

令和元年6月3日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2014～2018

課題番号：26282002

研究課題名（和文）製品の長期使用を促すことを目的とした複合材料の混練技術確立

研究課題名（英文）Establishment of mixing and kneading technology for composite materials to long-term use

研究代表者

寺内 文雄（Terauchi, Fumio）

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：30261887

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、種類の異なるフィラー（充填物）を熱可塑性樹脂に混練することにより、製品の価値寿命を伸ばすことで、生活者に製品の長期使用を促進するようなプラスチック材料を開発することを目的とした。フィラーには複数の天然材料や金属粉末等を用い、それらが質感にどのような影響を及ぼすのかについて検討した。その結果、フィラーの種類によって質感の印象が大きく変化すること、そして使用を想定した質感の印象変化もフィラーによって大きく異なることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、熱可塑性樹脂にフィラーを混練することで、その質感の印象が大きく変化することを確認すると同時に、そのためのノウハウを獲得することができた。特に和紙繊維の一つであるアバカ紙を用いた場合は、金属材料粉や無機材料粉などのフィラーを混練した場合よりも、変化の幅が大きいこと、そして使用を想定した表面処理実験においても、最も好ましく印象が変化することが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to provide plastic materials that prolong the products value-life using kneading with thermoplastic resin and different types of fillers. It was discussed to clarify the effects of fillers on texture using several natural materials and metal powders as fillers. It was revealed that the most difficult filler to knead with resin was abaca paper. As a result of subjective evaluation, it was confirmed that the impression of the texture was depending on the kind of filler.

研究分野：材料計画

キーワード：プラスチック フィラー 長期使用 経年変化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

プラスチックは、いまや生活に欠かせない材料の一つとなっている。しかしながらその一方で、安っぽいとか高級感がないなどのネガティブな印象がもたれる材料である。実際のところ、プラスチック製品の大半は物理寿命よりも早く価値寿命に達してしまい、物理寿命を全うする前に製品が廃棄されてしまっている。もしプラスチックの充填剤であるフィラーによって、プラスチック製品の質感が向上し、また使用に伴ってより好ましい質感へと変化させることができれば、製品がより長期間使用されるのではないかと考えた。本研究の開始前は、熱硬化性樹脂にフィラーを充填することを繰り返すことで、混練するフィラーの種類によって質感の印象を変化させる検討を行っていた¹⁻²⁾。しかしながら、熱硬化性樹脂を用いる以上は、生産効率の悪さや環境負荷などの問題を拭い去ることができない。そのため熱可塑性樹脂にフィラーを混練する試みが必要不可欠と考えていた。

2. 研究の目的

本研究では、異なる種類のフィラーを熱可塑性樹脂に混練することで、生活者に製品の長期使用を促進するようなプラスチック材料を開発することを目的とした。そこで、段階ごとに3つの目標を立てて、それらを順番に達成していくこととした。その目標を以下に示す。

- (1) 熱可塑性樹脂にフィラーを混練するための混練技術の検討：ポリエチレンやポリプロピレンといったオレフィン系プラスチックに、金属材料粉や無機材料粉、和紙繊維などを混練するための技術的な要件を明らかにする。
- (2) フィラーを混練した熱可塑性樹脂の質感評価：オレフィン系プラスチックに、金属粉や無機材料粉、和紙繊維を混練し、それを卵型形状に成形したサンプルに対して、被験者による質感の印象評価実験を実施し、フィラーによる質感の印象変化を明らかにする。
- (3) 使用に伴う摩耗を想定した表面処理実験：皮脂模擬液と研磨剤を用いた表面処理実験を行い、表面処理実験前後におけるサンプルの印象の違いを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 熱可塑性樹脂にフィラーを混練するための混練技術の検討

熱可塑性樹脂とフィラーの選定

母材とする熱可塑性樹脂はポリプロピレンとした。ポリプロピレンは炭素と水素のみで構成されているため環境負荷が低く、マテリアルリサイクルはもちろんケミカルリサイクルも可能である。また燃焼させても有害物質が出ず、熱量も高いためサーマルリサイクルにも適している。フィラーとして使用した材料の一例を図1上側に示す。フィラーに用いた金属材料粉は、酸化による表面変化の可能性がある真鍮、銅および鉄と、酸化による表面変化が生じにくいアルミニウムの4種類とした。また無機材料粉には化粧泥と珪藻土を用いた。化粧泥は、非常に粒子が細かいために選定した。ここでは、黄色、白色、緑色、茶色の異なる4色の化粧泥粉を用いた。これらは水分を含んだ泥状になっているため、ろ紙で濾した後にオープンで加熱して水分を除去してから使用した。珪藻土は無機材料であることに加え、多孔質構造を有するためにフィラーとして用いた。そして和紙繊維は、繊維の強度に着目し、銀和紙、雲竜紙、アバカ紙、ココナッツ繊維入りのアバカ紙の4種類とした。

ポリプロピレンへのフィラーの混練と成型

ポリプロピレンと各種フィラーとの混練には、試験用混練機(ラボプラストミルCモデル、東洋精機製作所製)を用いた。そしてフィラーを混練したポリプロピレンの成形には、卓上自動式射出成形機(ハンドトゥルーダPM-1、東洋精機製作所製)を用いた。サンプルの形状は卵型となるようにした。この形状とした理由は、サンプルを手掌で把持しやすく評価しやすいことと、転がすことができるからである。

(2) フィラーを混練した熱可塑性樹脂の質感評価

フィラーに起因する印象の違いを明らかにする目的で、作製したサンプル34種類に加えて、表面をサンドブラスト装置によって研削したサンプル34種類の計68種類を対象として、被験者を用いた質感評価実験を実施した。被験者は平均年齢約23歳の男女で、計20名である。被験者は提示されたサンプルに触れないよう注意しながら観察した後、その印象を16対の7段階SD評価尺度によって評価した。ついで得られた結果から各サンプルの評価平均値を求め、最尤法とプロマックス回転を用いた因子分析法により評価構造の検討を行った。

(4) 使用に伴う摩耗を想定した表面処理実験

表面処理実験

サンプル表面が徐々に摩耗していくことで、質感の印象がどのように変化するかを明らかにする目的で、卓上振とう機:ワンダーシェーカーNA-4X(日伸理化製)を用いたサンプルの表面処理実験を実施した。まず1500番の耐水ペーパーをポリプロピレン製容器の底面に敷き、オレイン酸と市販植物油を混ぜた皮脂模擬液を加え、卓上振とう機によって、サンプルを9日間連続で振とうさせ、表面を研磨した。そして容器の底面のサンドペーパーを綿製の布に替え、これに仕上げ用研磨材と皮脂模擬液を加えた後、サンプルを7日間連続で振とうさせて、さらに表面を研磨した。



図1 樹脂に混練したフィラーの一例（上側）と混練後の樹脂の一例（下側）

表1 成型後のサンプルの外観

珪藻土			黄化粧泥粉			白化粧泥粉			緑化粧泥粉	
緑化粧泥		茶化粧泥粉		銀和紙			雲電紙			
雲電紙		アバカ紙		ココナツ繊維入りのアバカ紙			透明PP	青色PP	アルミ粉	
真鍮粉	鉄粉	真鍮粉、鉄粉	銅粉、鉄粉							
				■ 珪藻土	■ 和紙					
				■ 化粧泥粉	■ 金属材料粉					

表面処理前後の質感変化を明らかにするための印象評価実験

表面処理後のサンプルを対象に、再度被験者による質感評価実験を実施し、その結果を前述の因子分析のデータに加え再度分析した。サンプルは、前節で使用した34種類のサンプルの中から、フィラーの配合割合が高く、明確な印象変化が期待されるものとして金属材料粉5種類、和紙3種類、無機材料粉2種類を選択した。そして比較対象の目的でフィラーを混練していない2種類のサンプルを加えた計12サンプルを評価対象とした。

4. 研究成果

(1) 熱可塑性樹脂にフィラーを混練するための混練技術の検討

図1下側に、一例として各種フィラーを樹脂に混練した直後の様子を示す。異なる割合のフィラーをポリプロピレンに混練することを繰り返すことで、フィラーの種類や樹脂とフィラーの配合割合に応じて、混練速度や混練温度、混練時間などを調整する必要があることが確認できた。加えて、サンプル作製の過程で、フィラーの種類や配合割合によって射出成形機のシリンダー温度や金型温度を調整する必要があること、またフィラーとその配合割合によって射出成形の困難さが異なることが判明した。特に和紙の配合割合が高いサンプルは、他のサンプルと比較して成形が難しい傾向にあった。

(2) フィラーを混練した熱可塑性樹脂の質感評価

被験者を用いた質感の評価実験により得られた結果は、各サンプルの評価平均値を求めた後、最尤法とプロマックス回転を用いた因子分析法により集約した。その結果、これらのサンプルの印象は3つの因子に集約でき、累積寄与率が85.4%となった。すなわち、これら3因子で8割5分が説明できることが明らかとなった。また各因子を構成する評価尺度から、第1因子は新品感因子、第2因子は硬軟感因子、第3因子は派手さ感因子と解釈することができた。図2は、第1因子：新品感における各サンプルの因子得点を布置した結果である。図では表面研削前のサンプルを上段に、研削後のサンプルを下段に示した。この図では、右側に位置するサンプルほど新しくてつるつるしているのに対して、図の左側に位置するものは古くてざらざらしている印象であることを意味している。フィラーを混練していないサンプルは、図の右下に位

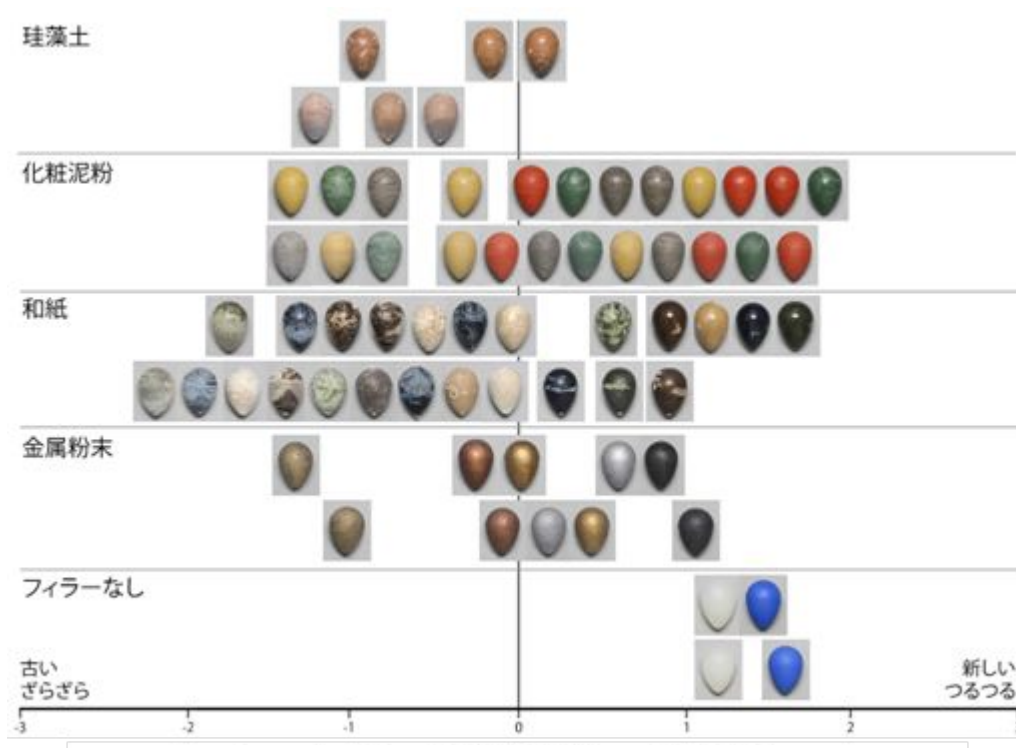


図2 第1因子：新品感におけるサンプルの因子得点

置していることから、フィラーを混練することによって新品感が低減されることが示唆された。表面研削による印象変化は、混練するフィラーによってその程度が異なる傾向が見られた。和紙繊維や珪藻土をフィラーとしたサンプルは、金属粉末をフィラーとしたものと比較すると研削前後の差が大きくなる傾向が見られた。研削による和紙繊維の露出状態の変化や、サンプルの色が変化したことによる影響と考えられる。

また第2因子（硬軟感）では、フィラーを混練していないサンプルと比較して、樹脂の配合割合が高いサンプルほど硬い印象と評価され、フィラーの配合割合が高く、研削したサンプルほど柔らかいと評価された。表面研削による印象変化については、フィラー入りのものは柔らかさが増す傾向がみられ、珪藻土においてその傾向が顕著に見られた。これは研削によってサンプル色の変化した影響が最も大きいと考えられる。そして第3因子（派手さ感）では、フィラーを混練することにより、派手な印象へ変化するサンプルが多いことが明らかになった。サンプルの色や、和紙の場合では表面に露出している繊維による模様が派手さに影響を及ぼしていると考えられる。また成形後により派手な印象となったサンプルも、表面を研削することで、質素で地味な印象へと変化させられることを確認した。

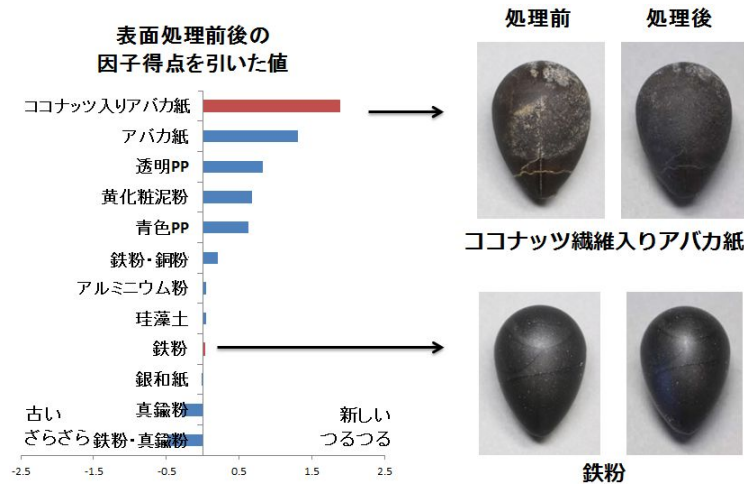
(3) 使用に伴う摩耗を想定した表面処理実験

表面処理後のサンプル表面

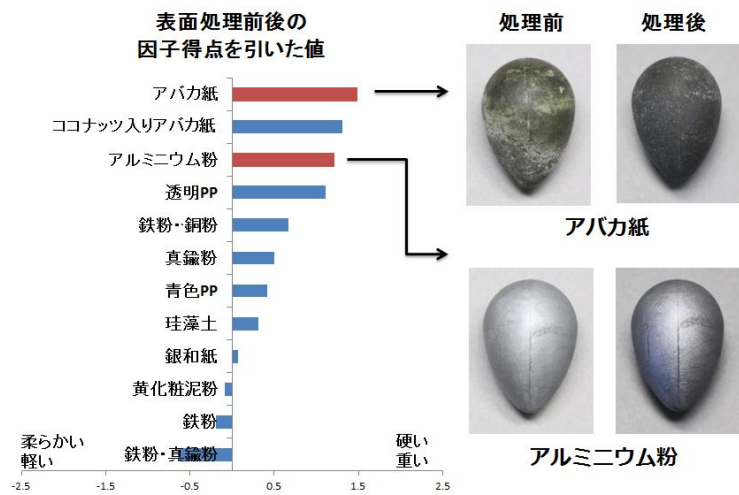
表面処理後の各サンプルにおける表面の特徴は以下のように要約できる。金属材料粉をフィラーとしたものでは、鉄粉をフィラーとしたものを除き、処理後の表面が滑らかになり、光沢が増す傾向にあった。鉄粉をフィラーとしたものは、逆にくすんだような表面となった。無機材料粉をフィラーとしたサンプルのうち珪藻土をフィラーとしたものは処理後に表面が滑らかになり、フィラーの比率が高くなるほど表面の色が濃くなった。化粧泥粉では処理後に表面が滑らかになったもののフィラーの比率が高くなるほど表面が乾燥しているように変化した。そして和紙繊維をフィラーとしたサンプルでは、表面処理によって繊維がより多く表面に露出されるようになり、フィラーの比率が高くなるほど表面の色が濃くなる傾向にあった。

表面処理前後の質感の印象変化

図3-a)に表面処理前後の第1因子：新品感における各サンプルの因子得点差を示す。図中の数値は値が大きくなるほど、処理後に新品感が増加することを意味している。アバカ紙繊維や化粧泥粉をフィラーとしたサンプルは、摩耗に伴ってより新しい印象となることが示唆された。また図3-b)は摩耗実験前後の第2因子：硬軟感における各サンプルの因子得点差を示した結果である。図中の数値が大きくなるほど、表面処理によってより硬く、重い印象へと変化することを意味している。硬軟感においても、第1因子と同様、アバカ紙の繊維をフィラーとしたサンプルにおいて、印象の差が最も大きくなる結果となった。これはサンプルの表面に露出している繊維が皮脂模擬液を吸収したためと考えられる。またアルミニウム粉を混練したサンプルやフィラーを含まないポリプロピレン、鉄粉や真鍮粉をフィラーとしたサンプルも硬さや重さの印象が増加する傾向が示唆された。そして第3因子：派手さ感においては、アルミニウム粉



a) 第1因子：新品感の変化



b) 第2因子：硬軟感の変化

図3 表面処理前後における因子得点差

をはじめとする金属材料粉を混練したサンプルにおいて、印象変化が大きくなることが示唆された。これらのサンプルでは表面処理によって光沢感が増したためと考えられる。

(4)まとめ

本研究では、種類の異なるフィラーを熱可塑性樹脂に混練することにより、生活者に製品の長期使用を促進するようなプラスチック材料を開発することを試みた。そのためフィラーには、樹脂とは異なる複数の天然材料や金属粉末等を用い、このことが質感変化にどのような影響を及ぼすのかについて検討した。その結果、対象としたフィラーを熱可塑性樹脂に混練するための技術的要件を明らかにすることができた。今回用いたフィラーの中では、和紙繊維を混練する場合が最も困難であったものの、重量比で樹脂の2倍までの和紙繊維は混練できることが確認できた。またフィラーによって質感の印象が大きく変化することが明らかになり、なかでも和紙繊維は表面を研削することで、さらに大きく印象を変化させられることが判明した。特にそれらのなかでもアバカ紙をフィラーとして混練したサンプルは、摩耗を想定した表面処理実験でもより好ましい方向へと大きく印象が変化することが明らかになっている。

大半のプラスチック製品には少なからずフィラーが混練されている。今回は質感変化の視点から熱可塑性樹脂にフィラーを混練することにより、フィラーによって新たな印象と使用に伴う質感変化を与えられることが確認でき、生活者に長期利用を促す可能性が示唆された。本研究では、使用後の質感変化を検討するために機器を用いて摩耗による変化を検討している。しかしながら、本来は被験者に使用してもらい、その経時変化について検討する必要がある。そのためにはサンプル形状から見直す必要があると考えている。

<引用文献>

- 1) 須田高史, 鴨井明子, 上田エジウソン, 寺内文雄, 久保光徳: シリコーン樹脂とフィラ

ーの複合によるテクスチャ表現, デザイン学研究, 61(6), 85-92, 2015

2) 須田高史, 鴨井明子, 上田エジウソン, 寺内文雄, 久保光徳: 不飽和ポリエステルとフイラーの複合による質感表現, デザイン学研究, 62(2), 47-54, 2015

5. 主な発表論文等

[学会発表](計1件)

寺内文雄, 白柳爛, 佐藤浩一郎, 経時変化に伴う質感変化に着目した複合材料の提案, 日本デザイン学会春季研究発表大会, B9-03, 2018

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 佐藤 浩一郎

ローマ字氏名: (SATO Koichiro)

所属研究機関名: 千葉大学

部局名: 大学院工学研究院

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 40598330

研究分担者氏名: ウエダ エジウソン S

ローマ字氏名: (UEDA Edilson S)

所属研究機関名: 千葉大学

部局名: 大学院工学研究院

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 50436341

研究分担者氏名: 須田 高史

ローマ字氏名: (SUDA Takashi)

所属研究機関名: 群馬県立産業技術センター

職名: 係長

研究者番号(8桁): 50522372

研究分担者氏名: 久保 光徳

ローマ字氏名: (KUBO Mitsunori)

所属研究機関名: 千葉大学

部局名: 大学院工学研究院

職名: 教授

研究者番号(8桁): 60214996