

コマンド操作履歴付き端末動画を用いた グループ演習支援システムの試作

河西 真広^{1,a)} 永井孝幸^{2,b)}

概要: 近年, IT 技術者の不足が問題となっており, IT 技術者の育成が大きな課題となっている. そこで私たちは, IT 技術者の教育において重要な「CLI 操作を用いた演習」に注目した. 一般に CLI 演習では参考となる資料をインターネット上で見つけにくいといった問題がある. この問題に対し, CLI 演習中の端末動画を共有することで学習者相互での教え合いを支援する. 本研究では, CLI 操作を伴うグループ演習において, 演習中の端末操作を動画で記録・共有し, ターミナル操作履歴の検索により学習者間で相互に関心のある場面の動画を閲覧できるグループ演習支援システムを試作した. また, 実際のグループ演習を想定した評価実験を行い, CLI 演習における解決策の入手手段として有効であることを確認した.

キーワード: CLI 演習, 操作ログ, 端末動画, 学習支援, 動画共有

Collaborative CLI exercise environment by sharing screen recordings and terminal sessions

MASAHIRO KAWANISHI^{1,a)} TAKAYUKI NAGAI^{2,b)}

Abstract: Recently, training of IT engineers has been an important issue because shortage of IT engineers is predicted. Compared to IT literacy training in GUI environment, training basic mechanisms through CLI exercise is difficult. One reason is that students nowadays are familiar with finding support materials through online search; however, such materials are difficult to adopt to their exercise environments because each environment is unique.

To solve the problem, we developed a prototype of collaborative learning environment where screen videos as well as terminal sessions are recorded during CLI exercises. Recorded videos are stored in a central server to be indexed with terminal sessions; students can mutually search videos of interest by many criteria such as keywords, users, duration of exercise, executed commands, and so on.

By evaluation experiment, we confirmed that the system is effective to acquire helpful information to complete CLI exercises.

Keywords: CLI exercise, operation logs, screen recording, learning support, video sharing

1. 研究背景

IT 技術者を育成する教育環境に目を向けると, 現在の教育環境では GUI が一般的である. しかし, GUI はあくまでプログラムの操作を簡単にするものであり, 正しい結果

を得るために必要な操作やそのための知識は提供しない. コンピュータの原理を理解するためには, コンピュータの原理に近い部分であるコマンドライン操作 (CLI 操作) を用いるのが重要である. その他, GUI が提供されていないサーバの管理やマシンのメンテナンス, システムの細かい設定変更など, CLI 操作による作業が不可欠となるものもある. そのため, IT 技術者の教育において CLI 操作を用いた演習は重要である.

¹ 京都工芸繊維大学, 大学院工芸科学研究科情報工学専攻

² 京都工芸繊維大学, 情報工学・人間科学系, 准教授

a) m-kwns18@dsms.cis.kit.ac.jp

b) nagai@kit.ac.jp

ここで、演習などの学習場面において参考となる情報の入手手段について考える。今日では学習者がインターネット上の資料を検索しながら作業を進めるのは一般的である [1]。しかし、オフィスソフトを使ったりテラシー演習やプログラミング演習においては、資料を見つけやすい一方で、CLI 演習においては資料を見つけにくい問題がある。その要因の一つとして、演習環境の組み合わせが膨大なことが挙げられる。CLI 演習では、OS やカーネルのバージョンは勿論、使用するソフトウェアのバージョンやその設定、ソフトウェア間の依存関係なども考慮しなくてはならない。また、初学者の場合は環境の違いのどの部分がどう影響するのかが分からないといった点や、技術的な情報を言語化するのが難しいといった点も、資料を見つけにくくする要因として考えられる。

この問題に対し本研究では、CLI 演習中の端末動画を共有することで学習者相互での教え合いを支援する。もし、他者の CLI 演習を記録した動画から自分の操作に類似した場面を検索・閲覧することができれば、オンラインマニュアルやインターネットで見つかる情報よりも効果的に内容を理解できると期待される。

テキスト教材に比べて動画教材にはメリット・デメリットがある。eラーニング戦略研究所が日本の教育関係者を対象に行った調査 [2] では、動画コンテンツの教育利用のメリットとして「わかりやすく学習効率が高い」、「学習意欲が出る」と評価した人は、それぞれ 82.2%、58.5% という結果が出ている。一方、動画教材のデメリットとして、作成コストや検索のしづらさということが挙げられる。先の eラーニング戦略研究所の調査では、動画コンテンツのデメリットとして、「動画コンテンツの作成に時間・コストがかかる」と回答した人が 67.8% に達している。また、「検索のし易さ」を求める意見も出ている。

これらのデメリットを解消するため、本研究ではタイムスタンプが付与されたターミナル操作履歴を端末動画と同時に記録し、ターミナル操作履歴をインデックスとして端末動画を検索可能とする。一方で、同じ演習であっても、実行した環境や発生時の状況の違いによってターミナル操作履歴は変化する。そのため、変化するターミナル操作履歴をインデックスとして用いるためには、ターミナル操作履歴の類似検索を実現する必要がある。

以上の考えに基づき、本研究では CLI 操作を伴うグループ演習において、端末動画の記録・共有により学習を支援するグループ演習支援システムの試作を行う。また、CLI を用いた SQL 演習課題の検証実験により、提案システムの有効性を検証する。

2. 関連事例

一部の大学では動画配信システムを導入して学習の支援を行っている [3][4]。しかし、これらのシステムは本研究

で想定している学習者同士で動画を記録・共有する利用方法とは異なっている。また、ターミナルの操作履歴を共有するサービスとして「Asciinema」[5] があるが、操作履歴の検索機能や類似検索機能は備えていない。

3. 端末動画の記録・共有による学習支援

本節では、CLI 操作を伴うグループ演習において、端末動画の記録・共有による学習支援を実現するためにシステムに要求される解決すべき事項や対応すべき事項と、それに対する解決策を述べる。

3.1 操作履歴の取得

ターミナル操作履歴は大きく分けて 2 つあり、一つはユーザの操作による入力履歴、もう一つは実行されたコマンドの出力履歴である。ターミナル操作履歴を用いて端末動画の検索を行う際、「入力履歴に特定のキーワードを含む」や「出力履歴に特定のキーワードを含む」といった検索を実現するためには、端末操作履歴に含まれる入力履歴と出力履歴を判別できることが必要である。また、IT 技術者の育成においては、ローカル環境での演習以外に、外部のサーバやデータベースなどと連携したシステム開発スキルの習得が必要となる。ここで、MySQL、MariaDB のデータベース操作について考える。これらはターミナルに `mysql` コマンドを入力することで、起動や接続を行うことができる。その際、対話的に SQL を実行する対話型クライアントが起動する。この対話型クライアントにおける入出力に関しても、ローカル環境での演習と同様に入力履歴と出力履歴を判別出来ることが必要である。

この解決策として、我々が以前に開発した「端末（ターミナル）操作履歴取得ツール」[6] を拡張する。MySQL と MariaDB の対話型クライアントで表示されるデフォルトのコマンドプロンプトが含まれる操作履歴を入力履歴として処理を行うように判別条件を追加する。これにより、MySQL および MariaDB の対話型クライアントにおける CLI 操作においても、入力履歴と出力履歴の判別が可能となる。このツールを用いることで、画面全体の録画に加え、タイムスタンプ付き操作履歴を同時に漏れなく取得する。

3.2 ターミナル操作履歴を用いた端末動画の検索

CLI 演習中の全ての操作履歴を複数のユーザから収集・蓄積するため、ターミナル操作履歴が膨大な量になることが容易に予測できる。そのような場合においても、関連のあるターミナル操作履歴をユーザにとって容易に絞り込めなければならない。また、CLI 演習では、同じ演習内容であってもターミナル操作における入出力の内容は学習者の演習環境や発生時の状況などによって差異が生じる。そのため、ターミナル操作履歴を用いた端末動画の検索を行うためには、同じ演習内容における履歴であれば、類似履歴

として検索できる必要がある。

この解決策として、直感的な検索・閲覧を行えるようにするため、グラフィカルなユーザインターフェースでターミナル操作履歴を用いた端末動画検索システムを実装する。本研究では、Webアプリケーションで実装する。また、検索条件を複数設定できるようにすることで膨大なデータに対する絞り込み検索を行えるようにする。類似履歴の検索については、我々が以前に開発した「類似エラー検索手法」[6]を拡張する。全ての入出力履歴に対して形態素解析による正規化を行うことで全てのターミナル操作履歴に対する類似検索を実現する。

4. 操作履歴取得・登録ツールの拡張

本節では、3.1節で述べた操作履歴の取得・登録ツールの拡張について述べる。

我々が以前に開発した「操作履歴取得・登録ツール」では、入出力履歴の判別にコマンドプロンプトの記号を使用している。しかし、ユーザがターミナル環境をカスタマイズして、コマンドプロンプトをデフォルトの書式から変更している場合、判別に用いられているコマンドプロンプトの記号を正しく認識できない。

この問題を解決するために、操作履歴取得時に一時的にコマンドプロンプトを置換する。具体的には、コマンドプロンプトの出力方法を決定するbashの環境変数\$PS1を置換することで対応する。CLI演習の記録開始時にユーザのシェル環境設定ファイルである.bashrcファイルを複製し、.bashrcに記述されている環境変数\$PS1を入力履歴識別用の専用コマンドプロンプト"`\u@h \W REC-LOG >`"に置換する。これを.bashrc_customとする。その後、.bashrc_customで既存の.bashrcを上書きしてから記録用の端末を起動し演習の記録を開始する。CLI演習が終わり記録を終了する際は、.bashrcを記録開始前の状態に復元する。以上の手順を行うことで、コマンドプロンプトの形式が異なるローカル作業履歴において、入力履歴の判別が可能となる。また、MySQLおよびMariaDBの操作履歴において入出力履歴における入力履歴の判別が行えるように、入力履歴の判定条件を追加する。具体的には、ターミナル操作履歴にMySQLおよびMariaDBの対話型クライアントでデフォルトで用いられているコマンドプロンプトが含まれているものを入力履歴、それ以外を出力履歴として判別する。

以上より、以下の条件に合致する入出力履歴を入力履歴として処理する。

条件1: 正規表現"`\[.*?\@.*?\]\sREC-LOG\s>\s`"を含む。

条件2: 条件1, 条件2の条件に合致した入出力履歴の次の入出力履歴において正規表現"`>\s.*`"に合致する。

条件3: 正規表現"`mysql>\s.*`"に合致する。

条件4: 正規表現"`MariaDB\s\[.*?\]>\s`"を含む。

条件5: 条件3, 条件4, 条件5の条件に合致した入出力履歴の次の入出力履歴において正規表現"`\s\s\s->\s`"を含む。

5. 端末動画検索機能の改良

本節では、3.2節で述べたターミナル操作履歴を用いた端末動画検索機能の拡張について述べる。

我々が以前に開発した類似検索手法にはいくつかの問題点がある。まず、エラーキーワードを含まなかったためにエラーメッセージとして判定されなかったエラーメッセージや、エラーメッセージ以外の入出力履歴に対して類似検索を行うことができない。また、形態素解析ツール「TreeTagger」[7]において、アルファベットと数字を含む単語について、本来「名詞」であるにもかかわらず「形容詞」と誤判定されてしまうことがあった。

これらの問題を解決するため、2つの改良を行う。

1つ目の改良として、全ての入出力履歴に対して形態素解析を行うようにする。具体的には、入出力履歴における品詞の並び(品詞構造)を形態素解析ツールによって解析し、その結果をデータベースに保存する。そして、検索条件として「選択した入出力履歴と品詞構造が一致する入出力履歴」を設定できるようにする。この検索条件と他の任意の検索条件を組み合わせることで、CLI演習中の全ての入出力履歴に対する類似検索が可能となる。なお、形態素解析を行う際は、前処理として、「/で囲まれた文字列」を「ファイルパス・ディレクトリパス」とみなし、固定文字列“PATH”で正規化する。また、後処理として、形態素解析結果に含まれる「名詞」「名詞の複数形」「固有名詞」「固有名詞の複数形」の品詞コードを「名詞」の品詞コードに統一し、「引用符の品詞コードで囲まれた部分」を「引用部分」とみなし、該当する部分の形態素解析結果を固定文字列“QTE”で正規化する。以降では、これらの前処理および後処理を行い、データベースに保存した品詞構造を「正規化済み品詞構造」と呼称する。

2つ目の改良として、形態素解析に使用するツールを「Stanford CoreNLP」[8]に変更する。Stanford CoreNLPでは、我々が以前に開発した類似検索手法で発生していた誤判定が発生しないため、誤判定への対応が不要となる。

6. グループ演習支援システムの試作

本節では、端末動画を用いたグループ演習支援システムの試作結果について述べる。

6.1 システムの概要

本試作システムは、CLI操作を伴うグループ演習において、コマンド操作履歴付き端末動画を記録・共有し、ターミナル操作履歴の検索により学習者間で相互に関心のある場面の動画を閲覧できるシステムである。

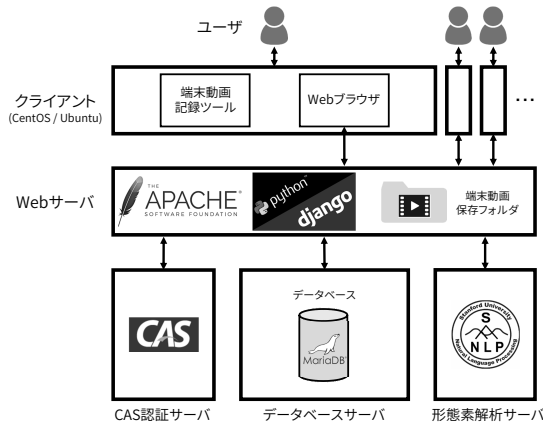


図 1 試作システムの全体構成

Fig. 1 Overall structure of prototype system.

表 1 ターミナル操作履歴テーブルの構造

Table 1 Structure of operation history table.

フィールド名	型	内容	登録対象
ID	int(11)	主キー	○
REMOTE_USER_FK_ID	int(11)	ユーザテーブルへの外鍵キー	○
DATE_TIME	datetime	入出力が行われた日時 (例: 2018-01-12 15:40:00)	○
UNIXTIME	int(11)	入出力が行われたUNIX時間 (例: 1515739200)	○
PREV_UNIXTIME	int(11)	1つ前のレコードにおけるUNIX時間	○
SPENT	int(11)	そのレコードにおける入出力に要した時間	○
ELAPSED	int(11)	記録開始時刻からの経過時間	○
DIRECTORY	varchar(255)	作業ディレクトリ名	○
USER_NAME	varchar(255)	作業ユーザ名	○
INPUT_ID	int(11)	そのレコードに対応する入力履歴のID	○
INPUT	longtext	正規化済みscriptIDに記録された入力履歴	○
HISTORY	varchar(255)	bashのコマンド履歴 (全体)	○
COMMAND	varchar(255)	bashのコマンド履歴 (1行)	○
OUTPUT_TEXT	mediumtext	正規化済みscriptIDに記録された出力履歴	○
PARTS_OF_SPEECH_CONV	text	入出力履歴に対する正規化済み品詞構造	○
WORDS_CONV	text	正規化済み品詞構造に対応する正規化済みの断片元の単語	○
RMD	varchar(255)	端末動画のファイル名	○
RATING_HELPFUL	int(11)	役に立ったと評価した人数	○
RATING_HELPFUL_VOTED	longtext	役に立ったと評価したユーザのリスト	○
RATING_NOT_HELPFUL	int(11)	役に立たなかったと評価した人数	○
RATING_NOT_HELPFUL_VOTED	longtext	役に立たなかったと評価したユーザのリスト	○

想定する利用ユーザは、CLIを伴う演習に取り組む複数の学生である。演習者は、CLIを伴うグループ演習に取り組む際に、操作画面の録画とターミナル操作履歴の記録を行う。演習中、演習で行き詰った時には、グループ演習支援システムを用いて他者のCLI演習を記録した動画から類似した場面を検索し、その場面を閲覧して自身の作業の参考にする。演習終了後、記録した端末動画とターミナルの操作履歴をグループ演習支援システムにアップロードする。

6.2 システムの構成

本試作システムの全体構成を図1に示す。図中の矢印はデータのやり取りを示す。本システムは複数のユーザで使用することを想定しているため、クライアントは複数存在する。各クライアントには「端末動画記録ツール」を導入する。各クライアントはWebブラウザを介して、端末動画の検索や記録したデータのアップロードを行う。

次にデータベースの構造について述べる。表1にターミナル操作履歴を保存するためのターミナル操作履歴テーブルの構造を示す。このテーブル構成は同じテーブルで入力履歴と出力履歴の両方を保持する共用体となっている。表1において○となっている項目は、各履歴を保存する際に使用するフィールドを表す。

グループ演習支援システムのうち、端末動画記録ツールはシェルスクリプトで実装する。また、端末動画記録ツール以外のシステムを、WebサーバソフトウェアApacheと、WebアプリケーションフレームワークDjangoを用いて実装する。また、HTML、CSS、JavaScriptの実装には、フロントエンドのコンポーネントライブラリBootstrap4と、JavaScriptライブラリjQueryを用いる。形態素解析サーバにはStanford CoreNLPを用いる。

6.3 各ツールおよび機能の概要

各ツールおよび機能の概要について述べる。

端末動画記録ツール

ユーザの演習時の操作動画と、ターミナルの操作履歴、およびbashのコマンド履歴を同時に記録する。ターミナルの操作履歴とbashのコマンド履歴に付与されたタイムスタンプを用いることで、動画との連動を行う。

端末動画投稿機能

端末動画記録ツールによって記録した内容をデータベース及び端末動画保存フォルダに格納する。入出力履歴の判別には4節で述べた条件を用いる。

端末動画検索機能

検索フィルタを用いて関連するターミナル操作履歴を検索する。検索後、動画で閲覧したいターミナル操作履歴に付与されたリンクを選択して、端末動画再生画面に遷移する。

端末動画再生機能

端末動画検索機能で選択したターミナル操作履歴が記録された端末動画を再生する。再生開始時間の初期位置は、端末動画検索機能で選択したターミナル操作履歴が記録された場面である。必要に応じて再生速度の変更や10秒戻る・10秒進むなどの操作を行うことができる。

7. グループ演習支援システムの評価

CLI操作を伴うグループ演習課題において、実装したグループ演習支援システムを利用することが支援となり得るのかを確認するため、CLI操作を伴うグループ演習を用いた評価実験を行った。本節では、その評価実験とグループ演習支援の評価について述べる。

7.1 検証実験の概要

本実験では、全ユーザ共用のクライアントPC、Webサーバ、データベースサーバ、形態素解析サーバ、CAS認証サーバをそれぞれ1台用意して検証を行った。被験者は本学の情報工学課程もしくは情報工学専攻に所属する学生10名である。なお、評価実験を行った順に被験者名をuser01, user02, user03, ..., user10とする。本実験では、7.5節に

示す手順で CLI を用いた SQL 演習課題に取り組んでもらい、実験中の操作を端末動画記録ツールを用いて記録した。演習課題終了後は、グループ演習支援システムの各機能がどの程度役に立ったかの主観評価を問うアンケートを実施した。

7.2 評価実験に用いる SQL 演習課題

本評価実験で用いる SQL 演習課題は、演習 A と演習 B に分かれており、それぞれ 5 問である。そこから、パラメータを一部変更し、演習 A1, A2, A3, B1, B2, B3 の計 6 種類の演習を作成した。このうち演習 A1 と演習 B1 の内容は以下のとおりである。なお、下線部分は演習 A2, A3, B2, B3 において変更されている部分である。

演習 A1 の内容

- A1-1: テーブル “Item” から category が fruits である商品の name, price, floor を表示せよ。
- A1-2: テーブル “Item” から price が 200以上800以下である商品の name, price, floor を表示せよ。
- A1-3: テーブル “Item” から price が低い順に上位 5 件の name, price を表示せよ。
- A1-4: テーブル “Item” から category ごとの最安値を求めて表示せよ。
- A1-5: テーブル “Buy” は誰がどの item を買ったかを表す。テーブル “Item”, “Buy” を用いて person=Tom が購入した商品の合計金額を表示せよ。

演習 B1 の内容

- B1-1: テーブル “Score” から class=1-1の生徒の name, english, math, science を表示せよ。
- B1-2: テーブル “Score” から englishが50以上80以下の生徒の english, class, name を表示せよ。
- B1-3: テーブル “Score” から englishが高い順に上位 5 人の生徒の name, englishを表示せよ。
- B1-4: テーブル “Score” から class ごとの各教科の最高点を求めて表示せよ。
- B1-5: テーブル “Score” から englishがenglishの平均より高い生徒の name, englishを表示せよ。

また、作成した 6 種類の演習を組み合わせ、演習セット AB1, AB2, AB3, BA1, BA2, BA3 の計 6 つの演習セットを作成した。なお、演習セット AB1 は前半 5 問に演習 A1 を、後半 5 問に演習 B1 を用いることを表す。

ここで、本実験における「関連するターミナル操作履歴」を「同様の操作を必要とする課題におけるターミナル操作履歴」もしくは「同様の原因で発生するエラーにおけるエラーメッセージ」であると定義する。前者について、本実験で用いる演習 A と演習 B は、1 問目が特定のレコードを指定する課題、2 問目が範囲指定を行う課題、3 問目が並び替えと取得上限を行う課題、4 問目がグルーピングを行い最小値・最大値を取得する課題である。5 問目は、演習

A が 2 つのテーブルを結合する課題であり、演習 B が平均値を副問い合わせに用いる課題である。そのため、本実験では A1 から B3 までの各演習において、以下の組み合わせにおけるターミナル操作履歴を「関連するターミナル操作履歴」の「同様の操作を必要とする課題におけるターミナル操作履歴」であるとする。

- A1,A2,A3 の 1 問目, B1,B2,B3 の 1 問目
- A1,A2,A3 の 2 問目, B1,B2,B3 の 2 問目
- A1,A2,A3 の 3 問目, B1,B2,B3 の 3 問目
- A1,A2,A3 の 4 問目, B1,B2,B3 の 4 問目
- A1,A2,A3 の 5 問目
- B1,B2,B3 の 5 問目

7.3 端末動画検索機能で検索対象となるデータについて

本評価実験を行うにあたり、各演習セットを用いた演習を初期値としてあらかじめデータベースに登録している。また、被験者による評価実験においても端末動画記録ツールを用いて演習の記録を行い、被験者による評価実験が終了する毎に、記録したデータをデータベースに追加する。よって、端末動画検索機能を使用する際は、user01 の場合は初期値のみが検索対象となり、user02 以降は自身より前の被験者の評価実験における演習データも検索対象となる。

7.4 評価実験で使用した試作システムについて

本評価実験に使用したグループ演習支援システムには、試作機能としてメモツールとメモツール上で利用可能なエラーメッセージ検索機能が実装されていた。メモツールは演習中の作業内容やその意図を登録できる Web アプリケーションである。また、エラーメッセージ検索機能は、新規メモの登録時に演習中に発生したエラーメッセージを登録し、登録されたメモの一覧から登録したエラーメッセージを選択することで「選択したエラーメッセージと同じエラーメッセージ」もしくは「選択したエラーメッセージと類似する（品詞構造が同じ）エラーメッセージ」を検索条件に設定した状態で端末動画検索画面を表示することができる機能である。エラーメッセージ検索機能では検索条件の保存先として、端末動画検索機能と同じ request.session が用いられている。

7.5 評価実験の実験手順

本評価実験を行うにあたり、事前準備として以下の作業を行った。

- (1) 本評価実験の事前準備として、演習 A と演習 B の SQL 演習課題で使用するデータベースのテーブルを作成し、作成したテーブルに演習用データを登録した。
- (2) すべての演習セットについて、実験責任者がそれぞれを用いた演習を端末動画記録ツールを用いて記録し、グループ演習システムの初期値としてグループ演習シ

表 2 評価実験におけるアンケート内容（自由記述を除く）

Table 2 Questionnaire list for evaluation experiment.

番号	分類	内容	方式
1-1	メモツール	ツールの操作は演習の妨げとなりましたか？	5段階
1-2	メモツール	自身が行った過去の作業内容の振り返りに役に立ちましたか？	5段階
1-3	メモツール	自身が行った過去の作業内容の模倣に役に立ちましたか？	5段階
2-1	動画検索機能	実験において、動画検索機能を利用しましたか？	2択
2-2	動画検索機能	検索機能を使って類似のログを特定することはできましたか？	5段階
2-3	動画検索機能	検索機能を使って有効な解決方法を入手することはできましたか？	5段階
3-1	動画閲覧機能	動画閲覧時、動画で行われている作業内容を理解することはできましたか？	5段階
4-1	エラーの解決	動画閲覧後、自身の環境に当てはめて作業を模倣することはできましたか？	5段階
4-2	エラーの解決	インターネットの検索を利用した解決方法の入手と比較して、エラーの解決に有効な情報を入手することは容易でしたか？	5段階
4-3	エラーの解決	動画閲覧のみで発生したエラーを解決に導くことはできましたか？	5段階

システムに登録した。

次に、本評価実験の実験手順を以下に示す。

- (1) 被験者に対し、実験協力同意書を手渡し、実験概要、実験で記録されるデータ項目、データの取り扱いについてについて実験責任者から口頭で説明をした。その後、同意書にサインをしてもらった。
- (2) 演習セットからランダムに課題を選択し、課題の内容を記した PDF を画面右上に配置した。
- (3) Web ブラウザからグループ演習システムにアクセスし、被験者にログインを行ってもらった。
- (4) 端末動画記録ツールを起動し、演習の記録開始を行った。また、記録用ターミナルを画面左側に配置した。
- (5) 被験者に、グループ演習システムのメモツールの利用とインターネット検索の利用を許可したうえで、演習セットの前半 5 問に取り組んでもらった。なお、分からない場合はその課題の回答を諦めることを許可した。
- (6) 前半 5 問終了後、後半に移る前に、グループ演習システムの端末動画検索機能と端末動画再生機能について口頭で説明を行った。
- (7) 被験者に、グループ演習システムの全ての機能の利用を許可したうえで、演習セットの後半 5 問に取り組んでもらった。なお、分からない場合はその課題の回答を諦めることを許可した。
- (8) 演習セットの課題が全て終了した後、端末動画記録ツールを終了した。
- (9) 端末動画記録ツールによって記録した内容を端末動画投稿機能を用いてデータベースに登録した。
- (10) 最後に、被験者にグループ演習支援システムの各機能がどの程度役に立ったかの主観評価を問うアンケートを実施した。アンケートは 5 段階による評価、および選択（2 択）と自由記述で構成されている。実施したアンケートの内容を表 2 に示す（自由記述を除く）。

7.6 評価実験の結果

本節では、グループ演習支援システムの評価実験の結果について述べる。

7.6.1 課題の達成状況とツールの利用状況

課題の達成状況とツールの利用状況の結果を以下に示す。

端末動画検索機能

端末動画検索機能を使用した被験者の人数は 10 人中 10 人で、使用された課題数は延べ 50 問中（被験者 10 人×後半 5 問）20 問であった。また、入出力履歴に対する検索フィルタを使用して検索された回数は 22 回であり、そのうち検索結果に「関連するターミナル操作履歴」が 1 件以上含まれた回数は 17 回、含まれなかった回数は 5 回であった。

端末動画閲覧機能

端末動画を閲覧した被験者の人数は 10 人中 8 人であった。また、端末動画検索画面でターミナル操作履歴を選択して端末動画が閲覧された課題数は延べ 14 問であり、それ以外の方法で端末動画が閲覧された課題数は延べ 2 問であった。後者の内訳は、前の課題で閲覧した端末動画の続きを閲覧した回数が 1 回、ランダムに動画を選択した後シークバーを動かして関連する場面を閲覧した回数が 1 回であった。

評価機能

端末動画再生画面においてターミナル操作履歴とその操作を行った演習者に対する評価機能が使用された課題数は、端末動画が閲覧された延べ 16 問中 2 問であった。

課題達成状況

課題の達成状況に関して、Google 検索を利用してインターネット上の情報を入手した場合の課題達成数は延べ 47 問中 43 問であり、達成率は約 91.49%であった。一方、端末動画が閲覧された場合の課題達成数は延べ 16 問中 15 問であり、達成率は 93.75%であった。

また、課題の達成に必要な操作が他の問題とは異なる演習 A の 5 問目（A1-5, A2-5, A3-5）と演習 B の 5 問目（B1-5, B2-5, B3-5）に注目すると、これらの問題において Google 検索を利用してインターネット上の情報を入手した場合の課題達成数は、各被験者に対して前半 5 問目に出題した延べ 10 問中 7 人であり、達成率は 70.00%であった。一方、端末動画検索機能が利用された場合の課題達成数は、各被験者に対して後半 5 問目に出題した延べ 10 問中 8 問であり、達成率は 80.00%であった。また、端末動画が閲覧された場合の課題達成数は、後半 5 問目で端末動画が閲覧された延べ 9 問中 8 問であり、達成率は約 88.89%であった。

7.6.2 端末動画検索機能における検索結果に関して

検索結果に「関連するターミナル操作履歴」が含まれなかった理由の内訳は、検索時点で類似のデータが存在しなかったためであるのが 2 回、検索条件が残っていたためであるのが 1 回、検索フィルタに課題と無関係の単語を設定して検索したためであるのが 2 回であった。

検索結果に「関連するターミナル操作履歴」が含まれなかった事例のうち、検索条件が残っていたケースについて

表 3 評価実験におけるアンケートの回答結果（自由記述を除く）

Table 3 Questionnaire results for evaluation experiment.

被験者名	各アンケートに対する回答結果											
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	4-1	4-2	4-3	5-1	5-2
user01	—	—	—	○	5	4	—	—	—	—	2	4
user02	—	—	—	○	4	4	5	5	5	5	5	4
user03	—	—	—	○	5	5	4	5	3	5	4	3
user04	4	4	5	○	5	5	5	5	3	4	4	2
user05	5	1	1	○	3	5	4	3	5	5	4	4
user06	4	4	4	○	1	1	—	—	—	—	3	2
user07	—	—	—	○	5	5	4	5	4	5	3	3
user08	5	5	5	○	5	5	4	5	3	5	2	2
user09	—	—	—	○	5	4	4	5	4	5	5	4
user10	—	—	—	○	4	4	5	5	4	5	3	2

表 4 評価実験におけるアンケートの集計結果（自由記述を除く）

Table 4 Aggregate results for Questionnaire results.

アンケート番号	評価数					
	—	1	2	3	4	5
1-1	6	0	0	0	2	2
1-2	6	1	0	0	2	1
1-3	6	1	0	0	1	2
2-2	0	1	0	1	2	6
2-3	0	1	0	0	4	5
3-1	2	0	0	0	5	3
4-1	2	0	0	1	0	7
4-2	2	0	0	3	3	2
4-3	2	0	0	0	1	7
5-1	0	0	2	3	3	2
5-2	0	0	4	2	4	0

原因を調べたところ、7.4 節で述べた試作機能を利用した際に request.session に品詞構造に対する検索条件が保存されていたことがわかった。その結果、端末動画検索機能を利用する際にその検索条件が残っていたために目的のターミナル操作履歴を検索することができなかった。

7.6.3 アンケート結果

実施したアンケートに関してユーザごとの回答結果（自由記述を除く）を表 3 に示す。また、アンケートの集計結果を表 4 に示す。なお、「—」となっている項目は、該当するツールや機能を利用しなかったためアンケートが無効となっていることを示す。また、アンケート 2-1 の項目においては、「利用した」と回答した人を「○」、「利用しなかった」と回答した人を「×」で示している。

次に、アンケートの自由記述結果について述べる。「普段どのように作業した内容を記録していますか？」という項目に対しては、使用するツールとしてメモ帳ソフトやオンラインエディタ、ブックマークなどが挙げられた。記録する内容としては、実行コマンドやその結果、エラーログ、スクリーンショット、URL などが挙げられた。また、「あまり意識して記録していない」という回答が 1 件あった。「その他難しかったこと、お気づきのことなどありましたらご回答ください」という項目に対しては、ユーザインタフェースの改善に関する意見が 9 件、使用方法が分かりづらいという意見が 2 件得られた。その他、「調べる際にキーワードが思いつかなかった」、「手の付けようがない状態の

ときに検索のしようがない」といった検索に関する意見、「解答のカンニングができてしまった」といった問題点を指摘する意見、「メモをせずともコマンドを覚えていると思ってメモツールを使わなかった」といったツールを使用しなかった理由に関する回答が得られた。

7.7 評価実験の考察

本節では 7.6 節の結果に基づき、グループ演習支援システムの有効性について考察する。

7.7.1 動画検索機能に関する考察

評価実験において、端末動画検索時に「関連するターミナル操作履歴」を取得できた割合は約 77.27%（22 回中 17 回）であった。この値は決して高いものではないと考えられる。しかし、端末動画検索時に入出力履歴に対する検索フィルタを使用して検索された場合において、「関連するターミナル操作履歴」を取得できなかった 5 回のうち、2 回は検索時点で類似のデータが存在しなかったものによるものである。これはシステムを長期的に利用して類似するデータがデータベースに登録されることで「関連するターミナル操作履歴」のヒット率は改善されると考えられる。

また、表 4 のアンケート 2-2、2-3 の結果から、1 人を除き類似するデータの特定および有効な解決方法を入手することができたとと言える。なお、これらのアンケート項目において「1（できなかった）」と回答した人は、表示されていない検索フィルタ（品詞構造）に検索条件が残っており、「関連するターミナル操作履歴」を取得できなかった被験者であった。直接的な原因については 7.6.2 節で述べた通りであるが、間接的な原因としてユーザインタフェースの設計が良くなかったと考えられる。具体的には、品詞構造に対する検索条件は検索フィルタで設定する項目ではないために、端末動画検索画面において設定状況が確認できなかった。アンケートの自由記述においても「検索フィルタがたくさんあってどこに入力すればいいのか迷ってしまった」などのユーザインタフェースに関する意見があることから、検索フィルタなどのユーザインタフェースに関しては改善の余地があると考えられる。

7.7.2 端末動画閲覧機能に関する考察

評価実験において、端末動画が閲覧された場合における課題の達成率は 93.75% であった。このことから、端末動画を閲覧することによって課題の達成に必要な情報を入手することは十分可能であると考えられる。また、インターネットが利用された場合における課題の達成率は約 91.49% であった。また、表 4 のアンケート 4-1、4-2、4-3 の結果からも、グループ演習支援システムによって容易に必要な情報を入手することができており、端末動画を閲覧して作業の模倣やエラーの解決を行うことができたと感じていることがわかる。これらの結果から、問題を解決するための情報を入手する手段として、インターネットを利用する場

合と同程度の効果を得られている。

さらに、課題の達成に必要な操作が他の問題とは異なり、他の課題で得た知識を利用することが難しい演習 A の 5 問目と演習 B の 5 問目について、インターネットが利用された場合における課題の達成率が 70.00%であったのに対し、端末動画検索機能が利用された場合における課題の達成率は 80.00%、端末動画が閲覧された場合における課題の達成率は約 88.89%であった。このことから、他の課題で得た知識を利用することが難しい演習においても、問題を解決するための情報を入手する手段として高い効果を発揮していると言える。

8. 端末動画共有によるグループ演習支援に関する考察

試作したグループ演習支援システムは、CLI 操作を伴うグループ演習において問題を解決するための情報を入手する手段としては高い効果を発揮することが確認できた。

しかし、いくつか問題点があることがわかった。まず、キーワードが思いつかない場合には手の付けようがないという点である。このことは評価実験で行ったアンケートの自由記述で指摘されている事項である。Google 検索などのインターネット検索を利用する場合であれば、実現したいことから検索する「逆引き」が可能である。しかし、試作したグループ演習支援システムではターミナル操作履歴のみが検索対象となっており、最初から全く手が付けられない場合には検索することはできない。対策として、評価実験において試作機能であったメモツールを用いて、メモツールに記録された作業内容も検索対象とし、作業内容から端末動画を検索できるようにすれば、キーワードが全く思いつかない場合でも支援が可能になると考えられる。

次に、ターミナル操作の達成が目的でありそれがそのまま成績に反映されるような場合においては、試作したグループ演習支援システムをそのまま導入することは望ましくないと考えられる。理由としては、他者の導き出した答えを制限なく閲覧できてしまうためである。実際、評価実験において端末動画検索機能を利用せずに端末動画が閲覧された事例が 2 件確認された。また、アンケートの自由記述でも「解答のカンニングができてしまった」といった指摘があった。この問題について、少なくとも現在取り組んでいる課題よりも先の課題について動画の続きを制限なく閲覧できることは望ましくないと考えられる。そのため、動画をチャプターごとに分割し、ユーザごとに課題の進捗状況や習熟度に合わせた閲覧許可範囲を設定するなどの対策が必要であると考えられる。

また、端末動画を閲覧することで解決方法を容易に模倣できるメリットがある一方、なぜ解決できるのかを正しく理解しないまま、端末動画で提供された解決方法をただ猿真似してしまうのではないかという懸念がある。「参考に

する」という観点でいえば端末動画の記録・共有は高い効果を発揮すると考えられるが、目的によっては「猿真似」にならないような工夫や別の支援方法が必要になると考えられる。試作したグループ演習支援システムは解説動画の制作には有用であると考えられる。そのため、TA 役のユーザが解説付きで演習を記録・共有することが一つの方法であると考えられる。

9. まとめと今後の課題

本研究では、CLI 操作を伴うグループ演習において、端末動画を記録・共有し、ターミナル操作履歴の検索により関連する場面の端末動画を閲覧できるグループ演習支援システムを試作した。また、実際のグループ演習を想定した評価実験を行い、実装したグループ演習支援システムを利用することが支援となり得るのかを確認を行った。これらの結果、CLI 演習における解決策の入手手段として有効であることを確認した。

今後の課題としては、より正確なターミナル操作履歴の取得手法の検討が挙げられる。また、ユーザの学習に応じた動画の閲覧権限の設定や、解説動画制作への応用が考えられる。

参考文献

- [1] 総務省情報通信国際戦略局情報通信政策課情報通信経済室：社会課題解決のための新たな ICT サービス・技術への人々の意識に関する調査研究報告書，総務省（オンライン），入手先（https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/linkdata/h27_06_houkoku.pdf）（参照 2020-1-6）。
- [2] 株式会社デジタル・ナレッジ：ビデオ教材（映像コンテンツ）の教育利用に関する定点調査報告書＜2014 年＞，デジタル・ナレッジ（オンライン），入手先（<http://www.digital-knowledge.co.jp/archives/1702/>）（参照 2018-1-18）。
- [3] フォトロン M&E ソリューションズ株式会社：学習動画共有プラットフォーム CLEVAS，フォトロン M&E ソリューションズ株式会社（オンライン），入手先（<https://www.photronmandesolutions.co.jp/education/products/clevas.html>）（参照 2020-2-4）。
- [4] 外村孝一郎，津志本陽，梶田将司：京都大学における Sakai CLE による学習支援環境の現状と課題，情報処理学会研究報告，Vol. 2017-CLE-21, No. 2, pp. 1-5 (2017)。
- [5] Kulik, M.: asciinema - Record and share your terminal sessions, the right way., asciinema.org (online), available from (<https://asciinema.org/>) (accessed 2019-12-16)。
- [6] 河西真広，永井孝幸：操作ログの類似検索機能を有した CLI 操作協調学習支援システムの試作，情報処理学会研究報告書，Vol. 2018-CLE25, No. 4, pp. 1-8 (2018)。
- [7] CIS project: TreeTagger - a part-of-speech tagger for many languages, CIS (online), available from (<https://www.cis.uni-muenchen.de/~schmid/tools/TreeTagger/>) (accessed 2020-1-7)。
- [8] Stanford NLP Group: Stanford CoreNLP - Natural language software, Stanford CoreNLP (online), available from (<https://stanfordnlp.github.io/CoreNLP/index.html>) (accessed 2019-12-17)。