

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420191

研究課題名(和文) 冬季オリンピックでのメダル獲得を目標とする競技用スキーブーツの開発

研究課題名(英文) Development of a racing ski boots for winning a medal in the winter Olympic games

研究代表者

鈴木 聡一郎 (Suzuki, Soichiro)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：30250541

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：スキーは、重力を利用したレジャーであり、生涯スポーツとして高齢者の健康寿命延伸に期待できる。本研究では可動式フットベッドの詳細設計を検討した。アルペンスキー競技の場合、選手には雪質や旗門設定、コースの斜度変化などに適応した運動が求められる。そのため、ターン開始時の荷重移動に着目してフットベッド設計の最適化を図った。この結果、内傾動作補助パーツを開発し、ターン時の内傾角度が向上し、滑降タイム短縮に有効であることを明らかにした。さらにこの技術に関する特許出願をするとともに、製品化を実現した。

研究成果の概要(英文)：Skiing is hopeful for lifelong sports because of utilizing gravity rather than muscular power. This study aims at recovery of the popularity of skiing, and familiarize of skiing as lifelong winter sports. It is expected that the world-level success of the alpine ski racer becomes reason of the recovery. In this study, design of a footbed of a racing ski boot was optimized according to the track of weight shift of a ski athlete during the turn motion. It was demonstrated that rolling of the footbed by a small chip which was developed in this study accelerated the lean motion of a ski athlete. Consequently, the finish time of the ski race could be shortened with large lean angle of the athlete by using a newly designed small chip set on the bottom of a footbed. Finally, this chip was commercialized to the winter sports market, and a patent for the chip was applied.

研究分野：ロボット工学

キーワード：アルペンスキー競技 スキーブーツ フットベッド 内傾角度 内傾角速度 荷重移動

1. 研究開始当初の背景

本邦では、かつてスキーは冬季最大のレジャーであり、スキー場は多くのスキー客で賑わっていた。しかしながらバブル経済の崩壊後、スキー人口は減少の一途をたどり、現在では最盛期の約40%程度に減少した。これに伴いスキー場数もかつての70%程度に減少し、地方自治体が運営する地域密着型の小規模スキー場の閉鎖は、スキー場の集客が支えてきた積雪寒冷地域の経済低迷を招き、高齢者から気軽にスキーを楽しむ機会を奪い取る結果となった。スキー用品の全国市場規模も最盛期の約半分にまで落ち込み、今なお厳しい状況が続いている。

その一方、本邦では2020年の東京オリンピック開催が決定し、選手強化やスポーツ振興の気運が高まっている。また2011年女子サッカーワールドカップでは、日本代表の通称“なでしこジャパン”が優勝したことにより、女子選手やファンが急増したことは記憶に新しい。このように、国を代表する選手の活躍とスポーツ振興には密接な関係があり、スキーの再興にとっても日本代表選手の活躍が最も近道であるといえる。冬季オリンピックの花形種目であるアルペンスキー競技では、1956年のコルティナダンペッツォオリンピックの回転競技で猪谷千春選手が銀メダルを獲得して以来、半世紀以上にわたり日本人メダリストは誕生していない。これまでに研究代表者らは、多くの日本選手が使用する欧州製のスキーブーツが日本人の骨格的特徴に適合しておらず、ターン中の内傾角速度が低下し競技成績の低迷に結びついていることを示した。これを基に力学的に欧米選手のターン動作におけるスキルを解析し、日本人選手が実現するためのスキーブーツのアップシェル設計を明らかにした。さらにその後の研究成果として、フットベッドと呼ばれるブーツの中敷き部材をロール方向に可動させることで、選手の内傾角速度を向上し滑降タイムが短縮されることを明らかにした。このフットベッドを最適化し、日本代表選手のオリンピックでのメダル獲得を目指す。

2. 研究の目的

本研究ではこれまでに、図1に示すようにアルペン競技選手の滑降タイムとターン中の下肢の内傾角度に強い相関が認められることを明らかにした。アルペンスキー競技の場合、選手には雪質や旗門設定、コースの斜度変化などに適応した運動が求められる。そのため、ターン中の選手の荷重移動に着目してフットベッド設計の最適化を図る。その際、協力関係にあるブーツメーカーの使用済みの金型の改良により、安価な手法で新たなスキーブーツを試作する。これを日本代表選手等に実際の国際レースで使用してもらい、設計の適正化を図りながら世界ランキングの向上を実現し、平昌オリンピックでのメダル獲得を目的とする。

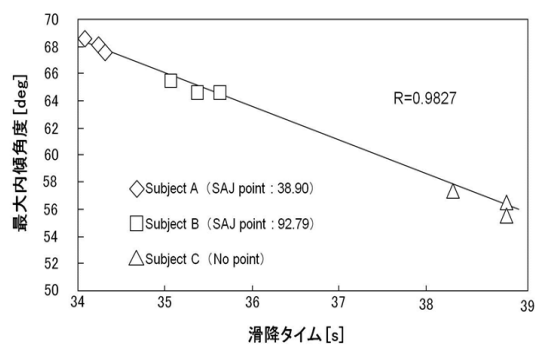


図1 滑降タイムと内傾角度の関係

3. 研究の方法

本研究では、スキーヤーとスキー板のインターフェースとして重要な役割を担っているスキーブーツに着目し、日本人アルペンスキー選手の競技力向上を目的としたスキーブーツの設計・開発を行う。これまでに、ターン動作中のスキーヤーの内傾角度、ならびに角速度を向上させるフットベッド形状について検討した。その結果、図2のように、正三角形断面の軸状パーツをフットベッド底面の全面に装着することで、ターン動作中の内傾角速度を向上させ、雪上滑降のタイムが短縮できることを明らかにした。このパーツを装着することで、ターン開始時にブーツ内の足部のロール運動を誘発し、内傾動作を容易にした結果、内傾角度と角速度が向上することを室内実験で示した。しかし、雪上実験において軸状パーツを使用すると、内傾角速度が向上するにもかかわらず、滑降タイムが短縮できない選手がいる。そこで本研究では、フットベッド設計がスキーヤーの内傾動作に与える影響を明らかにするために、ターン動作中の荷重中心の移動に着目し、内傾角速度を向上させ、雪上滑降のタイムを短縮するフットベッド設計を明らかにする。雪上滑降において滑降タイムが悪化した要因としては、以下のことが考えられる。通常、ターン動作後半には踵付近に荷重が集中する。しかしこれまでの状態では、正三角形断面の軸状パーツをフットベッドの後部にも装着しているため、ターン動作後半に雪面の凹凸の影響を受けやすくなる。これによってターン中の安定性が失われる事で山回りの時間が

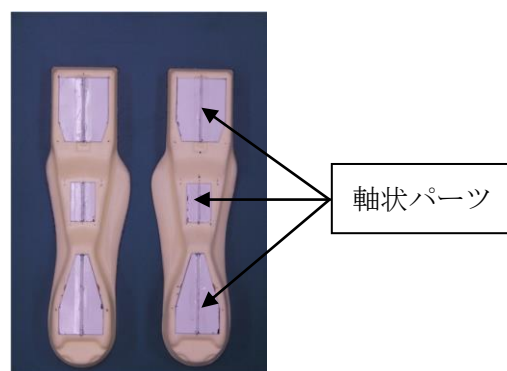


図2 フットベッドと軸状パーツ

長くなり、グライディングによる加速距離が減少するため、滑降タイムが悪化したと考えられる。従って、雪上での滑降タイム短縮のためにはターン動作中の荷重中心の移動を考慮して、軸状パーツの装着位置を決める必要があると予想される。そこで、本研究ではターン動作中のスキーヤーの荷重中心の移動を計測して、雪上滑降において滑降タイムが短縮するフットベッド形状の設計を明らかにする。はじめに、軸状パーツの装着状態をノーマル（なし）、前部、全面の3種類に設定し、図3のSKYTECH スキーシミュレータを用いた室内実験により、選手の内傾角速度を9軸ワイヤレスモーションセンサで計測しながら足底圧分布から荷重中心の移動軌跡を記録する。次に、夏季のスキートレーニングに使用される図4に示す Roller Ski Variableにより、アスファルト路面上で制限滑降を行い、滑降タイムを計測する。最終的に製作したパーツをフットベッドに装着し、雪上実験で効果を検証する。

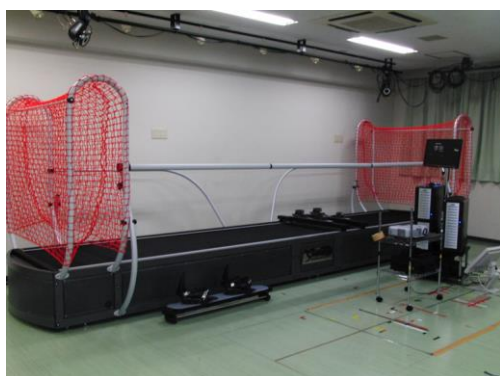


図3 SKYTECH スキーシミュレータ



図4 Roller Ski Variable

4. 研究成果

(1) 内傾角速度の計測結果

被験者5名について、ノーマルフットベッド、ならびに前部パーツ使用時の内傾角速度を計測したところ、前部のみに軸状パーツを装着するフットベッドを使用すると5人中4人の内傾角速度が増加することが示された。最も競技レベルの高い1名について、全面パーツを加えた3条件で計測した結果を表1に示す。この結果、前部パーツのフットベッドとノーマルを比較した場合も、ほぼ同程度の内傾角速度の向上が認められた。以上の結果から、新たに提案するフットベッド底面の前部のみに軸状パーツを装着したフッ

トットベッド設計は、全面に装着した場合と同様に、ターン動作中の内傾角速度の向上に有効であることが示された。

表1 被験者Aの内傾角速度の変化

| 被験者 | 内傾角速度 [deg/s] | | |
|-----|---------------|-------|-------|
| | ノーマル | 前部 | 全面 |
| A | 109.4 | 112.5 | 111.4 |

表2 荷重中心の移動割合と移動量

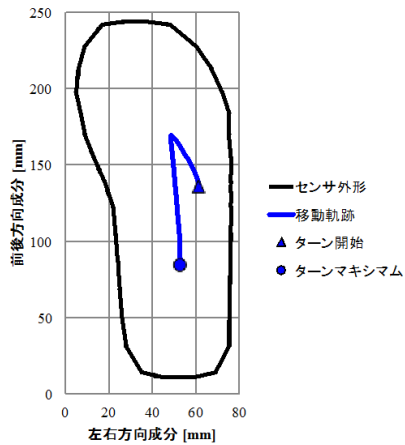
| フットベッド | ターン開始 [%] | マキシмум [%] | 移動量 [%] |
|--------|-----------|------------|---------|
| ノーマル | 79.8 | 67.5 | 12.3 |
| 前部 | 56.0 | 55.1 | 0.9 |
| 全面 | 59.1 | 54.6 | 4.5 |

(2) 荷重中心の移軌跡動

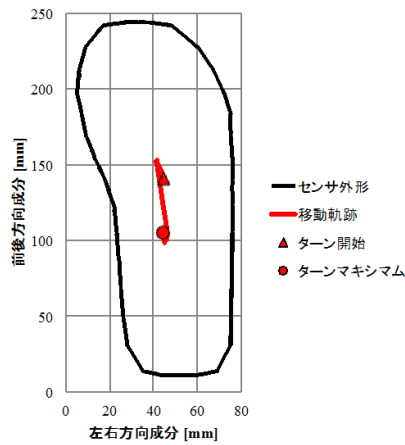
足底圧分布から計測した、左ターン開始からターンマキシмумまでの外足での荷重中心の左右方向の移動割合、および移動量を表2に示す。計測された荷重中心の左右方向成分の座標位置を足幅で除した割合を示しており、拇指球側を0%、小指球側を100%で表す。また、足底圧分布から計測したターン中の荷重中心の移動軌跡を図5に示す。ノーマルフットベッドでのターン開始時の荷重中心は、拇指球側から約80%に位置し、傾倒するにつれ前方へと移動を行い、ターンマキシмум時には踵付近まで荷重中心が移動することがわかる。この時、左右方向成分は約68%になっており、ターン開始からマキシмумまでに約12%内側に移動している。前部パーツのフットベッドでは、ターン開始時には荷重中心が拇指球側から56%に位置しており、ノーマルと比較して荷重中心位置が約20%内側に位置している。また、ターン開始からターンマキシмумまでの左右方向の移動量は、ノーマルでは約12%内側に移動したのに対し、前部パーツでは、約1%程度の移動にとどまる結果となり、左右方向の移動量が大幅に減少している。さらに、全面パーツではターン開始時の荷重中心位置が拇指球側から約59%、ターン開始からマキシмумにおける荷重中心の左右方向成分の移動量は約5%となり、前部パーツのフットベッドと大きな差がないことが明らかとなった。以上の結果、前部パーツのみでも内傾角速度向上に有効であるといえる。また、前部にパーツを装着する形状のほうが、左右方向の荷重中心の移動量が小さいことも示された。そのため、前部パーツのフットベッド設定は、雪上滑降でも滑降タイム短縮に有効であることが期待できる。

(3) Roller Ski Variable 滑降実験

室内実験の結果を基に、フットベッド底面の前部に正三角形断面の軸状パーツを装着



(a) ノーマル



(b) 前部パーツ

図5 ターン中の荷重中心移動軌跡

したフットベッド設計が、ターン中の内傾角速度向上と滑降タイム短縮に有効であるか、Roller Ski Variable (RSV) を用いた屋外滑降実験で検証する。

図6に示すようにアスファルト路面上にコーンを置いて大回転のコース設定を行い、RSVを用いて制限滑降した際の滑降タイムを計測する。滑降タイムはBROWER タイミングシステムを用いて計測する。被験者は室内実験と同じ被験者5名とし、フットベッドは室内実験で用いたノーマルと前部パーツのフットベッドの2条件で行う。それぞれのフットベッドで3回ずつ滑降を行う。滑降タ



図6 RSV 滑降実験

表3 RSV 滑降タイムと変化率の比較

| 被験者 | 滑降タイム [s] | | 変化率 [%] |
|-----|-----------|-------|---------|
| | ノーマル | 前部 | |
| A | 28.02 | 27.90 | -0.43 |
| B | 26.27 | 25.92 | -1.33 |
| C | 22.34 | 22.35 | 0.04 |
| D | 27.70 | 27.09 | -2.20 |
| E | 22.29 | 22.99 | 3.14 |

イムは3本のタイムの平均値を算出する。それぞれのフットベッド設計について、被験者5名の滑降タイム、ならびにノーマルフットベッド使用時のタイムを基準にしたパーツ装着時の滑降タイムの変化率を表3に示す。

この結果、前部パーツのフットベッドを使用すると5名の被験者中3名の滑降タイムが短縮された。また、1名のタイムにはほとんど変化が認められず、もう1名のタイムは増加した。室内実験で内傾角速度が向上した被験者4名中3名において滑降タイムが短縮しているため、RSVでの滑降中においてもターン中の内傾角速度が向上し、滑降タイムが短縮したと考えられる。

以上のことから、フットベッド底面の前部に正三角形断面の軸状パーツを装着する設計は、ターン動作中スキーヤーの内傾角速度を向上し、滑降タイムが短縮されたといえる。このことから、実際の雪上滑降でもタイム短縮に期待できる。

(4) 軸状パーツの詳細設計

前部のみにパーツを装着する形状を用いると、実際の雪上滑降では荷重の集中により、フットベッドやパーツが変形し、本来の性能を発揮できない可能性がある。そこで、雪上での使用を想定した詳細設計を行う。

可能な限り、広い面積でスキーヤーからの荷重を受け止めるとともに、ターン中の大きな外力による変形を想定して、十分なロール角が獲得できるように設計したパーツとそのCADモデルを図7に示す。パーツの横断面に曲率を持たせ、予め弾性変形を考慮することで、途中で止まることなく完全にロールできるパーツの形状について検討した。

3DCADソフトウェアであるAutodesk Inventorを用いて3DCADモデルを制作し、アクリル板を用いて、Roland DG社の3D切削マシンMODELA MDX-40Aを使用してパーツを製作した。

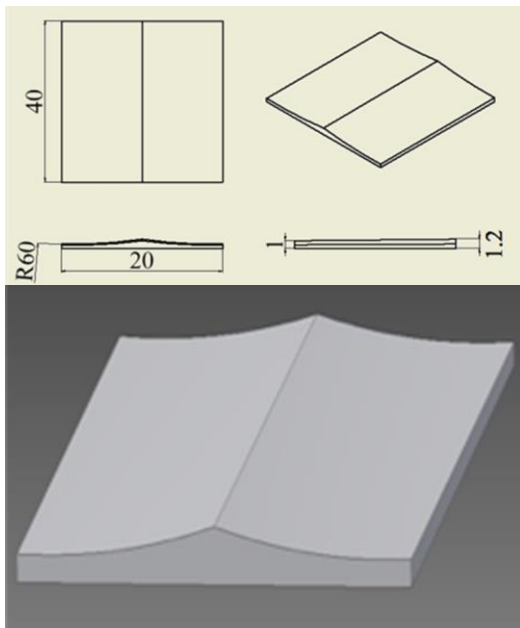


図7 パーツの詳細設計

(5) 雪上滑降による検証

新たに設計したパーツの有効性を検証するため、雪上に20旗門の大回転コースを設定し、制限滑降を行った際の滑降タイムを計測する。被験者はそれぞれ競技レベルの異なる男子アルペンスキー選手2名とし、スキーブーツは被験者の所有のブーツを用いて、ノーマルフットベッドと新たに製作しパーツを前部に装着したフットベッドの2種類で滑降実験を行った。滑降タイムはBROWERタイミングシステムで計測した。

2名の被験者の滑降タイム、ならびにノーマルのタイムを基準とした、前部パーツ装着時の滑降タイムの変化率を表4に示す。この結果、ノーマルとパーツ装着時を比較すると、両被験者とも滑降タイムが短縮する結果が示された。以上のことから、雪上滑降時に提案するパーツを装着することで滑降タイム短縮に有効であることが示された。

表4 雪上滑降実験結果

| 被験者 | 滑降タイム [s] | | 変化率 [%] |
|-----|-----------|-------|---------|
| | ノーマル | 前部パーツ | |
| A | 37.0 | 36.3 | -1.73 |
| B | 36.2 | 35.9 | -0.86 |

(6) 製品化

最終的に、本研究で開発されたフットベッド用パーツは、約80%の選手に有効であることが確認された。メダル獲得を目指して、トップ選手のみならず、日本選手全体の競技レ

ベルの底上げを図るため、開発技術の知財化を進め、製品化を実現し、平成28年10月より販売を開始した。図8に示すように共同研究先のブレイン株式会社より「STEALTH TECH」という商品名で全国の販売店で取り扱われ、平成28年度は3か月の販売期間で当初予定の2000セットを完売し、追加生産を行った。



図8 開発パーツの商品化

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1件)

- ① Soichiro SUZUKI, Daichi TAGUCHI, Yohei HOSHINO, Cao Ying and Lianlian YANG, Analysis of the skill of a world-class alpine ski racer by using a 3D CAD system, The International Journal of Engineering and Science, 査読有, 2016, Vol. 5, No. 11, pp. 34-37

[学会発表] (計12件)

- ① 久保秀隆, 鈴木聡一郎, 星野洋平, 曹 赢, 楊 亮亮, ターン時の荷重移動を適正化するスキーブーツ用フットベッドの設計, 日本機械学会北海道学生会 第46回学生員卒業研究発表講演会 講演論文集, 2017. 3. 4, pp. 185-186, 室蘭工業大学 (北海道・室蘭市)
- ② 鈴木智貴, 鈴木聡一郎, 星野洋平, ターン中の荷重移動を適正化するスキーブーツのフットベッド設計, 日本機械学会 北海道支部第54回講演会 講演概要集, No. 613, 2016. 10. 29, 苫小牧工業高等専門学校 (北海道・苫小牧市)
- ③ 鈴木智貴, 鈴木聡一郎, 星野洋平, 3D CADモデルマッピングによるアルペンスキー競技選手のスキル解析, 日本機械学会 第27回バイオフィロントピア講演会講演論文集, 2016. 10. 22, pp. 119-120, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ④ 石橋 怜, 鈴木聡一郎, 星野洋平, 曹 赢,

- 楊 亮亮, アルペンスキー選手の関節運動に着目したターン技術のスキル解析, LIFE2016 講演論文集 (USB-Memory), 2016. 9. 5, 東北大学 (宮城県・仙台市)
- ⑤鈴木智貴, 鈴木聡一郎, 星野洋平, 曹 羸, 楊 亮亮, ターン中の荷重移動を適正化するスキーブーツのフットベッド設計, 日本機械学会北海道学生会 第 45 回学生員卒業研究発表講演会 講演論文集, 2016. 3. 7, pp. 304-305, 函館工業高等専門学校 (北海道・函館市)
- ⑥Soichiro SUZUKI, Daichi TAGUCHI, Yohei HOSHINO, Ying CAO, and Lianlian YANG, Skill analysis of a world-class alpine ski racer by using 3D CAD system, Proceedings of the 2015 International Conference on Mechatronics and Information Technology, 2015. 12. 4, pp. 195- 200, Del Pino (Korea).
- ⑦鈴木聡一郎, 星野洋平, 曹 羸, オリンピックでのアルペンスキー競技の勝利を目指す工学的取り組み, 日本機械学会 2015 年度年次大会講演論文集 (CD-ROM), 2015. 9. 15, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ⑧鈴木聡一郎, 石橋 怜, 田口大智, 星野洋平, 内傾角速度を向上するスキーブーツ用フットベッドの設計, 日本機械学会 2015 年度年次大会講演論文集 (CD-ROM), 2015. 9. 15, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ⑨鈴木聡一郎, 林 末義, 田口大智, 古賀 歩, 石橋 怜, 星野洋平, 関節の粘弾性特性に着目したアルペンスキー選手のスキル解析, 日本機械学会 2015 年度年次大会講演論文集 (CD-ROM), 2015. 9. 15, 北海道大学 (北海道・札幌市)
- ⑩古賀 歩, 鈴木聡一郎, 林 末義, 星野洋平, 田口大智, アルペンスキー競技における関節粘弾性に着目したターン技術のスキル解析, 第 35 回バイオメカニズム学術講演会予稿集, 2014. 11. 9, pp. 179-182, 岡山大学 (岡山県・岡山市)
- ⑪古賀 歩, 鈴木聡一郎, 林 末義, 星野洋平, 田口大智, アルペンスキー競技における関節運動に着目したターン技術のスキル解析, 日本機械学会 北海道支部第 53 回講演会 講演概要集, 2014. 9. 27, pp. 101-102, 室蘭工業大学 (北海道・室蘭市)
- ⑫田口大智, 鈴木聡一郎, 林 末義, 星野洋平, 古賀 歩, スキーシミュレータを用いたスキーブーツ設計の適合性評価, 日本機械学会 北海道支部第 53 回講演会 講演概要集, 2014. 9. 27, pp. 99-100, 室蘭工業大学 (北海道・室蘭市)

[図書] (計 1 件)

- ①鈴木聡一郎, 角皆優人, 佐藤紀隆, SKI の科学 コブ・新雪・ポール攻略編, 洋泉社, 2016 年 12 月, 111(52-95)

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称: スキー靴およびフットベッドならびに内傾動作補助パーツ
 発明者: 鈴木聡一郎
 権利者: ブレイン株式会社
 種類: 特許
 番号: 特願 2015-179830 号
 出願年月日: 平成 27 年 9 月 11 日
 国内外の別: 国内

名称: スキー靴およびフットベッドならびに内傾動作補助パーツ
 発明者: 鈴木聡一郎
 権利者: ブレイン株式会社
 種類: 特許
 番号: PCT/JP2016/076781
 出願年月日: 平成 28 年 9 月 13 日
 国内外の別: 国外

○取得状況 (計 0 件)

[その他]
 ホームページ等
<http://energy.mech.kitami-it.ac.jp/~bio-mech/Japanese/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 聡一郎 (SUZUKI, Soichiro)
 北見工業大学・工学部・教授
 研究者番号: 30250541

(2) 研究分担者

柴野 純一 (SHIBANO, Junichi)
 北見工業大学・工学部・教授
 研究者番号: 60206141

(3) 研究分担者

星野 洋平 (HOSHINO, Yohei)
 北見工業大学・工学部・准教授
 研究者番号: 90374579