G-27

ネットワークトラブルシューティング演習支援システムにおける学習状況可視化機能の開発とシステムの評価

Development of a Learning Status Visualization Function for a Network Troubleshooting Exercise Support System and Evaluation of the System

東雲 美幸†　吉原 和明‡§　井口 信和‡§
Miyuki Shinonome　Kazuaki Yoshihara　Nobukazu Iguchi

1. 序論

我が国における IP トラフィック量は，新型コロナウイルス発生後に急激に増加し，2023 年 11 月時点では前年同月比 18.1%増の 34.5Tbps となっている．このことからネットワークの需要が大幅に高まっていることがわかる[1]．これに対して，IT 技術者は不足しており 2030 年には最大 79 万人不足すると言われている[2]．総務省の通信利用動向調査報告書では全ての産業においてネットワーク技術者が最も不足していると述べられている [3]．このことから，ネットワーク技術者の養成が急務となっている．

ネットワーク技術者には，ネットワークの設計・構築能力に加え，ネットワーク障害への対応能力の習得が求められる．令和 4 年度に報告された国内のネットワーク障害の報告件数は 7,500 件であり，ネットワーク障害が多発しているという現状がある[4]．ネットワーク障害が多発する原因の 1 つにヒューマンエラーがあり，ヒューマンエラーが原因で重大な事故に至るケースも少なくない[5]．このことから，ヒューマンエラーが原因のネットワーク障害が発生した場合に，素早く問題箇所を特定し対処する障害対応能力は，ネットワーク技術者にとってネットワークの可用性を高く保つために非常に重要となる．

ネットワーク障害に迅速に対応する能力を習得するには，ハンズオン形式でトラブルシューティング演習を反復実施することが有効である．しかしながら，トラブルシューティング演習の実施にはいくつかの課題がある．まず，トラブルシューティング演習を実施するには複数台の高価なネットワーク機器が必要となる点がある．次に，トラブルシューティングの演習準備として予め機器にネットワーク障害を含む設定を発行しておく必要があり，演習を開始するまでの作業に時間を要する点がある．

そこで我々は，ネットワーク障害をソフトウェアによって自動生成することでトラブルシューティング演習環境を即座に提供可能な仮想ネットワークを用いた演習支援システム（以下，旧システム）を開発してきた[6][7]．旧システムでは，仮想化技術を用いることで，学習者はルータやスイッチ等の実機を用意することなく 1 台の標準的な仕様の PC のみで OSI 参照モデル第 2 層，および第 3 層（以下，レイヤ2，レイヤ3）に対応したトラブルシューティング演習を実施することができる．しかし，旧システムでは演習終了後に結果を保存できなかったため，過去の演習履歴を見直すことができず，自身のトラブルシューティング能力の課題を認識することはできなかった．

† 近畿大学大学院総合理工学研究科，
Graduate School of Science and Engineering, Kindai University
‡ 近畿大学情報学部，
Faculty of Informatics Kindai University
§ 近畿大学情報学研究所，
Cyber Informatics Research Institute, Kindai University

そこで，新たに学習状況可視化機能を開発し演習支援システムに実装した．本機能は，データベースに収集した学習者のトラブルシューティング演習結果を表示する機能である．学習者は本機能を使用することで，間違いの多かった障害内容や時間を要した障害内容を確認可能となる．これにより，以前の演習結果が学習者の達成度を測る指標となり，今後の演習における対応の迅速性と正確性の向上を動機づける効果が期待される．また，機器に入力したコマンドの操作ログも収集し，表示する．これによって，演習時の自身の対応手順における無駄な操作や打ち間違いの多いコマンド等を客観的に振り返ることができる．以上のことから，本機能はトラブルシューティング演習の振り返りを支援し，継続的な学習意欲の向上が期待できる．

本稿では，新たに開発した学習状況可視化機能についてと，学習状況可視化機能の有用性，および，授業等の時間的制約がある状況下でのネットワークトラブルシューティングのハンズオン演習における実機と比較した本システムの有用性を評価するための実験について述べる．

2. 関連研究

ネットワークトラブルシューティング演習環境の提供が可能なシステムの関連研究として，立岩らの研究，平畑らの研究がある[8][9]．

立岩らの研究では，UML を活用して仮想環境上に障害のあるネットワークをシミュレートする演習システムを開発している[8]．このシステムでは，学習者が演習したい障害内容を自身で選択することでトラブルシューティング演習を実施できる．そのため，学習者は障害の原因を事前に推測できる状態で演習を進行するため，問題の切り分け能力の育成という点において課題が残る．これに対して本システムでは，Docker を活用しており，システムがランダムにネットワーク障害を自動生成することで障害のあるネットワークをエミュレートする．ランダムに障害が生成されるため，学習者は障害の原因を自力で突き止め，ネットワーク全体を把握して障害に対応する訓練を積むことができる．

平畑らの研究では，擬似演習者ロボットとの協調演習を可能とするトラブルシューティング演習システムを開発している[9]．このシステムでは，協調演習者として動作するコミュニケーションロボットと学習者が，実機を用いてネットワークトラブルシューティングの協調演習が可能な環境を提供する．これに対して本システムでは，仮想環境上でトラブルシューティング演習を実施できる．そのため，1 台の標準的な仕様の PC を用意するだけで実機を用いることなくトラブルシューティング演習が可能となる．

また，オンライン上でネットワークのトラブルシューティング演習を実施できるシステムの関連技術として，Cisco Packet Tracer（以下，CPT）がある[10]．CPT は，ネットワーク機器をソフトウェア上で操作することで，仮想ネットワーク環境を構築できるシミュレータである．CPT では予め用意されている演習ファイルを用いてトラブルシューティング演習を実施できるが，ファイル数が限られている．そのため，学習者が同じ範囲を反復演習する場合，障害の内容や発生箇所を覚えてしまう．これに対して本システムでは，システムが障害内容や障害箇所を演習ごとにランダムに指定して障害を生成する．そのため，学習者は同じ範囲の演習課題でも何通りものトラブルシューティング演習を実施可能となる．

さらに，学習者のコマンド履歴等を収集可能なネットワーク学習環境を提供するシステムの関連研究として，宮城らの研究がある[11]．宮城らは，ネットワーク構築演習時を対象とし，コマンドデータをもとにした演習の進捗をリアルタイムで学習者と指導者の両方に可視化可能なシステムを開発している．これに対して本システムは，ネットワークのトラブルシューティング演習時における学習者一人のみでの自己学習を対象としている点が異なり，学習状況としてコマンド履歴を含む演習結果を収集することで学習者自身の演習結果の振り返りに利用する．

3. 研究内容

3.1 システム概要

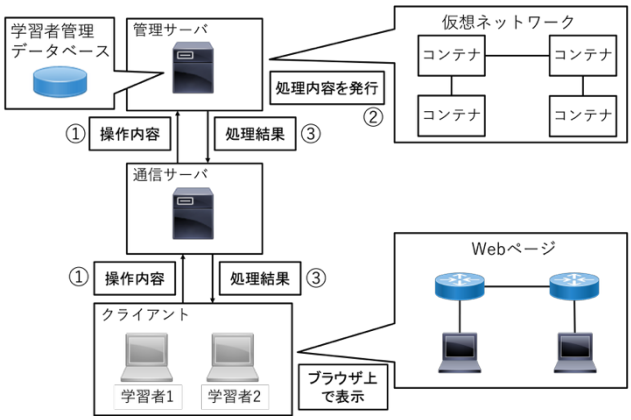


図 1：システム構成図

本システムは，仮想化技術を活用することで，Web ブラウザ上でネットワークのトラブルシューティング演習が実施可能な演習支援システムである．本システムの構成を図 1 に示す．本システムは管理サーバ，通信サーバ，及びクライアントで構成される．管理サーバは仮想ネットワーク機器（以下，仮想機器）を動作させ仮想ネットワークを構築し管理する．管理サーバが動作させることができる仮想機器は仮想ルータ，仮想ホスト，仮想スイッチである．管理サーバは，コンテナ技術の管理基盤である Docker を用いてコンテナを作成し，作成したコンテナ上でオープンソースのソフトウェアルータである VyOS を動作させることで仮想ルータを実現している．同様に，仮想ホストはコンテナ上で CentOS を動作させることで実現している．仮想スイッチは，ソフトウェアスイッチである Open vSwitch を用いて仮想ブリッジを作成し，作成した仮想ブリッジに対して Layer2 プロトコルを設定することで実現している．また，管理サーバは Java プログラムを用いて仮想機器で構成

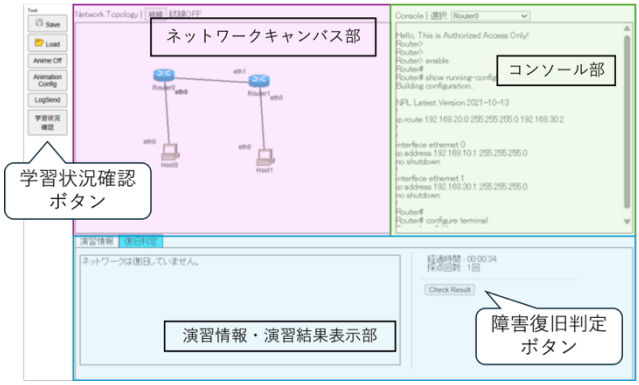


図 2：Web ページ上のシステム画面

された仮想ネットワークや演習情報を管理する．さらに，軽量なデータベースである SQLite3 を使用し，各学習者の学習者 ID や演習結果を紐付けて学習者管理データベース（以下，データベース）に保存する．通信サーバは管理サーバとクライアント間の通信を仲介する．クライアントには図 2 に示すような Web ページ上の GUI が提供され，それを用いて仮想機器に対して設定が可能となる．

本システムの処理の流れは以下の通りである．まず，クライアントの GUI 上での操作内容が通信サーバを介して管理サーバに送信される．次に，管理サーバはクライアントの操作内容を基に仮想ネットワークに処理内容を発行する．最後に，仮想ネットワークに対する管理サーバの処理結果を通信サーバを介してクライアントに返す．以上の流れにより，本システムは Web ページ上での仮想ネットワークを用いた演習を可能としている．

3.2 これまでに実装した機能

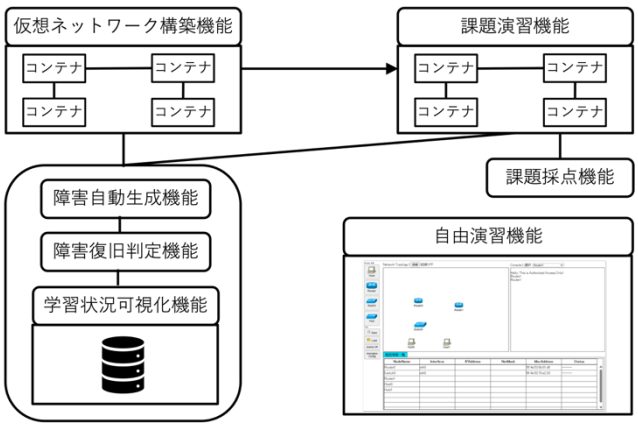


図 3：これまでに実装した機能

これまでに本システムの管理サーバに実装した機能について図 3 に示す．

まず，仮想ネットワーク構築機能とは，あらかじめ機器の台数や設定内容が書き込まれた XML ファイルを読み込むことで GUI 上に自動的に仮想ネットワークを構築可能な機能である．

次に，課題演習機能とは，与えられた課題の要件通りにネットワークの構築演習可能な機能である．学習者が要件通りに正しく構築できているかどうかは，課題採点機能を使用して判定する．課題採点機能では，課題の正解の設定コンフィグファイルと学習者が入力した設定コンフィグファイルとの比較により判定する．

また，自由演習機能とは，学習者が GUI 上のネットワークキャンバスに自由に仮想機器を配置し，結線することで仮想ネットワークを設計・構築可能な機能である．

トラブルシューティング演習を可能とする機能については以下で詳しく述べる．

3.3　障害自動生成機能

障害自動生成機能とは，正しく設定され正常に動作しているネットワークに対して，ランダムに機器を選択し，誤った設定を自動で上書きすることでネットワーク障害を生成する機能である．本機能で対象とするネットワーク障害の原因は，レイヤ 2・レイヤ 3 における設定ミスによるものとし，各仮想機器に対する障害項目は以下の表 1～3 のとおりである．

表 1：ルータの障害項目

ルータの障害項目
・インターフェースの IP アドレス ・インターフェースの shutdown ・スタティックルートの宛先ネットワーク ・スタティックルートのネクストホップアドレス ・RIP を有効化するネットワーク ・OSPF を有効化するネットワーク ・OSPF の指定するエリア ID

表 2：スイッチの障害項目

スイッチの障害項目
・アクセス VLAN ID ・トランクポートの通過を許可する VLAN ID ・LACP のチャンネルグループモード

表 3：ホストの障害項目

ホストの障害項目
・ホストの IP アドレス ・デフォルトゲートウェイアドレス

これらの障害項目の中からシステムがランダムに障害を選択し自動生成する．

また，本機能はネットワーク障害が含まれた演習ファイルを自動で作成しアップロードするのではなく，構築後のネットワークに障害を生成するため，学習者が自由に設計し，機器に設定やコメントを書き込んで構築したネットワークに対して本機能を使用することができる．これにより，学習者が残したコメントや設定等が消えることなく，構築からトラブルシューティングまで一貫して演習することができる．これにより，トラブルシューティングによって構築演習の振り返りとなり，より高い学習効果が期待できる．

本機能は以下の手順で使用する．学習者がネットワークの構築演習を実施し構築を完了させるか，本システムの仮想ネットワーク構築機能を使用することで仮想ネットワークの構築を完了させる．構築完了後に，クライアントの GUI 上にある障害自動生成ボタンを操作することで，学習者が構築した仮想ネットワークに対して本機能が動作し，システムが障害を自動生成する．以上により，ネットワーク障害を含んだネットワークの用意が完了し，学習者はトラブルシューティング演習の実施が可能となる．

3.4　障害復旧判定機能

障害復旧判定機能とは，ネットワークの復旧の状態を判定する機能である．学習者がトラブルシューティング演習

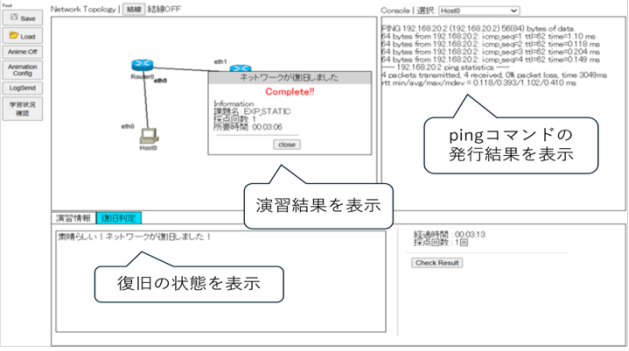


図 4：障害復旧後の画面

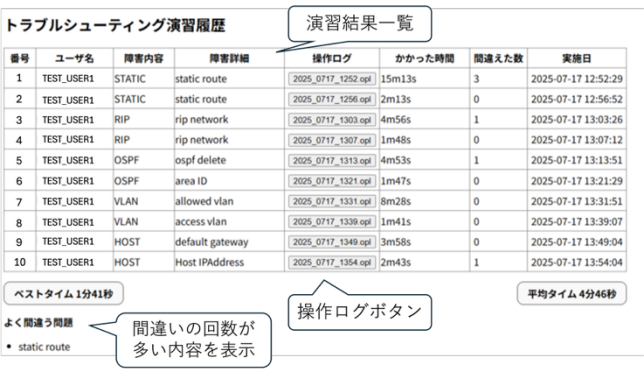
を実施し，復旧作業をしたネットワークの設定コンフィグファイルと，課題の正解の設定コンフィグファイルとの比較により復旧を判定する．判定と同時に，ホスト間で ping コマンドが自動的に発行され，仮想ホストのコンソールに疎通結果が表示される．

また，本機能の使用と同時に学習者の演習結果がデータベースに保存される．データベースに保持する演習結果の内容としては，発生した障害内容とその詳細・学習者が入力したコマンドの操作ログ・障害を復旧するまでに要した時間・障害復旧判定機能を使用して不正解だった回数・実施日である．これらの学習者の演習結果の情報がデータベースに保存され，後述する学習状況可視化機能において GUI 上で表示することができる．

本機能は以下の手順で使用する．学習者がトラブルシューティング演習中に，ネットワークの復旧作業が完了したと判断したタイミングで図 2 に示したシステム画面の右下にある障害復旧判定ボタンを操作する．本機能を使用すると，システムによって設定コンフィグファイルの確認と，ホスト間の ping コマンドが自動的に発行され，結果がデータベースに保存される．要件通りの設定になっていると，図 4 の左下に示したように「ネットワークが復旧しました」と表示される．逆に，ネットワークが要件通り復旧していない場合は，「ネットワークは復旧していません」と表示される．再度本機能を使用すると，使用したタイミングでの演習結果がデータベースに上書き保存される．最終的にデータベースには，演習開始から復旧したタイミングまでの全ての操作ログや，演習に要した時間等の演習結果が保存される．

4. 学習状況可視化機能の開発

学習状況可視化機能とは，データベースに収集した学習者のトラブルシューティング演習結果を表示する機能である．表示方法としては，本機能使用と同時にシステムにより新しいタブに学習状況確認ページが自動で開かれ，学習者のこれまでの演習結果の一覧表が表示される．学習状況確認ページの一例を図 5 に示す．また，表中の操作ログボタンを操作することで学習者が演習中にどの機器にどのようなコマンドを打ち込んだかを時系列順でモーダルウィンドウに表示でき，自身の対応手順を客観的に振り返ることができる．操作ログの一例を図 6 に示す．さらに，表の下部ではベストタイムや平均タイム，間違いの回数が多い問題を表示する．間違いの回数が多い問題とは，学習者が障害復旧判定機能を用いたが復旧していないと合計で 3 回以上判定された障害内容を指す．これらの表示により，学習者にとってどういった障害内容が復旧時間を要するのか，また，何度も間違えてしまうのか，無駄な手順はなかった



番号	ユーザ名	障害内容	障害詳細	操作ログ	かかった時間	間違えた数	実施日
1	TEST_USER1	STATIC	static route	2025_0717_1252.opl	15m13s	3	2025-07-17 12:52:29
2	TEST_USER1	STATIC	static route	2025_0717_1256.opl	2m13s	0	2025-07-17 12:56:52
3	TEST_USER1	RIP	rip network	2025_0717_1303.opl	4m56s	1	2025-07-17 13:03:26
4	TEST_USER1	RIP	rip network	2025_0717_1307.opl	1m48s	0	2025-07-17 13:07:12
5	TEST_USER1	OSPF	ospf delete	2025_0717_1313.opl	4m53s	1	2025-07-17 13:13:51
6	TEST_USER1	OSPF	area ID	2025_0717_1321.opl	1m47s	0	2025-07-17 13:21:29
7	TEST_USER1	VLAN	allowed vlan	2025_0717_1331.opl	8m28s	0	2025-07-17 13:31:51
8	TEST_USER1	VLAN	access vlan	2025_0717_1339.opl	1m41s	0	2025-07-17 13:39:07
9	TEST_USER1	HOST	default gateway	2025_0717_1349.opl	3m58s	0	2025-07-17 13:49:04
10	TEST_USER1	HOST	Host IPAddress	2025_0717_1354.opl	2m43s	1	2025-07-17 13:54:04

図 5：学習状況確認ページの一例

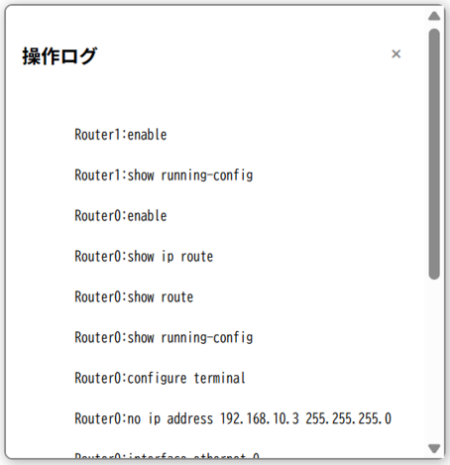


図 6：操作ログの一例

かなどといった学習者のトラブルシューティング能力の課題の把握や，今後の演習における対応の迅速性と正確性を向上させようとする学習者の動機付けを促進する効果が期待される．

演習結果の保存と演習履歴の確認の流れは，図 7 のとおりである．まず，学習者が演習終了後に GUI 上の障害復旧判定ボタンを操作すると，演習結果がデータベースに登録される．次に学習状況確認ボタンの操作でクライアントから管理サーバにデータ表示要求が送信され，管理サーバがデータベースから演習履歴を返し，クライアントで表示させる．

本機能の使用手順は，学習者がトラブルシューティング演習終了後，図 2 に示したシステム画面の左側にある演習

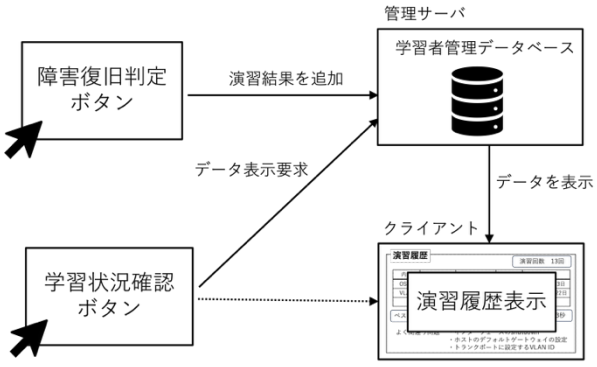


図 7：演習結果の保存と確認の流れ

履歴確認ボタンを操作することで動作する． 以上により，トラブルシューティング演習結果を確認することができる．

5. 実験

本研究では，本システムの学習状況可視化機能の有用性を評価することを目的として利用評価実験を実施した．また，授業等の時間が限られた状況下でのハンズオン演習において，実機と比較して本システムがどの程度有効かを検証することを目的として性能評価実験を実施した．

5.1 利用評価実験

利用評価実験は，本システムの学習状況可視化機能の利用によりトラブルシューティング演習の振り返りの補助になったかを評価することを目的に実施した．実験では，被験者に本システムによるトラブルシューティング演習を 10 回以上繰り返し実施してもらい，毎演習後に学習状況可視化機能を使用して結果の一覧表示や間違いの回数が多い問題等を確認させた．被験者の属性は，情報系の学部に在籍するネットワークを学習している大学生・大学院生の計 5 名である．その後，アンケートを実施し，学習状況可視化機能についての主観的な回答により評価を得た．アンケートでは 4 件法を使用し，「非常にそう思う」「そう思う」「そう思わない」「全くそう思わない」の 4 つの選択肢を用意した．結果は，「非常にそう思う」を 4 点，「全くそう思わない」を 1 点として点数を算出した．アンケート内容と結果の平均，および，標準偏差は以下の表 4 の通りである．

表 4：利用評価アンケート結果

質問内容	平均	標準偏差
操作ログによって自身のトラブルへの対応手順を客観的に確認できましたか	3.2	0.45
学習状況可視化機能では，間違いの回数が多かったところや時間がかかってしまっていたところが確認できましたか	3.8	0.45
自身の演習時の課題を把握する補助になると感じましたか	3.4	0.89
自身の対応手順を振り返ることは実機に比べて手軽でしたか	3.6	0.55
どのようなネットワーク障害の復旧に時間を要していたかを確認することは実機に比べて手軽でしたか	3.8	0.45
ベストタイムの表示によって次はその時間より早い時間で復旧したいと思いましたか	3.8	0.45
間違えた数の表示によって次は間違えないようにしたいと思いましたか	3.6	0.55
次の学習方針の決定がスムーズになると思いましたか	3.2	0.45
全体を通して学習状況可視化機能によって，「ネットワークのトラブルシューティング学習支援」になっていると感じましたか	4	0

（標準偏差値は小数点第 3 位を四捨五入）

アンケート結果より，全質問内容について平均で 3 以上の評価が得られた．また，「全体を通して学習状況可視化機能によって，『ネットワークのトラブルシューティング学習支援』になっていると感じましたか」 という質問に関しては全員一致で「非常にそう思う」との評価が得られた．

さらに，アンケートでは自由記述欄を設け，学習状況可視化機能について自由に記述させた．質問内容としては，「演習履歴の表示（操作ログ・かかった時間などが含まれた表）と，ベストタイム・平均タイム・間違いの回数が多い問題の表示について評価できると感じた点，逆に改善した方がいいと感じた点を教えてください．」や，「学習状況可視化機能を通して自身の演習で時間がかかってしまった問題や無駄な操作が多かった問題，何度も間違えてしまった問題などを把握しましたか．」などを設けた．

回答としては，演習履歴の表示に関しては，「障害詳細の部分でどのコマンドに関するエラーなのか詳細まで把握できるのは振り返りやすくいいと感じた．」という意見や，「演習を実施した大枠の演習項目で結果の絞り込みなどができるとさらに見やすくなると感じた．」という意見があった．また，操作ログの表示に関しては，「障害に対して何を考えてどのように行動していたかが客観的にわかったのでとても良いと感じた．」「操作ログの表示によって無駄な操作を確認できた．」という意見や，「タイプミスの回数が多いコマンドも表示できるといい．」という意見があった．ベストタイムや平均タイムの表示に関しては，「次はもっと早く解きたいという気持ちが生まれるので，ゲーム感覚になれる点がとても良いと感じた．」という意見や，「とてもモチベーションになると感じた．他の学習者の平均タイムも見られるようになると，より学習意欲が上がると思う．」といった意見があった．学習状況可視化機能の全体に関しては，「学習状況可視化機能があることで，客観的に自身の知識力や技術力を測ることができると感じた．」「苦手な分野を見つけることができたことに加えて，思ったより無駄な操作が多かったなと振り返ることができた．」「特に時間を要する障害がわかりやすかった．」という意見があった．

これらの結果より，学習状況可視化機能において間違いの多かった障害内容や時間を要した障害内容を確認可能としたことで，学習者のトラブルシューティング演習結果の客観的な振り返りの支援に繋がり，ベストタイムや平均タイムの表示によって，学習者の演習のモチベーションを向上したと考えられる．一方で，演習履歴の結果の絞り込みについてや，他の学習者のベストタイムとの比較についての意見もあり，今後これらを実装することで，さらなる学習効果の向上が期待される．さらに，今後の展望として，学習状況可視化機能で，学習状況に基づいた学習方針の決定を支援する機能を導入することが考えられる．この改善により，学習意欲を維持したままトラブルシューティング演習へ継続的に取り組むことを促し，より効果的な学習支援システムの構築が可能になると期待される．

5.2 性能評価実験

性能評価実験は，授業等の時間が限られた状況下でのネットワークトラブルシューティングのハンズオン演習における，実機と比べた本システムの有用性を評価することを目的に実施した．実験では，一般的な大学の授業時間である 1 時間半のうちに本システムでの演習を実施した場合と実機での演習を実施した場合とに分け，1 時間半の内に演習できた回数と，演習においての各手順に要した平均時間をそれぞれ計測した．

まず，本システムでの演習の実施要領は， 以下の通りである．

1. PC を起動し，システムを立ち上げる
2. 仮想ネットワーク構築機能・障害自動生成機能を用いてトラブルシューティング演習環境を整える
3. トラブルシューティング演習を実施する
4. 障害復旧判定機能を使用し，ホスト間の ping コマンドによる疎通確認と設定の正誤判定を実施する
5. 復旧していれば，学習状況可視化機能を使用し，演習に要した時間や間違えた回数，機器に入力した操作ログ等を確認する
6. 演習タブを閉じ，新しくタブを開き，再度演習を実施する
7. 演習終了後，システムを停止し，PC の電源を切る

これらの手順のうち，2〜6 は繰り返し実施した．

次に，実機での演習の実施要領は，以下の通りである．

1. 実機を取り出し，演習に必要な台数を机の上に配置して起動し，ケーブルで結線する
2. コンソールケーブルを機器に繋ぎ，トラブルシューティング演習のための誤りを含んだ設定コマンドを各機器に打ち込む
3. トラブルシューティング演習を実施する
4. ping コマンドによるホスト間の疎通確認を実施し，設定が合っているかを show コマンド等を使用し目視で確認する（もし間違っていれば，間違えた回数を記録する）
5. 復旧していれば，その障害内容に要した時間や，間違えた回数，操作ログ等の確認をする
6. 機器の設定を全て消す
7. 機器を停止させ，ケーブルを抜き片付ける

これらの手順のうち，1〜6 または 2〜6 は繰り返し実施した．

トラブルシューティング演習内容については，システムと実機で統一し，演習時間についても共に 3 分 40 秒として固定した．3 分 40 秒とした理由は，利用評価実験で被験者が本システムを利用してトラブルシューティング演習を実施した結果，全員の全演習時間の平均が 3 分 40 秒だったためである．

実験結果は，以下の表 5，表 6 の通りである．

表 5：性能評価実験結果

	本システム	実機
演習できた回数	14 回	4 回
1 回当たりの演習時間	6 分 25 秒	22 分 30 秒

表 6：各手順に要した時間

手順	本システム	実機
1	2 分 43 秒	5 分 25 秒
2	40 秒	6 分 42 秒
3	3 分 40 秒	3 分 40 秒
4	2 秒	3 分 04 秒
5	31 秒	1 分 35 秒
6	7 秒	5 分 11 秒
7	48 秒	4 分 38 秒

これらの実験結果から，本システムを用いることで，同一時間内においてより多くのトラブルシューティング演習を実施可能であることが示された．全ての演習手順において，本システムは実機を用いた場合よりも所要時間が短縮されており，特に手順2，4，6，7では両者間に顕著な差が認められた．これは，各機器に手作業で設定を投入する作業や， 機器に投入された設定の目視での確認作業，また，機器を再起動して入力した設定内容を初期化する作業などにおいて実機は多くの時間を要するからである．本システムでは，これらの手順を 1 分以内に完了させることができ，結果として 1 回あたりの演習時間を実機と比較して 30%以下にまで大幅に短縮することが可能となっている．

5.3　本システムと実機のメリット・デメリット

本システムでの演習と実機での演習のメリット・デメリットを比較した．本システムでの演習のメリットとして，トラブルシューティング演習準備にかかる手間を大幅に削減でき，即座に演習を開始できる点がある．また，時間や場所を問わずトラブルシューティング演習を実施できる点がある．演習準備の時間が削減できることで，限られた時間でより多くのトラブルシューティング演習を実施でき，障害対応能力の向上の支援となる．しかし，本システムでの演習のデメリットとしては，レイヤ2，3の演習に限られており，より幅広い範囲の障害には対応していない．逆に，実機での演習のメリットとして，実機特有の物理障害などの演習が可能となるため，実践的なトラブルシューティング演習に対応している点がある．より実際のネットワークトラブルシューティング環境に近い環境で演習が実施できることで，ネットワーク技術者に求められる障害対応能力を養うことができる．しかし，実機での演習のデメリットとして，実機の用意に費用やメンテナンスなどが必要となる点や，演習準備に時間を要する点がある．以上のことから，本システムは，授業等の時間が限られた状況下でのトラブルシューティングのハンズオン演習において，実機と比較して演習準備に要する手間を大幅に削減できるという利点を持ち，学習者はより多くの回数の演習を繰り返すことができる．

6. 結論

本稿では，ネットワークトラブルシューティング演習支援システムにおける学習状況可視化機能の開発とシステムの評価について述べた．学習状況可視化機能では，データベースに収集した学習者のトラブルシューティング演習結果を表示することで，間違いの多かった障害内容や時間を要した障害内容，また，自身の対応手順を客観的に確認することができる．

本機能の有用性を評価することを目的に利用評価実験を実施した．実験の結果，本機能は演習手順や結果の表示を通じて学習者の客観的な振り返りを支援するとともに，ベストタイムや平均タイムを提示することによって学習意欲を向上させる効果を持つことが示唆された．

また，授業等の時間が限られた状況下でのハンズオン演習において実機と比較して本システムが有効であるか評価することを目的に性能評価実験を実施した．実験の結果，本システムは，実機に比べて演習準備に要する手間を大幅に削減できていることが明らかになった．これにより，本システムは同一時間内においてより多くの演習機会を提供でき，障害対応能力の習得の支援が期待できることが示唆された．

以上のことから，本システムは，ハンズオンでのネットワークのトラブルシューティング演習において，実機と比較して有効であり，学習状況可視化機能によって学習者の演習結果の振り返りを効果的に支援することが期待できる．

今後の課題として，利用評価実験の被験者から，演習履歴の検索・絞り込み機能や他の学習者のベストタイムとの比較機能の実装を望む意見が寄せられた．これらの実装は，学習者の目標設定の具体化や競争意欲の向上を促し，システムの教育効果を一層高めるものと考えられる．さらに，今後の展望として，学習状況可視化機能で，学習状況に基づいた学習方針の決定を支援する機能を導入することが考えられる．この改善により，学習意欲を維持したままトラブルシューティング演習へ継続的に取り組むことを促し，より効果的な学習支援システムの実現が期待される．

謝辞　本研究は JSPS 科研費 24K15238 の助成により実施しました．

参考文献

[1] 総務省：令和5年版情報通信白書，入手先＜https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r06/html/nd212240.html＞（参照 2025 年 07 月 17 日）．

[2] 経済産業省：- IT 人材需給に関する調査 - 調査報告書（p.20），入手先<https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/houkokusyo.pdf>（参照 2025 年 07 月 17 日）．

[3] 総務省：令和 3 年通信利用動向調査報告書（企業編）（p.35），入手先 <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/pdf/HR202100_002.pdf>（参照 2025 年 07 月 17 日）．

[4] 総務省：電気通信サービスの事故発生状況（令和 4 年度），入手先<https://www.soumu.go.jp/main_content/000897675.pdf>（参照 2025 年 07 月 17 日）．

[5] 総務省：令和 5 年 3 月 - 電気通信事故検証会議，入手先 <https://www.soumu.go.jp/main_content/000878160.pdf> （ 参照 2025 年 07 月 17 日）．

[6] 東雲 美幸，吉原 和明，井口 信和：トラブルシューティング演習を可能とするネットワーク演習支援システムの開発，情報処理学会 第 86 回全国大会講演論文集，pp.963-964（2024）．

[7] 東雲 美幸，吉原 和明，井口 信和：レイヤ 2 に対応したトラブルシューティング演習を可能とするネットワーク演習支援システムの実装，2024 年度 情報処理学会関西支部支部大会 講演論文集(2024).

[8] 立岩 佑一郎，安田 孝美，横井 茂樹：仮想環境ソフトウェアに基づく Linux ネットワークトラブルシューティング実習環境提供システムの開発，情報処理学会研究報告コンピュータと教育（CE），pp.37-44（2007）．

[9] 平畑 聖也，井口信和：擬似演習者ロボットとの協調演習を可能とするネットワークトラブルシューティング演習システム，情報処理学会 第 82 回全国大会講演論文集，pp.725-726（2020）．

[10] Cisco Networking Academy：Cisco Packet Tracer，入手先 < https://www.netacad.com/cisco-packet-tracer>（参照 2025 年 7 月 17 日）．

[11] 宮城 勝，吉原 和明，越智 洋司，井口 信和：Slack を用いたネットワーク構築演習における学習状況可視化機能の実装，情報処理学会論文誌，Vol.65，No.1，pp.255-260(2024).