

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 20 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420387

研究課題名(和文) 居住性に配慮した構内通信環境制御のための電磁波吸収体開発

研究課題名(英文) Microwave absorber development for the communication environment control that considered comfort

研究代表者

岡野 好伸 (Okano, Yoshinobu)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：10339533

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：利用者に安全で適正な使用環境を提供するために、薄く軽量で、かつ採光性の高い透明薄型電波吸収体の実用化をその研究目的とする。

平成25年度は、近年利用者が増加しているプラチナバンドに対応出来る電磁波吸収体の設計を行い、また実証試験を行った。平成26年度は、適用周波数を拡張する吸収帯域拡張用パッチ素子配列板の設計を行った。平成27年度は電波吸収体を試作し、吸収性能、電磁遮蔽性能の評価を行った。

研究成果の概要(英文)： The application of UHF radio-frequency identification systems is rapidly increasing. However, the reliability of indoor telecommunication is adversely affected by multiple reflection interference. Consequently, to establish a highly reliable UHF-band communication system, it is essential to improve the multipath environment. This paper describes an ultrathin microwave absorber that is designed to improve the multipath environment of UHF-RFID systems. This absorber is optically transparent so that it does not create blind areas for surveillance cameras installed near an UHF-band communication (e.g., at the entrance of an office or a warehouse). The improved tag identification probability using this absorber is demonstrated in an actual warehouse.

研究分野：電磁波工学

キーワード：情報保護 環境適合 電波吸収体

1. 研究開始当初の背景

近年、無線 LAN (Local Area Network) や無線通信 (Radio Frequency IDentification) システムに代表されるような室内用無線通信機器の利用が拡大しつつある。これに伴い、室内壁面などによる多重反射を原因とする電波干渉により通信環境が劣化する懸念も増大している。特に、UHF-無線通信システムでは通信端末認証距離が十数メートルに及び、高い利便性を有するが、その一方で構内の電磁波多重反射環境が通信端末の電波障害を誘発しやすく、認証システムの確度劣化に直接影響してしまう。このため、遠距離・高精度認証技術の普及には、反射電磁波を制御する技術の確立が不可欠な状況であった。

2. 研究の目的

本研究は生活の隅々に浸透した携帯通信端末に対して、使用者の日常住環境に配慮しつつ、情報保護や不正使用予防（例えば通信端末によるカンニング等の防止等）を行い、適正な通信環境を提供する、電磁波吸収機能を有する採光窓や内装材の実現化を研究目的とした。

3. 研究の方法

- (1) 平成 25 年度は、920MHz 帯の電磁波を用いた RFID (無線認証) システム対応の薄型透明電磁波吸収板は既の実現されている既存研究成果に対し、携帯通信サービスの使用周波数範囲は広帯域であるため、電磁波吸収性能の広帯域化を主に行った。
- (2) 平成 26 ~ 27 年度は、スマートフォンなど、さらに高い周波数帯に対して、電磁波吸収性能を拡張する手法の確立を行った。具体的な拡張手法は実使用環境に合わせて取捨選択の容易な融通性の高い手法であるべきなので、実証試験による実用性の検証を入念に行った。

4. 研究成果

(1) 形状の最適化

抵抗性媒質が存在せずとも、一般的な透明誘電体程度の損失で十分な電磁波吸収が実現可能であることが既に明らかになっている。そこで本研究では、この特徴を生かし、誘電体板の表裏に反射板とパッチ素子配列を構築することで、どの程度の電磁波吸収特性が得られるのかに関して検討する。検討に当たっては、吸収体取扱いの都合上、幾つかの設計パラメータは事前に固定した。利用対象誘電体は、入手が容易な透明誘電体 (ポリカーボネート、塩化ビニール、アクリル etc.) を想定しているので、比誘電率の範囲は 3.0 ~ 4.0 とした。導電率に関しては、塩化ビニール樹脂は他の透明誘電体に比べてやや高いが、格差は僅かなので一律に $\sigma = 0.001 \text{ S/m}$

と仮定した。誘電体厚さに関しては、薄型吸収体は魅力であるが、自立形状保持性も実用上は必要となる。そこで、規格品誘電体の中で、自立形状保持可能な最薄板である、厚さ 5 mm の誘電体板を利用することにした。これらの設定下では、パッチ素子間隔 W と素子サイズ P のみで吸収体の最適形状が決定できる。

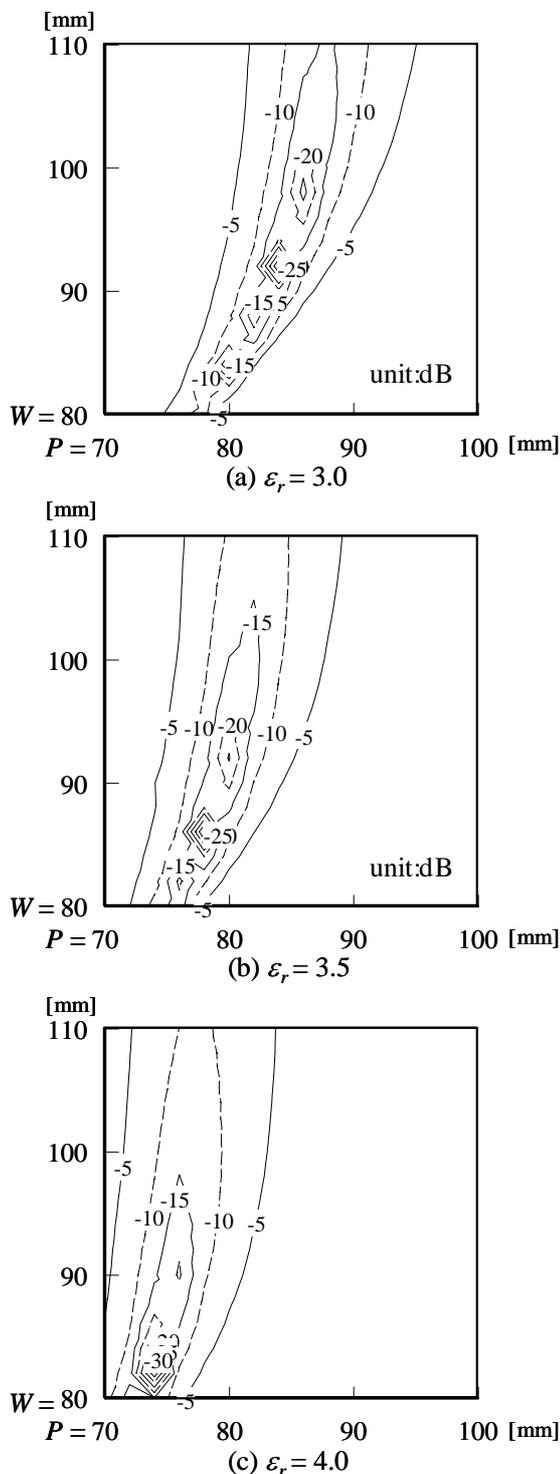


Fig.1 Effect of element width P and element interval W on the reflection of the microwave absorber at the center frequency $f_c (= 920 \text{ MHz})$ for relative permittivities of the

dielectric substrate.

Fig. 1 (a), (b), (c)にはそれぞれ $\epsilon_r=3.0$, 3.5, 4.0 の場合のPとWによる電磁波吸収量の等高線図を示す。検討周波数は $f_c=920$ MHzである。 $\epsilon_r=3.0$ の誘電体板を使用した場合、Fig. 1 (a) に示すように $P=84$ mm, $W=92$ mmで吸収量は極大値を示し、反射係数は-40.5 dBとなる。同図(b)より $\epsilon_r=3.5$ では $P=78$ mm, $W=86$ mmで反射係数が極小値-40.7 dB, (c)より $\epsilon_r=4.0$ では $P=74$ mm, $W=82$ mmで極小値-38.5 dBとなる。これらの解析値より、誘電体厚みを5 mmに限定して電磁波吸収体を設計する場合、目標周波数において吸収性能を極大化するパッチ素子サイズ P_{max} および素子間隔 W_{max} は概ね以下の式(1), (2)で与えられる。

$$P_{max} = \frac{0.45\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ ----- (1)}$$

$$W_{max} = \frac{0.5\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ ----- (2)}$$

(2) 透明超薄型電波吸収体の性能評価

前節で得られた設計データを基に実際に透明薄型電磁波吸収体を試作した。以下のFig. 2には、幅×高さ×厚さ=1 m×2 m×5mmの透明ポリカーボネート樹脂板を使用して、作製された吸収体を示す。パッチ素子および反射板は、厚み100 mmのPETフィルム上に構成されたアルミニウム微細メッシュ(18)により構成されている。同図より試作吸収体が高い光透過性を有することが確認できる。

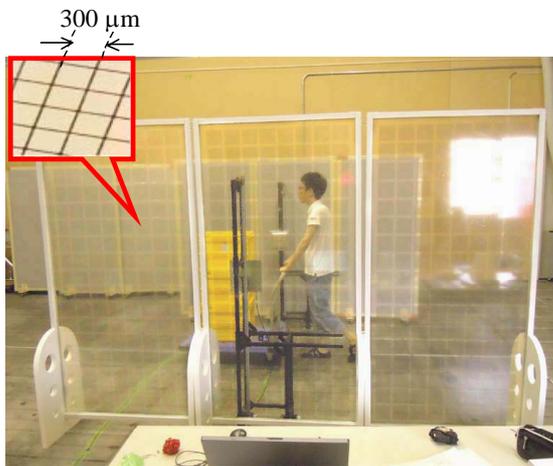


Fig. 2 Photograph of prototype transparent microwave absorber for UHF-communication system.

次に、この試作吸収体の性能を、Fig. 3に示すような電磁波無響室内において、測定評価した結果をつづく Fig. 4に示す。測定に際しては、送受信アンテナとして対数周期アンテナ(Schwarzbeck社製, USLP9142) 2基、およびVNA (ADVANTEST社製, R3767CG)を使用した。測定では時間領域測定機能を利用し、アンテナ治具などからの反射は極力排除し、

吸収体からの反射のみを測定するよう配慮がなされている。また、UHF-無線通信システムにおいては円偏波が使用されているため、特に斜め入射における評価では偏波方向による吸収特性変化を明確にするべくTE波とTM波の双方に関して吸収特性を評価した。測定サイト内部では測定アンテナと被測定対象との距離は3 mに設定されている。しかしながら、正面入射に近い状態では、送受信アンテナが接近し、時間領域測定法によっても相互結合の影響が排除できなくなるため、測定においては $\theta = 5^\circ$ を正面入射の近似値として示している。

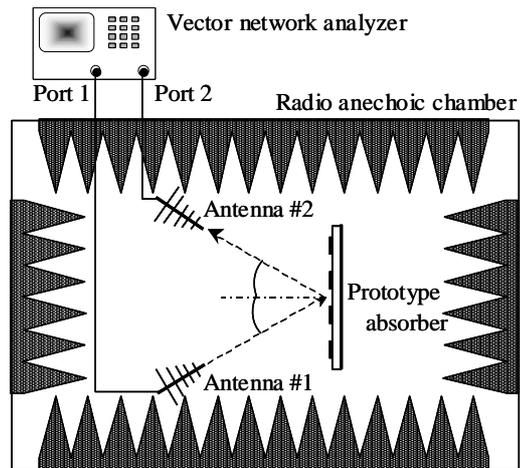
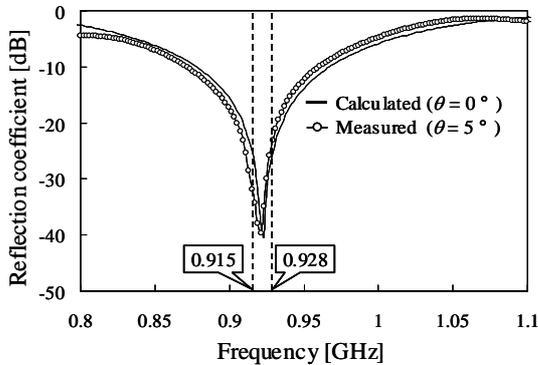


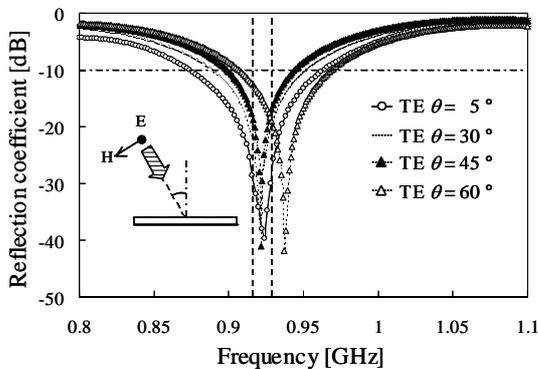
Fig.3 Absorption property measurement setup for the prototype absorber.

Fig. 4 (a)には $\theta = 5^\circ$ における試作吸収体の吸収特性評価結果を $\theta = 0^\circ$ の場合の解析値と比較して示した。最大吸収周波数、最大吸収量共に良好な一致を示している。これにより $\theta = 5^\circ$ の測定値が正面入射の近似値として利用可能であることが確認された。さらに、UHF-無線通信で利用される帯域内において反射係数が-20 dB以下となっており、十分な反射減衰が生じていることが確認された。Fig. 4 (b)にはTE波の斜め入射に対する吸収特性を測定により評価した結果を示す。TE波入射の場合、入射角 θ が 45° までは、最大吸収周波数、最大吸収量共に大きな変移を示さない。また $\theta = 60^\circ$ においても最大吸収周波数に若干の変移は見られるが、UHF帯域内の反射係数は-10dB以下を維持し、吸収特性の大幅な劣化は確認されなかった。一方、TM波入射の場合、 $\theta = 45^\circ$ までは吸収性能が得られるが、 $\theta = 60^\circ$ においては、吸収性能が大幅に劣化してしまうことが確認された。これは、前章で述べたように、パッチ構造体の共振が電磁波吸収現象を発現させていることから、これを励振するのに必要な、パッチ素子に平行な電界成分が維持されているTE波入射においては、浅い入射角に対しても吸収性能が発揮されるが、TM波入射では θ の増大によりパッチ素子励振のための電界成分

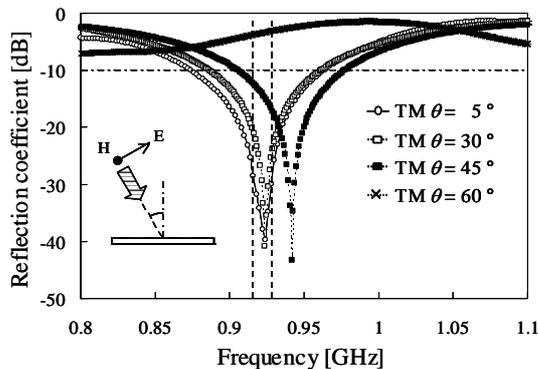
が急激に減退するため吸収性能が劣化したと考えられる。ただし、実際に使用される円偏波は、TE 波と TM 波の合成波であるので、これらのうち何れかに十分な減衰が与えられれば、円偏波総体の反射は十分抑圧されると考えられる。



(a) Comparison between numerically calculated and measured reflection for normal incidence.



(b) Measurement results obtained for oblique incidence of TE-wave.



(c) Measurement results obtained for oblique incidence of TM-wave.

Fig. 4 Measured reflection of the prototype microwave absorber.

(3) まとめ

本研究では、UHF 帯の通信システムにおける電波障害の原因となる反射波抑止技術として、通信機器使用者の生活環境に適合させやすい透明超薄型電磁波吸収体の開発を行った。また、この吸収体を実際の生活環境に近い状況に適用し、電波障害抑圧効果について検証した。その結果、透明素材の利用によ

り、良好な光透過性を確保しつつ、吸収目標周波数に対し約 $\lambda/65$ 程度の厚みで、反射減衰量が 40dB 程度得られる吸収体を実現させた。

今後は、吸収体のさらなる光透過度向上と、製作コスト低廉化の手法に関して検討を行うと共に、より多様な作業環境下での電波障害抑圧効果の検討を行う予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

[1] K. Mayama, Y. Okano, "Development of nearby cluttered Tag detection unit with UHF-RFID technology," 2015 International Symposium on Antenna and Propagation (国際会議), 2015年11月9~12日, Tasmania Australia.

[2] R. Shimofusa, Y. Okano, "Broadband measurement system for the specific absorption rate above 300 MHz," 2015 IEEE International Symposium on Radio Frequency Integration Technology (国際会議), 2015年8月26~28日, 宮城県, 東北大学片平キャンパスさくらホール

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡野 好伸 (Okano Yoshinobu) 東京都市大学・知識工学部・教授

研究者番号: 10339533

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし