

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：11501

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H05570・20K20478

研究課題名（和文）スポーツボール用磁力支持天秤の開発

研究課題名（英文）Development of a magnetic suspension and balance system for sports balls

研究代表者

瀬尾 和哉（Seo, Kazuya）

山形大学・理学部・教授

研究者番号：60292405

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、スポーツボール等の鈍頭物体に適用可能な磁力支持天秤の開発を行った。

具体的には、電磁石となる空芯コイルを巻くための治具制作に始まり、内径52.5[mm]、外径160[mm]、厚さ35[mm]のコイルの製作、磁気力及び模型重量見積プログラムの開発、エポキシ樹脂等のレジンによる球やサッカーボール模型の製作、PID制御用制御定数設計方法の検討、3軸ステージを用いた位置校正試験の確立、非磁性体である真鍮による錘の製作及びそれを用いた力校正試験法の確立、磁力支持した模型を回転させる方法の検討、背景雑音を差し引く方法の検討を行い、回転する模型に対するマグヌス力等を測定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本挑戦的研究では、風洞実験における技術革新の可能性を示し、学術的意義や社会的意義が大きいと考えている。有史以来、風洞試験の99.9%は、測定空間に模型を支柱で固定し、実行されてきた。重力下で試験する限り、支柱で模型を支えざるを得ないが、この支柱が流れを乱してしまう問題（支持干渉）があった。特にボール等の鈍頭物体で、回転しながらの飛翔を模擬した風洞試験では、支柱兼回転軸が完全に風に曝されてしまう問題があった。本挑戦的研究では、この支持干渉問題の解決に挑戦し、回転する模型に働くありのままのマグヌス力の測定に成功した。

研究成果の概要（英文）：A Magnetic Suspension and Balance System has been developed for bluff bodies such as sports balls. The conclusion is summarized as follows: we started with the production of a jig for winding an air-core coil that becomes an electromagnet, and then produced a coil with an inner diameter of 52.5 [mm], an outer diameter of 160 [mm], and a thickness of 35 [mm]. Development of magnetic force and model weight estimation program, manufacture of a sphere and a soccer ball models using epoxy resin, examination of control constant design method for PID control, the establishment of position calibration test using 3-axis stage, manufacture of weights made of brass, which is a non-magnetic material, establishment of a force calibration test method using it, examination of a method of rotating a model supported by magnetic force, examination of a method of subtracting background noise. At last, we succeeded in measuring Magnus force on a rotating model.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：磁力支持天秤 スポーツ工学 支持干渉 マグヌス力 風洞試験

## 1. 研究開始当初の背景

今日までの風洞試験では、99.9%が支持干渉ありの状態（模型を支柱で支持した風洞試験であるため、支柱が流れを乱してしまう）で実施されてきた。支柱は必要悪と認識しつつも、重力のある地球上で風洞試験する限りは、使用せざるを得ない現状であった。

例えば、図1は研究代表者が行ったラグビーゴールキックを模擬した風洞試験の様子である。これは風洞吹き出し口から撮影した写真で、支柱が風にさらされている。このように現代の風洞試験では、支柱が流れを乱してしまう問題（支持干渉）がある。スポーツボールの大きさは、人間が手足で扱える程度で、風洞試験の伝統的対象の航空機や車と比較して、桁違いにサイズが小さい。このため、支持干渉が顕著である。MSBSはスポーツボールにこそ必要な技術である。



図1 ラグビーゴールキックの風洞試験  
ボール内部にモータを組み込み、短軸周りに回転する。支柱が風にさらされ、流れを乱してしまう(支持干渉)。

世界を見渡せば、わずかながら磁力支持天秤（MSBS, Magnetic Suspension Balance

System）は存在する。現在ある磁力支持天秤でも、限られた模型、具体的には、流線形に近いアーチェリー矢やヤリ等の磁力支持は可能である。例えば、東北大流体研のMSBSは1m級であり、実物のヤリにネオジウム磁石を挿入し、実物大模型を磁力支持できる長所がある。しかし、スポーツボールを試験する観点から見ると、模型表面にディンプルや溝等があると試験が不可能である点、回転を与えるのが困難な点等、解決すべき問題がある。現在のMSBSからのブレークスルーが必要である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、スポーツボール用磁力支持天秤装置（MSBS, Magnetic Suspension Balance System）の開発である。世界をリードする東北大学流体科学研究所のそれとは、コイル配置を変更（下記、図2を参照頂きたい）し、回転する球等に対応できる磁力支持天秤を開発する。

## 3. 研究の方法

本研究で計画していたスポーツボール用MSBSを図2に示した。模型内部にはネオジウム磁石を挿入する。例えば、図2では、模型の上側がN極、下側がS極である。上下にコイル系（電磁石）を配置し、上側コイル系の下面はS極（模型を引力により、重力に逆らって引き上げる）、下側コイル系の上面はS極（模型に斥力を働かせ、浮揚させる）とする。コイル配置は、東北大流体研のそれとは全く異なっている。この意図は、回転可能な鈍頭物体に適用可能なMSBSを構築、である。コイル系の中心にも磁石を据える。これは、予め分かっている模型の自重分を支持するためである。常にN極が上、S極が下、つまり磁極モーメントの方向を一定とし、回転模型の試験をし易い配置にした。

コイルに印加する電流はシーケンサにより高速制御した。制御原理は、模型の位置&角度（姿勢）を変化させない（模型は常にホームポジションに停留）とした。模型の位置&角度は、光位置センサ（PSD, Position Sensitive Device）により、上下方向と横方向から検出した。

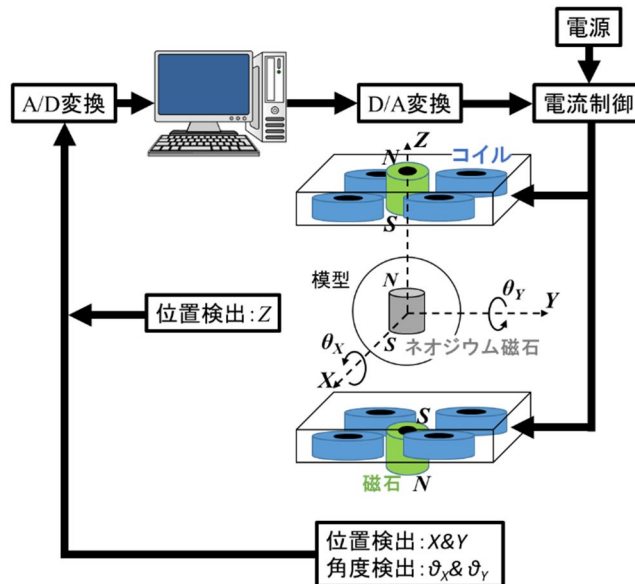


図2 計画していた磁力支持天秤

#### 4. 研究成果

開発に成功した磁力支持天秤を図3に示した。本質的な部分は、計画していた図2の通りである。写真の中心にエポキシ製の球模型、球の両側にはレーザーボックスとPSD、球の上下には合計8個のコイルが配置されている。レーザーボックスが流れを乱してしまうことが分かったため、上流側をナイフエッジにしたアクリル円筒を試験空間に挿入した。図4は、樹脂製の縮尺サッカーボールを磁力支持した写真である。

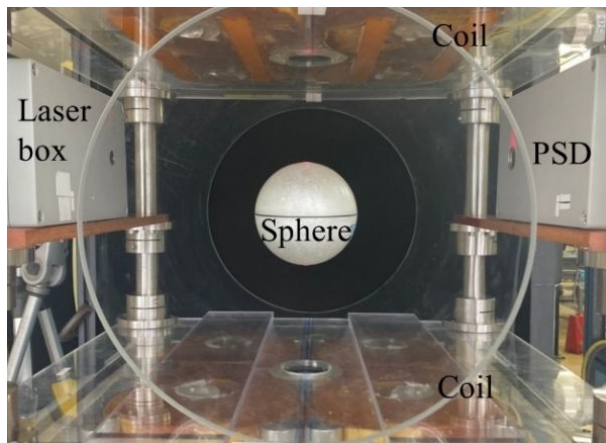


図3 開発した磁力支持天秤



図4 サッカーボール模型の磁力支持

実験結果を図4と5に示した。

図4は、球に働く横力係数  $C_Y$  のスピンパラメータ依存性である。この試験では、回転軸が鉛直軸と一致しているため、マグヌス力は横方向に働く。つまり、 $C_Y$  はマグヌス力係数と換言してもよい。変数として、レイノルズ数  $Re$  をとった。試験したレイノルズ数範囲では、マグヌス力係数は、スピンパラメータのみに依存していた。

図5は支柱の影響を調べた試験の結果である。縦軸は抗力係数  $C_D$ 、横軸はレイノルズ数である。後方からの支柱有の  $C_D$  が、支柱無し (MSBS の測定結果) の  $C_D$  が0である。この図から支持干渉が  $C_D$  に影響を与えていることがわかる。従来の測定法: 後方からの支柱による支持では、 $C_D$  を数%小さめに測定してしまうことが明らかになった。

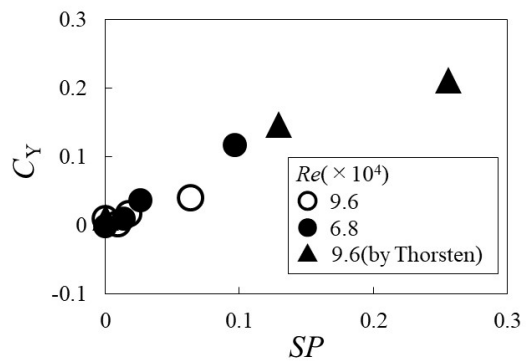


図4 横力係数  $C_Y$ (マグナス力係数)のスピ  
ンパラメータ  $SP$  依存性

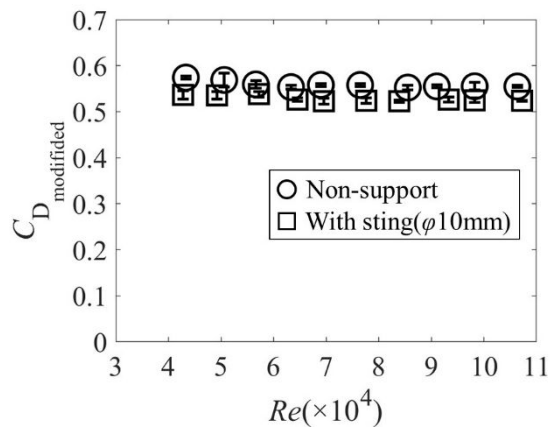


図5 支柱の有無による抗力係数  $C_D$ の違  
い

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 白井和菜, 瀬尾和哉	4. 巻 2021
2. 論文標題 磁力支持天秤による回転球に働く空気力の測定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集	6. 最初と最後の頁 B-7-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmeshd.2021.B-7-3	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 瀬尾和哉, 中島正太, 浜野俊平, 岩淵健輔	4. 巻 40
2. 論文標題 ラグビーのキックに関する可視化 セブンスラグビーの楽しみ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JOURNAL OF THE FLOW VISUALIZATION SOCIETY OF JAPAN	6. 最初と最後の頁 6-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Kataoka, H. Hasegawa, M. Murakami, K. Seo and S. Obayashi	4. 巻 49
2. 論文標題 Flow Behavior Caused by Air Permeability of Ski Jumping Suit Fabric	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings	6. 最初と最後の頁 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/proceedings2020049109	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takuto Kobayashi, Kazuya Seo, Shoya Kaneda, Sasaki Kasumi, Kento Shinji, Shogo Oyama, Hiroyuki Okuizumi, Yasufumi Konishi, Hiroaki Hasegawa, Shigeru Obayashi	4. 巻 49
2. 論文標題 Measurement of the aerodynamic forces acting on a non-spinning javelin using a MSBS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings	6. 最初と最後の頁 144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/proceedings2020049144	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 瀬尾和哉	4. 巻 39
2. 論文標題 東京オリパラへの期待 自転車・投擲・セブンスラグビー	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ながれ	6. 最初と最後の頁 145-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuya Seo and Takuto Kobayashi	4. 巻 38
2. 論文標題 Optimization of Flight Distance for Three Types of Javelin Tip	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ISBS Proceedings Archive	6. 最初と最後の頁 93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 瀬尾和哉	4. 巻 75
2. 論文標題 飛翔中のラグビーボールの挙動 -揺れるハイパント-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木技術	6. 最初と最後の頁 49-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 瀬尾和哉, 來海郁, 洪性賛, 浅井武, 古川拓生	4. 巻 14
2. 論文標題 ラグビーゴールキックの飛翔局面	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 フットボールの科学	6. 最初と最後の頁 12-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小林 拓人、大林 茂、瀬尾 和哉、金田 翔也、佐々木 香澄、新路 健人、大山 尚悟、奥泉 寛之、小西 康郁、長谷川 裕晃	4. 巻 2019
2. 論文標題 磁力支持天秤によるヤリの実物大模型に働く空気力の測定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集	6. 最初と最後の頁 B-5~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmeshd.2019.B-5	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 片岡 裕樹、高橋 徹、長谷川 裕晃、村上 正秀、瀬尾 和哉	4. 巻 2019
2. 論文標題 スキージャンプスーツ生地を通気量が失速特性に及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集	6. 最初と最後の頁 B-3~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmeshd.2019.B-3	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 瀬尾 和哉、伊東 真成	4. 巻 2019
2. 論文標題 ヤリの最適投げ出し条件と穂先の効果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集	6. 最初と最後の頁 B-7~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmeshd.2019.B-7	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 奥泉 寛之、佐々木 香澄、新路 健人、小林 拓人、金田 翔也、齋藤 里穂子、小西 康郁、瀬尾 和哉、澤田 秀夫	4. 巻 2019
2. 論文標題 やりの空気力に振動が与える影響を評価する試み	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集	6. 最初と最後の頁 B-6~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmeshd.2019.B-6	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 瀬尾和哉
2. 発表標題 最適設計をものづくり教育へ活かすには？
3. 学会等名 第39回日本産業技術教育学会東北支部大会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀬尾和哉, 小林拓人
2. 発表標題 やり投げ用ヤリの寸法と投出し条件の同時最適化
3. 学会等名 第49回 可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀬尾和哉、奥泉寛之、小西康郁
2. 発表標題 ヤりに働く非定常流体力に基づく飛距離計算
3. 学会等名 日本流体力学会 年会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 常松佳恵, 猿田周朔, 瀬尾和哉, 山田大志, 井口正人
2. 発表標題 Highspeed image observation of ballistic blocks at Sakurajima volcano and a numerical model of ballistics
3. 学会等名 JPGU2021
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 瀬尾和哉
2. 発表標題 パラスポーツと空力 -タンデム自転車と円盤投-
3. 学会等名 第58回日本リハビリテーション医学会学術集会 シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kae Tsunematsu, Kazuya Seo, Masaru Kawakami
2. 発表標題 Numerical simulation of ballistic trajectories based on wind tunnel experiments
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JPGU) 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuya Seo
2. 発表標題 Lessons of the past, prospects for the future
3. 学会等名 ISEA2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuya Seo
2. 発表標題 Lessons of Sports Engineering
3. 学会等名 International Webinar-II on Sports Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀬尾和哉, 佐藤充, 鎌田圭介, 小林拓人
2. 発表標題 東京オリンピック・パラリンピックで使用する自転車ロードレース用スーツの開発
3. 学会等名 日本機械学会SHDシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片岡裕樹、長谷川裕晃、村上正秀、瀬尾和哉、大林茂
2. 発表標題 通気量パッチワークスキージャンプスーツの空力改善への可能性
3. 学会等名 日本機械学会SHDシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuya Seo
2. 発表標題 The effect of the shape of the javelin tip on flight distance
3. 学会等名 KSME JSME BED Joint symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬尾和哉, 小林拓人, 伊東真成, 金田翔也, 佐々木香澄, 新路健人, 大山尚悟, 奥泉寛之, 小西康郁, 長谷川裕晃, 大林 茂
2. 発表標題 飛距離に及ぼすヤリの穂先形状の効果
3. 学会等名 日本流体力学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋徹, 長谷川裕晃, 村上正秀, 瀬尾和哉, 大林 茂
2. 発表標題 スキージャンプスーツ生地を被覆した楕円柱周りのはく離流れ
3. 学会等名 日本流体力学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬尾和哉, 小林拓人
2. 発表標題 ラグビーワールドカップ公式球: シリウスの空力特性
3. 学会等名 可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 常松住恵, 瀬尾和哉
2. 発表標題 飛火山岩塊の空力学的特性と飛翔メカニズムの研究
3. 学会等名 2019年日本火山学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kawabata K, Ibusuki T, Nakamura C, Kitabayashi S, Kemmochi S, Makita K, Seo K, Mitsui T, Kamiyo Y, Tajima F
2. 発表標題 Effects of a backrest and vertical bar in seated shot put and javelin throws.
3. 学会等名 VISTA 2019 Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川端浩一、指宿立、北林直哉、剣持悟、牧田秀昭、瀬尾和哉、三井利仁、上條義一郎、田島文博
2. 発表標題 パラ陸上競技の座位投てきにおけるパーティカルバーとバックレスト使用時の動作の比較
3. 学会等名 第40回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	河村 良行  (Kawamura Yoshiyuki)  (90167362)	福岡工業大学・工学部・教授    (37112)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------