室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

VRソフトウェア開発環境「仮想現実工房」の構築と問題解決型演習への活用

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 日本教育工学会 公開日: 2022-03-29 キーワード (Ja): ソフトウェア開発演習, 没入型仮想現実環境, 演習支援, 工学教育 キーワード (En): PBL 作成者: 佐藤, 和彦, 倉重, 健太郎, 岡田, 吉史, 佐賀, 聡人 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00010510

Japan Society for Educational Technology

教育システム開発論文

日本教育工学会論文誌 35(4), 389-398, 2012

VRソフトウェア開発環境「仮想現実工房」の構築と問題解決型演習への活用†

佐藤和彦*1・倉重健太郎*1・岡田吉史*1・佐賀聡人*1

室蘭工業大学大学院しくみ情報系領域*1

本研究では，複数台の端末で１つの仮想空間を共有できるオリジナルの仮想現実（VR）システムを構築し，システムを動作させるために必要なVRソフトウェアを開発する問題解決型演習を実施する．VRソフトウェアの開発環境として仮想現実工房を整備し，この環境でスムーズな演習を実現する開発支援モデルを開発した．開発支援モデルはVRソフトウェアの構造を難易度により７つの層に階層化する．開発支援モデルにより，学生が階層を順番に学習しながらVRソフトウェアを開発できる演習環境が実現された．本稿では，仮想現実工房を活用した問題解決型演習の実施結果によりその効果を確認する．

キーワード：ソフトウェア開発演習，PBL，没入型仮想現実環境，演習支援，工学教育

1. はじめに

近年，工学系の高等教育機関に対して，卒業生の質の保証や実践的な人材育成が求められている．従来までの専門的知識の習得に加えて，創造力や協調力，コミュニケーション力といった企業などの現場で必要となる能力の習得も重要となっている（IPA編 2010）．

それら新たなニーズに対応するために，ソフトウェア技術者を養成する情報工学系の大学では，問題解決型学習（Problem-Based Learning, PBL）による演習（以下, PBL演習）が導入され始めている．PBL演習では，学生はグループのメンバーと協力しながら与えられた課題を解決する方法を探し出す．そのため，単なる技術の習得に留まらず，現実の問題に対する解決能力や応用能力を身につけさせる効果も期待されている．

筆者らの所属する情報電子工学系学科も2006年度から実践的な情報技術者の育成を目的としたソフトウェア開発のPBL演習を学部２年次の必修科目として実施している．この演習では，CG描画補助ライブラリOpenGLを用いて，与えられたデータを可視化するソフトウェアを開発する．教材としての利用を想定してグループごとに要件定義と設計を行い，オリジナルの教材ソフトウェアを完成させる．これまでの実施結果から，学んできた知識を課題に対して応用する能力については一定の効果が確認された（佐藤ほか 2008）．しかし，実践的な問題解決力を育てる演習としては十分なものであるとは言えなかった．

PBL演習によって問題解決力を育てるためには，全体を見通すことが難しい大きな問題にチャレンジさせると同時に，その解決方法が容易に入手できないものであることが重要である．しかし，OpenGLを使用した３Dプログラミング演習は他大学においても一般的に取り入れられている．また，関連書籍など参考資料も数多く存在する．そのため，学生はそれらの情報を簡単に入手できてしまっていた．

そこで本研究では，複数台の端末で１つの仮想空間を共有できるオリジナル構成の仮想現実（VR）システムを構築した．そして，本システムを動作させるために必要となるVRソフトウェアの開発を，学生に挑戦させる新たな課題とした．オリジナル構成である本システムで利用可能な市販のVRソフトウェアは存在しない．そのため，VRソフトウェアの開発は解決方法を容易に入手できない実践的な課題となる．

2011年9月1日受理

† Kazuhiko SATO*1, Kentarou KURASHIGE*1, Yoshifumi OKADA*1 and Sato SAGA*1 : A Virtual Reality Atelier for VR Software Development and Its Application to Problem-Based Learning

*1 Department of Engineering, Muroran Institute of Technology 27-1 Mizumoto, Muroran, Hokkaido, 050-8585 Japan

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Educational Technology

しかし一方で，学部２年次の演習として実施するには問題の規模が大きくなり過ぎた．新たな課題をPBL演習として実施可能なレベルにするために，開発環境や実施体制についてハードウェア，ソフトウェア両面で演習に求められる要件の洗い出しを行った．そして，その要件を満足させる演習設備としてVRソフトウェア開発環境「仮想現実工房」（佐藤ほか 2011a）を整備した．さらに，仮想現実工房の環境においてスムーズな開発作業を実現する「開発支援モデル」を開発した．

開発支援モデルにより，VRソフトウェアの構造は実装の難易度によって７つの層に階層化される．このモデルをベースにした開発演習では，学生は難易度の低い階層から順番に学習を進めながらVRソフトウェアを開発することができる．

本稿では，仮想現実工房を導入した2010年度のPBL演習の実施結果により，その効果を確認する．さらに，関連研究との比較により仮想現実工房を用いたPBL演習の有効性について評価する．

2. VRソフトウェア開発演習

2.1. 演習の概要

筆者らが実施しているソフトウェア開発のPBL演習では，学生５名が１つのグループを組み，VRシステムを動作させるためのオリジナルのVRソフトウェアを開発する．VRソフトウェアは，３Dスタイラスペンやヘッドマウントディスプレイ（HMD）などのVRデバイスを制御することでシステムを動作させるイベント駆動型の組み込みソフトウェアである．

本演習は**表１**に示すような全15週の計画で実施される．第５週から第14週までが開発作業期間となる．しかし，計画は目安であり，実際はグループごとに自由なペースで演習が進められる．

2010年度は「地震源ビューアの開発」を課題とし，学生96名が19グループ（GP16のみ６名）に分かれて集団でのソフトウェア開発を行った．この課題では，発生日時，緯度，経度，震源の強さからなる地震源データをファイルから読み込み，それをVRシステムの仮想空間上で可視化するビューア教材を開発する．

演習で学生に提供したものの一覧を**表２**に示す．まず，各グループに地震源ビューアのサンプルプログラム（**図１b**）と北海道の地形データ，地震源サンプルデータ，各サンプルの説明や演習で使用する支援ツールの基本操作に関するテキスト（**図１a**）を配布した．サンプルプログラムには，(1)HMDの姿勢制御に合わせた視点移動，(2)３Dスタイラスペンの動きに連動した仮想空間中の仮想スタイラスペンの描画処理，そして(3)サンプルの地形データと地震源データを読み込み仮想空間へ描画する処理などが機能例として実装されている．この他にも演習の過程で，必要に応じて補足や追加の資料を演習支援wiki（**図１c**）にまとめWeb上で公開した．

表１ 2010年度演習の実施計画

第１週	演習内容と実施計画の説明
第２週～第４週	VRプログラムの動作体験 プログラム開発環境の利用実習
第５週～第８週	課題理解，企画・設計
第９週～第14週	VRソフトウェアの開発
第15週	成果発表会

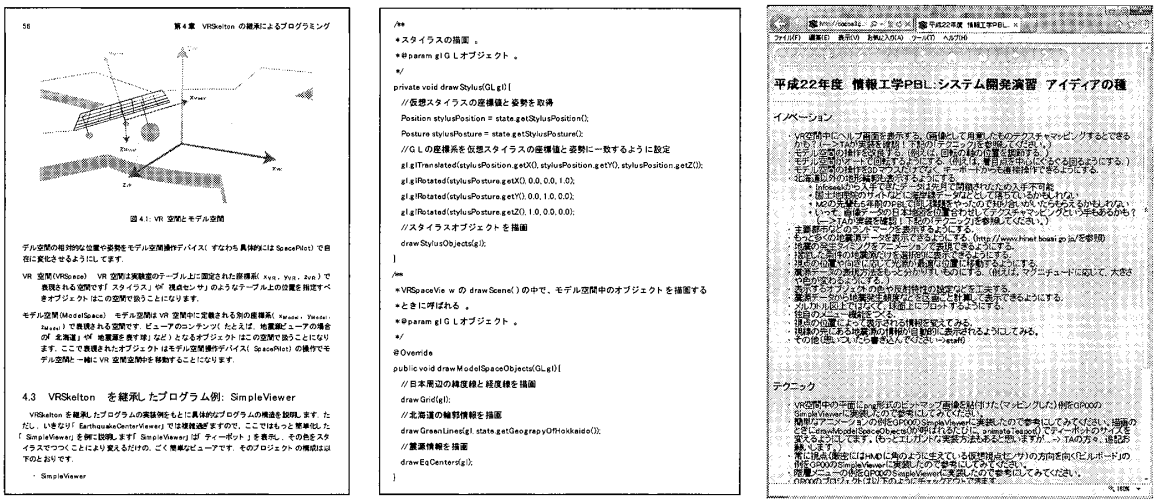
表２ 2010年度演習の配布物

地震源ビューアの開発支援モデルクラスのソース	Main.java（71行）
	EqVRSpaceView.java（144行）
	ModelSpaceController.java（49行）
	StylusController.java（21行）
	ViewpointController.java（19行）
	EqVRSpaceState.java（55行）
データ管理クラス及びデータクラスのソース	EqCenter.java（63行）
	Coordinate.java（59行）
	Time.java（35行）
北海道地形データ	hokkaido.dat（北海道のみ）
地震源サンプルデータ	earthquake.dat（全国，30件）
演習テキスト	pbl2010manual.pdf（155ページ）

通常，サンプルプログラムを用いた演習では，習得した技術を応用して穴埋め問題的にプログラムを完成させる課題が多い．そのような演習ではどの学生も同じような結果となる．そのため，評価はその完成度の比較により行われる．これに対して本演習のサンプルプログラムは，後述する開発支援モデルをベースに最低限の機能を実装した動く完成物として配布する．学生はそのしくみを学習することでVRソフトウェアの構造を難易度が低いものから段階的に理解する．そして，完成物であるサンプルの上に自分たちのアイデアで改善を施し，オリジナルのVRソフトウェアを開発する．結果，成果物はグループごとに目に見えて違うものとなる．本演習は単純に完成を目指すものではなく，各グループの個性で改善を施すことにより多様な結果を得ることを目的とした演習である．

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Educational Technology



(a) 配布された演習テキスト　(b) 配布されたサンプルプログラム (EqVRSpaceView.java)　(c) 演習支援wiki（アイデア共有）

図１　演習において学生に提供された資料の例

2.2.　PBL 演習としての独自の工夫

本演習では実践的な問題解決力を育てる PBL 演習として，次に示すような，通常のプログラミング演習とは異なる独自の工夫を取り入れている．

2.2.1.　「与えない」演習

通常，PBL 演習は学部の高年次や大学院において，これまで学んできた知識や技術を活用して課題を解決していく実践科目として実施される．一方，本演習は学部２年という低年次で実施される．C言語による基礎的なプログラミングしか習得していない学生に PBL 演習を取り組ませている．これにより，新しい技術を身に着けながら，それを用いて開発を進めることが多い実際のソフトウェア開発現場に近い環境を実現する．

学生は，本演習で中心的に使用する Java 言語や３D プログラミング（OpenGL）に関してはまったくの未体験で演習に参加する．加えて，後述する仮想現実工房の演習環境や，バージョン管理などの支援ツールもいずれも未体験であり，学生はそれらに対する理解も開発と同時に行わなくてはならない．また，演習の資料や説明も，必要最小限しか学生に与えず，ソフトウェアを完成させるために必要な技術や知識の発見およびその習得も課題の１つとして学生たちに課している．

2.2.2.　演習活動の見える化

本演習では，グループごとに自分たちの作業計画に沿って演習を進める．そのため，グループ間の差が生じやすく，適切な指導を行うためには活動状況やグループ特性の見極めが必要である．この問題を解決するために本演習では見える化の工夫（佐藤ほか 2011b）を取り入れている．例えば，活動状況の見える化として，グループ内での各学生の作業をすべてドキュメントとして記録させている．これにより，学生個々にグループに対する参加意識と責任意識を持たせる効果が得られる．また，活動記録を毎回の演習でスタッフがチェックし，それに基づいた指導を行うことで，他のメンバーに頼ってさぼる学生の発生を防止できる．さらに，自分たちの活動履歴や過去の議論を記録として残すことで，学生は後日それらを振り返りに利用できる．

2.2.3.　グループ評価と個人評価

本演習では，開発支援モデルの階層構造において下位層ほど難度が高い実装を要することを利用して，成果物の見た目のできと共に，学生たちがどの層まで実装に挑戦したかをグループの評価に利用する．一方で，個人評価には成果物を用いない．2.2.2の見える化の工夫によって蓄積された作業記録から各学生のグループ内での貢献度を求め，それを個人の評価に利用する．

このような評価方法により，従来，演習においてトレードオフになっていた上を伸ばす教育と下を底上げする教育を両立する．能力の高い学生には自由な環境を与え，より高い完成度を目指させる．同時に，能力が不十分な学生に対しては，成果物のできではなく活動の軌跡から成長の度合いを評価することができる．

2.2.4.　充実したサポート体制

本演習では，教員５名（教授・講師各１名，助教３名）と技術職員２名，そして大学院生の TA７名の計14名がスタッフとして参加する．大量のスタッフを演習に投入することで，短い演習時間の中でも細かな指導が可能となる．グループの基本運営をリーダーに任

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Educational Technology

せつつ，スタッフはつまずいている学生やモチベーションが低い学生に対して積極的に関与することができる．

2.3. 本演習が演習環境に求める要件

本演習は学部２年次後期の科目であり，本研究独自の構成で構築したVRシステムを動作させるVRソフトウェアの開発は大きすぎる課題である．演習として成立させるためには開発環境や実施体制についてハードウェア，ソフトウェア両面で支援が必要となる．

そこで本研究では，本演習を実施するために求められる要件の洗い出しを行い，次の３つの要件を定めた．

（要件１）開発環境の確保：本学ではVRシステムの端末を25台導入している．演習設備としては大規模であるが，100名弱の学生が同時に開発を進める環境としては不十分である．そのため，演習室や自宅などVRシステムのデバイスを持たない通常の計算機を用いてVRソフトウェアの開発と動作テストを進めることができる手段が必要である．

（要件２）成果の可視化：開発したVRソフトウェアを学生同士が互いに確認しながら演習を進めることで，影響を受け合い能力以上の成果が期待できる．没入型のVRシステムでは通常，その動作の様子はHMDを装着した操作者本人しか見ることができない．VRソフトウェアが動作する様子を100人の学生が全員同時に見ることができるようなしくみが必要である．

（要件３）課題設計：本演習を受講する学生はプログラミングやアルゴリズムに関して基礎知識しか習得していない．VRソフトウェアの構造を理解しながら，同時に自分たちオリジナルのソフトウェアとして開発を進めていける必要がある．また，PBL演習として企画，設計，実装，評価というソフトウェア開発の各プロセスをトータルに体験できる必要がある．そのため，穴埋め問題的な課題を与えてソフトウェアを単純に完成させるだけの演習であってはならない．

3. 仮想現実工房

演習の実施に先立ち，2.3で示した要件をハードウェアの面で満足させる設備としてVRソフトウェア開発環境「仮想現実工房」を整備した．

3.1. 仮想現実工房の概要

仮想現実工房は**図２**に示すようにVRスタジオ，VRシアター，計算機演習室の３つの教室とサーバ室が学内ネットワークを介して連携した教育設備である．

VRスタジオは，学生が開発したVRソフトウェアを実際に動作させるためのVRシステムが設置された教室である．VRシステムは５台の端末で１つの仮想空間を共有することを想定した構成（**図２**右上）となっている．

VRシアターは，シャッター式の３Dメガネをかけることで３次元映像を立体視できる３Dプロジェクターが３台設置された視聴覚設備（**図２**左下）である．VRシアターとVRスタジオを連携させることで，開発したVRソフトウェアがVRシステム上で動く様子を100名が同時に見ることができる．これにより，要件２が満たされる．

計算機演習室は110台のiMacが設置された一般の演習室である．各計算機からは，バージョン管理や統合開発環境などのグループによる開発を円滑に行うための支援アプリケーションが利用できる．計算機演習室で開発されたVRソフトウェアはサーバ室を介してVR

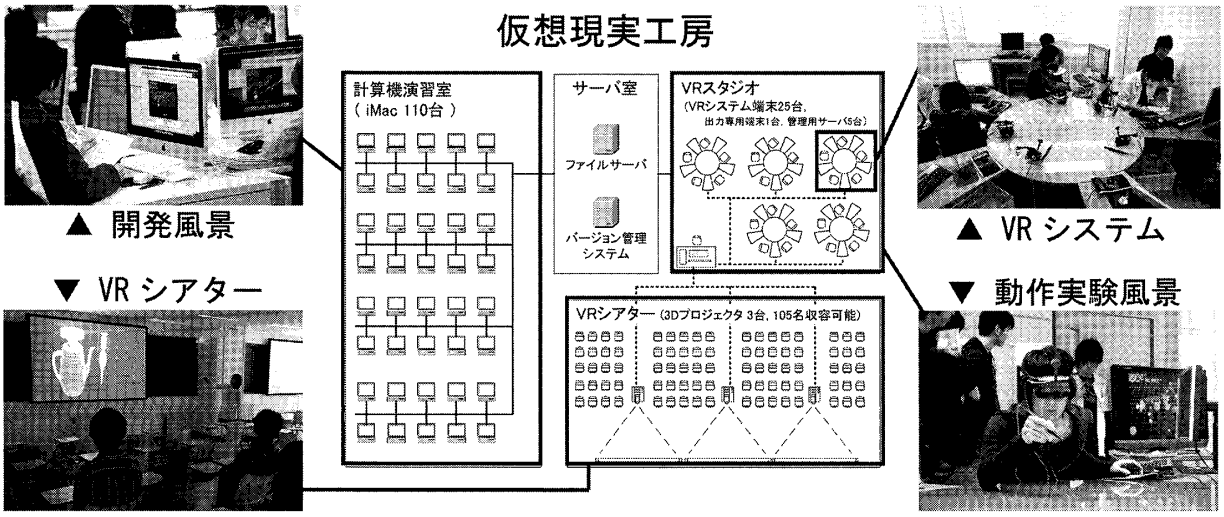


図２ 仮想現実工房の構成

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Educational Technology

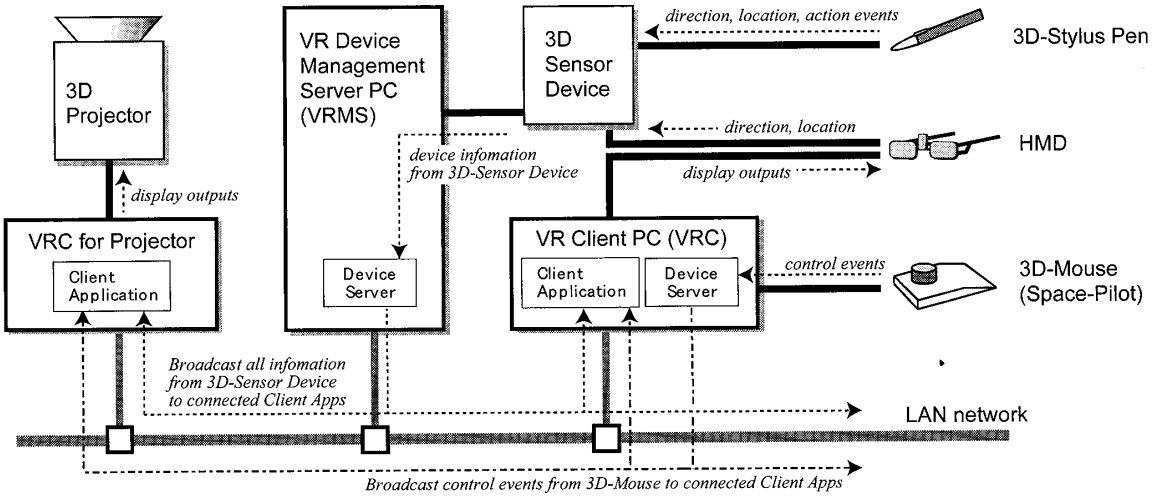


図３　VR システムの構成図

スタジオと共有される．これにより実機上でのスムーズな動作確認が可能となる．

3.2.　VR システムの構成

VR システムは，**図３**で示すように LAN で結ばれた複数台のコンピュータで構成されている．１つの VR システムには，VR ソフトウェアの操作者が利用する VR クライアント端末（VRC）が５台設置されている．

各 VRC には，HMD，３D スタイラスペン，３D マウスの３種類の VR 用デバイスが用意されている．このうち，HMD と３D スタイラスペンは VRC には直接接続されておらず，３次元位置情報を計測するセンサー機器に接続されている．センサー機器で計測された各デバイスの情報は，デバイス管理サーバ（VRMS）を介して TCP/IP 通信により各 VRC に送られる．VRMS と VRC それぞれの機器構成を**表３**および**表４**に示す．

VR スタジオには，通常の VRC とは別に，３D プロジェクターに仮想空間を映し出すための出力専用の VRC が１台用意されている．この VRC は入力デバイスを持たず，仮想空間を直接操作することはできない．しかし，他の VRC や VRMS から送信される操作イベントの情報を受信して，それらを同期させた映像を３D プロジェクターに投影することができる．

3.3.　テスト環境

仮想現実工房では，VR システム特有の入力デバイスを持たない一般の計算機上で VR ソフトウェアの動作確認を行うためのテスト環境が提供される．

テスト環境では，VR ソフトウェアは各デバイスサーバに替わってダミーサーバに接続する．動作テストの様子を**図４**に示す．演習室や自宅の計算機上でダミーサーバを起動後に VR ソフトウェアを起動すると，仮想空間がウィンドウ形式で表示される．ダミーサーバの制御画面には各種パラメータが表示されており，キー操作により編集できる．現在のダミーサーバの仕様では，仮想空間におけるカメラの位置や注視点，３D スタイラスペンの位置や向きなどがパラメータとして用意されており，それらを自由に設定できる．パラメータの値の変化はダミーサーバ経由でメッセージとして VR ソフトウェア側に送信され，リアルタイムで実行画面に反映される．

このテスト環境により，VR ソフトウェアの開発および動作テストの作業が，VR システムの実機から完全に独立する．このため，Java 言語が利用可能であれば VR システム以外の計算機上でも開発作業を進めることができる．これにより要件１が満たされる．

表３　VRMS の機器構成

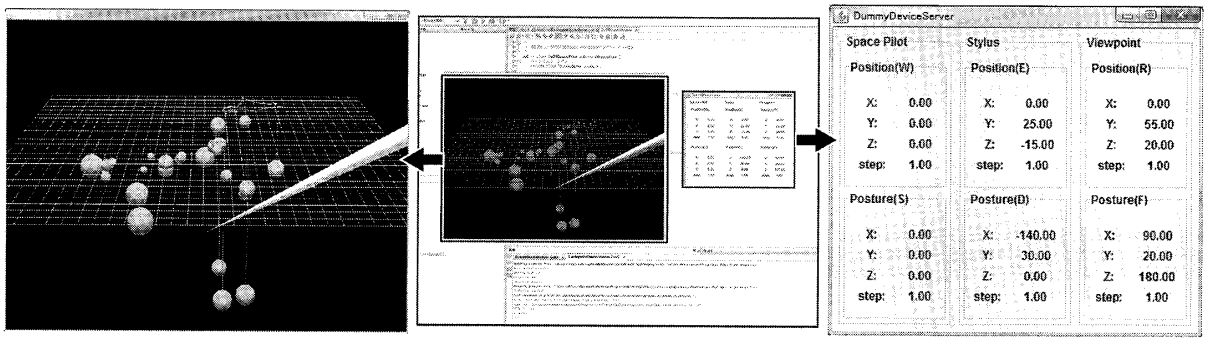
名称	構成
端末機種	HP xw8600/CT workstation
OS	Red Hat Enterprise Linux 5
LAN	1000Base-T
３次元センサー機器	POLHEMUS Liberty240

表４　VRC の機器構成

名称	構成
端末機種	HP xw8600/CT workstation
OS	Red Hat Enterprise Linux 5
LAN	1000Base-T
HMD	eMagin Z800
３D スタイラスペン	ST8 Stylus of Liberty
３D マウス	3dconnexion Space-Pilot

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Educational Technology



(a) 雛形プログラムの実行画面　(b) テスト実行直後の様子　(c) ダミーサーバの制御画面

図4　演習室における動作テストの様子

4. 開発支援モデル

仮想現実工房を整備したことで要件1および要件2については実現の目途が立った．しかし，要件3については課題が残された．

仮想現実工房では，複数のVRCが連携して1つの仮想空間を共有するような利用形態を想定している．そのため，VRC間をLANで結び，各VRCの操作イベント情報が通信により共有されるしくみを導入した．3Dプロジェクターへの出力もこのしくみにより実現される．このようなしくみにより，本演習で開発するVRソフトウェアは，1台の端末で稼働する通常のVRソフトウェアよりも複雑な処理が要求される．

基礎知識しか持たない学生にVRソフトウェアの高度な開発を行わせるためには，学生がVRソフトウェアのしくみを1つ1つ段階的に理解できるような工夫が求められる．これを解決するために，本研究ではVRソフトウェアの構造を整理し，実装の難易度ごとに階層化した開発支援モデルを開発した．開発支援モデルは**図5**のような階層構造となっている．各層ごとに異なる役割を持つため，学生は層ごとに異なる学習要素について学習できる．

このモデルを利用した開発では，まず，階層ごとに用意された骨組み（Skeltonクラス）を必要に応じて組み合わせてソフトウェアの基本形を定める．次に，アプリケーション固有の処理について骨組みに実装を施すことでVRソフトウェアが簡単に完成する．

第1層のView層では，VRソフトウェアの仮想空間描画に関する処理が行われる．GC描画補助ライブラリOpenGLを使用してオブジェクトや仮想デバイスを仮想空間中に描画し，それをHMDや3Dプロジェクターなどのデバイスに出力する．

第2層のState層では，空間中に存在するオブジェクトやデバイスの位置情報や操作情報を管理するための処理が行われる．仮想空間に描画されるすべてのデータがこの層で一元的に管理される．

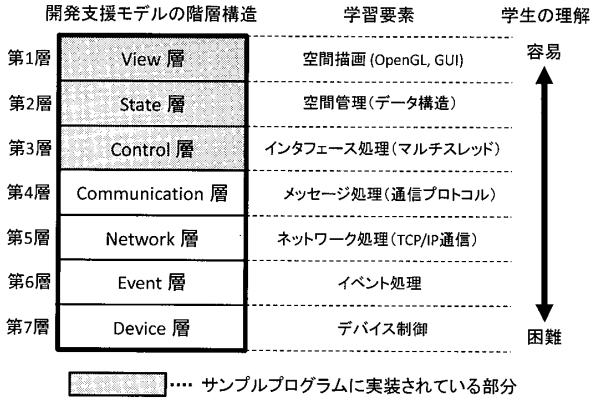


図5　開発支援モデルの階層構造

第3層のControl層は，デバイスサーバを経由して送信された各入力デバイスの操作情報をリアルタイムに監視する．そして，受信した操作情報に応じて処理を実行し，その結果をState層に反映させる．

第4層のCommunication層は，デバイスサーバとControl層で実装されるクライアントとの間で通信される通信メッセージに関する定義である．新たな入力デバイスの追加や外部プログラムとの連携などを実現する際に，この層として新たなメッセージクラスや通信プロトコルが定義される．

第5層のNetwork層は，各入力デバイスから得られる操作イベント情報を中継するデバイスサーバに関する実装である．この層以下は，入力デバイスごとに実装される．現在はTCP/IP通信により実装されている．

第6層のEvent層は入力デバイスから発信される操作イベントごとに，それぞれに対応したメッセージを生成しNetwork層に送信する処理が実装される．

第7層のDevice層では，入力デバイスごとに入力操

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Educational Technology

作をリアルタイムに監視し，操作内容に応じて Event 層で定義されている対応したイベント処理を呼び出す機能が実装される．

本演習で学生に配布されるサンプルプログラムの構造を**図６**に示す．図中で網掛けとなっている６つのクラスは開発支援モデルの上位３層の実装である．仮想現実工房の VR 端末には HMD と３D スタイラスペン，３D マウスの３種類の入力デバイスが用意されている．そのため Control 層の Controller クラスはデバイスごとに実装される．Controller はマルチスレッドにより**図７**のようにそれぞれ独立して動作し，各デバイスの操作結果を非同期で State クラスに反映させる．一方で，空間を描画する View 層のクラスは State クラスだけを常に監視し，空間情報に基づいて定期的に出力デバイスに仮想空間を描画する．

開発支援モデルを用いた開発では，上位３層について固有の処理を実装するだけで VR ソフトウェアが完成する．Control 層以下の各層は，通常，骨組みに施された実装がそのまま利用される．本演習においても，上位３層についてのみ最小限の基本機能を実装したサンプルプログラムが学生に公開される．学生はサンプルプログラムを手始めに開発支援モデルを上位の層から学習し，VR ソフトウェアの基本的なしくみを理解する．そして自分の理解度とグループの開発目標に応じて，自分たちの判断でより下位の層へと学習を進めていくことができる．開発支援モデルによってこのような演習環境が実現したことで，要件３が満たされた．

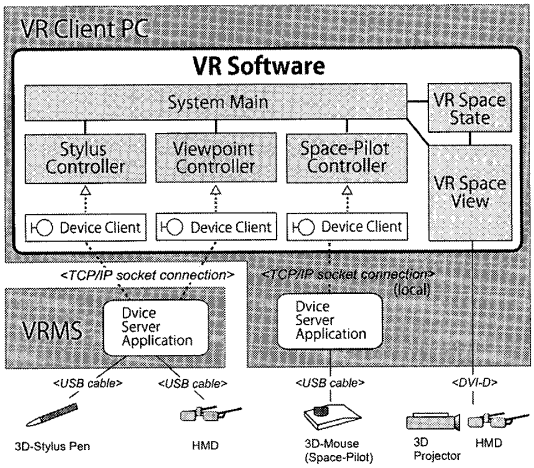


図６　サンプルプログラムの構造

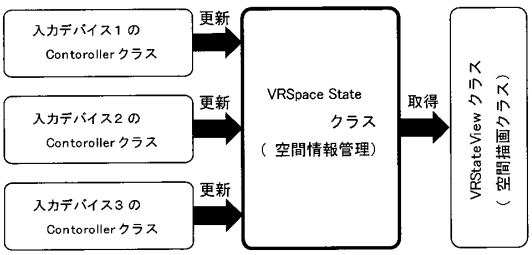


図７　クラス間連携イメージ

5.　ソフトウェア開発演習への活用

2010年度に実施した PBL 演習の結果から，仮想現実工房と開発支援モデルそれぞれを活用した効果についてまとめる．

5.1.　仮想現実工房を活用した効果

図２で示した仮想現実工房が整備され，演習室と VR スタジオの２つの教室を利用した開発演習が実現した．HMD や３D スタイラスペンを操作することで VR ソフトウェアが動作する様子を，学生は VR システムの実機上でリアルタイムに体験しながら開発することが可能となり，演習中，２つの教室を何度も往復しながら開発と調整を繰り返す多くの学生の姿が観察された．また，最終週に行われた成果発表のデモンストレーションにおいても，VR シアターの３D プロジェクターにより各グループが開発した成果物を立体映像として全員が鑑賞し，例年以上の盛り上がりを見せた．

このように，筆者らの体感として仮想現実工房を利用した演習が例年以上に学生にやる気を与えていたと感じられただけでなく，データとしても学生のやる気が向上したことが確認された．まず，**図８**にプログラミングに関する演習の単位を落とした学生数の比較を示す．本演習を2010年度に履修した学生は，途中休学した１名を除いて全員が欠席することなく単位を取得した．他の演習と比較しても本演習の単位を落とした学生は少なく，学生がやる気を失うことなく演習に参加していたことがわかる．また，本演習の最終週に実施される授業評価（５を最高とする５段階評価）の集計結果においても，達成感に関する設問では2010年度は4.11という高い結果となった．それ以前の４年間の

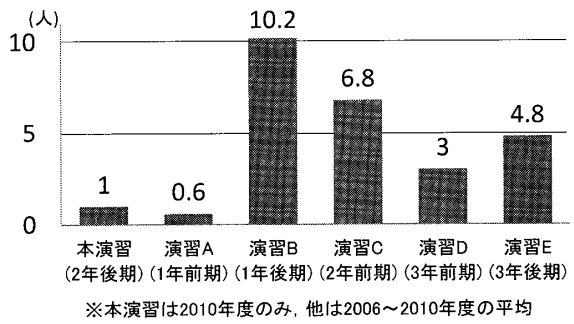


図８　各演習のドロップアウト人数の比較

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Educational Technology

平均が3.89であり，これまでの課題よりも仮想現実工房を用いた課題のほうが学生に達成感を与えたことがわかった．一方で，満足度に関する設問の結果は2010年度が3.56，それ以前の平均が3.86であった．VR ソフトウェア開発により演習内容が充実した反面，従来よりも難しい課題となり最終的な成果がこれまでよりも低いものとなったことが，満足度が下がった要因として考えられる．実際，自由記入欄に書かれた意見でも，環境や言語の理解に時間がかかり開発する時間が足りなかったという内容が多く見られた．

5.2. 開発支援モデルを活用した効果

開発支援モデルをベースにしたサンプルプログラムによって，Java 言語と３D プログラミングの知識を持たない学生が自分たちの力で VR ソフトウェアの構造について段階的に学習を進め，開発作業を行っていけることが確認された．その裏付けとして，各学生グループが改良または新規に追加した機能の数について開発支援モデルの層ごとにまとめた結果を**表５**に示す．

OpenGL により仮想空間を描画する View 層の機能とデータ管理に関する State 層の機能はすべてのグループが機能実装に成功した．具体的には，震度別の色分け表示など地震源ビューアとしての見せ方に関する工夫や，地図データや震源データの追加，震源ごとに詳細情報を表示する機能や比較する機能などが実装された．また，Control 層の機能も半数以上の13グループが実装に成功し，メニュー操作や３D スタイラス操作，HMD の向きよる空間制御など，デバイスの動きに応じた機能が実装された．さらに，GP10は唯一，サンプルでは扱われていない３D マウスによる制御機能の追加に挑戦した．Communication 層まで学習を進め，その実装に成功した．今回の実践では，第５層以下まで学習を進めたグループは現れなかった．

また，**表５**の結果は，これまでの本演習と比べても開発支援モデルを用いたことで課題に対する学生の理解が向上したことを表している．2009年度以前は，C 言語と OpenGL を用いた３D プログラミングを行う PBL 演習として実施されていた．当時のＣ言語で書かれたサンプルプログラムの構造を**図９**に示す．データ管理を行うための外部変数がファイル間にまたがり，キーやマウスの操作ごとにコールバック関数が存在する複雑な構造となっていた．学生が他の演習で学んできたような逐次処理的な構造ではないためソフトウェア全体の流れが読みにくく，それが学生の理解の妨げとなっていた．これに対して今回の演習では，開発支援モデルを用いてモデルベースで開発することにより，**図５**および**図７**で示したように階層ごとの役割が明確化し，学生は何について作業を行っているかを把握しやすくなった．また教員も，各グループがどの層まで学習を進めているかによって達成度を知ることが可能となった．

5.3. 実施結果の PBL 演習としての考察

仮想現実工房と開発支援モデルについて一定の効果が確認できた一方で，PBL 演習としてはいくつか課題が明らかとなった．

１つは開発時間の不足である．本演習は15週という限られた時間で，開発環境，開発言語，課題の３つについて同時に理解を進めながら，ソフトウェアを完成させなくてはならない．今回の実施では，Java 言語の

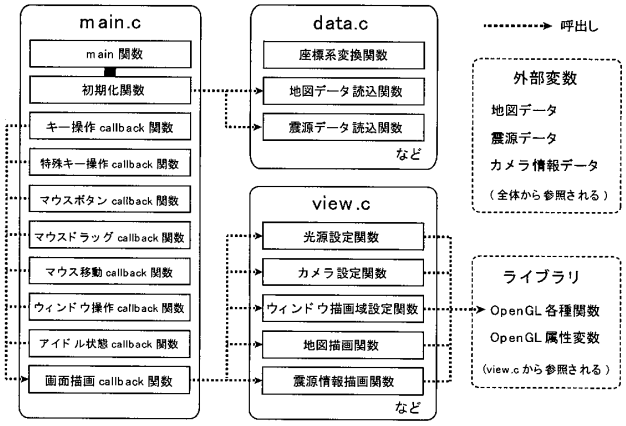


図９　Ｃ言語版プログラムの内部関係（一部）

表５　開発支援モデルの各層ごとの改良および新規追加された機能数（2010年度）

	GP 01	GP 02	GP 03	GP 04	GP 05	GP 06	GP 07	GP 08	GP 09	GP 10	GP 11	GP 12	GP 13	GP 14	GP 15	GP 16	GP 17	GP 18	GP 19
View 層	8	6	7	5	6	7	6	3	6	4	4	5	6	5	3	6	5	8	6
State 層	2	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	3	1	2	2	2	1
Control 層	0	1	0	1	1	0	1	1	1	2	0	0	1	0	1	1	1	2	1
Communication 層	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第５層以下	実装に着手したグループ無し																		

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Educational Technology

理解に時間を要し，実装とテストに割く時間が不足した．その結果，設計段階で予定した機能をすべて実装できたグループは皆無であった．

また，機能が思うように実装できないというケースも多く見られた．開発経験の不足が主な原因であるが，３Ｄプログラミングや Java 言語の前提演習を経ずに本演習を実施している以上，これは当然起こりうる問題である．この問題も開発時間を確保できればある程度緩和できると考えられる．

この他にも，いくつか改善すべき点はあったが，仮想現実工房という新しい環境を利用して行った演習としては概ね成功であったと言える．

6. 関 連 研 究

VR システムを用いた実践的なソフトウェア開発を演習科目として取り入れている大学がいくつか存在する．ここでは，それらの取り組みを紹介するとともに本学の仮想現実工房を用いた VR ソフトウェア開発演習と比較し，本研究の有効性を示す．

芝浦工業大学では，株式会社ソリッドレイ研究所製のバーチャル空間構築用ソフトウェア OmegaSpace を用いて，VRML によるバーチャルスペースの設計と構築を行う創生型の演習授業を実践している（大倉ほか 2008）．この演習は３年生前期に選択科目として開講されており，６回の演習で構成されている．テキストベースで３次元オブジェクトを記述する VRML を用いて，課題として与えられたオブジェクトを作成する．そして，その成果物を OmegaSpace に取り込んで，スクリプトによる視点操作などを体験する．この演習授業を受講する学生は，履修前にＣ言語の文法やアルゴリズムといったプログラミングに関する基礎は学んでおり，情報システム設計技法に関する講義がこの演習と並行して開講されている．演習前の学生の予備知識は本学のソフトウェア開発演習とほぼ同条件であり，３次元プログラミングに関する知識を演習において初めて学ぶという点も非常に近い．一方で，この演習は選択科目であり，また演習期間が６週と短いため課題は３次元オブジェクトの作成に留まっている．本学のように学生全員が VR ソフトウェアを設計から実装まで一貫して体験する機会は与えられていない．また，本学の演習は OmegaSpace に相当する VR ソフトウェアそのものを開発する演習であり，この点が大きく異なる．

奈良女子大学理学部では，可視化コンテンツクリエイタ養成プログラムを立ち上げ，Web，VR，マルチメディアといった様々なコンテンツを創造するクリエイタの養成を行っている（可視化工房 2011）．その演習環境として「可視化工房」という VR 表示設備や３Ｄスキャナ，動画配信サーバなど様々なコンテンツを作成できる機器設備を整備している．可視化工房を利用して「可視化コンテンツ制作演習」で３次元オブジェクトの設計・作成を行い，さらに「ゲームプログラミング演習」では作成したオブジェクトを操作するプログラムの開発を経験する．設備に関しては本学の仮想現実工房と同等の機器が備わっている．そして，１つの演習に留まらず複数の講義・演習が連携した教育プログラムである点で本学よりも充実している．一方で，教育プログラムはコンテンツ作成に主眼が置かれておりソフトウェアそのものを開発するものではなく，企画から実装までのトータルなソフトウェア開発を行う本学の演習とは目的が異なる．また，与えられた課題に対して自分たちで解決していく問題解決型の実践演習ではない点で大きく異なる．

これら以外にも，多くの高等教育機関において OpenGL や VRML を用いた３Ｄプログラミング演習が導入されている．しかしながら，そのほとんどは３次元オブジェクト作成や，一般的な計算機上で動作する簡単な３Ｄプログラム作成が課題となっている．仮想現実工房のように教育設備として VR システムの端末を25台と大規模に導入し，その上で動作する VR ソフトウェアの開発演習を100人規模で実施している教育機関は，筆者らが調査した限りでは存在しない．

7. お わ り に

本論文では，VR ソフトウェアを開発する新たな演習環境として仮想現実工房を整備し，VR ソフトウェアのしくみを学習しながらスムーズな開発作業を実現する開発支援モデルを開発した．

開発支援モデルによって，VR ソフトウェアの構造を実装の難易度ごとに階層化した．これにより，開発に必要な知識や技術を持たない学生が VR ソフトウェアの構造を段階的に理解しながら開発を行うことが可能となった．開発支援モデルをベースに実装したサンプルプログラムを用いて PBL 演習を実践し，必要な知識を持たない学生がこのサンプルと最小限の指導のみで演習を達成できることを確認した．

また，仮想現実工房のテスト環境により，VR システム以外の計算機上で VR ソフトウェアの開発と動作テストが行える環境を実現した．これを利用すること

NII-Electronic Library Service

Japan Society for Educational Technology

で，VR システムを持たない他の教育機関において VR ソフトウェアの開発が可能となる．

さらに，仮想現実工房と開発支援モデルは演習環境としてだけではなく，研究においても有用性が期待できる．VR デバイスの制御構造に通信による方式を導入したことで，外部のソフトウェアなどとの連携もデバイス制御と同じしくみで実現できる．そのため，開発支援モデルを用いた VR ソフトウェア開発のさらなる応用が期待できる．今後はその可能性についても明らかにしていく予定である．

謝　　辞

本研究で整備した仮想現実工房は，本学の「自律進化型教育サイクルによる創造的情報処理技術者の育成事業」により導入された設備である．

参 考 文 献

IPA 編（2010）IT 人材白書2010．情報処理推進機構

可視化工房（2011）奈良女子大学理学部
http://vgpsky.ics.nara-wu.ac.jp/vgp/
（参照日 2011.12.13）

大倉典子，泉谷聡，青砥哲郎（2008）創成型演習授業「バーチャルスペースの設計と構築」の実践．電子情報通信学会技術研究報告，**107**(536)：13-17

佐藤和彦，工藤康生，倉重健太郎，蓮井洋志，島田浩次，佐賀聡人（2008）OpenGL を用いた PBL 型ソフトウェア開発演習の実践と課題．情報処理学会 IS 研究報告，**2008**(81)：1-6

佐藤和彦，倉重健太郎，岡田吉史，佐賀聡人（2011a）仮想現実工房を用いた実践的ソフトウェア開発演習．PC カンファレンス2011講演論文集：416-417

佐藤和彦，倉重健太郎，岡田吉史，佐賀聡人（2011b）学生のやる気を引き出す「見える」ソフトウェア開発演習の実現と評価．CIEC コンピュータ＆エデュケーション，**31**：94-99

Summary

This research discusses a development in building a new virtual reality (VR) system that makes five users able to share one virtual space. In order to develop the VR software for operating the system, the problem-based learning exercise was designed and assigned to the students. We constructed a new environment 'Virtual Reality Atelier' (VRA), and implemented the development support model (DSM) to develop the VR software smoothly on VRA. DSM was hierarchized to 7 layers based on the structural difficulty of the VR software. Students can develop the VR software by sequentially studying each layer one by one. In this paper, we report effectiveness of VRA and DSM on the exercise that ware conducted in FY2010.

KEY WORDS: SOFTWARE DEVELOPMENT EXERCISE, PROBLEM-BASED LEARNING, IMMERSIVE VIRTUAL ENVIRONMENT, EXERCISING SUPPORT, ENGINEERING EDUCATION

(Received September 1, 2011)

NII-Electronic Library Service