

## 高精細動画像通信と対話型教授システムによる遠隔物理実験授業の実践

樋口 祐紀<sup>†</sup> 小山田 誠<sup>†</sup> 橋本 浩二<sup>††</sup> 三石 大<sup>†</sup> 岩崎 信<sup>†</sup>  
最上 忠雄<sup>†††</sup> 長谷川 晃<sup>†††</sup> 中島 平<sup>†</sup> 柴田 義孝<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 東北大学大学院 教育情報学研究部・教育部 〒 980-8576 宮城県仙台市青葉区川内  
<sup>††</sup> 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部 〒 020-0193 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字菓子 152-52  
<sup>†††</sup> 東北大学大学院 工学研究科 〒 980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6  
E-mail: [tyukix@ei.tohoku.ac.jp](mailto:tyukix@ei.tohoku.ac.jp)

あらまし 現在、我々は、これからの新しい理科教育手法の1つとして、大型実験装置を利用した高大連携物理実験授業の可能性の模索を行っている。加えて、情報通信技術を利用した効果的な遠隔授業の実施のために、マルチメディア教材の対話的な提示が可能な対話型教授システムの開発を行なっている。今回は、東北大学と岩手県の会場とをJGN IIによる高速ネットワーク回線により接続し、岩手県内の高校生を対象として、我々の開発したDVによる高精細動画像通信システムMidField、及び対話型教授システムIMPRESSIONを利用し、東北大学が所有する水素イオン加速器を題材とした実験授業を実施した。その結果、臨場感のある映像に加え、複数のマルチメディア教材を活用し、対話的に授業を展開することにより、遠隔教育においても効果的な実験授業を実施できることを確認した。  
キーワード 高精細動画像通信、対話型教授システム、遠隔授業、JGN II

## A Practice of Distance Class of Physics Experiments with High-definition Image Communication and Interactive Instruction System

Yuki HIGUCHI<sup>†</sup>, Makoto OYAMADA<sup>†</sup>, Koji HASHIMOTO<sup>††</sup>, Takashi MITSUISHI<sup>†</sup>, Shin IWASAKI<sup>†</sup>,  
Tadao MOGAMI<sup>†††</sup>, Akira HASEGAWA<sup>†††</sup>, Taira NAKAJIMA<sup>†</sup>, and Yoshitaka SHIBATA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Educational Informatics, Tohoku University, Kawauchi, Aoba, Sendai 980-8576, Japan  
<sup>††</sup> Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University,  
152-52 Takizawa-aza-sugo, Takizawa, Iwate 020-0193, Japan  
<sup>†††</sup> Graduate School of Engineering, Tohoku University, 6-6 Aramaki-aza-Aoba, Aoba, Sendai 980-8579, Japan  
E-mail: [tyukix@ei.tohoku.ac.jp](mailto:tyukix@ei.tohoku.ac.jp)

**Abstract** In order to develop a new educational program in the science field, we have been studying on high school-university cooperative class using a large-scaled experimental facility owned by research university. We also focus on the improvement of our interactive instruction system for the effective implementation of distance education with information technology. In this paper, we connected both Miyagi and Iwate sites over the JGN II network, and carried out a two-days distance class demonstration of the hydrogen ion accelerator for high school students in Iwate using MidField and IMPRESSION. MidField is high-definition image communication system with DV format. IMPRESSION is an interactive instruction system with several multimedia teaching materials. As a result of this class, even if separated environment, we confirmed we can perform effective distance class with realistic sensational images, several multimedia materials, and interactive instructional program.

**Key words** High-definition Image Communication, Interactive Instruction System, Distance Class, JGN II

### 1. はじめに

コンピュータ技術、ネットワーク技術の発達に伴い、遠隔授業の試みが数多くなされてきており、近年では、従来の ISDN 回

線を用いたテレビ会議システムによるものに代わり、インターネットを用いたものが多くなされている。中でも JGN (Japan Gigabit Network: 研究開発テストベッド・ネットワーク) 等の大容量回線を用いて高精細動画像や大容量のマルチメディアコ

表1 授業の概要

Table 1 Instructional design of the distance class

1日目：2004/10/30(土)		2日目：2004/10/31(日)	
時間帯	授業内容	時間帯	授業内容
10:00 - 11:15	イントロダクション	10:00 - 10:15	イントロダクション
11:15 - 12:00	加速器の遠隔見学	10:15 - 12:30	加速器運転実習
12:00 - 13:00	昼休み	12:30 - 13:15	昼休み
13:00 - 14:30	小実験	13:15 - 14:00	実習結果の観測
14:30 - 15:00	1日目のまとめ	14:00 - 15:00	2日間のまとめ

表2 授業参加者の配置と役割

Table 2 Participant's disposition and his/her jobs

	SCA	NiCT
教師	2名(実験装置・理論の解説)	1名(授業の進行・解説)
生徒	—	15名
TA	2名(実験装置の撮影・運転)	2名(小実験の補助)
サポート	4名(PC操作・授業撮影)	4名(PC操作・授業撮影)

コンテンツをやりとりするものも増えている [1], [2].

これまで我々は、大学の授業を高校生に提供する事で教育の機会を広く行う高大連携授業 [3] の一環として、東北大学工学部に設置されている大型実験装置を用いた物理実験授業を行ってきた [4]. 今回、我々はこの物理実験授業を JGN II [5] の回線を利用して、我々が開発した高精細動画画像通信システム MidField, 及び対話型教授システム IMPRESSION を用いて、東北大学工学部量子科学館から岩手 IT 研究開発支援センター内の高校生に配信する遠隔授業の試みを行った。本稿では、この授業の概要、用いたシステムの特徴、及び遠隔授業の評価について述べ、この考察を行う。

## 2. 遠隔物理実験授業の概要

我々がこれまで行ってきた高大連携授業において対象としてきた大型実験装置とは、電子や陽子などの荷電を持つ粒子(イオン)を真空中で加速する装置であり、この加速した粒子を様々な物質に当て、様々な目的に利用する実験装置である。東北大学工学部に設置されている装置は、コッククロフト・ワルトン型水素イオン加速器(以下、加速器)と呼ばれ、全高が6mあり、移動は不可能である。この加速器は原子、イオン、力学、電磁気、放射線の基礎概念など、高校までに学習する広範囲の科学的概念に関連した総合的な題材であり、学習内容を熟慮する事により、高校生の理科学習を促進する良材となり得るとの考えから用いている。これまで我々は対面授業形式の高大連携授業を2度実施しており、それぞれ受講者から好評を得ている。

今回、我々は新しい理科教育手法の可能性を模索する事と情報通信技術を利用した効果的な遠隔授業の実施を目的として、これまで行ってきた高大連携授業を遠隔授業形式で行う事を検討し、実施した。授業は、「新世紀理数科教育・新高校大学連携課外・遠隔型授業：加速器物語」をテーマに、2004年10月30(土)、31(日)の2日間に10:00~15:00の時間帯に岩手県盛岡市の高校2年生15名を対象に行った。授業の内容は、加速器の遠隔見学、遠隔操作や小実験を行う事で加速器の構造や原理を学習する内容となっている。授業の概要を表1に示す。

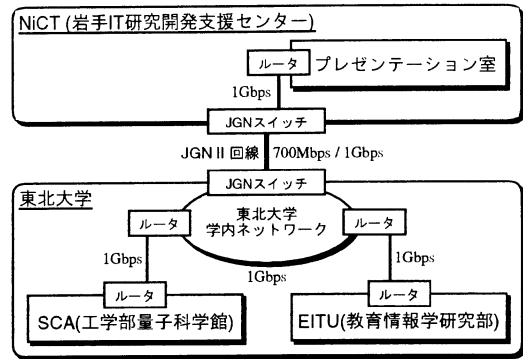


図1 ネットワーク構成

Fig. 1 Network structure

今回、実験の解説を行う教師と加速器の撮影や操作を行うTAは東北大学工学部量子科学館(以下、SCA)から授業に参加した。また、授業の進行を行う教師、小実験の補助を行うTeaching Assistant(以下、TA)と生徒は、岩手IT研究開発支援センター(以下、NiCT)から授業に参加した。さらに本授業で用いたアプリケーションが稼働するコンピュータ(以下、PC)の操作や授業撮影のためにサポート人員をそれぞれに配置した。授業参加者の配置、人数、及びそれぞれの役割を表2に示す。

## 3. システム構成

### 3.1 ネットワーク構成

今回の遠隔授業で利用したネットワークの構成を図1に示す。本授業では、加速器が設置されているSCA、受講会場であるNiCT、及び遠隔授業を行うために利用したサーバ機が設置されている教育情報学研究部(以下、EITU)をそれぞれ接続する必要があった。SCAとEITU間は東北大学学内ネットワークを介してGigabit Ethernet回線で接続を行い、学内ネットワークとNiCT間はJGN II回線700Mbpsを予約して接続を行った。なお、今回はEITUのネットワークにSCAとNiCTのネットワークを収容する形でVLANを構築してそれぞれの接続を行った。

### 3.2 機器構成

今回、SCA、EITU、NiCTのそれぞれにおいて用いた機器構成の略図を図2に示す。

SCAは加速器が設置されている炉室と、加速器の運転室に分かれている。炉室には加速器内部撮影用カメラ4台、加速器全景撮影用カメラ2台、移動撮影用カメラ1台、プロジェクタとスクリーン1組を設置した。運転室には、PC2台、授業風景撮影用カメラ1台、プロジェクタとスクリーン1組、大型タブレットディスプレイ1台、デジタルカメラ付顕微鏡1台を設置し、それぞれの部屋を移動可能なように複数の無線マイク、無線ヘッドホンを用いた。

EITUにはサーバ機2台を設置した。

NiCTには、PC2台、授業風景撮影用カメラ2台、プロジェクタとスクリーン2組、タブレットディスプレイ1台を設置し、複数の無線マイクを用いた。

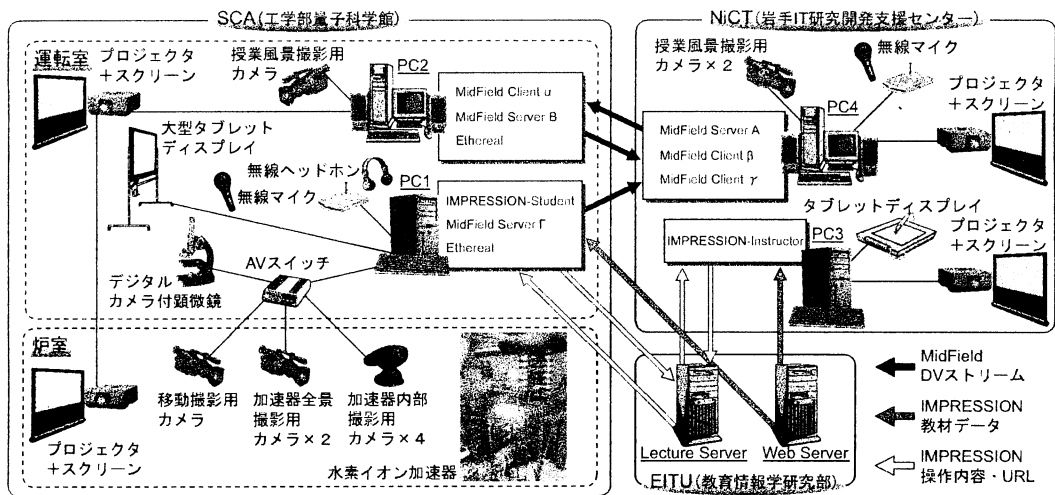


図2 機器構成と利用アプリケーション

Fig. 2 Used devices and used applications in the distance class

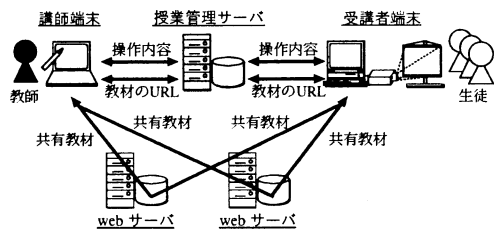


図3 IMPRESSION のシステム構成

Fig. 3 System structure of the IMPRESSION system

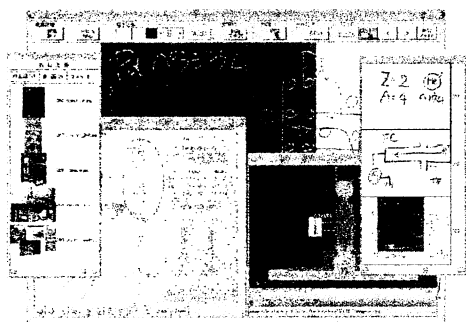


図4 IMPRESSION の実行例

Fig. 4 Screenshot of the IMPRESSION-Instructor

### 3.3 利用アプリケーション

今回、本授業では動画像と音声の相互通信のために、高精細動画像通信システム MidField [6] を利用した。また、ネットワークを介して教材の提示や描き込みなどによる教示を行うために、対話型教授システム IMPRESSION [7] を用いた。

MidField (Middleware for Flexible intercommunication environment by relocatable decision) システムは、ネットワーク接続さ

表3 利用マシンのスペック

Table 3 Specification of used PCs and servers

	CPU	Memory	OS
Lecture Server	UltraSPARC III 900MHz	512MB	Solaris8
Web Server	UltraSPARC III 900MHz	1GB	Solaris8
PC1	Pentium4 3.2GHz	1GB	WindowsXP Pro SP2
PC2	Pentium4 2.8GHz	1GB	WindowsXP Pro SP2
PC3	Pentium4 3.2GHz	2GB	WindowsXP Pro SP1
PC4	Pentium4 3.2GHz	2GB	WindowsXP Pro SP1

れたコンピュータシステムのトランスポート層より上位に位置し、アプリケーションプログラムに対してマルチメディア通信機能を提供するミドルウェアである。今回は、本ミドルウェアにインタフェースを実装し、単体のアプリケーションとして DV (Digital Video) ストリームを送受信するために用いた。

IMPRESSON (Interactive Multimedia PREsentation System for Shared Instructional Objects on the Networks) システムは、対面授業、及び遠隔授業の双方において利用可能な教授システムである。IMPRESSON はインターネット上で提供される各種多様なマルチメディア教材を利用可能であり、また、教師と生徒との対話に応じてこれを提示することにより、柔軟で効果的な授業の展開を可能とする。さらに、授業実施内容を記録、保存し、オンデマンド教材の自動生成や授業設計に利用できる。IMPRESSON は授業中の教示方法として、描き込み、図やビデオ等の提示、画面 (スライド) 切り替え、ポインタによる指し示し機能を提供する。IMPRESSON のシステム構成を図3に示し、実行例を図4に示す。

今回、それぞれのアプリケーションを図2に示す環境において用いた。SCAのPC1では、IMPRESSONの受講者端末を実行すると共に、加速器の全景や加速器内のイオンビーム等の映像を NiCT へ配信するために MidField を実行した。PC2 では、運転室内の講師の映像と音声を NiCT へ配信するために

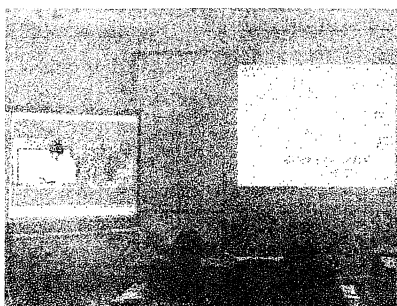


図5 遠隔物理実験授業の様子 1  
Fig. 5 Photo1 of the distance class

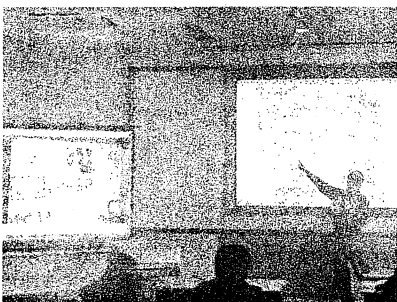


図6 遠隔物理実験授業の様子 2  
Fig. 6 Photo2 of the distance class

MidField を実行した。また、PC1 と PC2 では本授業中に流れる通信パケットの全ての種類が流れるため、今回用いたアプリケーションの動作確認のために、両マシンにおいてフリーウェアのプロトコルアナライザアプリケーションである Ethereal [8] を実行してパケットのキャプチャを行い、通信トラフィックの計測、及びパケットログの記録を行った。EITU のサーバ機では、IMPRESSION の操作内容、及び教材の URL を蓄積、中継する授業管理サーバと、IMPRESSION で用いるマルチメディア教材を配信する Web サーバをそれぞれ実行した。NiCT の PC3 では、IMPRESSION の講師端末を実行した。PC4 では、NiCT 内の教師と生徒の映像と音声を SCA に配信するため MidField を実行した。

本授業で用いたサーバ機、及び PC のスペックを表 3 に示す。

#### 4. 実験結果と考察

以上のシステム構成を基に、遠隔授業形式の物理実験授業を実施した。実施した授業の様子を図 5、図 6 に示す。図 5 は、SCA において顕微鏡を用いて観測した試料の映像と、それを解説する教師の様子が MidField により配信され、その際に教師が行った IMPRESSION への描き込み内容と併せて NiCT 会場内に提示されている様子である。図 6 は、SCA の操作室内にある加速器の操作盤の様子が MidField により配信され、NiCT 会場内で教師が関連する学習内容を IMPRESSION を用いて、Flash [9] による教材を用いて説明を行っている場面である。

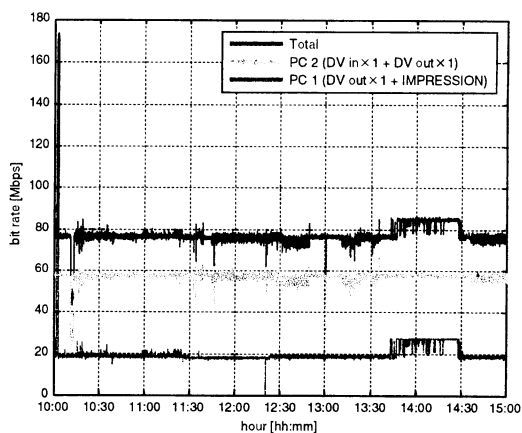


図7 1日目の通信トラフィック  
Fig. 7 Traffic data of 1st day

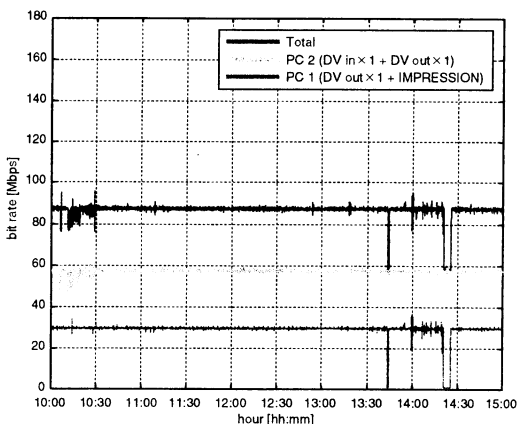


図8 2日目の通信トラフィック  
Fig. 8 Traffic data of 2nd day

#### 4.1 通信トラフィック

授業後に算出した SCA の PC1, PC2 の通信トラフィックとして、1日目のトラフィックを図 7 に、2日目のトラフィックを図 8 にそれぞれ示す。両日の結果を比較すると、2日目に比べて1日目は通信が安定していない事が分かる。まず、1日目の授業開始直後に PC1 の利用帯域が上昇している原因は、IMPRESSION の受講者端末が講師端末から送信される利用教材の URL を基に、Web サーバから合計約 853MByte の教材データのダウンロードを行っているためである。2日目は教材データのキャッシュを利用するため、ダウンロードを行っていない。

次に、1日目の PC1 の利用帯域が授業終了間近に一時的に上昇している原因についてであるが、PC1 では DV ストリームの配信を行っており、DV の規格では 28.8Mbps の帯域を必要とする。しかしながら、PC1 では約 20.0Mbps の帯域により通信を行っていた。Ethereal にてキャプチャしたパケットログを調査したところ、MidField で利用する RTP パケットのシーケ

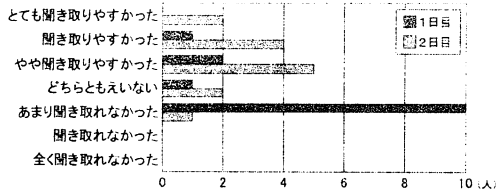


図9 遠隔サイトの教師の音声に対する評価  
Fig. 9 Evaluation of teacher's voice from distance site

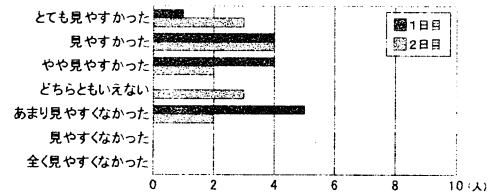


図10 遠隔サイトの教師の映像に対する評価  
Fig. 10 Evaluation of teacher's motion from distance site

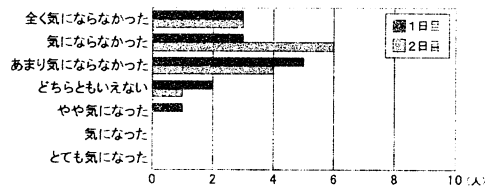


図11 MidFieldとIMPRESSIONとの相対的な同期に対する評価  
Fig. 11 Evaluation of synchronous between MidField and IMPRESSION

ンス番号が連続しているため、送信バッファのオーバーフロー等によるパケットロスは発生していなかったことが判明した。また、DVフレームの送信間隔は約0.05secであったため、DVストリームは約20fpsで送信されていた事が判明した。この十分な帯域を用いずに通信を行っていた原因は、今回利用したアプリケーションに対し、IMPRESSIONの装束の効率化が十分ではなかったために、PCの資源が不足していたことにより、IEEE1394を介して入力されるフレームデータが欠落していたことによると思われる。PC1では加速器の全景や加速器内のイオンビームの様子等の比較的動きの少ない映像のみを送信しており、音声は送信していなかったため、授業参加者は授業中にこの事態に気付くことなく、授業を進行していた。部分的に利用帯域が上昇している部分ではIMPRESSIONを起動していなかったため、PCの資源不足という問題が解消したことによると思われる。なお、1日目と2日目の機器構成や各アプリケーションの設定の変更は行っておらず、2日目の利用帯域が安定していた原因については今後調査を行う予定である。

最後に2日目にPC2の利用帯域が2度低下している原因であるが、1日目の低下は講師端末側で新たな利用教材の登録作業を行ったため、PC2の受講者端末で教材データのダウンロードを行った。この際にPCの資源が不足したため、MidFieldが利用する帯域が減少した事によると思われる。2日目の低下に

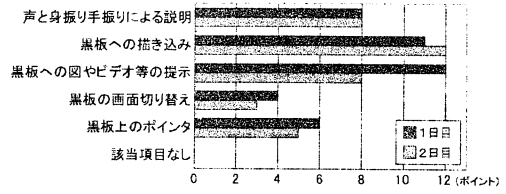


図12 説明箇所を明確に示すために有効であった方法  
Fig. 12 Usable way to present point of the explanation clearly

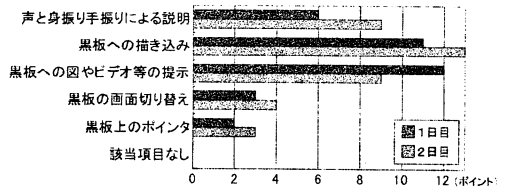


図13 授業内容を深く説明するために有効であった方法  
Fig. 13 Usable way to explain deeply

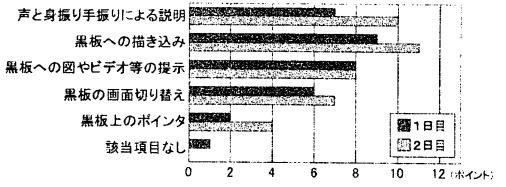


図14 授業を円滑に進めるために有効であった方法  
Fig. 14 Usable way to progress lecture smoothly

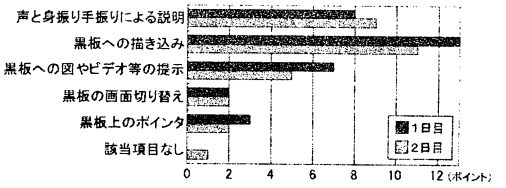


図15 即座に質問等に答えるために有効であった方法  
Fig. 15 Usable way to answer the question quickly

関しては、PCの操作を誤ってMidFieldを停止してしまった事による。

以上の結果から、アプリケーションの問題や、誤操作の問題が判明したものの、授業の進行を妨げるほどの大きな問題は無く授業を終えることができた。また、今回のように3つのストリームをやり取りし、対話型教授システムを用いた場合には、教材の取得を除いて、約100Mbps程度の帯域を確保する事で、十分に対話的な授業を実施できる事が明らかになった。

#### 4.2 生徒からの評価

両日の授業終了後に生徒に質問用紙を配布し、本授業への評価を求めた。有効回答者数は15人中14であった。回答結果の内、本授業で用いた動画像通信システムと教授システムによる授業時の環境についての択一選択形式の質問への回答結果を図

9～11に示す。1日目はSCAで用いたマイクの調整を的確に行えなかったため、NiCTに届く音声の音量が小さい、エコーやハウリングが起こる等の問題が発生していた。そのため、図9の1日目の評価は低くなっている。この音声の問題は2日目には改善されている。映像については、1日目はSCAで用いたカメラのコードがはずれ、映像配信が一時ストップするというアクシデントが発生したものの、映像の品質には問題はなかった。しかしながら、図10の結果は2日目に比べ1日目の評価が低くなっていることから、通信アクシデントが生徒の印象に強く残っていた事が考えられる。図11からは良好な評価が得られ、両システムとも大きな遅延が発生することなく稼働していた事が確認できた。

次に、授業場面のIMPRESSIONの各機能の特性についての複数選択形式の質問への回答結果を図12～15に示す。なお、図中の「黒板」とは、IMPRESSIONの描画画面を指す。全ての回答結果に共通する特徴は、従来から用いられている「声と身振り手振りによる説明」と、「描き込み」の評価が高い事である。ここから、本授業で用いたシステムは従来からの教示方法を問題無く支援できていたと考えられる。図12の結果については、「ポインタ」と、「図やビデオの提示」の評価が高いことが特徴として挙げられる。これは、授業中にSCAからの説明に合わせて教材提示を行ったためであると思われる。この結果から授業の進展に合わせて的確に教材提示を行っていたと考えられる。図13の結果については、「描き込み」の評価が高い事が分かる。これは2日目にSCAから実験結果の解説を主に「描き込み」を利用して行ったためであると思われる。この結果から遠隔地からの「描き込み」による教示方法でも十分に授業内容の理解を促進できると考えられる。図14の結果については、「画面切り替え」と、「図やビデオの提示」の評価が高いことが特徴として挙げられる。これは、授業中に教師が「図やビデオの提示」に特に手間取ることなく提示できたためであると考えている。以上の結果から、授業の進行や内容の説明に「図やビデオの提示」が有効に機能していたことが推測される。しかしながら図15の結果については、やや低い評価となっている。これは、図14の結果から授業の妨げとなるほどではないが、提示する教材を探す際に多少の時間がかかっていた事が推測される。

#### 4.3 教師からの評価

実験授業後に教師とTAに質問用紙を配布し、本授業への評価を求めた。有効回答者数は7人中7であった。教師とTAへの自由記述形式の質問は、大きく分けて用いたシステムの機能に対する内容と、遠隔授業を行う際の環境に対する内容についてのものであった。まず、システムの機能に対する質問については、「全ての機能を熟知して、上手く組み合わせる必要がある」と、「説明箇所に合わせてポインタを意識的に使うなど、遠隔ならではの授業方法が必要」といった回答を得られた。これらの結果から、今回用いたIMPRESSIONでは従来の授業で用いられる教示方法は問題なく実施する事ができており、今後、さらに遠隔授業を考慮した機能を組み込み、教示方法を再考することで、より効果的な遠隔授業の実現を期待できる内容であったと考えている。

次に、遠隔授業を行う際の環境に対する質問については、「カメラ目線を意識する事と、そのための撮影方法を考慮する事で、コミュニケーションの臨場感を損なわない方法が必要」と、「加速器の大きさ・迫力や、操作する臨場感・実感を伝える方法を考慮する事で、授業全体に対する意識を損なわない方法が必要」という回答を得られた。これらの結果から、遠隔授業における動機付けや、そのための方法を再考する必要があることが明らかになった。また、今回、マイクの音量調整等の不備やアクシデントによる映像通信の切断等の不慮の事態が発生した。このような際に「生徒に不安感を与えないようにする必要」と「機器やスタッフの整備、相互協力と鍛錬が必要」であることは本授業に参加した教師、TAとスタッフの共通見解であった。

## 5. ま と め

今回、高校生を対象とした高大連携授業の一環として、東北大学の大規模実験装置を用いた物理実験授業をJGN IIの回線を介して、高精細動画通信システムMidField、及び対話型教授システムIMPRESSIONを利用して、遠隔授業形式で行った。

評価結果からは今回用いたような通信ネットワークや、各アプリケーションにより十分な授業を実施できることが明らかになった。しかしながら、コミュニケーションや実験装置の臨場感を如何に伝えるか、また、遠隔授業を意識した教示方法など、遠隔授業ならではの教授方法を確立する必要があることが明らかになった。

今後、今回の結果を基に授業内容や教授方法の再考を行うと共に、今回のような大型加速器を用いた実験授業へ多地点から参加する形式へ拡張した遠隔授業の検討を行う予定である。

## 謝 辞

本実験授業に御協力頂きました岩手県立盛岡第一高等学校 互野恭治先生、ならびに参加していただきました生徒の皆さん、ネットワークの整備においてお世話になりました東北大学情報シナジーセンターの方々、東北大学情報科学研究科曾根研究室の方々にご場を借りて御礼申し上げます。

## 文 献

- [1] 渡辺健次, 大谷誠, 田中久治, 飯盛義徳, 近藤弘樹, “ギガビットネットワークによる高精細映像を用いた遠隔講義の実践,” 日本教育工学会誌 Vol.25 pp.149-154, 2001.
- [2] Aiguo He, 加藤淳, 程子学, 郷徳太郎, 小山明夫, 程同軍, 今宮淳美, “RIDEE-SPS:リアルタイム双方向遠隔教育環境のプレゼンテーションシステム,” 情報処理学会論文誌 Vol.44, No.3, 2003.
- [3] “カレッジマネジメント,” リクルート社, Vol.18, No.4, 2000.
- [4] 小山田誠, 岩崎信, “物理分野における高大連携課外授業の実施報告と展望,” 日本教育工学会 第20回全国大会講演論文集 pp.669-670, 2004.
- [5] JGN2 HomePage, <http://www.jgn.nict.go.jp/>
- [6] 橋本浩二, 柴田義孝, “柔軟な相互通信環境のためのトランスコーディング機能の設計と実装,” 情報処理学会研究報告-マルチメディア通信と分散処理 Vol.2003 No.64, 2003.
- [7] 樋口祐紀, 三石大, 鈴木克明, “ネットワーク上の共有教材の対話的提示が可能なインストラクションシステム,” マルチメディア通信と分散処理 (DPS) ワークショップ論文集 Vol.2003 No.19 pp.227-232, 2003.
- [8] Ethereal: A Network Protocol Analyzer, <http://www.ethereal.com/>
- [9] Macromedia, <http://www.macromedia.com/>