Vol.2016-GI-36 No.2
Vol.2016-EC-41 No.2
2016/8/5

# デジタルカーリング大会報告 2015 年度

伊藤 毅志† 森 健太郎†

本報告では、2015 年度に開催されたデジタルカーリング大会の模様と結果を報告する。デジタルカーリングは、カーリングの戦略のみを議論できる場として提案されたシステムである。このシステムを用いた大会によって、カーリングの戦略の研究は近年進んでいる。

# Report on Digital Curling Tournament in 2015 fiscal year

TAKESHI ITO† KENTARO MORI†

In this report, I introduce the results of the digital curling tournament held in the 2015 fiscal year. Digital curling is a virtual curling space playing on the computer by using physical simulator. It was proposed as a place which argues only about the strategy of curling. The competition by using the digital curling has progressed the research on strategy of curling.

## 1. はじめに

ウインタースポーツの一つであるカーリングの戦略を議論する場として、北清らは「デジタルカーリング」を提案した。このシステムは、コンピュータ上に仮想的なカーリングシートを構築し、Box2D という物理シミュレーターを用いてカーリングのストーンの挙動を再現するものである[1][2]。その後、このシステムを用いたデジタルカーリング大会が開催されるなど、カーリングの戦略を議論する場としての機能を果たすようになり[3]、カーリング AI の研究も進んでいる[4]。

ここでは、2015 年度に開催された 3 つのカーリング大会（第 1 回 GPW 杯、第 2 回 UEC 杯、第 1 回 GAT）の結果と追加で各対戦カード 100 試合ずつ行った結果も紹介し、デジタルカーリング AI の現状を概観する。

## 2. 過去のデジタルカーリング大会

初のデジタルカーリング大会は、第 1 回 UEC 杯で、2015 年 3 月 19 日に電気通信大学で開催された。コンピュータ部門と人間部門が行われ、コンピュータ部門には、表 1 のようなプログラムが出場した。

表 1 第 1 回 UEC 杯コンピュータ部門
参加プログラム一覧

| プログラム名 | 開発者 |
|---|---|
| 歩 | 大渡 勝己 |
| じりつくん | 加藤 修 |
| ChikinRamen | 岡田 雷太 |
| N197 | 北清 勇磨 |
| KC001 | 城戸 皓己 |
| TOMania | 森 健太郎 |

人間部門にも、以下の 4 チームの参加があり、対戦結果は、表 2 の通りである。

表 2 第 1 回 UEC 杯デジタルカーリング大会結果

コンピュータ部門

| プログラム名 | 歩 | KC001 | ChickenRamen | N197 | じりつくん | TOMania | 勝敗 | 順位 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 歩 | | 15(後) | 12(後) | 8(後) | 10(後) | 0(先)－バグ1 | 4-1 | 1位 |
| KC001 | 10(先) | | 1(後) | 6(後) | 3(先) | 11(後) | 1-4 | 5位 |
| ChickenRamen | 11(先) | 19(先) | | 8(先) | 6(先) | 9(後) | 3-2 | 3位 |
| N197 | 6(先) | 13(先) | 4(後) | | 5(先) | 15(先) | 2-3 | 4位 |
| じりつくん | 8(先) | 15(後) | 13(後) | 12(後) | | 12(先) | 4-1 | 2位 |
| TOMania | 0(後) | 5(先)－時切9 | 2(先)－時切8 | 2(後)－時切9 | 0(後)－時切7 | | 0-5 | 5位 |

人間部門

| チーム名 | 加藤 | チームNSN | 武藤 | DCTI | 勝敗 | 順位 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 加藤 | | 9(後) | 11(先) | 2(先)－降8 | 1-2 | 3位 |
| チームNSN | 10(先) | | 11(後) | 1(後)－降6 | 2-1 | 2位 |
| 武藤 | 5(後) | 10(先) | | 7(後) | 0-3 | 4位 |
| DCTI | 11(後) | 9(先) | 12(先) | | 3-0 | 1位 |

† 電気通信大学
The University of Electro-Communications

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GI-36 No.2
Vol.2016-EC-41 No.2
2016/8/5

表３　第１回 UEC 杯コンピュータ部門出場プログラムによる各 100 試合の勝敗結果

| | 歩 | じりつくん | N197 | ChikinRamen | KC001 | TOMania | 順位 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 歩 | | 60勝26敗14分 | 76勝16敗8分 | 98勝2敗 | 100勝0敗 | 91勝9敗 | 1 |
| じりつくん | 26勝60敗14分 | | 55勝25敗20分 | 95勝3敗2分 | 99勝0敗1分 | 100勝0敗 | 2 |
| N197 | 16勝76敗8分 | 25勝55敗20分 | | 83勝13敗4分 | 99勝1敗 | 100勝0敗 | 3 |
| ChikinRamen | 2勝98敗 | 3勝95敗2分 | 13勝83敗4分 | | 100勝0敗 | 100勝0敗 | 4 |
| KC001 | 0勝100敗 | 0勝99敗1分 | 1勝99敗 | 0勝100敗 | | 92勝6敗2分 | 5 |
| TOMania | 9勝91敗 | 0勝100敗 | 0勝100敗 | 0勝100敗 | 6勝92敗2分 | | 6 |

表４　これまでの大会と開催形式

| 大会 | 開催日 | 場所 | シミュレータ | 持ち時間 | 正規乱数 | 大会形式 | シミュレーションのマシン |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 第１回UEC杯 | 2015年3月19日 | 電気通信大学<br>西9号館AVホール | Ver.1.5 | COM部門:438秒<br>人間部門:無制限 | $\mu=0$<br>$\sigma=0.145$ | 10エンド制<br>総当り | OS：Windows 7 Professional 64 ビット<br>プロセッサ：Intel(R) Xeon(R) CPU<br>X5472 @ 3.00GHz (8CPUs)<br>メモリ：8192MB RAM |
| 第1回GPW杯 | 2015年11月6－7日 | 軽井沢合宿研修所<br>GPW会場 | Ver.1.5 | COM人間混合<br>438秒/COM<br>無制限/人間 | $\mu=0$<br>$\sigma=0.145$ | 10エンド制<br>総当り | OS：Windows 7 Professional 64 ビット<br>プロセッサ：Intel(R) Core i5@2.40GHz (2Core, 4Thread)<br>メモリ：4GB RAM |
| 第2回UEC杯 | 2015年11月22日 | 電気通信大学<br>西9号館3階301 | Ver.1.5 | COM部門:438秒<br>人間部門:無制限 | $\mu=0$<br>$\sigma=0.145$ | 10エンド制<br>総当り | OS：Windows 7 Professional 64 ビット<br>プロセッサ：Intel(R) Xeon(R) CPU<br>X5472 @ 3.00GHz (8CPUs)<br>メモリ：8192MB RAM |
| 第1回GAT杯 | 2016年3月9日 | 電気通信大学<br>東地区B棟101 | **Ver.2.3** | **COM部門のみ<br>219秒** | $\mu=0$<br>**x軸 $\sigma=0.0725$<br>y軸 $\sigma=0.2900$** | **8エンド制<br>総当り** | OS：Windows 7 Professional 64 ビット<br>プロセッサ：Intel(R) Core i7-6700K@4.00GHz (8Core)<br>メモリ：16GB RAM (DDR4 2133MHz) |

「加藤」は、コンピュータ部門でも参加した加藤修氏。「チーム NSN」と「武藤」は、電通大西野順二研究室から出場したチームで、前者は神津隆太氏を代表とする原田貴史氏、佐土瀬寛氏の３人のチーム。武藤は、武藤孝輔氏。「DCTI」は、主催者でもある伊藤毅志である。

コンピュータ部門に出場した 6 チームの総当り各 100 試合の結果が、表３である。詳細は、昨年発表したこちらの論文を参照いただきたい[3]。

## 3. 2015 年度の大会

第 1 回 UEC 杯を含め、2015 年度に行われたデジタルカーリングの大会を表４にまとめた。第 2 回 UEC 杯までは、ルール変更なく行ってきたが、第 1 回 GAT では、開催の時間的制約などもあり、持ち時間を減らし、エンド数を 8 エンドにするなどの変更を加えた。また、ショットの乱数についても変更を加えた。以前から、実際のカーリングのショットでは、横方向よりも縦方向の誤差のほうが大きいことが指摘されてきた。GAT で試験的に横方向よりも縦方向の誤差を大きくする乱数を導入して、大会に与える影響を調べてみることにした。

これは従来の $\mu=0$, $\sigma=0.145$ の乱数をやめるというわけではない。$\mu=0$, $\sigma=0.145$ の乱数は、戦略の定点観測という意味で当面続けていき、試験的にいろいろな乱数の変更を導入して、より現実に近い乱数を見つけていく予定である。

### 3.1 第 1 回 GPW 杯

第 1 回 GPW 杯デジタルカーリング大会は、2015 年 11 月 6－7 日に、GPW2015 の会場である軽井沢合宿研修所において、GPW のナイトセッションとして開催された。

参加チーム数が少なかったこともあり、人間が 3 名と AI が 2 プログラムの 5 チームでリーグ戦を行った。結果は、表５の通り、人間の大渡勝己氏が優勝した。以下、準優勝は、コンピュータの「歩」（大渡勝己氏）、3 位は人間の加藤修氏、４位は人間の森健太郎（電気通信大学伊藤研）、５位はコンピュータの「じりつくん」（北大山本研究室・加藤修氏）であった。

大渡氏は人間としても AI でも上位を独占する結果となった。AI の「歩」は第１回 UEC 杯以降、安定した強さを見せてきたが、ライバル AI の「じりつくん」には直接対戦で敗れ、２位となった。大渡氏は、AI２つを倒し全勝優勝を果たした。AI は徐々に改良され、強くなってはきているが、まだカーリングというゲームを熟知した人間プレイヤを上回るパフォーマンスは見せていないことが示された。

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GI-36 No.2
Vol.2016-EC-41 No.2
2016/8/5

表５　第１回 GPW 杯の結果

| | じりつくん | 歩 | 大渡勝己 | 加藤修 | 森健太郎 | 勝−敗 | 順位 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| じりつくん | | 6(後) | 7(先) | 8(先) | 7(後) | 1−3 | 5位 |
| 歩 | 4(先) | | 5(先) | 7(先) | 9(先) | 2−2 | 2位 |
| 大渡勝己 | 8(後) | 7(後) | | 7(先) | 8(後) | 4−0 | 1位 |
| 加藤修 | 10(後) | 6(後) | 6(後) | | 6(先) | 2−2 | 3位 |
| 森健太郎 | 8(先) | 7(後) | 4(先) | 5(後) | | 1−3 | 4位 |

赤字はAI、黒字は人間

| 優勝 | 大渡勝己 |
|---|---|
| 準優勝 | 歩 |
| 3位 | 加藤修 |

（同率のため直接対決の結果）

表６　第２回 UEC 杯コンピュータ部門の参加プログラムと本戦の結果

| プログラム名 | 開発者 | 特徴 |
|---|---|---|
| GCCS | 森 健太郎 | 第1回UEC杯優勝プログラムの「歩」をベースとして、序盤(1−4投目)は戦略書の知識を序盤データベース化し、それを用いることで、時間を節約し、中終盤で探索時間を増やす。 |
| 歩 | 大渡 勝己 | モンテカルロ木探索利用。プレイアウト中の着手の選択には方策勾配法で学習したパラメータを用いる。ルートノードはじりつくんに倣い、離散化した着手を評価して着手のずれの分布で畳み込んでいる。 |
| じりつくん | 加藤 修 | 離散化させた盤面全体の各座標を投球目標座標の候補とし、各目標座標に対して投球後の局面評価値の期待値をもとに深さ2のゲーム木探索を行って戦略を選択するカーリングAI。 |
| Ramen | 岡田 雷太 | モンテカルロ法を用いたプログラム。 |
| KC002 | 城戸 皓己 | 序中盤でエンドプランに基づいた手の選択を行うことで、探索範囲を狭め、原始モンテカルロで手を生成。 |
| 河村研カーリングロボ | 北橋 尚浩 | 最初の2投はガードストーンになるような位置を狙い、3投目以降は相手のストーンをはじくようなプレイ。 |

| | GCCS | 歩 | じりつくん | Ramen | KC002 | 河村研 | 勝敗 | 順位 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GCCS | | ○○ | ○× | ○○ | ○○ | ○○ | 9勝1敗 | 1 |
| 歩 | ×× | | ○○ | ○○ | ○○ | ○○ | 8勝2敗 | 2 |
| じりつくん | ×○ | ×× | | ○○ | ○○ | ○○ | 7勝3敗 | 3 |
| Ramen | ×× | ×× | ×× | | ○○ | ○○ | 4勝6敗 | 4 |
| KC002 | ×× | ×× | ×× | ×× | | ○○ | 2勝8敗 | 5 |
| 河村研カーリングロボ | ×× | ×× | ×× | ×× | ×× | | 0勝10敗 | 6 |

表７　第２回 UEC 杯コンピュータ部門出場プログラムの 100 戦対戦結果

| | 歩 | じりつくん | GCCS | Ramen | KC002 | 河村研 | 順位 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 歩 | | 64 − 31 | 54 − 33 | 99 − 0 | 98 − 0 | 100 − 0 | 1 |
| じりつくん | 31 − 64 | | 54 − 35 | 98 − 0 | 100 − 0 | 100 − 0 | 2 |
| GCCS | 33 − 54 | 35 − 54 | | 91 − 7 | 97 − 1 | 99 − 0 | 3 |
| Ramen | 0 − 99 | 0 − 98 | 7 − 91 | | 76 − 18 | 99 − 0 | 4 |
| KC002 | 0 − 98 | 0 − 100 | 1 − 97 | 18 − 76 | | 94 − 1 | 5 |
| 河村研カーリングロボ | 0 − 100 | 0 − 100 | 0 − 99 | 0 − 99 | 1 − 94 | | 6 |

### 3.2 第２回 UEC 杯

第２回 UEC 杯は、電気通信大学学園祭期間中の 2015 年 11 月 22 日に電気通信大学西 9 号館 301 で開催された。大会はコンピュータ部門と人間部門に分かれて行われた。

コンピュータ部門は６チームによる先後を入れ替えたリーグ戦、人間部門は６人によるトーナメントで優勝が争われた。

コンピュータ部門では、森健太郎が開発した序盤データベースを組み込んだ「GCCS」が９勝１敗で優勝した。森のプログラムは、第１回優勝の「歩」をベースに、序盤の手の選択では、カーリングの戦略について書かれた本を参考にして序盤のバリエーションを分類し、序盤データベースを作成して、それに則って手を決めた[5]。序盤では、探索を行わないため、時間の節約が可能で、節約した時間を中終盤に回すことで、プログラムを強化していた。

準優勝は、第１回 UEC 杯優勝の大渡勝己氏の開発した「歩」、３位は、北大山本研究室の加藤修氏の開発した「じりつくん」が入った。４位は、電気通信大学伊藤研の岡田雷太氏の「Ramen」、５位は、電気通信大学伊藤研の城戸皓己氏の「KC002」、６位は、信州大学河村隆研究室がカーリングロボット用に開発した「河村研カーリングロボ」とな

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-GI-36 No.2
Vol.2016-EC-41 No.2
2016/8/5

った。

第 2 回 UEC 杯コンピュータ部門に出場したプログラムを大会終了後に、すべてのカード 100 試合ずつ（先後各々 50 試合）対戦させた結果が表 7 である。

これを見ると、GCCS が大会で運良く「歩」と「じりつくん」に勝ち越し、優勝したことが判明した。しかし、上位３つのプログラムは、実力が拮抗しており、一発勝負ではどれが優勝してもおかしくないレベルの対戦であったことがわかった。

人間部門は、対戦に時間がかかるため、トーナメント戦で対戦した。その結果、北大の山本雅人先生が決勝戦で大渡勝己氏に延長の末勝利を収め、初優勝を果たした。また、３位決定戦では、北橋尚浩氏が森健太郎に勝利して、３位となった。トーナメントの結果をまとめたものは図１である。

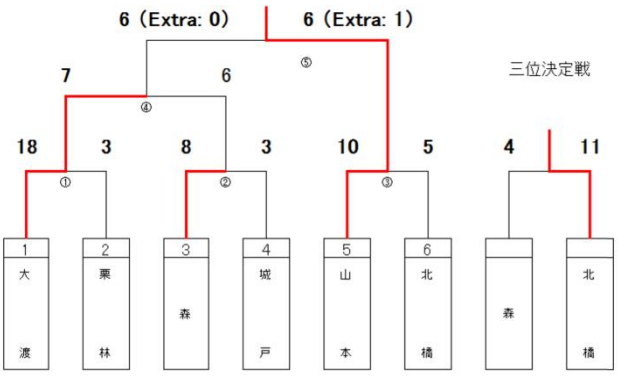



図１　UEC 杯人間部門トーナメント表

### 3.3　第１回 GAT

GAT とは、Game AI Tournament の略称で、国内のゲーム AI の大会を集約したイベントで、電通大で開催された第 36 回ゲーム情報学研究会の日程に合わせて、2016 年 3 月 9 日に開催された[6]。電気通信大学では、このイベントを今後毎年、開催していく予定である。

初の大会では、デジタルカーリング大会のほか、人狼知能大会、ミニ四駆 AI 大会、ターンベース戦略ゲーム AI コンテスト、5 五将棋大会の 6 つの大会が行われた。また、大会の他に、全大会参加者によるポスター発表会、懇親会なども行われ、盛況であった。

デジタルカーリング大会としては、レギュレーションについて、試験的に２つの変更を加えた。一つは、大会の時間的なスケジュールが短かったこともあり、AI の持ち時間を 438 秒から 219 秒に変更し、エンド数を 10 から 8 に変更した点であり、もう一つは、ショットの乱数を縦方向に大きく、横方向に小さく変更した点である。

前者の変更の意図は、日程的なスケジュールの問題もあるが、カーリングは、先攻が若干有利であることが知られていて、エンド数が少ないほどその影響が大きいと言われている。コンピュータでもその効果を確認したいという点があった。後者の変更の意図は、ショットの不確実性が実際のカーリングでは、横方向よりも縦方向の方がおおきいのではないかという指摘に対する変更案で、これによって、現実のカーリングに近づいているのかを確認したいという目的である。

時間的な制約からコンピュータ部門のみの開催となったが、７チームという過去最多の出場チームを集めた。

表８　GAT 当日の対戦結果と順位

| | 歩 | DIS | CSACE | GCCS | じりつくん | 混乱 | SUC-Ks | 勝敗 | 順位 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 歩 | | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | 5－1 | 1 |
| DIS | × | | × | × | × | × | × | 0－6 | 7 |
| CSACE | × | ○ | | ○ | × | ○ | ○ | 4－2 | 3 |
| GCCS | ○ | ○ | × | | × | ○ | ○ | 4－2 | 4 |
| じりつくん | × | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | 5－1 | 2 |
| 混乱 | × | ○ | × | × | × | | × | 1－5 | 6 |
| SUC-Ks | × | ○ | × | × | × | ○ | | 2－4 | 5 |

表９　GAT 出場プログラム同士の 100 試合対戦結果

| | 歩 | GCCS | じりつくん | CSACE | SUC-Ks | DIS | 順位 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 歩 | | 64 | 77 | 72 | 100 | 100 | 1 |
| GCCS | 25 | | 54 | 57 | 100 | 100 | 2 |
| じりつくん | 16 | 32 | | 57 | 100 | 100 | 3 |
| CSACE | 21 | 31 | 36 | | 100 | 100 | 4 |
| SUC-Ks | 0 | 0 | 0 | 0 | | 97 | 5 |
| DIS | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | | 6 |

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

当日は、全チームによる各１試合のリーグ戦で優勝を競い、表８のように「歩」（大渡勝己氏）が５勝１敗で優勝した。準優勝は同じく５勝１敗で「じりつくん」（北大山本研・加藤修氏）となった。（直接対決の勝敗で、順位が決まった）３、４位も４勝２敗で「CSACE」（電通大伊藤研・城戸皓己氏）と「GCCS」（電通大伊藤研・森健太郎）が並んだが、これも直接対決の結果から、３位 CSACE、４位 GCCS となった。以下、５位は「SUC-Ks」（信州大学河村研・北橋尚浩氏）、６位、７位は初参加の「混乱」（東北大篠原・吉仲研・Sebastian Backstad 氏）、「DIS」（東北大篠原・吉仲研・益子直氏）であった。

時間的に１試合では、十分に実力は測れないので、大会終了後に各カード 100 試合で自動対戦させてみた。その結果が、表９である。なお、「混乱」は、プログラムにバグがあり、連続対戦がうまく動作しなかったので、ここでは、結果から省いていることをご了承願いたい。

結果、もっともよい成績だったのは、「歩」で変わらないが、2 位は「GCCS」、3 位は「じりつくん」、4 位が「CSACE」であった。1 位～4 位ぐらいまでは、1 発勝負だと、乱数によって順位に変動が出る可能性があることが見て取れた。

また、先攻後攻による勝敗の差であるが、総対戦数 1500 試合について調べたところ、先攻から見た勝敗は、648 勝 789 敗 63 分で、むしろ後手の方が勝ち越していた。カーリング AI では、先攻の利をうまく活かせていないことが推察された。

カーリングを 1 エンドだけでなく、全エンドで捉える考え方は「エンドプラン」と呼ばれるが、そのような概念を持って対戦しているプログラムは、CSACE ぐらいしかなく、人間のような長期的展望を持った戦略は立てられていない。

## 4. おわりに

2015 年度には、3 つの大会が開催され、デジタルカーリングシステムも安定的に動作していることが確認された。大会の運営に足るシステムであることが判明した。反面、いくつか課題も見えてきた。以下に列挙してみる。

**１） 対戦形式について**

GAT や UEC 杯の結果に見るように、1 試合だけでは、不確定性を含むゲームの優劣を競うのには、問題があることがわかってきた。後に 100 試合やるにも、相応の時間を必要とする。

興行としては、その場で対戦を見て盛り上がる楽しみもあるので、現在の持ち時間の形式のものも捨てがたい。持ち時間をもっと短くして、少なくとも 100 試合ずつぐらい行って優劣を競う大会も併催することを検討していきたい。

**２） レギュレーションについて**

GAT で乱数を少し変更したレギュレーションを導入してみたが、大会の順位にどれほど影響を与えたのかについての検証は、まだ行えていない。これについては、今後とも検証を行っていきたい。また、カーリングの経験者に使わせてみて、実際のカーリングの感覚への近さを評価させる実験も行ってみたい。

**３） シミュレーターの改良について**

デジタルカーリングのシミュレーターには、幾つか問題点も指摘されている。物理シミュレーターの挙動の整合性を保つために、座標系が実際のカーリング場と違っている点、Box2D のシミュレーター上の衝突計算の問題として、複数の物体が同一タイムステップ内でコンタクトしている場合、挙動が不自然になってしまう点、などである。

これらの諸問題の解決は、適当なタイミングで行うべきであるが、これを行うとレギュレーション自体の大きな改変になるので、現在レギュレーション検討委員会を立ち上げて、修正について議論し、大会の運営への影響を最小限にするために、時期を定めて、一斉に修正する予定である。

他にも、スイープをどのように導入するか、ショットのウエートの上限値が実際のカーリングよりも小さい問題など、細かい修正点も上がっている。レギュレーションを常に見直し、より実際に近いカーリングシミュレーターに修正する努力は今後とも続けていきたい。

なお、今年度も以下の日程で大会を行う予定があるので、紹介しておく。

**○第 2 回 GPW 杯デジタルカーリング大会**

**日時：2016 年 11 月 4 - 5 日**

**場所：箱根セミナーハウス（GPW ナイトセッション）**

**○第３回 UEC 杯デジタルカーリング大会 in GAT**

**日時：2017 年 3 月上旬（日程確認中）**

デジタルカーリング大会の最大の大会である UEC 杯は、電通大の学園期間中ではなく、3 月の GAT 内で行うこととした。UEC 杯は GAT に収斂されるので注意されたい。別途、ミニ大会を開催することも検討中であるが、あくまで UEC 杯の前哨戦という位置づけにする予定である。その場合は、デジタルカーリングの HP で告知するので、参照されたい。

今後も、デジタルカーリングの大会を通して、この分野の AI 技術の進歩に寄与していきたい。

**謝辞**

本研究は JSPS 科研費 15H02797 の助成を受けたものです。

## 参考文献

[1] 北清勇磨、伊藤毅志、“カーリングの戦略を支援するシステムの提案と構築”、ゲームプログラミングワークショップ 2013 論文集、pp. 154-161 (2013).

[2] 北清勇磨、岡田雷太、伊藤毅志、“デジタルカーリングサーバの提案と紹介”、情報処理学会ゲーム情報学研究会報

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan

告、GI-31(2)、pp.1-5 (2014).
[3] 伊藤毅志、森健太郎、北清勇磨、“第１回 UEC 杯デジタルカーリング大会報告”、情報処理学会ゲーム情報学研究会報告、GI-34(2), pp.1-6 (2015).
[4] 加藤修、飯塚博幸、山本 雅人、“デジタルカーリングにおけるゲーム木枝刈りの有効性検証”、エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集, pp.412-417 (2015).
[5] Gabrielle Coleman, “Introduction to Curling Strategy”, ISBN 9781941164020 (2015).
[6] Game AI Tournament のページ：
http://minerva.cs.uec.ac.jp/gat_uec/wiki.cgi?page=FrontPage
[7] デジタルカーリング HP：
http://minerva.cs.uec.ac.jp/curling/wiki.cgi

ⓒ 2016 Information Processing Society of Japan