介」
……**庄司るり**……(57)
Ruri SHOJI

特別研究会紀行

「特別研究会　高エネルギー加速器研究機構及び産業技術総合研究所の紹介」
……**事務局**……(63)
Secretariat

電波航法研究会事業報告（平成22年度）……**事務局**……(67)
Secretariat

電波航法　巻頭言

(Foreword)

研究のエネルギー

電波航法研究会

会長　林　尚吾

Chairman　Shogo HAYASHI

もう昨年の話ですが、日本人がノーベル賞を受賞しました。「また、今回も」と付け加えて良いくらい、普通のことになりつつありますが、何度聞いてもうれしいニュースです。

ここ数年間の日本人受賞者のインタビューを聞くと、皆、自らの研究を愛している気持ちが伝わってきます。最初の一歩こそ誰かにやらされていた実験もあったかもしれませんが、やがて寝食を忘れ、何年も研究に没頭した時期があるのは、いつの間にかその研究が好きになって、結果を知りたくなって、没頭して、さらに好きになって、、、という自らの気持ちによる行動だからなのでしょう。何事もそうだと思いますが、好きになるのに確たる理由は必要ありません。気持ちが向かう瞬間に行動できた結果なのだと思います。

最近、機会があって伊能忠敬について文献を当たりました。人生50年の時代に、隠居後の50歳から江戸に出て測量の勉強を始めた話、そしてその後は全国を歩いて詳細な地図を作製したことは誰もがご存知でしょう。では、その原動力はなんだったと思われますか？

今回、調べて初めて知ったのですが、伊能忠敬は「地球の大きさを知りたかった」のだそうです。もともと天文学に興味はあり、それが江戸で勉強するきっかけでしたが、その後、人生をかける程に地球の大きさを知りたくなっていったのです。

地球の大きさを測るには、子午線上2地点の距離と、それぞれの場所から北極星の角度を測れば良いことはわかっていました。2地点の距離はなるべく離れている方が精度が良いことも知っていました。そこで、日本国内で江戸からなるべく遠い蝦夷地（北海道）に行くのが良いと考えましたが、当時は日本全国を自由に旅することはできません。そこで、合法的に蝦夷地にいくために、「地図の作成」という後付けの理由を考えたのです。後付けとはいえ、本当に作成するための技術を習得し、最初は一人で結果を示し、幕府を動かして人とお金を集めたエネルギーはすごいものです。当時、地球の大きさが分かったところで、大きな収入にはならなかったでしょうし、名誉につながるとは限りません。まして成功するとは限りませんから、ただ「知りたい」気持ちがエネルギーになっていたのだと思います。

伊能忠敬自身は地図の完成前に亡くなってしまうのですが、「伊能忠敬・作」の名を残すために弟子たちが3年間もその死を隠して作業を進めたといいます。弟子たち

も地球の大きさを知りたかったかのかはわかりませんが、伊能忠敬という人物を愛し、地図製作を愛した人たちであったことは間違いなさそうです。

ちなみに、伊能忠敬は緯度1度分の長さを、約0.1％という高い精度で求めることに成功していたそうです。

皆さんは愛する研究に出会えましたでしょうか。訳もなく愛せたとき、大きな原動力が得られるのかもしれません。タイミングが、、、、上司が、、、、予算が、、、、とう理由は、その原動力があれば解決できるのだろうと、先人を見ると思います。

そして、その出会いは、人生50年（今なら80年でしょうか）と言われても、その後にやってくることもあるわけです。

ノーベル賞の話に戻りますと、平均すると数千万人に一人の割合で受賞しているそうです。「宝くじに当たるより難しい」と思わないでください。ある受賞者が「10人の中から選ばれることを7回繰り返せばいいんです。」と話していました。何かできそうな気持になる言葉です。

そんなこともエネルギーにしながら、年齢に関係なくたゆまずアンテナを巡らし、いつの間にか没頭できたら幸せですね。

江東区門前仲町の富岡八幡宮の大きな鳥居の下に、伊能忠敬の銅像があります。まさにこれから「いざや、行かん！」と力強く歩き始めた姿の像があります。

暖かくなりましたら、お出かけになられたらいかがでしょうか？

何か、見つけられるかもしれません。

航空管制用レーダについて

独立行政法人電子航法研究所
古賀　禎

1　はじめに

航空管制では、航空機の飛行領域に合わせた様々な監視レーダが使用されている。本稿では、現在、航空管制用レーダ（ASDE、ASR/SSR、ARSR、ORSR）について、その概要を説明する。次に、航空管制用のレーダとして重要な役割を果たしているSSRについてその詳細を述べる。また、電子航法研究所において開発中のSSRの新機能について述べる。更に、将来レーダに代わり航空機の監視を担うことが期待される新しい監視システムの概要について述べる。表1に本文中で使われる略語の一覧を示す。

2　現用の航空管制用のレーダ

航空管制では、航空機の飛行空域に合わせた様々な監視レーダが使用されている。飛行空域（領域）は、空港面、空港近傍のターミナル、洋上やルート上のエンルートの3つに大別される。表2に飛行空域別の監視システムを示す。表において、上段に現用システム、下段に将来使用が予想される新しい航空機監視システムを記す。現在、航空管制用レーダとして、空港面ではASDE、ターミナルはASR/SSR、エンルートではARSR/ORSRが使用されている。

表2　飛行空域と監視システム

	空港面	ターミナル	エンルート
現システム	ASDE	ASR/SSR	ARSR/ORSR
新システム	MLAT*、ADS-B	WAM、ADS-B	ADS-B

*MLATは2010年10月から運用開始

2.1　ASDE

空港面の航空機の監視には、ASDEが使用されている。ASDEは管制塔の上などに設置される。ASDEは羽田、成田などの主要空港に配備されている。表3に、ASDEの性能諸元を示す。ASDEでは、周波数24.5GHz、回転周期は1秒、探知距離

表1　略語表

ADS-B	Automatic Dependent Surveillance -Broadcast	放送型自動従属監視システム
ASDE	Airport Surface Detection Equipment	空港面探知レーダ
ASR	Airport Surveillance Radar	空港監視レーダ
ARSR	Air Route Surveillance Radar	航空路監視レーダ
FMS	Flight Management System	飛行管理システム
GICB	Ground Initiated Comm-B	地上喚起通信B
MLAT	Multilateration System	マルチラテレーションシステム
ORSR	Oceanic Route Surveillance Radar	洋上航空路監視レーダ
PSR	Primary Surveillance Radar	一次監視レーダ
SSR	Secondary Surveillance Radar	二次監視レーダ
TSR	Terminal Surveillance Radar	ターミナル監視レーダ
WAM	Wide Area Multilateration System	広域マルチラテレーション

は約3NMとなる。多くの空港ではASDEは1台配備されているが、羽田空港においては第4滑走路を監視するため、2台のASDEが配備されている。この場合、2台のレーダの送信タイミングを制御することで同期干渉の発生を抑制している。[(1)] ASDEは一次レーダであるため、航空機を識別できない。

2.2 ASR/SSR

ASR/SSRは空港近傍を飛行する航空機を監視し、出発・進入機の誘導および航空機の間隔設定に使用されている。名前の通り、二つのレーダ、ASRとSSRから構成される。近年は二つを合わせてTSRとも呼ばれる。表3に性能諸元を示す。ASR/SSRは、回転周期は4秒、探知距離は70-90NMとなる。中規模以上の空港に設置されており、主要な空港には2機設

表3　航空管制用レーダの性能諸元

名称	ASDE	ASR/SSR		ARSR
		ASR	SSR	ORSR
監視領域	空港面	ターミナル		エンルート・洋上
構成	一次レーダ	一次レーダ	二次レーダ	二次レーダ
周波数	24.5GHz	2700-2900MHz	1030/1090MHz	1030/1090MHz
出力	30kw	500kw	1.5kw	1.5kw
回転周期	60rpm	15rpm		6rpm
探知距離	3NM	70-90NM		200-250NM
識別情報	×	×	○	○
高度情報	×	×	○	○

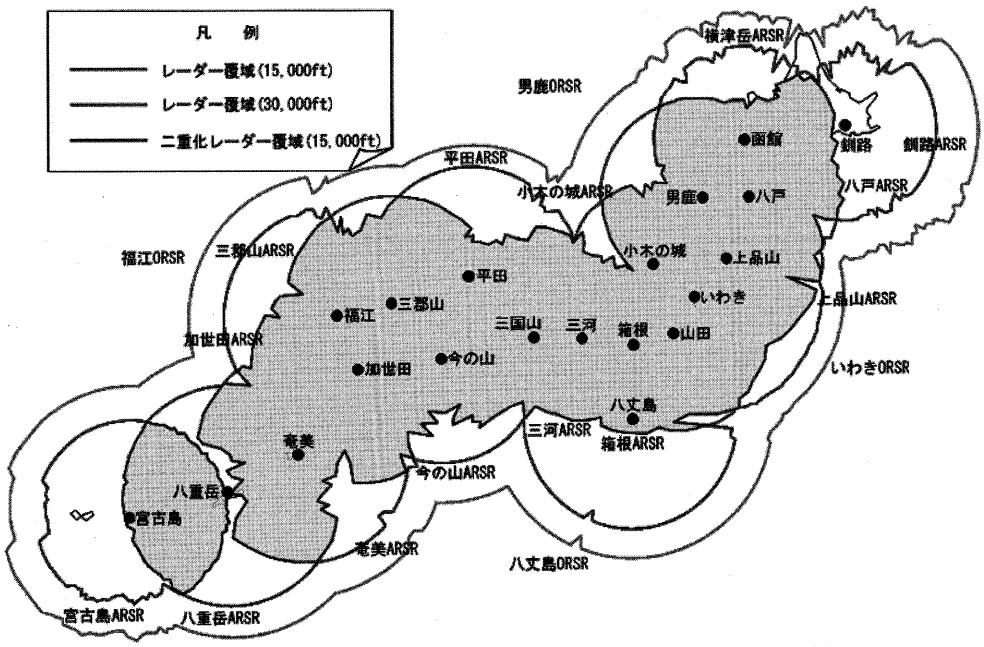


図1　ARSR、ORSRの覆域、国土交通省ホームページより [(2)]

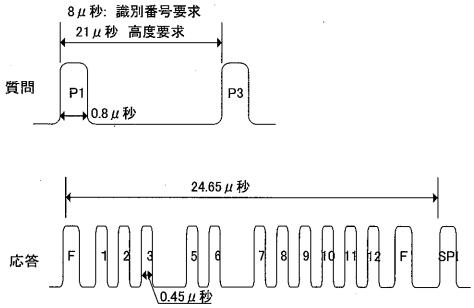


図2　従来SSRの質問・応答信号

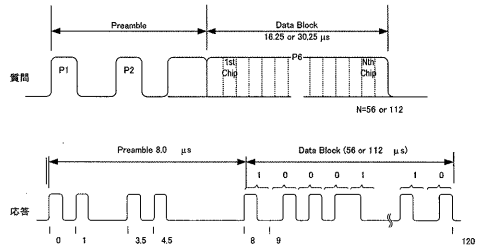


図3　SSRモードSの質問・応答信号

表4　従来SSR、SSRモードSの監視性能

	SSR	SSRモードS
方位精度	0.15度以下	0.06度以下
距離精度	250m以下	100m以下

置される。配備状況の最新情報については文献（2）等を参照されたい。

2.2.2　ASR

ASRは一次レーダであり、周波数2700-2900 MHzの信号を使用する。ASRは2次元監視用のレーダであるため、航空機の高さの検出と識別ができない。

2.2.2　SSR

SSR（二次監視レーダ）は、航空機搭載のトランスポンダと地上レーダから構成される。地上レーダから質問信号をトランスポンダが受信し、一定時間後に応答する。これにより航空機の二次位置を導出する。更に、応答信号に含まれる高度および識別番号情報から航空機の高さと識別番号を取得する。

二次監視レーダは、ターミナルおよびエンルート両方で使用されているが、両方ともほぼ同じ装置を使用している。回転数や最大探知距離などに合わせ、機構や設定値が一部異なる。

現在、我が国では、従来SSRと新型SSR（SSRモードS）の二種類のSSRが運用されている。両者の違いなどの詳細は、3章で述べる。

2.3　ARSR、ORSR

ARSR、ORSRには二次レーダが用いられる。ARSR、ORSRは、エンルートや洋上を飛行する航空機を監視し、これらの航空機の誘導や間隔設定に使用されている。ARSRは半径200NMの範囲を監視する。ORSRは、ARSRの探知距離を拡大し、半径250NMの範囲を監視する。図1にARSRおよびORSRの監視覆域を示す。ORSRは、国際便の飛行が多い空域を監視するため、男鹿、いわき、八丈島、福江に設置されている。両者とも回転周期は10秒である。ARSRには一次レーダが併設されていたが、二次レーダの性能の向上に伴い、一次レーダは順次廃止されている。

3　SSRの詳細と新機能

ここでは、航空管制用のレーダとして重要な役割を果たすSSRについて説明する。3.1節では従来型SSRについて述べる。3.2節では、新型SSRであるSSRモードSにつ

いて述べる。3.3節では、電子航法研究所にて開発中のSSRモードSの新機能について述べる。

3.1 従来SSR

SSRは、2種類の質問（高度要求と識別コード）を繰り返し質問し（1秒間に最大450回）、二次元位置を測位するとともに、高度と識別番号（ビーコンコード）を取得する。図2に従来SSRの質問形式を示す。質問応答において航空機および地上局の区別をしない。このため、航空機や地上局が密集する空域において、

1. 質問の増加に伴うトランスポンダの飽和
2. 監視精度の不足
3. 信号干渉によるターゲット欠落
4. データ量の不足（識別コードの不足）

という問題が発生した。このような問題を解決するため、国際民間航空機関（ICAO）において新しいSSR（SSRモードS）の標準が制定された。

3.2 SSRモードS

SSRモードSは、新しい地上局と新しいトランスポンダが必要になる。トランスポンダについては、各国における義務化の努力により、ほぼ全ての旅客機がモードSトランスポンダを搭載している。モードS地上局とモードSトランスポンダは、従来SSRとの互換性を持つ。モードS地上局は、従来トランスポンダを監視できる。また、モードSトランスポンダは、従来SSRによる質問に対しては従来形式の応答を返す。

モードSでは、航空機に固有の24ビットの識別番号（モードSアドレス）を割り当てる。また、地上局には、4ビットの地上局識別番号コード（IIコード、Interrogator Identifier）を割り当てる。地上局とトランスポンダの間で識別番号による一対一の質問応答（個別質問応答）を行うことにより、信号数の削減、干渉の軽減、データリンクの実現をなどが図られる。

我が国においては、平成13年に成田空港の近くの山田航空路監視レーダに最初のSSRモードSが設置された。国土交通省航空局は、主要空港および航空路監視レーダを全てSSRモードSに更新することを計画している。

3.3 SSRの新機能

モードSはデータリンク機能を有しているが、データリンク機能は積極的には利用されていなかった。近年、欧州を中心にデータリンク機能を利用して、航空機の動態情報を取得する技術（DAPs、Downlink Aircraft Parameters）の検討が進んでいる。欧州空域においてはDAPs対応のトランスポンダの搭載が義務付けられており、2009年現在約93% [3] の航空機がDAPs対応している。

我が国の空域においても、欧州における義務化や新型航空機の導入などにより、DAPs搭載機が増加している。電子航法研究所では、我が国における動態情報の利用に備え、動態情報の取得機能を有するSSRモードSを開発し、機能や性能などの検証を行っている。

3.3.1 動態情報

航空機の動態情報とは、航空機のセンサや装置が出力する時々刻々と変化する情報である。

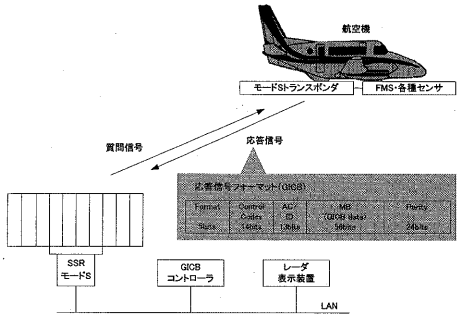


図4　SSRモードSによる動態情報取得の概念図

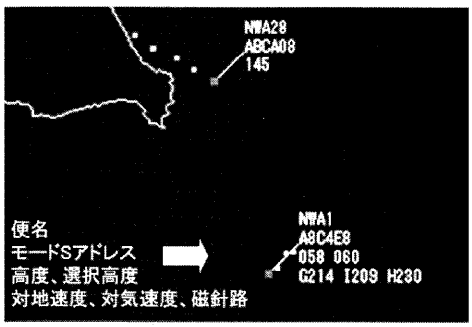


図5　レーダ表示画面

現在、航空機から地上へは音声通信やデータリンクにて航空機の状態情報を送信しているが、音声通信では容量が限定されている。また、データリンクでも送信間隔が長く、リアルタイム性に欠ける。

モードSでは、レーダの回転周期（4秒または10秒）毎に複数の応答（1応答あたり56ビット）をダウンリンクすることが可能となる。

これらのリアルタイム性の高い情報は、レーダ画面上に表示し管制官の周辺状況の認識向上[(4)]やコンフリクト検出アルゴリズムの予測精度向上[(5)]などでの利用が検討されている。

図5に、レーダ画面の表示例を示す。DAPsにより、右下の航空機のように、選択高度、対地速度、対気速度、磁針路などの情報を管制官に提供できる。

3.3.2　GICBプロトコル

DAPsでは、GICBというデータ通信プロトコルを使用し、航空機からデータをダウンリンクする。

モードSトランスポンダは、56ビットのデータを256個保持できる記憶領域（BDSレジスタ）を持つ。動態情報はFMSなどによって一定周期で、BDSレジスタに書き込まれる。表5にレジスタ番号と対応するデータの内容を示す。

地上局はBDSレジスタ番号を指定した質問を送信する。モードSトランスポンダは、質問を受信するとレジスタ番号を確認し、BDSレジスタから指定された情報を取り出し、応答にのせて送信をする。

GICBでは、一回の質問応答で56ビットの情報を取り出すことができる。モードSは1走査で複数回の質問応答を実施できるので、1走査で複数種類の情報を取得できる。

表5　データリンク能力

番号	データ内容	機数	搭載率（%）
05	拡張スキッタ位置	1398	65.2
06	拡張スキッタ地上位置	1383	64.6
07	拡張スキッタ状態	1451	67.7
08	拡張スキッタ識別	1469	68.6
09	拡張スキッタ速度	1439	67.2
0A	拡張スキッタEvent	62	2.9
20	航空機識別番号	1508	70.4
21	航空機登録番号	461	21.5
40	垂直方向意図	1469	68.6
44	気象ルーチン情報	34	1.6
45	気象ハザード情報	34	1.6
50	トラック・転回通報	1513	70.6
60	ヘディング・速度通報	1469	69.3

3.3.3 DAPsデータ取得実験

電子航法研究所ではDAPs機能を持つSSRモードS地上局を開発し、2008年4月に調布本所内に設置した。現在、地上局を用いて、実航空機とのダウンリンク実験を行い、機能や性能の評価検証を行っている。本地上局は、最大半径250NM（約460km）の範囲の航空機を監視できる。

ここでは、2つのデータ取得実験の結果について紹介する。

(1) データリンク能力の取得

BDSレジスタの一つには、その航空機がどのような情報を提供できるかを示す情報（データリンク能力情報）が含まれている。

データリンク能力取得実験では、この情報の取得を行いDAPs対応トランスポンダの搭載率を調べた。2009年3月の一ヶ月間に2143機の異なるモードS搭載機のデータリンク能力を取得した。集計結果として、表5に対応機数とその割合を示す。欧州で義務化されているBDS20、40、50、60のデータリンク出力能力をもつ航空機が多い（約70%）ことがわかる。

(2) 動態情報の連続取得実験

動態情報の連続取得実験では、ある1機の航空機（B737-800）の動態情報（BDS40、50、60）を連続的にモニタした。

モニタ機は、監視初期時においてFL360にて飛行しており、次第に高度を下げて、羽田空港へと着陸している。対象機の水平航跡を図8に示す。動態情報の変化とレーダ航跡の変化を比較するため、航空機の針路が大きく変化するポイント（円の部分）を4つ選んだ。

図6に高度と選択高度（BDS40（垂直方向意図）に含まれる）の変化を示す。X軸は時間（秒）、Y軸は高さ（フィート）を表す。黒点は高度、濃灰色の点はBDS40から得られたMCP/FPU選択高度、薄灰色点はFMS選択高度を示す。

MCP/FCU選択高度はパイロットが航空機に入力した次に航空機が目指す高度であり、航空機の実高度が選択高度に従って降下していることがわかる。FMS選択高度は0となっていた。

図7にBDS50に含まれる真トラック角、BDS60に含まれる磁方位の変化を示す。黒点は真トラック角、灰色点は磁方位を示す。両者は若干の差があるもののほぼ一致している。図7の灰色の背景の部分(時刻100、1100、1400、1800秒付近）は、図8の○部分を通過する時間帯を示している。航跡と同じように、針路が変化していることが分かる。以上のように、実航空機において、飛行航跡とDAPsパラメータは一致することを確認した。

4 新しい航空機監視システム

ここでは、新しいシステムとして、MLATとADS-Bを紹介する。両システムは、将来、レーダに代わり航空機の監視を担うことが期待されている。両者ともSSRモードS信号を使用している。

4.1 MLAT

MLATは、航空機が周期的に放送する信号（スキッタ）やモードS応答を複数の地上局で受信し、信号の到達時間差から航空機の位置を求める。図9にMALTによる監視の概念図を示す。MLATは、

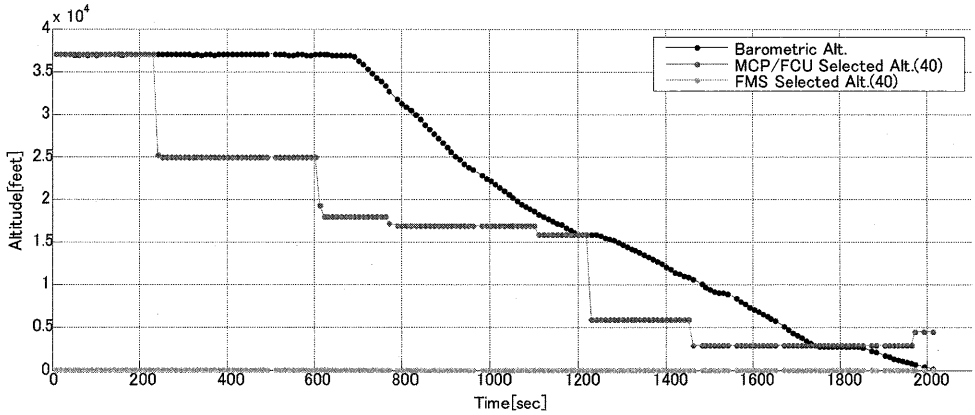


図6　高度と選択高度

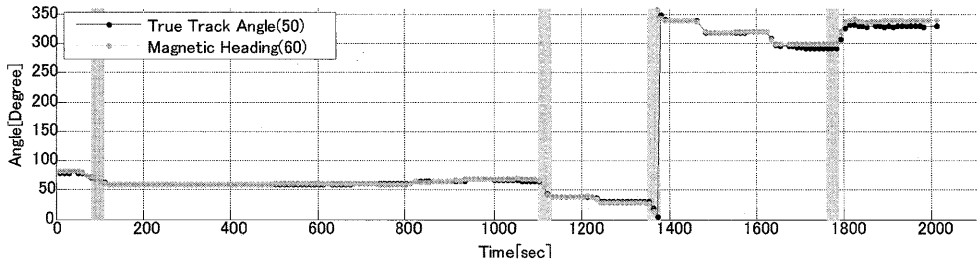


図7　針路の変化

次のような特徴を持つ

①航空識別番号を画面表示できる。

②天候時でも性能が低下しない。

③ASDEの非検出領域を監視できる。

④航空機側に追加装備を必要としない。

MLATは羽田、成田などにおいて運用を開始している。

MLATは空港面の監視システムであるが、同じ原理でより広い領域を監視するWAMなども出現している。

4.2　ADS-B

ADS-Bは、航空機搭載のGPSで測位した位置および速度などを、航空機が自発的に放送するシステムである。情報の伝送にはSSRモードSと同じ信号が用いられる。

ADS-Bは、次のような特徴を持つ

①測位精度が高い。

②航空機間での監視が実現できる。

③地上システムがシンプルである。

一方、次のような問題がある。

①航空機側に追加装備を必要とする。

②GPSに依存する。

③高密度域などで信号干渉による性能が劣化する。

導入にあたって、これらの問題についての議論が必要である。

5.　おわりに

本稿では、2章にて現用の航空管制用

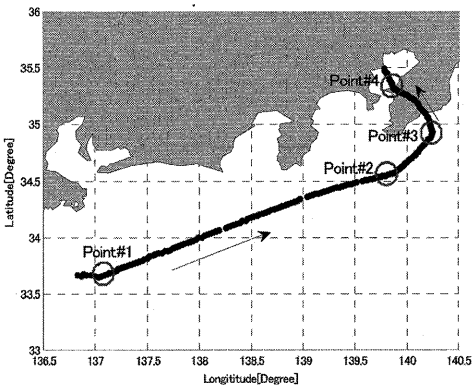


図8　モニタ機の航跡

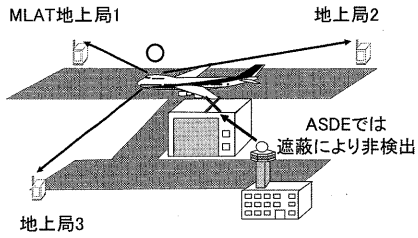


図9　MLATの概念図

レーダの概要について述べた後、3章にてSSRの詳細および新機能について述べた。4章では、将来の航空機監視システムについての概要について述べた。

参考文献

(1) 加来信行:「デュアルサイト化に向けたASDE干渉実験」, 電子航法研究所報告, No.117, pp.13-24, 2007.7

(2) 国土交通省ホームページ, http://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000327.html

(3) E.Potter : "Fleet monitoring status in Europe" ICAO-ASP-WP04-33,May 2008

(4) Noud de Lang : "MUAC Mode S EHS Implementation Programme", http://www.eurocontrol.int/corporate/public/event/081217_modes_infoday.html

(5) 瀬之口,福田 :「動態情報を利用するコンフリクト検出手法の研究開発動向」, 日本航海学会2008年度秋季研究会

(6) 航空宇宙電子システム:「航空宇宙電子システム」, 1995

X帯船舶用固体化レーダーの開発 スプリアス低減技術について

日本無線株式会社
沢柳　雅哉
齋藤　壽寛

1　はじめに

総務省殿が発表した「周波数の再編方針」[(1)]において、平成25年までに移動通信システムに最大で約1380MHz幅、無線LAN等に最大で約740MHz幅の周波数を確保することが必要とされている。そのため、3GHz帯、5GHz帯、9GHz帯において広い周波数帯域を使用しているレーダーに対する周波数の狭帯域化が求められている。また、最近研究されている次世代ブロードバンド通信において必須技術である高速で大容量の情報を通信できる高出力、高周波デバイスの研究が進められている。このような背景のもと、船舶用レーダーの大部分を占めている9GHz帯のレーダーに対して、狭帯域化及びスプリアス低減が可能な固体素子を用いたレーダーの研究開発が急務となっている。

本稿では、総務省委託研究において開発したX帯船舶用固体化レーダーに実装されているスプリアス低減技術について紹介する。

2　スプリアス低減技術

2.1　研究の目標

プライマリレーダーのスプリアス規格はRec. ITU-R SM.1541 Annex8（最新版）[(2)]に記載されている。そこで、我々が研究するスプリアス低減技術の目的を現在運用しているスプリアス規格よりさらに狭帯域化し、レーダー運用に関してその割り当て周波数に対して電波利用効率の推進を図ることとしている。具体的な目標値を以下に示す。

- 固体化増幅器（非線形素子）を使用し40dB帯域幅（B_{40}）上限を70%（140MHz）まで削減する。
- 帯域外領域（OoB）について-40dB/decade以下にする。
- レーダー探知性能について、マグネトロンレーダーと同等性能を実現する。

現在のスプリアス規格におけるB_{40}上限はプライマリレーダー割り当て周波数200MHz（9.3～9.5GHz）となっている。これを70%（140MHz）まで削減し狭帯域化を実現する。またOoBに関しては、-20dB/decadeが現在のマスクとなっているがこれを-40dB/decadeまで絞ることを目標としている。レーダー探知性能に関しては、レーダー検定の規格となっているIEC62388（最新版）[(3)]で規定されている性能要件を満足することを目標としている。

2.2　スプリアス規格

図1に現在のスプリアス規格と、目標値の比較を示す。

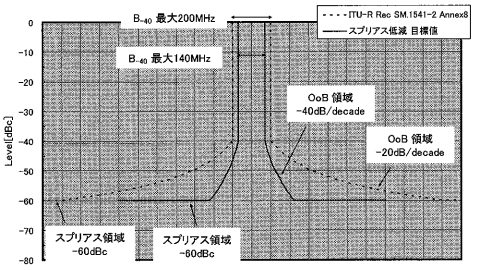


図1　スプリアスマスク

国際電気通信連合無線部門ITU-Rは、それまで明確にされていなかったスプリアス発射の許容限度に関してタスクグループ等を設置して検討してきたが、1997年世界無線通信会議WRC97において規制値、その適用時期等が決定された。そこでスプリアス許容レベル-60dBが決まった。その後もITU-Rでは研究員会SGや作業部会WPを設置し継続してスプリアス規格や測定方法を審議してきた。その結果、2001年国際電気標準会議IECにおいて新スプリアス規格として採択され、2003年1月1日以降国際海事機構IMO規格準拠のレーダーへのスプリアス規制が開始された。しかしながら、プライマリレーダーの場合はスプリアス境界に必要な定義「必要周波数帯域幅B_n」の250%とする一般的な境界の概念を適用することが困難であるとSGが結論づけている。そこで、B_nとは別にB_{40}を使用しこれを基にしたスプリアス境界を決定した。

式（1）にP0N形式、式（2）にQ0N形式の定義式を示す。

P0N形式　$$B_{-40}=\frac{7.6}{\sqrt{t\times t_r}}\ \text{or}\ \frac{64}{t}$$　式（1）

Q0N形式　$$B_{-40}=\frac{7.6}{\sqrt{t\times t_r}}+2\left(B_c+\frac{0.065}{t_r}\right)$$　式（2）

ただし、t　：パルス半値幅

t_r　：パルス立ち上りor
　　立下り時間（min）

B_c：変調信号帯域幅

また、OoBはB_{40}の点から-20dB/decadeで-60dBに達する線と定義している。

以上のようにB_{40}、OoB、スプリアス領域についてスプリアスマスクが書ける。我々は研究の目的である電波利用効率の観点からB_{40}、OoBに着目し、狭帯域化目標値を設定した。OoBの狭帯域化目標値-40dB/decadeは現在のOoBに関する勧告書Rec. ITU-R SM.1541-2 Annex8のデザインオブジェクティブとして明記されている数値であり、この観点からも我々の研究成果が電波利用効率推進に寄与していることを裏付けている。

不要発射の測定方法については、その具体的な指針をRec. ITU-R M.1177（最新版）[4]に示しており直接法及び間接法を基本としているが原則、直接法としている。直接法はレーダーから空間に発射された電波を固定された受信専用のアンテナを用いて測定する方法であり、間接法はレーダーを部分に分けて測定し、それを合成して結果を出す方法である。これは送信装置の送信出力部分での測定と、別に測定した輻射部の利得の特性と合成するものである。図2に直接法と間接法の概念図を示す。

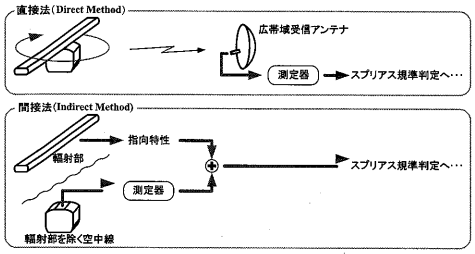


図2　スプリアス測定法　概念図

2.3　最適化手法

現在船舶搭載用レーダーで広く使用されているマグネトロンは（一部特殊用途は除く）、空洞共振器を有した自励発振器である。マグネトロンスプリアス発射抑圧のために、その基本発振モード近傍での複発振モード（π-1モード等）の抑圧、発振スペクトルを安定させるための駆動回路（パルストランス）の研究、ハーモニクス抑圧フィルタの挿入、負荷変動の安定化対策（サーキュレータ）等の検討が進められてきた。その結果、スプリアスレベルを-40dBから-60dBまで低減しOoBのロールオフマスク-20dB/decadeを満足することが可能となった。しかしながらB_{-40}、OoBのさらなる狭帯域化を推進していく場合、より精密なスペクトラムコントロール、つまり送信波形制御技術が必須となる。マグネトロンを用いた技術ではこの精密な波形コントロールは非常に困難であり波形成形回路を有した固体化レーダーの優位点といえる。

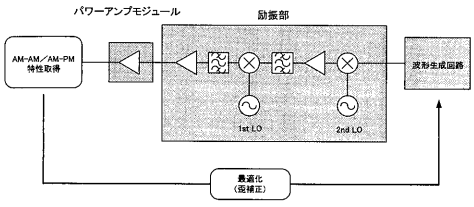


図3　固体化レーダー送信系ブロック図

図3に固体化レーダー送信系ブロック図を示す。本来、送信系伝送路において帯域内特性が完全線形であれば所望の出力特性つまりスプリアス低減の目標値となるスペクトラムと同じ波形を波形生成回路から出力すれば問題ない。高出力増幅回路以外の回路ブロックを完全線形システムで構築することは技術的に可能といえるが、高出力増幅回路内で使用するファイナルアンプに関しては、出力電力を線形動作領域で確保することは困難といえる。そこで、高出力増幅回路の動作点での非線形特性に着目し、歪み特性であるAM-AM特性およびAM-PM特性の測定を行い歪み補正を実施する。

最適な種信号の同定には、出力信号であるレーダー装置の送信信号として目標送信信号をあらかじめ設定しておく。当然、この目標送信信号は目標スプリアス基準に適合する信号とする必要がある。次に、入力信号である種信号として目標送信信号をダウンサンプリングした信号を用意し、この信号が固体化送信部を伝播して得られる出力信号を算出し目標送信信号と比較する。この比較では各時刻における瞬時振幅と瞬時周波数で行う。それぞれの比較の結果、その差分に重み付けし、先ほどの入力信号である種信号に付加する。この際の重み付けでは入力信号、出力信号ともに発散しないよう小さな値を選択する必要がある。以上の作業を繰返し、出力信号が目標送信信号に近づくまで同定を行うことで最適な種信号を算出する。

非線形モデルに使用した歪み特性として、図4に高出力増幅回路のAM-AM特性、図5にAM-PM特性を示す。

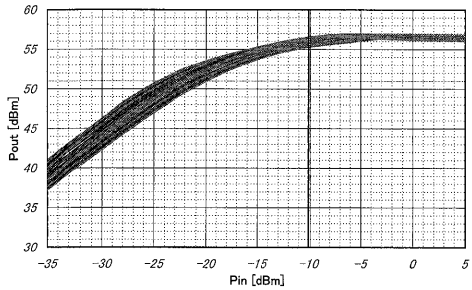


図4　高出力増幅回路　AM-AM特性

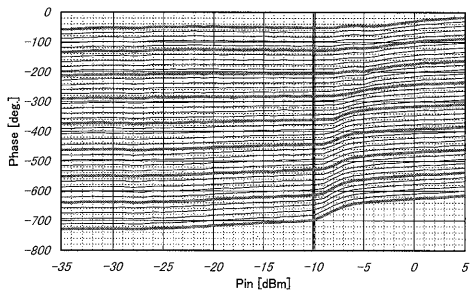


図5　高出力増幅回路　AM-PM特性

この歪測定はAgilent製マイクロ波PNAネットワークアナライザを使用したパルスド測定を実行している。パルスド測定には3種類の測定手法があるが、その中でポイントインパルス測定を実施している。（測定原理は平成20年度成果報告に記載）パルス内の任意に指定したゲート内データから歪特性を算出することができるため、パルス内の瞬時歪特性の解析には有効な測定手法といえる。

3　評価結果

3.1　模擬的間接法

模擬的間接法とは、不要波測定法Rec. ITU-R M.1177間接法の送信装置の送信出力部分での測定のみとして、輻射部の利得特性の合成を省略したものを我々は示している。現時点においては、輻射部の広帯域特性（X帯では30MHz ～ 26GHz）を取得することは困難である。こういった一因もあり勧告書では合理的理由がないかぎり原則直接法としている。しかしながら、直接法は時間がかかること、測定環境の準備等問題も多い。そこで、我々は研究室等での模擬的間接法で測定し、問題点を見つけ出し改善等を実施する。その中で直接法実施の妥当性を決断していく。そのようなプロセスでスプリアス測定を実施してきた。

a)にP0Nパルス幅80nsのパルス波形、b)にその時のスペクトラムを示す。波形成形前のパルス波形は高出力増幅回路の非線形特性（AM-AM特性）により、パルス立ち上り時間trが急峻となりその結果パルス幅も98nsと大きくなってしまっている。波形成形なしでも目標のスプリアスマスクを満足しているもののパルス幅が設計値に対して20%以上広くなっておりレーダー性能要件の距離分解能に影響を及ぼす。波形成形後のパルス幅は同定の効果により目標の出力パルス波形とほぼ一致しているためパルス幅は77nsと設計値に近い。またスペクトラムに関しては、trが設計値を維持しており振幅情報の同定ができていること、AM-PM特性についてもモデル化し位相情報の同定を行っていることの双方の効果によって、波形成形前と同等のスペクトラムの広がりとなっている。

次にc）にP0Nパルス幅0.57μsのパルス波形、d）にその時のスペクトラムを示す。パルス幅が広くもともと狭帯域信号のため、波形成形の効果はt=80nsと比較し少ない。d）について、波形成形の効果が-40dBc以下において確認できるがこれは位相情報の同定効果といえる。

次にe）にQ0Nパルス幅18.3μs、周波数

偏移幅16MHzのパルス波形、f）にその時のスペクトラムを示す。Q0Nのスペクトラムに関しては、FM変調幅がスペクトラム形状にほぼ一致しているため波形成形の効果がほとんどないことがわかっている。

最後にg）にP0Nパルス幅0.57μsのスプリアス特性（フルスパン）を示す。スプリアスマスクレベル-60dBcに対して、測定に使用したスペクトラムアナライザのフロアノイズマージンが十分とはいえないがLOリーク、SSBノイズ、ハーモニクス等のスプリアスは確認できない。

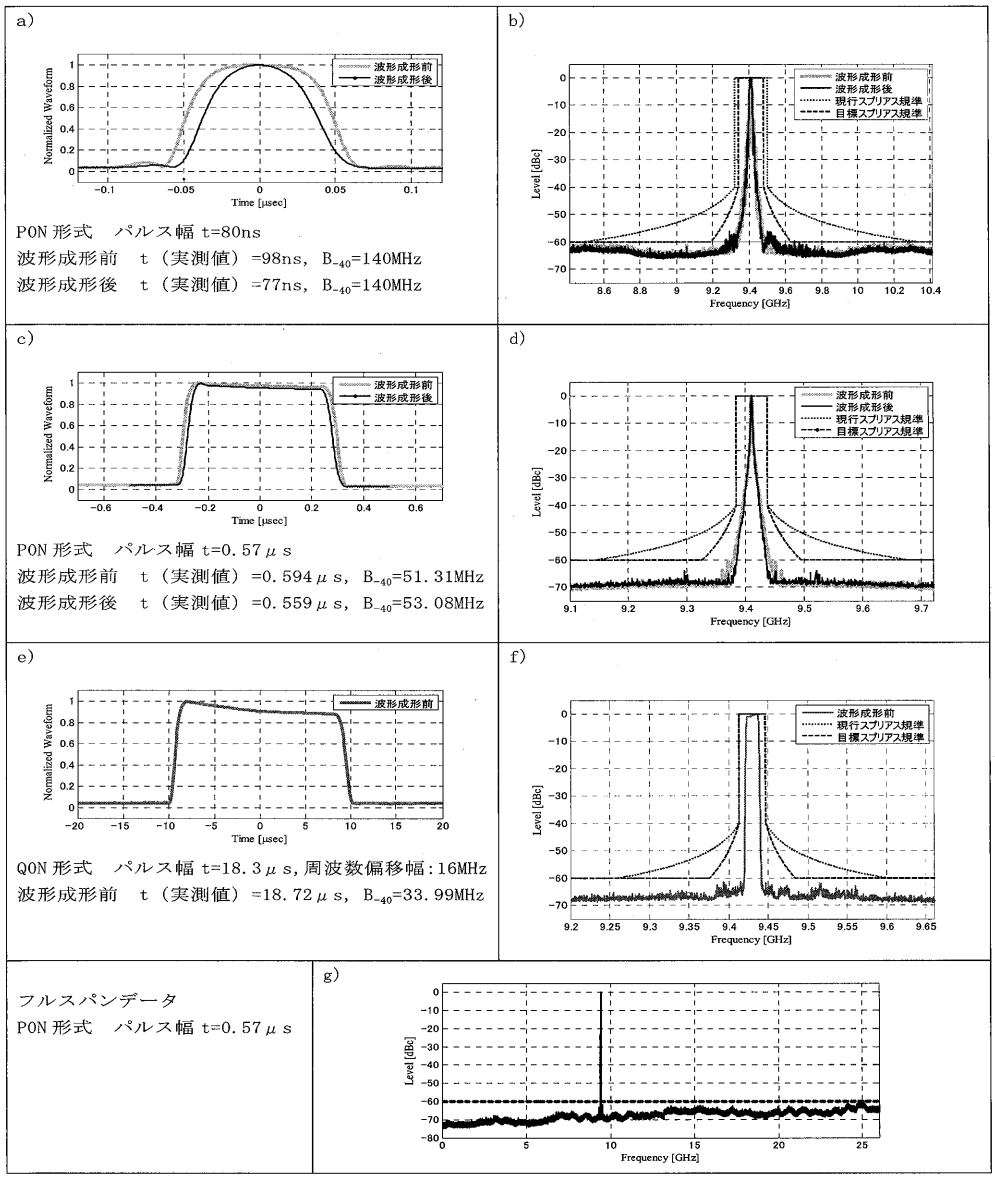
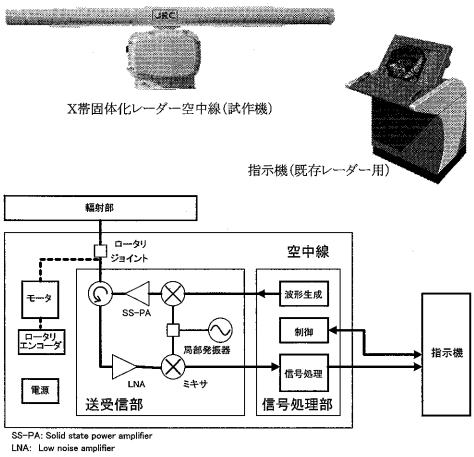


図6　模擬的間接法　スプリアス評価結果

3.2 直接法

スプリアス低減技術の目標値である40dB帯域幅（B_{40}）最大140MHz以下、またOoB（Out of Band）領域において-40dB/decade以下を満足しているかを確認するために、開発したX帯船舶用固体化レーダーを用いて評価を実施した。固体化レーダーシステム概要を図7に示す。また仕様を表1に示す。測定環境は国内検定を実施しているふくしまスカイパーク（福島県福島市）を借用した。測定方法はRec. ITU-R M.1177直接法を採用した。



X帯固体化レーダーブロック図

図7 固体化レーダーシステム概要

表1 固体化レーダー仕様

項目	仕様
送信尖頭電力	300W
送信周波数	X帯
アンテナビーム幅	0.8°（9ft）／1.2°（6ft）
空中線回転数	16～24rpm
繰り返し周波数	500～4000Hz
パルス幅	0.08～20μs
機能	パルス圧縮、 コヒーレント信号処理

表2に測定パラメータを示す。図8にP0N（9410MHz）におけるスプリアスデータ フルスパン、図9にP0N（9410MHz）におけるスプリアスデータ B_{40}/OoB領域を示す。フルスパンデータに関して、Rec. ITU-R M.1177直接法測定は非常に時間がかかるため、あらかじめスプリアスが発生する領域を算出しその領域を優先し測定を実施した。また、Q0N（9430MHz）のスプリアス測定に関しては、ふくしまスカイパークにおけるQ0N形式のキャリブレーションデータがないため測定は実施しなかった。

表2 測定パラメータ

測定距離	300m
測定帯域 RBW／VBW	1MHz／1MHz
パルス幅 t	61.6ns
立ち上り tr	30.7ns
40dB帯域幅（計算値）	175MHz
40dB帯域幅（採用値）	140MHz
40dB帯域幅（実測値）	74MHz

測定結果より、フルスパンデータに関しては送信周波数の2倍波（18.82GHz帯）が-60dBc以下を満足していることが確認でき、ハーモニクス成分が十分抑圧されていることがわかる。また、8～12GHz帯の基本波周辺のスプリアス領域に関してもスプリアス成分は認められない。B_{40}/OoB領域に関しても同様に目標値である40dB帯域幅（B-40）上限を70%（140MHz）以下、帯域外領域（OoB）を-40dB/decade以下に抑えることができた。基本波のスペクトラムは40dB帯域幅が74MHz、60dB帯域幅が146MHzと約2倍の広がりをもっていることがわかる。マグネトロンレーダーのその特性（図10参照）は約2.8倍程度となっており比較すると非常に低い電力レベルまで狭帯域特性が有効であることが確認できる。

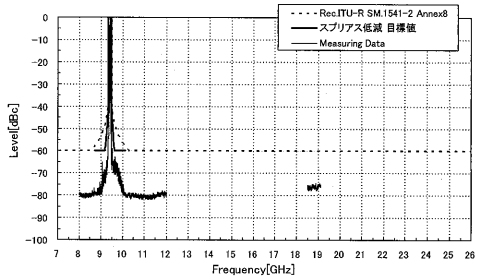


図8　P0N（9410MHz）
スプリアスデータ フルスパン

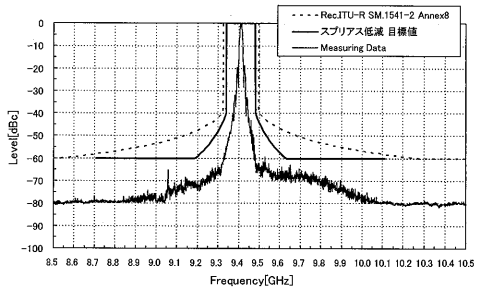


図9　P0N（9410MHz）
スプリアスデータB-40/OoB領域

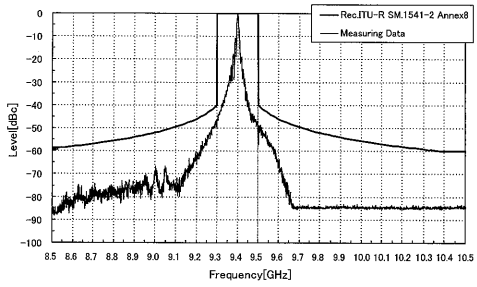


図10　マグネトロンレーダー
スプリアスデータ

3.3　レーダー性能評価結果

IMO性能要件のうち性能要件IEC62388に関して重要な試験項目を抜粋して評価を実施した。場所は茨城県霞ヶ浦湖畔を借用した。

図11に物標探知性能評価結果を示す。物標には全長約3mの小舟（FRP製）に10 m^2コーナーリフレクタを装備したものを2隻使用した。レーダーアンテナ高は海水表面から15mとし、性能要件は80%視認とレーダー探知誤警報確率10^{-4}以下としている。

（10^{-4}とは弱い背景ノイズが画面上に表示されているとき、物標の視認が可能なレベル）

性能要件は4.9NM離れたリフレクタ（10 m^2）付航路ブイが上記条件時に視認できることとなっている。

図11より4.9NM付近に2隻の小舟がはっきりと視認できる。背景ノイズはほぼ画面上に残していない状態であり誤警報確率10^{-4}も十分満足していることがわかる。

図12に距離分解能評価結果を示す。使用した物標、アンテナ高設定は探知性能評価と同様である。2つの可変距離環（Variable Range Marker：VRM）の距離が0.02NM（37m）に設定されている。要求性能は2物標が分離表示されているときの2物標間直線距離が40mを超えないこととなっている。

図12より2物標とVRMの位置が若干ずれているが、2物標間直線距離がほぼ37m程度と視認できる。

図13に方位分解能評価結果を示す。使用した物標、アンテナ高設定は前述と同様である。2つの電子カーソル（Electronic Bearing Line：EBL）の角度差が2.4°に設定されている。要求性能は2物標がレーダーに対して同一距離に配置され分離表示されているときの2物標間角度差が2.5°を超えないこととなっている。

図13より2物標間角度差は約2.1°と視認できる。実験には既存マグネトロンレーダー用6ft輻射部を使用している。

レーダー探知性能、距離分解能、方位分解能と主要な性能要件について評価を実施

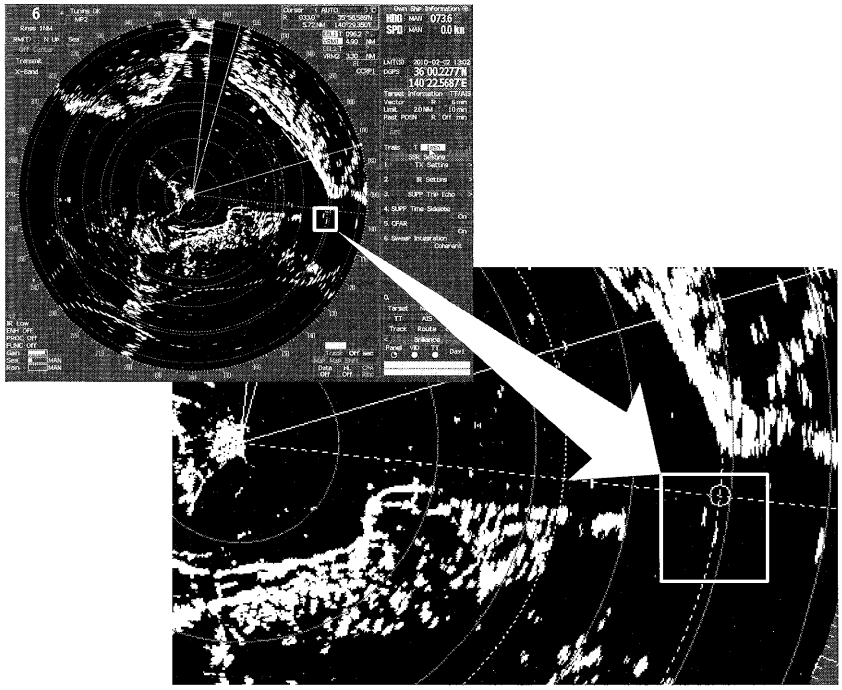


図11　物標探知性能評価結果

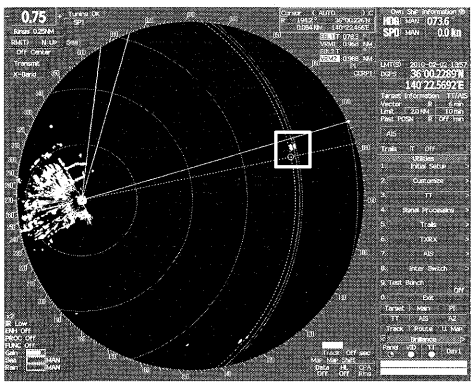


図12　距離分解能評価結果

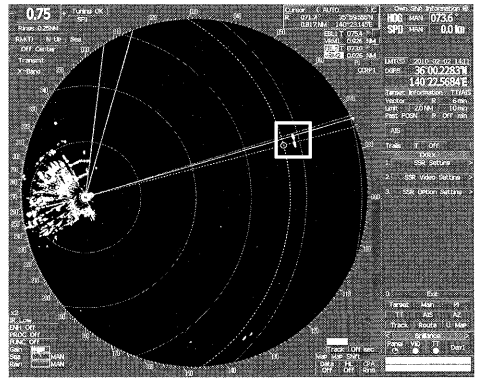


図13　方位分解能評価結果

した結果、すべてにおいて満足のいく結果が得られた。

4　おわりに

総務省委託研究において、開発したX帯船舶用固体化レーダーを使用しスプリアス低減技術の研究について実証実験を実施してきた。その結果目標に挙げた3つについて満足していることが確認できた。スプリアス低減技術のためのレーダーアーキテクチャ(歪み補正アルゴリズム)を確立しレーダー装置に実装、Rec. ITU-R M.1177直接

法に準拠した測定法においてスプリアス測定を実施し、B_{40}の実測値は74MHzとなり目標の140MHz以下を実現、OoBに関しても-40dB/decade以下を実現することができた。また、レーダー基本性能試験を実施しIMO性能要件である探知性能、および距離/方位分解能特性を満足していることが確認できた。さらに船上評価試験において、マグネトロンレーダーとの性能比較評価を実施し遜色ないことを確認できた。

今後我々は、さらに高出力増幅回路の歪み特性について検討を進め、このスプリアス低減技術の製品実装を実現していく。

5 謝辞

本研究は、総務省委託研究「電波資源拡大のための研究開発」の一環として実施している研究である。研究を進めるにあたり、ご指導をいただいた運営委員会の委員の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

(1) 総務省：「周波数再編方針の公表」，報道資料，平成15年10月10日

(2) Recommendation ITU-R SM.1541-2, "Unwanted emissions in the out-of-band domain", May 2006

(3) IEC62388, Edition 1.0, "Maritime navigation and radiocommunication equipment and system - Shipborne radar - Performance requirement, method of testing and required test results", Dec. 2007

(4) Recommendation ITU-R M.1177-3, "Techniques for measurement of unwanted emissions of radar systems", June 2003

「第17回IALA総会」に参加して
—航路標識分野における国際的・技術的動向—

海上保安庁交通部整備課安全システム開発室
主任安全システム開発技術官
野口英毅

1　はじめに

第17回国際航路標識協会（International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities : IALA）総会は、2010年3月22日（月）から27日（土）まで、南アフリカ共和国ケープタウン市で開催され59カ国から405名の参加者があった。我が国から小山内智海上保安庁交通部長を始めとし、総勢16名が参加した。本論文では、総会の技術セッションを中心に論文集・発表等を分析し、世界の航路標識分野における国際的・技術的動向について考察する。なお、本報告で述べられた見解は著者個人のものであり、公式のものではないことを注意されたい。

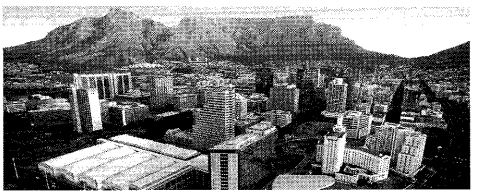


写真1　ケープタウン市（手前の白い建物が総会会場）

2　総論

本章では、過去の総会の技術セッションの議題から技術的動向を考察すると共に、今次総会の発表数を国別に比較し国際的動向を考察する。

2.1　技術的動向

表1に第15回総会から今次総会までの技術セッションの議題を示す。2006年の第16回総会は、2005年に国際海事機関（International Maritime Organization: IMO）で初めてe-Navigationが提唱された翌年に当たり、その後、e-Navigation関連のトピックが多くなった傾向は今次総会にも表れている。

特に、IALAがその開発に深く携わったAISは、第15回総会では「Future Developments & New Technologies」の中で新技術として紹介されたに過ぎないが、第16回総会ではVTSにおける有力なツールとして認められ、今次総会では「Maximising the Potential of AIS」として一つの独立したセッションとなるほどの進化を遂げている。現在でも、AISは、AIS-SART、AIS-EPIRB、衛星探知、用途特定メッセージのように、その利用が大きく広がってきており、今後も目の離せない航海計器の一つとなろう。

また、今次総会ではVTM（Vessel Traffic Management）という用語が出てきている。IALAではVTMの定義を「Vessel Traffic Management is the functional framework of harmonized measures and services to enhance safety,

security and efficiency of shipping and the protection of the marine environment in all navigable water.」としている。IMOではe-Navigationの議論の中で、本用語を使うかどうか問題となったが、2010年の第56回航行安全小委員会では全ての出席者の理解を得られず、報告書からは落とされることとなった。本用語は、これまでの関係者からの説明によると、船舶交通に関する情報ネットワークを機能的側面から定義付けたものと考えられる。しかし、Managementという言葉に航海関係者、海運関係者は敏感であり、正確に理解されがたい面がある。VTMという概念を普及させるためには、今後、IMOにおいて理解を得られるかどうかが鍵となる。

2.2 国際的動向

表2に、今次総会で発表論文数が3以上の国・機関を上げた。GLA（General Lighthouse Authority）は、イギリスのTrinity House、北部灯台局及びアイルランドのアイルランド灯台局が合同で設立した研究機関であるが、今回は独自に集計した。

1位のドイツは運河・河川航路に関する論文が多かった。2位のオーストラリアではリスク関係の論文が多く、同じ2位の中国ではe-Navigation関係の論文が多かった。全体的にはヨーロッパ諸国の論文が多いが、アジア、特にオーストラリア、中国の論文も多くなっており、現在の経済情勢からもこの傾向が続くと思われる。

表1　第15～17回総会の技術セッションのトピック

	15th : Sydney (2002)	16th : Shanghai (2006)	17th : Cape Town (2010)
Session 1	Training in AtoN & VTS Personnel	Training of AtoN & VTS Personnel	Maritime Accidents & Near Misses
Session 2	Risk Analysis & Quality Assurance Techniques	The Integration of AtoN & VTS Systems with other Maritime Operational & Safety Services, including AIS	Risk, Quality & Environment
Session 3	Practical Problems & Efficient Solutions	Risk Management in Waterways & Quality Assurance in AtoN Services	The Future for Visual AtoN
Session 4	Integration Navigation Services & Harmonized Standards	Future & Role of Conventional AtoN in a Digital World	From VTS to VTM
Session 5	Future Developments & New Technologies	Light & Vision	Maximising the Potential of AIS
Session 6		Development & Introduction of Digital Techniques in AtoN	e-Navigation
Session 7		Future Development & New Technologies	Focus on Africa
Session 8		Presentation & Discussion Forum on AIS Networks	e-Navigation & Emerging Technologies
Session 9		Presentation & Discussion Forum on DGNSS	AtoN Heritage
Session 10		Presentation & Discussion Forum on Historic Lighthouses	

表2　論文数3以上の国

国　名	論文数
Germany	10
Australia	9
China	9
GLA (UK & Ireland)	7
UK	7
Denmark	5
Japan	5
Norway	5
USA	4
Canada	3
France	3
Italy	3
Ireland	3
Turkey	3

3　各論

本章では、第17回総会の各技術セッションについて概要を述べることとする。

3.1　Maritime Accidents and Near Misses

本セッションでは、過去の海難事故の分析及びそこから得られる教訓等が扱われ、7論文が提出された。海難事故では2007年にサンフランシスコで発生したCosco Busanの事故の原因、教訓が紹介された。また、イギリスで発生したヨットの衝突海難から、レーダー反射器の性能調査の結果報告があった。

海難の発生原因は多くが人的要因によるものであり、これをe-Navigationによる自動化でどのように対応していくのかが今後の課題である。しかし、過度の自動化への依存の危険性、新たな機器への訓練の対応等、多方面にわたる困難性が指摘された。

3.2　Risk, Quality and Environment

本セッションでは、航路及び航路標識のリスク管理、並びに、航路標識の環境対策について発表があった。航路のリスク管理では、IALAが開発したリスク評価ソフトであるIWRAPとPAWSAを使った実例報告がなされた。また、シミュレーションを利用した航路標識の評価システムの報告があった。環境対策関連ではLED化によるものが発表された。なお、我が国からは耐震性能ガイドラインに基づく備讃瀬戸海上交通センターの耐震補強工事の紹介を行った。

リスク評価ソフトについては、我が国ではまだ使用実績がないが、IMOで紹介されたこともありその利用が広がるものと思われ、今後、重要な研究課題となるであろう。また、航路標識システム設計のためのシミュレーションの利用についても、今後、研究の進む分野である。

3.3　The Future of Visual Aids to Navigation

本セッションでは、光波標識の技術に関する発表が行われた。e-Navigation時代を迎え、従来の光波標識はその中でどのような役割を演じていくかについての発表があった他、海底油田プラットフォームや風力発電施設のような沖合構造物の標示に関する説明が行われた。我が国からは、誘目性を高めるためのフリッカ灯火の開発に関する発表を行った。また、約30年ぶりに改訂された新たなIALA海上浮標式の紹介も行われた。

e-Navigationになっても、直接視認の可能な光波標識そのものの必要性は変わら

ないが、沿岸大型標識のように個々の標識では重要度が変化してきており、光波標識全体の組み合わせ方について検討する段階に来ている。また、沖合の人工構造物は今後増加する傾向にあり、この標示システムの検討も進める段階に来ている。

3.4 From Vessel Traffic Service (VTS) to Vessel Traffic Management(VTM)

総論で述べたように、VTMは非常に新しい概念であり、まだ世界的に認知されたものではない。しかし、IALAのVTS委員会ではこの概念を急速に推し進めており、今次総会では一つの独立したセッションとして発表が行われた。

発表の全ては、ヨーロッパ又はトルコから提出されており、VTMに対する自国の取組みを紹介するものが多かった。特にヨーロッパでは自国内及び各国のVTS間での情報のやりとりが盛んであり、このネットワーク化の最終形態としてVTMが捉えられている雰囲気がある。このためVTMにおける現在のVTSの役割は中核又はハブのようなものになっていくとする発表が多かった。また、VTM時代におけるVTS職員の教育訓練に関する発表もあった。

VTMについては、我が国では未知の領域であるが、急速にその検討が進んでいる。VTMという用語自体は世界的に理解されたものではないが、VTS間又は他の関係機関との情報のネットワーク化はこれからも進む分野であり、その総合的な概念としてのVTMについて、調査研究を進める必要のある分野である。

3.5 Maximising The Potential of AIS

本セッションでは、AISの高度利用に関する様々な発表が行われた。

最も多い発表は、航路標識AISに関するものであった。多くの航路標識機関が、すでにAISを航路標識に設置しており、本来の利用の他、監視、気象データの送信等に活用している。また、国際用のAIS用途特定メッセージ（バイナリメッセージ）の指針がIMOで定められたことから、指針の紹介、地域用メッセージの登録体制の紹介があった。さらに、AISデータ収集のための衛星の利用に関する発表も行われた。

AISはSOLAS船への搭載義務化以降、船舶への装備が急速に広がっており、非SOLAS船でも搭載する船が増えている。それに呼応するように、AISによる様々な利用が広がっており、e-Navigationにおける重要なツールの一つとなっている。我が国でも航路標識AISによる気象情報発信等、AIS高度利用の研究が行われており、今後も各国の研究成果に注目して行く必要がある。

3.6 e-Navigation

本セッションではe-Navigationに関する調査・研究等の発表が行われた。

VTSや航路標識当局による海事関連情報の交換ネットワークやインターネットによる海事関係者への情報提供システムが紹介された。また、情報交換のためのデータモデルに関する説明が行われ、海事情報全体を包括するデータモデルの方向性が示された。我が国からは、AISを利用した情報提供とe-Navigationへの取組みに関する発表を行った。

IMOにおけるe-Navigationの検討は、まだ具体的なものに至っていないが、IALAでは早くからe-Navigationに注目し、各国の航路標識当局が情報のネットワーク化及び情報提供手段の高度化に取り組んでいる。今後も、情報通信技術を利用した情報利用の高度化が進んでいくものと思われる。

3.7 Focus on Africa

本セッションは、今次総会がIALA総会初のアフリカ開催となったことから設けられたものである。発表内容は、アフリカにおける航路標識の現状の紹介、アフリカ支援の現状とニーズ等についてであった。航路標識に関する我が国のアフリカ支援はこれまで行われてこなかったことから、これらの発表資料は、今後、アフリカ支援を行う時の貴重な情報源となろう。

3.8 e-Navigation and Emerging Technologies

本セッションは、航路標識に関する最新技術の紹介であるが、前半部をe-Navigation関連、後半部をその他の技術として発表が行われた。

e-Navigation関係の新技術では、仮想航路標識、e-LORAN、パイロット用携帯型航行支援装置（Pilot Portable Unit）のようなハード関係、及び、海事情報提供者としての航路標識当局の考え方、人工知能による情報提供システムの考え方のようなソフト関係の発表があった。

その他の新技術では、固体化レーダに関連するものが多く、また、DGPS機器の更新に伴う再配置、衛星による砂洲の監視等の電波関連のもの、耐氷ブイ、ウルトラキャパシター利用の電源装置等の光波関連の技術が紹介された。

固体化レーダの登場により世界のVTSの趨勢は固体化に向かうこととなるが、固体化に伴う保守費用の軽減という側面よりも、今後は、デジタル化に伴う映像の利用技術の研究開発が、今後、進んでいくものと思われ、我が国も積極的に先進技術の研究開発を行っていくべき分野である。

3.9 Aids to Navigation Heritage

本セッションでは、各国の歴史的大型灯台の保存活用方法が紹介された。我が国からは、免震装置、ベアリング装置による大型レンズの保存技術の紹介を行った。

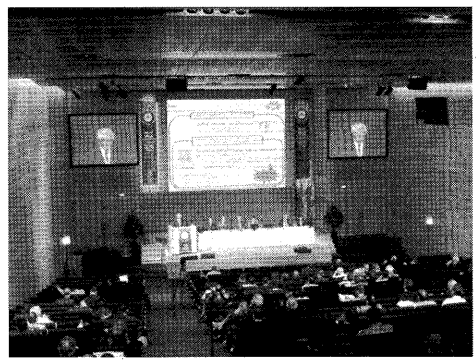


写真2　技術セッションの模様

4　総会の結論と勧告

総会の最終日に、各技術セッションの発表内容等から起草された今次総会の結論と勧告が事務局から提示され、総会により承認された。表3にその結論と勧告を示す。

総会に合わせ、工業会員による製品の展示会も開催され、各国の航路標識関連メーカー37社が展示ブースを出展した。また、総会最終日には2010年～2014年のIALA

理事選挙が行われ、我が国は9期連続で理事国に選ばれた。なお、次の第18回IALA総会は2014年にスペインで開催されることとなっている。

5　考察

本報告では、IALA総会の技術セッションにおける論文集及び発表から航路標識界における世界的･技術的動向を探ってきた。

その主要キーワードは「e-Navigation」「VTM」そして「AIS」である。また、次に注目すべきものとして「リスク評価ツール」が上げられる。

e-Navigation、VTM、AISについては一つの大きな流れの中で捉えていかなければならない。それは、海事関係の全ての情報を収集・管理・交換・提供しようとするe-Navigation、その情報を利用して全ての船舶交通を管理するVTM、そして、現時点で唯一の制度的可能手段であるAISに分けられる。これらを個別的に見れば以下のとおりである。

e-Navigationについては、すでに議論の大きな流れはIMOの場に移っている。IMOでは2012年までにe-Navigationの戦略実行計画が定められる予定であり、この計画の中ではユーザーニーズの特定、現状とのギャップ分析そして基本的な構成を表すアーキテクチャーが記載されることとなっている。この後にこれを具体化するための制度的・技術的な議論になると思われる。なお、データモデルについて、この総会の後、2010年11月にモナコの国際水路機関（International Hydrographic Organization）本部で開催されたe-Navigationワークショップにおいて、IALAとIHOは、IHOが開発した新しい電子海図のためのデータモデルS-100シリーズを基本とすることで合意している。従って、世界的なデータ交換を前提とした航路標識情報のデータ構造がS-100を基本として定まることとなり、国際的ネットワークに参加していくのであればこれに従ったデータ構造を準備する必要がある。また、制度的に見れば、この情報の流れの中で我々航路標識当局がいかなる役割を演じていくのかを注視しなければならない。ドイツの提唱するように物流情報も含めたe-Navigationの中で航路標識当局が信頼できる第三者的情報提供者となるのか、あくまで船舶交通のみに特化したものになるかは、我が国の中でも海事局のみならず港湾局や地方の港湾管理者との論議を行う必要が出てくる。

VTMについては全く新しい概念であり、これがこのまま定着すれば海上交通業務上大きな影響を与える可能性が存在する。ただし、VTMが国際的かつ海事関係者全体で定着するかどうかはIMOの議論を見ていかなければならない。VTMという用語は、2010年7月のIMO第56回航行安全小委員会（NAV56）のe-Navigation報告案の中で、IMOに初めて登場したが、審議の結果、VTMの用語に対する各国・団体の代表の理解を得ることができず、報告書からは削除されることとなった。それはVTMのM、つまりManagementが何を具体的に指すのか分らず、さらにVTMの地域的概念がAll Navigable Waterであることから、公海も含めた何らかの規制につながることを懸念しているためである。しかしながら、IALAではVTMの論議を今

後も続けるとしており、今後、IALAがどのようにVTMを再定義しIMOの場で定着させていくのか、注視する必要がある。

他方、VTSで提供されていたサービスが地理的限界を超えてAll Navigable Waterとなることは、利用者の視点から見れば国境やVTSサービスエリアを越えてサービスを受けられることになる。また、各国の当局も船舶の出航地から寄港地までの情報を一貫して収集することができる。このことは、すでにe-NavigationのIMO定義の中でbirth-to-birth Navigationの言葉で表されている。さらに、本総会でも発表されているように、すでにヨーロッパではMarNIS、Safeseanetのような海事関連情報の地域的ネットワークが出現しており、また、AISという限定手段ではあるがIALA-NETやMSSISのような国際的ネットワークも出現している。従って、VTMという言葉が妥当であるかどうかの議論は残るものの、世界的な情報ネットワークの構築は不可避であり、今後、我が国としてどのように対応していくか検討すべき段階にきていると言える。

AISについては、過去のIALA総会の技術セッションの議題が示すように、AISの登場、AISの船用データの利用の段階から、AISを情報交換・提供として利用しようとする段階に入った。また、船舶搭載AISのみではなく、AIS航路標識、AIS-SARTからAIS-EPIRBへと新たな種類が加わってきている。さらに、AISデータの衛星受信もすでに実用化の段階に入っている。e-Navigationの進展を考慮するとき、現在e-Navigationの具現化を図れるSOLAS搭載機器は、情報基盤としてのECDISと情報入手ツールとしてのAISしかない。その意味でも、まさしく今後の動向はMaximising The Potential of AISへと向かうであろう。

リスク評価ツールについては、IALAから二つのプログラムが出されている。IWRAP（IALA Waterway Risk Assessment Program）とPAWSA (Port and Waterways Safety Assessment) である。AISの登場は、これらのプログラムをより自動的かつ容易な形で使えるようにしており、各国でその利用が拡大している。IWRAPは定量的評価、PAWSAは定性的評価であるが、我が国では類似のプログラムを利用した航路のリスク評価は行われていない。それは我が国の複雑な航路形状、TSSのような分離された航路を設定できない海上交通の現状等の様々な要因があり、適用できないと判断されてきた。また、これらのプログラムの注意点として、リスクの評価はできるが、どうすればリスクを減らせるかはプログラム化されているわけではないことである。

しかし、これらのプログラムについては、別の観点から注意してその動向を見る必要があり、また、試験的にでも利用してみることが必要である。それは、IMOにおける動きである。2010年7月のNAV56にIALAからこれらのプログラム及びシミュレーションをSN Circ化しようとする提案が出され、会議で承認された。SN Circ自体は回章文であり強制化されるものではない。また、これとは別に任意IMO加盟国監査制度の強制化の動きがある。当該制度は2003年に創設されたものであるが、SOLAS等の条約上の義務の履行状況を

IMOが任意の加盟国の監査を行うものである。SOLAS第V章第12及び13規則では、リスクの度合いに応じVTSと航行援助施設を設置することを加盟国政府は約束することとなっている。IALAの提案では、このリスクを図るためのプログラムとしてIWRAP及びPAWSAを紹介している。この監査制度は任意であるが、すでにIMOでは2013年を目処に強制化することを決定している。この時にこれらのプログラムがどのように作用するか分らないが、IMOの動きを注視するとともに先んじて同プログラムを入手しプログラム自体の適用性・限界等について調査する必要があろう。

最後にアフリカについて述べる。航路標識分野の技術協力はこれまで東南アジアを対象に行われてきた。これは、当然マラッカ海峡のように日本船への裨益効果が高いことが理由であり、この裨益効果はこれからも考慮しなければならず、今後も東南アジアを対象とした協力は行われるべきである。しかし、アフリカについては真の国際協力の中で考えれば無視のできない存在である。よくアフリカはヨーロッパの領域であると考える旨があるが、ヨーロッパ諸国では東南アジアへの国際協力も実施している。また、今回のIALA南アフリカ総会のスポンサーの一つはオーストラリア海上安全庁である。これらを考えれば、我が国の航路標識分野の技術協力も東南アジアだけではなく、アフリカについても協力先として考えることが必要となるであろう。

表3　第17回IALA総会の結論と勧告

	Conclusions		Recommendations
1	IALA's risk assessment tool kit, comprising IALA Workd-Wide Risk Assessment Programme (IWRAP) and Ports and Waterways Safety Assessment (PAWSA), when properly applied, has proven to be effective.	1	IALA should continue to refine and promote its risk assessment tool kit, comprising both IWRAP Mk2 and PAWSA and facilitate the training of facilitators in the use of these tools.
2	The current suite of IALA AtoN performance measures would benefit from a risk reduction approach.	2	IALA should develop guidelines and methodologies to help members develop performance measures (metrics) that summarise the risk reduction benefits provided by collective national navigation safety measures.
3	Business case analyses can help national authorities ensure that all relevant information is considered in a standardised process, thereby providing a common basis for decision-making.	3	IALA should promote standardisation in developing business case analyses.
4	New technologies, such as synchronised and sequential lights and flickering Light Emitting Diode (LED) lights, offer opportunities for improved effectiveness and efficiency in the provision of visual aids to navigation.	4	IALA should continue to lead in the research, development and deployment of new AtoN technologies.
5	Vessel Traffic Management (VTM) is not yet universally understood and there is a need for its user requirements and scope to be defined and communicated.	5	IALA should define the user requirements and scope of VTM and adopt a communications strategy to promote a universal understanding and acceptance of VTM amongst stakeholders.

6	Vessel Traffic Services (VTS) authorities should ensure VTS personnel are provided with accredited VTS training.	6	IALA should encourage its members with responsibility for the operation of VTS to ensure that VTS personnel are provided with accredited training in accordance with IALA Recommendation V-103 and the associated model courses.
7	IALA members can benefit from improved awareness of marine traffic.	7	The IALA membership is encouraged to share maritime data through IALA NET and thus receive the benefits of participation.
8	There is considerable knowledge and expertise within the IALA community that could be shared to assist authorities in meeting their obligations.	8	IALA members are encouraged to support the development of the IALA World-Wide Academy (WWA) and IALA Consulting. Information Technology should be used to gather and share knowledge and expertise held within the IALA membership.
9	The information contained in the revised booklet describing the IALA Maritime Buoyage (MBS) System remains of significant value to mariners.	9	IALA should advise IMO and other relevant maritime organisations of the publication of the revised IALA MBS booklet.
10	Global Navigation Satellite Systems (GNSS) are vulnerable to interference. A robust, resilient Position, Navigation & Time (PNT) will be essential for e-Navigation.	10	IALA should encourage the development of a global redundant system, or combinations of systems, independent and dissimilar to GNSS, to facilitate e-Navigation.
11	Some developing nations need long-term support to fulfil their SOLAS obligations for the provision of AtoN.	11	IALA should develop a plan for proactively supporting Aids to Navigation authorities to fulfil their international obligations.
12	Regional and sub-regional co-operation is necessary for the improvement of safety of navigation.	12	IALA should proactively promote regional and sub-regional co-operation where necessary.
13	Improved information sharing amongst relevant stakeholders enhances VTS operations.	13	IALA should develop guidance for information sharing amongst VTS and allied services.
14	To realise the full potential of AIS, the AIS navigational data needs to be integrated into shipborne navigation equipment and graphically displayed. Application specific messages need to be displayed as appropriate.	14	IALA should support development of a unified portrayal (i.e. display) of navigational information.
15	Integration of traditional (visual) AtoN, radionavigation and other navigational information necessitates the development of an e-navigation data model.	15	IALA should continue to develop the Universal Maritime Data Model (UMDM) for e-Navigation.
16	Realisation of the full potential of e-Navigation requires robust communications with sufficient bandwidth, the integration of equipment and a common information structure.	16	To facilitate the full realisation of e-Navigation, IALA should: • develop a common information structure and encourage members to adopt it for the exchange and presentation of AtoN related information; • develop guidance for the integration of equipment and information; • encourage its national members to participate in the international deliberations aimed at designating additional spectrum dedicated for e-Navigation.
17	Existing Racons may not provide adequate performance in the S-Band with new technology radars.	17	IALA should review the standards for Racons and provide advice to members.
18	Historic preservation issues such as preserving Fresnel lenses or removing mercury baths need to be addressed in co-operation with other interested parties.	18	IALA should continue to provide guidance on the preservation and maintenance of historic equipment and artefacts.

雷害とその対策

株式会社　昭電
柳川俊一

1　はじめに

障害や事故の要因は、人的災害と自然災害に大別される。雷被害は自然災害の中に含まれる。

近年の雷被害問題は、高度情報社会の発展に伴う各機器の電子回路化や高密度化、ネットワーク化が進んできたことが大きくかかわっている。特に、情報通信製品の被害が増加しており、電力線以外に通信回線やCATV回線が接続されるようになったことと、さらにはネットワークを構成することもあり、これらのことが要因で雷被害を増加させている理由の一つになっている。また、異常気象により、以前は落雷がほとんどなかった地域でも頻繁に発生し雷被害の増大化を後押ししていることも否めないと思われる。したがって、雷害対策の実施が重要となってきている。

1.1　雷現象

ベンジャミン・フランクリンは凧揚げの実験により雷が放電現象であることを発見し、1753年には避雷針を発明している。しかし、雷現象の本質が解明されはじめたのは最近であり、C.V.ボイスが回転カメラを使用して雷放電の機構を解明したのは1926年、雷撃電流を高速度陰極線オシログラフで観測したのは1938年で、これが電気的観測の最初である。その後、測定器の発達と相まって種々の測定が行われ、雷放電の実体が明確になりつつあるが、まだまだ不明確な点が数多い分野である。

1.2　雷雲の種類

雷雲の種類を大別すると次のとおりである。

・熱雷（夏季雷）（図1(a) 参照）
・界雷（前線雷、冬季雷（図1 (b) 参照）、春雷）
・熱界雷
・その他【渦雷（低気圧雷）、火事雷、火山雷】

1.3　雷現象の種類と頻度

雷現象の種類と、雷雨日数分布および近年の雷頻度の測定結果は次のとおりである。

1.3.1　雷の種類と現象

雷の種類と現象は、以下に示す3通りに分類できる。

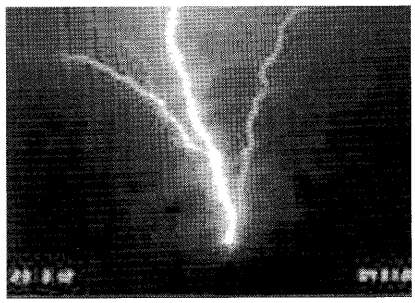
a.直撃雷：雷雲と大地の放電による落雷現象
b.間接的に侵入する雷：
　①静電結合による異常電圧
　②電磁的結合による異常電圧
c.逆流雷：大地からの逆閃絡現象

1.3.2　年間雷雨日数分布

雷雨の頻度の具体的数値として年間雷雨日数が使用され、雷鳴がはっきり聞こえた年間の日数で表されており、雷雨日数の

等しい地域を結んで示した地図を等雷雨日数（Isokeraunic Level：IKL）地図という。昭和29年～38年における10年間平均のIKLを図2に示す[1]。この図から、全般的に南の方の雷雨日数が多く、中でも本州中部、九州の山岳部および北陸地方の雷雨日数が多い。

(a) 夏季雷の代表例



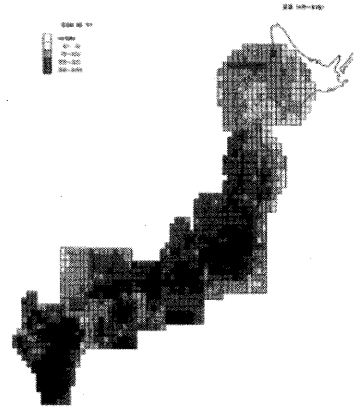
(b) 冬季雷の代表例

図1　夏季雷と冬季雷の放電現象の違い

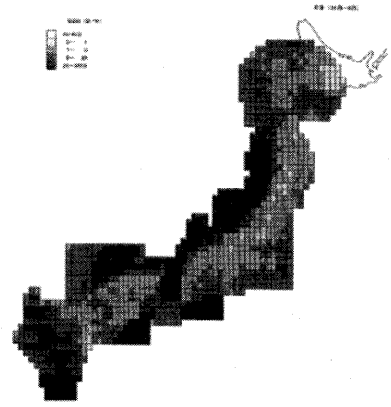
図2　等雷雨日数（IKL）地図

1.3.3　落雷位置標定システム

IKLマップに代わる落雷頻度マップの作成として、わが国では、LLPシステムとLPATSシステムのデータを集積することにより、経度、緯度ごとにメッシュに分割された区域ごとの落雷回数を求めている。現在、1992年以降の各電力会社で観測したデータが電力中央研究所において取りまとめられている[2]。図3にデータの一例を示すが、図からわかるように従来雷雨日数が多いといわれてきた地域で落雷回数が多いことがわかる。



(a) 夏季（4-10月）



(b) 冬季（11-3月）

図3　雷撃頻度マップ（1992-1996の5ヶ年平均）

1.3.4　雷撃電流の大きさ

図4に雷撃電流の累積頻度分布を示す[(2)]。この図から50％値をとると20 kA～40 kA程度と見ることができるが、半面100 kAを超えるものも観測されている。

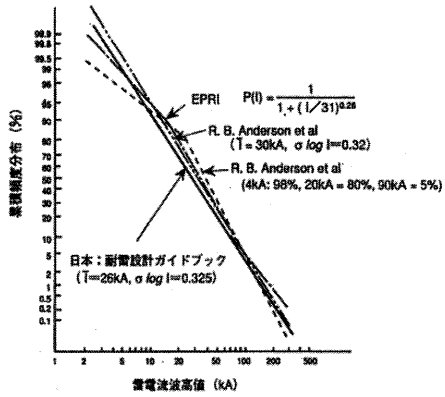


図4　雷撃電流頻度分布

2　雷被害の実態

雷被害の実態を以下に紹介する。

2.1　ライフラインにかかわる主な落雷障害

ライフラインにかかわる最近の主な落雷障害を表1に示す。また、平成11年～15年における落雷による人身事故件数の推移を図5に示す[(3)]。

表1　ライフラインにかかわる主な落雷事故

発生年月	場　所	概　　要
2007.8.22	首都圏	JR7路線他鉄道に遅延
2007.8.19	兵庫県	播磨他：17,300世帯停電 姫路：約200世帯停電 南淡路：約350世帯停電 在来線・新幹線大幅遅れ
2007.8. 7	北海道	女満別：男性首に大やけど
	岩手県	陸前高田：海辺で小3男子死亡
2007.7.30	静岡県	富士川で停電 浜松市で10時間以上停電
2007.6. 7	山形県	山形市で民家火災

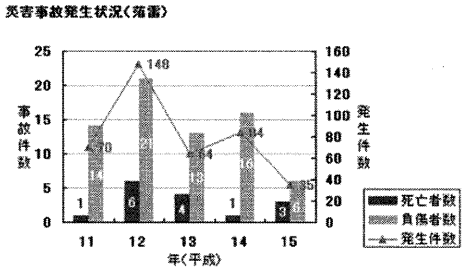


図5　落雷による人身事故率

2.2　他の落雷被害

2.2.1　アンテナへの落雷被害

図6はアンテナへの落雷被害例である。アンテナが取り付けられている鉄塔には避雷針が設置されていたにもかかわらず、アンテナに落雷した例である。

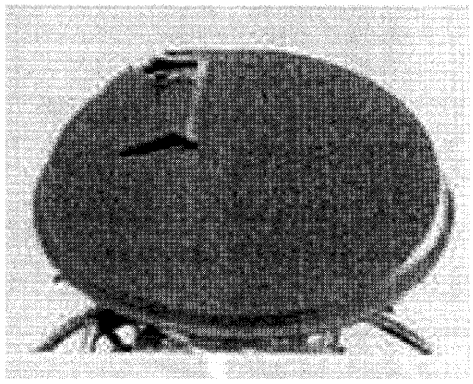
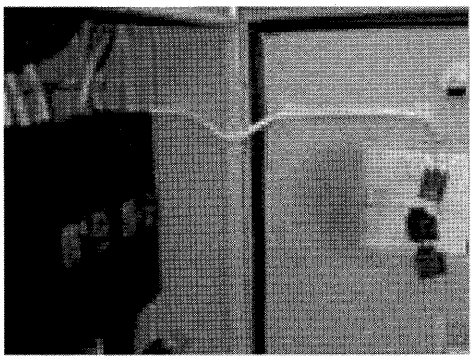


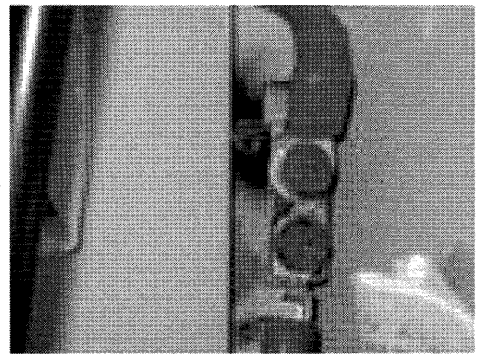
図6　マイクロアンテナへの直撃雷被害

2.2.2　避雷針への落雷による被害

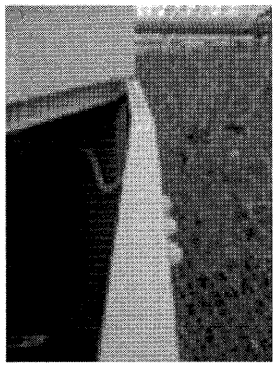
図7（a）、（b）、（c）、（d）は鉄塔避雷針への落雷によって被害が発生した例である。（a）は引込盤のMCCBが破損した例であり、（b）は接地端子に放電痕が発生した例である。また、（c）は引込盤の扉が落雷により変形した例であり、（d）は引込盤取付けのコンクリート柱が落雷の衝撃により欠けた例である。いずれの被害も



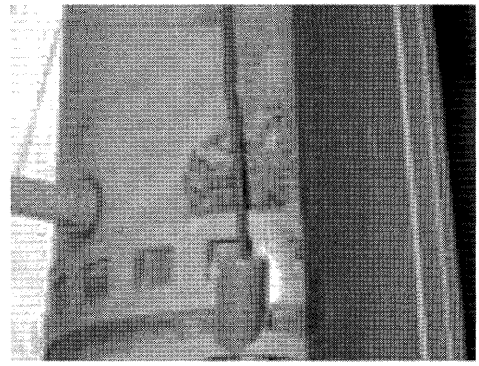
(a) MCCBの損傷



(b) 接地端子の放電痕



(c) 扉の変形



(d) コンクリート柱の損傷

図7　避雷針への落雷による被害例

鉄塔避雷針への雷撃により接地電位上昇が発生し、低圧配電線への雷電流の流出経路にあった引込盤に被害をもたらしたものと推定できる。

また、雷電流の流出経路に低圧電源用SPDが設置されている場合があるが、このSPD（Surge Protective Device）が電流耐量不足により破損した例も報告されている。

2.2.3　交通設備の落雷被害

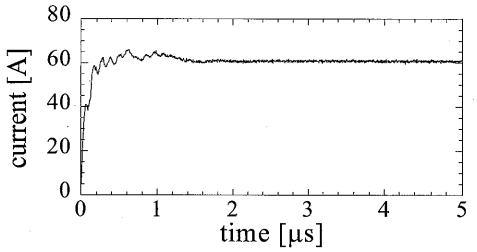
交通設備、特に鉄道関係の信号通信設備にも雷被害は発生しており、電車の安全運行の妨げになることがある。

2.2.4　風力発電設備の落雷被害

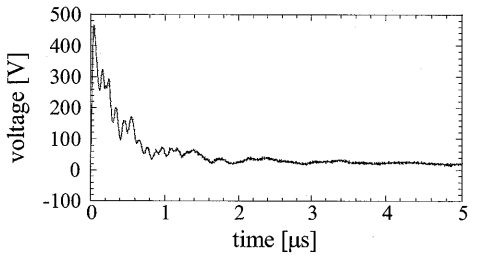
風力発電設備は風況の良い沿岸や山頂付近に設置されることが多い。そのため、落雷に見舞われる頻度も高くなっている。風力発電設備の被害で最も多いのはブレードであり、ブレード以外では電気設備の特に制御通信装置の被害が多くなっている[(4)]。近年の制御通信装置は電子化、高密度化されており、過電圧に対して非常に脆弱になっているためと考えられる。

また、非常に低い接地抵抗値であるのにもかかわらず、被害を受けたなどということがある。その一因を担っているのが過渡接地特性（過渡接地インピーダン

ス）である。図8は波頭長0.2 μsのステップ状の電流を通電したときの接地電位上昇を測定した例である[5][6]。測定をした風車は湾内の埋め立て地に建設されており、接地抵抗（定常抵抗）は0.062 Ωと非常に低くなっている。図8（b）からわかるように、1 μs以前の早い時間領域では大きな電圧が発生しており、1 μs以降で定常抵抗による電位上昇となっていることがわかる。したがって、定常抵抗が低いからといって安心ができないことがわかる。



(a) 通電電流



(b) 接地電位上昇

図8　風力発電設備の接地電位測定例

2.2.5　船舶への落雷被害

船舶の雷被害についてはあまり例がないが、船舶のレーダーアンテナに落雷し、雷電流が給電線（導波管）を経由して侵入して設備に被害を発生させた報告例がある。

3　雷害対策

雷によって発生する被害は、我々の生活にとって脅威となることがある。たとえば、停電や通信･信号の遮断が発生すると、生産の停止、情報の遮断、貴重なデータの損失、制御不能、交通混乱、映像遮断などを引き起こす。これらにより、信頼性の低下やサービスの停止、セキュリティの低下となり、機器などのハード面の損害よりもサービスなどのソフト面の損害のほうが大きくなってきている。したがって、安全・安心・高信頼性の運用を実現するために雷害対策は重要な要素である。

以下に代表的な雷害対策例を紹介する。

3.1　電源回路の雷害対策

図9は低圧電源回路の雷害対策例である。基本的には低圧配電線の引込付近に電源回路用SPDを設置して機器を保護する。図9に示す回路で試験を実施した場合、SPD動作時の電圧防護レベルは約800 Vである。低圧配電線に接続している機器のインパルスに対する耐電圧がこの値以上あれば保護できることになる。また、低圧配電線に接続している機器の耐電圧が低く、高信頼性を要求する場合にはSPDの2次側にシールドトランス（耐雷トランス）を設置

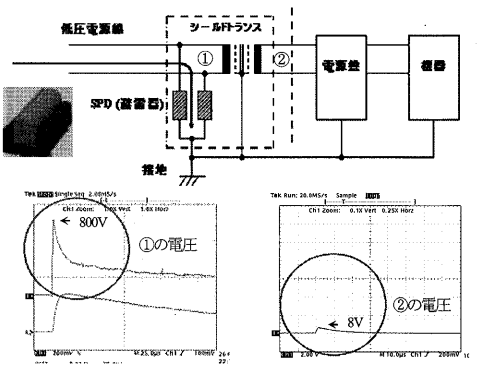


図9　低圧電源回路の雷害対策例

して保護する。この場合、トランスのシールド効果によって約800 Vの電圧防護レベルが約8 Vまで低減させることが可能となり、信頼性の高い電源を供給することができる。

3.2 信号・通信・制御回路の雷害対策

図10は信号・通信・制御回路の雷害対策例である。基本的には外線の引込付近にSPDを設置して機器を保護する。信号・通信・制御回路は多心で引き込まれる場合が多いため、多心対応型のSPDがある。

3.3 監視カメラの雷害対策

図11は監視カメラの雷害対策例である。監視カメラは、監視装置とカメラが離隔して設置され、接地も別になっていることが多く、落雷による電位差が発生しやすい環境にある。したがって、監視装置側とカメラ側の双方にSPDを設置する。また、接地を共通化することも有効な手段である。

3.4 サーバールームの雷害対策

図12はサーバールームの雷害対策事例である。前述同様、低圧電源回路と通信回線にそれぞれSPDを設置して機器を保護する。ここで、電源回路用SPDAからPDUまでの距離が長い場合には、PDUの入力にもSPDを設置する必要がある。また、停電時の対策としてUPSを設置することも有効な手段である。

4 接地・接地線

前に述べた雷害対策を効果的、かつ信頼性を向上させるために、接地・接地線は重要な要素である。

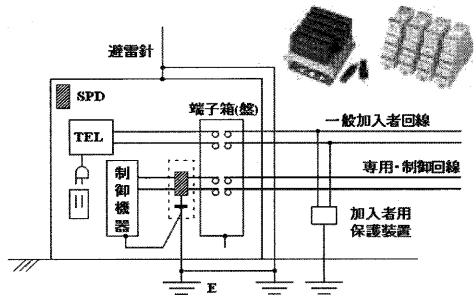


図10 信号・通信・制御回路の雷害対策例

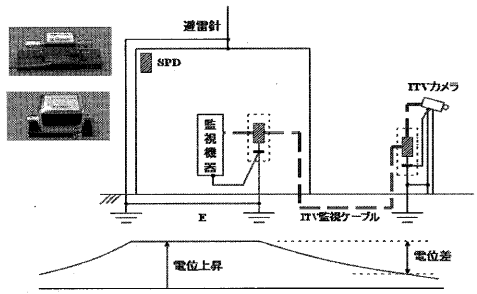


図11 監視カメラの雷害対策事例

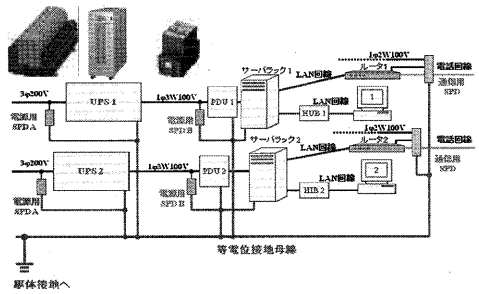


図12 サーバールームの雷害対策事例

4.1 接地

雷害対策の基本は、雷撃を避雷針で受け止め、構造体や引下導線を介して速やかに接地に流すことである。

接地抵抗が高くてもSPDを設置し、その接地を機器の接地と接続することで、SPDが動作すれば等電位になって機器は守られるのではと思ったことはないだろうか。外線から誘導して侵入する雷サージに

対しては効果的であるが、受雷部等に落雷した直撃雷に対しては、残念ながら不十分である。なぜならば、接地抵抗が高ければ接地電位上昇も大きくなるため、SPDの動作頻度も多くなり、SPDの劣化を促進することになる。一方、接地抵抗が十分低ければ接地電位上昇も低く抑制できるため、SPDの動作頻度も少なくなり、SPDの劣化も軽減できる。

したがって、直撃雷ならびに誘導雷双方の雷害対策に対しては、接地抵抗が低い方が有利なのである。

4.2 接地線

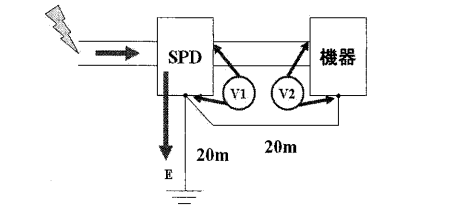
雷害対策に関して、接地線も重要な要素である。せっかくSPDを設置して対策を施したのにもかかわらず、被害が発生した例が数多くある。特にSPDの接地線の敷設については注意が必要である[(7)]。

4.2.1 適切な敷設方法による試験結果の一例

図13は機器の接地をSPDの接地端子経由で接地極に接続した構成で試験を実施した結果の一例である。SPDの出力部の電圧V1と機器入力部の電圧V2が同じ電圧に抑制されており、接地線が多少長くても影響が現れていないことがわかる。

4.2.2 不適切な敷設方法による試験結果の一例（1）

図14はSPDの接地を機器の接地端子経由で接地極に接続した構成で試験を実施した結果の一例である。SPDの出力部の電圧V1に対して機器入力部の電圧V2が大きくなっており、SPDの接地線のインダクタンスによる降下電圧が機器に加わっていることがわかる。



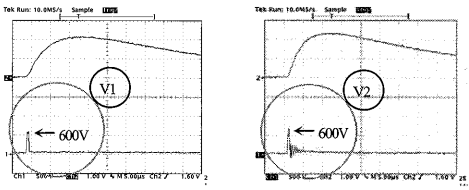
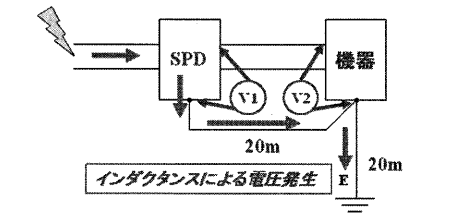


図13 適切な敷設方法による試験結果の一例



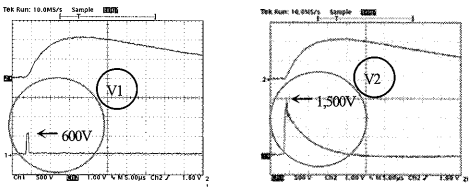


図14 不適切な敷設方法による試験結果の一例（1）

4.2.2 不適切な敷設方法による試験結果の一例（2）

図15は機器の接地をSPDの接地端子経由で接地極に接続した構成であるが、SPDの接地線をコイル状に巻いた後に接続して試験を実施した結果の一例である。前項同様、SPDの出力部の電圧V1に対して機器入力部の電圧V2が大きくなっており、接地線をコイル状に巻くなど、むやみに長く

敷設するとSPDの接地線のインダクタンスによる降下電圧が機器に加わってしまうことがわかる。

4.2.3　不適切な敷設方法による試験結果の一例（3）

図16はSPDと機器を別の接地に接続して試験を実施した結果の一例である。SPDが動作した電流によりSPDの接地電位が上昇し、機器側にその電位が波及している。

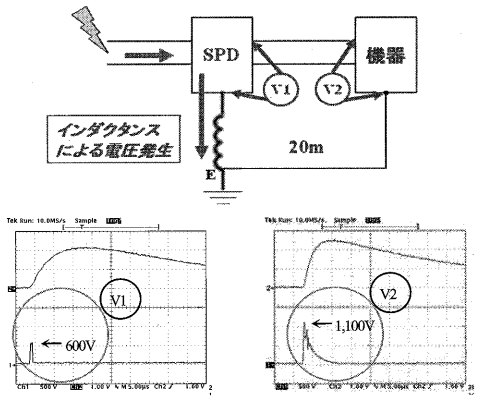


図15　不適切な敷設方法による試験結果の一例（2）

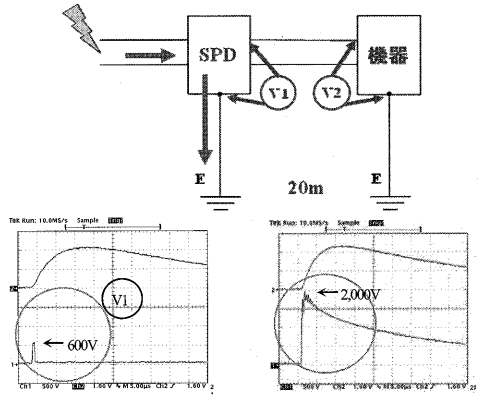


図16　不適切な敷設方法による試験結果の一例（3）

5　評価・検証

雷害対策が本当に機能したかどうかを評価・検証する装置として、図17に示す落雷電流表示装置がある。

本装置は、雷電流検出コイル（ロゴウスキーコイル）と表示部、および雷電流検出時の警報出力部で構成されており、主な機能は、

・落雷電流波高値
・落雷電流検出年月日時分秒
・落雷電流極性
・累積落雷電流波高値
・落雷電流検出警報出力

である。

また、弊社では機器や装置の絶縁耐力やディバイスの電流耐量を評価する装置を保有しており、図18（a）に雷インパルス電圧発生装置（1.2/50 1,200 kV）、（b）に雷インパルス電流発生装置（10/350 200 kA）を示す。各種評価試験に使用している。

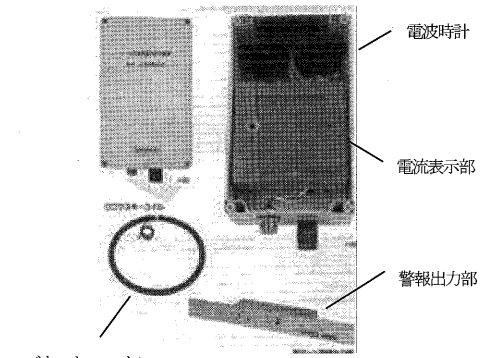
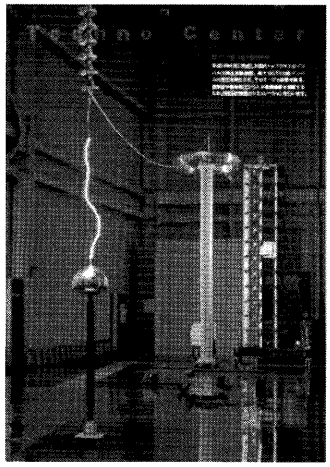
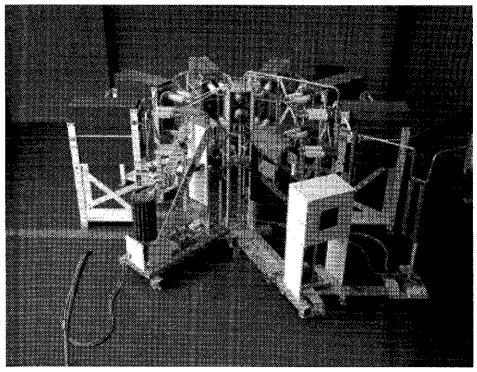


図17　落雷電流表示装置の構成



(a)　雷インパルス電圧発生装置



(b)　雷インパルス電流発生装置

図18　雷インパルス発生装置

6　おわりに

近年の高度情報社会により、情報通信機器の脆弱化やネットワーク化が進行し、EMC対策や雷サージ対策が重要な問題となっている。特に自然災害である雷サージ対策は厄介であり、その性質を特定することが困難といわれている。

効率よく対策を施す場合には、「避雷針」「SPD」「接地・接地線」を総合的に扱わなければ強力な性能を発揮できないと考えている。

以上述べてきた事例を基に、対策、評価、検証方法が今後の雷害対策設計の参考になれば幸いである。

参考文献

(1)「雷雨10年報」, 気象庁, S43

(2) 電力中央研究所　総合報告：T69「配電線耐雷設計ガイド」

(3)「警察白書」, H16

(4) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発構：「平成18年度風力発電設備への落雷対策に関する調査」, 2007

(5) 柳川俊一　他：「実機風力発電システム接地特性」, 電気学会　放電・開閉保護・高電圧合同研究会, ED-09-169, SP-09-49, HV-09-49, 2009

(6) K.Yamamoto and S.Yanagawa：“Analytical and experimental studies of grounding characteristics of wind turbines”, International Conference on Grounding and Earthing (Ground 2008), pp. 391-395, 2008

(7) 柳川俊一：「雷から高度情報化社会を守るには～雷害とその対策～」, 日本信頼性学会, 2008

RFID物流応用の現状と今後

株式会社MTI
技術戦略グループ
粟本　繁

1　はじめに

自動認識のためのツールのひとつであるRFID(Radio Frequency Identification)は、近年様々な物流現場への導入が進んでいる。RFIDは誘導電磁界または電波によって非接触でデータの送受信・蓄積・書換えを行うもので、形状や材質、マーケット等により、ICタグ・無線タグ・電子タグ・非接触ICカード等とも呼ばれる。最近ではコンシューマー用途として、乗車券や電子マネー等として利用できる非接触ICカードやお財布携帯等の普及で、非常に身近なものとなってきている。

本発表では、RFIDについて、基礎技術的な説明を行った後、MTIが取組んでいるRFID関連研究開発を中心に、事例紹介を行う。

2　MTIについて

本論に入る前に、少しだけMTI(Monohakobi Technology Institute)の紹介をさせていただく。MTIは、その前身であるNYK輸送技術研究所から、2004年に株式会社MTIとして発展的に改組発足したもので、日本郵船の100%子会社として、「モノはこび」の技術と人材で「お客さまの満足」を実現し、より豊かな地球に貢献することを目的としている。

事業内容は以下のように多岐に渡っており、

① 環境・省エネ技術の研究開発
② 船舶運航技術の研究開発
③ 輸送品質コンサルティング
④ 自動認識技術を利用した物流管理ソリューションの研究開発およびコンサルティング
⑤ 人材育成プログラムの運営

本発表に関連する事業内容の④については、「自働認識デバイス」「データコード(識別子)」「データ交換技術」についての情報通信技術研究をベースに、「コンサルテーション」「ハードウェアの設計開発・選定評価」「ソフトウェアの要件定義・開発・選定評価」「実証実験実施」「政策提言・規格立案」等のサービスを統合的にNYKグループ内会社さらにはNYKグループがお世話になっているお客様にソリューションとして提供を行っている。

3　自動認識技術の分類とRFIDの原理

自動認識およびデータ取得技術の定義は、ヒトの介在なしに、モノや場所、さらには何らかの事象を捉えた時刻を特定する方法や技術を言う。自動認識に用いる主なものとしては、JAN(Japanese Article Number)コードに代表されるようなバーコード、QR(Quick Response)コードに代表されるような2次元コード、さらに輸送コンテナのコンテナナンバーや車両のナ

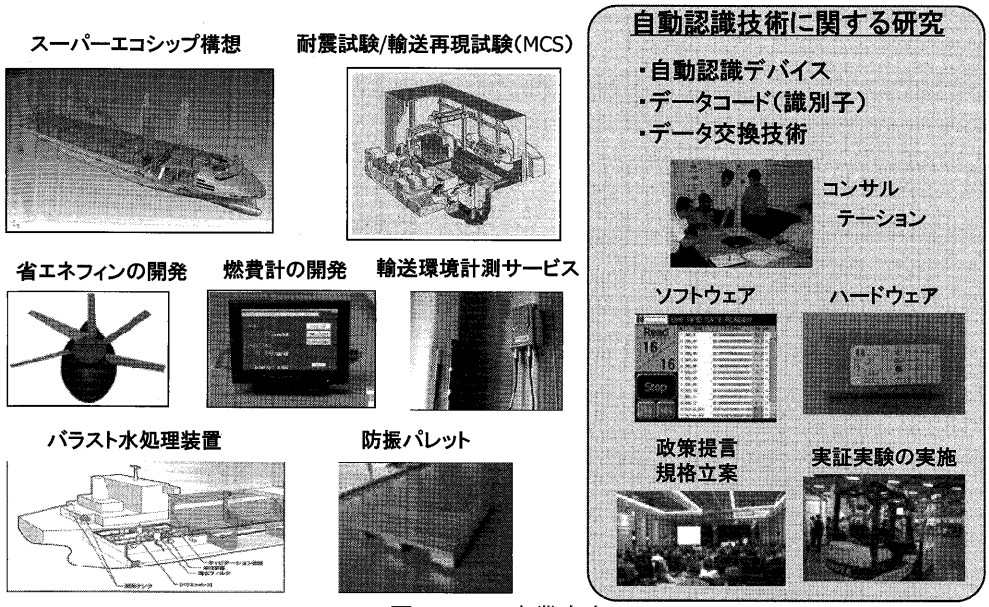


図1　MTI事業内容

ンバープレート等を読取るOCR（Optical Character Reader)、そして本発表で取上げるRFID等があげられる。このバーコードやRFIDは、ものといっしょにデータを運ぶデータキャリアと呼ばれている。

図2に、物流におけるデータキャリアの適用範囲を示す。図中に示されているバーコードは、価格は安いが表すことのできるデータ量が少なく、データ読取り可能な距離も、近接から1m程度と短い。一方RFIDは、パッシブ型でメモリー容量を大きくして格納データ量を多くしたり、またアクティブ型で電池を内蔵して読取距離を長くしたり様々なセンサー機能を有したりすることで、性能向上や機能拡張はするものの、高価なものとなってしまう。従って、図2に示すように、単価の安い個品にはバーコードを取付けて管理し、その個品がカートンボックスに収められ輸送用パレットに積まれた状態においては、数m離れた所から読取りのできるRFIDを取付け、さらにコンテナに格納されて運送される段階では、コンテナにアクティブタグを取付けたり、ゲート通過時にOCRでコンテナナンバーを読取ったりするような、モノの状況に合わせて、適材適所、最適なデータキャリアを用いるべきである。

表1に、RFIDの電気的特性による分類と特徴を示す。使用する通信周波数や電池の内蔵有/無により、性能や用途は様々である。

図3に、RFIDをシステムの一部として見たときの全体構成図を示す。パッシブタグとしてのRFIDタグの基本構成は、ICチップとアンテナからなり、ICチップに内蔵されているメモリー容量を大きくすることで、モノや場所をきめ細かく個体管理するために必要となる長大なコード番号を

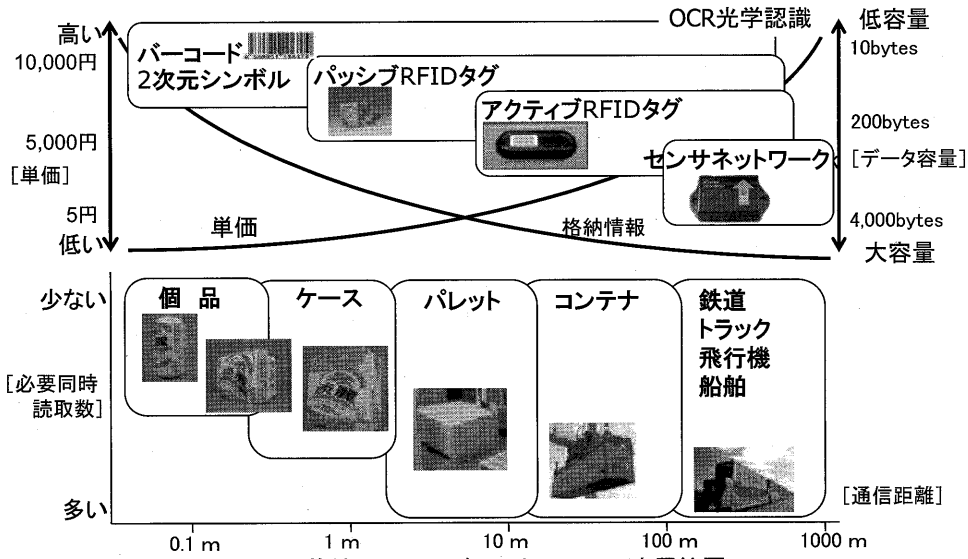


図2　物流におけるデータキャリアの適用範囲

表1　RFIDの電気的特性による分類と特徴

通信周波数	パッシブ 135kHz以下	パッシブ 13.56MHz	パッシブ 950MHz帯	パッシブ 2.45GHz	アクティブ 433MHz	アクティブ 900MHz帯	アクティブ 2.45GHz
通信距離（めやす）	～30cm	1cm～60cm	約10cm～10m	～1m	～数100m	～数100m	約60m
長所	障害物の影響を受けにくい	・障害物の影響を受けにくい ・安定した読取り	・長距離読取が可能 ・タグ価格が安価	通信速度が速い	電波到達距離が長い	通信速度が比較的速い	通信速度が速い
短所	データ転送速度が遅い	読取距離が短い	・障害物の影響大（特に水分） ・国により周波数帯域が異なる ・設置免許必要	・障害物の影響大（特に水分） ・指向性が強い ・設置免許必要	・現状は、国際物流用途限定 ・アマチュア無線帯域	・障害物の影響大（特に水分） ・指向性強い	・障害物の影響大（特に水分） ・指向性強い
規格	ISO/IEC18000-2	ISO/IEC18000-3 ISO14443 A/B/C ISO15693	ISO/IEC18000-6 ARIB STD-T89,90	ISO/IEC18000-4 ARIB STD-T81	ISO/IEC18000-7 ARIB STD-T92	ARIB STD-T96	ARIB STD-T66
用途（実例）	動物用タグ スキーゲート	IDカード 商品タグ	物流タグ 商品タグ	物流タグ IDカード	国際物流用途 所在管理 環境監視	所在管理 環境監視	所在管理 環境監視

格納可能であり、また格納情報を変更・追記することも可能である。さらに、電波を利用するため、遠隔から高速に、また同時に複数のモノを認識することが可能であり、モノ同士が重なっていても、個別に認識が可能である。さらにアクティブタグとして電池やセンサーを内蔵することで、数百m以上の通信距離や、タグ単位で商品・貨物の輸送環境（衝撃、温度、湿度、明るさ、等々）を計測したり、異常を感知して通知・記録したりすることも可能である。

図4に、RFIDが利用する電波周波数を示す。使用周波数帯による特徴は表1にも記載したが、以下に法律上・運用上の問題と併せて記述する。

①　LF帯（135kHz以下）

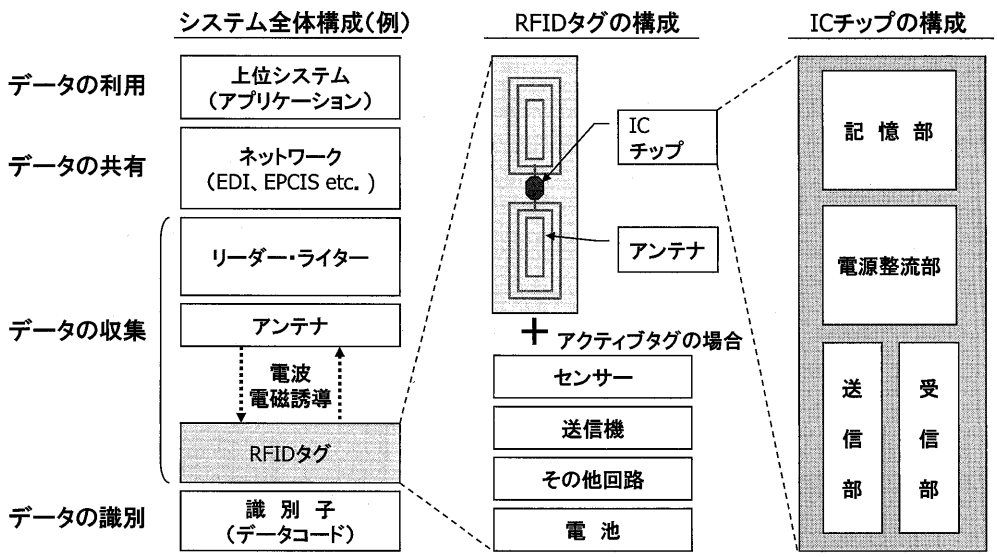


図3　RFIDをシステムの一部として見たときの全体構成図

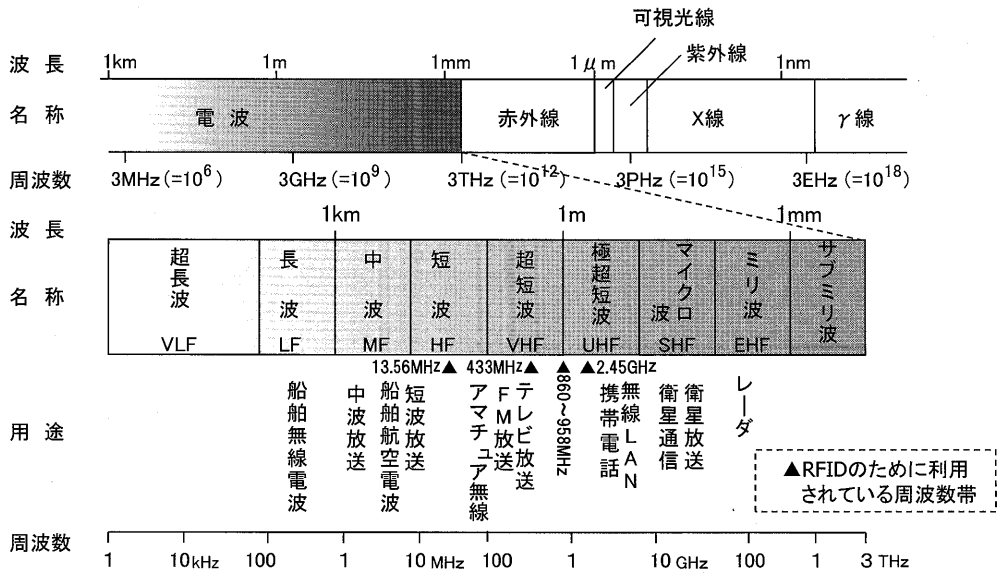


図4　RFIDが利用する電波周波数

・日本でも過去からの実績が十分あり、他の多くの国でも使用可能
・通信距離が長く取れず、また通信速度（データレート）も低い

② HF帯（13.56kHz）

・過去、構内無線局として運用免許を取得しなければならなかったが、現在は不要

⇒ このことをトリガとして、機器の導入が進んだ

・日本で許可されているリーダーの出力レベルが、海外と比べて低いた

め、最大通信距離が短い

③ UHF帯（860～958MHz）

・出力が10mW以下のリーダー（低出力型パッシブタグシステム）は、「特定小電力無線局」の扱いとなり、免許申請不要　構内でも屋外でも使用可能

・出力が1W以下のリーダー（高出力型）は、「構内無線局」として免許申請が必要で、事前登録された構内でのみ利用可能

・平成22年5月、出力250mW以下のリーダー（中出力型）を「簡易無線局」として新設

免許申請は必要だが、設置場所が限定されないため、トラックドライバーなどが携帯して使用可能

⇒ 今後の拡がりが期待される

4 RFID物流応用

図5に、サプライチェーンにおける貨物レイヤーと、対応するRFID標準について示す。

図に示すように、貨物の形態はレイヤー0の個品単位からレイヤー5の輸送手段（輸送単位）まで多岐に渡り、レイヤー0の個品に対してどの上位レイヤーを組み合わせて輸送するかについては、レイヤー5の輸送手段の選択まで考えると、多種多様な組合せとなる。各レイヤーに対応するRFID標準が策定されたことにより、国際的な物流サプライチェーンの高度化が可能となってきている。

以下、RFID導入事例を紹介する。

4.1 航空貨物輸送分野

航空貨物輸送分野では、幾つかの目的の異なるRFID導入事例がある。

① 航空手荷物タグのRFID化（2005～）

香港空港にて、バーコード航空手荷物タグによる乗客の手荷物自動仕分けの精度が悪く、修正作業のための人手が多くかかっ

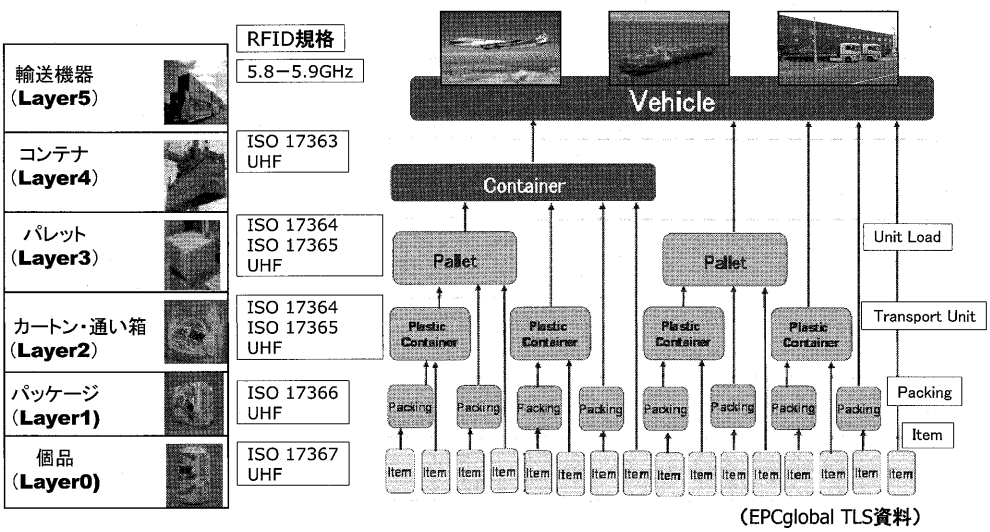


図5　サプライチェーンにおける貨物レイヤーと、対応するRFID標準

ていた。また、人による入力作業が、仕分け間違いや手荷物不明の原因にもなっていた。そこでRFIDを自動仕分けに利用することで、読取りエラー率を大きく低減し、人員削減ができた。この実績を受けて、2009年に香港空港では航空手荷物タグを完全にRFID化した。今後は、他の基幹空港においてもRFID自動仕分けの導入が期待される。

② RFIDによるトラック管理システム（2009～）

同じく香港空港にて、貨物搬入車両にRFIDを取付け、ターミナルゲートにて車両ID情報を自動認識し、システムにて最適なトラックドック（荷降ろし場所）に誘導することで、入退場時間が圧倒的に短縮され、さらにゲートの監視などにかかっていた人件費も大幅削減できた。

③ 航空機保守部品のRFIDでの管理（2009～）

貨物輸送とは直接関係無いが、航空機部品のサプライチェーン全体での管理のためのRFID適用は、航空業界において、これまでに様々な検討がなされてきた。当初は2005年中にタグ付け開始とされていたが、大容量ユーザメモリ付RFIDの開発や、ユーザメモリ利用に関わる標準化に時間を要したため、エアバス社がA350XWBの部品サプライヤーに対してタグの取り付けを要請すると発表したのは2009年になってからである。このような航空機の重要保守部品にRFIDを取付けて保守履歴を管理し、耐久期限確認などに利用するものは、今後導入が進んで行くと思われる。

4.2 海上貨物輸送分野

① 海上コンテナ輸送におけるRFIDの利用

図6に、コンテナ用に規格化されたRFIDを示す。

ライセンスプレートタグはコンテナ識別用途、サプライチェーンタグはコンテナの内容明細記録用途、電子シールはコンテナの不法開閉を記録する用途として開発されたものである。商業目的でのRFIDの利用としては、

・コンテナ番号の自動読み取り
・ヤード内のリアルタイム位置管理
・輸送行程全体での所在管理
・センサーによる貨物状況の通知

などがあるが、主にコスト面から、荷主がどのような物流の高度化を望むかにより、今後必要なRFIDが順次取付けられて行くものと思われる。

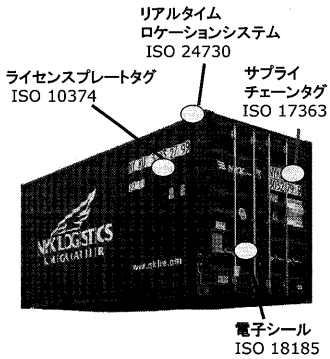


図6 コンテナ用に規格化されたRFID

サプライチェーンタグや電子シールは、セキュリティ用途で用いられる。テロ対策目的でのRFIDの利用としては、米軍および西側主要国の軍用が主な用途で、Savi社（米国）の電子シールが広く利用されている。仕様は公開されており、米軍の最新の調達には互換品ベンダーも参入している。

一方、商業輸送のセキュリティ目的のトライアルも実施されている。主なものを以下に示す。

・iControl MATTS
　DHS（Department of Homeland Security：米国国家安全保障省）のプロジェクト
　MTIも実験に参加
・SECCONDD
　EUプロジェクト
　報告書作成してトライアル完了
・E-Tag
　中　国ＳＩＰＧ（ＳＨＡＮＧＨＡＩ INTERNATIONAL PORT（GROUP）CO., LTD.：上海港国際港務集団）のプロジェクト
　MTIも実験に参加

コンテナセキュリティの確保において、以下の2つのアプローチが考えられる。

a. レイヤードアプローチ（専門家が考えるアプローチ）
・検査を危険な貨物に集中し、安全な貨物は円滑に流す
・一定のコストでリスクを最小にする

b. 全数検査アプローチ（一般市民や政治家が考えるアプローチ）
・全コンテナを対象に物理的な保護・検査を実施
・安心感は得られるが費用対効果は低い

上記a.については、優良荷主と優良物流業者によるコンテナで、さらにRFID等のITテクノロジーによってセキュリティが担保されている場合には、通関を簡素化するというようなアプローチであり、荷主にとってのメリットは大きい。

9.11同時多発テロ以降、国境安全強化（セキュリティ・ゾーンを海外へ拡張）のため、正当な貿易の円滑な流れを確保しつつ、テロリストおよび大量破壊兵器の米国内流入を阻止する目的で“SAFE（Security and Accountability For Every）Port Act of 2006”が米国で成立した。（2006年10月大統領署名）

米国に輸入される貨物コンテナに対して、RFIDシステム導入を義務付ける動きもあったが、現在は沈静化しており、一方原則として2012年から全ての米国向けコンテナ貨物に対して、積出港での船積み前スキャニング検査が義務付けられることになった。2010年に実施が2年延期されたが、今後の動向に注意を払う必要がある。

② 舶用機器のRFIDによる管理

次に、貨物ではないが、舶用機器（保守部品）のRFIDによる管理実証実験について紹介する。

本実証実験は日本財団の助成事業として平成20年度、21 年度に社団法人日本舶用工業会が実施したものである。

舶用メーカ、造船所、商社、船主の協力の下、舶用機器にRFIDを取付け、船舶情報管理システム「ADMAX」と連動して、機器保守点検・整備、部品管理における効率化・ミス低減の実証実験を行い、共通利用システムの有効性を評価し、ICタグの普及に向けた課題や検討事項を整理した。図7に実験の概略を示す。

4.3 陸上貨物輸送分野

陸上貨物輸送分野における導入事例と、今後実用化に向けて実験・開発を行ってい

る例について紹介する。

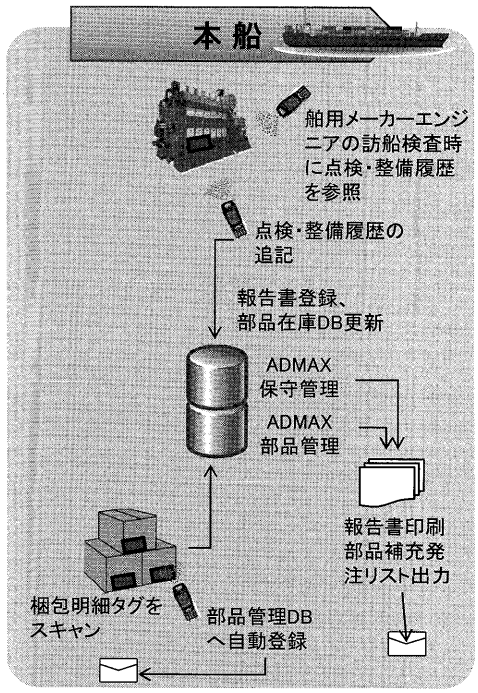


図7　舶用機器のRFIDによる管理実験

① 輸送部材管理ソリューション

本事例は、日本と海外拠点間で利用されている金属製ラックの所在管理を、パッシブ型RFIDで行うものである。図8左上に示すような金属製ラックに、金属対応RFIDを貼付け、海上輸送コンテナへのバン・デバン時にラックのRFIDをドック脇に設置したアンテナで読取り、さらに上位システムとデータ連携することで、どこにどれだけのラックがあるかを、PCのWeb画面上から何時でも確認できるようにしたものである。図8右側のシステム画面からわかるように、輸送工程全体におけるラックの所在が把握できるので、移動の先行手配が可能となり、ラックの在庫数自体の圧縮を行いつつ、不必要な滞留や偏在、逆に必要なときに不足するといった事態を回避することが可能となった。さらには、たとえば個々のラックの使用頻度もシステム内に蓄積されるので、使用頻度すなわちラックの痛み度合いの偏りを低減することも可能となった。

② 完成車管理ソリューション

本事例は、2008年度から3年間実施している総務省「ユビキタス特区」事業に関するもので、表示機能と測位機能を持ったアクティブ型タグを用いて、完成車の在庫管理を行うものである。

図9に現状とソリューション適用後について概略纏めたものを示す。

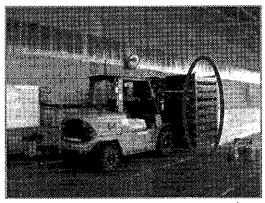
現状は、広大な敷地のモータープールに数千から数万台規模で蔵置してある完成車両の全てを、フロントガラス等に貼付けた紙伝票で管理しており、車両の確認や仕向け先変更等の各種変更に、非常に多くの手間と時間とを要している。この紙伝票を、表示/位置検知機能付きアクティブタグにすることで、伝票の貼替や棚卸等の工数が大幅に削減でき、また仕向地や客先等を効率よく変更することも可能となり、その効果は非常に大きい。

図10に、2009年度に三菱自動車工業（株）水島製作所様で実施した実証実験の様子の一部を示す。

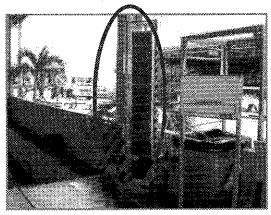
本ソリューションは、3年間の実証実験の後、自動車メーカや電機メーカ等と共同で、さらに必要な実験を行った後、実運用化を目指して行く。

金属製ラック管理システム

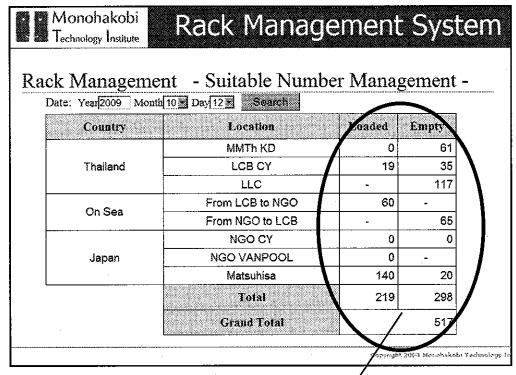
・日本⇔海外拠点間で利用されている金属製ラックの所在管理
・パッシブ(電池なし)タグでの運用



エンジンラックへのタグの取付け



ドックへのRFID リーダの設置



ラック管理システム

ラックの履歴管理が可能に

図8　輸送部材管理ソリューションの例

完成車管理システム

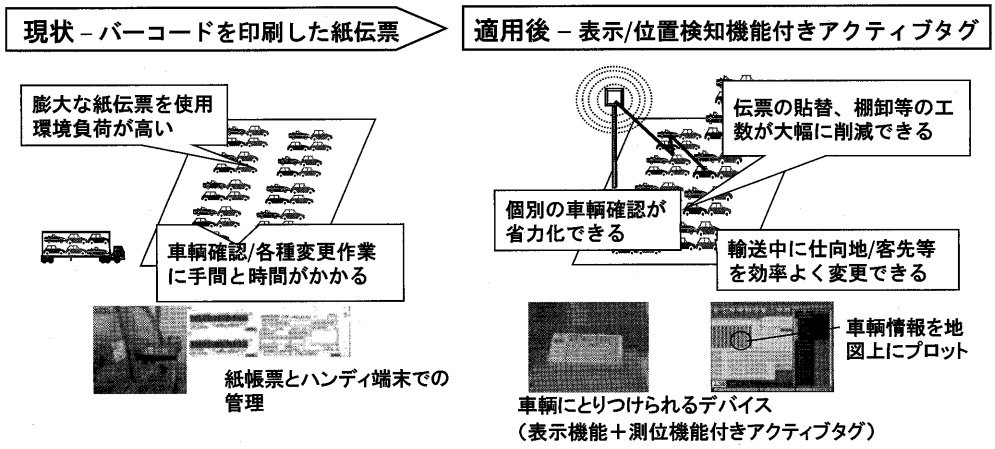


図9　完成車管理ソリューションの例

5　おわりに

RFIDの物流応用事例について、実導入されているものから、実証実験を行い今後実運用化して行こうとしているものについて、幾つかの事例を紹介した。RFID機器の性能向上や低価格化により、今後さらに物流現場への導入が進んで行くことを期待する。

最後に、本発表の機会を与えていただいた、電波航法研究会殿に感謝いたします。

三菱自動車工業(株) 水島製作所様での実験(2009年度)

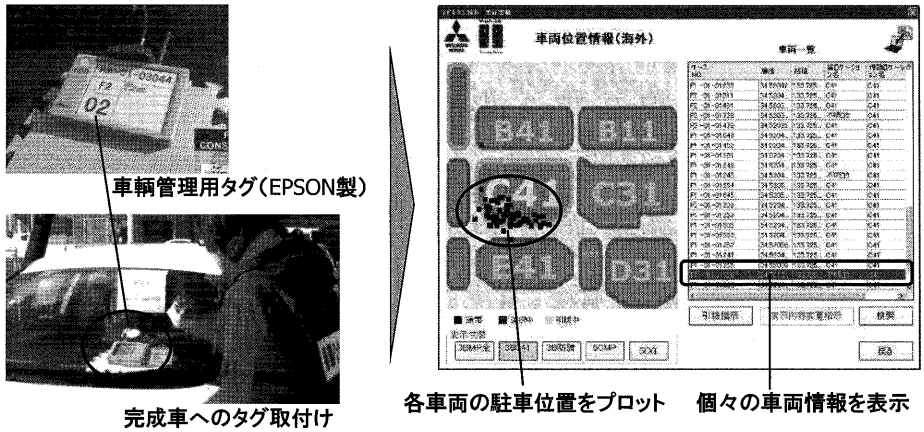


図10　2009年度実証実験の様子

海上安全管理のためのIT技術の応用

東京海洋大学
具　滋永
林　尚吾

＜概要＞

本研究は、一般に陸上で用いられているRFIDの技術を海上に適用する「海上用RFID」を開発し、その活用によって海上安全管理システムを確立し、効率的な海上安全と経済的効果の向上を目的とする。

1　はじめに

1.1　情報通信技術開発の推移

コンピュータは初期には、研究所や大学で科学計算、統計および集計などに使用された。情報通信においては、移動体通信の半導体化および電子工学などの急速な技術の開発により、インターネットなどのIT技術が社会のあらゆる分野に直接または間接的な影響を与え、農業革命、産業革命に次ぐ情報革命と呼ばれる新たなパラダイムを創出するにいたった。

これらのIT技術が、科学技術の発展と経済社会の変革をリードする新たなパラダイムとして定着した。将来の人類を担う先端産業技術6T（BT、CT、ET、IT、NT、ST）BT（Bio－Technology：生命工学技術）、CT（Culture Technology文化：コンテンツの技術）、ET（Environmental Technology：環境技術）、IT（Information Technology：情報通信技術）、NT（Nano－Technology：ナノテクノロジー）およびST（Space Technology：宇宙航空技術）と連携して、情報革命に続く第4の革命ともいえる『ユビキタス』の波が押し寄せてきている。

ユビキタス情報技術の急速な発展によって、1つの製品で多機能を有する複合機（Digital Convergence）が続々と登場するようになった。例えば我々の生活の周りでは、携帯電話やMP3プレーヤーなどのモバイル機器にマルチメディア機能が融合した製品、つまり、外出先で、リアルタイムで放送を視聴できるDMB（Digital Multimedia Broadcasting）などが、デジタル・コンバージェンスの代表的な事例である。

1.2　IT技術の海上への利用の現状と研究の背景

インターネットの普及とIT技術の革新が、現代の文明を劇的に変化させたように、ユビキタス社会の環境は、さらに大きな文化の変革を予告している。このような陸上の知識情報化時代においても、まだ海上は、SSB、MF、HF、レーダ、AIS（船舶自動識別装置）、INMARSAT通信などが現実であり、限定的な状態である。

最近の海上での交通量の現状と週休2日制に伴う海上レジャー人口の増加に伴って、安全管理の重要性が大きな社会的課題となっている。主権と治安の確保・維持、安全管理、環境保護などへの情報通信技術

の応用が、海上は最も必要な分野として挙げられている。

このため、韓国海洋警察庁では、広く活用されているユビキタスの中核要素技術であるRFID（Radio Frequency Identification）技術を活用した海上の安全と漁船出入港管理に応用する海上用RFIDの開発研究を行うことになった。

本開発研究では、これまでの情報化疎外地域や階層的に区分されていた漁民が自宅から、インターネットや携帯電話で出入港届けを提出できることで、監督官庁等への出頭報告の必要なく簡便な出入港を認めることを目指している。

このような情報化は、政府の規制緩和政策にも呼応しており、漁民に電子政府を実質的に体感できるようにするための事業として推進されている。

2　試作研究システムの概要と構成

2.1　試作研究システムの概要

このシステムでは、GPSとTDMA（Time Division Multiple Access）方式の900MHz帯送信装置を使用する。漁船はこの送信装置により、船舶データ収集装置（以下、リーダという）に対して常時送信している。リーダは陸上監視局もしくは監視艦艇に設置され、出入港状況は監視レーダを使いながらリアルタイムに管理される。また、海上では遠距離から自国の漁船を容易に識別できるようになることで、効率的な安全管理および領海の主権確保を可能にするものである。レーダやECDIS上にも、海上用RFIDの船舶の識別IDを表示することにより、使いやすさも追求した。

2.2　海上用RFIDの構成内容

海上用RFIDタグは、GPSと3個の固有符号を固有符号を900MHz帯で送る送信機のみで構成する。構成を図1に示す。

3個の固有符号とは、

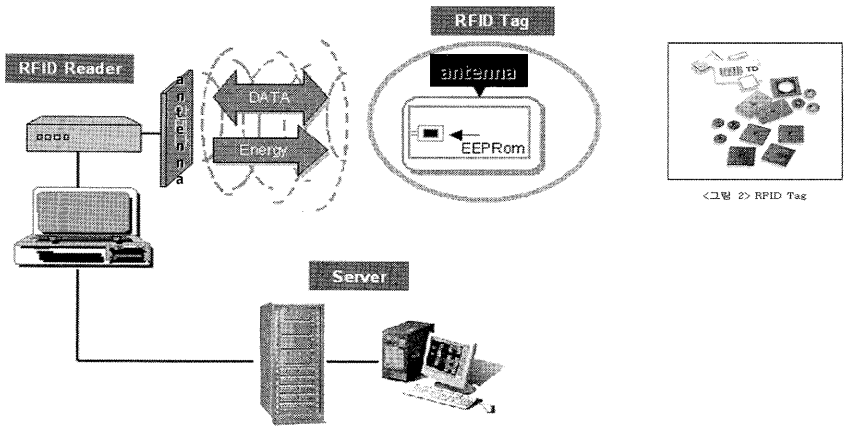
(1)　個々の海上用RFIDの固有番号

(2)　使用する帯域の固有番号

(3)　ユーザーの固有番号

である。

海洋警察庁の艦艇に設置されたリーダでは、タグを装着した船の登録内容と位置を知ることが出きる。また、リーダでは、海



<그림 2> RFID Tag

図1　900MHz帯RFIDを用いたシステムの詳細図

上用RFIDの信号を捕捉した後、識別符号（ID）と位置のデータを抽出して、ECDISに表示している。ECDISにレーダ映像と重畳することで、自国船の識別および捜索救助が容易に可能である。

2.3　受信機の構成内容

開発した海上用RFIDリーダとタグを図2に示す。リーダは、一種の基地局（Base Station）の役割をして、タグは、船舶の位置を求めるためのGPSボードと船舶の識別符号を内蔵したコンピュータユニットおよび無線伝送装置などを一体化させた。

送信機の内部の様子を図3に示す。GPSアンテナ（4インチサイズ、28dBi、パッチ・アンテナ）はこの送信機の右側に貼付されている。電波を円滑に受信できるようにプロトタイプ製作時のケースの上部に装着している。また、遠距離からの船舶識別のためにMMCXコネクタ型の1/2波長ダイポール・アンテナ（2 dBi、長さ約17cm）を使用している。

送信機の構成は、

(1)　無線送信機の部分
(2)　ID識別のためのID追跡ボード
(3)　GPS受信機

などで構成している。

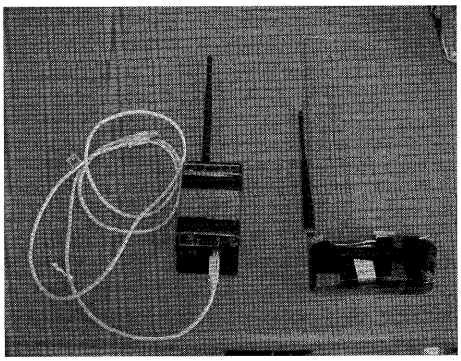


図2　海上用RFIDのリーダとタグ

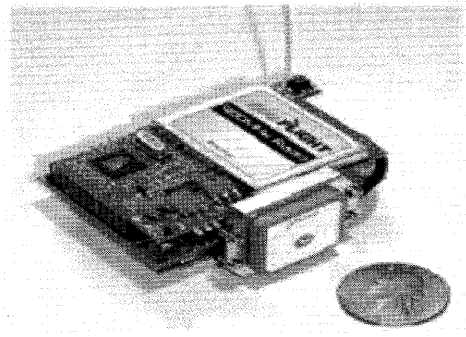


図3　送信機（25セント硬貨と比較した場合のサイズ）

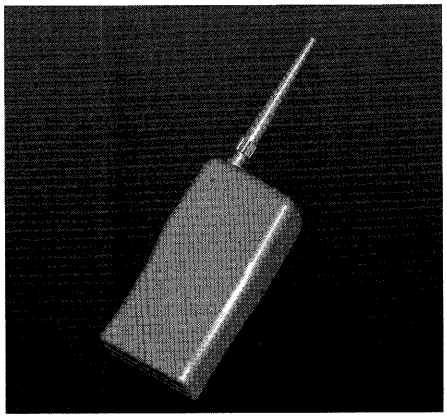


図2-1　海上用RFIDのリーダの模型

図4　リーダ

送信機は5～10マイルの検出距離で動作し、バッテリーは3日間程度は使用できるように送信出力を100mWに制限した。

消費電力は、

(1) 送信機本体：150mA（休止時には5mA）
(2) GPS：85mA
(3) IDの追跡ボード：10mA
(4) その他の周辺回路：0.1mA

などである。

したがって、最大消費電流は245.1mAであるが、8Ahのバッテリーを使用すると約72時間以上使用可能である。　送信時間をさらに短く調節すると、消費電力は大幅に減少されるのでバッテリーを1週間以上使用することもできる。

リーダはアルミケースに内蔵することで防水を維持し、USBポートを利用しているのでPCとの接続に個別の電源を必要としない利点がある。

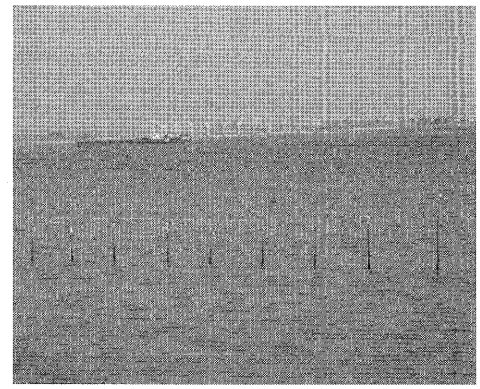


図5　モクポハン橋

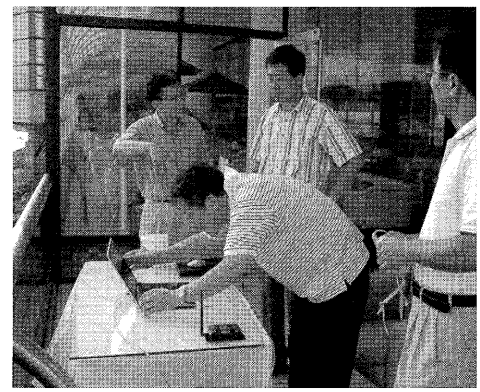


図6　受信機の取り付けの様子

3　実験

3.1　陸上実験

実験場所のモクポハン橋を図5に、陸上に設置されたリーダの取り付けの様子を図6に、ECDISに表示したタグの追跡結果を図7に示す。モクポハン近隣の建物と低い山、防波堤などの障害物があるにもかかわらず、実験の結果、検出距離4マイル以上まで検知できたが、この付近では4マイルほどしか視界の確保ができなかったため、これ以上の検出距離の検出実験は不可能であった。

始華湖周辺の実験結果を図8に示す。ここでの実験結果では、7から10マイルまで海上用RFIDが検出可能であることを確認した。始華湖では、防波堤に沿って測定したので海上とは異なり、測定環境が良好な状態であるため検出距離が増加したことが考えられる。

3.2　海上実験

釜山海洋警察署では、2隻の艦艇を使用して、海上用RFIDシステムの実験を行った。実験に使用した艦艇を図9に、リーダを装着した艦艇のARPA/Radarと電子海図を図10に、送信機の装備状況を図11に、リーダの装備状況を図12に示す。

実験の結果、送信出力100mWの900

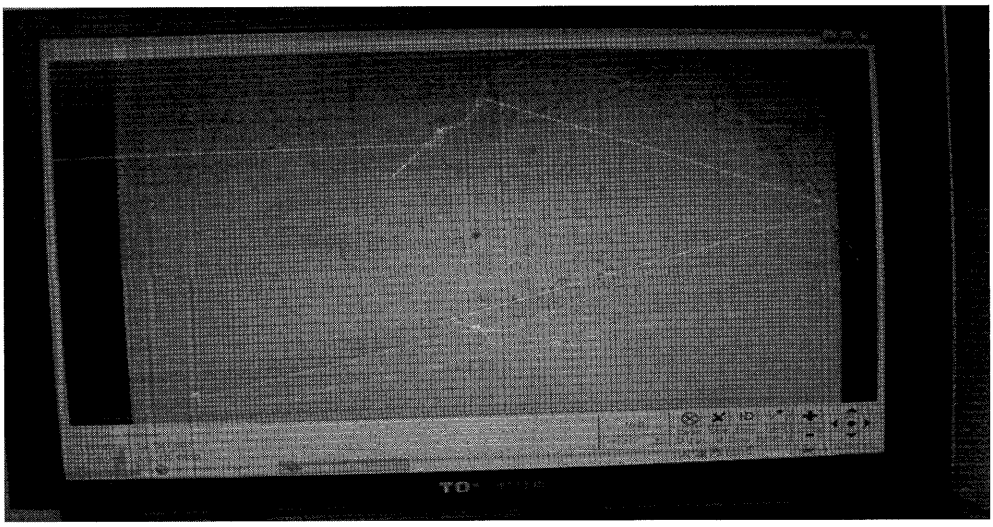


図7　ECDISでタグを追跡した結果

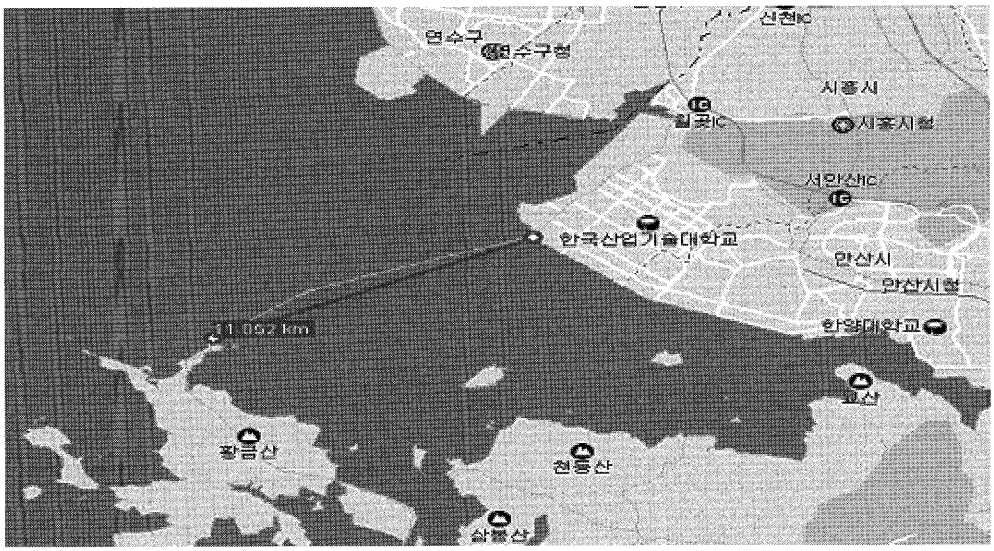


図8　始華湖の周辺地図と実験海域（防波堤区間）

MHz帯海上用RFIDは、6マイルまで検知された。理論上には7マイル以上検知可能だが、アンテナの高さや海上の状態によって、最大検出距離は変化する。今回の実験で、波が1～2メートルだったので、艦艇が大きく揺れ、アンテナは水面上約4メートル程度確保した状態だった。そのため、送信機とリーダのアンテナの高さをできるだけ高くする必要があることが分かった。しかし、アンテナの高さが低いとしても、少なくとも5マイル以上の検出距離は確保できることが確認された。

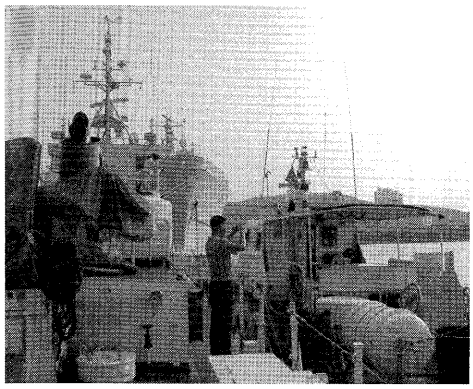


図９　実験に使用した艦艇

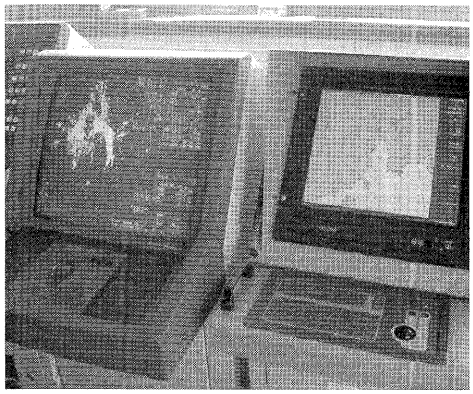


図10　ARPA/RadarとECDIS

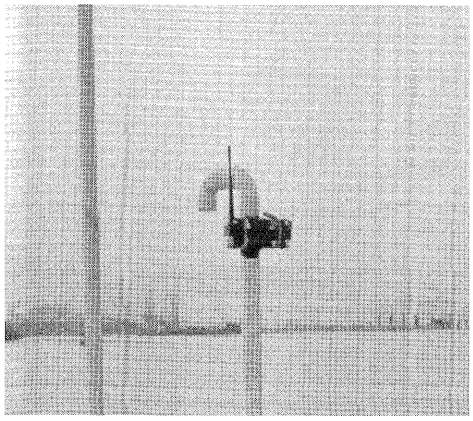


図11　送信機の装備状況

図12　リーダの装備状況

４　活用の実例

4.1　釜山APECのシナリオ

開発された900MHz帯海上RFIDを利用して、2005年に開催された釜山APEC（Asia-Pacific Economic Cooperation）イベント時の海上警備用に活用した構成図を図13および図14に示す。

海上警備用の構成は次のとおりである。

(1) APECの警備本部を中心に半径10マイルの周辺海域での行為のすべての船舶を統合監視するために、海上用RFIDとレーダとAISを利用

(2) 海上用RFIDは、AISを搭載していない中小型船や作業船に搭載

(3) APECの警備本部では、AIS情報と海上用RFIDの情報を同時に表示

(4) 陸上監視局2か所では、AISおよび海上用RFID受信機の装備状況の監視

(5) 警備艦艇（指揮艦）1隻では、レーダ、AIS、RFIDの信号を同時に収集、管理

(6) 警備艦艇（指揮艦）1隻 から取得したレーダ情報と海上用RFIDの情報

を無線データ伝送網（CDMA）を使用し、APECの本部及び釜山（プサン）海洋警察署へ送信

(7) 収集されたすべての情報をデータベース化し、重複検出される情報は除去して表示

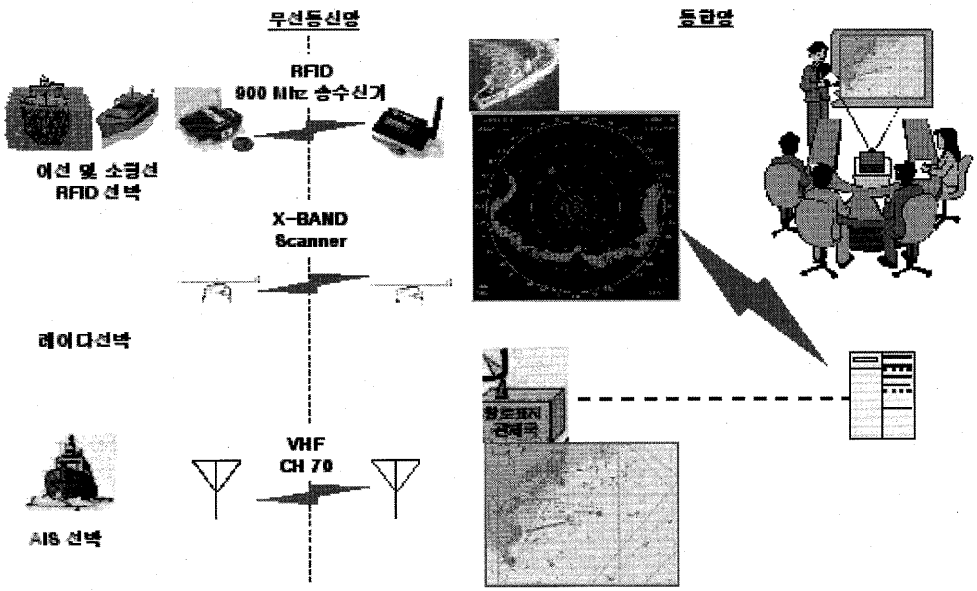


図13　海上用RFIDを利用した総合監視システムの構成図

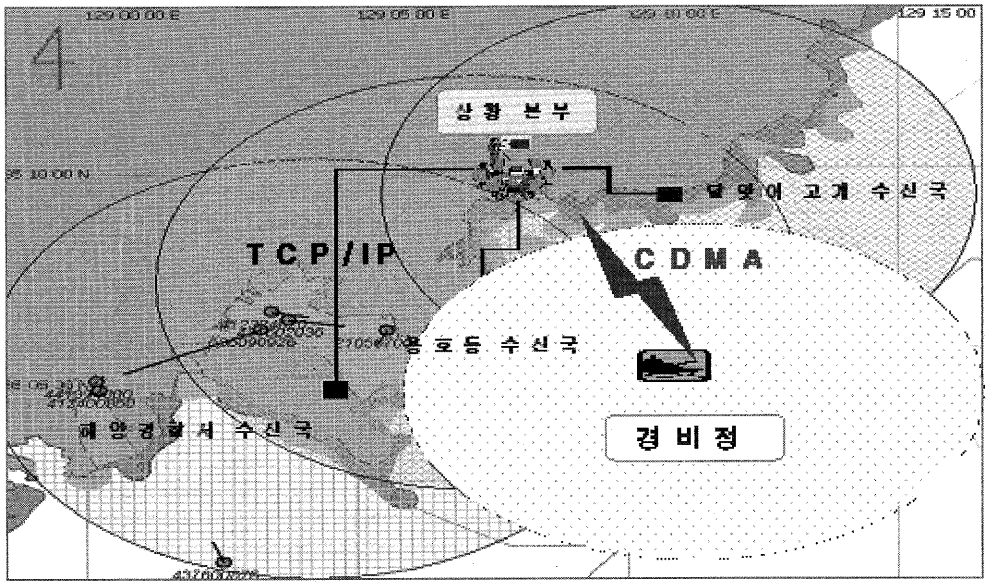


図14　総合監視システムの警備範囲とネットワーク構成の概念

上記のようなシステムを構築する場合は、陸上監視局では、海上でのレーダ探知情報はもちろん、AIS情報および海上用RFIDの情報を収集することで万全な監視態勢を維持することができる。

4.2 活用結果

(1) APECで活用したシステムのモニタ画面を図15に 示す。陸上監視局2ヶ所（海雲台、ヨンホ洞）および警備艦艇15隻の海上用RFIDの受信機の装備、運用の結果、各受信機の設置位置から半径5マイルの海域における未確認物体の監視が可能であった。

(2) 300個の海上用RFIDをヨンホハン、ガムチョンハン、ミンラクハンなどの各港で入出航する漁船に対して装備し、各漁船の固有データを登録した辞書検索システムを確立したことにより、海上の安全管理への有効性が証明された。

(3) 海上RFID情報、AIS情報およびレーダの情報を同時に表示することができるECDISにより、システム開発、システム、およびDB統合への情報資源の効率的管理が可能になった。

(4) 最新の技術を利用した海上警備システムの確立と、海洋産業の活性化を期待することができる。

5 まとめ

本研究では、最新の情報通信技術の海上への活用に関して、多くの分野に適用可能であることを確認できた。

今後、本研究の結果は、次のような業務への活用を期待している

(1) 漁船出入港届出および入港管理システムの改善

(2) 沿岸地域の未確認物体の識別に活用

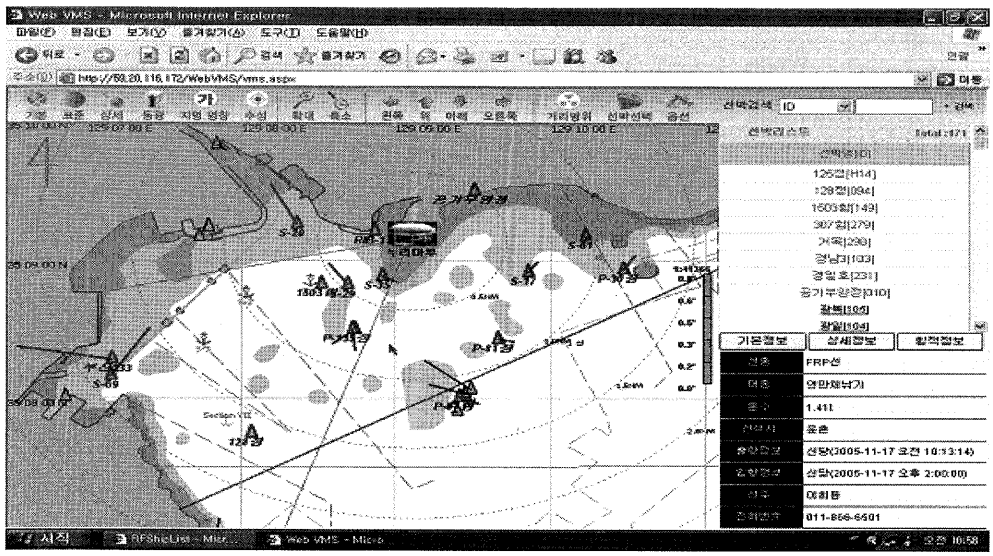


図15 APECで活用したシステムモニタ画面

(3) 遠隔での中国漁船の識別による自国漁船の保護および領海警備
(4) 救命胴衣用RFIDの開発による迅速な人命救助
(5) 養殖場の密漁防止、災害管理
(6) 海上テロや港湾のセキュリティなど
(7) 2006年から仁川（インチョン）、束草（ソクチョ）海洋警察署の管轄地域の漁船5000隻あまりに適用

今後は、RFID技術以外にもPDA、広帯域衛星通信システム、DMBなどを活用することが課題である。最近、活発に応用されている新技術を活用することで、効果的な領海の警備と管理ができると考えている。

東京海洋大学海洋工学部　先端ナビゲートシステムの紹介

東京海洋大学　海洋工学部
庄司るり

1　はじめに

現在の海上輸送は、環境問題、省エネルギー、物流輸送高速化、海賊対策や安全航行実現など、様々な問題を抱えており、船員のおかれている状況は厳しさを増しています。船員の負担軽減し、このような問題に対応するには、陸上からの支援が必要不可欠と考えられています。そのためには実海域における船舶の状態、大洋の気象・海象情報、海上交通流等の情報等を統合的に収集・管理するシステムの構築や、システムから得られた情報を解析・運用して的確な助言をすることが出来る人材の養成が急務となっています。このような状況に対応するため、船舶運航に関する広範囲な研究や新しい海事技術の開発、また次世代の研究者、海事技術者および運航管理者等の育成を目指して、東京海洋大学海洋工学部は、平成21年度に「先端ナビゲートシステム(Advanced Navigation System)」を構築しました。

本システムで収集・解析された情報を研究者間で共有することで、海事研究分野における横断的な研究の推進や研究の質の向上が期待できます。また、得られた知見や技術を船舶や社会へ提供することにより、新しい運航技術の開発への展開が図れると考えられます。さらに、本システムを教育・人材育成に活用することで、海事関連分野での革新的な研究・開発を行う研究者や次世代の運航管理者達の育成、また我が国の船員資質の差別化（日本人船員の資質の向上と他国船員を指導できるような人材養成）を図り、今後の「船舶運航科学技術」分野を担う新しい世代の高度海事技術者や研究者の養成に資すると期待できます。

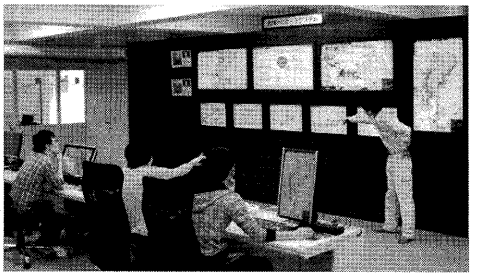


図1　先端ナビゲートシステムにより汐路丸の運航状態を確認する学生

表1　先端ナビゲートシステムの関連分野

関連する研究分野	開発が期待されるシステム
・船陸間高速大容量通信	・最適航路選定システム
・開発研究分野	・衝突・座礁回避システム
・船舶運航支援研究分野	・離着桟支援システム
・統計的運航管理分野	・海陸一貫物流情報システム
・推進性能・耐航性能研究分野	・遠隔診療支援システム　etc
・気象・海象予測システム開発分野	
・海上交通工学研究分野　etc	
関連する教育分野	
・船舶運航科学技術研究者教育	・次世代の船員養成
・運航支援技術者	・水先人養成教育
・海事関連産業高度技術者　etc	

図1は、先端ナビゲートシステムを使用して船舶の運航を確認している様子で、図の右側の縦型ディスプレイは、縦長の東京湾を見やすく表示しています。表1に、効

果が期待できる関連分野を示します。

以下に、このシステムについて紹介します。

2　システムの概要と構成

本システムは、船陸間通信に海洋ブロードバンド通信システムの利用をベースとし、通信管理、船舶情報管理、気象情報管理、データベース管理等の各種サーバーおよび各種情報表示ディスプレイ、船舶性能解析用計算機、気象予測・解析用計算機、海上交通流解析用計算機等により構成され、各種船舶情報の表示、船舶性能解析計算、気象予測・解析計算、海上交通流解析計算、データストレージ等の機能があります。

本システムの特徴として、船舶や陸上レーダー局（AIS局）からの情報、気象・海象情報や船体特性情報などのデータを大容量ストレージ上のGISデータベースにて管理し、船陸間の伝送路は衛星通信による海洋ブロードバンドシステムや無線LAN、インターネットなどに対応可能となっています。また、各種データの検索、編集、ダウンロード、アップロードができ、解析処理や予測演算にも利用することができます。そして、複数の大型モニタと中型モニタに各アプリケーション画面を表示し、海洋GIS（Geographic Information System）として、画像やデータの重畳機能を持っています。現況の表示のほか、過去の状況を再現表示できるプレイバック表示機能を有しており、過去の航海や海上交通状況の再現や変化把握を行うことができます。さらに、模擬ステーションへの情報提供により、船上や運用会社における支援業務内容のシミュレートや妥当性などの検証を行うことが可能です。また、モバイル端末での情報提供についても研究できる構成となっています。図2に、大学内設備の構成図を示します。

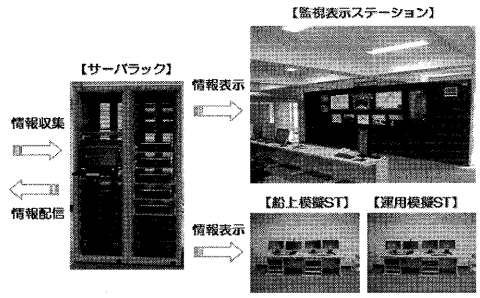


図2　大学内設備構成図

図3は先端ナビゲートシステムの情報の流れを示した図で、本システムで扱う情報には、(1) 東京湾レーダー画像情報、(2) 東京湾AIS情報、(3) 東京湾風向風速情報、(4) 東京湾Webカメラ情報、(5) 沿岸波浪数値予報モデル情報（CWM）、(6) 全球波浪数値予報モデル情報（GWM）、(7) 船舶航海情報、(8) 船舶機関情報、(9) 船舶レーダー情報、(10) 船舶Webカメラ情報、(11) 全球海図情報 等があります。

3　システムの特徴と表示画面例

前記の (1) ～ (4) として、横須賀、東扇島、浜金谷の3箇所に陸上基地局を設置していましたが、東京港出入り口付近の観測を行うために、現在、横須賀局のシステムを大田区の城南島に移設している最中です。図4に、3つの陸上基地局と各局からのレーダー観測範囲を示します。また図5は、東扇島局と浜金谷局のレーダーエコーに、(9) の船舶レーダー情報として、汐路丸のレーダーエコーを重畳した図です。

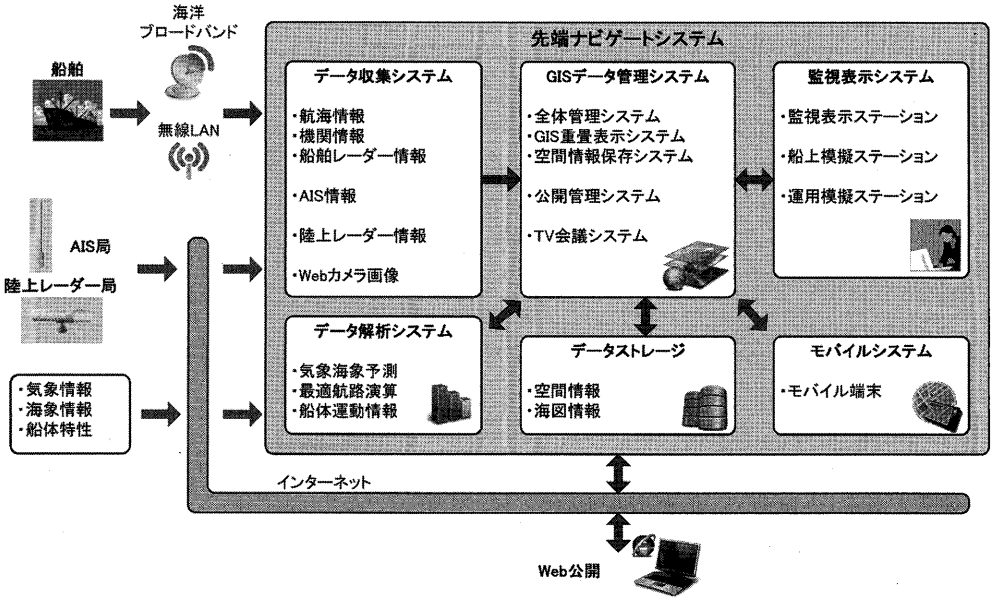


図3　先端ナビゲートシステムにおけるデータの流れ

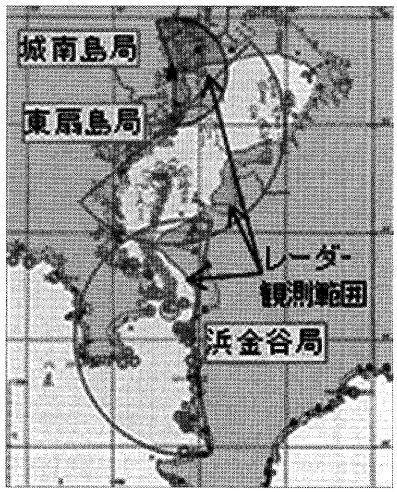


図4　東京湾の陸上基地局とレーダー観測範囲

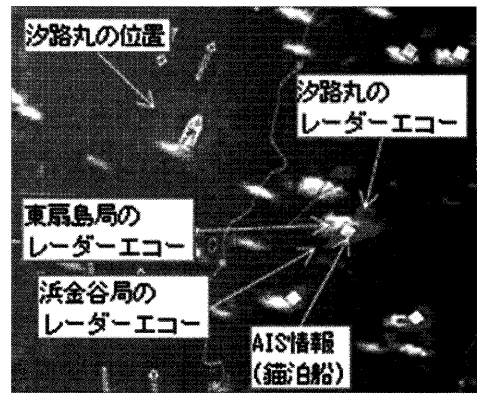


図5　陸上基地局（2局）と汐路丸のレーダーエコーおよびAIS情報の重畳画面

本システムは、研究者や学生等の利用者が容易に使用できるように、必要な情報を選択し、重畳表示や重畳の順番を入れ替えることが可能な「海洋GIS機能」を開発し、実装しています。図6は、海洋GIS機能により選択した、東京湾の南側付近の海図に、東扇島局、浜金谷局のレーダーエコーとAIS情報による船舶の位置（△は航行中、□は低速および錨泊中の船舶）、船舶リストと船名や船速等を表示するウィンドウ、風向・風速、波高・波向・波周期を重畳した図で、東京湾の現況を把握するこ

図6　海洋GIS表示画面例

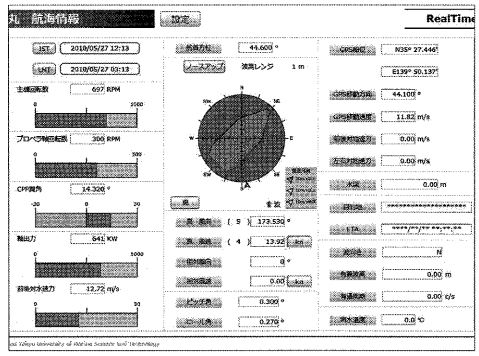


図7　汐路丸航海情報表示画面

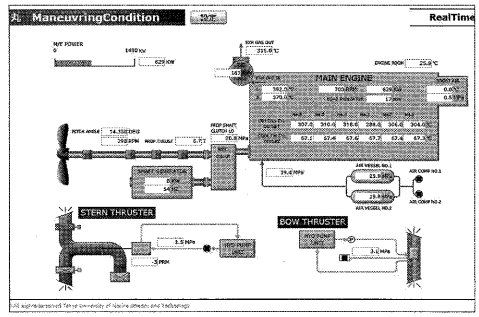


図8　汐路丸機関情報表示画面

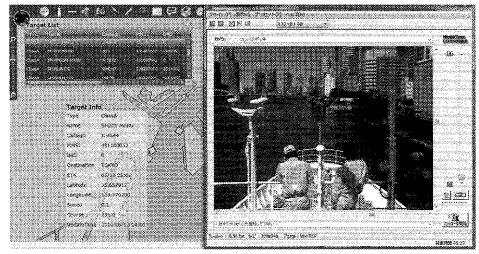


図9　汐路丸の位置とWebカメラの映像

とができます。

海洋GISの情報レイヤ重畳表示機能により、各情報間の関連や、解析などを視覚的に行うことができ、海事分野における情報の「見える化」の発展に寄与すると考えています。また、任意情報レイヤとして、外部で行った処理結果を取り込むことができ、研究者が解析・計算した結果を、システム内の情報と同様に扱い、利用することが可能です。

船舶の情報として、東京海洋大学練習船汐路丸の航海関連および機関関連情報を収集・伝送し、リアルタイム表示による動静把握や運航状況把握を行っています。図7に航海情報（汐路丸船内LANにて収集されるデータ)、図8に機関情報（ミミックデータ）の表示画面例を示します。

汐路丸は、フライングブリッジと船橋にWebカメラを設置しており、大学からの遠隔操作が可能となっています。図9左に航行中の汐路丸の位置とAIS情報を、右にフライングブリッジのカメラの映像を示します。このように、航海中の本船の周囲の状況を映像として確認できます。

図6の風・波の情報をはじめ、本システムで使用している気象・海象情報は、京都大学生存研究所が教育研究機関向けに提供している気象庁の数値予報GPV(Grid Point Value）を使用しています。本システムには、この気象・海象情報と推定した船舶の航海性能を使用する、船舶の最適航路計算（ウェザールーティング）機能を有しており、図10に等時間曲線法により計算した東京—北米間の最適航路と計算結果のグラフ表示およびテキスト表

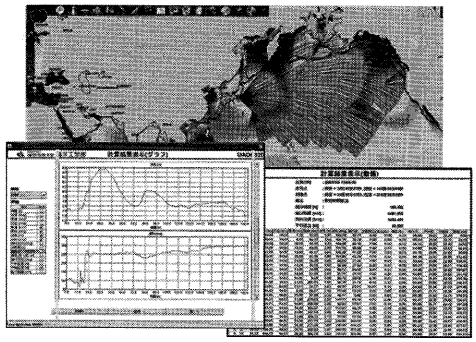


図10　ウェザールーティング（最適航路計算）例

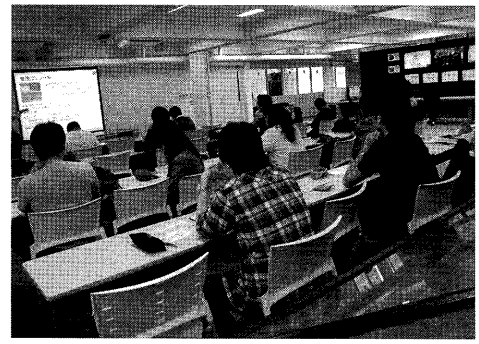


図11　先端ナビゲートシステムによる授業風景

示画面を示します。

この他、気象・海象情報表示、船舶情報の時系列表示、表示画面制御、ファイル管理、ユーザ管理、Web会議等の機能等を有しています。

各施設間は、大学設置のサーバーを中心とし、航海中の汐路丸とは衛星回線（海洋ブロードバンド）、各陸上基地局と着岸中の汐路丸とは公衆回線によるインターネット網にて接続し、VPN（Virtual Private Network）を構築しています。大学内では、専用のイントラネットにて構築しています。

4　システムの発展

先端ナビゲートシステムによる各種情報の統合的管理・解析等により、他では類を見ない実践的な教育・研究を行い、海事関連分野へのさらなる貢献を目指しています。また、表1に示したような関連分野における教育・研究・開発を推進し、その成果を本システムにフィードバックすることにより、システムを成長させ、有機的に発展させられるように、設計段階から拡張性の高いシステムの構築を目指してきました。現在の先端ナビゲートシステムは、「成長するシステム」の第1段階であると考えています。

図11は本システムについての授業風景ですが、今後は本システムで学んだ学生達が船舶職員、運航管理者、海事技術者や研究者として、次の世代を担っていくことになります。船を取り巻く海事社会への貢献や海事技術のさらなる発展への寄与を期待しています。

今後は、利用する情報や関係する船舶を増やし、海上交通流解析や船舶性能解析に関するこれまでの研究成果をシステムに組み込んでいくことで、第2段階へと進んでいく予定です。

最後に、縦長の東京湾の現況を縦型モニタに表示した画面を、図12に示します。

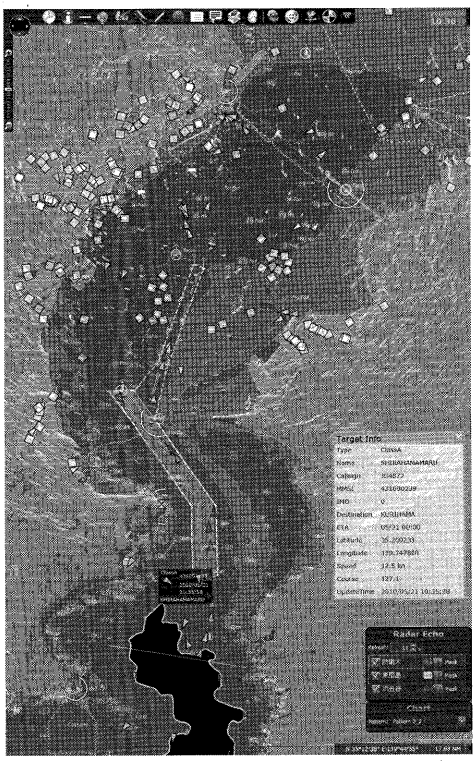


図12　東京湾の現況表示

特別研究会　高エネルギー加速器研究機構及び産業技術総合研究所の紹介

電波航法研究会　事務局

1　はじめに

平成22年11月19日に、電波航法研究会の特別研究会を実施した。本年は、16名が茨城県つくば市にある大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構（午前）及び独立産業法人産業技術総合研究所（午後）を見学した。

2　高エネルギー加速器研究機構

2.1　高エネルギー加速器研究機構の紹介

高エネルギー加速器研究機構（KEK：Kou Enerugi kasokuki Kenkyuu kikou）は、最先端の大型加速器を用いて、宇宙の起源、物質や生命の根源を研究している。KEKは、1955年に東京大学原子核研究所として設立し、2004年に大学共同利用機関法人として発足した。KEKでは、毎年、国内外から約5千人の研究者が訪れ、放射光源加速器（PFリング及びPF-AR）、電子・陽電子衝突型加速器（KEKB）、電子･陽電子線形加速器等を用いて、物理学、化学、生物学、工学、農学、医学、薬学等の幅広い分野の研究を行っている。これらの研究成果は、新材料の開発、新薬の開発、医療への利用等、様々な分野に応用される。

本文では、今回見学した放射光源加速器（PFリング）及び電子・陽電子衝突型加速器（KEKB）について紹介する。

2.2.1　放射光源加速器（PFリング）の紹介

放射光科学研究施設（PF：Photon Factory）の放射光源加速器（PFリング）は、1982年に完成し、X線領域の放射光が利用可能な世界初の本格的専用光源である。放射光とは、高エネルギーの電子が磁場の中を運動するときに発生する電磁波のことである。PFリングは、周長187mの楕円形の加速器で、その中に電子を入れて加速させることで、電子から放出される放射光を測定している。電子の速度によって放出される放射光は異なっている。

見学時、PFでは、加速器から発生する波長の短い（エネルギーの高い）放射光を使って、物質や生命がどのような原子の並びで成り立っているか、どのように電子が運動しているのか等、物質や生命のしくみについての研究が行われていた。

2.2.2　電子･陽電子衝突型加速器（KEKB）の紹介

電子･陽電子衝突型加速器（KEKB）は、1973年に小林誠氏と益川敏英氏が提唱した「クォークが6種類存在すれば、それらの遷移を通じてCP対称性の破れが自然に説明できる」という理論（小林・益川理論）を検証するために設計された衝突型加速器である。クォークとは、陽子や

中性子を形成する最小の素粒子のことで、CP対称性の破れとは、粒子と反粒子の性質に違いがあることを意味する。なお、反粒子とは、質量が同じで反対の電荷を持つ粒子のことである。

KEKBは、地下約11mに掘られた一周約3kmのトンネルの中に、電子用及び陽電子用の二つのリングが並んで設置されている。それぞれのリングの中を電子ビームと陽電子ビームが光速に近い速度で逆方向に走っており、リングが交わる1点で衝突するように設計されている。別々のリングに注入した電子と陽電子を衝突させることで、B中間子と反B中間子が生成される。中間子とは、クォーク1つと反クォーク1つから成る粒子のことである。

生成されたB中間子と反B中間子は、7種類の検出器から成るBelle測定器で測定される。表1に7種類の検出器の種類と測定項目を、図1にBelle測定器を示す。

表1　Belle測定器で使用される検出器

検出器	測　定
超伝導ソレノイド電磁石	粒子の運動量
超前後方カロリーメーター	ビームの衝突する頻度
電磁カロリーメーター	光子や電子のエネルギー
飛行時間カウンター	粒子の速度
シリコンバーテックス検出器	B中間子の壊れた位置
シリカエアロジェルチェレンコフカウンター	π中間子とK中間子
ミュー粒子K_L^O中間子検出器	ミュー粒子とK_L^O中間子

KEKでは、1999年6月から2010年6月の間、KEKBを用いた観測実験が行われ、2001年にB中間子と反B中間子の崩壊に時間差（$1/1 \times 10^{12}$秒）が生じることを発見した。この発見により、小林・益川理論によるCP対称性の破れの説明が正しいことが明らかになり、2008年、小林

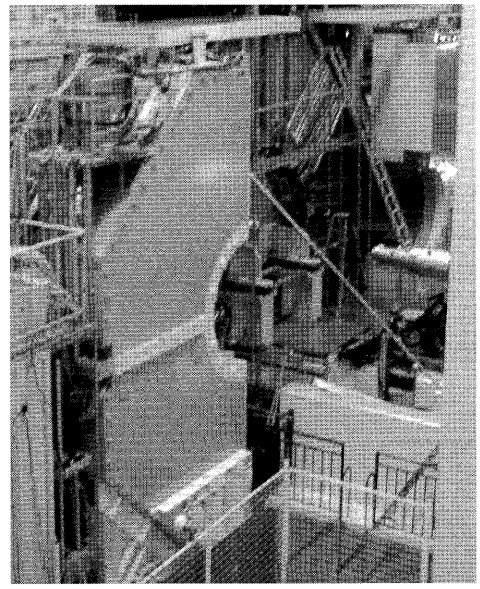


図1　Belle測定器

氏、益川氏のノーベル物理学賞受賞へと繋がった。

KEKBは、更なる精度の向上を図るため、2010年6月に一旦運転を停止し、3年後の運用を目指し、高度化が進められている。

施設見学では、運用中のKEKBを見ることはできなかったが、高度化に向けた改修工事中であったため、リングが取り外され、扉が開いたBelle測定器の全体を見ることができた。

3　産業技術総合研究所

3.1　産業技術総合研究所の紹介

産業技術総合研究所（AIST:National Institute of Advanced Industrial Science and Technology）は、旧通商産業省工業技術院の15ヶ所の研究所と計量教習所が統合・再編され、2001年に設立された。AISTは、日本の産業を支える環境・エネ

ルギー、ライフサイエンス、情報通信・エレクトロニクス、ナノテクノロジー・材料・製造、標準・計測、地質の6分野の研究を行う公的な研究機関である。本部を東京及びつくばに置き、つくばセンターを除く全国8ヶ所にそれぞれ特徴のある研究を重点的に行う地域センターがある。表2に地域センターを示す。

表2　地域センター

センター名	研究内容
北海道センター	密閉型組換え植物生産システム等を利用したバイオプロセス技術
東北センター	低環境負荷化学プロセス技術
臨界副都心センター	バイオ・IT 融合技術
中部センター	先進製造プロセス技術
関西センター	蓄電池の材料開発、再生医療支援技術の開発
中国センター	木質系バイオマスエネルギーの技術開発
四国センター	バイオマーカーを用いた健康光学技術
九州センター	生産計測技術、水素エネルギーの技術開発

本文では、今回見学したつくばセンターにある標準・計測分野の計測標準研究部門及び電磁界標準研究室について紹介する。

3.1.2　計測標準研究部門の紹介

計測標準研究部門は、計測の基準（計量標準）を作り出すための研究及び技術開発を行い、計量標準を社会や産業界に供給している。計量標準は、長さ（m）、質量（kg）、時間（s）、電圧（V）、温度（K）、高度（cd）、物質量（mol）の7つの基本量が基礎となっている。これらの7つの量を基礎単位といい、電力（W）や速度（m/s^2）や照度（lx）等は、基礎単位の結合によって定義される。計測標準研究部門で作り出された計量標準が、国内の計測の標準となる。

また、日本の計量標準を諸外国の標準と同等にするため、日本の計量標準を国際的に統一する必要がある。そこで、国際度量衡委員会（CIPM：Comité International des Poids et Mesures）で各国の計量標準の同等性を確認するための国際基幹比較を1999年から実施している。

3.1.3　電磁界標準研究室の紹介

計測標準研究部門の中にある電磁界標準研究室では、電磁界精密測定技術の開発と電磁界計測に用いられるアンテナ標準の校正を行っている。

見学では、10 MHzから110 GHzの周波数範囲における高周波電力標準及び30MHz以下のループアンテナ標準の校正について説明を受けた。

高周波電力標準の校正には、図2に示すカロリーメーターを用いている。

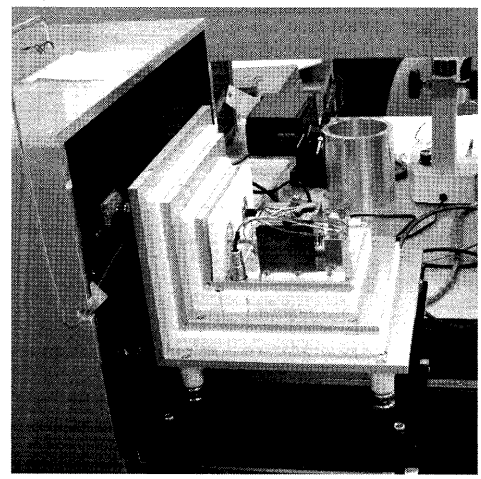


図2　高周波電力標準校正で使用されるカロリーメーター

カロリーメーターとは、熱量を介して直流電力と比較することで、高周波電力の精密な測定ができる。カロリーメーターの大きさは、拳大程度で、3重のジャケットと呼ばれるカバーで覆われている。また、原子とマイクロ波との相互作用を利用した次世代型電力標準の研究も行われている。

ループアンテナ標準の校正には、3アンテナ法を採用している。3アンテナ法とは、3本のループアンテナのうち2本を用いて、異なる3通りの組み合わせでアンテナ間の伝送特性をそれぞれ測定するものであり、3回の測定結果から3本のループアンテナの磁界アンテナ係数を算出する方法である。他の校正方法として、基準アンテナ法や送信基準アンテナ法が挙げられる。これらの校正方法は、3アンテナ法より比較的簡単な測定方法であるが、校正精度が3アンテナ法より劣っているため、校正精度を3アンテナ法の精度と同等若しくはそれ以上にするための研究が行われていた。

4　おわりに

今回の特別研究会は、高エネルギー加速器研究機構及び産業技術総合研究所の最新の研究について見学させていただいた。また、施設見学後には、両施設の常設展示施設も見学させていただき、非常に有意義な特別研究会であった。

最後に、今回の見学の手配・説明等してくださいました高エネルギー加速器研究機構及び産業技術総合研究所の皆様に心より御礼を申し上げます。

高エネルギー加速器研究機構

・所在地

〒305-0801

茨城県つくば市大穂1-1

・ホームページ

http://www.kek.jp

・常設展示施設の見学

午前9:30～午後4:30

※施設見学について事前の申込が必要です

産業技術総合研究所

・所在地

〒305-8568

茨城県つくば市梅園1-1-1

・ホームページ

http://www.aist.go.jp

・常設展示施設の見学

午前9:30 ～午後5:00

※施設見学について事前の申込が必要です

電波航法研究会　平成22年度事業報告
Record of work carried out by the Japanese Committee for Radio Aids to Navigation in fiscal 2010

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

総会

平成22年度総会は、平成22年5月24日14時から国立大学法人東京海洋大学越中島キャンパス越中島会館で開催された。会員総数91名のうち、出席者10名、委任状提出者44名の計54名であり規約第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21年度事業報告が事務局により行われた。
2．平成21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21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22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22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22年5月24日、国立大学法人東京海洋大学越中島キャンパス越中島会館で総会に引き続き開催され、海上保安庁交通部整備課長 高橋敏男氏から「航路標識の現状と展望」、同交通部安全システム開発室 主任安全システム開発技術官 野口英毅氏から「第17回IALA総会について」及び、株式会社昭電 技術開発部長 柳川俊一氏から「雷害とその対策」と題する講演が行われた。出席者は35名であった。

2．第2回研究会は、平成22年8月27日、国立大学法人東京海洋大学越中島キャンパス第1実験棟で開催され、テーマを「電子タグ」及び「先端ナビゲートシステム」とし、株式会社MTI 技術戦略グループ 物流ソリューションユニットSTO 栗本繁氏から「RFID物流応用の現状と今後」、東京海洋大学 具滋永氏から「RF-IDを応用した海上安全管理」及び、東京海洋大学 庄司るり氏から「先端ナビゲートシステムの概要」と題する講演が行われた。講演後は、東京海洋大学海洋工学部が構築した先端ナビゲートシステムの見学が行われた。出席者は35名であった。

3．第3回研究会は、平成23年2月4日、国立大学法人東京海洋大学越中島キャンパス越中島会館で開催され、テーマを「交通運行支援」及び「電子海図」とし、海上保安庁交通部整備課安全システム開発室主任安全システム技術官 野口英毅氏から「Vessel Traffic Management」、電子航法研究所 長岡栄氏より「航空交通管理（ATM）について」、日本水路協会 菊池眞一氏より「電子海図基準（S-101）の開発状況」、及び海上保安庁海洋情報部技術国際課海洋研究室主任研究官 小森達雄氏から「電子海図（ENC）の国際動向について」と題する講演が行われた。出席者は37名であった。

特別研究会（見学会）

平成22年11月19日に茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構及び産業技術総合研究所を見学し、高エネルギー加速器研究機構では加速器等の説明を受け、産業技術総合研究所では機器の計測・校正等の説明を受けた。参加者は16名であった。

幹事会

幹事会は、平成22年4月19日、5月24日、8月27日、平成23年2月4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52号を発行した。

ホームページで、研究会資料の掲載を行った。

会員数

平成23年3月1日現在

正会員	25名　47口
個人会員	13名
（13名のうち年会員8名、終身会員5名）	
推薦会員	18名
特別会員	37名
計	93名

会員の異動

入会　正会員　日本水路図誌株式会社
入会　個　人　石倉　歩
除名　正会員　測位衛星技術株式会社

電波航法 ——— ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

平成23年3月18日　印　刷　2010
平成23年3月25日　発　行　No.52

編集・発行　電 波 航 法 研 究 会
Japanese Commitee for Radio Aids to Navigation

印　刷　東京都千代田区外神田6－3－3
日本印刷株式会社

GEAR UP! MOL

生活必需品から工業製品まで、毎日の暮らしに必要なさまざまな物資。その供給のほとんどをコンテナ輸送が担っています。その責任を胸に私たち商船三井は、世界の成長市場へさらに積極的に展開し、最高品質の輸送サービスを提供してまいります。それは、新たなる成長への挑戦。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

ワイド画面に、
数々の先進テクノロジーを凝縮。

高性能・多機能　カラー液晶レーダー

MDC-2900シリーズ / 2900Pシリーズ

MDC-2900Pシリーズ
（国土交通省型式承認適合機）

MDC-2900シリーズ

◎19インチ大型液晶、画面精細度はSGXAで鮮明な画像を提供
◎レンジを切り替えても航跡（トレイル）が消えずに表示
◎ボリューム1つの操作で最適な映像に調整できるCFAR機能搭載
◎自動海面反射除去機能
◎ATAターゲット数60、AISターゲット数254
◎地図重畳表示・等深線表示（MDC-2900シリーズのみ）

KODEN 株式会社光電製作所

www.koden-electronics.co.jp
［詳細・価格等は各営業所へお問い合わせください］

● 国内営業部/関東営業所 〒146-0095 東京都大田区多摩川2-13-24 Tel:03-3756-6508 Fax:03-3756-6831
● 北海道営業所 Tel: 0134-54-0303 ● 関西営業所 Tel:078-946-1466 ● 高知営業所 Tel:088-884-4277 ● 九州営業所 Tel:092-865-4131

航路標識のエキスパート"JANA"

安全で美しい海を

財団法人日本航路標識協会

"JANA" Japan Aids to Navigation Association

積み重ねた経験と
最先端の技術を結集。

新IMO性能基準に完全適合

世界の海に
世界の船に

ARPA付船舶用レーダー

JMA-9100シリーズ

JRC 日本無線株式會社

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

海上機器営業部 〒167-8540 東京都杉並区荻窪4-30-16 藤澤ビル
電話(03)6832-1807(ダイヤルイン)　ファックス(03)6832-1844

平成二十三年三月十八日印刷
平成二十三年三月二十五日発行

電波航法

電波航法研究会　発行