

# サテライト研修用テレビ会議システムの構築

曾根直人\*, 竹口幸志\*\*

鳴門教育大学は、徳島県教育委員会・市町村教育委員会と協力し、徳島県内の拠点地域にサテライト研修室「つながルーム」を設け、各種研修や相談業務に活用している。大学と各拠点地域はテレビ会議システム(H.323)により結ばれており、ビデオ中継やパソコン画面の共有機能を利用しながら研修を行なっている。各拠点のサテライト研修室はそれぞれネットワークの環境が異なるため、導入当初はサテライト研修を実施することが難しい状況であったが、ゲートキーパーの追加やネットワーク機器の設定により安定して稼動するようになった。本稿では、サテライト研修向けに構築したテレビ会議システムの詳細について述べる。

[キーワード: サテライト研修, テレビ会議, ゲートキーパー, H.323]

## 1. はじめに

鳴門教育大学は、徳島県教育委員会・市町村教育委員会との協力により、徳島県美馬市内及び阿南市内にそれぞれ1箇所のサテライト研修室を2015年5月に設置し、「つながルーム美馬」、「つながルーム阿南」という名称がつけられた。図1に示すように鳴門教育大学と各サテライト研修室間はインターネット経由のテレビ会議で結ばれており、ビデオ通話やパソコン画面の共有によって研修が実施されている。

テレビ会議の方式としては既に鳴門教育大学でも他のプロジェクトで導入実績のあるH.323プロトコルを用いることとした[1]。H.323は古くからある標準的なテレビ会議プロトコルであり、採用機種も多く、基本的には複数のメーカーが混在する場合における相互運用性も確保

されている。しかし、実際に異なるメーカー間での通信やファイアウォール、NAPTを経由するネットワーク環境ではさまざまな箇所にトラブルが発生する要因がある。サテライト研修室は遠隔地にあるため、トラブルが発生した場合は現地担当者による対応で問題を解決する必要があるが、担当者による複雑な対応は困難である。そのためシステム構築にあたっては事前検証を行い、安定した接続ができるようネットワーク機器を調整した。本稿では、サテライト研修室を実現するために構築したシステムの詳細について述べると共に実際に発生した問題点やその対応策について報告する。

## 2. サテライト研修用テレビ会議システム

徳島県内の2拠点に設置したサテライト研修室に授業を配信するため構築したシステムの詳細について述べる。

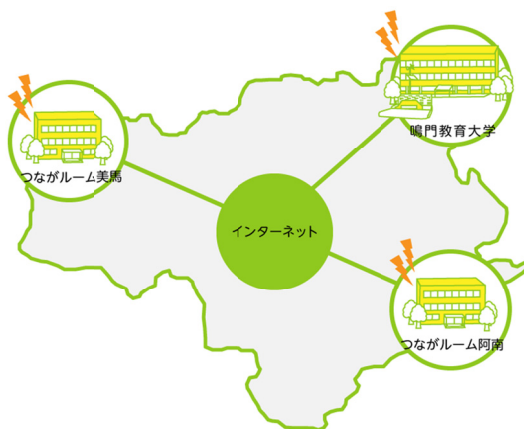


図1 サテライト研修室概念図

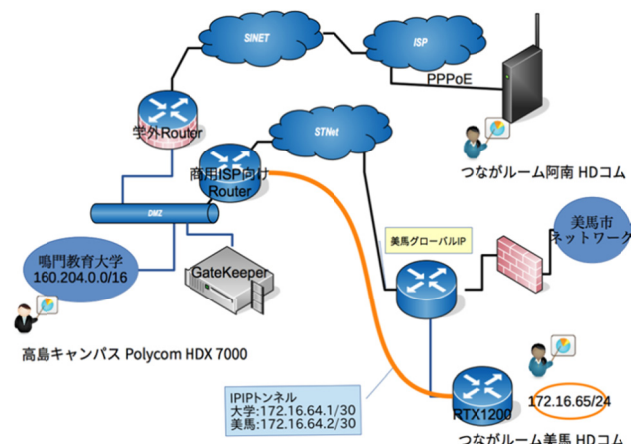


図2 サテライト研修用テレビ会議システム構成図

\* 鳴門教育大学 大学院 自然・生活教育部

\*\* 鳴門教育大学 大学院 学校教育研究科

本システムは各研修室に設置した機材およびそれらを結ぶH.323 ゲートキーパーから構成される(図2)。

それぞれのサテライト研修室にはパナソニック社製のテレビ会議端末 HD コム(KX-VC1600J)が導入されている。HD コムは出力を2系統持っており、プロジェクターと電子黒板に接続している。研修中は、講師の様子を電子黒板に、講師の資料(パソコン画面)をプロジェクターにそれぞれ提示している(図3)。音声出力は研修室として利用している部屋に既設のAV機器を利用している。

## 2.1 美馬市サテライト研修室

美馬市サテライト研修室は美馬市役所庁舎内に設けられており、美馬市の保有するグローバルIPアドレスを1つサテライト研修室用に割り当て運用を行なっている。本研修室を利用している様子を図4に示す。美馬市は電力系通信事業者STNetの回線を利用しており、鳴門教育大学の商用ISP回線と同じ事業者であった。そのため、STNetを介して相互に通信することができれば事業者内部網で閉じた通信となり経路が最適になる。しかし大学が持つグローバルIPアドレスを利用して通信を行う場合、通常のルーティングではSINETを経由してしまう。そこで今回は美馬市サテライト研修室に設置したルータと鳴門教育大学の商用ISP用ルータとの間でIPトンネルを構築し、サテライト研修室と鳴門教育大学間の通信はIPトンネルを経由するルーティングを設定することでSINETを経由せずに最適な経路で通信できるようにした。IPトンネルによる経路の最適化によりパケットの応答時間(RTT)が短くなることが期待できる。実際に学内の端末からサテライト研修室に設置したルータに向けてpingを10回試行した場合の結果を表1に示す。

表1からIPトンネルを経由することで期待通りにRTTが短くなっていることがわかる。しかしテレビ会議の運用を開始すると良好なネットワーク環境であるはずが激しいパケットロスが発生し、画像のブロックノイズが酷く実用に耐えない状況が発生した。当初、原因がわからずMTUサイズの変更など様々なパラメータを調整したが解決しなかった。大学側と美馬側に設置した各ルータでIPトンネルへ入力されるパケット数と出力されるパケットの数を比較したところ、大学側のIPトンネルから送出したパケット数と美馬側のIPトンネルで受信したパケッ

表1 ルーティングによるRTTの違い

	グローバルIP	トンネル経由
最小 (ms)	11.707	5.558
平均 (ms)	12.103	5.990
最大 (ms)	14.528	6.382
標準偏差	0.831	0.245

ト数に違いがあり、IPトンネルを構成する通信路のどこかでパケットロスが発生していることが分かった。通信事業者にも協力してもらい網内部でのパケットロスを確認してもらったところ網ではロスは観測されなかった。美馬側の機材を確認すると、ISPからの回線は直接、サテライト研修室に設置したルータに接続されておらず途中にL3スイッチが挿入されていた。そこでL3スイッチの機材を変更してもらいテストしたところパケットロスが発生しなくなった。この結果からパケットロスの原因はL3スイッチにあると考え、美馬市に機材を更新してもらうことで解決した。

## 2.2 阿南市サテライト研修室

阿南市サテライト研修室は阿南市富岡公民館内に設けられており、公民館の契約するインターネット接続回線を利用して接続されている。本研修室を利用している様子を図5に示す。この回線はPPPoEによってISPに接続される一般的なものであり、グローバルIPは非固定、公民館のLANに接続された機器はNAPTによってインター

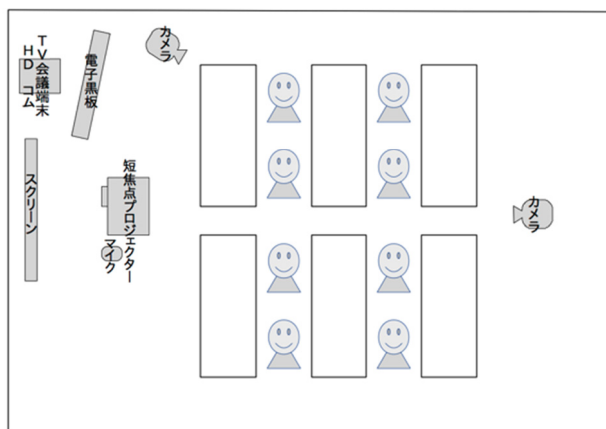


図3 サテライト研修室の機材図



図4 美馬市サテライト研修室の様子

ネットに接続される環境である。一般的な NAPT では内部から外部(インターネット)への通信は可能であるが、外部から内部への通信は不可能となるため、そのままではインターネットを経由して鳴門教育大学から阿南市サテライト研修室を呼び出すことはできない。

そこで美馬市サテライト研修室と同じく大学と IP トンネルを設定し、テレビ会議のトラフィックを流すことで呼出の問題を解決しようとした。この場合、VPN の NAT トラバーサルの設定が必要になるが、大学側で使用した機材(VyOS)とサテライト研修室用機材(YAMAHA RTX1210)の間では、IKEv2 のモードに互換性がなく IP トンネルによる接続を断念した[2]。他の方法を検討した結果、公民館のルータに存在する「DMZ モード」を利用すれば外部からのパケットを DMZ ホストに転送することが可能であり、テレビ会議端末を DMZ に相当する IP アドレスに設定すれば外部からの着信も問題なく行なえることがわかった[3]。公民館の協力により、公民館のルータを設定変更し DMZ モードにすることで、テレビ会議の発信、着信ができることを確認した。DMZ モードでは外部からのパケットが全て DMZ の端末へ転送されるためセキュリティの確保が課題となるが、設置するのはテレビ会議端末だけであり、普段は電源を落としていることから問題はないと判断した。

### 2.3 H. 323 ゲートキーパー

IP ベースの H. 323 端末では、発呼には相手の IP アドレスやホスト名を用いることが多く、鳴門教育大学でも既に導入済みの H. 323 端末で利用してきた。この方式では、端末のアドレス帳に必要な相手端末の IP アドレスをニックネームと共に登録しておけば簡単に呼び出すことができる。しかし相手が固定 IP アドレスを取得していない場合には、事前に相手から現在割り当てられている IP アドレスを連絡してもらわなければ呼出すことはできない。簡単な運用を実現するためには、このような煩雑な

手順は避けたい。IP アドレスの代りにホスト名を利用するのであれば、非固定 IP アドレスでも DNS への登録情報を動的に更新することで呼出は可能である。しかし、サテライト研修室のネットワーク機器はそれぞれの設置機関により管理されており、DNS の自動更新を設定可能かどうか不明であったため、この案も不採用と判断した。次に鳴門教育大学と各サテライト研修室間でトンネリングを行うことで、端末の IP アドレスを固定することを考えた。しかし、大学側ルータとして採用した VyOS とサテライト側ルータ YAMAHA RTX1210 との間では、VPN を張ることが難しいことが判り、この案も断念した。今回、阿南市サテライト研修室のネットワーク環境が固定 IP アドレスを取得していないため、従来利用してきた IP アドレスによる呼出しは不採用とし、別の呼出方法を検討した。

H. 323 ゲートキーパー(以降 GK と記す)は H. 323 端末の ID を登録し、発呼を制御するためのシステムである。端末は起動すると指定された GK に自身の ID、IP アドレスを自動的に登録する。GK に登録された H. 323 端末は IP アドレスの代りに登録された ID による呼出しが可能になる。この機能を利用すれば、通信相手の IP アドレスを知らなくても ID だけで発呼できる。そこでサテライト研修室用テレビ会議システムに GK を導入することとした。有償提供の GK もあるが、本システムでは Free Software である GnuGK を採用した[4]。

GnuGK は端末の登録以外にもさまざまな機能を備えている。特に Proxy 機能は H. 323 の通信を中継する機能であり、Firewall によって学外と学内の通信が制限されている鳴門教育大学では非常に有用な機能である。通常 Firewall を越えてテレビ会議を行うためには、Firewall に端末の IP アドレスを登録し必要な通信を許可することが必要となる。しかし現状では学内 LAN は DHCP による運用が行なわれており、さらに棟や部屋の管理主体毎に異なる VLAN に割り当てられるため、端末の移動などで異なる IP アドレスが割り当てられる。テレビ会議の端末としては可搬型の機材も導入されており固定 IP アドレスのみを仮定することはできない。一方、IP アドレスが変更される度に Firewall の設定も変更するのは運用が煩雑になるため実用的ではない。端末の IP アドレスが変化しても Firewall を越えるための仕組みが必要となる。そこで GnuGK の Proxy 機能を利用し、この仕組みを提供することにした。GnuGK を学内の DMZ セグメントに設置しておき、インターネット側から GnuGK の IP アドレスに対する H. 323 関連のポートを開けておく。学内 LAN 側からも同様に GnuGK の IP アドレスに対しては H. 323 関連ポートの制限を外しておく。これにより、学外・学内ともに GnuGK に対しては制限なく H. 323 の通信が行なえるようになる。この状態で GnuGK の Proxy 機能を利用すれば、Firewall



図5 阿南市サテライト研修室の様子

のルールを変更することなく学内の任意のIPアドレスからテレビ会議用通信パケットの中継が可能となる。

このように GK を利用することにより、テレビ会議の利便性を向上させつつセキュリティも保つことができる。ただし、GK への登録については注意が必要である。だれでも登録できる状態であれば、不正な通信やなりすましが行なわれる可能性がある。GnuGK は認証機能も備えていたため、学外からの登録は認証された端末からのみ行なえるように設定した。

本システムで利用した GnuGK は Debian 8 のパッケージを利用しており、KVM 上のゲスト OS 上で稼働させた。動作環境の詳細を表 2 に示す。現状ではホスト上で稼働している仮想マシンは 1 台だけである。

表 2 GnuGK 動作環境

Host CPU	Intel Xeon E3-1220L
Host Memory	16GB
Host OS	Debian 8
Hypervisor	KVM
Guest vCPU	2
Guest Memory	2GB
Guest Network Driver	virtio
Guest OS	Debian 8
GnuGK Version	3.6.0

### 3. サテライト研修

#### 3.1 主観的評価

サテライト研修室の利用は 2015 年 5 月 12 日のオープニングセレモニーから開始され、2015 年度中では 7 回実施された。そのうち 4 回は研修後にアンケートを実施しており、研修についての感想を 4 件法で回答を得ている。表 3 に回答結果を示す。

アンケートでの評価は「大変良かった」「概ね良かった」の肯定的な回答が多く、否定的な評価はのべ回答数 96 件のうち「あまりよくない」の 5 件のみであった。自由記述の感想に記入された意見から、充実した研修が提供されていることや移動時間が不要であることが好評価の要因であると考えられ、サテライト研修室に対する期待が伺える。またテレビ会議に関連する感想を以下に記載する。

- ・「サテライトシステム」の良さがわかった。
- ・鳴門教育大学の先生の良い講演を鳴門まで行かずに「つながルーム美馬」で聴けたのは良かった。少し画質が悪かったり、音声のズレがあったりしたが、それはあまり気にならなかった。
- ・画面の切り換え(全面のスクリーン)に大きくうつしだしてもらえると、後方からでも見やすかったと思った。
- ・スクリーン画像が非常に見にくいいため、伝わるものも伝わらない。
- ・文字が見えにくいときもあったので、もっとはっきり見えるように映してほしい。本を紹介するときには、出版社も言っただけだとわかりやすい。

感想で指摘されたいくつかの課題は、多地点接続の画面レイアウトを変更したり、講師や教材を撮影するカメラワークの運用を工夫したりすることによって改善できる可能性は高い。講演者や補助者がテレビ会議に慣れ、

表 3 サテライト研修アンケート結果

実施日 (2015 年)	8 月 4 日	10 月 14 日	10 月 14 日	12 月 9 日
サテライト 研修室	美馬	阿南	美馬	美馬
大変良かった	4	12	9	6
概ね良かった	10	27	12	11
あまりよく なかった	0	3	2	0
よくなかった	0	0	0	0

表 4 サテライト研修時の通信品質レポート

共通	送信	受信
Call Speed	1344K	1344K
Video Protocol	H.264	H.264
Video Format	4SIF	SIF
Audio Rate	48K	48K
Video Rate	648K	648K
鳴門教育大学 ⇄ 美馬市サテライト研修室		
Total Packet Lost	0	36
Video Rate Used	470K	621K
Video Packet Lost	0	23
Video Jitter	13ms	12ms
Audio Packet Lost	0	13
Audio Jitter	2ms	5ms
Maximum Audio Jitter	3ms	6ms
鳴門教育大学 ⇄ 阿南市サテライト研修室		
Total Packet Lost	420	19
Video Rate Used	470K	605K
Video Packet Lost	257	10
Video Jitter	9ms	13ms
Audio Packet Lost	163	9
Audio Jitter	2ms	6ms
Maximum Audio Jitter	3ms	6ms

システムの操作に習熟することにより、より良いサテライト研修を提供することができると考えられる。

### 3.2 客観的評価

サテライト研修の客観的な評価として、研修実施時に鳴門教育大学に設置した polycom HDX にて採取した通信品質レポートの値(一部)を表4に示す[5]。表4から構築したサテライト研修用システムではパケットのジッタに関して Video, Audio 共に 15ms 以下であり十分小さい値になっている。しかしパケットロスに関しては、鳴門教育大学から阿南市サテライトに向けての通信で 420 ほど発生しており、瞬間的にはパケットロス率が 50%程度になることが計測されている。

## 4. まとめ

サテライト研修用テレビ会議システムを市販の H.323 端末とフリーな H.323 GK である GnuGK を組合せることで構築した。当初はネットワークの設定や機材の不具合を原因とするパケットロスなど様々な問題が発生し、正常にテレビ会議が利用できるまでかなり試行錯誤を繰り返すことになった。現状では、概ね安定して運用されており、サテライト研修時の不具合はほとんどなくなった。ただし、まだ以下のような問題が未解決である。

- (1) 鳴門教育大学から阿南市サテライト研修室への通信におけるパケットロスが多い。
- (2) 阿南市サテライト研修室からの通信が途切れる場合がある。

(1)の問題については、美馬市サテライト研修室との間では発生していないため、回線もしくはルータなどネットワーク機器の問題と考えられる。ルータをより高性能な業務用の機器に変更できれば改善する可能性もあるため、公民館の了解が得られれば大学側の機材に変更しテストを実施したい。(2)の問題についてはまだ十分に確認ができていないが、テレビ会議中に外部のサイトから不正なコールで呼び出されている可能性がある。これもルータで阿南市サテライト研修室の H.323 端末へ接続できる IP アドレスを大学の IP アドレスのみに制限できれば不正なコールを防げるため早急の実施したい。また自由記述の感想で指摘された点については、機器の操作に習熟することで改善を図りたい。

GK を導入したことで、Firewall の設定を変更せずに学外と学内で H.323 によるテレビ会議が実現できた。これによりテレビ会議は今後さらなる活用が見込める。従来 H.323 の端末は高価な専用端末もしくはパソコン上のソフトを利用する他なかったが、最近では iOS や Android で動くアプリとして実装されているため、外出先であってもインターネットに接続できる Wi-Fi 環境があれば、テレビ会議に参加できる環境が整った。サテライト研修室により、研修を受講する際の移動時間の軽減が多いに期待されているが、さらに身近な場所からの参加も現実的になっており、ネットワークを活用する大きなメリットが得られる。どこでも研修を受けられるような環境を目指して、今後もシステムの開発や試験を継続していきたい。

## 謝辞

本システムの構築時での試験では鳴門教育大学経営企画本部企画課宮崎好史氏をはじめ関係職員の方々、また HD コムの開発元であるパナソニックシステムネットワーク株式会社の皆様に多大なる協力を得ました。ここに深謝致します。

## 参考文献

- [1] 世羅博昭, 曾根直人, 松田和典, 今倉康宏, 石村雅雄(2004) ネットワークを用いた授業観察システムの開発, 鳴門教育大学情報教育ジャーナル, No.1, pp.37-41.
- [2] 株式会社 IDC フロンティア サービスマニュアル:VyOS での IPsec サイト間 VPN 接続ガイド, [http://www.idcf.jp/pdf/cloud/self/vyos\\_self.pdf](http://www.idcf.jp/pdf/cloud/self/vyos_self.pdf) (参照日:2015年2月23日)
- [3] Aterm 機能詳細ガイド-DMZ ホスト機能, [http://www.aterm.jp/function/wg1800hp/guide/list/main/m01\\_m33.html](http://www.aterm.jp/function/wg1800hp/guide/list/main/m01_m33.html) (参照日:2015年2月23日)
- [4] GNU Gatekeeper - a free VOIP Gatekeeper for H.323, <https://www.gnugk.org/> (参照日:2015年2月23日)
- [5] ポリコムサポート備忘録-通信中の状態を確認する方法-, <http://pvc-rec.seesaa.net/article/400789390.html> (参照日:2015年2月23日)