

# AwareCycle: 自転車装着型残像ディスプレイの スポーツビジュアライゼーションへの応用

市岡 陽子<sup>†</sup> 塚田 浩二<sup>††</sup> 椎尾 一郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup> お茶の水女子大学 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

<sup>††</sup> 公立はこだて未来大学/科学技術振興機構 さきがけ 〒041-8655 北海道函館市亀田中野町 116 番地 2

E-mail: [†yoko.ichioka@is.ocha.ac.jp](mailto:†yoko.ichioka@is.ocha.ac.jp), [††{tsuka,siio}@acm.org](mailto:††{tsuka,siio}@acm.org)

**あらまし** 近年スポーツを行う際に、競技者自身が自身の状態を把握するシステムは多くある。一方で、それらの情報をリアルタイムで周囲に表示させることは少ない。本研究では、自転車を走行する際に、競技者の状態（例：心拍数）を自転車のホイールを残像ディスプレイとして活用して周囲に提示することで、新しいスポーツビジュアライゼーションを支援するシステム「AwareCycle」を提案する。

**キーワード** 残像ディスプレイ, 自転車, サイクリング, 心拍数, 身体情報, スポーツ,

## AwareCycle: Application to sports visualization of attached on bicycle wheels

YOKO ICHIOKA<sup>†</sup>, KOJI TSUKADA<sup>††</sup>, and ITIRO SIIO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Ochanomizu University 2-1-1 Ohtsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610, Japan

<sup>††</sup> Future University Hakodate /JST PRESTO 116-2 Kamedanakano-cho, Hakodate, Hokkaido, Japan  
041-8655

E-mail: [†yoko.ichioka@is.ocha.ac.jp](mailto:†yoko.ichioka@is.ocha.ac.jp), [††{tsuka,siio}@acm.org](mailto:††{tsuka,siio}@acm.org)

**Abstract** Recently there are many systems that log a sportsman's physical status. However, they have not been utilized to provide real-time feedback to an audience. We then propose a new sports visualization system "AwareCycle", which can detect sportsman's statuses (e.g., heart rate) and present various images based on the status using an LED array attached to a wheel as an interactive afterimage display.

**Key words** Afterimage display, Bicycle, Cycling, Heart rate, Physical information

### 1. はじめに

モバイルコンピューティングの普及に伴い、スポーツ時の競技者の状態（位置や心拍数）を記録するデバイスが多数開発されている [1] [2]。これらの情報を競技者やコーチが確認し分析することで、スポーツ技術の向上、試合の戦略立案、運動意欲の向上などに活用されている。またそういった情報は個人間においても SNS などでも共有し [3]、プロの競技者以外の人々もスポーツ時の様々な状態（例：速度や心拍数）を確認できる機会が増えている。しかし、これらの情報はスポーツをしている競技者自身やコーチに主に提示するものであり、周囲の人々に対してリアルタイムに表示する目的での活用はまだ少ない。そこで、本研究では、スポーツの楽しみを向上させるために、発汗量や心拍数といった周囲には確認することが困難である競技者の状態を周囲の人が目視で確認することができる、新しいス

スポーツビジュアライゼーションの手法を提案する。ここでは、競技者の状態をリアルタイムに周囲に提示する仕組みを備えたスポーツを「AwareSport」と定義する。スポーツをしている競技者の状態が周囲に分かる事で、練習の際のコーチングや、競技者同士の競技時のモチベーションといったことに役立てられる。さらに、例えば、スポーツを観戦時に、競技者の状態を周囲の人々が認識できることで、周囲の人々は「まだ、後ろの競技者は温存しているのだろうか」「そのうち、勝負を仕掛けるかもしれない」「こんなスピードで、この心拍数はさすがプロだ」といった競技者同士の駆け引きや競技者の特徴を今までにない視点で観察することができる。その結果、スポーツ観戦がより魅力的なものになる可能性がある。本論文では、自転車競技に着目し、周囲の第三者に対してユーザの状態（走行状態・身体状態）を見せる新しい自転車競技のビジュアライゼーションの手法を構築する。本研究では、周囲の人が競技者の状態を

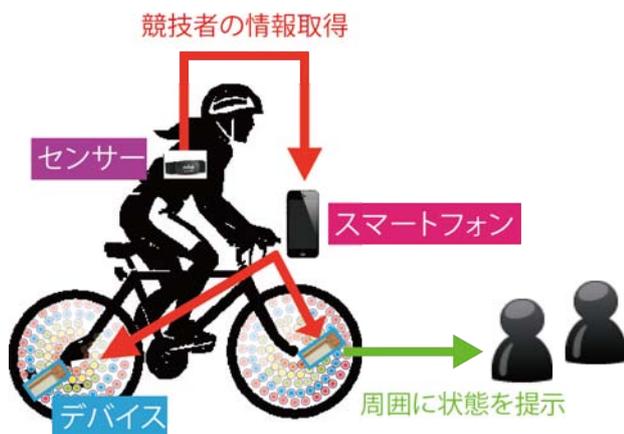


図1 AwareCycle のコンセプト

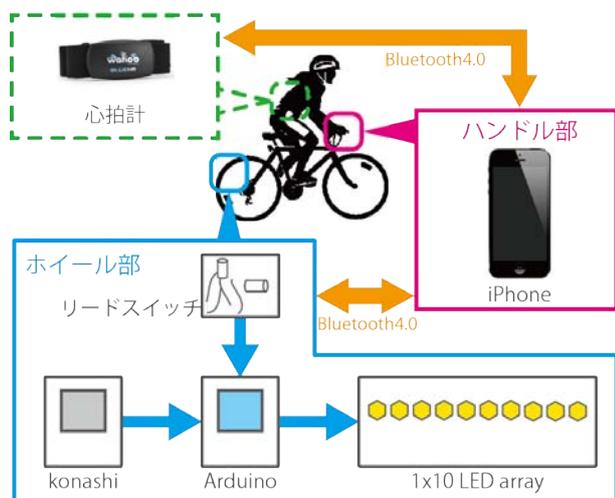


図2 システム構成

目視で確認できるように提示するために、表示領域としては今まで活用されていなかったホイール上に LED アレイを装着し、ユーザの状態を提示するシステム「AwareCycle」を実装した(図1)。また、今回は、競技者の状態の中で、心拍数に着目し、心拍数の変化に応じて、LED アレイの点滅パターンが変化する iPhone アプリケーションも実装した。心拍数はスポーツでの重要なバロメータであり、スポーツを行っている際には変化が多い。例えば、ツールドフランスでの競技者の様々なデータをまとめた資料[5]を見ても、心拍数が競技者ごとに異なり、試合中に多様な変化をすることがわかる。また、実際に、自転車競技では速度や心拍数を確認するために、パワーメーター(例:[4])を自転車に装着して、戦略を練ることもある。これらの理由から、競技者の心拍数が視覚化される事で、競技者同士の駆け引きがわかるなど、新たな自転車競技の楽しさを提供できると考える。

## 2. 関連研究

### 2.1 運動時の身体情報の利用

ユーザの身体情報を記録することで、スポーツを支援するシステムは多い。ユーザがスポーツ時の状態を記録するシステムとしては、前述の通り Nike+ FuelBand [1] や fitbit [2] といっ

たものがある。これらは、運動中の記録をスマートフォン等と連携することで、Web 上に公開することも可能である。また、Florianh [6] らは運動のモチベーションを向上させるために、遠隔地でジョギングをしているユーザ同士の心拍数を互いに聞きながらジョギングを行うシステムを提案している。Franco [7] らは競技者のモチベーション向上手法として、競技者の心拍数を Web 上に公開し、それを閲覧した観客がサイト上の「応援ボタン」を押すと、競技者が身につけているデバイスが振動するシステムを構築している。これらは、実際にスポーツをしているユーザへのフィードバックを目的としている。一方、本研究では競技者の身体情報を周囲の人々にもフィードバックをすることを目的としている。

### 2.2 スポーツビジュアライゼーション手法

コンピュータ技術を利用して、スポーツを観戦している人々(周囲の人々)に競技のデータや競技者の情報をビジュアライゼーションすることで、観戦の楽しさを向上させる試みも多い。例えば、sportvision 社<sup>(注1)</sup>がヨットレースの時速を TV の画面に表示するといった、スポーツ競技の付加情報を画面上に表示するシステムが実現されている。また、Josef Hallberg [8] らはクロスカントリーの試合中に競技者の状態(例:位置)を Web 上にリアルタイムにアップし、観客が閲覧することができるシステムを提案している。Nilsson [9] らは観客が手持ち型コンピュータで競技者の心拍数などを確認する試みを行った。これらは、観客がディスプレイを通して、競技や競技者の情報を取得している。一方、本研究では競技者の身体情報を周囲の第三者に対して、リアルタイムに自転車のホイール上に提示することで、観客が特別な装置を利用する事なく、競技者の情報の取得が可能となる新しいスポーツビジュアライゼーション手法の創出を目指す。

### 2.3 既存の残像ディスプレイ

本研究の提案手法と同様に、自転車のホイールに LED アレイを取り付けることで、安全性/エンターテインメント性を高める製品は多くある(例:[10])。また、回転速度に応じて残像ディスプレイの表示をインタラクティブに変化させる研究に、塚田らの傘の回転を利用した情報提示システム[11]がある。こうしたシステムの多くは単純に美しいグラフィックスを表示することを目的としている。一方、本研究では、競技者の状態に応じて、LED アレイの点灯パターンを動的に変化させる点が特徴である。そのため、既存の製品や手法では実現が難しいと考え、身体情報に応じて LED アレイの点灯パターンを動的に変化させるシステムを構築した。

## 3. AwareCycle

ここでは、AwareSport の概念に基づき AwareCycle の特徴について述べる。

### 3.1 提示目的

スポーツ競技の状態を可視化する目的には、練習のために競技者自身だけに提示するものに加えて、競技者の緊張感・高揚

(注1): sportvision. <http://www.sportvision.com/>



図3 自転車に取り付けたプロトタイプの外観

感を視聴者や観客（周囲の人々）に伝える目的で提示するものが考えられる。本研究では後者に着目して、競技者の状態を観戦している人々に提示し、スポーツ観戦の新しい楽しみの創出を目指す。

### 3.2 提示内容

スポーツビジュアライゼーションで可視化を実現している対象は大きく2つに分けられる。1つ目は、野球のストライク数やバスケットボールのファールの数など、競技上のデータを表示するものである。2つ目は競技者の時速や心拍数、発汗量などの競技者ごとのデータを表示するものである。本研究では、後者の競技者の状態として心拍数を周囲に提示する。

### 3.3 提示手法

スポーツビジュアライゼーションの手法としては、競技者の情報（例：位置）を Web に公開する情報提示といったものがある[7][?]。これらは、主に遠隔のディスプレイ上に情報を提示するものでありその場で観戦している人々が見ようとするには、スマートフォンなどのデバイスを用いる必要がある。しかし、スポーツは競技者の数秒の行動で勝負が決まることもあり、こういったデバイスを利用することは観戦の妨げになりかねず、観客にとっては負担となる。このような点を踏まえ、本研究では、特にデバイスを利用することなく、自転車競技を見る観客が競技者の状態を目視で認識できるように、自転車のホイール部を利用した情報提示を行うことにした。

## 4. 実装

ここでは AwareCycle のプロトタイプの実装について説明する。

### 4.1 システム構成

図2にシステム構成図を示す。本システムは、iPhone、心拍計、自作のホイール装着デバイスによって構成されている。まず、ハンドル部には、iPhone を専用スタンドで固定した。

### 4.2 デバイス詳細

ホイール部は、リードスイッチ、10個のフルカラーLED（LEDアレイ）、2種類のマイコン（Konashi, Arduino Pro Mini）と周辺回路、及びバッテリーから構成される（図4）。マグネットを車輪と隣接するフレーム上に固定することで、リードスイッチにより車輪の回転速度を検出し、LEDの表示タイミ

ングのコントロールや自転車の速度計測に利用する。LEDアレイ、Konashi<sup>(注2)</sup>、Arduino Pro Mini(以下、Arduino)と周辺回路は、メイン基板上に固定した。図4のメイン基板は多数の固定用穴を開けており、3Dプリンタ出力したABS樹脂筐体に格納したうえで、自転車のホイールに結束バンドで固定する。LEDアレイは、ホイールの回転に伴う残像効果によって、円状のディスプレイとして知覚される。現段階では、24インチのホイール全周に、10×9ピクセル相当のフルカラーイメージを約7個表示できる（図5）。KonashiはiPhone上のアプリから制御できるツールキットであり、Bluetooth4.0を経由してハンドル部のiPhoneと通信する。また、ホイールの回転数を計測してiPhoneに送信すると共に、シリアル通信でArduinoに制御コマンドを送信する。ArduinoはLEDアレイの点灯パターンを制御する。LEDアレイ上の各フルカラーLEDはI<sup>2</sup>Cを介して個別に制御することができる。点灯パターンはフルカラーの各色を任意に点灯させるシンプルな提示から、メイン基板上のEEPROMに書き込んだパターンを呼び出すものまで対応できる。なお、Konashi単体でもLEDアレイの制御は一応可能だが、残像ディスプレイとして十分な更新速度の達成と、I<sup>2</sup>Cの安定した制御が困難であったため、今回はArduinoを利用している。

### 4.3 心拍数

本研究では、心拍数を取得するために、wahoo<sup>(注3)</sup>の心拍計を使用した。wahooの心拍計は胸部に装着するタイプであり、Bluetooth4.0を介してiPhoneと接続される。そして、wahooのAPIを利用し、ユーザの身体情報（心拍等）をホイール部の情報提示に表示するiPhoneアプリをobjective-cで実装した。また心拍数を表現するために、数値、ハートアイコン、縦・横棒グラフの4種類の表示方法を実装した（図6）。iPhoneアプリ上で、心拍情報を取得し、心拍数の表現方式制御コマンドと心拍数情報をBluetoothシリアルを介してArduinoに送信する。Arduinoは受信したデータを基にLEDの点滅パターンを変化させる。

### 4.4 動作

自作のホイール装着デバイスを自転車に固定し、胸部に心拍計を装着する。そして、専用のiPhoneアプリを起動する。ユーザはBluetoothを介して心拍計とkonashiをiPhoneと接続させる。自転車の走行を始めると、ホイールのリードスイッチが回転を検知し、LEDの点滅が始まる。ホイール上にはユーザの心拍の状態が表示される（図4）。

## 5. 評価

### 5.1 目的と手法

今回は、開発した残像ディスプレイと、実装した4種類の表示方式の視認性を評価することを目的に、以下の実験を行った。実験時の被験者と自転車の配置を図8に示す。被験者4名は1カ所に別々の向きでまわって立ち、自転車はその周囲を円周

(注2) : Konashi. <http://konashi.ux-xu.com/>

(注3) : wahoo. <http://www.wahoofitness.com/>

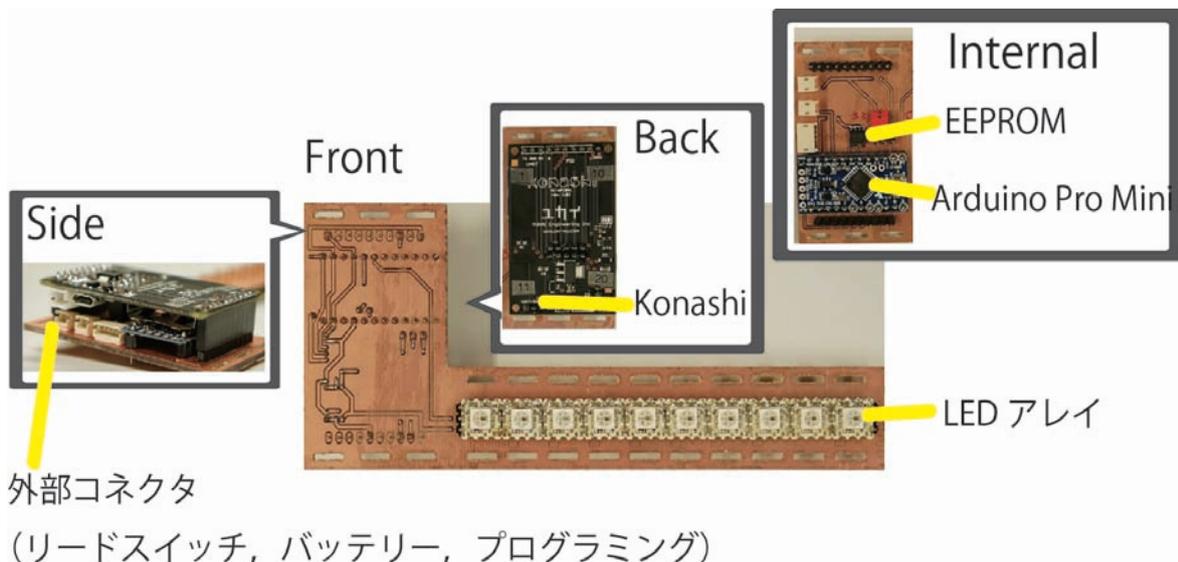


図 4 メイン基板の構成



図 6 心拍数の表現イメージ

実験結果

|       | 5m |     |       |       | 10m |     |       |       | 20m |     |       |       |
|-------|----|-----|-------|-------|-----|-----|-------|-------|-----|-----|-------|-------|
|       | 数字 | ハート | 縦棒グラフ | 横棒グラフ | 数字  | ハート | 縦棒グラフ | 横棒グラフ | 数字  | ハート | 縦棒グラフ | 横棒グラフ |
| 被験者 1 | 3  | 1   | 3     | 3     | 2   | 2   | 3     | 3     | 2   | 2   | 3     | 2     |
| 被験者 2 | 2  | 1   | 3     | 1     | 1   | 2   | 3     | 1     | 1   | 2   | 2     | 1     |
| 被験者 3 | 2  | 3   | 3     | 3     | 3   | 2   | 3     | 3     | 1   | 2   | 3     | 3     |
| 被験者 4 | 3  | 3   | 3     | 2     | 3   | 2   | 3     | 3     | 2   | 2   | 2     | 2     |

表 1 実験結果 (数値は、3 回実施した走行において表示を正しく読み取れた回数)

上に走行した。被験者からの距離は、5m, 10m, 20m の 3 段階で検証した。本実験では実際の心拍計データを表示せず、1 周する間、同一の数値または絵柄の表示を行った。また、1 周するごとに自転車を止めて、表示内容を切り替えた。実験時刻は午後 1 時前後、天候は晴天であった。自転車を走行したのは、筆者らの 1 人 (20 歳代女性) で自転車は車輪 26 インチ径のシティサイクルであり、時速 15km に保って走行した。被験者は、自転車ホイールに表示された内容を目視して確認し、表示内容を事前に配布した紙にホイール上に表示されていた残像を紙に記述した。自転車は、各距離毎に、4 種類の表示形式で、各 3

つの絵柄を 1 回ずつ表示した。今回表示した絵柄は図 6 に示す数字、アイコン、縦棒棒グラフ型、横棒グラフ型である。数字は 3 種類 (102, 88, 96)、アイコンは 1 から 3 個のハートで、数の増加にしたがい全体の色が青、緑、赤に変化する。棒グラフ型は、半径方向に伸びる 3 段階の棒グラフであり、短い方からそれぞれ青、緑、赤に色が変化する (背景は白)。横棒グラフ型は車輪回転方向に伸びるグラフでありこれも長さが 3 段階で棒グラフ型と同様に色が変化する。なお、次に示す表示形式については口頭で被験者らに伝達した。数字の種類を含め、表示の詳細については伝達しなかった。



図 5 ホイールに表示される画像



図 7 心拍数をホイールに表示させた利用例 撮影はカメラを三脚で固定し、自転車走行方向に合わせてカメラを動かしシャッター速度を落として撮影した

## 5.2 結果と考察

数値表示では、正しく数値が読み取れた場合に、ハートアイコン、棒グラフ型、円グラフ型では3段階のレベル表示が正しく認識できた場合に正解とした。ここでは、それぞれの表示形式、距離、被験者に関して考察を述べる。実験の結果、それぞれの絵柄ごとの正解数を表1に示した。

表示形式に関して、まず数値表示では提示した3種類の数字のうち、1つが3桁、2つが2桁の数字であった。これを3種類の距離で行い4名から回答を得たので、総回答数は36回答である。このとき3桁と2桁数字の正答率は、それぞれ91%と54%であり、桁数が増えたことによる著しい正答率低下はなかった。ただし、2桁の数字の正答数が低い原因として、「88」の数字の正答数が低く、「8」が認識ににくいという被験者の意見もあった。ハート表示においては、1, 2, 3個のハートをそれぞれ3種類の距離で表示した4名の被験者から得たそれぞれの総回答数12のうち、1, 2, 3個のハートの正答率は、83%, 66%,

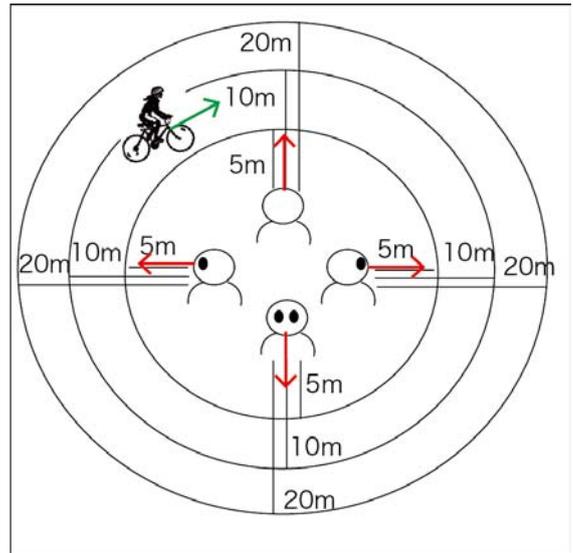


図 8 実験概要図

50%であり、ハートの数が増えると正答が減る。この一因に、現在の設計ではハート間隔が狭いため識別しにくいことが考えられる。今後、アイコンの間隔を広げるなどの工夫をしたい。また、表示形式に関して、どの絵柄が一番認識しやすいかと被験者に質問したところ、4名の被験者全員が縦棒グラフと回答した。

距離によるそれぞれの正答率は5mでは81%、10mでは81%、20mでは66%であった。距離が離れると数字表示の正答数が少なくなる一方で、グラフの増減の認識は正答率はさほど低下しなかった。

被験者ごとによる正答率は、被験者1が80%、被験者2が55%、被験者3が83%、被験者4が80%であった。全般的に被験者2の正解数が少ない。この原因として、当被験者の矯正視力が1人だけ弱かった(0.3)こと、および太陽光が順光として自転車にあたる位置に立っていたため、LED光が日差しに埋もれたなどの可能性が考えられる。

## 6. 議 論

### 6.1 様々なスポーツでの応用

本システムでは、AwareSportsの応用として、自転車競技に着目した。この他にも、自転車競技だけでなく様々なスポーツでの応用が考えられる。競技者や観客が体に装置を身につけたりする、負担を少なくするために、野球やテニスといった道具を使用するスポーツ競技において、ラケットやグローブなどをディスプレイとして利用する場合に限られる可能性もある。これらの点を踏まえ、自転車競技だけでなく、今後は様々な競技での応用を検討していきたい。

### 6.2 提示手法に関して

本システムでは自転車のホイール上に直接情報を出力している。既存のビジュアライゼーションでは、PCやデジタルディスプレイ上に表示するものが、多い。しかし、ホイール上に出力することで、TV中継を見ているユーザだけでなく、現場で観戦しているユーザも見ることができる。また、ARなどの出力方

法も考えられるが、ユーザがスマートフォンなどのデバイスを利用しなければならず、スポーツの観戦を妨げる可能性もある。今後はこの点を相対的に比較するための評価実験を行いたい。

### 6.3 競技者への負担に関して

本研究では自転車に自作のホイール装着デバイスとバッテリーを装着する。そのため、自転車の重量が重くなり速度低下といった問題点が考えられる。そこで、我々は慣性モーメントを軽減するために、ホイール装着デバイスの重量の重い部分をホイールの中心に配置した。また、解像度を増やすためにはLEDの個数を増やすなどのアプローチが考えられるが、そのためにはデバイスの重量などが増えて速度などに悪影響が出る可能性があるため、今後はホイール装着デバイスの計量化などの慎重な設計をしていきたい。

## 7. まとめと今後の課題

本研究では、競技者の身体状態(例:心拍数)をホイール部のフルカラーLEDアレイで観戦している人に提示することで、新しいスポーツ観戦を支援するシステムAwareCycleを提案・試作した。今後は、LEDアレイの表示バリエーションの向上、防水機能の確保などを含めてシステムを改良し、実環境での運用を目指す。今後は、競技者の状態を表示させることで、観戦の楽しみが増加するかを調査するため、実際の運動時に複数の競技者に利用してもらい、周囲の人々が競技者の変化をどのように感じたかといった評価実験や競技者への自転車の重量の増加といった負担についても調査・検討を行う。さらに、自転車だけでなく、カーレースや、マラソンといった様々なスポーツでの利用や、一般ユーザでの利用も視野に入れて、スポーツビジュアライズ手法をあわせて検討したい。

## 謝 辞

謝辞本研究の一部は、科学技術振興機構さきがけプログラムの支援を受けた。

## 8. 参考文献

### 文 献

- [1] Nike+ FuelBand. <http://www.nike.com/jp/ja-jp/c/nikeplus-fuelband>.
- [2] fitbit. <http://www.fitbit.com/jp>.
- [3] RunKeeper. <http://runkeeper.com/>.
- [4] SGX-CA900. <http://pioneer-cyclesports.com/jp/products/cyclocomputer/sgx-ca900.html>.
- [5] "Pro Power Analysis: Stages 18-19 at the Tour de France". Velonews. <http://velonews.competitor.com/2013/07/tour-de-france/pro-power-analysis-stages-18-19-at-the-tour-de-france.296653>.
- [6] Florian Mueller, Frank Vetere, Martin R. Gibbs, Darren Edge, Stefan Agamanolis, and Jennifer G. Sheridan, Jogging over a Distance Between Europe and Australia, UIST '10, 2010.
- [7] Franco Curmi, Maria Angela Ferrario, Jen Southern, and Jon Whittle, HeartLink: open broadcast of live biometric data to social networks, CHI '13, 2013.
- [8] Josef Hallberg, Sara Svensson, Ake Ostmark, Per Lindgren, Kare Synnes, and Jerker Delsing, Enriched Media-Experience of Sport Events, WMCSA '04, 2004.

- [9] Andreas Nilsson, Urban Nulden, Daniel Olsson, Spectator Information Support: Exploring the Context of Distributed Events, Theories and Supportive Technologies, Information Science Publishing, 2005.
- [10] Monkey light. <http://www.monkeylectric.com/>
- [11] 塚田浩二, 増井俊之, PhantomParasol: なめらかな粒度の情報を伝える傘型情報提示機構, WISS2005 論文集, pp.57-62.