

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500569

研究課題名(和文) リンク機構を用いた自転車用高効率ペダリング機構の開発に関する研究

研究課題名(英文) Research on development of highly effective pedaling mechanism for bicycle using link mechanism

研究代表者

熊谷 和志 (KUMAGAI KAZUSHI)

仙台高等専門学校・情報システム工学科・教授

研究者番号：40270201

研究成果の概要(和文)：より軽快に走行できる自転車の開発を目指し、スポーツ用自転車ではペダルとサドルの位置関係の検討、新ペダリング機構の再設計と専用フレームの開発、試作2号車の製作と評価を、一般用自転車では新ペダリング機構の再検討および設計・製作と評価を行った。さらにベースフレームの共通化検討、スポーツ用自転車の機構改良と専用フレームの開発、一般用自転車の機構改良を行い、実用化が見えるところまで研究を進めることができた。今後も機構の改良を行い、早急に実用化を図りたい。

研究成果の概要(英文)：We aim at the development of the bicycle where it can run more lightly. About the sports-use bicycle, we examined the position between the pedal and the saddle, re-designed the new pedaling mechanism, developed a special frame, produced the second trial model, and evaluated it. About the general-use bicycle, we re-examined the new pedaling mechanism, designed, produced, and evaluated it. In addition, we examined the common base frame, improved the mechanism of the sports-use bicycle, developed a new special frame, and improved the mechanism of the general-use bicycle, and were able to advance the research to the place where practical use was seen. We want to be going to improve the mechanism in the future, and to attempt putting to practical use immediately.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,900,000	1,170,000	5,070,000

研究分野：メカトロニクス, 機械要素, 電気機器

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：自転車, ペダリング機構, リンク機構

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、自転車におけるペダルの一般的な運動軌跡は円である。この軌跡は構造が簡単で、ペダリング機構を持つ自転車が世に出て以来ずっと用いられてきている。自転車に

おいて効率のよいペダリングを実現するには、常にペダリング軌跡の接線方向に力を加えればよい。ところが、熟練者のペダリングにおいても理想とは程遠いのが実状である。こうした現状から、オーテック(有)では長円

軌跡の SDV なるペダリング機構を、山形大の吉澤らはスライダクランク機構を用いたペダリング機構を開発するなど、ペダリング機構そのものを見直す動きも盛んになってきている。

また、都市部では慢性的な渋滞や環境意識の高まりなどから、自転車を利用する動きが活発化している。アシスト自転車も各社から発売されており、より少ない要求筋力、より軽快な走行というニーズは高いものと思われる。

(2) 自転車の利用は環境意識の高まりなどから活発化しており、ペダリング機構に対する改良も国内外でいくつかなされている。ところが、その多くが、ペダル側スプロケットのオーバルギヤ化といったごくわずかな改良であり、ペダリング機構そのものを見直す、本質的な改良は数少ない。

申請者らは機構学を専門の一つとしており、また、歩行ロボット、車いす、エコラン用電気自動車などの移動機器の研究も行ってきた。

先行研究である SDV は、すでに商品化されているものの、ペダリング軌跡が最適であるという実証はない。そこで、乗車姿勢での発生筋力を実測し、ペダリング軌跡の最適化とリンク機構による新ペダリング機構の開発を行うべく、本研究課題に着手した次第である。

(3) これまでに、①脚部の簡易モデル化、②筋力測定機の開発、③膝関節・股関節の筋力測定、④ペダル駆動力導出プログラムの開発、⑤各種軌跡の評価と適切軌跡の導出、⑥ペダリング機構の概略構造検討、⑦機構設計、⑧機構の試作、までを行っている。

試作機構の評価より、成果として、(a)市販品のフレームを用いているため、ペダル位置が適切でない、(b)漕ぎやすく改良する際に、漕ぎやすさという感覚的な指標に頼らざるを得ない、という課題等が明らかになっている。

また、以上はスポーツ用自転車を対象として検討してきたが、足先をペダルに固定しない一般用自転車についても検討を行っており、これまでに、⑨踏み足条件の検討、⑩各種軌跡の評価と適切軌跡の導出、⑪機構設計、⑫機構の試作、までを行っている。成果として、(c)引き足を利用できるスポーツ用自転車と、踏み足のみを利用する一般用自転車では、最適軌跡が異なる、(d)適切軌跡実現には思案点の考慮が必要、ということが分かっている。

2. 研究の目的

交付期間では、スポーツ用自転車、一般用

自転車ともに、リンク機構を用いた新しいペダリング機構の改良を行う予定である。さらに、ベースフレームを共通化し、リンクの組み替えや入れ替えて両方に対応できるように発展させたい。

引き足を利用できるスポーツ用自転車に関しては、すでに適切軌跡を導出し、新ペダリング機構の試作までを終えているが、踏み足のみを利用する一般用自転車に対する適切軌跡は再検討の段階である。そこで、交付期間では、①スポーツ用自転車の新ペダリング機構の再設計、②フレームの設計、③ペダリング機構とフレームの製作、④スポーツ用自転車の新ペダリング機構の評価、⑤一般用自転車のペダリング軌跡の再検討、⑥一般用自転車の新ペダリング機構の設計と製作、⑦一般用自転車の新ペダリング機構の評価、⑧ベースフレーム共通化設計、を行いたい。

3. 研究の方法

(1) 本研究課題は、平成 15 年度よりすでに着手しており、以下の成果を上げている。

人間の関節は、すべりと回転を同時に行うため、動きが複雑である。本研究では、最終的にリンク機構でペダリング軌跡を近似するため、過度の複雑さを避けるべく、解析には簡易モデルを用いることとし、脚部の簡易モデルを提案している。

次に筋力に関する文献調査を行い、自転車乗車姿勢での筋力データが必要であることが判明し、膝関節・股関節の筋力測定機を開発、筋力測定を行った。複数の被験者の測定データは、筋力バランスが崩れないように基準者に合わせて拡大縮小後、平均化処理を行っている。

最適軌跡の定義として、より速く走行できる軌跡とより疲れにくい軌跡の 2 つが考えられた。筋肉の疲労特性は文献が見あたらなかったため、本研究では、より速く走行できる軌跡を最適軌跡と定義して以降の解析を行うこととした。

ペダル駆動力導出プログラムは java で作成している。図 1 に、検討した軌跡の例を示す。

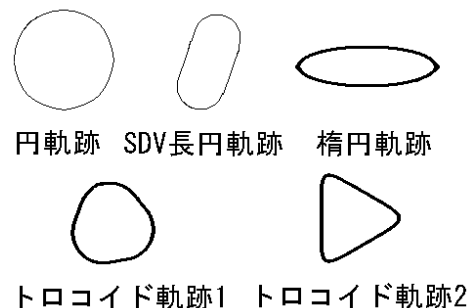


図 1 評価軌跡 (引き足用)

評価は、単位周長あたりの発生駆動力の比較で行った。その結果、単位周期当たりの発生駆動力は、

円軌跡	: 38.5 [kgf・m/s/m]
長円軌跡	: 41.3 [kgf・m/s/m]
楕円軌跡	: 71.6 [kgf・m/s/m]
トロコイド軌跡 1	: 50.7 [kgf・m/s/m]
トロコイド軌跡 2	: 54.3 [kgf・m/s/m]

となった。それぞれの軌跡で形状を調整し、得られた駆動力の最も大きな値を評価に用いている。これらより、楕円軌跡は、円軌跡の 1.86 倍、長円軌跡とくらべても 1.73 倍発生駆動力が大きいという結果が得られた。

以上の結果をもとに、クランクレバー機構のカプラ曲線を用いて適切ペダリング軌跡を近似し、スポーツ用自転車の新しいペダリング機構を設計(図 2)、試作を行っている(図 3)。

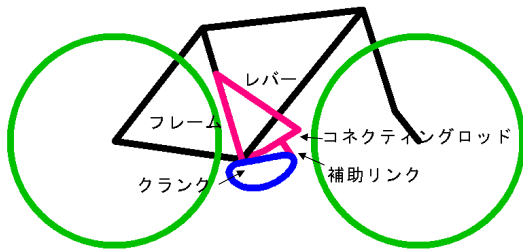


図 2 新ペダリング機構 (スケルトン図)



図 3 試作機構

(2) これらの成果を踏まえ、スポーツ用自転車では以下の課題に取り組む。

① スポーツ用自転車の新ペダリング機構の再設計 (担当: 熊谷, 大泉)

これまでに試作したペダリング機構は、市販自転車のフレームを流用したため、ペダル位置が適切でなく漕ぎにくいという課題が明らかになっている。

漕ぎやすさは多分に感覚的であるため、適切な設計指標を設定することに困難が予想されるので、機構の再設計にあたっては、サ

ドル位置が調整可能な評価装置を製作し、サドルとペダリング機構の適切な位置関係を求めたい。

得られた結果をもとに、機構シミュレータを用いながら、新ペダリング機構の再設計を行う。

② 専用フレームの設計 (担当: 熊谷, 大泉)

前項で得られた結果をもとに、専用フレームの構造解析と設計を行う。

③ スポーツ用自転車のペダリング機構とフレームの製作 (担当: 熊谷)

前項までの解析・設計結果にしたがって、ペダリング機構と専用フレームを製作する。

④ スポーツ用自転車の新ペダリング機構の評価 (担当: 熊谷)

製作したペダリング機構について評価を行う。

(3) スポーツ用自転車のみでは利用対象者の範囲が狭いため、平成 18 年度からは一般用自転車についても検討に着手した。

一般用自転車は引き足を利用できないため、最適なペダリング軌跡の形状が競技用自転車とは異なることが予想された。そこで、踏み足の範囲をビデオによる解析と聞き取りにより調査し、踏み足となる条件を求めた。その結果、踏み込み角度と軌跡の接線のなす角がおよそ±50度以内の範囲で、強い踏み込みが行われていることが分かった。

この条件をペダル駆動力導出プログラムに適用し、踏み足のみの場合の各軌跡の発生駆動力を計算したところ、一般用自転車の最適なペダリング軌跡はスポーツ用自転車とは異なることが裏付けられた。

これまでに、一般用自転車のペダリング機構についても試作を行っているが、思案点の影響が大きく、滑らかな動作は得られていない。

そこで並行して、一般用自転車の新ペダリング機構についても以下の課題に取り組む。

⑤ 一般用自転車の新ペダリング機構の再検討 (担当: 熊谷, 大泉)

機構シミュレータを活用し、滑らかな動きを実現できる軌跡を再検討する。

⑥ 一般用自転車の新ペダリング機構の設計と製作 (担当: 熊谷, 大泉)

再検討したペダリング機構について、スポーツ用自転車と同様に設計・製作を行う。

⑦ 一般用自転車の新ペダリング機構の評価 (担当: 熊谷)

スポーツ用自転車と同様の評価を行う。

(4) スポーツ用と一般用の成果を踏まえ、以下の課題に取り組む。

⑧ ベースフレーム共通化設計(担当:熊谷, 大泉)

スポーツ用自転車と一般用自転車の新ペダリング機構は異なるが、ベースフレームが共通であればリンクの組み替えや入れ替えでどちらにも使用が可能となり、利用範囲が広がる。ベースフレームを共通化すると、近似軌跡が変わることが予想されるので、両方の発生駆動力ができるだけ大きくなるように検討を行う。

⑨ 研究とりまとめ(担当:熊谷)

4. 研究成果

(1) サドルとペダルの位置関係の検討

サドル位置検討用に製作した装置の外観を図4に示す。



図4 サドル位置検討装置

評価に関しては、人間の身長や、筋肉のつき方は人それぞれ異なるので、複数人(5名)のデータをもとに平均を取った。

(2) スポーツ用専用フレームの設計

サドル位置の検討結果をもとに、専用フレームの設計を行った。発注するフレームビルダーに合わせ、CADソフトにはjwcadを用いている。設計した専用フレームを図5に示す。

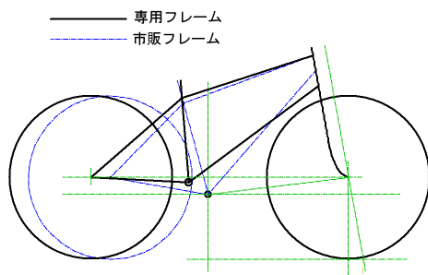


図5 専用フレーム

一般の自転車との大きな相違点は、クランクの回転中心とペダリング軌跡の中心が一致していないことである。それによって、サドルの位置、ボトム的位置や、各管の長さを変更になったことが挙げられる。

(3) スポーツ用ペダリング機構の改良

専用フレームに合わせて設計し直したペダリング機構を図6に示す。

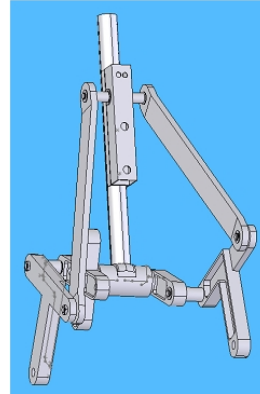


図6 改良ペダリング機構

リンクの設計には Solid Works を用いた。今回製作するリンクは、安全性等の実用性も考慮して、角の部分にRをつけたデザインとした。レバーの部分は角度のついた形状とする事で、固定節とレバーの固定シャフトを短くし、ペダリングの際に足と接触する不具合解消を狙った。また、軽量化のために応力のかからない部分には肉抜き加工を施した。完成した試作車両を図7に示す。



図7 試作2号車

(4) 試作2号車の評価

まず乗ってみたところ、最初の試作車両よりも格段に乗りやすいという印象を受けた。

評価方法としては、名取サイクルスポーツセンターの周回路(4km)を用いて市販スポーツ自転車と試作2号車について、3人のライダーについて、1周のタイム、平均速度、平均ケイデンス(回転数)、最高速度、最高ケイデンスの測定を行い、それぞれを比較することにした。測定結果を表1および表2に示す。

表 1 市販車の結果

	タイム	平均速度 [km/h]	平均ケイ デンス [rpm]	最高速度 [km/h]	最高ケイ デンス [rpm]
A	7分4秒 37	33.7	77	43.0	103
B	8分44秒 14	27.1	58	39.4	85
C	8分23秒 72	28.7	91	37.3	138

表 2 試作 2 号車の結果

	タイム	平均速度 [km/h]	平均ケイ デンス [rpm]	最高速度 [km/h]	最高ケイ デンス [rpm]
A	8分29秒 60	28.4	108	33.8	136
B	10分07 秒89	23.7	85	29.1	126
C	10分00 秒94	23.9	101	28.5	142

表 1 と表 2 を見比べると分かる通り、タイムとしては試作 2 号車が遅くなる傾向が見られた。しかし、全員が市販自転車よりも全然足が疲れないという意見だった。これは単にタイムが遅くなったからではなく、ペダリング効率が向上したためと思われる。また試作 2 号車はペダリング軌跡が約 4 割小さいため、高回転型で筋肉よりも肺を使う運動となる事から、より強い有酸素運動となる。そのためフィットネス用自転車として有用であると思われる。タイムが落ちたのは軌跡の小ささから来るトルク不足が原因である。上り坂に弱いのもこのためである。今後は軌跡を更に大きく設計すれば速さと効率を両立できるものと思われる。

(5) 一般用自転車の新ペダリング機構の再検討

最初に試作した機構は思案点の影響でうまく漕ぐことができなかつたため、ある程度楕円の短径を大きくすることを心がけて再検討した。できるだけ発生動力を大きくした軌跡をもとに、リンク機構で近似した軌跡を図 8 に示す。

今回の検討では乗車時の体幹角度も一般の自転車乗車時に合わせるように評価プログラムを改良した。その結果、楕円の傾きは 90 度が最適と分かった。

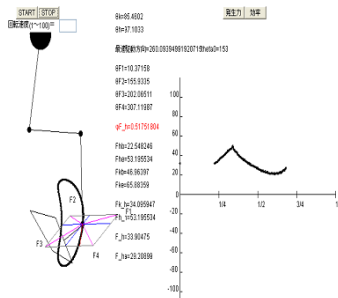


図 8 リンク機構による近似軌跡

(6) 一般用ペダリング機構の製作

再検討した結果をもとに設計したペダリング機構を図 10 に示す。また、製作後に組み立てた機構を図 11 に示す。

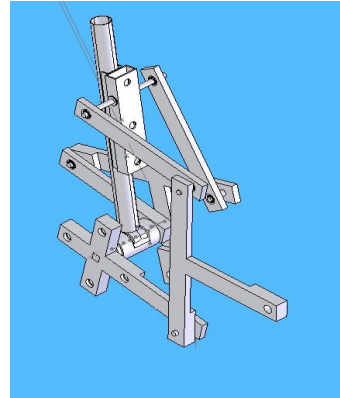


図 9 一般用ペダリング機構



図 10 一般用ペダリング機構

(7) 試作機構の評価

実際に乗って試走してみると、無事に動作することが確認できた。また、踏み込み時に一般の円軌跡より力を加えやすい印象を受けた。

製作したリンク機構を装着した自転車と普通の自転車との走行テストを行った。走行テストのコースとしては学校内の周回通路を用い、一周のタイムを測定した。結果を表 3 に示す。

表 3 走行テストの結果

搭乗者	一般(円軌跡)の自転車	新ペダリング機構装着自転車
A	1分14秒	1分50秒
B	1分48秒	1分52秒
C	1分48秒	2分00秒
D	2分43秒	2分54秒
E	1分35秒	2分05秒

タイムを比較したところ、普通の自転車の方が速いという結果となった。

この原因としては、ペダリング軌跡が大きいために自転車が曲がる際に前輪部分に当

たったり、ガタがあり漕ぎづらい、高く太ももを上げるため疲れるなどの問題が発生したためと思われる。

(8) ベースフレーム共通化の検討

これまでに設計したスポーツ用リンク機構と一般用リンク機構のペダリング軌跡が自転車のボトムブラケットからどれだけ離れているかを図 11, 図 12 に示す。

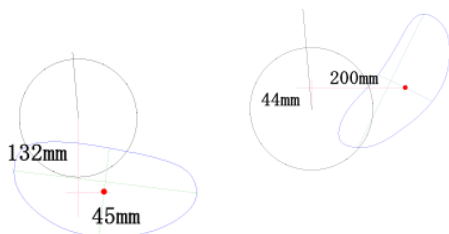


図 11 スポーツ用軌跡 図 12 一般用軌跡

両図を比較して分かる通り、それぞれの軌跡が大きく離れている。

フレームを共通化するには両者の軌跡をできるだけ近づける必要があるが、無理に近づけると発生動力が小さくなるという問題が生じた。

したがって、本課題におけるペダリング機構は、スポーツ用と一般用それぞれに特化した専用フレームを用いるべきであるという結論に至った。

(9) スポーツ用ペダリング機構の再改良

試作 2 号車は軌跡が小さいという問題があったので、再改良を図った。新しい軌跡を図 13 に、再設計した専用フレームを図 14 に示す。

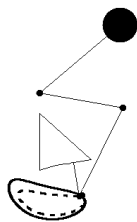


図 13 軌跡長を改善した新軌跡



図 14 再設計した専用フレーム

以上、交付期間における本研究課題で得られた成果を示した。当初計画よりも進めるこ

とができ、実用化も見えてきた。今後も機構の改良を行い、早急に実用化を図りたい。

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)

[学会発表] (計 4 件)

- ① K. Aizawa, T. Nagamine, M. Suzuki, K. Kumagai, T. Oizumi, Development of Highly Effective Pedaling Mechanism for Bicycle Using Link Mechanism, the 2nd International Conference on Design Engineering and Science (ICDES2010), 査読有, 2010. 11. 17, Tokyo, Japan
- ② 相沢健人, 鈴木政嗣, 熊谷和志, 大泉哲哉, リンク機構を用いたスポーツ自転車用高効率ペダリング機構の開発 (第 7 報), 機械学会東北支部総会講演会, 2010-1, 2010. 03. 12, 仙台

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 自転車用高効率ペダリング機構
発明者: 熊谷和志, 長嶺俊之, 奥田義晶
権利者: 熊谷, 長嶺, 奥田, 高専機構
種類: 特許
番号: 特願 2007-72233
出願年月日: 平成 19 年 3 月 20 日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://hirose.sendai-nct.ac.jp/~ckuma/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

熊谷 和志 (KUMAGAI KAZUSHI)
仙台高等専門学校・情報システム工学科・教授
研究者番号: 40270201

(2) 研究分担者

大泉 哲哉 (OIZUMI TETSUYA)
仙台高等専門学校・知能エレクトロニクス工学科・教授

研究者番号: 70152048

(3) 連携研究者

なし