

自転車競技トレーニングシステムの開発

佐藤 永欣^{1,a)} 佐々木 毅² 檜山 稔³ 浅沼 和彦⁴ 大関 一陽⁵ 武部 英輔⁵ 猿舘 貢⁶ 佐藤 清忠⁷

概要：自転車競技は元々自転車という機械を使うスポーツである性格上、センサや情報機器の導入が他のスポーツに比べて進んでいる。例えば、車速センサ、クランク回転センサ、GNSS による常時測位、心拍計、カメラなどである。これらの情報の一部または全てを統合表示するサイクルコンピュータの使用も一般的になり、乗車している本人がデータを乗車中に確認する、降車後に PC 等で確認するような使い方が主流である。したがって、コーチ等によるリアルタイムの指導は難しい。また、走行する自転車と選手をコーチが細かく観察することは難しいため、トラックでの走行の場合はローラー台に自転車を固定した走行と異なりコーチがペダリングやギヤの使い方を細かく指導することができない。このため、初級者に限らず、上級の選手であってもペダリングの際に無駄な力が発生しているが、指導されないままとなってしまふ。そこで、自転車に上記のセンサの他ビデオカメラを搭載して、センサの測定データの他、動画をトラック脇にいるコーチが持つ PC にリアルタイムで伝送して確認できるシステムを作成した。このシステムを使用してトレーニングを行った結果、大幅な成績向上を果たしたので報告する。

キーワード：自転車, センサ, オープンプラットフォーム

1. はじめに

自転車競技は自転車を利用したスポーツであって、主に着順やタイムを競う。トラック、ロード、未舗装路で行うマウンテンバイクといった種類に分類されている。自転車と選手が一組となり競技の全行程で自転車を使用するのが原則である。元々自転車という機械の使用が前提のスポーツであるため、スポーツとしては早くからセンサ類の使用が進んでいた [1]。センサは主に自転車に取り付けられ、自転車を漕いでいる本人がサイクルコンピュータや専用の表示機によってセンサのデータを見る。センサによっては競技中も装着を認められているものもある。

現在、主に使用されているセンサ類としては、磁石を用

いた車速センサ、ケイデンス (クランク回転数) センサ、クランクに装着またはクランクと交換するトルクセンサ、心拍計、GNSS による高度と車速を含む走行ログなどがある。現在これらのセンサはサイクルコンピュータとともに市販され、実用に供されている。自転車競技に使用されるセンサ類には次のような特徴がある。

- 電池駆動を前提としており小型軽量である^{*1}。
- サイクルコンピュータ、または表示機との接続は有線接続が多かったが、近年は無線によるものが多い。Bluetooth Low Energy の導入も進んでいる。
- クランクなどの回転部に装着するセンサもある。必然的に電池駆動、無線接続となる。
- 各社が独自規格の無線接続を使用している、Bluetooth Low Energy を使用している場合でも、物理層のみが標準化されているだけである。
- 自転車を漕ぐ本人がセンサのデータをモニタすることが前提である。
- 取り付け可能な場所が限られている。スポーツ用自転車の場合、フレームの一部、シートポスト、ハンドルバー、サドル下などしか取り付け可能な場所がない^{*2}。

¹ 岩手県立大学
Iwate Prefectural University, Takizawa, Iwate, 020-0193, Japan

² TKR マニュファクチャリング・ジャパン株式会社
TKR Manufacturing Japan K.K, Hakoshimizu, Minami-Hidume, Shiwa, Iwate 028-3317, Japan

³ 有限会社ホロニック・システムズ
, Holonic Systems, Ltd., Baba, Kamihirasawa, Shiwa, Iwate 028-3441, Japan

⁴ 株式会社東北パワープロジェクト, Tohoku Powerject, K.K., Hirasawa, Shiwa, Iwate 028-3308, Japan

⁵ 株式会社ピーアンドエーテクノロジー, P&A Technologies K.K.
⁶ 岩手県立紫波総合高等学校, Shiwa Comprehensive Senior High School, Hidume, Shiwa, Iwate 028-3305, Japan

⁷ 岩手県盛岡広域振興局, Morioka Promotion Bureau, Iwate Pref. Government

a) nobu-s@iwate-pu.ac.jp

^{*1} 同機能でも素材と工法が異なり 100g 軽量で耐久性が劣るもの数万円高価な自転車部品が存在することから、軽量なことは何よりも重要であることが理解できる。

^{*2} これらの場所の太さは概ね規格化されている。ただし、最近では規格が多様になっている。

自転車競技は他のスポーツと異なり、比較的用具に関するルールが緩く、競技前には車検がある一方で、センサの使用が競技中にも認められる場合がある。選手にとっては自転車の重量増とのトレードオフとなる。

このような特徴は、実戦や練習に使用できるセンサ類としての一定のマーケットがあるという現状にも現れている。センサが出力するデータをリアルタイムで自転車を漕ぐ本人が確認することで、持久力や登坂力の向上に結び付くなどのメリットがあるため、競技会にほとんど出場しないような人であってもこれらのセンサを使用している。

これらのセンサは種類によっては比較的安価である。安価な部類に入るセンサとしては、速度センサ、GNSSによるロガー、心拍センサ、クランク回転数センサなどであり、これらはサイクルコンピュータとセットで数万円以内で購入できる。高価な部類のセンサとしては、クランクにかかるトルクを計測するセンサなどがある。基本的には電動アシスト自転車のトルクセンサに使用されているもの[2]同じ技術に基づくが、スポーツ用のセンサは数十万円以上のものが多い。クランクにかかるトルクを直接計測できれば、選手のパフォーマンスを直接測定できることを意味するため、クランク角センサと合わせると導入の効果は高いと考えられる。

その一方で、これらのセンサと表示機器が各メーカー専用品であったり、情報が1台の自転車内で完結しているといった問題がある。後者の問題は、中高生のような自分でトレーニングメニューを考え、それに従うモチベーションが必ずしも高くない競技者を指導する際には問題になる。また、漕ぐ際のフォーム、特にペダルに力をどのように伝えているのかは指導上、力点が置かれるが、これをモニタできるセンサは筆者らが知る限り、シューズに埋め込むタイプのセンサのみであり、高価である。

特に、ここ10年ほどの間で、中学・高校の部活動にも科学的なトレーニングが導入されている。特に、元オリンピック選手、元国体選手が顧問をしているような運動部で顕著である。中高生を対象に指導する場合、対象者のレベルが初心者から上級者まで幅広いという現実がある。初心者であっても適切に指導すれば（スタミナ等の問題は別として）技術的には短期間で大幅に向上することもある。

競技技術の適切な指導には十分なデータが必要である。自転車競技ではローラー台を使用せずに練習する場合はコーチが直近で観察できないため、ペダリングやギヤの使用、着座位置などの重要な技術を観察できない。ローラー台を使用した場合とトラックや道路上を走行している場合とは異なる部分が多いため、ロスの多いペダリングを修正するのが難しい。

このため、我々は高校の自転車競技部で使用することを念頭に、自転車競技むけのリアルタイムセンサシステムを開発した[5]。このシステムは車載センサ、車載コンピュー

タ、無線通信部、受信・モニタ用PCからなり、車載センサ群から得たデータを無線LANを通じてトラック脇のモニタ用PCに送信する。これにより、リアルタイムでコーチが選手の状態をモニタし、指導することができる。

2. 関連研究

自転車競技とセンサ類の親和性は高く、割合に古いものでは文献[1]などがある。自転車競技と関係ない部分でも、電動アシスト自転車のアシスト出力制限に対応するために歪トルクセンサを使用してクランクに対する入力を計測しているもの[2]、交通安全と関連があるもの[3]がある。スマートフォンを用いて自転車外部とのデータ共有も行われている[4]がスポーツに特化したものではない。自転車競技に関する可能性もあるものとしては、クランクシャフトへの弾性ねじりを検出することでトルクを測定するもの[8]、伝達トルクを計測する機構を内蔵した自転車等用車輪[7][6]がある。その他、製品として[9][10][11]などがある。

一般的に、日本では自転車とセンサに関する研究や技術開発、製品は交通安全や電動アシスト自転車に関するものが多く、スポーツに特化した自転車に関するセンサ類およびサイクルコンピュータ類は製品などにおいても、アメリカおよびヨーロッパが先行している。

このように、自転車とセンサに関しては古くから研究が行われており、実際に製品が販売されている。ただ、これらの市販品は自転車に乗っている選手自身が自分の状態をモニタすることが主な目的である。これは、市販品が趣味等で自転車に乗る人を対象にしているためである。広範囲に渡る大規模な競技会では通信機器とセンサの組合せが使われることもあるが、一般に市販されているわけではない。

3. 自転車競技とトレーニング法

自転車競技は大まかにわけて、トラック競技、ロード競技、マウンテンバイク等を使うオフロード系の競技に分類できる。この論文では、主にトラック競技とロード競技を対象としている。どの競技においても、筋力と心肺能力の向上が、特に成長期にある高校生のトレーニングでは大きなテーマである。また、技術面では無駄のないペダリング技術、車間をできるだけ詰める技術、駆け引きの技術を習得する必要がある他、ロード競技では場面に応じたギヤの選択のような技術も必要である。ギヤは単に速度と道路の勾配だけで決まるわけではなく、試合の場面により使い分けが必要である。

3.1 自転車競技のトレーニングに使用されているセンサ類

まず、用具となる自転車の種類と計測すべきデータ、および使用されているセンサ類についてのべる。オフロード系の競技に使用されるマウンテンバイクは、ロード競技に

使用されるロードバイク、トラック競技に使用されるピストバイクとは大きく異なり、強度が高く車重もおもく、12~14kg程度の重量がある。ロードバイクとピストバイクはフレームやドロップハンドルである、強度よりも重量の軽さを優先しているなどといった共通点がある。その一方、ロードバイクには変速機やブレーキといった部品があるが、ピストバイクにはこれらの部品がなく、後車軸にフリーハブも無いため、走行中は常にクランクも回転している^{*3}。ピストバイクに限れば、クランク軸の回転数を計測することは走行速度を計測することに他ならない。

使用されているセンサ類としては、一般的かつ安価な順で、速度計、GNSS受信機による走行ログ、心拍計、トルクメータなどがある。

速度計は後輪のスポークに磁石をとりつけ、フレームに取り付けたコイルか1軸磁気センサにより磁石の通過回数により車輪の回転数を測定し、車輪の直径から速度を計算している。

GNSS受信機はサイクルコンピュータと一体のことが多い。GNSS受信機による速度計も存在する。

心拍センサは、自転車のトレーニング手法に非常に関係がある。心肺能力の向上を目的として、一定以上の心拍数を維持しながら走行するトレーニングが一般的に行われているためである。心拍センサは説明書を確認する限り、ペースメーカー装着者に対する注意書き、電極の存在などから筋電計が使われていることが多いが、最近はLEDとフォトトランジスタを用いたものがある。自転車用として販売されている心拍センサは胸に取り付けるものがほとんどである。

トルクメーターは主にペダル踏力を歪センサなどによって計測している。歪センサの装着場所はクランクそのものに内蔵、クランク軸に内蔵、後輪ハブに内蔵という各方式があり、市販されている。クランクそのものに内蔵の場合、メーカーによってはクランクとクランクギヤの固定部分の寸法に互換性があるため交換可能である。クランク軸に内蔵の場合、交換可能であるかはボトムブラケットと呼ばれる、クランク軸を通すフレーム側の部品との互換性に依存する。スポーツ車では中空クランク軸が多いため、互換性が低い場合が多いように思われる。後輪ハブに内蔵の場合、装着するには後輪のスポークを全て外して後輪を組み直す必要がある。歪の検出手法は歪により抵抗値が変わる素子を用いたもの、光学式の検出など、様々である。

中空クランク軸を用いるスポーツ車では、クランク軸とクランクギヤ側のクランクが一体となっており、このためクランク周辺にトルクメーターを装着するにはクランクー式を交換することになる。したがって、トルクメーターの販売価格はかなり高価であり、一式で20万円強である。一

方、後輪ハブに内蔵する場合、ハブの互換性は高いため一式交換などということではなく、製品価格自体はさほど高価ではないようである。ただし、前述したように後輪を全て組み直す必要があり、気軽に取り付ける類のセンサではない。また、クランク、クランク軸、クランクギヤ、チェーンにより伝達されたトルクを計測しているため、正確なペダル踏力そのものではないという点も注意が必要である。

これらのセンサおよびサイクルコンピュータは、バッテリー・電池駆動が主流である。センサとサイクルコンピュータが通信する場合は特に回転部や人に取り付けるセンサでは無線が使用されている。この意味では、既存のセンサとサイクルコンピュータ類は自転車内ネットワークといえる構成を取っている。Bluetooth Low Energyが近年では無線通信の手段として利用可能となったが、これらのセンサはBluetooth Low Energy制定以前から存在しているため、独自規格の通信をしているものもある。

これらのセンサ類の問題点として自転車1台の中では完結しているのみであり、自転車に乗っていないコーチがリアルタイムで確認することができない点がある。また、データ蓄積などの機能はあり、過去のデータと比較できるものもあるが、物理メディアを用いてデータをコピーするなどの必要がある。

3.2 自転車競技のトレーニング

ここでは自転車競技のトレーニング手法について述べる。特に重要なトレーニングとして、心肺能力、および効率的なペダリングがある。

心肺能力については他のスポーツとも共通するが、一定程度の負荷を心臓に掛け続けることでトレーニングする。このため、心拍センサによるモニタが普通である。効率的なペダリングに関しては、自転車競技ではピンディングペダルまたはトークリップつきペダルが使用されるため、一般的な自転車よりもペダルに脚からの力を伝達できる範囲が広いことに注意する必要がある。この他、踏み込んでいる脚と反対側の脚の使用法、車体のブレを抑える等、効率的なペダリングに関する技術は多い。このほか、自転車の走行抵抗のうち、状況にもよるが空気抵抗は6割以上あるため、空気抵抗を減らすために前車と間隔を開けずに隊列走行する技術も重要である。

踏力センサは高価であり、高校レベルでは簡単に導入できないが、ペダル付近を継続的にビデオ撮影すれば、熟練したコーチは数値とは無関係に効率的なペダリングかどうかの判断ができる。さらに、ロードバイクなどのギヤがある自転車の場合、カメラの設置位置によっては前後のギヤの状態も確認できるため、効率的なギヤの選択の指導も可能である。この点は、3段、6段程度の一般的な自転車になれているが、スポーツ自転車の16~22段あり可能なぎりぎりクランク回転数を一定に保てるようなギヤを選択する

^{*3} 減速する時は自転車が前進する方向とは反対側に力をいれてペダルを踏むことになる。



図1 自転車トレーニングシステム

Fig. 1 Overview of a Bicycle Training System

方式にはなれていない初心者への指導にはかなり有用である。また、試合の場面とギヤの選択、前を走る自転車との間隔や駆け引きのように、試合に多く出場しなければ身につかない技術の指導も可能になる。

4. 自転車競技トレーニングシステム

4.1 自転車競技トレーニングシステムの概要

上記のような背景から、本論文では、主にトラックとロードの自転車競技を対象とした自転車競技トレーニングシステムを開発した。本システムは高校生などのトレーニングを対象としているため、できるだけ安価に実現する必要がある。そのため、近年安価になったセンサデバイスや汎用品のマイコンボード類を使用する。図1に本システムの概要を示す。市販されているサイクルコンピュータとセンサにならい、自転車内ネットワークといえる構成を取っている。本システムは主に次のコンポーネントから構成される。

- 車載中継器。安価で能力のあるマイコンボードとして Raspberry Pi 3 Model B を使用する。今回の実装では Rasbian を OS として用いる。おもに、搭載したセンサ類の情報を統合して記録したり、コーチの PC に送ったりする機能を有する。コントロールボックスの USB コネクタには次のものが接続される
 - Wi-Fi アダプタ。主にトラック競技においてコーチの PC との接続を行う。
 - Bluetooth アダプタ。主に自転車に搭載したセンサ類との通信を行う。

この他に有線通信を行うセンサ類が接続される。なお、コントロールボックスの電源はリチウムイオン電池内蔵の USB ポータブルバッテリーとする。車載中継器の試作品を図2に示す。

- 車輪用センサ。バッテリー、地磁気・加速度・ジャイロセンサなどを内蔵する。試作品を図3に示す。
- カメラ。Raspberry Pi 専用カメラも考えられるが、筐体を製造する必要性等を考慮して USB 接続の汎用の



図2 車載中継器

Fig. 2 Cycle Data Relay Device



図3 車輪用センサ

Fig. 3 Wheel Sensor

Web カメラを利用した。車載中継器に直接接続される。

- 車速センサ。市販の自転車用車速センサをそのまま使用した。車輪の回転によりパルスが発生するので Raspberry Pi の GPIO を使用して読み取る。
- コーチ表示用 PC。コントロールボックスから送られて来たセンサのデータやビデオ画像を表示する。また、データベース内に蓄積し、個々の選手同士の比較、同じ選手の過去のデータとの比較などの機能を有する。
- Wi-Fi アクセスポイント。システムの一部というよりは単なる通信機器であるが、自転車競技トラックは一周 333m または 500m あるため、通信可能な距離が重要である。今回は水平面は無指向性、鉛直面内は指向性が強いアンテナをアクセスポイントに取り付けて通信可能な距離を確保した。

製作した自転車トレーニングシステムをトラックにおける練習で使用している様子を図4に示す。図4では、車輪用センサをサドルに固定して車体の傾きを測定し、ペダリングの際に車体がブレて力が逃げないように走る練習をしている。



図4 トラックでの自転車トレーニングシステム使用の様子

Fig. 4 Using Bicycle Training System at a Track

各コンポーネント間での Bluetooth や Wi-Fi を通した通信が必要な構成であるが、物理層、およびその上の通信方式を選択する場合の基本的な方針は次のとおりである。

- バッテリ駆動されるセンサ類は無線通信を行う場合は物理層に Bluetooth を用いる。可能であれば Bluetooth Low Energy を選択する。Low Energy でない場合のプロファイルは Serial Port Profile とする。エラー訂正および再送は Bluetooth の各層によるものに依存する。
- 有線通信を行う場合は I2C、SIO、GPIO などの方法でコントロールボックスに接続する。
- 画像などを扱うセンサの場合、上記には限らないが、極力標準化されたフォーマットや、Raspberry Pi 標準のデバイス類を用いる。
- コントロールボックスと接続する PC 類の間は IP ベースの通信を行う。物理層は Wi-Fi、3G/LTE などを使い分ける。今回は Wi-Fi のみを使う構成で試作した。

無線により接続する場合、エラー訂正よりも通信が途絶えたあとの再接続などの処理がより重要となる。本システムが想定している Wi-Fi の通信距離は数百メートルの屋外・見通し距離であるが、他の選手の影に隠れたなどの理由により、通信がとぎれることがあるためである。また、Bluetooth による通信も、展示会場のような 2.4GHz 帯が込み合っている場所では通信がとぎれてしまうことが多発したためである。

ユーザがコンピュータの専門家ではなくスポーツ指導者と選手であることを考慮し、サーバを置くなどの継続的な管理が必要になる複雑な構成は取らないこととする。すなわち、車載中継器、センサ、PC があれば運用可能な構成とした。ただし、ロード競技等に使用する場合、Wi-Fi のみによる車載中継器と PC の接続は不可能であり、3G/LTE 回線を使用しなければならない。この場合、車載中継器も PC も IP アドレスが動的に変化するためサーバを用意しなければならない。必要とされるデータの量は動画を除けば多くはないため、安価な契約のクラウドでもサーバを用意

できると思われる。

4.2 センサの接続仕様

以下ではコントロールボックスと各センサ間の通信、コントロールボックスとコーチ用 PC との間の通信にわけて述べる。

センサからコントロールボックスへのデータ送信は、センサのデータが数値である場合は、各数値がコマで区切られた行指向のテキストベースとする。すなわち、1 行に 1 サイクル分のデータがまとめられて送信される。また、接続したセンサの種別、軸の数などもコマ区切り行指向テキストとして送られる。例を以下に示す。

```
# ID, Acc X, Acc Y, Acc Z, Mag X, Mag Y Mag
Z, Gyr X, Gyr Y, Gyr Z [CR][LF]
1234, 900, 50, 50, 600, 200, 0, -10, -10,
-10 [CR][LF]
```

ここで [CR][LF] は改行コードを示す。#で始まる行は搭載されているセンサの種類と軸を示す。ここで、Acc は加速度、Mag は磁気、Gyr はジャイロを示し、X、Y、Z は軸を示す。軸は直交座標系とし 3 軸ある場合は左手系とする。ID はデータの識別番号であり、インクリメントされる。典型的には 16 ビット整数を想定しており循環を許す。ただし、センサによっては使用は任意である。なお、#で始まる行は適当な間隔で定期的送信される。

#で始まらない行はデータが含まれる行であり、#で始まる行の各項目と一対一対応している。数値の単位はセンサの種類ごとにあらかじめ決めておく。ここでは整数の例を示したが、小数点以下を持って良い。計測値の最大と最小は定めないが実際に送受信される数値の範囲はセンサデバイスのハードウェアの制限により規定されることになる。軸は同じデバイスに混載されているセンサ間では共通の軸とし、2 軸までであれば X 軸と Y 軸とする。ただし、同じデバイスに 3 軸と 2 軸のセンサが混載されている場合は、XYZ3 軸と XZ 軸または YZ 軸のような組み合わせも許容する。

次にセンサの種類と、センサの種類による数値の単位、および#で始まる行におけるセンサの種類を表す略号の定義を述べる。この単位はコントロールボックスへの入力際に物理層によらず使用される。

- 地磁気センサ: ミリガウス (mGs)、略号 Mag
- 加速度センサ: 地球の重力加速度の 1 千分の 1 (mG)。1.0G = 9.80665m/s² とする。略号は Acc とする
- ジャイロ: 時計回りを正の方向とする度毎秒 (degree / sec.)。このとき、加速度、地磁気センサ等が混載されているときはこれらの各センサの軸の正の方向を見たときに時計回りする方向とする。略号は Gyr とする

- 速度計: インテリジェントなセンサの場合は km/h とする。I2C 等の有線接続、無線接続でも同様である。GPIO で有線接続される場合、車輪の回転により発生するパルスをもそのまま送信するため、行指向データとしては送信されない。
- 心拍計: 心拍数 (beats / min.)。ただし、センサでは音響または電気信号をサンプリングするのみでコントロールボックスが心拍数を計算する場合は無単位とする (実際にはなんらかの電圧を計測していることにはなる)。略号は心拍計が心拍数を送っている場合は HB とし、音響または電気信号をサンプリングしているだけの場合は HBw とする。

つぎに、センサの種類が画像系のセンサである場合について述べる。現在のところ Raspberry Pi の標準カメラモジュールの利用のみを想定している。動画データは H.264 でエンコードされたものが、毎秒 30 フレーム送信される。Raspberry Pi との接続は I2C によるシリアル通信である。コントロールボックスはこのデータをそのままコーチ表示用 PC 等に転送する。計算能力の問題から、コントロールボックスではトランスコード、画像サイズの変換などは当面実施しない。ただし、カメラのハードウェアを設定することで可能な画像サイズの制限、フレームレートの変更などは実施する。

センサの種類が音声や心拍などの波形センサである場合はアナログ接続されることも考慮する。この場合は Raspberry Pi のアナログポートを使用する。この際は必然的にコントロールボックスへのセンサの接続は有線となる。また、速度センサもパルスを直接取得する場合は同様である。

4.3 コーチ用 PC の接続

コントロールボックスからコーチの PC への通信仕様については、ここで述べる接続方式が全てではない。これは次の理由による。まず、トラック競技ではコントロールボックスとコーチ用 PC は Wi-Fi などにより直接通信が可能な環境で十分である。一方、ロード競技ではトレーニング中であればトラック競技と同様な環境でよいが、道路上で走行する場合は 3G/LTE 回線を用いた接続にする必要がある。この際、3G/LTE 回線を用いるためにスマートフォンなどを使用しテザリングすることになるが、IP アドレスが動的に割り当てられる、コントロールボックスは NAPT の内側にあるなど、直接接続する場合とはネットワークの構成が大幅に異なる。データを中継するためのサーバをおけばこの問題は解決するが、クラウド上においた場合はトラック競技であってもインターネットへの接続が必須、オンラインの場合はサーバのハードウェア管理が必要になるなど、一長一短がある。

したがって、現段階では Wi-Fi による接続だけを考慮して実装している。必要に応じて、サーバ経由でデータ伝送を



図5 コーチ用モニタプログラム
Fig. 5 Monitor Program for a Coach

行う、中継器に 3G/LTE 回線経由で割り振られた IP アドレスを Dynamic DNS 等により名前解決する、などの方法を検討する。ただし、3G/LTE 回線を使用することを考慮すると、コントロールボックスとコーチ用 PC の間の通信は HTTP ベースのプロトコルとしておくのがよいと考えられる。

このように、確定的な設計がまだできていないことから、コーチ用 PC で実現すべきモニタ機能への要求条件と現時点での画面イメージを示すにとどめる。要求条件は次のとおりである。

- トラック競技とロード競技を特に意識せずに取り扱えること。場合によっては双方の競技を同時にモニタすることがある。例えば、ロード競技の選手が自転車競技場から離れたところを走っている間、自転車競技トラックでトラック選手を指導する、などである。
- 各選手個人のデータの履歴の保存ができ、必要なデータを比較して表示可能なこと。これはコーチ自身が確認する以外に、選手が自分でトレーニングの進行状況をを実感するとポジティブなトレーニングが可能であるためである。
- コントロールボックスとの通信には、可能なかぎり通信費が発生しないことが望ましい。これは高等学校などの部活動のようなアマチュアスポーツの指導にも使用するため、維持コストが問題となるからである。

図5に画面イメージを示す。カメラによるビデオ画像、各種センサのデータのモニタの表示をメインの画面としている。

コーチ用モニタプログラムの機能は次の通りである。

- リアルタイムモニタ機能。走行中の自転車から送信されたデータと動画像を表示する。主にコーチが使用する。
- データ記録機能。受信したデータと動画像を保存する。選手ごとに日時をつけて記録し、あとから必要に応じ

て取り出せるようにしてある。

- データ比較機能。記録されている任意のデータと動画画像同士を比較できる。

5. 評価

本来、作成したシステムの工学的な評価を行うべきであるが、通信距離にしても車載したジャイロや加速度センサにしても、センサ単独としては正しく動作するものであるため、各要素に分解した評価はあまり意味がない。そこで、本システムの評価として、本システムを使用してトレーニングを行っている岩手県立紫波総合高等学校自転車競技部の成績を示す^{*4}。

- 2016年5月28日 岩手県総合体育大会(トラック・ロード)優勝
- 2016年6月18日 東北高校選手権(チームスプリント)優勝
- 2016年10月6日 いわて国体(チームスプリント)準優勝
- 2017年2月7日 アジアジュニア大会に日本代表として中野選手が参加。チームスプリント優勝。ジュニア日本新記録。

岩手県内の多野高校の自転車部の顧問等から、急激に成績が向上した理由等を尋ねられることが多い^{*5}。

6. まとめ

主に自転車におけるトラック競技、ロード競技のコーチング向上のための補助ツールとして、自転車トレーニングシステムを開発した。できるだけ安価に製作することを目標に、無線通信を用いるものでは標準規格がありコモディティとなっている、またはコモディティとなっている機器に利用されているセンサを使用した。自転車の速度のほか、ペダルを漕いでいる様子やギヤを至近から確認するための動画像、ジャイロ、加速度センサによる車体の傾き等も計測可能である。また、接続方式をある程度の範囲で標準化することで、重要なセンサ類を必要に応じて追加したり、軽量化が必要な場合には外したりすることができる。

参考文献

- [1] Aaron M Bisberg, "Bicycle training device for simulating the movement of a bicycle equipped with gears", US Patent, US3903613 A, 1974.
- [2] 角谷 和重, 河上 日出生, 青木 英明, 「超磁歪トルクセンサを用いた電動アシスト自転車の開発」, パワーエレクトロニクス研究会論文誌, Vol.24, No.2, pp.59-65.
- [3] 多田 昌裕, 納谷 太, 大村 廉, 岡田 昌也, 野間 春生, 鳥山 朋二, 小暮 潔, 「無線加速度センサを用いた運転者行動の計測・解析手法」, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-D, No.4,

pp.1115-1129.

- [4] 齊藤 裕樹, 菅生 啓示, 間 博人, テープウィ ローザナ ボンニワット, 戸辺 義人, 「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.
- [5] 佐藤 永欣, 佐々木 毅, 浅沼 和彦, 檜山 稔, 猿舘 貢 「自転車競技のためのオープンなセンサ統合情報プラットフォームの提案」, 情報処理学会第 23 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, pp.273-278. (2015.10)
- [6] Jesse Ambrosina, Gerhard Pawelka, Graber Products Inc., "Apparatus and method for sensing power in a bicycle", EP1082592 B1, EU Granted Patent.
- [7] Jean-Pierre Mercat, "Driving wheel for a bicycle or the like, including a sensor for measuring the transmitted torque, and a bicycle equipped with such a wheel", US Granted Patent, US 4966380 A, 1990.
- [8] Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG., "エルゴメータまたは自転車で力測定、トルク測定、および出力測定をする方法および装置", 特表 2010-537173.
- [9] "PwerMeeters", SRM GmbH, <http://www.srm.de/product/powermeters/>
- [10] "Keo Power Bluetooth Smart", ポラール・エレクトロ・ジャパン, http://www.polar.com/ja/products /accessories/keo_power_bluetooth_smart
- [11] "Vector J", Garmin International, Inc., <http://www.garmin.co.jp/products/intosports/vectorj/>

^{*4} 以前から岩手県内での強豪チームではあったが、コンスタントに東北大会、全国クラスの大会で好成績を残していたわけではない。

^{*5} 本システムの存在は自転車競技関係者には公表していない。