

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 27 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500600

研究課題名（和文） ハイビジョンカメラによるゴルフボールの 3 次元位置計測用追尾システムの研究

研究課題名（英文） 3-D Navigation System on Golf Ball Flight by High Vision Camera Images

研究代表者

溝田 武人（MIZOTA TAKETO）

福岡工業大学・工学部・教授

研究者番号：10038557

研究成果の概要（和文）：

飛翔中のゴルフボールの位置 (X, Y, Z) をハイビジョンカメラ映像から求める。カメラを上下、左右に向けさらにレンズをズーミングさせる。回転角度やズーム情報は雲台やレンズ部に装着したエンコーダからの出力信号により得る。画面内のゴルフボールの位置情報は画像処理により求める。これらを統合して、ボールの (X, Y, Z) 情報が求まる。現在これらのハードウェアと画像処理システムが完成しており、実地テストにより改良を行っている。

研究成果の概要（英文）：

The 3-D trajectories (X, Y, Z) of golf ball flight are captured by Hi-vision camera images. The signals of various directions and zooming of the camera are detected by the pulse signals of rotary-encoder, which mounted on camera platform. The position information of the ball on TV display is analyzed by image processing software. After integration of the information, we can get the golf ball position (X, Y, Z) in every time step t. Now, we had completed these hard wares and image processing system. Some refinements of the system are conducting on the field testing.

交付決定額

(金額単位：円)

|         | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 2010 年度 | 1,800,000 | 540,000   | 2,340,000 |
| 2011 年度 | 1,300,000 | 390,000   | 1,690,000 |
| 2012 年度 | 500,000   | 150,000   | 650,000   |
| 総計      | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |

研究分野：総合領域

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：スポーツ工学、ゴルフボール、硬式野球ボール、3次元軌道、画像処理

## 1. 研究開始当初の背景

マスコミなどでスポーツ番組を TV 中継する場合に、できるだけリアルに飛翔するスポーツボールの位置情報を定量的に検出して、その飛翔の面白さを追求し視聴者に提供することは各社競争的に追求している。研究ベースでもそのような飛翔位置情報は必要とされて来た。しかし、正確に求めるには極め

て高額な投入資金を必要とするため、簡便な方法の開発が望まれていた。

そこで、1 台のデジタルカメラにより 3 次元飛翔中のスポーツボールを追尾撮影し、軌道解析を行うこととした。

図 1. はナックルボールのデジタル撮影データから X 方向位置をボール直径により表されるデジタルデータから得るカラクリおよ

び画面左上に定めた座標原点からボール重心までのピクセル数をカウントし、実際の距

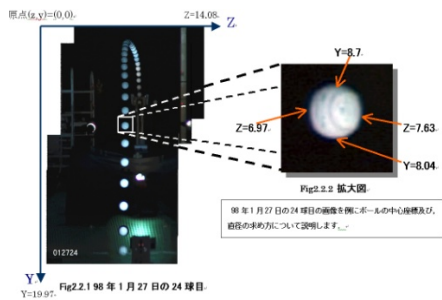


図 1. ナックルボールのストロボ映像データ作成

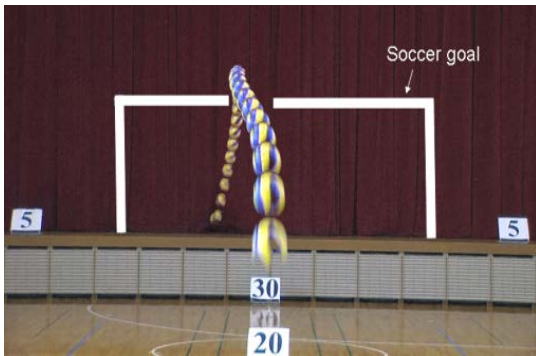


図 2. バレーボールの無回転魔球ストロボ軌跡

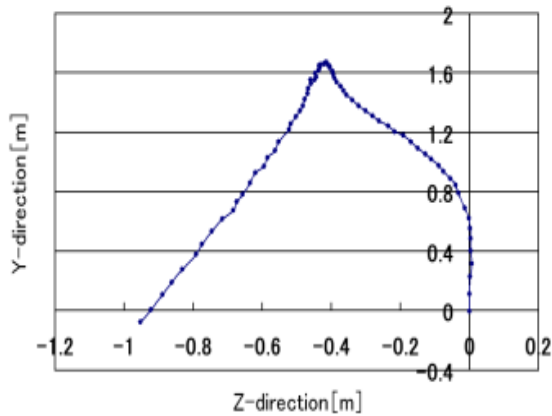


図 3. Y-Z 平面上の位置検出

離データ (Y, Z) [m] を求める様子を示している。画面のギザギザはカメラをパン、チルドして得られた 1 枚 1 枚独立の画像を示している。それらの相対位置は各画面に映っている 4 個の赤外線ポインターを目印として合わせている。

図 2. は、この方法でバレーボールの無回転魔球のストロボ映像を作成、図 3. はその定量位置 (Y-Z) データが十分な精度で得られて

いることを示す。

しかしながら、スポーツボールが上記の例のように (1) カメラから比較的近い位置で運動すること、(2) ボール直径が大きいこと、の場合にはこのように研究として成功しているが、ゴルフボールのように広い範囲で移動する、あるいはボール直径が小さい場合には次第に困難を極めこの手法の適用は未完成である。申請者は、ここに本研究の独創性を見出したものである。

一方、ボールを追尾する TV カメラの性能は、フルハイビジョンカメラの誕生や超高感度望遠レンズや超々高感度 CCD の発達や専用のデジタル回路を組み合わせると、次第にこのような困難が克服されてくるものと思われた。従来の画像解析手法では、静止物体の形状認識について大きさや位置の検出は可能であったが、本研究ではゴルフボールなど運動中のスポーツボールの位置座標の定量データを得ることを目指すこととした。

## 2. 研究の目的

高分解能で撮影対象を撮影可能なハイビジョンカメラと望遠レンズの組み合わせで、ゴルフボールなどの各時間  $t$  における位置情報 (X, Y, Z;  $t$ ) を検出する。

年度毎の主な研究目的を以下に示す。

### (1) 平成 22 (2010) 年度の研究目的

平成 22 年度は、前年度に終えた予備的試作を元にし、ハイビジョンカメラをパン・チルドする雲台の製作を目的とした。このためには、最終搭載する実機ハイビジョンカメラを想定した雲台でなければならない。そのためギア付きエンコーダ付の精密な直流モーターとボールねじ方式の駆動代を組み合わせ、雲台の特別製作を目的とした。

### (2) 平成 23 (2011) 年度の研究目的

平成 23 年度は、完成した雲台のハードウェアにハイビジョンカメラを搭載し、パン・チルドの制御機能及びゴルフボールの自動追尾とオートフォーカス機能チェックを完成させることを目的とした。

### (3) 平成 24 (2012) 年度の研究目的

平成 24 年度は、最終年度にあたることから全体のシステム完成と実地試験を行うことを目的とした。特に、ズーミング機能ハードウェアやボール軌道予測理論の組み込みに注力するものであった。

## 3. 研究の方法

ハイビジョンカメラを雲台に乗せ、雲台のチルド・パン情報をロータリーエンコーダーからの出力により捕捉する。これによりカメラの方向角度が求まる。画面に映ったボールの面積ピクセル数とズームと直線距離の関係を予め求めておく。画面内のボールの中心位置を画像解析で求める。これらを統合することにより、カメラからのボール位置情報が決定可能である。

#### (1)ハイビジョンカメラ映像からボールの3次元位置座標を求める方法

例えばハイビジョンカメラの基準位置を原点として、ボールの位置を3次元円筒座標 $(r, \theta, \phi)$ で示すことにする。原点 $(0, 0, 0)$ からボール重心までの距離を $r$ [m]とし、原点からボール重心までの水平角度を $\theta$ 、水平面からの迎角を $\phi$ とする。各時刻 $t$ における $(r, \theta, \phi)$ を求めれば、ボールの幾何学的な位置は確定する。水平角度 $\theta$ は、カメラのパン角度と画面に映ったボール重心までのピクセル数により求める。迎角 $\phi$ は、カメラのチルド角度と画面に映ったボール重心までのピクセル数により求める。ボール重心までの距離 $r$ は、ボール直径を表すピクセル数をカウントすることにより求めることができる。その場合、画面にできるだけ大きくゴルフボールを捉えることが望ましいが、カメラに搭載した望遠レンズのズーム特性と、Just in focusにボール画像を捉えた場合の被写体深度特性を使ったアルゴリズムを構築する。

#### (2)平成22(2010)年度の研究方法

雲台の特別製作にあたっては、九州計測器株式会社の政策技術・制御技術と当研究室がこれまでに培ったものづくり技術知見を活かすこととした。

#### (3)平成23(2011)年度の研究方法

ハイビジョンカメラのズーム量と映像表示ピクセルの関係式を実験により求め、組み込み関数として作動させる。また、ボール画像を画面上の基準位置からどの位置にあるのかを自動検出するソフト開発を行った。

#### (4)平成24.(2012)年度の研究方法

平成23年度に開発したソフトウェアを完成させる実験を行い、カメラとボールの直線距離の関係近似式の定数をズーム量のパルス信号数で表した。

### 4. 研究成果

上記の研究方法のためのハードウェア(チルド、パン、ズーム)と、画面内のボール中心座標位置検出ソフトは完成している。本研究の成果に関連する発表として、Nature Publish Groupが発行しているScientific Report誌に掲載された。極めてImpact Factorの高い雑誌に掲載(文献1)されたことから多くのテレビや新聞でも広く報道され、本研究の成果を広く社会に還元することが出来た。

これから、ゴルフボールのみならず種々のスポーツボールについて正しく位置情報を検出出来るか、検証を進める段階である。今後は、野外実験も含めシステム全体の深化を図っていく予定である。

### 5. 主な発表論文等 (研究代表者には下線)

[雑誌論文](計4件)

(1)T. Mizota, et al. : The strange behaviour of slowly spinning soccer balls: nature, Scientific Reports, 2013 Srep pp1-7

DOI:10.1038/srep01871

<http://www.nature.com/srep/index.html>

(2)Y. Kawamura and T. Mizota: Advanced Magnetic Suspension and Balance System Having Characteristics of Light Weight, Electric Power Saving, and fast response, Transactions of the ASME, J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol.134, 044502-1~7, July 2012.

(3) 溝田武人、共著: 風の事典、丸善出版、265頁、分担執筆、12章 風とスポーツ、野球: さまざまな変化球、p.237、ゴルフ: ボールが飛ぶ秘密はえくぼにある、p.238、サッカー: 無回転のシュートの原理、p239、ISBN978-4-621-08404-5、平成23年、11月30日発行、

(4) 溝田武人: 社団法人 日本鋼構造協会: 風を知り風と付き合う-台風設計入門-、JSSCテクニカルレポート、No. 94、2011、pp. -119、平成23年7月。分担執筆: 4.2.4 変化球の話し、コラム ゴルフボールの役割と左右に曲がる理由

[学会発表](計17件)

1) 溝田武人: 招待講演: スポーツボールの流体力学、日本機械学会九州支部、福岡講演会、福岡工業大学 D棟2F、2012.9.29 13:00~14:00

2) 伊藤 篤志、趙 凌波、中村 啓祐、吉田 晴信、黒木 康平、溝田 武人：弱回転サッカーボールに加わる非定常空気力と流れの変化について、日本機械学会九州支部、福岡講演会、No. 128-3、C12, pp. 83-84、2012. 9. 29

3) 楠 卓郎、伊藤 篤志、神田 峻輔、鳴尾 丈司、溝田武人：風洞気流中で回転する軟式野球ボールの空力特性測定、日本機械学会九州支部、福岡講演会、No. 128-3、C13, pp. 85-86、2012. 9. 29

4) 高塚 達也、荒木 友輔、小栗好規、長嶺 輝、田中 克敏、溝田 武人：日本機械学会九州支部、福岡講演会、No. 128-3、C14, pp. 87-88、2012. 9. 29

5) 中村 啓祐、趙 凌波、吉田 晴信、藤村 龍平、溝田武人：風洞気流中で回転するサッカーボールの空力実験、1. 滑らかな回転機構の実現  
日本機械学会九州支部、福岡講演会、No. 128-3、C24, pp. 99-100、2012. 9. 29

6) 吉田 晴信、趙 凌波、中村 啓祐、藤村 龍平、溝田武人：風洞気流中で回転するサッカーボールの空力実験、2. 空力3分力の測定、日本機械学会九州支部、福岡講演会、No. 128-3、C24, pp. 101-102、2012. 9. 29

7) 溝田武人：スポーツボールの変化球と渦のダイナミックスの役割：オイラー方程式の数値：カルマン渦列と非定常渦運動 100年、2011(H23)年7月20日～7月22日京都大学数理解析研究所

8) 鳴川 敏喜、小山 純市、谷口 光太郎、阿部 宏和、加藤 大一郎、内野 靖博、高木 市教、溝田 武人：ハイビジョンカメラによるゴルフボールの3次元位置計測追尾システムの研究（ズーム操作による精度向上）、日本機械学会 No. 11-17, A4, シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミックス 2011 10. 31～11. 3, 京都大学, pp. 78-83, 2011

9) 長谷川 淳哉、坂本 誠馬、田多 輝洋、鳴尾丈司、溝田 武人：風洞実験による硬式野球ボールの空力特性（回転軸の方向の違い）、日本機械学会 No. 11-17, A4, シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミックス 2011 10. 31～11. 3, 京都大学, pp. 31-34, 2011

10) 坂本 誠馬、田多 輝洋、長谷川 淳哉、鳴尾丈司、溝田 武人：統一球と日米硬式野球ボールの空力特性、日本機械学会 No. 11-17, A4, シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミックス 2011 10. 31～11. 3, 京都大学, pp. 66-71, 2011

11) 長嶺 輝、淵上 章、野田 隆、鳴尾 丈司、荻野 毅、田中 克敏、溝田 武人：空気軸受け型ロードセルの開発と風洞実験、日本機械学会 No. 11-17, A4, シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミックス 2011 10. 31～11. 3, 京都大学, pp. 66-71, 2011

12) 藤村 龍平、趙 凌波、池田 治人、溝田 武人、大屋 裕二、岡島 厚：風洞気流中で回転するサッカーボールの空気力の測定、日本機械学会 No. 11-17, A4, シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミックス 2011 10. 31～11. 3, 京都大学, pp. 27~30, 2011

13) Taketo Mizota: *Aerodynamic*

*Analysis of Flight Trajectory of Sports*

*Balls*, UK-Japan Sports Engineering

Symposium Thursday 24th February,

12:00-12:30 2011, Loughborough

University, UK

14) 溝田武人 (FIT)、黒木康平、大屋裕二（九大応研）、岡島 厚（金沢学院短大）；魔球発生の空気力学について-無回転サッカーボールなど-、2010 (H22) 年度非定常空気力学研究会・構造物の空気力学研究会 (AHL0S)、H22年8月2日（月）、地方独立行政法人北海道立総合研究機構 建築研究本部 北方建築総合研究所 1F 多目的ホール。

15) 長谷川淳哉 (FIT)、仲田齊史、坂田草太、鳴尾丈司（ミズノ株）、溝田武人 (FIT)；日米の硬式野球ボールの形状比較について、日本機械学会シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミックス 2010、2010. 11. 3-6（平成 22）、【No. 10-53】 A8, pp. 32-35、東京工業大学。

16) 藤村龍平 (FIT)、黒木康平、内田雅彦、大畑雅也、安田 晃、溝田武人；弱回転サッカーボール軌道の魔球的变化に及ぼす空気密度の影響、日本機械学会シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミックス 2010、2010. 11. 3-6（平成 22）、【No. 10-53】 A40, pp. 175-178、東京工業大学。

17) 鳴川敏喜 (FIT)、長 元気 (3D イメージ研究所)、井上陽平 (FIT)、中島泰寛、加藤大一郎 (NHK)、高木市高、内野靖博、溝田武人 (FIT)；ビデオカメラ撮影によるゴルフボール飛翔軌道測定システムの開発、日本機械学会シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミックス 2010、2010. 11. 3-6（平成 22）、【No. 10-53】 B30, pp. 338-343、

東京工業大学.

〔産業財産権〕

○取得状況 (計 1 件)

名称：回転体の空気力測定装置および空気力測定方法

発明者：鳴尾丈司、溝田武人

権利者：美津濃株式会社

種類：特許 当所 No. : 1062269

番号：特許第 4982148 号

取得年月日：平成 24 年 4 月 27 日

国内外の別：国内

〔その他〕

(1) 研究室ホームページ

<http://www.fit.ac.jp/~mizota/>

(2) 報道等

【2013 年度】

6 月 12 日 (水) 放送、NHK-TV 総合、18 : 20 ~ 19 : 00、熱烈発信福岡 NOW、19 : 00 ~ 19 : 30、NHK ニュース 7、21 : 00 ~ 22 : 00、ニュースウォッチ 9

6 月 18 日 (火) 放送、NHK-TV 総合、23 : 20 ~ 23 : 30、スポーツプラス

【2012 年度】

4 月 16 日 (月) 放送、NHK-TV 総合、19 : 30 ~ 19 : 56、クローズアップ現代、徹底分析ダ  
ルビッシュ 変化する男の秘密

5 月 3 日 (木) FBS-TV、16 : 53 ~ 17 : 53、め  
んたいワイド、遊具「X ジャイロ」がなぜ遠  
くに飛ぶのか

6 月 7 日 (木) 放送、TBS ラジオ、全国ネッ  
トワーク (福岡は RKB ラジオ)、18 : 00 ~ 21 :  
00、「統一球の検証結果について」

7 月 5 日 (木) 掲載、朝日新聞朝刊全国版、統  
一球について

【2011 年度】

2 月月刊ゴルフダイジェスト 4 月号、スピン  
を味方に飛ばせ 250 ヤード、4P にわたって特  
集を組む

【2011 年度】

12 月 27 日 (火) 掲載、サンケイスポーツ、  
流体力学を研究の溝田先生が検証

【2010 年度】

5 月 11 日 (火) 放送、スカパー！スカチャン  
180、スカチャン HD190、スカパー！e2 スカ  
チャン HD800、19 : 00 ~ 20 : 00、もっとプロ  
野球が好きになる 5 つの話

6. 研究組織

(1) 研究代表者

溝田 武人 (MIZOTA TAKETO)  
福岡工業大学・工学部・教授  
研究者番号：10038557

(2) 研究分担者  
なし

(3) 連携研究者  
なし