

早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科
博士学位論文

大学での ICT 利用教育における
支援ツールの開発に関する研究
～ 環境分野での活用と展開に向けて ～

Research on the development of support tools
for ICT use in university education

– For application and deployment in the environment course –

2013 年 2 月

早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科
環境配慮デザイン研究

井原 雄人

目次

第1章 序論	1-1
1.1 本研究の背景と従来研究	1-1
1.1.1 大学におけるICT利用教育の導入の背景	1-1
1.1.2 ICT利用教育の分類と現状	1-3
1.1.3 大学でのICT利用教育の実施における課題	1-5
1.1.4 大学でのICT利用教育の支援ツール開発の課題	1-10
1.2 環境分野への活用方法の検討	1-14
1.3 本研究の目的	1-15
1.4 本論文の構成	1-17
第2章 ICT利用教育データベースの構築とその活用方法の提案	2-1
2.1 ICT利用教育データベースの構築の目的	2-1
2.2 ICT利用教育データベースの構築の提案	2-3
2.2.1 ICT利用教育事例の収集	2-3
2.2.2 ICT利用教育データベースの構築	2-4
2.3 ICT利用教育データベースの分析	2-8
2.3.1 教育支援ツールの利用状況と課題	2-8
2.3.2 遠隔講義におけるネットワークインフラの状況と双方向性確保の課題	2-10
2.4 ICT利用教育データベースの活用方法の提案	2-14
2.5 まとめ	2-16
第3章 自己学習における効率的な情報検索アルゴリズムの開発	3-1
3.1 自己学習における情報検索の効率化の必要性	3-1
3.2 効率化のための最適キーワード数の判定方法の提案	3-5
3.3 効率的な検索アルゴリズムの開発	3-7
3.3.1 Suffix Tree Clustering Algorithmによる検索精度の向上方法の提案	3-7
3.3.2 ペイジアン予測による関連キーワード絞り込みの適用	3-9
3.3.3 ランダム選択アルゴリズムによる検索速度の向上方法の提案	3-10
3.4 大学における講義での検証	3-17
3.5 本研究を題材とした大学における研究での検証	3-21
3.5.1 効率化の検証	3-21
3.5.2 精度向上の検証	3-22
3.6 まとめ	3-24

第4章 多様なネットワーク環境に対応した遠隔講義手法の開発	4-1
4.1 ネットワーク未発達地域からの遠隔講義の実施状況と課題	4-1
4.2 ネットワーク未発達地域に対応した動画圧縮手法の開発	4-3
4.2.1 XVDによる動画圧縮の開発	4-3
4.2.2 On2VP6による動画圧縮の開発	4-6
4.2.3 知覚画質による動画圧縮の評価	4-9
4.3 ネットワーク未発達地域内でのデータ伝送の検討	4-13
4.3.1 無線LANによるデータ伝送時の最適アンテナ配置の検討	4-13
4.3.2 PoE電力搬送による有線LANネットワークの検討	4-15
4.4 ネットワーク未発達地域での検証	4-18
4.4.1 動画圧縮の選択手法の提案	4-19
4.4.2 豊島におけるモデル授業での適用	4-20
4.5 まとめ	4-23
第5章 VRを用いた体感教育による授業支援手法の開発	5-1
5.1 VR技術を用いた教育の必要性	5-1
5.2 VR技術を用いた実習・実験に対応した安全教育支援システムの開発	5-3
5.2.1 大学における安全教育の現状	5-3
5.2.2 体感型安全教育支援システムの開発	5-7
5.2.3 XMLを用いたシナリオマネージャーの開発	5-10
5.3 VR技術を用いた体感型安全教育支援システムの評価	5-13
5.3.1 実証試験による体感効果の検証	5-13
5.3.2 体感効果の定量評価手法の提案	5-14
5.4 実証試験を踏まえた体感型安全教育支援システムの改良	5-17
5.4.1 アーム長の変更による操作性の改善効果	5-17
5.4.2 トルクの変更による体感効果の改善効果	5-20
5.5 まとめ	5-22
第6章 結論および今後の展望	6-1
6.1 ICT利用教育の普及方策の検討	6-5
6.2 ICT利用教育による将来的な教育モデル提示	6-7

参考文献

謝辞

Appendix

研究業績

第1章

序論

第1章 序論	1-1
1.1 本研究の背景と従来研究	1-1
1.1.1 大学におけるICT利用教育の導入の背景	1-1
1.1.2 ICT利用教育の分類と現状	1-3
1.1.3 大学でのICT利用教育の実施における課題	1-5
1.1.4 大学でのICT利用教育の支援ツール開発の課題	1-10
1.2 環境分野への活用方法の検討	1-14
1.3 本研究の目的	1-16
1.4 本論文の構成	1-17

図1-1 ICT利用教育導入の背景

図1-2 ICT利用教育の導入割合

図1-3 ICT利用教育の分類

図1-4 ブロードバンド普及率と進学率

図1-5 データトラフィック量の推計

図1-6 遠隔講義による単位認定率

図1-7 早稲田大学における環境分野の研究マップ

図1-8 本研究の目的

図1-9 本論文の全体構成

表1-1 ICT利用教育導入の課題に関する従来研究

表1-2 情報検索の効率化に関する従来研究

表1-3 遠隔講義のための配信技術に関する従来研究

表1-4 授業支援のためのVR技術に関する従来研究

第1章 序論

1.1 本研究の背景と従来研究

1.1.1 大学における ICT 利用教育の導入の背景

近年のわが国における少子高齢化の急速な進行は、さまざまな分野へ影響を与えている。大学教育においても 2007 年度以降の入学希望者総数が入学定員総数を下回る、いわゆる大学全入時代が到来し、大学教育の質の低下が問題となってきている。

この傾向は、私立大学においてより顕著であり、2007 年度において私立大学の 40%となる 221 校で定員割れの学部があり、このうち 17 校では定員の 50%を満たしていない。これは 2011 年度にはさらに深刻化し、62%の私立大学で定員割れの学部が存在する状態となっている。

さらに、この問題はすでに実体化しており、2003 年の立志館大学において、定員割れが原因となり閉学となり、広島文科学園大学へ吸収された事例をはじめ、2005 年の萩国際大学に対して、民事再生法の適用などといった事例を発端として、現在では東和大学、三重中京大学、聖トマス大学、神戸ファッション造形大学、愛知新城大谷大学、福岡医療福祉大学、東京女学館大学、LEC 東京リーガルマインド大学の 8 校において学生募集の停止をしており、いずれも募集停止後の閉学が予定されている。

これに対する政府の対応として、内閣府が主導する形で 2006 年に教育再生会議が設置された。さらに、その後継組織として 2008 年に設置された教育再生懇談会において、大学・大学院の抜本的な改革として、以下の 6 つの項目を中心に大学全入時代の大学の在り方が検討された。

- (1) 大学教育の質の保証
- (2) 国際化を通じた大学・大学院改革
- (3) 世界トップレベルの大学院教育
- (4) 国立大学法人の更なる改革
- (5) 地方の大学教育の充実
- (6) 大学・大学院の適正な評価と高等教育への投資の充実

この中で示される指針として、ソフトウェアからのアプローチとしては、少人数型教育や Faculty Development の充実といった教育サービスの向上が挙げられている。また、ハードウェアからのアプローチとしては、教室内のネットワーク環境の整備や学生への PC 貸与などの授業環境の改善が検討されている。

これを踏まえて、これらの検討を具現化するための取り組みとして、本研究で取り上げる ICT を利用した教育の推進が求められており、デジタルメディア教材を利用した自己学習や、e-learning による遠隔講義、LMS 導入による効率的な授業運営などの導入が必要となっている。



図1-1 ICT 利用教育導入の背景

このような状況の中で早稲田大学では、次世代の教育方針の策定を行っている Waseda Vision 150 の中で、ICT の教育への利用が検討されており、その具体的な利用方法として、教育内容の公開と対話型教育への移行が挙げられている。

教育内容の公開では、ICT を利用することで、国内外に対して教育内容を公開し、「教育の早稲田」を可視化すると同時に、海外の優れた授業内容を取り入れ、世界でもっとも優れた、あるいは多様な教材・方法による教育を実現することを目的としている。

これらを実現するための公開方法としては、既存のインターネットによるオンデマンドシステム、オープンコースウェアなどの活用や、学生ポートフォリオを構築し、レポートなどだけではなく、自己PRなども発信することが可能となり、就職活動のツールとしても役立てることを想定している。この結果、世界の優れた授業を積極的に取り入れる、あるいは授業交換・共有などを通して、多様な授業展開を目指すものである。

これに加えて、対話型の教育への移行では、ネットワークを活用した遠隔・オンデマンド授業環境の整備、教材開発と授業形態の革新などを図り、教室での単方向的な講義主体の授業形態から、演習・ゼミを主体とする学生参加対話型教育やフィールドワークも活用したプロジェクト型教育へと重点を移し、問題を発見し、解決策を提案し実現する能力を涵養することを目的としている。

授業の自動収録システム整備や教材のデジタル化・電子書籍化を支援する体制を整備し、授業内容のデジタル化を促進し、多くの講義科目のオンデマンド化を図ることとしている。

このように、収録・配信のための各種設備の導入に加えて、コミュニケーション性を重視した教授者と学習者が双方向に対話する形の教育を推進することで、より高い教育効果を得ること目指している。

また、これらの支える具体的な技術として、デジタルメディア教材、バーチャルリアリティ、シミュレーション実験、遠隔授業、オンデマンド授業、自動翻訳、コンピュータ支援共同作業などのキーワードが挙げられており、これらを実施するための教育支援ツールの整備も必要とされている。

1. 1. 2 ICT 利用教育の分類と現状

このような背景の中で、大学における ICT 利用教育の導入は、国立大学を中心に徐々に進んできている。文部科学省先導的の大学改革推進事業における統計より作成した、大学での ICT 利用教育の導入割合を下图に示す。

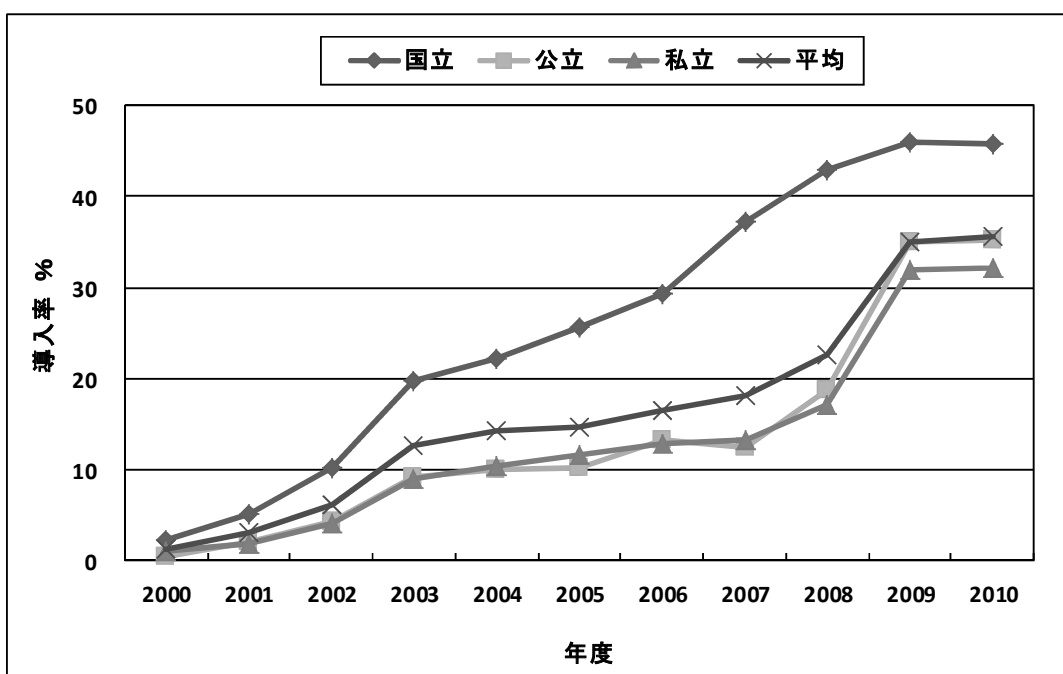


図1-2 ICT 利用教育の導入割合

2000 年度に実施された早稲田大学政治経済学部「メディア最前線」では、早稲田大学早稲田キャンパス 14 号館と、赤坂アークヒルズを ISDN 回線により接続し遠隔講義が実施された。この講義において、単位認定がされたことを皮切りに、2001 年度に、大学設置基準における遠隔講義の導入指針が示されたことで導入が増加した。

また、2004 年度には、信州大学工学部情報学科において、一般教養科目・専門科目を含み、大学設置基準における上限である 60 単位全てを遠隔講義により単位認定を行う形式のカリキュラムが設置された。このように科目単位ではなく、学部・学科

単位での導入が行われるようになったことで、大学単位での導入割合と共に実際の導入授業数が増加していくこととなった。

さらに、2008年度には、大学におけるインターネットなどを用いた遠隔講義を行う学部・研究科の割合を2倍以上にすることを目指し、国内外の大学や企業との連携、社会人の受け入れを促進することを目的とした、「内閣府IT戦略重点計画2008」における教育へのICT利用の促進の指針が示された。この結果、2009年度には大学における大型のハードウェアやネットワークインフラの大量整備が行われ、私立大学、公立大学においても急速に導入が進んできた。

しかし、ここまで述べてきたような、ICT利用教育の導入のための各種指針が示されてきている一方で、導入率は36%に留まっているのが現状であり、今後の一層の導入促進策の検討が必要である。

次に、導入されているICT利用教育の分類をその目的ごとに整理した。ICT利用教育の導入事例は、前述の文部科学省先導的・大学改革推進事業において収集されており、この事業において調査事業を行っている独立行政法人メディア教育センター(2005-2007年度)および放送大学ICT活用・遠隔教育センター(2008-2010年度)に登録されている大学・大学院でのICT利用教育の事例を対象とし、(1)授業支援、(2)遠隔講義、(3)学習管理の3つに分類した。

(1) 授業支援

従来の対面講義に加えて、学習者の理解度の向上のための電子黒板やデジタルメディア教材などといった支援ツールの導入やシミュレーションソフトなどによる可視化などを行うもの。また、予習や課題作成などの自己学習時の関連情報収集に関わるデータベースやソフトウェアの導入もこれに含まれる。

(2) 遠隔講義

テレビ会議システムやライブスパイラルシステムを用いた、1対1および1対多数において遠隔地においても講義を受講できるシステムを構築しているもの。ストリーミング技術による同期型の配信、オンデマンド技術による非同期型の配信の双方が含まれる。

(3) 学習管理

Learning Management System(以下、LMSとする。)を用いることで、授業状況の進捗管理や課題提出、予習復習の管理といった教授側からの学習管理を行うもの。SNSやグループウェアを利用して、学習者が教授者に対して質問を行うといった双方向性を確保し、コミュニケーションの促進を行うためのツールもこれに含まれる。

ICT利用教育の導入数が年々増加しているが、その中で大規模なシステムが必要

となる遠隔講義や、大学全体や学部単位で導入が必要となる LMS などの学習管理においては、ほぼ横ばいと推移している。

一方で、講義単位で導入の可能な授業支援のための支援ツールの導入が増加していることが分かる。

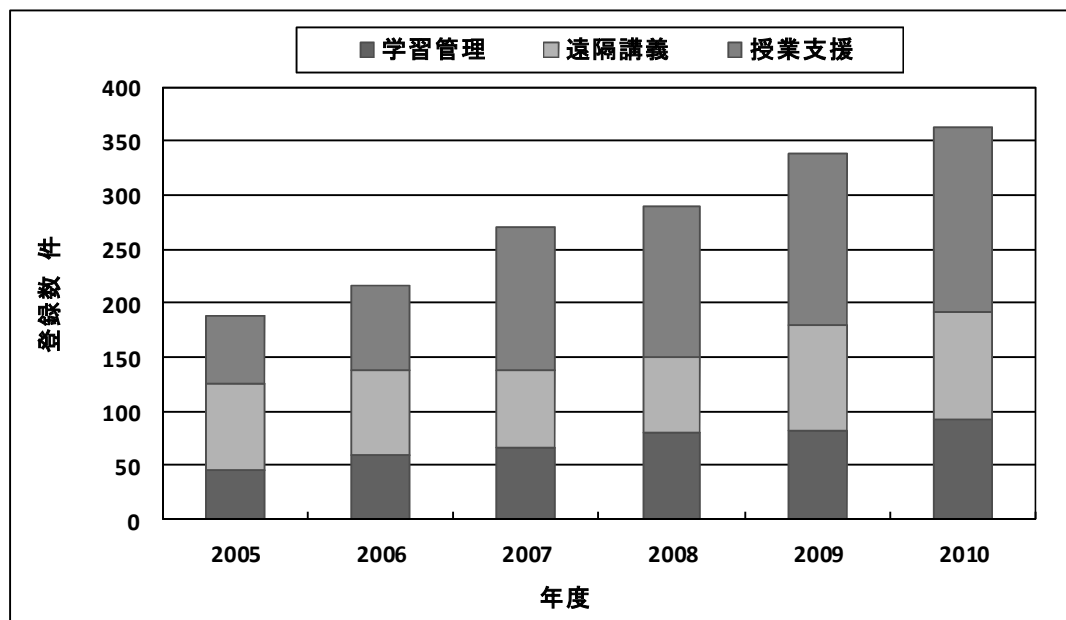


図1-3 ICT 利用教育の分類

1. 1. 3 大学での ICT 利用教育の実施における課題

前述のとおり、ICT 利用教育の大学での導入数は年々増加しているが、全体の導入割合では 36%に留まっているのが現状である。

ICT 利用教育の利便性などが認められる一方で、その普及が進まない原因としては、大きく分けて(1)ネットワークインフラの課題、(2)制度面の課題の 2 つが考えられる。

(1) ネットワークインフラの課題

大学教育に限らず ICT の利用普及に伴い、わが国におけるインターネットの普及は急速に進んでおり、人口当たりの普及率は高い状態であるが、これにはダイヤルアップ回線などのナローバンドも含まれた統計であり、光回線やADLSといったブロードバンド回線の普及率だけ見ると、必ずしも十分な状態といえない。人口カバー率という表現で、都心部での普及はほぼ終了しているイメージが存在するが、人口の少ない地方ではこの傾向は顕著であるといえる。

実際のブロードバンド普及率は、全国平均でも 60%程度であり、関東、近畿といった人口が集中している地域ほど高く、北海道・東北、九州・沖縄といった遠隔

地ほど低くなっている。

同様に、地域ごとの大学進学率を見ると、ブロードバンド普及率と相関する形で遠隔地ほど進学率の低い傾向を見て取ることができる。こういった地域はネットワーク環境と同様に、交通インフラの整備が不十分であるという要因も考えられるが、教育基本法における教育機会の平等という観点からもそれへの対応が求められる。

交通インフラの整備には、初期コストとしても膨大な費用がかかり、その維持にも継続的な費用が必要なことから、本研究で取り上げる遠隔講義の導入は有望であると考えられる。しかし、前述のように、こういった遠隔地ではブロードバンドの普及は不十分であることから、ナローバンド(=低帯域)にも対応した遠隔講義手法の開発が必要であると考えられる。

下図に地域ごとのブロードバンド普及率と大学への進学率を示す。

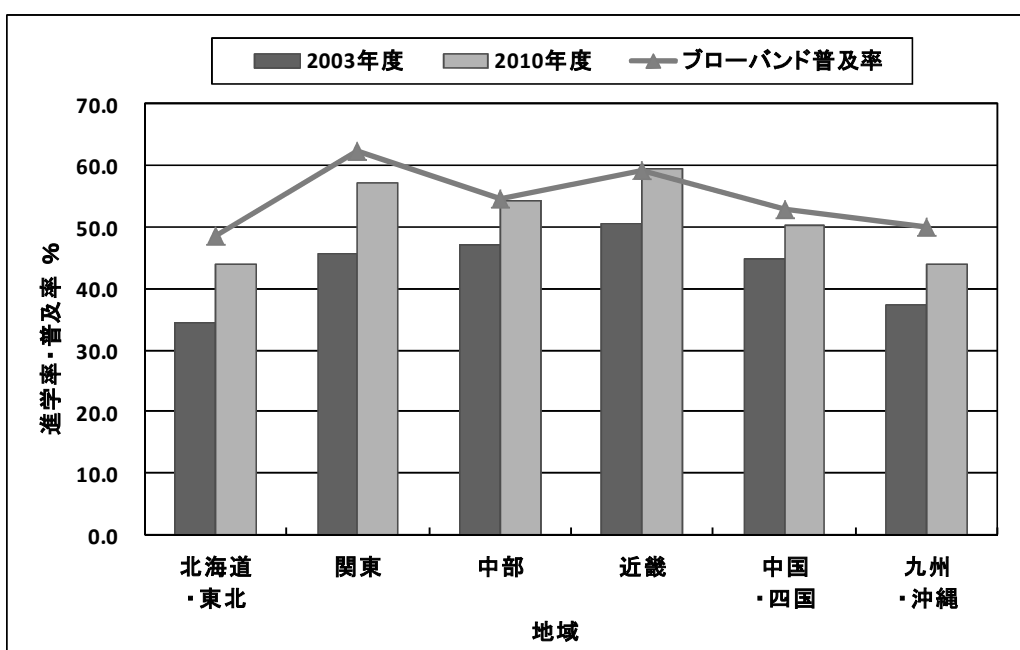


図1-4 ブロードバンド普及率と進学率

また、ネットワークインフラの整備の課題とともに、そこに流通するデータトラフィック量の課題も考えられる。データトラフィック量とは、時間あたりに流通しているデータ量をこことであり、ネットワークインフラには、利用できる帯域に上限があり、これを越えて通信を行うことはできず、帯域を越えるデータ量が送られた場合、データ遅延や欠損といった問題が生じることとなる。インターネットの普及初期におけるWEBサイトにおいては、テキスト情報や静止画による表現が中心であったのに対して、近年では動画の配信といったサービスが普及してきたことにより、データトラフィック量は急速に増加している。

下図に示すは、データのダウンロードおよびアップロードごとに、データトラフィック量の推計を行ったものである。

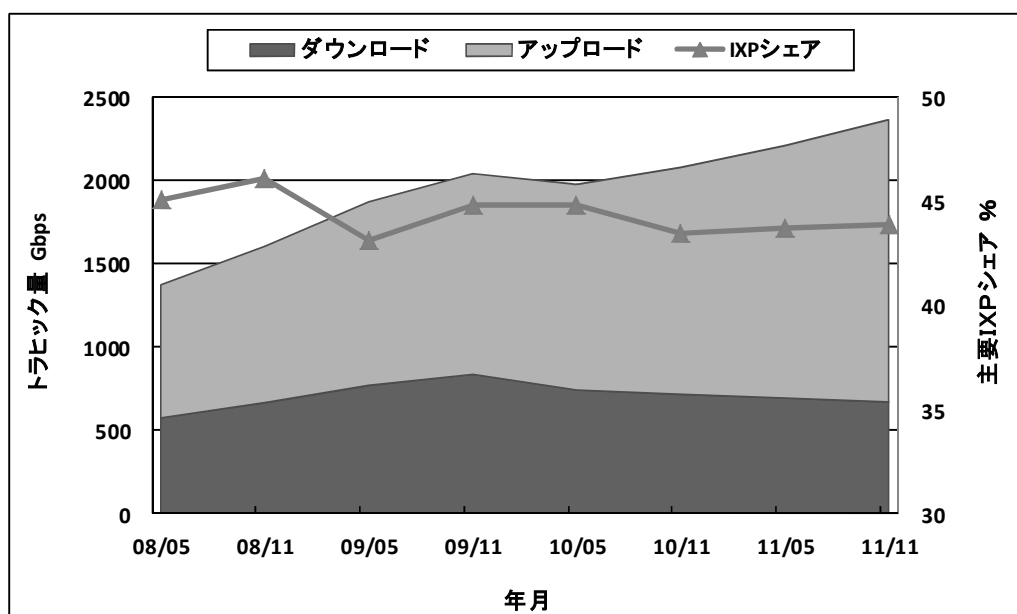


図1-5 データトラフィック量の推計

国内のデータセンターを同士繋ぐ接続ポイントであるインターネットエクスチェンジの中から、主要な6ポイントにおけるトラフィック量を計測することにより、国内全体のデータトラフィック量の推計を行った。2008年から2011年の3年間でインターネット上を流通するデータトラフィック量は42%増加しており、秒間当たりのデータ量は2,500GBに達しようとしている。

ダウンロード量に限れば、2009年11月を境に若干の減少傾向にあるが、これはインターネットエクスチェンジを経由しない、個人間のP2P通信によるデータ交換が普及したためであり、こういったP2P通信も含めると今回の推計量以上に、インターネット上で流通しているデータ量は増加していると考えられる。

このような急速なネットワーク利用の増加は、前述のデータ遅延や欠損を引き起こすことになるが、新たな回線の敷設や帯域の増設などは多額の費用がかかる。これはエンドユーザーに当たる大学単位での整備も同様であり、短期的に大きく改善することは困難であることから、現状の限られたネットワークインフラを効率的な利用するための圧縮技術の開発が必要となってきている。

(2) 制度面での課題

もう1つの大きな課題として、大学設置基準への対応に代表される教育制度への対応の問題が挙げられる。大学設置基準とは、文部科学省によって定めら

れる大学講義において、単位認定がされるための講義の要件を定めたものであり、従来から行われている対面講義と同等の教育効果を上げることが求められる。

これは対面講義の中で、付加要素として行われる授業支援においては、問題とならない場合が多いが、遠隔講義のように対面講義の代替として行われるものについては、重要な課題となる。以下に大学設置基準における遠隔講義に実施時の単位認定の要件を抜粋したものを示す。

1) 全て満たすべき要件

- ・講義は、隔地の教室またはこれに準ずる場所において同時に行われるものであること。(同一教室内の複数の教室間を結んで行う場合や、送信側には講師のみがいて、学生がいない場合を含む)。
- ・多様な通信メディアを利用して、文字、音声、静止画、動画等の多彩な情報を効率的かつ双方向に扱うことができる状態で行われるものであること。
- ・教育機関において、直接の対面講義に相当する教育効果を有すると認められたものであること。

2) 配慮すべき要件

- ・講義中、学生と講師が相互に映像・音声などを用いて対話すること。
- ・講師に対する質問の機会を確保すること。
- ・画面では黒板の文字が見つらいなどの状況が予想される場合には、予め学生にプリント教材を配布するなど工夫をすること。
- ・遠隔講義の受信側教室に、必要に応じて講師またはTA等を配置すること。
- ・デジタルメディア教材を活用する事により、一度に多くの学生を対象とした講義を行う事が可能であるが、受講者数が過度に多くならないようにすること。

このように教授者と学習者が、双方向にコミュニケーションが図れる環境を整え、デジタルメディア教材を活用することで、対面講義に相当する教育効果を有することが求められる一方で、教育効果を定量的に評価する指針は示されておらず、遠隔講義の導入促進の障壁となっている。

こういった制約条件の中で、遠隔講義の導入数は、学科分類ごとに大きな差異がある。座学が中心となっている人文学系が多いのに比べて、対面講義の再現が困難であると考えられる実験・実習が伴う、理工系や生物系といった学科では、導入が進んでいないという現状がある。これは、本研究で活用を目指す環境分野における教育でも同様のことが考えられる。環境分野の教育は、その対象範囲が広いという点に加えて、現在進行形で起こっている諸問題を扱うことが多

いことから、教室内の座学だけでは十分ではなく、現場での調査などを含めた、実習による講義が多く行われるからである。

また、これらの導入事例において実際に単位の認定が行われているのは、全ての学科において、30-40%と低い値となっており、前述の大学設置基準を満たした遠隔講義が行えていないことが分かる。

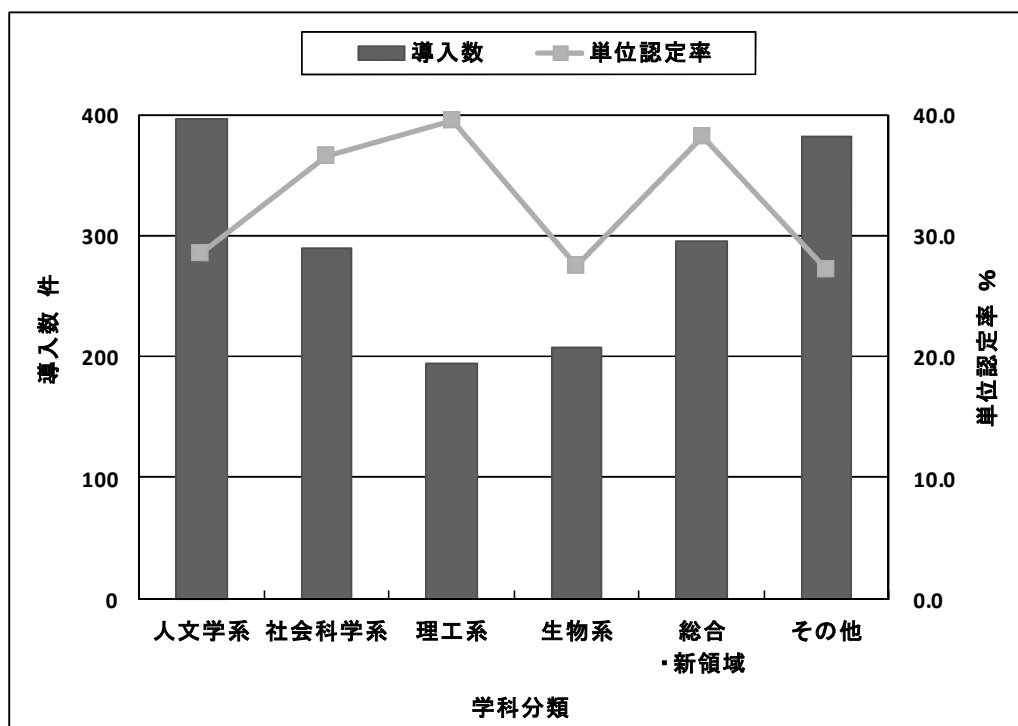


図1-6 遠隔講義による単位認定率

また、このような ICT 利用教育導入促進への課題の整理は、従来研究においても行われており、ICT の利用方法の区分や対象となる学習者の区分ごとに、必要となる要件の整理を行うことで実施されている。以下にそれらの中から代表的なものを示す。

表1-1 ICT 利用教育導入の課題に関する従来研究

年度	研究題名	研究者	概要
2006	学校教育における ICT 利用の教育改革の動向	赤堀侃司 (東京工業大学)	ICT 利用教育の変遷を、1) 視聴覚教育、2) コンピュータ教育、3) コンピュータ教育から情報教育への移行、4) ネットワークの活用と新しい学習環境整備、の 4 つに分類・評価を実施。
2007	How Should Inclusivity Influence Teaching of ICT Design	SLOAN David (Univ. Dundee, Dundee, GBR)	ICT 利用教育を多様な利用者の視点から、1) 技術的な専門家、2) 文系学生、3) 理系学生、4) 障害者に区分して最適な導入形態の検討。

2008	ICT 活用教育の実態調査における経年変化に関する検討	波多野和彦（メディア教育開発センター）	大学・大学院における ICT 利用教育の導入事例の収集し、その普及状況と効果について研究。
2009	大学における ICT 活用教育の現状と推進の視点	清水 康敬（東京工業大学）	大学・大学院における ICT 活用教育の導入の現状について調査をし、システム開発の視点から導入推進・標準化の課題について検討を行っている。
2010	学校における ICT の活用に関する国際比較調査	坂谷内勝（国立教育政策研究所）	ICT 活用教育の実態についてネットワークが未整備である途上国での実施事例について調査を行い限られたインフラ内での導入状況に調査を行った研究。

1. 1. 4 大学での ICT 利用教育の支援ツール開発の課題

これらの課題を克服するための支援ツール開発は、各分類において行われている。本研究ではこれらの中で、前述のネットワークインフラおよび制度面での課題の多い、(1) 情報検索の効率化、(2) 遠隔講義のための配信技術、(3) 授業支援のための VR 技術を対象に支援ツールの開発を行う。

まず、この 3 つの項目について、従来研究を調査することで、支援ツール開発に残された課題について整理を行った。

情報検索の効率化においては、授業支援に分類される自己学習での利用を想定して、学習課題に対する関連情報の収集の最適化に関する従来研究の調査をしたところ、一般的な WEB サイトに対する自然語検索だけでなく、自己学習に必要な事典的な知識を収集するための検索アルゴリズムの開発や、ユーザーの検索行動の類型化、キーワードの関連付けといった研究が多く行われていることが分かった。また、大学・大学院における自己学習において有効と考えられる学術論文に特化した検索エンジンの構築なども行われている。

しかし、これらの研究の多くは、データベースの中から関連する情報を効率よく集めるための手法の開発に主眼をおいたものであり、集められた情報の中から、ユーザーが本当に求めている情報であるかの判定をすることによる、精度よく情報を絞り込むための研究は、あまり行われていないということが分かった。

これに対して本研究では、効率化と精度向上を両立することを目的とした検索アルゴリズムの開発を行うこととし、詳細については第 3 章で述べる。

表1-2 情報検索の効率化に関する従来研究

年度	研究題名	研究者	概要
2002	World Wide Web を用いた事典知識情報の抽出と組織化	藤井敦, 石川徹也 (図書館情報大)	複数の用語説明を分野や語義に基づいて分類することで組織化し、情報の質を高め、より効率的な知識情報の抽出を行っている。
2011	National study of information seeking behavior of academic researchers in the United States	Niu, Xi, Hemminger, Bradley M., Lown	アメリカにおける研究者の情報探索行動を把握し、効率的に検索するための高速化アルゴリズムの開発を行っている。
2012	学術論文に特化した検索エンジンの構築と評価	石田栄美 (九州大学)	学術論文への直接的なアクセスを保証することで検索精度を向上させ、学術論文に特化した検索エンジン「アレセイア」の構築と評価を行っている。
2012	ユーザの検索意図を反映するキーワードマップと情報収集エージェントの連携による探索的情報検索	梶並知記, 高間康史 (首都大学東京)	ユーザの検索意図を踏まえたキーワードマップとキーワード間の関連付けを統合したシステムの構築をしている。

遠隔講義のための配信技術では、前述の大学設置基準の答申における対面講義と同等の教育効果を有することへの対応が大きな課題となっている。そのための技術開発として、対面講義と同等の情報量をどのように伝送するかということが研究の中心となっている。

既存のネットワークインフラであるインターネット回線を利用するものだけでは不十分であり、大容量のデータ伝送が可能な衛星回線・光回線での遠隔講義やそれに利用するための高帯域での動画圧縮手法の開発が行われている。

また、対面講義との大きな差異となっている、教授者と学習者のコミュニケーションに対しては、従来は講義後にメールなどにより質問し補完するという形が多く取られていた。これは、前述の同等の情報量を伝送するという問題に加えて、それをリアルタイムに行うことが困難であったからである。しかし、こういった手段では、学習者同士で質問内容を共有することが困難であり、対面講義と同等とならない原因の1つとして考えられてきた。これに対する支援ツールとして、掲示板やチャットなどにより学習者同士もコミュニケーションが図れるツールが開発されてきた。さらに、近年ではコミュニケーション性を高めるために、タイムラグなく教授者と学習者がビデオチャットを行うためのリアルタイム圧縮技術の研究が進められている。

このように遠隔講義のための配信技術は、対面講義の教育効果に近づくための研究が中心となっているのに対して、前述したようにそれを行うためのネットワークインフラの整備は不十分な状態であり、これらの技術を全ての地域に対してすぐに適用することは困難であるといえる。

この状況に対応するために本研究では、既存のネットワーク環境やそもそもネットワークが未発達な地域においても適用可能な遠隔配信技術の開発を行うこととし、詳細については第4章で述べる。

表1-3 遠隔講義のための配信技術に関する従来研究

年度	研究題名	研究者	概要
2002	国際衛星網・インターネットと光通信網による国際公開遠隔講義	前迫孝憲(大阪大学)	アフガニスタン・大阪大学間双方向衛星遠隔講義のNIMEワールドによる衛星回線と光通信回線を併用した高速ネットワークによる遠隔講義の実証を行った。
2007	マルチメディア情報通信における大学間遠隔講義	岸田崇志(広島市大学)	多様なネットワーク環境下における大学間遠隔講義において、必要なネットワークインフラの比較を行っている。
2009	多地点高解像度遠隔講義システムと自動制御システムの構築	櫻田武嗣(東京農工大学)	国内の18大学23拠点を光回線で接続し、HD画質を保証した高解像度映像、高品質な音声で結びさらに利用者の負担を減らす制御システムの構築を行っている。
2010	遠隔講義における双方向コミュニケーションについての課題とその解決に向けて	後藤正義(東京都市大学) 中澤真(会津大学)	大学間遠隔講義における教授者と学習者の双方向コミュニケーション手法について学習効果の視点から課題整理と解決方法を提示した。

授業支援のためのVR技術の活用は、数値シミュレーションの可視化への適用は古くから行われており、視覚表現による疑似体験への適用では、医療分野など特定の分野を対象にしたものが先行的に行われている。これは、遠隔医療など教育だけでなく実業の中での需要があったということが原因で考えられ、医療分野は他の教育分野に比べて資金が豊富であり、大規模なシステムの構築が容易であったという要因も考えられる。こういった先行事例を含めて、VR技術の教育への利用は、大規模なスクリーンを用いたシステムの構築の研究のように、視覚表現のみに特化した研究が中心として行われてきた。

本研究では、従来の視覚表現に加えて、聴覚や触覚への刺激を行うことで、さまざま体感効果を再現することで、より高い教育効果を得るための授業支援ツールの開発を行うことを目的として、体感型安全教育支援システムの開発を行うこととし、詳細については第5章で述べる。

表1-4 授業支援のためのVR技術に関する従来研究

年度	研究題名	研究者	概要
1997	The application of virtual reality to chemical engineering education	BELL J T, FOGLE H S (Univ. Michigan.), Simul Ser	工学教育に対するVR技術の導入可能性についてVR構築モジュールの開発を行い触媒劣化, 非等温反応条件, 化学プラント災害分析の数値シミュレーション等への適用を行っている。
2009	医学教育システムとVR技術	木島竜吾(岐阜大)	医学教育分野におけるVR技術のニーズと必要技術について調査し、物体指向のバーチャルリアリティにより人間の知覚や感覚をVRにより体感させている。
2010	学校教育にVR技術を導入するための設計	瀬戸崎典夫(九州大学), 森田裕介(長崎大)	大規模な没入型スクリーン装置を利用したVR提示装置の設計と導入指針を示し、装置の有効性について実証した。
2011	遠隔学習での利用を前提としたVRと実写映像の合成条件に関する考察	藤木卓(長崎大)	VR技術を用いて製作された教材に対して実写映像と合成し、リアリティを高めることでの教育効果の向上を検証した。

1.2 環境分野への活用方法の検討

本研究では、環境分野における教育へのICT利用教育の活用と展開を目的としている。具体的な検討として、早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科における事例をもとに検討する。

環境エネルギー研究科では、教育研究にあたっての研究コンセプトとして以下の5つを挙げている。

- (1)「学問領域統合型アプローチ」による対応
- (2)「4つの市民の共創」による展開
- (3)「現場・現物・現実主義」での実践
- (4)「大学の主体性・自律性」を堅持した社会との協働
- (5)「社会のための技術・手法」の開発・提案・実践

これらを実現するためにICT利用教育の適用の可能性としては、「学問領域統合型アプローチ」および「現場・現物・現実主義」が考えられる。

前述のように、環境分野の教育は非常に広範囲であり「学問領域統合型アプローチ」がこれにあたる。下図に示すのでは早稲田大学における環境分野における研究をマッピングしたものである。分野としては、自然・生態系から化学、エネルギー、リサイクルまで広範囲であり、研究フェーズとしても技術開発から社会実装まで全てのフェーズにわたって行われている。このような広範な学問領域を横断的に情報収集・検索する場面においてICT技術の適用が可能である。

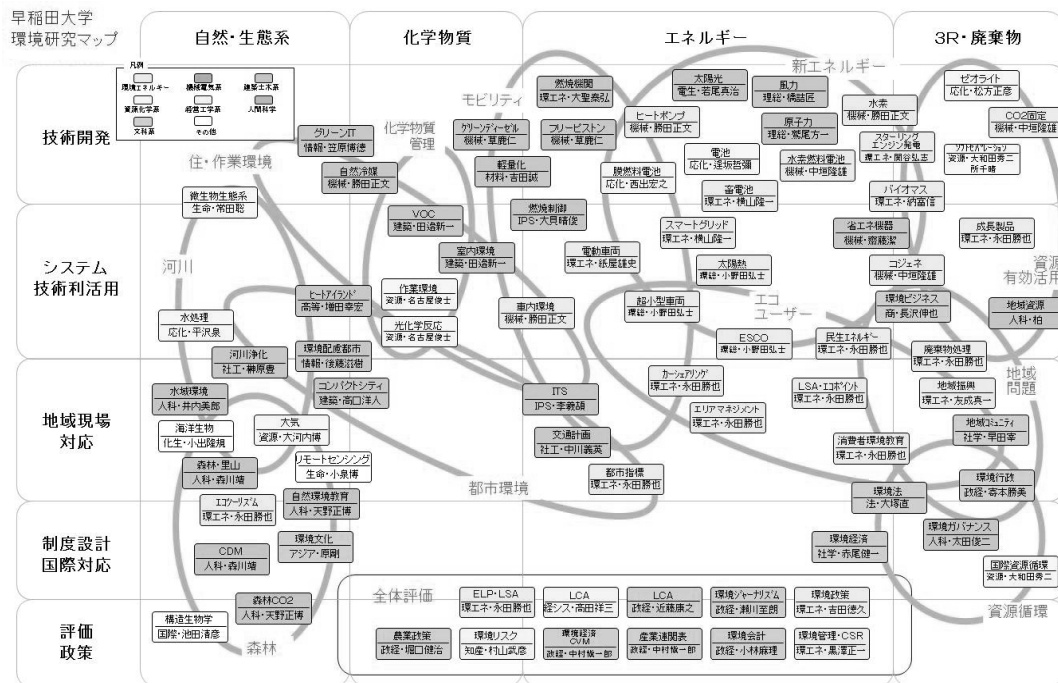


図1-7 早稲田大学における環境分野の研究マップ

また、「現場・現物・現実主義」での実践では、実社会における問題点の把握を行うために、実際の現場に赴き調査・体験を行うことが必要となってくる。

しかし、地理的・時間的な要因からそれらを行うことが困難である場合において、ICT 技術を利用した遠隔配信技術の活用による遠隔講義や VR を利用して疑似体験ができる授業支援手法の活用することで、実際にその場に行かなくても同等の教育を受けることが可能である。

さらに、各開発項目における環境分野の教育への適用については、3章から5章までの各章の中で詳述することとする。

1.3 本研究の目的

これらの背景に対して本研究では、従来の「代替」や「補完」を目的とした ICT 利用の導入促進だけではなく、ICT 利用した新たな教育支援ツールを開発することで、より高い教育効果を得るための ICT 利用教育を行うことを目的とする。

具体的には、従来研究の整理の中で示した、「情報検索の効率化」、「遠隔講義のための配信技術」、「VR 技術による授業支援」の 3 つの課題に対して、「自己学習における効率的な情報検索アルゴリズムの開発」、「多様なネットワーク環境に対応した遠隔講義手法の開発」、「VR を用いた体感教育による授業支援手法の開発」を行うことで、より効果的な ICT 利用教育の提案を行う。

これにより、従来の ICT 利用教育における課題の克服に対する方向性を示し、物理的な距離を埋めるだけの対面講義の代替としての遠隔講義や従来の授業の補完として ICT 利用をするだけでなく、ICT 利用をすることで付加要素とし、より高い教育効果を得ることを目指す。

また、これらの成果を蓄積し、さらに ICT 利用教育データベースを活用することで教育コンテンツの高度化を行う。この結果、教育効果の改善や教育サービスの向上としての ICT 利用教育の普及だけでなく、次世代の教育モデルの提案を行うことを目的とする。

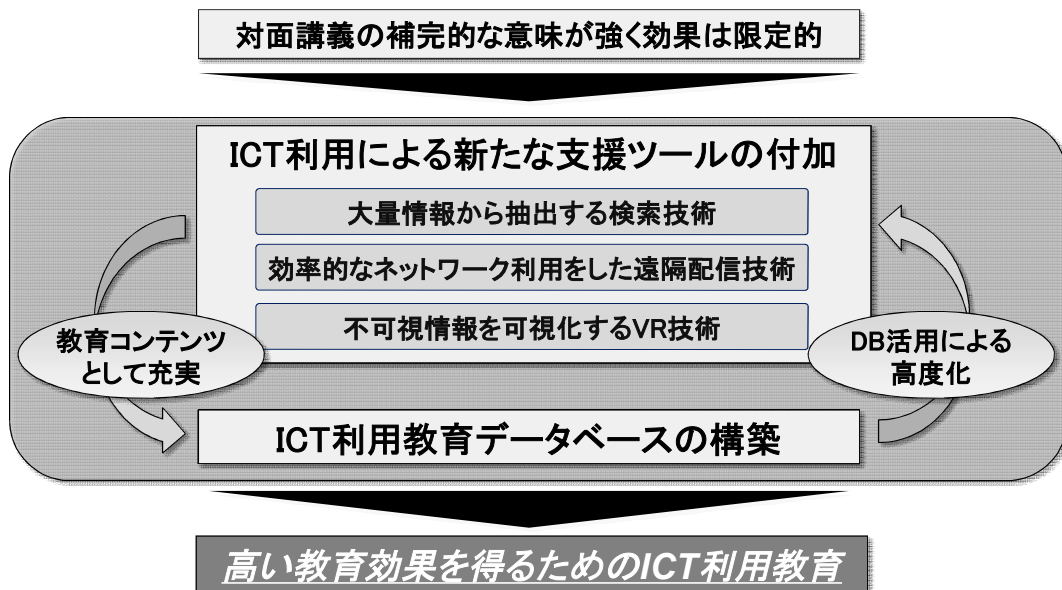


図1-8 本研究の目的

1.4 本論文の構成

序論となる本章では、大学におけるICT利用教育の現状を分析して、ICT利用教育の分類を行った。

第2章では、ICT利用教育データベースの構築とその活用方法の提案を行う。

ICT利用教育の事例集は、独立行政法人メディア教育センターらにより、収集・公表されてきたが、実施者や講義概要を文章としてまとめたもので、収集された情報活用することを目的としたデータベース化はなされていなかった。

そこで、本研究では、ICT利用教育の事例を体系化するために「講義概要」「実施対象」「利用ツール」の3つの項目に対して、43個の属性を持たせることで整理し、ICT利用教育データベースの構築を行うこととした。これにより、再利用を行うとした際に、必要となる情報を効率的に検索できるようになり、ICT利用教育の普及に寄与すると考えられる。

また同時に、ICT利用教育に用いられている機器およびソフトウェア、遠隔講義に用いられているネットワークインフラおよび双方向性確保の手法について分析することで、今後のICTによる教育支援ツールの開発に関する課題の整理を行い、第3章以降でこれらの課題を踏まえた検討・開発を行う。

第3章では、自己学習時に利用される情報検索において有効な情報検索アルゴリズムの開発を行う。

インターネット上の情報は膨大である。その中から自分に必要情報を探すためには、検索ポータルサイトなどを用いた情報検索が一般的である。しかし、年々増加する情報量に対して、検索に必要なキーワード数も増加しており、効率的なキーワード選択を行う必要性が高まってきている。またGoogleなどを用いた情報検索は、より多くの情報を収集するために自然語を中心としたアルゴリズムにより構築されているために、大学教育などの場面で必要とされる、専門用語を中心とした検索には適していなかった。

そこで、専門用語を中心として、事典的に情報検索を行うことができるアルゴリズムを開発して、自己学習時の情報検索の効率化を図る。まず、検索対象およびキーワードに対してSuffix Tree Clustering Algorithmを適用することによる全文検索をすることで、検索精度の向上を行った。次に、この検索結果に対して、関連のキーワードを用いたベイジアン予測を適用することで、キーワード絞り込みを行い、さらにキーワードの有無を事前選別するランダム選択アルゴリズムを導入することで、検索速度の効率化を行った情報検索アルゴリズムの開発を行う。

さらに、このアルゴリズムを用いて、大学教育および研究時への適用を行うことで、その効果の検証を行う。

第4章では、多様なネットワーク環境に対応した遠隔講義手法の開発するための動画圧縮手法の開発とデータ伝送方法の検討を行う。

現在の遠隔講義に用いられている動画は、低圧縮・高精細のものが主流となっているが、国内のブロードバンド普及率は未だ 60%程度であり、過疎地や離島といったネットワーク未発達地域から配信には適応していなかった。

そこで、低・中帯域でも比較的画質が良く伝送のできる動画圧縮として、XVD 形式および On2VP6 形式を用いた動画圧縮アルゴリズムの開発を行う。また、ネットワークインフラが整っていない地域内でのデータ伝送手法として、無線 LAN を用いたデータ伝送を行う際の最適アンテナ配置の検討、PoE 電力搬送による有線 LAN ネットワークの検討を行う。

さらにこの成果を用いて、瀬戸内海の離島である香川県豊島からの遠隔講義の実証試験を行い、システムの有効性の確認をする。

第 5 章では、大学での実習・実験での安全教育を例に、VR を用いた体感教育による授業支援手法の開発を行う。

大学での安全教育は、マニュアルやウェブサイトの整備といった情報配信や講習会による座学での教育などが中心であり、教育効果の高い実地での体感型教育は時間・場所の制約が大きいために頻繁に行うことは困難であった。また、VR を用いた教育手法は、ICT を用いた教育の中でも、今後有望な技術として注目を集めており、これらを組み合わせた VR を用いた体感型安全教育支援システムの開発を行う。

従来の VR を用いた教育では、対象となる事例ごとにコンテンツおよびシナリオの開発を行う必要があり、非常に高コストであった。これに対して、本研究で開発した体感型安全教育支援システムでは、ベースとなる VR プラットフォームを中心に既存の機器を組み合わせ、映像や音声による視覚、聴覚からの情報に加えて、熱や振動といった触覚による情報を再現することとした。さらに XML によるシナリオマネージャーを導入することで、比較的安価なシステム構成とする。

また、実証試験を通じたアンケート調査および心拍数を用いた定量評価を行うことで、体感効果および操作性の課題を抽出し、より高い体感効果を得るための機能改善を行う。

第 6 章では、本論文のまとめとして、本研究で得られた成果を要約するとともに、今後の ICT 利用教育の普及方策について検討と次世代の ICT 利用教育のモデルの提案を行う。

ICT 利用教育データベースを活用することで、さらに教育現場に求められる課題を抽出して、それに対する教育支援ツールの開発を行う。

具体的には、ユーザープロファイルを利用した自動検索、次世代電力搬送を利用した遠隔制御や没入型 VR システムによる拡張現実といった技術の提案をするとともに本研究では開発した、教育支援ツールとともに大学講義への適用についての手案をすることで次世代の ICT 利用教育モデルの提案を行う。

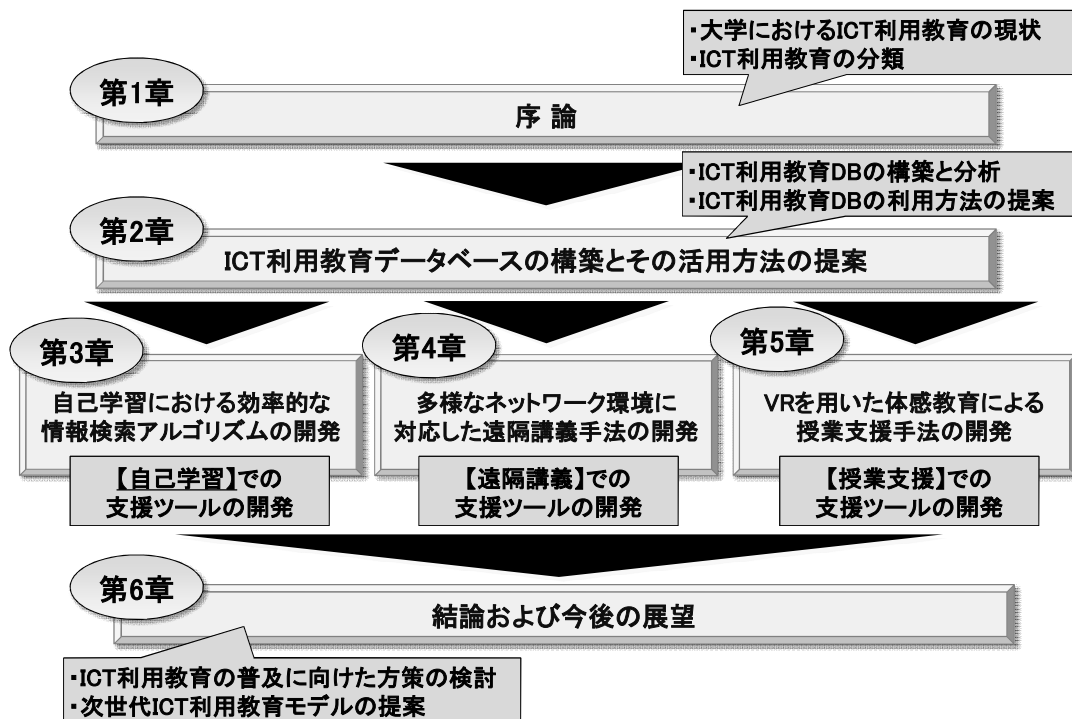


図1-9 本論文の全体構成

第2章

ICT 利用教育データベースの構築と その活用方法の提案

第2章 ICT 利用教育データベースの構築とその活用方法の提案

2.1 ICT 利用教育データベースの構築の目的

本章では、年々増加しているICT利用教育の取り組み事例の体系的な再整理を行い、他の教授者が事例を参考に活用する際に必要となる、ICT 教育支援ツールの情報を有効に抽出するこのできるデータベースを構築し、その活用方法を提案することを目的とする。

従来のICT利用教育の実施事例は、文部科学省の所管となる独立行政法人メディア教育センターにより行われてきた。2009年の独立行政法人整理合理化計画により同法人は解散し、放送大学ICT活用・遠隔教育センターに引き継がれ継続的に行われている。しかし、ここで収集されている事例は、フォーマットが定められたデータベースの形式をとっておらず、大学ごとに取りまとめられた事例を報告書的に羅列するのみで、再利用することが困難であった。



図2-1 ICT 利用教育収集事例

上図に示されるような事例集において、「実施者」「年度」「システム概要」「講義内容」などを文章中から読み解くことはできたが、収集され蓄積された情報より、新たな教授者が事例を参考に新たな教育コンテンツとする際に必要となる技術・ツールなどを類推することは困難であった。

また、フォーマットが確立されていないことにより、収集されている情報にも差異が大きく、そもそも項目が欠損しているために必要な情報が文章中に存在しないという

ことも考えられる。

その結果、蓄積された事例集は年度を追うごとに陳腐化し、蓄積されたデータの活用が進まないことから ICT 利用教育の導入促進に寄与することはなかった。

2.2 ICT 利用教育データベースの構築の提案

こういった現状を踏まえて、蓄積されたデータを有効に活用できるように配慮した ICT 利用教育データベースの構築の提案を行う。

2.2.1 ICT 利用教育事例の収集

まず、従来からの ICT 利用教育事例の収集を行った。

収集の対象としたのは、前述の独立行政法人メディア教育センターの 2005 年度から 2008 年度の事例と放送大学 ICT 活用・遠隔教育センターの 2009 年度から 2010 年度を合わせた 363 事例に加えて、遠隔教育センターなどの専門組織が設置されている大学・大学院での 111 事例の合計 474 事例を対象とした。

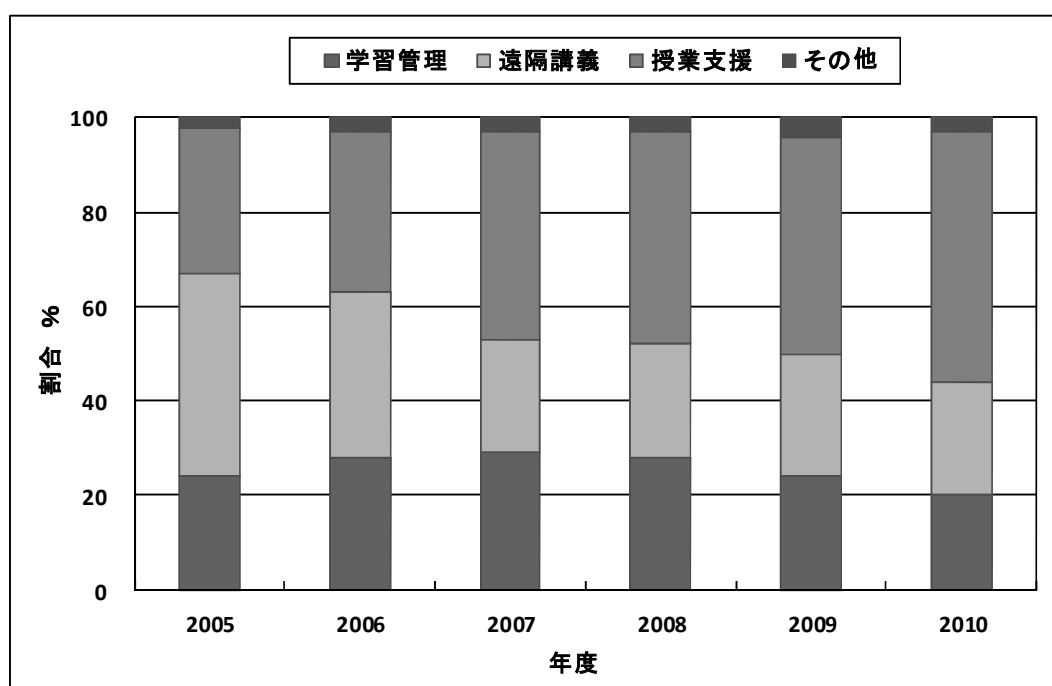


図2-2 ICT 利用教育の実施事例

上図に示すのは事例収集の結果を、第1章で示した分類と同様に集計を行ったものである。従来のメディア教育センターと放送大学における事例のみを収集した場合に比べ、授業支援の割合が増加しているという傾向は同様であるが、その傾向はより強く見られ、2010 年度においては、全体の 51%が授業支援に含まれることが分かった。

また、「その他」の項目に関して、具体的な内容を調査したところ、必ずしも学生教育を対象としない企業との共同研究などにおいて、シミュレータなどの装置を利用するといった事例や専用のソフトウェアを利用した分析・解析を行うといった事例であった。

これは従来の事例においては、大学から報告がある教育の事例のみを対象としていたことから省かれていたものが、改めて抽出できた結果である。

2. 2. 2 ICT 利用教育データベースの構築

ここで収集された 474 件の事例を対象として、ICT 利用教育データベースの構築を行うこととした。

従来の事例集に対して、本研究で提案する ICT 利用教育データベースでは ICT 利用の事例を体系化するために(1)講義概要、(2)実施対象、(3)利用ツールの3つの項目に対して、43 個の属性を持たせることで整理した。

また、それぞれの項目、属性において選択項目だけでなく、より詳細な機器、ソフトの情報を登録するために入力項目を設置することで、活用時の利便性の向上を図っている。

(1) 講義概要

講義概要においては、従来の事例集の中からも読み取ることができる実施者、科目、講義内容についての項目に加えて、実施期間において、開始年と終了年を属性として付与することで、過去の取り組みか、現在も行われている取り組みかを識別することとした。さらに、分類の項目では1章で行った ICT 利用教育の分類に合わせて、授業支援、遠隔講義、学習管理、その他の属性を持たせることとした。このような形で何時、何処で、何を目的してという形で講義概要を整理する。

(2) 実施対象

実施対象においては、ICT 利用教育が提供される実施場所として、通常の対面講義と同様に教室のみで行われるもの、遠隔講義により遠隔地のみに対して行われるもの、それらの両方を対象とするものの項目を設けた。遠隔地への配信においては、対象となる配信人数に対して、1 人または複数の属性を付与し、さらに単方向、双方向の属性による分類を行っている。また、配信に用いられるインフラの属性として、従来型のデジタルメディアの郵送に加えて、ビデオ回線、衛星回線、インターネット回線、3G 回線といったネットワークインフラを用いた配信方法の分類を行う形で実施対象の整理をする。

(3) 利用ツール

利用ツールでは、利用機器の項目においてハードウェアの分類を行い、代表的な ICT 機器の選択を行うこととした。またソフトウェアの分類としても同様に代表的なソフトウェアの選択を行うこととした上で、具体的にソフトウェア名を記入することで利用ツールの整理をする。

これらを踏まえ、ICT 利用教育データベースの項目と属性の全体構成を示す。

実施概要	実施者		選択項目
	科目		
	講義内容		
	実施期間	継続中	開始年
	終了	開始年	
		終了年	
分類	学習管理		
	遠隔講義		
	授業支援		
	その他		
実施対象	対象場所	教室	
		遠隔	
		両方	
	対象人数	複数	双方向
			単方向
		1人	双方向
			単方向
	配信方法	デジタルメディア郵送	
		ビデオ回線	
		衛星回線	
インターネット回線			
3G回線			
その他			
利用ツール	利用機器	PC	
		セットトップボックス	
		電子黒板	
		書画カメラ	
		携帯端末	
		デジタルメディア	
		プロジェクター	
		その他	
	利用ソフト	LMS	
		SNS	
		配信	
		グループウェア	
		シミュレータ	
VR/MR			
その他			

図2-3 ICT 利用教育データベースの構成

それぞれの属性において、選択項目と入力項目を設け、事例集の文章から推測できる講義内容などの情報を入力項目として、さらに選択項目においても利用ツール詳細情報から分類できるものには合わせて入力項目を設定することで、活用時に検索を行うことになる属性から、実際に利用することになる機器やソフトウェアを抽出できる構成としている。

実施概要の項目において、従来の事例集と同様に実施者および講義内容を示すことで、実施されている内容を把握すると共に、従来は実施年だけだったものを、開始年、終了年の属性を加えることで、現在も継続中のものかどうか把握できるようにした。

実施対象、利用ツールにおいては、プルダウン式の選択メニューに加えて、具体的な利用機器、ソフトウェアの情報を入力できる項目を設けて、属性からの検索を容易とするとともに、活用時に必要となる機器、ソフトウェアの情報を同時に取得できるようにしている。

No	実施概要										実施対象									
	実施者	科目	講義内容	実施期間			分類			対象人数	方向	配信方法		利用機器		利用ソフト				
				継続	開始年	終了年	選択	その他	選択			その他	選択	機器名	選択	ソフト名				
1	東北大学	ISTU	1年次学生を対象に、物理学や数学の修学支援授業をコンテンツ化し、大学及び自宅での練習に利用する	継続中	2005		遠隔講義	その他	複数	単方向	インターネット	その他	i-Navi	配信	WebOCM					
2	東京大学	教育環境リテラシープロジェクト	東京大学で開講されている授業科目のカメラ、シラバス、講義ノートや教材などを無償で公開するためのWebサイト	継続中	2005		学習管理		複数	双方向	インターネット			LMS	UT Open Courseware					
3	東京大学	教育環境リテラシープロジェクト	物理、生物、情報科学基礎、統計などの基礎講義のストリーミングビデオアーカイブ	終了	2005	2009	遠隔講義		1人	単方向	ビデオ回線			配信	TODATV					
4	福岡技術科学大学	安全設計eラーニング	安全工学に特化した、「安全と人間工学」「安全制御基礎」「機械設計における安全」「システム安全基礎」「産業安全」が中心で、発注管理の一環として「情報セキュリティ管理論」10コンテンツをeラーニングで作成	終了	2005	2007	授業支援		複数	単方向		PC	ノートPC	シミュレーター	Suseak					
5	信州大学	豊かな学びの実現	全学生と全教員をすべてデータベースに登録したe-Learning基盤システムを稼働させ、e-Learningを活用した教育が全学で展開できる環境整備	継続中	2005		学習管理		複数	双方向	インターネット		PC	ノートPC	LMS	eSAFE				
6	名古屋大学	宗教と人類文化	全学授業科目の「宗教と人類文化」及びキャリア形成論を収録し、理解度をより高めるための教材開発	終了	2005	2005	授業支援		複数	双方向		PC	ノートPC							
7	熊本大学	情報エネルギー科学の深化と応用	熊本大学eラーニング連携セミナーによるeラーニングに関する世界的権威の講演、インストラクショナルデザインを専門とする教員を中核とする教材作成のサポート体制の充実等と、大学をあげてeラーニング導入を活用した教育	終了	2005	2008	遠隔講義		複数	双方向	インターネット		PC	ノートPC	配信	SGSEKI				
8	九州学芸大学	生涯学習全般	担当教員が執筆・指定したテキストを用い、学生はそのテキストに付随していくテキスト履修の科目と、インターネット経由でライブ配信されるスクリーンを収録するスクリーン録画の科目	継続中	2005		遠隔講義		複数	単方向	デジタルメディア放送		プロジェクタ	LMS	DKUL					
9	鳥根大学医学部	行政保健師と看護学生が同伴で行う家庭訪問	鳥根大学方式のOSHORT (Shimane Original Test) のトリプル型自己チェックテストは、実習に必要な知識確認と実習への動機づけに役立っている。モバイル端末は学生の携帯電話機能の活用や、平成10年度よりiPodを学生にもたせている	終了	2007		授業支援		1人	単方向	3G回線		携帯端末	iPOD						
10	名古屋学院大学	経済基礎知識1000題	学習量が多かった学生に対する補講教材として利用したり、必修科目では2次試験の問題	継続中	2007		遠隔講義		1人	単方向	3G回線		携帯端末	携帯電話						
11	大阪大学工学部	情報科学、ハイテクナノローおよび環境工学	安全管理・倫理、応用理工、Environmental ChemistryおよびPolymer Chemistryの4分野については、マニュアルや総説などEnglish for Specific Purposes (ESP)	終了	2008	2011	授業支援		複数	単方向			デジタルメディア	DVD						
12	信州大学	教育基盤システム	信州大学の特質に基づいたLMSの構成として、各学部毎にそれぞれLMSを導入し、複数のLMSにより信州大学全体の教育基盤システムを構成する	継続中	2008		学習管理		複数	単方向				LMS	独自					
13	東京工業大学	コンピュータサイエンス入門	タイの大学と協力して連邦大学院TAIST (Thailand Advanced Institute of Science and Technology) を発足した。現在、自動車工学と組み込み情報システム02コースの修士課程があり、環境工学と生物科学/生体工学のコースの修士課程を開設	継続中	2008		遠隔講義		複数	双方向	衛星回線		セットトップボックス	ANDES	ANDES					
14	江華大学	環境防犯論	ICT利用による環境データの活用を通じた環境教育の取り組み、放射性廃棄物の防災シミュレーションを可視化して教材として利用	継続中	2009		授業支援		複数	双方向			PC	ノートPC	シミュレーター	Suseak				
15	大阪短期大学	環境指画法	LMSを通じて実施事例のデータベースを構築して情報を相互利用する。	継続中	2009		学習管理		複数	双方向	インターネット			LMS	SATT					
16	熊本大学	水性生体工学	スマートフォンなどに専用のアプリをダウンロードすることで江津湖を探索しながら、江津湖をぶらぶら、やカマラで撮影した江津湖周辺の動物標本を採集する「江津湖図鑑」の構築	終了	2009	2010	授業支援		複数	単方向	3G回線			その他	専用アプリ					

図2-4 構築されたICT利用教育データベースの例

2.3 ICT 利用教育データベースの分析

2.3.1 教育支援ツールの利用状況と課題

構築された ICT 利用教育データベースを利用して、教育支援ツールの利用状況と課題についての分析を行った。

ICT 利用教育に用いられる機器について、その利用割合の分析をしたものを以下に示す。

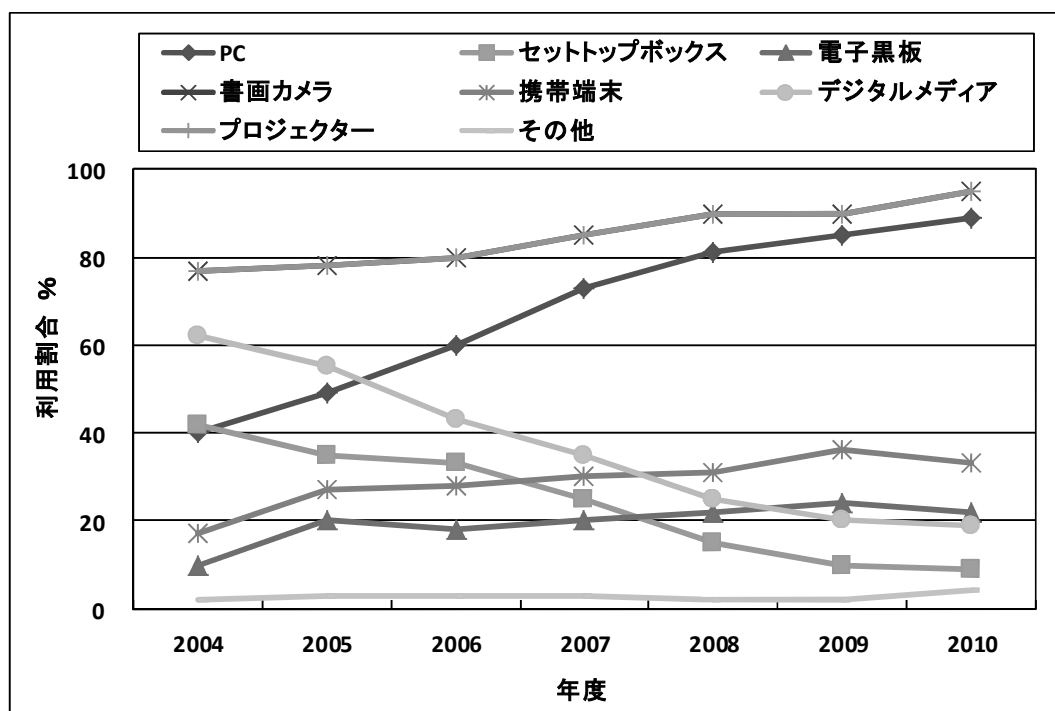


図2-5 ICT 利用機器の利用割合

従来から利用されていた CD-ROM や DVD-ROM に教育コンテンツを記録し、それを再生することで反復学習するデジタルメディアの利用や、語学教育などに利用されていた、テレビ回線を利用して通信を行うセットトップボックスの利用は減少傾向にある。

一方で、Microsoft PowerPoint といったプレゼンテーションソフトを利用して、教室内で講義を行う形式が定着した近年においては、それらを実施するための機器として、PC およびプロジェクターの整備が進んでいる。特に PC については、従来 1 教室 1 台という形での整備が主流であったのに対して、1 学生 1 台という形での整備へと拡大してきており、利用割合の増加に加えて、実際の導入台数は、より増加していると考えられる。

また、電子黒板については、ICT 利用教育における導入機器として例示される機会が多いが、実際には専用機器が必要となることから利用割合は横ばいである。

同様に携帯端末についても、PC と違い表示画面が小さいために、学習者の人数分必要になることから利用が進んでいなかったが、スマートフォンの普及が急速に進んでいる背景の中で、通話機能を削除して、Wi-Fi 機能のみを利用することができる端末を配布するという形で代替ができるようになったために、今後の利用割合が増加することが予想される。

次に、ICT 利用教育に用いられるソフトウェアについて、その利用割合の分析をした結果を以下に示す。

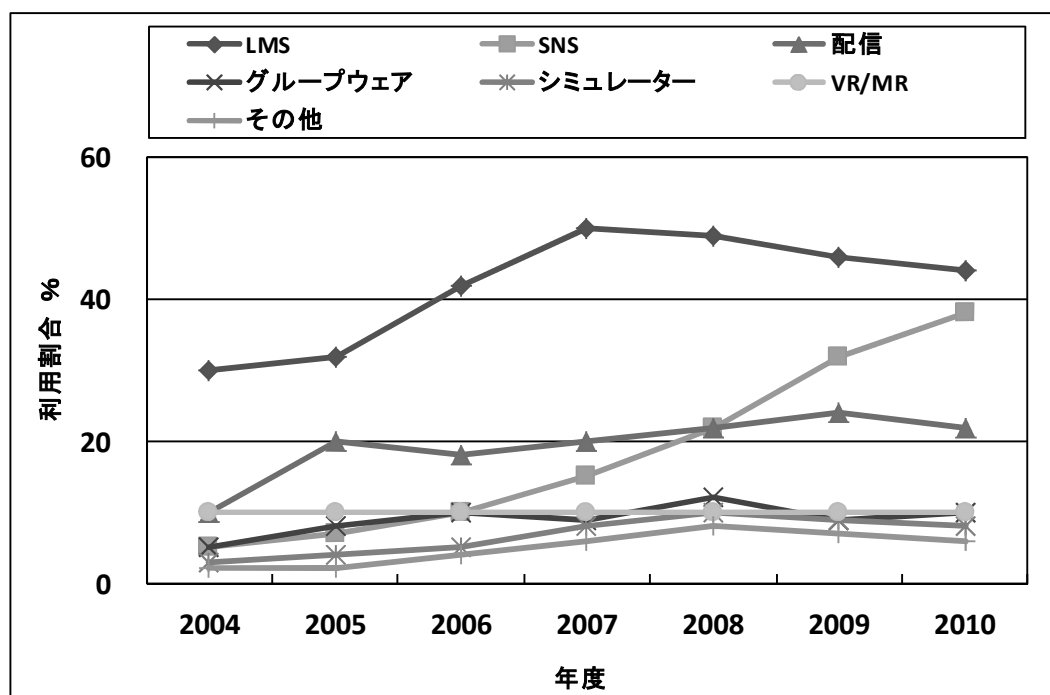


図2-6 ソフトウェアの利用割合

実施事例の分類で示された傾向と同様に、学習管理に利用される LMS や遠隔講義のための配信ソフトウェアは一定数普及しているが、近年はほぼ横ばい、または減少の傾向にあることが分かる。これは、大きな初期投資をすることのできる一定規模以上の大学において、設備を整えることができた結果であると考えられる一方で、それらを有効に活用することができない、設備の維持・更新に新たな投資をすることが困難になった、といった要因により利用を中止してしまった事例があると考えられる。

また、SNS やグループウェアといったウェブサイトを利用することで、教授者と学習者、または学習者同士のコミュニケーションの促進するための授業支援が増加傾向にある。これは、後述する遠隔講義における双方向性の確保とも関係し、教育効果向上の重要な手段として、一方的な講義形式でなく、コミュニケーションを図りながら行う、対話型の講義が重要視されていることを示している。

一方で、対面講義に対して可視化などの付加要素を加えるような、先進的な授業

支援となりえるシミュレータや VR の普及はあまり進んでいないことが分かる。

ICT 利用教育の全般に占める授業支援の割合は大きいですが、それに用いられているソフトウェアを見ると、前述の SNS やグループウェアなど既存のウェブサービスから派生したものは普及しているが、専用のソフトウェアや大規模なハードウェアが必要になるシミュレータや VR は普及が進んでいないという現状となっている。

このことから、今後の ICT 利用教育に求められる技術として、授業支援が重要となることに加えて、教育効果を高めるための技術を、より簡易に行うことができるシステムおよびソフトウェアの開発が求められるといえる。

2.3.2 遠隔講義におけるネットワークインフラの状況と双方向性確保の課題

収集されたデータから、配信対象に注目をして遠隔講義に用いられるネットワークインフラと双方向性確保について分析をした。

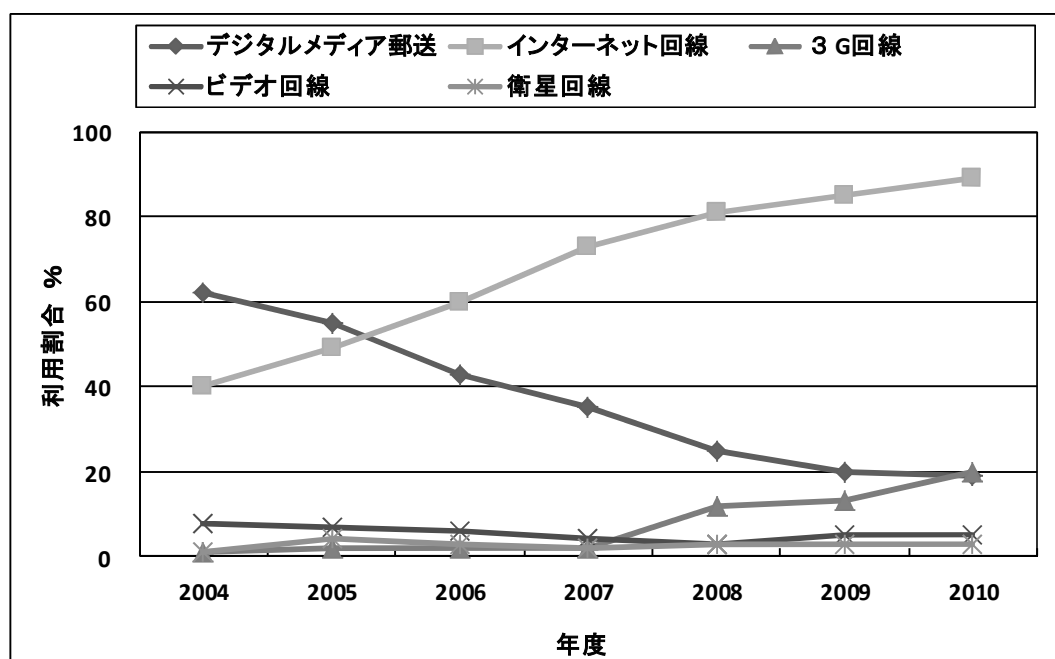


図2-7 ネットワークインフラの割合

遠隔講義の本来の教育学上の定義では、ICT を利用せず課題などを郵送する通信教育も遠隔講義とされているが、本研究では、何かしらの手段で ICT を利用して行う所謂 e-learning をその対象とする。

同様に教育学上の定義においては、e-learning に内包されるものとして、インターネットによる教育として Web-Based Training(以下、WBT とする。)とコンピューターによる教育として Computer-Based Training(以下、CBT とする。)の2つが定義されている。

この両者は、どちらも包含される事例が多いが、セットトップボックスを利用した遠隔講義のように、WBT ではあるが CBT ではないものや VR 技術を利用した授業支援のように、CBT ではあるが WBT ではないといった事例も存在する。下図に、教育工学上の遠隔講義の対象範囲について示す。

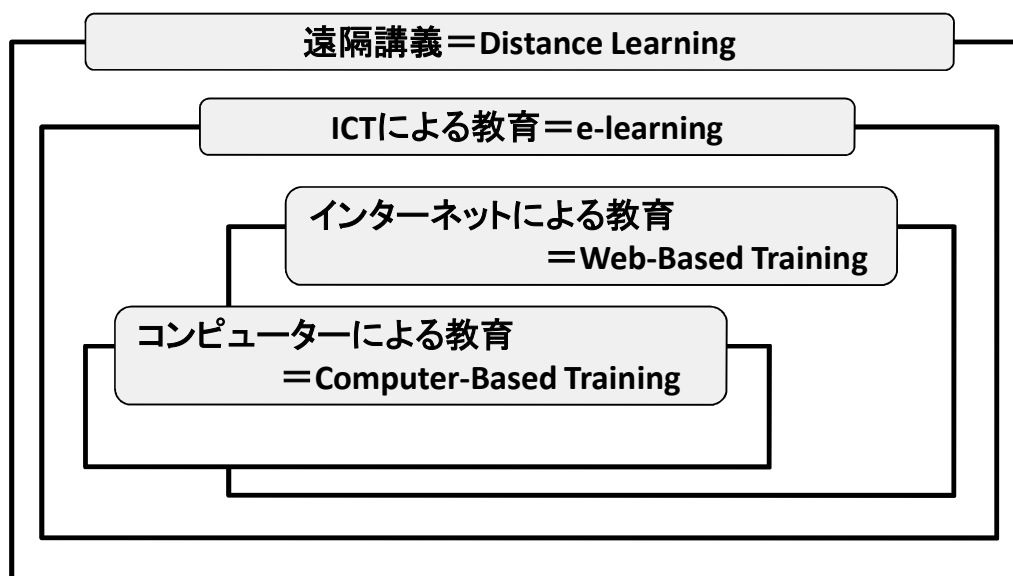


図2-8 教育工学上の遠隔講義の対象範囲

これを踏まえて本研究では、配信方法の分類として(1)デジタルメディア郵送(2)インターネット回線(3)3G回線(4)衛星回線(5)ビデオ回線の5つに分類した。

(1) デジタルメディア郵送

従来から行われていた、印刷媒体による教育コンテンツを郵送する通信教育に代わりに、教育コンテンツをDVD-ROMなどのデジタルメディアに収録することで、情報量を増大させ教育効果の向上を図り、それを物理的に郵送することによって行われるもの。

(2) インターネット回線

テレビ会議方式やストリーミング技術を利用するライブスパイラル方式などにより、インターネット回線を利用して、教室での教授者の講義を配信するもの。オンデマンド配信などの教授者と学習者がリアルタイムにコミュニケーションが取れない非同期型のものも、インターネット回線を利用して配信する場合はこれに分類する。

(3) 3G回線

配信方式はインターネット回線と同様であるが、配信時に利用する回線が携帯電話の通信網である3G回線を利用して配信するもの。配信対象は携帯端末だ

けでなく PC への配信であっても、3G 回線利用するものはこれに分類する。

(4) 衛星回線

専用のパラボラアンテナと通信衛星を利用することで、大容量のデータ配信やネットワークが未整備な途上国などに対して配信するもの。ネットワーク全体ではインターネット回線などと組み合わせ利用されることもあるが、一部でも衛星回線を利用して配信するものはこれに分類する。

(5) ビデオ回線

CATV などの専用回線を利用して、セットトップボックスを介してビデオ配信を行うもの。従来は NTSC によるアナログビデオのみであったが、近年ではデジタルビデオによる高画質な配信もある。

当初はブロードバンドの普及率が低く、有効な画質での配信をすることが困難であったため、インターネット回線より、デジタルメディア郵送の割合が多かったが、ブロードバンドの普及と相関するようにインターネット回線の利用が増加している。

また、近年は 3G 回線を用いた携帯端末への配信も増加しており、スマートフォンの普及や次世代規格である 4G 回線の普及により、今後も増加していくと考えられる。

衛星回線、ビデオ回線による配信は、従来から一定数の導入が行われているが、初期コストや回線の維持が高額であるために普及の拡大はされていない。しかし、遠隔医療などの高精細の画質が必要となるような、限定的な状況での利用は行われている。

しかし、ブロードバンドや 4G 回線は都市部では十分な普及がなされているが、地方都市や特に遠隔講義が必要となる過疎地といった物理的に距離がある地域においては、未だ普及が進んでいない。その結果、教育機会の平等性が失われているという問題点も出ていることから、ネットワークインフラの整備と並行して、こういったネットワーク未発達地域に対応したデータ伝送手法の確立が求められている。

さらに、遠隔講義の配信時の双方向性確保の状況と対象としている人数について、分類を行う。

まず、配信対象を教室形式のように複数で受講するもの、ライブスパイラル方式のように学習者が場所に拠らず 1 人で受講するものの 2 種類に分類した。これに加えて、リアルタイム配信をすることで、教授者と学習者の双方向性を確保し、コミュニケーションを取ることを可能としているか否かの組み合わせにより、(1) 双方向複数、(2) 双方向 1 人、(3) 単方向複数、(4) 単方向 1 人の 4 つに分類をした。

(1) 双方向複数

教授者と学習者をリアルタイムに繋ぐことで両者のコミュニケーション性を確保し、さらに学習者同士のコミュニケーション性を確保するもの。

(2) 双方向 1 人

教授者と学習者を 1 対 1 でリアルタイムに繋ぎ両者のコミュニケーション性を確保するもの。

(3) 単方向複数

学習者が LMS などを利用し個々に受講するが、学習者の時間を同一とすることでチャットシステムなど利用し、学習者同士のコミュニケーション性を確保するもの。

(4) 単方向 1 人

あらかじめ収録された教授内容を任意の時間に学習者が 1 人で視聴し、教授者への質問は電子メールなどで行うもの。

複数、1 人を対象とした配信ともに大学設置基準の答申にも示されているような、双方向性を確保した講義形式が増加しており、コミュニケーション性の確保した重要視されてきていることが分かる。

教授者が一方的に講義を行う際には、データ伝送において欠損がなければ、若干遅延していても問題とならないことが多いが、学習者が質問をして、それに対して回答をするといったような場合には、データ伝送の遅延はコミュニケーション性を失わせる要因となるため、遅延の少ないリアルタイム圧縮技術の開発が重要となる。

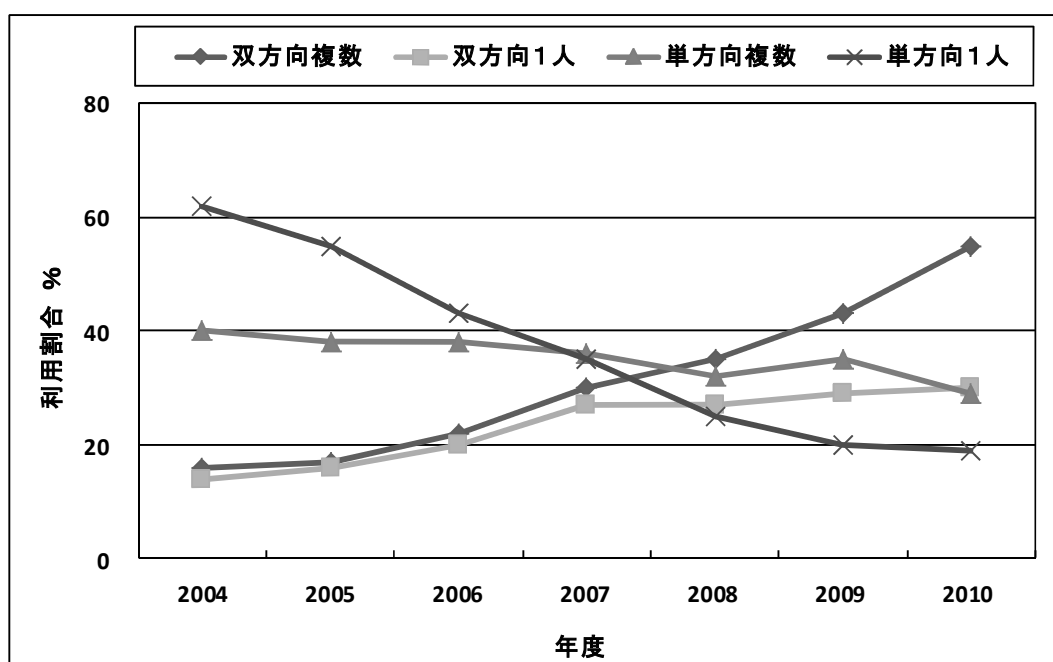


図2-9 双方向性と配信人数の割合

2.4 ICT 利用教育データベースの活用方法の提案

構築された ICT 利用教育データベースの活用方法について提案を行う。

ICT 利用教育データベースは、前述のように蓄積されたデータを活用し、新たな教育コンテンツとして、活用することを目的としている。これは、同種の教育コンテンツが利用される中で、問題点や教授者、教具といったものの問題点がブラッシュアップされることで、教育コンテンツ自体が高度化するという効果を期待しているものである。

活用を促進するためには、教育コンテンツを利用した教授者が、自分の目的と合致した教育コンテンツを容易に検索できる必要がある。また同時に、検索された教育コンテンツの中で、利用される教育支援ツールが的確に明示されることも重要となる。

ICT 利用教育データベースでは、前者に対しては、入力項目の体系化、後者に対しては、項目に対する属性の付与と具体的な利用機器、ソフトウェアの入力項目を設けることで対応している。

下図に示すのは、遠隔講義において双方向複数の配信を行いたい場合の検索範囲を示したものである。

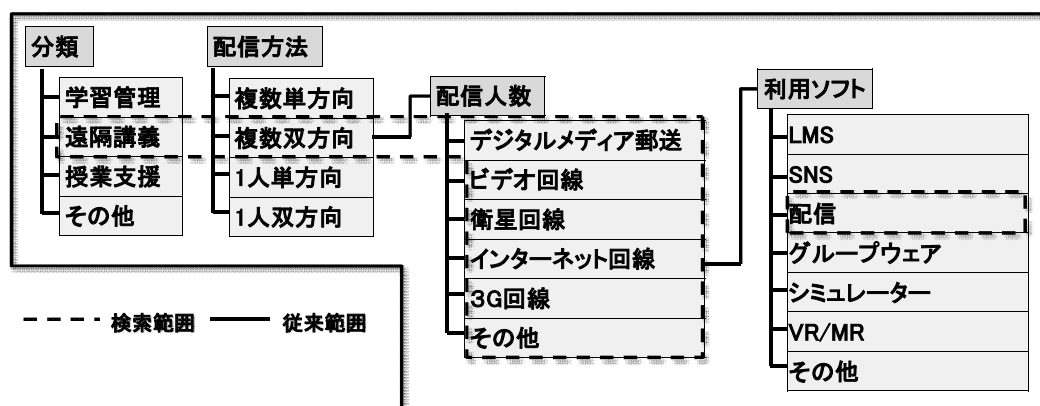


図2-10 ICT 利用教育データベースの検索範囲

従来事例集から検索を行う場合、データが体系化されておらず、全体から関連のキーワードを用いて複数回検索をする必要があった。

これに対して ICT 利用教育データでは、データが体系化され、項目と属性が階層構造に並んでいることから、教授者が不必要としている項目、属性を除いて検索でき、目的としている教育コンテンツに容易に抽出することが可能となっている。

上図の事例であれば、教授者は遠隔講義に関連する情報を抽出したいという目的に対して、従来であれば ICT 利用教育の分類の全てから検索を行わなければならないが、ICT 利用教育データベースでは、不必要となる学習管理や授業支援の項目を検索する必要がなくなる。

また、属性ごとに正規化がなされているため、最下層の属性からでも逆引き検索することができる。同様に今回の事例であれば、遠隔講義に必要なソフトウェア名のみ

を単独で検索することも可能であり、活用する際の機器選定において有効な情報となる。このように、情報の体系化による検索効率を高めることで、コンテンツの活用を容易化することを可能とした。

これを踏まえて、双方向性のある遠隔講義を多人数に対して行いたい、という教授者がいた場合を例に、ICT 利用教育データベースの活用フローを示す。

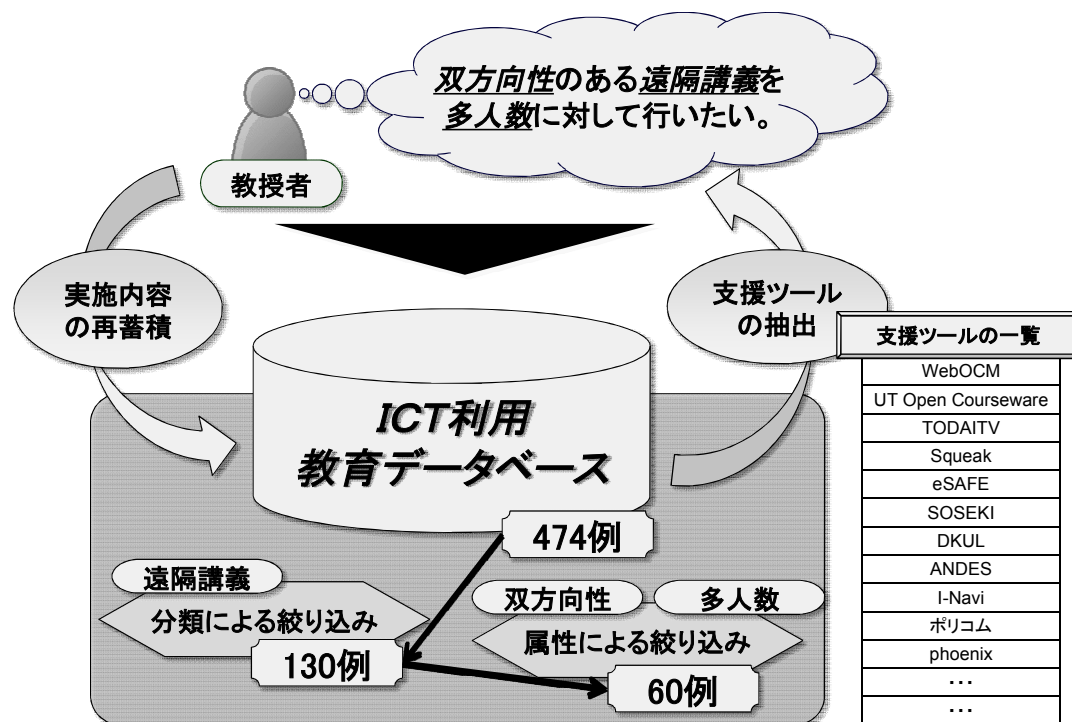


図2-11 ICT 利用教育データベースの利用例

教授者は、ICT 利用教育データベースにおいて、まず分類による絞り込みを行うことで 474 例から 130 例までに絞り込むことができる。さらに属性による絞り込みで 60 件の事例とともに、そこで利用された支援ツールの一覧を抽出して提供する。

教授者はこの一覧より、自身の講義に適用可能な支援ツールを選択して講義を行う。この際に、講義に合わせた問題点の抽出やカスタマイズを行うことで、新たな実施内容として再蓄積し、データベースを充実させることを想定している。

2.5 まとめ

ICT利用教育データベースの構築を行い、その内容を分析することでICT利用教育支援ツール開発の課題を抽出し、活用方法の提案を行った。結論を以下に示す。

- ・従来の網羅的な事例集および遠隔教育センターなどの専門組織が設置されている大学・大学院での事例 474 件の収集を行った結果、授業支援を全体の 51% を占める。
- ・求められる項目と属性の検討を行い、3 項目 43 属性を設け、ICT 利用教育データベースの構築を行った。
- ・ICT 利用教育データベースの分析を行った結果、利用されている機器およびソフトウェアの傾向から、今後の ICT 利用教育には、コミュニケーション性の確保が重要となる。
- ・遠隔講義に用いられる手法の分析を行い、インターネットの配信が 88%、その中で双方向性確保したものが 58%を占め、インターネットによる講義配信や双方向性の確保が求められている。
- ・ICT 利用教育データベースを活用し、利用機器、ソフトや対象者を起点とした逆引き検索を行うことで、教育コンテンツ再利用および高度化を行うためのフローの提示を行った。

第3章

自己学習における効率的な 情報検索アルゴリズムの開発

第3章 自己学習における効率的な情報検索アルゴリズムの開発	3-1
3.1 自己学習における情報検索の効率化の必要性	3-1
3.2 効率化のための最適キーワード数の判定方法の提案	3-5
3.3 効率的な検索アルゴリズムの開発	3-7
3.3.1 Suffix Tree Clustering Algorithm による 検索精度の向上方法の提案	3-7
3.3.2 ベイジアン予測による関連キーワード絞り込みの適用	3-9
3.3.3 ランダム選択アルゴリズムによる検索速度の向上方法の提案	3-10
3.4 大学における講義での検証	3-17
3.5 本研究を題材とした大学における研究での検証	3-21
3.5.1 効率化の検証	3-21
3.5.2 精度向上の検証	3-22
3.6 まとめ	3-24

図3-1 META情報の例（早稲田大学WEBサイト）
図3-2 自己学習の流れ
図3-3 情報検索に利用する方法
図3-4 検索に必要なキーワード数の割合（2003年）
図3-5 検索に必要なキーワード数の割合（2010年）
図3-6 検索クエリ数の割合
図3-7 検索クエリ数と自動抽出回数との相関
図3-8 SUFFIX TREE CLUSTERING ALGORITHMによる全文検索
図3-9 関連用語の抽出事例
図3-10 検索速度の効率化
図3-11 テキスト分析によるマッピング
図3-12 抽出された関連語と非選択率

表3-1 関連語の有無判定サンプルプログラム
表3-2 N=4の場合のステップ数
表3-3 関連語が含まれる場合のステップ数の一般化
表3-4 関連語が含まれる場合のステップ数の一般化
表3-5 全ての場合を踏まえたステップ数の一般化
表3-6 選別機能あり N=4の場合のステップ数
表3-7 選別機能ありのステップ数の一般化
表3-8 対象としたシラバス
表3-9 関連語の抽出結果

表 3-10 検索結果の比較

表 3-11 検索されたキーワードと件数

第3章 自己学習における効率的な情報検索アルゴリズムの開発

3.1 自己学習における情報検索の効率化の必要性

第1章で示したように、インターネット上で流通する情報量であるデータトラフィックは増加している。その中からユーザーは、自らに必要な情報を探すために、Google や Yahoo といった検索ポータルサイトを利用することが多い。

一般的に検索ポータルサイトを利用した検索は、検索ウィンドに対してキーワードを入力することによって行われ、AND 検索や OR 検索などの機能が実装されている。その検索結果は、過去の検索におけるクリック数や被リンク数で定めるページランクやウェブページのソース上の meta 情報などを参考に検索順位が決定される。その結果、実際に内包されている情報より、過去の他の検索ユーザー動向やウェブページ制作者が意図的に組み込んだキーワードなどが優先的に表示される傾向がある。

```
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8" />
<meta http-equiv="Content-Script-Type" content="javascript" />
<meta http-equiv="Content-Style-Type" content="text/css" />
<meta http-equiv="Pragma" content="no-cache" />
<title>早稲田大学</title>
<meta name="keywords" content="早稲田大学, 早大, 大学案内, 学部・大学院等, 研究活動, 国際展開・留学, 図書館・博物館, キャリア・生涯学習, Waseda University" />
<meta name="description" content="早稲田大学のオフィシャルサイトです。大学案内、学部・大学院等の紹介、研究活動、国際展開・留学、図書館・博物館、キャリア・生涯学習の情報など、早稲田大学に関する情報をご覧頂けます。" />
```

図3-1 meta 情報の例(早稲田大学 web サイト)

さらに近年では、Google AdWords などのオンライン広告プログラムが組み込まれたことで、さらに恣意的に検索結果が変更されることになる。この結果、本来のキーワードの関連性からの検索結果と異なり、有効な情報にたどり着くことを困難とさせている。

また、自己学習の一般的な流れに当てはめた場合を考える。まず、学習者は教科書や参考書などによる一次的な学習を行い、さらに不足する情報を文献や論文などによる関連情報の収集で補い、これらを利用して課題・レポートの作成をすることとなる。

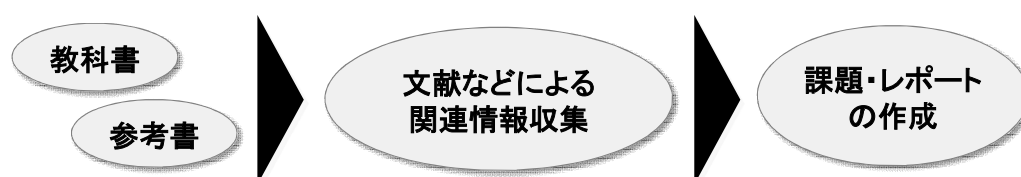


図3-2 自己学習の流れ

この関連情報の収集に際して、情報検索をすることとなるが、従来この場面で利用されるものは、辞書などによる用語検索や図書館などからの紙媒体での関連論文の調査が一般的であった。しかし、近年では Google のような検索ポータルサイトに加え

て、wikipedia のような辞典サイトや Q&A サイトなどが充実してきたことから WEB 媒体を利用するものが増加している。

下図に示すのは、情報検索をする際に利用する方法についてアンケート調査を行ったものである。2003 年では紙媒体での検索が 38%あったのに対して、2011 年では WEB 媒体での検索が 60%まで増加している。

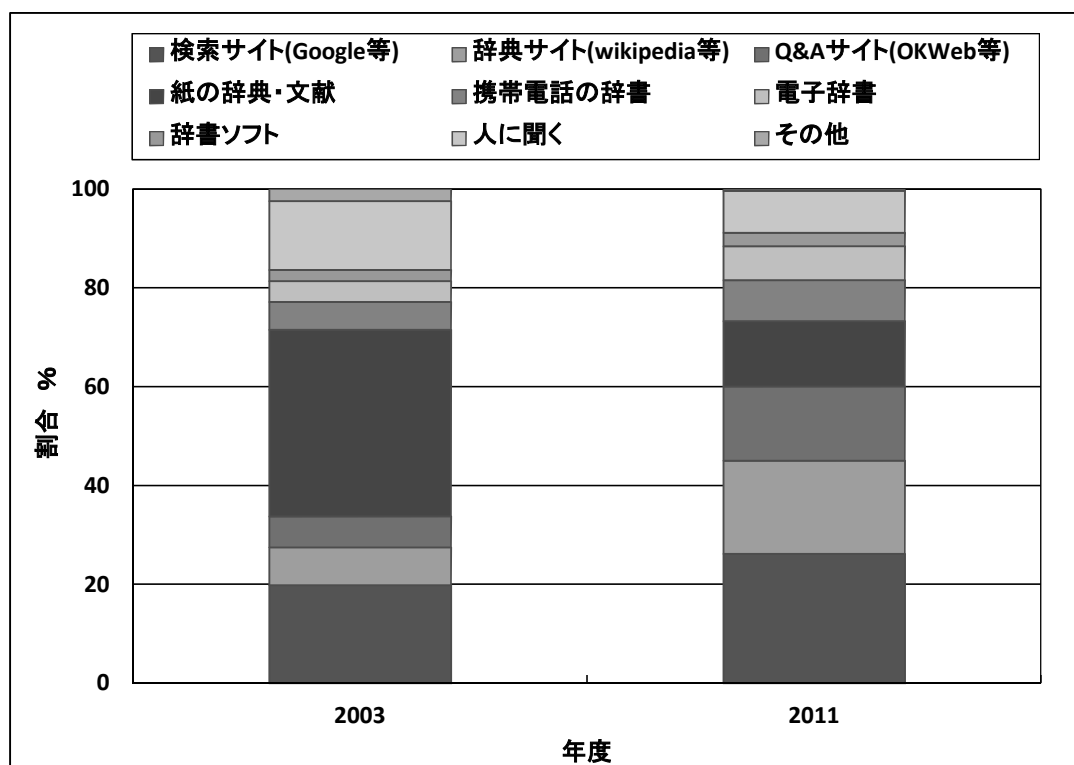


図3-3 情報検索に利用する方法
(DIMSDRIVE『電子辞書』に関するアンケートより)

このような、情報検索の利用は増加する一方で、WEB 上のデータ量も同様に増加しているために、ユーザーが望む必要な情報にたどり着くことが困難となってきている。

Google を利用して検索を行った際に利用されたキーワード数の比較をしたところ、2003 年と 2010 年を比較した場合、1word のみで検索されたものが 29.2%であったものが、15.2%まで減少している。また、平均キーワード数の比較でも 2.47word から 2.79word に増加しており、ユーザーが検索する際に必要となるキーワード数が増加していることが分かる。

この結果からも、検索ポータルサイトを利用して検索をする際には、インターネット上のデータ量が増加するにつれ、有意な情報にたどり着くために、複数のキーワードを用いて検索を行うことが必要不可欠となってきている。

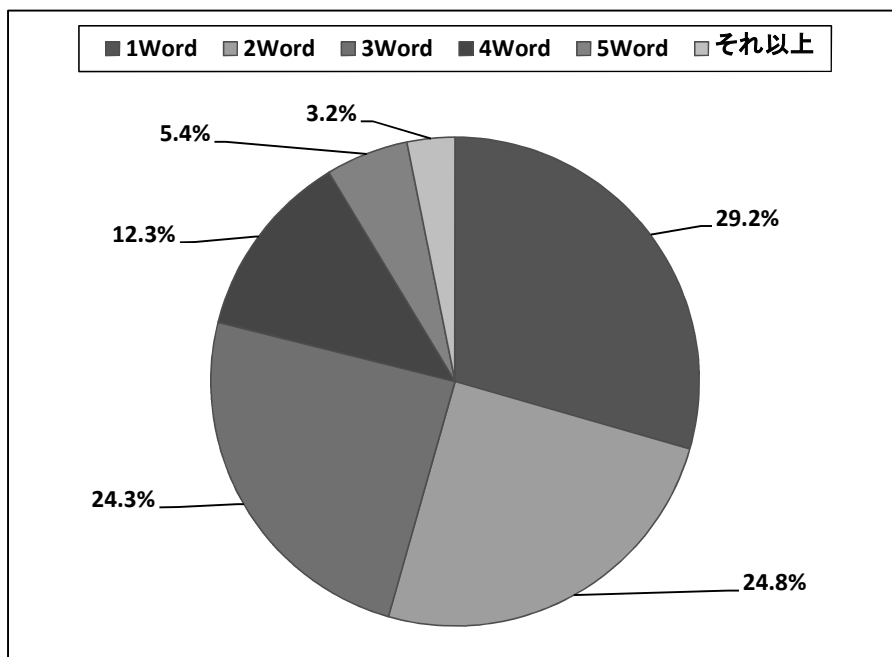


図3-4 検索に必要なキーワード数の割合(2003年)

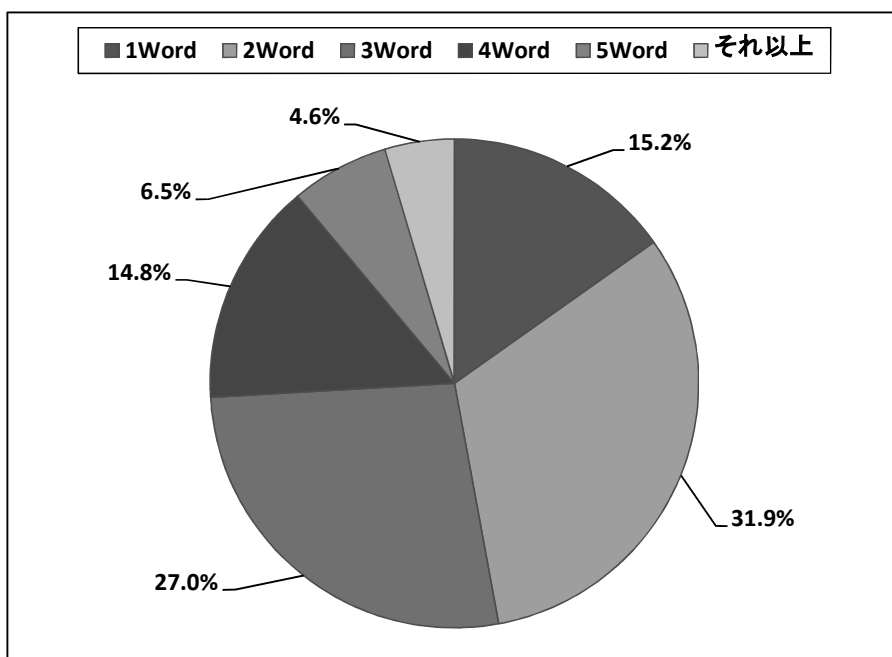


図3-5 検索に必要なキーワード数の割合(2010年)

次に 2010 年のデータを利用して、実際に検索時に必要となるクエリ数について示す。実際に検索を行う際のユーザーの行動としては、有意な情報を得るために、まず少ない word 数で検索をし、網羅的に得られた情報に対して、キーワードを加えること

で情報の絞り込みを行っていくこととなる。つまり1回の検索行動において、最終的な有意な情報にたどり着くために、複数回の検索が行なわれていることになる。

前述の単純なキーワード数の増加を示したものに比べて、さらに少ないキーワード数での検索が占める割合が少なくなり、1word による検索の割合は 5.4%まで減少している。

これを踏まえ本研究では、効率的な検索を行うために 1word 目に用いられるキーワードと関連する、2word 目以降の関連キーワードを自動抽出するためのアルゴリズムと、検索時のクエリ数の削減のための高速化のアルゴリズムを組み合わせた、検索アルゴリズムの開発を行い、その検索精度向上と効率化の検証を行う。

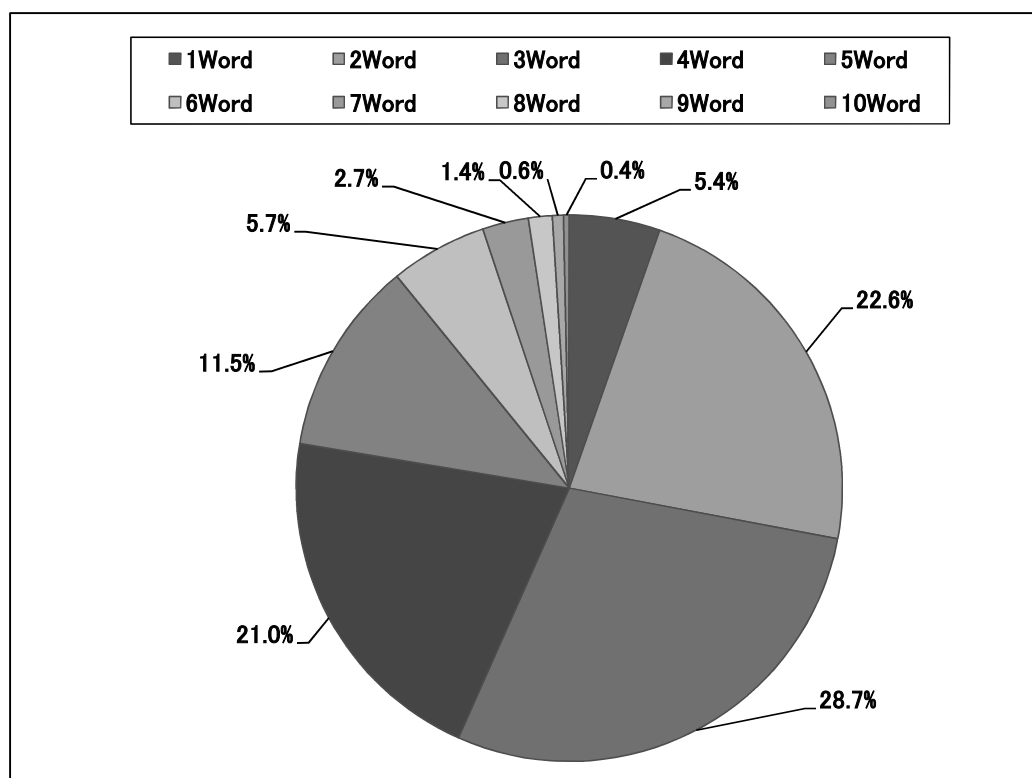


図3-6 検索クエリ数の割合

3.2 効率化のための最適キーワード数の判定方法の提案

情報検索に必要なキーワード数の増加による利便性の低下に対応するための機能として、最初に入力されたキーワードに対して、自動で関連のキーワードを付加するシステムの開発が進められている。

Google などでの自動抽出は、ユーザーの検索履歴になど依存して、関連度の重み付けを行っているため、過去に検索をしたことのあるカテゴリの検索においては効果は大きいですが、新たなカテゴリにおいて検索をした場合には、誤った結果をなることが多い。そこで本研究では、ユーザーの検索履歴に依存せず、データマイニングにより、検索対象文章内の単語同士の関連度を利用して判定することとする。

しかし、自動抽出を繰り返しても必ずしも効率的な結果とならない。これは、自動抽出を行う場合にも、関連のキーワードを抽出するためのアルゴリズムが必要になるからである。そこで前述の検索クエリ数とキーワード数の関連に加えて、自動抽出を行うことで得られる、検索結果の占有率を調査することにより、最も効率的な自動抽出回数を推定する。

以下に 2010 年に google.co.jp 上で「環境」をキーワードとして検索をした 22,940,000 回に対して、検索クエリ数を当てはめ、自動抽出をした場合の占有率の推移を示す。

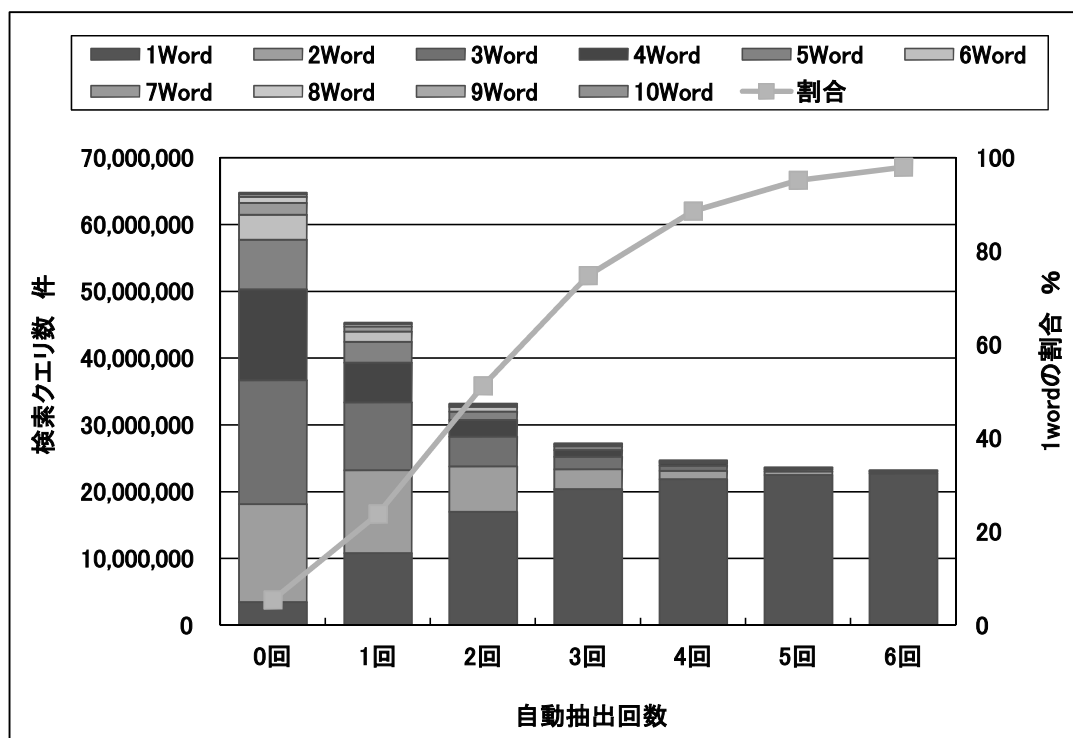


図3-7 検索クエリ数と自動抽出回数の相関

自動抽出をしない場合の検索クエリ数は、64,782,560 回であるのに対し、自動抽出を 6 回することで、検索クエリ数は 23,215,280 回まで削減され、検索総数の 98% を占

めることが分かる。

しかし、占有率の増加割合という視点で見ると、回数を増やすことは必ずしも有効でなく、4 回目以降の自動抽出では、逆に増加率は減少することから、増加率の高い 3 回までが最も効率が良いと考えられる。

このことから、検索精度を重視するならば 6 回、検索効率を重視するならば 3 回までの自動抽出が有効であるといえる。

3.3 効率的な検索アルゴリズムの開発

このような背景を踏まえて、本研究では、大学教育における利用を想定した効率的な検索アルゴリズムの開発を行う。

具体的には、Suffix Tree Clustering Algorithm(以下、STCA とする。)による関連用語の全文検索およびページアン予測による関連キーワード絞り込みによる精度向上を行い、さらに、ランダム選択アルゴリズムの適用による効率化を行う。

3.3.1 Suffix Tree Clustering Algorithm による検索精度の向上方法の提案

従来の Google などのにおける検索で利用されている自然語の検索に対して、教育に用いられる専門用語を中心に検索のできる事典的な検索アルゴリズムを構築するために、検索対象となる文章に対して、STCA による関連用語の全文検索を行う。

以下に、STCA を用いた全文検索の例を示す。

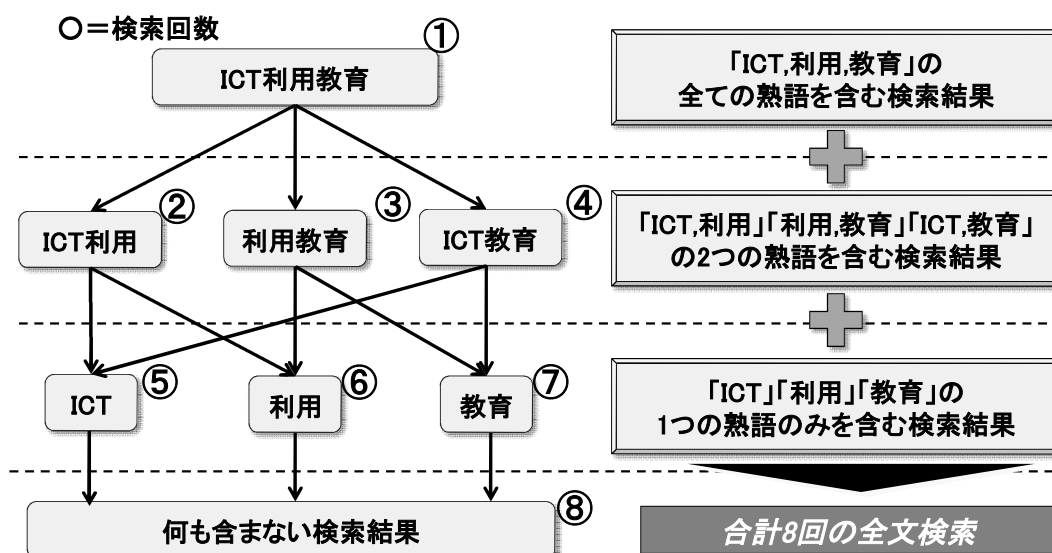


図3-8 Suffix Tree Clustering Algorithm による全文検索

STCA とは文章から文字列を検索する際の手法であり、文字列の末尾に接尾語付与し、完全に一致するものを検索する。一致するものが無い場合は接尾語を前方に一文字繰り上げ一致するものがないかの検索を行い、これを文字列が一文字となるまで繰り返す。これによって得られた検索結果の中で、最も文字列が長いところで一致したものを検索順位の上位として表示する。

本研究ではこれを応用して、検索したキーワードを熟語ごとに分解して、任意の組合せの文字列を生成し、それらが文章中に含まれるかの判定を行うことで、より高い検索精度を得るものである。

上図に示した事例では、従来の検索手法では、最初の検索キーワードである

① ICT 利用教育
 が文章中の含まれるかという判定のみを行っていたのに対して、ICT 利用教育を熟語ごとに分解した、

② ICT 利用
 ③ 利用教育
 ④ ICT 教育

による全文検索を行う。これを最少の熟語の単位まで繰り返し、

⑤ ICT
 ⑥ 利用
 ⑦ 教育

に至るまで全文検索を行うアルゴリズムとなっており、最後に

⑧ 何も含まない検索結果

を加えて検索が終了となる。この結果、関連用語が多く含まれる検索結果を収集することが可能となると考えられる。

以下に STCA を用いた関連用語の抽出事例を示す。

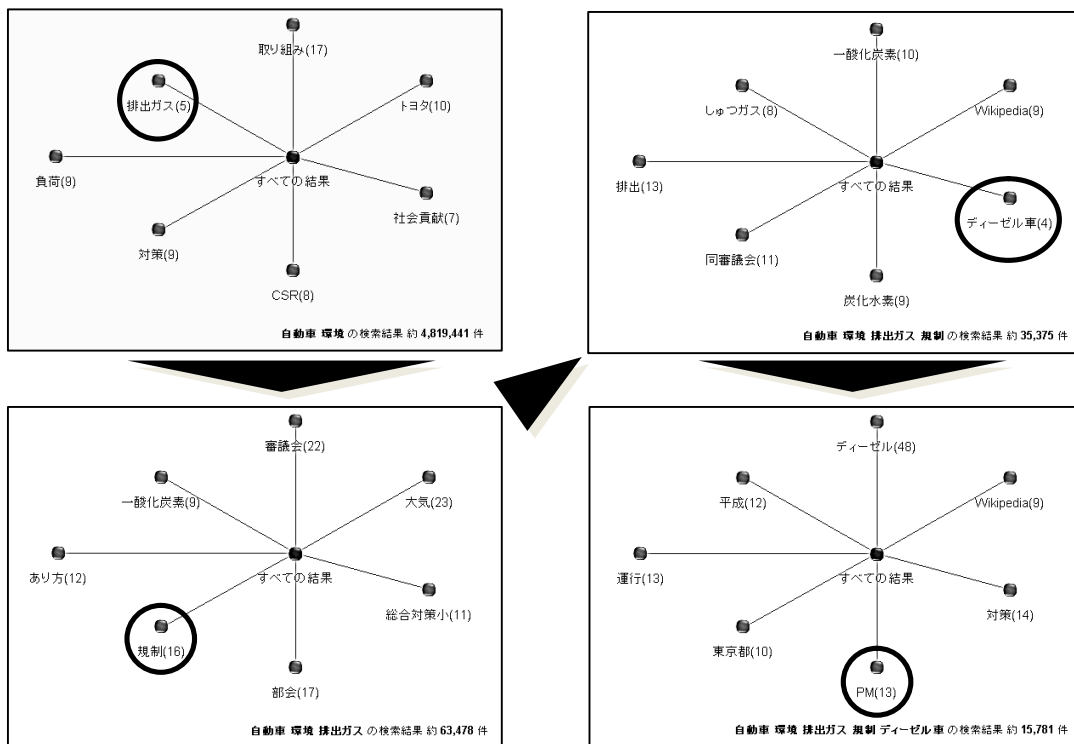


図3-9 関連用語の抽出事例

当初の検索において、「自動車」「環境」に関連するキーワードの検索を行うに際し、関連するキーワードとして、「排出ガス」→「ディーゼル車」→「規制」→「PM」と検索す

ることができた。このように、最初のキーワードから順に、自動で関連するキーワードを抽出することで、精度の高い情報の絞り込みをすることが可能となっている。

3.3.2 ベイジアン予測による関連キーワード絞り込みの適用

抽出された関連キーワードが適切であるかの正誤判定においては、ベイジアン予測による重み付けをすることで補正する。ベイジアン予測とはベイズ定理に基づく条件付けの確率により、未観測要素の推論などに用いられている。身近なところでは、電子メールにおける迷惑メールの判定にも使われている方法であり、情報検索における正誤の判定においては有効な方法である。

ベイズ定理は事前確率および尤度関数をあらかじめ設定した上で、判定結果である事後確率の結果を求めることになる。

そもそもベイズ定理は、全ての事象を正確に分類するためのものではなく、任意の不確実な情報および異なる確率による判定を定式化するための主観確率である。これは、不確実な情報に対して一定の確度で解析することができるという長所がある一方で、判定結果の正確さは、事前確率を求めるための事前分布と、閾値を設定する尤度関数によるところが大きくなるという短所がある。

事前分布については、情報を積み重ねることで正確さを増すことができるが、尤度関数については事前分布からみた情報に対して、判定結果を推測するための尤もらしさ(もつともらしさ)を表す関数を任意に設定することから、より慎重な設定が必要になると考えられる。

これを、本研究で取り扱う情報検索に当てはめるならば、同一のキーワードで検索された結果を事前分布として収集し、そこから選択された結果に合わせて尤度関数を設定することで事前確率とする。これにより、同一のキーワードで検索をしたものに対して、実際にユーザーが想定した検索結果と異なっていた場合、単純な確率密度による判定をするだけでなく、事前確率に尤度によるもつともらしさを加えることで判定することができるために、検索のたびに検索精度の向上に繋がると考えられる。

文章 p に対して、キーワードが含まれる集合 S を求めるための判定式を以下に示す。

$$p(w_i|C) \cdots \cdots \text{式①}$$

検索対象となる文書内の C という文節に対して、
文書内の w 番目に単語 i が存在すると式①とする。

$$p(D|C) = \prod_i p(w_i|C) \cdots \cdots \text{式②}$$

i に対する関連語が C に依存しない新たな文節 D に、
存在する可能性は式②で示すことができる。

$$\ln \frac{p(S|D)}{p(\neg S|D)} = \ln \frac{p(S)}{p(\neg S)} + \sum_i \ln \frac{p(w_i|S)}{p(w_i|\neg S)} \cdots \cdots \text{式③}$$

$$\ln \frac{p(S|D)}{p(-S|D)} > 0 \dots \text{式④}$$

式③および④により、0 以下である場合は関連度がないものと判定する。

このように、キーワードに結び付けられた関連語に重み付けをし、検索精度の向上を行うことが可能となる。

3.3.3 ランダム選択アルゴリズムによる検索速度の向上方法の提案

ここまで、STCA によるキーワードの抽出とベイジアン予測による関連語の重み付けを行ってきた。しかし、STCA では関連語を抽出するために全文検索をし、任意の単語を選び出すという方法であるために、検索精度の向上には貢献するが、一方で、検索時のステップ数が膨大となり、母数が極めて多い一般の WEB 情報からの検索には適していなかった。そこで、検索アルゴリズムの初期段階で関連語が含むものと含まないものを選別することで、総ステップ数を削減し検索速度の向上を行う。

事前に関連語の有無を判定するためのサンプルプログラムとそれぞれの行における処理内容について示す。

表3-1 関連語の有無判定サンプルプログラム

行数	内容
L01	procedure SEARCH (A, n, ***)
L02	k←1
L03	while k<n do
L04	if A[k]=*** then
L05	return
L06	end if
L07	k←k+1
L08	end-while
L09	return
L10	end procedure

(1)L01:procedure SEARCH (A, n, ***)

A という文章の中の n 個の単語の中に「***」という単語が含まれているかを検索する。

(2)L02:k←1

文章の中の k 番目の単語が環境であるかを判定する

(3)L03:while k<n do

検索するk番目の単語が文章の中の単語総数を越えるまでL01-L02をループする。

```
(4)L04:if A[k]=*** then
    L05:return
    L06:end if
```

Aという文章の中にk番目の単語が仮に「***」であった場合検索のループからはずれる。

```
(5)L07:k←k+1
    L08:end-while
    L09:return
    L10:end procedure
```

Aという文章の中にk番目の単語が仮に「***」でなかった場合k+1番目で再検索を行う。

このサンプルプログラムを使用して、n=4の場合のステップ数を計算したものを例示する。

表3-2 n=4の場合のステップ数

行数	内容	ステップ数
L01	procedure SEARCH (A, n, ***)	①
L02	k←1	②
L03	while k<n do	③⑦⑪⑮
L04	if A[k]=*** then	④⑧⑫⑯
L05	return	⑰
L06	end if	
L07	k←k+1	⑤⑨⑬
L08	end-while	⑥⑩⑭
L09	return	
L10	end procedure	⑱

4回の検索を行うことから、L03-L04 および L07-L08 においてループが発生するために、Aの文章の中の4番目の単語が「***」であった場合、18回のステップが必要となることが分かる。

サンプルプログラムにおいて、文章内に関連語が含まれる場合のステップ数を一般化したものを示す。

表3-3 関連語が含まれる場合のステップ数の一般化

行数	内容	実行回数
L01	procedure SEARCH (A, n, ***)	1
L02	k←1	1
L03	while k<n do	M
L04	if A[k]=*** then	M
L05	return	1
L06	end if	0
L07	k←k+1	M-1
L08	end-while	M-1
L09	return	0
L10	end procedure	1
合計		4M+2

この結果から、文章内に関連語が含まれる場合においては、文章 A 中の M 番目の単語が存在する場合、 $4M+2$ 回で検索できることが分かる。次に、文章内に関連語が含まれない場合のステップ数を一般化したものを示す。

表3-4 関連語が含まれる場合のステップ数の一般化

行数	内容	実行回数
L01	procedure SEARCH (A, n, ***)	1
L02	k←1	1
L03	while k<n do	n+1
L04	if A[k]=*** then	n
L05	return	1
L06	end if	0
L07	k←k+1	n
L08	end-while	n
L09	return	0
L10	end procedure	1
合計		4n+5

文章 A において関連語が含まれない場合においては、 $4n+5$ 回のステップを経ることと存在しないことが証明できる。さらに、含まれる場合、含まれない場合のどちらの

場合も踏まえたステップ数の一般化したものを以下に示す。

新たな条件として、 $S=1$ の場合においては関連語が含まれる、 $S=0$ の場合は関連語が含まれないものとする。

表3-5 全ての場合を踏まえたステップ数の一般化

行数	内容	実行回数
L01	procedure SEARCH (A, n, ***)	1
L02	$k \leftarrow 1$	1
L03	while $k < n$ do	$M+1-S$
L04	if $A[k]=***$ then	M
L05	return	S
L06	end if	0
L07	$k \leftarrow k+1$	$M-S$
L08	end-while	$M-S$
L09	return	$1-S$
L10	end procedure	1
合計		$4M-3S+5$

この結果から、関連語の有無に関わらず $4M-3S+5$ 回のステップ数で全ての検索を終了することができることが分かり、検索したい関連語が何番目にあつたとしても総クエリ数のおおよそ 4 倍のステップ数で検索することが可能となった。

これを従来通りの STCA での全文検索により、関連語の抽出を行っていた場合と比較する。STCA による関連語の抽出回数は、前述した検索クエリ数に占める抽出回数の占有率から、98%の検索結果を得ることができた 6 回として場合と比較をすることとする。

6 回の自動抽出を行う場合のステップ数は、検索クエリ数の推定方法と同様に、自動抽出によるキーワード数の増加と比例して増加することになるので以下の式で示すことができる。

$$n+(n+1)+(n+2)+(n+3)+(n+4)+(n+5)=6n+15 \text{ 回} \cdots \text{式⑤}$$

このことから、ランダム選択アルゴリズムによるステップ数と、アルゴリズムを適用しない場合の STCA による全文検索のステップ数は、 $4M-3S+5$ 回と $6n+15$ 回を比較すること算出することができる。このことから、ランダム選択アルゴリズムの適用により、おおよそ 33%のステップ数の削減を行うことができた。

しかし、この方式を用いても n =検索を行う文章の単語数であるために、検索対象となる文章が多くなるほど、それに合わせてステップ数も比例して増加することから、WEB 上の一般検索のように膨大な単語数を対象とするにはまだ不十分である。

そこで、関連語が含まれない文章に対して、必要以上に検索しないようにする必要がある。ここまで示してきたアルゴリズムは選別機能を有さず、文章中の関連語の有無にかかわらず文章を順に検索をし、発見された関連語の重み付けを行うという処理であった。

これに対して、関連語の有無を事前に判定することで、関連語が含まれる文章においては、これまで通りの処理を続けることとし、関連語が含まれないと判定された文章において、それ以後の処理を行わないことでさらなる効率化を行う。

表3-6 選別機能あり $n=4$ の場合のステップ数

行数	内容	ステップ数
L01	procedure SEARCH (A, n, ***)	①
L02	A[n+1] ← ***)	②
L03	k ← 1	③
L04	while A[k] ≠ ***) do	④⑦⑩⑬
L05	k ← k+1	⑤⑧⑪
L06	end-while	⑥⑨⑫
L07	if k < n then	
L08	return	⑭
L09	end-if	⑮
L10	return	
L11	end procedure	⑯

前述のものと同様に $n=4$ の場合について例示した場合、16 回のステップ数により判定を行うことができることが分かる。

選別機能なしの場合には、文章 A の n 番目に関連語が存在するところまでが、判定範囲になってしまっていたのに比べて、 n 番目というところまでは確定させず、 $k=n+1$ 番目のどこかに関連語が存在するということを判定することで、ステップ数は削減をしている。

さらに、選別機能ありのもののステップ数を一般化したものについて、以下に示す。

表3-7 選別機能ありのステップ数の一般化

行数	内容	実行回数
L01	procedure SEARCH (A, n, ***)	1
L02	A[n+1] ← ***)	1
L03	k ← 1	1
L04	while A[k] ≠ ***) do	M+1-S
L05	k ← k+1	M-S
L06	end-while	M-S
L07	if k < n then	1
L08	return	S
L09	end-if	0
L10	return	1-S
L11	end procedure	1
合計		3M-3S+7

この結果から、選別機能なしの場合において $4M-3S+5$ 回であったものが、 $3M-3S+7$ となることから両者を比べた場合、およそ 25% の効率化が可能となった。

しかし、一般化した結果を比較すると以下のようになり、選別機能は全ての場合において有効ではないことが分かる。

$$(4M-3S+5)-(3M-3S+7)=M-2 \cdots \text{式⑥}$$

関連語が文章中の 2 番目にまでにある場合においては、効率化の効果を得ることなく、1 番目にある場合においては、逆に非効率となることがある。

しかし、この選別機能の目的が膨大な情報の中から検索する場合の効率化であり、対象が 1 または 2 単語で構成されている文章は、極めてまれであると考えられるために、検討から除外するものとする。

最後に、ここまで述べた本研究におけるアルゴリズムを適用した場合に得られる効率化の効果、関連語が含まれる場合と含まれない場合に分けてまとめる。

STCA を利用して全文検索を行っていた場合に比べて、関連語が含まれている場合は 46% 効率化し、関連語が含まれない場合でも全ての全文検索を行ってしまうがアルゴリズム内の効率化により 18% 効率化する。

さらに選別機能を付与することで、どちらの場合においても 25% 効率化することができる。このことから本研究では提案する検索アルゴリズムは、関連語が含まれる場合は 59%、含まれない場合は 39% の効率化ができるという結論が得られた。

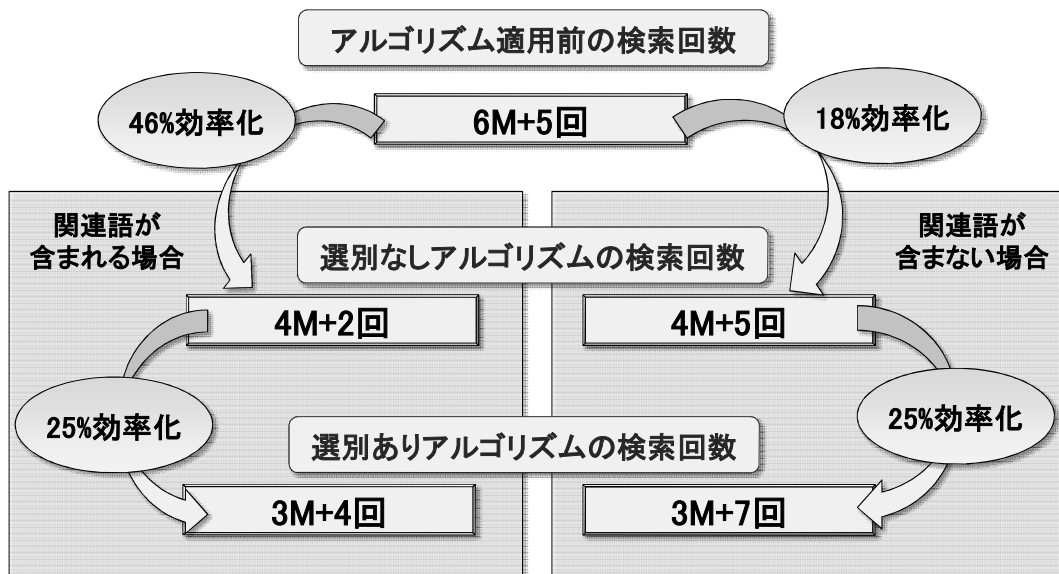


図3-10 検索速度の効率化

3.4 大学における講義での検証

検索アルゴリズムの精度向上の検証のために、大学における講義を受講する学生にとって有効であるかという点を題材として検証を行った。具体的な方法として、教授者が事前にシラバスなどによって講義の概要が中で、学習者に本来学んでほしいと考えている事柄と検索アルゴリズムによって抽出される関連語に相関があるかによって判定する。

検証を行う大学における講義は、早稲田大学理工学術院先進理工学部に設置されている「FORTRAN 入門」を対象とした。以下に対象とした講義のシラバスを示す。

本講義は、プログラミングのスキル向上のみを目的としたものでなく、FORTRAN のプログラミング言語としての成り立ちを学ぶとともに、言語に含まれる各種属性やクラスタの役割を学ぶために講義である。

表3-8 対象としたシラバス

科目名	FORTRAN 入門
時限	木曜 5 限 秋季
教授者	神山司
概要	<p>「簡単なプログラムを読む・書く能力を身につける」ことに重点を置き、専門分野におけるプログラミング技術習得を目指す上での初級科目と位置づける。本科目は、以下3項目の習得を目標として授業を進める。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. プログラミングを知る プログラミング・言語の基礎知識を学ぶ。今後自分自身の研究分野において「なぜプログラミングが必要なのか？」を考える。各自の学習目標を明確に意識づける。 2. プログラミング基礎能力の習得 各学習項目において、実際のプログラムを読み、必要に応じて修正する（書く）ことを繰り返すことで、構文を理解できるプログラミング基礎能力を習得する。
授業スケジュール	<p>第1回 オリエンテーション 第2回 UNIX および Fortran 言語について 第3回 プログラム作成の基本と変数・標準入出力 第4回 プログラムの流れと条件分岐（1） 第5回 条件分岐（2） 第6回 反復処理と組み込み関数 第7回 プログラミング演習（第6回までの内容の演習） 第8回 多重ループと条件付き反復処理 第9回 配列と書式指定 第10回 多次元配列とファイル操作 第11回 副プログラム（外部サブルーチン・外部関数） 第12回 副プログラム（内部サブルーチン・内部関数） 第13回 プログラミング演習（第12回までの内容の演習） 第14回 Fortran90 と FORTRAN77 について 第15回 講義のまとめ・レポートの解説</p>

次に、このシラバスの中に対して、講義名である「FORTRAN 入門」をキーワードに対しての関連語の抽出を行った結果を示す。

表3-9 関連語の抽出結果

順位	関連語	順位	関連語
1	Fortran	11	研究
2	変数	12	学習
3	入出力	13	構文
4	条件分岐	14	UNIX
5	反復処理	15	多重ループ
6	組み込み関数	16	配列
7	演習	17	多次元
8	プログラム	18	サブルーチン
9	技術	19	関数
10	言語	20	Fortran90

この抽出結果を、ベイジアン予測における事前分布に含めることで、教授者がシラバスにおいて、指導したいと考えている内容について検索を行った場合と比較して、有効な検索結果が得られるかを検証する。

ベイジアン予測適用の前後の検索結果を比較する。適用前の検索結果には、「write」や「define」のような、プログラムを記述するにあたり用いられる属性やクラスタが多く検索されている。

これは、ベイジアン予測を適用する以前の普段の状態においては、「FORTRAN」というキーワードを用いて検索を行っているユーザーの多くが、「FORTRAN」の内容について学習するために検索をするのではなく、すでに「FORTRAN」を修得し、実際に利用際の参考として、前述の「write」や「define」のような属性やクラスタを検索結果として求めているということが分かる。これは、このままでは、大学教育における講義で用いるには、不適切であるということを示しているといえる。

これに対して、ベイジアン予測を適用した後の検索結果では、属性やクラスタを示す用語が減少し、「ベクトル化」「倍精度」といったプログラムの機能を示す用語が増加している。

具体的には、プログラムの機能を示す用語2件から11件に増加し、属性やクラスタを示す用語10件から3件に減少していることから、プログラミング言語自体を学ぶ上において有効であると考えられ、大学教育における講義の中で利用するものとして適切な検索結果が得られた。

表3-10 検索結果の比較

順位	適用前の検索語	順位	適用後の検索語
1	fortran77	1	FORTRAN
2	fortran90	2	COBOL
3	write	3	ALGOL
4	fortran95	4	ベクトル化
5	配列	5	コンパイラ
6	define	6	ベクトル演算
7	character	7	実数型
8	visual	8	オペランド
9	read	9	write
10	エラー	10	define
11	フリー	11	PL/I
12	絶対値	12	倍精度
13	if文	13	単精度
14	parameter	14	構造化プログラミング
15	print	15	MFLOPS
16	関数	16	サブルーチン
17	le	17	インデックスレジスタ
18	コンパイラ	18	Cray-1
19	implicit	19	GFLOPS
20	フォーマット	20	character

また、同様に環境分野における教育への適用を検証するために、環境・エネルギー研究科に設置されている「国際環境法特論」を対象に検証を行うこととした。

国際環境法を学ぶにあたり使用する書籍として、国際環境法(国際法の中で環境に関する法律、条約、協定などを扱う分野)のあらゆる局面における争点や定義、歴史および現状について詳述されている、パトリシア・バーニー により著述された「International Law and the Environment (2nd edition, Oxford University Press, 2002)」の全訳を対象に、成立までの経緯や関連事件をまとめた第2章を対象としてテキスト分析をし、関連するキーワードの抽出を行った。

「国際環境法」を起点として、文章中に10word以上頻出するキーワードと関連性をマッピングした結果、関連法制度や組織から派生する具体的な事件などが多く含まれる結果となった。

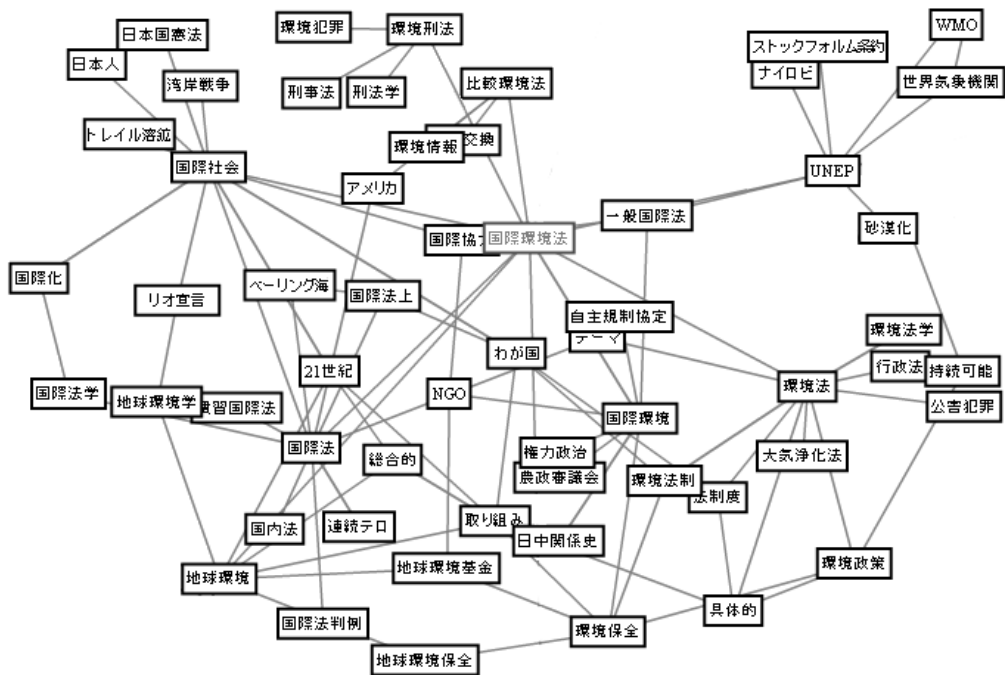


図3-11 テキスト分析によるマッピング

テキスト分析により得られた結果上位20件と、本研究で提案するアルゴリズムによる検索結果を比較したところ、20件中14件の検索結果が合致することとなり、有効な検索結果が得られることが確認された。

3.5 本研究を題材とした大学における研究での検証

3.5.1 効率化の検証

次に、大学における研究での利用を想定し、さらに広範囲に一般的な WEB 検索を行う際に利用した場合の有効性について検証を行う。

2010年1月から12月の1年間における「ICT利用教育」をキーワードとした Google での検索結果と、本研究で提案する検索アルゴリズムを用いた際の検索結果数を比較することで、効率化の検証を行った。

Googleによる検索は、対象期間全体で249,425件行われており、これに対して、本研究で提案するアルゴリズムを用いて、関連語を自動抽出して絞り込みを行った結果、検索対象を176,999件まで絞り込むことができ、71%の効率化を行うことができたことが分かった。

表3-11 検索されたキーワードと件数

順位	関連キーワード	件数
1	コンピュータ	38,895
2	e-learning	37,554
3	e-ラーニング	21,459
4	学校	17,436
5	大学	13,144
6	情報	11,803
7	活用教育	9,388
8	事例	5,633
9	教育スクエア	4,292
10	LMS	2,817
11	推進協議会	2,280
12	教育効果	1,878
13	課題	1,609
14	先端教育	1,489
15	遠隔講義	1,475
16	研究所	1,368
17	学習管理	1,221
18	授業支援	1,207
19	ネットワーク	1,073
20	課題	978
	合計	176,999

3.5.2 精度向上の検証

さらに、この絞り込まれた検索結果が、有効な検索結果であったことを検証するために非選択率による検証を行った。

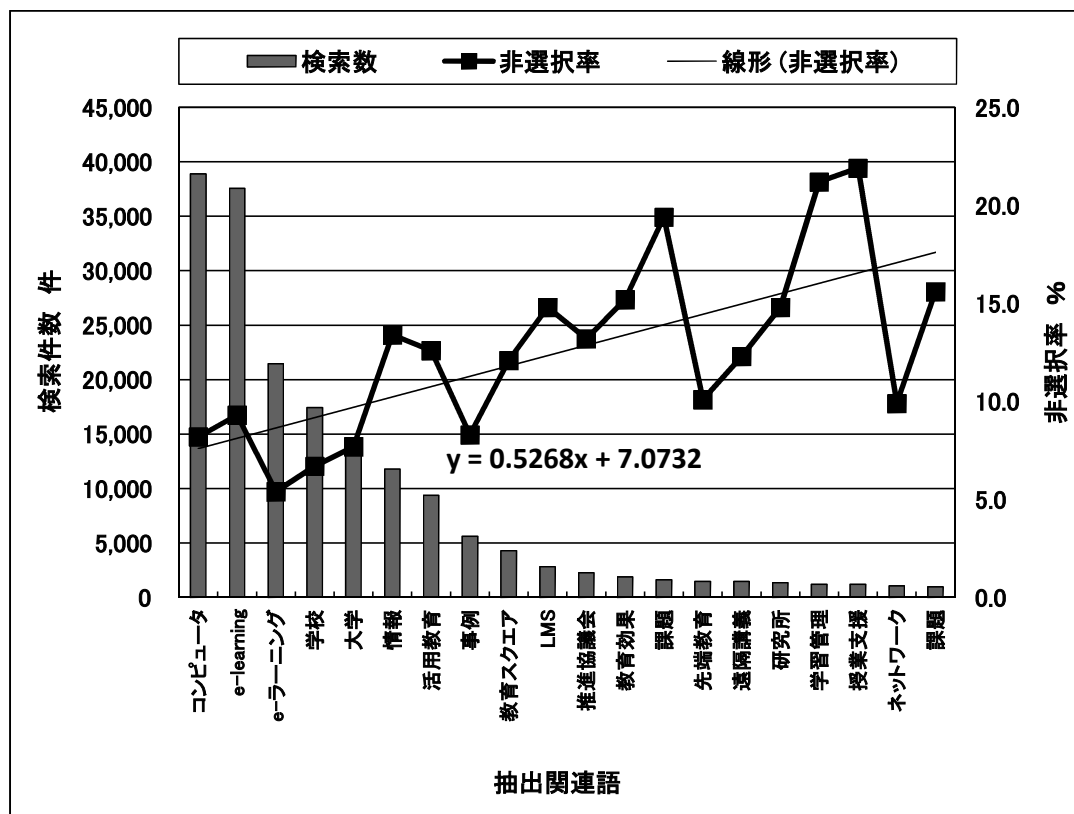


図3-12 抽出された関連語と非選択率

非選択率とは、検索結果として一覧表示された結果から、実際に有効な検索結果として選択されなかった確率であり、生産工程における不良品を見逃す可能性を示す見逃し確率の手法を適用したものである。

検索したい単語を見逃す確率を $p\%$ とした時に、単語を発見できる発見率は、

$$(100-p)\% \dots\dots \text{式⑦}$$

であり、

$$(100-p)/100\% \dots\dots \text{式⑧}$$

の確率で発見できると定義できる。

また、文章に少なくとも1個の単語が含まれる確率は、

$$1-\{(100-x)/100\}^n \dots\dots \text{式⑨}$$

で示すことができる。また、文章内に n 個の単語が含まれる可能性は、

$$n = \log\{1-(100-p)/100\} / \log\{(100-x)/100\} \dots\dots \text{式⑩}$$

で示すことができる。

これを今回の検索結果に当てはめると、非選択率の平均は 9.2%となり、通常の Google における検索における非選択率が 22.8%であることから、本研究で提案するアルゴリズムが、より精度高く有効な検索を行なえているといえる。

しかし、関連度の低い関連語ほど、非選択率が上がる傾向があり、今回の検証では 17 番目、18 番目の関連語においては、Google における検索における非選択率を上回る結果となっており、関連度の低い関連語における改善が必要であることが分かった。

3.6 まとめ

選別機能を付与したランダム選択アルゴリズムを用いた検索アルゴリズムの構築を行い、自己学習時の情報検索時の効率化と精度の向上を行った。結論を以下に示す。

- ・検索ワード数と検索クエリ数の相関からキーワードの自動抽出は 3 回まで が最も効率がよく、6 回までで 98%の検索結果を得られる。
- ・Suffix Tree Clustering Algorithm による熟語単位での全文検索は、検索精度の面では有効であるが、効率化の面では文章量が多いほどの検索時間が 増加しキーワードとなる熟語の絞り込みが必要である。
- ・ベイズ定理を用いたベイジアン予測を組み込むことで、関連するキーワードごとの重み付けを行うことが精度向上に繋がる。
- ・ランダム選択アルゴリズムを適用することにより、関連語が含まれる場合は 46%、含まない場合は 18%の検索速度の向上の効果が得られ、さらに選別機能を実装することでさらに検索速度の 25%向上する。
- ・GoogleAPI を利用した検索結果に比べ、自然語より専門用語を優先的に関連語とし抽出され、非選択率を 22.8%から 9.2%まで低減する。

第4章

多様なネットワーク環境に対応した 遠隔講義手法の開発

第4章 多様なネットワーク環境に対応した遠隔講義手法の開発	4-1
4.1 ネットワーク未発達地域からの遠隔講義の実施状況と課題	4-1
4.2 ネットワーク未発達地域に対応した動画圧縮手法の開発	4-3
4.2.1 XVD による動画圧縮の開発	4-3
4.2.2 On2VP6 による動画圧縮の開発	4-6
4.2.3 知覚画質による動画圧縮の評価	4-9
4.3 ネットワーク未発達地域内でのデータ伝送の検討	4-13
4.3.1 無線 LAN によるデータ伝送時の最適アンテナ配置の検討	4-13
4.3.2 PoE 電力搬送による有線 LAN ネットワークの検討	4-15
4.4 ネットワーク未発達地域での検証	4-18
4.4.1 動画圧縮の選択手法の提案	4-19
4.4.2 豊島におけるモデル授業での適用	4-20
4.5 まとめ	4-23

図4-1 ISDN 回線を利用した配信事例
図4-2 衛星回線を利用した配信事例
図4-3 XVD 形式による圧縮のイメージ
図4-4 On2VP6 形式による圧縮のイメージ
図4-5 エンコード時間の比較
図4-6 圧縮後のファイルサイズの比較
図4-7 知覚画質の比較
図4-8 実験現場の概略図
図4-9 電波強度測定の結果
図4-10 距離ごとの伝送速度
図4-12 伝送速度の比較
図4-11 製作した混合 PoE ケーブル
図4-13 帯域使用率の比較
図4-14 CPU 負荷率の相関
図4-15 ビットレートとフレームレートの相関
図4-16 ネットワーク構成の全体図
図4-17 豊島からの配信状況
図4-18 配信時のビットレートとフレームレート

表4-1 XVD 形式での判定式

表4-2 ON2VP6 形式での判定式

表4-3 動画圧縮の比較条件

表4-4 知覚画質の比較

表4-5 使用したアンテナの種類

第4章 多様なネットワーク環境に対応した遠隔講義手法の開発

4.1 ネットワーク未発達地域からの遠隔講義の実施状況と課題

大学教育における遠隔講義は1章および2章で示したように、一定数普及しているが、近年は横ばいになっている。その原因として考えられるもの1つとして、地方や過疎地などでのネットワーク環境の未整備が考えられる。

そういったネットワーク未発達地域からの遠隔講義の配信方法として、(1)複数ISDN回線の利用、(2)衛星回線の利用の2つの事例を取り上げ、一般的に普及しているインターネット回線を使用した遠隔講義と比較した場合の課題について整理する。

(1)複数 ISDN 回線

ISDNとは、Integrated Services Digital Networkの略で、電話やパケット通信に利用されるデジタル回線網である。国内では、ダイヤルアップ回線の代替としてインターネット接続時に利用されてきたが、最大128kbpsの通信速度しか得られず、後発のFTTHやADSLといったブロードバンド回線に取って代わられることとなった。

しかし、前述のようにブロードバンド回線が都市部を中心に普及しているのに対して、ISDN回線は電話回線として用いられていた性格上、地方や過疎地域に対しても整備されているため、ネットワーク未発達地域への適用が容易である。以下にISDN回線を用いた配信システムの事例としてNEC社製のphoenixテレビ会議システムを示す。

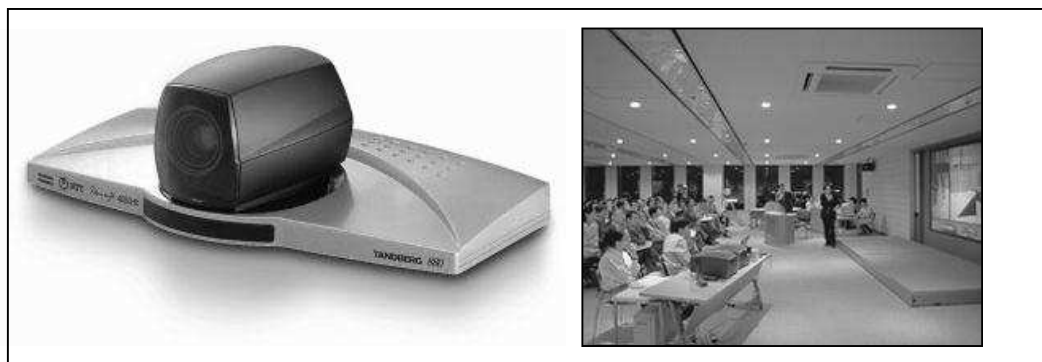


図4-1 ISDN回線を利用した配信事例

phoenix テレビ会議システムは、遠隔講義の普及初期段階であった2000年度に実施された、早稲田大学政治経済学部による「メディア最前線」の講義でも採用されたシステムであり、その後も機器改良が加えられ、同時に3本のISDN回線を利用することで、最大384kbpsのデータ伝送を可能とする特徴がある。

(2)衛星回線

衛星回線とは、マイクロ波帯の電波を用いた通信衛星を利用して行われるデー

タ伝送である。通信衛星そのものが、海底ケーブルを用いたデータ伝送と相補的に用いられているものであり、ブロードバンド回線の代替として利用することが想定されている。以下に文部科学省が遠隔講義の実証試験を行うために東京工業大学に設置した ANDSE 衛星会議システムを示す。



図4-2 衛星回線を利用した配信事例

ANDES 衛星会議システムは、地上基地として、直径 4.5m の大口徑通信衛星アンテナを設置しており、通信衛星である SUPERBIRD A3、SUPERBIRD B2、SUPERBIRD C2 を利用して通信を行うことで、H.264 および MPEG2 デジタル映像、6Mbps デジタル動画、1.5Mbps デジタル準動画、ビデオカメラ遠隔制御信号、学生レスポンスシステムデータなどのデータ伝送を可能としている。

しかし、これらの方式はあくまでも代替手段でしかなく、複数 ISDN 回線を利用した配信での最大 384kbps は必ずしも適当なデータ伝送量ではなく、またベストエフォート方式であるために最高速度が得られず、従来の動画圧縮技術では不鮮明な画質しか得られないという欠点がある。

衛星回線を利用した配信では、高画質なデータ伝送を行うことができるというメリットがある一方で、前述の ANDES 衛星会議システムのように地上基地として、大規模な通信衛星アンテナが必要であり、また、データ伝送を中継する通信衛星の利用料が非常に高価であるために、イニシャルコスト、ランニングコストともに極めて高額な費用がかかるというデメリットがある。

この欠点を補うために、低帯域でも比較的良好な画質が得られるための低帯域に特化した動画圧縮と安価で簡易的にデータ伝送が行えるネットワークインフラの整備が必要となると考えられる。

4.2 ネットワーク未発達地域に対応した動画圧縮手法の開発

ネットワーク未発達地域に対応した遠隔講義を行うための 1 つの方法として、既存のナローバンド回線を利用しつつも、比較的に高画質でデータ伝送を行なえる低帯域に特化した動画圧縮を利用することが考えられる。

しかし、近年の動画圧縮技術は映像技術全般が高画質・高精細を求める傾向にあるために、それに対応した高帯域での圧縮技術が中心となっており、低帯域に特化した圧縮技術の開発はあまり行われていない。

そこで、本研究では、低帯域における動画圧縮に優れた圧縮手法として XVD 形式と On2VP6 形式による動画圧縮を提案する。

4.2.1 XVD による動画圧縮の開発

XVD 形式は VGM をコンテナフォーマットとして、動画コーデックとして VGM Video (VT2k)、音声コーデックとして VGM Audio (Muzip4)で構成される。

他の遠隔講義で多く利用されている MPEG 方式での動画圧縮では、アンチエイリアスを用いることで圧縮を行っていたが、圧縮率の高くなる低帯域では著しい画像の劣化が見られるという欠点があった。

これに対して XVD 方式では動画のビットマップデータはそのままに、ランレングスによる圧縮を行い低帯域でも画像の劣化を防ぐことができる。ランレングスとは、連帳圧縮ともいわれ、ある連続したデータを、そのデータ 1 つ分と連続した長さで表現することで圧縮を行うデータ圧縮アルゴリズムで、モノクロ FAX などの色数の少ないデータ伝送に多く利用されている。

下記に XVD 形式での動画圧縮のイメージを示す。

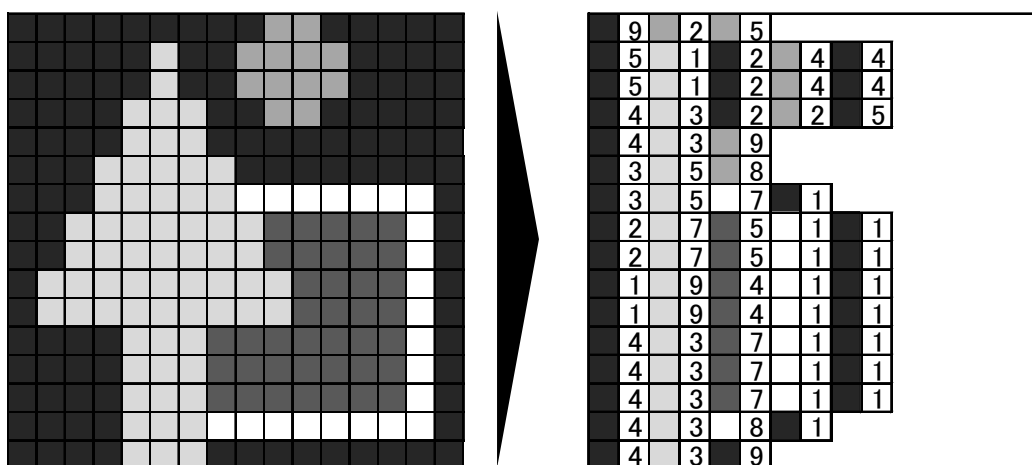
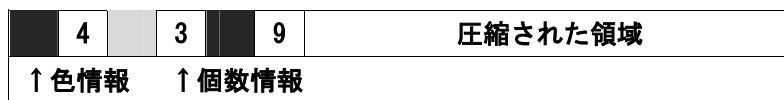


図4-3 XVD 形式による圧縮のイメージ

動画内の 1 フレームごとに注目した場合は、1 フレームを構成する画像の中で、設

定されている解像度に応じて面的に色情報を持つことになる。XVD 形式ではこれを色情報と個数情報に分割して保存することで、同一色の連続である部分について色情報の圧縮を行っている。



上図で示した事例では、16pixelの色情報に対して、従来は16pixelそれぞれに色情報を保持するために32byteのデータ量が必要であった。これに対してXVD形式では、「灰」×4「赤」×3、「灰」×9という形で12byteのデータ量とすることができる。

次に、XVD形式での近隣画色の判定式の例を示す。

表4-1 XVD形式での判定式

```

int *pack_runlength( x0, y0, x1, y1, buffer )
int x0, y0, x1, y1;
int *buffer;
{
    int color;
    int count = 0;
    int x, y;

    *buffer++ = x1 - x0 + 1;
    *buffer++ = y1 - y0 + 1;
    *buffer = point( x0, y0 );

    for ( y = y0 ; y <= y1 ; y++ ) {
        for ( x = x0 ; x <= x1 ; x++ ) {
            if ( ( color = point( x, y ) ) != *buffer ) {
                *(++buffer) = count;
                *(++buffer) = color;
                count = 0;
            }
            count++;
        }
    }
    *(++buffer) = count;
}

```

```

    return( buffer + 1 );
}
int unpack_runlength( buffer )
int *buffer;
{
    int color;
    int count;
    int x0, y0, x1, y1;
    int x, y;

    x0 = *buffer++;
    y0 = *buffer++;
    x1 = x0 + *(buffer++) - 1;
    y1 = y0 + *(buffer++) - 1;

    color = *buffer++;
    count = *buffer++;

    for ( y = y0 ; y <= y1 ; y++ ) {
        for ( x = x0 ; x <= x1 ; x++ ) {
            pset( x, y, color );
            if ( --count <= 0 ) {
                color = *buffer++;
                count = *buffer++;
            }
        }
    }
    return( 1 );
}

```

しかし、XVD 形式での動画圧縮は、近隣画色および連続する画像において同一色が存在しない場合、有効な圧縮が行うことができないという欠点がある。判定式で示した例は、近隣画のバッファを 1pixel として完全に隣り合った pixel および色を対象としている。これの対象範囲を広げることが可能であるが、著しい画像の劣化が起こることになる。

この条件を踏まえると、XVD 形式での遠隔講義の配信は、教室内からの座学の配

信や決められた対象のある屋外からの配信といった形の講義形式に利用することが適切であり、スポーツなどの画角全体に動きが大きいものや、決められた画角の中でも、高速の動いているものなどの配信が必要な講義形式には適してないと考えられ、これに対応するための動画圧縮方式として、次に On2VP6 形式での動画圧縮を提案する。

4. 2. 2 On2VP6 による動画圧縮の開発

On2VP6 形式は、現在もっとも普及している動画形式である adobe 社の flash を包含できる FLV をコンテナフォーマットとして採用している。また、AVI も同様にコンテナフォーマットとして採用しているものもあり、これと区別するために On2VP6F と記されることもある。

下記に On2VP6F 形式での動画圧縮のイメージを示す。

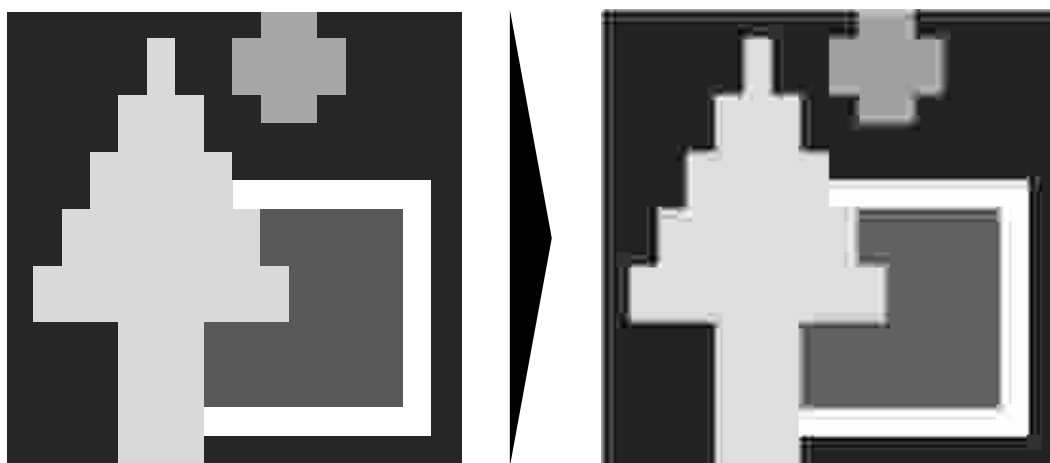


図4-4 On2VP6 形式による圧縮のイメージ

On2VP6 形式での動画圧縮は、XVD 形式と同様に近隣画色の色情報を基として圧縮を行うが、XVD 形式の例で示したような隣接の色のみではなく、行列変換による近隣画の予測を行うことで、対象範囲を広げて圧縮を行うことが可能となる。

$$\begin{array}{c}
 |Y_1| \quad |a_{11} \quad a_{12} \quad a_{1n}| |X_1| \\
 [Y] = | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\
 |Y_n| \quad |a_{n1} \quad a_{n2} \quad a_{nn}| |X_n|
 \end{array} \quad \text{式①}$$

しかし、式①で示す従来のカラーネン・レーベ変換による近隣画色の変換行列では、データ量が大きくなるほどエンコードに時間がかかることが問題点として指摘されてきた。

これに対して On2VP6 形式では式②で示す、離散コサイン変換を採用することで、

比較的類似する結果を得ながら、効率的に近隣画を予測し圧縮を行うことを可能とした。

$$C(i) \sqrt{2/N} c \sum_{j=0}^{n-1} s(j) \cos \{(2j+1)i \pi / 2N\} \cdots \text{式②}$$

次に、On2VP6 形式での近隣画色の判定式の例を示す。

表4-2 On2VP6 形式での判定式

```
#define YUV
#define Y
#define U
#define V

double *yuv[YUV];

char dbl2char( double d )
{
    if ( d < 0 ) d = 0;
    if ( d > 255 ) d = 255;
    return( d );
}

void rgb2yuv( double **yuv )
{
    int color;
    char r, g, b;
    int gx, gy;
    double *y, *u, *v;

    y = yuv[Y];
    u = yuv[U];
    v = yuv[V];
    for ( gy = 0 ; gy < draw->height ; gy++ ) {
        for ( gx = 0 ; gx < draw->width ; gx++ ) {
            color = point( gx, gy );
            r = ( color >> 16 ) & 0xFF;
```

```

    g = ( color >> 8 ) & 0xFF;
    b = ( color >> 0 ) & 0xFF;
    *y++ = ( 0.2990 * (double)r ) + ( 0.5870 * (double)g ) + ( 0.1140 *
(double)b );
    *u++ = - ( 0.1684 * (double)r ) - ( 0.3316 * (double)g ) + ( 0.5000 *
(double)b );
    *v++ = ( 0.5000 * (double)r ) - ( 0.4187 * (double)g ) - ( 0.0813 *
(double)b );
    }
}
}

void yuv2rgb( double **yuv )
{
    int gx, gy;
    int color;
    char r, g, b;
    double *y, *u, *v;

    y = yuv[Y];
    u = yuv[U];
    v = yuv[V];

    for ( gy = 0 ; gy < draw->height ; gy++ ) {
        for ( gx = 0 ; gx < draw->width ; gx++ ) {
            r = dbl2char( *y
                        + ( 1.4020 * *v ) );
            g = dbl2char( *y - ( 0.3441 * *u ) - ( 0.7139 * *v ) );
            b = dbl2char( *y + ( 1.7718 * *u ) - ( 0.0012 * *v ) );
            color = ( (int)r << 16 ) | ( (int)g << 8 ) | (int)b;
            pset( gx, gy, color );
            y++;
            u++;
            v++;
        }
    }
}
}

```

近隣画色が異なる高精細な画像な画像であるほど、低帯域において画質が劣化することは XVD 形式と同一であるが、変換行列による判定を加えているために、XVD 形式と比べた場合でも比較的高帯域まで、変換効率を維持することができる。

4. 2. 3 知覚画質による動画圧縮の評価

これを踏まえて、今回提案する XVD 形式および On2VP6 形式と、従来の遠隔講義で採用されることの多かった WMV9 形式、MPEG-4 形式および DivX5.1 形式との間で、エンコード時間とファイルサイズの比較を行った。

WMV9 形式は Microsoft 社が開発を行っている動画コーデックであり、通常 WMA の音声コーデックと一緒に利用される。Microsoft Windows で標準対応している Windows Media Player で再生可能であるため、PC で受講する形の遠隔講義では、他に専用のソフトウェアインストールすることなく利用できる。

MPEG-4 形式は ISO/IEC 14496 によって標準化されているファイルフォーマットであり、動画コーデック、音声コーデックが共に含まれており、DVD や Blu-ray Disc に採用されるなど最も汎用的な動画形式である。

DivX5.1 形式は、DivX 社により MPEG-4 形式を基に開発された動画形式であり、MPEG-4 形式と同等の画質を保ちながら、より小さいファイルサイズへの圧縮可能であるという特徴を持つ。

比較を行うために用いたハードウェアおよび圧縮前のファイルの条件を以下に示す。

表4-3 動画圧縮の比較条件

項目		形式
ハードウェア条件	CPU	Pentium4 3.06GHz
	メモリ	1GB
	グラフィックボード	nVIDIA GeForce4 128MB
圧縮前の ファイル条件	ファイルサイズ	58.8MB
	フレームレート	30fps
	PASS 数	1

この条件に加えて、各種ドライバのインストール順位等による影響を防ぐために、比較する圧縮形式を変える際には、事前に使用したドライバはその都度アンインストールすることとした。

以下に、圧縮にかかった時間と圧縮後のファイルサイズの比較を示す。なお、後述する知覚画質での評価を行うために、単一のビットレートではなく、512kbps、768kbps、

1024kbps の 3 段階による評価を行った。

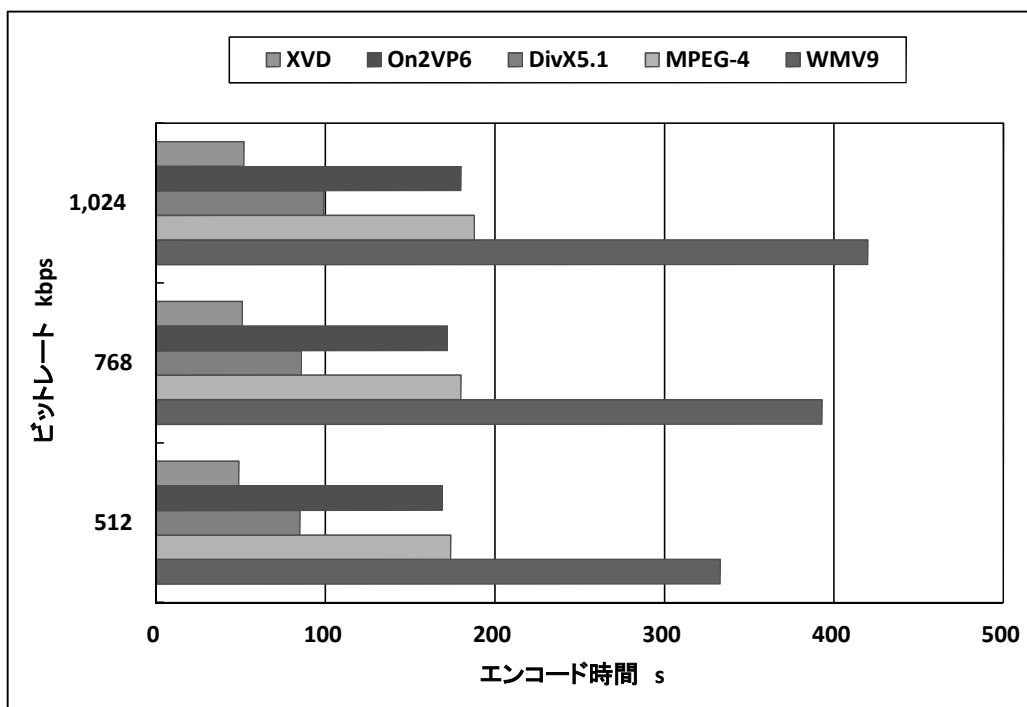


図4-5 エンコード時間の比較

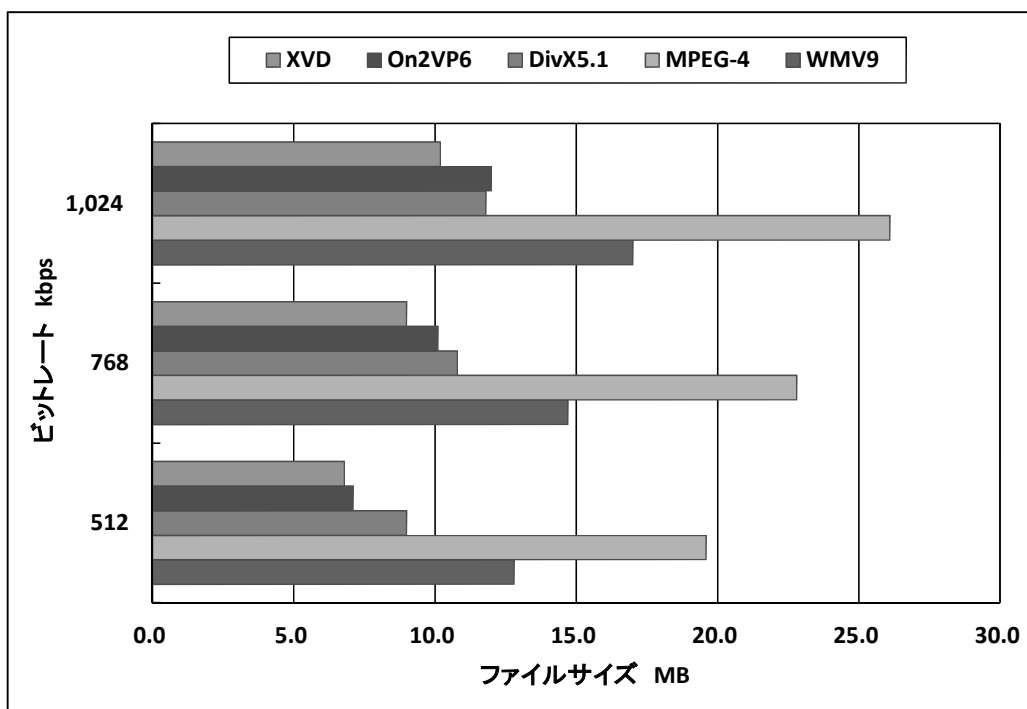


図4-6 圧縮後のファイルサイズの比較

エンコード時間においては、XVD 形式が他の圧縮形式に比べて、極めて優れていることが分かる。また、ビットレートを低くしたとしても他の圧縮形式と違い変化がほとんど見られないことから、低帯域での利用に適していると考えられる。On2VP6 形式では、遠隔講義でも最も多く利用されている MPEG-4 と同等の結果が得られた。

ファイルサイズにおいては、エンコード時間と同様に XVD 形式が優れていることが確認できた一方で、低帯域になるほど On2VP6 形式も良好な結果が得られることが分かった。このことから、エンコードを行うハードウェアの性能が確保できるならば On2VP6 形式も XVD 形式と同様に有効な圧縮形式であるといえる。

次に、有効に利用されている表示画質を pixel 単位で計測することで知覚画質の比較を行った。知覚画質とは、人間の視覚により認識できる画質のことで、一般的な人間の目で認識できるデータ量 1 平方ミリメートルあたり 10pixel ほどで、視野範囲を近接 20cm において 20cm×30cm と仮定するならば、おおよそ 600 万 pixel のデータ量となる。モバイル用途で用に一般的に使われている 12.1 インチディスプレイのノート PC で 130 万 pixel、デスクトップ用の大型の液晶ディスプレイで 230 万 pixel であることと比較すると、近接 20cm において、人間が視覚で認識できる情報の方が多いと考えられる。

しかし、教室内での授業のように教授者と学習者の距離がある程度離れている場合、視野は広がるが面積あたりの情報量を落ちることとなる。仮に学習者が、教室の最前列に座り教授者までの距離を 2m であるとする 60 万 pixel ほどのデータ量となってしまう、PC 上の画面を見た方がより多くの情報が得られる結果となる。

また、PC 側においても現在開発が進められている 4K や 8K といった業務用の大型ディスプレイでは、人間が認識できる 600 万 pixel 以上の解像度を持つためにオーバースペックであるといえ、大教室などに多くの人数を集めて行うテレビ会議型のものでは効果があるが、PC などの画面で表示するには適していないことが分かる。

表 4-4 知覚画質の比較

種類	縦横比	解像度 pixel
視覚 2m	3:2	6,000,000
ノートパソコン	16:10	1,764,000
液晶ディスプレイ	16:10	2,304,000
視覚 20cm	3:2	6,000,000
業務用ディスプレイ	17:9	8,847,360

これを踏まえて、圧縮形式ごとの表示画質とビットレートの関係から知覚画質の比較を以下に示す。

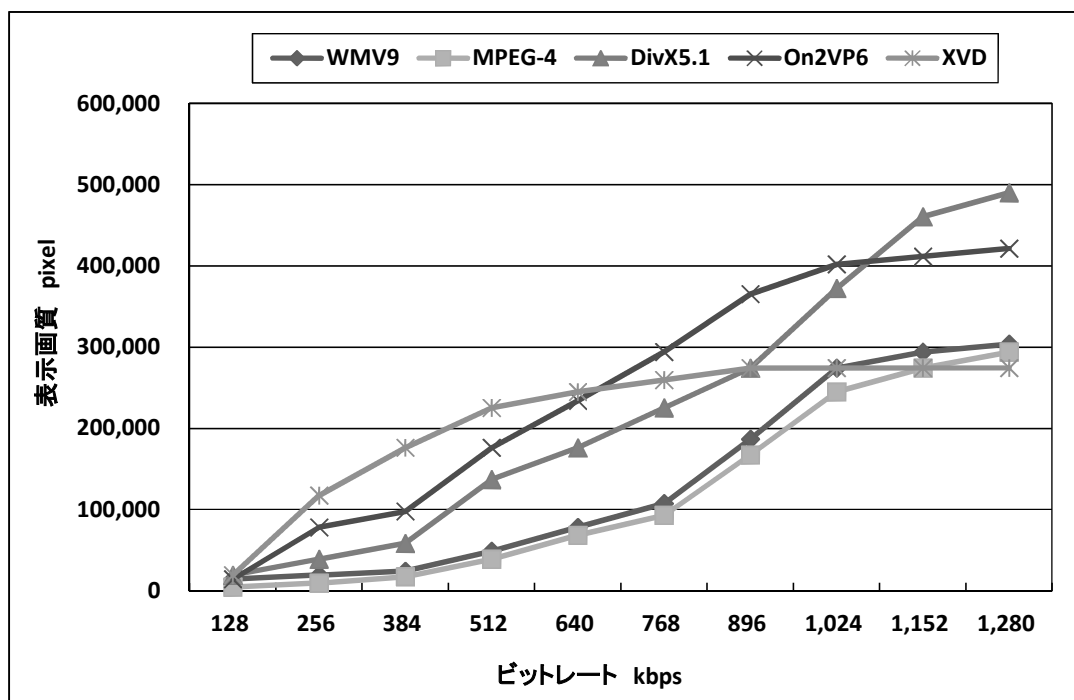


図4-7 知覚画質の比較

XVD 形式が 256～640kbps の低帯域時で特に有効であったが、それ以上の帯域においては、ビットレートを上げてほとんど表示画質は変わらないことが分かった。

On2V6 形式では、低帯域では XVD 形式に劣るが、768～1024kbps の中帯域時においては、XVD 形式より高い画質を得ることができることが分かった。

このことから、本研究で対象とするネットワーク未発達地域での動画圧縮形式として、利用可能な帯域に合わせて、XVD 形式および On2V6 形式を採用することが有効であると考えられる。

4.3 ネットワーク未発達地域内でのデータ伝送の検討

ネットワーク未発達地域内でのデータ伝送のために、新規に光ファイバーなどの配線を設置することは、常時利用されるわけではない遠隔講義の配信に利用するには高コストであるといえ、より簡易に行うために一般的なローカルエリアネットワークの活用を検討する。

4.3.1 無線 LAN によるデータ伝送時の最適アンテナ配置の検討

ローカルエリアネットワークによるネットワークインフラの構築において、最初に考えられるものとしては、無線 LAN によるデータ伝送を行うことが挙げられる。

しかし、市販されている無線 LAN の電波を発信するためのルーター単体では WDS (Wireless Distribution System) 接続を行ったとしても、ルーター間の距離は数百メートルが限界であり、また、ルーターごとに電源が必要になるという問題があった。

そこで、本研究では市販のルーターに対して、指向性のある外部アンテナを設置することで、最少のルーター数で接続する方法の検討を行った。

地域内のネットワークがまったく存在しない、香川県豊島の廃棄物不法投棄の現場を例に検証を行う。

以下に現場の概略図と使用したアンテナを示す。

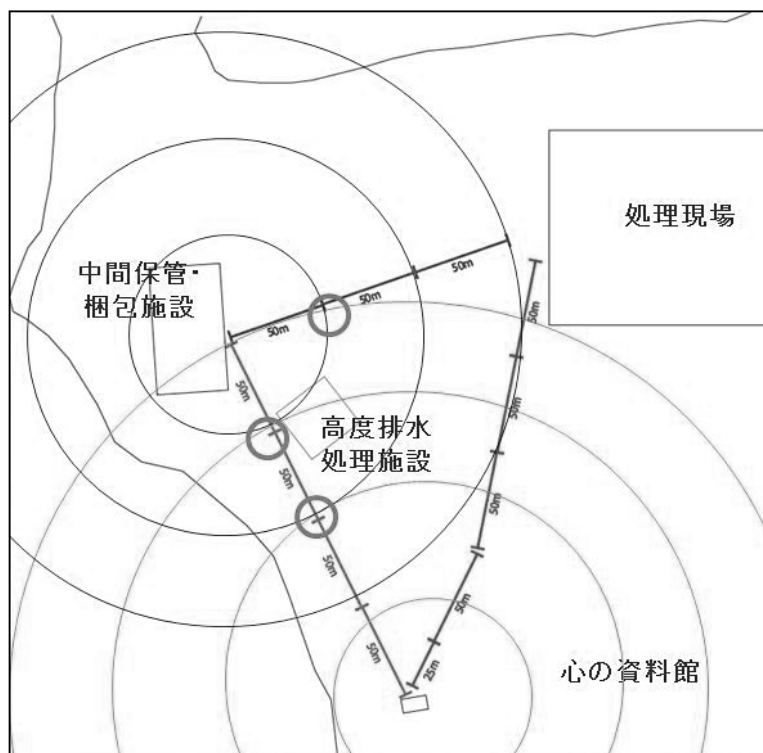

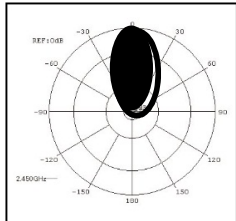

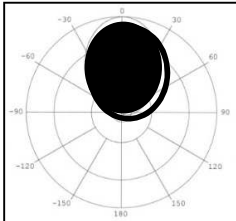

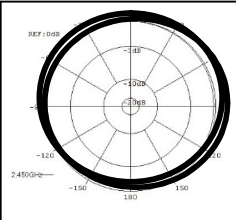


図4-8 実験現場の概略図

表4-5 使用したアンテナの種類

アンテナ種類	通信規格	指向性	特性図	通信距離
WLE-HG-DYG 	IEEE802.11 b/g	指向性		最大 3km
WLE-HG-DA 	IEEE802.11 b/g	広指向性		最大 2.2km
WLE-HG-NDC 	IEEE802.11 a/b/g	無指向性		最大 1.2km

アンテナの設置場所を検討するに際して、重要となるのが電波強度である。一般的に電波は距離が遠くなるほど減衰するが、障害物や建物による反射を考慮しなければならず、特に屋外に場合においては、実測による電波強度測定が必要となる。以下に電波強度測定を行った結果を示す。

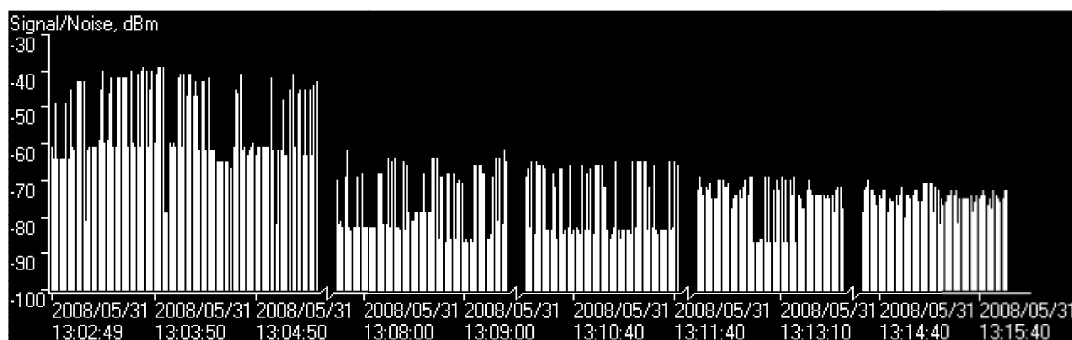


図4-9 電波強度測定の結果

左より 0m から 50m ごとに電波強度を測定した結果である。0m の地点では有効な電波強度は 60dBm であり、距離が離れるごとに減衰するが 200m の地点でも

40dBm 程度を確保することができることが分かった。また、豊島では他に干渉する同一周波数帯の無線 LAN の電波は確認されず、ほぼノイズがない状態であることが確認できた。

同様にそれぞれの地点での伝送速度を計測した結果を以下に示す。

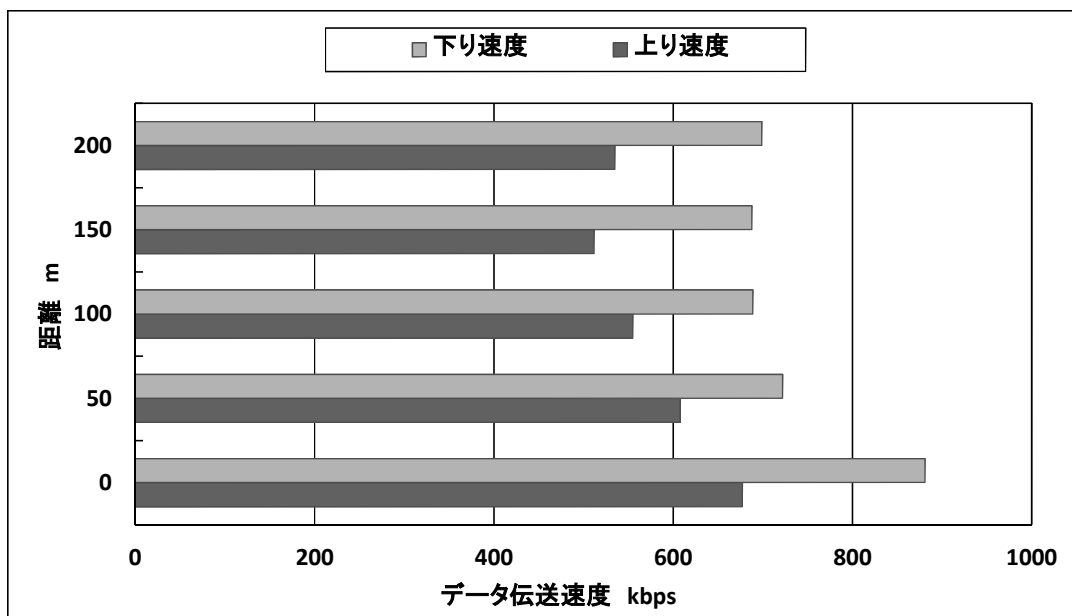


図4-10 距離ごとの伝送速度

どの地点でも 500kbps 以上の伝送速度を得ることができたことから、低帯域に対応した動画圧縮方式を用いれば、十分に遠隔講義の配信を行うことのできる環境であることを確認した。

4.3.2 PoE 電力搬送による有線 LAN ネットワークの検討

次に、PoE 電力搬送による有線 LAN ネットワークによるデータ伝送の検討を行う。無線 LAN は前述のように、障害物等による遮断などが原因となり有効でない場合がある。そこで、PoE 技術を用いることで、データ伝送とともに電力も搬送することを検討する。

PoE とは、ネットワーク構築時に用いられる LAN ケーブルにおいてカテゴリ 5 以上の UTP ケーブルを通じて電力を供給する技術である。電力供給の困難な場所に設置された家庭用のネットワークカメラなどへの給電などですでに実用化されている技術であり、48V/15.4W の供給が可能である。

PoE で用いられるケーブルは、通常電流を同時に流す際に生じるノイズによってネットワークの伝送効率が落ちるのを防ぐために撚線が用いられている。しかし、撚線によって作られたケーブルは長距離の伝送を行った際の減衰が大きく、上記のような

既存のネットワークのような家庭用の用途には十分であるが、本研究で対象とする、地域内のネットワークが未整備な地域での伝送のための長距離利用には適切ではない。

そこで、ネットワーク伝送の減衰が比較的少ない単線と、電力供給用の撚線を混合したケーブルを製作する。通常市販されている LAN ケーブルは、1 本の太いケーブルの中に 8 芯の単線ケーブルがまとめられており、PoE 用のケーブルにおいては、ここに撚線が使われている。しかし、実際にネットワーク伝送に使われているのはその内の 4 本のみであることから、今回は通常の単線 8 芯のケーブルを元にネットワーク伝送用に 4 本残し、電力供給用に 4 本の撚線を入れ替える形で再シールド化したケーブルを製作した。

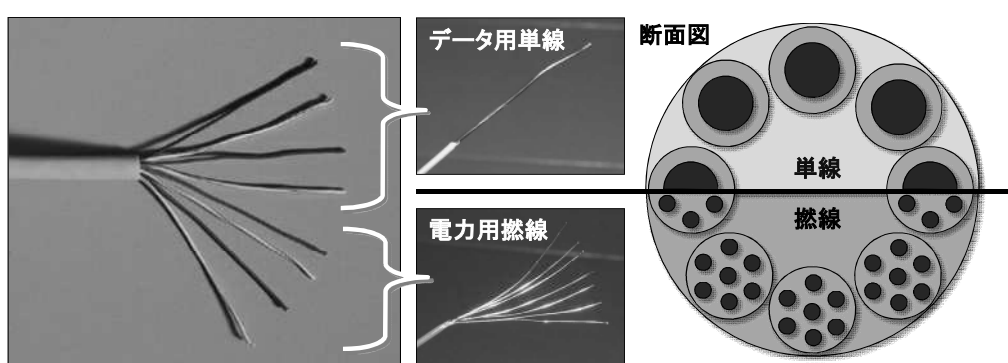


図4-11 製作した混合 PoE ケーブル

次に、製作されたケーブルと市販の単線ケーブルおよび撚線ケーブルを用いた伝送速度の比較を行った。

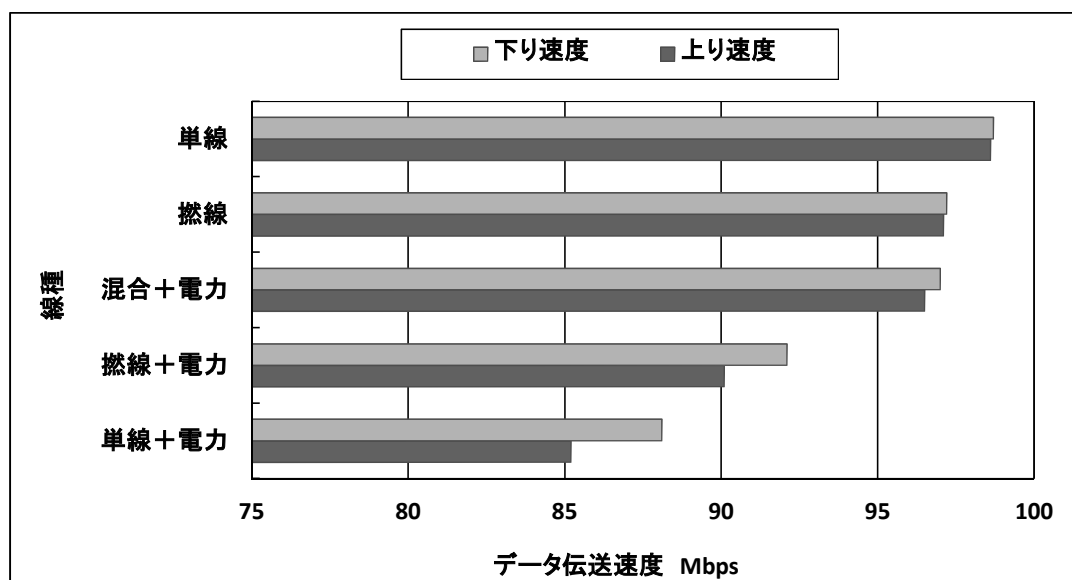


図4-12 伝送速度の比較

市販のものについてはカテゴリ 5 のケーブルを使用し、長距離伝送時の比較を行うためにそれぞれ 100m のケーブル長のものを用いた。

電力供給を同時に行った場合、製作された混合ケーブルは市販の単線、撚線のケーブルを用いた場合に比べて 10~12%程度 の速度の向上が図られた。

また、100ms ごとに伝送されるデータの帯域使用率を計測した場合においても、単線では最大 55%、撚線では最大 22%の乖離があるのに対して、混合ケーブルでは最大でも 9%の中で収束し、安定的にデータを伝送が行えることが分かった。

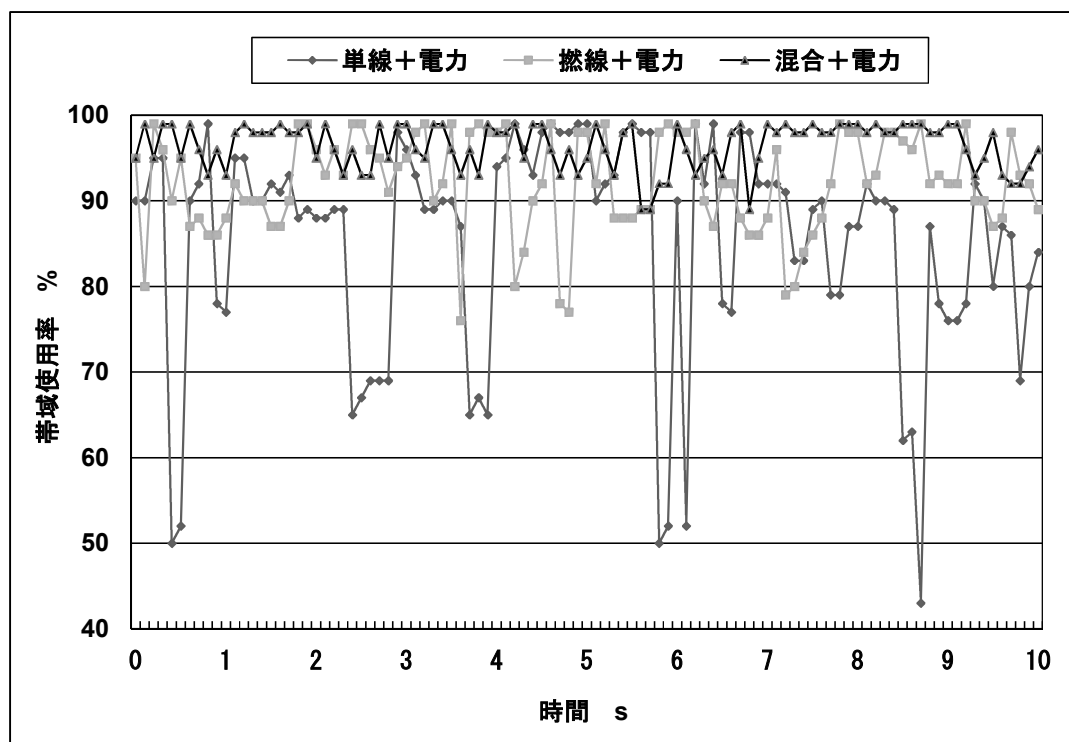


図4-13 帯域使用率の比較

4.4 ネットワーク未発達地域での検証

提案する動画圧縮方式とデータ伝送方法の有効性の確認のために、瀬戸内海の離島で、ネットワーク未発達地域にとなっている香川県豊島より遠隔講義を実施することで検証を行う。

以下に実施された講義の概要を示す。

(1) 対象科目

早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科(埼玉県本庄市)

科目: 環境配慮デザイン論

日時: 2008/10/19(金) 1:00~4:10 190分

(2) 講師等

豊島現地講師: 石井亨氏(前香川県議員)

豊島現地担当: 西郷(永田研究室修士2年)、西宮(永田研究室学部4年)

本庄担当: 永田勝也(環境・エネルギー研究科教授)、小野田弘士(環境総研講師)、永井(環境総研主任研究員)、井原(環境総研研究員) + 受講者14名

(3) 授業レジュメ

- ① 豊島現地映像: 全景の見える場所で石井氏紹介・挨拶 5分
- ② 教室: 豊島事業パンフレットと豊島事業DVDによる説明 20分
- ③ 豊島現地映像: 石井氏による処分地内の作業風景と投棄・埋立物の紹介 + 質問 15分
- ④ 教室: 永田による豊島廃棄物の展示・説明、ASR と自動車リサイクル法の解説 10分
- ⑤ 豊島現地映像: 石井氏による資料館前および資料館内での説明 20分
- ⑥ 教室: 豊島住民運動ビデオ(「島の墓標」: 山陽放送 2001 など) 60分
- ⑦ 教室: 市村康氏写真集のうち、北海岸の変化を中心とした紹介 15分
- ⑧ 豊島現地 + 教室: 質疑応答 10分
- ⑨ 教室: 豊島共創研究の概要 ppt を現地から西郷が説明 10分
- ⑩ 豊島現地映像: 石井氏「学生たちへの伝言」 5分
- ⑪ 教室: 永田「おわりにあたって」 5分

香川県豊島と早稲田大学本庄キャンパスがある埼玉県本庄市を繋ぐ形で行われた。

本庄キャンパス内での座学の授業に加えて、豊島から動画を適宜中継する形で行われ、必要に応じて本庄キャンパスにいる学習者より、豊島側の教授者に対して、質疑を行なえる双方向性を確保して、コミュニケーションの実施をしている。

4. 4. 1 動画圧縮の選択手法の提案

豊島から本土に整備されているネットワークインフラは ADSL12M の回線しかなく、さらに今回の遠隔講義の配信となる屋外の現場にはネットワークインフラが全く存在せず、低帯域でも利用できる動画圧縮を利用することが必要不可欠ある。

そこで、事前に豊島よりデータ伝送試験を行うことで、最適な動画圧縮の選択を行うこととした。

以下に、豊島よりの送信側となる動画圧縮ごとのエンコーダーの CPU 負荷率と本庄での受信側となるデコーダーの CPU 負荷率を示す。

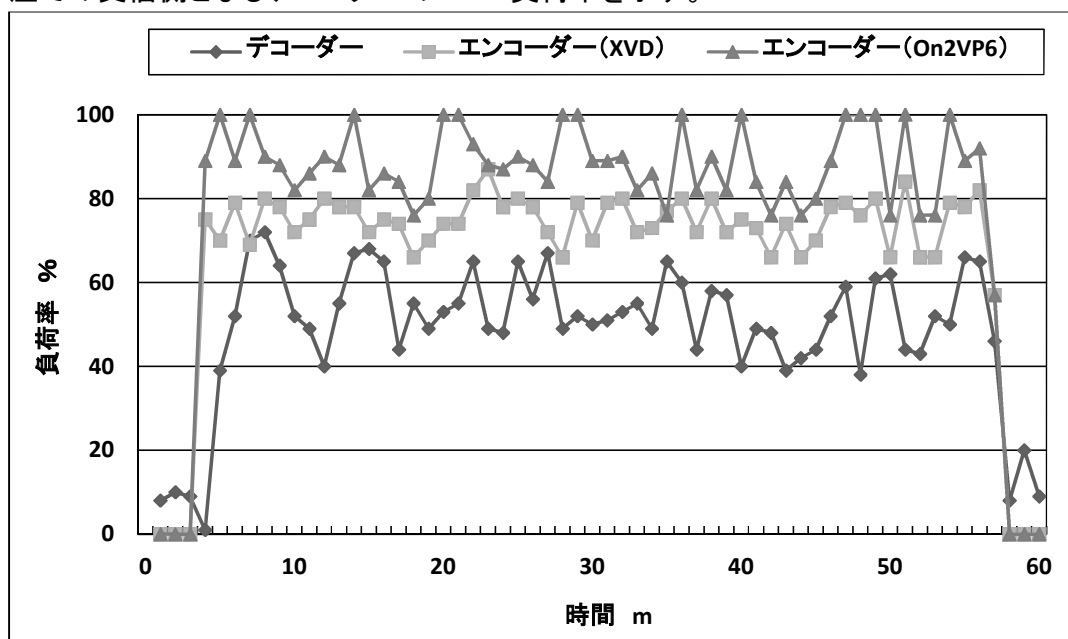


図4-14 CPU 負荷率の相関

デコーダー側の CPU 負荷率は、全ての時間帯において、40～70%で推移しており、十分なハードウェアの性能を有していることが分かり、遅延の原因となっていないことが分かった。

一方で、エンコーダー側の CPU 負荷率は、XVD 形式では、おおよそ 80%前後であるのに対して、On2VP6 形式では、100%となる時間帯があり、遅延の原因となっていたことが分かった。

前述の知覚画質の比較でも示したように、豊島からのデータ伝送速度として得られている 512kbps 前後の帯域では、XVD 形式が最も画質でも優れていることもあり、本モデル授業で使用する動画圧縮形式は、XVD 形式を選択することが、最適であると考えられる。

次に、選択した XVD 形式でのビットレートとフレームレートの計測を行った。

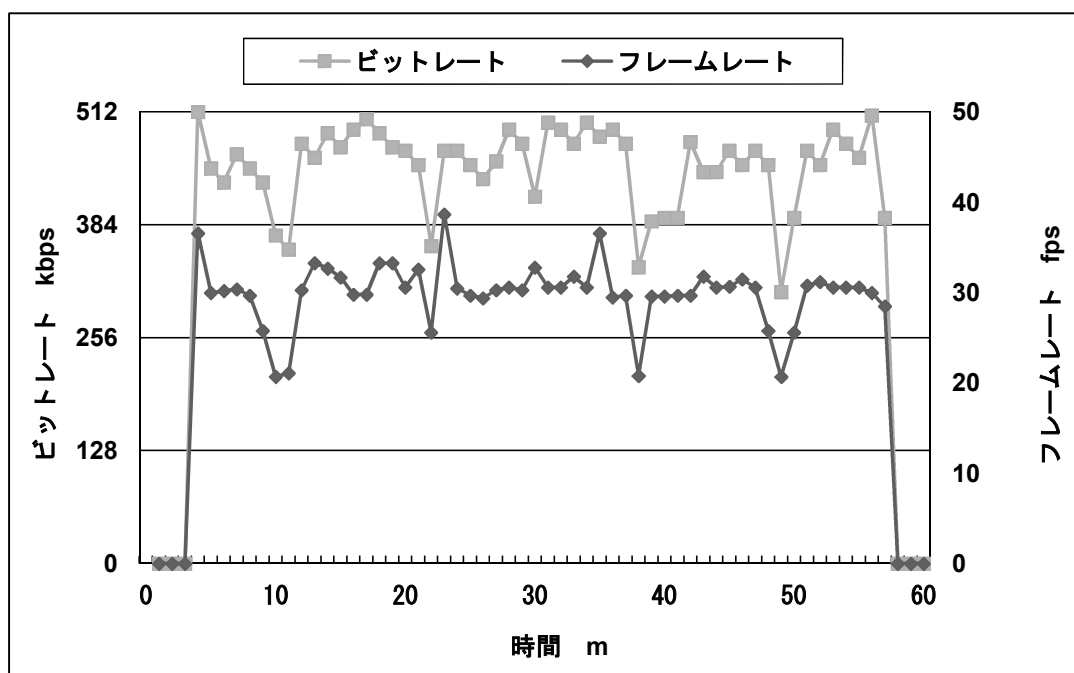


図4-15 ビットレートとフレームレートの相関

一般的なテレビなどで用いられている NTSC 形式でのフレームレートである 29.97fps と比較することで動画遅延の検証をしたところ。最大 512kbps のビットレートの設定に対して、384kbps を下回る時間帯においては、フレームレートが 29.97fps を下回っているが、持続的に遅延が発生することはない、XVD 形式での動画伝送が有効であると考えられる。

4.4.2 豊島におけるモデル授業での適用

XVD 形式の動画圧縮を用いて、香川県豊島からの遠隔講義のモデル授業を行った。

前述のように豊島は瀬戸内海の離島であり、島から本土までは、ADSL12M の回線のみで結ばれている。また、今回遠隔講義の配信を行う、「不法投棄現場」や「中間保管・梱包施設」周辺では、3G 回線などの携帯電話回線は不通であり、最も近くにネットワークインフラがある「心の資料館」からも 200m 程度ほど離れている。

そこで、本モデル授業では、「心の資料館」を中心に、「中間保管・梱包施設」に対しては、指向性無線 LAN による接続を行い「不法投棄現場」に対しては、電波強度測定により、中途の山陰により無線 LAN による接続が困難であることが分かったため、山陰を越えるまでは PoE による有線 LAN を使用し、その後「不法投棄現場」内での接続に関しては、可搬式の無指向性無線 LAN を用いて接続することとした。下記に、ネットワーク構成の全体図と配信状況を示す。

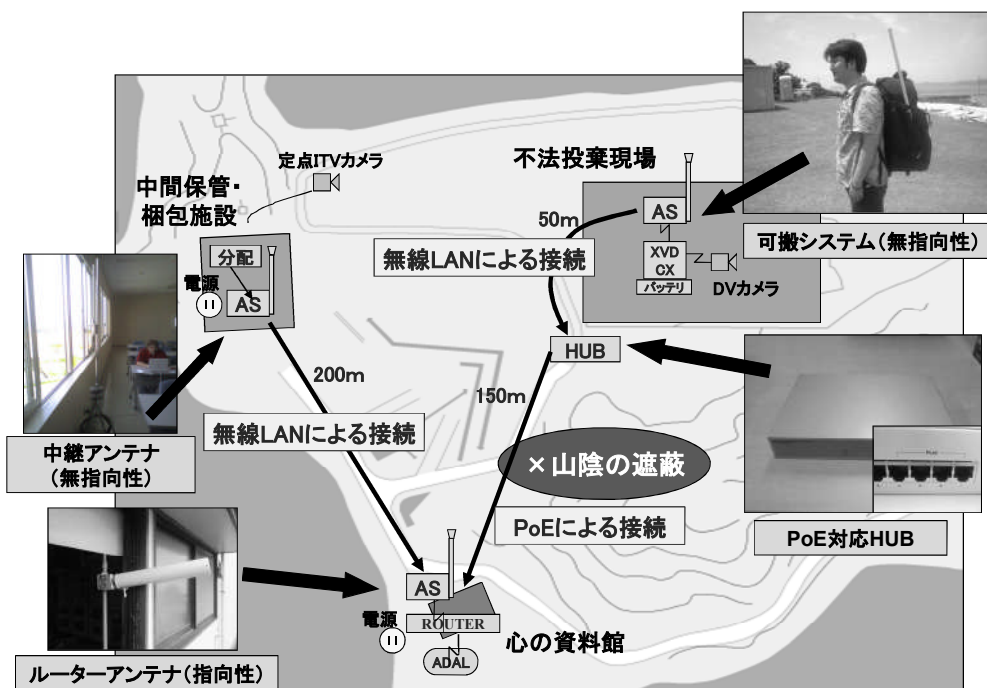


図4-16 ネットワーク構成の全体図

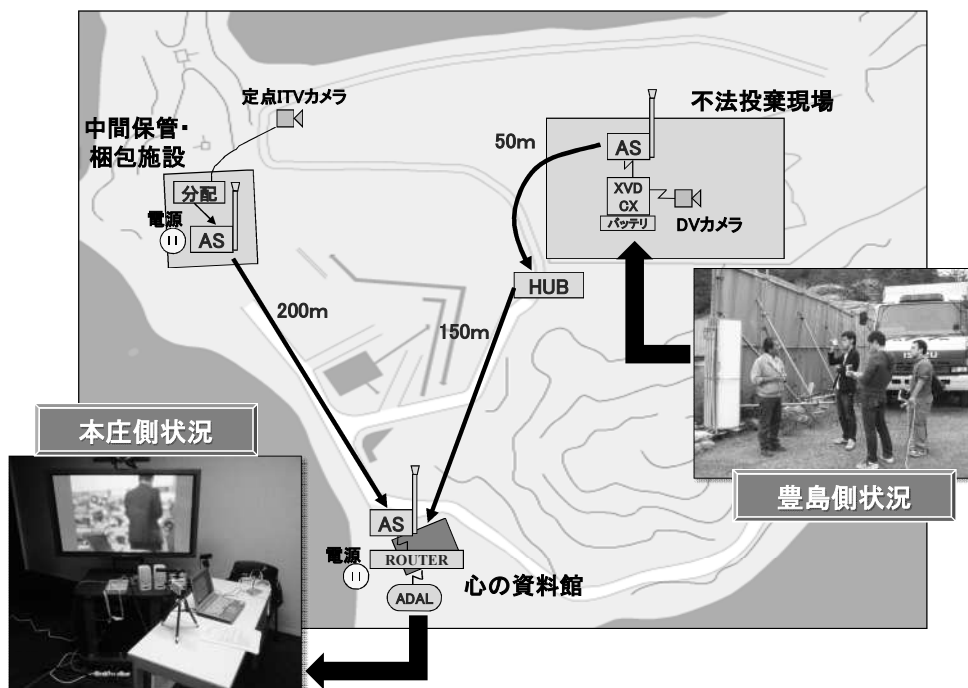


図4-17 豊島からの配信状況

同時に講義配信時のビットレートとフレームレートの計測を行った。豊島側からの配信を行っている時間帯において、事前のデータ伝送試験と同様に、おおよその良好なフレームレートが得られ有効な配信が行うことに成功した。

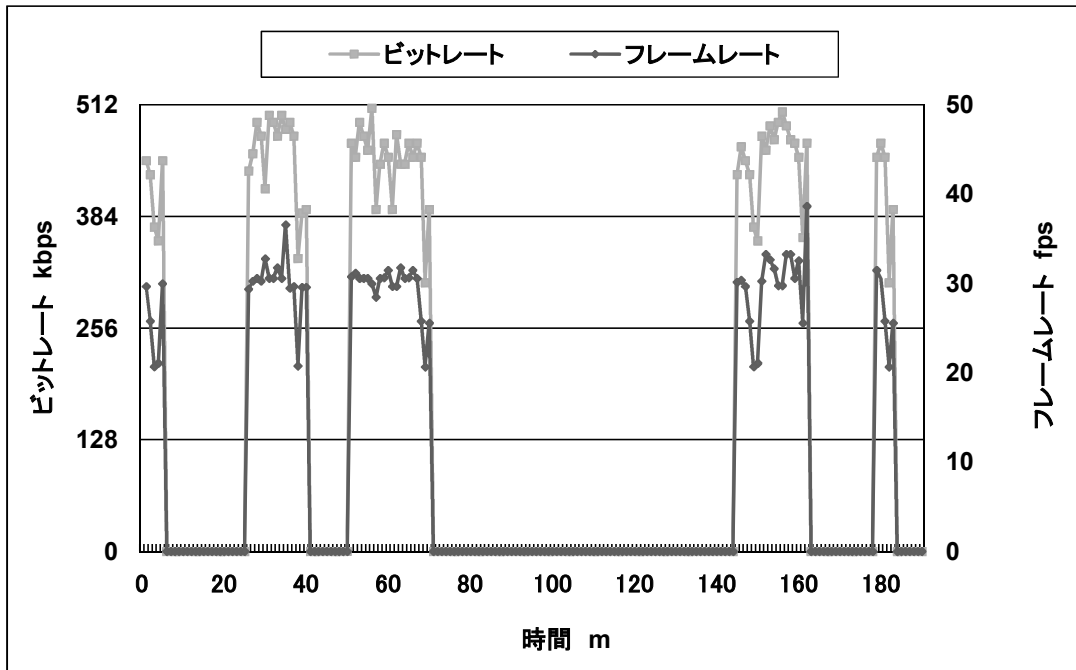


図4-18 配信時のビットレートとフレームレート

4.5 まとめ

多様なネットワーク環境に対応した動画圧縮およびデータ伝送手法の開発をし、最適モデルの提案および実証を行った。そこから得られた知見を以下に示す。

- ・ネットワーク未発達地域にける遠隔講義に用いられるシステムの整理をし、課題の抽出を行った。
- ・ランレンクスによる圧縮を行い低帯域でも画像の劣化を防ぐことのできる XVD 形式での動画圧縮手法の開発を行い、256～640kbps の低帯域時に有効である。
- ・離散コサイン変換を用いることで、効率的に近隣画を予測し圧縮を行うことのできる On2VP6 形式での動画圧縮の開発を行い、768～1024kbps の中帯域時に有効である。
- ・電波強度を測定することで、指向性を踏まえたアンテナの最適配置方法を検討し、ネットワーク未発達地域の屋外における無線 LAN ネットワークの構築をした。
- ・混合 PoE ケーブルの製作を行い、電力網がない地域における有線 LAN ネットワークに構築をした。
- ・CPU 負荷率、ビットレート、フレームレートの相関関係から最適動画圧縮の選択をし、香川県豊島を題材にネットワーク未発達地域での導入検証を行い、ネットワークインフラおよび電源の存在しない地域におけるシステムの有効性を実証した。

第5章

VRを用いた体感教育による 授業支援手法の開発

第5章 VRを用いた体感教育による授業支援手法の開発	5-1
5.1 VR技術を用いた教育の必要性	5-1
5.2 VR技術を用いた実習・実験に対応した安全教育支援システムの開発	5-3
5.2.1 大学における安全教育の現状	5-3
5.2.2 体感型安全教育支援システムの開発	5-7
5.2.3 XMLを用いたシナリオマネージャーの開発	5-10
5.3 VR技術を用いた体感型安全教育支援システムの評価	5-13
5.3.1 実証試験による体感効果の検証	5-13
5.3.2 体感効果の定量評価手法の提案	5-14
5.4 実証試験を踏まえた体感型安全教育支援システムの改良	5-17
5.4.1 アーム長の変更による操作性の改善	5-17
5.4.2 トルクの変更による体感効果の改善	5-20
5.5 まとめ	5-22

図5-1 ICT利用教育に必要となる要素技術

図5-2 早稲田大学における安全教育の事例

図5-3 早稲田大学における事故事例

図5-4 実験室での事故事例

図5-5 体感型安全教育支援システムの全体構成

図5-6 体感型安全教育支援システムの外観

図5-7 教育コンテンツ作成の全体フロー

図5-8 送風機メンテナンス時の事故事例

図5-9 体感効果の評価

図5-10 教育効果の評価

図5-11 心拍数の測定結果

図5-12 改良された反力デバイス

図5-13 操作性テスト用VRコンテンツ

図5-14 未経験者による操作結果

図5-15 経験者による操作結果

図5-17 増強されたトルクと平均得点

図5-16 モータを追加した反力デバイス

図5-18 体感効果における重要度の比較

表5-1 安全 E-LEARNING の教育コンテンツ

表5-2 早稲田大学における事故分類

表5-3 被害箇所と件数

表5-4 シナリオマネージャーの設定例

表5-5 被験者群の分類

表5-6 生体反応による評価例

表5-7 標準偏差の比較

第5章 VRを用いた体感教育による授業支援手法の開発

本章では、大学における安全教育を事例に VR 技術を利用した体感教育による授業支援手法の開発を行う。

ICT 利用教育における授業支援手法として、代表的なものは、第 2 章でも示したように、PC によるプレゼンテーションソフトの利用とそれを投影するためのプロジェクターの利用である。プレゼンテーションソフトを利用することで、従来の教科書と違い、比較的新しい情報を盛り込むことができ、プロジェクターを利用することで、従来の黒板やホワイトボードへの板書に比べてより多くの情報を学習者に提供できるという利点がある。

しかし、これらの手段は教授者からの情報量を増大させることはできても、学習者からの反応を向上させる効果は望めず、今後の ICT 利用教育に求められる要素である双方向性やコミュニケーション性の確保には寄与しない。

これに対して本研究では、VR 技術を利用し、不可視情報を可視化することで疑似体験をさせ、さらに視覚だけでなく、各種のハードウェアによる聴覚、触覚に対する刺激を再現する。このことで、従来の対面講義では得ることのできない教育効果を学習者に提供することが可能となる。

さらに、従来の教育効果の測定方法がアンケートやテストといった学習者に依存する割合の大きい評価手法であったのに対して、体感効果に対応した生体反応を計測することで、その効果を定量的に評価する手法の検討を行う。

5.1 VR 技術を用いた教育の必要性

VR 技術を利用した教育は、航空機、鉄道や自動車の操縦・運転訓練などの最終的には、実機での利用を想定する前段階として、体験を行うための場面で利用されていた。しかし、これは大規模なシステムを導入することが必要であり、大学教育という場面では運用が難しく、自動車の運転免許取得といった公的機関での利用や航空機の操縦など極めて専門性が高い場面での利用に限定されていた。

限定的な大学教育での利用場面として挙げられるものとして、医療訓練への利用が考えられる。医学部などを要する大学において、学生教育を行う場合、その性質上、学習時に人体を利用した際のミスは、そのまま研究倫理の問題へと発展する。これに対して VR による再現を行うことで、疑似的に体験するという教育手法が用いられるようになった。これは、前述の航空機の操縦訓練と同様に極めて専門性が高く、事故が起こった場合のリスクが非常に高いことから、高額な大規模システムを導入したとしても、その分の効果を得ることができると想定されるものである。

しかし近年では、市販されている民生用 PC においてもグラフィック描画の性能は向上しており、特に視覚表現に限定すれば、3D テレビやヘッドマウントディスプレイが市販されるなど、VR 技術は、急速に身近なものとなってきている。

こういった状況の中で、大学・大学院の ICT 利用教育に関わるシステム担当者 207 名を対象に、今後の ICT 利用教育に必要となる要素技術についてアンケート調査を行った結果を以下に示す。

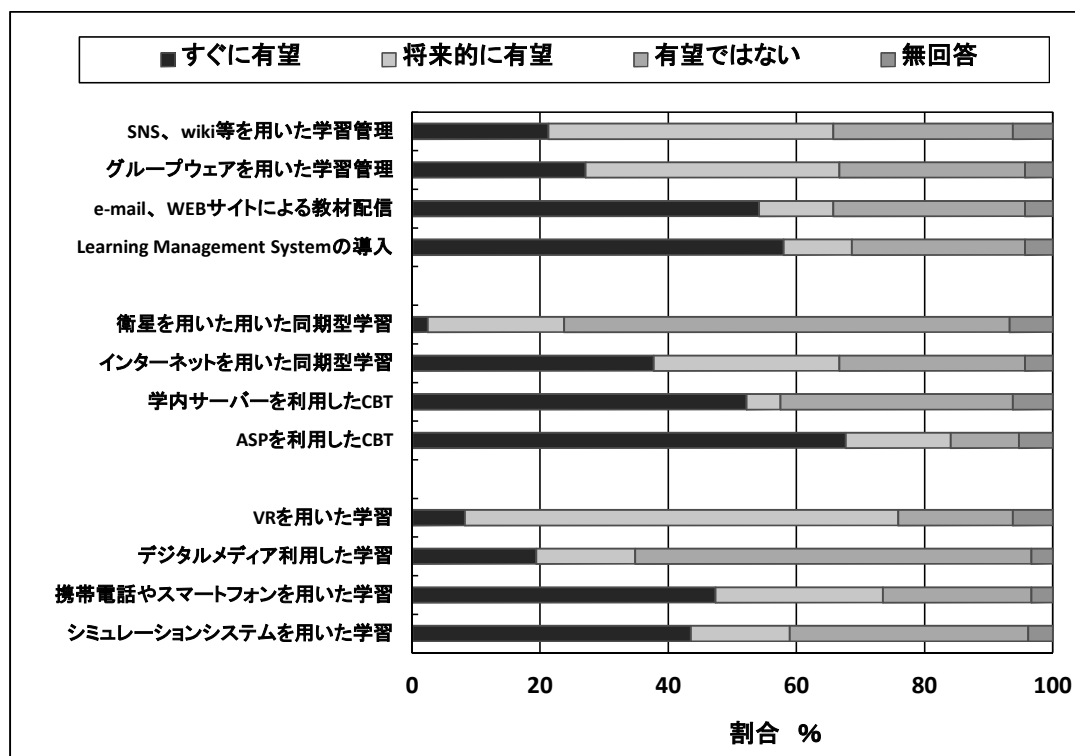


図5-1 ICT 利用教育に必要となる要素技術

LMS や ASP を利用した CBT など、すでに導入が進んでいる技術のようにすぐに有望であるとはされていないが、将来的に有望な技術として SNS やグループウェアの利用と共に、VR 技術を用いた学習が挙げられており、今後の実用化に向けた開発が求められている。

5.2 VR技術を用いた実習・実験に対応した安全教育支援システムの開発

5.2.1 大学における安全教育の現状

本研究では、VR技術の利用場面として大学における実習・実験に対応した安全教育を題材とするが、その背景として、大学における安全教育の現状を早稲田大学を例として示す。



図5-2 早稲田大学における安全教育の事例

早稲田大学では、安全に関する基本方針を示すことで、全体に共有できる「指針策定」を行い、これに対する具体的な情報を広く「情報配信」するために、安全のてびきの配布や安全WEBによるWEBサイト構築を行っている。さらに、実際に実習・実験において、機器を利用する前に安全衛生講習会を行い座学による学習とともに、実機を利用した体験学習を行っている。

しかし、これら形式では、一度に学習できる人数に限られるために、2010年度よりビデオ映像をインターネット上に配信する安全e-learningを整備することで「ビデオ配信による疑似体験」を行っている。

安全e-learningは早稲田大学が全学で共通的に利用されているLMSであるCourse N@vi上でのコンテンツの一部であり、教育コンテンツを年々充実させることで、2012年度には、以下に示す12のコンテンツが整備されるに至った。

表5-1 安全 e-learning の教育コンテンツ

No	導入年度	内容
1	2010 年度	実験を安全に行うために
2	2010 年度	緊急時の対応
3	2010 年度	防災対策
4	2010 年度	電気災害防止のために
5	2010 年度	高圧ガスの安全な取り扱い
6	2010 年度	化学薬品の安全な取り扱い
7	2010 年度	実験系廃棄物の取り扱い
8	2010 年度	化学物質管理システムの利用方法
9	2010 年度	X線・放射線の安全な取り扱い
10	2011 年度	動物実験を行う前に
11	2011 年度	遺伝子組み換え実験を行う前に
12	2012 年度	工作実験を扱う際の安全対策

しかし、こういった教育コンテンツを整備しても、研究教育活動の中でヒューマンエラーなどのプリミティブなトラブルに起因する事故が多発している。これらは時には建物や実験器具の破損といったものにとどまらずに、研究者自身に障害を残す大きな事故に繋がるものもある。

早稲田大学における安全管理体制は、大学全体を統括する部署として環境安全管理課、次に学術院(今回は理工学術院を例とする)レベルを統括する技術企画総務課、さらに各種学科ごとの実験室(化学、物理、生物、電気通信、工作、材料、熱流体)のように階層構造になっており、上位組織である環境安全管理課と技術企画総務課については、消防や救急、処理の行き場のない事故事例、つまりは騒ぎになった事故のみを収集しており、実験室レベルで発生しているプリミティブなトラブルや実際には事故とならなかったヒヤリハット事例の収集は行われていない状態である。

また、前述のような各種の安全教育を行っているが、事故の根絶に至っておらず、より教育効果を高めるために従来の座学の加えて、体感型の教育を増やすことが有効であると考えられる。

しかし、大学と特殊性として企業など違い、新入生を受け入れ、多くの経験をしたころには卒業してしまうというように、現場に経験が蓄積されること無く、常に人員が流動的である。また、1 学年に多くの学生が所属する状態で、学生を同一の場所に集めてという形になると全ての学生に体感をさせることができない。そのために複数回実施しようとする、その分、費用・時間が掛かるとともに、その都度、教育のために実験設備が研究目的使用できなくなってしまうなどの問題があり、全ての事故事例を実際の現場の中で体感することは困難である。

これに対して、本研究において提案する VR 技術を用いた体感型安全教育支援システムは、擬似的に事故を体感できる機能を有するとともに、通常の PC と汎用デバイスのみで構成されており、安価かつ可搬することができ、このような事例の安全教育に用いるには有効であると考えられる。

体感型安全教育支援システムを構築にあたり、大学における事故事例を下記のように分類して収集を行い、最も効果的な事故分類、被害箇所に対応した教育コンテンツの開発を行う。

表5-2 早稲田大学における事故分類

No	事故分類
1	火災・発煙
2	飛来、落下
3	切れ・こすれ
4	はさまれ・巻き込まれ
5	高温、低温の物との接触
6	感電
7	有害物質等との接触
8	爆発
9	転倒
10	破裂
11	崩壊、倒壊
12	墜落、転落
13	激突され
14	無理な動作、動作の反動

事故事例は前述のように全てを把握している部署が存在しないため、環境安全管理、各実験室、研究室学生にそれぞれヒアリングし 132 事例を収集し、その中から台風等の天災および放火等の人為的な外部要因で発生した事故 16 例を除き 116 例の分析を行った。

消防と連絡をとる火災・発煙や同様に救急に連絡をとる重症に繋がる事故事例については、環境安全管理課が集めた事例が多く、飛来・落下や切れ・こすれ、はさまれ・巻き込まれなどの比較的軽微な事故事例に関しては、実験室からの報告が多いということが分かる。

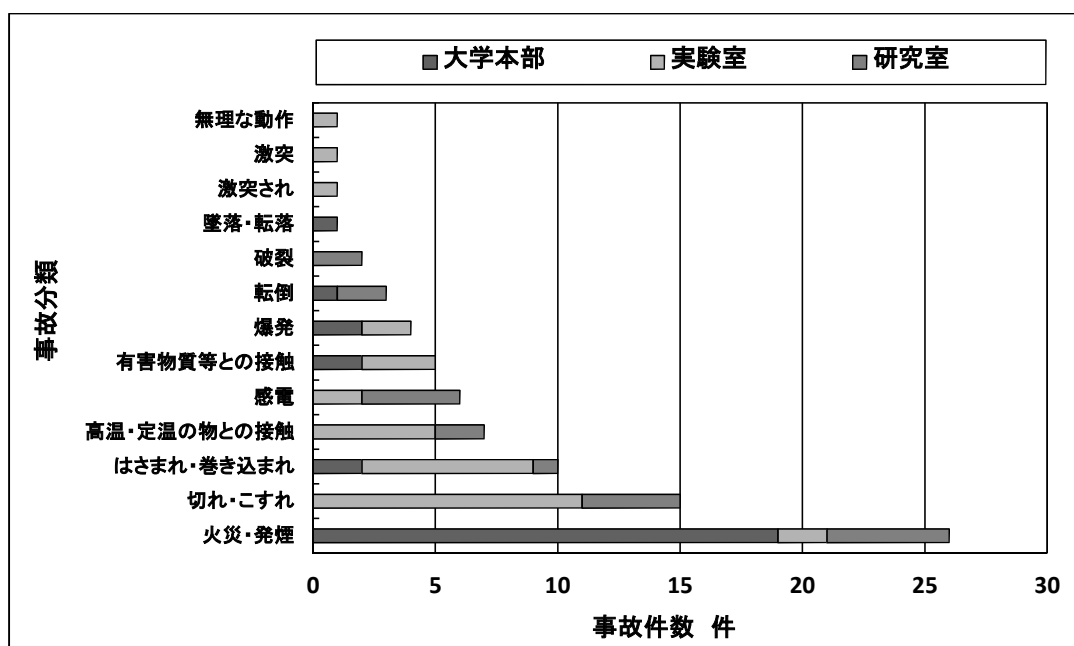


図5-3 早稲田大学における事故事例

次に、この中で実際に学生が実習・実験中に事故に合っていると考えられる実験室での事例について、事故分類と被害強度による分析を行う。

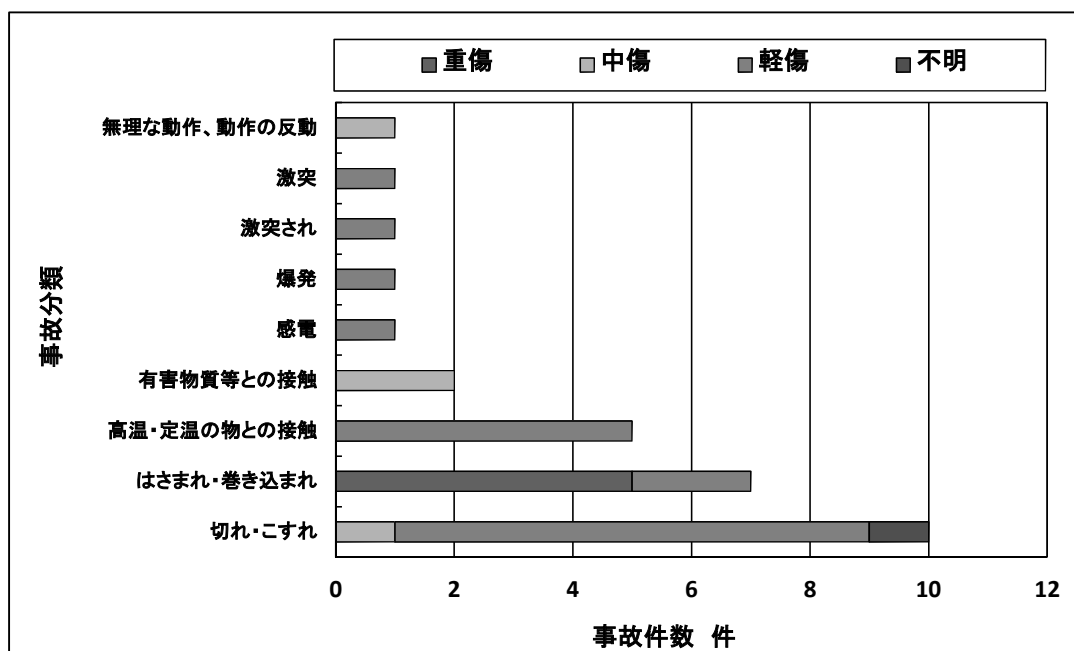


図5-4 実験室での事故事例

事例のほとんどが機械系の事例であるため切られやはさまれ、巻き込まれといった例が多くなっている。被害別にみると、挟まれや飛来落下において重傷の事例が多く、それらを詳細にみると金属加工用機械に作業着などが巻き込まれた事故や刃で手を切る事例が多い。ついで、材料のバリでの切られや落下による事故が多い。

さらに、これらの事故において被害を受けた箇所の分析を行うと、下記に示すように示すように 35 例中 21 例が手周辺の事故であることが分かる。

表5-3 被害箇所と件数

部位	件数
頭部	7
胴体	1
腕	1
手周辺	21
足	5

このように、大学における実習・実験時の事故事例としては「切れ・こすれ」、「はさまれ、巻き込まれ」といったものが多く、被害箇所としては「手周辺」が多いことが分かり、本研究では、これに対応した体感型安全教育支援システムの開発を行う。

5. 2. 2 体感型安全教育支援システムの開発

体感型の教育は、企業の工場などでは採用されているが、時間および場所の制約が多く、受講対象となる学生が多い大学で行うことは難しいと考えられる。そこで VR を用いて擬似的に事故を体感することのできるシステムを構築することで、学習するための時間と場所の制限を緩和する。

これを、座学と併用することで教育効果を高め、事故に対する危機感を習得させヒューマンエラーなどの防止を図り、総じて事故・トラブルの防止に寄与することを目的とする。

さらに、本システムは、一般的な PC で扱うことのできる VR プラットフォームと汎用デバイスを組み合わせることで、比較的安価にシステムを構築することができるという特徴を持つ。VR プラットフォームとしては、本システムのために新規に開発を行った Waseda Environmental Information Visualize System (以下、WEIVS とする) を採用することとした。

WEIVS は 3DS Max などで作成した汎用的な 3DCAD データを容易にコンバートできるという特徴に加え、従来のソリッドレイ社のオメガスペースなどと違い、高性能の PC を必要とせず汎用的なノート PC でも動作することが可能である。VR 技術自体がより高精細、高解像度へと技術向上していく中で、今回のようなそれほど高精細でなくて

も、逆に軽量なシステムで動作することを目的とした VR プラットフォームは他になく新規に開発することとなった。

VR プラットフォームを動作させるための PC を中心に、視覚、聴覚、触覚に刺激を与えるデバイス群で構成される。以下にシステム概要を示す。

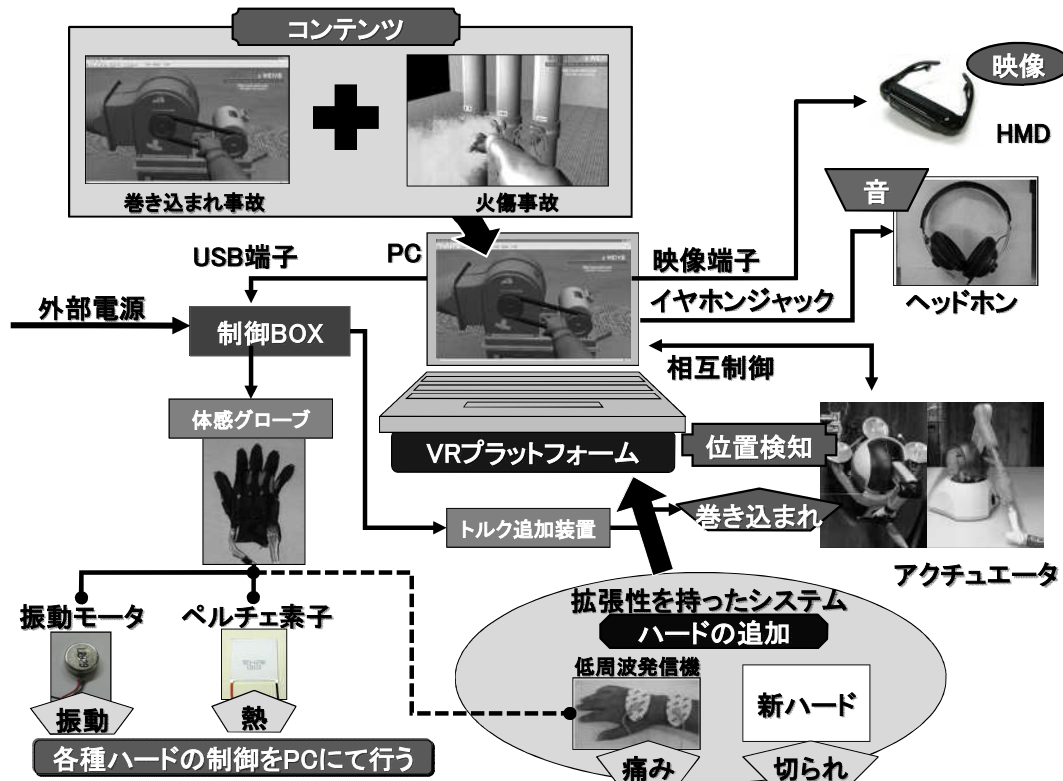


図5-5 体感型安全教育支援システムの全体構成

視覚、聴覚に関しては、通常の PC の機能においても、ディスプレイへの表示およびスピーカーからの音声により再現することができるが、より臨場感を高めるために、今回はヘッドマウントディスプレイおよびヘッドフォンを採用した。

また、本システムの重要な要素である手周辺への触覚の再現のためには、データグローブを採用し、さらに細かく刺激の内容を加えるため、振動モータによる「振動」、ペルチエ素子による「熱」、低周波装置による「痛み」などの装置を組み込んでいる。

指ごとに組み込まれた振動モータは、挟まれた方向から順に動作させることで「挟まれ」を再現している。これと同時に低周波発生装置を動作させることで、挟まれた結果として、痛みが発生するという流れを再現している。

さらに、今後新たな事件事例に対しても対応できるように、これらの各種装置は、USB 接続により動作する制御 BOX で一括管理を行うことで、新規装置の追加を容易に行えるようにしている。



図5-6 体感型安全教育支援システムの外観

「引き込まれ、巻き込まれ」といったものを再現するために反力デバイスとしてセンサブルテクノロジー社の PHANTOM Omni(以下 Omni とする)を採用して反力の再現を行っている。

Omni は力覚インタラクションを実現する三次元入出力デバイスであり、三次元オブジェクトと作業者の動的なインタラクションにおいて、視覚情報だけでなく力覚情報を加えることにより、物体に触れたときに手に伝わる反力をリアルに再現し、操作性を向上させるためのデバイスであり、外科手術のトレーニングシステムや遠隔ロボット制御の入力デバイスとして採用されているものである。

次に、体感型安全教育支援システムを利用した教育コンテンツ作成の全体フローを示す。

最初に、事故事例の情報を収集し分析することで、事故が発生する状況や被害箇所・重度を検討し、事故事例を再現するシナリオ案を作成する。

また、作成されたシナリオ案に沿い、VR プラットフォーム上に表示させる VR コンテンツを基となる 3DCAD データの作成と、事故の体感させるためのハードウェアの選定を行う。この際に既存ハードウェアでは対応できない場合については、前述したように制御 BOX によって接続される新規ハードウェアの開発を行い、データグローブまたは反力デバイスへの組み込みを行う。

ここまでで製作された VR コンテンツとハードウェアを組み合わせ、事故シナリオに沿った動作を行うために XML を用いたシナリオマネージャーの導入を行っているが、

詳しくは次節で後述する。

最後に、検証試験を行うことで改善点の抽出をし、シナリオの分岐点となる位置座標の修正や、ハードウェアの制御パターンの修正を行うことで、事故の再現度を向上させ、効果的な教育コンテンツとする。

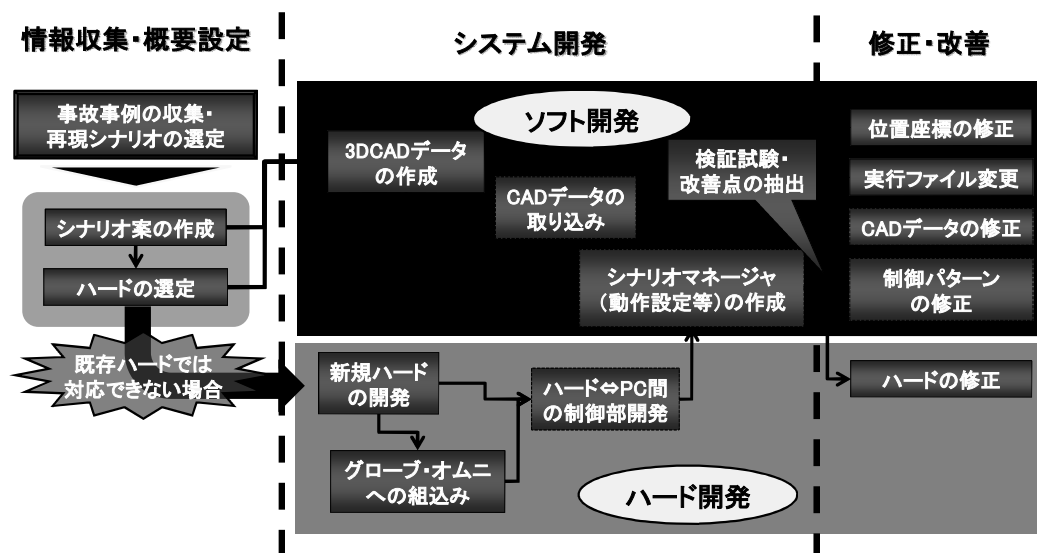


図5-7 教育コンテンツ作成の全体フロー

5.2.3 XMLを用いたシナリオマネージャの開発

本システムを構成するソフトウェアの構成としては、前述のVRコンテンツを表示させるためのVRプラットフォームと、事故シナリオを再現するためのVRコンテンツをおよびハードウェアの制御を行うシナリオマネージャに分けられる。

シナリオマネージャのソースコードとハードウェアの関係を説明するために、本研究で作成した教育コンテンツの中から、事故事例の多かった手周辺の事故の再現した、学生が実験で使用する送風機のメンテナンス時に起きた、回転ベルトに巻き込まれ事故の教育コンテンツを利用する。

送風機のメンテナンスを行う際は、安全マニュアルによれば、送風機の運転を停止してから行うことが正しい処理であるが、停止・再起動の手間を惜しみ運転しながら行ってしまいうという事例があり、その中で回転ベルトに手が挟まれるという事故が起きている。

事故シナリオは実験機器の動作と連動させる必要があるためにWEIVSに組み込む形で作成する必要がある。しかし、1つの実験機器に対して、1つの事故事例が存在するわけではなく、複数種類の事故が発生する場合も考えられるため、動作を定めるためのプログラムを全てWEIVSに組み込んでしまうと、他の事故事例を再現する際に全てを書き換える必要が発生してしまい柔軟な対応ができなくなる。



図5-8 送風機メンテナンス時の事故事例

これを解消するために、ユーザーがデバイスを用いて動かすものが、VR上でどこに存在するかを定めるための座標および実験機器の座標、さらに特定の状態になった際に各種デバイスがどのように動作するかを適宜設定できるようにするために、XMLをベースとしたシナリオマネージャーを作成した。XMLはマークアップランゲージの一種であり、ユーザーが任意に規定したタグに対して、クラスと属性を設定できるという特徴がある。

以下に設定画面の例を用いて設定項目の役割を示す。設定画面は送風機の起動ボタンを押した際に起こる動作を設定したものである。

表5-4 シナリオマネージャーの設定例

行数	ソースコード
L01	<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
L02	<Scenario>
L03	<SceneContent sceneid="S001" scenefile="scene" url="C:¥q¥data¥q9r. xrm">
L04	<Next nextid="N001" input="NULL" />

L05	</SceneContent>
L06	<Haptics deviceid="D001"
L07	scale="3e-3"
L08	pointercenter="-0.2120628804 0.0780888945 0.6161833405"
L09	position="-0.212 0.287 0.61 0.1 0.1 0.3 0.05"
L10	fingercenter="-0.22879 0.13473 0.57356"
L11	startbutton="-0.65999 0.32509 0.60642 0.03"
L12	startbuttonanimation="animation_kaiten"
L13	area="-0.350 0.287 0.61 10.25 0.15 0.05"
L14	playmedia="C:\q\data\Media\ambient.wav">
L15	<Next nextid="N004" input="NULL" />
L16	</Haptics>
L17	</Scenario>

(1) Pointercenter position

実験機器がコンテンツ全体の中のどこにあるか基本座標を定める。

(2) fingercenter

初期状態における画面に表示されている指先の座標を定める。

(3) startbutton

動作の基点となるボタンの座標を定める。

(4) startbuttonanimation

コンテンツが行うアニメーションを定める。

(5) playmedia

アニメーションと同時に再生される音声メディアを定める。

今回の送風機であれば、画面上に表示されている送風機上にある起動ボタンの座標と指先の座標が一致した時に、animation_kaitenによりベルトが回転するアニメーションが開始し、同時に ambient.wavにより回転音を再生するという形になる。

1つの実験機器において複数の事故事例が発生する場合には、startbuttonを複数設定することで、Aのstartbuttonに指先の座標が一致したときは α の音声を流し、Bのstartbuttonに指先の座標が一致したときは β のアニメーションを再生するといった形の設定が容易に行えるシステムとなっている。

この結果、従来のVRコンテンツでは事故シナリオの動作条件をプログラムの中に記述する必要があったのに対して、統一できる動作条件をXMLのクラスおよび属性により規定することで、異なる事故シナリオ作成時の工数の削減を行うことが可能となった。

5.3 VR技術を用いた体感型安全教育支援システムの評価

5.3.1 実証試験による体感効果の検証

製作した体感型安全教育支援システムの評価を行うために、実証試験およびアンケート調査により体感効果の検証を行った。

本システムを初めて利用する50名の被験者に対して、はさまれと引き込まれの体感効果について5段階で評価してもらい、その結果をマッピングしたものを以下に示す。

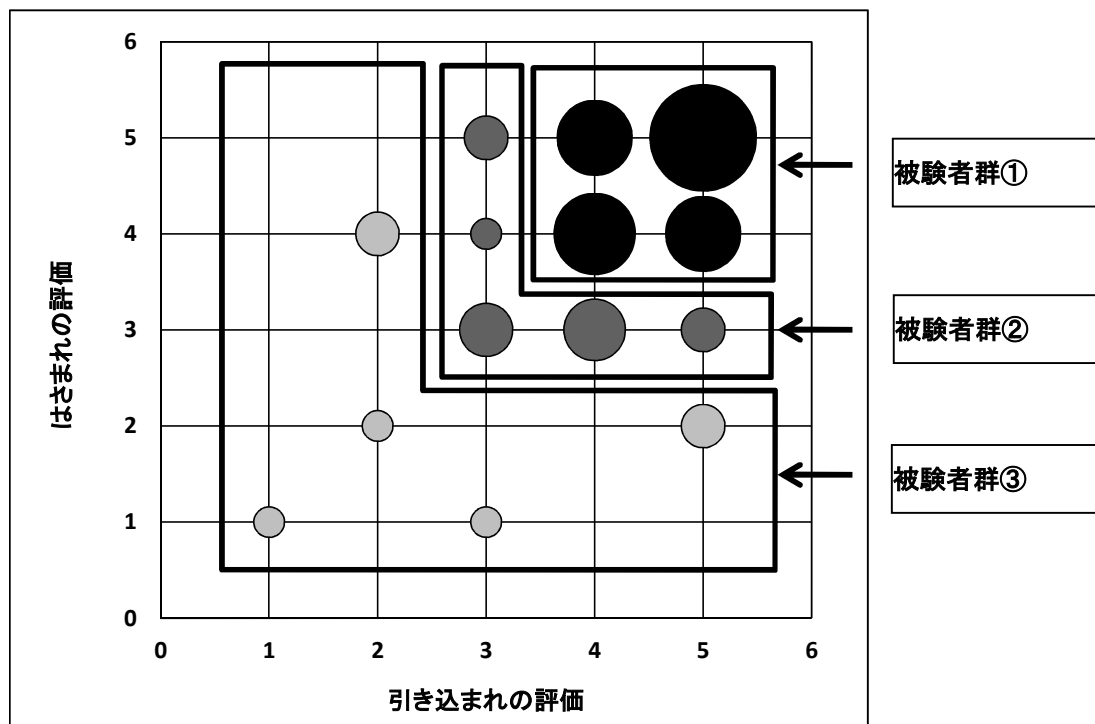


図5-9 体感効果の評価

表5-5 被験者群の分類

被験者群	評価	人数
①	高い	31
②	普通	12
③	低い	7

被験者をはさまれ、引き込まれ共に高い評価をした被験者群①、どちらかに普通または高い評価をした被験者群②、どちらかに低い評価をした被験者群③の3種類に分類した。

この結果より、共に高い評価をした被験者群①の割合は62%となり、本システムが有効な体感効果を行なえていると考えられる。

次に、被験者群ごとに、触覚への刺激の教育効果についてアンケートをした結果を分析したものを以下に示す。

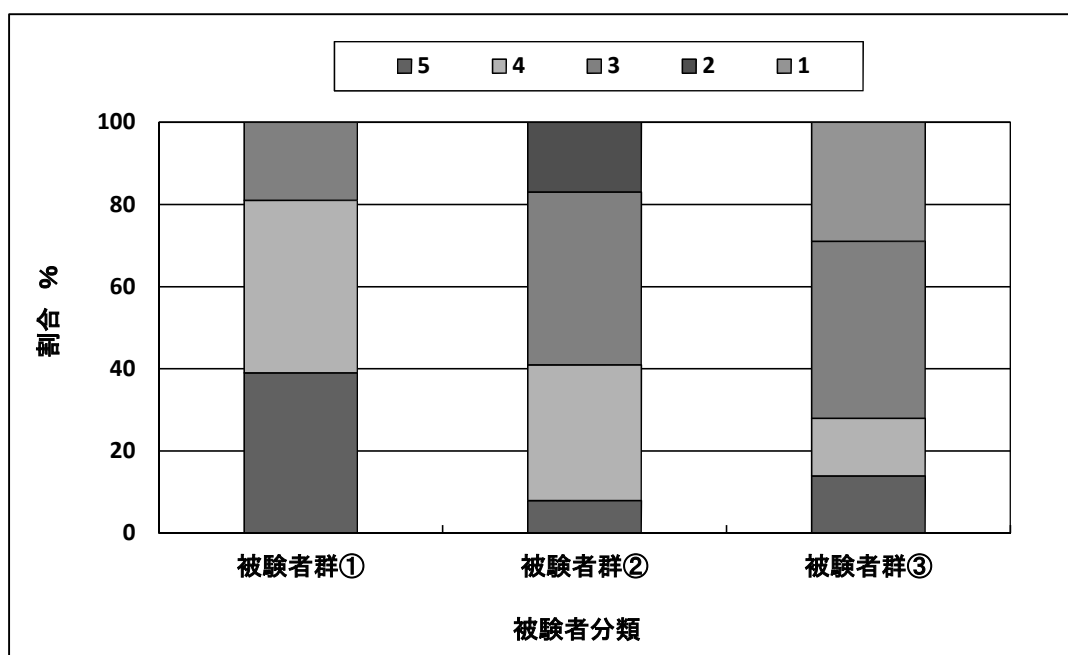


図5-10 教育効果の評価

体感効果を高く評価した被験者群ほど、同様に教育効果についても高い評価をしており、体感効果と教育効果には相関性がみられた。このため、触覚への刺激の感じ方が教育効果に強く影響をしていると考えられる。

5.3.2 体感効果の定量評価手法の提案

次に、体感効果の定量評価を手法の検討を行うために、各種の生体反応による評価手法の調査を行った。

人間工学における人間の体感効果を定量的に評価する手法としては、人体から発生する発汗量、心拍数、体温、脳波、唾液分泌量、目の瞳孔などといったパラメータを取得することで評価を行うことが考案されている。

今回は、実行が容易であり、その場で計測が可能となる心拍数・脈拍を用いた評価手法を用いることとした。

これを前述の送風機メンテナンス時の事故事例において使用し、本システムを複数回利用したことのある研究室内の学生を被験者として、システム利用開始時から事故発生時までの心拍数を計測することで、体感効果を受けた際に拍動に影響があるかを実測する。

また、平常時に腕部分を操作している時と事故発生時に刺激が与えられた際の拍

動を比較することにより、本システムにおける体感効果が有効であるかの定量評価を行った。

表5-6 生体反応による評価例

項目	発汗量	心拍数・脈拍	体温	脳波	唾液内酵素分析	目の瞳孔の広がり
趣旨	局所的な発汗量を計測	心拍数(脈拍)を計測	サーモグラフィによる体温変化を計測	脳波の変化を計測	唾液内の酵素量を計測	瞳孔の様子をカメラにて観測、分析
装置	水分蒸発量計	心拍計・脈拍計	サーモグラフィ	脳波計	唾液マーカ	アイマークカメラ
概算価格	20,000 円	10,000 円	10,000 円	100,000 円	30,000 円	300,000 円
実行容易度から見た可能性	○	◎	○	△	△	×
補足	—	その場で計測可能	差分が少なく計測が困難	大型機器が必要	採取後に分析が必要	—

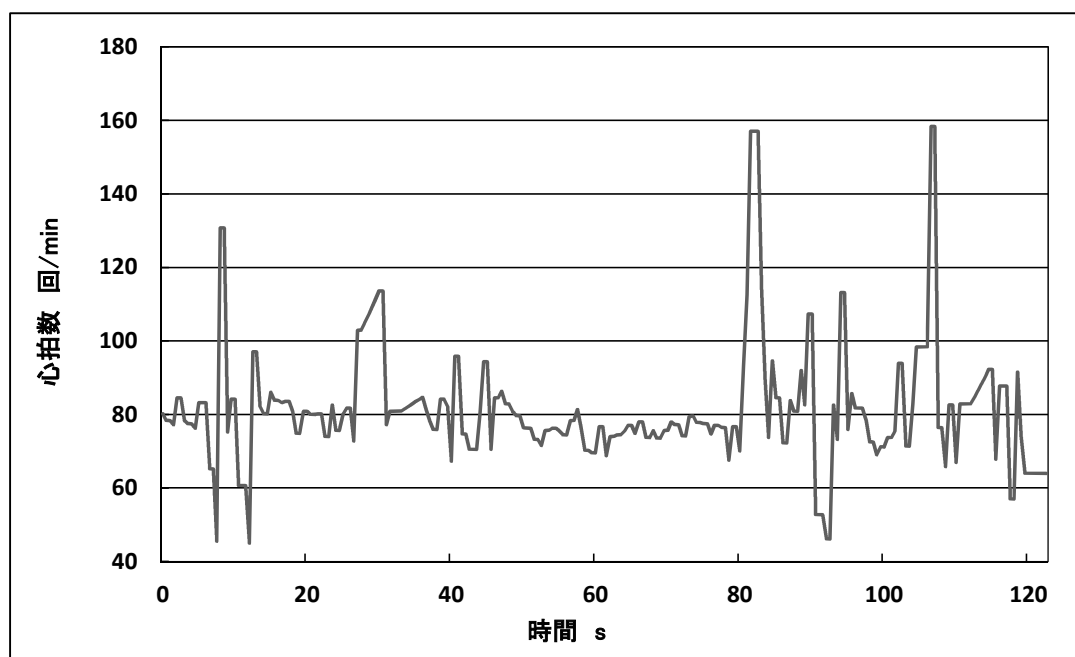


図5-11 心拍数の測定結果

平常時の心拍数は約 90 回/秒で安定しており、VR 上の送風機の起動ボタンを押し、送風機が運転開始した際と事故発生時に大きく心拍数が増加していることが分かる。

前者は起動ボタンを押す際の反力デバイスによるボタンの操作感、運転音、ベルトの振動の刺激に反応したものであり、後者は事故が発生し手が引き込まれ、データ

グローブにより痛みが与えられたものに反応したものである。

拍動間隔 IBI (Interbeat Interval) の平常時の平均と最低値を比較すると平常時：0.699/秒、最低値：0.512/秒となる。

このように、システムを過去に利用したことがあり事故が起こることが分かっている被験者であっても、大きな効果が得られるということが分かり、知識として事故が起こるということを知っているということに加えて、体感させるということが効果的であるということが定量的に証明された。

5.4 実証試験を踏まえた体感型安全教育支援システムの改良

5.4.1 アーム長の変更による操作性の改善

体感型安全教育支援システムは、前述の全体構成でも示したように拡張性を持って開発することを想定している。これは、求められる新しい形の刺激に対して、ハードウェアを追加するという形であると同時に、既存のハードウェアにおいても常に改善・改良を行っていくことを想定している。

アンケート調査および生体反応による定量評価を行う中で、反力デバイスを用いた引き込まれの効果と教育効果における相関性が明らかになった。

しかし、アンケート調査における自由筆記においては、逆に、反力デバイスの操作性について否定的な意見が多かった。これは、一般的な PC の操作におけるポインタの移動は、マウスやポインティングデバイスなどにより操作を行うことが多く、今回採用した反力デバイスでの操作に慣れていないからであると考えられる。特に VR コンテンツにより 3D 表示がなされているために、コンテンツ内の奥行きについて、把握しづらいという意見が多く寄せられた。

これは、アーム長に制限があるためコンテンツ内の奥行きを再現するにあたり、実際の手の移動距離とコンテンツ内の手の移動距離に差異が生じてしまい操作性の悪化に繋がっていると考えられ、それに対する対応として、既存の反力デバイス改良し、アーム長を +15cm、+20cm したものを作成した。

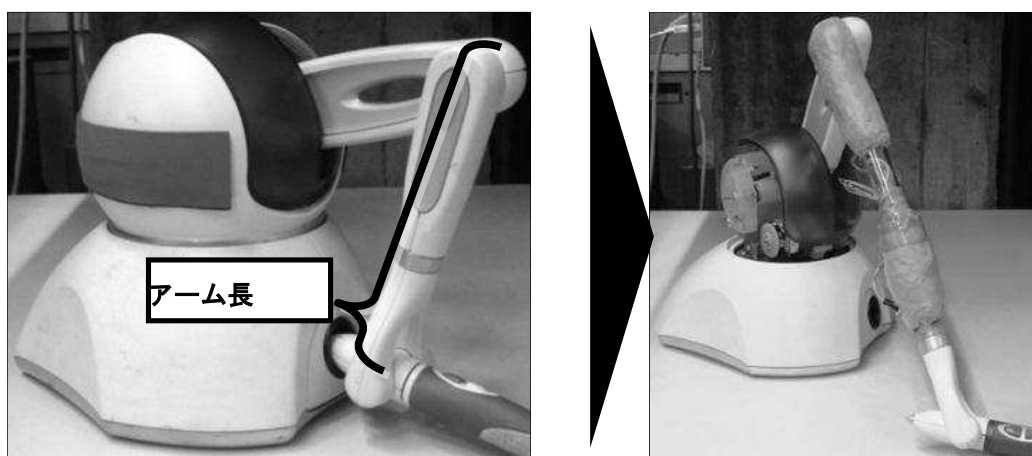


図5-12 改良された反力デバイス

この改造された反力デバイスを用いて、操作性向上の検証を行った。検証を行うためのコンテンツには、画面内でのポインタの移動を中心としたテスト用の VR コンテンツを作成した。

この VR コンテンツに対して、6つの箱のうち、画面中央手前にある灰色の箱と画面右端にある黒い箱以外の4つの箱のうち、2つの箱を選び、「画面中央手前の灰色の箱(スタート地点の箱)→箱1→箱2」の順番で決められた進入方向から到達するまで

の時間を計測することで、被験者に対して、全 6 通りのシナリオを作成し、シナリオを達成できるまでにかかった時間から判断する。決まった進入方向から箱 1 に到達できると、そのサインとして右端の黒い箱が上下運動し、その状態で決まった進入方向から箱 2 に到達できると、そのサインとして引き込まれ感覚を得ることができることとした。

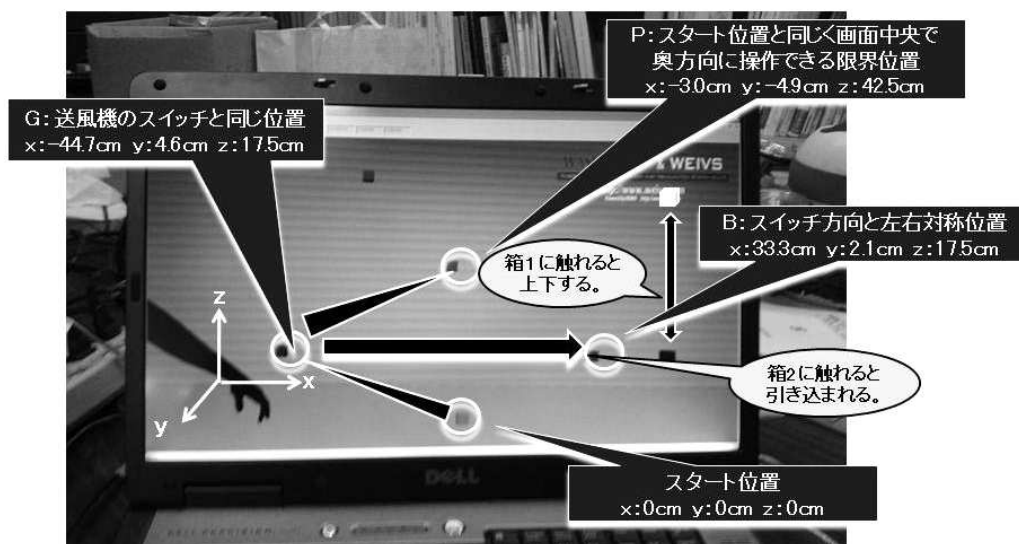


図5-13 操作性テスト用 VR コンテンツ

また、被験者に対して、事前に操作方法の説明を行う機会を設けるグループと設けないグループを設定し、以下の 6 グループを設定した。

グループ①: 未経験者対象、アーム延長長さ 0cm の反力デバイスを使用

グループ②: 未経験者対象、アーム延長長さ 15cm の反力デバイスを使用

グループ③: 未経験者対象、アーム延長長さ 20cm の反力デバイスを使用

グループ④: 経験者対象、アーム延長長さ 0cm の反力デバイスを使用

グループ⑤: 経験者対象、アーム延長長さ 15cm の反力デバイスを使用

グループ⑥: 経験者対象、アーム延長長さ 20cm の反力デバイスを使用

これらの被験者に対して、操作にかかった時間の標準偏差を算出し、比較を行った。未経験者のグループは延長長さが 15cm のものを使用したグループ②の標準偏差が最も小さく、経験者との差も最も小さかった。

表5-7 標準偏差の比較

アーム延長長さ	0cm	15cm	20cm
未経験者	4.580	1.334	3.007
経験者	0.649	1.661	0.798

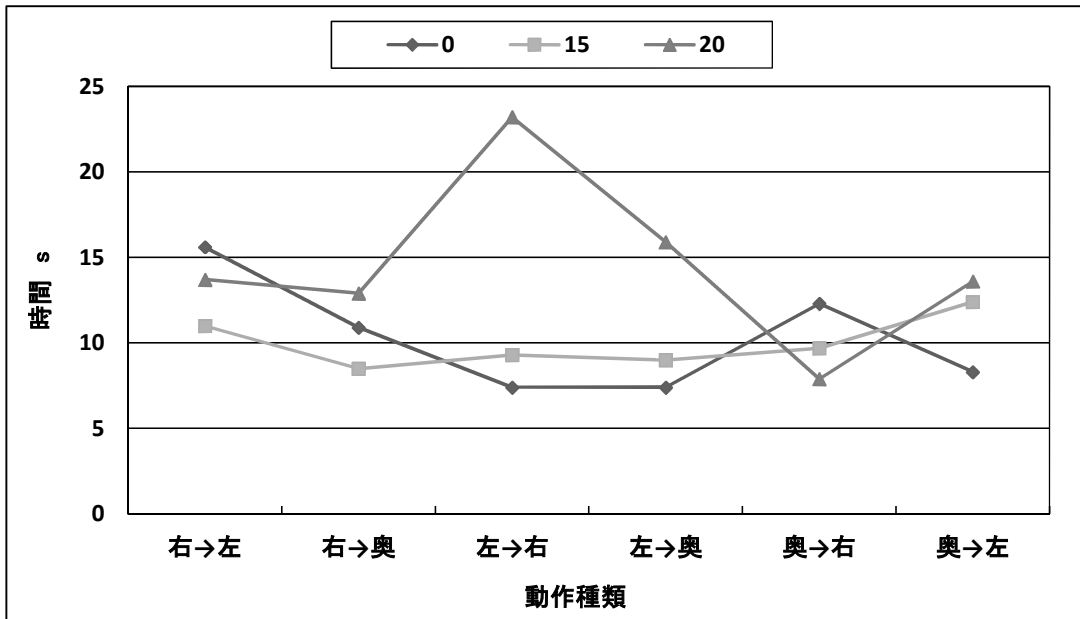


図5-14 未経験者による操作結果

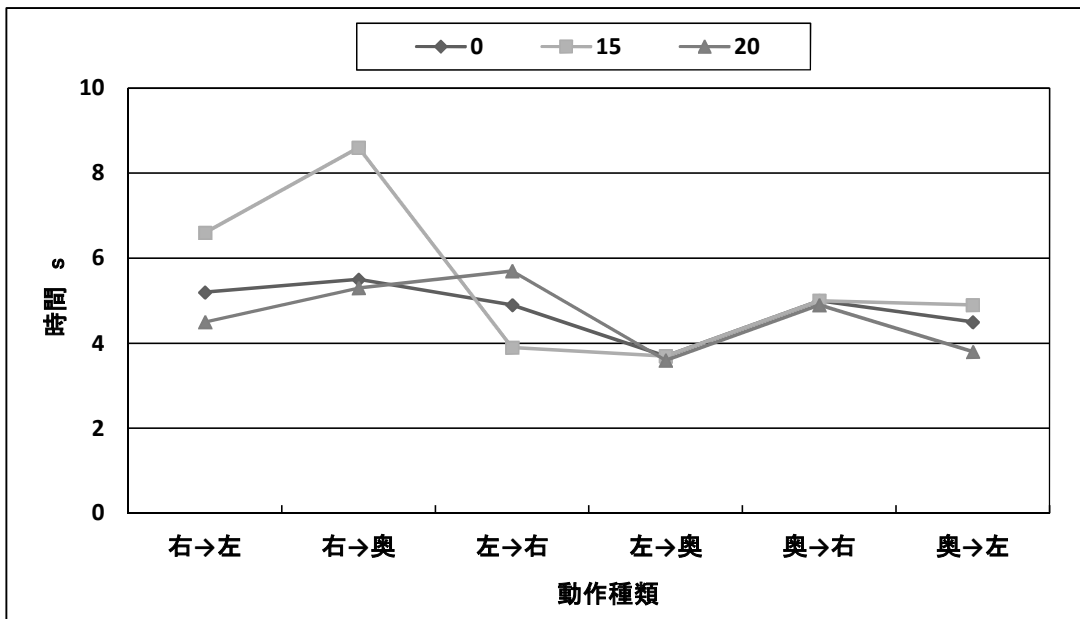


図5-15 経験者による操作結果

このことより、未経験者でも、経験者とほとんど同じような操作感覚で操作できており、アーム長 15cm のものが最も操作性が高いという結果となり、この長さを採用することとした。

5. 4. 2 トルクの変更による体感効果の改善

次に、反力デバイスに対して、外部にモータを取り付けることで、引き込まれ効果の向上を図り、そこから得られる体感効果の改善についての検証を行った。

以下に、モータを追加した反力デバイスを示す。

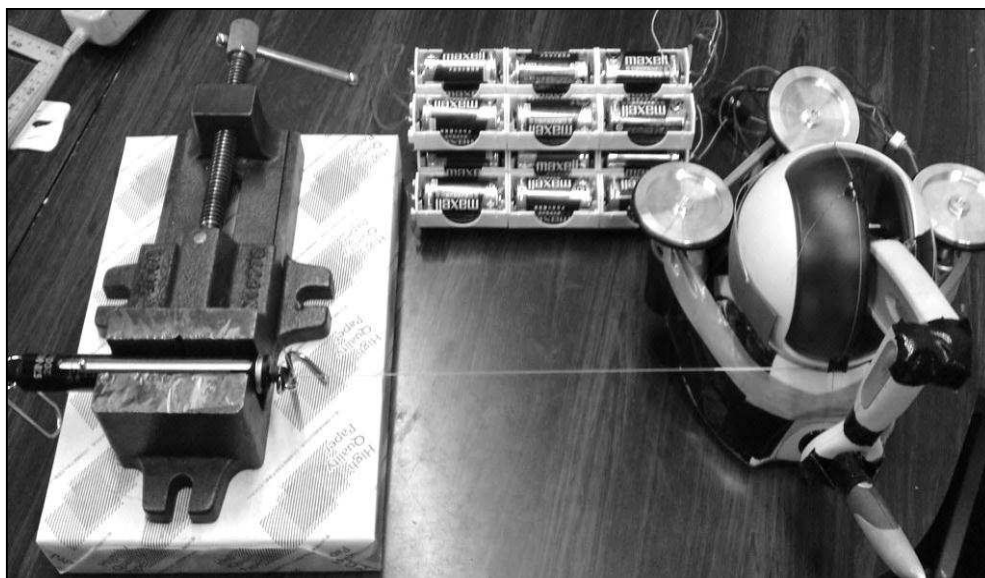


図5-16 モータを追加した反力デバイス

モータに対して入力する電圧を 3V、6V、9V の 3 段階に設定した場合のトルクの計測を行った。モータを取り付けていない場合の反力デバイスのトルクは 312g・mm であり、増強されたトルクと体感効果の平均得点を以下に示す。

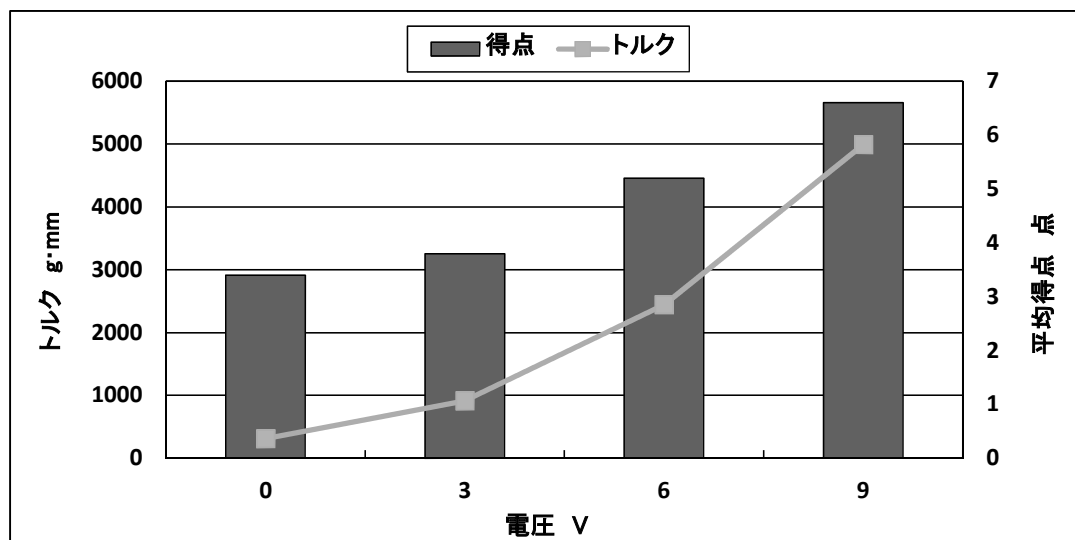


図5-17 増強されたトルクと平均得点

まずモータにける電圧を追加なし、3V、6V、9V と変化させて、被験者 5 人に対し
て事故の再現度を 10 点満点で評価した。

その結果、0v の場合の平均点が 3.4 点、3v の場合の平均点が 3.8 点、6v の場合
の平均点が 5.2 点、9v の場合の平均点が 6.6 点、となり 9v における評価が最も高い
ことが分かり、反力デバイスのトルク増強は、体感効果の改善に有効であることが分
かった。

また同様に電圧を変化させ、体感型安全教育支援システムにより得られる効果で
ある、引き込まれ、挟まれ、音声、映像の 4 つの項目についてのシステム全体におけ
る重要度の割合の変化を調査した。

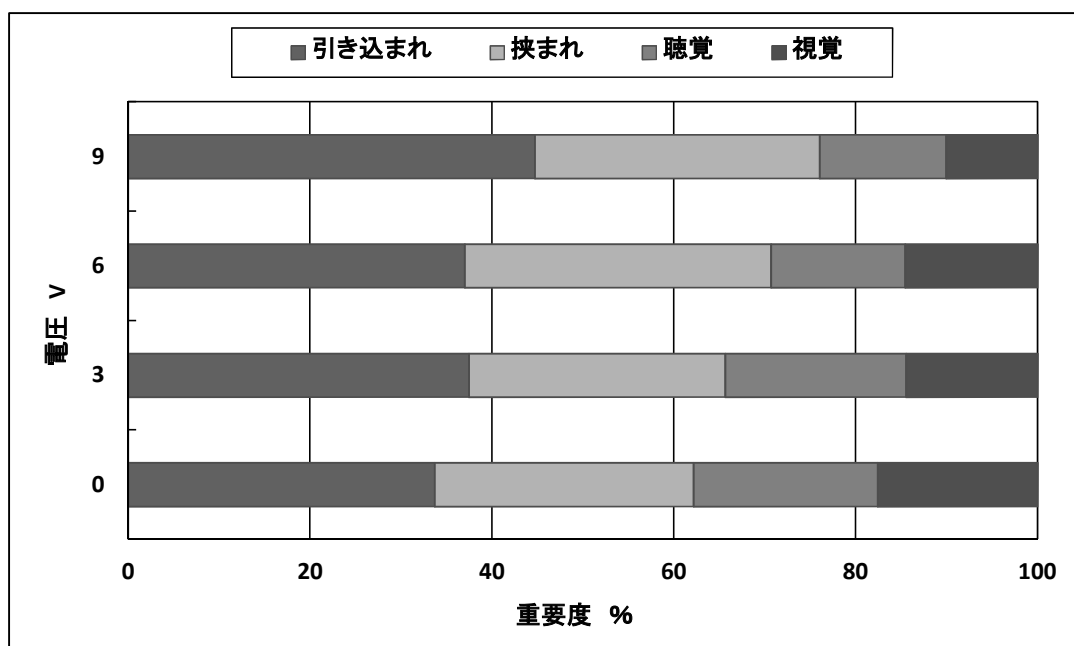


図5-18 体感効果における重要度の比較

9V 場合がシステム全体における引き込まれの有効性が最も高い数値となり、この
ことからトルクを増強したことにより、出力の弱さが指摘されていた体感型安全教育
支援システムにおいて改善が見られたと考えられる。

このように、本研究で提案する体感型安全教育支援システムは、常に拡張性を確
保して、ユーザーからの要望に対応し、より高い教育効果を上げるための改良を行う
ことができる成長可能なシステムである。

5.5 まとめ

VR 技術を用いた体感型安全教育支援システムの開発を行い、体感効果の定量評価手法の検討を行った。そこから得られた知見を以下に示す。

- ・アンケート調査および大学における安全教育の現状を調査することで、68%のユーザーから今後期待される技術として VR 技術を利用した教育が挙げられている。
- ・体感型安全教育支援システムの開発を行い、巻き込まれ・振動・熱の効果の再現を行い 62%のユーザーから高い評価が得られた。
- ・新たな教育コンテンツ構築に対して、XMLを用いたシナリオマネージャーの構築することで、コンテンツ制作が効率化された。
- ・体感効果の評価手法としては、従来のアンケート調査による効果測定と並行して、心拍数、脈拍を測定することによる定量評価が有効である。
- ・実証試験により体感効果の測定を行い、体感効果の低かった巻き込まれについて 4991g・mm のトルク増強による体感効果の向上と 15cm のアーム延長による操作性の向上を行うことで改善を行った。

第6章

結論および今後の展望

第6章 結論および今後の展望	6-1
6.1 ICT 利用教育の普及方策の検討	6-5
6.2 ICT 利用教育による将来的な教育モデルの提案	6-7

図6-1 PSSA による評価

図6-2 ICT 利用教育の普及と今後の展望

図6-3 ユーザープロファイルによる検索

図6-4 次世代電力搬送の規格

図6-5 没入型 VR システム

図6-6 本研究で開発した教育支援ツールの適用方法

第6章 結論および今後の展望

本研究では、大学における ICT 利用教育の現状と課題を整理し、ICT 利用教育データベースを構築することで、効率的な ICT 利用教育の導入についての提案を行った。また、抽出された課題に対して新たな支援ツールの開発を行った結果得られた結論を以下に整理する。

第1章では、本研究の背景・目的を明確にした。

近年のわが国における少子化の急速な進行は、様々な分野へ影響を与えている。大学教育においても 2007 年度以降、入学希望者総数が入学定員総数を下回るいわゆる大学全入時代が到来し、大学教育の質の低下が問題となっている。この傾向は、私立大学において特に顕著であり、2011 年度には、62%の私立大学において定員割れの学部があり、募集停止や廃校といった措置をとる大学まで存在する状況となっている。

これに対して、内閣府が主導する形で設置された「教育再生会議」やその後継組織である「教育再生懇談会」において、大学・大学院の抜本的な改革として、大学全入時代の大学の在り方について検討されてきた。その中の指針として、ハードウェアからのアプローチとして授業環境の改善、ソフトウェアからのアプローチとして教育サービスの向上が示されている。また、これらを具現化するための取り組みとして、本研究で取り上げる ICT を利用した教育の推進が求められており、具体的には、デジタルメディア教材を利用した自己学習や、e-learning による遠隔講義、LMS 導入による効率的な授業運営などが挙げられている。

また、早稲田大学でも「Waseda Vision 150」の策定方針の中で、ICT の教育への利用が検討されており、その具体的な利用方法として、教育内容の公開と対話型教育への移行が挙げられており、積極的な ICT 利用教育の導入による、コミュニケーション性の確保による教育効果の向上が期待されている。

これらを背景として、本研究では、ICT 利用教育の現状を整理することで ICT 利用教育データベースを構築し、その分析と課題の抽出を行う。それに対し、ソフトウェアの観点から効率的で精度の高い情報検索アルゴリズムの提案、多様なネットワークに対応した動画圧縮およびデータ伝送方法の開発を行い、ハードウェア観点からネットワーク未発達地域に対応したデータ伝送の提案、VR を用いた体感型教育支援システムの開発を行うことで、教育効果の向上に寄与することを目的とする。

第2章では、ICT 利用教育の取り組み事例の体系的な再整理を行い、他の教授者が事例を参考に活用する際に必要となる、ICT 教育支援ツールの情報を有効に抽出するこのできるデータベースとして、独立行政法人メディア教育センターらの事例に加えて、遠隔教育センターなどの専門組織を有する大学・大学院の事例を合わせて 474 件を対象に、ICT 利用教育のデータベースを構築した。

データベース構築にあたっては、ICT 利用教育の事例を体系化するために「講義概

要「実施対象」「利用ツール」の 3 つの項目に対して、43 個の属性を持たせることで整理した結果、実施されている講義内容の分類としては「授業支援」に属するものが 51%を占めることが分かった。また、ICT 利用教育に用いられている機器およびソフトウェアについて分析を行ったところ、LMS(Learning Management System)などの教育環境の整備に加えて、SNS(Social Network System)を利用したコミュニケーション性の確保が重要視されてきており、同様に遠隔講義に用いられるネットワークインフラおよび双方向性確保の手法においても、教授者と学習者がリアルタイム通信を行うことができる双方向性の確保が重要となってきたことが分かった。

また、構築されたデータベースを活用し、利用機器、ソフトウェアや対象者を起点とした逆引き検索を行うことで、教授者が自分の目的にあった教育支援ツールを利用し、教育コンテンツ利活用および高度化を行うためのフローの提案をした。

第 3 章では、自己学習時に利用される情報検索において、効率的かつ精度高く検索をすることが可能な情報検索アルゴリズムの開発を行った。インターネット上の情報量は年々増加しており、一般的な検索ポータルサイトなどによる情報検索は、より多くの情報を収集するために自然語を中心としたアルゴリズムにより構築されているために、自分にとって必要な情報を効率的に検索することは困難となってきた。これに対して、大学教育などの場面で必要とされる、専門用語を中心とした事典的に情報検索を行うことができるアルゴリズムを開発することで、自己学習時の情報検索の効率化を行う。

まず、検索精度を向上させるために、検索対象となる文章に対して、Suffix Tree Clustering Algorithm を適用することによる全文検索をし、関連キーワードの抽出を行った。次に、抽出された関連キーワードを事前分布としてベイジアン予測に適用し、さらにベイズ定理での尤度による関連度の判定を加え、その結果を事後確率として関連度の重み付けをすることで、関連度の高いものを優先的に抽出することによる効率化を行った。さらに、これらの過程に対して、キーワードの有無を事前選別するランダム選択アルゴリズムを導入することで、アルゴリズム自体の高速化を行い、効率化と精度向上の両立をしたアルゴリズムの開発をした。

本アルゴリズムの有効性の検証としては、従来の検索手法と比べて、文章中に関連キーワードが含まれる場合は 46%、含まない場合は 18%の検索速度の向上が図られ、キーワードの有無の事前選別することで、さらに 25%の検索速度の向上することによる効率化を達成した。また、Google を用いた検索結果に比べ、自然語より専門用語を優先的に関連キーワードとし抽出することにより、検索結果における非選択率を 20.8%から 9.2%まで低減する結果を得ることができ、検索精度が向上していることが分かった。

また、大学教育における自己学習時の活用方法として、「国際環境法」をキーワードの例として、適用をした結果、教材となる文章のテキスト分析の結果と本アルゴリズ

ムによる検索結果の間には類似の関連キーワードが抽出など高い相関性があることが分かり、有効な検索手法となっていることが証明された。

第 4 章では、多様なネットワーク環境に対応した遠隔講義手法の開発するための動画圧縮手法の開発とデータ伝送方法の検討を行った。現在の遠隔講義に用いられている動画は、低圧縮・高精細のものが主流となっているが、国内のブロードバンド普及率は未だ 60%程度であり、過疎地や離島といった本来遠隔講義の適用可能性が高い、ネットワーク未発達地域から配信には最適化されていなかった。また、環境・エネルギー研究科の教育理念に掲げられている「現場・現実・現物主義の実践」のように環境分野における教育においては、教室内の座学における教育だけでなく、実際の現場での演習が重要となっており、遠隔講義の必要性が高いと考えられる。

そこで、低・中帯域でも比較的画質が良く伝送のできる動画圧縮手法として、XVD 形式および On2VP6 形式の開発を行い、実際にユーザーが体感する知覚画質を既存の動画圧縮手法と比較した結果、256-640kbps の低帯域では XVD 形式、768-1024kbps の中帯域では On2VP6 形式の有効性が確認された。

ネットワークインフラが整っていない地域内でのデータ伝送手法として、面的な電波強度を測定し、最適アンテナ配置をすることで、無線 LAN を用いたデータ伝送を行う際の指向性を確保する手法の構築を行った。また、地形遮断などにより無線 LAN が有効でない地域におけるデータ伝送手法として、PoE (Power over Ethernet) を利用した、電力搬送による有線 LAN ネットワークの検討を行った。

さらにこの成果を用いて、廃棄物不法投棄の現場となった、瀬戸内海の離島である香川県豊島からの遠隔講義の実証試験を行い、ネットワークインフラおよび電源が存在しない地域でのシステムの有効性を確認した。

第 5 章では、大学での実習・実験での安全教育を例に、VR を用いた体感教育による授業支援手法の開発を行った。従来の大学での安全教育は、マニュアルやウェブサイトの整備といった情報配信や講習会による座学での教育などが中心であり、教育効果の高い現場での体感型教育は時間・場所の制約が大きいため頻繁に行うことは困難であった。また、VR を用いた教育手法は、ICT を利用した教育の中でも、今後有望な技術として注目を集めており、これらを組み合わせた VR を用いた体感型安全教育支援システムの開発をした。

従来の VR を利用した教育コンテンツは、専用の大型機器が必要あり、高コストであったのに対して、体感型安全教育支援システムは、汎用的な PC 上で動作可能な VR プラットフォーム上に 3D コンテンツを作成し、映像や音声による視覚、聴覚からの情報に加えて、体感グローブや反力デバイスを用いることで、熱や振動といった触覚による情報を再現するシステムとなっている。また、教育コンテンツの作成時においても、従来は事例に合わせて全てのコンテンツを作成する必要であったのに対して、XML によるシナリオマネージャーを導入することで、新たな教育コンテンツ作成に関

わる工数を削減することのできるシステムを開発した。

また、実証試験を通じたアンケート調査および心拍数・脈拍を用いた定量評価を行うことで、本システムの有効性を確認し、同時に操作性の課題を抽出・改善を行うことで、より高い教育効果を得ることのできるシステムとした。

6.1 ICT 利用教育の普及方策の検討

本研究では、ICT 利用教育データベースを構築し、ICT 利用教育の現状を分析することで、求められている技術の抽出を行った。また、それに対応した教育支援ツールの開発をすることで、高い教育効果を持つ ICT 利用教育を行うことができるようになった。

こういった技術開発は、導入技術に差異はあるが本研究以外でも、数多く行われている。それぞれに得られた成果は、効率的に活用するためには、本研究で示したような ICT 利用教育データベースの拡充を行い、開発を行う技術者だけでなく、それを利用して教育を行う教授者まで幅広く利用させることで ICT 利用教育全体の普及に繋がると考えられる。

ICT 利用教育は、ICT 技術を利用するという特性上、トライアルとして行われるものは、ICT 技術に対してある程度素養がある教授者が、率先して行ってきた背景があるが、今後一般に普及させていくためには、そういった素養のない教授者でも扱うことのできる簡易なシステムや、技術の内容ではなく、実施したい教育の内容によって ICT 利用教育の事例を抽出できる体制構築が必要となってくる。

また、ICT 利用教育による教育効果向上の定量評価についても大きな課題となっている。日本では、義務教育期間であれば、「全国学力・学習状況調査」などにより相対的な教育効果の評価を行うことができるが、高等教育においてはこのような制度が存在しない。

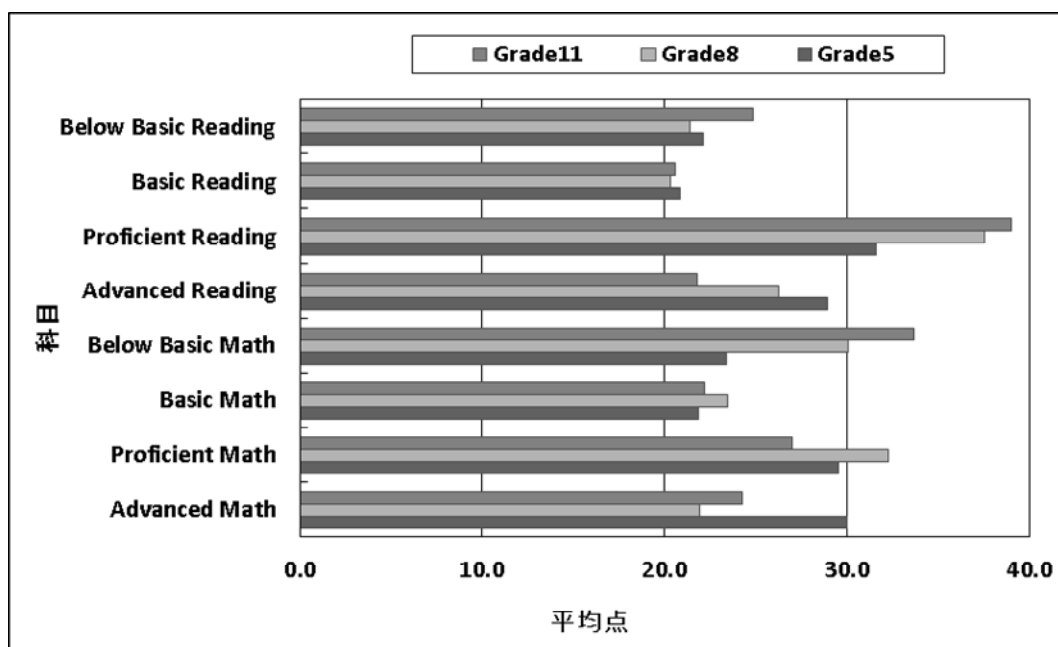


図6-1 PSSA による評価

欧米では、ペンシルベニア州では行われた、ペンシルベニア学校評価システム (PSSA) を基とした評価手法により、ICT 利用教育の中でも特に遠隔講義の定量評価が行われている。

同州で 5 年生、8 年生、11 年生が受けるテストでの比較において、24 回のテスト結果のうち 17 回、遠隔講義を主体とした学校が、対面講義を主体とした学校の平均点を下回っているという結果が得られている。また、目標となる習熟度においても目標とした点数に対して、遠隔講義を主体とした学校では、半数の学校でしか達成できていないというのが現状である。

このように、何かしらの方法で定量評価をすることは ICT 利用教育の課題を抽出して、機能改善および普及を進めていくために重要となると考えられる。これに対して、日本では前述のように高等教育において、大学間の相対評価を行うことは困難であり、また大学内における実証試験にも限界があると考えられ、本研究で示したような、生体反応等を利用した定量評価手法と並行させて、複数年度に渡る教育効果を測定することで、検証を進めていくことが重要になると考えられる。

6.2 ICT 利用教育による将来的な教育モデルの提案

今後の ICT 利用教育による教育モデルの展望としては、前述のように ICT 利用教育データベースを活用することで、コンテンツの活用をする。その結果として ICT 利用教育の普及促進とコンテンツを再蓄積することで、ICT 利用教育データベースの拡充がなされる循環を想定する。

また、常に発展する ICT 技術を適切に取り入れ、さらなる教育支援ツールを開発することで、対面講義では不可能であった情報を加えて、次世代の ICT 利用教育を行うことが可能になると考える。

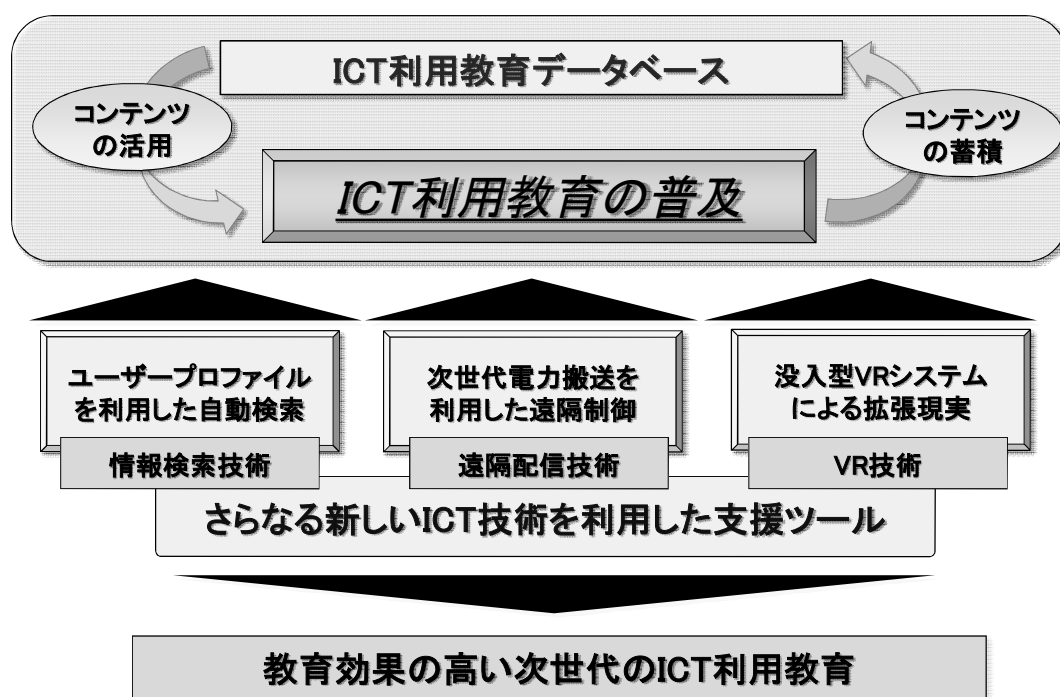


図6-2 ICT 利用教育の普及と今後の展望

本研究では、情報検索技術、遠隔配信技術、VR 技術などの ICT 利用教育への適用を行ったが、さらにこれらの延長として考えられる今後の展望について、(1)ユーザープロフィールを利用した自動検索、(2)次世代電力搬送を利用した遠隔制御、(3)没入型 VR システムによる拡張現実の 3 つの事例を提案する。

(1) ユーザープロフィールを利用した自動検索

本研究で示した検索アルゴリズムは、1 つ目のキーワードから関連語を抽出するものであり、情報検索の初動においては、ユーザーの認識によって大きく検索結果が異なる可能性がある。

例えば、ICT 利用教育という用語を検索しようとした場合に、ユーザーが最初

のキーワードとして、ICT 教育のみを選択してしまった場合、本研究で扱っているような、ICT を利用して教育効果の向上を図るという内容ではなく、ICT そのものの教育というような内容のものが検索される可能性がある。

これに対して、今後の技術として、検索を行なおうとするユーザーの情報を事前に収集し、類似の傾向を持つ他のユーザーの情報と結び付けることにより、ユーザープロフィールデータベースを作成し、その結果をページアン予測に組み込むことで、ユーザーの興味に合せた情報を優先的に検索し、より効率的な情報検索を行うことができるようになると思われる。

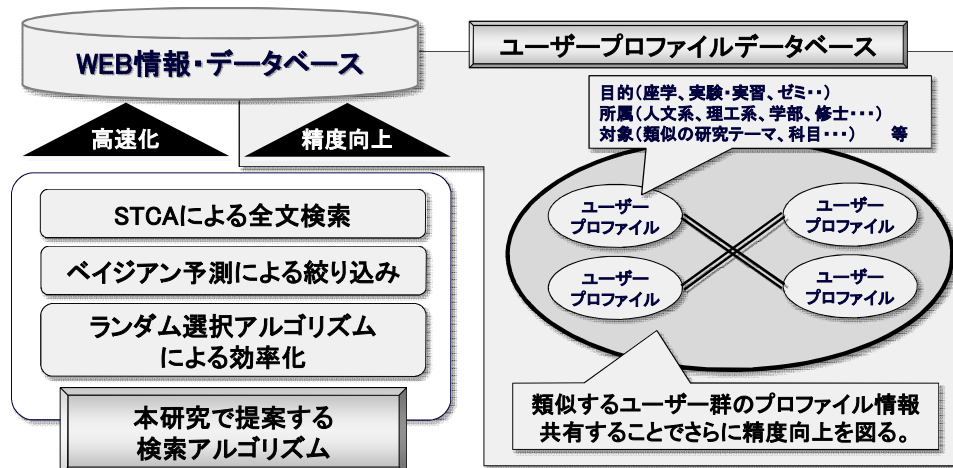


図6-3 ユーザープロフィールによる検索

前述の例に当てはめれば、初動の検索をする場合においても、事前にユーザープロフィールによる、検索を行うユーザーがもともと ICT 利用教育に関連することをやっている情報を有することで、自動で 1 つ目のキーワードを決定して、誤った ICT 利用というキーワードを選択しないようにすることができる。

これは例示したような、具体的なキーワードで行うことも考えられる一方で、大学でのゼミや講義などといった場合に、教授者が想定する内容を検索させたり、学習者間で検索内容を相互補完するといったことが可能となり、効率的な教育を行うことができるようになると思われる。

(2) 次世代電力搬送を利用した遠隔制御

遠隔配信技術としては、次世代電力搬送による遠隔制御を提案する。本研究で提案した PoE による電力搬送は 15.4W までしか行うことができず、HUB やアンテナといった末端の小型機器に電力を供給することしかできないという欠点があった。

しかし、今後規格化される LTPoE++ や、同じく電力搬送ができる USBPO では、

100W 以上の電力搬送ができるようになることから、遠隔制御ロボットなどの各種機器の運用が可能となり、例えば、気球を遠隔制御することで、高高度から樹幹の観測を可能とするなどの、本来は人が入れないような場所からの配信を行うことで、遠隔配信可能なコンテンツの幅が広がると考えられる。

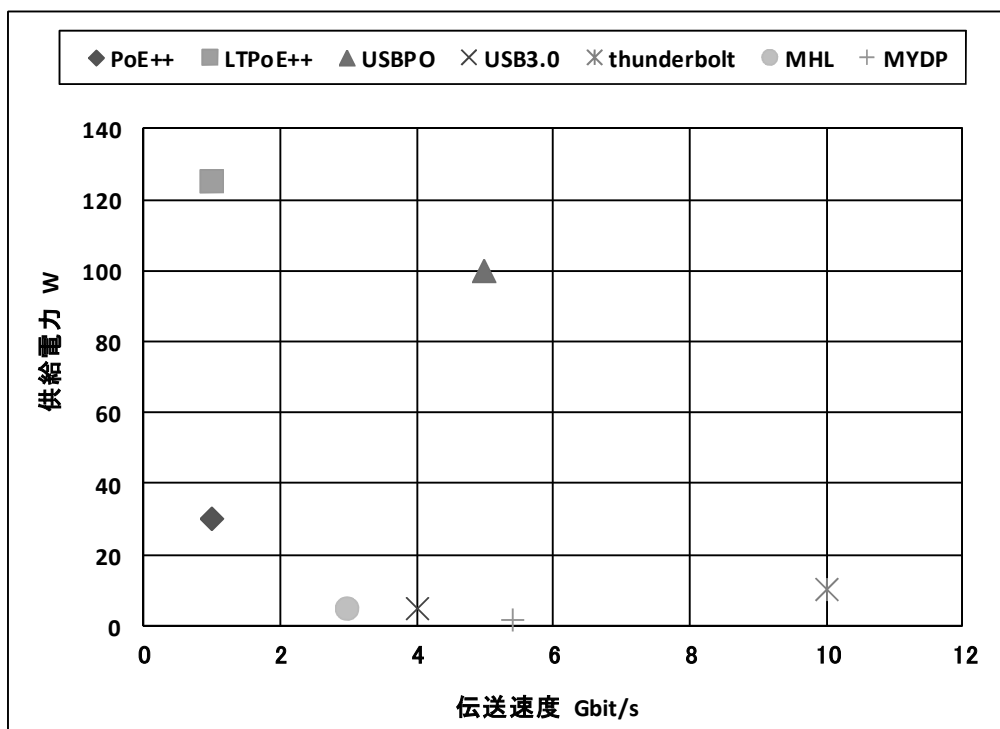


図6-4 次世代電力搬送の規格

(3) 没入型 VR システムによる拡張現実

体感型安全教育支援システムは、汎用的なノート PC で動作させることが可能である。このため、可搬性には優れているが、視覚表現としては画面サイズの問題から、手先などの事故事例では実物大で表現が可能であったが、全身を扱ったものへの適用が困難であった。

今後の展開としては、空間全体を VR で表現することにより、その中にリアルサイズで没入すると共に、空調や熱などの不可視情報を可視化することで、没入型による体感 VR システムを構築することが想定される。

また、リアルサイズのものとは逆に、通常では入ることのできない製品内における反応現象など、従来見ることのできなかつたマイクロの視点からの情報を可視化することで、通常の体感教育以上の拡張現実による体感教育を実施することも検討できる。

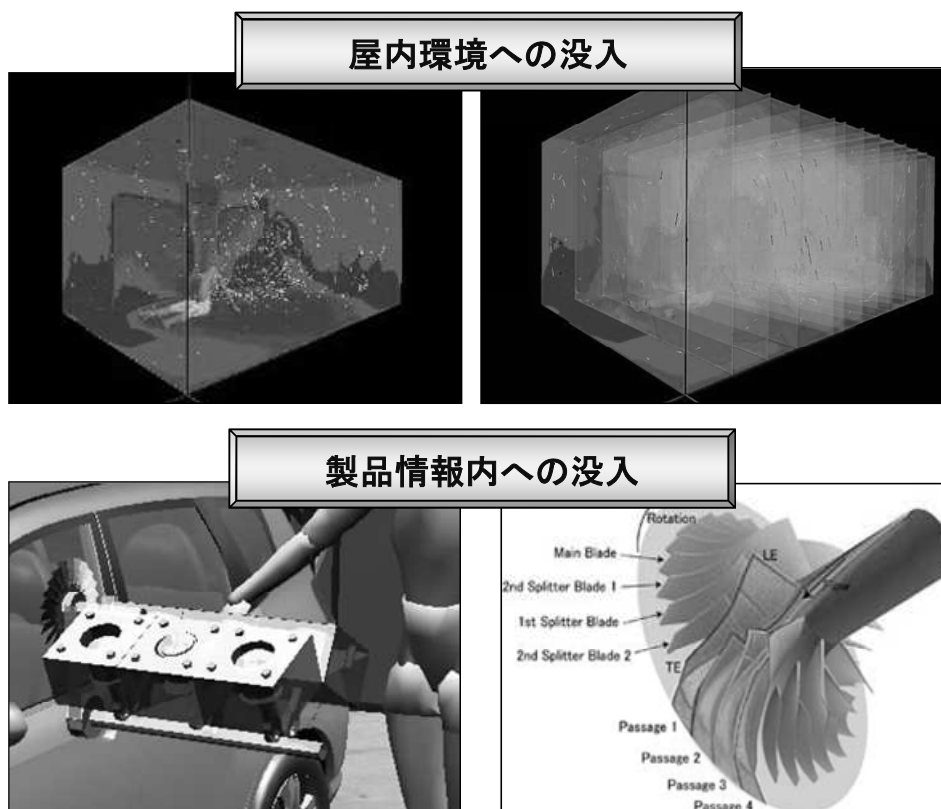


図6-5 没入型 VR システム

また、本研究で開発した教育支援ツールはすぐにでも大学講義への適用が可能である。

情報検索技術では、本研究で提案する検索アルゴリズムを組み込んだ WEBAPI を提供することで、広範囲な学問領域において、効率的な情報収集が可能な検索ポータルサイトを構築することができる。

また、遠隔講義では、現在は MPEG 方式が採用されているテレビ会議システムなどに組み込むことで、ネットワーク環境に合わせた圧縮方式が選択可能となります。

さらに、VR 技術を利用した体感教育では、体感型安全教育支援システムを常設することで、時間・場所の制約がある従来の教育方式と並行して、いつでも体験可能な環境を構築できる。

このような形で、常に発展する ICT 技術を積極的に取り入れることで、さらに次世代型の ICT 利用教育を推進することが可能であると考えられる。

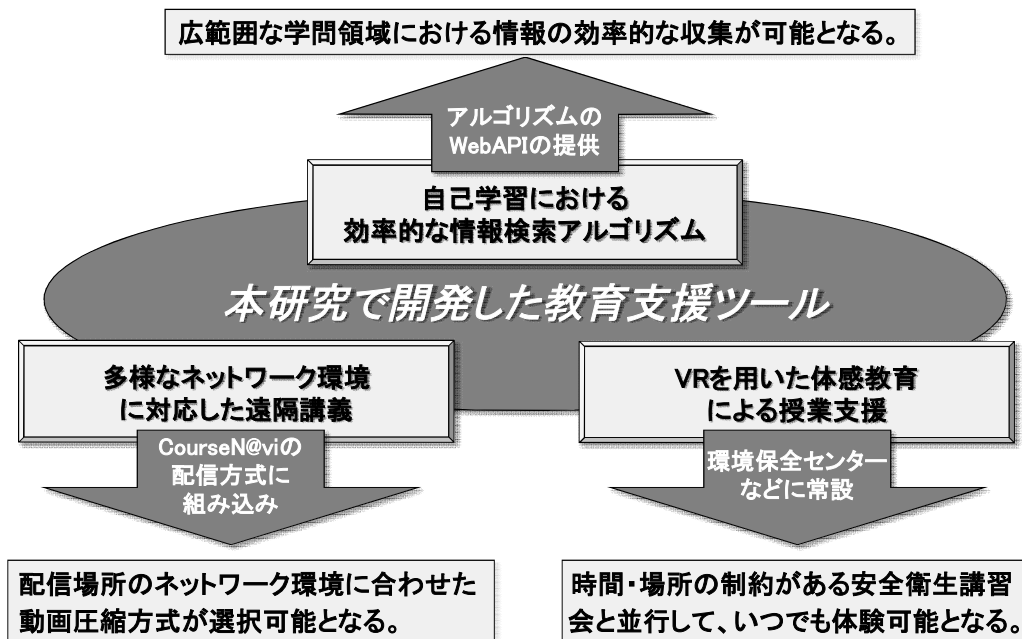


図6-6 本研究で開発した教育支援ツールの適用方法

参考文献

参考文献

第1章

- 1-1) 内閣府,教育再生会議,<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kyouiku/top.html>, (2012/11/07)
- 1-2) 内閣府,教育再生懇談会:http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kyouiku_kondan/top.html, (2012/11/07)
- 1-3) 早稲田大学,Waseda Vision 150,<http://www.waseda.jp/jp/v150/>, (2012/11/07)
- 1-4) 放送大学, 文部科学省先導的大学改革推進委託事業「ICT 活用教育の推進に関する調査研究」成果報告書(2011)
- 1-5) 独立行政法人メディア教育センター, eラーニング等の ICT を活用した教育に関する調査報告書 2005-2008(2009)
- 1-6) 総務省,情報通信統計データベース:<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/tsuushin01.html>, (2012/10/31)
- 1-7) 内閣府,IT 戦略重点計画 2008,<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/>.(2012/11/07)
- 1-8) 大学設置基準,http://www.kyoto-u.ac.jp/uni_int/kitei/reiki_honbun/w0020949001.html.(2012/11/07)
- 1-10) 日本イーラーニングコンソーシアム, e-learning 白書,国内大学の e-learning 導入割合, 電機大学出版局(2010)
- 1-11) 辰野千尋, 石田恒好, 北尾倫彦, 教育評価事典, 図書文化社(2006)

第2章

- 2-1) 赤堀侃司, 学校教育における ICT 利用の教育改革の動向, 教育システム情報学会論文誌, vol.23, no.1, pp.46-53(2006)
- 2-2) David Sloan, How should inclusivity influence teaching of ict design, ITiCSE '07 Proceedings of the 12th annual SIGCSE conference on Innovation and technology in computer science education ,pp307-308(2007)
- 2-3) 波多野和彦, ICT 活用教育の実態調査における経年変化に関する検討, 日本教育工学会研究報告集, vol.5, pp.183-188(2008)
- 2-4) 坂谷内勝, 学校における ICT の活用に関する国際比較調査結果, 日本科学教育学会年會論文集, vol.33, pp.277-278(2009)
- 2-5) 長野市教育の情報化推進共同研究会, ICT ですすむ授業改善, 高陵社書店(2005)
- 2-6) 小原芳明, ICT を活用した大学授業, 玉川大学出版部(2002)
- 2-7) 日本イーラーニングコンソーシアム, e-learning 活用ガイド,電機大学出版局(2007)

第3章

- 3-1) 藤井敦,石川徹也, World Wide Web を用いた事典知識情報の抽出と組織化, 電子情報通

- 信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理, J85-D-II(2), pp.300-307(2002)
- 3-2) Xi Niu, Bradley M. Hemminger, National study of information seeking behavior of academic researchers in the United States, Journal of the American Society for Information Science and Technology, vol.61 ,pp869-890(2010)
- 3-3) 石田栄美, 学術論文に特化した検索エンジンの構築と評価, 日本図書館情報学会春季研究集会, vol.1, pp.193-198(2011)
- 3-4) 梶並知記, 高間康史, ユーザの検索意図を反映するキーワードマップと情報収集エージェントの連携による探索的情報検索, 情報知識学会誌, vol.20, no.3, pp.277-292, 2010
- 3-5) 水田正弘, 南弘征, 小宮山由里子, 確率モデルによるWEB データ解析法, 森北出版株式会社(2007)
- 3-6) 細野公男, 緑川信之, 岸田和明, 情報検索の認知的転回, 丸善株式会社(2008)
- 3-7) 時実象一, 理系のためのインターネット検索術, 講談社(2005)
- 3-8) 西岡達裕, オンライン情報の学術利用文献探索入門, 日本エディターズスクール出版部(2008)
- 3-9) 北研二, 津田和彦, 獅々堀正幹, 情報検索アルゴリズム, 共立出版(2007)
- 3-10) 那須川哲哉, テキストマイニングを使う技術／作る技術, 電機大学出版局(2006)
- 3-11) 藤井敦, 伊藤克亘, 秋葉友良, CYCLONE: 事典的 Web 検索サイト, 情報処理推進機構(2006)
- 3-12) パトリシア・バーニー, アラン・ボイル, 国際環境法, 慶應技術大学出版会(2007)

第4章

- 4-1) Nomura Yoshihiko, Matsuda Ryutaro, Study on a High Compression Processing for Video-on-Demand e-learning System, Journal of Japanese Society for Engineering Education, Volume 53, Issue 5, pp.107-111(2006)
- 4-2) 松本祐樹, 泉知論, 狭帯域環境下でのリアルタイム映像配信における JPEG2000 動的レート制御方式の提案, 電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学 106(397), pp.19-24(2006)
- 4-3) 中澤真, 地方大学における遠隔講義の実践, 会津短期大学紀要集, vol.69(2012)
- 4-4) 吉田文, 田口真奈, 模索されるEラーニング, 東信堂(2005)
- 4-5) ジョシュ パーシン, ブレンディッドラーニングの戦略—eラーニングを活用した人材育成, 東京電機大学出版局(2006)
- 4-6) 経済産業省商務情報政策局情報処理振興課, eラーニング白書 2007/2008 年版, 東京電機大学出版局(2008)
- 4-7) 経済産業省商務情報政策局情報処理振興課, eラーニング白書 2009 年版, 東京電機大学出版局(2010)
- 4-8) 財団法人インターネット協会, インターネット白書 2009, インプレスコミュニケーションズ(2010)

第5章

- 5-1) BELL J T, FOGLER H S, The application of virtual reality to chemical engineering education, Simul Ser, Volume 29, Issue 2, pp.171-176(1997)
- 5-2) 河合隆史, 宗形昌幸, 安全教育VRコンテンツにおけるクロスモーダル刺激の呈示方法に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.11, no.4, pp.479-485(2006)
- 5-3) 瀬戸崎典夫, 森田裕介, 学校教育に VR 技術を導入するための設計, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2B3-5(2006)
- 5-4) 藤木卓, 津村英幸, 遠隔学習での利用を前提とした VR と実写映像の合成条件に関する考察, 日本教育工学会研究報告集,2011(1),pp.263-266(2011)
- 5-5) 木島竜吾, 医学教育システムと VR 技術, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.15, no. 1, pp.10-13(2011)
- 5-6) 永田勝也, 小野田弘士, 切川卓也, VR 技術を活用した体感型運転員教育支援システムの開発, 廃棄物学会研究発表会講演論文集, vol.18, pp.268-270(2007)
- 5-7) 丸野忍, 体感教育による安全確保への取り組み, 住友化学研究開発論文, vol.2, pp.257-63(2008)
- 5-8) 寺島信義, 人工知能とハイパーリアリティ, 電気通信協会(1996)
- 5-9) 寺島信義, 知的通信システム, 電気通信協会(1997)
- 5-10) 寺島信義, ハイパーリアリティ-第三千年紀のパラダイム, 電気通信協会(2002)
- 5-11) 寺島信義, 情報社会のビジョン, 文芸社(2006)
- 5-12) エリック・T・レイ, 入門 XML, オライリージャパン(2006)

第6章

- 6-1) 久保田賢一, ICT教育の実践と展望—デジタルコミュニケーション時代の新しい教育, 日本文教出版(2003)
- 6-2) 水越敏行, 久保田賢一, ICT教育のデザイン, 日本文教出版(2008)
- 6-3) Linear Technology Corp, Linear Technology Corporation Business Background Report(2009)
- 6-4) 安達一寿, 内田実, 片瀬拓弥, e ラーニングからブレンディッドラーニングへ, 共立出版(2009)
- 6-5) 岡田正, 藤田正敏, 高橋参吉, ネットワーク社会における情報の活用と技術, ICT 基礎教育研究会(2010)
- 6-6) 山内祐平, デジタル教材の教育学, 東京大学出版会(2010)
- 6-7) 中川一史, ICT教育100の実践・実例集, フォーラム A(2011)

謝辭

謝辞

本研究を進めるにあたって終始ご指導賜りました、早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科永田勝也教授に厚く御礼申し上げます。本論文を審査していただきました、友成真一教授、小野田弘士准教授にも深く感謝の意を表します。また、国際情報通信研究科寺島信義教授、河合隆史教授、平田克二先生、神山司先生には、修士在学中より10年に渡りご指導いただきました。

本研究の遂行にあたり、株式会社レセプター、株式会社丸紅情報システムズ、株式会社BHA、株式会社On2テクノロジー、株式会社早稲田環境情報可視化システム、株式会社ヤフー、株式会社ミクシィ、ムーター株式会社、合資会社オズ、有限会社デザインフリート、NPO 法人インターネットスキル認定普及協会の各団体の皆様に多大なご協力・ご指導を賜りました。

また、データ取得にご協力いただきました、職業能力開発大学校東京校、株式会社森ビルアカデミーヒルズ、放送大学 ICT 活用・遠隔教育センター、実証試験の場所を提供いただきました香川県豊島の皆様にもご協力いただきました。さらに、株式会社早稲田総研イニシアティブの永井祐二様、海老原聡様ほか同僚の方々には、さまざまなご配慮、ご助力をいただきましたこと誠に感謝にしております。

早稲田大学環境総合研究センターでの出会いからはじまり、そして今は、共に学ぶこととなった、早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科永田・小野田研究室の皆様には、研究のみならず、仕事、私生活に置きまして、多大なるご協力をいただき誠にありがとうございました。

特に、中嶋崇史様、伊藤由宣様、清水康様、Andante Hadi Pandyaswargo 様の皆様とは、共に学べたことを誇りと思えます。

最後に、いつも励ましてくれた両親に、最大な敬意を表します。

Appendix

PIC 圧縮サンプルソース

```
#define LEFT
#define RIGHT
#define NONE

enum boolean {
    OFF,
    ON
};

typedef struct ChangePoint {
    char flag;
    int palet;
} ChangePoint;

void search_change_point( width, height, change_point )
int width, height
ChangePoint *change_point;
{
    int x, y;
    int pre_palet, palet;
    ChangePoint *current_cp;
    current_cp = change_point;
    for ( y = 0 ; y < height ; y++ ) {
        for ( x = 0 ; x < width ; x++ ) {
            palet = point( x, y );
            if ( ( pre_palet != palet ) || ( x == 0 && y == 0 ) ) {
                current_cp->flag = ON;
                current_cp->palet = pre_palet = palet;
            } else {
                current_cp->flag = OFF;
            }
            current_cp++;
        }
    }
}

char *search_chained_line( x, y, width, height, packed_data, change_point
int x, y;
int width, height;
char *packed_data;
ChangePoint *change_point;
```

```

{
    int i;
    int chained_palet;
    ChangePoint *current_cp;

    chained_palet = ( change_point[ y * width + x ] ).palet;

    while ( ++y < height ) {
        for ( i = LEFT , x += i ; x < 0 && i <= RIGHT ; i++ , x++ );
        for ( ; x < width && i <= RIGHT ; i++ , x++ ) {
            current_cp = &(amp; change_point[ y * width + x ] );
            if ( ( current_cp->flag == ON ) && ( chained_palet == current_cp->palet ) ) {
                current_cp->flag = OFF;
                break;
            }
        }
        if ( x >= width ) break;
        if ( ( *packed_data++ = (char) i ) == NONE ) break;
    }
    if ( x >= width || y >= height )
        *packed_data++ = NONE;

    return( packed_data );
}

char *pic_pack( width, height, change_point, packed_data )
int width, height;
ChangePoint *change_point;
char *packed_data;
{
    int x, y;
    unsigned char length = 1;
    ChangePoint *current_cp;
    search_change_point( width, height, change_point );
    for ( y = 0 ; y < height ; y++ ) {
        for ( x = 0 ; x < width ; x++ ) {
            current_cp = &(amp; change_point[ y * width + x ] );
            if ( current_cp->flag == ON ) {
                *packed_data++ = length;
                *packed_data++ = (char) ( ( ( current_cp->palet ) >> 16 ) & 0xFF );
                *packed_data++ = (char) ( ( ( current_cp->palet ) >> 8 ) & 0xFF );
                *packed_data++ = (char) ( ( ( current_cp->palet ) >> 0 ) & 0xFF );
            }
        }
    }
}

```

```
        packed_data = search_chained_line( x, y, width, height, packed_data,  
change_point );  
        length = 0;  
    }  
    if ( length == UCHAR_MAX )  
        *packed_data++ = length = 0;  
    length++;  
    }  
    }  
    return( packed_data );  
}
```

PIC 展開サンプルソース

```
char *unpack_chained_line( x, y, width, height, packed_data, change_point )
int x, y;
int width, height;
char *packed_data;
ChangePoint *change_point;
{
    int i;
    int chained_palet;
    chained_palet = ( change_point[ y * width + x ] ).palet;
    while ( ( i = *packed_data++ ) != NONE ) {
        y++;
        x += i;
        ( change_point[ y * width + x ] ).flag = ON;
        ( change_point[ y * width + x ] ).palet = chained_palet;
    }
    return( packed_data );
}

void add_length( x, y, length, width, height )
int *x, *y;
unsigned int length;
int width, height;
{
    if ( length == 0 ) length = MAX;
    *x += length;
    while ( *x >= width && *y < height ) {
        *x -= width;
        ( *y )++;
    }
}

void unpack_change_point( width, height, packed_data, change_point )
int width, height;
char *packed_data;
ChangePoint *change_point;
{
    unsigned char length;
    ChangePoint *current_cp;
    int x = 0, y = 0;
    int i;
    for ( i = 0 ; i < width * height ; i++ )
```



```

    ( change_point[i] ).flag = OFF;
packed_data++;
while ( x < width && y < height ) {
    current_cp = &( change_point[ y * width + x ] );
    current_cp->flag = ON;
    i = ( *packed_data++ ) << 16;
    i |= ( *packed_data++ ) << 8;
    i |= ( *packed_data++ );
    current_cp->palet = i;
    packed_data = unpack_chained_line( x, y, width, height, packed_data,
change_point );
    do {
        length = *packed_data++;
        add_length( &x, &y, (unsigned int) length, width, height );
    } while ( length == 0 && y < height );
    }
}

void pic_unpack( width, height, change_point, packed_data )
int width, height;
ChangePoint *change_point;
char *packed_data;
{
    int x, y;
    int color;
    unpack_change_point( width, height, packed_data, change_point );
    for ( y = 0 ; y < height ; y++ ) {
        for ( x = 0 ; x < width ; x++ ) {
            if ( ( change_point[ y * width + x ] ).flag == ON )
                color = ( change_point[ y * width + x ] ).palet;
            pset( x, y, color );
        }
    }
}

```

YUV 変換サンプルソース

```
#define YUV_SIZE
#define Y_A
#define U_A
#define V_A

double *yuv[YUV_SIZE];
char dbl2char( double d )
{
    if ( d < 0 ) d = 0;
    if ( d > 255 ) d = 255;
    return( d );
}

void rgb2yuv( double **yuv )
{
    int color;
    char r, g, b;
    int gx, gy;
    double *y, *u, *v;
    y = yuv[Y_A];
    u = yuv[U_A];
    v = yuv[V_A];
    for ( gy = 0 ; gy < draw->height ; gy++ ) {
        for ( gx = 0 ; gx < draw->width ; gx++ ) {
            color = point( gx, gy );
            r = ( color >> 16 ) & 0xFF;
            g = ( color >> 8 ) & 0xFF;
            b = ( color >> 0 ) & 0xFF;
            *y++ = ( 0.2990 * (double)r ) + ( 0.5870 * (double)g ) + ( 0.1140 * (double)b );
            *u++ = - ( 0.1684 * (double)r ) - ( 0.3316 * (double)g ) + ( 0.5000 * (double)b );
            *v++ = ( 0.5000 * (double)r ) - ( 0.4187 * (double)g ) - ( 0.0813 * (double)b );
        }
    }
}

void yuv2rgb( double **yuv )
{
    int gx, gy;
    int color;
    char r, g, b;
    double *y, *u, *v;
```

```
y = yuv[Y_A];
u = yuv[U_A];
v = yuv[V_A];
for ( gy = 0 ; gy < draw->height ; gy++ ) {
  for ( gx = 0 ; gx < draw->width ; gx++ ) {
    r = dbl2char( *y + ( 1.4020 * *v ) );
    g = dbl2char( *y - ( 0.3441 * *u ) - ( 0.7139 * *v ) );
    b = dbl2char( *y + ( 1.7718 * *u ) - ( 0.0012 * *v ) );
    color = ( (int)r << 16 ) | ( (int)g << 8 ) | (int)b;
    pset( gx, gy, color );
    y++;
    u++;
    v++;
  }
}
}
```

DCT 変換サンプルソース

```
#define MCU

typedef struct Mcu
{
    int d[MCU]
} Mcu;
typedef struct Coord
{
    int x;
    int y;
} Coord;

double coeff[MCU];
void calcCoeff()
{
    Coord p;
    for ( p.y = 0 ; p.y < MCU ; ( p.y )++ )
        for ( p.x = 0 ; p.x < MCU ; ( p.x )++ )
            coeff[p.x][p.y] = cos( ( ( 2 * p.x + 1 ) * p.y * M_PI ) / ( 2 * MCU ) );
}

Mcu* mcu_encode( double* yuv, Mcu* mcu, Coord g_size, Coord skip )
{
    Coord mcu_size;
    Coord mcu_coord;
    double s_uy[MCU];
    calcCoeff();
    mcu_size.x = g_size.x / ( MCU * skip.x );
    if ( g_size.x % ( MCU * skip.x ) != 0 )
        ( mcu_size.x )++;
    mcu_size.y = g_size.y / ( MCU * skip.y );
    if ( g_size.y % ( MCU * skip.y ) != 0 )
        ( mcu_size.y )++;
    for ( mcu_coord.y = 0 ; mcu_coord.y < mcu_size.y ; ( mcu_coord.y )++ ) {
        for ( mcu_coord.x = 0 ; mcu_coord.x < mcu_size.x ; ( mcu_coord.x )++ ) {
            dct_x( yuv, s_uy, mcu_coord, g_size, skip );
            dct_y( s_uy, mcu );
            mcu++;
        }
    }
    return( mcu );
}
```

```

}

void dct_x( double* yuv, double s_uy[MCU], Coord mcu_coord, Coord g_size, Coord
skip )
{
    int u, x, y;
    double s_uv;
    double* current_yuv;
    for ( y = 0 ; y < MCU ; y++ ) {
        for ( u = 0 ; u < MCU ; u++ ) {
            current_yuv = yuv + ( ( mcu_coord.y * MCU + y ) * skip.y * g_size.x ) +
( mcu_coord.x * MCU * skip.x );
            s_uv = 0;
            if ( ( mcu_coord.y * MCU + y ) * skip.y < g_size.y ) {
                for ( x = 0 ; x < MCU ; x++ ) {
                    if ( ( mcu_coord.x * MCU + x ) * skip.x < g_size.x )
                        s_uv += *current_yuv * coeff[x][u];
                    current_yuv += skip.x;
                }
                if ( u == 0 ) s_uv /= sqrt( 2 );
            }
            s_uy[u][y] = s_uv;
        }
    }
}

void dct_y( double s_uy[MCU][MCU], Mcu* mcu )
{
    int y;
    int u, v;
    double s_uv;
    for ( v = 0 ; v < MCU ; v++ ) {
        for ( u = 0 ; u < MCU ; u++ ) {
            s_uv = 0;
            for ( y = 0 ; y < MCU ; y++ )
                s_uv += s_uy[u][y] * coeff[y][v];
            if ( v == 0 ) s_uv /= sqrt( 2 );
            ( mcu->d )[u][v] = s_uv * 2 / MCU;
        }
    }
}

void mcu_decode( double* yuv, Mcu* mcu, Coord g_size, Coord skip )

```

```

{
    Coord mcu_size;
    Coord mcu_coord;
    double s_uy[MCU];

    calcCoeff();

    mcu_size.x = g_size.x / ( MCU* skip.x );
    if ( g_size.x % ( MCU* skip.x ) != 0 )
        ( mcu_size.x )++;
    mcu_size.y = g_size.y / ( MCU * skip.y );
    if ( g_size.y % ( MCU * skip.y ) != 0 )
        ( mcu_size.y )++;

    for ( mcu_coord.y = 0 ; mcu_coord.y < mcu_size.y ; ( mcu_coord.y )++ ) {
        for ( mcu_coord.x = 0 ; mcu_coord.x < mcu_size.x ; ( mcu_coord.x )++ ) {
            idct_y( mcu, s_uy );
            idct_x( s_uy, yuv, mcu_coord, g_size, skip );
            mcu++;
        }
    }
}

void idct_y( Mcu* mcu, double s_uy[MCU] )
{
    int u, v, y;
    double s_uv;
    double d;
    for ( y = 0 ; y < MCU ; y++ ) {
        for ( u = 0 ; u < MCU ; u++ ) {
            s_uv = 0;
            for ( v = 0 ; v < MCU ; v++ ) {
                d = ( mcu->d )[u][v] * coeff[y][v];
                if ( v == 0 ) d /= sqrt( 2 );
                s_uv += d;
            }
            s_uy[u][y] = s_uv;
        }
    }
}

void idct_x( double s_uy[MCU], double *yuv, Coord mcu_coord, Coord g_size, Coord

```

```

skip )
{
    int x, y;
    int u;
    int yuv_x, yuv_y;
    double s_uv;
    double d;
    for ( y = 0 ; y < MCU ; y++ ) {
        if ( ( yuv_y = ( mcu_coord.y * MCU * skip.y ) + ( y * skip.y ) ) >= g_size.y ) break;
        for ( x = 0 ; x < MCU ; x++ ) {
            if ( ( yuv_x = ( mcu_coord.x * MCU * skip.x ) + ( x * skip.x ) ) >= g_size.x ) break;
            s_uv = 0;
            for ( u = 0 ; u < MCU ; u++ ) {
                d = s_uv[u][y] * coeff[x][u];
                if ( u == 0 ) d /= sqrt( 2 );
                s_uv += d;
            }
            fill_yuv( yuv, s_uv * 2 / MCU, yuv_x, yuv_y, g_size, skip );
        }
    }
}

void fill_yuv( double* yuv, double data, int x, int y, Coord g_size, Coord skip )
{
    int i, j;

    for ( j = 0 ; j < skip.y ; j++ ) {
        if ( y + j >= g_size.y ) break;
        for ( i = 0 ; i < skip.x ; i++ ) {
            if ( x + i >= g_size.x ) break;
            yuv[ ( ( y + j ) * g_size.x ) + x + i ] = data;
        }
    }
}

```

DC 符号化・複合化サンプルソース

```
typedef struct HuffmanCode {
    unsigned int code;
    unsigned int length;
} HuffmanCode;

typedef struct HuffmanTree {
    unsigned int code;
    unsigned int count;
    struct HuffmanTree* left;
    struct HuffmanTree* right;
} HuffmanTree;

static HuffmanCode hc[S] = { ... };
static HuffmanTree huffmanTree[HUFFMAN_MAX];

char* dc_encode( Mcu* mcu, Mcu* mcu_end, unsigned char* encData, unsigned char*
encData_end )
{
    int prev_dc = 0;
    char p = 0;

    for ( ; mcu < mcu_end ; mcu++ )
    {
        int diff = ( mcu->d )[0][0] - prev_dc;
        unsigned int ssss = calcSSSS( diff );
        if ( ! compressData( &encData, encData_end, &p, ( hc[S] ).code, ( hc[S] ).length ) )
return( NULL );
        if ( diff < 0 ) diff -= 1;
        if ( ! compressData( &encData, encData_end, &p, diff, ssss ) ) return( NULL );
        prev_dc = ( mcu->d )[0][0];
    }
    return( encData + 1 );
}

char* dc_decode( unsigned char* encData, unsigned char* encData_end, Mcu* mcu,
Mcu* mcu_end )
{
    int prev_dc = 0;
    char p = 0;
    int ssss;
    int diff;
    if ( conv_huffman_code_to_tree( hc, huffmanTree, huffmanTree + MAX, S ) == 0 )
```



```

return( NULL );
for ( ; mcu < mcu_end ; mcu++ )
{
    if ( ( ssss = get_from_huffman( &encData, encData_end, huffmanTree, &p ) ) < 0 )
        return( NULL );
    if ( decompressData( &encData, encData_end, &p, &diff, ssss ) == 0 )
        return( NULL );
    if ( ( ssss > 0 ) && ( ( ( diff >> ( ssss - 1 ) ) & 1 ) == 0 ) ) {
        diff |= ( ~0 ) << ssss;
        diff += 1;
    }
    ( mcu->d )[0][0] = prev_dc + diff;
    prev_dc = ( mcu->d )[0][0];
}
return( encData + 1 );
}

```

AC 符号化・複合化サンプルソース

```
static HuffmanCode hc[RUN * S] = { ... };
char* ac_encode( Mcu* mcu, Mcu* mcu_end, unsigned char* encData, unsigned char*
encData_end )
{
    char p = 0;
    for ( ; mcu < mcu_end ; mcu++ ) {
        if ( ( encData = ac_mcu_encode( mcu, encData, encData_end, &p ) ) == NULL )
            return( NULL );
    }
    return( encData + 1 );
}

char* ac_mcu_encode( Mcu* mcu, unsigned char* encData, unsigned char*
encData_end, char* p )
{
    int run = 0;
    int zrl_count = 0;
    int sx = -1, sy = 1;
    int x = 1, y = 0;
    int i;

    do {
        int d = ( mcu->d )[x][y];
        if ( d == 0 ) {
            if ( ++run >= RUN ) {
                ++zrl_count;
                run -= RUN;
            }
        } else {
            for ( i = 0 ; i < zrl_count ; i++ )
                if ( ! compressData( &encData, encData_end, p, ( hc[ZRL] ).code,
( hc[ZRL] ).length ) )
                    return( NULL );
            unsigned int S = calcS( d );
            HuffmanCode* h = &( hc[run * S + ssss] );
            if ( ! compressData( &encData, encData_end, p, h->code, h->length ) )
                return( NULL );
            if ( d < 0 ) d -= 1;
            if ( ! compressData( &encData, encData_end, p, d, ssss ) )
                return( NULL );
            run = zrl_count = 0;
        }
    } while ( 1 );
}
```

```

    }
} while ( zigzag_run( &x, &y, &sx, &sy ) == 0 );
if ( run != 0 || zrl_count != 0 )
    if ( ! compressData( &encData, encData_end, p, ( hc[EOB] ).code,
( hc[EOB] ).length ) )
        return( NULL );
return( encData );
}

char* ac_decode( unsigned char* encData, unsigned char* encData_end, Mcu* mcu,
Mcu* mcu_end )
{
    char p = 0;
    if ( conv_huffman_code_to_tree( hc, huffmanTree, huffmanTree + HUFFMAN_MAX,
RUN * S ) == 0 )
        return( NULL );
    for ( ; mcu < mcu_end ; mcu++ ) {
        if ( ( encData = ac_mcu_decode( encData, encData_end, mcu, &p ) ) == NULL )
            return( NULL );
    }
    return( encData + 1 );
}

char* ac_mcu_decode( unsigned char* encData, unsigned char* encData_end, Mcu*
mcu, char* p )
{
    int i;
    int sx = -1, sy = 1;
    int x = 1, y = 0;
    int isEnd;

    do {
        if ( ( i = get_from_huffman( &encData, encData_end, huffmanTree, p ) ) < 0 )
return( NULL );
        if ( i == EOB ) {
            do {
                ( mcu->d )[x][y] = 0;
            } while ( zigzag_run( &x, &y, &sx, &sy ) == 0 );
            break;
        } else if ( i == ZRL ) {
            for ( i = 0 ; i < RUN; i++ ) {
                ( mcu->d )[x][y] = 0;
                isEnd = zigzag_run( &x, &y, &sx, &sy );
            }
        }
    } while ( 1 );
}

```

```

    }
} else {
    int run = i / S;
    unsigned int ssss = i % S;
    for ( i = 0 ; i < run ; i++ ) {
        ( mcu->d )[x][y] = 0;
        zigzag_run( &x, &y, &sx, &sy );
    }
    if ( ! decompressData( &encData, encData_end, p, &i, ssss ) ) return( NULL );
    if ( ( ssss > 0 ) && ( ( i >> ( ssss - 1 ) ) & 1 ) == 0 ) {
        i |= ( ~0 ) << ssss;
        i += 1;
    }
    ( mcu->d )[x][y] = i;
    isEnd = zigzag_run( &x, &y, &sx, &sy );
}
} while ( isEnd == 0 );
return( encData );
}

int zigzag_run( int* x, int* y, int* sx, int* sy )
{
    if ( *x == MCU_SIZE - 1 && *y == MCU_SIZE - 1 )
        return( 1 );
    *x += *sx;
    *y += *sy;
    if ( *x < 0 || *x >= MCU_SIZE || *y < 0 || *y >= MCU_SIZE ) {
        *sx *= -1;
        *sy *= -1;
        if ( *x < 0 ) {
            *x = 0;
            if ( *y >= MCU_SIZE ) {
                *x = 1;
                *y = MCU_SIZE - 1;
            }
        }
        } else if ( *x >= MCU_SIZE ) {
            *x = MCU_SIZE - 1;
            *y += 2;
        } else if ( *y < 0 ) {
            *y = 0;
        } else {
            *x += 2;

```

```
    *y = MCU_SIZE - 1;
  }
}
return( 0 );
}
```

シナリオマネージャーサンプルソース

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Scenario>
  <SceneContent sceneid="S001" scenefile="scene"
url="C:¥q¥data¥q9r.xrm">
  <Next nextid="N001" input="NULL" />
  </SceneContent>
  <Haptics deviceid="D001"
scale="3e-3"
pointercenter="-0.2120628804 0.0780888945 0.6161833405"
position="-0.212 0.287 0.61 0.1 0.1 0.3 0.05"
fingercenter="-0.22879 0.13473 0.57356"
startbutton="-0.65999 0.32509 0.60642 0.03"
startbuttonanimation="animation_kaiten"
area="-0.350 0.287 0.61 10.25 0.15 0.05"
playmedia="C:¥q¥data¥Media¥ambient.wav">
  <Next nextid="N004" input="NULL" />
  </Haptics>
  <Node nodeid="N001" objectid="" cameraposi="0.0 0.0 0.0 0.1">
    <Event eventid="E001" eventtype="media" eventfile="dialog"
dialogtype="List">
      <Item dialogtext="Run away" />
      <Next nextid="N002" input="OK" />
      <Item dialogtext="Look" />
      <Next nextid="N004" input="OK" />
      <Item dialogtext="Do nothing" />
      <Next nextid="N004" input="OK" />
    </Event>
  </Node>
  <Node nodeid="N002" objectid="">
    <Event eventid="E002" eventtype="media"
eventfile="video" url="C:¥q¥data¥Media¥THE_RING-2.wav">
      <Next nextid="N004" input="TRUE" />
    </Event>
  </Node>
  <Node nodeid="N004" objectid="">
```

```
    <Event eventid="E004" eventtype="media"
    eventfile="video" url="C:\q\data\Media\THE_RING-2.wav">
        <Next nextid="N001" input="NULL" />
    </Event>
</Node>
</Scenario>
```


研究業績

本論文に関わる研究業績

種 類 別	題名、発表・発行掲載誌名、発表・発行年月、連名者(申請者含む)
査読論文	<p>井原雄人,永田勝也,切川卓也,古市直斗, VR 技術を用いた体感型安全教育支援システムによる教育効果に関する研究, CIEC 春季研究会論文集 1 号 p41-45,2010.3</p> <p>Y. Kamiya, S. Nagano, M. Nabeta, Y. Ihara, Y. Daisho, S. Takahashi, T. Sato, Development of short-range frequent-recharging small electric vehicle equipped with non-contact inductive power supply system,Proceedings of the 24th international electric vehicle symposium (EVS), Charging infrastructure session, pp. 1- 6(CD-ROM),2009. 5</p> <p>井原雄人,永田勝也,永井祐二,ネットワーク未発達地域での e-learning の実施に関する研究,日本教育工学会第 24 回全国大会講演論文集 p279-284,2008.10</p>
口頭発表	<p>井原雄人,永田勝也,Power over Ethernet を用いたネットワーク未発達地域での e-learning 実施に関する研究, 日本教育工学会第 28 回全国大会, pp.221-222,2012.09</p> <p>井原雄人,永田勝也, データマイニングを用いた情報検索手法の研究, 2012PC カンファレンス, pp.121-126,2012.08</p> <p>井原雄人,永田勝也, 切川卓也, VR 技術を用いた体感型安全教育支援システムへの機能拡張による教育効果の向上に関する研究, 2011PC カンファレンス, pp.109-115,2011.08</p> <p>井原雄人,永田勝也,データマイニングを用いた検索手法の有効性に関する研究, 日本教育工学会第 26 回全国大会, pp.821-822,2010.09</p> <p>永田勝也,井原雄人, 切川卓也,古市直斗,鈴木克俊 , 体感型安全教育支援システムの改良とプログラム開発手法の検討, 第 43 回 安全工学会研究発表会, 83~86,2010.11</p> <p>永田勝也, 井原雄人, 切川卓也, 下村健太, 平松信人, 豊島を題材にした遠隔授業における学生テキストマイニング分析, 第 3 回 豊島学(楽)会, 口頭発表 pp II -17-18,2009</p> <p>井原雄人, 壺内良太, 湯村淳(早稲田大学), VR(バーチャルリアリティ)技術を活用した体感型安全教育支援システムの開発について, 第 41 回 安全工学会研究発表会, 223~226,2008.11</p> <p>塩田真吾,金子幸平,永田勝也,小野田弘士,永井祐二,井原雄人,和田翔太「環境学習プログラムの評価方法の開発」, 日本環境教育学会第 19 回大会, 2008.08</p>

	<p>塩田真吾,金子幸平,永田勝也,小野田弘士,永井祐二,井原雄人,和田翔太「環境学習プログラムの実践と評価手法の開発」,第3回日本エネルギー環境教育学会全国大会 75-76,2008.08</p> <p>塩田真吾,金子幸平,永田勝也,小野田弘士,永井祐二,井原雄人,和田翔太,杉田大亮「環境学習プログラムの実践と学習効果評価手法の開発」,環境科学会 2008 年会,2008.08</p> <p>金子幸平,永田勝也,小野田弘士,永井祐二,井原雄人,前野良輔,松原祐介,塩田真吾「環境学習データベースの作成・分析と環境学習プログラムの開発」,第2回日本エネルギー環境教育学会全国大会,pp154-155,2007.08</p> <p>井原雄人,寺島信義,遠隔教育のためのブラウザデザイン,日本教育工学会第20回全国大会, pp.821-822,2004.08</p>
その他	<p>アライアンスフォーラム財団、早稲田大学環境総合研究センターにおける遠隔講義の実験,2004.06.30(招待講演)</p>