

論文内容の要旨

※ 論文内容の要旨を以下確認する。

論文審査会委員会

主査 西脇 武志

専攻長

(博士後期課程) 渡邊 慎一委員 蔦森 秀夫坪井 涼小橋 眞

申請者	吉村 圭二郎	世話指導教授	西脇 武志 教授
最終学歴	学士		
現職	研究員		
世話指導専攻	工学部 機械工学科		
論文題目： カーボンファイラーを添加した樹脂複合材からなる			
柔軟なひずみセンサ材料の開発			

要旨

近	年	に	な	り	高	齢	化	社	会	が	深	刻	な	問	題	と	な	っ	て	き	た	日	本	
を	は	じ	め	と	す	る	先	進	国	諸	国	に	お	い	て	は	、	生	活	支	援	・	医	
療	介	護	ロ	ボ	ツ	ト	の	活	用	が	大	き	く	期	待	さ	れ	る	よ	う	に	な	っ	
て	い	る	。	こ	の	よ	う	な	ロ	ボ	ツ	ト	に	必	要	と	さ	れ	る	ひ	ず	み	セ	
ン	サ	材	料	と	し	て	、	樹	脂	と	導	電	性	フ	ィ	ラ	ー	か	ら	な	る	複	合	
材	が	古	く	か	ら	検	討	さ	れ	て	い	る	。	こ	の	複	合	材	で	は	変	形	す	
る	際	に	内	部	の	導	電	性	フ	ィ	ラ	ー	間	の	接	点	が	増	減	す	る	た	め	
、	電	気	抵	抗	率	変	化	を	利	用	し	て	ひ	ず	み	セ	ン	シ	ン	グ	を	行	う	
こ	と	が	で	き	る	。	し	か	し	こ	の	複	合	材	セ	ン	サ	材	料	は	感	度	、	
柔	軟	性	、	測	定	可	能	な	ひ	ず	み	範	囲	、	ヒ	ス	テ	リ	シ	ス	特	性	な	

どの数々の課題がある。本研究では、ファイラー/マトリックスの最適化、気孔の導入、気孔分布の傾斜化などで改良を行い、複合材からなるセンサ材料の問題点を克服し、高機能化していくことを目標とした。最初にマイクロメートルオーダーの炭素繊維でコイル形状を有するカーボンマイクロコイル（CMC）を樹脂に添加した複合材を作製し、これをひずみセンサ材料として用いるための検討を行った。CMCは荷重を受けた際には通常のコイルばねのように伸長し、その際に自身の電気抵抗が増加するユニークな特性を有するため、これを含有了した複合材には新しい電気抵抗率変化のメカニズムが発現すると考えられる。CMCからなる複合材は、わずか10%圧縮・引張変形で電気抵抗率が1000倍程度まで増加し、他のファイラーからなる複合材のそれ（10倍程度かそれ以下）よりもはるかに大きいことがわかった。変形時のCMC複合材の内部観察や破断面のSEM観察から、周囲の樹脂が大きく変形した際には内部のCMCもコイルばねのようにピッチを広げて伸長し、この際にCMC自身の電気抵抗が増加して複合材の電気抵抗率増加に寄与していることがわかった。このようにして少ないひずみで電気抵抗率が大きく変化するCMC/樹脂複合材は、高感度なひずみセンサ材料として期待できることがわかった。次に、ケッチェンブラック（KB）を添加した複合材

にスペーサー法を用いて数十～数百マイクロメートルの気孔を導入した多孔質複合材を、ひずみセンサ材料として用いる検討を行った。気孔の導入に伴い複合材の弾性率は減少し、また導入する気孔のサイズによりこの弾性率をある程度制御できることがわかった。また、気孔なしの複合材を圧縮した場合には、圧縮率が10%を超えると電気抵抗率の変化が不安定になるのに対し、多孔質複合材では圧縮率0～80%の範囲で電気抵抗率が単調に減少していた。さらに、この多孔質複合材においては、繰り返しの圧縮変形を行った際の電気抵抗率変化のヒステリシスも軽減できることがわかった。これらのことから、KBを添加した多孔質複合材は、高い柔軟性を有し、繰り返しの大変形にも対応できるひずみセンサ材料として期待できることがわかった。続いて、多孔質複合材に添加するフィラーをCMCに変更し、同様にひずみセンサ材料として用いるための検討を行った。このCMC多孔質複合材では前述したKB多孔質複合材とは傾向が逆になり、圧縮率0～80%の範囲で電気抵抗率が1000倍程度にまで増加していた。これは先に述べた内部のCMCの変形が複合材の電気抵抗率に影響を与えたためと考えられる。このCMC多孔質複合材は大変形領域で高感度な測定が可能なひずみセンサ材料として期待できることがわかった。

最後に、気孔のサイズが材料内部で特定方向に向かい

変化する傾斜多孔質複合材に関する検討を行った。先に述べたKB多孔質複合材では高圧縮率における感度（電気抵抗率変化）に、CMC多孔質複合材ではヒステリシス特性に課題を有していたため、ここではこれらの課題を解決することを目標とした。スペーサー法の応用により作製したKBを添加した傾斜多孔質複合材は、圧縮率の増加に伴い変形領域がシフトする、均一気孔を有した複合材にはない機械的特性を有していた。これは前に述べたように、スペーサー法で作製した多孔質複合材では、導入する気孔のサイズに依存して弾性率が変化するためである。この変形領域のシフトにより、傾斜多孔質複合材では均一多孔質複合材と比較し、高圧縮率においても電気抵抗率変化が大きく表れることがわかった。さらにこのKBを添加した傾斜多孔質複合材では、繰り返し圧縮変形を行った際の電気抵抗率変化のヒステリシスも小さくなることがわかった。傾斜多孔質複合材は、従来の複合材センサ材料の有していた感度、柔軟性、測定可能なひずみ範囲、ヒステリシス特性に関する課題を、高いレベルで解決した材料といえる。

今後開発される生活支援・医療介護ロボットに用いるひずみセンサ材料には、これまでより多くの機能が求められると考えられる。こうした要求に答えるため、複合材センサ材料が上述した手法などで高機能化され、より広い用途で活用されていくことを期待したい。