

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23240090

研究課題名(和文) スポーツ用具とスポーツスキルの同時最適化手法の確立

研究課題名(英文) Concurrent Optimization of Both Skill and Equipment in Sports

研究代表者

瀬尾 和哉 (Seo, Kazuya)

山形大学・教育文化学部・教授

研究者番号：60292405

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 38,400,000円

研究成果の概要(和文)：スポーツスキルとスポーツ用具を同時に最適化する手法の開発に成功した。これによって、世界記録を産み出すような最適な用具と最適なスキルを提案することが可能になった。また、障がい者アスリート等、様々な個性の競技者へ対して、そのスキルにマッチした最適な用具形状を提示することも可能になった。この成果は、特許出願済み(出願番号：2014-217501、飛翔体形状の計算方法、計算装置、計算プログラム、及び計算システム)であり、公知とした。今後は、この技術を様々な競技へ応用し、実際のものづくりと選手のスキル改善へ活かしていく実践的な局面である。

研究成果の概要(英文)：We succeeded in the development of concurrent optimization of the both skill and equipment simultaneously. It became possible to propose the most suitable equipment and the most suitable skill which produce the world record. Moreover, it also became possible for various athletes who have limited ranges of joint angles to propose the most suitable equipment. We are currently applying for a patent on that method. This method is applied to various plays, and it's the practicing phase which is being utilized to actual manufacturing and player's skill improvement.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：スポーツ工学 同時最適化 寸法最適化 スキル最適化 飛行力学 風洞試験

1. 研究開始当初の背景

スポーツでは、用具が変われば、最適スキルも変わる。用具とスキルは、競技力向上への両輪である。選手は、日々の努力により、使用している用具に最も適合したスキルを能動的に勝ち取っている。しかし、用具に関しては、限られた選択肢から選択せざるを得ないという受動的な現状がある。しかし、用具も最適化すべきであり、これはエンジニアの仕事である。

1998年の長野冬季五輪、スキージャンプの船木和喜選手は金メダルを獲得した。しかし、その後、ジャンプスーツやスキー板に関する用具のルール改正が行われると、船木選手は不振に陥り、現在に至る。用具とスキルが適合していなければ、競技力は低下してしまう。

与えられた用具に対して、最適スキルを獲得することは可能である。エリート選手は、経験に基づき、スキルを改善してきた。これには試行錯誤が必要で、時間がかかる。別の方法は、合理的な最適化手法によるスキル最適化である。この方法では、求められた最適スキルが到達目標として教示される為、経験に基づくスキル改善よりも短時間で最適スキルを獲得できる。我々は、スキージャンプの滑空局面に関して、最適化計算を行った。その結果、V字スキー開き角の最適制御法は、ワールドカップチャンピオンのアダム・マリッシュ選手のそれと定性的に一致していた。しかし、この結果は、風洞実験に使用したスキー板やジャンプスーツに合った最適スキルである。スキー板の剛性(板のしなりや振動に影響する)やジャンプスーツの通気量が変われば、最適スキルも変わる。そこで、本研究課題では用具もスキルと並列に取り扱い、同時(コンカレント)に最適化する。用具とスキルが同時最適化されると、競技力のレベルはさらに向上するはずである。

2. 研究の目的

目的は、スポーツ用具とスポーツスキルを並列に取り扱い、両者を同時に最適化(コンカレント最適化)する手法を確立することである。

3. 研究の方法

同時最適化手法の工程は、風洞試験 CFD 最適化計算 データマイニング(フィールド実験)である。風洞試験では、模型に働く空気力と表面圧力分布、模型周りの速度場を計測する。これらは、CFD 検証用、或は現象解明用の基礎データになる。CFD でも実験と同じ物理量を算出する。これらと比較し、CFD 結果の妥当性を検証する。CFD の妥当性が検証された後、設計変数を変化させながら空力係数を計算する。全ての設計変数の組合

せに対して空力係数を求めることは不可能であるため、応答局面を構築する。この後、空力応答局面を用いて、飛翔軌跡をシミュレーションする。以上により、計算機のみで目的を数値化できるようになる。これに続く最適化計算では、遺伝的アルゴリズムを使用する。その後、最適設計空間をデータマイニングし、競技団体の戦略に沿った複数の製作候補を選択する。選択した製作候補を実際に試作し、その性能を風洞及びフィールド実験で確認する。

本研究の全体像を Fig.1 に示した。最適化には、遺伝的アルゴリズムを使った。遺伝的アルゴリズムは生物進化を模倣した手法である。評価 (Assign Fitness)、選択 (Selection)、交叉 (Crossover)、突然変異 (Mutation) を経て、世代が更新され、より良い解に近づいていく。飛距離を求めるためには、運動方程式を数値積分し、飛翔軌跡をシミュレーションする必要がある。この際には、インプットとして、投げ出し条件と円盤の寸法が必要になる。円盤の寸法が違えば、円盤に働く空気力 (C_D , C_L & C_M) は異なる。よって、最適化計算の前に、予め、任意の円盤寸法に対して空気力を返すことができる空力応答局面 (Response surface) を作成しておく必要がある。本研究では、CFD (数値流体解析) により代表的な寸法の円盤に働く空気力を計算しておき、それらのデータ間の内挿 (逆距離荷重) をとることにより、任意の円盤寸法に対して空気力を求められるようにした。

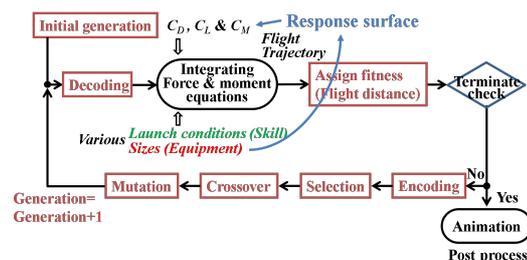


Fig.1 The block diagram of a genetic algorithm.

4. 研究成果

スキージャンプ、カヌー、円盤投等を具体例として、研究を進めた。ここでは、円盤投を例にとり、同時最適化に至る流れを説明する。

4 - 1. 風洞試験

4 - 1 - 1. 空気力測定

女子用円盤の風洞試験をした。商用円盤を用いて、迎え角依存性を調べた。無回転円盤の C_D , C_L & C_M の迎角依存性を Fig.1 に示した。計測時間 = 8 秒間分の時間平均値である。迎角を 0° から 90° へ増加させた時の領域の測定値を、迎角を 90° から 0° へ減少させた時の領域の測定値を で示した。 &

領域は、迎角増加過程と減少過程での差が小さかったため、それらの平均値をエラーバーとともに示した。この領域では、ヒステリシスがある。迎角を 0° から 90° へ増加させる過程では、 C_L は 30° まで増加し、 31° で失速した。一方、迎角を 90° から 0° へ減少させる過程では、 30° では失速から回復せず、 25° まで減少させると回復し、CL が急増する。 C_M の迎角依存性も C_L のそれとほぼ同様である。 C_M は全領域で正である。 $C_M > 0$ は頭上げである。正になる理由は、円盤の傾斜にある。円盤の上流側と下流側で、実効的な迎角が異なる為である。また、 C_D は失速前後で、増加率が鈍る（或は、微減）。これは失速後の CL 急減による誘導抗力の減少の為である。

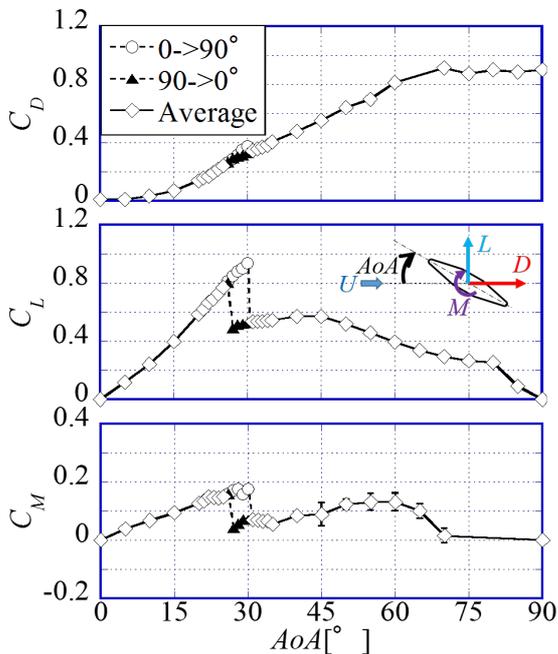
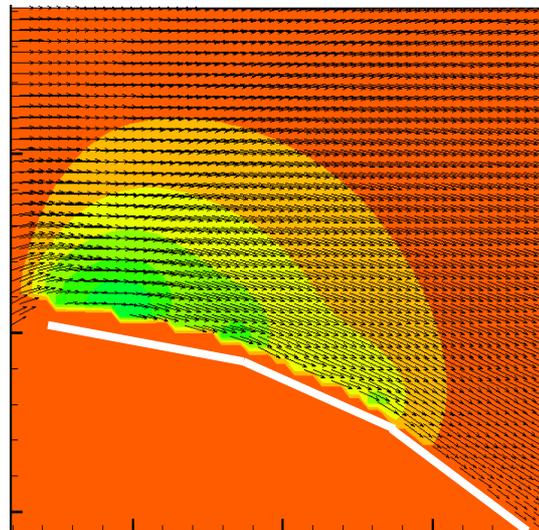


Fig.2 AoA dependence of Aerodynamic coefficients.

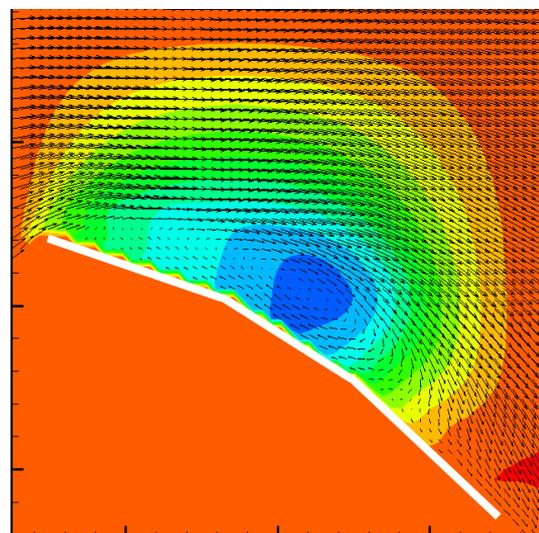
4 - 1 - 2 . 速度場と圧力場

3つの速度域で円盤中心軸上の2D-PIV計測を行った。ラスキンノズルを利用した煙霧発生器(PivPart40, PivTec)により、直径 $1\mu\text{m}$ のドロップレットを発生させ、トレーサーとした。高繰り返し ND-YAG パルスレーザー(LDP-100MQG, Lee Laser)により、煙を照らした。煙の移動を高速度カメラ(Memrecam GX-8, Nac)により1KHzのサンプリング周波数で録画した。

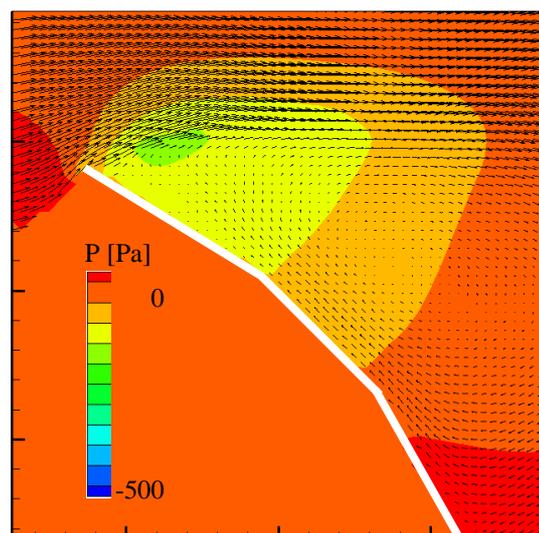
各迎え角範囲()に対応した測定結果である速度場と圧力場をFig.2に示した。時間平均値である。圧力場は速度場を基にポアソン方程式を差分により解いた結果である(3)。流れは左から右、円盤は中央やや下に位置している。サクシオン側の測定結果である。圧力 P (ゲージ圧) のカラーバーを左下に示した。赤は最大値で 0、青が最小値で $-500[\text{Pa}]$ である。



2-a) 20°



2-b) 30°



2-c) 45°

Fig.2 Velocity and Pressure fields

まず圧力場を観察する。領域 () の Fig.2-b)

では円盤の中央平面部に -500Pa の低圧が出現している。一方、領域 Fig.2-a)と Fig.2-c)でも低圧部は出現するが、絶対値は大きくない。領域 の 20° では、最低圧力部は前縁近傍にある。領域 の 30° では円盤の中央平面部、領域 の 45° では再び、前縁近傍に戻ってくる。

次に速度ベクトルを観察する。領域 とでは、円盤背面に沿った速度ベクトルを確認できる。領域 の Fig.2-b)では、一度剥離するが再付着している。先の圧力結果と総合して考えると、低圧部が円盤の中央平面部に出現するため、バルクな流れが下の方向に向かっている。この結果、大きな揚力を生み出す。一方、領域 では、円盤背面に沿った流れはほとんど存在せず、左から流入した流れは、そのまま右へ流出している。

4 - 2 . CFD

円盤サイズに関するパラメトリックスタディを CFD で実行した。パラメトリックスタディの前には、既にある商用円盤の実験値 (Fig.2)と CFD による計算値の比較を行い、外部領域の大きさ、境界層内の第一層目の高さの検討を迎え角 25° で検討を行った。その結果、外部領域は 1 辺が 4m の立方体、第一層目の高さは 0.5mm とした。また、乱流モデルに関しては、標準 k- モデルと Realizable k- モデルの比較検討し、標準 k- モデルを採用した。

パラメトリックスタディでは、Fig.3 に示した 4 つの変数に関して実行した。4 変数の組合せにより 13 個の円盤を CAD し、CFD を実行した。

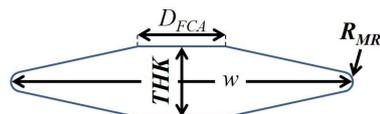


Fig.3 Design variables concerned with the size

空力応答局面は、CFD 済みの 13 個の円盤を基に逆距離荷重により構築した。この空力応答局面を利用し、任意寸法の円盤に働く空気を算出した。

4 - 3 . 最適化

最適化の目的は、飛距離とした。最適化では、投出し条件と円盤寸法を同時に最適化し、飛距離が最大になる最適条件を求めた。遺伝的アルゴリズムにより、最適条件を求めた。

最適化の履歴を Fig 8 にしめした。世代の代表値として、最優秀値を示した。投出し条件のみを設計変数とした最適化をスキル最適化 (skill optimization), 投出し条件と円盤寸法の全てを設計変数とした最適化を同時最適化 (concurrent optimization) とした。スキル最適化の場合、デザインにかかわる設計変数は商用円盤の値を用いた。Fig4 より、飛距離は世代数の増加とともに増加している。300 世代における飛距離は、スキル

最適化で 76.9m ,同時最適化で 79.1m になる。よって、用具とスキルの同時最適化をすると競技力は向上する。

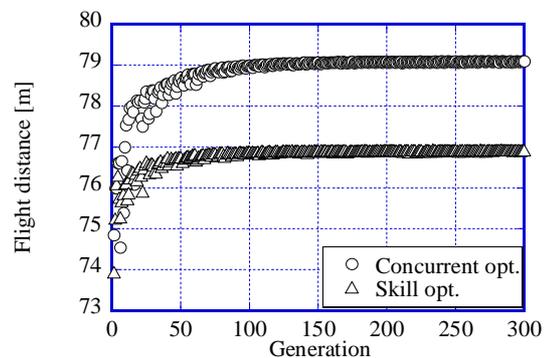


Fig.4 History of flight distance in the optimization process.



Fig.5 Shape comparison. The solid line denotes a concurrently optimized disc, while the broken line denotes a commercially available disc.

同時最適化した円盤の形状と商用円盤のそれを Fig.5 で比較した。同時最適化した円盤が外側、商用円盤は内側である。同時最適化した円盤の全幅や厚さは商用円盤のそれとほぼ等しいが、円盤の斜面が急勾配になっている。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 15 件)

Kazuya Seo, Koji Shimoyama, Ken Ota, Yuji Ohgi and Yuji Kimura, Optimization of flight distance and robustness in discus, Sports Engineering, 査読有, Vol.18, Issue 1, 2015, pp.55-65

DOI: 10.1007/s12283-014-0166-y

Masahide Murakami, Masato Iwase, Kazuya Seo, Yuji Ohgi and Reno Koyanagi, High-speed video image analysis of ski jumping flight posture, Sports Engineering, 査読有, Vol. 17, Issue 4, 2015, pp.217-225

DOI: 10.1007/s12283-014-0157-z

Kazuya Seo, Kana Takaoka and Takayuki Sakaguchi, Concurrent Optimization of Flight Distance and Robustness of Equipment and Skills in Discus Throwing, Proceedings of ECTA 2014 – International Conference on Evolutionary Computation Theory and Applications, 査読有, 2014, pp.198-206

ISBN: 978-989-758-052-9

Kazuya Seo, Koji Shimoyama, Ken Ota, Yuji Ohgi and Yuji Kimura, Optimization of the size and launch conditions of a discus, The Engineering of Sport 10, Procedia Engineering, 査読有, Vol.72, 2014, pp. 756-761

DOI:10.1016/j.proeng.2014.06.128

Kazuya Seo, Koji Shimoyama, Yuji Kimura, Ken Ota, Yuji Ohgi, Concurrent Optimization of Both Skill and Equipment of a Discus, Proceedings of the International Association of Computer Science in Sport Conference, 査読有, 2014, pp.88-93

ISBN13: 978-0-9925475-0-9

瀬尾和哉, 空気密度の違いがスポーツパフォーマンスに与える影響, Journal of Training Science for Exercise and Sport, 査読無・解説, Vol.25, No.3, 2014, pp.189-193
ISSN 1349-4414

瀬尾和哉, 計算力学でスポーツを科学する(円盤投), 学術の動向, 査読無・解説, 2014年10月号, 2014, pp.42-43.

Kazuya Seo, Ken Ohta, Yuji Ohgi and Yuji Kimura, Aerodynamic hysteresis of a discus, The impact of Technology on Sport V, 査読有, Vol.60, 2014, pp.294-299

Kazuya Seo, Aerodynamic characteristics around the stalling angle of the discus using a PIV, Proceedings of 10th International Symposium on Particle Image Velocimetry -PIV13, 査読有, 2013, USB 全6頁

Takeshi Asai, Shinichiro Ito, Kazuya Seo, Akihiro Hitotsubashi, Fundamental aerodynamics of a new volleyball, Sports Technology, 査読有, Vol.3, No.4, 2013, pp.235-239,

DOI:10.1080/19346182.2012.663528

Seo K., Shimoyama K., Ohta K., Ohgi Y. and Kimura Y., Aerodynamic behaviour of a discus, The Engineering of Sport 9, Procedia Engineering, 査読有, Vol.34, 2012, pp.92-97,

DOI: 10.1016/j.proeng.2012.04.017

Kazuya Seo, Koji Shimoyama, Ken Ota, Yuji Ohgi and Yuji Kimura, Optimization of the moment of inertia of a discus and the release condition of a discus, The Engineering of Sport 9, Procedia Engineering, 査読有, Vol.34, 2012, pp. 170-175,

DOI: 10.1016/j.proeng.2012.04.030

Kazuya Seo, Koji Shimoyama, The Optimization of Style Points and Flight Distance in Ski Jumping Flight, Proceedings in the 11th Asian Symposium on Visualization, 査読有, ASV11-07-05, 2012, CD 全7頁.

Masahide Murakami, Kazuya Seo, Masakazu Kondoh, Yutaka Iwai, Wind tunnel measurement and flow visualisation

of soccer ball knuckle effect, Sports Engineering, 査読有, Vol.15, Issue 1, 2012, pp. 29-40,

DOI:10.1007/s12283-012-0085-8

Koji Shimoyama, Kazuya Seo, Tsuyoshi Nishiwaki, Shinkyu Jeong, Shigeru Obayashi, Design Optimization of a Sport Shoe Sole Structure by Evolutionary Computation and FEM Analysis, Journal of Sports Engineering and Technology, 査読有, Vol.225, Issue 4, 2011, pp.179-188.

[学会発表](計 16件)

瀬尾和哉, 高岡夏南, 下山幸治, 坂口隆之, 円盤投のスキルと円盤サイズの同時最適化, 日本機械学会 第11回最適化シンポジウム, 2014/12/12, 石川県金沢市, DVD,全4頁, 1205

瀬尾和哉, 高岡夏南, 坂口隆之, 向い風・追い風に対する円盤投げの投出し条件と円盤寸法の同時最適化, SHD2014 スポーツアンドヒューマンダイナミクス 2014, 2014/10/30, 新潟県長岡市, B-31, USB 全7頁

瀬尾和哉, 佐藤宏貴, クリギング法による円盤投用円盤の空力応答局面の構築, 日本流体力学会 年会 2014, 2014/9/16, 仙台市青葉区, USB 全3頁, 029.pdf

瀬尾和哉, 佐藤宏貴, 円盤投用円盤周りの速度場と圧力場, 日本機械学会 2014年度年次大会, 2014/9/7, 東京都足立区, DVD 全4頁

瀬尾和哉, 佐藤宏貴, 円盤投用円盤周りの3つの流れパターン, 可視化情報シンポジウム, Vol.34, Suppl. No.1, 2014/7/22, 東京都新宿区, pp.131-134

瀬尾和哉, 下山幸治, 木村裕次, 太田憲, 仰木裕嗣, ヒステリシスを考慮した円盤投の最適化, SHD2013 スポーツアンドヒューマンダイナミクス 2013, 2013/11/4, 東京都新宿区, USB 全5頁

瀬尾和哉, 腰曲げ角を設計変数としたスキージャンプ飛翔の最適化, SHD2014 スポーツアンドヒューマンダイナミクス 2013, 2013/11/4, 東京都新宿区, USB 全5頁

瀬尾和哉, スキージャンプにおける前傾角、前屈角、V字開き角の最適化, 可視化情報, 2013/9/24, 福島県会津若松市, Vol.33, Suppl. No.2, 2013, pp.119-120

瀬尾和哉, 下山幸治, 木村裕次, 太田憲, 仰木裕嗣, ロバスト性を考慮した円盤投の最適化, 日本機械学会 2013年度年次大会, 2013/9/2, 岡山市北区, DVD 全4頁

瀬尾和哉, 遺伝的アルゴリズムによる円盤投の最適化からの知識の抽出, 可視化情報シンポジウム, Vol.33, Suppl. No.1, 2013/7/17, 東京都新宿区, pp.449-450

瀬尾和哉, 円盤投げ飛翔の投げ出し条件と慣性モーメントの最適化, 日本機械学会流体力学部門講演会講演論文集,

2012/11/17, 京都市上京区, pp.605-606
瀬尾和哉, 円盤投げ飛翔のアニメーションによる可視化, 可視化情報, Vol.32, Suppl. No.2, 2012/10/4, 兵庫県姫路市, pp.151-152
瀬尾和哉, 円盤投げの飛行軌跡のシミュレーション, 日本流体力学会 年会 2012, 2012/9/17, 高知県高知市, USB 全 2 頁
瀬尾和哉, 依田大輔, 永井大樹, 浅井圭介, 浅井武, 伊藤慎一郎, サッカーボール表面圧力場の PSP 計測, 日本機械学会 2012 年度年次大会, 2012/9/13, 石川県金沢市, DVD 全 3 頁
瀬尾和哉, 依田大輔, 永井大樹, 浅井圭介, 浅井武, 伊藤慎一郎, サッカーボールの空力特性に関する実験的研究, 可視化情報シンポジウム, Vol.32, Suppl. No.2, 2012/7/25, 東京都新宿区, pp.345-348
瀬尾和哉, 下山幸治, 太田憲, 仰木裕嗣, 円盤投げの投げ出し条件の最適化, 日本流体力学会 年会 2011, 2011/9/7, 東京都八王子市, CD-ROM 全 4 頁

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 飛翔体形状の計算方法、計算装置、計算プログラム、及び計算システム
発明者: 瀬尾和哉
権利者: 山形大学
種類: 特許
番号: 2014-217501
出願年月日: 2014 年 10 月 24 日
国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.e.yamagata-u.ac.jp/~seo/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀬尾 和哉 (SEO, Kazuya)
山形大学・地域教育文化学部・教授
研究者番号: 60292405

(2) 研究分担者

下山 幸治 (SHIMOYAMA, Koji)

東北大学・流体科学研究所・准教授
研究者番号: 80447185

鈴木省三 (SUZUKI, Shozo)
仙台大学・体育学部・教授
研究者番号: 00179219

太田 憲 (OHTA, Ken)
慶応義塾大学・政策メディア研究科・特任
准教授
研究者番号: 10281635

仰木 裕嗣 (YUJI, Ohgi)
慶応義塾大学・政策メディア研究科・准教授
研究者番号: 90317313

(3) 連携研究者

()

研究者番号: