

# 情報セキュリティ教育に向け kogaCTF の改善と Peer Tutoring の導入による教育的効果の検証

伊藤 祐真<sup>1,a)</sup> 豊島 千尋<sup>1</sup> 川越 謙宏<sup>1</sup> 奥村 康成<sup>1</sup> 荒井 晃平<sup>1</sup> 小林 良太郎<sup>1</sup>

**概要：**本論文では、情報セキュリティ教育における実践的スキルの習得を目的として、Capture The Flag (CTF) 形式の教材である kogaCTF を作成し、Peer Tutoring を導入した情報セキュリティ教育手法の有効性を検証した。kogaCTF は、一般的な CTF カテゴリに加えて、UNIX の基本コマンドなど初学者向けの内容を含むように設計されており、CTF 未経験である学部 3 年生を対象として実施した。また、前年度の kogaCTF で学習経験を有する学部 4 年生を指導者とし、Peer Tutoring を導入した教育体制を構築した。実施前後にアンケートを実施し、各カテゴリに対する知識の習得状況や、Peer Tutoring による学習効果を調査した。その結果、kogaCTF の実施により全カテゴリにおいて実践的な知識と技術の向上を確認し、受講者である学部 3 年生全員が成長を実感したと回答した。さらに、Peer Tutoring に関する設問では肯定的な意見が多数得られ、指導者である学部 4 年生にとって Peer Tutoring の導入の有効性を確認した。特に、前年度の課題として挙げられていた学部 3 年生に対する Peer Tutoring の有効性については、後半グループに対して追加実施したアンケート結果によりその効果が明確に示された。一方で、問題の配点と実際の難易度との乖離などが指摘された。また、本論文では、点数などの定量的な指標を用いた効果検証は行っていないため、今後は定量的評価の導入による検証が求められる。

**キーワード：**CTF, Peer Tutoring, 教育

## Verification of the Educational Effects of Improving kogaCTF and Introducing Peer Tutoring for Information Security Education

YUMA ITO<sup>1,a)</sup> CHIHIRO TOYOSHIMA<sup>1</sup> AKIHIRO KAWAGOE<sup>1</sup> KOSEI OKUMURA<sup>1</sup> KOHEI ARAI<sup>1</sup>  
RYOTARO KOBAYASHI<sup>1</sup>

**Abstract:** This study aims to cultivate practical skills in information security education by developing kogaCTF, a Capture The Flag (CTF)-based learning platform, and by incorporating a peer-tutoring framework. kogaCTF extends conventional CTF categories with beginner-oriented tasks such as fundamental UNIX commands and was deployed for third-year undergraduates with no prior CTF experience. Fourth-year students who had participated in the previous year's kogaCTF served as tutors, establishing a peer-tutoring environment. Pre- and post-implementation surveys assessed knowledge acquisition across categories and the perceived impact of peer tutoring. The results demonstrated significant gains in practical knowledge and skills in every category, with all third-year participants reporting a clear sense of growth. Moreover, survey responses indicated strong approval of the peer-tutoring approach, confirming its effectiveness for both learners and the fourth-year tutors. Additional questionnaires administered to a later group further highlighted the positive influence of peer tutoring, addressing an issue identified in the prior year. Nonetheless, discrepancies between problem point values and actual difficulty were noted. Because this study relied solely on self-reported data, future work should incorporate quantitative performance metrics to provide a more rigorous evaluation.

**Keywords:**

CTF, Peer Tutoring, Education

## 1. はじめに

サイバー攻撃の脅威が増大し続ける現代社会において、大学等の教育機関では情報セキュリティ人材の育成が積極的に進められている。しかし、座学中心の講義では攻撃者の視点を含む実践的なセキュリティスキルの習得は困難である。このような課題に対する実践的な学習手法の1つとして Captut The Flag (CTF) と呼ばれる競技形式のサイバーセキュリティ大会が知られている。CTFとは情報セキュリティに関する専門的な知識や技術を駆使し、問題内に隠された Flag と呼ばれる解答を発見することで得点を獲得する形式の競技である。現在では、国内外において多数の CTF が開催されている。日本における代表的な CTF としては SECCON が開催する SECCON CTF[1] が挙げられる。SECCON は実践的情報セキュリティ人材の育成を目的とした日本最大級の情報セキュリティコンテストイベントである。さらに SECCON では、CTF 未経験者や初学者を対象として入門的な CTF として、SECCON Beginners CTF[2] も開催している。このように、SECCON は初学者から上級者までの幅広い層を対象に情報セキュリティ教育の推進に貢献している。海外で開催されている代表的な CTF として PicoCTF[3] が挙げられる。picoCTF は主に初学者向けに問題が作成され、CTF 終了後においても過去の問題が Web サイト上に常設されており、学生向けの大会といえる。このように、初学者も取り組むことができる CTF は数多く開催されている。しかし、大学教育における情報系学部の講義で得られる知識と CTF において求められる実践的な技術や知識の間には大きな乖離が存在する。多くの大学では情報セキュリティに関する座学による講義は実施されるものの、CTF で要求される実践的な技術までは補えていないことが多い。そこで、本研究室では CTF で求められる実践的な技術と大学での座学的学習との橋渡しとなることを目的として、kogaCTF[4] を作成した。kogaCTF とは、UNIX の基本コマンドから、CTF で頻出する技術やツールの使い方といった基礎的なスキルを段階的に習得できる問題で構成されている CTF 未経験の学生を主な対象とする教育用 CTF である。また、学習効果を高めるために、本研究室では Peer Tutoring を導入した。kogaCTF の実施においては、CTF 初学者である学部3年生を受講者とし、前年度に kogaCTF を経験済みの学部4年生を指導者として配置することで、情報セキュリティ技術の向上を図る。Peer Tutoring とは、年齢や経験の近い学生同士が互いに教えあう学習方法であり、学習的効果や学習意欲の向上が期待される学習形態である。前年度に実施された kogaCTF においては、実施前後の能力の

変化の定量的な評価や、kogaCTF の活用による学習効果、受講者への有効性の検証が主な課題として挙げられていた [4]。本論文では、kogaCTF および Peer Tutoring の有効性を検証するとともに、前年度の課題点に対して改善を試みることを目的とする。

本論文の構成は以下の通りである。まず第2章で関連研究について述べる。第3章で kogaCTF の概要について、第4章で検証の前提や条件について述べ、第5章で検証結果について述べる。それをもとに第6章で考察について述べる。第7章で結論と今後の課題について述べる。

## 2. 関連研究

本論文では、情報セキュリティの実践的な技術や知識向上を目的として構築した CTF を活用し、Peer Tutoring を併用することで教育効果向上も期待する。本章では、まず CTF を活用した情報セキュリティ教育に関する研究について述べ、Tutoring に関する研究について述べる。最後に本研究の位置づけについて述べる。

### 2.1 CTF を活用した情報セキュリティ教育に関する研究

粕淵らは、CTF を活用した情報セキュリティ教育において、参加者が解答できた問題数と学習効果との関係を実証的に分析している [5]。ここでは、難易度を大幅に下げた CTF イベントを設計し、参加者の正答数とアンケートによる学習効果（積極性、満足度、知識の役立ち度、学習意欲）との相関を検討した。その結果、正答数が多いほど積極性や満足度が高まる傾向が見られ、特に実機操作を伴う技能問題において効果が大きいことが示された。この研究は、初心者を含む幅広い学習者に対して、難易度や問題種別を適切に設計することが、実践的なセキュリティ教育の効果を高める上で重要であることを示唆している。

Egamberganova らは、CTF をサイバーセキュリティ教育における新たな教授法として位置づけ、その教育的効果と導入戦略を検討している [6]。ここでは、CTF が単なる技術習得だけでなく、批判的思考力、意思決定能力、協働スキルの育成に有効であることを強調し、学習者中心のアクティブラーニング手法としての価値を示した。また、CTF を評価手段として活用することで、従来の筆記試験では測定しにくい実践的スキルや問題解決能力を可視化できることを指摘している。この研究は、CTF を教育カリキュラムに体系的に組み込むことで、学習者の実践力と産業界が求める能力を結びつける有効なアプローチを提示している。

Costa らは、サイバーセキュリティ分野におけるジェンダーギャップ解消を目的とし、女子高校生を対象とした CTF ベースの教育プログラムである CyberTrials を実施した [7]。このプログラムはオンライン講義と CTF 形式の実習を組み合わせたハイブリッド学習環境を特徴とし、参加者の積極的な関与、基礎的知識の定着、さらに STEM 分野

<sup>1</sup> 工学院大学  
Kogakuin University, Shinjuku, Tokyo 163-8677, Japan  
a) em25002@ns.kogakuin.ac.jp

進学への志向を高める効果が確認された。また、協働学習や Peer Tutoring を取り入れており、参加者同士が役割を交代しながら学び合い、互いの理解を補完することで、責任感や共同意識を高めることを狙っている。この仕組みにより、競技的側面と協力的態度を両立させ、参加者の自己効力感やコミュニティ意識を醸成した点も注目される。この研究は、CTF を活用した教育が単なるスキル習得だけでなく、多様性促進や学習動機づけにも寄与することを示している。

## 2.2 Tutoring に関する研究

Kucharavy らは、大規模言語モデル (LLM) の教育利用において、従来の、LLM を教師とするアプローチに代わり、LLM を学習者 (Protégé) として位置づける手法を提案している [8]。この手法は「Learning by Teaching (教えることで学ぶ)」効果を活用し、学生が LLM の誤った出力を診断・訂正することで学習を深めるものである。実験では、アルゴリズム入門の授業で、LLM に「すべてのアルゴリズムの計算量を  $O(n)$  と回答する」という知識ギャップをあえて導入した。その結果、誤りを発見できた学生 (LLM Solved グループ) は、そうでない学生と比べて平均 0.72 ポイント (約 14%) の成績向上を示した。この改善は計算量分野に限らず、授業全般の学習成果に及んでいた。さらに、シナリオを完全に導入した場合、試験の不合格率を 28% から 8% へと削減できる可能性が示された。この研究は、LLM の不安定さや過信といった従来の課題を逆手に取り、誤りの存在を学習の契機とする点に特徴がある。学生にとっては、LLM の出力を鵜呑みにするのではなく、その限界を理解しながら主体的に学習を進める動機付けとなることが示されている。

## 2.3 本研究の位置づけ

本研究では、kogaCTF を活用した情報セキュリティ教育を目的とし、更なる教育効果向上を期待して Peer Tutoring を導入する。粕淵らの研究では、CTF を活用した情報セキュリティ教育において、正答数が多いほど積極性や満足度が高まる傾向が見られているため、本研究では、幅広い分野の問題を解くような仕組みを設定する。Egamberganova らの研究では、CTF を教育カリキュラムに体系的に組み込むことの効果が示されているため、本研究では、前年度から継続して情報セキュリティ教育に CTF を用いている。Costa らの研究では、サイバーセキュリティ分野におけるジェンダーギャップ解消を目的として、教育に CTF を活用しているが、本研究における教育対象は初学者であるため、同様の効果が期待できると考えている。また、Kucharavy らの研究では、LLM の出力を鵜呑みにするのではなく、その限界を理解しながら主体的に学習を進める動機付けとなることが示されているため、本研究では、LLM の使用を

制限することなく実施している。

## 3. kogaCTF の概要

本章では、本論文で使用する kogaCTF の概要や前年度の kogaCTF との違いについて述べる。

### 3.1 kogaCTF の問題構成

kogaCTF は一般的な CTF における出題カテゴリに準拠して設計されており、それに加え、初学者向けの問題を用意している。問題の構成および具体的な出題例を以下に示す。特に、初学者が UNIX コマンドの基礎を体系的に学習できるよう、kogaCTF 独自のカテゴリとして Cmd を設けている。

- **Cmd** : 基本的な UNIX コマンドの使い方
  - cp コマンドの基本的な使い方
  - ip コマンドを用いた IP アドレスの確認
  - nmap を用いたポートスキャン
- **Crypto** : 暗号に関する問題
  - RSA 暗号
  - Base64
  - Python を用いた復号化
- **Forensics** : ファイルを解析する問題
  - 可読文字列の表示
  - 画像ファイルから別ファイルを抽出
  - Pcap ファイルの調査
- **OSINT** : 公開情報を調査する問題
  - 風景から撮影場所を特定
  - レシートから購入店を特定
  - gmail を用いた特定
- **Pwn** : プログラムの脆弱性を用いる問題
  - C 言語の脆弱性
  - 範囲外アクセス
  - バッファオーバーフロー
- **Reversing** : バイナリコードを逆解析する問題
  - Ghidra[10] の導入
  - 実行ファイルの解析
- **Web** : Web や Web 脆弱性に関する問題
  - HTML 表示, CSS の適用
  - POST・GET について
  - SQL インジェクション

### 3.2 kogaCTF における前年度からの改善点

本節では前年度でも実施した kogaCTF と今年度実施した kogaCTF の主な改善点について述べる。主な改善点は 3 つである。まず 1 つ目は、問題カテゴリに OSINT を追加したことである。これにより、一般的な CTF において頻出するカテゴリの 1 つである OSINT についても学習可能となる。2 つ目は、遠隔地から CTF サーバにアクセス

可能にすることである。前年度は同一 LAN 内のみアクセスできたが、グローバル IP アドレスを割り当てることで本学の VPN にアクセスした場合のみアクセスを可能とした。3 つ目は、各週で別のカテゴリを実施する方式を採用する。前年度は受講生が解く問題を自由に選択していたが、今年度は受講生が解くカテゴリを指定する。それにより、受講生がすべてのカテゴリの問題を解くことで全カテゴリの知識について触れ、積極性や満足度が向上することを期待する。

## 4. 検証

本論文では、kogaCTF の有効性、情報セキュリティ教育における Peer Tutoring の有効性および前年度の課題点の解決についてを受講生へのアンケート調査において検証する。検証に用いる kogaCTF は週 1 回 90 分を 6 週間にわたって実施し、これを 2 回繰り返す。2 回の実施において受講生である学部 3 年生の構成は異なるが、指導者である学部 4 年生の構成に変更はない。本調査には、学部 3 年生が各 10 人、学部 4 年生が 10 人の計 30 人で行う。受講者である学部 3 年生は CTF 未経験者であるが、本学の大学教育における学部 2 年次までに開講される情報系基礎科目は履修済みである。指導者である学部 4 年生は前年度に kogaCTF に受講者として参加し、すべての設問に対する解法を習得済みである。

### 4.1 評価方法

kogaCTF の有効性、情報セキュリティ教育における Peer Tutoring の有効性は対象者へのアンケートを用いて主に評価し、前年度の課題点であった Peer Tutoring の導入による受講者への有効性についてはアンケートと kogaCTF の得点の関係性から評価する。アンケートは学部 3 年生に対しては実施前後の 2 回行い、学部 4 年生に対しては実施後の 1 回行い評価する。

### 4.2 アンケート項目

受講者である学部 3 年生は CTF 未経験者であることを前提としているため、学部 3 年生を対象とした実施前アンケートにおいては、受講者の能力を直接的な把握ではなく、パソコンの使用歴やプログラミング経験の有無を把握することを目的としている。加えて、Linux 環境の操作経験、CLI の操作経験や情報セキュリティに対する関心については 5 段階評価で回答をしてもらう。なお、本論文における 5 段階評価の設問は数字が大きくなるにつれ、習熟度が高いことを表す。また、各 CTF カテゴリにおける基礎知識の確認とその知識を具体的に活用できるかを 3 段階の自己評価を実施した。ただし、一部の設問は 2 段階評価で実施した。以下に設問の一部を示す。

- **Crypto** : RSA 暗号についての理解

- **Forensics** : パケットファイルに関する知識
- **Pwn** : バッファオーバーフローについての理解
- **Reversing** : 実行ファイルの逆アセンブリ解析
- **Web** : HTML の閲覧経験
- **Web** : SQL インジェクションの理解

学部 3 年生を対象とした実施後アンケートにおいては、前述の各 CTF カテゴリにおける基礎知識の自己評価の 3 段階評価に加え、学部 4 年生との演習を通じた感想や、kogaCTF を通じて得られた成長ついてを記述式で回答を求める。

指導者である学部 4 年生を対象とした実施後アンケートでは、学部 3 年生に指導を行う中で得られた自身の成長について回答を求めた。本アンケートでは、学部 4 年生自身が学部 3 年生に指導することでどのような影響や効果があったかを明らかにする。

### 4.3 アンケートにおける前年度からの改善点

本年度のアンケートでは、kogaCTF の有効性を検証するために、各カテゴリの基礎知識を問う設問を追加した。さらに、前年度に課題として挙げられていた学部 3 年に対する Peer Tutoring の効果を検証するために、学部 4 年生からの指導が学習に与えた影響に対する設問を新たに追加した。なお、この設問は kogaCTF の後半グループに参加した 10 名を対象とした。

## 5. 結果

本章では、前章で述べた検証環境で実施した kogaCTF に対し、学部 3 年生と学部 4 年生に行ったアンケート結果を示す。

### 5.1 学部 3 年生に対するアンケート結果

kogaCTF に参加した学部 3 年生 20 名全員が、CTF の参加経験がないと回答した。また、情報セキュリティへの興味に関する設問では、18 名が 5 段階評価において、4 または 5 のどちらかを回答した。学部 3 年生の実施前後の各カテゴリの基礎知識の自己評価の 3 段階評価の結果を表 1 に示す。表 1 において、実施前時点での人数を ( ) 内に記載し、2 段階評価の設問には “/” を記載している。

学部 3 年生に対する実施後アンケートにおいて、全員が kogaCTF を通じて成長を実感したと回答した。また、後半グループの 10 名に対して実施した学部 4 年生からの指導により学習効率の向上を問う 5 段階評価の設問に対し、10 名全員が 4 または 5 のどちらかを回答した。さらに、学部 4 年生との演習を通じた感想および、kogaCTF を通じて得られた成長に関する自由記述の回答の一部を以下に示す。

- 学部 4 年生との演習を通じた感想
  - － 1 対 1 なので分からない箇所をすぐに質問できた
  - － 解答ではなく、少しずつヒントをだしてくれた

表 1 kogaCTF 実施前後における基礎知識に関する人数の変化  
**Table 1** Changes in the Number of People with Basic Knowledge Before and After Implementation

各カテゴリの設問	知らない	知っている	利用可能
RSA 暗号	0(2)	13(15)	7(3)
BASE64 について	2(15)	10(4)	8(1)
パケットファイルの閲覧	6(19)	14(1)	/
スタックオーバーフロー	9(16)	10(4)	1(0)
実行ファイルの解析	11(20)	9(0)	/
Web サイトの HTML 閲覧	1(18)	19(2)	/
SQL インジェクション	10(17)	8(3)	2(0)

- 考え方や着眼点を教えてくれ、回答のきっかけとなった
- kogaCTF を通じて得られた成長
  - 情報学セキュリティについて学ぶことができた
  - Web 検索するコツが身についた
  - 今まで学んだ知識を CTF として活用することで理解が深まった
  - 取り組み方が分からない問題に対して、解決できる力を養うことができた

## 5.2 学部 4 年生に対するアンケート結果

学部 4 年生に対する実施後アンケートにおいて、学部 3 年生に指導することによる成長に関する自由記述の回答の一部を以下に示す。

- 学部 4 年生に対する指導による成長
  - kogaCTF の解法を復習することができた
  - 解けるだけで理解していない箇所を教えることで理解できた
  - 自分の理解度も再確認することができ、人に教える技術も身についた

## 6. 考察

本章では、前章で示した実施前後のアンケートを踏まえ、kogaCTF および Peer Tutoring の有効性を検証するとともに、前年度の課題点として挙げられていた受講者への Peer Tutoring の導入による学習効果について考察する。表 1 に示すように、kogaCTF 実施前後において各カテゴリに対する知識や技術の習得を確認できる。この結果より、kogaCTF は情報セキュリティ教育に有効であり、大学教育の座学形式の講義では得られない実践的な知識や技術の習得を促進できると考える。また、本年度は前年度と異なり、毎週あらかじめ解くカテゴリを指定する方式を採用したことより、全カテゴリにおいて知識や技術の向上を確認できる。さらに、学部 3 年生に対する自由記述のアンケート結果において、kogaCTF を通じた成長が多く記載されており、kogaCTF の有効性が伺える。

Peer Tutoring に関するアンケート結果においては、学

部 3 年生と学部 4 年生の双方から否定的な意見は見られず、肯定的な回答のみが得られた。特に、学部 4 年生からの指導による学習効率の向上に関する設問では回答者全員が 4 または 5 を選択しており、指導者と受講者の双方にとって Peer Tutoring は有効であったと考える。しかし、学部 3 年生は Peer Tutoring を導入した学部 4 年生からの指導を受ける形式のみで実施しており、独学の場合との学習効率の比較はできない。

## 7. 結論と今後の展望

本論文では、情報セキュリティ教育を目的とした CTF である kogaCTF を作成し、kogaCTF に対して Peer Tutoring を導入することによる学習効果の検証を行った。kogaCTF では一般的な CTF で出題されるカテゴリに加え、UNIX の基本コマンドなど初学者向けに対象とした問題を含む構成とした。この kogaCTF を学部 3 年生が受講者、学部 4 年生を指導者とし、Peer Tutoring を導入して実施した。実施前後のアンケート調査により、kogaCTF の教育的有効性に加え、指導者である学部 4 年生に対する Peer Tutoring の有効性も確認した。さらに、前年度の課題として挙げられていた学部 3 年生に対する Peer Tutoring の有効性においても、本年度のアンケート結果を通じて明らかにすることができた。

今後の課題点として、kogaCTF の各問題の配点と実際の難易度との間に乖離があることや、問題設定において初学者が発想の飛躍させることが求められる内容があるなど、問題設計が十分に初学者向けではないという意見が複数見受けられた。また、本論文においては、kogaCTF および Peer Tutoring の有効性を定性的に示すことはできたが、得点などの定量的指標を用いた有効性には至っていないため、この点も今後の検討課題である。

**謝辞** 本研究は、小林研究室の諸兄姉に協力いただきました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] “SECCON,” <https://www.seccon.jp/> (Accessed 2025-7-5).
- [2] “SECCON Beginners,” <https://www.seccon.jp/14/beginners/about-seccon-beginners.html> (Accessed 2025-7-5).
- [3] “PicoCTF,” <https://picoctf.org/> (Accessed 2025-7-5).
- [4] 荒井 晃平, 奥村 康成, 藤原 京平, 小林 良太郎, “kogaCTF を活用した情報セキュリティ教育への Peer Tutoring の導入による学習効果の検討,” コンピュータセキュリティシンポジウム 2024 論文集, pp. 1655-1659, 2024.
- [5] 粕淵卓, 稗方和夫, “CTF を利用したセキュリティ教育における正答数と効果の関係の分析,” The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 2023.

- [6] A. Egamberganova, U. Abdalov, S. Latipova, S. Ataev, D. Ismatova, and N. Ubaydullayeva, “*Teaching Cybersecurity with CTF: New Pedagogical Methods and Strategies*,” Proceedings of the 26th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials, pp. 2170-2175, 2025.
- [7] G. Costa, S. D. Francisci, M. Renieri, and S. Valiani, “*Tackling the Gender Gap in Cybersecurity Education*,” Proceedings of the 56th Technical Symposium on Computer Science Education V. 1, pp. 234-240, 2025.
- [8] A. Kucharavy, C. Vallez, and D. P. David, “*LLMs Protégés: Tutoring LLMs with Knowledge Gaps Improves Student Learning Outcomes*,” Proceedings of the 20th Workshop on Innovative Use of NLP for Building Educational Applications, 2025.
- [9] “CTFd,” <https://github.com/CTFd/CTFd> (Accessed 2025-7-5).
- [10] “Ghidra,” <https://github.com/NationalSecurityAgency/ghidra/> (Accessed 2025-7-5).