

令和元年6月28日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02797

研究課題名（和文）カーリングを科学する～情報機械技術を統合した新たな戦術支援の試み

研究課題名（英文）Curling Science - Feasible Studies to Support Tactical Phase in Curling by Information Communication Technology and Intelligent Machinery

研究代表者

榊井 文人（Masui, Fumito）

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：80324549

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、冬季スポーツ競技として我が国でも知られているカーリングにターゲットを絞り、「カーリング科学」の確立を長期目的として活動を行った。短期的には、国内トップチームの戦術支援と国内カーリング競技における戦術スキルの底上げを副目的として、戦術支援に必要な技術の開発に取り組んだ。

知識工学、人工知能、知能機械学、画像処理、スキルサイエンス、バイオメカニクスなど複数研究分野で実績を持つ研究者により、デジタルスコアブック、デジタルカーリング、戦術推論人工知能、スウィーピング力測定技術、ストーン位置実時間計測技術、デリバリーロボットを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、多角的観点からカーリング戦術に関わる要素を明らかにするとともに、得られた知見を元に戦術支援技術を開発し、その有効性を検証した。カーリングの戦術要素に関して継続的に取り組まれている学術研究はこれまでほとんど報告されていなかったため、学術的にも先駆的研究となった。

本研究は「カーリング戦術」を共通項として分野横断的研究を展開してきたことから、本研究の成果は既存の複数研究分野へも貢献するものである。また、研究成果はトップチーム支援だけでなく一般競技者に対してもフィードバックできるため、カーリングを新たな観点から楽しむ機会を提供し地域スポーツ振興にも貢献できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we focus on strategies and tactics in curling. By utilizing a variety of specialized knowledge and experience related to knowledge engineering, artificial intelligence (AI), image processing, skill science, and biomechanics, we developed several support technologies to improve tactical/strategic skills of curling players. These include a digital scorebook system to collect and analyze curling game information in the Big Data framework, a digital curling system to discuss tactics/strategies based on game logs between tactical reasoning AI, a sweeping power measurement system to grasp efficiency of sweeping power, a real-time tracking system to track a moving stone with infrared rays, curling delivery robot to support training of human players, and so forth.

We also conducted experiments to evaluate those technologies. As results, it is confirmed that some of the developed systems perform enough for players and teams to be used in practice.

研究分野：知能情報学

キーワード：カーリング 戦術支援 デジタルスコアブック デジタルカーリング 人工知能 ストーントラッキング
デリバリーロボット スウィーピング力測定

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ソチ五輪ではカーリング女子日本代表チームが5位入賞を果たしたものの、五輪出場権は世界最終予選にまで纏れ込んでの獲得であった。また、近年ではアジア内でも中国・韓国が急速に競技力を増しており、日本の相対的競争力低下が危惧される状況であった。

こうした状況に対応するための支援策のひとつとして科学的アプローチが考えられる。カーリング競技に対する学術研究では、ストーンの挙動などを対象とする物理要素[1]や選手のスキルやコンディションを対象とする人間要素[2]に関する研究例は見られるものの、戦術要素についてはほとんど研究事例がみられない。したがって、科学的アプローチによるカーリング戦術支援を推進すれば、国内カーリング支援に寄与するだけでなく、学術的にも先駆的試みとなり得る。

近年では、ICT(情報通信技術)を活用したスポーツ支援の試みが増加しており、今後様々な競技に浸透すると期待されている。我々は、ICTの活用はカーリングに対しても有効であり、特に競技特有の複雑な戦術立案に寄与することでトップチームの支援のみならず民間スポーツとしての魅力発掘にも繋がると考えていた。また、様々な観点からカーリング戦術を捉えることによって、これをICTにおける様々な研究タスクに分解して扱えるのではないかと考えるようになった。一方、申請者らは、知識工学、人工知能、知能機械、認知科学、バイオメカニクス、スキルサイエンスなどそれぞれ異なった分野に属しており、これら分野知識を活かしてカーリングに関連する研究を進めていた。

そして申請者らは、上記研究成果を組み合わせることによって、カーリング戦術を各専門分野の見地から多角的に分析し、客観的に考察できる技術を開発すれば、カーリング競技の戦術支援に繋がるという着想に至った。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では多角的観点からカーリング戦術に関わる要素を明らかにするとともに、得られた知見を基に戦術支援技術を開発しその有効性を検証することにした。図1に示すように、カーリング競技に関する試合情報の記録や参照、戦術立案支援、試合後の振り返りを支援する技術を開発する。記録した試合情報はクラウド上で保存・解析し、戦術シミュレーション技術やカーリングロボットの開発にも取り組む。

これらの技術を設計するために、戦術に関わる重要な要素(以降戦術要素と呼ぶ)として、(a)ショット情報や(b)ストーン配置情報、(c)エンドプランや(d)戦術選択における競技者判断、(e)競技進行における競技者動作・状態や(f)ストーン挙動、を考え、以下のように収集した各戦術要素と試合展開の関係や、要素間関係を明らかにする。

- ・ショット率に基づくチームモデルを構築し、客観的な指標を定義してチームの戦術スキルを明らかにする。同様にショット率に基づく選手モデルを構築し、客観的な指標を定義して選手の戦術寄与能力を明らかにする。

- ・ストーン配置の類似性計算モデルを設計し、対象とする局面と類似した局面を過去の試合データから検索する技術の有効性を明らかにする。

- ・競技進行における人間判断を詳細に解析し、認知科学的考察を加える。これによって得られる知見に基づき、理論的に有効な戦術判断プロセスを明らかにする。

- ・選手の動作やストーンの軌跡を画像情報やセンサー情報から収集解析し、競技スキルやクセに関わる部分を抽出する。またそれらが与える戦術への影響を明らかにする。

3. 研究の方法

全体的な構想としては、(1)カーリング競技の戦術に関する情報の収集と分析、(2)戦術要素の多角的観点からの解析技術および戦術推論技術の開発、(3)開発した個々の技術の有効性の検証、(4)実証実験による開発技術を併用した総合的な有効性の検証の各フェーズを順次進めて行くことで目的を達成する。具体的には、以下に示すような開発研究テーマを遂行した。

- ・デジタルスコアブックの開発:試合情報を電子的に記録・解析・可視化できる試合情報データベースシステムを開発する。
- ・試合情報の詳細な解析:収集した試合情報の詳細な解析に取り組む。
- ・デジタルカーリングの開発:同一レギュレーション下で複数の人工知能を対戦させるプラットフォーム環境を開発し、AI同士の対戦を通じて技術の有効性や課題を見出す。
- ・戦術推論AIの開発:大量データに基づいて有効な戦術推論を実現する人工知能を開発し、デジタルカーリング上のAI対戦を通して有効性を実証する。
- ・戦術判断の認知科学的分析:カーリング選手を対象とした認知科学的実験によって人間の戦術思考過程を解析し、人工知能へ応用する。
- ・スウィーピング力測定技術の開発:スウィーピング時の氷面に伝わるパワーを測定して客観データとして可視化する装置を開発する。
- ・ストーントラッキングシステムの開発:移動するストーンを実時間で計測して客観データ化し、軌跡として可視化するシステムを開発する。
- ・カーリングロボットの開発:ストーンを打ち出す動作(デリバリー)を再現するロボットを開発し、練習時の支援や人間競技者との対戦を目指す。

4. 研究成果

(1) デジタルスコアブックの開発

試合情報を対象として「情報の蓄積」、「情報の解析」、「情報の可視化」、「情報の共有」の処理を行う手法を「デジタルスコアブック iCE」として実装した(図1)。iCEは、複数の機能モジュールと SQL 形式で実装された試合データベースで構成される。機能モジュールには、試合記録機能、試合サマリー機能、局面一覧機能、局面検索機能が実装されている。記録された試合情報データベースを統合して保持するクラウドサーバ共有機能も実装し、転送動作とサーバ処理の検証実験によって有効性を確認した。



図1 デジタルスコアブック iCE

これにより試合情報の記録と解析を逐次的に行うことが可能となり、試合情報の記録や整理・分析にかかる人的時間的コストの大幅軽減が可能となった。これにより、記録に当たるコーチやリザーブ競技者が本来の戦術立案に専念可能となった。

iCEを用いて、世界や日本トップレベルを中心とした公式試合について、当初目標を大幅に上回る約1,000試合(約150,000ショット)分のデータベース化を達成した。

さらに、iCEは国内で競技するカーリングチームに無償で提供しており、現在までに18チームへの配布実績があり、振り返りミーティングでの使用や戦術スキルを向上させるためのケーススタディ教材として活用されている。

(2) 試合情報の詳細な解析

広範かつ緻密な戦術支援を実施するためには、データベース化された試合情報をより詳細に解析する必要がある。そこで、ショット率、得点力、ショットの種類を対象として、選手毎、チーム毎、ポジション毎、試合毎、エンド毎の傾向や特徴、要素間の相関関係を分析した。

分析の結果、従来経験的にのみ知られていた戦術ノウハウの客観的検証に成功した他、これまで知られていなかった新たな知見の発見にも成功している。例えば、図2に示すようにショットの精度と得点力の関係には概ね強い正の相関が認められる(が、その関係に影響を及ぼす要因は競技レベルによって異なること、先攻と後攻を区別した場合でも、両者の関係に有意な差が見られないこと、ポジション毎に戦術役割の違いがショット率やショット種別に反映されており、この傾向は女子においてより鮮明であること、エンド毎の得点機会においてチーム固有のパターンが存在することを明らかにしている。

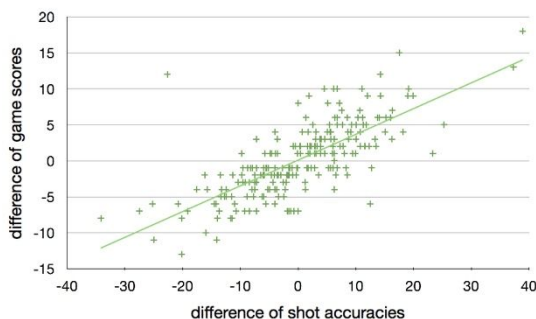


図2 任意の2チームにおけるショット率差と得点力差の相関を示す散布図

試合情報の解析手法の一部はリアルタイム情報分析プロセスとしてシステム化しており、カーリング公式大会のテレビ実況中継におけるスタッツ(統計情報)支援に活用されている。

(3) デジタルカーリングの開発

デジタルカーリングは、コンピュータ上の物理シミュレータによって氷上のストーンの動きを模倣したもので、スキルや氷の状態によってショットが正確に投げられないことを、ショットに正規乱数を付加することによって表現した。サーバクライアントシステムにより、クライアントを介してショット情報をサーバに伝え、サーバ上の物理シミュレータでストーンの軌跡が計算される。対戦の様子は、GUIによって表示される(図3)。

デジタルカーリングを活用することによって、AI同士または人間がプレイして対戦することができる。この特徴を生かし、年に数回のデジタルカーリング大会を開催してきた。これにより、不確実性を含んだカーリング戦略を議論する場が提供され、戦術推論AIの開発が進展している。

また、前述のデジタルスコアブックにて蓄積した現実の試合データベースを共有するためのプラットフォームも設計し、実装した。具体的な検証には至っていないが、データ共有が実現すれば、戦術推論AIの高度化や戦術についての議論がより進展すると考えられる。

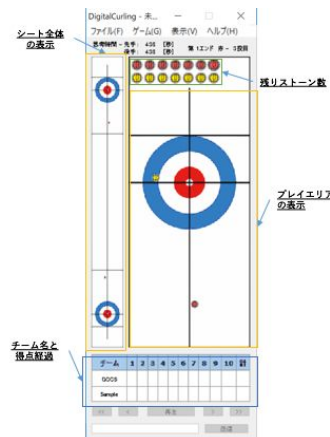


図1 デジタルカーリング

(4) 戦術推論AIの開発

ストーンの配置状態を離散化した座標で表現し、あるショットによって生成される結果に関する評価値の期待値によりショット選択を行う人工知能「じりつくん」を実装した。

「じりつくん」は、不確実性を考慮した Expectimax法を用いたゲーム木探索を利用しており、(a)ニューラルネットワークによる評価関数の学習と(b)最善手(プレイ)の探索が特徴である。(a)

では、5 層のニューラルネットワークによる学習により評価関数を自動生成する。学習では、あらかじめ作成した評価関数を用いた AI を活用する。(b)では、学習したニューラルネットワークによって局面の評価を行うことで最善手を探索する。プレイエリアを格子状に区切ったものとテイクアウト用にハウスの後ろ遠方に設定した数力所の計 3,200 の目標点(候補手)を設定し、それぞれの候補手に対する期待勝率を計算する。

「じりつくん」はデジタルカーリング大会において、現存するカーリング戦術推論 AI の中で最も高性能なシステムであることが確認されている。

(5) 戦術判断の認知科学的分析

競技中に発生し得るストーン配置画像を提示し、競技者が選択する戦術上最も有利と思われるショットの種類とその根拠の収集、競技中の映像を提示した際に競技者が示す視線情報の計測を行った。収集した情報を分析した結果、競技スキルと戦術選択の過程に興味深い相関が存在するという知見が得られた。

試合中に発生し得るストーン配置画像を提示し、状況に対する選択ショットとその思考過程を調査する認知心理学実験を実施した。戦略書に基づきデジタルカーリング AI における序盤定石の構築を行った。そして、序盤定石を導入した人工知能の強さが、デジタルカーリング条件下において向上していること、定石による待ち時間の節約効果が得られることを確認した。

(6) スウィーピング力測定技術の開発

6 軸力覚センサーを用いた計測システムを開発し、これを無線送信機に接続して小型ケースに収納したものをスウィーピングブラシのシャフトに取り付けることによって、選手の負担軽減ならびに測定時の操作性の大幅な改善を図った。Bluetooth 方式で送信された検出信号をタブレット PC で処理し、直ちに選手がスウィーピング力の波形や統計諸量を確認できるようになった(図4)。

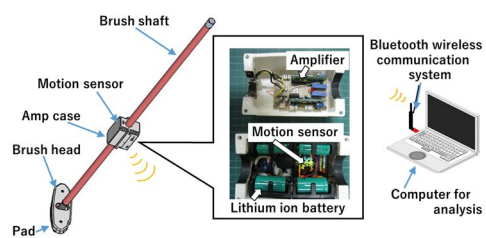


図 4 スウィーピング力測定装置

また、計測システムに加わる力のモデル化とスウィープ時の力とモーメントの計測結果の検討を進め、カーリング場での実証実験によって測定性能を検証した。計測したスウィーピング力のデータは、波形として PC 上で可視化して確認できる。このシステムは、北見工業大学カーリング部にてトレーニング用機器として活用されている。

(7) ストーントラッキング技術の開発

ショット毎に精密な試合情報分析を実施するためには、氷上を移動するストーンの正確な位置が必要となる。そこで、赤外線による氷上移動するストーンの実時間計測システムを開発した。カーリングホールでの氷上実験を実施した。キャリブレーション用の赤外線 LED モジュールをケーブルで連結したものを氷中に埋め込み、モジュールが氷に与える影響の有無、長期間低温環境下に晒された場合のモジュールの耐性、キャリブレーションにおける測定誤差と補正誤差の検証を実施した。実際に移動するカーリングストーンの計測実験を実施した結果、計測誤差は 10cm 程度であった。その後、キャリブレーション用赤外線 LED モジュールと画像解析手法を改良した結果、モジュールを氷中に敷設することなく測定精度が確保できるようになった。

(8) カーリングロボットの開発

デリバリーロボットを開発し、カーリング場での実証実験を繰り返しながら動作性改善に掛かる仕様変更と氷上のコンディションセンシングモデルの精緻化を遂行した。さらに、ロボットと競技者との対戦実験も複数回実施し、実践性能の向上にも注力した。

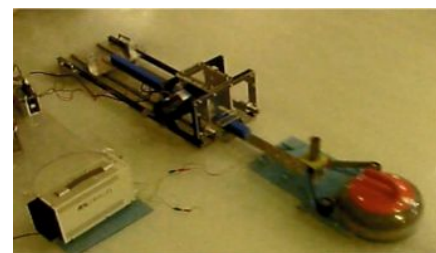


図 4 デリバリーロボット

また、カーリングストーンの滑走時の荷重分布の測定結果から、ストーン挙動を説明する物理的パラメータに関する新たな知見を得た。これにより、ロボットを制御する思考エンジンにおいて、より現実に近い挙動を再現できる可能性が示唆された。この思考エンジンは、デジタルカーリング上で稼働する戦術推論 AI としても機能しており、デジタルカーリングやデジタルスコアブックのデータベースを共有することでより精緻化できる余地がある。

その他、本研究プロジェクトが主体となり、4 つの学会会議や学術セッションを開催した。

< 引用文献 >

- [1] JENSEN, E. T, "The motion of curling rocks: Experimental investigation and semi-phenomenological description," Can. J. Phys. 82, pp.791-809,2004.
- [2] David G. Behm, "Peri-odized Training Program of the Canadian Olympic Curling

Team,” Journal of National Strength and Conditioning Association JAPAN, 16(3), pp.40-47,2009.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

Fumito Masui, Kohsuke Hirata, Hiromu Otani, Hitoshi Yanagi, Michal Ptaszynski: Informatics to Support Tactics and Strategies in Curling, International Journal of Automation Technology, Vol.10, No.2, pp.244-252, 2016. (査読有)

加藤修, 飯塚博幸, 山本雅人, 不確定性を含むデジタルカーリングにおけるゲーム木探索, 情報処理学会論文誌ジャーナル(Web), Vol.57, No.11, pp.2354-2364, 2016. (査読有)

河村隆, 竹川佳成, 山本雅人, 特集解説: カーリング研究の科学的アプローチと課題, 電気学会論文誌 C, Vol.137, No.9, pp.1137-1140, 2017. (査読無し)

榎井文人, 柳等, 伊藤毅志, 工学的アプローチによるカーリング戦術支援, 特集「冬季オリンピック・パラリンピックを支える科学技術」, 化学工学, Vol.82, No.2, pp.84-87, 2018. (査読無し)

山本雅人, 伊藤毅志, 榎井文人, 松原仁, カーリングと AI, 特別解説, 情報処理, Vol.59, No.6, pp.500-504, 2018. (査読無し)

〔学会発表〕(計 56 件)

伊藤毅志, 榎井文人, 宮越勝美, 河村隆, 山本雅人, 竹川佳成, 柳等, 松原仁: カーリングを科学するプロジェクト, 信学技報, CNR2015-2, pp.5-10, 2015.06.29, つくば市 (査読無し)

Masahito Yamamoto, Shu Kato, Hiroyuki Iizuka: Digital Curling Strategy Based on Game Tree Search, Proceedings of IEEE-CIG2015, 2015.09.01, Tainan (査読有)

Fumito Masui, Hiroki Ueno, Hitoshi Yanagi, Michal Ptaszynski: Toward Curling Informatics - Digital Scorebook Development and Game Information Analysis, Proceedings of the 2015 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (IEEE-CIG2015), pp.481-488, 2015.08.31-09.02, Tainan, Taiwan (査読有)

Yoshinari Takegawa, Proposal of a Real-time Position Measurement System for Curling Stones, Proceedings of Workshop on Curling Informatics (WCI2018), pp. 10-11, 2018.08.2-3, Kitami, Japan (査読有)

Takashi Kawamura, Katsuyuki Furihata; A study on deciding method of delivery parameters for the curling robot, Proceedings of Workshop on Curling Informatics (WCI2018), 2018.08.2-3, Kitami, Japan (査読有)

Takeshi Ito, Kengo Wakabayashi, Hitoshi Matsubara, Thinking Process in Game of Curling, Proceedings of Workshop on Curling Informatics (WCI2018), pp.16-20, 2018.08.2-3, Kitami, Japan. (査読有)

〔図書〕(計 1 件)

Fumito Masui, Hiromu Otani, Hitoshi Yanagi, Michal Ptaszynski, Study on Game Information Analysis for Support to Tactics and Strategies in Curling, Sport Science Research and Technology Support. icSPORTS 2016, icSPORTS 2017. Communications in Computer and Information Science (CCIS), vol 975. Springer, Cham, volume 975, pp.128-149,2019.03. (査読有)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

http://orion.cs.kitami-it.ac.jp/tipwiki/CurlingScience_J

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 柳 等

ローマ字氏名: Hitoshi Yanagi

所属研究機関名: 北見工業大学

部局名: 工学部

職名：准教授
研究者番号（8桁）：60344553

研究分担者氏名：伊藤 毅志
ローマ字氏名：Takeshi Ito
所属研究機関名：電気通信大学
部局名：大学院情報理工学研究科

職名：准教授
研究者番号（8桁）：40262373

研究分担者氏名：山本 雅人
ローマ字氏名：Masahito Yamamoto
所属研究機関名：北海道大学
部局名：情報科学研究科
職名：教授
研究者番号（8桁）：40292057

研究分担者氏名：松原 仁
ローマ字氏名：Hitoshi Matsubara
所属研究機関名：公立はこだて未来大学
部局名：システム情報科学部
職名：教授
研究者番号（8桁）：50325883

研究分担者氏名：竹川 佳成
ローマ字氏名：Yoshinari Takegawa
所属研究機関名：公立はこだて未来大学
部局名：システム情報科学部
職名：准教授
研究者番号（8桁）：60467678

研究分担者氏名：河村 隆
ローマ字氏名：Takashi Kawamura
所属研究機関名：信州大学
部局名：学術研究院繊維学系
職名：教授
研究者番号（8桁）：60467678

(2)研究協力者

研究協力者氏名：生田 泰宏
ローマ字氏名：Yasuhito Ikuta

研究協力者氏名：Michal Ptaszynski
ローマ字氏名：Michal Ptaszynski

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。