

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

佐藤 永欣^{1,a)} 佐々木 毅² 浅沼 和彦 檜山 稔³ 猿舘 貢⁵

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っている。ところが、これらの機器は各メーカーが独自規格で設計、製造、販売しているため、自転車競技のリアルタイム指導を目的としてこれらのセンサを自転車に装着すると各社のセンサと表示デバイスが1 台の自転車に入り乱れることになる。また、サイクルコンピュータで統合表示する場合でも、測定したデータは自転車を漕ぐ本人が見るためのものであって、測定したデータのリアルタイムでの自転車外への送信は行われていない。本論文では、上記の自転車選手の状態をモニタするセンサの情報を統合し、指導者がリアルタイムで確認可能なオープンなセンサ情報統合プラットフォームを提案する。

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。

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

¹ 岩手県立大学
Iwate Prefectural University, Takizawa, Iwate, 020-0193, Japan
² 東北 TKR 株式会社
Tohoku TKR 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ジェクト
, Tohoku Powerject, K.K., Hirasawa, Shiwa, Iwate 028-3308, Japan
⁵ 岩手県立紫波総合高等学校, Shiwa Comprehensive Senior High School, Hidume, Shiwa, Iwate 028-3305, Japan
^{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、最近は規格が多様になっている。

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。また、自転車競技をしている者は自転車部品やセンサ類を自慢する傾向があるため、産業としても有望である。特に、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アマチュア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研鑽である。中学・高校の部活動では、予算や保護者の負担の問題から、できるだけ安価な用具で強化をすることが求められる。

自転車競技は用品・用具も高価なスポーツであるため、中高生のようなアマチュア競技者の指導には、できるだけ安価なデバイスのみで済ませることが重要と思われる。当然、この中には、汎用品の利用や、スマートフォンのようなコモディティ化した電子機器の利用も含まれる。また、専用設計せざるを得ないセンサ本体に関しても、部品としては安価になったものを中心に採用するべきであろう。

したがって、本論文では、各種自転車競技を対象とした、自転車内センサネットワーク、および、自転車内のセンサをコーチがリアルタイムで確認することを実現する自転車

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を提案する。コーチは、トラック競技においてはトラック付近のどこかにいる、ロード競技では自動車などで追走するか、スタート地点かゴール地点などにいることを想定する。

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 [7]、伝達トルクを計測する機構を内蔵した自転車等用車輪 [6][5] がある。この他、製品として [8][9][10] などがある。

全般的に、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。しかし、これらの製品はセンサとサイクルコンピュータがセットである、センサを追加できる場合でも同メーカーの製品に限られるといった問題がある。また、センサによっては非常に高価である。本提案では、センサとサイクルコンピュータの間の接続に標準的なものを定め、サイクルコンピュータとセンサの組合せを必要に応じて変えられるものとする。また、十分廉価なものになるように、一般的に使用されている物理層、MAC 層の規格を使用する。最終的には、センサの種類別にアプリケーション層までに標準的な規格を作成し、規格に添って作成されたセンサであれば自由に使えることまでを目指す。

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。

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、強度よりも軽量差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}。したがって、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、トルクメータなどである。これらはサイクルコンピュータとセット、または拡張用品として販売されていることが多い。ただし、異なるメーカーの製品同士を組み合わせることは想定されていない。

一般的な速度計は後輪のスプークに磁石をとりつけ、フレームに取り付けたコイル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。磁石の検出がコイルによるものであるため、磁石はネオジム磁石のような比較的磁力の強い永久磁石を使っているものの、コイルとの間隔を数ミリメートル以下にする必要があるなど、使い勝手に問題を抱えている。一方、予備実験を行ったところ、地磁気センサを使用すればフェライト磁石のような比較的磁力の弱い磁石を使用しても、シビアな間隔調整無しで磁石の通過検出は可能であった。

GNSS 受信機はサイクルコンピュータに内蔵されていることが多い。また、GNSS による速度計を使用している例もあるようである。

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、ペースメカ装用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と思われる。心拍センサは直接肌に装着す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、後輪ハブに内蔵が多いようである。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プ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一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、執筆時点では一式で 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。トレーニングが特に必要な部分として、心肺能力、および効率的なペダリングである。前者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実現する。このため、前述したように心拍センサが使用される。効率的なペダリングに関しては、自転車競技ではビ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。つまり、自転車競技初心者への指導に数値の裏付けを持ち込むためには、トルクメーターとペダル回転角センサが必要ということである。しかし、これは前述したように高価である。一方で、ペダル付近を継続的にビデオ撮影すれば、

^{*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

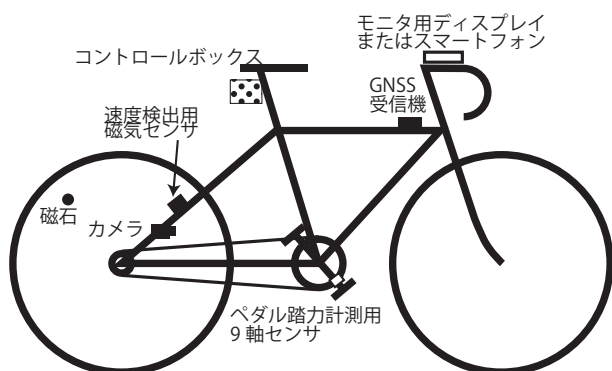


図1 自転車競技のためのオープンなセンサ統合情報プラットフォーム
Fig. 1 Overview of a Open Integrated Sensor Information Platform

熟練したコーチであれば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、体力を温存する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段あり可能なクランク回転数を一定に保てるようなギヤを選択する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。

4. 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

4.1 センサ統合情報プラットフォームの概要

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オープンなセンサ統合情報プラットフォームを提案する。本提案は、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ことを主な目的としている。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に本プラットフォームの概要を示す。本プラットフォームは市販されているサイクルコンピュータとセンサにならない、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。

- コントロールボックス。安価で能力のあるマイコンボードとして Raspberry Pi 2 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。また、ロード競技においては、表示用車載スマートフォンにテザリングするかたちで 3G/LTE 回線を通してコーチの 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、I2C バス等で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。

- 表示用車載スマートフォン。ハンドルバーに固定される。本システムで使用するとうりと考えられるセンサは使用することを考えている。おもに GNSS 受信機などである。
- センサ類。速度検出用センサ、ペダル踏力検出用センサ、ペダル付近を撮影するカメラ、表示用車載スマートフォンを使わない場合には GNSS 受信機などを想定している。これらは有線または Bluetooth による無線接続でコントロールボックスに接続される。
- 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。

このように、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。

- バッテリー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。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。シリアル接続、パラレル接続のいずれでも良いが、基本的に 8 ビットを 1 単位として入出力するものとする。パラレル接続した場合で物理層が 8 ビット単位未満であっても、上位層での処理の都合を考慮してデータは極力 8 ビットを 1 単位とする。エラー訂正、再送は当面無しとする。また、テキストベースの通信をメインとする。これは、搭載するマイコンが非力なことを考慮し、なおかつ互換性を最大限取れるようにしたためである。
- 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。アプリケーション層については本稿では簡単に述べるにとどめるが、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を主眼とする。ただし、3G/LTE 回線を使用する場合の構成は考慮を要する。

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 との間の通信にわたって述べる。

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、各数値がコン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類、軸の数などもコン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いても良い。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
- 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

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。

スマートデバイスなどがセンサとしてコントロールボックスに接続する場合、すなわち、スマホの GPS、スマートウォッチのバイタルセンサ (心拍計) などをコントロールボックス配下のセンサとして使用する場合について述べる。この様な場合、スマートデバイスは Bluetooth の SPP デバイスとしてコントロールボックスに接続する。データのフォーマットなどは上記で述べた専用のセンサとおなじとする。

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、いまのところ確定的ではない。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、オンプレミスで持った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。

上記のように、現段階ではどのようなシステム構成にすべきかは確定的ではない。ただし、3G/LTE 回線を使用す

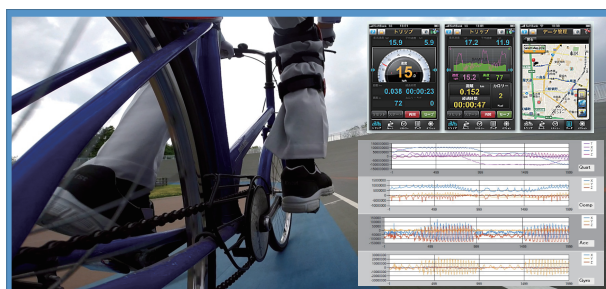


図2 コーチ用モニタプログラムの画面設計

Fig. 2 UI Design of Monitor Program for a Coach

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する必要があると考えられる。

この様に、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2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考えている。

5. まとめ

本論文では、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、自転車搭載センサのオープンなセンサ統合情報プラットフォームを提案した。本プラットフォームは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する。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] Jesse Ambrosina, Gerhard Pawelka, Graber Products Inc., “Apparatus and method for sensing power in a bicycle”, EP1082592 B1, EU Granted Patent.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] “PwerMeeters”, SRM GmbH, <http://www.srm.de/product/powermeters/>
- [9] “Kéo 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>
- [10] “Vector J”, Garmin International, Inc., <http://www.garmin.co.jp/products/intosports/vectorj/>