

仮想 ICT 環境の実現に向けて

—PBL による ICT 演習環境の設計と構築—

山口真之介, 林 豊洋, 大西淑雅, 甲斐郷子, 西野和典

九州工業大学 学習教育センター

九州工業大学 情報科学センター

九州工業大学大学院情報工学研究院

ict-x@lrc.kyutech.ac.jp

概要: 我々は, PBL による ICT 演習の実施を行うための学習環境として計算機・ネットワークが持つべき機能を実現する仮想 ICT 環境を提案する. 仮想 ICT 環境は, クラウドシステムと認証システムを統合することで実現可能である. 本稿では, 仮想 ICT 環境について提案し, クラウドシステム部分についての実現方法および性能評価について報告する.

1 はじめに

グループの中で他者と協働しながら, 獲得した知識や技能を能動的に活用するアクティブ・ラーニングが注目されている. なかでも, 課題を共有し協働的にプロジェクトを遂行する PBL (Project Based Learning) が工学の教育分野では注目され, 実践例も多く報告されている[1][2][3].

PBL では, 多様な価値観や能力を有する学生たちが, 主体的かつ対等な立場で相互作用を図りつつ, 協働しながら未知の課題を解決することが求められる. ソフトウェアの共同開発等といった ICT 演習を PBL で実施するためには, 学生グループを任意に形成して, 相互作用を図りつつ協働で課題を解決することができる学習環境が必要となる.

このような背景の中, 九州工業大学では, 様々な ICT 演習を PBL で実践するためのシステムを導入した. 本システムは, クラウドコンピューティング技術を用いており, 利用者に対して ICT 演習を行うための学習環境を提供できる.

クラウドコンピューティングを用いた学習環境としては, 九州大学キャンパスクラウドシステム[4]や北海道大学アカデミッククラウド[5]

が知られている. 我々は, ICT 演習をターゲットとした教育活動(講義・演習)や学習活動(自主, PBL)での利用を想定し, 仮想のインスタンスとユーザ認証サービスを組み合わせた環境構築を目指す. また, クラウドコンピューティングのメリットを活かし, 学生の研究活動の支援や業務系サービスが導入できる構造とする.

本稿では, はじめに PBL の枠組みで ICT 演習を行うための学習環境について提案する. 次に学習環境の持つべき機能について定義し, 設計方針と部分的に実現した機能の実装について述べる. 最後に基本性能, 講義を想定した性能テストの結果について報告する.

2 PBL による ICT 演習の実現に向けて

2.1 従来の教育と PBL における計算機の利用

従来型の ICT 演習は, 図 1 のように学生は演習室に集合し, ネットワークを含めて統一された計算機資源を使い, 一斉に取り組んでいる. 基本的なアルゴリズムの理解や操作, スキルの習得を行う場合, この形態は有効である.

一方, ICT 演習を PBL で実施する場合, 各グループは異なる課題に取り組み, 異なる解決方法を求める事が基本である. 図 2 に示すように,

学生には各自の計算機とは別に、プロジェクト毎に、課題解決に取り組む作業場として利用できる、ネットワークを含めた計算機資源が求められる。本稿では、この共同の作業場として用いる、ネットワークを含めた計算機資源をワークスペースと呼ぶ。

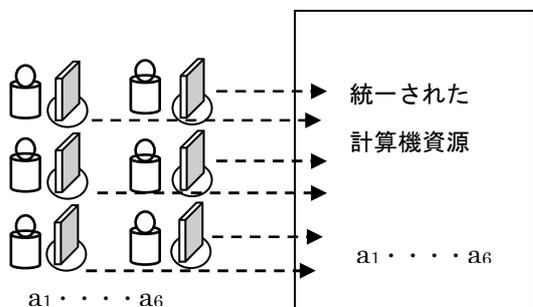


図1 従来の ICT 演習の形態

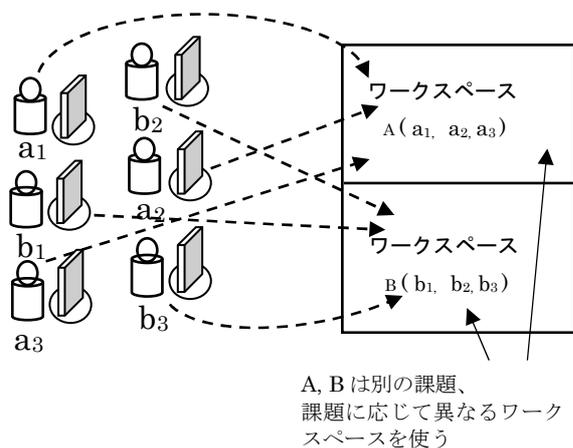


図2 協働学習で求められる ICT 演習の形態

2.2 PBL で行う ICT 演習の具体例

PBL で行う ICT 演習として、本学では以下の具体例を想定している。

I. ソフトウェアの共同開発

グループで一つのワークスペースを使用して、課題に対して共同で作業を行う。与えられる問題に対し、学生は解決のためのソフトウェアやシステムを共同で構築する。

II. 共有サーバ上での演習 (データベース演習)
 教員が演習用のワークスペースを用意し、学生がその上で演習実験を行う。データベースシステムを対象とした場合、データベースの構造の

習得、命令の順番の違いによる実践体験、理想的なデータベースの運用に関する課題が想定される。

III. 複数の計算機とネットワークを用いた演習

学生あたり一台のネットワークに接続された計算機を用いて、サーバ側とクライアント側に分かれて演習を行う。理工系大学では、学生時代にネットワーク管理者として経験を得ることが望ましく、本演習においてそのような管理運営作業の一部を習得する。

IV. グループ演習 (セキュリティコンテスト (Capture the Flag))

グループを形成する複数の学生が演習課題に取り組む。課題毎にワークスペースを構築し、学習ターンによってグループの形成やワークスペースの割り振りが変わる必要がある。具体的な課題例としては、セキュリティに問題のあるサーバにアクセスして、複数のセキュリティホールを探す競技などがある。

2.3 PBL に求められるワークスペースの機能

PBL で学生が利用するワークスペースは、従来の ICT 演習で用いる計算機資源とは異なり、多様なカスタマイズに対応できる必要がある。以下に必要な機能を述べる。

2.3.1 計算機資源構成のカスタマイズ機能

ワークスペースは、自身が持つ CPU の性能や、メモリとハードディスクの容量を自由にカスタマイズできる必要がある。例えば、具体例 II では計算機の性能が高すぎると、データベースの構造や命令の違いから、処理時間の違いを体感する事が難しくなる。このように演習課題に適した構成が求められる。

2.3.2 ユーザのグルーピング機能

具体例 I においては、複数の学生がワークスペースのユーザとなる。具体例 II ではワークスペースのユーザは、講義を受講している学生に限定される。このように、利用形態ごとにワー

クスペースとユーザの対応付けが変化するため、複数のユーザからなるグループを定義し、ワークスペースに割り当てる仕組みを作りこむ必要がある。

2.3.3 ネットワーク構成の変更機能

ワークスペースのネットワーク接続も、自由に構成できるものでなければならない。具体例 III では、ワークスペースは学内のネットワークに接続している。また具体例 II では、ワークスペースは学外からも接続可能にして、ユーザが演習できる条件を広げた方が使いやすい。

一方、ユーザが利用するワークスペースは、十分なセキュリティ要件を満たしていない可能性がある。具体例 IV では、セキュリティホールのあるワークスペースを用意している。これらのワークスペースは、外部からの接続を遮断しておく必要がある。また、緊急のトラブルが発生した場合、ワークスペースを迅速にネットワークから切り離す事もあり得る。ワークスペースのネットワーク構成は、CPU 等の性能のカスタマイズとは異なり、常時自由に設定・更新できる機能が求められる。

これらの機能を持つワークスペースを、複数

提供できるシステムを、仮想 ICT 環境と定義する。

3 仮想 ICT 環境の設計

仮想 ICT 環境を実現する為には、多数の計算機及びネットワーク資源を要する。これを従来の演習室にある様な計算機群で提供する場合、課題毎に異なる計算機のセットアップを要するなど、管理者の負担が大きくなる。

我々は、高度に計算機資源を仮想化するクラウドシステムの一つである IaaS (Infrastructure as a Service) を導入し、これらの問題を解決する。具体的には、Apache CloudStack[6]を採用し、ワークスペースをインスタンスとして提供できる仮想 ICT 環境を構築する(図 3)。ただし、CloudStack には仮想 ICT 環境での演習に必要な計算機資源の利用申請および承認の機能が不足しているため、機能拡張やカスタマイズを行う。

3.1 ワークスペースの論理設計

利用者の利便性を考慮し、Public ネットワークに設定できる Global IP を利用者に割り付け可能な CloudStack 拡張ネットワークモデルを採用する。拡張ネットワークモデルが有する仮

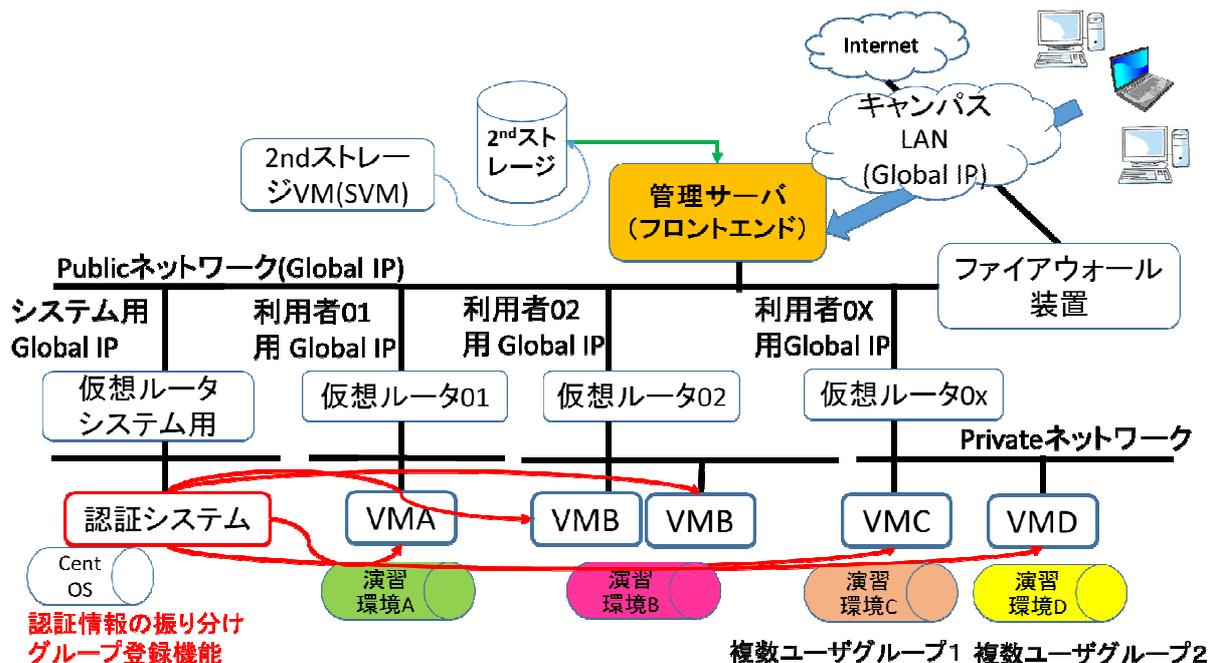


図 3 : 仮想 ICT 環境の構成

想ルータを設定することで、キャンパス LAN からのリモートアクセスが可能となる。

Public ネットワークとキャンパス LAN との接続には、ファイアウォール装置を設置し、利用者 (Global IP) 毎のアクセス管理を可能とする。例えば、学生のインスタンスでは、インターネットからのアクセスを禁止したり、教職員のインスタンスではアクセスを許可したりできる。また、学生のインスタンスが万が一キャンパス LAN に悪影響を与える場合は、強制的に遮断措置をとることもできる。

3.2 テンプレートの活用

CloudStack では、利用に必要なアプリケーションやライブラリをテンプレートとして複数用意できる。標準的なテンプレートには初期値として、本学すべての利用者にインスタンスへのリモートアクセスを許可する設定を与える。インスタンスへのリモートアクセスを制限したい場合は、利用者からの申請に基づき、認証サーバが動的に制限を行えるようにする。この際に必要となる起動スクリプトを含んだテンプレートを用意する。また、様々な種類のテンプレートの管理コストを下げるために、テンプレート保守の自動化を行えるようにする。

3.3 利用者に対する制限

限られた計算機資源を有効活用するために、インスタンスの利用申請の際に、利用期限を設定できるようにする。この期限を過ぎるとシステム側から自動でインスタンスを停止する。さらに一定期間を経過するとインスタンスは削除される仕組みを取り入れる。これにより長期的な利用が必要な場合に対応しつつ、利用されなくなった計算機資源の回収とインスタンス自身のセキュリティリスクを下げるができる。

なお、利用者がデータを保持できるボリュームについては、利用期限を設定しないこととした。管理者が設定した値以内であれば、インス

タンスに追加可能なボリュームとして、インスタンスとは別に作成できる。これにより、インスタンスの利用期限とは別に、利用者がデータを保持できる。

3.4 ユーザのグルーピング

教職員が作成した複数のインスタンスに、学生を簡単に割り付ける機能を提供する。本機能は、LDAP サーバと専用のスキーマ、Web インターフェースからなる認証システムによって提供する (図 4)。利用者は、インスタンス毎の学生リストを作成し、制限ユーザとして認証システムに登録する。これにより、LDAP サーバ内のエントリに属性値を追記する。

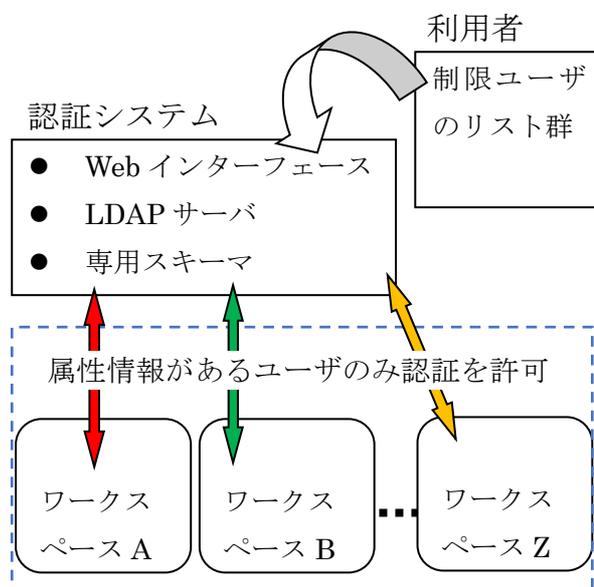


図 4 : ユーザのグルーピングに必要な要素

インスタンスは起動直後に、起動スクリプトから認証システムにグルーピング情報の有無の問い合わせを行う。

認証システム側では、問い合わせ元のインスタンスの Mac アドレスと IP アドレスをキーとして、CloudStack のデータベースを検索する。インスタンスとその利用者を特定した上で、LDAP 認証のフィルタ設定に必要な属性値を返す。起動スクリプトは、返された属性値を使って認証のフィルタリングの設定を更新する。

4 仮想 ICT 環境 - ワークスペース - の実装

設計した仮想 ICT 環境中のワークスペースについて、CloudStack 4.4 を用いて実装を行った。サービスホスト上で動作するハイパーバイザには KVM を採用し、KVM インスタンス上でワークスペースが稼働する。

表 1：サービスホスト

ホスト	HP DL360p Gen8×3 台
CPU	Intel Xeon E5-2670 v2 2.50GHz (10 コア) ×2
メモリ	256GB (PC3-14900R)
ディスク	Raid1+SP (300GB 6G SAS×3)
プライマリストレージ接続	8GFC HBA×2
LAN	10GbE 533FLR-T アダプタ (2 ポート)
プライマリストレージ	3PAR StoreServ 7200 Storage×1 台 :
ディスク構成	Raid5 (900GB 6G SAS×48) 実効容量約 27TB
サービスプロセッサ	あり

※各ディスクの回転数は 10krpm である

表 2：CloudStack 管理サーバ

サーバ	HP DL360p Gen8×1 台
CPU	Intel Xeon E5-2630 v2 2.90GHz×2
メモリ	16GB (PC3L-12800R)
ディスク	Raid5+SP (300GB 6G SAS ×4)
セカンダリストレージ接続	H221 HBA×2
LAN	10GbE 533FLR-T アダプタ (2 ポート)
セカンダリストレージ	MSA 2040 Storage SAS×1 台
ディスク構成	Raid5 (450GB 6G SAS×24)

※各ディスクの回転数は 10krpm である

表 1 にインスタンスが動作するサービスホス

ト、表 2 に CloudStack 管理サーバの構成を示す。ネットワークスイッチには Juniper 製 EX4550-32T-AFO を採用し、各ホストは 10GbE ×2 で接続した。

ユーザに提供可能な物理資源量の合計は、CPU：60 コア、メモリ：768GB である。各サービスホストは SAN スイッチを経由しプライマリストレージに接続した。なお、システム監視サーバ (Zabbix[7]他) も配置した。

5 性能評価

基本的な能力を調査するため、50 人規模の講義を想定した 2 種類の一斉負荷実験 (実験 1,2) を用いて評価を行った。実験 1 では、通常利用では発生しない負荷を与え、システムの耐久性とシステム構成上のボトルネックの有無を確認する (50 台のインスタンスの一斉作成と起動)。実験 2 では、実際に利用できる演習規模を確認する (64 台のインスタンスからのプログラムの一斉実行)。

5.1 実験 1：インスタンス一斉作成と起動

実験 1 ではあらかじめ登録したインスタンス 50 台を一斉に作成、起動させインスタンスのコンソールを表示するまでのシステムの状態を測定した。1 台のインスタンスは CPU1GHz、メモリ 4GB に設定し、OS は CentOS6.0 フレインストールのテンプレートから展開する。

5.1.1 CPU 資源

表 3 にインスタンス作成から起動時の、管理サーバ、サービスホスト 1~3 での CPU の最大利用状況を示す。

管理サーバはシステムの Web ユーザーインターフェイスやインスタンスの管理のみを担っているため、余裕があることが分かった。各サービスホストでは、インスタンステンプレートファイルの取得から、プライマリストレージへの展開、作成の処理を行っている。各ホストの CPU 利用状況のピークは 40~50%を示してい

るが、ピークに達していたのは1~2秒である。それ以外は20~40%の利用に収まっており、各サービスホストのCPU利用状況は上限に達していない。

表3：実験1におけるCPUの最大利用状況

	管理サーバ	サービスホスト1	サービスホスト2	サービスホスト3
最大CPU利用状況	15%	48%	40%	50%

5.1.2 ネットワーク資源

表4にインスタンス作成、起動時の各機器のネットワークの最大利用状況を示す。各サービスホストは、管理サーバ上のセカンダリストレージ領域をNFSによってマウントし、テンプレートファイルを取得している。

実験1で用いるテンプレートファイルの容量は8GBである。また、仮想ルータのテンプレートファイルの容量は300MBである。これらのファイルを50台分転送する為、作成時には管理サーバ側から各サービスホストへ大量のデータ送信が行われる。

表4：実験1におけるネットワークの最大利用状況

	管理サーバ	ホスト1	ホスト2	ホスト3
最大利用状況	3.4Gbps	1.2Gbps	1.2Gbps	1.25Gbps

各機器のネットワーク帯域の理論値は20Gbpsであることに対し、管理サーバ側の送信の最大値は3.4Gbpsであり、上限に達していない。

5.1.3 プライマリストレージへのアクセス性能

図5にプライマリストレージの利用状況を示す。図中のグラフは、縦軸がインスタンスの作成から起動までの、プライマリストレージの読み込み性能(MB/s)と書き込み性能(MB/s)を加算したものを示しており、横軸は測定時刻

を示している。

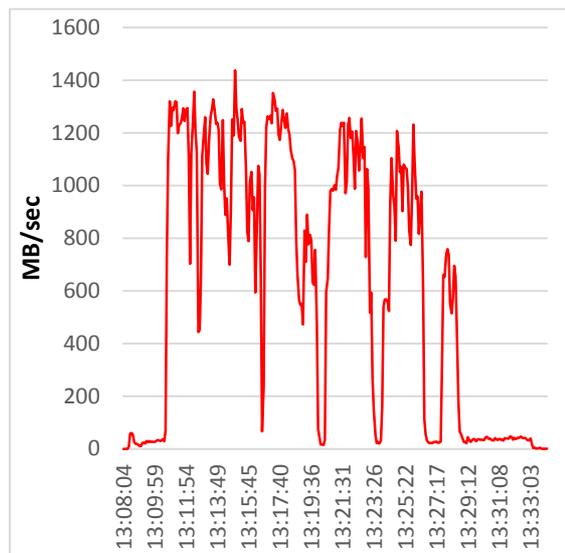


図5：インスタンス作成、起動時の各機器のプライマリストレージの利用状況

グラフでは秒間1.2GB~1.4GB辺りの書き込みが長時間続いている。本システムにおける、プライマリストレージの読み込み性能と書き込み性能を合わせた最大理論値は1.2GB程度である(HP Storage Sizing Tool[8]で算出)。50台のインスタンス一斉起動時は、プライマリストレージが理論値相当で動作している。ただし、1台あたりのインスタンスに換算すると、24MB/secである。インスタンスのテンプレートファイルを展開すると10GB相当となるため、読み込みおよび書き込み処理に多大な時間を要する事がわかる。

5.2. 実験2：プログラムの一斉実行

実験2では、1MBの容量の乱数配列を作成・一時ファイルに保存後、繰り返し出力ファイルに書き込むプログラムを用いる。乱数配列の作成を500回繰り返し、同一のファイルに追記する。したがって、1インスタンスにつき500MBのファイルが生成される。

5.2.1 CPU資源

表5にプログラム実行時の各機器のCPU最大利用状況を示す。実験1と同様に、プログラ

ムはインスタンス内で実行されるため、管理サーバには負荷はかからない。各サービスホストにおける CPU 利用状況のピークは 30%~40% 程度にとどまっている。

表 5 : 実験 2 における CPU の最大利用状況

	サービス ホスト 1	サービス ホスト 2	サービス ホスト 3
最大 CPU 利用状況	37%	35%	32%

5.2.2 プライマリストレージへのアクセス性能

図 6 にプログラム実行時のストレージの利用状況を示す。グラフの縦軸はプライマリストレージへの書き込み性能と読み込み性能を示している。横軸は測定時刻を示している。時刻 A 辺りから読み込みと書き込みが始まっている。このプログラムは、1MB の配列データを一時ファイルから読み込み、出力ファイルへ追記するため、プライマリストレージへの書き込みと読み込みが同時に行われている。

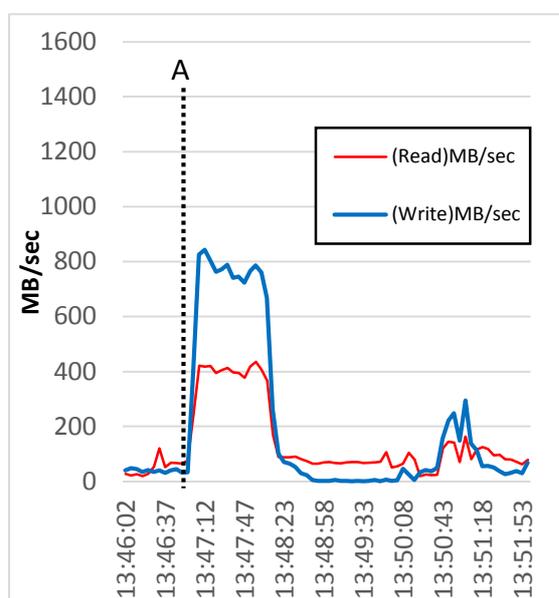


図 6 : プライマリストレージの利用状況

書き込みのピークは 800MB 前後で、読み込みのピークは 400MB 前後である。これは実験 1 と同様に、本システムのプライマリストレージ

が理論値で動作している事を示している。

グラフからは、インスタンス 64 台×500MB 分のディスク書き込みが 2 分程度で終了していることが読み取れる。学生の演習時の待機時間としては、許容できる範囲であり、サービスホストの CPU も十分余裕があることから、50 人規模の演習には、十分対応可能と判断できる。

6 まとめ

本稿では学生が PBL による ICT 演習を実施するための仮想 ICT 環境を提案し、その構成要素であるワークスペースを実装した。また、実際の講義を想定した負荷実験を行い、基本性能を確認した。

本システムは業務系サービスが導入できる構造を有している。この特性を生かし、本学における全学的なメールサービスの利用者管理システムを稼働している。

今後は、設計したユーザ認証システムの構築をおこない、実際に本学の PBL 講義に適用することにより、本システムの改良を行う。

謝辞

本研究の一部は平成 25 年度、国立大学改革強化推進事業に採択された「社会と協働する教育研究のインタラクティブ化加速パッケージ～技術者のグローバル・コンピテンシー獲得へ～」の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 中尾 基：“PBL を基軸とする工学教育プログラム”，教育ブレティン第 5 号，pp.10-18，2008 年。
http://www.mns.kyutech.ac.jp/~nakao-m/pdf/PBL_Bulletin.pdf
- [2] 八重樫文，佐藤圭輔：“プロジェクト学習（PBL）の授業設計・実践における背景理論とその評価”，立命館高等教育研究 11 号，pp.183-198。
<http://www.ritsumeit.ac.jp/acd/ac/itl/outline/>

kiyo/kiyo11/13_yaegashi.pdf

- [3] 井上明, 金田重郎: “PBL 問題解決型授業事例報告”, サイエンティフィック・システム研究会, 教育環境分科会 2008 年度第 1 回会合, 2008 年.

https://www.sskn.gr.jp/MAINSITE/download/newsletter_selection/vol9/nlssel_vol9-2.pdf

- [4] コミュニティで紡ぐ次世代大学 ICT 環境としてのアカデミッククラウド

https://www.icer.kyushu-u.ac.jp/docs/ac/ac_report.pdf

- [5] 北海道大学アカデミッククラウドの活用事例
http://www.nii.ac.jp/userimg/20130208_7.pdf

- [6] Apache CloudStack

<https://cloudstack.apache.org/>

- [7] Zabbix

<http://www.zabbix.com/jp/>

- [8] HP Storage Sizing Tool

<http://3pardude.com/tag/hp-storage-sizing-tool/>