

鋼船における無線LAN(Wi-Fi) 機器利用のための基礎調査 —電界強度分布測定—

村山 雅己*・山岸 史典*

A fundamental survey on Wireless LAN (Wi-Fi) equipments in steel vessels -Measurement of electric field strength distribution-

Masaki MURAYAMA and Fuminori YAMAGISHI

Abstract

We conducted the experiment measuring the electric field strength and communicating by VoIP(Voice over Internet Protocol) system with wireless LAN(Wi-Fi) in the steel vessel of 10,000 gross ton. The IEEE802.11b access points (2.4 GHz) were used in this study.

The measured electric field strength was higher than that calculated assuming free-space propagation in the vehicle deck (164m×27m) space of the steel vessel, because of the influence of the reflected wave etc.

Communication by a wireless IP phone was possible everywhere in the vehicle deck using one access point.

In the case of the SUNFLOWER (10,000-ton class RORO vessel), if 4 access points are set up on every floor, the electric field is strong enough for communication with a wireless IP phone. Each of four access points was installed on both sides of the prow and stern areas.

Interference and noise were not observed in the 2.4 GHz band on the voyage in the bridge.

Keywords : Shipbuilding equipment, Wireless LAN with steel vessel, VoIP, Electric field strength distribution

キーワード: 造船ぎ装、鋼船における無線LAN、VoIP、電界強度分布

1. はじめに

船舶における今後の情報伝達システムは、船内LANをベースとして「ユビキタスセンサーネットワーク技術」により、一元化されることが想定される。船舶における情報伝達システムが船内LANをベースとした場合における大きな利点は、アクセスポイントを利用することによる無線LAN(Wi-Fi)端末が使用できることにある。これにより、ノートパソコンなど移動可能なパソコンが使用できるほか情報伝達に重要なIP無線電話なども使用可能となる。しかしながら、無線LANに使用される汎用のアクセスポイントは空中線電力10mW/MHz以下であること、電波シールド空間と想定される鋼構造船舶内でのマルチパスによるフェージング、ノイズの問題など、

航行中においても安定して使用できるかどうかの検討例は少ない。

本調査研究では、1万トンクラスのRORO船舶において、市販汎用の2.4GHzアクセスポイントを用い、車両甲板、客室居住区、船橋における電界強度測定及び無線IP電話による音声通信実験を行い、船舶の緊急時においても安定して使用できる無線LAN(Wi-Fi)アクセスポイントの設置について検討した。さらに、航海計器の集中する船橋においては航行中における2.4GHz帯域の電波干渉についての調査も行った。

2. 無線LAN(Wi-Fi)アクセスポイント 2.1 アクセスポイント規格の種類と仕様

* 正会員 社団法人日本船舶品質管理協会製品安全評価センター (〒189-0024 東京都東村山市富士見町1-5-12) murayama@rime.jp

無線 LAN には様々な方式があるが、IEEE (米国電気電子学会)により策定され1997年に規格統一された IEEE802.11 シリーズが一般的である。Table 1 に IEEE802.11 の種類を示す。

本報における実験では、5GHz 帯のアクセスポイントは気象レーダーとの干渉が懸念されることから 2.4GHz 帯のアクセスポイントを選定し IEEE 802.11b 規格でを使用した。Table 2 に日本における IEEE 802.11b 規格の技術仕様を示す。

Table 1 Type of IEEE802.11

Specification	Specified in	Frequency	Nominal Transfer Speed	Japanese radio license requirement
IEEE 802.11	1997	2.4~2.5GHz	2Mbps	License free
IEEE 802.11b	Oct. 1999	2.4~2.5GHz	11Mbps/2Mbps	License free
IEEE 802.11a	Oct. 1999	5.15~5.35GHz 5.47~5.725GHz	Max 54Mbps	5.15 ~ 5.35 GHz : License free (indoor-use only) 5.47 ~ 5.725 GHz : License free (indoor or outdoor)
IEEE 802.11g	June 2003	2.4~2.5GHz	54Mbps	License free
IEEE 802.11j	--	4.9~5.0 GHz, 5.03~5.091 GHz	54Mbps	License free (indoor-use only)

※refer to Wikipedia(<http://ja.wikipedia.org>)

Table 2 Technical specification of IEEE802.11b

frequency	2,400MHz~2,483.5MHz	2,471MHz~2,497MHz
communication method	simplex, half-duplex or full-duplex	Simplex, half-duplex or full-duplex using spread spectrum
Antenna Power	< 10mW/MHz (< 3mW/MHz: FH, FH+DS, FH+OFDM using 2,427 MHz~2,470.75 MHz, < 10mW: other than OFDM or spread spectrum	< 10mW/MHz

2.2 アクセスポイント伝搬損失の検討

自由空間における伝送利得 G は送信電力 P_t と受信電力 P_r の比として次式で表わされる。

$$G = \frac{P_r}{P_t} = \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 G_t G_r \quad (1)$$

ここで、 d は送受信アンテナ間距離、 G_t 、 G_r は、送受信アンテナおよび受信アンテナの電力利得、 λ は波

長である。自由空間電波伝搬は距離の2乗、波長の-2乗に比例して減衰するが、実際にはマルチパス・シャドウイングと共に、波形には位相のずれが、電波にはノイズが生じる。鋼船舶のように電波シールド空間の場合は、電波反射による複数経路からの電波を受信し干渉などによるフェージングの影響が想定される。

自由空間、屋外環境における伝搬損失の推定は、2波モデルなり10波モデルなどレイトレーシング技法等によってモデル化されているが、船舶内など屋内環境の伝搬損失の場合は、壁や床の材質、部屋、廊下、窓、開空間の配置、障害物の位置や材質、各部屋の広さ、建物の階数(フロア数)によって大きく異なる。そのため、正確な一般化モデルとしての適用は困難である。しかしながら、材料別の典型的なパーティション損失は文献⁽¹⁾があり、Table 3 に示す。なお、文献⁽¹⁾に各 Partition 厚さの記載はない。また、実測による特徴的な知見として、フロア毎の減衰は隣接フロア間がもっとも大きいことも知られており⁽¹⁾、これは、後述する実験においても確認した。

Table 3 Partition loss of typical materials

Type of partition	Partition loss (dB)
cloth upholstery	1.4
plasterboard	3.4
foil insulation	3.9
concrete	13
aluminum bulkhead	20.4
all metal	26

船舶における伝搬損失は、種々の実測、解析等で得られる経路損失モデル $P_L(d)$ の dB 値に加えて、信号が i 階のフロアを通り抜ける際の減衰係数 FAF_i 、および信号が通り抜けるパーティション当たりの減衰係数 PAF_i を加えて次式で表わされると考える。⁽¹⁾

$$P_r [dBm] = P_t [dBm] - P_L(d) - \sum_{i=1}^{N_f} FAF_i - \sum_{i=1}^{N_p} PAF_i \quad (2)$$

ここで、 N_f 、 N_p は、信号が通り抜けるフロア数、パーティション数である。本調査研究においては(2)式における各項目における測定は行っていないが、今後の課題としたい。

3. 実船実験概要

社団法人日本船舶品質管理協会の平成19年度及び平成20年度事業において、「ICタグ、船内LAN

等の活用に関する基礎的な調査研究」が実施され、航海計器を含むセンサーネットワーク等の検討とともに、緊急時における情報伝達システムの構築が検討された。当該事業において、無線 IP 電話の重要性が確認され、同時に使用される無線アクセスポイントの安定性と設置方法の確認のために実船における実験が計画され、大洗港－苫小牧港を往復する商船三井フェリーの「さんふらわあふらの（総トン数 13,539 トン）」にて本実験を実施した。「さんふらわあふらの」の大きさは全長 192m、全幅 27m である。

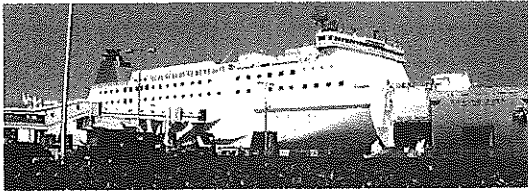
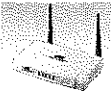

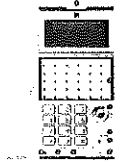



Fig.1 SUNFLOWER Ferry

Table 4 Equipments and software used in the experiment

(1) Wi-Fi Access Point Allied Telesis K.K. CentreCOM WR540APS	
(2) Wi-Fi IP Phone Hitachi Cable, Ltd. (Wireless IP 3000)	
(3) Wired IP Phone SAXA, Inc. (IP NetPhone SX)	
(4) VoIP Server Hitachi Cable, Ltd. AquaVocal	
(5) Spectrum Analyzer ADVANTEST Corporation R3265 Frequency Range:100Hz~8GHz	
(6) Double Ridge Horn Antenna ADVANTEST Corporation TR17206 1GHz~18GHz、Impedense:50Ω	
(7) Signal Intensity Visualizing Software Ekahau Site Survey、(installed on a PC (OS: Windows XP))	
(8) Asterisk Server Digium, Inc. A open-source IP Phone server (installed on a PC (OS: Windows XP))	

3.1 実験方法

車両甲板（オレンジデッキ）、客室居住区（Cデッキ、Bデッキ）及び船橋において、市販のアクセスポイントを使用し、電界強度の測定と無線 IP 電話による通話可能範囲の確認実験を行った。さらに、船橋においては、スペクトラムアナライザにより 2.4GHz 帯域付近に干渉する電波、ノイズが存在するかどうか航行中に測定を行った。

実験に使用した主要な機器・ソフトウェア類を Table 4 に示す。

4. 実験結果と考察

4.1 車両甲板

車両甲板における実験は、「さんふらわあふらの」が大洗港に着岸しており、車両甲板（オレンジデッキ）に車両が入る前に実施した。

アクセスポイントは右舷側にある C デッキからの階段室隔壁、車両甲板側の中央付近に高さ約 2.5m 壁からの距離約 0.2m に 1 台のみ設置した。車両甲板における測定の様子を Fig.2 に示す。スペクトラムアナライザによる電界強度の測定は、Fig.3 における丸点において行った。

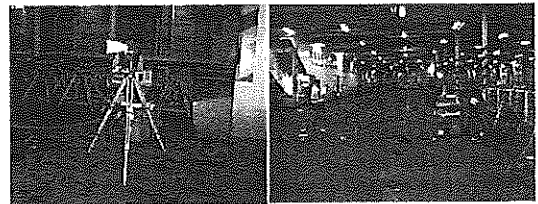


Fig.2 The vehicle deck

Fig.3 の丸点において測定した電界強度と距離の関係および極小ダイポールアンテナの絶対利得を 1.64 と想定して計算した電界強度を Fig.4 に示す。

スペクトラムアナライザによる電界強度測定値は、瞬時値変動が多くあり、壁面からの反射波による多重波伝搬の影響と考えられる。Fig.4 においても電界強度測定値は、自由空間伝搬損失計算値よりもすべて上にあることから反射波の影響が大きいと考えられる⁽³⁾⁽⁴⁾。

反射波等によるフェージングの影響が、音声通信にどの程度影響するのかわかる無線 IP 電話機による通話確認実験を行った結果、車両甲板内（約 160m × 27m）において、エレベータ設備などによるシャドウイング効果がある部分を除けば、アクセスポイント 1 台のみで全域において通話が可能であった。

追加の実験として、車両甲板にトレーラー等の車

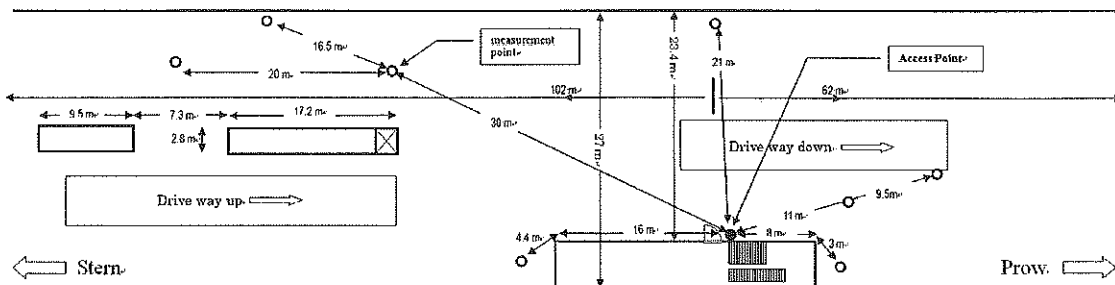


Fig.3 Positions of the field strength measurement in vehicle deck

両を積載した状態で、通話試験のみを行ったが、通信は車両によって遮られることなく広範囲で可能であった。

ラムアナライザでの測定と同様であり、電界強度分布は、反射による干渉と想定されるまだら模様となっている様子が確認された。なお、白黒の線記号は、測定用パソコンを携帯して歩いたラインであり、空白部分は未測定領域ある。

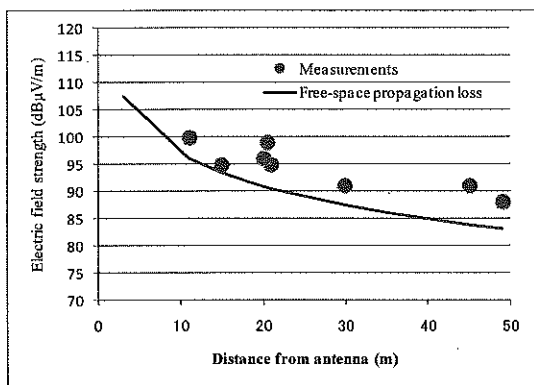


Fig.4 Propagation loss in the vehicle deck

Ekahau Site Survey による電界強度 2 次元表示測定を車両甲板で行った結果を Fig.5 に示す。

4.2 客室居住区(C デッキ及び B デッキ)

客室居住区である C デッキ、B デッキの測定は、Ekahau Site Survey による測定を航行中に実施した。車両甲板と相違してパーティションが存在することから、その影響が大きいと想定し、アクセスポイントは室内と廊下(通路)の 2 通りに設置して実験を行った。なお、左舷室内のアクセスポイントは、高さ約 0.5m の机上、壁より約 1.0m に設置し、右舷廊下のアクセスポイントは床上、壁より約 0.2m 離して設置した。

Ekahau Site Survey によるパソコンでの電界強度表示は、色別に 0dBm から -100dBm まで表示される。Fig.5 においてはグレースケールで表示してあるが、すべての測定範囲で -40dBm から -70dBm であった。無線 IP 電話機による通話限界の電界強度は約 -70dBm である。この結果は Fig.3 におけるスペクト

C デッキの船尾方向左舷側の 236 号室内にアクセスポイントを設置し、Ekahau Site Survey による電界強度分布 2 次元表示測定を客室居住区(C デッキ及び B デッキ)で行った結果を Fig.6 に示す。

Fig.6(a)において、アクセスポイントがある 236 号室から左舷廊下船首方向への電界強度は、左舷船首側客室まで通話可能な電界強度 (-70 dBm)があった。しかしながら、船首斜め方向においてトイレ (WC) 船首方向、右舷船首客室付近は、-80dBm~-100dBm の領域となり、通話は切断され通信不可能であった。

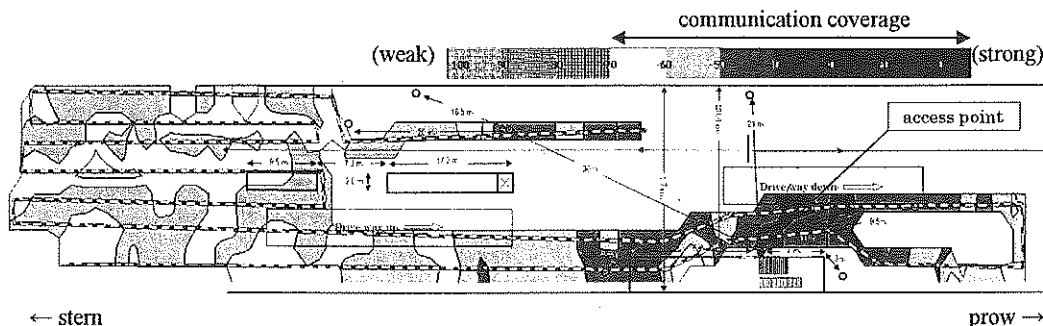


Fig.5 Two-dimensional field strength distribution in the vehicle deck

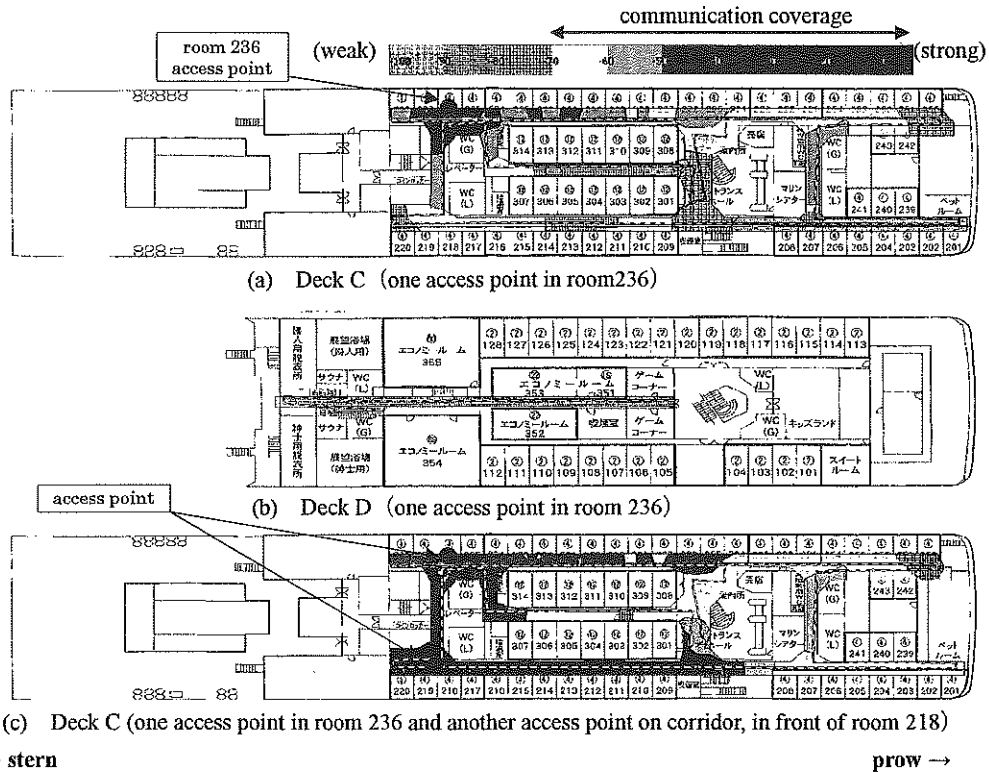


Fig.6 Two-dimensional field strength distribution in residential area

それ以外の領域では良好に通信が可能であった。

Fig.6(b)は、Cデッキの上部フロアであるBデッキの電界強度である。距離的にアクセスポイントに近い領域でもすべて-80dBm以下となっており、通話も不能で「2.2 アクセスポイントの伝搬損失」で述べたとおり、隣接フロア間の減衰は大きいことを裏付けている。

Fig.6(c)は、両舷にアクセスポイントを設置して電界強度を測定した結果であり、客室部分のみであれば、1フロアにおいてアクセスポイント2台でほぼ全域の通話が可能な領域(-70dBm以上)の結果となった。ただし、客室内までの確認は行っていない。アクセスポイントの室内設置と廊下(通路)設置の比較では、通路におけるアクセスポイント近傍で20dB程度の差があった。

「さんふわらわふらの」における結果として、鋼構造のパーティションによるシャドウイングを想定しても、船首側領域の左右舷と船尾側領域の左右舷、合計4個のアクセスポイントを1フロア毎に設置すれば、客室居住区において通話が可能であると想定する。

自由空間伝搬損失の計算値及びFig.6(a)における電界強度2次元分布図から、電界強度相対値を読み取った結果をFig.7に示す。

236号室から左舷の廊下、船首方向への電界強度は、自由空間伝搬損失よりも高い数値になっており、車両甲板における実験結果と共に反射波の影響があると想定される。ただし、船首右舷側への斜め方向において-70dBm以下となっているのはトイレ(WC)域にあると思われる銅隔壁仕切りによるシャドウイング影響と想定される。

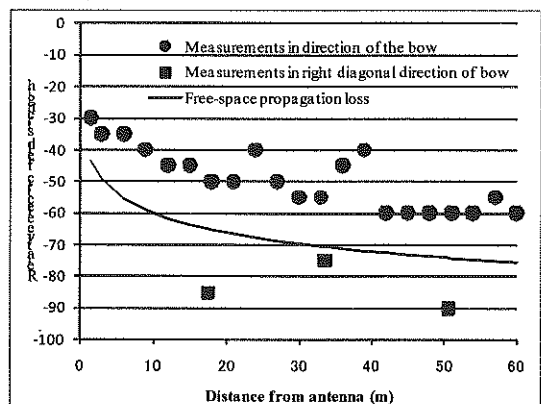


Fig.7 Propagation loss in the residential area (Deck C)

4.3 船橋

船橋における電界強度2次元分布測定結果をFig.8

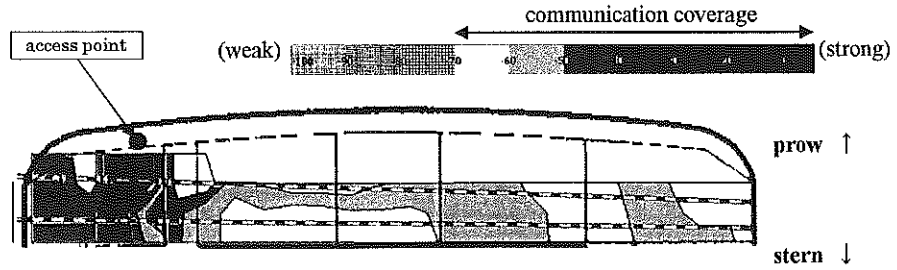


Fig. 8 Two-dimensional field strength distribution in bridge

に示す。船橋内は左舷においた一つのアクセスポイントですべての領域で-70dBm以上であり、船橋の後方の扉の外についても通話は可能であった。

航行中、船橋で測定した環境電磁波の強さを Fig.9 に示す。なお、測定は、左右舷で行ったが、ほぼ同様の値であった。

Fig.9 の結果から、3GHz 付近に実験を行った船舶自身が出している船舶レーダー(3050MHz)の強い電波が記録され、その他は 1.6GHz 付近にインマルサット(1625.5-1646.5MHz(上り))、2.1GHz 付近に W-CDMA 携帯電話(2115-2167MHz)と思われる電波が記録されている。そして、2.4GHz 帯無線 LAN が使用する周波数付近には特に信号やノイズ等は検出されなかった。

5. まとめ

「IC タグ、船内 LAN 等の活用に関する基礎的な調査研究」の一環として、実船実験における無線アクセスポイントの安定性と設置方法について確認した。実船実験における電界強度測定の結果、車両甲板等、遮蔽(シールド)構造の大空間(27m×164m)における電界強度は、壁面反射によるフェージング影響が大きく、自由空間と異なり時間平均値としては距離による減衰が小さいが、瞬時的には大きな変動がみられた。客室空間(B,Cデッキ)における電界強度の伝搬損失、客室隔壁のパーティション損失は、比較的小さいとみられ、見通し内では実用的な速度で通信が可能であった。ただし、鋼板仕切りと

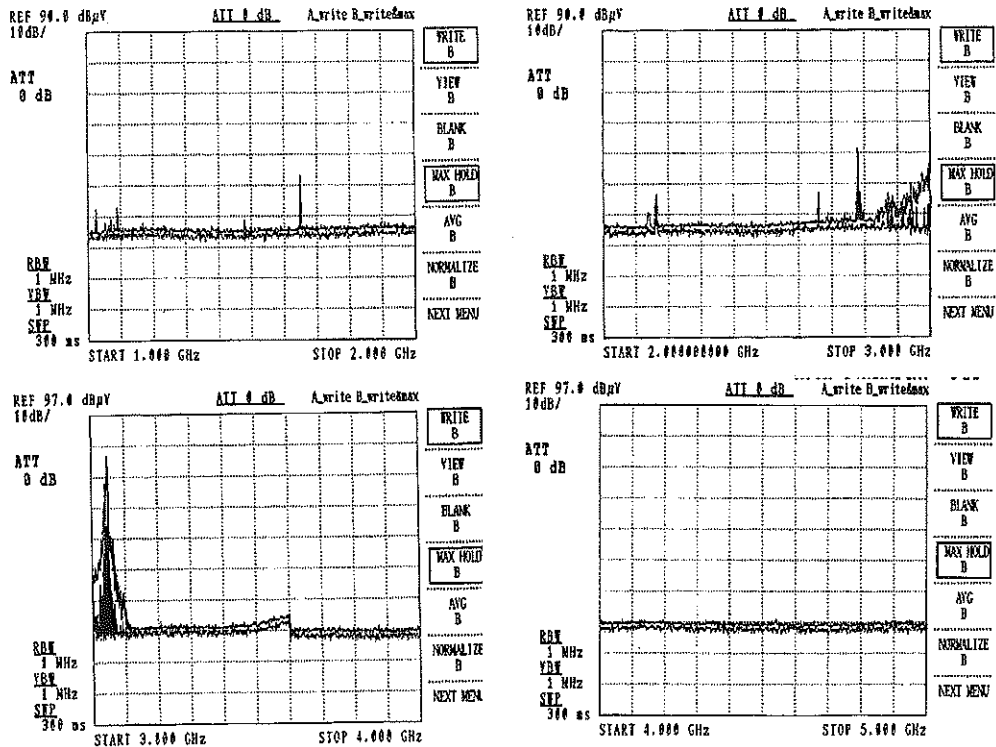


Fig.9 Electromagnetic spectrum environment in the port side of bridge (1.0-5.0GHz)

想定されるシャドウイングの影響は存在する。

船橋における電磁干渉の調査の結果、無線LANの2.4GHz帯に妨害波・ノイズ等はなかった。

音声通信実験の結果、車両甲板、客室、船橋のどこにおいても鋼隔壁仕切り等で遮られない限り、通話が可能であり Asterisk サーバーによる IP-PBX にて同報通信、会議通信も問題なく行えた。車両甲板においては1台のアクセスポイントではほぼ車両甲板全域に渡って通話が可能であり、今回の条件下での無線IP電話程度のアプリケーションに対するフェーディングの影響は限定的であると考えられる。車両甲板にトレーラー等の車両が多く存在しても同様の結果であった。

鋼船における無線LAN (WiFi) 2.4GHz帯無線アクセスポイントの電界強度の伝搬損失は、反射波の影響により自由空間より少なく、遠距離まで電波が届くこと、そして無線IP電話による通話の安定性について特に問題は認められなかった。アクセスポイントの設置方法としては、さんふらわあ ふらのの場合、1フロア（客室空間）に4個のアクセスポイントを設置すれば、無線IP電話の通話可能電界強度（-70dBm）は十分確保できると考えられる。

謝辞

本調査研究は（社）日本船舶品質管理協会における平成19年度及び平成20年度「ICタグ、船内LAN等の活用に関する基礎的な調査研究」によって得られた成果である。矢吹委員長を始めとする委員各位及び実船実験にご協力頂いた商船三井フェリー（株）殿に対し厚くお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 小林岳彦[監訳]：ゴールドスミス ワイヤレス通信工学，丸善株式会社，2007.10
- (2) 三輪誠・若林伸和・矢野吉治：無線LANによる船内LAN構築と船内監視システム、日本航海学会論文集、第114号、pp.243-250、2006.3
- (3) 山本克則・堀越清視：電磁シールド空間における2.4GHz帯電波伝搬特性、電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集、pp.23、1996年
- (4) 山本克則・堀越清視：大規模シールド空間における2.4GHz帯電波伝搬シミュレーション、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp.1065-1066、1997年
- (5) 沼田茂生・千葉元・佐藤博一・山根俊博・山川裕司・國分誠：電磁シールドスタジオでの2GHz帯電波伝搬実験－幾何光学的手法による電界強

度及び遅延スプレッド分布解析－、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp.1051-1052、1998年

質疑応答

鈴木 治（鳥羽商船高専）：

利用されたものは、IEEEの11bでしょうか、11gでしょうか？ 又、暗号化形式はどのようなものを利用されたものでしたか？

村山雅己：

無線IP電話実験におけるアクセスポイントはIEEE802.11b規格とし、暗号化形式はWEPを設定して使用しました。

新井康夫（海技大学校）：

興味深い調査結果の発表をありがとうございます。電界強度の測定結果では平面的にはほぼ安定な受信結果であると言われてますが、高さ方向に対してはいかがでしょうか？

村山雅己：

実験は、無線IP電話の通話を主体に検討したことから、電界強度はヒトが立って歩く高さを中心に測定しました。高さ方向をパラメータとした測定は実施していません。