

## 動画像を含む教育コンテンツの 複合的なブロードバンドネットワークへの展開

奥田篤士<sup>†</sup> 石川和彦<sup>††</sup> 坂井健太郎<sup>†</sup> 伴 直晃<sup>†</sup> 坂井孝行<sup>†</sup> 林田悠基<sup>†</sup> 森田真司<sup>†</sup>  
上田正紘<sup>†</sup> 桜井哲真<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 福井大学 〒910-8507 福井市文京 3-9-1

<sup>††</sup> 福井工業高等専門学校 〒916-8507 鯖江市下司町

E-mail: <sup>†</sup> atsushi@base.fuis.fukui-u.ac.jp, tetsuma@fuis.fuis.fukui-u.ac.jp

**あらまし** 21世紀のインフラストラクチャであるブロードバンドネットワークに関し、ネットワークの拡張性とネットワークの帯域を満たすコンテンツ制作技術について提案した。前者では、波長860nmを用いた光無線通信路と有線通信路である現在のギガビットネットワークとの接続をシームレスに実現するシステム構成を提案し、環境条件が通信の帯域に及ぼす影響を明らかにした。後者では、大学授業を効率的にブロードバンド用動画像コンテンツとする試みを行い、制作時間の短縮に関する提案を行った。これらの実験結果は地域に公開され、2.4Gbpsの帯域を持つ福井情報スーパーハイウェイ(FISH: Fukui Information Super Highway)の建設・運用に貢献した。

**キーワード** ギガビットネットワーク 地方ネットワーク 教育コンテンツ 帯域 福井情報スーパーハイウェイ

## Extension of broadband networks for e-learning contents with moving pictures

Atsushi OKUDA<sup>†</sup> Kazuhiko ISHIKAWA<sup>††</sup> Kentarou SAKAI<sup>†</sup> Naoaki BAN<sup>†</sup> Takayuki SAKAI<sup>†</sup>  
Yuuki HAYASIDA<sup>†</sup> Sinji MORITA<sup>†</sup> Masahiro UEDA<sup>†</sup> and Tetsuma SAKURAI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> University of Fukui 3-9-1 Bunkyo, Fukui-city, Fukui, 910-8507 Japan

<sup>††</sup> Fukui National College of Technology Geshi-tyo, Sabae-city, Fukui, 916-8507 Japan

E-mail: <sup>†</sup> atsushi@base.fuis.fukui-u.ac.jp, tetsuma@fuis.fuis.fukui-u.ac.jp

**Abstract** This paper describes an extension of broadband networks and a creation of e-learning contents. In the former, broadband network expandability in optical wireless system is discussed, and the influence to transmission bandwidth by heavy snow fall is revealed. In the latter, e-learning contents made of university lectures were edited for various bandwidth broadband networks. It is also shown that the editing time to make e-learning contents could be shortened by coincidence of time-stamp-codes in each video image.

The outcome has contributed to the construction and the running of Fukui Information Super Highway(FISH) that has a bandwidth of 2.4Gbps.

**Keyword** Giga-bit network, Local network, e-learning contents, bandwidth, FISH

### 1. はじめに

近年、技術の進展が目覚ましいIT活用のe-learning[1]に注目が集まっている。例えば、DVDやCD等の記録媒体やネットワークを介して授業内容を提供する新しい教育の形態、動画像や音声を含む多彩な教育コンテンツの制作 [2]、ブロードバンドネットワークを活用した遠隔授業の実施[3]などにその例を見ることが出来る。これらの研究開発とその実用化を後押しするように日本政府はe-Japan戦略IIにおいて、ネットワークを活用した遠隔授業環境の拡充を打ち出している[4]。

遠隔授業環境の構築には、ブロードバンドネットワ

ークのインフラストラクチャ整備が必要である。光ファイバに代表されるブロードバンドネットワークの整備状況には、都市部と地方とでは格差が生じている[5]。そのため、地方においては、ブロードバンドネットワークは無線 LAN を含む複合的な構成にならざるを得ない。

一方、授業を録画・編集し、教育コンテンツとしてネットワーク配信するシステムの運用は、予習・復習や知識の幅を広げる教材を学生に提供するばかりでなく、講師に対しても自分の授業を別の視点で見直す手段を与えることとなって授業の質の向上に役立つこと

が期待されている[6]. しかし、教育コンテンツの制作には効率的な手段が少なく、豊富な教育コンテンツを活用している教育機関の事例は数少ない。

本論文では、用途や地域特性に合わせたブロードバンドネットワークの構成を提案し、そのネットワーク特有の問題点を示し、評価した。さらには、構築されたブロードバンドネットワークを生かしつつ、簡便な教育コンテンツ制作技術を提案し、その有効性を示した。これらの提案や手法は、福井県が整備を進めるネットワークインフラストラクチャの建設・運用に貢献した[7].

## 2. 地方における IT 活用教育の課題

報告者が居住する福井県にあっては、関東・関西・中京などの都市部と比較してインフラストラクチャとしてのブロードバンドネットワークの整備が遅れている[5]. このため、品質が同じブロードバンドネットワークに限ることなく、様々なブロードバンドネットワークをシームレスに接続して運用する技術が求められている。これに加えて、地方の教育機関では IT を活用した教育コンテンツの制作量そのものも、都市部の教育機関が保有するものに比べて少ないという問題がある。これらの現状を以下に述べる。

### 2.1. 地方におけるブロードバンドネットワークインフラストラクチャの課題

家庭からのインターネットアクセスに利用可能な帯域は、年々ブロードバンド化が進んでいるといわれている。2003年7月時点で、家庭からパソコンをインターネットに接続する手段に1Mbps以上のブロードバンドで接続している割合は、全国平均で53.8%に達し、前年と比較して26.1ポイント上昇した[8]. 政府はe-Japan重要戦略-2003の政策において、重点的施策5分野の1つに「世界最高水準の高度情報通信ネットワークの形成」を掲げている[4]. その一方で、総務省の最新の通信白書によれば、ブロードバンドネットワークの代表である光ファイバの敷設状況は、都市部を中心に整備が進んでいるが、地方では整備が遅れているという現状が読み取れる[5]. この背景には、地方自治体は率先してブロードバンドネットワークの敷設・整備を行う財政的な余裕に乏しいからだと考える。このようなネットワークの不足を補うものの一つとしてSINETの存在がある。しかし、これとても十分ではない。例えば、16km離れた福井大学と福井工業高等専門学校とをSINETで結び遠隔授業をする場合を考える。福井大学はSINETのノード校なので京都に接続されており、福井工業高等専門学校は金沢のノード校に接続されている。このため、福井大学から福井工業高

等専門学校までネットワーク経路は福井大学-京都-大阪-名古屋-金沢-福井工業高等専門学校となり、大きく迂回している。福井大学と福井工業高等専門学校との実効帯域幅は、およそ1.5Mbpsしかなく高品質な遠隔授業をするには帯域が不足している。

### 2.2. 教育コンテンツ制作の課題

近年、研究が盛んなIT活用の教育コンテンツであるが、組織的に使用している教育機関の事例は少ない。この理由は、授業を録画する複数のカメラ映像を適宜切り替えて教育コンテンツに編集することが一般の教員にとって困難であるからだと考える。例えば、典型的な授業録画とその後の編集によるコンテンツ化作業について考えてみる。大学の授業をカメラ2台で録画して教育コンテンツを制作する場合、1台のカメラは黒板や講師を主に録画し、もう1台のカメラは教材や実験機材、プレゼンテーション資料などを録画する。授業の録画に際しては、設置場所の移動中や設置作業中はカメラの録画を停止するので、カメラ1が示す時間 $t$ とカメラ2が示す時間 $t$ は一致しない。

図1は制作する教育コンテンツのカメラ映像の模式図を示す。教育コンテンツ制作時に必要な複数カメラ映像の切り替えは、制作者が双方のカメラ映像を視覚的に何度も検索して同じシーンと思われる部分(図1におけるカメラ2での時間 $t$ )でカメラ映像を切り替えていた。制作作業でカメラ映像の切り替えを行なう頻度が増えるほど、編集対象のカメラ台数が増えるほど、制作者の負担が大きくなって、十分な量の教育コンテンツの制作が困難になっていたと考える。

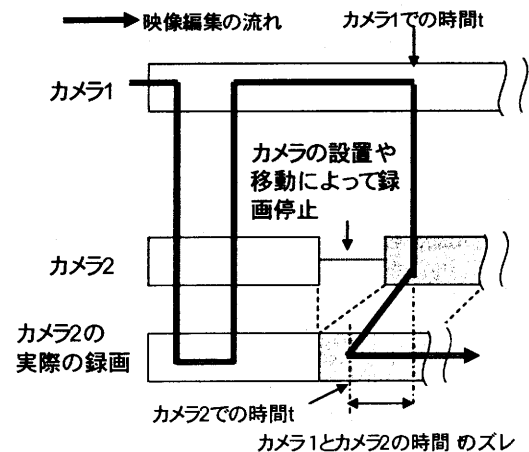


図1 2台のカメラを用いた一般的な録画映像のタイムスタンプの違い

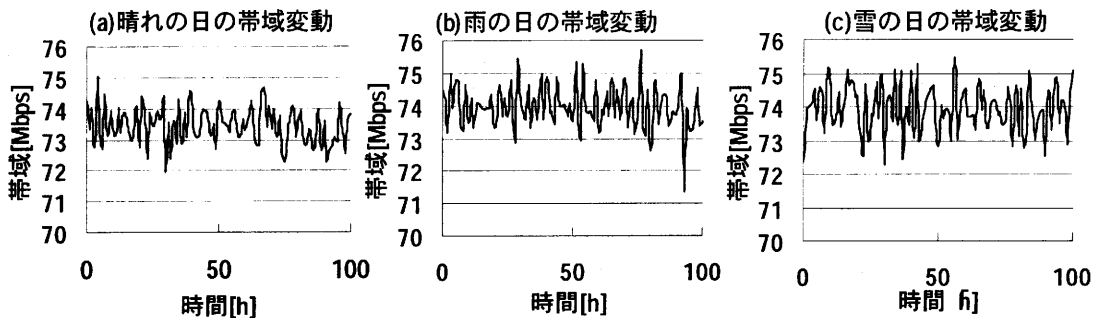


図 2 通常の気象における帯域の変動

### 3. 複合的なネットワークの構成と運用

平成 12 年 9 月に、筆者らが在籍している福井大学に通信・放送機構が管理する Japan Gigabit Network(JGN)のアクセスポイントが設置された。このアクセスポイントを使用することで155Mbps帯域のブロードバンドネットワークが利用できる、アクセスポイントが設置されている日本全国の大学・研究所と高品質のテレビ会議システムを用いた協調学習や集合学習が可能となった。福井大学は、このJGNのネットワークを利用して、沖縄からの高品質映像の受信や北陸3大学との合同ゼミなど多彩な活用を展開してきた[9]。これらの活動を地域に公開することで、ブロードバンドネットワークへの関心が高まり県内の他大学との接続が実現した。さらに、もう一段のネットワークの延伸を必要とした時、光を用いた無線システムに着目した。光を用いた無線システムは敷設・撤去が容易である、指向性のある光を用いているので盗聴されにくい等の効用を挙げることができる。採用候補の光無線システムは波長 850nm を用いているので気象状況による帯域の変動が懸念された[10]。特に筆者らが居住する福井市は、多雪地域と呼ばれており、光無線システムが冬季の気象によって受ける帯域の変動を評価することは重要であると考えた。

光を用いた無線システムは、通信先が直線的に見通せるならば数 km の距離を 100Mbps 以上の帯域で接続できるシステムが実際に市販されている[11]。福井大学から距離 1.5km 離れたところに位置する福井大学付属中学校との間を光無線システムで結ぶ複合的なブロードバンドネットワークを構築した。複合的なネットワークにおいて筆者らは、冬季における福井市の気象状況を福井大学より 2km 離れた福井地方気象台より得つつ、光無線システムの帯域が気象によって受ける影響を評価した。結果の一例を図 2 に示す。図から明らかなように福井市の通常の気象状況では、雨や雪によつて光無線システムを含む複合ネットワークの伝送帯域

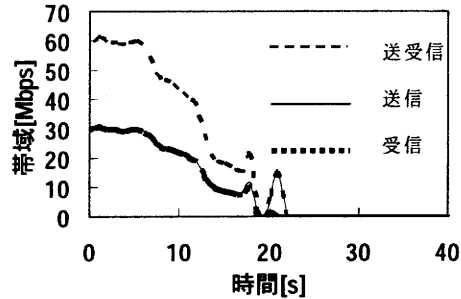


図 3 通信途絶時の帯域の様子



図 4 通信途絶時の様子

が制限されることは無かった。

しかし、帯域変動評価中に大雪があり、通信先の付属中学校が視認できない状況に遭遇した。システムが機能を喪失する瞬間の帯域変化を図 3 に示し、その時の付属中学校方向の様子をデジタルスチルカメラで記録した(図 4 参照)。この時、福井地方気象台の発表では、16年に1度の大雪であった。光無線システムを設置した福井大学建物屋上の積雪量から推定した降雪強度は、およそ 70mm/h の値であり、福井大学付属中学校では学校閉鎖が生じた。

光通信や光無線などの研究では、大気中を伝わる光

の減衰に関する森田らの式

$$\sigma_{atm} = \frac{13}{V} \text{ [dB/km]} \quad (1)$$

但し、 $V$ は視程 (km)

が多く引用される[12]。森田らは視程について『ある方向の視程とは、昼間の場合、その方向の空を背景とした黒ずんだ目標（厳密には完全黒色）を認めることができる最大距離を言う（地上気象観測法によれば、視程目標として、通常鉛直方向の視角 $0.5^\circ$ 以上で、水平方向の視角が $0.5^\circ$ 以上 $5^\circ$ 以下のものを選ぶことが規定されている）』と定義した。また、森田らは「雪の場合はその形状が球形ではない為いろいろと複雑な問題を含む。雪とミリメートル波、マイクロ波の電磁波の減衰とを関係付ける詳細な研究を待つ必要があるだろう」とし、式（1）を降雪時に適用する際の課題について言及していた。

本評価は市街地で行なったため、厳密に上記の視程の定義を適用することは難しい。しかし、降雪により背景は白く、建造物は黒っぽく見えることから近い形式で視程の判断は可能と考えた。距離1500m先における視角 $0.5^\circ$ の目標物の大きさは、13mとなる。同様に距離200m先では目標物の大きさは1.8mとなる。本評価では、降雪によって背景が白い状態で距離1500m先の高さ13mの建造物を観測者が視認できる状態を視程1500mとし、同様に200m先の建物にある高さ1.8mの窓を観測者が視認できる状態を視程200mとした。図4より通信途絶時は、およそ200m先の建造物の窓がcaろうじて視認できたため本評価における視程は200mと判断された。

本実験に用いた光無線システムは4組の発光素子及び受光素子を持つ。このシステムの4つの発光素子の合計パワーを $P_0$ とし発光素子のビーム指向角( $0.003[\text{rad}]$ )を考慮した照射面積 $S_1$ (4つの発光部の物理的面積はおよそ $800[\text{mm}^2]$ )および4つの受光素子面積 $S_2$ (およそ $20000[\text{mm}^2]$ )を用いて受光素子が受ける光パワー $P_1$ は

$$P_1 = \frac{S_2}{S_1} \cdot P_0 \cdot 10^{-\frac{\sigma_{snow}}{10}} \text{ [mW]} \quad (2)$$

となる。ここで、 $\sigma_{snow}$ は降雪時の本システムの空間減衰量 (dB/km) である。光無線システムの発光強度は $20[\text{mW}]$ であり、最小受光感度は $41.0[\text{dBm}]$ である。通信距離1500mを保証する $S_1$ および $S_2$ を用いて $\sigma_{snow}$ を決めると $17\text{dB/km}$ と見積もられる。一方、森田らの式（1）に視程200mを代入して $\sigma_{atm}$ を求めると $65\text{dB/km}$ が得られ、両者の間に無視できない差異が認められた。

光無線システムが冬季の気象によって受ける帯域の変動に関して、次の知見を得た。福井市における16年に1度の大雪では通信の途絶が生じたが、冬季3ヶ月間における福井市の気象では伝送特性への明確な影響を見出すことができず、通常の気象状態での使用には支障が少ないと判断される。また、光通信や光無線などでよく引用される森田らの式が16年に1度の大雪の際には適用できない事態に遭遇した。本評価の“視程”が厳密でないことを考慮して2倍程度のゆらぎがあるとしても、大雪時の光無線システムの伝送可能な距離は式（1）から得られる結果と異なった。今後、多雪地域への光無線システムの導入に際しては伝送可能な距離についての検証を行ない、効率的なシステムの配置が必要であると考えられる。

#### 4. 効率的な教育コンテンツ制作技術の提案

ブロードバンドネットワークが拡充されつつある今こそ、社会の様々な要請に応じたコンテンツの創作が必要となる。筆者らは、以前からブロードバンドネットワークの帯域を満たすコンテンツとして大学の授業を対象とした研究を進めてきた[8]。しかし、多くの教育機関において、十分な量の教育コンテンツが制作されているとは言い難い現状がある。この理由は前述のように、担当者が効率的に複数カメラ映像から一つのコンテンツとすることに負担を感じるためと思われる。この負担を軽減する方法として、複数台カメラのデジタルビデオテープの記録時間（タイムスタンプ）を一致させる手法を提案する。

2台のカメラ（カメラ1とカメラ2）を用いて90分の授業を録画した2本の映像デジタルテープから一つの遠隔授業教材を作成する編集作業を想定して、提案手法の効果を検証した。授業は、2台のカメラを同時に動作させて双方のカメラ映像のタイムスタンプを一致させて録画する。本手法の最大の特徴はカメラの移動中や設置中も録画を継続することにある。この結果、カメラには天井や床のショット、あるいはピントのずれた映像などの不要シーンが録画されるが、カメラ1とカメラ2のタイムスタンプは一致する。編集作業において、時間 $t$ が経過した時点でカメラ1の映像からカメラ2の映像に切り替える場合、タイムスタンプが一致していればカメラ1の時間 $t_1$ とカメラ2の時間 $t_2$ は同一であるから単純に映像または音声を切り替えるだけでよい（図5参照）。この方法を用いればカメラ台数が増えても切り替えの手順は同じであるから同様の対応が可能である。

本手法によって実際に制作時間の短縮が得られるか否かを福井大学工学部 情報・メディア工学科の4年生学生8名（映像編集未経験者）を被験者として評価

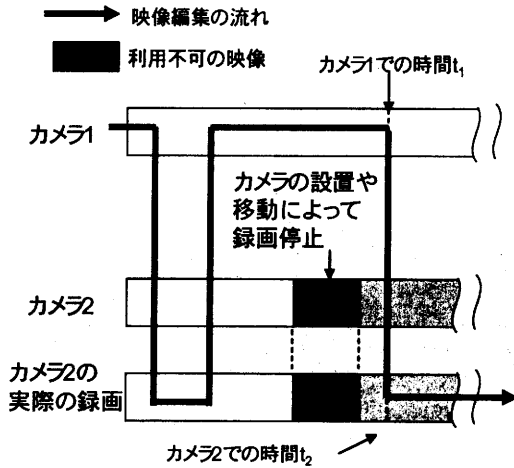


図 5 提案方式による 2 台のカメラを用いた録画映像のタイムスタンプ一致

した。8 名を 2 つのチームに分け、一方のチームはタイムスタンプが一致した録画映像から教育コンテンツを制作し、もう一方はタイムスタンプが一致していない録画映像から教育コンテンツを制作し、教育コンテンツ完成までの時間を評価した。教育コンテンツ完成の判断は授業内容を熟知した者が下した。また、彼らの編集作業に対する慣れの効果を評価するために、最初の制作が終了した後、期間をあけて 2 つのチームが編集する録画映像を入れ替えて同様の評価を行った。この結果、編集作業に対する慣れを考慮に入れてもタイムスタンプが一致した録画映像を編集する時間は、タイムスタンプが一致していない録画映像を編集する時間と比較して最大で 60%、平均では 10% 短縮された。これよりタイムスタンプを一致させるという簡単な方法によって制作時間の効率化が可能であることを示した。

筆者らは、授業録画の際、カメラ映像のタイムスタンプを一致させ、福井大学工学部情報・メディア工学科の教授、助教授、講師、助手、20 名の授業および実験を 2 台のカメラで録画しておよそ 800Gbyte の映像データから 46Gbyte への教育コンテンツを効率的に制作した。これらの取り組みは、メディアで報道され、学科を超えて学部全体で教育コンテンツを制作する動きにつながった。現在は、学生が授業の最初の 10 分程度を録画・編集してネットワーク上のシラバスのページに公開する試みが行われている。これによって、新入生が視覚的に授業雰囲気を理解できる IT シラバスが実現する。このためのシラバス閲覧環境の改善も推進中である。

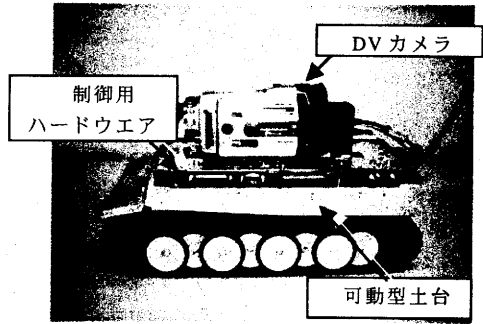


図 6 可動型高精細動画像通信システムの構成

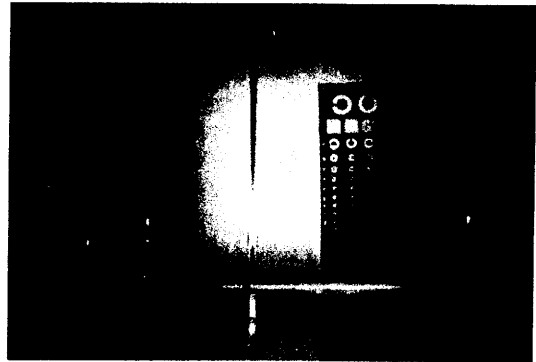


図 7 可動型高精細動画像通信システムからの赤外線映像

## 5. 無線システムと動画像通信システムの応用

ブロードバンドネットワークの拡張の一形態として、無線 LAN 技術と動画像通信技術を応用した可動型高精細動画像通信システムを試作した[13]。災害現場、原子力発電所の内部など、人間の入室が制限される場所においては、素早く、かつ確実な状況の確認が望まれる。このシステムは人間の立入りが制限されている極限状態環境下で動作することを想定している。その手始めとして、可動型高精細動画像通信システムを構想し、実現した。システム全体像を図 6 に示す。システムは制御用ハードウェア、リアルタイム MPEG-2 ビデオエンコーダ、デジタルビデオカメラ (DV カメラ)、無線 LAN システム、などから構成されるが、耐放射線構造の採用は今回の試作に含めていない。本システムは無線で制御可能であり、DV カメラ映像は無線 LAN システムにて離れた場所にある受信 PC でモニタ可能な構成とした。さらに、システムに搭載している DV カメラは赤外線装置が装着可能であり、照明などが無い暗闇でも映像をモニタ可能である。図 7 に赤外線装置を用いた可動型高精細動画像通信システムからの映

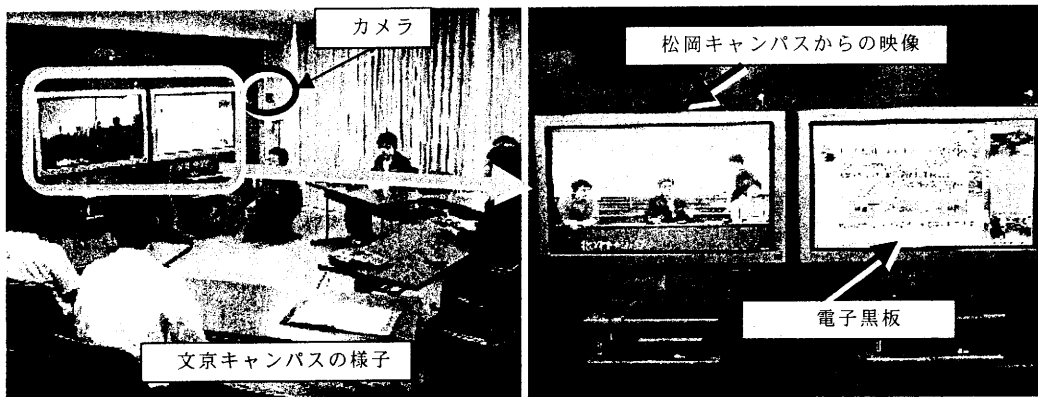


図8 文京キャンパスと松岡キャンパス間高品質テレビ会議システム

像を示す。

この種のシステムにおいては、高エネルギービーム耐性や耐熱性が必要である。今後これらの耐性の向上や内部構造の改良を予定している。

## 6. まとめと今後の展望

本論文は、ブロードバンドネットワークの無線システムによる拡張とこのブロードバンドネットワークを満たす教育コンテンツの制作技術について述べた。前者では、福井大学と付属中学校の間に光無線システムを導入して複合的なブロードバンドネットワークを構築した事例を報告した。懸念された福井市の気象による影響は、16年に1度の大雪を除けば気象による通信路への影響が小さいという結果を得た。後者では、タイムスタンプを一致させることで一般的な教育機関の設備とリソースにて簡便に教育コンテンツの制作が可能であることを示し、その実用性を検証した。福井大学ではこの技術を用いて学生の手によるシラプスの改善が行われている。

JGNで培った先駆的な技術を用いた取り組みを様々な形で公開・提案することで、ギガビットネットワークの整備・建設の気運が盛り上がり、福井県内のブロードバンドネットワーク整備計画が打ち出された。平成15年4月には2.4Gbpsの帯域を持つ“福井情報スーパーハイウェイ”(FISH: Fukui Information Super Highway)の運用が開始された [7]。現在、FISHを介した福井県内の大学間ブロードバンドネットワーク委員会が活動を始めており、2004年4月以降は大学間の遠隔授業の試みが予定されている。福井大学文京キャンパス(旧福井大学)と福井大学松岡キャンパス(旧福井医科大学)は距離にして10km離れており、FISHを介して高品質テレビ会議システムの運用が可能である。図8は福井大学文京キャンパスに設置された高品質テレビ会議システムを示す。このシステムを用いて

会議や授業が行われ、冬季における教職員や学生の移動に伴う負担が軽減できると考える。

## 文 献

- [1] ALIC 編著: eラーニング白書 2003/2004年版, オーム社 (2003)
- [2] 先山卓明, 大野直樹, 椋木雅之, 池田克夫: “遠隔講義における講義状況に応じた送信映像選択”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J84-D-II, No. 2, pp. 248-257 (2001)
- [3] 山崎敏範, 赤熊俊二: “テレビ会議システムを利用する中学校理科落雷実験”, 教育システム情報学会誌 Vol. 15, No. 4, pp. 323-237 (1999)
- [4] 首相官邸 IT戦略本部: <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/index.html>
- [5] 総務省ホームページ: <http://www.soumu.go.jp>
- [6] 京都大学公開実験授業: <http://www.kyoto-u.ac.jp/highedu/data/kokaijugyo/koukai.htm>
- [7] 福井情報スーパーハイウェイ: <http://info.pref.fukui.jp/jouhou/fish/>
- [8] (株) ビデオリサーチネットコム: <http://www.vrnetcom.co.jp>
- [9] 覗いてみよう! 情報・メディア工学科の授業風景: <http://wafer.fuis.fukui-u.ac.jp/contents/class/>
- [10] 及川 茂: “光空間通信-大都市の新しい通信インフラを目指して-”, 電子情報通信学会誌, Vol. 83, No. 12, pp. 903-905, Dec. 2000
- [11] 昭和電線電纜株式会社ホームページ: <http://www.swcc.co.jp/>
- [12] 森田和夫, 吉田不二夫: “大気中伝ぱんにおける光波の減衰特性” 研究実用化報告, 第18巻, 第5号, pp. 1165-1185, 1969
- [13] 中日新聞: “原発内を無人撮影” 平成15年1月24日福井版