

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 1 日現在

機関番号：55201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20760205

研究課題名（和文）超伝導機器絶縁へのナノコンポジット材料の適用

研究課題名（英文）The breakdown characteristics of the nano-compsite insulation material for the superconducting systems

研究代表者

箕田 充志 (MINODA ATSUSHI)

松江工業高等専門学校・電気工学科・准教授

研究者番号：00311069

研究成果の概要（和文）：超伝導を応用した電力機器の開発が行われている。本研究は、高分子材料にナノフィラーを配合したナノコンポジット材料を用い、超伝導機器を対象とした極低温電気絶縁に適用するため、その電気絶縁特性を検討した。

本研究から、絶縁材料の破壊特性が絶縁系の絶縁耐力を決定する要因と示唆され、極低温における絶縁材料にナノフィラーを配合し補強することで放電に対して優位性を持ち、電気絶縁性が向上する結果を得た。

研究成果の概要（英文）：Superconductivity has been applied to developing electronic devices. This research is to examine electrical insulation property at cryogenic temperature in superconducting devices made up of nano-composite materials including nano filler.

The experimental results showed that the breakdown characteristics of insulating materials could become a primary factor in dielectric strength, and verified uplifted electrical insulation brought out from nano filler added to the insulating materials at cryogenic temperature.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
20年度	800,000	240,000	1,040,000
21年度	700,000	210,000	910,000
22年度	500,000	150,000	650,000
23年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子・電気材料工学

キーワード：電気・電子材料

## 1. 研究開始当初の背景

電気エネルギーの需要は、現代社会のелеクトロニクス化とともに着実な伸びを見せている。超伝導ケーブルは、そのエネルギー密度の高さに特長を有し、市街地の送電系統

のコンパクト化に大きく寄与するため、このような需要の伸びに対応できる有力な手段の一つとして考えられる。

しかし、電気エネルギー供給システムでは、単に量のみでなく安定性や信頼性の高さが

要求される。残念ながら、超伝導ケーブルはこれらの面で未だにいくつかの問題点を抱えており、それが実用化の大きな障害となっている。

この技術的課題の一つとして、ケーブルの長期信頼性を確保できる電気絶縁技術の確立があげられる。極低温で用いられる電気絶縁構成は複合絶縁であり、固体フィルムの絶縁耐力に依存する可能性があり、フィルムの絶縁耐力向上や冷媒の除去は電気絶縁特性を向上させるうえで重要である。

## 2. 研究の目的

現在、開発中の超伝導ケーブルの多くは、電力システムで用いられている OF ケーブルに代表される複合絶縁方式を基に、冷媒と高分子テープなどで構成される複合絶縁を採用している。しかし、複合絶縁は、超伝導状態からのクエンチや進入熱によって冷媒中に熱気泡が生じ絶縁耐力が著しく低下するといった問題を含んでいる。これらの解決法として、高分子テープの素材を改良し特殊環境下での破壊特性を向上させることが重要である。そこで、高分子フィルムにナノフィラーを配合したナノコンポジット材料を用いることで、極低温における高分子材料の機械的特性を向上させ、極低温絶縁材料として適用することが考えられる。

しかしながら、極低温領域におけるナノコンポジット材料の電気絶縁特性は、ほとんど検討されていない。

本研究は、ナノテクノロジーによって作製された充填材を、従来の高分子材料に配合したナノコンポジット材料を極低温電気絶縁に利用し、その基礎特性を詳細に検討することにある。これらの基礎特性から、超伝導ケーブルに用いる絶縁材料に関する破壊メカニズムを検討し、ケーブルの性能を飛躍的に向上させることを目的とする。

## 3. 研究の方法

試料のポリイミドフィルムとして、ナノフィラーの配合されていないフィルム、およびナノフィラーが配合されたポリイミドフィルムを用いた。

実験では、電極系として球-平板電極系を用い、これらのフィルムの絶縁破壊の強さを測定した。極低温においては、周囲雰囲気として液体窒素中(77K)を用い、試料を浸漬し実験を行った。比較のため、常温気中における絶縁破壊試験も行った。

試料には交流方形波を印加し、周波数は100Hz~10kHzと変化させた。印加電圧はファンクションジェネレータを用い作成し、高電圧アンプで3,000倍に増幅した。

また、絶縁破壊時に放電がどの程度広がりを持つかを調べるため、破壊試験を行った全

てのフィルムの破壊痕を比較した。破壊痕を楕円近似し、破壊痕の最大直径の部分を計測し、これを  $x[\mu\text{m}]$  と定義した。その線に対して直角にした向きで最大となる直径を計測し、これを  $y[\mu\text{m}]$  とした。

## 4. 研究成果

図1にフィラー配合の有無の室温における絶縁破壊特性を示す。図中の縦棒は標準偏差を表す。室温では、比較的低い周波数において、フィラーを配合した方がフィラーを配合しないものに比べ絶縁破壊電圧が向上した。周波数が高くなるにつれ破壊電圧はともに低下した。この原因として、高周波印加時の誘電損失に起因した発熱がポリイミドフィルムの熱的破壊を促したものと考えられる。

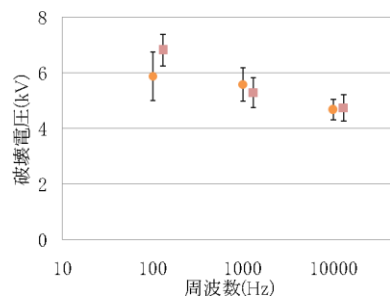
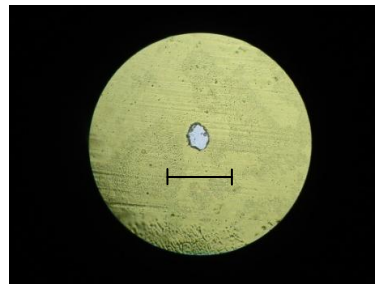
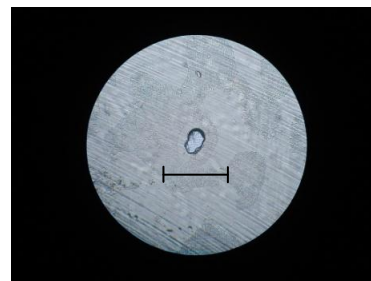


図1 室温における破壊電圧

図2にフィラーを配合した場合と配合しない場合の破壊跡を示す。破壊痕はフィラーを配合した方が配合しないものに比べ総じて小さいものとなった。



(a) フィラーなし



(b) フィラー配合

図2 破壊痕の比較

この原因として、フィルム中に含まれる無機質のフィラーが耐部分放電特性に優れていることから部分放電の進展特性を改善したためと考えられる。

図3にフィラーを配合した試料における極低温領域における破壊特性を示す。

実験の結果、極低温領域において破壊電圧は周波数にあまり依存せず、ほとんど同程度の破壊電圧を示した。これは極低温領域においては、誘電損失による発熱よりも、破壊機構が電子なだれによるものと考えられ、フィルムの本質的な絶縁耐力に特性が依存したためと考えられる。

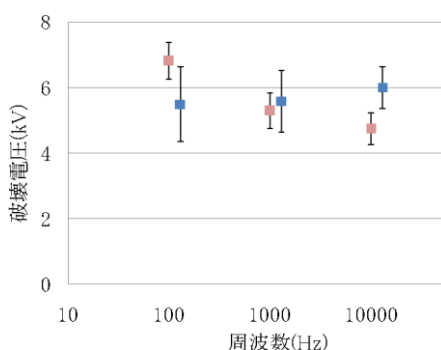


図3 低温におけるフィラー配合フィルムの破壊電圧

極低温におけるフィラー配合フィルムの破壊痕は、図4に示すように小さいものも多く見られた。このことからナノフィラーが放電特性を改善したと考えられる。

また、図5に示すよう、部分放電が生じやすい繰返周期が高い周波数においても極低温においては室温と比較して破壊痕は小さいことがわかった。

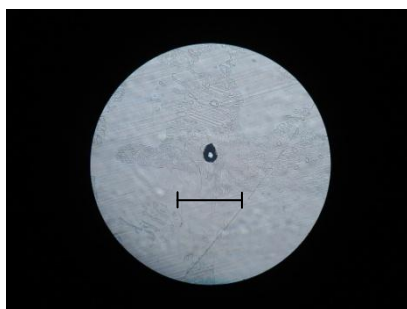


図4 極低温における破壊跡

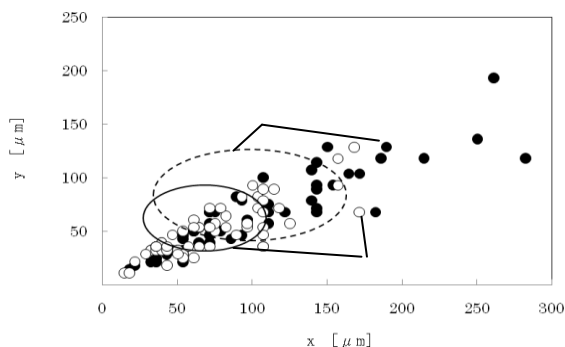


図5 破壊痕の大きさ

これらのことから、極低温では放電を抑制し、破壊痕を小さくする可能性が高いことから、ナノフィラーを配合した試料では、より一層破壊時の部分放電特性を改善することも考えられる。

このことは、極低温における絶縁構成で、多く用いられている複合絶縁系を対象とした場合、優位性がある。

#### まとめ

室温において、フィラーを配合した場合、破壊電圧が高くなり、破壊痕も小さいことから絶縁材料として優位性があることが示された。しかし、高周波印加時においては、誘電損失の増加に起因する熱的破壊によると考えられる破壊電圧の低下がみられた。

極低温領域において、フィルムの破壊電圧は一定値を示すことがわかった。これは、熱的破壊が抑制され、電子的な破壊となりフィルムの本質的な絶縁耐力に依存しているためだと考えられる。

室温および極低温において、ナノコンポジット化したことで、破壊痕を小さくすることができたことから破壊時の部分放電を改善する可能性が示された。

このことは、超伝導機器の極低温絶縁構成で多く用いられている複合絶縁系や将来の固体絶縁において優位性があるものと考えられる。

#### 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)

[学会発表] (計 11 件)

- ①吉原啓紀・箕田充志、ナノコンポジット材料の絶縁特性、平成 24 年電気学会全国大会、(2012/3/21) 広島工業大学
- ②吉原啓紀・箕田充志、ナノコンポジット材料における放電特性、平成 23 年電気学会基礎・材料・共通部門大会、(2011/9/21) 東

京工業大学

- ③吉原啓紀・箕田充志，超電導機器絶縁へのナノコンポジット材料の適応，平成 23 年電気学会産業応用部門大会，(2011/9/6) 琉球大学
- ④門脇優希・箕田充志，ナノ高分子材料における絶縁特性，The 12th IEEE Hiroshima Student Symposium，(2010/11/6) 島根大学
- ⑤吉原啓紀・箕田充志，超伝導機器絶縁におけるナノファイラー配合ポリイミドフィルムの放電特性，The 12th IEEE Hiroshima Student Symposium (2010/11/6) 島根大学
- ⑥吉原啓紀・高尾佳史・箕田充志，超伝導機器絶縁へのナノコンポジット材料の適用，平成 22 年電気学会産業応用部門大会 (2010/8/24) 芝浦工業大学 (東京都)
- ⑦高尾佳史・箕田充志，極低温領域におけるナノコンポジット絶縁破壊特性，電気・情報関連学会中国支部連合大会，(2009/10/17) 広島市立大学
- ⑧高尾佳史・箕田充志，超電導電力機器におけるナノファイラー配合ポリイミドフィルムの放電特性，電気電子絶縁材料システムシンポジウム，(2009/8/27) 松江テルサ
- ⑨箕田充志・山田直己・高尾佳史，超伝導機器絶縁におけるナノファイラー配合高分子を有する複合絶縁系の破壊特性，電気学会全国大会，(2009/3/17) 北海道大学
- ⑩山田直己・箕田充志，ナノ高分子材料における絶縁特性，The 10th IEEE Hiroshima Student Symposium，(2008/11/22・23) 広島産業会館
- ⑪高尾佳史・箕田充志，ナノコンポジット絶縁材料の破壊特性，電気・情報関連学会中国支部連合大会，(2008/10/25) 鳥取大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

箕田 充志 (MINODA ATSUSHI)

松江工業高等専門学校・電気工学科・准教授

研究者番号：00311069