

ネットワークに関する協調的な対話機能を有する分散型ネットワーク構築ペア演習システムの開発

大岡 義旺^{1,a)} 立岩 佑一郎¹ 金 鎔煥¹ 片山 喜章¹

概要: ネットワーク構築演習では、学習者がペアを組み、実際に演習対象ネットワーク機器の接続や設定を行うドライバーと、ドライバーの作業内容や演習用ネットワークの状態確認を行うナビゲータの役割をそれぞれ担い、ドライバーはナビゲータに作業内容や演習用ネットワークの状態について質問したり、ナビゲータはドライバーに助言を与えたりするといった演習が行われている。遠隔地にいるペアがこのような演習を行う環境として、1) ペアが同一の演習用ネットワークを同時に操作/閲覧できること、2) 遠隔からその演習用ネットワークを操作/閲覧できること、3) ペア間の対話における発言の中で演習用ネットワークの注目箇所を正確かつ容易に伝達できること、4) 過去の対話内容を保管しておき必要に応じて読み出せることが重要である。しかし、このような環境を実現する演習システムは筆者らの知る限り存在しない。本稿では、第1項と第2項を満たす仮想マシンによるネットワークを用いた演習用ネットワーク管理機構とネットワーク操作 GUI、その GUI に対して第3項を満たす注目箇所作成・表示機能による対話支援機構、その機構により行われた対話内容の第4項を満たす保管機構を有する演習システムを提案する。

A Development of a Distributed Pair Exercise System for a Network Construction with a Collaborative Communication Function on the Network

OOKA YOSHIAKI^{1,a)} TATEIWA YUICHIRO¹ KIM YONGHWAN¹ KATAYAMA YOSHIAKI¹

1. はじめに

ネットワーク構築演習では、学習者がペアを組み、実際に演習対象ネットワーク機器の接続や設定を行うドライバーと、ドライバーの作業内容や演習用ネットワークの状態確認を行うナビゲータの役割をそれぞれ担い、ドライバーはナビゲータに作業内容や演習用ネットワークの状態について質問したり、ナビゲータはドライバーに助言を与えたりするといった演習が行われている。文献 [1] では、こうしたペアの学習者で行うネットワーク構築演習によって学習効果が高まることが示されている。仮想マシンをノードとするネットワークをサーバ上を実現し、インターネットを経由して遠隔のクライアントからそのネットワークを操作

できる演習システムが開発されてきた [2][3]。このような演習システムにて遠隔からペア演習を実施するには次のような問題点がある。

問題点 1 ナビゲータは、ドライバーが演習対象ネットワーク機器の接続や設定の操作を行っている状況を閲覧する機能を有していない。

問題点 2 学習者はネットワーク構築画面において相手に見てもらいたい表示 (注目箇所と呼ぶ) を対話の中で伝える機能を有していない。

本研究では以下の特徴をもつ分散型ネットワーク構築ペア演習システムを提案し、その実現法について述べる。特徴 1 はネットワーク協働構築支援、特徴 2 は対話支援によって実現した。

特徴 1 ネットワークを経由して、同時に複数の GUI で一つの演習用ネットワークを操作したり、操作状況を閲覧できる。

¹ 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻
〒466-8555 愛知県名古屋市中昭和区御器所町

a) ooka@moss.elcom.nitech.ac.jp

特徴 2 マウス操作で注目箇所を直感的に選択できる。注目箇所へのリンクを含んだメッセージを学習者で共有できる。リンクに基づいて注目箇所を可視化する。

2. 関連研究

文献 [1] では、ネットワーク構築のペア演習において学習効果を高められることが示された。また、学習者間の対話が増えることで教師の負担を減らすことができることも確認されている。実験には、ペアの学習者がネットワーク構築において二台の計算機の Web 端末から一つの仮想マシン端末にて同時にコマンドを入力できるような環境が用いられている。このシステムは他の学習者の作業を閲覧する機能を有していないため、問題点 1 を解決できない。また、対話はテキストチャットによって行われているため、問題点 2 を解決できない。

文献 [4] では、複数の学習者が分担してネットワークを構築するシステムが開発された。他の学習者が担当しているネットワーク機器は、設定用コンソールによるアクセスができなく、設定作業や情報確認を行えないため、問題点 1 を解決できない。また、対話はテキストチャットによって行われているため、問題点 2 を解決できない。

文献 [5] では、ペアの学習者で対話を行いながらソースコードを作成するシステムが開発された。対話はソースコードの注目させたい箇所に注釈を入れる形式で発言を行えるが、注目箇所と発言が 1:1 となり、発言の中で必要に応じて他の注目箇所を柔軟に伝えることができない。

3. ネットワーク構築ペア演習

3.1 ネットワーク構築演習

本研究で想定しているネットワーク構築演習は、大学の工学部情報系の演習授業である。演習問題は指定された設定値の制約、動作の条件を満たすネットワークを構築するというものである。こうした演習において、学習者は下記の手順 1~3 を正解まで繰り返す。そのとき、必要に応じて演習問題の閲覧、設定内容の閲覧を行う。

手順 1 ネットワークの設計

- 機器の接続関係の考案や IP アドレスの考案など

手順 2 ネットワークの実装

- 機器の接続
 - ノード (サーバ, ルータ等): 設置, 起動, 停止, 撤去
 - ケーブル: 接続, 切断
- 機器の設定
 - IP アドレス設定 (ifconfig コマンド) やルーティング設定 (route コマンド) など

手順 3 ネットワークの動作実験

- 導通確認 (ping コマンド) や経路確認 (traceroute コマンド) など

表 1 注目箇所の単位

種類	単位
ネットワークの構成要素	ノード (サーバ, ルータ, スイッチ)
	ノードのイーサネットポート
	ケーブル
コンソール	矩形内の文字列 (コマンド, 設定値, 実行結果)

3.2 ネットワーク構築ペア演習

ペアはドライバーとナビゲータの役割をそれぞれ交互に担当してネットワーク構築を行う。ドライバーは第 3.1 節の手順でネットワークを構築し、ナビゲータはドライバーの作業注視、ネットワークの動作実験、設定内容の閲覧により、ネットワークの誤りを見つけ、ドライバーの問題点を指摘する。また、ナビゲータはこうした作業によって役割の交代に備える。

3.3 ネットワーク構築ペア演習における対話

ペアの各作業において、次のような動機で対話が発生すると考えられる。

- ドライバー
 - ネットワークの設計において、演習問題で分からない部分を質問する
 - ネットワークの実装において、コマンドの入力中に特定の位置の引数を質問する
 - ネットワークの動作実験において、コマンド実行出力の分析中に特定部分の意味を質問する
- ナビゲータ
 - ドライバーの作業注視において、ドライバーが入力中のコマンドの特定部分の誤りを指摘する
 - ネットワークの動作実験において、コマンド実行結果の特定部分に基づいてネットワークの動作誤りを指摘する
 - 設定内容の閲覧において、コマンド実行出力に表示された設定値の誤りを指摘する

対話において相手に伝える情報を発言と呼ぶこととする。対話の目的に結果が出るまで、ペアは発言を交換する。また、対話の起点となる発言は相手に見てもらいたい情報 (注目箇所と呼ぶ) を含んでいる。対話の途中では必要に応じて発言に注目箇所が含まれる。

先述の作業において考えられる注目箇所の単位を表 1 に示す。複数の注目箇所をまとめた一つの注目箇所 (注目箇所グループと呼ぶ) を伝えたり、一つの発言の中で複数の注目箇所を個別に伝えることも考えられる。

3.4 対話の例

対話の発言の例を図 1 のネットワークを用いて説明する。ここでは、svr1 と svr2 の間において指定された経路で導通するネットワークを構築するといった演習問題を行っ

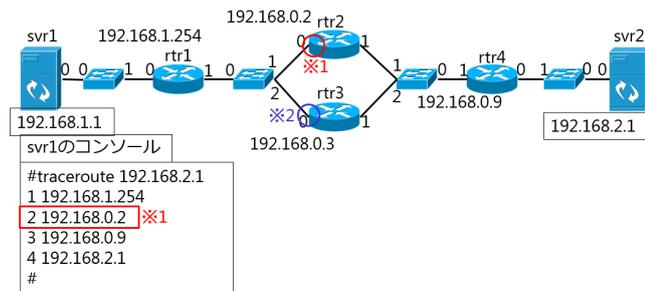


図 1 対話の発言の例

ている状況を想定している。ナビゲータはネットワークの動作実験で traceroute コマンドにより経路確認を行い経路が誤っていることに気付いた。そこで、ナビゲータは「※1(コマンド実行結果の IP アドレス 192.168.0.2 の部分と、それに該当するネットワーク構成要素の rtr2 の eth0 の部分の注目箇所グループ)ではなく※2(rtr3 の eth0 の部分の注目箇所)を通るべきでは？」という指摘をする。

4. 提案システム

4.1 システム要件

要件 1 ペアが同一の演習用ネットワークを同時に操作、閲覧できる。ナビゲータは、ドライバーが演習対象ネットワーク機器の接続や設定の操作を行っている状況を閲覧することができる。ドライバーがこうしたネットワーク構築操作を行っている間、ナビゲータは、演習用ネットワークの状態を調査するための機器情報の閲覧やコンソール操作を行える。

要件 2 遠隔から演習用ネットワークを操作、閲覧できる。

要件 3 ペア間の対話において演習用ネットワークの注目箇所を伝達できる。

要件 4 発言はテキスト形式とする。

要件 5 発言の中で「ここ」といった指示語で注目箇所を指して情報伝達を行う。これは注目箇所の伝達を発言の中で正確かつ容易に行えるようにするためである。

要件 6 発言を所属させる話題を作ることができる。ユーザは、最初に話題を作り、話題毎に発言を行っていく。これにより、対話内容を把握しやすくなる。

要件 7 過去の対話内容を話題毎に保管しておき必要に応じて読み出せる。これは各話題における対話内容を後で見直したり、復習できるようにするためである。

要件 8 複数のペアが同時にネットワーク構築、対話を行える。

4.2 ハードウェア構成

ハードウェア構成を図2に示す。各学習者が異なる計算機で演習用ネットワークの編集、対話を行えるために、学習者毎に学習者用計算機が必要となる。学習者用計算機にて演習用ネットワークの編集と対話のための GUI(ネット

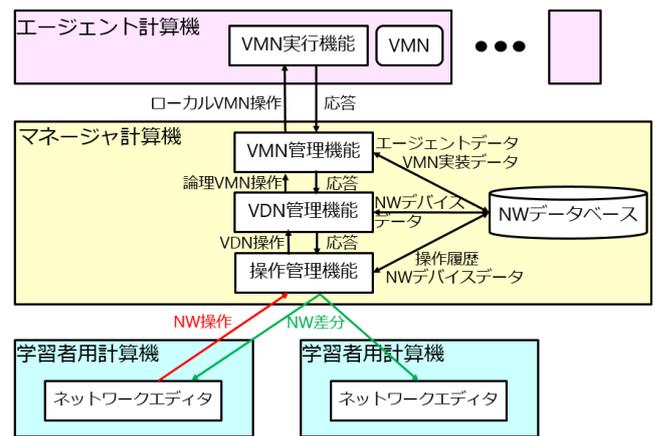


図 2 ネットワーク協働構築支援のシステム構成

ワークエディタ) を実行する。複数人の学習者が同一の演習用ネットワーク、注目箇所を含む対話を共有できるために、これらをマネージャ計算機にて集中管理する。そして、学習者は遠隔から操作を行えるようにマネージャ計算機に対して複数の学習者用計算機をインターネットに接続した構成とする。また、演習用ネットワークを実現するための仮想マシンによるネットワーク (VMN) の稼働はマネージャ計算機にインターネットで接続した複数のエージェント計算機で行う。これにより、一台の計算機では実現できない規模の演習用ネットワークをエージェント計算機の追加で実現できる。

4.3 ネットワーク協働構築支援

4.3.1 システム概要

ネットワーク協働構築支援の詳細は文献 [6] を参考にされたい。システム構成は図2のようになる。操作管理機能では学習者からのネットワーク操作 (NW 操作) を受け付け、その操作を実行し、ネットワークを記録し、そのネットワークを配信する。演習用ネットワークには VMN を用い、マネージャ計算機の VDN 管理機能、VMN 管理機能、エージェント計算機の VMN 実行機能によって実現されている。VDN は演習に適した操作が可能なネットワークであり、VMN の操作で実現される。ネットワークエディタと操作管理機能間のデータ交換をネットワーク通信で行うことで、要件2を満たす。また、複数人が同時に操作を行えるように、メッセージは他の操作の完了によらず送受信し、次の操作を実行できるようにしている。このために、メッセージ毎に ID を付加し、それらの操作は別々のスレッドで実行している。操作管理機能にて生じたネットワークの差分 (NW 差分) を複数のネットワークエディタに配信し、ネットワークエディタではその内容を反映し再描画する。これにより要件1を満たす。

4.3.2 NW データベース

表2は演習用ネットワークにおけるネットワークデバイ

表 2 ネットワークデバイステーブル

カラム名	データ型	説明
device_id	整数型	デバイス ID を識別する ID
device_name	文字列型	デバイスに付けられた名前
device_type	文字列型	デバイスタイプ umlnode(サーバ, ルータ等), umsnode(スイッチ), cable(ケーブル)
pair_id	文字列型	ペアを識別するペア ID

スデータをマネージャ計算機のシステム内で集中管理するためのテーブルである。ネットワークデバイスはペア毎で管理できるようにペア ID と対応付けて記録する。umlnode のデバイスのコンソールで今まで出力されてきた全文字列は、コンソール管理テーブルにて組 (コンソール ID, 二次元配列 C_Array) で管理する。例えば、コンソールの初期状態で 1 行 1 列目の文字が a であれば C_Array[1][1]=a である。そのコンソールの最後に改行が三つ挿入され、1 行 1 列目の文字が c であれば、C_Array[3][1]=c である。

4.3.3 ネットワークエディタ

ネットワークエディタは演習用ネットワークの操作を実現するユーザインタフェースである。学習者は、サーバ、ルータ、スイッチ等のデバイスの操作として、設置、起動、停止、撤去、コンソール入力を行うことができ、ケーブルの操作として、デバイスのポート間の接続、切断を行える。設置、接続操作におけるデバイスのデータ入力、デバイス設定のコンソール入力にはキーボードによる入力を行う。追加デバイスの種類選択、デバイスの操作選択、デバイスの選択、ネットワーク構成の図の変更にはマウスによる入力を行う。コンソール出力結果はテキストによる出力、ネットワーク構成は画像による出力を行う。ネットワークエディタは下記のように動作する。

- 学習者によるネットワーク操作 (デバイスとケーブルの操作、操作対象デバイスの名前、操作対象デバイスのデータ) とユーザ ID とペア ID を操作管理機能へネットワーク通信で送信する。コンソール入力においては一文字単位の入力によってネットワーク操作を生成する。
- 操作管理機能からネットワークの差分をネットワーク通信で受信し、その内容をもとにネットワークを更新する。

4.4 対話支援

4.4.1 システム概要

システム構成を図 3 に示す。注目箇所 ID は注目箇所を一意に定めるための識別子であり、注目箇所リンクは注目箇所 ID に基づきメッセージ内で注目箇所を指し示すためのハイパーリンクである。リンク付きメッセージは注目箇所リンクとユーザからの入力テキストから構成される。注目箇所管理機能では、注目箇所を記録することで複数の学

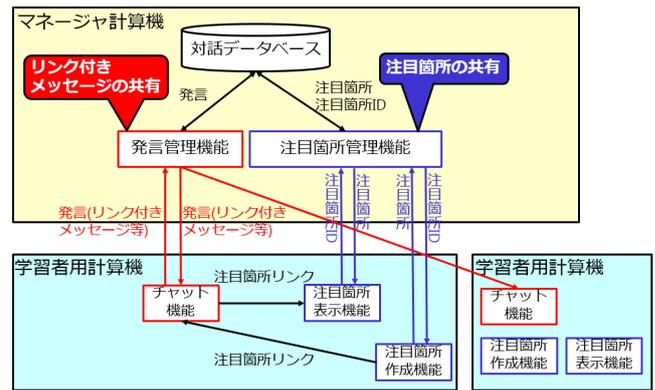


図 3 対話支援のシステム構成

習者用計算機間で注目箇所の共有を行え、注目箇所の集合に識別子 (注目箇所 ID) を付けることでハイパーリンクから複数の注目箇所を指せるようにする。注目箇所作成機能は学習者に指定された注目箇所を指すハイパーリンク (注目箇所リンク) を生成する。注目箇所表示機能は注目箇所リンクをパースし、得られた注目箇所 ID に対応した注目箇所を可視化表示する。発言管理機能では、複数の学習者計算機間でリンク付きメッセージの共有を行える。チャット機能では、発言管理機能を介して、リンク付きメッセージの送信や受信を行う。要件 3 を注目箇所作成機能、注目箇所管理機能、注目箇所表示機能、対話データベースで実現し、要件 4、要件 5、要件 6 をチャット機能と発言管理機能で実現し、要件 7 を発言管理機能、対話データベースで実現し、要件 8 を発言管理機能、対話データベースにより実現している。

4.4.2 対話データベース

表 3 は発言に関するテーブルであり、これにより過去の対話内容を保管する。話題を識別する話題 ID、ペアを識別するペア ID が必要であり、発言は組 (ペア ID, 話題 ID, ユーザ ID, リンク付きメッセージ) で管理される。これにより要件 7 を満たす。表 4~6 は注目箇所に関するテーブルであり、選択された注目箇所を保管する。表 4 は注目箇所とされたネットワーク構成要素を記録するテーブルであり、表 5 は注目箇所とされたコンソールの矩形内文字列を記録するテーブルである。ネットワーク構成要素は組 (デバイス ID, ポート名) で管理され、コンソールの矩形内文字列は組 (コンソール ID, 矩形の左上の開始行番号, 矩形の左上の開始列番号, 矩形の右下の終了行番号, 矩形の右下の終了列番号) で管理される。表 6 はこれらと注目箇所 ID を対応付けて管理するための注目箇所管理テーブルである。注目箇所は組 (ネットワーク構成要素の集合 N, 矩形内文字列の集合 S) で管理される。

4.4.3 注目箇所作成機能

手順 1 学習者による注目箇所選択の操作を受け付ける。学習者はネットワークエディタのネットワーク構築画面において、マウスクリックによりネットワーク構成

表 3 発言テーブル

カラム名	データ型	説明
statement_id	string	発言を識別する発言 ID
topic_id	string	話題を識別する話題 ID
pair_id	string	ペアを識別するペア ID
time	time	発言管理機能が受信した時刻
user_id	string	ユーザを識別するユーザ ID
statement	string	発言内容 (リンク付きメッセージ)

表 4 ネットワーク構成要素テーブル

カラム名	データ型	説明
component_id	string	注目箇所の単位となる要素の ID
device_id	string	デバイスを識別するデバイス ID
port_name	string	イーサネットポート名

表 5 コンソール矩形テーブル

カラム名	データ型	説明
rectangle_id	string	注目箇所の単位となる矩形の ID
console_id	string	コンソール ID
start_row	string	矩形の開始行 (C_Array の第一添字)
start_column	string	矩形の開始列 (C_Array の第二添字)
end_row	string	矩形の終了行 (C_Array の第一添字)
end_column	string	矩形の終了列 (C_Array の第二添字)

表 6 注目箇所管理テーブル

カラム名	データ型	説明
remark_id	string	注目箇所 ID
type	string	注目箇所の種類 (要素, 矩形)
unit_id	string	注目箇所の単位 (要素 ID, 矩形 ID)

`指示語`

図 4 注目箇所リンクの書式

要素を、コンソール上でのマウスドラッグにより矩形内文字列を注目箇所として指定できる。

手順 2 注目箇所管理機能からその注目箇所に対応する注目箇所 ID を取得する。

手順 3 注目箇所 ID に基づいた注目箇所リンクを作成する。注目箇所リンクの書式を図 4 に示す。

4.4.4 注目箇所表示機能

手順 1 注目箇所リンクから注目箇所 ID を抽出する。

手順 2 注目箇所管理機能から注目箇所 ID に対応する注目箇所を取得する。

手順 3 注目箇所の強調描画を行う。ネットワーク構成要素は色付きの枠で囲い、コンソールの矩形内文字列は背景に色を付ける。注目箇所リンクと注目箇所はそれぞれ対応関係が分かるように同じ色で表示する。

4.4.5 チャット機能

リンク付きメッセージの作成と送信

手順 1 ペア ID が p の学習者 (ユーザ ID:u) は発言を

追加する話題 (話題 ID:d) を選択する。学習者は注目箇所選択又はテキスト入力によりリンク付きメッセージ (例: `ここ` と `ここ` について) を作成する。注目箇所作成機能で作成された注目箇所リンクと入力されたテキストを連結することで、リンク付きメッセージを作成することができる。

手順 2 発言を発言管理機能へ送信する。

リンク付きメッセージの受信

手順 1 発言管理機能から発言を取得する。

手順 2 リンク付きメッセージを可視化 (例: ここについて) し、話題 ID:d にユーザ ID:u と対応付けて表示する。

4.4.6 発言管理機能

手順 1 時刻 t に発言交換機能から発言 (ペア ID:p) を受け取る。

手順 2 発言テーブルに発言と時刻 t を登録する。発言 ID はユニークな値とする。

手順 3 ペア ID が p の発言交換機能へ発言と時刻 t を送信する。

4.4.7 注目箇所管理機能

注目箇所記録

手順 1 注目箇所作成機能から注目箇所 A を取得する。注目箇所 ID にユニークな値をつける。

手順 2 ネットワーク構成要素テーブルに $n \in A.N$ の全ての要素を格納し、コンソール矩形テーブルに $s \in A.S$ の全ての要素を格納する。注目箇所管理テーブルにおいて、n の要素 ID 又は s の矩形 ID と注目箇所 ID を格納する。

手順 3 生成した注目箇所 ID を注目箇所作成機能に送信する。

注目箇所取得

手順 1 注目箇所表示機能から注目箇所 ID を取得する。

手順 2 注目箇所 ID=注目箇所管理テーブル.remark_id となる注目箇所管理テーブルのレコードの集合を G とし、注目箇所を A とする。全ての $g \in G$ において $g.type = \text{"要素"}$ であればネットワーク構成要素テーブルから $g.unit_id = component_id$ となるレコードを取得し A.N に追加し、 $g.type = \text{"矩形"}$ であればコンソール矩形テーブルから $g.unit_id = rectangle_id$ となるレコードを取得し A.S に追加する。

手順 3 注目箇所 A を注目箇所表示機能に送信する。

5. プロトタイプシステム

プロトタイプシステムの実行環境を図 5 に示す。エージェント計算機には VMN を実行するエージェント、学習者用計算機にはネットワーク協働構築操作と対話操作を

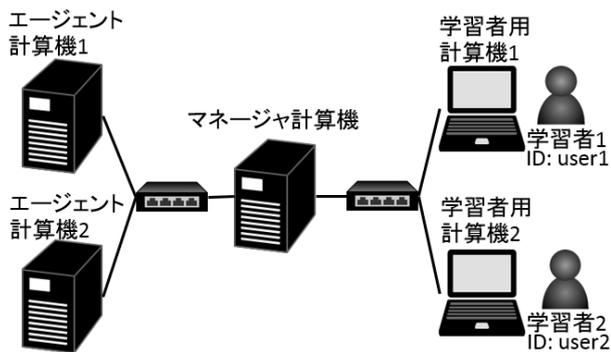


図 5 実行環境

行えるネットワークエディタ，マネージャ計算機には演習用ネットワーク，学習者の対話を管理するマネージャを実行した。マネージャとエージェントの実装は C++ で行い，データベースには MySQL を使用した。ネットワークエディタは Java，GUI 用の JavaFX ライブラリ [7] で実装した。ネットワーク通信におけるデータ形式には JSON 形式を用いた。

ネットワークエディタの GUI を図 6 に示す。領域 (1)，(2) にて，機器情報入力や，設置，起動，停止，撤去ボタンによりネットワーク構築操作を行える。領域 (3) では構築したネットワークの物理構成が表示され，ペアの学習者は同じものを閲覧できる。領域 (4) では話題を作成し，話題の ID をコンボボックスから選択することができる。領域 (5) では，注目箇所選択やテキスト入力によって，リンク付きメッセージの作成と送信を行える。

注目箇所選択の場合は「注目箇所選択開始」ボタンを押すことで選択モードにする。そして，ネットワーク構成要素は GUI のネットワーク構築画面において対象をマウスでクリックし図 7 の (b) の画面にて本体又はイーサネットポート名を選択し「選択」ボタンを押す。コンソール矩形内文字列は図 7 の (a) の画面のように対象をマウスでドラッグする。選択し終われば「注目箇所選択終了」ボタンを押すことで注目箇所リンクが生成される。その注目箇所リンクと入力テキストによるリンク付きメッセージの作成状況を図 8 に示す。領域 (6) では選択されている話題における学習者による発言（リンク付きメッセージ）の一覧が表示される。表示されているメッセージのリンクをクリックすることで，GUI のネットワーク構築画面のネットワーク構成要素やコンソール矩形内文字列の注目箇所が強調描画される。リンク付きメッセージと注目箇所の強調描画の例を図 9 に示す。赤色の注目箇所リンクに対してはコンソール矩形内文字列とそれに対応したルータのポートが，青色の注目箇所リンクに対してはルータのポートが，緑色の注目箇所リンクに対してはルータ本体が，それぞれリンクと同じ色で強調描画されている。

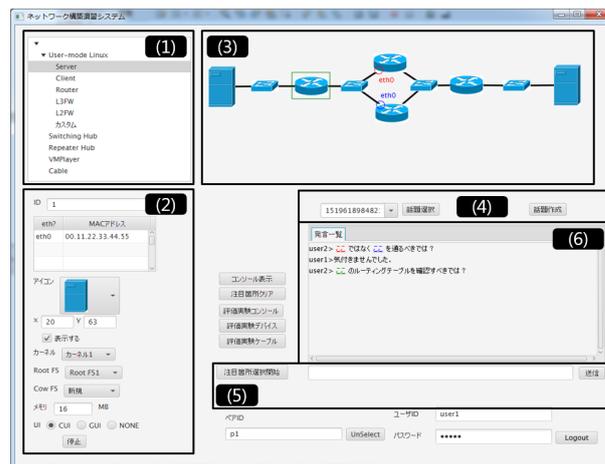


図 6 ネットワークエディタの GUI

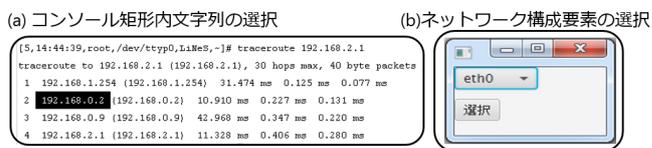


図 7 注目箇所の選択

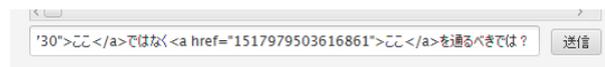


図 8 リンク付きメッセージ作成フォーム

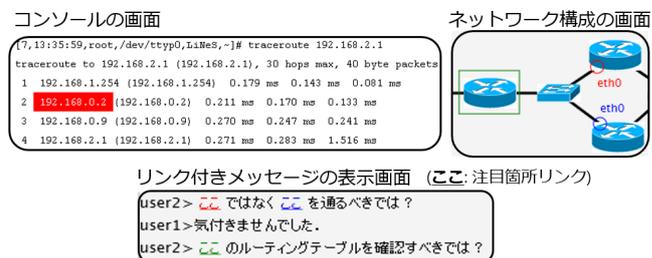


図 9 リンク付きメッセージと注目箇所の強調描画

6. 評価実験

6.1 評価実験の目的

プロトタイプシステムを用いることで，学習者が，評価 1) ネットワーク構築操作を問題なく行えるか，評価 2) 対話において注目箇所を速く簡単に正確に伝えられるかどうかを調査する。

6.2 事前準備

まず，プロトタイプシステムを用いてネットワーク構築の練習を行った。この練習により，被験者はネットワーク構成要素と機器のコンソールで用いるコマンドの知識を習得した。次に，練習で構築したネットワークに関する対話の練習を行った。ここでは，ネットワーク構成要素やコンソール内の注目箇所を相手に伝えるような発言を行った。

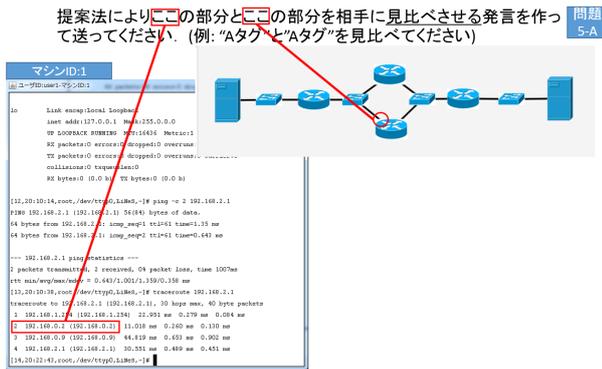


図 10 問題の後半の例

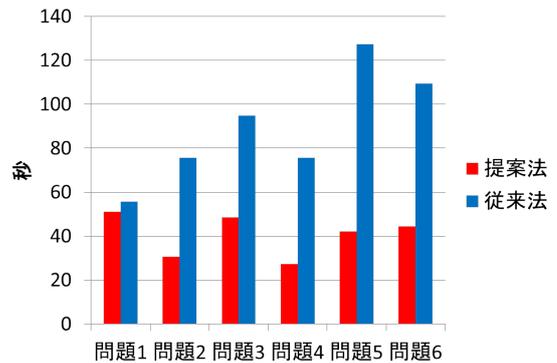


図 12 発言時間

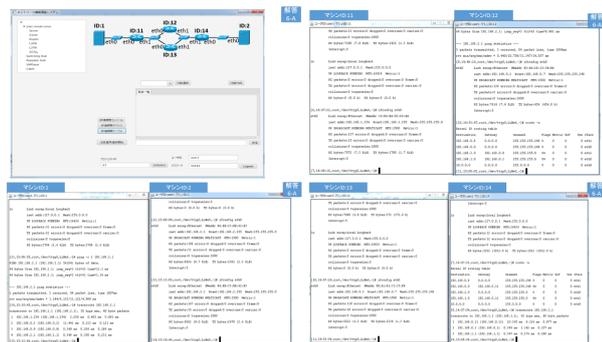


図 11 解答用紙の例

表 7 発言者の評価平均

問題	1	2	3	4	5	6
操作性	4.6	4.3	4.5	4.4	4.7	4.7
表現し易さ	4.6	5.0	5.0	4.9	5.0	5.0

発言は注目箇所作成・表示機能を使用した方法(提案法)とプレーンテキスト(従来法)による方法の両方で行う。この練習により、被験者に提案法と従来法による発言の両方を経験させた。

6.3 評価実験の内容

評価1では、事前準備のネットワーク構築における操作の応答性に関してアンケート調査を行った。評価2では次のような実験を行った。

被験者は発言者10人、閲覧者10人である。発言者は、6種類の注目箇所の使用法を想定した問題12題(提案法に6題、従来法に6題)において、提案法又は従来法によって交互に発言を行う。ここでは、実際の構築作業における対話の発生を想定し、最後の操作に関する表示を注目箇所として発言してもらう。問題は、前半と後半の2部から構成される。前半では、発言者はネットワーク構築を問題の手順に従って行う。後半では、注目箇所の指示に従って発言を生成し送信する。前半は手順に従うため、すべての被験者のネットワークの表示は同じとなる。閲覧者は、発言を見たら、GUIに当該注目箇所を探し、見つけたら解答用紙(ネットワーク構築全画面)に記す。問題の後半、解答用紙の例をそれぞれ図10、図11に示す。

こうした作業に関して、速さ、簡単さ、正確性の観点から評価を行った。速さでは、発言伝達にかかる時間を測定した。具体的には、発言者が問題の後半を閲覧してから発

言を送信するまでの時間(発言時間)と発言が送信されてから閲覧者が解答を完了するまでの時間(閲覧時間)を測定した。簡単さでは、対話に関するアンケート調査を問題毎に行った。発言者にはシステムの操作性、従来法に対する提案法による発言の表現しやすさを5段階で評価し、閲覧者にはシステムの操作性、従来法に対する提案法による発言の理解しやすさを5段階で評価した。正確性では、閲覧者の解答が出題の意図通りであるか、すなわち、発言伝達の成否(○, ×), 発言表現の妥当性(○, ×, △), 発言表現解釈の妥当性(○, ×)の判定を行った。発言表現の妥当性が△の場合は注目箇所を一意に定められなく曖昧な発言表現であることを意味する。この場合の発言表現解釈の妥当性として閲覧者の解釈自体が誤りでなければ○とする。

6.4 評価実験の結果

評価1では、総合的なシステムの応答性の5段階評価が平均して4.9であり、問題なく操作を行えることが確認できた。評価2の結果は次のようになった。

まず、速さの結果を示す。発言伝達にかかる時間のグラフを図12, 13に示す。発言時間の平均は、どの問題においても提案法の方が従来法よりも短く、閲覧時間の平均も提案法の方が短かった。従来法では、発言者は注目箇所の言葉による表現を考えるのに時間がかかり、閲覧者は注目箇所の言葉による表現を解釈するのに時間がかかったと考えられる。このため、発言伝達にかかる時間は提案法の方が短く、提案法によって注目箇所の伝達をより速く行えるといえる。次に、簡単さの結果を示す。アンケート調査における発言者、閲覧者の評価平均をそれぞれ表7, 表8に示す。どの項目においても5に近いものであったことから、提案法によって注目箇所の伝達をより簡単に行えるといえる。最後に、正確性の結果を示す。発言伝達の成功率のグラフを図14に示す。提案法の方が従来法より発言伝

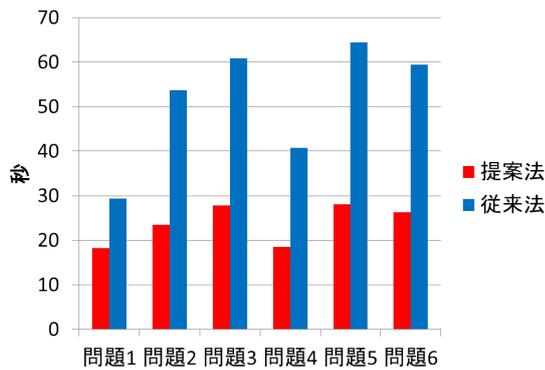


図 13 閲覧時間

表 8 閲覧者の評価平均

問題	1	2	3	4	5	6
操作性	4.9	5.0	5.0	4.9	5.0	5.0
理解し易さ	4.8	5.0	4.8	4.9	5.0	4.9

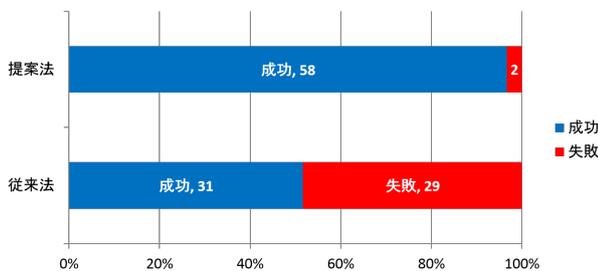


図 14 発言伝達の成功率

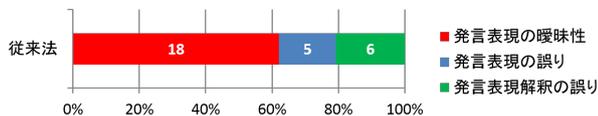


図 15 発言伝達失敗の原因

達の成功率が高いことが分かる。従来法において発言伝達が失敗した原因として、発言表現が曖昧であったために、閲覧者は出題の意図とは異なる解釈をしてしまったということが最多であり、発言表現自体が誤ってしまったり、発言表現は正しいが解釈が誤ってしまったりという事例もあった(図 15)。発言表現の曖昧性が原因となり伝達失敗した事例を次に示す。図 16 の※ 1(コンソール内のルーティングテーブルの 4 つ目のルール) を注目させる発言を行う問題で、発言者は「“route -n” の結果が表示されている中の上から 4 行目に注目してください。」という発言表現をしたために、閲覧者はルーティングテーブル自体ではなくコマンド実行結果内の 4 行目だと捉えてしまい※ 2(ルーティングテーブルの 2 つ目のルール) の部分を解答してしまった。一方、提案法による発言伝達ではこのようなことは少なかった。このため、提案法によって注目箇所の伝達をより正確に行えるといえる。

```
[4,19:52:38,root,/dev/tty0,LiMeS,-)# route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway         Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
192.168.0.0      0.0.0.0        255.255.255.248 U         0      0      0 eth1
192.168.0.0      192.168.0.11   255.255.255.248 U         0      0      0 eth1
192.168.2.0      0.0.0.0        255.255.255.0   U         0      0      0 eth0
192.168.1.0      192.168.0.11   255.255.255.0   UG        0      0      0 eth1
10.0.0.0         0.0.0.0        255.0.0.0       U         0      0      0 eth9
[5,20:18:28,root,/dev/tty0,LiMeS,-)#
```

図 16 発言伝達失敗の例

7. おわりに

ネットワーク協働構築支援、対話支援によって、分散型ネットワーク構築ペア演習を支援するためのシステムを開発し、評価実験を行った。評価実験では、注目箇所作成・表示機能を有する対話支援によって、対話における注目箇所の伝達をより速く簡単に正確に行えることが確認できた。今後の課題として、実際の演習を想定したシミュレーションでの発言伝達において、プロトタイプシステムの有用性を調査することがあげられる。これは、実際の演習では作業や対話の文脈の中で注目箇所を特定しやすくなり、従来法の効果が改善される可能性があるためである。また、ネットワーク構築に関してはペアの学習者が同じ機器において個別にコンソールでコマンドを実行でき、さらにそれらをお互いに閲覧できるようにすることが考えられる。

参考文献

- [1] Chaknarin Kongcharoen, Wu-Yuin Hwang.: *A study of pairprogramming configuration for learning computer networks*, UMEDIA, pp369-375, 2015.
- [2] M. Wannous, H. Nakano.: *NVLab, a Networking Virtual Web-Based Laboratory that Implements Virtualization and Virtual Network Computing Technologies*, IEEE Transactions on Learning Technologies, vol. 3, no. 2, pp. 129-138, 2010.
- [3] A. Ruiz-Martinez, F. Pereniguez-Garcia, R. Marin-Lopez, P. M. Ruiz-Martinez, and A. F. Skarmeta-Gomez.: *Teaching Advanced Concepts in Computer Networks: VNUML-UM Virtualization Tool*, IEEE Transactions on Learning Technologies, vol. 6, no. 1, pp. 85-96, 2013.
- [4] 北澤友基, 越智洋司, 溝淵昭二, 井口信和: クラウド環境を利用した協調演習を可能とする IP ネットワーク構築演習支援システムの検討, 電子情報通信学会技術研究報告, ET, 教育工学, 112(66), pp19-24, 2012.
- [5] 青木一浩, 立岩佑一郎, 山本大介, 高橋直久: ソースコードに関する協調的な対話機能を有する分散型ペアプログラミング演習システムの実現, 第 3 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2011), F8-5, 2011.
- [6] 大岡義旺, 立岩佑一郎, 高橋直久: 仮想マシンを用いたネットワーク協働構築演習システムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, NS, vol.116, no.484, pp.223-228, 2017.
- [7] JavaFX, 入手先 (<http://www.oracle.com/technetwork/jp/java/javafx/overview/index.html>) (2018.02.26).