

# デジタルカーリングシステムの提案と構築

北清 勇磨      伊藤 毅志  
電気通信大学 情報・通信工学専攻

本研究では、不確定なゲームとしてカーリングに注目した。そして、戦略を議論するために、ストーンの物理的な動きを模倣するシステムを構築した。本報告では、コンピュータ上に実際に構築した「デジタルカーリングシステム」を紹介し、このシステムを利用させたカーリングプレイヤーに対する聞き取り調査の結果を示す。

## Proposal and construction of digital curling system

Yuma KITASEI      Takeshi ITO

Department of Communication Engineering and Informatics,  
The University of Electro-Communications

In this research, we focused on curling as an indefinite game. In order to argue the strategy of curling, we constructed a system imitating the physical motion of stones. In this report, we introduce “digital curling system” actually constructed on computer first. Then, we show the result of the interview to the curling players using this system.

### 1. はじめに

近年、様々なスポーツで IT 技術を用いた戦術支援が行われている[1]。しかし、カーリングは氷上のチェスと言われるほど戦略性の高い競技であるにも関わらず、実際のカーリングでは気温やそれまでのプレーによる氷の状態の時間変化、選手の技量やコンディションなどを考慮しなくてはならないことが多く、それらの要素を排除した一般的な戦略を議論することが難しい。そのためにカーリングにおける一般的な戦略の科学的な研究が遅れているという現状がある。

この問題を解決するために、物理シミュレーションを用いた理想的なカーリングコンディションを提案し、戦略のみを切り出して議論できる場を提供しようと考えている。

### 2. カーリングとは

#### 2.1 カーリングのルール

カーリングは図 1 に示すようなカーリング専用の

氷のリンク（シートと呼ばれる）で行われるウィンタースポーツである。4 人ずつ 2 チームで行われ、約 40 メートル先に描かれたハウスと呼ばれる円を目がけて各チームが交互に 8 回ずつストーンを氷上に滑らせる。すべてのストーンを投げ終わると得点をカウントして終了する。ストーンをティーと呼ばれる円の中心により近づけたチームが得点を得る。この一区切りをエンドと呼び、試合では 10 エンドを行い総得点で勝敗を競う。

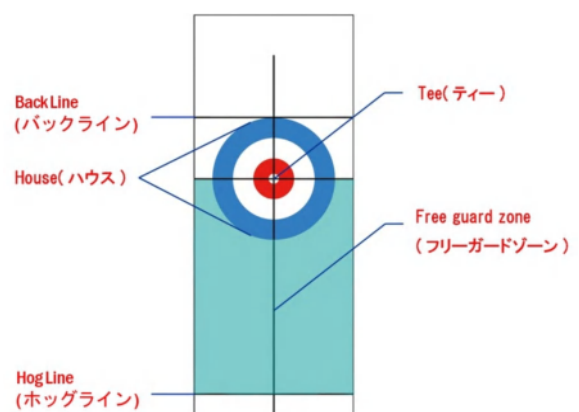


図 1 カーリングのリンク

### 3. デジタルカーリングシステム

本研究で作成したデジタルカーリングシステムについて述べる。

#### 3.1 シミュレーター

局面を表す構造体とショットを表す2つのパラメータ( $\mathbf{v}$ ,  $\omega$ )を与えると次の局面を生成するカーリングシミュレーターを作成した。

##### 3.1.1 シミュレーターの座標系

このシミュレーターではカーリングのリンクの左上を基準(0, 0)としており、横がX軸で縦がY軸になっている。

リンクやハウスのサイズは実際のカーリングのリンクと同じ大きさになっており、シミュレーターで扱う数字の単位はm(メートル)とした。

##### 3.1.2 物理シミュレーション

シミュレーターにはBox2Dという物理エンジンを用いており、物理演算によって次の局面を生成する[a]。本システムでは厳密な物理シミュレーションは行わずに、戦略解析のための必要最低限の範囲で演算を行っている。

実際のカーリングでは、ショットを投げるたびにリンクの氷の状態は変化していく。そのため試合の前半と後半ではリンクの摩擦などの状態は大きく変わってくるが、シミュレーションを単純化するためにこのシステムでは氷の摩擦を一定として扱った。

また、スウィーピングについても今回は扱わないこととした[b]。スウィーピングは、投げたストーンを狙った位置に誘導するためのものであるので、ショットの不確実性にある程度吸収できると考えた。

##### 3.1.3 ショットの表現

ストーンを投げることをショットと呼ぶ。ショットは初速度ベクトル $\mathbf{v}$ と回転方向 $\omega$ の2つのパラメータ( $\mathbf{v}$ ,  $\omega$ )で表す。初速度ベクトルは、ハックからのベクトルである[c]。

カーリングでは、まっすぐなショットというものは基本的には存在せず、必ず左右どちらかにカーブするものである。そしてそのカーブの軌跡はストーンの回転角速度によらないとされているため、システムで扱う回転角速度の大きさを一定とし、 $\omega$ が正の値だと右カーブ、負の値だと左カーブとした。

##### 3.1.4 ショットの不確実性と乱数

不確実性については、受け取ったショットのパラメータ( $\mathbf{v}$ ,  $\omega$ )に乱数を加えシミュレーションを行っている。乱数には正規乱数を利用しており、ショットの強さベクトル $\mathbf{v}$ のx方向とy方向それぞれに対し乱数の値を加えている。

これはスウィーピングによる影響やショットミスなどを考慮したものである。

#### 3.1.5 カーブについて

ベストなコンディションのリンクでは、8フット円とティーラインの交差する点を狙ってショットを行うとストーンがティーへ行くと言われている[d][e]。本システムではそれを基準にカーブの曲がり具合を定めている。

ストーンの回転によるショットの影響については1フレームごとに演算を行っており、ストーンの進行方向に対し常に垂直方向に力が加わるようにしてある。

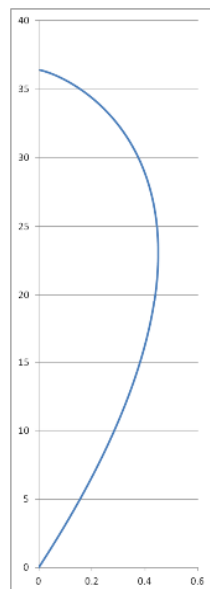


図2 カーブの軌跡

この計算方法では、ストーンの回転による垂直方向の力を定数として扱っているため、ストーンが落ちてきた場合に相対的に垂直方向の力の影響が大きくなっていく。そのため実際のカーリングのショットと同様、前半に比べ後半に行くほど曲がるようになっていく。

図2は本システムのストーンの軌跡を図示したものである。縦と横の比が同じではないのでかなり大きく曲がっているように見えるが、この図から前半よりも後半のほうが大きく曲がっていることが確認できる。

このことから、ある程度実際のカーリングのストーンの動きを再現出来ているのではないかと考えられる。

##### 3.1.6 シミュレーターが提供している関数

シミュレーターを公開すると同時に、このシステムを使い思考エンジンを作る際に必要となるいくつかの関数を提供している。

###### (1) Simulation

現在のゲームの局面とショットの強さベクトルを与えると次の局面を返してくれる関数。

###### (2) CreateShot

この関数はドローショットを生成したい場合に用いる関数で、ドローショットを止めたい位置を与えると、ショットの強さベクトルに変換して返してくれる関数[f]。

###### (3) CreateHitShot

この関数はヒットショットを生成したい場合に用いる関数で、ヒットショットを通過させたい座標と、ショットの強さを与えると、ショットの強さベクトルに変換して返してくれる関数[g]。

d) 8フット円とは、直径が8フット(約2.44m)の円のこと。ハウスの白い円を指す。

e) ティーラインとは、ハウスの中心をセンターラインと垂直に横切るライン。

f) ドローショットとは、ハウス内にストーンを止めるショット。ここでは狙った位置に止めるショットの意味で用いている。

g) ヒットショットとは、投げたストーンを既にあるストーンにぶつけるショット。

a) Box2D: <http://box2d.org/>

b) スウィーピングとは、投げたストーンの進路前をブラシで掃く行為。

c) ハックとは、ストーンを投げる時に使うけり台のこと。

開発者は思考エンジンを作成する際には、これら 3 つの関数を利用しショットを生成することになる。

### 3.2 サーバー

上記で説明したシミュレーターを持つデジタルカーリングサーバーをネットワーク上に作成した。サーバーではデジタルカーリングの対戦を管理し、プレイヤーから送られてきたショットのデータから次の局面を生成し、各プレイヤーに新しく生成された次のゲームの状態を返す。

このデジタルカーリングサーバーに接続することによりコンピュータ同士の対戦だけではなく、コンピュータと人間、人間同士のデジタルカーリングの対戦もできる。

### 3.3 クライアント

クライアントはこちらで用意している通信プロトコルに準拠していれば誰でも作成することができる。

また、こちらでクライアントを提供しており、そのクライアントを利用することで描画やサーバーとの接続が簡単に行えるようになっている。開発者は GUI を作成する必要がなく、思考エンジンのみを作成すればよく、簡単に開発を行える。

### 3.4 思考エンジン

思考エンジンは、石の位置情報や現在の石の投数や得点といった情報から次にどこに投げるのかというショットの情報を返すものを作るだけで作成することができる。

### 3.5 通信プロトコル

今回このシステムを作成するにあたって、新たに通信プロトコルを作成した。詳しいプロトコルの内容については本研究室で管理しているホームページ上で公開しているが、基本的には POSITION コマンドと SETSTATE コマンドで局面の情報が送られ、その局面に対し最善と考えられるショットを BESTSHOT コマンドで返すだけの簡単な仕様となっている。

#### 3.5.1 通信ログの例

Server : CONNECTED

↑ 正しく接続できたことの確認メッセージ

Client : LOGIN ID0001 1234 Player01

↑ 左から順に ユーザーID パスワード 表示名

Server : LOGIN OK

↑ 正しくログインできたことの確認メッセージ

:

Server : ISREADY

↑ 対戦開始前の準備ができたかの確認

Client : READYOK

↑ 対戦の準備ができた合図

Server : NEWGAME Player01 Player02

↑ ゲーム開始の合図

(先手後手両方のクライアントから READYOK が

返ってきたらゲームを開始する)

Server : POSITION 0.000000 0.000000 0.000000  
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000  
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000  
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000  
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000  
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000  
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000  
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000  
←1 投目  
から 16 投分の石の位置座標  
( $x_1 y_1 x_2 y_2 \dots x_{16} y_{16}$ )

Server : SETSTATE 0 1 10 0

↑ ゲームの情報(左から順に 現在何投まで投げ終わったか 現在何エンド目か 最終エンドは何エンドか 手番はどちらか (0 : 初回先手だった方の手番 1 : 初回後手だった方の手番))

Server : GO

↑ クライアントに思考を開始してもらう合図 (手番のクライアントのみに送るメッセージ)

Client : BESTSHOT -0. 105485 -2. 846352 0

↑ 左から順に ショットの強さの  $x$  ベクトル ショットの強さの  $y$  ベクトル 回転方向 (0 なら右, 1 なら左カーブ)

Server : RUNSHOT -0. 106634 -2. 848441 0

↑ サーバーにより乱数が加えられ、実際に局面を進める上で使われたショットのデータ

Server : POSITION 2. 237748 7. 471060 0. 000000  
0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000  
0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000  
0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000  
0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000  
0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000  
0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000  
0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000  
0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000 0. 000000

Server : SETSTATE 1 1 10 1

:

以降ゲーム終了まで繰り返す

:

Server : SCORE -2

↑ エンドごとの得点

Server : GAMEOVER LOSE

↑ ゲーム終了の通知と結果

思考を開始する GO コマンドの直前にプレイヤーの残り時間を伝えるコマンドは追加予定である。

## 4. システムの評価

### 4.1 聞き取り調査

作成したシステムをカーリング経験のある 16 人の方に聞き取り調査を行ったところ以下の意見が得られた。

#### 4.1.1 調査結果

##### 1) ショットのカーブや反発の仕方について

・ 不自然さを感じない : 10 人

- ・カーブに関して不自然さを感じる：4人
- ・反発に関して不自然さを感じる：1人
- ・カーブがあまり曲がらないと感じる：11人

## 2) システムを使うことによって戦略の勉強に役立つか

- ・カーリングの戦略の勉強に役立つ：15人

## 3) 他にどのような機能があると良いか

- ・投球数がわかり難い：5人
- ・テイクショットの入力方法がわかり難い：7人
- ・ショットの成功率を表示して欲しい：2人
- ・ゲーム局面を編集できる機能が欲しい：2人
- ・カーブの曲がり幅を調整できる機能が欲しい：2人

### 4.1.2 考察

聞き取り調査の結果からこのシステムを使ってカーリングの戦略の勉強をするためには、様々なシチュエーションをシミュレートできるような局面の編集機能や、カーブの種類を増やす必要があるということがわかった。また、使用者の能力に合わせた乱数の調整やショットの成功率の表示を行うことでより実践的な戦略の勉強に役立つということもわかった。今後システムを改良していく上で、これらの意見をできるだけ取り入れていきたい。

また、今後デジタルカーリングを発展させるために、作成したシステムで大会を継続して行っていきたいと考えている。その為に、現状抱えているプラットフォーム依存の問題やシミュレートの高速化の問題にも取り組んでいく必要がある[2]。

## 4.2 デジタルカーリング大会の開催結果

本システムを使い第1回 GPW 杯デジタルカーリング大会を開催した。

### 4.2.1 大会の結果

参加者は AI(A, B)が2つ、人間(C~F)が4人の計6チームの参加があった。大会は総当たり戦で行われ、10エンドの総得点で勝敗を競った。開催した大会の結果を以下に示す。

	A (AI)	B (AI)	C	D	E	F
A (AI)		13(後)	8(後)	—	6(先)	5(後)
B (AI)	8(先)		0(先)	2(後) - 降8	3(後)	4(先)
C	9(先)	20(後)		6(後)	5(先) - 降8	11(先)
D	—	22(先)	8(先) - 延11		6(先)	2(先) - 降4
E	13(後)	21(先)	12(後)	7(先) - 延11		12(後)
F	11(先)	21(後)	6(後) - 降9	8(後)	2(先) - 降7	

図3 大会結果

大会結果に書かれている数字は勝敗が決まるまでの総得点である。横のプレイヤーが縦のプレイヤーに対し勝った試合を青で色付けし、負けた試合を赤で色付けしている。

この大会では人工知能(A, B)は、人間プレイヤー(C~F)に勝つことはできなかった。そして、Eのプレイヤーが全勝で優勝した。Eのプレイヤーだけがカーリングの熟達者であり、カーリングの知識や戦

略を使うとデジタルカーリングでも強くなるということが分かった。

### 4.2.2 考察

大会結果からカーリングの知識があるとデジタルカーリングでも強くなるということがわかった。カーリングが強いとデジタルカーリングでも強くなるのであれば、デジタルカーリングで強くなれば実際のカーリングでも戦略面において強くなれると言えるかもしれない。

大会で優勝したEのプレイヤーは、最初の数エンドを負えるとデジタルカーリングのシートが曲がりにくいシートだということを把握し、それ以降のエンドにおいて曲がり難いシートでの戦略を取るようにはしていた。また、相手の戦略の傾向を分析しており、相手の戦略に応じた作戦を立てていた。このシートの状態と相手の戦略に応じた戦い方がEのプレイヤーを優勝に導いたのだと思われる。

デジタルカーリングを使用してシートの状態と相手の戦略に応じた戦い方を勉強することができれば、カーリングの戦略を学ぶ教材として大いに役立つと考えられる。そのためには、まず現在のシステムではカーブが一種類しか存在しないという問題を解決するべきである。ゲームごとにシートの状態が変わるだけでも、今回のゲームはどんなシートなのかを判断するところから始めなければならず、実際のカーリングのゲーム性により近づくのではないかと考えられる。

## 5. おわりに

今後システムを改良していくと同時に強い思考エンジンの開発も進めていきたい。人間の思考よりも優れた思考エンジンを作成し、いままで定石とされてきた考えが本当に正しいのか、システムを用いた学習支援など、作成したシステムを利用しカーリングの競技レベルの向上に資する研究に繋げていきたい。

## 6. 参考文献

- [1] 藤本晋也, 石丸出穂 (2011): スポーツ活動におけるIT機器活用に関する研究1-バレーボール競技で実践される活用事例を基に-, 仙台大学紀要 43(1), 43-58, 2011-09-30
- [2] Julian Togelius (2014): How to run a successful game-based AI competition, IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games, 99(1), 1943-068X, 2014-10-28

第9回 E&C シンポジウムに投稿された本論文の著作権は、著者にあります。  
著者に無断の複製は厳禁です。複製などのご希望は、著者に直接御連絡下さい。

エンターテイメントと認知科学研究ステーション

代表連絡先

〒182-8585 調布市調布ヶ丘1-5-1

電気通信大学 情報理工学研究科 伊藤毅志

uec-ito@mbc.nifty.com

042-443-5370