

2008年1月9日

大学院 人間科学研究科長 殿

佐藤 智明 氏 博士学位申請論文審査報告書

佐藤智明氏の学位申請論文を下記の審査委員会は、大学院人間科学研究科の委嘱を受け審査をしてきましたが、2007年12月19日に審査を終了しましたので、ここに結果をご報告します。

記

1. 申請者氏名

佐藤 智明

2. 論文題名

熱力学教育におけるマルチメディアコンテンツの効果的活用
—熱機関の動作原理および理論の理解を助けるCGアニメーションコンテンツの開発と実践—

3. 本文

近年、日本では学生の学力低下問題に起因して、大学など高等教育機関の現場でも教育効果を向上させる努力が必要となってきた。しかし一方で、大学教員の教育の質の向上に対する取り組みの意識は必ずしも高いものとは言えない。教育の質の向上の手法の1つとして、マルチメディア教材を使った授業の開発・実践がある。効果的なマルチメディア教材の開発には授業を担当する教員の積極的な寄与、もしくは教員自身による教材開発が必要であるが、教材の開発には時間と労力が必要であるため、自身の専門分野の研究に多くの時間を費やす大学教員にとって、教材開発は負担が大きく取り組みづらいのが現状である。こうした状況を改善するには、教員が自ら教材を開発することに少しでも抵抗が少なくなるように、教材作成スキルの必ずしも高くない教員でも容易に開発出来る手法を探る必要がある。

情報通信技術（ICT）の発達と共に、教育の現場にICTを導入する試みは近年多くの教育機関で盛んに行われるようになってきた。実物を用いた教材に比べて、ICTを活用した教材開発はコストの低減や開発時間の短縮が期待でき、教員の負担軽減にもメリットが大きいと考えられる。

また工学教育においては、理論や原理の理解、更には機械の構造やメカニズムなどの理解のために、CG等のICTを駆使した教育コンテンツは有効であると考えられる。更に、工学の分野でも特に熱力学の分野は熱という目に見えないものを対象とするため、その抽象的概念を具体化するためにマルチメディア表現による教材の活用は特に効果的である。本研究では、こうした熱力学の特徴に着目して、熱力学教育のためのいくつかのCGコンテンツ開発を行った。

本論文では、熱力学の中でも特に重要なテーマの1つである熱機関の動作原理および理論について、その理解を促進させるためのCGマルチメディアの開発および実践を行ない、その効果を確認するための一連の作業を行った。

本研究で開発したコンテンツは、他の教員が自ら教育コンテンツを開発する際の参考となるように、コンテンツの開発にはなるべく簡便な手法をとることとした。まず第2章においては、著者の勤務する大学の工学部機械工学系教員を対象とするアンケートを実施し、教員自らが教育用コンテンツを開発することに対する意識やスキルに関する調査を行った。この結果を基に、各教員が見込んである開発に充てられる時間と手間を考慮し、教員自身の使用に適したコンテンツ作成用アプリ

ケーション・ソフトウェアの選定を行った。検討の結果、アニメーション開発アプリケーションにFlash-MX（マクロメディア社）、LMSには簡単なCGIプログラムを用いることを決定した。

次に第3章では、第2章において選定したアプリケーション・ソフトウェアを用いて、ガソリンエンジンおよびディーゼルエンジンの動作を再現する2次元CGアニメーションコンテンツを開発した経緯を述べている。本コンテンツは、エンジンの構造や動作メカニズムを理解させることを主な目的としており、これを用いた教育を、大学一年次の機械実習科目の授業およびeラーニング環境下で実践し、その教育効果の検討を行なった結果、次のような結論を得た。

アンケートの結果から、概ね学生はマルチメディアコンテンツが理解しやすかったとの回答を得た。小テストの正答率の比較より、コンテンツ利用による学習効果が認められた。相関係数の比較からは、小テスト、Web課題の点数に相関が認められ、その学習効果を裏付ける結果となった。実習作業に対する教育効果の検討からは、Web課題のアニメーションを視聴することによって部品の役割を構造的に学習していることを示す結果が得られた。

更に、アンケートに記載された学生の要望等を参考にコンテンツの改良を行った。改良点としては、コンテンツに音響効果（燃焼音）を加え、アニメーションの動作速度を遅くした。改良後のコンテンツを利用した授業を実践し評価した結果、更なる教育効果の向上を確認することが出来た。

第4章では、ガソリン機関の基本理論であるオットーサイクルについて、その理論の理解をサポートすることを目的とするコンテンツの開発を行った。3章のガソリン機関のコンテンツを基に再構築し、ピストンの動きと連動して動作するポインターをコンピューター画面上のPV線図やTS線図上に配置し、それらの動きを追うことで、オットーサイクルを理論的に理解することを助けるアニメーションコンテンツを開発した。本コンテンツを機械工学実験科目において、授業中およびeラーニング環境で実践することによって学習効果を検証し、以下の結果を得た。

前章と同様に、まず小テストによる学習効果の検討を行った。授業を始める前、授業で本コンテンツを用いて教育した後、更にeラーニング環境でアニメーションコンテンツによる課題に取り組んだ後、の3つの時点において小テストを行った結果、コンテンツの経験が増すに従って小テストの点数が上昇することを確認した。これによって本コンテンツの学習効果が認められたと考えられる。次に相関係数による比較検討を行った結果、コンテンツに対する取り組み度の低い者ほどコンテンツによる学習効果が高いという矛盾を含んだ分析結果が得られたが、これは学習内容が既習であったことが原因であり、内容を思い出すという点においては、コンテンツへの取り組みの度合いに関わらず、学習効果が認められるという考察に至った。

第5章では、「カルノーサイクル」と呼ばれる現実には存在しない理論上最高の熱効率で動作する熱機関の理解を向上させることに着目した。カルノーサイクルは、熱エネルギーを仕事エネルギーへ変換する場合の原理とその効率を考えさせる上で非常に重要な理論である。カルノーサイクル機関は現実としては存在しない、理論のみが存在する熱機関である。このような実在しない機械をCG上で作成し、その動作を見せることは教育上有効であると考えられる。そこで本研究では、カルノーサイクル原理および理論の理解をサポートする2D(2次元)CGコンテンツの開発を行った。更に本コンテンツを熱力学の授業において実践し、アンケートを行い次のような結果を得た。

授業だけでは理解が難しかったカルノーサイクルの原理が、本コンテンツを用いた説明によって理解が深まったと考えている受講生が多く、本コンテンツに対する評価が高いことが判明した。

第6章では、これまで数百万以上の高額な予算が必要であった3D(3次元)CG立体視アニメーションコンテンツに着目した。本章でははじめに、既製の視聴覚装置やPCアプリケーションを応用した簡易で廉価（40万円程度）な3DCG立体視システムの開発を行った。更に、それを使って、4ストロークサイクルガソリンエンジンの動作原理を再現する3DCG立体視用アニメーションコンテンツ

を作成した。次に、実習科目において本コンテンツを実践し、アンケートによるコンテンツの評価を行った結果、本コンテンツによって部品の構造やメカニズムの理解が深まったとする回答が多く、本コンテンツの教育効果を確認することができた。

以上、本研究では、熱力学教育の中でも特に重要なテーマの1つである熱機関の動作原理および理論の学習に着目し、これらの理解をサポートする教育用 CG マルチメディアコンテンツの開発を行った。開発した2DCGおよび3DCG立体視によるCGマルチメディアコンテンツを授業の中で実践し、学習効果の検討を行った結果、非常に高い学習効果を得ることができた。これによって熱機関の動作原理や理論の教育におけるCGマルチメディアコンテンツの高い有効性を確認することができた。

(本論文の評価)

本論文は、マルチメディアコンテンツ教材の教育効果を研究対象に、工学教育の一分野としての熱機関の動作原理や理論の教育をその適応領域として、その効果の実証を目的としている。2次元および3次元立体視による具体的なCG利用のマルチメディア教材を実際に開発し、その教育効果をアンケートによる主観評価とテストによる客観評価の両面で実証した。また実用性においても、教員の教材開発の労力削減と経済性にすぐれた方法論を示した。本研究により提供された知見はマルチメディア機能の教育効果を具体的な形で実証し、工学教育の質向上に寄与すること大であると考えられ、博士(人間科学)の学位を授与するにふさわしい内容であると評価するものである。

4. 佐藤 智明 氏 博士学位申請論文審査委員会

主任審査員	早稲田大学 教授	工学博士(慶応義塾大学)	永岡 慶三	印
審査員	早稲田大学 教授	博士(人間科学)(大阪大学)	野嶋 栄一郎	
審査員	早稲田大学 教授	博士(工学)(広島大学)	金子 孝夫	
審査員	早稲田大学 教授		坂井 滋和	