

氏名	杉浦 友佳
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	乙 第 2 4 1 号
学位授与の日付	平成 2 9 年 3 月 2 0 日
学位授与の要件	信州大学学位規程第 5 条第 2 項該当
学位論文題目	多層カーボンナノチューブを用いた 天然ゴムコンポジット材料の 機械的特性及び電気的特性について
論文審査委員	主査 准教授 竹内 健司 教授 橋本 佳男 教授 林 卓哉 准教授 村松 寛之 教授 川口 雅之 (大阪電気通信大学)

論 文 内 容 の 要 旨

現在、世界で約 2,000 万トンのゴム原料が消費されているが、天然素材である天然ゴム (Natural Rubber, NR) はその約 40%に過ぎない。NR は、製造エネルギーが合成ゴムのおよそ十分の一と小さいだけでなく、年間およそ 9,000 万トンの CO₂ を吸収して成長している。さらに、樹液 (ラテックス) 採取中にラテックス漿液から医薬品や肥料が生産され、20~25 年後にラテックスの採取を終えた後には優れた木材として床材や家具に利用することが出来る。このように NR は誠に貴重な天然資源である。

一方、ゴム製品は、輸送機、土木、建築分野、電気・電子分野、医療・福祉分野などあらゆる分野に不可欠のキーパーツとして 100 年の歴史を誇っている。ゴム材料がその地位を他に譲らない理由は、金属、セラミックスはもとより他の高分子材料と大きく異なるゴム弾性といわれる独特の性質にある。ゴム材料の弾性率は 1~100MPa と非常に低く柔らかい上に、大きく変形しても負荷を取り除くと元の形状に戻るのがゴム弾性である。このゴム弾性は、タイヤ、ホース、ベルト、およびパッキンなど各種のシーラントに適用することができる。合成ゴムに比べてこのゴム弾性に優れるのが NR の最も大きな特長である。

しかしながらも、このように、大変優れた性質を有するエコマテリアルである NR は、天然植物由来の耐熱性、耐久性が低いため、一般に 60℃以下の用途に限定されている。最近、自動車を初め各分野でゴムパーツに対する耐熱性、耐環境性、耐久性などの要求が日増しに過酷度を増すなか、ますます NR を使いにくくなっている。このような背景の中、本研究は、NR をマトリクスにした NR コンポジットを用い、カーボンナノチューブ

(Carbon Nanotubes, CNT) をフィラーとするコンポジット材料の機械的特性、電気的特性の傾向を論ずる。また、更なる応用の可能性として、ロボットの皮膚素材を念頭においた NR コンポジットの接触抵抗についても考察する。近年、期待されるイノベーションのひとつであるロボットにおいては、その皮膚素材は圧力を電気信号に変えることが必要になり、そこに CNT を用いたコンポジット材料が活用される可能性は十分高いと考えている。

本論文では、NR コンポジットの機械的特性として、直径の小さいフィラーの方が、セルレーション構造ができやすく、コンポジット材料の機械的強度 (引張強度、耐熱性、耐久性) が増すことを示し、平均直径 15nm の多層カーボンナノチューブ (Multi Walled Carbon Nanotube, MWNT) の NR コンポジットにて 120℃での使用が可能なることも示した。これは今後合成ゴムから NR への転換を著しく促進すると考えられる。また、NR コンポジットの電気的特性として、平均直径 13nm の MWNT を用いた NR コンポジットにて、MWNT の含有量 2.9wt% でシュレッシュホールドがみられ、16.7wt% 付近にてパーコ

レーション臨界値に近づき、数 $10^{-1}\Omega\text{m}$ の体積抵抗を得ることを示した。これは NR コンポジットの導電材料としての側面を示している。更に NR コンポジットについて、金属で研究されてきた接触抵抗と荷重に関する乗数 n 値を検討した結果、Holm の考え方が適応でき、その硬度にも大きく依存することが分かった。つまり、NR コンポジットの接触抵抗は、NR コンポジットの体積抵抗率だけでなく、評価パラメータのひとつとして、硬度が活用できること言える。

以上のように本論文は、今後のコンポジット材料の学術、工学的分野での進むべき方向およびその応用上の可能性について基本的な知見を与え、工学的発展に対する指針を与えることができた。