

令和元年6月10日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H01824

研究課題名(和文) スポーツ連成問題のモデル化とその最適化手法の確立

研究課題名(英文) Development of coupling algorithm for the optimization study in Sports

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) 31,100,000円

研究成果の概要(和文)：人とモノが連成して、最高のパフォーマンスを発揮するような最適用具と最適スキルを提案できる手法を確立した。すなわち筋骨格シミュレーションと飛翔軌跡シミュレーションを同時に行い、遺伝的アルゴリズムによりパレート解(多目的最適化の最適解群)を得る方法の確立である。具体的な成果は、安全性、改修費、面白いゲームの演出を目的としたクラレ蔵王ジャンツェ(ジャンプ台)の最適設計、飛距離最大を目的とした円盤形状の最適設計、競技用車いすの最適設計等である。ジャンプ台や円盤は、提案した形状が実際に採用された。前者では、毎年、世界最高峰のワールドカップ大会が開催されている。後者では、14年ぶりに日本記録が更新された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的意義は、スポーツ関連分野ながら、これまで交流の少なかった異なる学問分野間の連成問題をモデル化し、最適解を求める手法を確立したことである。本研究では、真の意味での学際的融合をはかった。つまり、人間の筋活性度と関節角度等の関係を記述する連立微分方程式と飛翔等を記述する連立微分方程式を一挙に解く連成問題としてモデル化した。本手法は、スポーツ連成問題一般に適用可能で、「研究成果の概要」欄に上記した通り、全く別種のスポーツへ適応可能である。

研究成果の概要(英文)：We have established a method that can propose the optimal equipment and the optimal skills simultaneously by using a genetic algorithm. This method gives the Pareto solution on the basis of the coupling algorithm of musculoskeletal simulation and flight trajectory simulation. Specific results include the optimal design of Kurare Zao Schanze (jumping hill), optimal design of the shape of the discus for maximum flight distance, and concurrent optimization both of competition wheelchairs and para-athletes.

The proposed shape was adopted for the jumping hill in Kurare Zao Schanze and the discus. The Zao jumping hill in Yamagata city has been host to the annual ladies world cup. On the other hand, the Japanese record of discus was broken in 2019 for the first time in 14 years.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：スポーツ工学 連成問題 飛行力学

1. 研究開始当初の背景

連成問題への取り組みは、計算機の性能向上に伴って、散見されるようになってきた。連成問題の代表例は、流体と構造の連成問題(Fluid Structural Interaction: FSI)である。例えば、スキージャンプが空中に飛出すと空気力を受ける。空気力を受けるとスキー板がしなる。スキー板がしなるとスキージャンプに働く空気力も変化する。このように連成問題では、流体と構造が相互に影響を与え合う。一連の現象は、流体-構造の運動方程式を連成して解くことにより、シミュレーション可能になる。流体と構造では専門性が異なるが、両者ともに工学部で取り扱う内容であるため、比較的親和性が高く、早くから連成問題への挑戦が繰り返されてきた。

一方、スポーツは、学際的研究の場であるにもかかわらず、学問的交流がほとんど無かった。スポーツに関わる学問分野は、体育学部、医学部、工学部、教育学部、家政学部等で取り扱う内容で、人間に関わる分野やものづくりに関わる分野等、多分野にわたっている。これらが融合してこそ、用具の改善や競技力向上、市民の健康増進につながる。しかし、言うは易く行うは難し、である。これだけ多くの学部で扱う内容が含まれていると流体-構造連成問題よりも難易度は高い。研究者の所属学部や所属学会が異なるため、人的・学問的交流が乏しく、お互いの研究成果や研究手法を知る機会も少ない。世界中を見渡しても人間に関わる運動生理学や動力学と飛翔等に関わる飛行力学や流体力学の全てをインテグレーションし、さらに最適化まで実行できる研究者は存在しない。それぞれが得意とする分野で、現象解明を目指した解析的研究を行っているのが現状である。元来、武道では他流試合が行われてきた。スポーツ研究もそうあるべきである。本申請課題は、スポーツ研究本来の学際性を追求するスポーツ連成問題研究のさきがけとなる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、スポーツ関連分野ながら、これまで交流の少なかった異なる学問分野間の連成問題をモデル化し、最適解を求める手法を確立することである。陸上の投擲競技やスキージャンプ等、飛翔する競技を対象とする。競技中の選手の筋活性度を入力(運動生理学やロボット工学の分野)、競技力を表す量:例えば飛距離等を出力(飛行力学や流体力学の分野)とする連成問題としてモデル化し、それに最適化のメスを入れる。本研究では、真の意味での学際的融合をはかる。つまり、人間の筋活性度と関節角度等の関係を記述する連立微分方程式と飛翔等を記述する連立微分方程式を一挙に解く連成問題としてモデル化する。第一段階では、具体的な競技を連成問題としてモデル化し、最適解を求める。第二段階で、これらの具体例に対して得られた成果を統合・発展させ、スポーツ連成問題一般に対する最適化手法の確立を目指す。

3. 研究の方法

スポーツ連成問題のモデル化とその最適化手法の概略を図1に示した。設計変数は人間に関わる変数とものづくりに関わる変数である。前者は投出し前動作時(投擲競技)やスキージャンプ飛翔中の筋活性度の時間変化、後者は用具形状、質量、慣性モーメント等である。用具形状や質量はルールで規定されている範囲内で最適解を探索する。評価指標は、飛距離とロバスト性とする。最適化は、領域適応型遺伝的アルゴリズムにより実行する。

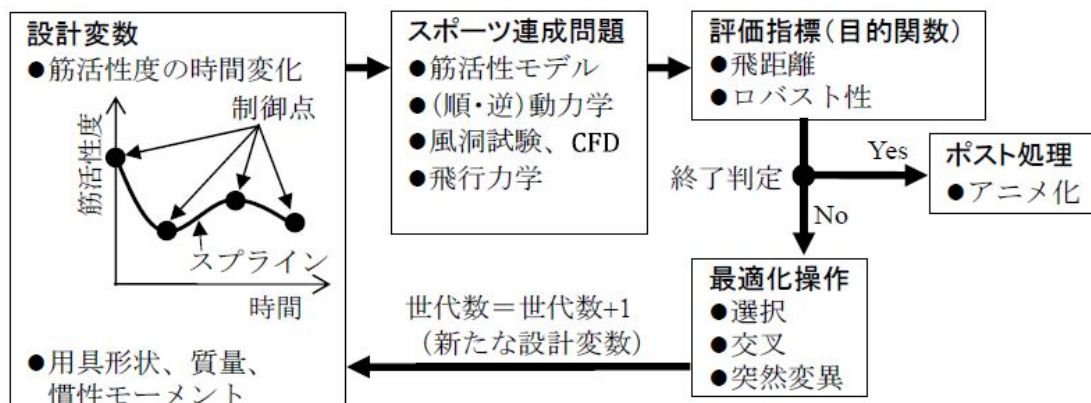


図1 スポーツ連成問題の最適化手法

4. 研究成果

人とモノが連成して、最高のパフォーマンスを発揮するような最適用具と最適スキルを提案できる手法を確立した。本手法は、特定の競技のみではなく、スポーツ連成問題一般に適用可能である。以下、例として、具体的な成果をいくつか紹介する。

- クラレ蔵王シャンツェ(ジャンプ台)の最適設計

山形市から蔵王ジャンプ台改修の相談を受けた。予算7億円のプロジェクトであった。2016年1月、クラレ蔵王シャンツェ（図2、シャンツェはドイツ語でスキージャンプ台の意味）と名付けられた新生ジャンプ台には、著者が提案したプロフィールが実現された。

設計目標は、改修費が安価であること、ジャンパが安全に着地できること、面白いゲームを演出できること、とした。このために、図1で示した必要な技術要素を一つ一つ着実に実行した。実物大模型を用いた風洞試験の様子を図3に示した。



図2 クラレ蔵王シャンツェ。2016年1月から運用開始。照明設備も新設。サマージャンプにも使用可能。ランディングスロープのプロフィールは著者が提案。

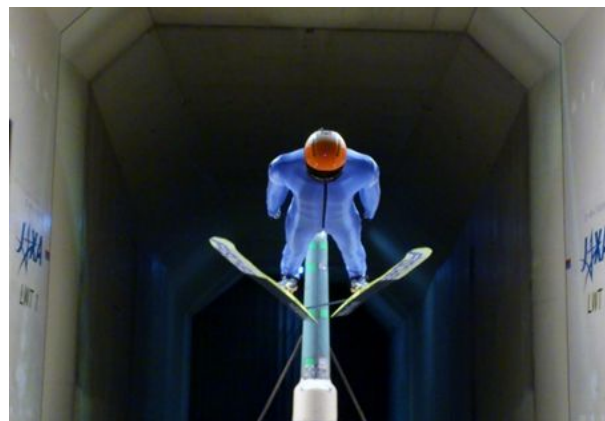


図3 実物大スキージャンパ模型を使用した風洞試験。

- 飛距離最大を目的とした円盤の最適設計

飛距離最長を目的とした女子用円盤の形状と投げ出し条件の最適化を行った。女子用円盤は、女子の健常者トップアスリートとパラアスリートに使用されている。女子の健常者トップアスリート、パラアスリート双方のスキルに調和した円盤形状を提案した。女子トップアスリートには、実際にカーボンで円盤を作製し、提供した。この模様は、2017年10月30日に放送された超絶凄技（NHK、22:25～23:15）の番組でも紹介された。2019年3月、提供選手は、14年ぶりに日本記録を更新した。

- ヤリの MSBS 試験

女子用ヤリを用いて、ヤリに働く空気力を測定した。この測定のブレークスルーは、磁力支持天秤（Magnetic suspension balance system, MSBS）で、高迎角まで測定をしたことである。MSBSにより、支持干渉なく、ありのままの空気力測定に成功した。ヤリの MSBS 試験は、世界で我々しか行っていない。また、従来の MSBS 試験で困難であった高迎角、今回は 17° までであるが、高迎角でのデータ取得にも成功した。磁力支持されている様子を図4に示した。ヤリを支える支持棒等、一切ない。

測定結果を基に飛距離最長を目的とした最適化を実行した結果、穂先はルール範囲で最も太くした場合が飛距離最長になることを明らかにした。

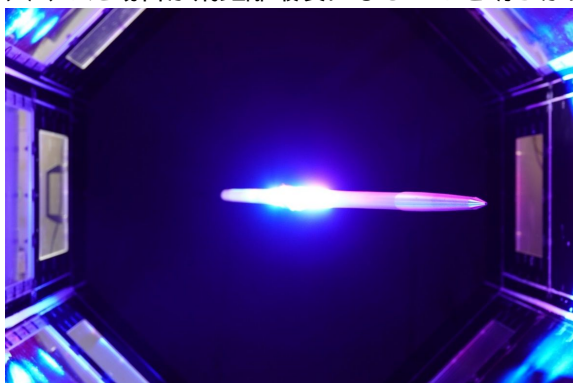


図4 磁力支持天秤内で浮揚しているヤリ。

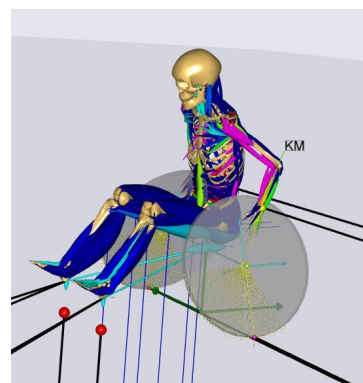


図5 車いすの筋骨格シミュレーション

- 競技用車いすの最適設計

座面位置の効果を最適設計した。目的は、車軸トルク最大（前に進むスピードが最大）、各関節トルク最小（ケガをしない、小さなパワーで最大の推進力）とした。筋骨格シミュレーション（図5）することにより、より良い座面位置を探索した。

[雑誌論文](計 11件)

- Hiroaki HASEGAWA 他, Effect of Air Permeability on the Aerodynamic Characteristics of Ski Jumping Suits, *Advanced Experimental Mechanics*, Vol. 3 (2018), pp. 118-122.
- Sungchan Hong 他, AERODYNAMIC EFFECTS OF A PANEL ORIENTATION IN VOLLEYBALL FLOAT SERVE, *ISBS 2018 Conference individual papers*, 4 pages, (2018) 143_1378_Hong.pdf
- Kazuya Seo, Satoshi Eda, The influence of the phase difference between the crank angle of the pilot and that of the stoker on the drag acting on a tandem bike, *Proceedings of ISEA2018*, Volume 2, 6 pages (2018).
- John Eric Goff 他, Creating drag and lift curves from soccer trajectories, *European Journal of Physics*, Volume 38, Number 4 (2017).
- Kazuya Seo 他, Design Optimization of the Landing Slope of a Ski Jumping Hill, *Sports Science Research and Technology Support, Communications in Computer and Information Science* 632, pp.57-70 (2017)
- Heike Brock, Yuji Ohgi, Kazuya Seo, Development of an automated motion evaluation system from wearable sensor devices for ski jumping, *Procedia Engineering*, Vol.147, pp.694~699 (2016), Adidas Best Student Paper Award
- Kazuya Seo 他, Optimization of the design of a discus for people with disabilities, *Procedia Engineering*, Vol.147, pp. 538~543 (2016)
- Kazuya Seo 他, Optimizing the Design of the Landing Slope of the Zao Jumping Hill, *Proceedings of the 3rd International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support (icSPORTS 2015)*, pp. 208-213 (2015)
- Sungchan Hong 他, Visualization of air flow around soccer ball using a particle image velocimetry, *Scientific Reports* 5, Article number: 15108 (2015)
- Sungchan Hong 他, Flow Visualization Around Panel Shapes of Soccer Ball, *Procedia Engineering* 112 (2015) pp.391-394
- Kazuya Seo 他, The features of the landing slope of a ski jumping hill that need to be considered, *Procedia Engineering* 112 (2015) pp.373-378

[学会発表](計 28件)

- Kazuya Seo, Design optimization of the Zao ski jumping hill, *The Genetic and Evolutionary Computation Conference 2018 (Invited)*
- 瀬尾和哉, 円盤のメタルリム半径を変数とした風洞試験, 日本機械学会 2018 年度年次大会
- 瀬尾和哉 他, ラグビーゴールキックのロケット型は有利か?, 日本機械学会シンポジウム: SHD2018
- 坂本将規 他, 靴内換気量に関する実験的研究, 日本機械学会シンポジウム: SHD2018
- 前田龍生 他, スキージャンプ生地の通気性と空力特性の関係, 日本機械学会シンポジウム: SHD2018
- Ryusei MAETA 他, Effect of Air Permeability of Ski Jumping Suit on Aerodynamic Performances, *ACCS2018*
- 剣持 悟 他, 座位投てきにおける背もたれとホールディングバーの効果について, 第27回日本障がい者スポーツ学会, 2018
- Kazuya Seo, Drag Acting on a Tandem Bike and Two Pedaling Human Models, *The 8th Asia-Pacific Congress on Sports Technology (APCST) 2017*
- Kazuya Seo, Aerodynamics in Sports, *International Conference on Sports Engineering (ICSE-2017) (Invited)*, 2017
- 瀬尾和哉, 太田倅暉, 冷却クーラーボックスの概念設計, 可視化情報シンポ 2017
- 瀬尾和哉, 江田 智史, タンデム自転車の脚部に注目した風洞試験, 日本流体力学会年会 2017
- 瀬尾和哉, 大澤弘典, クラス対抗リレーの最適化に関する一考察, 日本機械学会シンポジウム: SHD2017
- Ryusei MAETA 他, Study of Ski Jumping Suit of Different Air Permeability on Aerodynamic Characteristics, *The Fourteenth International Conference on Flow Dynamics*, 2017
- 川端 鷹亮 他, 通気量パッチワークスキーウェアに関する研究, 日本機械学会 関東支部 第24期総会・講演会, 2017
- 剣持 悟 他, 投てき動作の解析および評価手法について, 第26回日本障がい者スポーツ学会, 2017
- 瀬尾和哉 他, 障がい者アスリートの円盤投の投出し条件, 可視化情報シンポ 2016
- Kazuya Seo 他, The Launch Conditions of a Discus and The Size Optimization on The Basis of The Launch Condition, *Proceedings of The 31st International Congress on High-speed Imaging and Photonics*, 2016

- 瀬尾和哉 他, 漕動作可能な実物大模型がのったタンデム自転車に働く抗力の測定, 日本機械学会シンポジウム: SHD2016
- 川端 鷹亮 他, スキージャンプスーツ用生地を通気量の違いが飛距離へ及ぼす影響, 日本機械学会シンポジウム: SHD2016
- Kazuya Seo, Aerodynamics of a rugby ball, The 1st Japan-Korea Joint Congress on Science and Football, 2015 (Invited)
- 21 Kazuya Seo 他, Optimization of the size of a discus for Paralympians, Proceedings of Twelfth international conference on Flow dynamics, pp.418-419, 2015
- 22 瀬尾和哉 他, 蔵王ジャンプ台ランディングスロープの最適設計, 日本機械学会シンポジウム: SHD2015
- 23 仰木 裕嗣 他, スキージャンプ選手の飛翔軌跡の計測, 日本機械学会シンポジウム: SHD2015
- 24 手倉森 重一 他, スキージャンプスーツ用生地を通気量が飛距離に与える影響, 日本機械学会シンポジウム: SHD2015
- 25 手倉森 重一 他, スキージャンプスーツ用生地通気量の違いでの空力特性, 日本機械学会 2015 年度年次大会
- 26 瀬尾和哉 他, 地面板と実物大スキージャンプモデルを用いた風洞試験, 日本機械学会 2015 年度年次大会
- 27 瀬尾和哉, 冬季オリンピックにみるスポーツ工学, 日本機械学会 2015 年度年次大会 市民フォーラム(招待)
- 28 瀬尾和哉, スポーツ用具とスポーツスキルの同時最適化, 第 70 回日本体力医学会大会 2015

〔図書〕(計 1 件)

一般社団法人日本体育学会(監修), スポーツが得意な子に育つたのしいお話 365, 誠文堂新光社, ISBN: 978-4-416-61870-7

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 出願年:
 国内外の別:

取得状況(計 1 件)

名称: 飛翔体の形状の計算方法, 飛翔体の形状の計算装置, 飛翔体の形状の計算プログラム, 計算システム, 及び飛翔体の製造方法
 発明者: 瀬尾和哉
 権利者: 山形大学
 種類: 特許
 番号: 6460722
 取得年: 2019
 国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.e.yamagata-u.ac.jp/~seo/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 大島 成通

ローマ字氏名: Oshima, Shigemichi

所属研究機関名: 名城大学

部局名: 理工学部

職名: 准教授

研究者番号 (8桁): 00278326

研究分担者氏名: 浅井 武

ローマ字氏名: Asai, Takeshi

所属研究機関名: 筑波大学

部局名: 人間総合科学研究科 (系)

職名: 教授

研究者番号 (8桁): 00167868

研究分担者氏名: 仰木 裕嗣

ローマ字氏名: Ohgi, Yuji

所属研究機関名: 慶応義塾大学

部局名: 政策メディア研究科

職名: 教授

研究者番号 (8桁): 90317313

研究分担者氏名: 坂口 隆之

ローマ字氏名: Sakaguchi, Takayuki

所属研究機関名: 山形大学

部局名: 地域教育文化学部

職名: 准教授

研究者番号 (8桁): 10436496

連携研究者氏名: 小西 康郁

ローマ字氏名: Konishi, Yasufumi

所属研究機関名: 東北大学

部局名: 流体科学研究所

職名: 特任准教授

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 木村 裕次

ローマ字氏名: Kimura, Yuji

研究協力者氏名: 鳴尾 丈司

ローマ字氏名: Naruo, Takeshi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。