

自転車競技のヒルクライムにおける スマートフォンを用いたペダリング支援システムの検討

本田 雄亮^{1,a)} 間 博人^{2,b)} 村上 広記^{1,c)} 津崎 隆広^{1,d)} 三木 光範^{2,e)}

受付日 2017年2月24日, 採録日 2017年9月5日

概要: 自転車競技では, 定められたコースを効率的に走破するために, 体力管理が重要となる. 長い坂を登るヒルクライムでは, 適切なペダリングが難しいため, 体力消費が激しい. プロの競技者は, 自身の感覚や経験に基づいたペダリング技術を持つが, 初級者にはその技術の習得が難しい. 本研究では, 自転車競技のヒルクライムにおけるペダリング技術の向上を目指したペダリング支援システムの提案と開発を行う. 提案するシステムは, 自転車のスピードとケイデンスから現在のギア比を推定し, 競技者の心拍数に合わせてギア変更とペダリングの指示を行う. 本稿では, ギア比の変更とペダリングの指示を行うデバイスの実装と評価を行ったのでこれを報告する.

キーワード: 自転車競技, トレーニングシステム, 生体情報

Pedaling Support System Using Smartphone in Hill Climb Cycling

YUSUKE HONDA^{1,a)} HIROTO AIDA^{2,b)} HIROKI MURAKAMI^{1,c)} TAKAHIRO TSUZAKI^{1,d)}
MITSUNORI MIKI^{2,e)}

Received: February 24, 2017, Accepted: September 5, 2017

Abstract: Efficient movement means that are friendly to the environment, as a sport extreme physical load is small, the bicycle and the like. For movement in a bicycle traveling is a simple exercise that rotates the pedal, muscle load is small compared to running or walking. Therefore, take the sport bike for the purpose of physical fitness making, a growing number of people to start cycling. In order to off-road as fast as possible a predetermined course in the bike competition, physical fitness management is important. Efficient pedaling suitable for physical fitness management is defined by Cadence. One of enjoying the cycling speed and a crank rotation speed of the bicycle (cadence), and records the position information, it is possible to improve the goal time by analyzing their travel. Such a way of enjoying sports, many seen in people who are using the sport bike, have been attracting attention with its spread. In this study, using the heart rate sensor and the athlete has been installed in the general bike for competition, We do a study of the driving support system that presents the appropriate gear ratio and cadence in the hill climb.

Keywords: cycling, training system, biological information

¹ 同志社大学大学院
Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto 610-0394, Japan

² 同志社大学理工学部
Department of Science and Engineering, Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto 610-0394, Japan

a) yhonda@mikilab.doshisha.ac.jp

b) haida@mail.doshisha.ac.jp

c) hmurakami@mikilab.doshisha.ac.jp

d) ttsuzaki@mikilab.doshisha.ac.jp

e) mmiki@mail.doshisha.ac.jp

1. はじめに

近年, 健康意識の高まりとともに, 自転車はランニングやウォーキングに比べて筋肉負荷が小さい運動として, ダイエットやリハビリテーションへの応用も進み, スポーツとしての自転車の利用が関心を集めている. 2013年に10,420人を対象として行われた自転車利用に関するインターネット調査で, ふだん使用する自転車がロードバイク

を代表とする競技用自転車と回答した人の割合は、2006年調査時の2.8%から5.4%と増加している [1]。2015年には、国内におけるスポーツ自転車の販売台数が2006年の2倍に達しており、スポーツ自転車の普及とともに、体力作りを目的として自転車競技を始める人が増えている [2]。

自転車競技は、ロードレースやトラックレース、マウンテンバイクなど多くの種類が存在するが、一般道路上で競うロードレースが、世界三大大会であるツールドフランスを代表に最も一般的である。ロードレースのコースは、平地、下り坂、上り坂の3要素で構成される。平地では、風の影響を受けないよう集団走行することやチーム同士で協調することが重要である。勾配は小さいためペダルの回転運動（以下、ペダリング）のコントロールは容易である。下り坂では、ブレーキのタイミングやコース取りが重要とされ、ペダリングのコントロールは必要ない。上り坂では、風の影響が少なく、ブレーキも必要ない一方で、ペダリングのコントロールと体力管理が重要となる。そのため、上り坂は競技者の実力の差が顕著に現れ、自転車競技初級者にとって難しいコースである。

自転車運動は、競技者の下半身によるペダリングが中心であり、高負荷がかかる上り坂ではペダリングのコントロールが難しい。さらに、上り坂では、重力が負荷として加わるうえに、勾配は一定でないことから、勾配に合わせてペダルの重さを適切に変更する必要がある。そのため、上り坂におけるペダリングの制御は平地よりも困難である [3], [4]。上り坂において、初級者が適切なペダルの重さを設定をするためのギア操作や1分間あたりのペダルの回転数（以下、ケイデンス [rpm]）を身につけるには、繰り返し上り坂を練習する必要がある。しかし、自転車走行中は、他者からの助言を受けることが困難であるため、適切なギア操作やケイデンスを維持するためのペダリング技術を身につけることは困難である。

そこで本研究では、自転車と競技者に装着したセンサから得られる走行速度、ケイデンスおよび心拍数を用いて、自転車競技のヒルクライムにおけるペダリング支援システムの作成と検証を行う。

2. 自転車に関連する研究

自転車に関する運動工学の研究は多く行われており、効率の良い運動方法が解明されてきている。近年では、センシング技術の発展とともに自転車の交通事象や走行状態のセンシングを用いた研究なども行われている。

自転車の運動工学に関する研究として、筋電位、ペダル踏力、酸素摂取量、クランク角度などの要素に着目した研究が行われている。自転車競技経験者を対象とした高石の研究 [5] では、高いケイデンスを維持することに慣れた自転車競技者は、仕事率一定の条件下でケイデンスが90から100 rpmで力学的に優位であり、筋肉の使用効率が最大

になると報告されている。さらに、Pattersonらの研究 [6] でも、負荷量にかかわらず筋疲労蓄積を最小化できるケイデンスは90から100 rpmであると結論づけている。加えて、矢部らの研究 [7] では、ケイデンスを80 rpmで保つことで効率的で安全なペダリングを実現できるとしている。

現在、自転車競技者のケイデンスや心拍数の推移を示す研究は、エルゴメータによる検証が中心である [7], [8]。エルゴメータは、自転車競技の動作を再現し、搭乗者の推進力を測定するための器具であり、屋内で心拍数やケイデンスの測定が可能である。一方で、提案システムは、実環境にてリアルタイムに取得したデータを基にユーザにフィードバックを行うため、エルゴメータは利用しない。したがって、本研究では自転車競技経験者や初級者が実際にヒルクライムを行った際のケイデンスや心拍数に基づいて提案するシステムの検証を行う。

交通事象に対する研究では、近年のスポーツ自転車の普及にともない、交通安全に配慮して自転車と歩行者の通行空間が分離されつつある。金の研究 [9] では、自転車と歩行者の間にあるコミュニケーションの不足から生じる意識ギャップを示し、コミュニケーション手段についての検証を行っている。その結論として、現在、追い越しをする際に歩行者と自転車の間でコミュニケーションが行われることは非常に少ないという実態が明らかになり、有効なコミュニケーション手段としてベルや声掛けといった音を利用した手段が好ましいことがあげられていた。しかし、街乗り自転車とスポーツ自転車の走行速度は大きく異なるため、声掛けのような音を利用したコミュニケーション手段は適していないと考えられる。また、このコミュニケーションは、歩行者と自転車間で安全に追い越しをするために行う。したがって、自転車と歩行者間でトレーニングの指示をするといったコミュニケーションは現実的でない。

自転車の走行状態のセンシングを用いた研究では、モバイル端末を用いた共有システムの研究が行われている。斉藤らの研究 [10] では、自転車に取り付けたスマートフォンを利用して自転車の走行状態を認識する機構の開発を行っている。田端らの研究 [11] では、複数の自転車に取り付けた一般的なスマートフォンに搭載されたセンサを用いて自転車の状態を検知し、道路上の危険箇所を特定し共有する。これらのスマートフォンを利用した状態センシングは、スマートフォンに搭載されたセンサを用いることで多様な種類の自転車に対応する一方で、自転車を運転するユーザの運動状況やギア操作の検知はできない。本研究では、自転車競技で使用することができるスピードセンサ、ケイデンスセンサおよび心拍センサを用いることで、自転車競技者の運動状況に合わせたナビゲーションを行う。

3. ヒルクライムにおけるスマートフォンを用いたペダリング支援システム

3.1 ヒルクライムにおけるスマートフォンを用いたペダリング支援システム概要

ヒルクライムにおける自転車走行は、常に変動する坂の斜度や自身の心拍数に応じてギア操作することにより、ペダルの重さを変更して、ケイデンスを任意の値に保つ必要がある。しかし、自転車競技初級者の場合、坂の斜度や心拍数に応じたギア変更は難しく、重いペダルを選択することがある。重いペダルを選択してヒルクライムを行うと、脚の筋肉疲労が蓄積し、ゴールタイムが著しく遅くなる、あるいは、途中で脚をついてしまうことが多くある。そこで、ヒルクライムにおけるケイデンスと心拍数を利用したペダリング支援システムは、ペダリング制御が難しいヒルクライムにおいて、自転車競技者の効率の良い運動を支援する。本システムを使用することで、自転車競技者は効率の良いケイデンスおよび高い心拍数の維持が可能となり、自転車競技初級者の効率の良いペダリングを実現する。

自転車のペダリング運動では、ケイデンスに比例して心拍数が上昇する。しかし、ケイデンスの変化による心拍数の変化は個人差があるため、ケイデンスの値によって心拍数の値を一意に決定することはできない。心拍数に変化を与える要素としてペダルの重さがある。ペダルの重さは、自転車のギア操作を行い、ギア比を変更することで決定する。ペダルの重さが大きいほど、ペダリングに必要な力が大きくなり、運動負荷が増加するため、心拍数の値は上昇する。したがって、本システムでは、効率の良いペダリングを実現するために、目標ケイデンスを満たすように指示を行い、心拍数の値を基にギア操作の指示を行う。

本システムの構成図を図1に示す。本システムでは、自転車競技で用いられる自転車に搭載するセンサとユーザに装着したセンサから得た値をスマートフォンに収集する。スマートフォンは、ユーザと自転車のセンサから取得した値をギア比とケイデンス操作の指示アルゴリズムに入力し、現在のヒルクライムに適したギア比とケイデンスを計算する。本システムは、ギア比とケイデンス操作の指示アルゴリズムで計算された適切なギア比とケイデンスをユーザにフィードバックする。ユーザは、本システムから受けたフィードバックを基に、ギア比とケイデンスの操作を実施、維持することで効率良く上り坂を登ることができる。

3.2 センシング対象

本システムでは、自転車走行中において、自転車および競技者に装着したセンサを使用することでヒルクライムにおける効率の良いペダリングを実現する。自転車および競技者のセンシング対象の例を表1にあげる。自転車のセンシング対象として走行速度、ケイデンス、ペダルを踏む力、

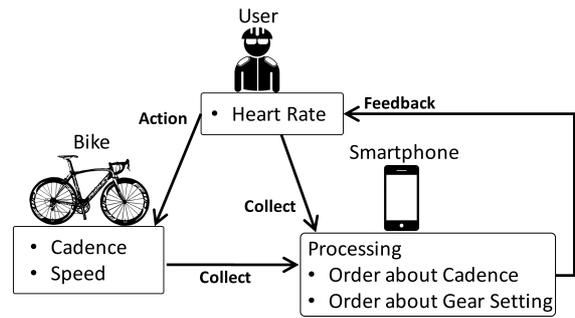


図1 ペダリング支援システム構成図

Fig. 1 Pedaling support system architecture.

表1 センシング対象

Table 1 Sensing target.

Item	Target
Bike	Speed
	Cadence
	Force to step on the pedal
	Direction to step on the pedal
Cyclist	Heart Rate
	Calories
	Sweating
	Blood Pressure
	Blood Oxygen Concentration

およびペダルを踏む力の方向などがあげられる。走行速度やケイデンスは、サイクルコンピュータを用いることで容易にセンシング可能であるが、ペダルを踏む力およびペダルを踏む力の方向などをセンシングするためには高価な機材を購入する必要がある。

自転車競技者へのセンシング対象として、心拍数、消費カロリー、発汗量、血圧、血中酸素濃度などがあげられる。心拍数は、自転車競技用の安価なセンシングデバイスが存在し、また、近年普及しているスマートウォッチや健康管理デバイスで容易にセンシングできる環境が整っている。その一方で、消費カロリー、発汗量、血圧、血中酸素濃度などは、移動しながらの測定が難しく、特にヒルクライムの自転車走行中にセンシングすることは困難である。

以上より、本研究では、自転車競技初級者が容易に本システムを導入できるようにするため、比較的入手が簡単なスピードセンサ、ケイデンスセンサおよび心拍センサを用いて、システムを構築する。

3.3 ヒルクライムにおけるスマートフォンを用いたペダリング支援システムにおけるギア比とケイデンス操作の指示手順

提案システムにおけるギア比とケイデンス操作の指示手順について述べる。本システムでは、自転車走行中における現在のケイデンス C [rpm]、速度 S [km/h] と現在の心拍数 H [bpm] を用いてギア操作の指示を行う。また、本稿で

は、目標ケイデンスを Cp [rpm], 目標心拍数を Hp [bpm] と定義する. 現在のギア比 Dr は式 (1) で計算することができる. なお, 現在のギア比を計算するためのホイール周長は既知であるとする.

$$Dr = \frac{S}{C * CIR} \quad (1)$$

Dr : Gear Ratio, S : Bicycle Running Speed [km/h]
 C : Cadence [rpm], CIR : Wheel Circumference [mm]

式 (1) によって計算された現在のギア比は目標心拍数 Hp を維持するために用いる. ギア比が大きければ, ペダルは重くなり運動負荷が大きくなるため心拍数は増加し, ギア比が小さければ, ペダルは軽くなり運動負荷が小さくなるため心拍数は減少する. したがって, 現在の心拍数 H が目標心拍数 Hp を下回る場合は現在のギア比を上げるように, 現在の心拍数 H が目標心拍数 Hp を上回る場合は現在のギア比 Dr を下げるようにユーザに指示する.

以下に, 本システムにおけるギア比とケイデンス操作の指示アルゴリズムを示す.

- (1) ホイール径と自転車の変速段数ごとのギア比を設定する.
- (2) 現在のケイデンス, 走行速度, 心拍数を取得する.
- (3) 現在のギア比を計算する.
- (4) ユーザへケイデンスの指示をする.
 - (a) $C < Cp$ の場合, ケイデンスを上げるように指示をする.
 - (b) $C > Cp$ の場合, ケイデンスを下げるように指示をする.
- (5) ユーザへギア操作の指示をする.
 - (a) $H < Hp$ の場合, ギア比を上げるように指示する.
 - (b) $H > Hp$ の場合, ギア比を下げるように指示する.
- (6) 項目 (2) に戻る.

以上の項目 (2) から項目 (5) までの処理を T 秒ごとに繰り返すことで, ヒルクライムにおけるユーザのケイデンスと心拍数をそれぞれ目標ケイデンスと目標心拍数に保つ.

3.4 ギア比およびケイデンス操作の通知方法

提案システムの指示アルゴリズムによって出力されたギア比とケイデンス操作の指示をユーザにフィードバックする方法について述べる. 自転車走行中におけるフィードバック方法として, 視覚, 触覚, 聴覚を利用するものがあげられる. 視覚, 触覚, 聴覚によるフィードバック方法を一度に伝達可能な情報量, 外乱に対する耐性, 安全性の3つの軸から比較する. 一度に伝達可能な情報量は, 視覚と聴覚が多い. 視覚は画面内に多くの情報を表示でき, 聴覚は音声による細かな指示が可能である. 外乱耐性は, 聴覚と触覚が低く, 自動車の走行音や風切り音の影響, 走行中に生じる振動の影響を受け, 指示の伝達が必ずしも正確に行えない. 聴覚については, イヤホンやヘッドフォンの使

表 2 ヒルクライムコース

Table 2 Hill climb route.

Item	Contents
Name	Taishoike
Location	Kyotanabe, Kyoto
Distance	4.5 km
Elevation Difference	180 m
Average Slope	4%

用により, 外乱耐性を改善できるが, 周囲の音が聞こえず危険性が増す. 安全性は, 視覚が低く, 指示を確認するために視線の移動が必要である. しかし, 指示の確認は, 瞬間的な視線の移動であり, 指示の表示位置が固定されている場合は容易に指示を確認できる. また, ヒルクライムで使用するコースは, 通常の道路と異なり, 歩行者や自転車など注意すべき移動物が少なく, 瞬間的に視線をそらしても危険性は大きく増加しない. よって, 視覚による指示の確認は, 自転車運転における安全性を保証できる.

本システムでは, ユーザに対して効率的なペダリングの習得を支援するために, 指示内容を正確に伝達する必要がある. したがって, 一度に多くの情報を正確に伝達可能な視覚を用いたフィードバック方法を実装し, 検証する.

4. ヒルクライムにおける自転車競技経験者のケイデンスと心拍数に関する予備実験

4.1 実験概要

提案システムを用いることで自転車競技初級者のケイデンスと心拍数に与える影響や自転車競技初級者と経験者の間にあるケイデンスと心拍数の違いを検証するために, 自転車競技経験者のヒルクライムにおけるケイデンスと心拍数の履歴を収集する予備実験を行った. 被験者は, 自転車競技出場経験がありヒルクライムのトレーニングを日常的に行う自転車競技経験者 1 名 (被験者 X) とした. 実験に用いたヒルクライムのコース概要を表 2 に示す. 被験者は全長 4.5 km, 標高差 180 m のヒルクライムを走行する. 被験者 X は準備運動をした後にヒルクライムを行い, ケイデンスと心拍数を計測する.

4.2 実験結果および考察

同志社大学自転車競技部の部員が実際にヒルクライムをした際のケイデンス履歴と心拍数履歴を図 2 と図 3 に示す. 図 2 より, 自転車競技経験者のケイデンスは, 最も効率が良いとされる 80 から 90 rpm 程度に保たれていることが分かる. また, 走り始めと終わりを除き, ケイデンスは 70 rpm を下回ることはなかった. 図 3 より, 心拍数は, 170 bpm 程度で推移しており, 高い心拍数で運動していることが分かる. したがって, 本システムは, 80 rpm 以上のケイデンスおよび高い心拍数を保つように, 自転車競技初級者へギア比とケイデンス操作の指示を行うシステムを実

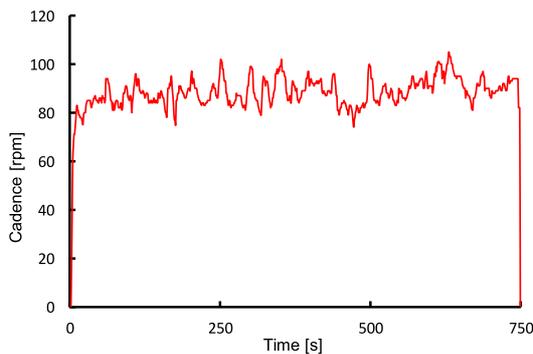


図 2 ヒルクライムにおける自転車競技部のケイデンス履歴
Fig. 2 Cadence history of professional cyclist in hill climb.

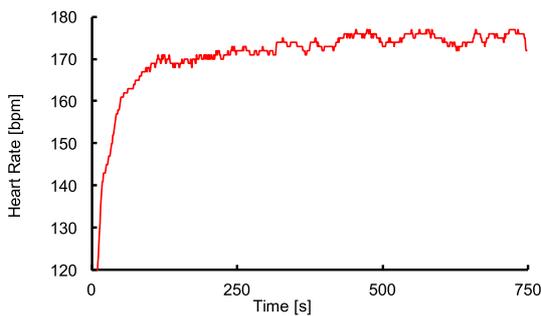


図 3 ヒルクライムにおける自転車競技部の心拍数履歴
Fig. 3 Heart rate history of professional cyclist in hill climb.

装する。

5. ヒルクライムにおけるスマートフォンを用いたペダリング支援システム検証実験

5.1 実験概要

ヒルクライムにおけるケイデンスと心拍数を利用したペダリング支援システムの実装を行い、本システムがヒルクライムにおける自転車競技初級者のケイデンスと心拍数に及ぼす変化の検証を行った。被験者は、22 から 25 歳の自転車競技初級者 5 名（被験者 A, B, C, D, E）とした。実験で用いたヒルクライムのコースは表 2 と同様である。被験者 A, B, C, D および E は準備運動を行った後、はじめに提案システムを用いずにヒルクライムを行い、十分な休憩をとった後に提案システムを用いてヒルクライムを行う。提案システムを用いて走行する場合、各被験者は提案システムが指示するギア比とケイデンス操作に従って走行する。本実験では、開始地点から終了地点における各被験者のケイデンスと心拍数を記録し、自転車競技初級者が提案システムを用いて走行したときに得られるケイデンスと心拍数の結果を検証する。

5.2 ヒルクライムにおけるスマートフォンを用いたペダリング支援システムの実装

提案システムを実装するために用いた機材を表 3 に示す。スピードセンサ、ケイデンスセンサおよび心拍センサ

表 3 提案システムの使用機器

Table 3 Equipments of proposal system.

Item	Equipment
Speed Sensor	BLUE SC Wahoo Fitness
Cadence Sensor	BLUE SC Wahoo Fitness
Heart Rate Sensor	CAT EYE HR-12
Smartphone	iPhone 5S

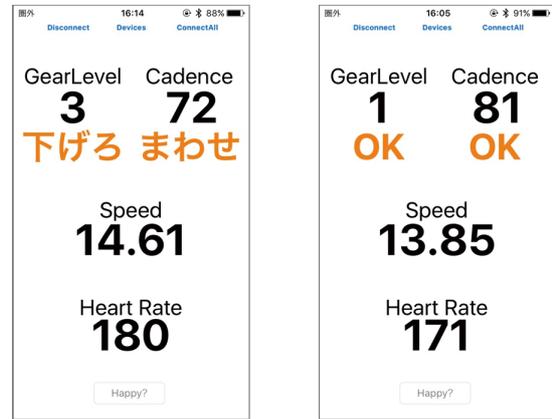


図 4 提案システムのユーザインタフェース
Fig. 4 User interface of the proposal system.

は市販されており、自転車競技で利用可能なセンサを使用する。実験に用いる各センサは、Bluetooth を用いてスマートフォンに接続され、スマートフォンで 1 秒ごとに処理を行う。目標ケイデンス C_p は、ユーザの熟練度に合わせて適正値を設定すべきである。しかし、自転車競技初級者が適正値を判断するのは困難であるため、本研究では、目標ケイデンス C_p を自転車競技において適正とされる 80 rpm に、目標心拍数 H_p をユーザの最大心拍数の 90% に設定する。最大心拍数は、運動強度の計算において一般的に使用されるカルボネン法 [12] より、220 とユーザの年齢の差と定義する。

現在のギア比を計算し、適切なギア比とケイデンス操作のフィードバックを行うスマートフォンとして iPhone 5S を用いた。

提案システムのユーザインタフェースを図 4 に示す。GearLevel, Cadence, Speed, HeartRate は、それぞれ現在のギア比、ケイデンス、走行速度、心拍数を示している。また、GearLevel と Cadence の数値の下に示す命令は、本システムのギア比とケイデンス操作の指示である。ギア操作の指示には「上げる」、「下げる」、「OK」の 3 種類がある。「下げる」と指示された場合 GearLevel の値が下がるようにユーザはギア操作を行う。「OK」と指示された場合は、ギア操作を行う必要はなく、現在のギア比を維持する。GearLevel は、本実験で用いた自転車の変速段数である 10 段階で設定しており、式 (1) で算出したギア比 D_r に対応した GearLevel を表示する。 D_r と GearLevel の対応関係は、自転車ごとにあらかじめ調べ、決定する。本実験で使

表 4 5人の被験者のケイデンスと心拍数の平均値

Table 4 Average of cadence and heart rate of 5 subjects.

Subjects	Use of Proposal System	Cadence	Heart Rate	Time
A	No	63.0	159.9	22:14
	Yes	75.3	176.9	19:42
B	No	65.9	175.4	16:06
	Yes	75.7	179.0	17:23
C	No	59.0	175.4	17:11
	Yes	78.8	178.0	16:40
D	No	65.9	168.1	21:03
	Yes	76.2	178.1	20:06
E	No	69.1	170.6	17:00
	Yes	79.7	174.6	17:39
Ave.	No	64.6	169.9	18:43
	Yes	77.1	177.3	18:18

用した自転車の場合、 Dr が 1.6 ならば GearLevel は 3, Dr が 1.8 ならば GearLevel は 4 となる。

ケイデンスに関する指示は、現在のケイデンスと目標ケイデンス C_p の関係から回転数を評価し、「まわせ」、「抑えろ」、「OK」の3種類の指示を行う。「まわせ」と指示された場合 Cadence の値が上がるように、ユーザはペダルの回転数を調整する。「OK」と指示された場合は、現在のペダルの回転数を維持する。

5.3 実験結果

被験者5人のヒルクライムにおけるケイデンスと心拍数、走行タイム、および、5人の各平均値を表4に示す。表4より、被験者5人の平均ケイデンスは、本システムを用いない場合に 64.6 rpm、本システムを用いた場合は 77.1 rpm となり、10 rpm 以上の差が現れた。また、被験者5人の平均心拍数は、本システムを用いない場合に 169.9 bpm、本システムを用いた場合は 177.3 bpm となり、本システム用いた場合に高くなるのが分かる。走行タイムの平均は、本システムを用いたことで 25 秒短縮した。

被験者 A のケイデンスと心拍数の履歴をそれぞれ図5と図6に示す。図5より、被験者 A のケイデンスは、提案システムなしの場合、全体を通して安定しておらず、さらに、750 秒で大きく低下していた。被験者 A の心拍数についても、図6より、提案システムなしの場合に 600 秒から大きく低下していった。

被験者 A に対する GearLevel とケイデンスへの提案システムの指示履歴を図7と図8に示す。図7と図8より、提案システムは、ギアレベルを下げ、よりペダルを回すように指示することにより、高いケイデンスおよび心拍数を維持する。提案システムにより、被験者 A のケイデンスは上昇し、心拍数の低下は減少した。

効率のよいケイデンスである 80 rpm と各被験者のケイ

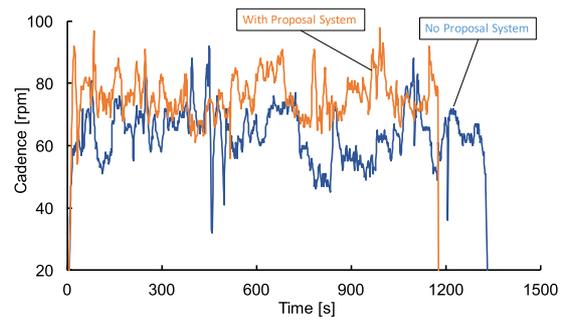


図 5 被験者 A のケイデンス履歴

Fig. 5 Subject A's cadence history.

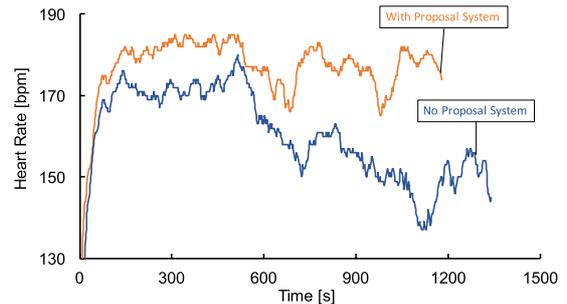


図 6 被験者 A の心拍数履歴

Fig. 6 Subject A's heart rate history.

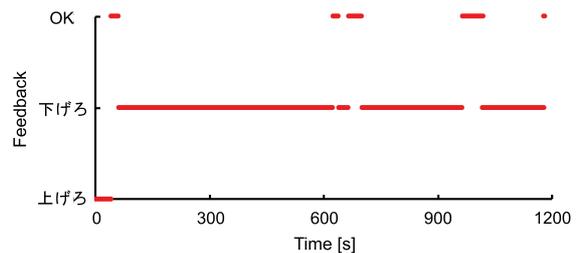


図 7 被験者 A のギア比への指示履歴

Fig. 7 GearLevel feedback history of subject A.

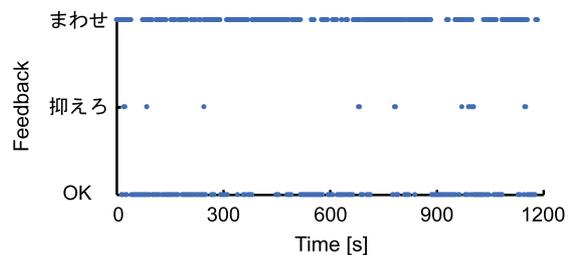


図 8 被験者 A のケイデンスへの指示履歴

Fig. 8 Cadence feedback history of subject A.

デンスの差の分散を図9に示す。図9より、各被験者の分散は、提案システムを用いた場合に小さくなっており、提案システムを用いることで各被験者のケイデンスを効率的なケイデンスである 80 rpm に近づけることができた。

本実験より、提案システムを用いた場合、各被験者のケイデンスが 80 rpm に近づいており、心拍数は全体を通して下がらなかったことから、各被験者は効率の良いペダリ

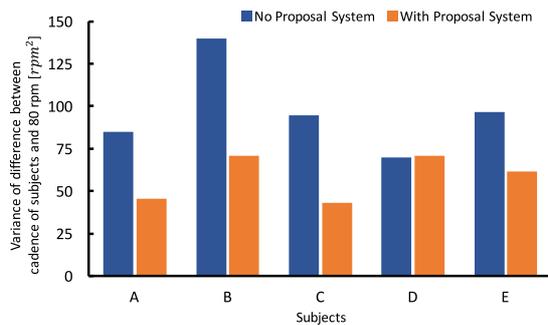


図 9 80 rpm と被験者のケイデンスの差の分散

Fig. 9 Variance of difference between cadence of subjects and 80 rpm.

ングを行えたことが分かった。

5.4 考察

自転車競技初級者である被験者 5 人のケイデンス履歴と図 2 に示す自転車競技経験者のケイデンス履歴を比較する。自転車競技初級者の本システムを用いない場合のケイデンス履歴では、ケイデンスの値は 60 rpm 代を推移することが多く、また、安定しておらず、細かい増減が多かった。一方で、自転車競技経験者のケイデンス履歴は、大きな増減が少なく、80 rpm に近い値を保っている。自転車競技初級者の本システムを用いた場合のケイデンス履歴は、ケイデンスの値が 70 rpm 代を推移することが多くなり、本システムを用いない場合より、ケイデンスが安定している。したがって、自転車競技経験者のレベルに近づいていることが分かる。

被験者 A に関して、提案システムを用いない場合にヒルクライムの後半で心拍数が低下した原因は、低いケイデンスでペダリングし続けたため、運動効率が悪化し、筋肉疲労が大きくなったことで、高い運動強度を確保できなかったためと考えられる。一方で、本システムは、GearLevel を下げ、ペダルをより回すように指示することで、高いケイデンスでのペダリングを維持でき、高い運動強度を確保できたと考える。

6. おわりに

本研究では、自転車競技のヒルクライムにおけるケイデンスと心拍数を利用したペダリング支援システムを作成し、有効性の検証を行った。自転車競技におけるヒルクライムでは、ペダリングのコントロールが難しく、最も経験や実力差が出やすいため、自転車競技初級者にとってヒルクライムは難しい実態がある。また、自転車競技者は、効率的なペダリングを実現するために 80 から 90 rpm のケイデンスを維持し、高い心拍数を維持する必要あることが先行研究から分かっている。そのため、競技者のケイデンスおよびケイデンスの操作に関する自転車のギア操作を指示する提案システムを作成し、検証を行った。提案システ

ムの実装では、自転車競技で使用されるスピードセンサ、ケイデンスセンサおよび心拍センサを用いてセンシングを行い、演算処理装置として iPhone 5s を用いた。ユーザに対するギア比とケイデンス操作の指示は、iPhone 5s の画面を用いて行う。提案システムの検証を行うために、ヒルクライムにおける自転車競技経験者のケイデンスと心拍数の遷移を確認する予備実験を行った。自転車競技経験者が実際にヒルクライムを行った場合、ケイデンスは 80 rpm 以上で推移し、心拍数は 170 bpm 程度の高い値で推移していることが分かった。さらに、自転車競技初級者が提案システムを用いることで、被験者のケイデンスは 80 rpm に近づき、自転車競技者経験者のケイデンスに近づいたことを確認した。また、提案システムを用いることにより、ヒルクライム全体を通して高い心拍数を維持可能であることを確認した。

参考文献

- [1] マイボイスコム株式会社：自転車の利用に関するインターネット調査、入手先 (<http://www.myvoice.co.jp/biz/surveys/17917/>).
- [2] サイクルプレスジャパン：拡大するスポーツ車マーケットの現状、入手先 (<http://cyclepress.co.jp/pickup/201601/>).
- [3] 高嶋 渉, 前川剛輝：自転車坂道走行における姿勢の変化および切り替えがエネルギー効率, 血中乳酸濃度および下肢の筋活動に及ぼす影響, トレーニング科学, Vol.22, No.4, pp.331–338 (2010).
- [4] 汪 立新, 吉川貴仁, 原 丈貴, 中雄勇人, 鈴木崇士, 藤本繁夫：回転数・トルク数の調節が活動筋内の酸素動態およびエネルギー代謝に及ぼす影響, 体力科学, Vol.54, No.3, pp.229–235 (2005).
- [5] 高石鉄雄：最適なペダリング速度, バイオメカニクス研究, Vol.8, No.1, pp.42–51 (2004).
- [6] Patterson, R. and Mereno, M.: Bicycle Pedaling Forces as a Function of Pedaling Rate and Power Output, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Vol.22, No.4, pp.512–516 (1990).
- [7] 矢部広樹, 今井正樹, 久保祐介, 安田幸平, 西田裕介：自転車エルゴメータにおけるペダルの回転数の違いが体に及ぼす影響—心拍一定不可による検討, 理学療法科学, Vol.22, No.2, pp.215–218 (2007).
- [8] 村山正博, 加藤亮子, 春見建一, 村尾 覚：自転車エルゴメータによる運動負荷試験法, 心臓, Vol.5, No.9, pp.1260–1264 (1973).
- [9] 金 利昭：自転車歩行者間の追い越し・追い越され事象における当事者意識 GAP と交通コミュニケーション方法に関する基礎研究, 都市計画論文集, Vol.51, No.3, pp.661–666 (2016).
- [10] 齊藤裕樹, 菅生啓示, 間 博人, テープウィロージャナボンニフット, 戸辺義人：sBike：参加型センシングを志向したモバイルセンシングによる自転車走行状態収集・共有機構, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.2, pp.770–782 (2012).
- [11] 田端佑介, 河内雄太, 浅田翔平, 山本 光, 金田重郎：自転車ユーザに向けた路上障害度情報のリアルタイム提供システム, 研究報告コンシューマ・デバイス&システム, Vol.8, No.14, pp.1–9 (2013).
- [12] Karvonen, M.J., Kentala, E. and Mustala, O.: The effects of training on heart rate; a longitudinal study, Vol.35, No.3, p.307 (1957).



本田 雄亮 (学生会員)

2017年同志社大学工学部インテリジェント情報工学科卒業。同年同志社大学大学院理工学研究科修士課程入学。センサネットワークおよびユビキタスコンピューティングに関する研究に従事。



間 博人 (正会員)

博士(政策・メディア)。同志社大学理工学部インテリジェント情報工学科助教。センサネットワーク、ユビキタスコンピューティング、通信プロトコル等の研究に従事。計測自動制御学会、IEEE 各会員。



村上 広記 (学生会員)

2015年同志社大学工学部インテリジェント情報工学科卒業。同年同志社大学大学院理工学研究科修士課程入学。センサネットワークにおける時刻同期の研究に従事。



津崎 隆広

2017年同志社大学工学部インテリジェント情報工学科卒業。同年同志社大学大学院理工学研究科修士課程入学。センサネットワークにおける位置推定の研究に従事。



三木 光範 (正会員)

工学博士。同志社大学理工学部教授。研究分野はシステム工学，最適化，並列処理等，最近は並列処理と最適化を組み合わせた技術をオフィス照明の分野に展開し，知的照明システムを研究・開発している。IEEE，人工知能

学会，システム制御情報学会，日本機械学会，計算工学会等各会員。超並列計算研究会代表。経済産業省産業技術審議委員等歴任。知的オフィス環境コンソーシアム会長。