

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 29 日現在

機関番号：37110

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350207

研究課題名(和文) 先端技術要素を含むPBLテーマとしての竹とんぼ技術構築の試み

研究課題名(英文) Attempts to construct flying toy "Taketombo" technologies as a PBL education focusing on advanced technology elements

研究代表者

高藤 圭一郎 (Keiichiro, Takato)

西日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：10461485

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：竹とんぼに特殊な装置を加えることなく、人間の手が軸に与える回転トルクの伝達を機械的に実現し、かつ任意の迎角を設定可能な機械式発射台を設計・製作した。これにより飛行経路を再現することが可能となった。

次に、翼端まで管が通った竹とんぼを用いた直接注入トレーサー法を中核とした、竹とんぼまわりの流れの可視化装置を製作し、翼端渦の観測が可能となった。

これらの装置製作や可視化実験をPBL教育として行い、学生の構造力学、流体力学の理解を深めることが出来た。また、可視化装置を、空気砲で発生させた渦輪断面の可視化に適用して児童対象の科学教室で実施した。アンケートの結果から理科教材としての有用性も確認出来た。

研究成果の概要(英文)：Without adding special equipment to "Taketombo" itself, a mechanical launch device has been designed. This device can set an arbitrary angle, and it is possible to realize transmission of rotational torque given to the shaft by a human hand. And a launch device was constructed. The device makes it possible to reproduce the almost same flight path repeatedly.

A flow visualization device has been designed. The device is based on a direct injection tracer method, and was produced using the "Taketombo" through which the pipe passed to the tip of blade. The device made it possible to observe a tip vortex.

By manufacturing these devices as PBL education, we were able to deepen the understanding of students' structural and fluid mechanics. The visualization device was also applied to an experiment conducted in a science class for children. From the result of questionnaire it was also possible to confirm the usefulness as a science teaching material.

研究分野：設計工学

キーワード：竹とんぼ 竹とんぼ型飛翔体 PBL 工学教育 Rotorcraft Launching Device

1. 研究開始当初の背景

大学機関の工学部での高度な製作物を対象としてのPBL(Project-Based Learning)教育は、従来の座学という方法に対して具体的なテーマを与え、製作物を決めてアプローチをする面で優れた教育方法である。しかしながら現在多くのPBLでは課題となる製作物は爪楊枝、ストローなどのような簡易の素材で、検討する現象も静破壊の様な単現象に対するものが多い。例えば流体と構造体の連成現象を含むような複雑な現象については構想や設計までである。また研究の客観的な評価はアンケート等による学生自身の「この講義は有用か?」「よく理解できたか?」等の学生の自己評価もしくは教員による経験に基づく完成度評価までに留まっていることが多い。学生が見て実物製作や計測によって実物による結果を納得し、教育活動中の学生の製作物がギネスブック認定記録や特許等の新たな技術や考え方の萌芽となる例は稀である。

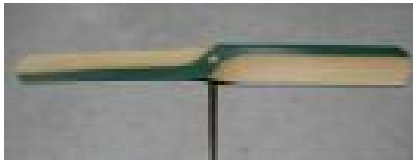


Fig.1(a) 民芸品竹とんぼ



Fig.1(b) 児童用スーパー竹とんぼ



Fig.1(c) 競技用スーパー竹とんぼ

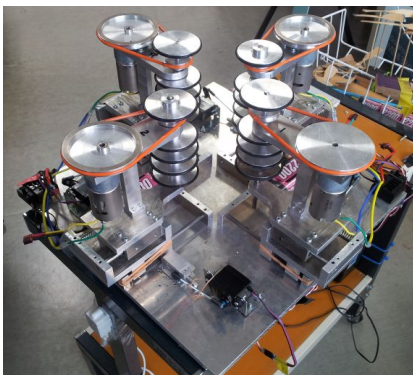


Fig.2 竹とんぼ射出機

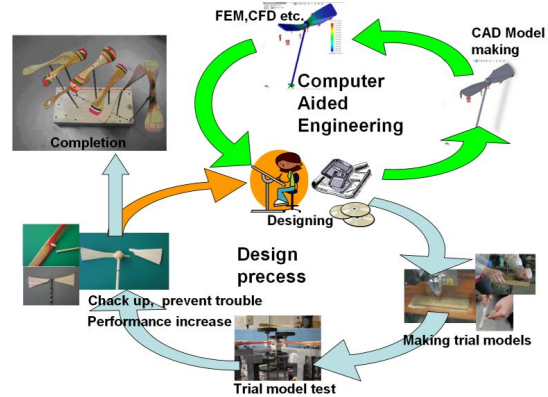


Fig.3 設計プロセスの概念図

そこで筆者らは一般的な民芸品の竹とんぼ (Fig.1a) とは異なるスーパー竹とんぼ (Fig.1b,1c) を用いて、客観的な飛行性能評価のシーズから人の手による竹とんぼの回転を如何に機械的に再現するかという発想を経て、これまでに無い竹とんぼの自動射出機 (Fig.2) を開発運用し、教育に適した製作物の完全な評価ループ (Fig.3) を構築し、新たな技術シーズの端緒を得た。

2. 研究の目的

情報工学等を除いて、現在のPBLでは出来上がった製作物は構造破壊等の単現象に対する簡易的な物が多く、複雑現象のテーマでは構想段階まで行いうに留めて最終段階をアンケート等による学生自身の自己評価もしくは教員の主観的な評価で終わるものが多い。

そこで本研究ではこれまで筆者らの行ってきた低レイノルズ数領域での竹とんぼに対する研究を構想、設計、製作、性能評価まで行うPBLテーマとして取上げ、さらに児童、生徒、学生、企業の若い技術者、障害者まで広く受け入れられ、先端技術の設計最適化や数値流体計算技術等を含みつつ、安全実行出来る様な、従来のPBLの経験則を大きく超えるPBLとして発展させることを試みる。

本研究で採用するPBLのテーマとしての竹とんぼは、元来概念設計のみで具現化された1個ずつ竹加工の熟練者が手作業で仕上げたものであり、厳密な理論の上で製作されたものではなく、従って飛翔現象も全てが明らかになっているわけではない。そこで本研究においては竹とんぼの設計法、あるいは設計指針を示し理想的な設計の一例を示すことが一つの到達点となる。研究期間内で、これまでに得られた「空力特性はそのまま、特に慣性モーメントを増加させつつ全体重量を減らす」という相反するパラメータでの数値計算を駆使した最適化設計を行い、設計法及びNC製作による試作品の性能を示す。また一方で、竹加工時の熟練者の手作業や、竹とんぼを飛行させる際の上級者の技術を分析

し、それぞれの設計知識化、児童や学童でも安全に製作出来る手法や道具の開発も試みる。

3. 研究の方法

本研究の目的は構造が単純であるが、単純ではない竹とんぼの物理的現象を明らかにしつつ、その現象内容を学生レベルから学童レベルまで幅広く説明のつく内容として落とし込み PBL の好例として発展させることである。その目的のために、まず竹とんぼの飛翔現象を更に明らかにし、空力特性はそのまま、特に慣性モーメントを増加させつつ全体重量を減らすという設計をめざし、その現象の説明を各レベルに対して行う。

- : 性能把握のための発射台の改良とその性能把握の可視化する。
- : 低 Re 数領域での既存翼形状の評価と選択と全体形状を創造する。
- : 実験で判明した現象を学童から学生まで相応しい内容として抽出したものを整理・実施する。
- : 熟練者のノウハウの設計知識化及び形状最適化する。

以上4つのサブテーマを設定し、各研究内容の相互関係を鑑みながら研究を遂行した。

4. 研究成果

設定した ~ のサブテーマに対して、それぞれ以下のような成果が得られた。

-1: 「発射台の改良」

これまで飛距離競技などに対応した自在な仰角を与えての発射が困難であったが、Fig.4 の様に発射台に仰角を与えられる機構を追加したことにより、仰角を自在に与えて竹とんぼの発射が可能となった。

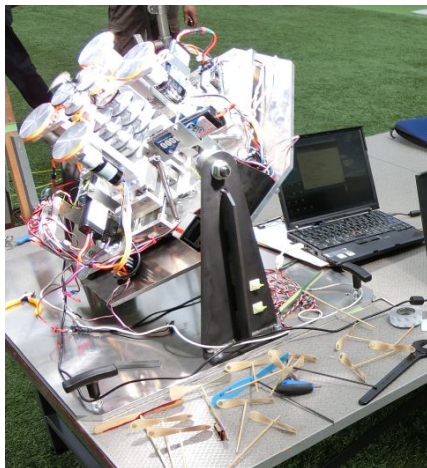


Fig.4 仰角調整機能付竹とんぼ発射台

竹とんぼ発射時の回転トルクは竹とんぼ発射動作を模擬した簡易測定器 (Fig.5) から取得した情報を元に発射台で再現した。

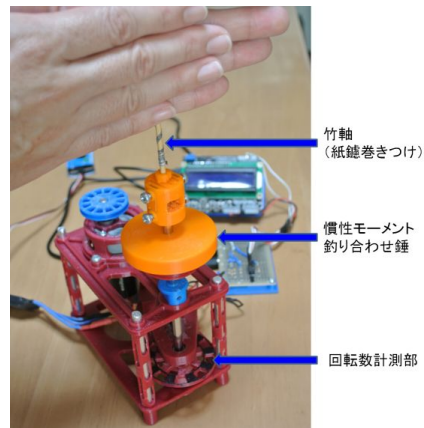


Fig.5 竹とんぼ発射時のトルク計測

-2: 「性能把握の可視化」

竹とんぼの性能把握の可視化のため、直接注入トレーサー法用の翼端まで管が通った竹とんぼと回転方式複数光源によるシート光生成装置を中核とした可視化装置の製作を行った。

装置全体を模式的に示したものを Fig.6 に示す。左に示す Fog Machine (Fog Machine) は、トレーサーの発生装置である。トレーサーは、エチレングリコールと水を主成分とするリキッドを気化させることで生成される。Fog Machine からトレーサーが供給され、トレーサーを貯めるサージタンクと速度を調整する空気ポンプを経由して、竹とんぼ発射台の下部までホースでトレーサーが運ばれる。そのホースは、プラチックストロー型の竹とんぼの軸に回転を許容するベアリングを介して接続される。Fog Machine から供給されたトレーサーは、軸のストロー部を通り、竹とんぼの羽の付け根で分岐し、翼端部の穴まで供給される (Fig.7)。

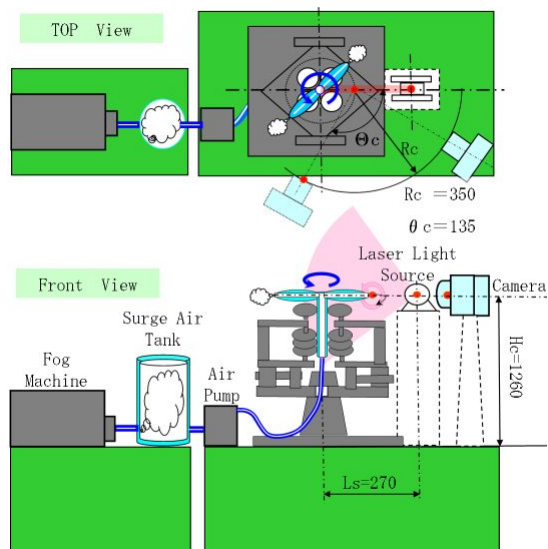


Fig.6 可視化装置の全体配置図

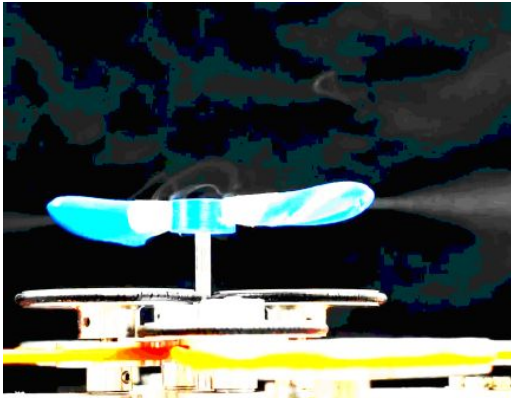
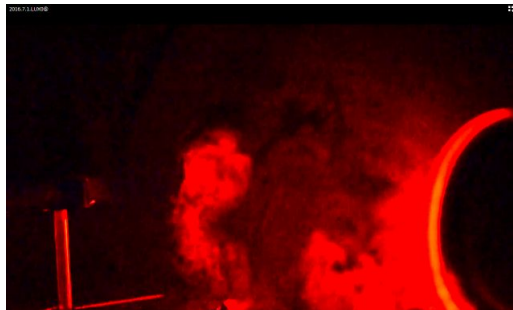


Fig.7 静止状態でのトレーサの注入



(a) 蛍光灯下



(b) 暗室に近い状態

Fig.8 可視化実験結果

構築した装置を用い蛍光灯下(1100ルクス程度)で、翼端からトレーサを排出しながら竹とんぼを回転させた結果を Fig.8(a)に示す。この状態ではうっすらと渦が観察できる程度だが暗室条件では Fig.8(b)の様にはっきりと翼端渦が回転している事が確認でき、現象理解にも役立った。

：「既存翼形状の評価と選択」

既存翼形状については、3DCADを有効利用し、そのデータを元に三次元のCFDを行って低Re数領域に特化した石井翼形状を含む、大まかな揚抗比など基本性能を把握することが出来るようになったが、新たな翼形状創造までは至らなかった。

：「で判明した現象の整理・実施」

ものづくりの大切さを伝える竹とんぼを若い世代に認知してもらうため、竹とんぼの性能評価手法構築の構想から機材構築及び実験を学生と共に行い、以下の様な知見を得た。

(1)竹とんぼ型飛翔体用発射台による性能実証手法の確立：これまで一般的な竹とんぼに対しては人の手による発射しか出来なかったことに対して、竹とんぼに改修を加えることなく、飛翔現象を何度でも再現可能な機械式発射台を構築した。この発射台は人の動作や行動の模倣の研究成果により人体の発生させる回転トルクを大まかに再現し、かつ角度調節機構により自由自在な仰角で発射出来る。特に飛距離競技や対空時間競技では客観的な記録や飛行経路を計測することが可能となった。

(2)低Re数領域での翼評価：遅い流れの中での翼断面での現象を明らかにするため、3Dプリンターでの竹とんぼ形状の製作が出来るようになり、竹細工の高度な技術を必要とせず再現性の高い飛行現象の確認が可能となった。

(3)竹とんぼに対する現象理解の整理及びその内容説明講義の試行：本研究において古典的竹とんぼに対して逆テーパ角を持つ竹とんぼが如何に優れているかを専門家以外への一般人から小中学生まで慣性モーメントの考え方を説明出来る簡便なまとめを行い、基礎的な部分のみではあるが聴講者のレベルに合わせて飛翔時の物理現象も説明し、理解を得られた。

：「熟練者のノウハウについて」

竹とんぼを飛ばす人間の視線観測から回転時の掌の運動、傾きを修正する際の人差し指と小指の連動や親指との連動、リリース時の人差し指と小指の連動や親指との連動、更には投げ上げ時の運動などが注目されていることがわかった。

以上まとめとして、先端技術要素を含むPBLテーマとしての竹とんぼ技術構築の試みとして、竹とんぼ本体だけでなく、可視化用光源やパーティクル発生装置等も構想・設計から3Dプリンター製作までPBLとして行い、竹とんぼの周りの空気の流れとして、翼端渦の可視化など可能となった。

更にこれら開発した機材を流用した応用例として空気砲で発生させた渦輪断面の可視化を児童対象の科学教室で行ったところ、これまで見た事が無いなどの物理現象への興味を引き出し、当該小学生達からも好評を得た。

これらの中で得られた知見は特に理科教材・工学教材としての今後発展出来る可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 12件)

高藤圭一郎, 白山晋, 移動式複数光源による流れの可視化法, 可視化情報学会誌 34(Suppl.1), pp.317-320, 2014-7

高藤圭一郎, 竹とんぼ飛距離競技における性能計測手法の開発, 日本機械学会講演論文集 No.14-63, pp.15-16, 2014-11

高藤圭一郎, 竹とんぼ飛距離競技用発射台の開発とその教育効果, 日本機械学会講演論文集 No.158-1, 922, 2015-3
高藤圭一郎, 白山晋, 回転方式複数光源による流れの可視化法, 可視化情報学会誌 35(Suppl.1), pp.205-206, 2015-7
高藤圭一郎, 前園敏郎, 白山晋, PBLの学習公開に与える子供時代の遊び体験の影響, 日本機械学会講演論文集 No.15-1, J2010101, 2015-9
高藤圭一郎, 白山晋, 回転方式複数光源による回転翼まわりの流れの可視化, 可視化情報学会誌 35(Suppl.2), pp.247-250, 2015-11
高藤圭一郎, 人体による竹とんぼ飛翔行動における身体性能測定手法の開発, 日本機械学会講演論文集 No.15-53, pp17-18, 2015-11
高藤圭一郎, 対空時間競技へ対応した竹とんぼ発射台, 日本機械学会講演論文集 No.168-1, pp.41-42, 2016-3
高藤圭一郎, 白山晋, PBL教育としての竹とんぼまわりの流れの可視化実験, 日本機械学会講演論文集 No.16-1, G2000104, 2016-9
高藤圭一郎, 白山晋, 回転方式複数光源によるシート光生成装置の改良, 日本機械学会講演論文集 No.16-31, GS22, 2016-11
白山晋, 高藤圭一郎, 大澤理恵, 盆子原直己, 視線分析による竹とんぼの飛ばし方の定量的記述に関する基礎的研究, 人工知能学会研究会資料, SIG-KST-030-06, 2017-3
高藤圭一郎, 白山晋, 熱溶解積層型3Dプリンターを用いた工学教育教材の設計と製作及びその教育効果, 機械学会講演論文集 No.178-1, pp.23-24, 2017-3

〔学会発表〕(計 12件)

高藤圭一郎, 白山晋, 移動式複数光源による流れの可視化法, 可視化シンポジウム 2014(新宿), pp.317-320, 2014-7
高藤圭一郎, 竹とんぼ飛距離競技における性能計測手法の開発, 日本機械学会, 技術と社会部門: 技術と社会の関連を巡って講演会(豊橋), 124, 2014-11
高藤圭一郎, 竹とんぼ飛距離競技用発射台の開発とその教育効果, 日本機械学会九州支部総会講演会(福岡), 922, 2015-3
高藤圭一郎, 白山晋, 回転方式複数光源による流れの可視化法, 可視化シンポジウム 2015(新宿), pp.205-206, 2015-7
高藤圭一郎, 前園敏郎, 白山晋, PBLの学習公開に与える子供時代の遊び体験の影響, 日本機械学会 2015 年度年次大会講演会(札幌), J2010101, 2015-9
高藤圭一郎, 白山晋, 回転方式複数光源によるシート光生成装置の改良, 可視化情報学会全国講演会(京都), pp.247-250, 2015-7

高藤圭一郎, 人体による竹とんぼ飛翔行動における身体性能測定手法の開発, 日本機械学会技術と社会部門講演会(長野), pp17-18, 2015-11
高藤圭一郎, 対空時間競技へ対応した竹とんぼ発射台, 日本機械学会九州支部総会講演会(熊本), pp.41-42, 2016-3
高藤圭一郎, 白山晋, PBL教育としての竹とんぼまわりの流れの可視化実験, 日本機械学会年次大会講演会(福岡), G2000104, 2016-9
高藤圭一郎, 白山晋, 回転方式複数光源によるシート光生成装置の改良, 日本機械学会流体工学部門講演会(山口), GS22, 2016-11
白山晋, 高藤圭一郎, 大澤理恵, 盆子原直己, 視線分析による竹とんぼの飛ばし方の定量的記述に関する基礎的研究, 人工知能学会研究会(金沢), SIG-KST-030-06, 2017-3
高藤圭一郎, 白山晋, 熱溶解積層型3Dプリンターを用いた工学教育教材の設計と製作及びその教育効果, 機械学会九州支部総会講演会(佐賀), pp.23-24, 2017-3

〔その他〕

ホームページ等

http://www.nishitech.ac.jp/~takato/take_tombo/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高藤圭一郎 (TAKATO, Keiichiro)
西日本工業大学・工学部・総合システム工学科・教授
研究者番号: 10461485

(2) 研究分担者

白山晋 (SHIRAYAMA, Susumu)
東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授
研究者番号: 10322067