

(課程博士・様式7) (Doctoral degree with coursework, Form 7)

# 学位論文要旨

## Summary of doctoral dissertation

専攻：共同教科開発学専攻 氏名：新鶴田 道也

Course : Cooperative Doctoral Course in Subject Development

Name : Michiya Shintsuruta

論文題目：中等理科教育における CNP 抵抗器教材の開発とその学習効果の解析

Title of dissertation : Development of a CNP(Carbon Nanotube Paper) Resistor as a Teaching Material for Secondary Science Education and Analysis of its Learning Effects

論文要旨：

中等理科教育における電気回路の学習過程に CNP (カーボン・ナノチューブ・ペーパー) 抵抗器教材を活用した学習活動を導入し、これによって可能となる新しい学びと、得られる学習効果について解析した。

第1章では、電気抵抗の基本的な理論を概観し、日本の中等理科教育における内容の取り扱いについてまとめた。現代の日本の理科教育において、電気回路に関する内容は、小学校から高等学校に至るまで系統的に扱われている。その過程の中学校理科「電流とその利用」単元は、抵抗の概念が初めて導入される重要な部分である。しかしながら、「電流とその利用」単元は、以前より理解度や好感度が低いことが課題とされており、現在に至るまで様々な学習状況の調査や教材及び指導方法の開発が盛んに行われてきた領域である。換言すると、認知的側面と社会情動的(非認知的)側面の両面に課題があり、双方を関連させたアプローチを用いて、基礎的な部分から単元全体を見通した、抜本的な改革が必要である。特に最近では、中等理科教育における電気回路の学習全体を見通し、探究活動での活用を視野に入れた、新しい内容の電気抵抗の学習が必要とされている。以上の背景を踏まえて、CNP 抵抗器を新規教材として開発し、中等理科教育における電気回路の学習内容に導入することによって可能となる新しい学びと、その学習効果の解析を行う。本研究の領域は自然系教科学(理科)を基軸としており、教育環境学による知見を取り入れた、教科開発学における研究テーマとして位置付けられる。

第2章では、CNP 抵抗器の構造や、教材としての特徴及び性能について分析した。CNP を抵抗体とした新規抵抗器教材を開発・活用することによって、抵抗体の形状を任意に変化させて抵抗値を測定する実験活動が限られた授業時間内において実施可能となった。CNP は中学生や高校生においても簡単に、精度良く加工することができる。また、中学校及び高等学校の授業における活用を想定した簡便な実験装置を用いて、CNP の長さや幅による抵抗値の依存性を測定した結果、想定通りの数値が得られ、理論値とよく一致することが明らかとなった。さらに、積分計算を行うことで、矩形以外の様々な形状の抵抗値を予測することが可能である点や、直列及び並列接続の合成抵抗を学ぶ実験教材としても優れた性能をもつことを確認した。

また、CNP に流れる電流の大小関係を視覚的に把握することを目的として開発した簡易型電流チェッカーを併用することで、中学校において抵抗の2次元的な形状依存性の学習が可能となった。

第3章では、CNP 抵抗器及び簡易型電流チェッカーを活用して、抵抗の形状依存性や合成抵抗に関する実験活動を組み込んだ、新しい学習指導法を開発した。これにより、抵抗の形状依存性を視覚的に理解可能な指導法を提案すると共に、抵抗そのものをテーマとした探究的な学習活動の展開が可能であることを示した。

中学校理科では、CNP 抵抗器の抵抗値を決定する要因を、簡易型電流チェッカーを用いた測定を通して予想し、量的な測定によって仮説を検証する授業を構想した。また、CNP 抵抗器を合成抵抗の実験教材として活用することで、抵抗の形状依存性を根拠とした合成抵抗の新しい指導法を提案した。

高等学校物理基礎及び物理においても、複数枚のCNP を重ねて厚さを変化させることで、抵抗の形状依存性を3次元的に理解できることを示した。また、高等学校理数探究では矩形以外の形状を含めた様々な形状の抵抗値について探究する学習活動を構想することができた。

第4章では、本教材及び指導法の学習効果を実践に基づいて解析した。中学校2校と高等学校2校で実践し、質問紙による学力調査や授業中に生徒が記載したワークシートの記述、授業中の様子など、質的及び量的な手法を組み合わせる結果を総合的に分析した。その結果、生徒たちは抵抗の形状依存性を擬似的に2次元のイメージを伴って理解し、抵抗とは何かに対する回答や合成抵抗の理解度及び納得度に対して有効に働く可能性が支持された。受講した生徒は、抵抗の形状依存性を理解することで、抵抗の概念は固定的なものではなく、自ら変更可能なものであることを体験することができた。さらに、抵抗の形状依存性を合成抵抗の概念へ応用させることで、電流の通り道の長さや幅という、キャリアが存在する環境に着目することができた。

第5章は研究成果から導かれる結論を述べ、今後の中等理科教育における示唆を得ることで総括とした。本研究によって示された、中等理科教育における電気回路のカリキュラムにCNP 抵抗器を導入することによって可能となる新しい学びとは、

- (1) 中学校理科における2次元的な抵抗の形状依存性の理解とこの概念を活用した合成抵抗の学習
- (2) 高等学校物理基礎または物理における2次元的な抵抗体を3次元的に拡張した抵抗の形状依存性の理解
- (3) 高等学校理数探究における微小部分の抵抗値を積分することによる任意形状の抵抗値の探究である。

以上の新しい学びは、認知的側面と社会情動的側面の双方を組み合わせたアプローチが可能であり、新しい電気回路のカリキュラムの開発に寄与する可能性がある。これは、中学校から高等学校を通じた学習過程における、抵抗に関する概念の段階的な拡張が可能となる可能性を示唆しており、CNP 抵抗器の導入に関する積極的な議論を進めることは有意義であると考えられる。今後は、多様な教材やモデルの差異に着目し、中等理科教育における電気回路の最適なカリキュラムの開発を進める予定である。