

カーボンナノチューブによる面状発熱体の開発

藤原 直哉* (JR 北海道) 古月 文志 (北海道大学) 秋庭 英治 (クラレリビング)
蜂矢 雅明 (茶久染色) 西村 浩之 (イノアック技研)

Development of carbon nanotube-based fabric heaters

Naoya Fujiwara* (JR Hokkaido), Bunshi Fugetsu, (Hokkaido University), Eiji Akiba, (Kurarayliving)
Masaaki Hachiya, (Chakyu Dyeing), Hiroyuki Nishimura, (Inoac Technical Center)

Many potential applications implied by their remarkable electrical properties and the unique morphologies have been proposed for carbon nanotubes (CNTs). Their self-aggregation characteristics, i.e., they self-aggregate to form CNT-aggregates, on the other hand, have been the important barriers for their manipulation. The aqueous dispersions with CNTs at the tubular level for dispersions were used as dyestuffs for creation of electrically conductive multi-filament yarns. Yarns with $10^2 \Omega/\text{cm}$ levels of electrical resistivity were woven into fabric. The heaters were used for prevention of the water-tanks placed in the rest-rooms of JR Hokkaido's Ryuhyo-Norokko trains during the freezing winter seasons. The heating performances of the CNT-based fabric heaters were monitored and the resultant data were reported in this paper.

キーワード：カーボンナノチューブ，凝集，分散，面状発熱体

(Keywords, Carbon nanotube, Aggregate, Dispersion, Fabric heater)

1. はじめに

カーボンナノチューブ (Carbon nanotubes, CNTs) は、導電性など優れた電気的特性を有しており、燃料電池用材料など実用的な研究が進められている。しかし、CNTs はファンデルワールス力による凝集が生じるため、ナノ構造体本来のメリットを活かせず、用途展開を妨げる要因ともなっている。このことから互いに凝集する CNTs 塊を 1 本ずつにほぐす必要がある。両性イオン分子を分散剤として用いると、CNTs 凝集体の表面上で両性イオン分子膜を形成する。この分子膜は、双極子間の静電的引力により凝集体から CNTs を引き剥がし、これらを繰り返すことにより、CNTs 凝集体は完全に分散する。この分散技術を活用して、CNTs が複数本重なった場所では電気抵抗が生じ発熱する特性から導電性繊維をつくり、薄くて軽量であるにも拘わらず、発熱効率が高く、均一な温度分布となる面状発熱体について報告する。

2. 試作方法と特性

(2・1) CNTs 水性分散液

CNTs の分散液は、両性イオン界面活性剤、水和安定剤および脱イオン水を混合させ、界面活性剤の水溶液を調製した。この水溶液と CNTs を回転攪拌して液状化し、さら

にバインダーを添加して、CNTs の水性分散液を調製した。

(2・2) 導電性繊維

繊維への CNTs 付着処理は、ポリエステル糸を仮撚し、前記水性液を用い、糸プリント手法を応用した技術から、CNTs を付着させたポリエステル糸が得られた。この導電性繊維の断面を走査型電子顕微鏡により観察した結果を図 1 に示す。

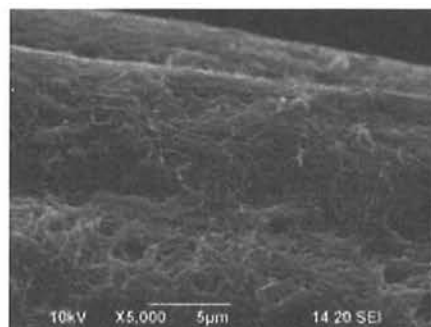


図 1 導電性繊維の CNTs ネットワーク。

繊維の表面には、CNTs がネットワーク上に積層して均一な導電層が形成している。このポリエステル糸の CNTs 付着量はポリエステル糸 1 g 当たり 0.032 g となり、電気抵抗値は $2.8 \times 10^2 \Omega/\text{cm}$ であった。CNTs 付着ポリエステル糸 (導電性繊維) を緯糸とし、レギュラーポリエステル糸を経糸に配置した面状発熱体の構成を図 2 に示す。防水と

付着した CNTs の脱落防止のため、両面を難燃ポリエステルフィルムで被覆して、CNTs 層を完全に封印した。

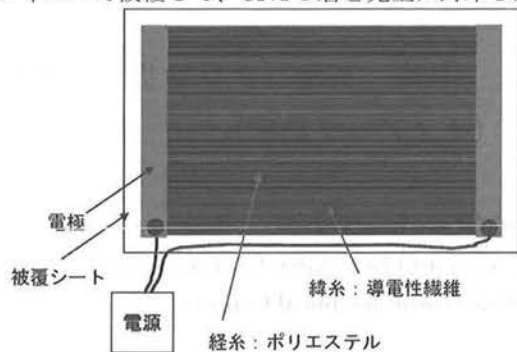


図2 面状発熱体の構成

〈2・3〉 燃焼性規格

加熱燃焼面側をクロロブレンゴムスポンジとケイ酸マグネシウムペーパーとで表面処理をおこない、鉄道車両用材料燃焼試験をした結果、両方とも難燃性の評価が得られた。(車材燃試 20 - 696K、20 - 697K)

〈2・4〉 特性評価

電極間距離 100mm の面状発熱体を試作して、印加電圧を可変した場合の温度特性を図3に示す。低電圧においても発熱挙動を示し、約 180 秒で温度は平衡状態に達する。ポリエステル糸が膨張し導電フィラーを引き離す PTC 特性は確認できず、温度による抵抗値の変化は少なかった。

各発熱体温度による電極間距離と電圧の関係を図4に示す。使用電圧を定めて、導電性繊維の電極間距離を調整することで、目的に応じた発熱温度の設定が可能となる。

また、ポリエステル原糸が 25% 伸張した場合の線抵抗値の変化は小さく、安定していることを確認した。

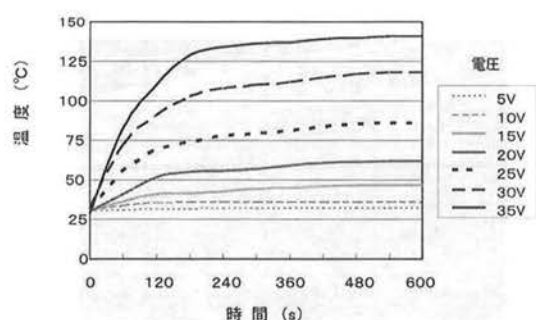


図3 面状発熱体の温度特性

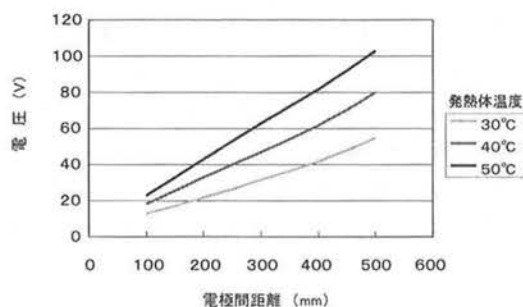


図4 発熱体温度による電極間距離と電圧

3. モニタリング試験結果

電極間距離 120 mm、直流電圧 24V で消費電力 192W となる面状発熱体 (590mm×600mm) を試作して、流氷ノロッコ号 (ワヘフ 500-51) のトイレ用水タンクに取り付けて、2009 年 1 月 31 日～3 月 8 日と 2010 年 1 月 30 日～3 月 7 日の 2 冬期にわたり、網走～知床斜里 (釧網線) において温度挙動を測定した。なお、発熱体温度が 50℃ となると電源 OFF となる異常加熱防止を施している。今冬期の温度挙動を図5に示す。車外の最低温度 -23.5℃、室内の最低温度 -5℃ で、発熱体温度は最低 32℃・最高 59℃・平均 49.7℃であった。発熱体温度は、車両基地でタンクに補水するため、急激な温度低下を繰り返すが、安定的に回復する。補水から平衡となるまで約 0.8℃/h の昇温性を示した。水温は 10℃ 以上を維持しており、平均水温は 30℃ となった。赤外線サーモグラフィによる観察から表面全体が均一に発熱しており、ヒートスポットは見受けられなかった。発熱体温度と室温との温度差は、室温 +30℃ 以上を 99.5 % 維持され、外気温 -20℃ 以下の厳しい環境下での耐久性を確認できた。

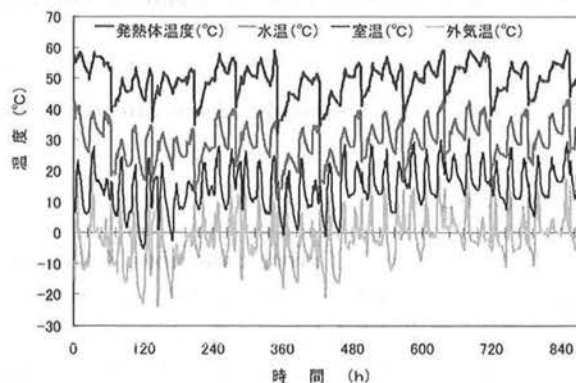


図5 モニタリング試験の温度挙動

4. まとめ

流氷ノロッコ号でのモニタリングにより、温度特性や耐久性が評価できた。繊維一本一本からの均一な温度分布となり、導電性の良い材料と組み合わせることにより電力量を抑制でき、被加熱物に応じた設計が可能となる。鉄道分野における用途は、座席ヒーターや踏切の融雪など幅広い活用を期待できるため、CNTs の安全評価に関する情報を収集し、実用化に向けた検討を進めていきたい。

最後に、この開発にご協力いただきました関係者の皆様に心から感謝します。

文 献

- (1) 古月文志ほか:「カーボンナノチューブの分散技術と廃液処理」, 日本分析化学会年会講演要旨集, Vol.56, pp.101 (2007)
- (2) 古月文志:「カーボンナノチューブの1次元構造特徴を生かしたハイブリッドの開発応用」, ケミカルエンジニアリング, Vol.53, No.6 pp.480-487, (2008)
- (3) 秋庭英治:「カーボンナノチューブのコーティングによる導電繊維の開発」, 繊維技術講演会講演要旨集, 巻 2008, pp.19-21, (2008)