準マイクロ波帯用電波吸収リサイクルボードの開発

DEVELOPMENT OF RECYCLING BOARD WITH ELECTROMAGNETIC WAVE ABSORPTION IN THE QUASI MICROWAVE BAND

河辺 伸二*, 池田 哲夫**, 若田 佳希***, 小西 正夫****

*Shinji KAWABE, Tetsuo IKEDA, Yoshiki WAKATA
and Masao KONISHI*

The electronic devices using electromagnetic wave increases recently. It has been important to study the electromagnetic compatibility inside building space.

In this paper, the recycling board using waste plastics and paper is developed and added electromagnetic wave absorption characteristic mixed with ferrite and carbon.

The better mix proportion of absorption is examined with parallel wire line method by small-size specimen. Large-size recycling board with electromagnetic wave absorption is made and has rather than 10dB absorption characteristic of electromagnetic field strength in quasi microwave band. This board will be able to improve the complex condition in electromagnetic environment.

Keywords : *Quasi microwave band, Return loss, Electric field strength, Parallel wire line, Ferrite, Carbon*

準マイクロ波帯、 反射減衰量、 電界強度レベル、 平行二線線路、 フェライト、 カーボン

1. はじめに

無線 LAN や携帯電話、地上波デジタル放送、高速道路の ETC などの実用化に伴い、電磁環境は非常に多様化・複雑化している。一方、電磁波が建築物内外で多重反射し高度電子機器の誤作動や、無線通信システムの情報漏洩等の障害が発生している。このため、特定周波数帯の電磁波の適切な送受信を可能とする建築空間内の通信環境を整備する必要がある。この対策の1つとして、建築壁面に電波吸収体を設置して電磁波の多重反射を減少させる方法がある。

筆者らはこれまでに電波吸収体の測定・評価方法として、平行二線線路を用いた測定法を提案し、この新測定方法を用いて多数の電波吸収体の研究を行ってきた^{1)~3)}。特に参考文献2)では、この平行二線線路測定法を用いる準マイクロ波帯の電波吸収特性の測定方法を検討し、迅速かつ経済的に電波吸収体を開発する手法について述べた。

また、近年ポリプロピレン (P.P.)、ポリエチレン (P.E.)、ポリエチレンテレフタレート (P.E.T.) などのプラスチックが大量に使用され、これらの廃棄物の再資源化が重要視されている。筆者らはプラスチック廃棄物と古紙を混合し、熱間プレスにより成型するリサイクルボードを開発中である。このボードの当初の使用目的は低コストのコンクリート型枠や家具材などである。しかし、本研究で電波吸収特性を付加することにより、高機能・高付加価値を有する電波吸収リサイクルボードとすることを考えている。

本研究は筆者らの一連の成果をもとに、実用化への応用の第一歩として、今後益々多様化してくる準マイクロ波帯における電波吸収リサイクルボードを作製し、この電波吸収特性を評価・検討する。

本研究では、1) プラスチック廃棄物と古紙を利用したリサイクルボードに、電波吸収材料のカーボンとフェライトを混入して、準マイクロ波帯用の電波吸収リサイクルボードを開発する。2) 寸法 70 mm × 120 mm、厚さ 10 mm から 20 mm の小型電波吸収リサイクルボードを試作し、平行二線線路測定法を用いて良好な電波吸収特性を有する電波吸収リサイクルボードの調合を見いだす。3) 電波吸収性能の良好な調合について、寸法 600 mm × 1800 mm、厚さ 15 mm の大型電波吸収リサイクルボードを作製し、このボードの任意の位置から切り出した供試体と小型電波吸収リサイクルボードの電波吸収特性を比較する。

電波吸収体の開発目標は、1) 簡易型携帯電話 (PHS) の周波数帯である 1900 MHz と無線 LAN、電子レンジの周波数帯である 2450 MHz において反射減衰量が 20 dB 以上あること、2) 1700 MHz から 2600 MHz までの広周波数帯域において反射減衰量が 10 dB 以上あること、3) 電波吸収リサイクルボードの厚さを 20 mm 以下とすることなどである。

本研究の成果は、電波吸収リサイクルボードを応用したオフィス用電波吸収パーティションの開発を可能とし、IT 機器を多用する複雑化したオフィス内の電磁環境の改善に役立つものと考えている。

* 名古屋工業大学大学院 助教授・工博

** 名古屋工業大学 名誉教授・工博

*** 名古屋工業大学 大学院生

**** ㈱トピア 代表取締役

Assoc. Prof., Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof. Emeritus, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

Graduate Student, Nagoya Institute of Technology

President, Topia Co.

2. リサイクルボード

2.1 概要 (本研究の一部を参考文献3)に示す。)

近年、プラスチックの統一化は徐々に図られているが、現在でも多種多様なプラスチックが様々な仕様部位に用いられ、分別無くしてプラスチックのリサイクルは困難な状況にある。本研究のリサイクルボードの作製においては、Fig. 1に示すように、各々のプラスチックの融点の違いを利用してプラスチック廃棄物を熔融しながら、かつ遠心力を用いてプラスチック廃棄物を繊維化することにより、多種多様なプラスチック廃棄物を分別する無分別繊維化工程を利用する。本研究で用いる繊維化したプラスチック廃棄物をPhoto 1に示す。縮れと不連続な太さの変化がこの繊維の特徴である。

プラスチック廃棄物を繊維化することにより、絡み合った繊維と繊維の隙間に粉末状の電波吸収材料を保持させることが可能となる。一方、古紙も紙の繊維を切断してしまうシュレッターで裁断するのではなく、古紙の繊維質を残すようにほぐしている。

2.2 作製方法

リサイクルボードの作製方法の流れをFig. 2に示す。リサイクルボードの作製方法における一連の工程は、粉碎工程、無分別繊維化工程、混合工程、熱間プレス工程の4工程に分けられる。

(1)粉碎工程: Photo 2に示す粉砕機を使用してプラスチック廃棄物を粉砕し、次工程に対応する均一な大きさに調整する。

(2)無分別繊維化工程: Photo 3に示すポリマーオリエンテーション機を使用して粉砕後の多種多様なプラスチックを熔融し、遠心力を利用して延伸繊維化させる。この方式は、各々のプラスチックの融点の違いを利用して、軟化・熔融したプラスチックを遠心力の作用によって吐出することで、無選別で分別繊維化を可能とし、熱可塑性樹脂を適材とする。ただし、本研究では設定温度を一定にして1種類のプラスチックを選別してリサイクルボードを作製している。

古紙は解繊し、繊維化する。この場合、切断するのではなく、引き裂く様に解繊し古紙の繊維の切断を防ぐ。

(3)混合工程: Photo 4に示すミキシングマシンを使用して繊維化したプラスチックと古紙を攪拌し、電波吸収材料であるカーボンとフェライトを混ぜて均一に混合する。

(4)熱間プレス工程: Photo 5に示す熱間プレス機を使用する。混合工程で混合した原料を、熱間プレス機にて加熱・加圧して、ボード化する。加熱温度は、今回の実験で使用するP.P.の融点(約160℃)を考慮して225℃とする。1MPaで加圧し、プレス時間は厚さ15mmで12分を標準とする。この結果、リサイクルボードは釘打ち、鋸引き、曲げ加工が可能である。

電波吸収材料を混入してボード化する場合、電波吸収材料を層状に重ねる方法と全体に均等に分布させる方法があるが、層状に重ねる方法はボードの層剥がれを起こしやすいため、本研究では後者を用いることとした。絡み合った繊維と繊維の隙間に粉末状の電波吸収材料を混入させることにより、ボードの全体に均等に電波吸収材料を分布させることが可能である。なお、今回の研究において使用するプラスチック廃棄物はP.P.とする。混入材料はカーボン(密度: 2.0[g/cm³]、粒径: 10 μm以下)とフェライト(密度: 5.0[g/cm³]、平均粒子径: 1.23 μm)の2種類の粉末とする。

将来は、電波吸収材料も産業廃棄物を利用し、電波吸収リサイクルボードの原料は全て廃棄物で構成するように目指す。

Fig. 1 熔融温度の違いによる分別と遠心力による繊維化の概念図

Photo 1 繊維化したプラスチック廃棄物

Fig. 2 電波吸収リサイクルボードの作製方法

Photo 2 粉砕機
(粉碎工程)

Photo 3 ポリマー
オリエンテーション機
(無分別繊維化工程)

Photo 4 ミキシングマシン
(混合工程)

Photo 5 熱間プレス機
(熱間プレス工程)

3. 準マイクロ波帯用の平行二線線路測定法

3.1 装置概要

平行二線線路測定法は、フェライトやカーボンなどの電波吸収材料を混入した複合材料のボード状供試体の測定に適している。準マイクロ波帯用の平行二線線路測定装置の概要をFig. 3に示す。装置の詳細は参考文献2)に示す。1900MHzから2450MHzの測定周波数を考慮して、測定装置に用いる線路は直径1mmの銅線とし、二線の間隔は10mmとする。また、測定時の安定性向上や線路を整合状態にするために線路の特性インピーダンスに等しい390Ωの抵抗と金属反射板を設置する。送信アンテナは線路上で固定する。受信アンテナは線路下を自由に滑らすことが可能で、供試体からの距離とその位置での電圧定在波を測定する。

3.2 測定方法

供試体を準マイクロ波帯用の平行二線線路測定装置に設置し、測定対象である1900MHz、2450MHzを含む1700MHzから2600MHzにおける準マイクロ波帯の範囲で電圧定在波を測定する。電圧最大値 V_{max} と電圧最小値 V_{min} を求め、測定値を式(1)、(2)、(3)を用いて計算し、電圧定在波比(ρ)、反射係数($|S|$)、反射減衰量(RL)を求める。

$$\rho = 10^{\frac{(V_{max. [dB]} - V_{min. [dB]})}{20}} \quad (1)$$

$$|S| = \frac{\rho - 1}{\rho + 1} \quad (2)$$

$$RL = -20 \log |S| [dB] \quad (3)$$

4. 小型電波吸収リサイクルボード

4.1 実験内容

大型電波吸収リサイクルボードを作製する前に、比較的作製しやすい小型電波吸収リサイクルボードにより、平行二線線路測定法を用いて反射減衰量を測定する。混入材料や混入量の違いによる反射

Fig. 3 準マイクロ波帯用の平行二線線路測定装置

Fig. 4 カarbon混入リサイクルボード
(No. 1 ~ 4) の反射減衰量

減衰量の変化を考察し、準マイクロ波帯の電波吸収体に適した調査を見いだす。

作製する電波吸収リサイクルボードは、(1) カarbon混入リサイクルボード、(2) フェライト混入リサイクルボード、(3) カarbon・フェライト混入リサイクルボードの3種類とする。リサイクルボードの調査表をTable1に、カarbonとフェライトの組成をTable2とTable3に示す。供試体の厚さは15mmとし、1700MHzから2600MHzの周波数帯域における反射減衰量を求める。また、良好な結果を得たボードについては、ボードの厚さを10mm、12.5mm、17.5mm、20mmと変えることで反射減衰量の最大値の周波数を1900MHz及び2450MHzに移動させるを試みる。

4.2 実験結果

(1) カarbon混入リサイクルボード

カarbon混入リサイクルボードの反射減衰量の測定結果をFig. 4に示す。No. 3で最大の反射減衰量を得たが、最大値は15dB以下にとどまった。図中の網掛けは開発目標の反射減衰量を示す。

(2) フェライト混入リサイクルボード

フェライト混入リサイクルボードの反射減衰量の測定結果をFig. 5に示す。どのボードにおいてもほとんど反射減衰量が得られなかった。カarbonと比較してフェライト単体を粉末として混入した構造では電波吸収特性は小さい。

Table1 電波吸収リサイクルボードの調査表(質量比)

No.	カarbon	フェライト	古紙	P.P.	カarbonの割合	フェライトの割合
1	97.5	—	380.5	570.7	9.3%	0.0%
2	195.1	—	361.0	541.5	17.8%	0.0%
3	304.8	—	339.0	508.6	26.4%	0.0%
4	381.0	—	323.8	485.7	32.0%	0.0%
5	—	118.3	390.8	586.3	0.0%	10.8%
6	—	236.6	381.1	571.6	0.0%	19.9%
7	—	304.8	375.6	563.4	0.0%	24.5%
8	—	381.0	369.5	554.3	0.0%	29.2%
9	96.6	96.6	373.0	559.4	8.6%	8.6%
10	180.9	180.9	349.3	524.0	14.6%	14.6%
11	239.0	239.0	333.1	499.6	18.2%	18.2%
12	255.5	255.5	328.4	492.7	19.2%	19.2%
13	278.5	278.5	322.0	483.0	20.4%	20.4%
14	308.4	308.4	313.6	470.5	22.0%	22.0%
15	356.3	356.3	300.2	450.4	24.4%	24.4%

Table2 カarbonの組成(質量比%)

C	O	S	Ca	Fe
69.5	30.1	0.31	0.03	0.03

Table3 フェライトの組成(質量比%)

Fe ₂ O ₃	NiO	ZnO	CuO
48.6	9.3	33.7	8.4

Fig. 5 フェライト混入リサイクルボード
(No. 5 ~ 8) の反射減衰量

Fig. 6 カーボン・フェライト混入リサイクルボード (No. 9, 10, 14, 15) の反射減衰量

Fig. 7 カーボン・フェライト混入リサイクルボード (No. 11) の厚さ別の反射減衰量

Fig. 8 カーボン・フェライト混入リサイクルボード (No. 12) の厚さ別の反射減衰量

Fig. 9 カーボン・フェライト混入リサイクルボード (No. 13) の厚さ別の反射減衰量

Fig. 10 カーボンとフェライトの混入割合と反射減衰量の最大値

Fig. 11 カーボン・フェライト混入リサイクルボードの厚さによる反射減衰量の最大値

(3) カーボン・フェライト混入リサイクルボード

カーボン・フェライト混入リサイクルボードの反射減衰量の測定結果をFig. 6～9に示す。混入量の過少による電波の透過が原因と考えられるNo. 9では全く反射減衰量が得られず、No. 10では少々効果があった。No. 11, 12, 13は、比較的大きな反射減衰量を得ることができた。誘電体と磁性体を混合することで反射減衰量が増加したと思われる。電波吸収材料の混入量の過多による電波の反射が原因と考えられるNo. 14, 15の割合の反射減衰量は減少した。

次に、良好な結果を得たNo. 11, 12, 13に関して、ボードの厚さを変えて反射減衰量を測定した。Fig. 7～9に示す様に全ての割合に関してボード厚さ15mmで高い反射減衰量を示し、最大値で25dB

を超える良好な結果が得られた。また、ボード厚さ15mmでは反射減衰量の最大値の周波数が2200MHz周辺に集中している。ボードを厚くすることで反射減衰量の最大値の周波数が低周波数側へ移動した。混入割合が一定のため、ボードの厚さを薄くする場合は混入量の減少に伴う電波の透過、ボードを厚くする場合は混入量の増加に伴う電波の反射により良好な結果とはならなかった。今回の実験中で唯一であるが、No. 11のボード厚さ20mmで1900MHzの反射減衰量のピークが20dB以上と開発の目標値を得ることができた。

4.3 実験の考察

Fig. 10にカーボンとフェライトの混入割合と反射減衰量の最大値を示す。今回の実験のカーボン・フェライト混入リサイクルボー

Fig. 12 小型電波吸収リサイクルボードNo. 12と
大型電波吸収リサイクルボードNo. 12'の反射減衰量の比較

ドではカーボンとフェライトの混入割合を1対1とし、この結果を図中の斜線部に示している。それぞれの混入率20%前後のNo. 11、12、13において、反射減衰量の最大値のピークが見られた。

Fig. 11にカーボン・フェライト混入リサイクルボードの厚さの違いによる反射減衰量の最大値を示す。No. 11、12、13のリサイクルボードの厚さを変化させた結果、反射減衰量の最大値はボードの厚さが15mmの場合、大きいことが分かる。これらの図は電波吸収リサイクルボードの調合設計に活用できると考える。

5. 大型電波吸収リサイクルボード

5.1 実験内容

前章の平行二線線路測定法により良好な反射減衰量を示したカーボン・フェライト混入リサイクルボードの中でNo. 12と13の2種類の調合において600×1800×15mmの大型電波吸収リサイクルボードを作製する。なお、大型ボードの名称はそれぞれNo. 12'、13'とする。この大型電波吸収リサイクルボードの任意の位置から切り出した70×120×15mmの小型電波吸収リサイクルボードの電波吸収特性を平行二線線路測定法で測定する。切り出す供試体数はそれぞれAからDの4個とする。

5.2 測定結果及び考察

大型電波吸収リサイクルボードの任意の位置から切り出した供試体で測定した平行二線線路測定法による電波吸収特性をFig. 12と13に示す。前章の同一調合の小型電波吸収リサイクルボードの平行二線線路測定法による電波吸収特性と、1700MHzから2600MHzの周波数範囲において10dB以上の反射減衰量でほぼ同等の電波吸収特性を得ることができた。ただし、大型化の製造により、反射減衰量の最大値は若干低下した。

6. おわりに

周波数1700MHzから2600MHzまでの準マイクロ波帯において、フェライトやカーボンを混入した電波吸収リサイクルボードを作製し、以下のことが分かった。

- 1) プラスチック廃棄物と古紙を利用したリサイクルボードに、電波吸収材料としてカーボンとフェライトを混入した準マイクロ波帯用の電波吸収リサイクルボードを作製した。
- 2) 小型電波吸収リサイクルボードを試作し、平行二線線路測定法を用いて電波吸収特性を測定した。この結果、電波吸収材料の混入量が少ないと電波を透過し、反射減衰量は小さくなる。混入量を増

Fig. 13 小型電波吸収リサイクルボードNo. 13と
大型電波吸収リサイクルボードNo. 13'の反射減衰量の比較

やすことで良好な電波吸収特性を得られるが、混入量が多過ぎると電波を反射し、反射減衰量は小さくなる。

3) カーボンとフェライトの混入割合を1対1として、それぞれの混入率20%前後のボード厚さ15mmのカーボン・フェライト混入リサイクルボードの反射減衰量の最大値は大きかった。

4) 大型電波吸収リサイクルボードを作製し、平行二線線路測定法を用いて電波吸収特性を測定した。大型ボードから切り出した供試体と小型電波吸収リサイクルボードの平行二線線路測定法による電波吸収特性は、ほぼ同等の特性を得ることができた。大型電波吸収リサイクルボードは、1700MHzから2600MHzの広帯域で反射減衰量が10dB以上の良好な電波吸収特性を得ることができた。

今後は、電波暗室において斜め入射特性等の実験を行いたい。

謝 辞 リサイクルボードの開発は名古屋工業大学河辺研究室、高橋研究室、株式会社トピアの共同研究で行いました。高橋清久教授、永田謙二助手、高桑芳樹氏、本学卒業生観田典明氏に謝意を表します。ご指導頂きました前学長岡島達雄工学博士に謝意を表します。

参考文献

- 1) 河辺伸二、池田哲夫、安川猛行；フェライト及びカーボン混入セメントモルタルの準マイクロ波吸収特性に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No. 567, pp. 1～5, 2003. 5
- 2) 河辺伸二、池田哲夫、観田典明；平行二線線路による準マイクロ波帯電波吸収特性の測定方法、日本建築学会構造系論文集、No. 567, pp. 7～11, 2003. 5
- 3) 河辺伸二、高橋清久、永田謙二、小西正夫、小野田有希久、高桑芳樹；プラスチック廃棄物と古紙によるリサイクルボードの開発、日本建築士学会大会学術講演会研究発表論文集、pp. 145～148, 2002. 9
- 4) 河辺伸二、下釜一男、池田哲夫、岡島達雄；フェライト混入モルタルのTV電波吸収特性に関する研究 フェライトとカーボンファイバースートの複合体の検討、日本建築学会構造系論文集、No. 532, pp. 1～5, 2000. 6
- 5) 河辺伸二、池田哲夫、安川猛行、下釜一男；準マイクロ波帯におけるカーボン混入セメントモルタルの電波吸収特性、セメント・コンクリート論文集、No. 53, pp. 951～957, 2000. 2
- 6) 河辺伸二、池田哲夫、下釜一男、安川猛行；準マイクロ波帯におけるフェライト混入セメントモルタルの電波吸収特性、セメント・コンクリート論文集、No. 52, pp. 948～953, 1998. 12
- 7) 池田哲夫、河辺伸二、下釜一男、岡島達雄；平行二線線路による鉄筋コンクリートのTV電波吸収特性の測定、日本建築学会構造系論文集、No. 512, pp. 1～6, 1998. 10
- 8) 池田哲夫、河辺伸二、岡島達雄；平行二線線路によるTV電波吸収特性の測定方法の提案、フェライト混入モルタルのTV電波吸収特性に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No. 496, pp. 17～22, 1997. 6
- 9) 清水康敬他；電磁波の吸収と遮蔽、日経技術図書(株)、1989. 1
- 10) 内藤喜之；電波吸収体、オーム社、1987. 4

(2003年11月10日原稿受理、2004年1月27日採用決定)