

# 電磁環境を考慮した RF-ID システムの研究

岡野 好伸\*

\* 東京都市大学 知識工学部 情報ネットワーク工学科

〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1

E-mail : y-okano@tcu.ac.jp

Development of thin microwave absorber for RF-ID which considers electromagnetic environment

Yoshinobu Okano\*

\* Tokyo City University, Faculty of Engineering, Information Network Technology Department

1-28-1, Tamadutumi Setagaya-Ku, Tokyo 158-8557, Japan

E-mail : y-okano@tcu.ac.jp

あらし

UHF 帯の電波 (952~954MHz) を使う RF-ID (無線認証) は、これまで物品管理に使われてきたバーコードと異なり、飛躍的に読み取り距離が伸長され、また物品情報の更新等の新たな情報書き込みができるため、物流管理、生産管理への応用が大いに期待されてきた。しかし、実際の物流・生産現場は想定外事項の連鎖であり、そこでの電磁環境を省みないソフトウェアの導入は、折角の UHF-RFID システムがその潜在性を過小評価される原因となっていた。

そこで本研究では、物流現場で利用しやすい実体的な不要電波の反射除去・遮断技術を確立することで電波伝播環境自体を改善・整備するために開発された薄型電波吸収体について報告する。

## 1. はじめに

近年、UHF 帯(300MHz 以上)を用いた RF-ID (無線認証) 技術は、イラク戦争における兵站活動への適用や、米国大手量販店での盗難防止・在庫管理への効率化成功を受けて非常に注目されるに至っている。従来、物品情報を管理する方法として用いられてきたバーコードに対し、RF-ID システムに対応したタグを用いれば、情報読み込みは勿論、その場で情報追加や変更まで可能なため、工場や店舗、医療機関などでの物品管理の効率化や精度向上が可能となる。特にパッシブ型で UHF 帯の電磁波 (日本においては 952MHz~954MHz が使用可能) を利用する UHF-ID は、電波飛距離が 10m を越えるものもあり物流管理の大幅な効率化、高速化が期待される技術である。しかし、RF-ID タグが使用される工場や倉庫内では什器等による散乱電磁波が想定していない場所の UHF-ID タグの情報を読み込み、或いは誤って書き換えてしまう懸念がある。また、携帯電話機に近い周波数の電磁波を利用するため、医療機関では利用範囲に制約を受けてしまう。このような問題に対し EMC の立場からの対策法としては不要電磁波を吸収・遮断して、空間の電磁環境を改善する方法があり、電磁波吸収材料に関する研究が盛んに行われている [1][2]。

ただし物流や生産の現場は狭小であると共に、刻々とレイアウト変更が必要となるため、現場で使用される UHF-ID 用

電磁波吸収体は、構造が平板状でかつ薄型であることが望まれる。また、医療や物流・生産現場では、防災上人間の目視による安全確保が必須となるため、電磁波吸収体による光の遮蔽は最小限度に抑えられなければならない。

このような要件に対応し得る電磁波吸収体技術としては  $\lambda/4$  型電磁波吸収体 [1]~[3] がある。この手法は音響振動工学では早くから吸音材として利用されてきた [4]~[6]。この  $\lambda/4$  型電磁波吸収体の抵抗膜及び反射板を導電率の異なる ITO (インジウム-スズ) 薄膜で構成すれば透視性のある電磁波吸収板は構成可能である。ただし、その厚みは目標吸収周波数に対応した波長 “ $\lambda$ ” の約  $1/4$  の厚みを必要とし、950MHz では約 80mm 程度となる。

本報告では平板構造である  $\lambda/4$  型電磁波吸収体のメリットに着目、さらに内部にプラズマディスプレイ等に用いられている高透明性電磁波遮蔽金属メッシュを挿入する簡単な構造で透視性と大幅な薄型化の両立を図った、UHF-ID 対応薄型電磁波吸収板を提案すると共にその有用性について検討した結果について述べる。

## 2. 薄型電磁波吸収壁の構成法

### 2-1 基本構造

$\lambda/4$  型電磁波吸収体の原理によれば、吸収体の厚みを無理に  $\lambda/4$  未満とすると、吸収素材背面から反射板を見込む伝送路インピーダンスは開放から短絡に近い状態に変移し、不十分な誘導性リアクタンスを示す。したがって薄型化するには、何らかの構造体を反射板に装荷し、吸収素材背面から反射板を見込む伝送路インピーダンスに誘導性リアクタンス成分を補完し、開放状態に近づける必要がある。しかし、磁性体の焼結材やゴムフェライト等を使用する場合、これらの材料は軽量化や透明化の阻害要因となる。そこで、本報告では図 1 に示すように、反射板の近傍に金属板を挿入し、反射板上にパッチ素子配列を構築することを試みた [7]。金属素子を挿入することで誘導性リアクタンスを補完する手法は、すでに報告されている [8]。しかし、パッチ素子は極めて構造が単純で周波数設計しやすい点で優れている。また、周知のように励振周波数によって強い誘導性あるいは容量性リアクタンス成分を発現する素子として期待できる。また、挿入金

属板を正方形または円形とすれば偏波面の傾斜した散乱電磁波や円偏波に対しても電磁波吸収特性を発揮することが期待できる。さらに、抵抗皮膜をITO薄膜、その他は安定で廉価なプラズマディスプレイ等に用いられている高透明性電磁波遮蔽金属メッシュで構成することにより薄型化の効果を維持したまま透明化も可能となる。

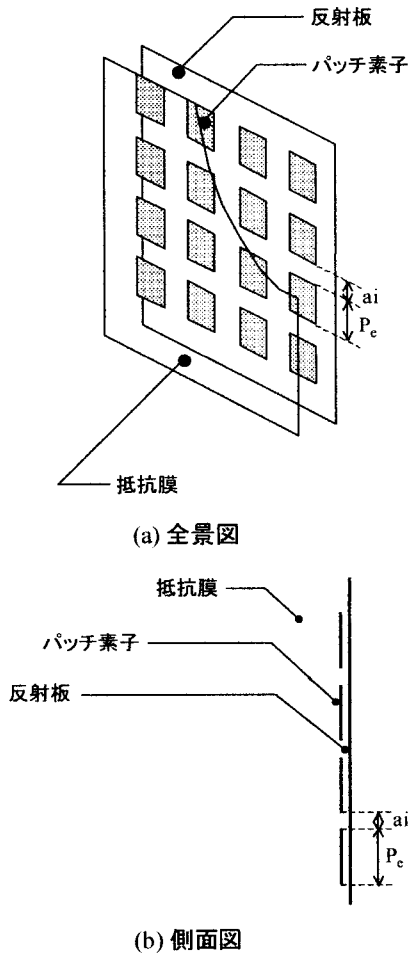


図1. 薄型電波吸収壁の基本構造

### 2-2 挿入金属板の効果

図2(a)に示すように、反射板から距離dの位置に吸収材を配置する場合、吸収材背面から反射板を見込むインピーダンス $Z_m$ は途中に損失が無いとすると(1)式で表される。ただし、入射波の波長を $\lambda$ とする。

$$Z_m = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \frac{2\pi}{\lambda} d}{Z_0 + jZ_L \tan \frac{2\pi}{\lambda} d} \quad (1)$$

ここに、

$Z_0$ : 伝送路特性インピーダンス(=120 $\pi$ )

$Z_L$ : 伝送路終端インピーダンス

反射板が完全導体であれば終端インピーダンスは $Z_L=0$ となるため、dが入射波の $\lambda/4$ より僅かに短い場合、 $Z_m$ は非常に

大きな誘導性リアクタンスを示す。そこで、吸収材の等価インピーダンス $Z_{ab}$ を自由空間インピーダンス $Z_0(=120\pi)$ に等しくなるよう設定すれば吸収材と反射板で構成された電磁波吸収体全体は自由空間と整合し入射電磁波を効率的に吸収することになる。入射波の周波数がUHF-IDの中心周波数953MHzの場合、dは約78mm必要になる。

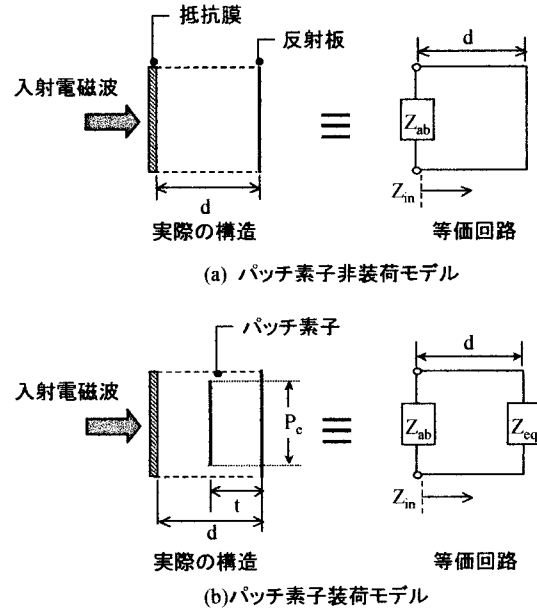


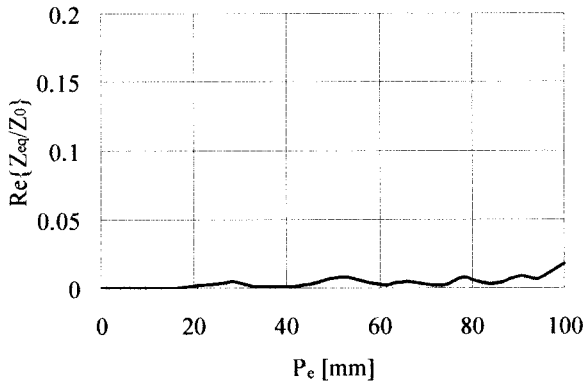
図2. パッチ素子の等価回路

一方、 $d=20\text{mm}$ に設定した状態で953MHzの電磁波が入射した場合、 $Z_m=j0.41Z_0$ 程度となり電磁波吸収体全体は自由空間と整合しなくなり、入射電磁波は十分に吸収されない。しかし、反射板前面に、図2(b)に示すようなパッチ素子を配置し、その等価インピーダンス $Z_{eq}$ が適度な誘導性リアクタンスを発現すれば、953MHzの入射波に対しても $Z_m$ は大きな誘導性リアクタンスを示すことになり、吸収材とパッチ素子からなる構造全体は自由空間と整合可能となる。

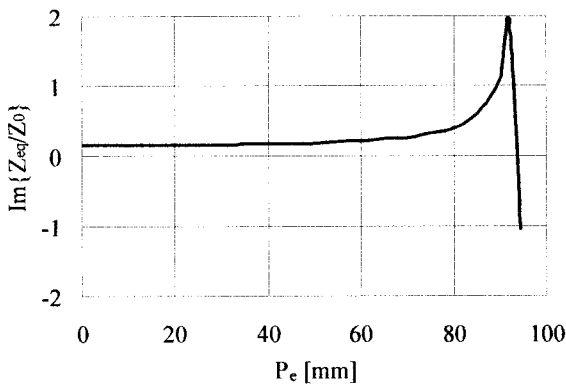
### 2-3 挿入金属板の設計

図2(b)に示すように、反射板前面にパッチ素子を設置した場合、周波数953MHzの平面波入射に対する $Z_{eq}$ の推移を時間領域における逐次差分による電磁界数値解析法であるFDTD法[9]により解析した結果を図3に示す。図3では反射板前面とパッチ素子の間隔tを10mmに設定してある。また、 $P_e$ は正方形パッチ素子の1辺の長さである。この図において $P_e=0$ はパッチ素子が存在しないことを意味し、このとき $Z_{eq}$ は終端が短絡された長さ10mmの線路のインピーダンスと等価となる。なお、図3のインピーダンスは全て自由空間インピーダンス $Z_0(=120\pi)$ で正規化されている。この図から、 $Z_{eq}$ は抵抗分がリアクタンス分比べて小さくほぼ純リアクタンス素子として機能することが明らかで、 $P_e=90\text{mm}$ 付近では周波数953MHzの入射波に対し $Z_{eq}$ が高い誘導性リアクタンスを発現することが確認できる。なお、 $Z_{eq}$ の周波数に対する推移はパッチ素子の配列間隔によって影響を受

ける。



(a) 正規化抵抗  $\text{Re}\{Z_{eq}/Z_0\}$



(b) 正規リアクタンス  $\text{Im}\{Z_{eq}/Z_0\}$

図3. パッチ素子サイズ 'Pe' をパラメータとする ' $Z_{eq}/Z_0$ ' の変動( $t=10\text{mm}$ )

続く図4には、パッチ素子が装荷された位置から10mm離れた吸収材板背面位置からパッチ側を見込むインピーダンス  $Z_{in}/Z_0$  の  $P_e$  に対する推移を示す。本来953MHzの入射波に対し  $d=20\text{mm}$  では  $Z_{in}/Z_0=j0.41$  程度のはずである。しかし、パッチ素子の挿入によって  $Z_{in}/Z_0=j50$  程度となり、 $d=20\text{mm}$  程度でも953MHzの入射波に対して  $\lambda/4$  型電磁波吸収体に近似した状態が実現されている。つまり  $\lambda/4$  型電磁波吸収体の薄型化が可能であると考えられる。

$Z_{eq}$  が大きなリアクタンスを発現する共振周波数の  $P_e$  や  $t$  に対する依存性を図5に示す。共振周波数は  $P_e$  に逆比例する形で推移しており、この点でパッチアンテナと同様の傾向を示している。しかし、パッチ素子と反射板の間に自由空間を想定しているにもかかわらず、 $P_e$  は共振周波数に対応する波長の1/2より5~7%ほど小さい値を示す傾向がある。また、 $t$  が大きくなるほど共振周波数は低域にシフトする傾向を示している。ただし、 $t$  の増加は電磁波吸収壁全体の厚みを増大させることから、パッチ素子の主要な制御パラメータは  $P_e$  であるといえる。

図5の結果を基にパッチ素子の設計式をまとめると概ね次の(2)式のようになる。

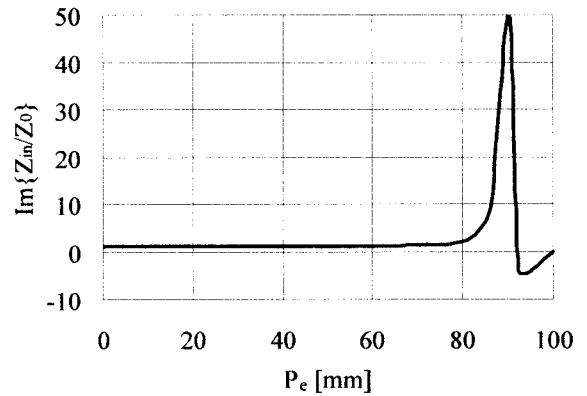


図4. パッチ素子サイズ 'Pe' をパラメータとする ' $Z_{in}/Z_0$ ' の変動( $t=10\text{mm}$ )

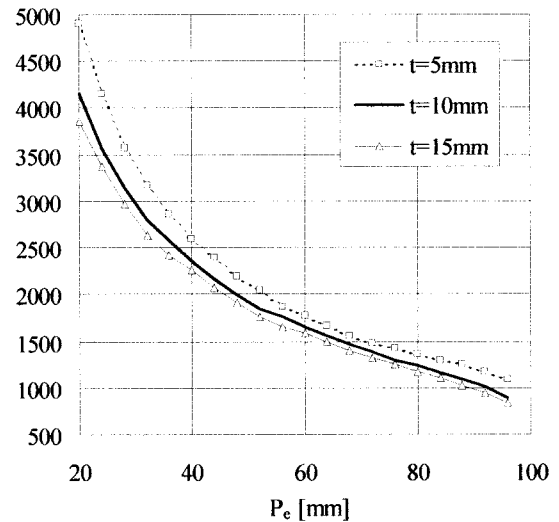


図5. パッチ素子の寸法と共振周波数の関係

$$P_e = \frac{k}{f \text{ [MHz]}} - 0.2t \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

ここに、

$f$ : 所望吸収周波数 [MHz],  $k$ : 補正係数(=92000)

$t$ : パッチ厚み [mm]

図6には、 $P_e=90\text{mm}$  のパッチ素子を反射板へ装荷した場合、953MHzの入射波に対する反射板近傍の電界分布をFDTD法で解析した結果を示す。図6(a)では6(b)に比べて、挿入パッチの端部に赤色で示されるような電界集中領域が反射板近傍に生じている。この電界分布から、吸収板を  $\lambda/4$  より反射板に近づけても十分な吸収特性が得られることが判明し、 $\lambda/4$  型電磁波吸収体の薄型化が可能と考えられる。

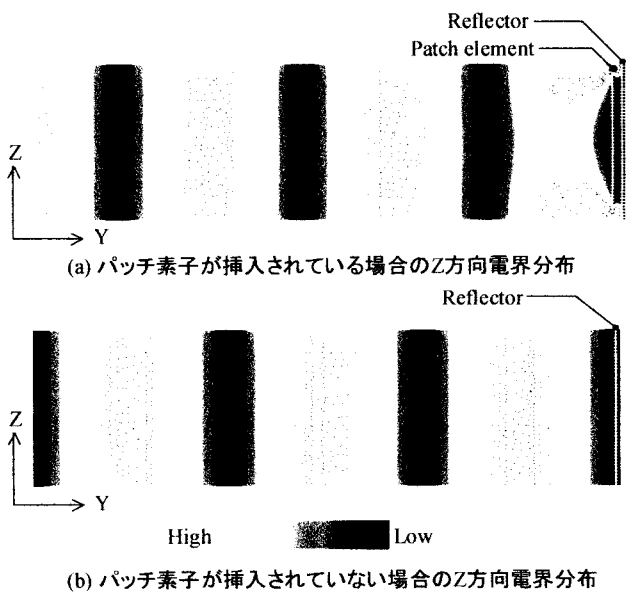


図6. パッチ素子の有無によるEz分布の変容( $f=953$  MHz)

### 3. 電磁波吸収壁の特性評価

#### 3-1 パッチ素子装荷による吸収特性

図7(a)には、電磁波吸収壁を配置した場合の FDTD 解析モデルを、図7(b)には実際に試作した吸収壁のパッチ1周期分の形状を示す。実験で使用する吸収壁には透明性の高い面抵抗  $370\Omega/\square$  の抵抗皮膜が貼り付けられている。従来はこの透明抵抗皮膜に、展望カメラの結露防止用として使用されていたITO薄膜(酸化インジウムスズ薄膜)が使用されていた。しかし、インジウムは近年大きな話題となっている希土類に属するため、電磁環境改善のために大量に使用することは得策でない。そこで、本研究では図8に示すような微細なアルミニウムメッシュをPETフィルム上にメッキ処理の形で構成した抵抗皮膜を使用した。この薄膜は微細なアルミニウムメッシュを透明PETフィルム上に構成しているため、高い透明性を有し、かつメッキ処理層の厚みによって面抵抗を制御可能である。反射板やパッチ素子にはメッキ層を厚くし、面抵抗  $0.2\Omega/\square$  としたアルミニウムメッシュが使用されている。さらにこれらを厚さ2mmの透明アクリルで支持し、同じくアクリル樹脂のボルトで間隔を保っている。

図9(a),(b)には実験用電磁波吸収壁の試作を念頭において、反射板への誘導性リアクタンス装荷におけるパラメータとなる  $P_e$  と  $t$  を変化させた場合の吸収特性の解析結果を示す。予測されたとおり、 $P_e$  あるいは  $t$  によって吸収周波数は変化する。ただし、先に述べたように電磁波吸収壁の総厚みを一定としたまま吸収周波数が制御できる点で  $P_e$  が特に有用な設計パラメータと言える。

#### 3-2 電磁波吸収壁の実測

図9の結果を受けて、一例として  $d, t$  を図7(b)に示す値に設定し、さらに  $P_e=90$  mm, パッチ素子間隔  $a_i$  を10mmとして試作した電磁波吸収壁(900mm×1800mm×20mm)を図

10に示す。パッチ素子及び反射板の構成には面抵抗  $0.2\Omega/\square$  の微細アルミニウムメッシュを用いている。可視光領域の透過率は約80%、EMIシールド性能は1~1000MHzで50dBが確保可能で金属箔を用いた場合と遜色ない導電性を有している。

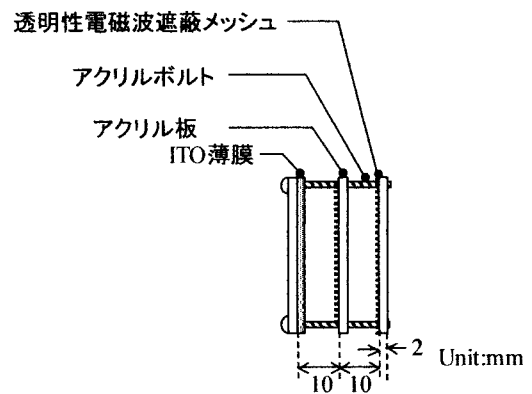
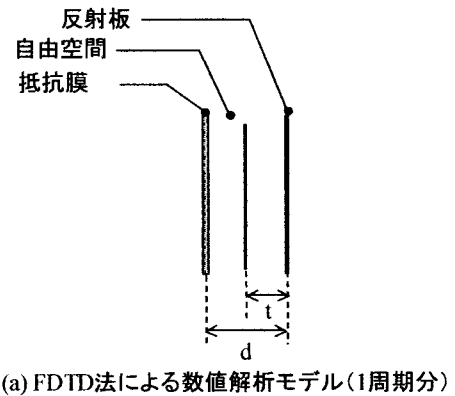


図7. 試作電磁波吸収壁の構造

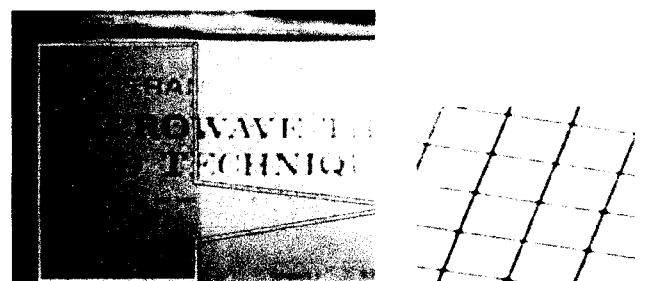
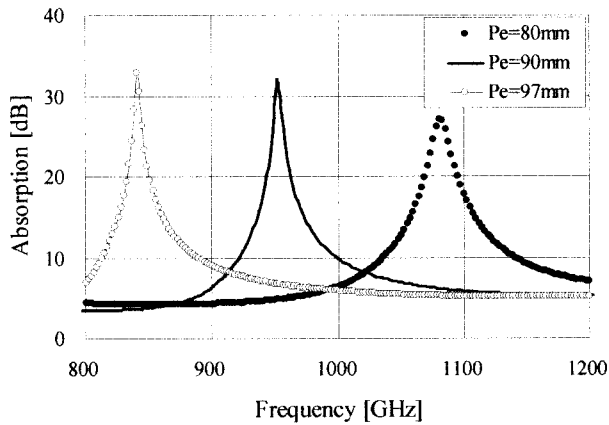
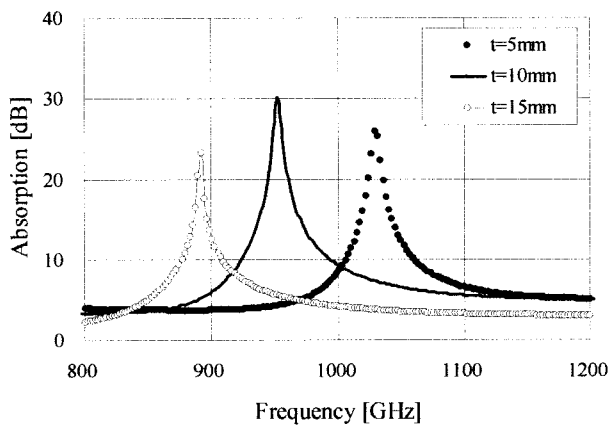


図8. PETフィルム上にメッキにより構成された微細アルミニウムメッシュ

図11は、電磁波吸収量の測定構成である。測定は電波無響室内部で行っている。具体的には、ダブルリジット-ガイドホーンアンテナ2基とネットワークアナライザによる時間領域での反射電力法[1]を用いている。電磁波吸収量は被測定対象と同寸法(900mm×1800mm)の金属板からの反射レベルを基準値として評価している。



(a) パッチ素子サイズ'Pe'に対する吸収特性推移 ( $t=10$  mm.).



(b) パッチ素子厚み't'に対する吸収特性推移 ( $P_e=90$  mm.).

図9. 'Pe'あるいは't'に対する電磁波吸収特性変動



図10. 試作透明薄型電磁波吸収板

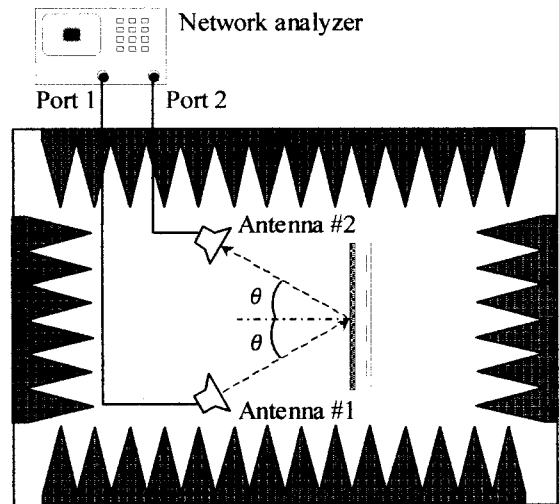


図11. 電磁波吸収評価の構成

試作した電磁波吸収板の正面入射時における吸収量評価結果は図12に示すとおりである。数値解析結果も比較のため示してある。試作吸収板の製作精度による問題で吸収特性に実験と解析で多少格差が認められる。しかし、吸収特性が良好となる周波数及び吸収量の絶対値において実験値と解析値は概ね良好な一致を得た。なお、室内通信品質の改善は壁面の吸収量が5 dB以上で十分効果があり、10 dB以上で効果は飽和するといった報告[10]があることから本高透明性電磁波吸収板はUHF-IDにおける電磁環境整備のツールとして有用であると同時に、医療現場等での携帯通信端末に対する安全対策としても有効であると考えられる。

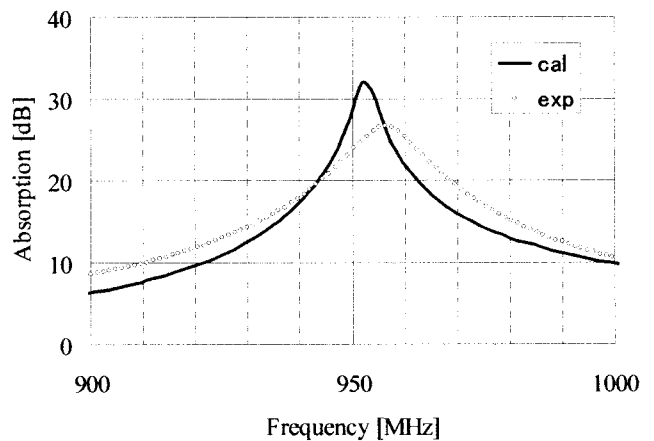


図12. 試作透明薄型電磁波吸収板の吸収量測定結果

#### 4. まとめ

本報告では近年注目を集めている、UHF帯(952~954MHz)を用いたパッシブ型RF-ID(無線認証)技術において、通信可能距離が長いが故に生じる誤認証等の電磁環境問題を考慮し、不要電磁波を吸収・遮断して、空間の電磁環境を改善

する技術を電磁環境考慮型 RF-ID システムの一部と考え、このために開発された透明薄型電波吸収板について特に報告した。具体的には、物流や生産等の狭小な現場環境に適合できるように、 $\lambda/4$  型電磁波吸収壁をさらに薄型化するため、反射板上に金属パッチを装荷することでパッチアレーを構成し反射板に誘導性リアクタンスを付与することを試みた。これにより、パッチ素子が共振状態となる少し手前の周波数では抵抗膜を  $\lambda/4$  より反射板に近接させても十分な吸収特性が発現し、 $\lambda/4$  型電磁波吸収板の薄型化が可能であることを示した。また、実際に電波吸収板を構成する際に抵抗膜には、従来透明抵抗膜としてよく使われてきた ITO 薄膜に代えて、資源の安定確保の観点から微細アルミニウムメッシュを PET フィルム上にメッキ処理の形で構成した抵抗薄膜を使用した。この技術では、メッキ層の厚みにより面抵抗  $370\Omega/\square$  の抵抗皮膜相当の薄膜から面抵抗  $0.2\Omega/\square$  の導電膜までを構成可能である。これにより、希土類を用いずフォトエッチング技術だけで抵抗皮膜層、パッチ素子配列層および反射板を全て PET 上に構成された微細アルミニウムメッシュで実現することに成功し透視性と薄型化の両立を図った。また、本報告で示した手法は、反射板上に配列される金属パッチの寸法を変えることで、吸収壁自体の総厚みを増大させることなく吸収可能周波数帯を変更可能であることを確認した。この手法は金属パッチの寸法・形状を変更するだけで、電磁波吸収材料の再調整など無しに吸収周波数調整が可能であることを意味し、今後様々な分野に透明薄型電磁波吸収板を適応可能とするものである。

#### 参考文献

- [1]橋本修, “電波吸収体のはなし,” 日刊工業新聞社, 2001.
- [2]橋本修, 角和俊, 横川英広, 伊藤晶彦, “ $\lambda/4$  型電波吸収体の薄型化に関する基礎検討,” 信学技報, EMCJ, May 2001.
- [3] 清水康敬, 他, “電磁波の吸収と遮断”, (株)日経技術書, 1989.
- [4] 石井聖光, “建築音響と設計施工”, オーム社, 1960.
- [5] 前川純一, “建築音響”, 共立出版, 1968.
- [6] 西山静男, 他, “音響振動工学”, コロナ社, 1979.
- [7]岡野好伸, 安井祐史, 安部實, 佐藤烈士 “金属パッチ素子を装荷した多周波数対応型電波吸収壁の開発”, 信学論(B), vol.J89-B, no.10, pp.2022-2034, Oct. 2006
- [8] 天野充博, 小塚洋司, “導体形状効果を利用した磁性電波吸収体の整合特性改善方法,” 信学論(B), vol.J86-B, no.7, pp.1165-1175, July 2003
- [9] 宇野亨, “FDTD法による電磁界およびアンテナ解析,” コロナ社, 1998.
- [10] 下条則之, 唐沢好男, “屋内電波吸収壁によるマルチパス抑圧効果とデジタル伝送特性改善に関する等価伝送路モデルによる解析,” 信学論(B), vol.J86-B, no.12, pp.2522-2532, December 2003