

Title	StarBEDを利用したネットワーク体験演習環境の構築
Author(s)	宮地, 利幸; 三輪, 信介; 長谷川, 忍; 丹, 康雄; 篠田, 陽一
Citation	日本教育工学会論文誌, 34(3): 235-248
Issue Date	2010-12-01
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/9881
Rights	Copyright (C) 2010 日本教育工学会. 宮地 利幸, 三輪 信介, 長谷川 忍, 丹 康雄, 篠田 陽一, 日本教育工学会論文誌, 34(3), 2010, 235-248.
Description	

StarBEDを利用したネットワーク体験演習環境の構築[†]宮地利幸^{*1,*2}・三輪信介^{*1,*2}・長谷川忍^{*2}・丹康雄^{*2,*1}・篠田陽一^{*2,*1}情報通信研究機構^{*1}・北陸先端科学技術大学院大学^{*2}

「技術」の習得には理論的な学習に加え、実践的な学習が必須である。特にネットワーク技術に関していえば、自立的に動作する要素の集合であるネットワークの挙動を理解し、その管理・運用技術を習得するためには、実環境で利用される機器を用いたネットワーク管理経験が重要である。しかし、実験的なネットワークであったインターネットが社会的インフラの一つとして認められるようになり、オペレーションのミスが許されない現状では、ネットワーク技術者がその技術を育むためのインフラが不足している。このような問題を解決するため、さまざまな体験演習環境が提案されている。その一方でネットワーク技術の検証の重要性が認識され、世界各地にネットワークテストベッドが設置されるようになってきている。

本論文では、ネットワークテストベッドの一つである StarBED および実験支援ソフトウェアである SpringOS を用いた体験演習環境構築についてまとめる。また、実際に StarBED を利用して行われた体験演習例「SOI Asia 2008 Spring Global E-Workshop」, 「インシデント体験演習」について紹介し、その有用性を示す。

キーワード：体験演習環境, ネットワーク技術, ネットワークテストベッド

1. はじめに

ネットワーク技術の普及とともに、ネットワーク管理者や技術者の育成が急務となっており、多くの教育機関では、座学を通してネットワーク技術の教育を行っている。座学を通じたネットワーク技術の習得は、個々のネットワーク要素の挙動を理論的に理解するために重要な役割を果たす。しかし、現在のインターネットをはじめとするネットワーク上では、さまざまなサービスを提供するための要素が複雑な構造を構成しており、ネットワーク全体としての挙動を理論的に把握することが困難な場合が多い。さらに、それらの要素は共通仕様に対して独自の拡張が施されていたり、

バグを含んでいたりと、必ずしも理論的な仕様に沿った挙動を示さないこともある。

実際のネットワークの構築や管理を行う人材には、座学を通して得られた理論的な知識に加えて実践的な知識も求められる。こういった知識の習得には、実際に実環境で利用されているソフトウェアやハードウェアにより構築された環境上で、ネットワーク演習を行う必要がある。

従来のネットワーク技術者は、実験用のネットワークであったインターネットそのもので実際に技術を用い、その体験をもとに、実践的な知識を身につけてきた。しかし、現在のインターネットや、企業内・学内ネットワークといった実環境では、さまざまな重要なサービスが提供されており、それらを体験演習の場として利用することは危機管理の点から許されない。したがって、ネットワーク体験演習専用の環境を構築するための研究が行われており、その多くではネットワーク体験演習用の環境構築にかかるさまざまなコストをどのように低減するかについて着目している。

本論文では、このような問題を解決するために、ネットワークテストベッド上にネットワーク体験演習環境を構築するための手法について述べる。

2010年2月15日受理

[†] Toshiyuki MIYACHI^{*1,*2}, Shinsuke MIWA^{*1,*2}, Shinobu HASEGAWA^{*2}, Yasuo TAN^{*2,*1} and Yoichi SHINODA^{*2,*1} : Hands-on Environments for Network Technologies on StarBED

^{*1} National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1, Nukui-Kitamachi, Koganei, Tokyo, 184-8795 Japan

^{*2} Japan Advanced Institute of Science and Technology, 1-1, Asahidai, Nomi, Ishikawa, 923-1292 Japan

ネットワークテストベッドは、近年のネットワーク実験に関する研究への要求の高まりから、実環境用のハードウェアやソフトウェアを検証するために世界各地に設置され始めている。代表的なものに Emulab (WHITE *et al.* 2002), StarBED (MIYACHI *et al.* 2006, 宮地ほか 2008a), VM Nebula (MIWA *et al.* 2005) などがある。このようなネットワークテストベッドには多くのノードがネットワーク実験専用を用意されている。これらのノードは物理ノードや仮想ノードで実現されており、ネットワーク体験演習にも利用することが可能であるが、これまで利用された例は少ない。また、ネットワークテストベッドではさまざまな実験を行えるよう、OS などの制限が存在する場合はあるものの、任意のアプリケーションソフトウェアのインストールやネットワーク設定が可能であるため、柔軟な体験演習が実施できると考えられる。

我々は、理論的な座学に加えて行われるネットワーク体験演習には、「実際に利用されているネットワーク機器およびネットワークソフトウェアの設定・利用技術の習得」、「大規模なネットワークの挙動把握」、「非常時のネットワーク状態の体験とそれへの対処方法の習得」の3点が重要だと考え、これらを満たすために、汎用的なネットワークテストベッドである StarBED を利用して、体験演習環境を構築した。

本稿では、体験演習環境への要求事項をまとめ、StarBED を利用した際に、それぞれをどのように満たすかをまとめる。さらに、ケーススタディとして2件の実例をあげ、その内容について検討する。

2. ネットワーク体験演習環境

ネットワーク体験演習では、講師によって与えられた指示にしたがって参加者が演習を行うことにより、実践的な技術を身につけることが目的である。したがって、参加者に実環境に近い環境でさまざまな状況を体験できる環境を提供することが求められる。また、効率的な演習実行のため、講師を補助するさまざまな機能が必要となる。

本章では、このようなネットワーク体験演習の目的を達成するための要求と既存技術についてまとめる。

2.1. ネットワーク体験演習環境への要求

ネットワーク体験演習では、提供できる計算機の数に参加者数よりも大幅に少ない際には、体験演習の実施自体が困難であったり、実施は可能であっても、学習効率が低下する恐れがある。したがって、参加者数

に応じて十分な数の計算機を用意できることが求められる。その一方で、計算機の台数が増え、環境が複雑化するにつれ計算機の管理コストが増大し、このため的人员および計算機の設置スペースを確保せねばならない。

体験演習用環境の構築は、体験演習毎に行われ、それぞれの体験演習用のソフトウェア設定やネットワーク構成は異なる。したがって、ある体験演習を行う際には、専用の環境を整備する必要がある。複数の授業で一つの体験演習環境を共用する場合には、空間分割もしくは時間分割で行うことになるが、体験演習環境の切り替えの容易さや必要な時間が問題となる。

これらの問題に答えるためには、体験演習環境構築時の、演習用ノードやネットワーク機器の接続およびそれらの設定を人手で行うのではなく自動的かつ一括して行える必要がある。

また、体験演習の内容に応じて参加者に OS の管理者権限を与える必要があるが、参加者の作業により OS が起動しなくなるなど、参加者には復旧が困難な状態に陥ってしまうことがある。このような際には管理者が対応を容易に行えるか、参加者自身により操作前の状態に戻せる必要がある。

近年では、インターネットが提供するネットワーク環境が高品質化するにつれ、さまざまな地域から講師や参加者が同時に一つの演習に参加したいという要望も発生している。また、講師がプレゼンテーションやデモンストレーションを行う際に、普段利用している個人のデスクトップ環境を利用したいという要望もある。さらに、体験演習の形態によっては外部ネットワークと体験演習環境の接続性が問題になる場合がある。特に、非常時のネットワーク状態の体験を対象とする場合は、体験演習の内容が実環境に影響を及ぼさないよう、隔離が必要である。また、体験演習の参加者の操作による影響は前もって予測することができないため、外部環境への影響を排除できるような配慮が必要である。これらを満足するため柔軟に外部ネットワークとの接続性を管理できる機能が必要である。

また、講師が体験演習中の各参加者の進行状況や理解度を把握し、場合によっては参加者を支援することが必要である。

以上の要求を以下にまとめる。ただし、「参加者が計算機やネットワークスイッチを操作できること」という要望はネットワーク体験演習でのもっとも根本的な目的であるため以下には含めていない。

- (1) 必要な数の計算機の確保
- (2) 設置スペースの確保
- (3) 管理者の確保
- (4) 計算機環境の切り替え
- (5) 複数の授業への容易な対応
- (6) 柔軟なネットワークトポロジの構築
- (7) 参加者への OS の管理者権限の付与
- (8) 他の参加者への影響排除
- (9) 遠隔からの講師・参加者の受け入れ
- (10) 演習環境の隔離
- (11) 参加者の作業の監視

これらの要求を実現するための機能として、「体験演習環境の効率的・効果的な構築」、「参加者が操作可能な演習環境の提供」、「外部ネットワークとの接続性管理」、「作業内容の監視」を行える必要がある。表 1 にこれらの機能と、それらが満たす要望、そして、これらの機能を実現するための具体的な機能をまとめた。ただし、「参加者が操作可能な演習環境の提供機能」には、「体験演習環境の効率的・効果的な構築」であげた機能も利用できる。

2.2. 既存手法でのアプローチ

ネットワーク技術者にとって体験演習が重要であることは明らかであり、これまでさまざまな手法で体験演習が実現されてきた。本節では既存手法がどのようなアプローチを取ってきたかについてまとめる。

最も直感的な手法は、体験演習を行う際に必要な計算機とネットワーク機器を一箇所に集めて、環境を構築する手法である (CIGAS 2003, CORBESERO 2003)。このような環境は物理的な機器の取り扱いに関する学習には必須の環境である。その一方で、物理的な機器の扱いが不要な体験演習では、配線が済んだ体験演習環境が提供されていけばよい。

物理的な設置を体験演習の一部として含む場合は、設置作業用のスペース確保の問題や、ソフトウェア設定を行うまでに物理的環境を整備しなければならないという時間的なコストが発生するため、コンピュータ演習室といった形で体験演習環境が常備されるような形態が取られるようになった (HILL *et al.* 2001, BELLS *et al.* 2002)。

このように体験演習の重要性が認識されるとともに、

表 1 ネットワーク体験演習の提供のために必要とされる機能群と対応する要求

必要な機能	対応する要求	具体的な機能	詳細
体験演習環境の効率的・効果的な構築	1, 2, 3, 4, 5, 6	物理トポロジ構築	ネットワーク体験演習用ハードウェア群の接続
		演習用ノードへのソフトウェアのインストール	設定記述にしたがった計算機などへの OS・アプリケーションソフトウェアのインストール
		演習用ノードの初期設定	設定記述にしたがった各演習用ノードのネットワークや OS, ソフトウェアの自動設定
		ネットワーク機器の初期設定	設定記述にしたがったトポロジの自動構築
		対象アプリケーションソフトウェアの起動	設定記述にしたがい必要なアプリケーションを自動起動
		演習用ノードの死活管理	ノードの電源投入, 再起動, 電源遮断など環境構築時および, 障害発生時のハードウェア的な計算機再起動
参加者が操作可能な演習環境の提供	7, 8, 10	演習用ノードの操作	計算機やネットワーク機器のコンソール出力とコマンド操作を提供
外部ネットワークとの接続性管理	9, 10	外部環境との接続	体験演習環境の外部組織へ接続
		外部環境からの隔離	体験演習環境からの外部環境への接続もしくは, 別の体験演習環境との接続を無効化
作業内容の監視	11	演習用ノードのコンソール監視	参加者の操作中のコンソール画面を監視し, どのような操作を実行しているかを確認
		演習用ノードのコンソール共有	誤操作やトラブルによる問題で, 参加者自身による復旧が困難な場合に, 講師によるコンソール操作を提供
		参加者の作業履歴/操作履歴保存	参加者全体の進行状況の把握や問題発生時の状況を迅速に確認するための操作履歴の保存

体験演習の参加者数の増加と、同時かつさまざまな種類の授業で体験演習環境を行いたいという要求が高まってきている。

また、前節で述べたような要求を解決するためにさまざまな提案がなされてきた。必要な数の計算機の確保や、設置スペースの削減、そして、容易な計算機環境の切り替えのためにハードディスクを物理的に切り替える手法が提案されている (BELLES *et al.* 2002, CIGAS 2003)。

一つの組織だけでは十分な計算機資源を確保できないことから、複数の組織で連携し、計算機資源が不足した場合には、他組織とのネットワーク接続を利用し、足りない分の計算機資源を確保するという努力も行われている (TODERICK *et al.* 2005)。

物理的な環境をそのまま利用するのではなく、各計算機でシミュレータを動作させることで、ある程度の規模の演習環境を構築している例 (CASADO *et al.* 2005, QUN *et al.* 2008) もある。

最近では仮想機械技術の発達により、仮想機械を利用して計算機資源の不足に対応するようになってきている (ABBOTT-MCCUNE *et al.* 2008, ADAMS *et al.* 2005, ALBEE *et al.* 2007, BASUKI *et al.* 2007, MIKAWA *et al.* 2007, NIEH *et al.* 2005, RIGBY *et al.* 2006, STOCKMAN *et al.* 2003)。仮想機械技術を導入することにより、一台の物理的な計算機上で複数の仮想機械を動作させ、計算機の確保や設置スペース、管理コストの低減に成功している。また、仮想機械上の OS は仮想機械が動作する物理的な計算機への影響なしに再起動などが行えることから、参加者へ仮想機械の管理権限を与えることが可能になり、同時に他の利用者への影響を排除することも可能である。仮想機械のディスクイメージが簡単に初期化できることは、参加者の誤操作による問題発生時にも有効である。ただし、一台の計算機上

で動作する仮想機械群は、計算機の資源を共有するため、多数の仮想機械を動作させた際や、複雑な処理を行った際には、その処理速度が低下する。これによる演習効率の低下を防ぐためには、事前の動作検証が必要である (BASUKI *et al.* 2007, MIKAWA *et al.* 2007)。また、仮想機械技術が提供するディスクイメージ保存は、演習の中断に利用できるなど、計算機環境ではコストが大きかった問題に対応できる (WISEMAN *et al.* 2008)。

体験演習環境の実験トポロジを構築するためには、VLAN や物理的にパッチ接続を変更できるクロスバなどが利用されている (ABBOTT-MCCUNE *et al.* 2008, BELLES *et al.* 2002, RIGBY *et al.* 2006)。

遠隔地の講師や参加者への対応にもさまざまな努力が行われてきた。講師がプレゼンテーションやデモンストレーションを行うために、Microsoft Windows の Remote Desktop の利用 (STOCKMAN *et al.* 2003) や、演習環境に参加者がそれぞれの所属組織から遠隔接続するために、VPN や SSH、VNC などが利用されている (ABBOTT-MCCUNE *et al.* 2008, BASUKI *et al.* 2007, BELLES *et al.* 2002, MIKAWA *et al.* 2007, NIEH *et al.* 2005, RIGBY *et al.* 2006, STOCKMAN *et al.* 2003)。

管理者の人員不足に対応するための手法として、計算機やネットワーク機器の管理自体を高度な管理手法の習得のために学生に任せるという手法がとられている例もある (ALBEE *et al.* 2007)。

前節で挙げた要求と対応が可能な技術を表 2 にまとめた。ここでは、利便性などの程度については評価せず、その問題に関しての何らかの解を与えるかどうかのみを示している。

表 2 で示した手法は、設備が物理的に接続された環境が前もって用意されていることが前提となっていることが多い。しかし、物理的な機器の取り扱い手法を演習内容とする場合には、このような手法では対応できず、

表 2 要求と対応技術

	要求										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
取り替え可能なHDDの利用	○	○	-	○	○	-	-	-	-	-	-
ソフトウェアシミュレータの利用	○	○	-	○	○	-	-	-	-	-	-
他組織との連携	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-
仮想機械の導入	○	○	-	○	○	-	○	○	-	-	○
VLANや変更可能なパッチパネルの導入	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-
VPNやSSH, VNCの導入	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	○
学生への管理の委託	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-

参加者が実際に機器に触れ、接続を変更できるような環境が必要である。また、これらの例では基本的に外部から切断された環境を提供していることが多いため、要求10に関しては考慮されていないことが多い。

以降の章では、体験演習環境用の資源不足を解決するために、近年多く設置され初めて来ている、ネットワークテストベッドの利用可能性をまとめる。

教育環境として利用されているネットワークテストベッドの例としては Open Network Laboratory (DEHART *et al.* 2005) がある。Open Network Laboratory には100台の計算機と高性能なルータ装置が用意されており、専用のインタフェースを用いて、特にルーティングに着目した実験および演習が可能である。

3. StarBED を利用した体験演習環境

本章では、StarBED を利用して体験演習環境を構築する際に利用できる機能についてまとめる。

3.1. StarBED による体験演習環境の構築

StarBED は情報通信研究機構 北陸リサーチセンターに設置された、約1000台のネットワーク実験専用ノードとそれらを接続する8台の実験用スイッチを持つ汎用的なネットワークテストベッドである。ネットワーク技術を実装した場合に、それが正確に仕様とそったものであるのか、実環境で用いられている周辺技術との干渉がないのか、またその耐規模性などを多数の実ノードおよび実環境上で動作しているアプリケーションソフトウェアなどを用いて検証するために利用されるほか、すでに提供されているソフトウェア実装の動作を観測するといった目的で利用されている。

StarBED のノードは必要に応じて予約をすることで、予約期間内は占有的な利用が可能となる。実験用ノードには標準環境として FreeBSD や Linux, Windows がインストールされており、これらを自由に変更して利用することが可能である。また、実験者が用意した OS をインストールすることも可能である。

StarBED のすべてのノードは最低二つのネットワークインタフェースを備えており、管理用のネットワークと実験用ネットワークのそれぞれに接続されている。管理用ネットワークを通して実験用のネットワークに任意のトポロジを構築でき、実験側ネットワークへの管理用のトラフィックの影響を排除できる。実験用ネットワークは物理接続の変更は基本的に行わず、VLAN 技術を利用して、必要なネットワークトポロジを構成する。

一台のKVM装置からすべてのノードのコンソールの監視と制御が可能な設備が導入されているほか、静的に設定されている管理側のネットワークから各ノードにログインすることで実験側ネットワークを利用した演習が可能である。これらの機能は、「参加者が操作可能な演習環境の提供」の要求を満たすといえる。さらに、本機能は「作業内容の監視」にも利用可能である。

StarBED のネットワークは基本的に外部から隔離されているが、対外接続に WIDE Internet (WIDE PROJECT 2009) および JGN2plus (独立行政法人 情報通信研究機構連携研究部門 テストベッド企画戦略グループ 2009) を利用でき、必要に応じてインターネットや外部のネットワークに接続および切断が可能である。これにより「外部ネットワークとの接続性管理」を実現する。

以上の StarBED の物理的な機能に加え、StarBED の利用者は実験を支援するためのソフトウェアスイートである SpringOS を利用して実験を実行する。SpringOS は基本的に利用者により記述された実験設定を入力とし、利用者が意図する初期環境の構築およびシナリオ実行を行うだけでなく、WoL や SNMP を用いたノードの死活管理を実現している。SpringOS の主な機能は以下の通りである。以下の機能は基本的に設定ファイルなどにしたがって遠隔のノードから一括して設定が行われる。これにより、利用者の利便性を高めるだけでなく、操作の正確性も高められる。

- ひな形ノードのディスクイメージの複製によるノードのソフトウェア状態の複製
- スwitchのVLAN設定によるL2トポロジの構築
- シナリオの実行による実験遂行
- ノードの死活管理

事前に利用者によって記述されたシナリオを各実験用ノードで実行することによるシナリオ実行機能を利用すれば、メッセージ交換による各ノード間の同期処理も可能である。また、本機能を利用し、シナリオ実行の一部として *ifconfig* や *route* といった基本的な設定コマンドを実行することで個々のノードの設定を行う。アプリケーションソフトウェアのバイナリや設定ファイルをファイルサーバ上に保存しておき、それをシナリオ中で取得することによるアプリケーションソフトウェアの導入および設定も可能である。

ノードの死活管理には SNMP や WoL, IPMI を利用し一括でノードの電源投入や再起動、電源断といった操作を行える。

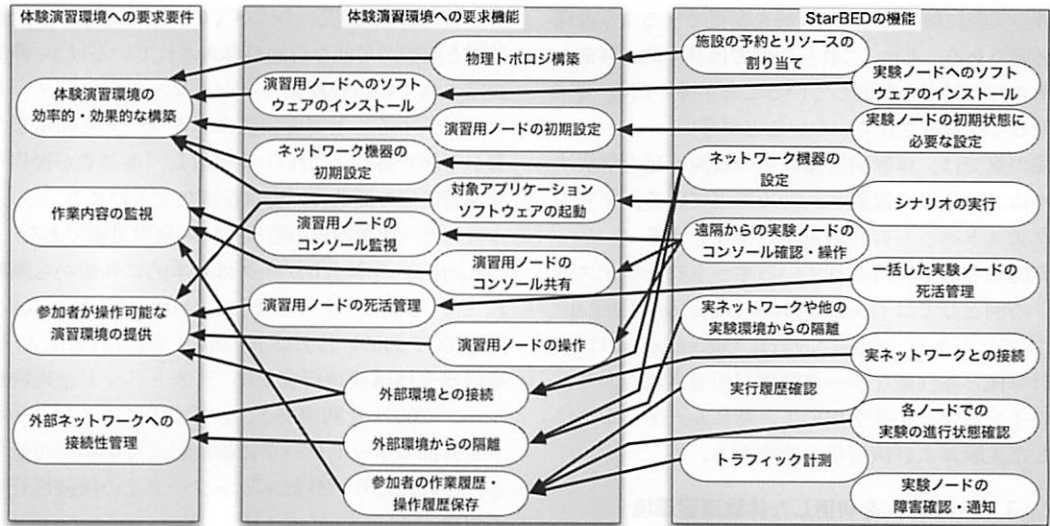


図1 ネットワーク体験演習環境構築に利用できるStarBEDの機能

これらの機能は SpringOS のインタフェイスを用いて一括して操作が可能であり、「体験演習環境の効率的・効果的な構築」にそのまま利用が可能である。

StarBED および SpringOS の詳細は文献(MIYACHI *et al.* 2006, 宮地ほか 2008a) を参照のこと。

3.2. StarBED の機能と体験演習環境の対応関係

すでに述べたとおり、StarBED および SpringOS はネットワーク実験を効率的に構築するために設計されているが、これらの機能は体験演習の実施のためにも利用できる。図1にStarBED および SpringOS が提供する機能および、2章で述べた体験演習環境への要求要件とそれを満たすための機能をまとめた。

ただし、ネットワークテストベッドには、前もって物理的機材が用意されているため、体験演習環境構築のために必要な「物理トポロジの構築」は必要ないが、それに変わって施設の予約などが必要となる。図1からわかるように、これまでにあげた体験演習環境に必要なすべての機能はStarBEDのようなネットワークテストベッドで提供されている機能で網羅しうる。

これらのStarBED および SpringOS の機能は、体験演習の内容によって使い分けられ、常にすべての機能が必要であるわけではない。また、体験演習の内容によっては一部の支援が不可能である場合もある。たとえば、演習用ノードのコンソール監視機能はリアルタイムでの演習では必要であるが、そうでない場合は参加者の挙動保存機能により事後に操作履歴が確認できれば必要ない。外部接続機能と外部環境からの隔離機能

に関しても必要に応じて利用されるものである。これらは、遠隔地からの講師もしくは参加者の参加が必要な場合には外部接続機能は必須であり、セキュリティ演習など特に外部との隔離性が重要である演習には隔離機能が重要である。セキュリティ演習であっても、管理用に利用されるネットワークと演習環境が分離されており、VPNや何らかのインタフェイスを用いることで、管理用ネットワークに接続し、その上で隔離された演習環境に安全な手法で接続する場合は、完全な隔離性は必要ない。

ここで挙げた機能は参加者と講師に同様に与えられるが、一般的な演習環境では、参加者と講師が利用できる機能および権限は分離される。これは、学習途上の参加者による問題の発生の防止や、他の参加者への意図しない影響の排除、また試験時などに他の参加者の挙動を確認できないようにするためである。特に本節で挙げた機能のうち、一般的に参加者が必要とする機能は、体験演習の内容により、体験演習環境の構築機能の一部と、演習用ノードの操作機能、自身が行った操作履歴を確認するための挙動保存機能、そして遠隔から参加する場合の外部接続機能である。

3.3. 既存技術との比較

体験演習環境を構築する際に大きな問題となるのは、体験演習環境用の資源の不足であり、要求1, 2, 3, 8は、資源不足に直接的に関連する問題である。要求4, 5, 6も複数の環境を用意できるだけの資源が用意できれば、切り替えや初期化に必要な時間が節約でき

るため、利用率の低下以外は問題にならない。少数のノードをどれだけ効率的に利用し、より多くの体験演習に対応できるかが一つの課題である。

本提案は、ネットワーク実験用の設備として維持、管理されているネットワークテストベッドのリソースを用いて、本来は目的が異なるネットワーク体験演習環境を構築することを目的としている。したがって、ネットワーク体験演習環境の主催者は、ネットワーク体験演習用の環境をその都度用意、もしくはさまざまな管理コストが発生する上で管理する必要は無く、ネットワークテストベッドの管理組織から提供を受けることで、リソースの管理にかかる人的、経済的なコストなどを削減することが可能である。ただし、これはネットワークテストベッドがどのような条件で提供されるかに依存する。本論文で対象とした StarBED の利用は基本的には情報通信研究機構の内部研究に限られるものの、共同研究契約により利用が可能であり、これまで多くの大学や企業の研究や製品の検証などに利用されてきた。共同研究契約の内容にも依存するが基本的に無料で機材を利用できる。

StarBED では最大約1000台の物理的な計算機を利用できるほか、仮想機械を利用して10000台の環境を構築した例も報告されており (Miwa *et al.* 2009)、大規模な体験演習環境の構築も可能である。これにより StarBED を利用した場合には要求1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 を支援できるといえる。

ネットワーク実験環境を構築する際の環境設定およびヘルスチェックに必要な時間について、SpringOS を利用した場合と利用しない場合の比較が報告されている (小西ほか 2005)。本検証で利用された環境は6台の計算機からなる小規模な物ではあるが、手動設定の場合には SpringOS を利用した場合に比べて2倍から6倍程度の時間が必要となるのがわかる。さらに、手動での設定の場合に、誤設定によるトラブルも報告されている。規模が大きくなるほど、設定に必要な時間の差は大きくなり、誤設定の機会が増大するため、数十台のノードを利用して行うような体験演習では、SpringOS のような前もって記述された設定を一括して行うための支援ソフトウェアの存在は重要である。

さらに、設定時間に関しては、VLAN の設定内容を記述したファイルや、前もって用意したテンプレートとなるディスクイメージの配布はコマンドの発行を行えば自動的に行われるため、オペレータが拘束される時間はそれぞれを手動で行う場合に比べて短くなる。

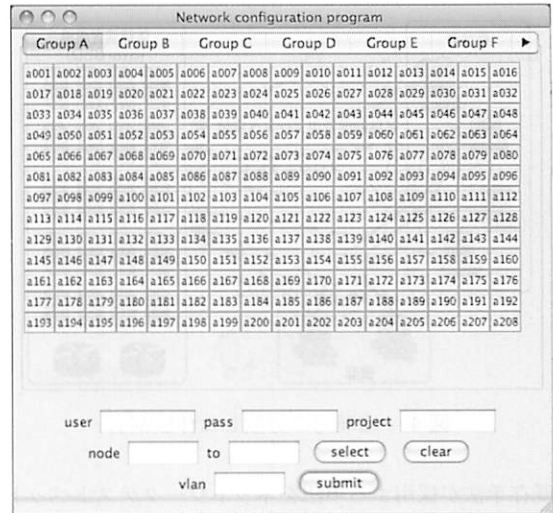


図2 SpringOS の VLAN 設定インタフェース

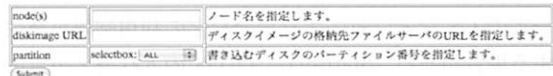


図3 SpringOS のディスクイメージ配布インタフェース

StarBED および SpringOS の利用経験が少ない利用者には GUI による設定インタフェースも利用できる (図2, 3)。問題が発生した場合は、StarBED の利用に精通している StarBED の常駐オペレータに相談をすることにより、早期の解決が期待できる。これらも管理コストに関わる要求1, 2, 3, 4, 5, 6に対応する。

ネットワークテストベッドによっては別のテストベッドとの協調やセキュリティに関する実験を念頭に置き、外部接続の管理機能が提供されている場合があるため、要求9, 10にも対応が可能である。また、StarBED の KVM 機能の利用および管理ネットワークを用いた固定的な接続により、要求11についても満たすことができる。

さらに、物理ノード上で仮想機械を動作させ、演習ノードとして利用することで、参加者の誤操作があった場合にもイメージの復元を容易に行えるほか、一台の物理ノード上で動作する複数の仮想機械をそれぞれ利用者に割り当てることで要求7, 8にも対応が可能である。仮想機械を導入することで物理的な計算機だけで同規模の環境を構築した場合に比べ、管理対象の物理的な計算機数を減らすことができるため、要求1, 2, 3にも有効であり、仮想機械が提供するコンソール確認機能は要求9に対しても利用できる。

本提案は、これまでの手法と直交するものではなく、

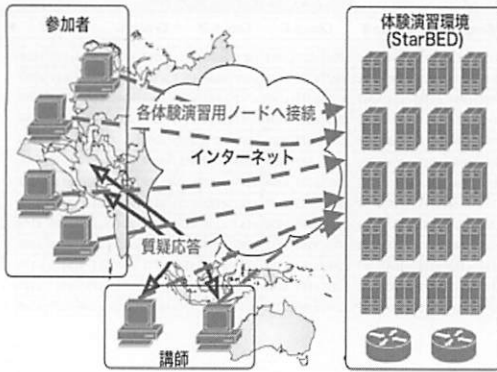


図4 地理的に分散した体験演習

既存手法が採用する手法をネットワークテストベッドが提供する計算機群上で動作させることも可能である。

また、既存の環境では、その管理コストから、ある一定の OS などに対応する場合などの利用制限が発生する場合がある。StarBED では OS の入れ替えが自由に行え、実験側のネットワークについては VLAN を利用して柔軟にトポロジを変更できる。さらに、外部との接続性に関しても接続および切断が切り替えられるため、外部からの講師および、受講者の参加やセキュリティ向けなどのさまざまな体験演習の目的に合った環境を構築できる。

以上より、StarBED を利用した場合には表 2 であげた要求の 7 以外に対応でき、仮想機械を用いることで全ての要求を満たすことができる。これは既存の技術では満たせていない点を満たしており、幅広いネットワーク体験演習を比較的低コストで実施できることを示している。

前章で触れた Open Network Laboratory は、ハードウェアルータを利用することでパフォーマンスの向上などを図っている。これに対し、StarBED は一般的な計算機を中心に構築されており、これらで動作するソフトウェア実装を利用することでより柔軟な環境を構築できる。また、演習自体は講師が自由に持ち込んだツール群を利用して実施することが可能であり、対応可能な演習の幅はより広いといえる。

4. ケーススタディ

我々は、StarBED を用いて「SOI Asia 2008 Spring Global E-Workshop」と「インシデント体験演習」¹⁾ を実施した。本章ではこれらの体験演習の概要を示し、StarBED および SpringOS がどのようにそれぞれの体験

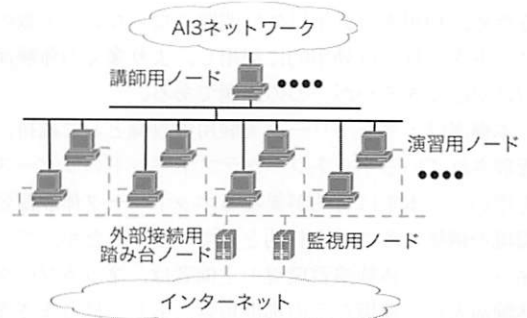


図5 トポロジ例

演習の要件を満たしたかをまとめる。ただし、それぞれの詳細については、他の文献 (BASU *et al.* 2008, MIYACHI *et al.* 2008b, 三輪ほか 2008) を参照のこと。また、本稿では、以降 SOI Asia 2008 Spring Global E-Workshop を SOI-WS と表記する。

4.1. 体験演習環境を用いた実践事例

まず、我々が実施した体験演習環境の実践事例の概略を示す。

4.1.1. SOI Asia 2008 Spring Global E-Workshop

School on Internet (SOI) Asia プロジェクト (WIDE Project School on Internet 2009) は、アジア地域の多くの大学と連携し、インターネットを介したリアルタイムでの授業や、そのアーカイブを使った授業の受講など、一般的な受講スタイルのほか、デジタルコミュニケーションを利用するからこそ可能となるさまざまなサービスを実現している。リアルタイムでの授業を可能とするためには、地理的に分散したそれぞれの参加組織にオペレータが必要となるため、授業に先立ってオペレータ育成のための演習が必要となる。このような地理的に分散した組織からの講師および参加者が一カ所に集合する形式での講習は、経済的、時間的にコストが高いため、StarBED の上に体験演習環境を構築し、この環境に各国の参加組織からインターネットを経由して接続することで、体験演習を実現した (図 4)。

本ワークショップは平成 20 年 3 月 31 日から 4 月 4 日までの 5 日間にわたって行われ、そのうちの 4 日間で 10 カ国から 42 人の参加者と 4 人の講師がすべて遠隔地から本環境に接続した (講師 1 人は演習を必要としなかったため利用した講師は 3 人)。

一人の参加者に一台の演習ノードが割り当てられ、OS およびアプリケーションソフトウェアの導入と L2 トポロジの設定が済んでいる環境において、基本的なネットワーク設定やルーティング設定などについての

演習が行われた。3種類のネットワークトポロジが利用され、それぞれ60台程度の規模であった。利用したトポロジ例を図5に、トポロジを構成するノード数を表3に示した。

これらの体験演習環境の初期状態は、StarBED および SpringOS の機能を利用して構築された。本体験演習環境には、講師および参加者がインターネット経由で SSH を利用して接続したため、管理用ネットワークを WIDE インターネットに接続し外部接続を確立した。また、実験用ネットワークはリアルタイム授業を配信する際に利用される AI3 (BABA *et al.* 2001, ASIAN INTERNET INTERCONNECTION INITIATIVES PROJECT 2009) のネットワークに JGN2plus を利用し実際に接続して、その挙動を確認した。外部接続は StarBED の設備として提供しているが、外部組織との調整が必要となるため SpringOS での自動実行は行えず、StarBED および AI3 のネットワークオペレータにより手動で設定された。

本体験演習環境の構築のために必要となったソフトウェアインストールおよびスイッチ設定の所要時間を表4、5にまとめた。ただし、SpringOS は OS インストールのために、一台のひな形となるノードの設定を行い、その内容をディスクイメージとして保存し、そのディスクイメージを複数台のノードにコピーすることで OS やソフトウェア、その設定を含めてノード状態を複製する。表4には一台のひな形ノードからのディスクイメージ作成時間と、予備を含めて67台の演習用ノードへのディスクイメージ書き込みの時間を示した。

ノードの監視およびトラブル時の復旧用として、一般的なアプリケーションを利用した操作監視を行い、障害復旧にはネットワーク接続が利用できる場合には SSH を利用、そうでない場合は KVM 装置を利用してコンソールからの復旧を図った。

4.1.2. インシデント体験演習

ネットワークセキュリティについて学習する上では、ウイルス・ワーム・ボットなど（以降、マルウェア）や各種の攻撃が実際にどのように行われ、どのように

表3 各トポロジの構成ノード

トポロジ	ノード数		OS
	演習用	講師用	
1	56	4	FreeBSD 6.2
2	56	1	FreeBSD 6.2
3	56	1	Fedora Core 6

観測できるのかを知ることが非常に重要である。そのため、実践的な演習を行うことが求められるが、多人数が同時に利用でき、かつ、現実に近く安全な演習環境を構築・運用することは容易ではない。

そこで、我々は、既知の攻撃や脅威によるインシデントを体験する演習を安全に行うことができるインシデント体験演習環境を設計・構築し、実際に StarBED を用いて「インシデント体験演習」を実施した。今回の「インシデント体験演習」は、平成20年9月3日から5日の間に StarBED が設置されている情報通信研究機構 北陸リサーチセンターにて実習が行われ、その後、同9月11日まで自習期間が設けられた。受講生は22名で、操作端末の数の問題と受講生の知識や技術の水準にばらつきがあったことから、2名一組の11組で演習を行った。

インシデント体験演習環境は、履修管理システムと演習管理システムから構成される。図6にインシデント体験演習環境の概要を示す。履修管理システムは、受講生とレポートや成績に関するデータベースとその操作のための Web インタフェイスおよび演習のための Web インタフェイスである。紙面の都合上、履修管理システムについては詳細を割愛し、演習環境システムについてのみ詳細を述べる。

演習環境システムは、演習のたびに、履修管理システムからの指示にしたがって、演習環境の構成を変更し、検体データベースに記録された検体情報にしたがい指定されたインシデントを模擬する。演習環境は、講師が用意した演習用のサイトに関する演習環境構成情報にもとづいて構成される。これらは、StarBED および SpringOS のソフトウェアインストール機能および、シナリオ実行によるノード設定を行い、演習用ノードを随時再設定することで実現している。

表4 ソフトウェアインストールの所要時間

OS	パーティション サイズ	ディスクイメージ	
		作成[sec]	配布[sec]
FreeBSD	18[GB]	1275	2552
Fedora Core	16[GB]	873	1832

表5 トポロジ設定の所要時間

トポロジ	所要時間 [sec]
1	1528
2	1622
3	1280

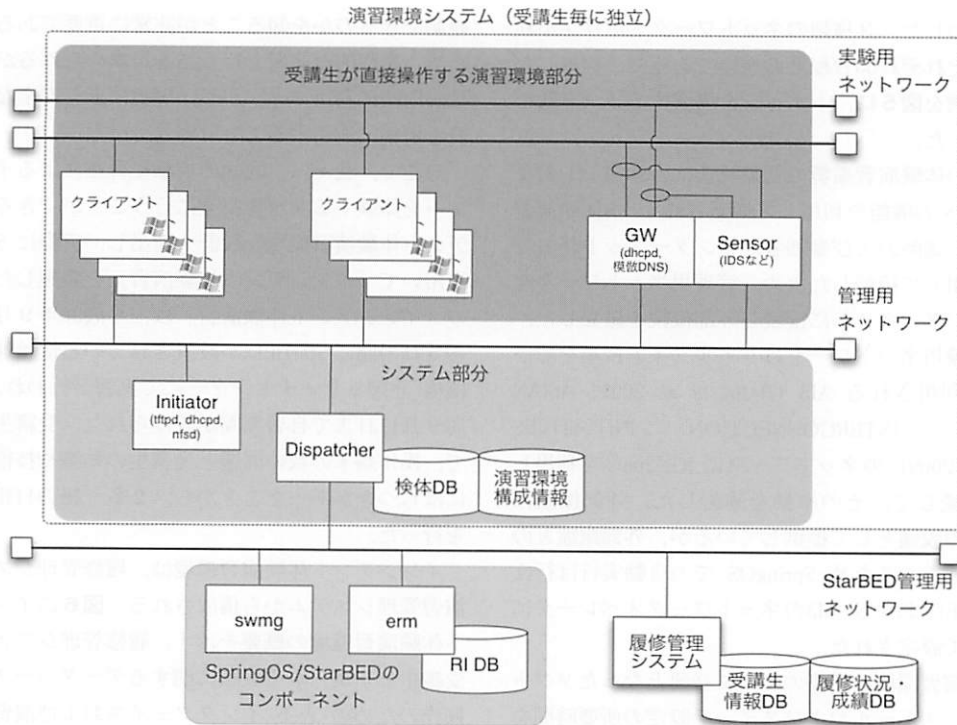


図6 インシデント体験演習環境の概要

演習環境システムは、受講生毎に一つずつ用意され、それぞれは VLAN によって隔離されている。また、各演習環境はインターネットからも隔離されている。これにより、演習環境間でのマルウェアの影響の流入やインターネットへのマルウェアの漏出などを避け、安全に演習を実施できる。これらは、SpringOS のネットワーク機器の設定機能および StarBED の外部ネットワークからの隔離性を用いて実現している。

演習環境システムは、受講生が操作することのないシステム部分と受講生が直接操作する演習環境部分に分かれる。各部の構成を表6に示す。すべて、StarBED の物理ノードで構成しており、GW と Sensor は1台の物理ノード上に構築されている。

システム部分は、演習環境の構築、構成変更、浄化、撤収を管理する Dispatcher と、クライアントが起動時に利用する DHCP サーバ、TFTP サーバ、NFS サーバである Initiator からなる。

Dispatcher は、履修管理システムもしくはコマンドラインからの指示にしたがい、演習環境構成情報を元にクライアントの死活や隔離の制御や模擬するインシデントの管理を行う。クライアントの死活や隔離の制御には、SpringOS および StarBED が持つ、シナリオの

実行機能を用いている。

受講生が直接操作する演習環境部分は、講師が用意した演習環境構成情報にしたがって構成が変更される。受講生は、この部分に直接ログインしたり、KVM を通じてコンソール操作したりすることで、インシデントを体験演習する。

演習環境部分の基本的な構成は、マルウェアの検体を実行したり、実際に攻撃を受けたりするクライアントが複数台用意され、それらを接続する実験用ネットワークと複数の実験用ネットワークを接続する GW、実験用ネットワークを監視することができる Sensor からなる。クライアントでは、インシデント発生そのものが Windows 上で行われるため、独自の仕組みで制御されており、浄化や検体投入などはデュアルブート

表6 各演習環境システムの構成

	ノード名	台数	OS
システム部分	Dispatcher	1	CentOS
	Initiator	1	CentOS
演習環境部分	クライアント	8	Windows/Knoppix
	GW/Sensor	1	CentOS

で起動する Knoppix 上の UNIX コマンドで制御している。GW には、リアリティチェックを回避するための模倣 DNS や模倣サイトが含まれている。Sensor には、*snort* や *tcpdump* などの基本的な監視ツールが導入されており、受講生は、これらを使って実験用ネットワークの監視を行った。

本環境は11台のノードによる演習環境システムを準備、講師用を含めて16組構築した。この作業は2人のスタッフが3日間かけて行った。ただし、教育用コンテンツの構築はこの期間に含まない。

4.2. 考察

以上の2件の実践事例でどのように要求事項を満足していたのかについて考察する。

4.2.1. 要件に関する調査

SOI-WS では、それぞれ60台程度のノードからなる環境上で、FreeBSD および Linux のさまざまなネットワーク設定およびその上でルーティングのためのソフトウェアを動作させ、その設定および挙動確認を行った。参加者がそれぞれ一台のノードを設定することにより、一人の参加者の誤設定がネットワーク全体にどのような影響を及ぼすかなどについても体験が可能であった。また、演習管理用、演習用の双方のネットワークを外部のネットワークに接続した。

インシデント体験演習は隔離環境の上で、実物のマルウェア検体を動作させた非常時のネットワークを用いて、その挙動の確認や、その発見および対処方法を身をもって学んだといえる。また演習内容の性質上、一カ所に講師と参加者が集まった上で体験演習環境を完全に外部ネットワークから切断する形式を取った。さらに、授業後の自習のために、StarBED に VPN を利用して接続した後、StarBED 内の IP ネットワークから分離され、マルウェアの拡散の心配のない KVM ネットワークを利用することで演習ノードの操作環境を提供した。

以上から、一般的な計算機およびソフトウェアを利用した環境での演習が可能であったといえ、「実際に利用されているネットワーク機器およびネットワークソフトウェアの設定・利用技術の習得」が満たされたと考えられる。また、60台程度の計算機を利用した体験演習環境を構築可能であり、それぞれの参加者がそれぞれ大きなネットワークの一部を設定し、その設定のネットワーク全体への影響を体験できたことから、「大規模なネットワークの挙動把握」についても満足できたといえる。さらに、実際のネットワーク上で問題になっているマルウェアの感染とその対処について

の学習、ネットワーク設定を自由に変更することによるネットワーク全体への影響の体験などを通して、「非常時のネットワーク状態の体験とそれへの対処方法の習得」についても満たすことができた。

4.2.2. 環境構築のコストに関する調査

SOI-WS は教育用コンテンツを含まない環境構築および講師による確認を一週間ほどで行った。体験演習の実施期間中は一人の管理者が StarBED においてトラブルの対応に当たった。インシデント体験演習においても、環境構築は3日で実現できており、これらのコストはこれまでの体験演習の実施に比べて低いといえる。ひな形となるノードを作成できれば、ディスクイメージの配布は作業時間を含めても2時間程度(表4)であり、これらの再利用による、2度目以降の演習ではさらなるコストの低減が可能である。またスイッチの設定に関しても30分程度で実施が可能であった。

また、SOI-WS では各日のトポロジをワークショップ以前にそれぞれ構築しておき、当日は環境を切り替えて利用した。このような利用方法では、一つの演習環境を構成するノードの数倍の数のノードが必要となるが、ワークショップ中の環境切り替えにともなう時間的コストおよび、環境構築のトラブルを回避できる。

4.2.3. 対象とする学習内容

SOI-WS では、UNIX OS のコマンドラインでの操作経験を持った参加者を対象とし、一日目に座学によるネットワークに関する授業を行い、二日目以降に SOI Asia の遠隔教育環境を運用するために必要な DNS や DHCP サーバなどの設定や、SOI 独自のアプリケーションのインストール、OSPF による経路交換や PIM-SM によるマルチキャストの経路制御に関する演習を行った。

インシデント体験演習では、Linux 等のコマンドラインによる操作、インターネットやネットワークセキュリティの基本的な前提知識を有する学生を対象に、DoS 攻撃、ワーム感染、自サイト内のポット、フィッシング被害、P2P クライアント検出などのインシデントを体験させ、実際に監視・発見・分析・防御・回避・復旧を行った。

SOI-WS は、比較的初心者を対象とし、インシデント体験演習は、OSI モデルの第3層のネットワーク層の制御に関する設定、ある程度の前提知識を持った学生を対象とした。これらから幅広い対象者に対して幅広い内容をもった体験演習が可能であるといえる。

4.2.4. 今後の展望

SOI-WS では、以前のワークショップで問題になっ

た性能についての課題を克服するために、仮想機械を利用しなかった。今回のワークショップでは、参加者からは性能的に満足したという声があった。その一方で講師陣は実際の StarBED 上の環境についての知識を得た上で、OS などの設定を行う必要があるため、体験演習実施の敷居は多少あがったといえる。仮想機械を利用すれば、講師が手元に構築した環境をそのまま利用できるという利点や、演習を中断した際にも、ディスクイメージの保存を行うことでノード設定に関しては再開時に終了時のデータをそのまま利用できるという利点がある。性能についての課題を克服するため一物理ノード上に一仮想機械を動作させるなど、今後は仮想機械の利用についても検討する。

今回の検証に利用したネットワークテストベッドは StarBED であるが、一般的なネットワークテストベッドで提供されている機能を用いれば、多くの場合、体験演習環境を構築できると考えられる。ただし、ネットワークテストベッドが提供している機能はそれぞれの目的により異なるため、体験演習の内容によっては対応ができない場合もある。また、ネットワークテストベッドの予約形態によってもその利用可能性は変化する。体験演習環境を構築するためのさまざまなツールも提案されており (DEHART 2006, ABBOTT-MCCUNE 2008, DELANEY 2002)、ネットワークテストベッドを計算機クラスタと見なし、このようなツールを適用することで体験演習環境を構築することも可能であると考えられる。

5. おわりに

体験演習環境をネットワークテストベッド上で実現するというアイデア自体は非常に直感的であるが、実際に実施した例は少ない。本論文では、ネットワークテストベッド StarBED の機能および一般的なアプリケーションソフトウェアを利用することで演習環境が要求する環境を構築し、それぞれのアンケートからは提供した環境が講師、参加者ともに満足できるものであったことを示した。

これらの事例から、ネットワーク実験用の支援ソフトウェア群を利用することで、ネットワークテストベッド上に体験演習環境を構築することが可能であることが実証されたといえる。

本提案は、講師が作成した教育コンテンツを提供するための環境を構築するものであり、教育コンテンツ自体は講師が必要に応じて用意する必要がある。今後

教育コンテンツの提供部分やネットワークテストベッドを利用することにより得られる利点の議論にも踏み込み、教育指導を支援するようなシステムの提供についても検討していく。また、ある程度一般的な内容についてはパッケージ化し、オンデマンドで提供できるような環境構築を目指す。

注

- 1) 「インシデント体験演習」は、文部科学省の「平成19年度先導的 IT スペシャリスト育成推進プログラム」によるプロジェクト「社会的ITリスク軽減のための情報セキュリティ技術者・管理者育成」(ITKeys 2009)の一環として行われる教育コースの実践科目の一つである。

参考文献

- ABBOTT-MCCUNE, S., NEWTON, A.J., GIRARD, J. and GODA, B.S. (2008) Developing a reconfigurable network lab. *SIGITE '08: Proceedings of the 9th ACM SIGITE conference on Information technology education* : 255-258
- ADAMS, J.C. and LAVERELL, W.D. (2005) Configuring a multi-course lab for system-level projects. *SIGCSE '05: Proceedings of the 36th SIGCSE technical symposium on Computer science education* : 525-529
- ALBEE, P.B., CAMPBELL, L.A., MURRAY, M.A., TONGEN, C.M. and WOLFE, J. L. (2007) A Student-Managed Networking Laboratory. *Proceedings of the 8th ACM SIGITE conference on Information technology education* : 67-74
- Asian Internet Interconnection Initiatives Project (2009) <http://www.ai3.net/> (accessed 2009.12.10)
- BABA, T., IZUMIYAMA, H. and YAMAGUCHI, S. (2001) AI3 Satellite Internet Infrastructure and the Deployment in Asia. *IEICE Transactions on Communication, E84-B(8)* : 2048-2057
- BASU, P., MIKAWA, S., MIYACHI, T., BASUKI, A., THAMRIN, A.H. and OKAWA, K. (2008) An Asia-Wide Distributed Hands-On: Workshop: Synchronous Learning and Large-Scale Computing Laboratory. *The Eleventh IASTED International Conference on Computers and Advanced Technology in Education (CATE 2008)* : 166-171

- BASUKI, A., THAMRIN, A.H., OKAWA, K. and MURAI, J. (2007) A Remote Hands-on Exercise Environment for an Asia-Wide Real-Time Workshop. *International Symposium on Applications and the Internet Workshops (SAINTW'07)*: 38
- BELLES, R. and MILLER, J.R. (2002) Multi-purpose specialty labs: providing specialized computer labs both cost and space effectively. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, **17**(3): 46-52
- CASADO, M. and MCKEOWN, N. (2005) The virtual network system. *SIGCSE Bull.*, **37**(1): 76-80
- CIGAS, J. (2003) An Introductory Course in Network Administration. *Proceedings of the 34th SIGCSE technical symposium on Computer science education*: 113-116
- CORBESERO, S.G. (2003) Teaching system and network administration in a small college environment. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, **19**(2): 155-163
- DEHART, J., KUHN, F., PARWATIKAR, J., TURNER, J., WISEMAN, C. and WONG, K. (2006) The Open Network Laboratory. *Proceedings of the 37th SIGCSE technical symposium on Computer science education, issue 1*, **38**: 107-111
- DELANEY, S., DAIGLE, R. and SPARKS, T. (2002) Discovering a new world of lab management. *SIGUCCS '02: Proceedings of the 30th annual ACM SIGUCCS conference on User services*: 240-241
- 独立行政法人 情報通信研究機構 連携研究部門 テストベッド企画戦略グループ (2009) JGN2plus ホームページ: 超高速・高機能研究開発テストベッドネットワーク
<http://www.jgn.nict.go.jp/> (accessed 2009.12.10)
- HILL, J.M.D., CARVER, Jr., C.A., HUMPHRIES, J.W. and POOCH, U.W. (2001) Using an isolated network laboratory to teach advanced networks and security. *SIGCSE '01: Proceedings of the thirty-second SIGCSE technical symposium on Computer Science Education*: 36-40
- IT Keys (2009) IT Keys - 先導的 IT スペシャリスト育成推進プログラム
<http://it-keys.naist.jp/> (accessed 2009.12.10)
- 小西一暢 村本衛一, 米田孝弘, 許志彰, 川原豊樹 (2005) トランスポートプロトコルの実機による性能検証における遅延・帯域とトポロジの切替時間短縮のためのシミュレーション技法の検証. 第36回分散システム/インターネット運用技術研究発表会: 31-36
- MIKAWA, S., BASU, P., OKAWA, K. and MURAI, J. (2007) An Asia-Wide Realtime Distributed Hands-On Workshop. *International Symposium on Applications and the Internet Workshops (SAINTW'07)*: 41
- MIYACHI, T., CHINEN, K. and SHINODA, Y. (2006) StarBED and SpringOS: Large-scale General Purpose Network Testbed and Supporting Software. *International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools (Valuetools 2006)* (CD-ROM)
- 宮地利幸, 中田潤也, 知念賢一, ラズバン・ベウラン, 三輪信介, 岡田崇, 三角真, 宇多仁, 芳炭将, 丹康雄, 中川晋一, 篠田陽一 (2008a) StarBED: 大規模ネットワーク実証環境. *情報処理*, **49**(1): 57-70
- MIYACHI, T., BASUKI, A., MIKAWA, S., MIWA, S., CHINEN, K. and SHINODA, Y. (2008b) Educational Environment on StarBED -Case Study of SOI Asia 2008 Spring Global E-Workshop-. *ASIAN INTERNET ENGINEERING CONFERENCE (AINTEC) 2008*: 27-36
- NIEH, J. and VAILL, C. (2005) Experiences teaching operating systems using virtual platforms and linux. *Proceedings of the 36th SIGCSE technical symposium on Computer science education, issue 1*, **37**: 520-524
- QUN, Z.A. and JUN, W. (2008) Application of NS2 in Education of Computer Networks. *ICACTE '08: Proceedings on the International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering*: 368-372
- RIGBY, S. and DARK, M. (2006) Designing a flexible, multipurpose remote lab for the IT curriculum. *Proceedings of the 7th conference on Information technology education*: 161-164
- MIWA, S. and OHNO, H. (2005) A Development of Experimental Environments "SIOS" and "VM Nebula" for Reproducing Internet Security Incidents. *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology*, **52**(1/2): 23-34
- 三輪信介, 宮本大輔, 榎山寛章, 櫻原茂, 門林雄基, 篠

- 田陽一 (2008) インシデント体験演習環境の設計と構築. コンピュータセキュリティシンポジウム 2008(CSS2008) : 929-934
- MIWA, S., SUZUKI, M., HAZEYAMA, H., UDA, S. MIYACHI, T., KADOBAYASHI, Y. and SHINODA, Y. (2009) Experiences in Emulating 10K AS Topology with Massive VM Multiplexing. *The First ACM SIGCOMM Workshop on Virtualized Infrastructure Systems and Architectures (VISA '09)* (CDROM)
- STOCKMAN, M. (2003) Creating remotely accessible “virtual networks” on a single PC to teach computer networking and operating systems. *CITC4 '03: Proceedings of the 4th conference on Information technology curriculum* : 67-71
- TODERICK, L., MOHAMMED, T. and TABRIZI, M.H.N. (2005) A consortium of secure remote access Labs for information technology education. *SIGITE '05: Proceedings of the 6th conference on Information technology education* : 295-299
- WHITE, B., LEPREAU, J., STOLLER, L., RICCI, R., GURUPRASAD, S., NEWBOLD, M., HIBLER, M., BARB, C. and JOGLEKAR, A. (2002) An Integrated Experimental Environment for Distributed Systems and Networks. *USENIXASSOC* : 255-270
- WIDE Project (2009) WIDE PROJECT.
<http://www.wide.ad.jp/> (accessed 2009.12.10)
- WIDE Project School on Internet (2009) SOI Asia Project Top Page.
<http://www.soi.asia/> (accessed 2009.12.10)
- WISEMAN, C., WONG, K., WOLF, T. and GORINSKY, S. (2008) Operational Experience With a Virtual Networking Laboratory. *Proceedings of the 39th SIGCSE technical symposium on Computer science education*, 40(1) : 427-431

Summary

Hands-on experiences are indispensable to train IT operators adding to theoretical learning. Especially in order to understand network behavior and to acquire network operational techniques, it is important. However, students cannot make any misoperation on the Internet because it became a social infrastructure and it is difficult to make changes on Internet configurations. In order to solve this dilemma, some hands-on environments separated from real environments are proposed and implemented. Meanwhile, as evaluation of network techniques becomes a hot topic, several network testbeds are implemented in the world.

In this paper, we describe the StarBED and SpringOS can satisfy the requirements to build hands-on environment. Moreover, we explain instances; “SOI Asia 2008 Spring Global E-Workshop” and “Hands-on for Network Incidents” which used StarBED, to demonstrate the effectiveness.

KEY WORDS: HANDS-ON ENVIRONMENT, NETWORK TECHNOLOGIES, NETWORK TESTBED

(Received February 15, 2010)