

インターネットを利用した科学実験システムの 試作と現状の問題点

税所幹幸*・堤 豊**・松野了二*

熊本県立大学*・熊本学園大学**

インターネットを利用した科学実験システムを試作し、改良を重ねてきた。このシステムは、インターネットの利用環境が整った場所から、学習者がロボットアーム装置を利用し、科学実験をおこなえるシステムであり、学習者は教師の説明を自ら確かめることができるので、学習効果が期待できる。試作したシステムを工業高校生20人に利用させ、そのシステムの現状の問題点について整理し、その対策を検討した。生徒が指摘した問題点は、実験の様子を観察するための画像を配信・表示する時間の遅れ問題とコースウェアのコンテンツに関することであった。画像配信の遅延時間に対する対策は、その遅延時間に実験に関する補完的な説明を表示することや画像配信用ソフトウェアの検討が必要である。また、コンテンツに対しては、実験図のサイズや実験中における音声による説明、実験開始の合い図の必要性等が指摘された。

1. はじめに

急速なインターネットの普及に伴い、インターネットを利用したオンライン

教育に関する研究が盛んになってきている。理科教育では、学習者が実際に実験をおこなって確かめることが、その原理等を理解しやすくなる重要な学習方法の一つだと考える。インターネット上で実験を取り入れようとする、現状では、文字と静止画等で実験の経過を説明し、動画を取り入れた擬似的な実験を利用した方式が一般的である。ところが、この方式では教師側からの一方向の説明となりがちで、学習者にとっては受身的な教育となるおそれがあり、科学実験を実際におこなうのが最適な理科教育に対する学習効果は十分とは言い難い。

実験室から離れた場所で操作学習が可能な遠隔実験システムに関する研究として、メカトロニクス教育における小型モータ制御を学習するシステムが報告されている(菊地 2000)。特殊な機材を各学校で配備する必要がなくなる等の長所が報告されている。一方、欠点として、このシステムでは、実験の様子を観察する画像配信用ソフトウェアに NetMeeting (マイクロソフト社製) を利用しているため、実験装置を観察できる学習者の場所は一箇所となり、複数の学習者が各々の場所から同時に実験の様子を観察するには制限がある。また、実験装置はサーバと直接接続するため、新たな実験を実装しようとする、サーバと実験装置とのインターフェースの部分を作製する必要がある。

我々は、Web サーバコンピュータ、そのコンピュータに接続されたロボットアーム装置およびビデオカメラ装置と、科学実験装置から構成される科学実験システムを提案した (Saisho et al. 1998)。このシステムは、インターネット上でロボットアーム装置が学習者の代わりに科学実験装置を操作し、学習者はその実験の様子をビデオカメラ装置の画像で観察し、学習内容を確認することができる。ロボットアーム装置の利用は、実験装置を準備することによりいろいろな種類の実験が可能となり、また実験装置自体を遠隔操作する場合と比べて、直接操作に近い擬似体験を学習者自身に与えることができる。さらに、このシステムは、危険が伴う実験への利用や高価な実験装置を共有できることなど幅広い利用が考えられる。

提案したシステムの利用は、以下の理由により学習者に対して学習効果を向上させることができると考えている。学習者はインターネットの設備が整った

場所 (図書館, 自宅等) から学習者のペースで教師の説明を実験して確かめることができる。また, 科学実験装置の置かれている環境等により科学実験が成功しない場合もあり, その場合には学習者は実験が成功しなかった理由を考える機会となる。

当初の科学実験システム (Saisho et al. 1998) では, 画像配信用ソフトウェアに NetMeeting を利用したので, 前記したように一箇所の学習者のみしか実験の様子を観察できなかった。一方, 学習者がビデオカメラ装置の方向を制御できる仕組みを取り入れおり, 学習者自身は実験を進めている実感を味わえるシステムとなっている。(Saisho et al. 1999) では, 提案した科学実験システムに適した科学実験がどのような実験かについての検討をおこなった。本システムに適した科学実験は, 学習者の身の回りで調達しにくい道具を利用する実験, あるいは高価な装置を利用する実験等が適している。一方, ロボットアーム装置が大まかな動きとなるので精確な測定を必要とする実験には適していない。

さらに, 軸の自由度を増やしたロボットアーム装置の利用や Web サーバから複数の学習者への画像配信が同時にできるシステムへの改善を進めてきている。本稿では, 改善した科学実験システムの概要と, このシステムを工業高校生20名に利用させ, 本システムが持つ現状の問題点を明らかにし, その対策を検討する。

2. 科学実験システム

科学実験システムでは, 学習者がクライアントコンピュータから Web ブラウザを通してコースウェアを表示させ, そのコースウェアで実験の概要を学習した後, その内容を実験で確かめることができる。以下に, 本科学実験システムのハードウェアとソフトウェアの構成を述べる。

2.1 ハードウェア構成

図1は, 科学実験システムの構成図である。我々は, 科学実験装置, Web サーバコンピュータ, そのコンピュータから制御可能なロボットアーム装置およ

びビデオカメラ装置から科学実験システムを構成している。Web サーバコンピュータの OS には Windows NT Server 4.0 を利用している。

ロボットアーム装置 (MOVEMASTER EX, (株)三菱電機製) は, 科学実験装置を学習者に代わって操作するための装置であり, 5 軸 (ウェスト回転, ショルダ回転, エルゴ回転, リストピッチ回転, リストロール回転) の自由度を持ち, Web サーバコンピュータとは RS232C で接続している。

また, ビデオカメラ装置 (VCC3, (株)キャノン製) は, 学習者が実験の様子を観察するために利用し, Web サーバコンピュータと RS232C で接続しており, ビデオカメラの方向と画面の大きさを制御可能となっている。

科学実験装置については, 市販の実験装置に機材等を付加して, ロボットアームで扱いやすいように実験装置を作製している。

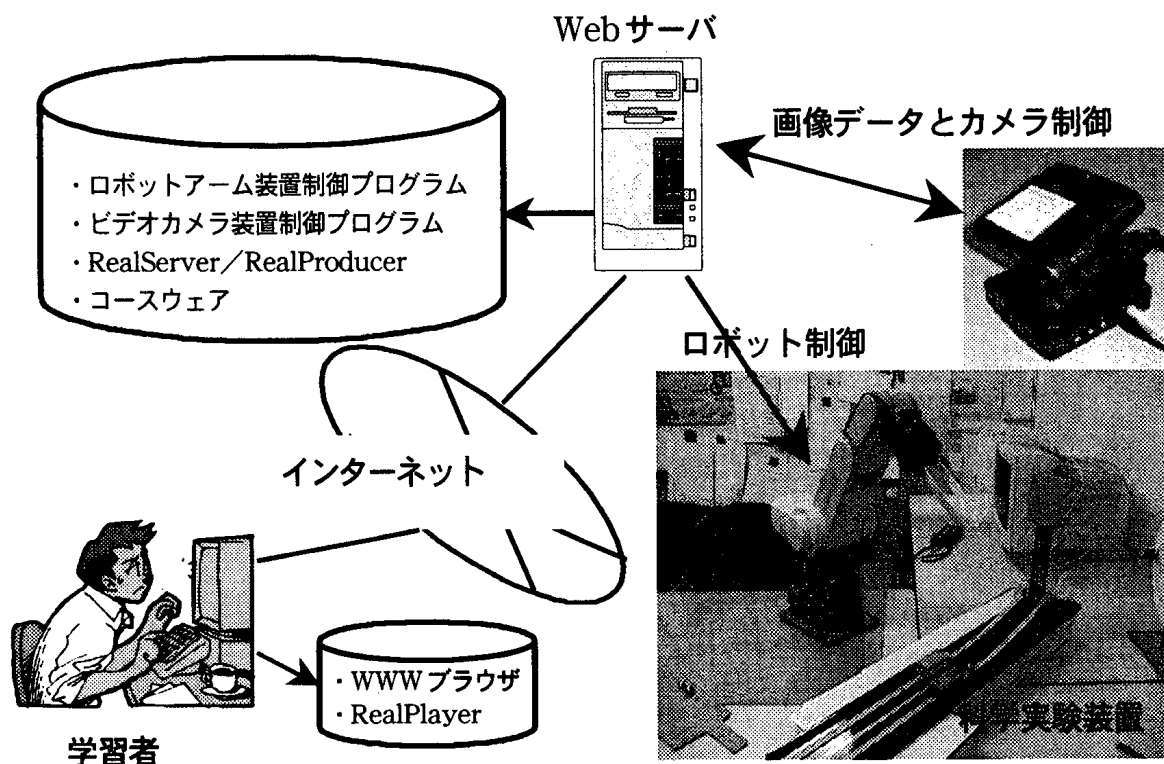


図 1. インターネットを利用した科学実験装置システム

2.2 システムのソフトウェア構成

本システムのソフトウェアは、科学実験装置ごとにロボットアーム装置を動作させるための制御プログラム、ビデオカメラ装置を操作するための制御プログラムおよび実験内容を記述したコースウェアから成る。そのほか、学習者にビデオカメラで実験の様子を撮った画像を配信するためのソフトウェアがある。上記のすべてのプログラムは Web サーバに格納されている。以下に、各プログラムについて述べる。

(1) ロボットアーム装置の制御プログラム

ロボットアーム装置の制御プログラムは Web サーバ上にある CGI (Common Gateway Interface) プログラムで、アームの動作を記述している。この制御プログラムは、アームを移動させる座標のデータとアームの開閉の情報とから成るデータである。したがって、この制御プログラムは、各実験でアームの動作が異なるので、実験ごとに作成することになる。

(2) ビデオカメラ装置の制御プログラム

ビデオカメラ装置の制御プログラムは、ロボットアーム装置の制御プログラムと同様、Web サーバ上にある CGI プログラムで、ビデオカメラの方向と画面の大きさを変えるための指定を記述している。学習者は、ビデオカメラの方向（上・下、左・右の4種類）と、画面の拡大・縮小の変更が可能である。学習者がビデオカメラの方向を変えるための指示画面を、各コースウェアの左画面の部分に常時表示しており、学習者は Radio ボタン形式で選択可能となっている。

(3) コースウェア

コースウェアは、実験書にあたるもので、実験の概要、実験方法および実験について記述しており、HTML 言語で作成している。各項目には、音声による説明をつけており、要求により説明を聞くことができる。また、実験に関する説明の中で、専門用語等で理解しにくい用語に対しては、リンク形式で説明の画面が開くようにして、学習者が理解しやすいような配慮をおこなっている。

また、実験には収録済み実験と Live 実験（生中継）を用意しており、マウ

スの指示で切替えることが可能である。Live 実験では学習者に代わってロボットアーム装置が実際に実験をおこなうので、実験装置の周りの状況により実験がうまくいかない場合も起こり得る。そのような場合に、収録済み実験は、Live 実験がうまくいったかどうかを確認するために利用できる。

Live 実験では、学習者は RealPlayer (RealNetworks 社) を起動して Live 画像を表示しておき、コースウェアに埋め込まれたボタンをクリックすることにより、実験を開始する。また、収録済み実験は、Live 実験と同様に RealPlayer を利用して学習者が要求することにより再生できる。

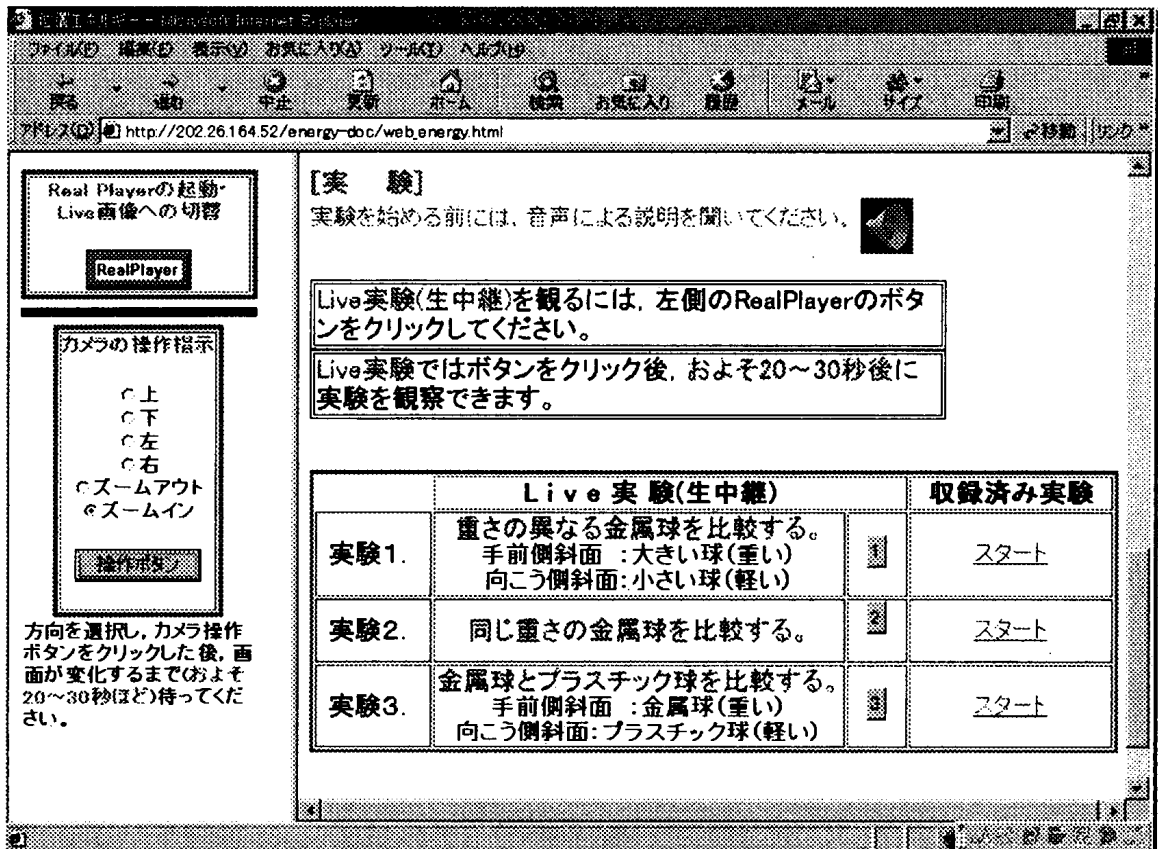


図 2. 位置エネルギーのコースウェアの一部

(4) 画像配信・受信用ソフトウェア

本システムでは、実験の様子を複数の学習者に配信するために、RealNetworks 社の RealServer と RealProducer を利用しており、Web サーバ上に配置している。また、学習者のクライアント側には動画や音声を再生する

ために、RealPlayer が必要である。RealNetworks 社のソフトウェアは、複数の学習者が同時に実験の様子を観察でき、また学習者のクライアント側で利用する RealPlayer は無償でダウンロードできるため、学習者が手軽に使用できる利点があるので、本システムに採用した。

本システムでは、複数の学習者が同時に科学実験装置またはビデオカメラ装置を操作すると、各々の学習者が混乱するので、先に科学実験装置またはビデオカメラ装置を操作した学習者が優先的に実験をおこなえる仕組みを取っている。ただし、科学実験装置とビデオカメラ装置を操作できない学習者は、実験の様子を RealPlayer で観察することは可能なので、他の学習者と共に実験の内容を学習できる。

3. 試作システムの評価実験

3.1 評価実験方法

工業高校生20名が本試作システムを利用した。インターネットの接続環境は、大学の研究室に Web サーバコンピュータ (学内の基幹 LAN へ通信速度10Mbps で接続) を置き、学外へは1.5Mbps で SINET (学術情報ネットワーク) に接続している。また、工業高校側でも、同様に1.5Mbps で SINET に接続している。

生徒が利用した科学実験のテーマは物理関係の位置エネルギーに関してだったが、その他いくつかの科学実験のテーマを準備中である。位置エネルギーの教材は、「高い所にある物体の持つ位置エネルギーはその高さが一定なら、物体の重さが重いほど大きくなる」ことを確かめる内容である。実験方法は、同じ高さにある2つのレールの頂上に、それぞれ球を置いておき、それぞれの球を転がしてレールの下端に置いてある木片に衝突させ、その木片の移動距離で位置エネルギーの大きさを比較する。実験の種類は、重さの異なる金属球、同じ重さの金属球と材料の異なる球の3種類を準備した。

3.2 アンケート結果

本システムの利用方法は、先生が使い方などを説明した後、生徒一人一人が本システムを操作し、他の生徒はその様子を観察した。アンケートは、各項目で4つの回答群から一つを選択する方式を取り、そのほか自由記述を設けた。表1は、アンケートの各項目を4段階の評価で点数化した（最も積極的な意見に3点、最も消極的な意見を0点で表した）場合の平均点（3点満点）を示している。また、表2は、生徒が記述したコメントを列挙した。

3.3 考察

表1から、生徒らの本システムに対する興味度は平均で1.3、他の実験テーマの利用に対する要求度合いは平均で1.4であった。これらの結果から、生徒らは本実験システムに対して半分程度の興味を持っていることがわかった。興味を持った生徒は、自分で科学実験システムを操作できること、家庭で科学実験ができること、実験が好きだとの理由を明記していた。一方、興味を持たない生徒の理由は、科学あるいは物理が苦手であるとの記述であった。

次に、ビデオカメラ装置の操作については、平均が1.1であり、学習者が思うように操作できているとは言えない。この主な原因は、画像配信の時間遅れ（操作ボタンをクリック後、画面が変化するまでの時間）が大きかった（約30秒程度）ことが考えられる。カメラの方向やズームの変更指示を出しても実際にカメラの画面が変化する時間は約30秒後になるため、その変化を待ちきれないことが考えられる。

音声による実験に関する説明は平均が2.1と高く、20人中19名の生徒が程度の差はあるが必要だと答えていた。

Live 実験の画像については、その質と動きに対する満足度の平均は、それぞれ0.7、0.8となっており、満足できる結果とはなっていない。この画像の質と動きは、配信する画像のサイズや1秒間当たりのコマ数等に影響され、また画像の配信遅延時間との関係もあり、一概に良質な画像を得るには難しい状況である。

表 1. 項目ごとのアンケート集計結果

アンケート項目	平均点 (3点満点)
本システムに興味を持てたか	1.3
他の実験テーマを利用したいか	1.4
音声の説明は必要か	2.1
ビデオカメラの操作は思い通りにできたか	1.1
Live 画像の質はよかったか	0.7
Live 画像の動きはよかったか	0.8
実験内容は理解できたか	1.4

表 2. 生徒のコメント一覧

<p>a. 実験の画像を大きくする(4)*</p> <p>b. 実験内容の説明での図を大きくする</p> <p>c. 実験の開始と終了がわかるように音を入れる(3)</p> <p>d. Live 実験画像の動きを滑らかにする</p> <p>e. 同じ物体で高さが異なる実験を入れる</p> <p>f. とにかく反応が遅い(画像配信の時間遅れ)ので改善する(3)</p> <p>g. 実験中に音声による説明を入れる</p> <p>h. 実験内容が初めて見る学習者にはわかりにくい</p> <p>i. 実験装置全体を写して欲しい(2)</p> <p style="text-align: center;">* (数字)は、人数を表す.</p>

3.4 問題点に対する対策

表 1 と表 2 の結果から本システムの抱える問題点を整理し、その改善方法を検討する。

(1) 図の大きさについて

現在、実験の内容・実験の方法・実験について、一枚の Web ページですべての実験項目を表現しているため、図の大きさ等に制限が出てきている。したがって、各項目を一枚ずつの Web ページで表現すれば、図のみならず、文字も大きくすることができ、見やすくなる。

(2) 実験中の説明音声について/実験の開始タイミングの伝達について

実験中の画面は、動画を流すだけに留まっているため、生徒らは実験がわ

かりづらいのであろう。収録済み実験では、SMIL 言語を利用することで別々に準備した説明の音声と動画を同時に流すことが可能である。それに対して、Live 実験では、実験の開始時点がわからないので Live 画像に説明の音声を流すタイミングが取りにくい。

また、実験の開始を知らせる要求は、特に Live 実験で実験の開始ボタンをクリックした後、実際に動画画像が配信されてくるまでに時間遅れがあるため、実験の開始がわかりづらいことが原因の一つだと考えている。したがって、Live 実験ではロボットアーム装置が実験を開始する前に、ブザー等のボタンを押して実験が開始したことを知らせる方法を試みる。

(3) Live 画像のサイズ・質について

Live 画像のサイズは、画像の転送時間に影響すると考え、160×120ドットのサイズを利用し、RealPlayer では画像のサイズを倍にする機能があるため、これを生徒に利用してもらおう予定であった。ところが、その使用方法の説明が生徒たちに不十分であったので画像のサイズに対する指摘があったと反省している。また、Live 画像の質は、先に記述したように画像のサイズや1秒間当たりのコマ数等に影響を受けるので、これらをパラメータとしたデータを収集し、画像の質を検討していく。

(4) 画像配信の時間遅れについて

Web サーバからクライアント側への画像配信には時間の遅れが生じる。その原因の大半は最初に画像データをエンコーディングする前処理の時間とクライアント側までにその画像データが配信される時間およびクライアント側でのデコーディングする時間である。その画像の遅延時間は、学内 LAN では約20秒程度であり、学外との接続では（大学・工業高校間）、約30秒程度であった（56k モデムに対応可能かつ10コマ/秒で配信した場合）。この結果からネットワークの通信速度が速くなっても、画像の遅延時間は、大きくは改善できない。この遅延時間が大きいと、学習者は、ロボットアーム装置やカメラ装置への指示が完了していないと考えて再度各指示を出したり、同じ画面を見続けることで学習者のモチベーションが薄らいでくるので、何らかの対策を考える必要がある。

この対策の一つとして、この遅延時間の一部を使って実験に関する補完的な説明を表示する仕組みを準備する計画である。そのほか、同様な画像配信用ソフトウェアの導入も考えてみる必要がある。

3.5 他システムとの比較

本システムと1節で触れた、菊地らのシステム（菊地 2000）との比較をおこなう。

(1) 使い勝手について

菊地らのシステムでは、複数の学習者が同時に実験機材を利用する場合、お互いの実験が混乱したとの報告がなされている。我々のシステムでは、先にコースウェアの実験指示またはカメラ装置の操作をおこなった学習者が優先的に実験できる仕組みを取り入れており、実験における混乱は生じない。また実験装置を操作できない学習者は、同時に実験の様子を観察可能となっている。

ビデオカメラ装置の操作について、菊地らのシステムではビデオカメラを固定しており、ビデオカメラの角度を変えて実験の様子を観察したい場合には制限がある。我々のシステムでは、学習者がビデオカメラの方向や画面の大きさを操作できるので、いろいろな実験の観察に対応でき、さらにビデオカメラを操作することにより、学習者は実際に実験をおこなっている雰囲気を経験できる。

(2) 学習に対する有効性について

菊地らと我々のシステムともに学習者のペースで実験を進めることができるので、学習の効果が期待できる。また、我々のシステムでは、科学実験装置の置かれている環境等により科学実験が成功しない場合もあり、その場合には学習者は、実験が成功しなかった理由を考える機会が与えられることになるので、学習効果を向上させることができると考えている。この学習効果はロボットアーム装置を実験に利用したことで生じ、またその装置の利用で実験の擬似体験が可能となっている。

(3) システムの拡張性について

新たな実験を実装しようとした場合、菊地らのシステムでは、実験装置とその装置をサーバと直接接続するインターフェース部分を作製する必要がある。我々のシステムでは、実験装置とロボットアームの移動指示を準備するだけで、いろいろな種類の実験を簡単に実現できる。現在、光の屈折と振りに関する実験装置を準備中である。

4. まとめ

インターネットを利用した科学実験システムを試作し、高校生が利用した結果を分析し、現状の問題点に対する対策を検討した。

(1) 画像配信の時間遅延について

今後本システムが利用されていくには、避けて通れない重要な問題である。この対策としては、遅延時間の一部を利用した実験の補足的な説明を表示させること、また同様な画像配信用ソフトウェアの導入等を検討することが考えられる。

(2) システムの使い勝手について

一般的には、利用者の立場の意見を取り入れることも、今後システムが利用されるには重要だと認識している。したがって、実験内容の図や文字の大きさ、実験中における音声の利用等生徒が指摘した結果を重要視し、本システムの改善を進めていく。

最近問題視されている理科離れあるいは何らかの理由により学校に行けない生徒が増えており、このような生徒は自宅等で学習する機会が増える。特に、科学実験を伴う科目の学習で、自宅では実験装置の調達に制限があるため、学習する内容への理解が十分でないと考えられる。本システムはインターネットの設備のある場所からの利用が可能なので、彼らが科学実験を伴う科目を学習する機会を提供できると考えている。

謝辞

工業高校生が本システムを利用するにあたり、アンケート調査等に御協力頂いた熊本県立小川工業高校の岩永久幸教諭に感謝致します。

参考文献

- 菊地達也(2000) 小型モータ制御実習用エン各実験システムの開発 —日本人学生と外国人研修生を比較して—, 日本教育工学会誌, 24, pp.127-130
- Saisho, M., Tsutsumi, Y. and Matsuno, R. (1998) A Web-based Remote Controlled Scientific Experiment System, *Proc. of WebNet 98 (CD-ROM Version)*, #831
- Saisho, M., Tsutsumi, Y. and Matsuno, R. (1999) Issues in the Development of WWLab: A System for Scientific Experiments through the Web, *Proc. of ED-MEDIA 99*, pp. 1346-1347
- 税所幹幸(2000) インターネットを利用した科学実験システム：アームロボットとビデオカメラ装置制御用 CGI プログラムの作成, 熊本県立大学総合管理学会誌「アドミニストレーション」第7巻2号, pp. 51-61
- Saisho, M., Tsutsumi, Y. and Matsuno, R. (2001) Potential Energy Courseware: A Prototype for Scientific Experiments Utilizing the WWLab, *Proc. of ED-MEDIA 2001*, pp.1615-1616