

シルエットパズルゲームを題材としたプログラミング教材の開発と教育効果

井上 泰仁¹ 小保方 幸次² 橘 理恵³ 福永 修一⁴ 松野 良信⁵ 黒木 祥光⁶ 小嶋 徹也⁷
出江 幸重⁸ 佐藤 秀一⁹ 奥田 遼介¹⁰ 寺元 貴幸¹¹

1. はじめに

1990 年より、高専生のプログラミングスキルや問題解決能力を涵養するために全国高等専門学校プログラミングコンテスト（以下、高専プロコン）を開催している。これまでに、28 回の開催実績があり、高専生の情報技術教育の場として定着している。2008 年からは、NPO 法人高専プロコン育成協会（NAPROCK）が設立され、正式な国際大会と併催されている。2017 年 10 月に、山口県周南市文化会館にて開催された大会で 28 回目を迎える。

高専プロコンは、課題部門、自由部門、そして、競技部門の 3 つの部門から構成されている。課題部門や自由部門は、高専生のアイデアと発想力で、独創的な作品製作を行っている。近年、高精度なセンサーやデバイスなども提供されており、課題部門や自由部門の作品に取り込まれている。競技部門は、毎年、テーマが異なり、時間、精度、そして最良解探索などで競うため、我々は、その競技システムの開発に取り組んでいる [1-8]。第 5 回大会から競技部門が導入され、画像処理、パズル、計量、暗号化通信などのテーマを出題し、選手が製作するプログラムの優劣を競っている（表 1）。

第 28 回大会では、競技部門「おいでませ、ホントの魅力へ」と題し、昨年に続き「ピース」を「わく」にはめるパズルを使用した対抗戦で、パズルを完成させる「早さ」と「正確さ」を競った。本稿では、高専プロコンにおけるシルエットパズルを題材とした競技部門のシステム・教材の開発、大会の様子などについて報告する。

2. 競技部門「おいでませ、ホントの魅力へ」

2.1 概要

競技部門「おいでませ、ホントの魅力へ」の概要について説明をする。1 つの「わく」と複数の「ピース」が与えられ、「わく」の内にすべての「ピース」を並べる

シルエットパズルが今年の競技である（図 1）。以下に、競技ルール、進行手順などを示す。

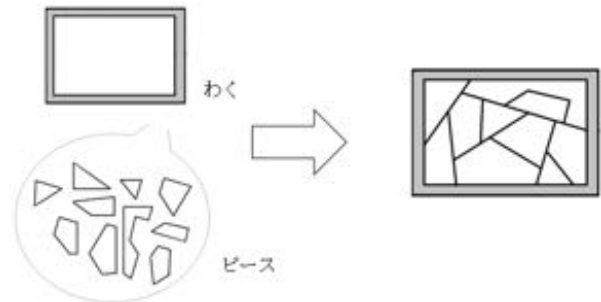


図 1: 競技概要

グリッド 1/4cm 間隔に横に 101 個、縦に 65 個ずつ正方形に配置された格子をグリッドといい、格子の交点をグリッド点と呼ぶ。グリッド点は、列番号が左から右に 0,1,2,...,100 と、行番号が上から下に順に 0,1,2,...,64 と番号付けされ、任意のグリッド点は列番号と行番号の組で特定される。

パズル グリッド上の任意の二点を結んだ複数の直線領域を分割したものをパズルと呼ぶ。すべての直線はグリッド点上以外で互いに交わることはない。パズルは 1 つ以上の領域を形成していて、すべての領域は連続している。

「ピース」 パズルの 1 つの領域と同型に中密度繊維板 (MDF) を切りだしたものを「ピース」と呼ぶ（図 2）。「ピース」は多角形で、凹多角形を含むが、領域内に穴が開いたようなものは含まれない。また、「ピース」は時計回りにグリッド点の列・行番号で表される。ただし、端点を除く直線上にあるグリッド点は含まない。1 つの「ピース」は最大で 16 個のグリッド点で構成される。1 辺の長さは 1cm（4 グリッド幅）以上で、縦 1cm（4 グリッド幅）、横 1cm（4 グリッド幅）の正方形を内包する。「ピース」の数は最大で 50 個である。すべての問題に縦 1.5cm（6 グリッド幅）、横 1.5cm（6 グリッド幅）の正方形の「ピース」が含まれる。

「わく」 「わく」は「ピース」と同じ材質の縦 21cm、横 29.7cm の長方形の板で、内側にパズルの外周と同型

¹ 舞鶴工業高等専門学校 電気情報工学科
² 一関工業高等専門学校 未来創造工学科
³ 大島商船高等専門学校 情報工学科
⁴ 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科
⁵ 有明工業高等専門学校 創造工学科
⁶ 久留米工業高等専門学校 制御情報工学科
⁷ 東京工業高等専門学校 情報工学科
⁸ 鳥羽商船高等専門学校 制御情報工学科
⁹ 長岡工業高等専門学校 一般教育科
¹⁰ 株式会社 Preferred Networks
¹¹ 津山工業高等専門学校 総合理工学科

表 1: 競技部門のテーマと概要

開催回数 (主管校)	テーマ	概要
第 5 回 (富山)	ノートパソコンと GPS を用いた面積測定	公園を計測
第 6 回 (函館)	イメージクリップボードを用いた体積測定	回転体を計測
第 7 回 (北九州)	鬼さんこちら ビツとなる方へ	目隠し迷路
第 8 回 (長岡)	あっちの花をピッ! キング	LAN を使った物探し
第 9 回 (明石)	ひょっこりプロコン島	正 8 面体サイコロパズル
第 10 回 (呉)	ピースで peace	多角形タイリング
第 11 回 (鈴鹿)	みえつかくれつ箱運び	リアルな倉庫番
第 12 回 (鶴岡)	孫・まご・積木のおかたづけ	リアルな 3D パズル
第 13 回 (石川)	以心伝心 DNA	4 色ボール通信
第 14 回 (東京)	達人に隙なし	展開図タイリングパズル
第 15 回 (新居浜)	記憶のかけら	写真でジグソーパズル
第 16 回 (米子)	ハートを捜せ!	画像検索
第 17 回 (茨城)	片付けマス	ピンポン球陣取り
第 18 回 (津山)	石垣工務店	入札パズル
第 19 回 (福島)	フラッと収集車	燃費最適化
第 20 回 (木更津)	何色? サッと見 発見伝	パズル: クラスター形成
第 21 回 (高知)	水瓶の恵みー緑と水のネットワークー	リアルタイム陣取り
第 22 回 (一関・舞鶴)	よみがえれ, 世界遺産	画像復元
第 23 回 (有明)	数えなサイ	サイコロを数える
第 24 回 (旭川)	じょっぴん通信	サイコロ通信
第 25 回 (一関)	キオクのかげら II	ジグソー&スライドパズル
第 26 回 (長野)	石畳職人 Z	順序付きタイリング
第 27 回 (鳥羽商船)	ホントの魅力がミエますか?	シルエットパズル
第 28 回 (大島商船)	おいでませ, ホントの魅力へ	シルエットパズル

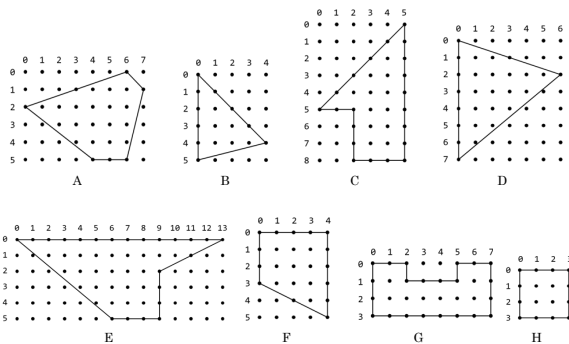


図 2: 「ピース」

の穴が空いている。幅は最も狭い部分でも 2cm 以上である。「わく」には「ピース」を過不足なくすべて並べることができる。図 3 に「わく」の例を示す。「ピース」と「わく」は材質の変形や加工などにより 1 辺の長さが最大で 0.2cm の誤差を生じることがある。また、「ピース」及び「わく」は、制作の過程で若干の焦げ目などがつくことがあり得る。

出題方法 問題として、「わく」と「ピース」の実物が配布される。さらに、「わく」と全ての「ピース」の形状情報と一部の「ピース」の配置情報を提供する。配置情報は、「ピース」を重複することなく 4 つ程度に分割し、順にレベル 1, レベル 2, …, とする。各レベルで

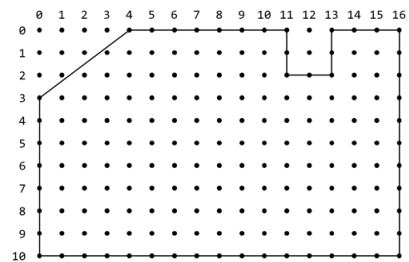


図 3: 「わく」

提供する「ピース」数の割合は試合ごとに異なり、全レベルを統合しても全「ピース」の配置情報が得られるとは限らない。配置情報を提供する割合は試合により異なるが、少なくとも「ピース」数で 80% の配置情報を提供する。これらの情報は競技者の判断により使用することができるが、使用すると各情報に定められた点数分の減点がされる。配置情報は下位のレベルの情報から順に使用しなければならない。上位の情報だけを使用した場合でも、下位の情報も使用したものとする。配置情報のレベル数や各情報の点数などは本選当日試合開始前に伝える。データは、形状情報および各配置情報ごとに紙に印刷された QR コードで配布する。QR コードは英数字モードで、誤り訂正レベル Q (25%) で符号化した。また、最も大きいもので型番 20 (セル数 97×97) を使用し、1 つの QR コードに格納できない場合は複数の QR

コードに分割する。

形状情報および配置情報の書式 形状情報には、はじめに「ピース」数と各「ピース」の情報が記載され、続いて「わく」の情報が記載されている。「わく」および「ピース」1個の情報は『:』で区切られ、最初に「わく」や「ピース」を構成するグリッド点数、次にグリッド点の列番号と行番号の組がスペースで区切られて時計回りに順に記載される。この時、「ピース」はパズルでのグリッドと一致しているとは限らず、任意に平行移動、回転、反転するが、変換後もすべての頂点がグリッド点上に存在する。また、グリッドに左寄せや上寄せされているとは限らず、始点も左上から始まるなどの規則性があるとは限らない。複数のQRコードに分割する場合はQRコード毎にそのQRコード記載されているピース数が最初に記載され、続いて各「ピース」の情報が記載されている。「ピース」情報の途中で分割されることはない。最後のQRコードの末尾に「わく」の情報が記載されている。配置情報では、形状情報と同様な形式で、はじめに「ピース」数が記載され、続いて各「ピース」のパズル上でのグリッド位置を記載する。形状情報例を図4に配置情報例を図5に示す。

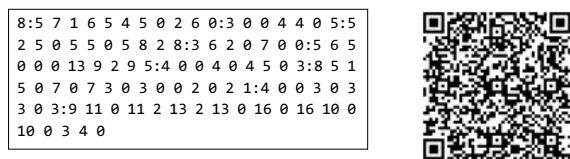


図 4: 形状情報の例

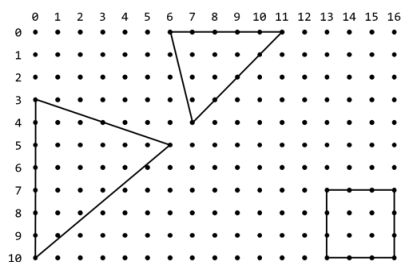


図 5: 配置情報 (レベル1)

回答方法 回答は実際に「わく」内に「ピース」を並べることで回答する。回答の完了は選手からの申告により決定する。パズルが完成していなくても、回答を完了することができるが、回答の完了を申告するとそれ以降は、「ピース」や「わく」に触れることはできない。

競技ブース 奥行き 45cm 幅 180cm の机を 2 つ並べた奥行き 90cm 幅 180cm のテーブルを設置する。このテーブルとテーブルの後方 100cm のエリアを競技ブースとする。選手は競技中に競技ブース外に移動することはできない。回答台は回答台の中心がテーブルの右端から 60cm の位置に設置する。競技ブース外に落とした「ピース」は無効とする。競技ブース内であっても所有チームが不確定な場合など、無効となることがある。

制限時間 問題ごとに回答の制限時間を定める。各試合の制限時間は 10~30 分とする。各試合での制限時間は、本選当日試合開始前に連絡する。

試合の進行手順 以下の手順で、試合の進行を行った。

- 1 試合は 1 問で行い、最大 18 チーム対戦とする。
- 競技ブースに予め「わく」、「ピース」と紙に印刷された形状情報と配置情報が設置されている。
- 試合開始とともに「ピース」を回答台に並べることができる。
- 試合開始後、競技者の判断により形状情報と配置情報を随時活用できる。
- 「ピース」を並べ終わったら回答台のフタをしめて回答終了を宣言する。

順位決定方法 勝敗判定は並べた回答にて、以下の優先順位で決定する。

- 全ての「ピース」を並べたチームが上位
- 全ての「ピース」を並べたチームが複数チームある場合は、減点が少ないチームが上位
- 減点と同じ場合は、回答時間が早いチームが上位
- 回答時間も同じ場合は、サイコロの目で勝負
- 全ての「ピース」を並べられなかったチームが複数チームある場合は、サイコロの目で勝負

2.2 パズルと回答台

パズルの図案は、錦帯橋、岩国城、ふぐ、角島大橋などの山口県内の名所や次年度の開催地である徳島県を代表するものとした (図 6)。大島商船高等専門学校 技術支援センター 堀 義則氏にご協力をいただき、パズル (図 7) のピースと枠をレーザーカッターを用いて製作した。また、選手が回答を提出する台については、前年度のものを改良し、新たなものを製作した (図 8)。



図 6: パズルの図案の例

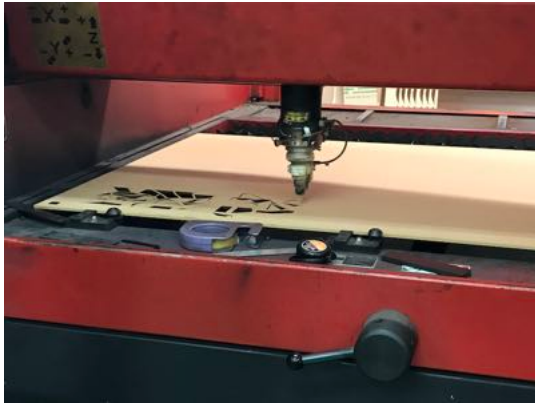


図 7: パズルの加工



図 8: 回答台

3. コンテストの実施とパズルの解法

3.1 大会概要

全国の高専生からパズルの解法を記載した応募書類を提出してもらい、予選審査を通過した 62 チームが出場した。また、NAPROCK 国際プログラミングコンテストも併催されており、ハノイ国家大学（ベトナム）、モンゴル科学技術大学（モンゴル）、ペトロナス工科大学（マレーシア）、香港 VTC（香港）、豊橋技術科学大学の学生が出場した。

各チームが、PC の他に、スキャナ、プロジェクタ、タブレット端末などを利用した独自のシステムを持参した（図 9、図 10）。



図 9: スキャナでパズルのピースを読み取るチーム



図 10: 結果をプロジェクタで投影するチーム

3.2 解法

東京都立産業技術高等専門学校品川キャンパスのチーム・てんば組が開発したシステム、および、パズルの解法について、「入力」、「計算」、「出力」の 3 点に分けて説明する。

3.2.1 入力

実物の「わく」と「ピース」が与えられているため、これらをデータ化する必要がある。

2 値化 データ化では、A4 スキャナを用いて問題のデータ化を行う。最初に取り込んだ画像は OpenCV を用い

て2値化する。しかし2値化を行う際、図11のようにピースの焦げ目やゴミ等でノイズが出てしまう。そこで、ぼかし処理や大津の手法 [9] を組み合わせるフィルタを通すことで、図12のようにノイズを軽減させている。

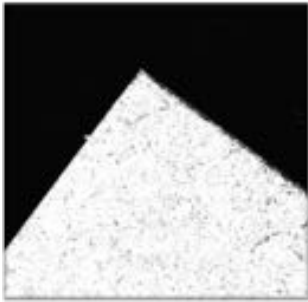


図 11: フィルタ前の2値画像



図 12: フィルタ後の2値画像

辺の検出 切り出された各ピースの2値画像は「ハフ変換」および「最小二乗法」を用いた近似を行うことでピースの境界線の検出を行う。検出した複数個の直線の交点を「ピース」の頂点とみなし相対座標からデータ化を行う。検出した交点及び直線は以下の図13の通りである。

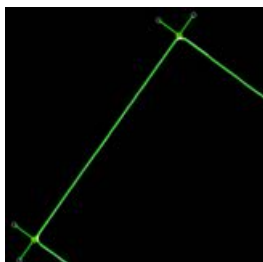


図 13: 検出した交点と線分

切り代の考慮 今回渡されるピースは、レーザーカッターで切断しているため、切り代の影響で設計された大きさより一回り小さくなっている。そのため、辺を検出後に辺をピースが大きくなる方向に移動させることで、切り代の誤差をできる限り少なくした。また、この際に動かす量は問題に必ず入るピースである1.5cm×1.5cmの正方形のピースから推定した。

グリッドへのフィット ピースの各頂点がグリッド上に乗っている。この段階では、データ化したものはまだグリッドにフィットさせていないことにし、ピースを回転させそれぞれの頂点から一番近いグリッドへの距離の二乗を誤差として、最小の誤差となるグリッドへフィットさせた。

3.2.2 計算

様々なピースの形があり置き方も複数通りあるので、探索の高速化をする必要がある。

探索アルゴリズム 探索の基本として「ピース」を様々な角度で配置し幅優先探索を行う。「わく」の頂点やすでに配置した「ピース」の頂点に対して、配置する「ピース」の頂点を合わせ、その頂点を中心に様々な角度で「ピース」を配置する。ただし、その際にピースの各頂点が、グリッドに乗っている角度のみを選ぶようにした。これらを一つの遷移とした幅優先探索を行うが、探索領域が大きいため現実的な時間で解くことが出来ない。そのため、ピースの配置状態から評価値を出しビーム探索を用いた。

評価値 ビーム探索では、評価値をピースの配置にそれぞれ付ける必要がある。

角度の評価値 ピースには、90度などよく含まれる角度が存在する。図14の左のよく存在する角度を組み合わせた形は、最適解かどうか分からない。一方、図4の右の特徴的な角度を組み合わせた形は、最適解になる可能性が高そうなのがわかる。そこで、後者の評価をあげるようにした。

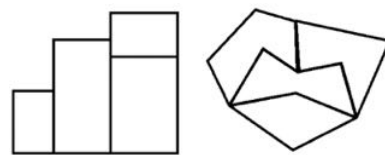


図 14: 角度の評価

置くことの出来ない頂点 ピースを枠に配置していくと、図15の赤い頂点のように、残りのピースの中からどのピースも配置することの出来ない頂点が出てくる。このような頂点があると最適解でない確率が大きいので、評価を下げるようにした。

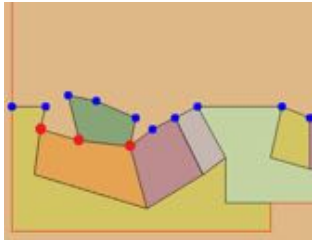


図 15: 置くことの出来ない頂点

3.2.3 高速化

図形を扱うため、幾何の計算を多く行わなくてはならない。例えば、図 16 のようにピースを配置する際に、他のピースと衝突してしまい、現実では配置出来ない場合が出てくる。このような時には、衝突判定を行うことで回避することが出来る。しかし、正確な衝突判定には計算に時間がかかってしまう。そこで、高速化を行う必要が出てくる。

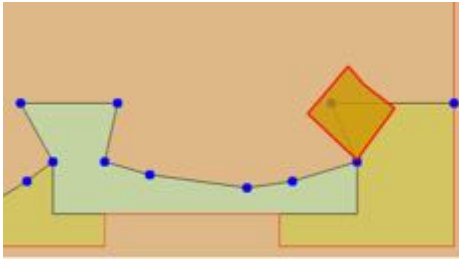


図 16: ピースの衝突

バウンディングボックス 図 17 のように多角形を囲む最小の長方形を求めて、2つの長方形の衝突判定を行った。衝突していない場合は衝突する可能性が無いため、計算量の多い多角形の衝突判定を省くことができる。ただし、長方形が衝突した場合は図 17 の下部のように、正確な衝突判定を行わなくては判定できない。つまり、図 18 のケースの場合、緑の枠で囲まれたピースと赤の枠で囲まれたピース同士は、バウンディングボックスが衝突しているので、細かい衝突判定を行う必要がある。しかし、緑の枠で囲まれたピースと青の枠で囲まれたピースは、バウンディングボックスが衝突していないので細かい衝突判定は行わなくても衝突していないことがわかる。

回転角度の前計算 完成後のパズルのピースがグリッド上に乗っているという制約がある。そのため、ピースは一定の角度でしか回転をさせることができない。その回転角度を探索を始める前に計算しておくことで、探索の際に高速に回転をさせることができる。

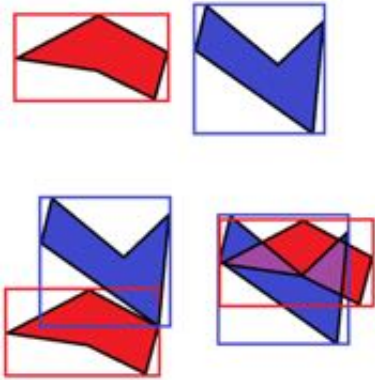


図 17: 多角形のバウンディングボックス

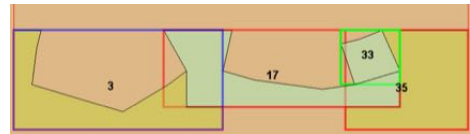


図 18: バウンディングボックスでの判定

3.2.4 出力

解を求めることが出来た際には、PC上で図 19 のようにリスト表示し、そこから人間が最適な解を選択する。選択した解は図 20 のように表示され右側から配置したいピースを選択することで、スキャン画像の対応したピースをハイライトする。この画像は、実際にスキャナの上に乗っかっているピースと同じ配置になっているため、早く正確にパズルを解答することができる。

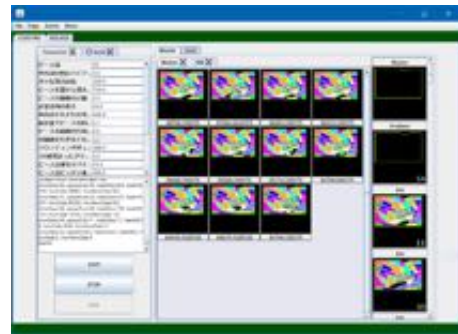


図 19: 解の候補のリスト

今回は「入力」では誤差に対してできるだけ正確にデータ化を行う事ができ、「計算」では高速化と多様性を維持し解答を出すことができた。また、「出力」でも解答をやすくすることで早く正確に解答することができた。

4. おわりに

第 28 回大会の高専プロコンでは、シルエットパズルを題材とした競技システムを構築した。各チームが、スキャナ、ウェブカメラ、プロジェクタ、そして、タブレット端末などを駆使した独自のシステムを構築してきた。



図 20: 回答の表示

パズルを完全に完成させることを目標に、形状情報と配置情報のヒントを QR コードという形式で配布したが、その QR コードを利用したチームが多かった一方で、パズルのピースをスキャナで読み取り、画像処理のみでパズルを完成させたチームもあった。

また、高専プロコンで実施してきた競技システムを教材を PROCON@online (<http://procon-online.net/>) として、インターネット上で提供をしている。北九州高専では、学内の部活動の一環として、部員のプログラミング技術の向上のためにプロコンを実施している。

また、システム開発をする上で、git などのソースコードのバージョン管理システムを利用することが多くなってきている。高専卒業生によって、Proconist.net (<https://Proconist.net/>) が公開され、ソースコードを登録しているチームは、GitHub の URL を登録している。

第 26 回大会「石畳職人 Z」では、高専卒業生と現役高専生とのエキシビジョンマッチを実施した。高専プロコンでは、利用できるコンピュータ、および、電源容量に制限はある一方で、エキシビジョンマッチでは、外部計算機リソースの利用も認めた。高専卒業生のチームは、7 チームが参加し、2 チームが外部計算機リソースを利用した。OB チームのソースコードについては、エキシビジョンマッチ実施後に、<https://proconist.net/contest/26> にアップロードされている。

高専プロコンのシステム開発は 1 年以上の歳月を要する一方で、今後も高専プロコン競技部門が、高専生にとって、有意義な大会になるように努力していきたい。

謝辞

本大会のためにシステム開発を担当していただいた大島商船高等専門学校 印南聡志先生、パズルの製作をしていただいた大島商船高等専門学校 技術支援センター 堀義則氏、解法などの情報を提供していただいた東京都立産業技術高等専門学校品川キャンパス チーム・てんば組 高松健氏、和田靖広氏、波多野陸氏、土田雄輝氏、藤野真人氏、そして大会運営のサポートをしていただいた大島商船高等専門学校の学生、および、教職員の皆様に、この場をお借りし、お礼申し上げます。

参考文献

- [1] 寺元貴幸, 長尾和彦, 松野良信, 中道義之, 谷澤俊弘, 山口巧, 今井一雅, 金寺登, 井上恭輔, 山下晃弘, 岡田正, 川田重夫: インターネット対戦型戦略ゲームへの参加による実践的プログラミング, 計算工学講演会論文集 Vol.16, F-6-5, 2011.
- [2] 寺元貴幸, 長尾和彦, 松野良信, 中道義之, 小保方幸次, 千田栄幸, 井上泰仁, 片山英昭, 熊谷一生, 奥田遼介, 川田重夫: 画像修復対戦ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.17, H-4-4, 2012.
- [3] 寺元貴幸, 長尾和彦, 松野良信, 中道義之, 千田栄幸, 井上泰仁, 尋木信一, 奥田遼介, 鈴木貴樹, 川田重夫: サイコロ数えゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.18, C-8-6, 2013.
- [4] 寺元貴幸, 森川一, 松野良信, 中道義之, 鈴木貴樹, 奥田遼介, 小保方幸次, 千田栄幸, 井上泰仁, 川田重夫: サイコロ通信ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.19, F-12-5, 2014.
- [5] 寺元貴幸, 井上泰仁, 松野良信, 中道義之, 鈴木貴樹, 後藤弘明, 奥田遼介, 千田栄幸, 井上泰仁, 長尾和彦, 川田重夫: 画像修復ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.20, F-12-1, 2015.
- [6] 寺元貴幸, 井上泰仁, 小保方幸次, 藤田悠, 伊藤祥一, 奥本隼, 若林哲宇, 猪田陽介, 奥田 遼介, 長尾和彦, 川田重夫: ピース敷き詰め型ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.21, E-10-6, 2016.
- [7] 寺元貴幸, 小保方幸次, 井上泰仁, 出江幸重, 江崎修央, 田添丈博, 奥田遼介, 川田重夫: シルエットパズル型ゲームへの参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.22, D-12-5, 2017.
- [8] 寺元貴幸, 小保方幸次, 井上泰仁, 橘理恵, 石原良晃, 出江幸重, 奥田遼介, 川田重夫: シルエットパズル型ゲーム II への参加による実践的プログラミング教育, 計算工学講演会論文集 Vol.23, F-3-1, 2018.
- [9] Otsu, N.: A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.9, pp.62-66, 1979.