

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 1 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23501018

研究課題名(和文) 3次元力覚呈示装置を用いた材料力学学習教材の開発

研究課題名(英文) Development of Learning Materials of "Material Mechanics" by Using a 3-dimensional Haptic Device

研究代表者

入江 隆 (Irie, Takashi)

岡山大学・教育学研究科(研究院)・教授

研究者番号：70253325

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：3次元力覚呈示装置を利用することにより、材料力学の基礎(力学パラメータと形状がどのような意味を持っているのか、内部応力がどのように発生しているのか)を視覚的、触覚的に理解できる工学初心者向けマルチメディア学習教材の開発を行った。開発した教材は以下の3つである。「1. 粘弾性材料の力学特性を表現するフォークトモデル、マクスウェルモデルなど、各力学モデルモデルの特性の違いを学習する教材」、「2. 「はりの曲げ強さ」をインタラクティブに学習する教材」、「3. 材料の内部応力をインタラクティブに学習する教材。」

研究成果の概要(英文)：Multimedia learning materials have been developed by using a 3-dimensional haptic device. These materials are appropriate for beginners who want to study material mechanics. Learners are able to study material mechanics in a visual and haptic manner. Developed materials are as follows; 1. The learning material for studying characteristics of several viscoelastic mechanical models, such as a Voigt model, a Maxwell model, and three element models; 2. The learning material for studying the bending of beams interactively; 3. The learning material for studying the inner stress of bending beams interactively.

研究分野：技術教育

キーワード：マルチメディア教材 力覚 構造力学 材料力学 はり 内部応力 粘弾性モデル

1. 研究開始当初の背景

材料力学は、機械工学、ロボット工学だけでなく、物理的な製作を行う際の基礎であるにもかかわらず、多くの工学初心者(工業専門学校)の学生、工学部の学生、教育学部で技術教育を学ぶ学生など)にとって、理解が容易な分野であるとは言い難い。

例えば、図1のような片持ちはりには力を加えた場合、どのような内部応力が発生するのか、正しく理解している学生は少ない。



図1 片持ちはりに力を加える様子

この問題に対しては、内部の応力分布を表示できるソフトウェアを利用して学習させることが行われており、一定の効果を得られている。しかし、もし学習者がこの材料に直接接触することができ、学習者自身が力を加え、その時の応力分布を直接確認することができれば、その学習効果は極めて高いことが予想される。

2. 研究の目的

バーチャルリアリティ研究において、仮想物体の力学特性を体感するために開発された3次元力覚呈示装置を利用することにより、上記の学習環境を構築することが可能となる。イメージ図を図2に示す。学習者は装置を操作することにより、ディスプレイ内に表示される仮想材料(例えば、上記の片持ちはり)に触れることができる。仮想材料に外力を加えると、装置により反力が学習者に呈示されるとともに、力学パラメータを基に算出される材料の歪みと内部の応力分布がディスプレイ上に表示される。学習者は力覚情報と視覚情報を同時にリアルタイムに取得することができる。

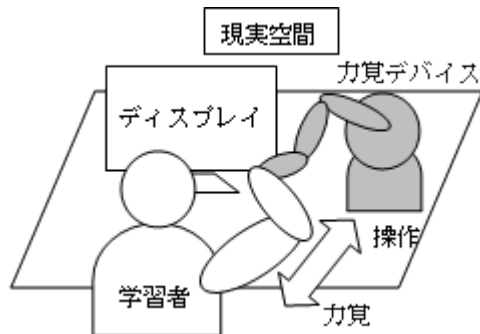


図2 力覚デバイスを利用した教材のイメージ図

本研究の目的は、3次元力覚呈示装置を利用することにより、材料力学の基礎(力学パラメータと形状がどのような意味を持って

いるのか)を視覚的、触覚的に理解できる工学初心者向けマルチメディア学習教材を開発することである。

3. 研究の方法

本研究では、以下に示す三つの教材開発を行う。

(1)粘弾性力学モデルを学習する教材の開発

粘弾性体の力学特性を表現するために利用されているフォークトモデルやマクスウェルモデルの特性を力覚的に体験できる教材を開発する。

(2)「はりの曲げ」を体感できる教材の開発

仮想空間に創造された片持ちはり単独に直接接触することができ、力を加えると「はり理論」に基づく曲げ変形が生ずるとともに反力をリアルタイムで体感できる教材を開発する。

(3)材料の内部応力を学習する教材の開発

仮想材料に触れ、学習者自身が力を加え、その時の変形と内部応力の分布を視覚的に確認できる教材を開発する。

4. 研究成果

(1)粘弾性力学モデルを学習する教材の開発

図3にシステムの外観を示す。学習者はディスプレイの正面に着座し、力覚呈示装置は利き腕の前方に設置する。学習者は力覚デバイスの球状エンドエフェクタを握り、動かすことでディスプレイ内のポインタを操作する。図4にディスプレイ画面を示す。ポインタは直径5mmの球体として表示される。粘弾性力学モデルを呈示する対象はディスプレイ中央の直方体として表現される。その大きさは表面が一辺60mmの正方形で、奥行きは50mmであり、表面のみが見えている。ポインタを粘弾性力学モデルに押し込むと、コンピュータ制御により設定された反力が発生し、エンドエフェクタを通じて被験者が粘弾性力学モデルの変位応力特性、応力緩和などを体感する。右下のWave Monitorには変位と反力の5秒間の履歴がグラフ表示され、応力緩和やクリープ挙動の様子をリアルタイムに観察することができる。

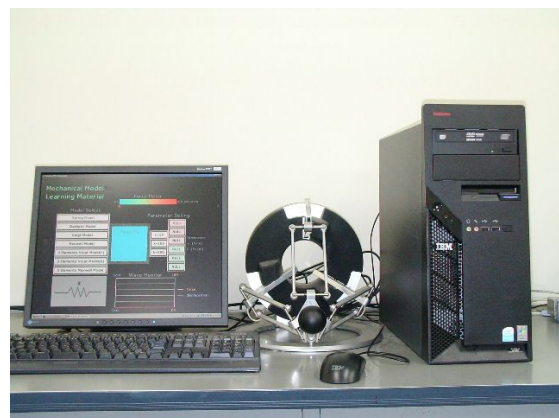


図3 粘弾性力学モデルを学習する教材の外観

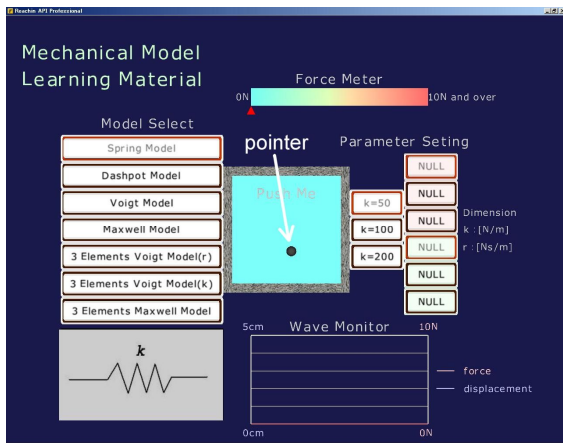


図4 粘弾性力学モデルを学習する教材のディスプレイ画面

本教材で学習できる粘弾性力学モデルは以下の7種類である。

- バネモデル (弾性モデル)
- ダッシュポットモデル (粘性モデル)
- Voigt モデル
- Maxwell モデル
- 3要素 Voigt モデル (ダッシュポット追加)
- 3要素 Voigt モデル (バネ追加)
- 3要素 Maxwell モデル (バネ追加)

(2) 「はりの曲げ」を体感できる教材の開発

図5に片持ちはりの場合のディスプレイ画面を示す。画面中央にハンドル部を模した六角柱と球 (ポインタ) が表示されており、はりを上面から下方に向けて押し込んでいる。はりの長さ、高さ (せい)、幅、ヤング率、そして押し込み量から「はり理論」に基づく曲げ変形と反力が算出される。反力は力覚デバイスのハンドル部を介して学習者に呈示される。これらがリアルタイムで処理され、学習者は操作を始めてから数秒で片持ちはりの曲げ特性を体感することができる。

はりの長さ、高さ、幅、ヤング率はそれぞれ3種類の大きさから選択可能である。画面中には断面力図 (Q 図, M 図) も表示され、リアルタイムで更新される。また、せん断力 (Share Force), 曲げモーメント (Bending Moment), 伸縮 (Skewness), y 軸方向の歪み (Strain) のいずれかの情報がイメージコンターマップとしてはりの表面部分に表示される。

図6は単純はりの場合のディスプレイ画面である。基本的な構成は片持ちはりと同様である。主な違いは以下の2点である。

はりの長さが 200mm に固定される代わりに、支点 (同図で、単純はりの下方にある二つの三角柱) の間隔を 3 段階 (120mm, 160mm, 200mm) に変更可能である。

せん断力の値が押し込み点の左右で正負に分かれるため、断面力図の表示が異なっている。

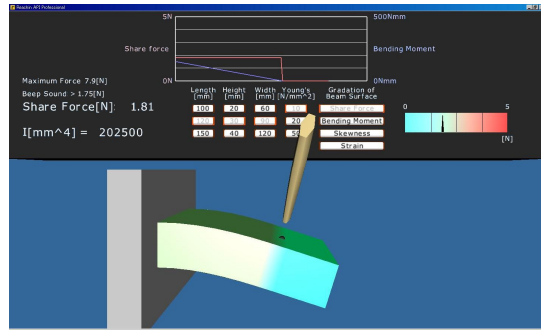


図5 「はりの曲げ」を体感できる教材のディスプレイ画面 (片持ちはりの場合)

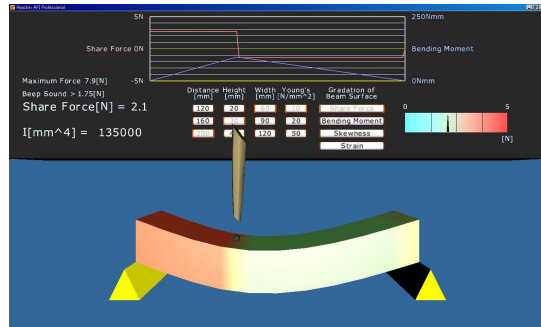


図6 「はりの曲げ」を体感できる教材のディスプレイ画面 (単純はりの場合)

(3) 材料の内部応力を学習する教材の開発

図7に材料の内部応力を学習する教材のプログラミングの概要を示す。内部応力を算出するためには有限要素法を用いるが、力覚呈示装置を利用した教材においては 1ms 未満の周期で反力を呈示する必要があり、一般的な PC によりどの程度の計算速度となり、学習教材への組み込みが可能であるか確認する必要がある。そこで、片持ちはりの一点に強制変位を与えた場合の応力分布、変位を有限要素法により算出するために必要な時間の検討を行った。

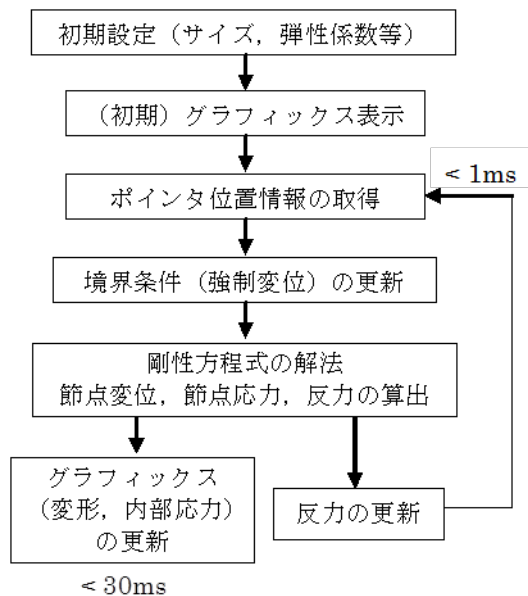


図7 材料の内部応力を学習する教材のプログラミングの概要

有限要素法の解析条件を以下に示す。

- ・二次元解析(平面歪みモデル)
- ・四角形アイソパラメトリック要素(8 節点)
- ・ガウス積分点: 9 点
- ・剛性方程式の解法(ソルバー): skyline 法
- ・片持ちはりの上部 1 節点に強制変位
- ・算出項目: 節点変位, 節点応力, 反力(押し込み点)
- ・解析時間: ループを 1000 回実行し, その平均値を算出

また, ハードウェア及び開発環境を以下に示す。

- ・ PC : DELL Vostro3450
- ・ OS : windws 7 Professional SP1
- ・ CPU : Intel Core i7-2620M 2.70GHz
- ・ メモリ : 4.00GB
- ・ 開発環境 : Visual C++ 2008 Express Edition (Release version)

これらの条件の下で, 要素数が 1×5 , 2×10 , 3×20 , 4×40 の場合について, 有限要素法の解を 1 回算出するために必要な時間を表 1 に示す。この結果より, 一般的な PC でも, 有限要素法プログラムを組み入れた教材の開発は十分に可能であることが分かる。

表 1 有限要素法の計算時間

要素数	要素数	節点数	計算時間[ms]
1×5	5	28	0.031
2×10	20	85	0.109
3×20	60	227	0.390
4×40	160	568	1.154

本教材では 2(せい方向) \times 10(長さ方向)の二次元解析(平面ひずみモデル)を行った。なお, 8 節点の四角形アイソパラメトリック要素であるため, せい方向に 5 つ, 長さ方向に 21 つの節点が存在することになる。中心の点を補間することにより, 実質的には 4×20 の四角形要素のモデルとして使用することができる。

水平方向の内部応力を表示しているディスプレイ画面を図 8 示す。伸張に対する内部応力が赤く, 収縮に対する内部応力が青く表示されている。基本的にははりの上部が赤く, 下部が青くなっているが, ポインタにより押し込まれている部分では青くなっており, すなわち, 収縮に対する内部応力が発生していることが分かる。

垂直方向の内部応力を表示しているディスプレイ画面を図 9 示す。水平方向の内部応力と同様に, 伸張に対する内部応力が赤く, 収縮に対する内部応力が青く表示されている。固定端上部は赤く, 下部は青くなっていることから, 上部が伸張され, 下部が収縮されていることが分かる。しかし, 上部の伸張と隣接して収縮部分が有り, また, さらに隣接して伸張部分が発生している。下部におい

ても同様であり, 固定端付近において複雑な内部応力が発生していることが観察される。また, ポインタにより押し込まれている部分は青くなっており, 収縮していることが分かるが, その両隣には僅かながら伸張部分も存在している。

水平方向と垂直方向の表示はキーボード操作により簡単に切り替えることができる。

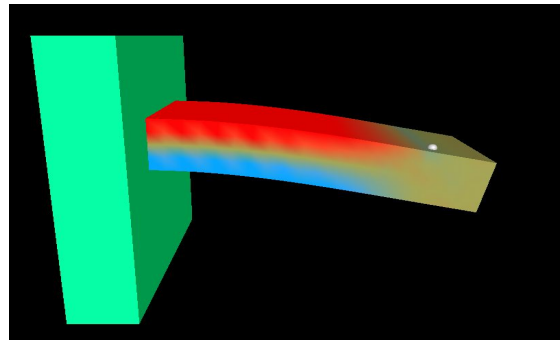


図 8 材料の内部応力を学習する教材のディスプレイ画面(水平方向の内部応力)

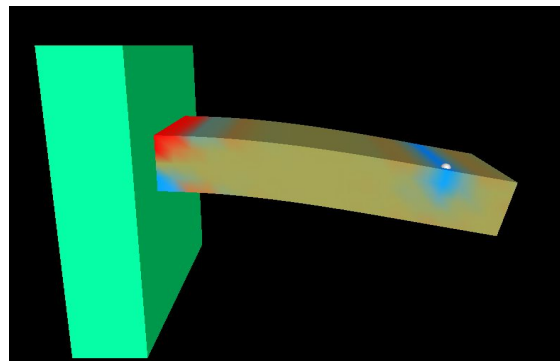


図 9 材料の内部応力を学習する教材のディスプレイ画面(垂直方向の内部応力)

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)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

入江 隆, 「はりの曲げ」を体感できるマルチメディア学習教材の開発, 日本産業技術教育学会誌, 査読有, Vol. 56 (3), 2014, pp. 215-223

Hiroki NANBA and Takashi IRIE, Development of a Multimedia Teaching Material for Visco-elastic Mechanical Models by Using a Haptic Device, International Conference on Technology Education in the Pacific-Rim Countries Research Papers, 査読有, Vol. 1, 2012, pp.70-77

〔学会発表〕(計 6 件)

入江 隆, 「はりの曲げ」における内部応力をインタラクティブに学習する教材の開発, 日本産業技術教育学会第 57 回全国大会, 2014 年 8 月 23 日, 熊本大学

入江 隆,「はりの曲げ」を体感できる学習教材の評価実験,日本産業技術教育学会中国支部第 43 回大会,2014 年 5 月 31 日,岡山大学

入江 隆,材料力学を学習する工学初心者向けインタラクティブ学習教材の開発,日本産業技術教育学会第 56 回全国大会,2013 年 8 月 24 日,山口大学

入江 隆,「はりの曲げ」を体感できるマルチメディア学習教材の開発,日本産業技術教育学会中国支部第 41 回大会,2012 年 5 月 19 日,広島大学

入江 隆,中西秀男,裏垣 博,藤田尚文,位によってバネ定数が変化する仮想軟物体の硬さ知覚 2 つのバネ定数に基づくモデル,第 18 回 VR 心理学研究委員会&拡張認知 IF 研究会,2011 年 11 月 5 日,高知工科大学

難波大樹,入江 隆,力覚デバイスを利用した粘弾性力学モデルの呈示,日本産業技術教育学会中国支部第 40 回大会,2011 年 6 月 4 日,岡山大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

入江 隆 (IRIE TAKASHI)

岡山大学・大学院教育学研究科・教授

研究者番号: 70253325

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

中西 秀男 (NAKANISHI HIDEO)

高知大学・教育学部・元教授

研究者番号: 90294818