

VRMLと学習支援システムを組合わせた仮想学校の構築

藤井 諭[†] 岩田 淳[†]
岡本 信之[†] 水野 忠 則^{††}

既に開発を行い、授業等で運用評価している語学学習支援システム"Web-CALL"に加えて、「タイピング学習支援システム」と「数学学習支援システム」を新たに開発した。これらの新しい学習支援システムを授業で学生に使わせ、アンケートを用いて評価した。その結果、両方の支援システムとも使えば学習に役に立つとの評価を得た。しかし授業時間以外でも積極的に使うかどうかについては必ずしも肯定的でなく、より興味を持って学習支援システムを使わせる工夫が必要であることもわかった。そこで、種々の講義、演習を3Dグラフィックスの世界に入って体験できる仮想学校の構築を行った。VRMLで表現した仮想学校を歩きながら張られたリンクで各学習支援システムに入れるようにした。いかに学生に興味を持たせられるかを考慮し、様々なイベントを体験することで楽しみながら歩行し、また選んだ学習がゲーム感覚でできるように配慮した。VRMLの表現に関するアンケートでは、登場する人間の動きや各部屋を訪れた際に現れるイベントが面白い、操作が比較的簡単で楽しんで使える、等の評価を受けた。

Construction of a virtual school with VRML and Learning Support Systems

SATORU FUJII,[†] JUN IWATA,[†] NOBUYUKI OKAMOTO[†]
and TADANORI MIZUNO^{††}

In order to help students study online, we developed "Typewriting Training System" and "Mathematics Learning Support System" in addition to "Web-CALL". Research on the effectiveness on these learning support systems has been done so far. The students who had tried them mentioned that they were very useful but they also mentioned that these systems were not interesting enough to inspire them to use in their free time. We found there were some room to improve these systems to make them user-friendlier and to attract students. Then we have constructed a 3D virtual school in which students can study various kinds of learning systems. Students can choose the system which they want study while walking in a 3D graphics world written with VRML. Each system is linked with HTML. We added some events and characters and game scenes to make the system more attractive. Surveys on this virtual school system by the students showed that motions of characters and events were interesting and that this system helped them study joyfully, easily and actively.

1. はじめに

WWWを用いた学習支援を目的として、語学学習支援システム"Web-CALL"を開発し学校の英語学習において運用評価を行っている。このWeb-CALLはWWW上で教材作成と学習支援の両面から使用できるようにしている。特に、授業担当の教師がWWWブラウザ上で容易に教材を作成することができるオーサリング機能を備えている。これを用いることで、教師はHTML等のプログラミングの専門知識を要する

ことなく、マルチメディアを使った教材の作成、追加、更新を容易に行うことが出来る。また成績の集計、分析を支援する機能や学生との双方向連絡の機能も備えている。これらにより、教師にとって教材内容に関与できない、教材の更新に新たな費用負担を伴うと言った不満から開放することが出来る。Web-CALLは授業等での運用評価を行いながら、使い勝手の改良を繰り返し行っており、学生にとっても使いやすい学習支援となっている。利用する学生は、教師によって登録された"旬な"教材を用いて、楽しみながら継続的に授業や自習に利用することが出来る1)2)3)4)。

一方で我々は、語学学習以外の学習支援への拡張開発を行っている。現在は数学学習およびタイピング学習を演習形式でできるように拡張しており、今後さら

[†] 松江工業高等専門学校
Matsue National College of Technology
^{††} 静岡大学情報学部
Faculty of Information, Shizuoka University

に講座の種類を増やす予定でいる。そのため、これらの学習支援ソフトウェアを学生たちが積極的に使う気にするためのコンピュータ環境も必要としている。

近年、ゲームの世界をはじめとして3Dグラフィックスを使ったソフトウェアが増えている。若者を中心に3Dの世界への親しみが強いいため、学習支援の分野にも3Dグラフィックスの活用によって、より興味を持たせることが考えられる5)6)7)。現存するWWW上で利用できる各種の学習支援システムは、学習する事のみを目的としているため、学習に直接関係ないイベントを組みこんでいるものはほとんどない8)9)。WWWベースでVR技術を用いた仮想学校の例としてTwente大学とDelf工科大学の”SERVE”などがあるが、キャンパスの案内や図書館等の共通設備の使用に関する表現が主であり、個々の専門講座を主目的として扱っているわけではない10)。

本システムでは、3Dグラフィックスの技術を導入して仮想学校を構築し、種々の講義、演習をWWW上から体験できることを目的としている。いかに学生が興味を持って使うか、興味を持たせられるかを考慮し、ゲーム感覚で抵抗感無く学習環境に入れるよう、VRMLによる3Dグラフィックスの環境と組み合わせる方法を用いている。そして学習用のシステムにリンクを張るだけでなく、様々なイベントを作成することで、遊び感覚で楽しみながら学習できるシステムの開発を行っている。

2. システムの概要

図1に仮想学校の配置図を示す。語学学習、数学学習およびタイピング学習の専用教室、各種実験室と教官室がある。各教室に開発した各種学習支援システムへのリンクを張って、ドアをクリックすることでその学習教室に入れるようにした。

図2に仮想学校の1階フロアを示す。フロアの移動は、マウスによる仮想歩行で行う。各フロアには各種の部屋があり、各種の学習支援システムや研究室、実験室等にリンクが張ってある。部屋のドアをクリックすることでそのリンク先に飛ぶことができる。図3は語学教室をノックし、入ったときの画面であり、Web-CALLが呼び出された状態である。この中をさらに入って行くと各種の英語学習のコースが用意されており、ユーザが選択した英語学習をマルチメディアを使ってできる。

各階の移動はエレベータで行うようにした。エレベータのドアの右横にあるボタンをクリックして音とともにドアを開けるようにした。エレベータの中には

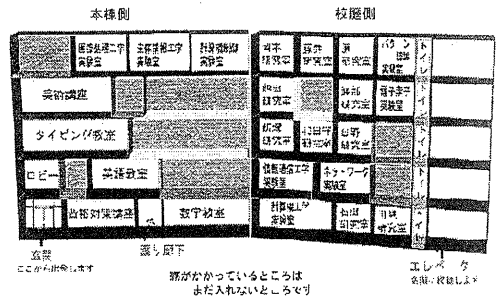


図1 仮想学校の配置図

数字を置き、その数字をクリックすることで目的の階へ移動できるようにした。

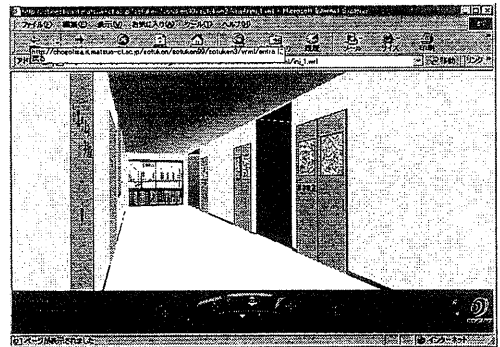


図2 仮想学校の1階フロア



図3 Web-CALLによる語学教室

図4にWeb-CALLのシステム構成を示す。語学担当の先生はWWWブラウザで「教材作成支援システム」を使用して教材DBを作成し、受講する学生は別

の WWW ブラウザで「学習支援システム」を使用し、この教材を使って学習した結果が成績 DB に格納される。先生側からは、英語教材に問題、正答、ヒントを入力し、答案の集計表、宿題の受け取りができ、学生側からは、問題、ヒントおよび正誤結果の受け取りと、答案・宿題の提出ができる仕様とした。宿題は学習支援システムによって成績 DB に格納され、先生はブラウザによって一覧表で確認することができる。また、先生はメールサーバを経由して各学生に個別のアドバイスを送ることができる。

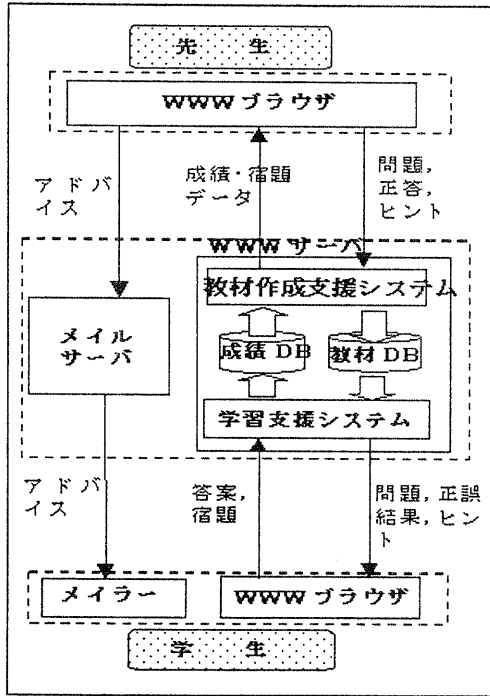


図 4 Web-CALL のシステム構成

図 5 はタイピング学習支援システムを用いたタイピング学習教室の画面である。上側のディスプレイに表示された文字をキー入力した時の入力速度と正確さに応じてレッスンのレベルが上がっていく。次に押すべきキーは赤くなるので、キーの位置を確認できる。タイマーで時間測定し、時間切れの場合は表示とベルによって知らせる。レベルは 32 まで用意しており、学生たちは最終ゴールを目指してタイピング練習を行う。途中で打ち切った場合は、どこまで進んだかをサーバが記憶し、次回にその続きを行うことができる。現在どのレベルかはサーバで収集・記憶し、教師は各学生の進捗状況を確認することができる。

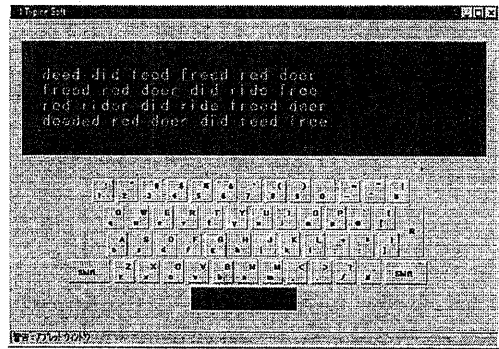


図 5 タイピング学習教室

JAVA 言語の特徴的機能の一つがマルチスレッドである。マルチスレッドとは、複数の作業を行う時オペレーティングシステムがプログラムの停止を要求するか、またはプログラムが停止することに協力するか、の2つの方法で実現されるマルチタスキングの考え方を推し進めたものである。すなわち、個々のプログラムは同時に複数の計算処理を実行する能力を持つ。このマルチスレッド処理をタイピング学習支援システムに用いることにより、高速キー入力を見逃すことなく描画を高速に処理することが可能とした。

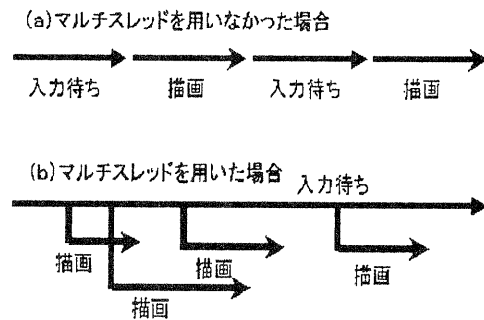


図 6 マルチスレッドの有無による描画処理の比較

処理の手順を図 6 に示す。マルチスレッドを用いなかった場合には、キー入力が行われると描画処理を行うプロセスが開始される。これにより、このプロセスが終了するまではキー入力を受け付けることができない。この方法では高速なキー入力に対して対応できなくなってしまう。しかし、マルチスレッドを用いた場合には、入力待ち状態の本体にキー入力が行われると、そこから描画処理を行うスレッドが並列に処理される。したがって、高速なキー入力に対しても容易に

対応することが出来る。また、マルチスレッドを使ってタイマーを設置した。タイマーの開始が指示されるとタイマー処理を行うスレッドが開始される。そして、タイマーが終了するとタイマー処理を行うスレッドはターゲット（本体）に向かって終了通知を行う。この間、キー入力があった場合でも描画処理は並列に処理される。

図7は数学学習支援システムを用いた数学学習教室の画面例である。現在用意している関数は2次関数、3次関数、 \sin 関数、 \cos 関数、 \tan 関数、指数関数、対数関数の7種類である。右側の窓からメニューによって関数の種類を選択すると、表示の升目と目盛が表示される。また左上に式の入力窓が、左下に対象関数についての解説窓が表示される。左上の窓で式を入力すると、右窓に図形が表示される。図形は式によって色分けして表示される。また左上窓で指示すれば、関数を上下左右に移動させることができ、式は連動して移動表示される。一度表示した式は左上窓に登録され、マウスで選択して再表示することも出来る。

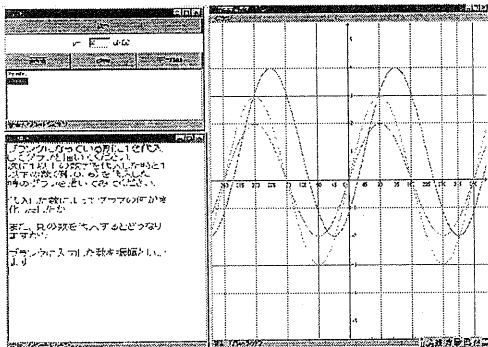


図7 数学学習教室

これらの学習教室に加え、図1仮想学校の配置図に示したように、教室や実験室を用意している。図8に教官室の例を示す。教官室にはロック（クリック）して入る。マウス歩行で教官に近づく音声ファイルが起動し、メッセージを聞くことができる。教官の絵にはJAVAによって手や顔の動きをつけ、顔の表情も変わるようにもした。また、部屋にあるパソコンをクリックすることで、その教官のホームページを見て情報を得ることができるようになった。退室は部屋にあるOUTという箇所をクリックすることでやっている。

また各実験室に入ると、動きのついた学生たちに見えるようにした。また部屋にあるHomePageという文字をクリックすることで、そこで行われている卒業研

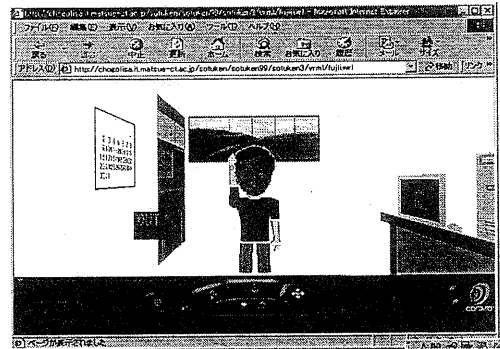


図8 教官の部屋

究の内容がわかるようにした。普通教室に入り教室内容を少し進むと、普段良くある授業中のざわめきや学生の様々な動きのある授業風景を見られるようにもした。

このように単に各教室で学習するのみでなく、遊びの空間を共存させることで、より学生たちが親しみを持てるよう工夫を行っている。

3. システムの特徴

本システムは、3Dグラフィックス機能をVRML2.0で記述している。物体の動きをJAVAプログラムとJavaScriptで記述することで、プログラムの動的な動作記述を可能としている。VRML ViewerとしてはSGI社のCosmo Player2.1を使用している。

図9はVRMLとJAVAの関係を示したものである。VRMLのScriptノードと、Scriptノードの変わりに動作記述をしているJAVAプログラムは、urlフィールドによって結びつけられている。urlフィールドには、JAVAのclassファイルのurlを記述する。ScriptノードのeventInフィールドにきたイベントは、ブラウザによってurlフィールドで指定されているJAVAプログラムへと渡され、計算が開始される。EventOutフィールドに結果を返すとイベントが発生して、このフィールドとルーティングでつながっている他のノードへと伝播され、VRML世界に変化が起きる。これらのフィールドはユーザ定義フィールドで、自由に数を増やすことができる。ユーザ定義フィールドを多用することで、より複雑な動作を記述することを可能としている。

またJAVAのマルチスレッド処理を学習支援システムに用いることにより、高速キー入力を見逃すことなく描画を高速に処理することを可能としている。

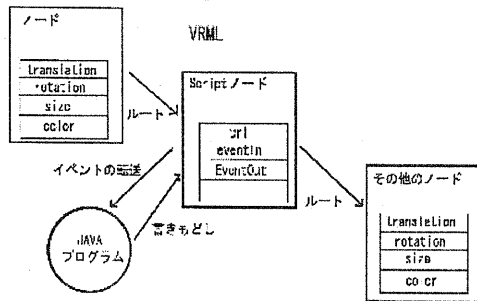


図9 VRMLとJAVAの関係

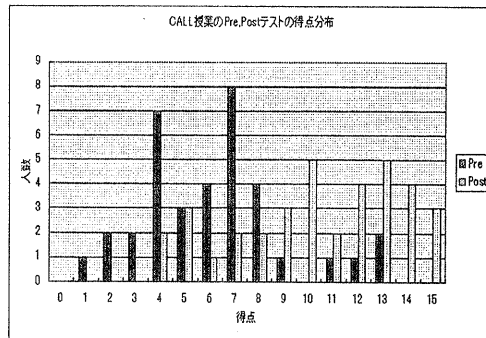


図10 CALL授業の成績分布

4. 評価

4.1 語学学習支援システム"Web-CALL"

CALL(Computer Assisted Language Learning)授業で英検教材を39名の学生に使わせて効果を評価した。第1週に英検準2級の問題でPre-test, 第2週に演習授業を行った後, 第3週にPost-testを行って評価した。同じレベルの異なる問題で, 普通授業に対しては普通教室において演習授業を, CALL授業に対してはLL教室においてWeb-CALLを使った演習を20分間行った。Pre-testとPost-testは同一問題で, 単語5問, 熟語5問, 文法5問の計15問で, 15点満点のものを使用し10分間で行った。普通授業では, 教師が準2級問題のプリントを配布して8分間で解かせた後, 1問ずつ答え合わせをし, その際に教師が解説を加えていった。解説の内容はWeb-CALL教材に載せたものと同一とした。CALL授業では, 単に「今から20分間, Web-CALL上のこの問題をやりなさい」とだけ指示し, 完全な自習形式とした。学生はWeb-CALLのガイドに従い, 必要に応じてヒント, 解説を使って自分のペースで自習を行った。

図10はCALL授業におけるPre-testとPost-testの成績分布を示したものである。CALL授業を行った後の成績は大きく向上していることがわかる。これは普通授業の場合も同様である。検定の結果, 普通授業のPost-testとCALL授業のPost-testには有意差が無いことがわかった。Pre-testも同様に両者には差がなかった。すなわち, 教師による普通授業を受けることで成績は大きく向上するが, CALL授業でも同程度に成績を向上させることが出来ると言える。

アンケート調査では, 受講した学生はWeb-CALLに対して

- マイペースで学習できて良い (61%)

- ヒント, 解説が役立つ (71%)
- 何度でも取り組める (42%)

といった利点を挙げている。このことから, Web-CALLによってマイペースで, 集中して学習に取り組め, 用意されたヒントや解説が役立ったことが効果の出た理由として考えられる。英検やTOEICのような資格試験は, 授業とは異なり自主的に受験勉強することを基本としているため, Web-CALLはそのための自習教材として効果が期待できることがわかった。

「教材作成支援部」に対して, 英語専門教官3名が運用評価を行った。評価はインタビューによって行った。結果は次の通り良い評価であった。

- (1) HTMLなどの専門知識を必要とせず, 教材が容易に作れて良い。従来はHTMLで力づくで教材を作成していたが, Web-CALLを使うことで教材作成時間が2時間から30分程度と約5分の1に短縮された。
- (2) HTMLを意識しなくて良い分, 教材の内容そのものに専念して作れる。
- (3) ガイドに従って窓への記入, 正解ボタンの設定などで容易に作れて良い。
- (4) 教材を更新することで通年使用ができる。

ただし, 問題を考案すること自体は専門教官の意識と時間に依存するところであり, これによってシステムの運用は影響を受けることになる。

4.2 タイピング学習教室

プログラミングの授業の中で学生に使ってもらい, アンケートによって評価を行った。対象は本校情報工学科の1年生39名である。質問事項は次のとおりである。

- Q1: キーボードの表示は見やすいか。
- Q2: 入力文字の表示は見やすいか。
- Q3: レッスン番号の表示は見やすいか。

- Q4：正解率は確認できたか。
- Q5：難しかったか。
- Q6：使っていて面白いか。
- Q7：タイピング学習に役立つか。

結果を図 11 のグラフで示す。Q6 と Q7 に対してかなり評価が高く、この教室は学生にとって役立つと言える。一方で Q1 と Q2 において満足度が高いとは言えず、今後画面表示の改良が必要である。

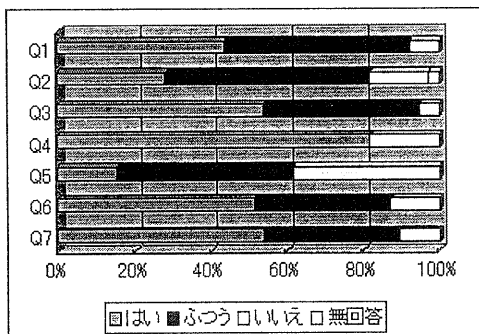


図 11 タイピング教室の評価

また、このアンケートでは次の質問も行っている。

- Q8：次の機能で欲しいものはどれですか。
 - (1) 成績を表、グラフで表示する機能
 - (2) 間違えた文字を色を変えて表示する機能
 - (3) 自分の苦手なキーなどを知ることができる機能
 - (4) 成績ランキングを表示する機能
- Q9：インターネットによってどこで使ってみたいか。
- Q10：使ってみて感じたこと。

Q8 に対しては、間違い文字の表示が 31 名、苦手なキーの表示が 21 名と、希望が集中した。現在はこれらの機能の追加を検討している。Q9 に対しては、自宅で使いたい希望が 64% と圧倒的に大きかった。インターネットの普及により、家庭学習でもこのようなインターネット型学習支援ソフトウェアが求められていると推察される。Q10 に対しては、使って楽しい 16 名、難しい 11 名が目立ったが、両者は重複しており、「難しいが面白い」点が受かっていると考えられる。

4.3 数学学習教室

数学の授業で学生に使ってもらい、アンケートによって評価を行った。対象は本校の 1 年生 1 クラス 41 名である。質問事項は次のとおりである。

- Q1：画面は見やすいか。

- Q2：表示されている式の意味はわかりやすいか。
- Q3：操作（関数の設定、図形の表示・再表示・移動など）はわかりやすいか。
- Q4：解説の文章はわかりやすいか。
- Q5：このプログラムは数学の理解に役立つと思うか。
- Q6：今までのように教科書などで自習するのと、今回のようにパソコンを使って自習するのとでは、どちらの学習方法が好きか。
- Q7：授業以外の時間に、学校や自宅で使ってみようと思うか。

結果を図 12 のグラフで示す。Q5 と Q6 に対してかなり評価が高く、この教室は役立つと評価されている。Q1 と Q3 への評価も高く、興味を持って積極的に使われたことがわかる。一方で Q2 と Q4 において満足度が高いとは言えず、より使いやすくするための改良が必要である。

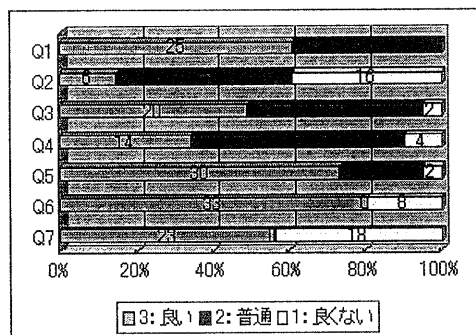


図 12 数学教室の評価

また、このアンケートでは次の質問も行っている。

- Q8：どんな機能があればもっと役立つと思うか。
- Q9：その他の感想。

Q8 に対しては、分数、根号、因数分解の機能の希望が多かった。また、消したい関数の図形をマウスで指定できる、といった要望もあった。Q9 に対しては、ビジュアルでわかりやすく大変興味を持って使った、との積極的意見が 19 名あった。一方で解説をよりきめ細かくわかりやすく、との注文もあった。

4.4 3D グラフィックス表現による学校

3D グラフィックスを評価する設備の台数が限られたため、今回は少人数による評価にとどまった。システムを使用した学生 9 名にアンケートに答えてもらい、評価を行った。結果を図 13 に示す。

この図より 9 人中 7 人から、登場する人間の動きや

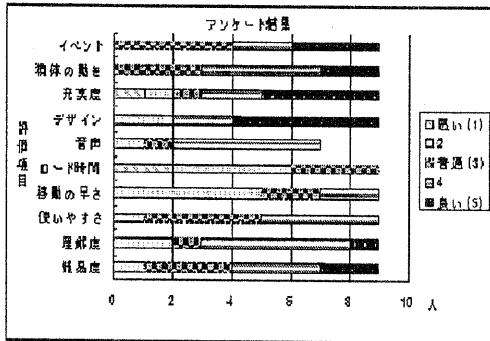


図 13 3D グラフィックス表現の評価

各部屋を訪れた際に現れるイベントなどが面白い、という評価を得ている。また、館内のデザインが良い、操作が比較的簡単だ、といった評価を得ている。このことから、興味を起こさせることで各種の学習教室にもより多く入ってくれる可能性が高い。このシステムのねらいである、興味本位で立ち寄ったついでにゲームを楽しむ感覚で学習をしてもらうことが期待できる。

一方で大多数が、データの読み込み時間が長いと感じていることも分かった。特に各階の移動や、各部屋への出入りの際に遅く感じるという指摘が多く出た。ネットワークを 100BASE-TX と 10BASE-T で切り替えて比較したところ、開始時間は 10 秒程度で殆ど差が見られなかった。ただし 254kB の音声ファイルを使う場合と使わない場合では、約 1 秒程度の差が出ることがわかった。

開始時間が長くなるのはネットワークの能力ではなく、パソコンの CPU 能力やグラフィックボードの処理速度に大きく依存していることがわかった。評価に用いたパソコンは、CPU が PentiumPro200MHz 程度、グラフィックボードの VRAM が 2MB と旧式なものであり、移動時の動作もぎこちない描画となる。最近のパソコンの処理能力（例えば CPU が Celeron500MHz 以上、グラフィックボードが 3D 対応）であれば開始時間は半減する。また動作も滑らかであり、このような使用環境が一般化すれば、本質的な問題にはならないと考えている。

その他、各階の各部屋からホームページや研究室などのファイルをロードしてから、また元の階へ戻る場合に、その階へ来た最初の視点に戻ってしまう点が使いにくい、といった意見が出た。これらを解決し、使い勝手の良いマンマシンインタフェースにするための工夫をさらに加えていく必要がある。

5. 考 察

WWW を用いた語学学習支援システム“Web-CALL”に加えて、タイピング学習支援システムと数学学習支援システムを開発し、授業で学生に使わせてアンケートで評価した。その結果いずれの支援システムもおおむね好評で、役に立つとの意見が多かった。一方で、授業時間以外でも積極的に使うかについては必ずしも積極的でなく、より興味を持たせる工夫が求められた。

学習支援システムにおいては、従来の 2D から 3D 表現にすることによって、遠隔地にいるユーザに対して距離感や時間の感覚、建物の鮮明なイメージといった文字や絵だけでは伝わらない「言葉や絵では言い尽くせない情報」を送ることが出来る。仮想空間内で自由に動き回ることが出来、自発的な行動をうながすことも期待できる。またゲーム感覚で抵抗感なく学習画面に入ることが期待出来る。

本システムはインターネットに接続した端末であれば、WWW によって時間と場所の制約無くアクセスできる。一方で VRML ブラウザは標準にはないため、ダウンロードしてインストールしなければならない。より簡単な方法を検討したい。また VRML の描画スピードがマシン環境に依存するため、ロースペックのマシンでは実用に耐えられなくなってしまう問題もある。ただ、最近のパソコンでは CPU の処理能力は十分であり、グラフィックボードの能力を確保すれば、本質的な問題とはならないと考えている。

6. ま と め

WWW を用いた語学学習支援システム“Web-CALL”に加えて、タイピング学習支援システムと数学学習支援システムを開発し、授業で学生に使用してもらいアンケートで評価した。その結果、いずれの支援システムも使えば役に立つとの意見が多かった。一方で、授業時間以外でも積極的に使うかどうかについては必ずしも積極的でなく、より興味を持たせる工夫が必要であることもわかった。

そこで、3D グラフィックスの表現を導入して、種々の講義、演習を WWW 上から体験できる仮想学校の構築を行った。また各学習支援システムにリンクを張るだけでなく、様々なイベントを作成することで、楽しみながら VR 世界を体験でき、遊び感覚で学習ができるよう心がけた。いかに学生が興味を持って使うか、興味を持たせられるかを考慮し、ゲーム感覚で各支援システムが使えるように配慮した。現在は英語学習、

数学学習およびタイピングの講義、演習ができるようにしている。学習用のシステムにリンクを張るだけでなく、様々なイベントを作成することで、楽しみながらVR世界を体験でき、遊び感覚で学習できるシステムを構築した。

アンケート評価の結果、登場する人間の動きや各部屋を訪れた際に現れるイベントなどが面白い、という評価を受けた。興味を起こさせることで、各種の学習教室にもより多く入ってくれることが期待できる。その他、館内のデザインが良い、操作が比較的簡単だ、といった評価を受けた。興味本位で立ち寄ったついでに、ゲームの感覚で学習をしてもらうことが期待できる。

今後は各学習支援システムの改良を進めていきたい。また学習教室の種類をさらに増やして行く予定でいる。平行して、3Dグラフィックスで表現した仮想学校の使い勝手を改良していく予定で知る。そしてこの仮想学校に入って各学習支援システムを使う場合の評価データをさらに増やし、考察と改良を行っていきたい。

参 考 文 献

- 1) 藤井諭, 飯島睦美, 岩田淳, 服部真弓: WWWを用いた教材作成・学習支援システムの開発と評価, 情報処理学会 DiCoMo シンポジウム論文集, pp. 81-88(1998).
- 2) 藤井諭, 岩田淳, 服部真弓: WWWを用いた英語学習支援システムの開発と授業による評価, 電子情報通信学会信学技法, ET98-104, pp. 89-96(1998).
- 3) 藤井諭, 岩田淳, 服部真弓: 英語学習支援システム WEB-CALL の開発と授業による運用評価, 情報処理学会 DICOMO'99 シンポジウム論文集, pp. 559-564(1999).
- 4) S.Fujii, J.Iwata, M.Hattori, M.Iijima and T.Mizuno: "Web-CALL": A language learning support system using Internet, IEEE Computer Society ICPADS2000, NGITA Workshop, pp. 326-331(2000).
- 5) 石田亨: デジタルシティの現状, 情報処理, Vol. 41, No. 2, pp. 163-168(2000).
- 6) 平松薫: 地域情報サービスに向けたデジタルシティ京都の構築, 情報研報, Vol. 2000, No. 45, 2000-GW-36, pp. 79-84(2000).
- 7) 小川剛史, 塚本昌彦, 西尾章治郎: WWW上の疑似3次元空間を用いた会議支援システム, 情報研報, Vol. 2000, No. 45, 2000-GW-36, pp. 109-114(2000).
- 8) 田村武志, 宮本貴朗, 傍島邦穂, 小島篤博, 久国正吉: 教育コンテンツの創生, 蓄積, 編集, 配信および共有を一元管理する統合システムの検討, 信学技法, Vol. 99, No. 713, ET99-108, pp. 99-104(2000).
- 9) 生田目康子: 小松短期大学における遠隔授業の連続的な適用と改良—簿記資格取得支援システムによる理解度評価—, 情処研報, Vol. 2000, No. 26, 2000-GW-35, pp. 89-94(2000).
- 10) 並木規充, 杉山公造: 検索システムとVRMLによる北陸先端科学技術大学院大学ナビゲーションシステムの構築, 情処研報, Vol. 2000, No. 26, 2000-GW-35, pp. 37-42(2000).