

二人零和有限確定完全情報ゲームの 先手勝利盤面生成手法に関する研究

小川遼^{†1} 小泉康一^{†2} 大槻正伸^{†2}

概要: 二人零和有限確定完全情報ゲームにおいて、先手が最善手を打った場合必ず勝つような途中盤面が存在する。そのような先手必勝盤面を利用し、詰め将棋のようなパズルゲームとして遊ぶことができる。本研究では、既存ゲームの先手必勝盤面をゲーム木により生成し、その有用性を検証する。今回はゲーム木が複雑になりすぎない既存のゲームの「QUARTO!」「マンカラ」「びよんびよん将棋」を選択し、先手必勝盤面を生成した。また、それ以外のゲームでも生成アルゴリズムが有用なことを示すため、「ゲーム管理システム」「ゲーム解析システム」「先手必勝盤面生成システム」を分けて開発し汎用性を持たせた。結果、それぞれのゲームにおいて先手必勝盤面を生成することができたが、問題点も見つかった。最大の問題は処理に必要な時間である。例えば「マンカラ」では、ゲーム木の枝数がゲーム終了直前まで減らないため、解析時間が膨大になる傾向がある。現状のままでも十分に動作はできるが、このようなゲームに対してより良い盤面生成システムにするためにはゲームの終局盤面の特徴を把握するような専用アルゴリズムがあると良く、そのような導入もできるシステムにしている。これらの検証から、今回作成した盤面生成システムには改良の余地があると言える。

キーワード: 二人零和有限確定完全情報ゲーム, ゲーム木, 先手必勝盤面

1. はじめに

近年、コンピュータの発展に伴いオセロや将棋、囲碁といった二人零和有限確定完全情報ゲーム^[1]の解析が多く行われている。将来的にはそれらの完全解析が行われ、必ず勝つまたは引き分けになる手筋が発見される可能性がある。そうなった場合、それらのゲームは手筋を覚えるだけになってしまいゲーム性が失われるだろう。

そこで、本研究では既存の二人零和有限確定完全情報ゲームにおいて、詰め将棋のような先手の最善手によって必ず先手が勝つような途中盤面を生成し、パズルゲームとして楽しむことができるゲームを作成することを目標とする。

研究の具体的な内容としては、まず既存の二人零和有限確定完全情報ゲームの中から盤面総数の少ないゲームを選択する。それらに対してゲーム木の解析を用い、先手必勝盤面を検索する。さらにこの手のゲームにおけるゲーム木を用いた手法の有用性について考察する。

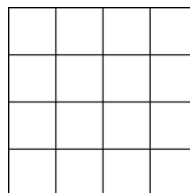
2. ゲームの概要

本研究では複数のゲームを扱っている。それぞれについて説明する。これらのゲームは全て二人零和有限確定完全情報ゲームである。

2.1 「QUARTO!」の概要

「QUARTO!」^[2]では、図 1(a)のように 16 マスの 4×4 盤面と、16 個の駒を使う。プレイヤーが交互にターンを行うことでゲームが進行する。プレイヤーで共有する 16 個の駒を交互に置いていき、勝利条件を満たしたプレイヤーが「QUARTO!」と宣言することで勝利となる。各 16 個の駒は、それぞれ 4 つの要素を持つ。その要素とは、駒の「背

が高いか低いか」「形が丸いか四角いか」「色が黒いか白いか」「穴が空いているか空いていないか」である。ターンプレイヤーは相手プレイヤーからまだ盤に置かれていない駒を 1 つ受け取り、駒の置かれていないマスのいずれかにその駒を置く。駒が縦、横、斜めのいずれかの一並びで駒が 4 つ揃い、4 つの駒に共通した一つ以上の要素が同じような配置がされた盤面の時、ターンプレイヤーが「QUARTO!」と宣言することで勝利となる。本研究では、「QUARTO!」と宣言することのできる盤面になった時点で、そのターンプレイヤーの勝ちとする。全てのマスに駒が置かれたとしても勝者が決まらない場合、引き分けとなる。本研究においては、駒の情報を 2 進数 (4 ビット) で表し、各桁を要素とする。例えば、「0000」と「1000」はそれぞれ駒を表しており、この 2 つの駒において 3 要素が同じである。図 1(a)は初期盤面を表しており、図 1(b)は実際のゲームで決着がついた盤面の例である。色の付いているマスの全ての駒の、上から 1 ビット目が 0 である。すなわち、このビットに対応する駒の要素が全く同じで揃っている。



残りの駒
0000,0001,0010,0011,0100,0101,
0110,0111,1000,1001,1010,
1011,1100,1101,1110,1111

(a) 初期盤面

^{†1} 福島工業高等専門学校 電気工学科
Electrical Engineering,
National Institute of Technology, Fukushima College

^{†2} 福島工業高等専門学校 電気電子システム工学科
Electrical and Electronic System Engineering,
National Institute of Technology, Fukushima College

1001			0000
	1111	1101	0001
		1000	0010
0111	0110		0101

(b) 終局盤面の1つ

図1 QUARTO!の盤面

2.2 「マンカラ」の概要

「マンカラ」には複数のルールが存在するが、本研究ではボードゲーム「マンカラ・カラハ」^[3]に収録されている「マンカラ・ベーシック」を「マンカラ」と呼称する。「マンカラ」では、図2(a)のように2行×6列のポケット(マス)に加えて、左右の両端に列を追加するようにゴールポケットが1つずつあり、合計14のポケットがある。各行の6つのポケットはそれぞれ先手後手のプレイヤーが所有する。図2(a)にあるように、初期盤面では、ゴールポケット以外のポケットに4つずつ駒を入れる。マス内に書かれている数字は各ポケットに入っている駒の個数である。以後、マンカラの盤面を表す際にはこのようにして表す。駒が自分の所有するポケットから全て無くなった時、勝利となる。プレイヤーが交互にターンを行うことでゲームが進行する。ターンプレイヤーは駒の入っている自分のポケットを一つ選ぶ。選ばれたポケットから駒を全て取り出し反時計回りに次のポケットへ駒を順に一つずつ入れていく。その際、ゴールポケットで駒をちょうど入れ終わったプレイヤーは、もう一度手番を行うことができる。ゴールポケットで駒をちょうど入れ終わることができれば、何度でも手番を行うことができる。本研究では、手番がプレイヤー間で移った場合に手数を増やすため、手番を何度も繰り返した場合でも、ターンプレイヤーが変わらなければ1手とみなす。ゴールポケットは、どちらのプレイヤーも選択できないため必然的に駒が溜まっていきプレイヤーのポケットの駒が減っていく。

図2(b)は初期盤面から1手進んだ盤面である。上の行が先手、下の行を後手のポケットとする。先手が色のついたポケットを選択し、選択されたポケットから駒を全て取り出し反時計回りに次のポケットへ駒を順に一つずつ入れていった。

図2(c)は実際のゲームで決着がついた盤面の例である。色のついた列において駒が無くなった為、先手の勝利となる。

0	4	4	4	4	4	4	0
	4	4	4	4	4	4	

(a) 初期盤面

1	5	0	4	4	4	4	0
	5	5	4	4	4	4	

(b) 初期盤面から1手進んだ盤面

25	0	0	0	0	0	0	21
	1	1	0	0	0	0	

(c) 終局盤面の1つ

図2 マンカラの盤面

2.3 「びよんびよん将棋」の概要

「びよんびよん将棋」^[4]では、図3(a)のように3行×9列の盤面と、プレイヤー1人につき9個の合計18個の駒を使う。1列目から3列目までが先手、7列目から9列目までが後手の陣地である。図3(a)の初期盤面では、それぞれのプレイヤーの陣地に自分の駒を隙間なく並べる。先手の駒を“先”，後手の駒を“後”と表記する。以後、びよんびよん将棋の盤面を表す際にはこのようにして表す。プレイヤーが交互にターンを行うことでゲームが進行する。ターンプレイヤーは自分の駒を一つ選択する。選択された駒は、1マス前へ進む。移動後のマスに駒が存在する場合は、もう1マス前へ進む。その移動先に駒が存在する場合も同じ処理を行う。全ての処理後に駒が盤面を飛び出してしまう場合はその駒を動かすことはできない。敵の駒のみでなく、自駒を飛び越えることも可能である。普通の将棋と異なり、相手の駒を取ることはできない。普通の将棋で駒を取るような手は、このゲームにおいて「駒を飛び越す」という動きに変わる。自分の駒が全て相手の陣地に到達した時点でそのプレイヤーの勝利となる。

図3(b)は初期盤面から1手進んだ盤面である。先手が色のついたマスにあった駒を選択し、その駒が味方の駒を飛び越え3マス前へ進んだ。

図3(c)は実際のゲームで決着がついた盤面の例である。先手の駒が全て後手の陣地に到達しているため、先手の勝ちとなる。

先	先	先				後	後	後
先	先	先				後	後	後
先	先	先				後	後	後

(a) 初期盤面

先	先	先				後	後	後
	先	先	先			後	後	後
先	先	先				後	後	後

(b) 初期盤面から1手進んだ盤面

後		後	後			先	先	先
後	後	後				先	先	先
後	後	後				先	先	先

(c) 終局盤面の1つ

図3 びよんびよん将棋の盤面

3. 先手必勝盤面の概要

ある途中盤面が与えられた時、それについて先手が最善手を打つと後手がどのような手を打っても必ず先手が勝つようなものを「先手必勝盤面」と呼ぶことにする。これは、ゲームの流れの上で初期盤面から辿ると次の手番が後手の手番である途中盤面であっても、与えられた時点から1手目を打つプレイヤーを先手とみなす。また、手数は相手の手番に移る際に増えるものとする。そのため、盤面の更新をした後でも手番が映らない場合、手数は増えない。

ある先手必勝盤面において、相手の手数を含み先手が勝つまでの最短の手数を X である時、そのような盤面を「 X 手詰め盤面」と呼ぶことにする。必ず1手目を先手とすると奇数手目は先手、偶数手目は後手の手番であるため、 X の値は必ず奇数となる。また、今回は二人零和有限確定完全情報ゲームを扱うため先手必勝の盤面が決まると X の値は一意に定まり有限である。

今回考える先手必勝盤面は、初期盤面からゲームの流れに沿って進めた場合、絶対に現れることのない盤面も含む。一般的な詰め将棋と同様である。例えば、マンカラではゲームがいくら進んでもゴールポケットも含み、全てのポケットの駒の総数は48個で変わることはないが、先手必勝盤面の初期盤面においては駒の総数が48個より小さいか大きい場合がある。

4. ゲーム木の解析

本研究では、先手必勝盤面の生成とその確認にゲーム木のアルファベータ法⁵⁾による解析を用いた。今回「ある盤面においてどちらのプレイヤーも最善手を打った時、先手が勝つことができるか」と「ある盤面においてどちらのプレイヤーも最善手を打った時、先手が勝つもしくは引き分けることができるか」を求める解析を行った。前者を先手必勝解析、後者を後手必勝解析と呼ぶことにする。

アルファベータ法では盤面情報を評価値に変換しその大小で解析を簡略化しながら最善手を探す。今回、最善手は必ず勝つ手筋である必要があるため、終局盤面の評価値を、先手の勝ちになるような盤面ならば1、後手の勝ちになるような盤面ならば0、引き分けになるような盤面では先手必勝解析の場合は0、後手必勝解析の場合は1とした。終局盤面ではない盤面 X の評価値は、ゲーム木を用い、以下のように求める。

- 盤面 X を示すノードを根に、各辺の長さを1とし、

根からの距離が偶数であるノードを先手盤面ノード、根からの距離が奇数であるノードを後手盤面ノードとする。

- 先手盤面ノードの評価値は、そのノードの子ノードを順に探索し、その内1つでも評価値が1のノードがあれば評価値1、それ以外ならば評価値0とする。
- 後手盤面ノードの評価値は、そのノードの子ノードを順に探索し、その内1つでも評価値が0のノードがあれば評価値0、それ以外ならば評価値1とする。
- ある子ノードの評価値を参照した際、その子ノードの評価値が分からない場合、その子ノードの評価値を求めるために、上記の探索を再帰的に行う。
- ノードの評価値が確定した場合、未探索の子ノードがあっても、そのノードの子ノードの探索を中断する。(アルファカット、ベータカット)

盤面 X を表すノードは必ず先手盤面ノードとするため、その評価値は、子ノードを順に探索し、その内1つでも評価値が1のノードがあれば評価値1、それ以外ならば評価値0として求められる。

盤面 X の評価値が1ならば、先手必勝解析の場合、盤面 X においてどちらのプレイヤーも最善手を打った時、先手が勝つことができる。後手必勝解析の場合、盤面 X においてどちらのプレイヤーも最善手を打った時、先手は勝つもしくは引き分けることができる。盤面 X の評価値が0ならば、先手必勝解析の場合、盤面 X においてどちらのプレイヤーも最善手を打った時、先手は勝つことができず、後手が勝つもしくは引き分けることができる。後手必勝解析の場合、盤面 X においてどちらのプレイヤーも最善手を打った時、後手は勝つことができる。

図4は先手必勝解析によるゲーム木の解析の概略図である。点(●)内の数字は探索の順番を示す。数字が書いていない点は探索が行われていないことを示す。薄く色のついている点は評価値が1、黒い点は評価値が0であることを表している。葉は終局盤面であるため、評価値が1の葉は先手が勝利となる盤面、評価値が0の葉は後手が勝利となる盤面と引き分けになる盤面である。図4のようにして根のノードの盤面において、先手必勝盤面であることがわかる。

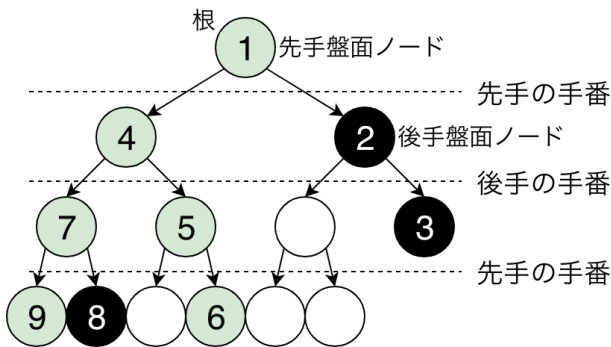


図 4 ゲーム木の解析の概略図

今回、任意手先までゲーム木の解析を行うことがある。これは任意手先の次の手で遷移する盤面を引き分けとみなすことで実現している。

先手必勝盤面であることを確認するには先手必勝解析を用いる。また、何手詰め盤面であるかを確認するには $2n+1$ 手先 ($n=0,1,\dots,A$) (A は適当な時間内で解析ができる範囲での任意の定数) までの先手必勝解析を n の値を増やしながら順次行い、最初に先手が必ず勝つと解析できた時点でその手数の手詰め盤面となる。

5. 先手必勝盤面の生成システム

先手必勝盤面を生成するにあたって、多くのゲームで容易に用いることができるように機能ごとにシステムを分割し、ゲームの特性ごとに入れ替えることの出来るようにした。それぞれのゲームで引き分けの有無、連続ターンの可否などで生成、解析の手順が変わる。また、ゲーム木の大きさによっては、解析が困難になる事も想定される。ゲームごとにシステムを 1 から再構成するよりも、既存のシステムを使う事で開発の時間的コストが低いため、システムを分割した。

システムはそれぞれ「ゲーム管理システム」「ゲーム解析システム」「先手必勝盤面生成システム」である。それぞれについて説明する。

「ゲーム管理システム」は、ゲームの進行を制御する。盤面の保存、1 ターンの入力に応じた盤面の更新、保存された盤面で可能な全ての手筋の出力の機能を持つ。このシステムはゲームのルールごとに変える必要がある。

「ゲーム解析システム」は、ゲーム木の解析を行う。任意手先までの、先手必勝解析と後手必勝解析の機能を持つ。

「先手必勝盤面生成システム」では、上記 2 つのシステムを組み合わせ先手必勝盤面の生成と出力を行っている。本研究では 2 つのアルゴリズムを作成しゲームの特性によって対応できるようにした。1 つ目は、ある程度ランダムな盤面を生成し、それが先手必勝盤面であるかを確認する方法である。完全にランダムな盤面を生成すると、先手必勝盤面ではない盤面が多く生成されるため、ある程度方針を固めランダムな盤面で先手必勝盤面であるかを確認する。これを生成法 A と呼ぶ。2 つめは常に $2n+1$ 手先 ($n=0,1,$

\dots,A) (A は適当な時間内で解析ができる範囲での任意の定数) までを解析し、自分が勝てる手筋を優先して相手が勝つことのできないような手筋をランダムに選択する仮想プレイヤーを二人用意し、ゲームをプレイさせる。この状態でゲームに決着が付きどちらかのプレイヤーが勝った場合、そこから $2n+1$ 手戻すことで $2n+1$ 手詰め盤面を生成できる。これを生成法 B と呼ぶ。

QUARTO! では生成法 B を使用し、マンカラ、びよんびよん将棋では生成法 A を使用した。

QUARTO! で生成法 A を使用した場合、ある程度ランダムな盤面を生成する段階でゲームが決着している場合や、先手必勝盤面でないことが多く生成されることから有用ではないことが分かった。

マンカラ、びよんびよん将棋では、ゲームの進行に伴うプレイヤーの選択枝の減少が少なく、ゲーム木が QUARTO! と比べ大きく解析に時間がかかり困難である。そのため、生成法 B によって先手必勝盤面の生成をすることができた。マンカラにおいては先手の所有するポケットのみをランダムな駒の数にし、先手の手番のみでゲームが終わるような先手必勝盤面を生成した。びよんびよん将棋においては、動かすことのできる駒の数を制限することで解析時間を短縮し先手必勝盤面を生成した。

6. 先手必勝盤面の生成結果

先手必勝盤面の生成システムにより、多くの先手必勝盤面を生成することができ、QUARTO! においては 7 手詰め盤面までを、マンカラにおいては 1 手詰め盤面までを、びよんびよん将棋においては 15 手詰め盤面までを 1 つあたり 5 秒以内で生成することができた。

図 5 は QUARTO! の 3 手詰め盤面、図 6 はマンカラの 1 手詰め盤面、図 7 はびよんびよん将棋の 5 手詰め盤面である。これらの先手必勝盤面の解き方については付録に示す。

「1100」を渡された

			0000
	1111	1101	0001
			0010

残りの駒
 0011, 0100, 0101, 0110, 0111,
 1000, 1001, 1010, 1011, 1110

図 5 QUARTO! の先手必勝盤面の例

0	4	2	2	4	0	0	0
	4	4	4	4	4	4	

図 6 マンカラの先手必勝盤面の例

後	後		先	先		後		先
後	後	後				先	先	先
後	後	後				先	先	先

図 7 びよんびよん将棋の先手必勝盤面の例

7. 生成結果の考察

QUARTO!については、おおよそ期待通りの盤面生成を行った。QUARTO!の7手詰め盤面を解くことは人間には難しく、十分な長さの先手必勝盤面を得られた。

マンカラについては1手詰め盤面までしか生成することができなかった。これは、マンカラの性質上、連続して自分のターンを行うことができるため、ゲーム木が大きくなりすぎてしまい解析に時間がかかりすぎてしまうことが問題である。

びよんびよん将棋については、ゲーム木の解析に時間が多くかかるため駒の動ける個数を制限した。そのため盤面の多様性に欠けた。

8. 新生成手法による先手必勝盤面

マンカラにおいては、ゲーム木の解析に多くの時間がかかることから、先手の手番で終わる先手必勝盤面を生成した。これは、今回のマンカラゲームにおける「1手」の定義をターンプレイヤーが移るまでに実行できる全ての行動としたため、ゲーム木の幅が広くなりすぎて解析が困難なためである。そのため、木の深さを増やすことができず後手の手番へ移るような先手必勝盤面を生成出来なかった。そこで、生成される先手必勝盤面により多様性を持たせるよう、相手の手番へ移ることも考慮した新たな先手必勝盤面生成手法を開発した。

開発した手法は、先手の手番が終了後、任意回数後手へ手番を許すが、後手の手番を行わず先手の手番へ遷移させる手法である。これにより後手の手番を解析せず、後手へ手番が移ることを考慮する先手必勝盤面の生成に成功した。

図8は新生成手法によって生成したマンカラの3手詰め盤面である。この盤面では一度後手へ手番を移らせる必要がある。

0	0	1	0	0	0	0	0
	4	4	4	4	4	4	0

図8 新生成手法によるマンカラの先手必勝盤面

9. まとめ

選択したゲームにおいて先手必勝盤面を多く生成することに成功した。しかし、ゲーム木の大きさによっては駒の配置や先手必勝盤面の解き方に制限をかけて解析を単純化しなければならなかった。今後はそのような制限なしに先手必勝盤面を生成できる手法を模索しつつ、様々な形式のゲームにおいても先手必勝盤面を生成したい。

参考文献

- [1] 神保 秀司, :完全解析結果を使ったペンタゴが先手必勝であることの証明, 研究報告アルゴリズム (AL) 2016-AL-156 巻4号, pp.1-4, 情報処理学会, 2016.
- [2] Gigamic, :QUARTO! 付属ルールブック, 2007.
- [3] 幻冬舎, :マンカラ・カラハ 付属ルールブック, 2018.
- [4] 幻冬舎, :びよんびよん将棋 付属ルールブック, 2018.
- [5] 小谷善行, :ゲーム計算メカニズム -将棋・囲碁・オセロ・チェスのプログラムはどう動く-, コロナ社, 2010.

付録

付録A.1 各ゲームにおけるマスの表し方

付録Bでの各ゲームにおける盤面上のマスの表し方について図9から図11に示す。図9はQUARTO!, 図10はマンカラ, 図11はびよんびよん将棋の各マスに対応する番号を表している。

0	1	2	3
4	5	6	7
8	9	10	11
12	13	14	15

図9 QUARTO!の各マスに対応する番号

13	0	1	2	3	4	5	6
	12	11	10	9	8	7	

図10 マンカラの各マスに対応する番号

0	1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24	25	26

図11 びよんびよん将棋の各マスに対応する番号

付録B.1 QUARTO!の先手必勝盤面の例の解法

図5のQUARTO!の先手必勝盤面の例の解法を図12に示す。この先手必勝盤面は5手詰め盤面であり、後手はどのような手を打っても先手の勝ちを逃れることはできない。解法は図12だけでなくいくつか存在するため、図12はそのような解法群のうちの1つである。

				0000	
		1111	1101	0001	
				0010	

「1100」を渡された
 残りの駒
 0011, 0100, 0101, 0110, 0111,
 1000, 1001, 1010, 1011, 1110

(a) 初期盤面

先手が駒 1100 をマス 0 へ置く

「1110」を渡す

1100			0000
	1111	1101	0001
			0010

残りの駒
0011, 0100, 0101, 0110, 0111,
1000, 1001, 1010, 1011

(b) 1 手目 (先手)

後手が駒 1110 をマス 15 へ置く

「0011」を渡す

1100			0000
	1111	1101	0001
			0010
			1110

残りの駒
0100, 0101, 0110, 0111,
1000, 1001, 1010, 1011

(c) 2 手目 (後手)

先手が駒 0011 をマス 4 へ置く

1100			0000
0011	1111	1101	0001
			0010
			1110

残りの駒
0100, 0101, 0110, 0111,
1000, 1001, 1010, 1011

(d) 3 手目 (先手)

図 12 図 5 の解法

付録 B.2 図 6 のマンカラの先手必勝盤面の例の解法

図 6 のマンカラの先手必勝盤面の例の解法を図 13 に示す。この先手必勝盤面は 1 手詰め盤面である。後手の手番に移ることがなく、先手が手番を繰り返すことで勝利することができる。本研究では、手番がプレイヤー間で移った時に手数を増やすため、このような盤面は 1 手詰め盤面となる。

0	4	2	2	4	0	0	0
	4	4	4	4	4	4	0

(a) 初期盤面

先手がマス 1 を選択する

1	5	0	2	4	0	0	0
	4	4	4	4	4	4	0

(b) 1 手目 1 動作目 (先手)

先手がマス 3 を選択する

2	6	1	3	0	0	0	0
	4	4	4	4	4	4	0

(c) 1 手目 2 動作目 (先手)

先手がマス 2 を選択する

3	7	2	0	0	0	0	0
	4	4	4	4	4	4	0

(d) 1 手目 3 動作目 (先手)

先手がマス 1 を選択する

4	8	0	0	0	0	0	0
	4	4	4	4	4	4	0

(e) 1 手目 4 動作目 (先手)

先手がマス 0 を選択する

5	0	0	0	0	0	0	1
	5	5	5	5	5	5	1

(f) 1 手目 5 動作目 (先手)

図 13 図 6 の解法

付録 B.3 びよんびよん将棋の先手必勝盤面の例の解法

図 7 のびよんびよん将棋の先手必勝盤面の例の解法を図 14 に示す。この先手必勝盤面は 5 手詰め盤面であり、後手が動かすことのできる駒は 1 つしかないため、後手の動きは固定されている。

後	後		先	先		後		先
後	後	後				先	先	先
後	後	後				先	先	先

(a) 初期盤面

先手がマス 4 の駒を選択

後	後		先		先	後		先
後	後	後				先	先	先
後	後	後				先	先	先

(b) 1 手目 (先手)

後手がマス 6 の駒を選択

後	後		先	後	先			先
後	後	後				先	先	先
後	後	後				先	先	先

(c) 2 手目 (後手)

先手がマス 3 の駒を選択

後	後			後	先	先		先
後	後	後				先	先	先
後	後	後				先	先	先

(d) 3 手目 (先手)

後手がマス 4 の駒を選択

後	後		後		先	先		先
後	後	後				先	先	先
後	後	後				先	先	先

(e) 4 手目 (後手)

先手がマス 5 の駒を選択

後	後		後			先	先	先
後	後	後				先	先	先
後	後	後				先	先	先

(f) 5 手目 (先手)

図 14 図 6 の解法

付録 B.4 図 8 の新生成手法によるマンカラの先手必勝盤面の解法

図 8 のマンカラの先手必勝盤面の例の解法を図 15 に示す。この先手必勝盤面は 3 手詰め盤面である。後手の手番では後手の動作は行わず、すぐに先手の手番へ移る。

0	0	1	0	0	0	0	0
	4	4	4	4	4	4	

(a) 初期盤面

先手がマス 1 の駒を選択

0	1	0	0	0	0	0	0
	4	4	4	4	4	4	

(b) 1 手目 (先手)

後手の動作は行わない

0	1	0	0	0	0	0	0
	4	4	4	4	4	4	

(c) 2 手目 (後手)

先手がマス 0 の駒を選択

1	0	0	0	0	0	0	0
	4	4	4	4	4	4	

(d) 3 手目 (先手)

図 15 図 8 の解法