

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 9 月 7 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06043

研究課題名(和文)らせん構造を有する落花生内皮焼成粉体を用いた電磁波吸収体の開発

研究課題名(英文) Development of Electromagnetic Wave Absorber Using Peanut Endothelial Carbonized Powder with Natural Helical Structure

研究代表者

飯塚 博 (Iizuka, Hiroshi)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：90142215

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：植物非食部である落花生内皮を炭化焼成した多孔質炭素粉体には電磁波吸収特性がある。本研究では、その特性を活用した電磁波吸収体を、ゴムやプラスチックとの複合材料として製造する技術を開発した。特に、センチ波からミリ波域で利用できる電磁波吸収体を射出成形によって作製することを目指した。その結果、センチ波域では、その炭素粉体を10～30wt.%配合した2mmシート厚程度の電磁波吸収体で20dBを超える特性を実現できた。また、ミリ波域では、2mm厚シートに高さ5mm程度のピラミッド形状の凹凸を付けた吸収体を射出成形にて作製し、30dBを超える特性を広帯域で実現できた。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、自動車の衝突安全装置やスマホやテレワーク等に関わる通信システムの需要が急速に高まっている。その一方で、それら通信機器等から発生する不要な電磁波による機器や通信システムの誤作動が問題視されるようになってきた。このような不具合を解決する手段のひとつとして、電磁波吸収体が各種場面で使用されている。本研究は、その不要な電磁波を吸収して誤作動等の問題解決を目指す素材とその製造技術に関わる研究開発であり、その社会的意義は大きい。また、天然素材由来の多孔質構造は、らせん構造や八ニカム構造等多様であり、それらの構造と電磁波吸収特性発現の関連性については学術的にも興味深い内容を含んでいる。

研究成果の概要(英文)：The porous carbon powder obtained by carbonizing the peanut endothelium, which is a non-edible part of plants, has electromagnetic wave absorption characteristics. In this research, the authors have developed a technology to manufacture electromagnetic wave absorbers as a composite material with rubber or plastic. In particular, an electromagnetic wave absorber that can be used in the centimeter to millimeter wave range could be produced by injection molding. Specifically, in the centimeter wave range, an electromagnetic wave absorber with a carbon powder of 10 to 30 wt.% and a sheet thickness of about 2 mm was able to achieve characteristics exceeding 20 dB. In the millimeter wave region, 2 mm-thick sheet with a pyramid-shaped concavo-convex with a height of about 5 mm had an excellent characteristic exceeding 30 dB in a wide band.

研究分野：機械工学

キーワード：多孔質炭素粉体 落花生内皮 電磁波吸収体 複合材料 射出成形

## 1. 研究開始当初の背景

植物にはその種特有の多孔質構造が発達している。それらを活用して工業的に利用した例には、廃材、米糠焼成炭素材、もみ殻および大豆皮焼成炭素材等がある。一方、近年の電化製品の高性能化や自動車の電動化促進等に伴い、電磁波による電子機器や制御回路の誤作動等が問題になっている。この対策としては電磁波吸収体の利用が有効であり、金属板、あるいは酸化亜鉛・酸化チタン粉体等を配合した複合材料が開発されている。

著者らの研究グループは、ETC ゲート用電磁波吸収体として、大豆皮焼成粉体を配合したゴム系複合材料を開発し、実用化している。また近年になり、炭素をらせん形状に成形したカーボンマイクロコイル (CMC) が開発され、高い電磁波吸収特性があるとされている。筆者らは、図1に示す様な天然のらせん構造を有する落花生内皮を炭化焼成し、機能性フィラーとしてプラスチックに配合した複合材料を作製し、そしてその電磁波吸収特性について検討を開始している。

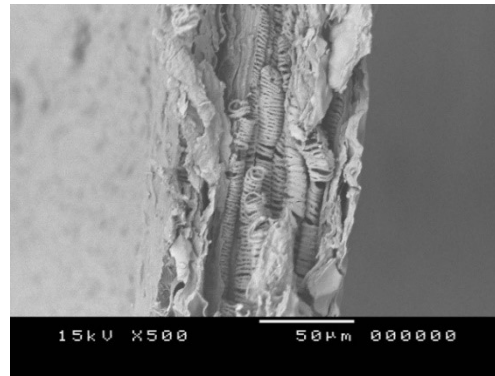


図1 落花生内皮に発達したらせん構造

## 2. 研究の目的

本研究では、落花生内皮を窒素雰囲気中で高温焼成して得た焼成炭素粉体をゴムやプラスチック用の機能性添加物 (フィラー) として用い、安価・軽量の電磁波吸収体の製造技術を確立する。

## 3. 研究の方法

**3.1 プラスチック複合材料製造** ペレットの作製と測定試料の射出成形による測定試料の作製は協力企業等と連携して実施した。はじめに、ペレット中での焼成粉体の分散状況と粉体の破碎状況を調べ、最適な製造条件を得た。具体的には、焼成粉体の破碎を抑えながらより均一分散させるために、プラスチック母相の高温や混練速度を調節し、界面活性剤の使用等も含めて最適条件を求めた。粉体の分散性評価はボロノイ分割法を用いて数値化して評価した。つぎに、射出成形機にて、電磁波吸収特性評価のための試料を作製し、焼成炭素粉体の粒径と分散度を評価した。さらに、その試料を用いて目標の電磁波吸収特性が得られるかを検討した。

**3.2 電磁波吸収体表面形状** 吸収体表面に凹凸を付すことにより、反射や吸収体内の電磁波の伝搬経路を複雑にすることで、広域な周波数域で高い電磁波吸収特性を実現することができるかを検討した。また、焼成粉体の添加量を変化させた2層構造の吸収体を作製し、社会が求めるレベルの吸収特性達成を目指した。

3.3 周波数帯域と吸収量測定 ETCゲートに使用されている周波数帯域は5.8GHzであり、その波長からセンチ波と呼ばれる帯域に相当する。また、自動車の追突防止システムで使用されている26GHz以上の帯域はミリ波帯域に相当する。本研究では、両帯域で有効な電磁波吸収体を夫々開発することを目指した。電磁波吸収特性、比誘電率、および比透磁率の測定と算出は、協力教員として連携した兵庫県立大学・山本真一郎准教授に担当して頂いた。測定はSパラメータ法を用い、測定装置は山本准教授所有の機器および関西地域にある公共試験機関所有の機器を用い、2カ所での測定結果を用いて評価した。

## 4. 研究成果

4.1 平成 29 年度 初年度は射出成形条件の設定と作製された試料で目的の電磁波吸収特性が得られるかの確認を行った。

(1) 焼成して得た多孔質炭素粉体を混ぜ込む母相のプラスチック素材選定に関し、これまで使用してきたポリエチレン(HDPE)に加えてポリプロピレン(PP)を用いた複合材料を作製した。図2に、両試料の測定結果を示す。今回使用した素材においては射出成形時の流動性が異なり、成形混練中に炭素粉体の破碎状況に差が生じ、吸収体における炭素粉体の粒径と分散性に差が生じる可能性が高かった。

(2) PE母相とPP母相の試料では、電磁波吸収特性に差が生じ、今回作製した試料の炭素配合量と試料厚さにおいては、吸収特性は流動性の良い母相試料でより良好な結果になった。両試料とも実用の目安である20dBは上回り、特に流動性の良好な母相試料では30dB付近の良好な特性が得られた。特性の傾向としては、流動性の良い母相で、より大きな粒径の炭素粉体の存在が有効に作用したと考えられる。

4.2 平成 30 年度 作製した電磁波吸収体に含まれる炭素粉体の種類・粒径・分布状況・配合量のセンチ波領域における吸収特性への影響について検討した。ミリ波領域の吸収特

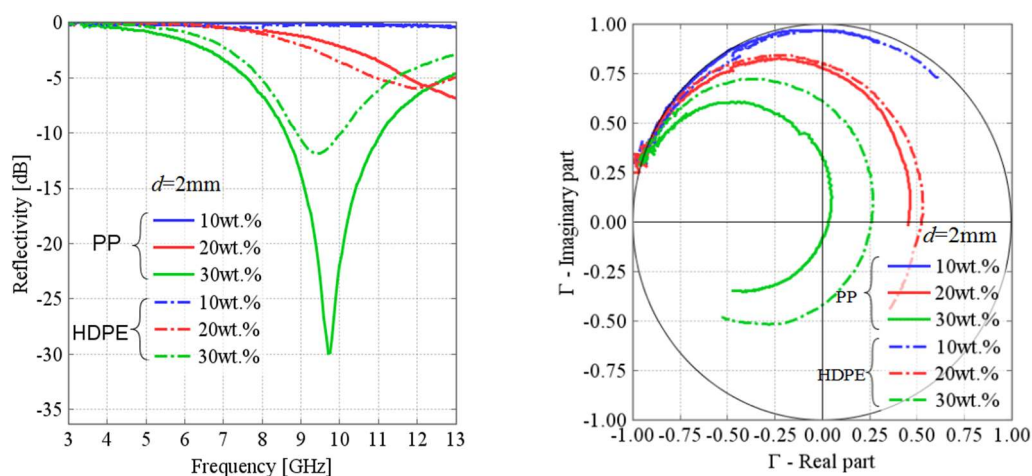


図2 母相にPPとEPDMを用いた試料のセンチ波域での電磁波吸収

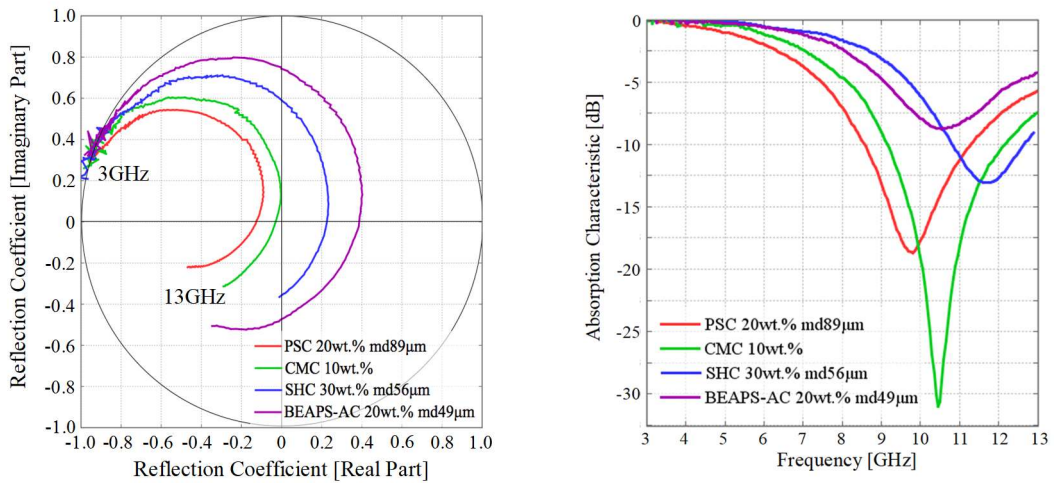


図3 各種炭素粉体を配合したシート材の電磁波吸収特性の比較

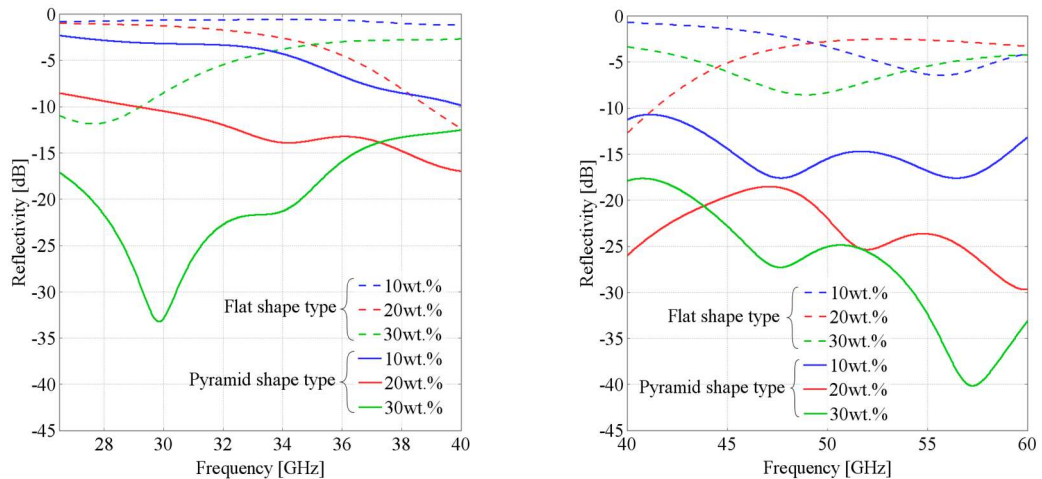


図4 試料表面にピラミッド形状を付けた試料のミリ波域における電磁波吸収特性比較

性については、吸収体表面にピラミッド形状の凹凸を付け、その形状効果について検討した。

(1) 射出成形体内における炭素粉体の分散性は良好であった。図3に、炭素粉体の種類・配合量のセンチ波領域における電磁波吸収特性への影響をまとめて示す。CMC10wt.%配合の購入シート材と落花生内皮焼成炭素粉体 20wt.%平均粒径 89µm 配合シート材の特性が近い。SHCは粳殻焼成粉体、そしてBEAPSは球状黒鉛の粉体である。

(2) ミリ波領域における電磁波吸収特性の代表的な測定結果を図4に示す。5mm高さのピラミッド形状凹凸の効果が大きく生じ、30GHz~90GHz付近までの広帯域で20dBを超える良好な電磁波吸収特性が得られた。

(3) 作製した素材の誘電率を測定し、その誘電率を用いた電磁波吸収体の設計法について、炭素粉体配合量の異なるシート材の積層構造化に関する基礎的な設計手法を確立できた。今後、指定周波数域において最適な吸収特性を有する電磁波吸収積層体の設計・製作・測定

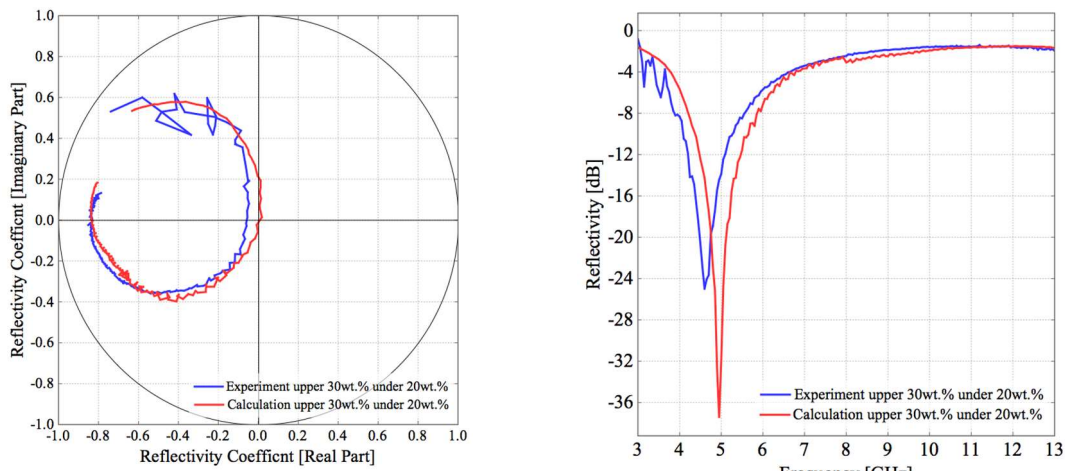


図5 積層型吸収体の電磁波吸収特性の測定結果と予測結果

に繋げていく。

**4.3 令和元年度** 最終年度は、協力機関と連携して電磁波吸収体製品化を目指した試作・特性評価・吸収体設計の手法確立を行った。得られた結果の要約を以下に示す。

(1) 試作した電磁波吸収体の比誘電率と比透磁率を、Sパラメータ法を用いた測定結果から算出した。算出されたそれら物性値を用いて、センチ波領域における積層型電磁波吸収体の設計を行った。図5に測定結果と予測結果の比較を示す。試作した積層型電磁波吸収体の測定結果と設計の際に予測した特性は良く一致した。

(2) ミリ波領域で比誘電率と比透磁率をSパラメータ法にて算出する際には、測定される数値の絶対値が小さいこともあり、計算誤差の影響が大きくなることから、適切な両物性値を求めるには工夫が必要であった。得られた物性値を用いて、表面にピラミッド状の凹凸を付した電磁波吸収体の吸収特性の予測手法確立を目指したが、凹凸形状の効果も含めた予測までには至らなかった。

(3) 表面に凹凸形状を付した電磁波吸収体を射出成形で製作する際に、配合した焼成炭素粉体の分散性を光学顕微鏡観察し、さらにその観察画像からボロノイ分割法を用いた分散性の定量評価を行った。その結果、粉体は吸収体表面の凹凸先端までほぼ良好な分布状態であり、さらに成形時に破碎されずに残った焼成粉体も観察され、その粉体には植物が持つ特有の多孔質構造が保持されていることを確認した。

これら三年間にわたる研究開発によって、センチ波からミリ波に至る領域で電磁波吸収特性に優れた射出成形体を、内部にらせん構造を有する落花生内皮焼成炭素粉体を用いて作製することができた。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Y. TANAKA, T. MASUYAMA, T. TAKAHASHI, H. IIZUKA and M. Shishido	4. 巻 23
2. 論文標題 Fatigue Strength Simulation of Natural Porous Structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int. J. Soc. Mater. Eng. Resour.	6. 最初と最後の頁 167-172
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 K. Honma, T. Masuyama, T. Takahashi, H. Iizuka and M. Shishido	4. 巻 43
2. 論文標題 Development and Performance Evaluation of Oil-retaining Porous Carbon Bearing made from Rice Hull	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 241-244
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 K. Honma, T. Masuyama, T. Takahashi, H. Iizuka and M. Shishido	4. 巻 23
2. 論文標題 Tribology Property in Oil-Impregnated Porous Carbon Materials made from Rice Hull	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Inter. J. of the Society of Materials Engineering for Resources	6. 最初と最後の頁 59-63
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 山本真一郎、兼岩敏彦、飯塚博	4. 巻 J101-B
2. 論文標題 農業系副産物を配合したプラスチック複合材料の電磁波吸収特性評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会和文論文誌B	6. 最初と最後の頁 293-295
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shishido Michiaki, Ito Shinko, Sato Tsukasa, Honma Kento, Ito Takuma, Takahashi Takeshi, Iizuka Hiroshi	4. 巻 43
2. 論文標題 Surface Precipitates Formed on a Porous Carbon Material made from Rice Bran during Seawater Immersion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 205-208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 本間 賢人, 増山 知也, 小野寺 良二, 高橋 武志, 飯塚 博, 穴戸 道明	4. 巻 6
2. 論文標題 粉殻焼成多孔質炭素材料のかさ密度と疲労強度の関係	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 科学・技術研究	6. 最初と最後の頁 55-58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11425	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 N. Yoshii, T. Kaneiwa, S. Yamamoto, and H. Iizuka
2. 発表標題 Effect of Pyramid Shape on EM Wave Absorption for Absorber with Plant-carbonized Powder
3. 学会等名 EMC Sapporo & APEMC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本間賢人、吉田圭吾、今泉裕太、飯塚博
2. 発表標題 米ぬかから作られた多孔質炭素を有する複合材料の摩擦特性に及ぼすアラミド繊維の影響
3. 学会等名 日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新山恭平、板垣貴喜、高橋美喜男、高橋秀雄、飯塚博
2. 発表標題 粉殻由来の炭素粉体を添加した複合樹脂材料の摩擦しゅう動特性
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本間 賢人、北野 菜摘、吉田 圭吾、飯塚博
2. 発表標題 米糠由来多孔質炭素配合摩擦材における摩擦特性と機械的強度へのアルミニウムの影響
3. 学会等名 日本機械学会 北陸信越支部 第57期総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐野礼仁，高橋武志，飯塚博，宍戸道明
2. 発表標題 粉殻から作られる多孔質炭素材料の高温摩擦摩耗特性
3. 学会等名 日本MRS 第28回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中陽平，増山知也，高橋武志，飯塚博，宍戸道明
2. 発表標題 粉殻焼成多孔質炭素材料における破壊靱性と切り欠き深さの関係
3. 学会等名 日本MRS 第28回年次大会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 王 建康, 飯塚博
2. 発表標題 植物由来炭素粉体を用いた射出成形による電磁波吸収材の作製とその評価
3. 学会等名 日本機械学会第26回 機械材料・材料加工技術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉井尚城, 兼岩敏彦, 山本真一郎, 飯塚 博
2. 発表標題 植物焼成粉体を用いた電磁波吸収体の電磁波吸収特性へのピラミッド形状の影響
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中陽平, 増山知也, 高橋武志, 飯塚博, 宍戸道明
2. 発表標題 天然多孔質構造を利用した機能性炭素材料における破壊靱性評価
3. 学会等名 日本設計工学会2018年度春季大会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉井尚城、兼岩敏彦、山本真一郎、飯塚博
2. 発表標題 植物焼成粉体を用いた電磁波吸収材
3. 学会等名 日本素材物性学会、平成29年度年会、A-19
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Honma, T. Masuyama, T. Takahashi, H. Iizuka, M. Shishido
2. 発表標題 Tribology Property in Oil-Impregnated Porous Carbon Materials made from Rice Hull
3. 学会等名 ICMR2017 AKITA (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Tanaka, T. Masuyama, T. Takahashi, H. Iizuka, M. Shishido
2. 発表標題 Fatigue Strength Simulation of Natural Porous Structure
3. 学会等名 ICMR2017 AKITA (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	山本 真一郎  (Yamamoto Shinichiro)  (10514391)	兵庫県立大学・工学研究科・准教授    (24506)	