G-16

IP ネットワーク構築演習における動的なアドバイス表示システムの開発

Development of Dynamic Advice Display System for Hands-on IP Network Practice

早川 諒†　Ryo HAYAKAWA
谷口 義明‡　Yoshiaki TANIGUCHI
溝渕 昭二‡　Shoji MIZOBUCHI
井口 信和‡　Nobukazu IGUCHI

1. はじめに

IP ネットワークの急速な普及と複雑化に伴い，大学等の教育機関では，ネットワーク技術者の養成を目的として，ルータやスイッチなどのネットワーク機器を用いた構築演習が実施されている(1)，(2)．ネットワーク構築演習の 1 つに，与えられた課題の指示に従って，学習者がネットワークを構築する演習（以下，課題演習）がある．課題演習において，機器の設定内容はあらかじめ全て指定されている．そのため課題演習を実施することで，学習者は設定コマンドの使用方法の習得に集中できる．

教育機関で行われる課題演習は，一般的に限られた時間中に，複数の学習者に対して実施される．また，指導者はトラブルにあった学習者に対応する必要がある．そのため，演習時間内に指導者が学習者の設定した機器の内容が正しいかを確認する時間を確保できるとは限らない．この理由から，現状，教育機関で行われる課題演習では機器に対して課題通りに正しく設定を施せているかを学習者自身が確認している場合がある．しかし，学習者自身が確認する場合，正誤の判定が正しいとは限らない可能性がある．さらに，課題で指定された設定項目を見落とすことも考えられる．

これに対して我々は，課題演習における機器の設定の正誤を自動的に判定し，その結果を学習者へ提示するシステム（以下，自動採点システム）(3) を開発してきた．このシステムは，学習者が機器の設定に用いる PC 上で動作し，学習者が入力したコマンドを収集・解析することで，機器の設定情報を取得する．そして，取得した設定情報と指導者があらかじめ作成した課題の正答情報を比較することで，判定を実施する．判定は設定項目毎に行われ，(1) 設定が施されていて，コマンドの引数が正答情報と一致している（以下，正解），(2) 設定は施されているが，コマンドの引数が正答情報と一致していない（以下，不正解），(3) 設定が施されていない（以下，未設定），の 3 つに分類する．また，コマンド自体が間違っている場合は，(3) の未設定として扱う．

ここで，ある設定項目に対して(2) と判定された場合，学習者は，その項目の設定に関するコマンドを知っていると判断できる．そのため，学習者は採点結果閲覧後に自身で設定を見直し，修正できる場合があると考えられる．しかし，不正解の箇所が多い場合，学習者はどの設定項目から修正すればいいのか分からない可能性がある．さらに，学習者が採点機能を使用するまで不正解の箇所がどこか分からない．また，(3) と判定され学習者がコマンドを知らない場合，学習者は設定を行うことができないと考えられる．

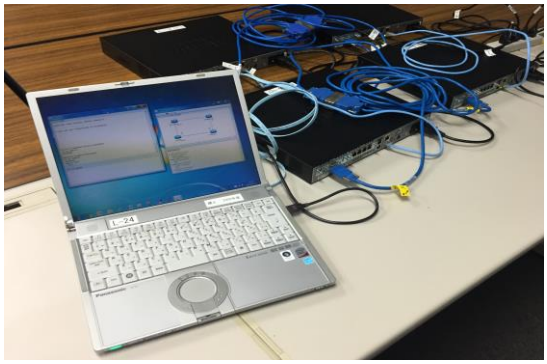


図 1 本システムを利用したネットワーク構築演習の例

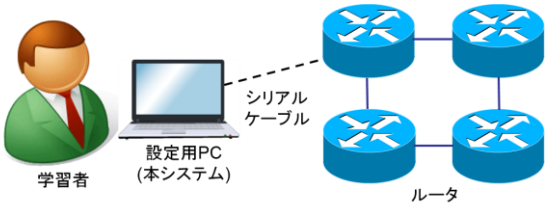


図 2 本システムを利用する際のイメージ図

そこで本研究では，これまでに開発してきた自動採点システムを基に，課題演習においてアドバイスを動的に学習者へ提示するシステム（以下，本システム）を開発した．本システムを利用したネットワーク構築演習の例を図 1 に示す．本システムは，図 2 のように，学習者が機器の設定に用いる PC 上で動作する．本システムは，学習者が機器に入力するコマンドをリアルタイムに解析することで，機器の設定情報を取得する．そして，あらかじめ指導者によって作成された課題の正答情報と比較することにより，正解，不正解，未設定の項目を自動的に判定する．そして，不正解および未設定の項目に対するアドバイスを学習者へ提示する．

本稿の以降の構成を述べる．まず 2 章で関連研究について述べる．3 章で今回開発したシステムについて述べ，4 章で実施した評価について述べる．5 章で本稿のまとめについて述べる．

2．関連研究

能見らは，仮想マシンを用いたネットワーク構築演習において構築操作履歴を収集し，活用するシステム(4) を開発している．このシステムを用いることにより，指導者は，

† 近畿大学大学院 総合理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering Research, Kindai University

‡ 近畿大学 理工学部 情報学科
Department of Informatics, Faculty of Science and Engineering, Kindai University

学習者が入力したコマンドとその出力結果の履歴を確認することで，学習者の演習の進捗を把握できる．これに対して，本システムでは，収集した情報に基づき判定を行い，学習者へ提示することを想定している．

島野らは，課題演習における機器の設定の正誤を自動的に判定し，その結果を指導者へ提示するシステム[5]を開発している．このシステムは機器から設定ファイルを収集することで設定情報を取得する．そのため，設定ファイル収集用のサーバと機器の間でネットワーク接続の確立が必要となる．それに対して本システムでは，学習者の PC 上で，学習者が入力したコマンドを解析することで，設定情報を取得する．そのため，学習者が構築しているネットワークの接続性に関係なく，課題演習における機器の設定を自動的に判定できる．また，島野らのシステムと異なり，本システムでは採点結果を学習者へ提示することを想定している．

3. 動的なアドバイス表示システム

本章では，本研究において開発した課題演習における動的なアドバイス表示システムについて述べる．本システムは Java 言語で実装した．本システムが判定可能な項目を表 1 に示す．

3.1 前提

本システムはネットワーク機器として Cisco Systems 社ルータ（以下，ルータ）を対象とする．ルータは，設定用 PC とシリアルケーブルで接続することにより，CUI で設定が可能である．ルータには大きく分けてユーザモード，特権モード，コンフィグレーションモードの 3 種類の状態があり，コンフィグレーションモードの場合にのみルータの設定を行うことができる．コンフィグレーションモードはさらにグローバルコンフィグレーションモード，インターフェイスコンフィグレーションモード，ルータコンフィグレーションモードなどのモードに分かれており，それぞれのモードで，機器全体の設定，インターフェイスの設定，ルーティングプロトコルの設定が行える．図 3 にルータの状態遷移図を示す．

なお，課題演習においては，学習者は演習用に用意されたルータを用いて課題演習を実施し，演習終了後にルータの設定を初期化してから片付ける．そのため，本稿では演習開始時にルータが初期化されているものとする．

3.2 演習手順

まず，学者者は指導者から指示された演習課題ファイルを選択する．演習課題ファイルには結線情報，設定内容，課題の正答情報が XML 形式で記述されている．課題の正答情報には機器の設定項目とその正答値および優先度が記述されている．図 4 に演習課題ファイルの例を示す．なお，課題演習では，機器の結線状態やインターフェイスの設定値，ルーティングに関する設定情報等は全て指定される．したがって，正解となる各ルータの設定は一意に決定される．演習課題ファイルが選択されると，図 5 の課題情報表示 GUI に作成するネットワークトポロジや設定内容といった課題内容が表示される．そして，学習者は課題内容に従

表 1 本システムが判定可能な項目

機器の設定	ホスト名
インターフェイスの設定	IP アドレス サブネットマスク ステータス クロックレート 帯域幅
RIP の設定	バージョン ネットワークアドレス

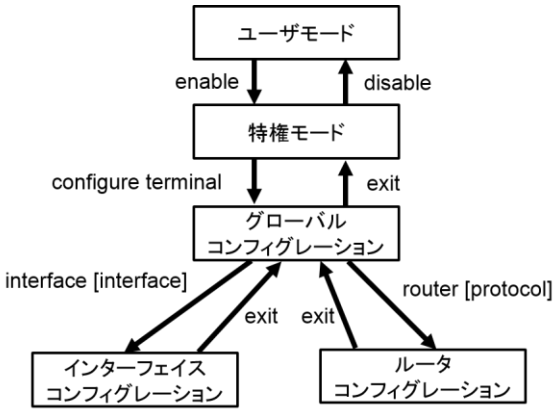


図 3 ルータの状態遷移図

```
<line ifdst="Router0" ifdst_port="g0/0"
      ifsrc="Host0" ifsrc_port="eth0"></line>          結線情報

<content>
--インターフェイス--
Host0   eth0 172.16.0.1/16
Router0 g0/0 172.16.0.2/16                             設定内容
--ルーティング--
Host ：デフォルトゲートウェイを設定
Router: RIPを用いて設定
</content>

<m name="Router0">
  <if name="g0/0" priority="1">
    <ip_address>172.16.0.2</ip_address>
    <netmask>255.255.0.0</netmask>
    <status>up</status>
  </if>
  <rip priority="2">                                   課題の正答情報
    <version>2</version>
    <network>
      <address>172.16.0.0</address>
    </network>
  </rip>
</m>
```

図 4 演習課題ファイルの例

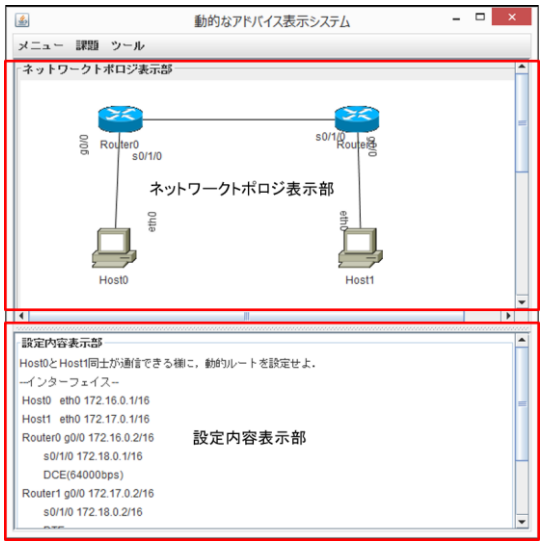


図 5 課題情報表示 GUI

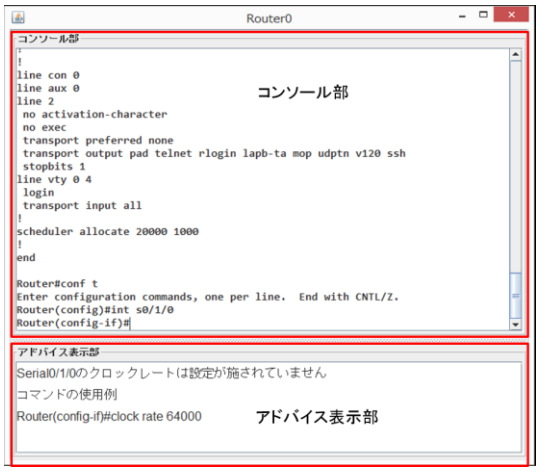


図 6 コンソールウインドウ

い，機器間の結線と機器の設定を実施する．

一般的な課題演習では，設定対象のルータと設定用 PC をシリアルケーブルで接続した後，TeraTerm(6) や Putty(7) などのコンソールプログラムを用いてルータの設定を行う．これに対して本システムを使う場合，新規に実装したコンソールウインドウ（図 6）を用いてルータの設定を行う．コンソールウインドウは，コマンドを入力するコンソール部と，後述するアドバイス表示部からなる．設定対象のルータと設定用 PC をシリアルケーブルで接続した後，図 5 の課題情報表示 GUI に示されるネットワークトポロジ表示部のルータ画像を右クリックすることにより，そのルータに対応したコンソールウインドウが表示される．コンソール部はシリアル通信を可能とする RXTX(8) を用いて開発している．学習者がコマンドとなる文字列を入力すると，その文字列をシリアル通信経由で送信する．そして，シリアル通信経由で受け取った文字列を出力結果としてコンソール上に表示する．そのため，コンソール上では，学習者が入力したコマンドと，それに対する出力結果を確認できる．例として，機器の設定に使用するコマンド，確認のための ping コマンドや show コマンドを使用でき，その結果をコンソール上で確認できる．

本システムでは，学習者がコンソール部を用いて文字列を入力する度に，入力された文字列を解析することで設定情報を取得する．次に，取得した設定情報と事前に指導者が作成した演習課題ファイルに含まれる正答情報を比較することで，設定項目の判定を行う．また，図 6 のコンソールウインドウ下部にあるアドバイス表示部を用いて，不正解と未設定の項目に対するアドバイスを学習者へ提示する．そして，学習者の任意のタイミングで採点結果および復習に関する情報を表示する．以降，設定情報の自動判定，アドバイスの表示，採点結果の表示，復習情報の表示の詳細について述べる．

3.3 設定情報の自動判定

本節では，学習者がコンソール部を用いて入力した文字列の判定方法について述べる．まず，演習課題ファイルの正答情報より，判定対象となる設定項目およびそれらの正答値の一覧を取得する．そして，各設定項目を設定するためのコマンドを解析対象コマンドとして抽出する．なお，解析対象コマンドはフルスペルで記述しておく．ここで，設定項目および正答値の例を図 7 に示す．この例の場合，ルータ Router0 には，インターフェイス g0/0 に 3 つの設定項目，ルーティングプロトコル RIP に 3 つの設定項目，合計 6 つの設定項目がある．また，それぞれの設定項目に対して図中に表記されているような正答値がある．

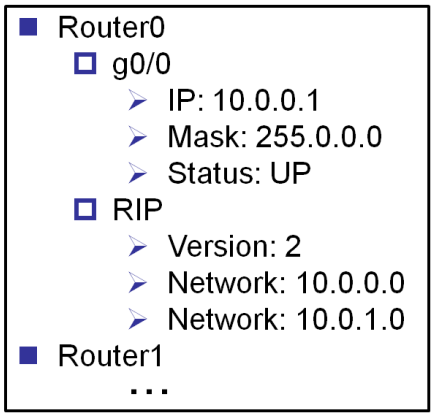


図 7 設定項目および正答値の例

学習者がコンソール部に文字列を入力した場合，まず，入力されたコマンドと解析対象コマンドを比較し，一致していた場合にのみ，そのコマンドを判定の対象とする．なお，学習者が入力したコマンドが解析対象コマンドであっても，ルータからエラーメッセージが出力された場合は判定の対象としない．

ここで，ルータに入力するコマンドは短縮が可能である．例えば，インターフェイスの IP アドレスを設定する「ip address」というコマンドは「ip add」という短縮コマンドでも設定可能である．本システムでは，学習者が入力したコマンドを空白毎に区切り，それぞれの文字列を解析対象コマンドと前方一致で判定する．さらに，解析しやすくするため，一致していた場合は学習者が入力したコマンドをフルスペルに変換する．

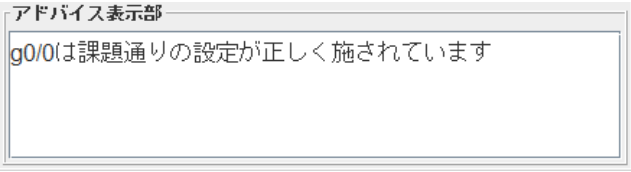
次に文字列の解析を行い，入力されたコマンドを特定する．引数をとるコマンドが入力された場合は文字列をコマンドと引数に分割する．例えば，「ip address 192.168.1.1 255.255.255.0」のような文字列が入力された場合は，コマンドである「ip address」と引数である「192.168.1.1」，「255.255.255.0」に分割する．「interface g0/0」や「router rip」のように，一連の設定を開始するコマンドが入力された場合は，その情報をシステム上で保持する．

以上の処理により，入力されたコマンドが判定の対象となった場合，コマンドの引数が正答値と一致する場合は正解，不一致ならば不正解として判定する．また，設定項目のうち，正解，不正解いずれにも該当しない項目を未設定として判定する．ここで，(正解項目数/設定項目数) × 100 で算出した値を演習正解率とする．

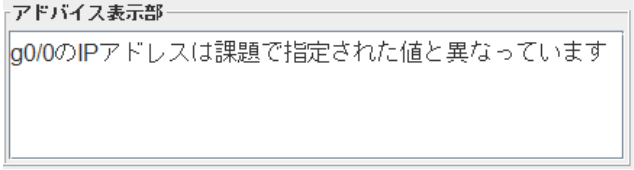
3.4 アドバイスの表示

本システムは，T 秒間(例，T=60)，演習正解率が変化しなかった場合，課題に関する設定が進んでいないと判定し，アドバイス表示部にアドバイスを表示する．

まず，学習者がコンフィグレーションモードで機器の設定をしており，設定を行おうとしている箇所の設定が全て正解している場合は，図 8(a) に示すようなアドバイスを表示する．この場合，インターフェイス g0/0 の設定が全て正解であるため，その内容が表示されている．次に，不正解の項目が存在する場合は，図 8(b) に示すように不正解の項

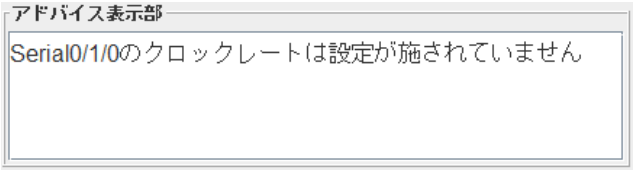


(a) 設定が正解の場合

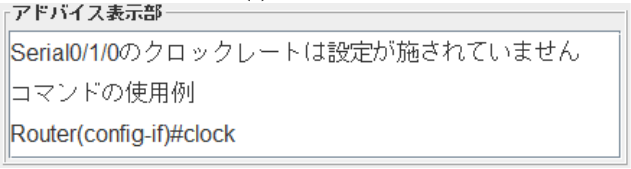


(b) 設定が不正解の場合

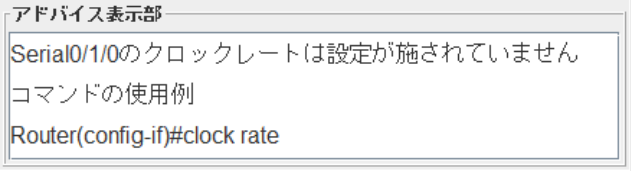
図 8　正解，不正解の場合のアドバイス表示



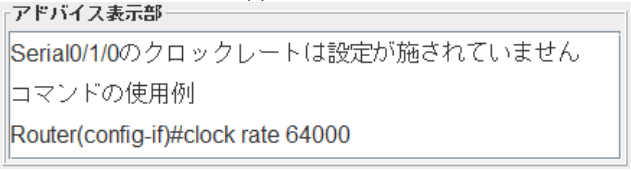
(a) ステップ 1



(b) ステップ 2



(c) ステップ 3



(d) ステップ 4

図 9 未設定の項目がある場合のアドバイス表示

目に応じたアドバイスを表示する．この例の場合，インターフェイス g0/0 の IP アドレスの設定が不正解である．一方，学習者が設定を行おうとしている箇所に，未設定の設定項目がある場合は，その設定がされていないことを，まず図 9 (a) のように表示する． T 秒間（例，T=60）経過しても，その項目が未設定のままの場合は，学習者がコマンドを知らないと判定し，図 9 (b) ～ (d) のようにコマンドの使用例を T 秒間（例，T=60）毎に少しずつ表示する．

学習者がユーザモードや特権モードなど，機器の設定を行わないモードで作業をしている場合は，優先度の高い設定項目から順に不正解および未設定の設定がないかどうかを調べる．もし該当の項目があれば，上に述べた手順と同様に，その項目に関するアドバイスをアドバイス表示部に表示する．

3.5　採点結果の表示

学習者は，図 10 に示す採点結果表示 GUI より任意のタイミングで採点結果を確認できる．採点結果は，設定項目毎に，正解，不正解，未設定で判定され，それぞれ異なるマークが表示される．さらに，アドバイス表示後に正解した項目の場合は異なるマークが表示される．これにより，学習者は，正解，不正解，未設定の項目に加えて，どの項目でアドバイスが表示されたかを視覚的に確認できる．さらに，演習正解率を閲覧することにより，学習者は実施している課題の理解度を確認できる．

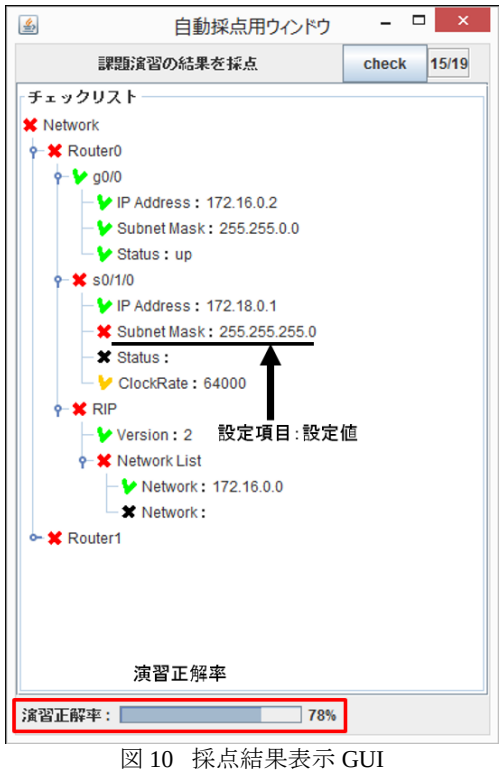


図 10　採点結果表示 GUI

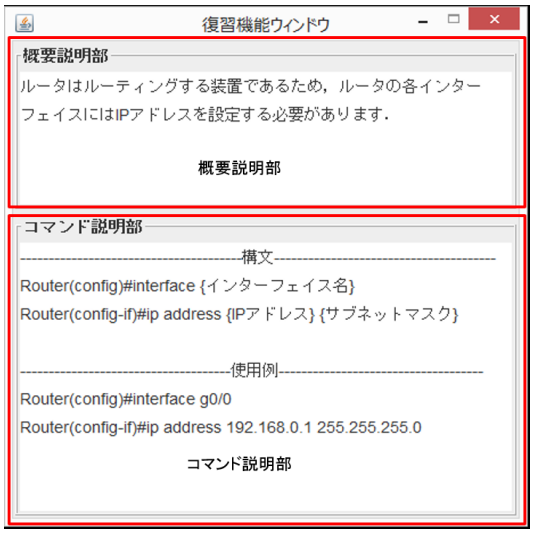


図 11　復習情報表示 GUI

3.6　復習情報の表示

図 10 の採点結果表示 GUI の設定項目の横に配置されているマークを選択することにより，図 11 に示す復習情報表示 GUI が表示される．ここでは，該当する設定項目の概要，コマンドの構文，コマンドの使用例を確認できる．例

表 2 実験結果

	本システム	TeraTerm	Putty
CPU 使用率	2.23%	0.59%	0.15%
MM 使用量	47.85 MB	15.85 MB	8.98 MB

えば，インターフェイスの IP アドレスに関する項目を選択すると，図 11 に示されるように，その項目に対応した説明が表示される．

4. 評価

本システムのコンソール部を用いて課題演習を実施する場合の負荷を計測した．実験に使用した PC のスペックは，CPU が Intel Core 2 Duo @2GHz, メインメモリ（以下，MM）が 2GB，OS が Windows 7 である．実験では，コンソール部起動後の本システムの CPU 使用率，MM 使用量を Windows リソースモニターにより計測した．また，比較として，ネットワーク構築の課題演習で良く用いられるコンソールプログラムである TeraTerm， Putty の CPU 使用率，MM 使用量も計測した．

表 2 にその結果を示す．表 2 より，本システムは，TeraTerm，Putty に比べて CPU 使用率および MM 使用量の両方とも高い．これは，本システムにはコンソール機能だけでなく採点機能やアドバイスの表示機能も実装されているためである． しかし，スペックがそれほど高くない PC を用いても CPU 使用率 2%，MM 使用量 47MB 程度で動作する．一般的に課題演習においては設定用 PC で他に負荷の高いアプリケーションを使用することは少ない．したがって，本システムを使用した課題演習の実施に支障を与えるような負荷をかけることはないと考える．

5. おわりに

本稿では，IP ネットワーク構築演習の課題演習において動的にアドバイスを学習者へ提示するシステムを開発した．本システムは，学習者が機器に入力するコマンドをリアルタイムに判定する．そして，不正解および未設定の項目に対してアドバイスを提示する．本稿では，コンソール部起動後の本システムの CPU 使用率および MM 使用量を計測し，課題演習の実施に支障を与えるほどの負荷がないことを確認した．

今後は，本システムの有用性を検証するために利用評価実験を実施する．また，学習者が入力した show コマンドの出力結果に応じたアドバイスをコンソール上に表示する機能の開発を予定している．例えば，機器の設定において課題の正答値と異なっている箇所を別の色で表示することを検討している．さらに，本稿では課題演習における機器の設定のみを判定の対象としたが，課題演習においてはネットワークの接続性の確認も重要である．そのため，課題で指定された全ての IP アドレスに対して「ping」および「traceroute」コマンド等を自動的に実行することにより，ネットワークの接続性を判定し，GUI 上で確認可能とする機能を開発する予定である．

参考文献

(1) 三島和宏，“実機ルータを用いたネットワーク実践演習の支援：教育研究支援プロジェクトによる「情報テクノロジー輪講Ⅱ」「ネットワーク構築演習」の支援報告”，青山インフォーメーション・サイエンス 41 (1), pp. 68-69 (2013)

(2) 長部謙司，市原由文，藤原将人，“Cisco Networking Academy の取り組み：全世界における技術者養成”，工学・工業教育研究講演会講演論文集，pp. 588-589 (2010)

(3) 早川諒，舛賀計彦，井口信和，“IP ネットワークの構築演習における演習課題自動採点システムの検討”，情報処理学会第 78 回全国大会講演論文集，No. 4, pp. 815-816 (2016)

(4) 能見惇也，立岩佑一郎，山本大介，高橋直久，“仮想マシンを用いたネットワーク構築演習における構築操作履歴の収集と活用”，情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集，No. 1, pp. 573-574 (2012)

(5) 島野顕継，内田光一，河辺幹也，福田匡志，“ネットワーク機器を用いた演習における授業支援システムの開発”，CTC Academic User Association, VIEW POINT, Vol. 14 (2014)

(6) TeraTerm http://ttssh2.osdn.jp/index.html.ja

(7) Putty http://www.chiark.reeenend.org.uk/~sgtatham/putty/index.html

(8) RXTX http://rxtx.qbang.org/wiki/index.php/Main_Page