

6-4 NICT と URCF の連携による心臓外科手術 3D ハイビジョンライブ実証実験

6-4 *Real-Time 3D High-Definition Image Transmission Experiment for Cardiac Surgery by NICT and URCF*

木村和宏 高橋 卓 大川 貢 赤石 明 浅井敏男 秋岡真樹
鈴木龍太郎 中村康則 寺田 茂 河野通之

KIMURA Kazuhiro, TAKAHASHI Takashi, OHKAWA Mitsugu, AKAISHI Akira,
ASAI Toshio, AKIOKA Maki, SUZUKI Ryutarou, NAKAMURA Yasunori, TERADA Shigeru,
and KOUNO Michiyuki

要旨

情報通信研究機構と超臨場感コミュニケーション産学官フォーラムの共同実験として、2010年1月30日に、インターネット通信衛星を用いて、世界初となる心臓外科手術の3Dハイビジョンライブ映像伝送実験を実施した。これは、神奈川県(医)公仁会 大和成和病院と神戸国際展示場で開催された国際会議 CCT2010 Surgical の会場を、超高速インターネット衛星 WINDS(ぎずな)回線で結び、手術の立体映像を会場のハイビジョンモニタに実況中継するものである。熟練した執刀医による手術の映像が高精細の立体映像として学会会場で表示され、観察した医師による評価も高く、実験は成功した。

NICT and Ultra-Realistic Communications Forum (URCF) have conducted joint experiment of real-time 3D High-definition image transmission for cardiac surgery on January 30, 2010. The 3D images of two cardiac surgical operations conducted at the Yamato-Seiwa hospital in Kanagawa prefecture are transmitted to the site of the international medical meeting "CCT2010 Surgical" held at the Kobe International Exhibition Hall, via experimental internet satellite "WINDS". Very clear high-definition 3D images of the operations by skillful surgeons can be observed in real time by many experts at the conference site.

[キーワード]

立体映像, ハイビジョン映像, インターネット伝送, 衛星通信, 心臓外科手術
3D image, High-definition image, IP transmission, Satellite communication,
Cardiac surgery operation

1 まえがき

ここ数年で立体映像技術が急速に発展し、家庭用の3Dテレビも発売される状況になってきた。その流れを受けて、立体映像の伝送技術についても、さまざまな方式が開発されつつある。

今から3年前の2007年当時を振り返ると、ハイビジョン映像の撮影機材の小型化・高画質化・ローコスト化が進み、実写の立体映像も比較的容易に撮影できるようになり始めていた。また、表示装置では、立体視を可能にする立体テレビの

販売が開始され、日本BS放送による立体映像放送も開始された。一方で、立体ハイビジョン映像の伝送技術については、BS放送で用いられるサイドバイサイド方式で圧縮して、ハイビジョンと同じ信号形式で放送する技術は確立していたものの、高画質な立体映像を独立した2チャンネルのHDTV規格のハイビジョン映像のまま伝送する技術は確立されていなかった。

そこで、超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム(URCF)の立体映像伝送作業班では、NICTと連携して、高画質な立体映像をリアルタ

イムで配信でき、かつ、次世代の伝送インフラを用いて家庭へ立体映像を配信する伝送システムの研究開発と、その実用性を検証・実証する通信実験に取り組んできた。

その3年間の研究開発成果の集大成として、2010年1月30日(土)神戸国際展示場で開催された「CCT2010 Surgical」において、インターネット通信衛星(WINDS)を用いた世界初の心臓外科手術3Dハイビジョンライブ映像IP伝送中継実証実験を行った。

心臓外科手術では、「職人技」として認識される勘と経験の蓄積が、患者の命運をその場で左右するといわれている。特に難しいとされる心臓病治療では、高度な技量を有する医師の施術状況をリアルに伝えることによって、遠隔地や途上国で孤軍奮闘する外科医にも最先端の技量の伝承を可能にし、広く医療水準の向上を図ることが可能になると考えられている。

あらかじめ撮影されたビデオ映像ではなく“ライブ”による“技”の伝承と経験の共有が不可欠であり、これまでの2D映像に比べ、3D映像の圧倒的な情報量とその高精細さを、遠く離れた地にリアルに伝える技術が医療現場にも必要とされている。

このことから、実際に手術室の映像を、経験豊富な心臓外科医が多数参加する国際会議の場にライブで伝送し、その有効性を専門家の評価を受けて検証することを目的として、実証実験を実施した。

本稿では、2でURCFの概要を紹介し、3では、その中の立体映像伝送作業班の活動について紹介する。4では心臓外科手術3Dハイビジョンライブ実証実験の概要と構成について、5ではWINDSを用いた伝送ネットワーク、6では3Dハイビジョン伝送技術の詳細について解説する。7では実証実験の状況について報告し、8で医学面からの考察を行う。

2 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラムの概要

超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム(URCF)¹⁾は、超高精細映像や立体映像、高臨場感音場再生、五感通信などの研究開発の加速を目的として、NICT、関連分野の企業、有識者および総務省の協力により、2007年3月に設立された。映像、音響、触覚などの五感情報を伝達する

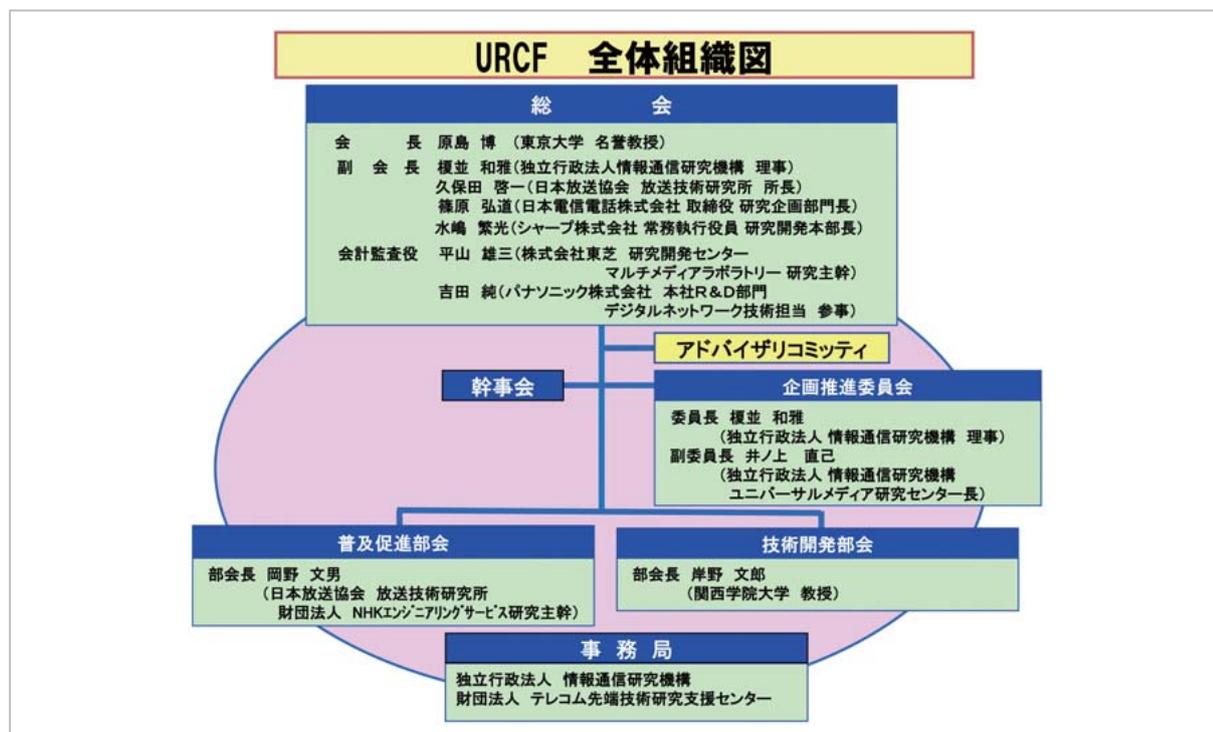


図1 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラムの組織

ことで、遠い場所においてもあたかもその場にいるような感覚を提示する超臨場感コミュニケーション技術に関する研究開発を戦略的に推進するため、URCFでは、実証実験や標準化活動、シンポジウムの開催、展示会への出展等を実施するとともに、研究成果の実社会への積極的な展開を目指している。

URCFの組織図を図1に示す。会長は、原島博、東京大学名誉教授で、全体の運営企画を行う企画推進委員会の委員長はNICTの榎並理事である。2010年8月24日時点の会員数は、正会員(メーカーや放送事業者、各種団体など)が93会員、特別会員(大学教授などの有識者)111会員の合計204会員である。

URCFには2つの部会が設置されている。普及促進部会では、超臨場感コミュニケーションの普及促進にかかわる実証実験、標準化、アプリケーション開発、啓発などを行っている。技術開発部会では、超高精細映像、立体映像、高臨場感音場再生、触覚・嗅覚を含めた五感通信、超臨場感コミュニケーションの心理的・生理的効果に関する研究開発を促進するための活動を行っている。

企画推進委員会および両部会の下には、分科会、ワーキンググループ、作業班が設置され、具体的な活動が実施されている。部会および作業班の構成を図2に示す。

3 URCF 立体映像伝送作業班の活動

URCF 立体映像伝送作業班は、図2(b)に示すように、普及促進部会の実証実験企画分科会に属する。この作業班は2007年6月に立ち上げられ、NICTのJGN2 plusに3Dモニタを接続して3Dライブ伝送実証実験を実施し、一般大衆に広めることを目的として設立された。さらに、高画質3Dネットワークを通じた映像伝送装置の開発と実用化に向けての研究開発をあわせて実施している。メンバーは、本稿著者の4機関を含む10機関で、中核3社である、FAシステムエンジニアリング、NHKメディアテクノロジー、アスナの3社がそれぞれ、伝送装置、カメラ周り、3Dモニタを開発し、NICTが伝送回線部分を分担している。

初年度は3D伝送装置の開発を行い、下記の3

回の実証実験を実施した。

(1) 2007年11月

KDDI大手町ビルに3Dカメラを設置し、JGN2 plusにて愛媛大学の3Dテレビと接続。コンテンツは大手町ビルを撮影。

(2) 2008年2月

品川KEIOビルに3Dカメラを設置し、JGN2 plusにて小金井NICTへ3Dテレビ設置。コンテンツは品川駅電車を撮影。

(3) 2008年6月

URCF 総会にて、大手町サンケイプラザ4F

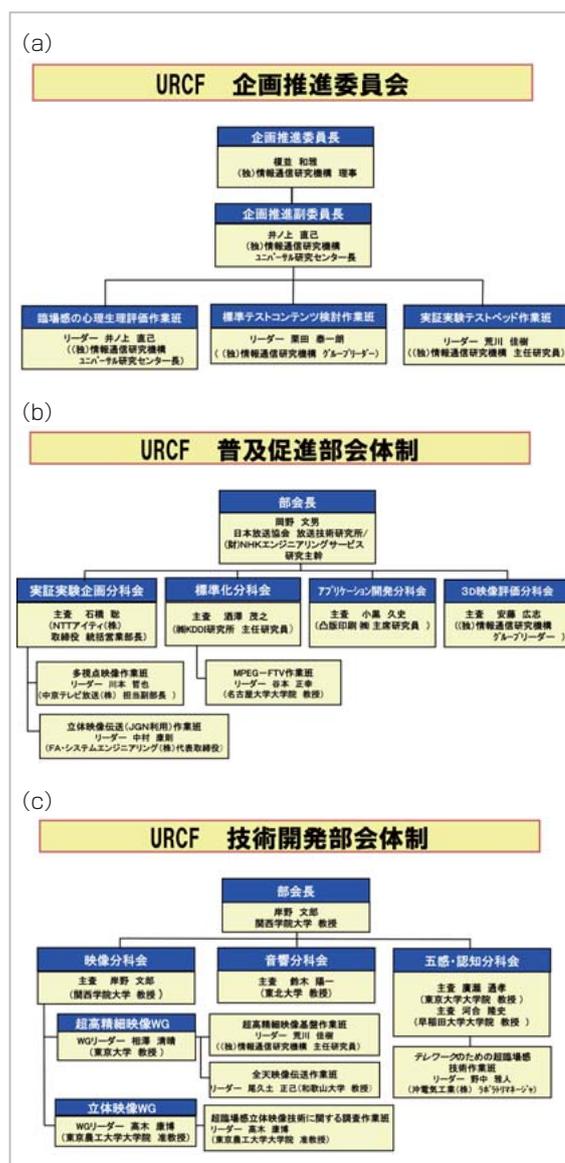


図2 部会・作業班の構成

(a) 企画推進委員会、(b) 普及促進部会
(c) 技術開発部会

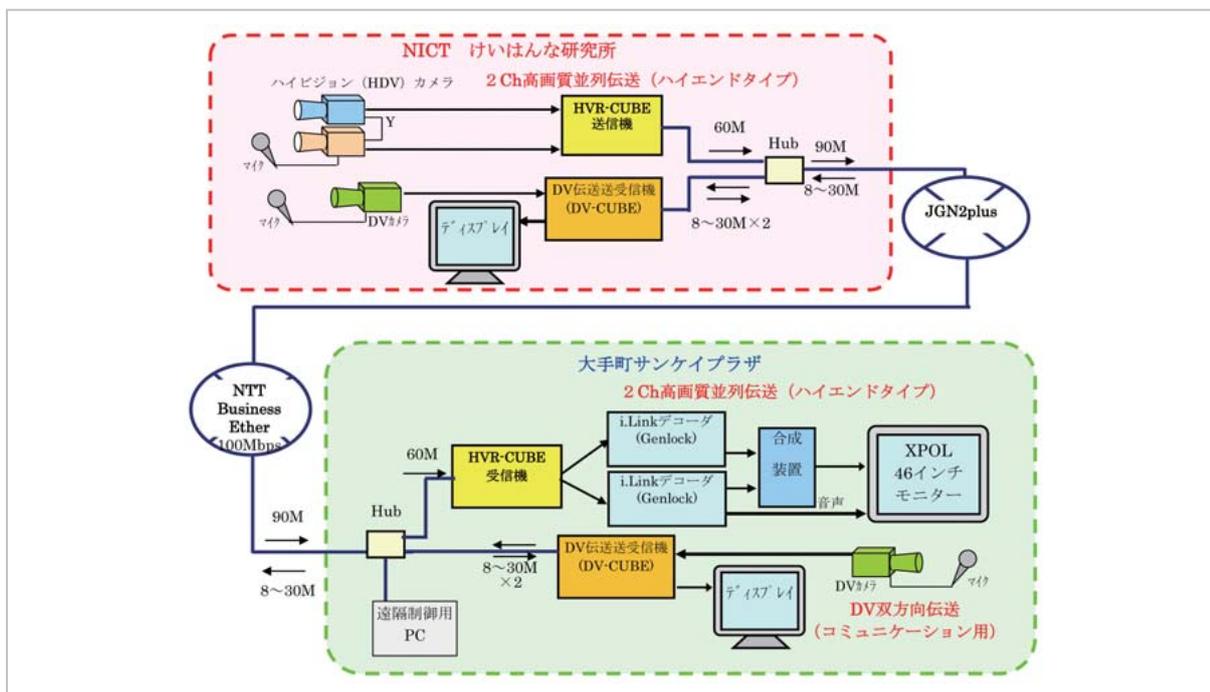


図3 URCF 定期総会デモンストレーションシステム構成図



＜サンケイホール展示＞
立体テレビLive中継

＜NICTけいはんな研究所＞
ロボットを立体カメラでLive撮影

図4 URCF 定期総会デモンストレーションにおける両地点の写真

と NICT けいはんな研究所を JGN2 plus で接続。コンテンツはロボット (NICT が開発したインファノイドおよびキーポン) を撮影。

この実証実験におけるネットワーク構成を図3に、回線接続した2地点の写真を図4に示す。なお、図3に関する技術的な詳細説明は6で行う。

2年目は3Dハイビジョンのネットワークを通じての普及活動と応用を目指して、5回の実証実験を行った。

(4) 2008年7月

NICT 本部一般公開において、けいはんな研究所と本部を JGN2 plus で接続。コンテンツはロボット。

(5) 2008年8月

NHK 防災パーク 2008 の JAXA ブースにおける東京都防災訓練にて、IP 衛星 (WINDS) を想定した3D立体ハイビジョン IP 伝送装置の実証実験を実施。災害撮影用3Dカメラの実証実験。

この実験は、実用を目指した初の応用実験である。ネットワークはローカルで構成したが、実際



図5 東京都総合防災訓練での実験構成図



<リュックサックの中身 立体送信機を格納>

<立体ハイビジョン撮影の様子(1)>

<立体ハイビジョン撮影の様子(2)>

<展示ブース>

図6 東京都総合防災訓練での写真

に災害時の被害状況把握にも有効に使えると確認できた。この実験の構成を図5に、実験実施時の写真を図6に示す。

(6)2008年9月
松山市道後温泉駅に3Dカメラを設置し、CEATEC JAPAN 2008のNICTブースに伝送。

コンテンツは坊ちゃん列車。

(7) 2008年11月

NICT けいはんな研究所に3Dカメラを設置し、JGN2 plus と地域インフラを利用して地域 ICT 未来フェスタ 2008 in とくしま会場に伝送。コンテンツはロボット。

(8) 2009年3月

大阪・北ヤード ナレッジキャピタルトライアル 2009 の VisLab OSAKA ブースに、NICT 本部の宇宙天気予報室の映像を3Dライブ中継。

3年目は、実用化に向けて3Dカメラから3DTVまでの安定化と3D画質の安全性の研究を行い、その集大成として、本稿で報告する心臓外科手術3Dハイビジョンライブ実証実験を実施した。

(9) 2009年10月

松山市道後温泉本館に3Dカメラを設置し、CEATEC JAPAN 2009 の NICT ブースに伝送。コンテンツは道後温泉本館「坂の上の雲」のまち。この実験では、CEATEC 会場においてサイドバイサイド方式に再エンコードし、松山市内の数箇所にマルチキャスト配信する実証実験をあわせて実施した。

(10) 2010年1月

心臓外科手術3Dハイビジョンライブ実証実験。詳細は4で述べる。

4 心臓外科手術 3D ハイビジョンライブ実証実験概要と構成

心臓外科手術3Dハイビジョンライブ実証実験は、2010年1月28日～30日に神戸国際展示場およびポートピアホテルで開催された、心臓病治療専門医の国際会議 CCT2010 (Complex Cardiovascular Therapeutics 2010) Surgical の特別セッションに合わせて実施されたものである。1月30日に開催されたこのセッションでは、午前と午後2種類の心臓外科手術の映像が2Dおよび3Dの映像で伝送され、コメンテータの先生方が映像を見ながら手術の状況について解説および議論するというものである。CCT2010の会場となった神戸国際展示場の写真と、セッション会場内の写真を、それぞれ図7、図8に示す。会場中央の大画面は2D画像、その横はプレゼンテーション

用のスクリーンであり、3D映像は会場内の随所に設置された9台の46インチモニタに映されている。

手術は、神奈川県にある医療法人公仁会 大和成和病院^[2]で行われた。同病院で2008年度の1年間に行われた冠状動脈バイパス手術の件数は278件で全国最多(心臓大血管手術総数は624件、心臓弁手術件数では全国第2位)の件数を誇る心臓手術の専門病院である。当日は患者様のご協力のもと、午前中は奥山浩医師による心臓バイパス手術(off-pump CABG)、午後からは倉田篤医師による僧帽弁形成術(mitral valve plasty)が行われた。どちらの手術も一般的に全国の医療機関で行われている心臓手術である。

これまでの伝送実験では、JGN2 plus などの地上回線を用いてきたが、ラストワンマイルの高速ネットワーク環境が今なお貧弱であり、今回の2地点ともに高速ネットワークの回線接続に多大な

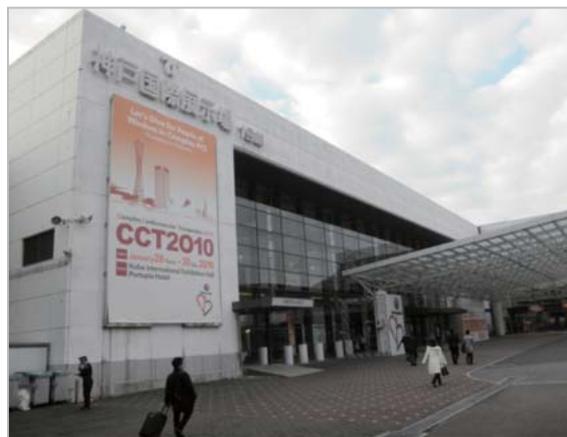


図7 CCT2010 会場



図8 会場内の様子

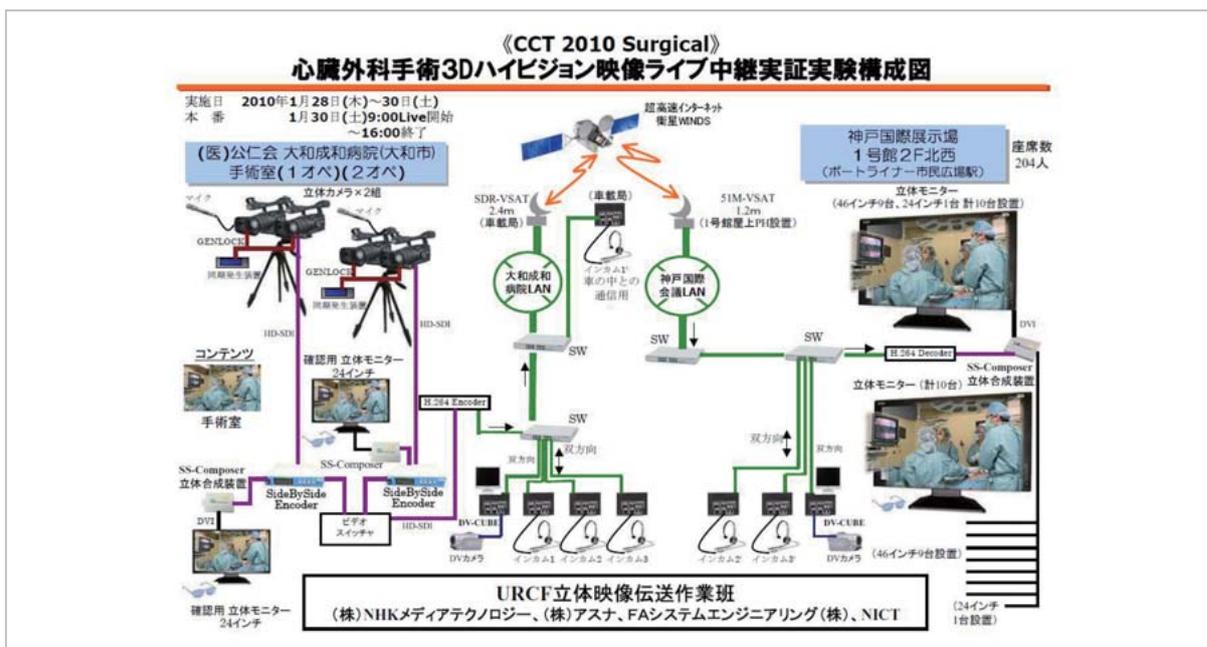


図9 心臓外科手術 3D ハイビジョンライブ実証実験の構成図

労力とコストがかかることが明らかになった。そこで新たな試みとして、可搬局や車載局を設置するだけで回線を開通させることができるWINDSを使って、世界初となる衛星通信による手術映像の3Dハイビジョンライブ伝送を行うこととした。

心臓外科手術3Dハイビジョンライブ実証実験の構成を図9に示す。手術は2つの手術室で別々に行われるため、それぞれに立体カメラを設置した。手術室に立体カメラを設置した様子を図10に示す。それぞれの立体カメラは、高精度に同期のとれた左目／右目用のハイビジョンカメラで構成され、左右の映像をリアルタイムに3D合成する装置「Side By Side Encoder」で合成後、ビデオスイッチャで2つの手術室の映像の片方が選択され、H.264エンコーダで符号化される。IP化されたデータはWINDSを経由して神戸の会場に送られ、H.264デコード後に「3D SS-Composer」でモニタの入力インタフェース規格に合わせて変換され、9台の46インチモニタと1台の24インチモニタに出力される。インカムとDVカメラは両会場間の連絡および状況確認用である。

WINDSを用いた伝送ネットワークに関する詳細は5で、3Dハイビジョン伝送技術の詳細は6で説明する。



図10 手術室にカメラを設置した様子

5 WINDSを用いた伝送ネットワーク

超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)は政府IT戦略本部の「e-Japan重点計画」における高度情報通信ネットワークの形成にかかわる研究開発の一環として、Ka帯周波数による高速衛星通信システムの構築に関する技術実証を行うために開発された衛星である。

WINDSに搭載するために新たにマルチポートアンテナ(MPA)、アクティブフェーズドアンテナ(APAA)、衛星搭載ベースバンド交換部(ABS)が開発された。衛星は宇宙航空研究開発機

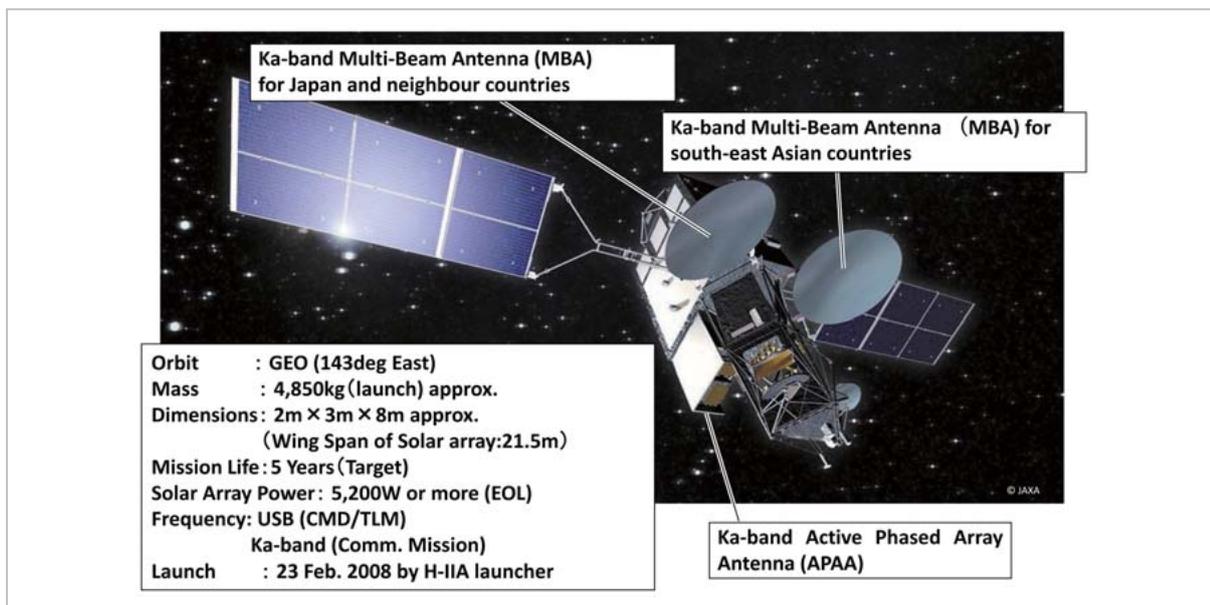


図 11 WINDS 外観図と主要諸元

構 (JAXA) と情報通信研究機構 (NICT) が共同で開発を行い、NICT は ABS の開発を担当した。

WINDS は 2008 年 2 月 23 日に JAXA 種子島宇宙センターより H-IIA ロケットにて打ち上げられた。初期機能確認の後、2008 年 7 月より衛星開発機関である NICT と JAXA が実施する基本実験が開始され、2008 年 10 月からは総務省が広く公募した利用実験が行われている。

5.1 超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS) の概要^[3]

WINDS は JAXA と NICT が共同で開発した技術実証衛星である。2008 年 2 月 23 日に JAXA 種子島宇宙センターより H-IIA ロケットにて打ち上げられた。

WINDS の外観図と主要諸元を図 11 に示す。WINDS は東経 143 度の静止軌道に投入されており、設計寿命は 5 年である。通信実験には Ka 帯 (アップリンク 27.5–28.6 GHz/ダウンリンク 17.7–18.8 GHz) を使用している。

WINDS には 2 種類のアンテナが搭載されている。ひとつは 2.4 m の主反射鏡を持つマルチビームアンテナ (MBA) であり、日本および近隣都市用と東南アジア用の 2 式を搭載している。他方は広域電子走査ビームアンテナ (APAA) である。

WINDS のサービスエリアを図 12 に示す。

国内向け MBA は日本を 9 ビームでカバーし、さらに近隣都市 (ソウル、上海、北京) をカバーしている。東南アジア向け MBA はシンガポールなど 7 都市をカバーしている。

一方、APAA は電子的にビームを走査することが可能であり、送受各 2 ビーム同時に使用できる。APAA の走査範囲は衛星から見える全地球に及ぶ。

WINDS 中継器系統図を図 13 に示す。

WINDS には ABS が搭載されており、地上からのアップリンク信号を復調器 (DDEM) で復調し、交換機 (ATMS) でビーム間スイッチングを行い、変調器 (MOD) で再度変調をかけてダウンリンクする。再生交換中継器を搭載することで、アップリンクで生じた誤りは訂正され、またダウンリンク信号を多重化できることで送信電力の効率的な運用が可能となっている。

アップリンク信号は変調方式: QPSK、誤り訂正: リードソロモン符号 RS (255, 223) を使用している。伝送速度はアップリンク 1.5 Mbps、6 Mbps、24 Mbps、51 Mbps および 155 Mbps (= 51 Mbps × 3 波) を使用できる。一方、ダウンリンク信号は変調方式: QPSK、誤り訂正: リードソロモン符号 RS (255, 223) であり、伝送速度は 155 Mbps のみを使用できる。アクセス方式には TDMA を採用しており、1 タイムスロットは

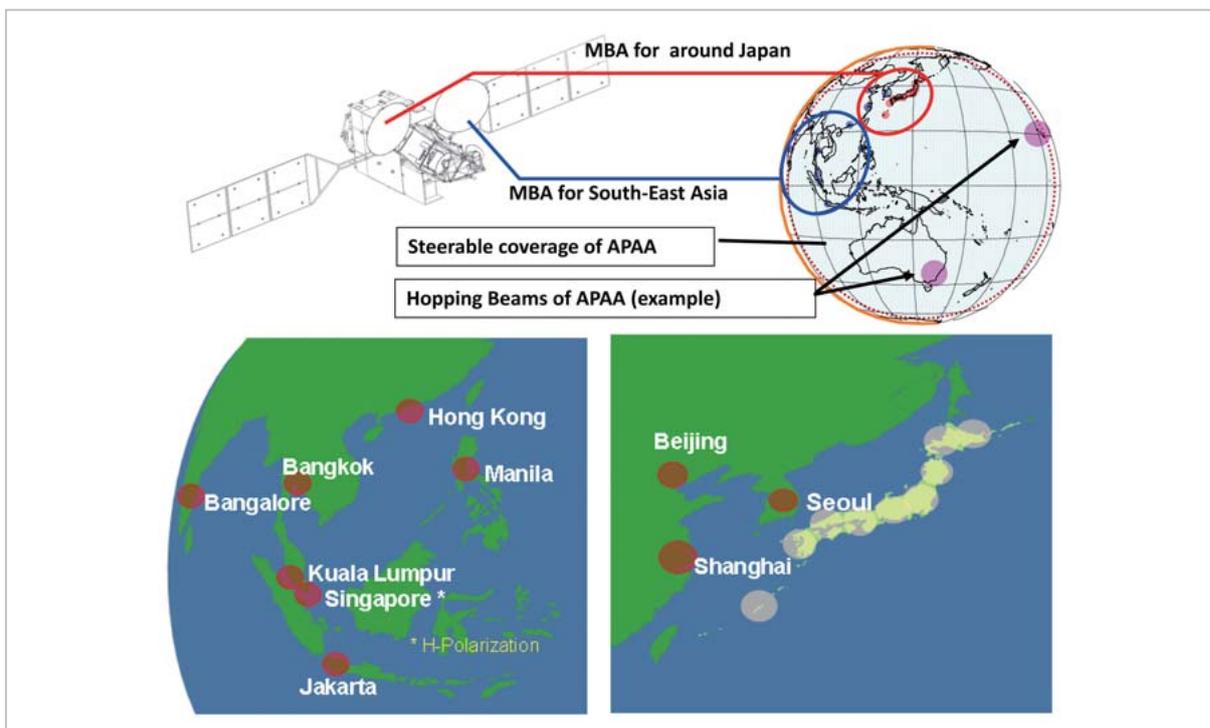


図 12 WINDS サービスエリア

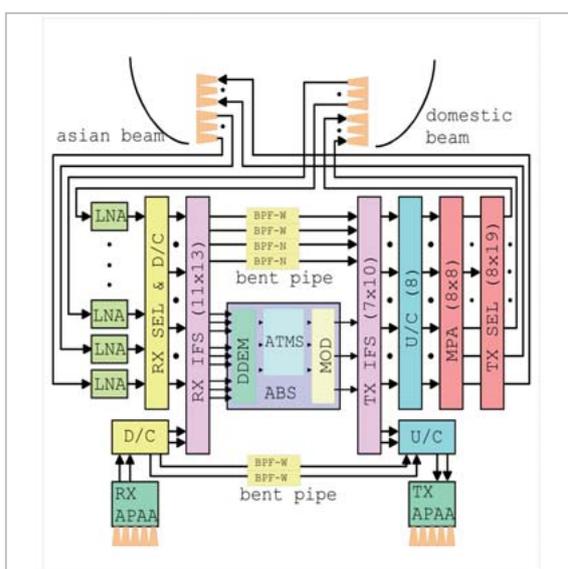


図 13 WINDS 中継器系統図

2 ms であり、1 スーパーフレームは 320 スロット (640 ms) である。

また、再生交換機をバイパスして、バンドパスフィルタ (BPF) を使用した非再生中継回線として使用できる。中継器の帯域が 1.1 GHz あるので、最高 1.2 Gbps の伝送まで可能となっている。

5.2 WINDS 衛星通信実験

WINDS を使用した立体ハイビジョン伝送実験を実施するにあたり、送信側は関東圏内の撮影場所である大和成和病院の駐車場に超高速小型地球局 (SDR-VSAT) を設置した。また、受信側は近畿圏内の映写場所である神戸国際展示場の屋上に小型地球局 (51 M-VSAT) を設置した。映像系装置とのインターフェースは地球局 IDU 入力端 (Ethernet : 1000 Base-T) とした。

SDR-VSAT と 51 M-VSAT の主要諸元を表 1 に示す。

SDR-VSAT は実験車に搭載されており、開口径 2.4 m のアンテナと飽和出力 215 W の TWTA で構成されている。再生交換中継を使用した場合の最大送信速度は 155 Mbps (51 Mbps × 3 波) であり、受信速度は 155 Mbps である。

一方、51 M-VSAT は開口径 1.2 m のアンテナと 40 W の SSPA で構成されている。再生交換中継を使用した場合の最大送信速度は 51 Mbps であり、受信速度は 155 Mbps である。

2010 年 1 月の立体ハイビジョン伝送実験では、SDR-VSAT 送信には、155 Mbps (51 Mbps × 3 波) モードで 288 スロットを、51 M-VSAT 送信には 51 Mbps モードで 288 スロットを割り当てた。

表 1 SDR-VSAT と 51M-VSAT の主要諸元

	SDR-VSAT	51M-VSAT
Antenna size	2.4m	1.2m
HPA	215W:TWTA	40W:SSPA
EIRP	76.0dBW以上	61.7dBw以上
G/T	24.5dB/K以上	19.0dB/K以上
TX data rate	regenerative: 155Mbps bent-pipe: 622Mbps	regenerative: 51Mbps
RX data rate	regenerative: 155Mbps bent-pipe: 622Mbps	regenerative: 155Mbps
photograph		

映像伝送前にネットワーク特性測定ツール iperf により、パケットロスを測定し、回線品質が十分良いことを確認している。

SDR-VSAT → 51 M-VSAT UDP 100 Mbps
パケットロス：0%

51 M-VSAT → SDR-VSAT UDP 30 Mbps
パケットロス：0%

6 3D ハイビジョン伝送技術の詳細

6.1 URCF 立体映像伝送作業班が開発した伝送技術

URCF 立体映像伝送作業班では、2つのタイプの立体ハイビジョン IP 伝送技術を開発した。いずれも IEEE1394 をベースにして、立体ハイビジョンステレオ映像を IP (インターネットプロトコル) 伝送する技術である。IEEE1394 は高速シリアル通信バスの規格である。クロック同期のとれた、タイムクリティカルな通信が可能で、映像、音声、制御信号などの、複数の信号を同時に伝送できるため、マルチメディア機器の接続端子として、コンシューマ機器からプロユース機器まで幅広く採用されている。ケーブルからの電源供給 (バスパワー) も可能で、機器動作中に抜き差し (ホットプラグ) ことができ、デジタル家電の相互接続のための標準的な接続端子のひとつであ

る。FireWire、i.Link、DV 端子などの呼称で呼ばれることもある。

ベストエフォート回線 (中狭帯域回線) で IEEE1394 を用いて家庭等に水平圧縮 2 画面多重の立体映像を直接配信するのに適したローエンドタイプは、サイドバイサイド圧縮方式を用いている。サイドバイサイド圧縮方式は、図 14 に示すように、画像の横幅を 1/2 に縮めた (圧縮した) うえで、2つの映像を画面の左右に並べて1つの画像に合成した映像を構成するものである。水平方向を 1/2 に圧縮していることから、水平解像度が 1/2 に低下することと、一般のテレビで見ると縦長になった映像が 2つ並んで見えるなどの課題はあるが、電気信号の形式は通常のテレビ信号と全く同じであるため、一般のハイビジョン機材を使って、立体ハイビジョン (ステレオ映像) 信号を、そのまま伝送・放送・録画ができるという大きなメリットがある。

初期のローエンドタイプにおける IP 伝送実験システムの構成を図 15 に示す。同期した 2 台の HDV カメラで撮影された立体映像のストリームは、2 画面化エンコード後に iLink エンコードが行われ、IP 伝送送信機に入力される。ここでサイドバイサイド方式の画像に合成された後で IP 化され、ネットワーク経由で伝送される。この段階ではハイビジョン互換信号になっており、iLink デ



図 14 サイドバイサイド圧縮方式の画像例

コードが行われた後で3Dテレビに入力される。3Dテレビではサイドバイサイド信号から左右両眼の画像に伸長し、立体映像が表示される。使用帯域は、約30Mbpsである。

ハイエンドタイプは、JGN2plusのような広帯域回線に適したもので、高画質な立体映像を独立した2チャンネルのHDV規格のハイビジョン映像のまま伝送される。ハイエンドタイプにおけるIP伝送実験システムの構成を図16に示す。同期した2台のHDVカメラで撮影された立体映像のストリームは、2チャンネル伝送装置(HVR-

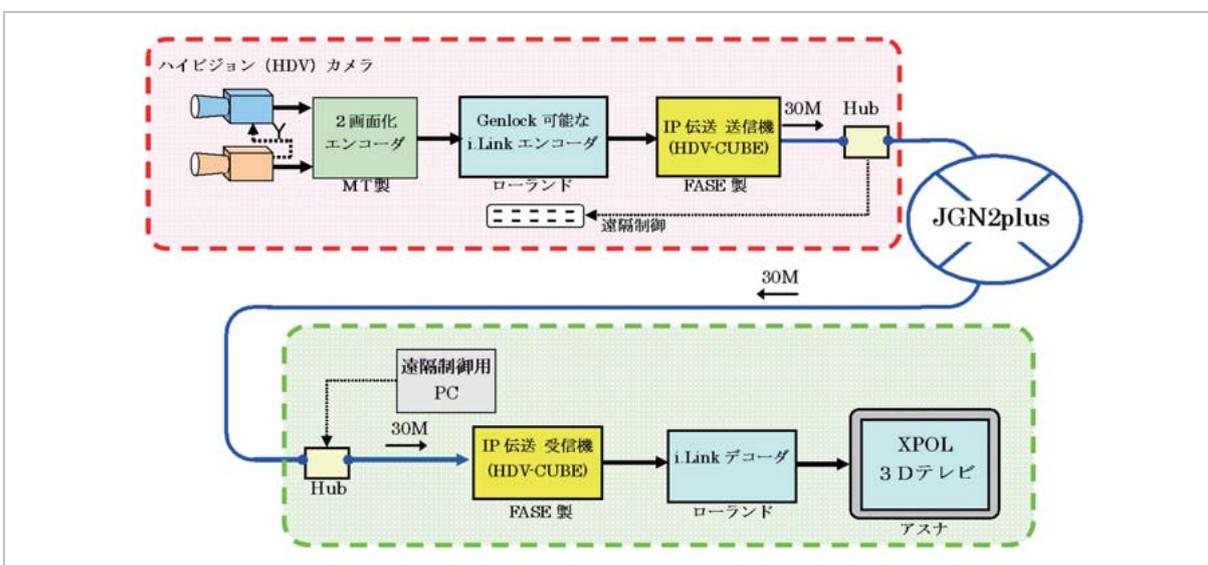


図 15 初期のローエンドタイプの構成

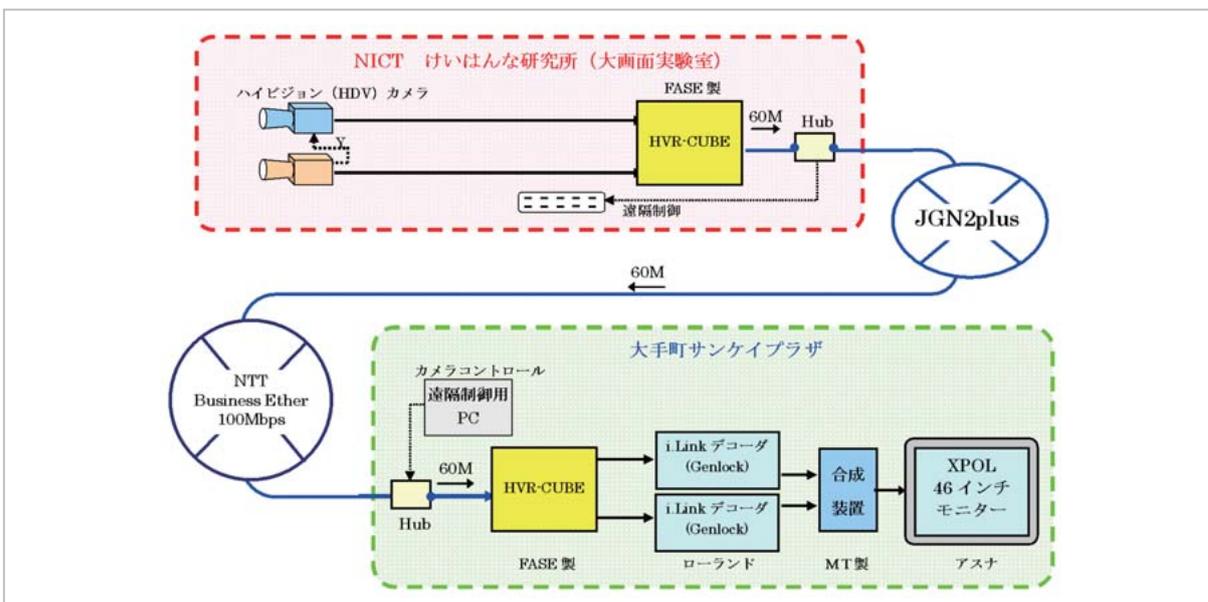


図 16 ハイエンドタイプの構成



～超小型手のひらサイズ～

図 17 立体ハイビジョン IP 伝送装置 HVR-CUBE



図 18 立体映像合成装置

CUBE) に IEEE1394 経由で入力され IP 化されて、JGN2 plus 回線を経由して受信ポイントまで伝送される。IP 伝送の経路上でも 2 ストリームを維持し、両ストリームの同期を保ったまま伝送されるため、HDV 画質そのままの美しい立体ハイビジョン画像が得られる。伝送上で発生するジッターやパケットロスに対しては、伝送装置内の強力なエラー補正回路で吸収される。iLink を同期してデコード後、2 ストリームの映像を画質劣化なく 3D テレビに表示させる超小型の 2 チャンネル映像合成装置を経て、3D テレビに入力される。使用帯域は、約 60 Mbps である。立体ハイビジョン IP 伝送装置と立体映像合成装置をそれぞれ図 17、図 18 に示す

図 3 に示したデモンストレーションシステムの構成は、ハイエンドタイプに、双方向コミュニケーション用の 2D 伝送システムを付加したものである。

6.2 撮影および表示技術

伝送システムの開発と並行して、立体ハイビジョンカメラと XPOL 方式 3D モニタの開発を行った。立体ハイビジョンカメラの外観を図 19 に



図 19 立体ハイビジョンカメラ

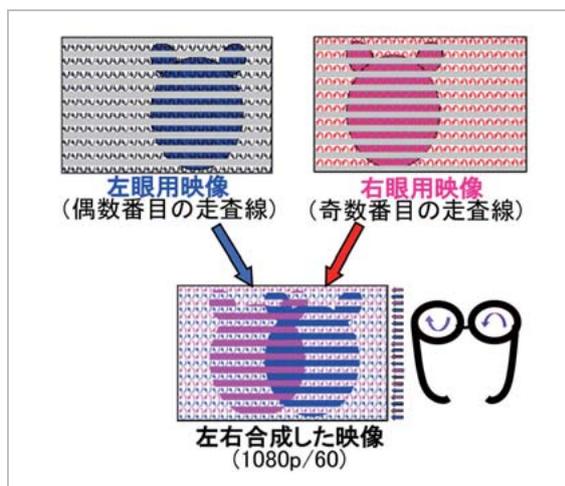


図 20 XPOL 方式の原理

示す。XPOL 式 3D モニタは、走査線の 1 本おきに特性の異なる位相差膜が設けられたフィルターが貼ってある立体ハイビジョンモニタである。原理を図 20 に示す。偏光眼鏡を掛けて、右眼用と左眼用の映像が走査線の 1 本おきに交互にはめ込まれた映像を見れば、分離された左右用の映像をそれぞれ左右の眼で同時に見ることができるため、疲れが少ない理想的な 3D 映像が得られる特徴がある。偏光眼鏡を外して、そのまま通常のハイビジョン放送を受信すれば、普通のハイビジョンテレビとして使える。

6.3 心臓外科手術 3D ハイビジョンライブ実証実験における伝送技術

6.1 で述べたハイエンドタイプは、フルハイビジョン画質で伝送できるという利点があるものの、受信側で同期を取るため、受信側の構成が複雑に

なる。また、帯域保証された 60 Mbps 以上の IP ネットワークが不可欠である。本実験では、帯域のマージンが小さく信頼性を優先したことと、10 台のモニターで表示する関係で受信側の構成を簡単にしたことから、多少画質は落ちるものの、ローエンドタイプと同様のサイドバイサイド方式でシステムを構成した。新たに開発した「3D Side By Side Encoder」(図 21)と「3D SS-Composer」(図 22)を使うことにより、図 9 に示すように初期のローエンドタイプと比べて大幅に簡略化してい

る。送信側では、GenLock で同期された 2 台のカメラから、標準的な出力規格である HD-SDI 方式の信号を直接 3D Side By Side Encoder に取り込み、ここでサイドバイサイド映像を直接合成する。この映像は通常のハイビジョンと互換の信号フォーマットであるため、広く普及している H.264 の圧縮技術を使って伝送できる。左右両眼の画像が一体化されていることから、伝送路上での同期は気になくてよい。受信側では、H.264 圧縮を解いた後、サイドバイサイドの映像信号を「3D SS-Composer」でモニター入力規格の DVI 信号に変換するだけで、モニターに 3D 映像が表示できる。

7 実証実験の状況

本実証実験においては、6 時間以上にわたる立体ハイビジョン映像伝送中に衛星回線が不調になることなく、無事に伝送実験を終了した。実際の心臓外科手術についての「3D ライブ手術」で、3D ハイビジョン映像伝送を良好に実施でき、圧倒的な立体感を手術室と会議場の間で共有できた。会議場の指導的外科医と手術室の執刀医の間で、血管の処置など細かな手技も含めた議論がストレスなく行え、遠隔地の外科医への技術の伝承や専門医同士の相互評価を通じ、全体の技量向上に大きな力を発揮する可能性が専門家により確認された。

図 23 は、実験当日の手術室の写真である。手術の進行に合わせて、患者の上方に設置したカメラアングルの調整などを行った。図 24 は、神戸国際展示場の上映会場におけるディスカッション

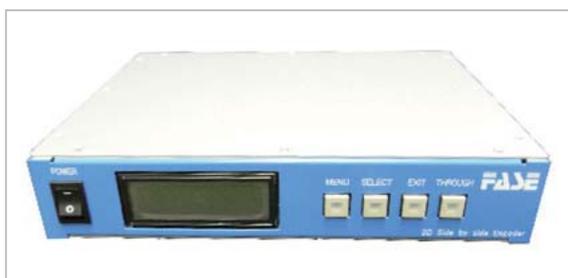


図 21 3D Side By Side Encoder



図 22 3D SS-Composer



図 23 衛星回線を通じて 3D で上映された大和成和病院手術室



図 24 神戸会場における討論風景



図 25 中継されたライブ映像

の風景である。司会を務められた滋賀大学の浅井徹教授とコメンテータである名古屋ハートセンターの米田正治医師も、3Dメガネをかけて壇上の3Dモニタを観察され、手術の進行や映像の品質などについて議論が行われた。中継されたライブ映像の一例を図25に示す。3Dモニタを裸眼で見たと同様に、2重の映像になっているが、3Dメガネをかけることにより、非常に鮮明な映像が観察できた。

8 医学面からの考察

本実験における手術映像の送信元となった大和成和病院の南淵明宏院長は、実験当日は神戸の会場で手術映像を見ながら議論に参加された。南淵院長の医学雑誌への寄稿文^[4]から抜粋し、医学面の考察として以下にまとめる。

『心臓手術の様子が3Dで実況中継されたのは世界初の快挙であり、歴史的な映像が記録され

た。3D技術のすばらしさと、さらにそれを上回る生命の力強さを如実に伝えるコンテンツである。裸眼で見ると、ぼやけて不鮮明な画像にしか見えないが、専用のメガネをかけると、「臨場感豊かな……」という表現では表せないほどの衝撃的な立体画像が頭の中に飛び込んでくる。これまでに先生が参加された、海外も含めたライブ形式の手術映像のなかでも群を抜いた最高の画質だった。こういった手術映像を医師の集まる学会会議の会場に実況中継することはライブ手術とよばれ、心臓外科の分野でも1996年以来、各地で行われてきた。CCTでも8年連続で行われているが、3Dは今回が初めてである。今回の3Dの映像は超臨場感という言葉にふさわしいものだった。「実際手術で自分達の手で見ていたよりも鮮明ではっきりと見える」という感想が多数聞かれた。

心臓手術は少しのミスが信頼をお寄せくださる患者様の死につながり、大変な緊張感である。先生は手術中、目の前で拍動する心臓の美しさ、健気さに毎日感動している。神域ともいえる人体内部、命そのものともいえる心臓の神々しさが、3Dでは何倍にも発揮されたように思う。いつも見えていなかったものが3Dではくっきりと映し出されている。現実を超えた臨場感、つまり超臨場感が、私を含めた会場の心臓外科医をして「いつも見ている心臓と違うぞ?!」と思わしめた。

通常の人間の肉眼では、被写界深度とよばれる“焦点の合う奥行き”はそう深くない。また、人間の目は見たいものの情報だけを選別して脳に送り、さらにそれを脳が識別して視覚情報を構成する。ところが今回のハイビジョン双眼カメラは、画質が肉眼を上回る鮮明さであり、被写界深度も視野のほぼ全域を網羅するほどの深さである。それを使って3Dの世界を構築したため、人間の脳の処理能力を上回り、3Dの画像が実際よりも奥行きが深く思えるようなことが起こったと分析できる。』

さらに、『外科手術などの技術の学習、教育や記録に役立つことは言うまでもない。外科医自身の目から得られる情報に、3Dの画像情報がさらに多くの情報を付け加え、より完成度の高い手術を行うことを可能にしてくれるだろう。』というように、医療分野に3Dハイビジョン映像が大変有意義であると評価された。

9 むすび

WINDS衛星を用いて心臓外科手術の3Dハイビジョンライブ実証実験実施し、高画質の3D映像を実時間で伝送することに成功した。今回の実験が成功したことにより、今まで2D映像で限界のあった映像に超臨場感医療3Dハイビジョン映像を活用することで、近未来における高度医療技術の大きな展望が見えてきた。手術室と学会会場の間で臨場感の高い立体映像による場の共有ができ、医学界からも注目される結果となった。今後の遠隔医療や医療技術の伝承の可能性も開かれた。

さらに、伝送技術面においては、通信インフラとして、超高速インターネット衛星 WINDS(きずな)回線で3D映像をライブ伝送するシステムの

妥当性も検証することができた。SDR-VSATからの送信は100 Mbps回線を安定して供給でき、高画質の映像伝送実験に成功した。

WINDSにはAPAAが搭載されており、広くアジア・太平洋地域とも衛星回線の設定が可能となっている。今回の実験の成功は、今回のような極めて高度な医療応用課題についても、これらの地域を対象とした高速衛星通信実験や利用への可能性を示すことができたことになる。

謝辞

今回の手術映像伝送にご協力いただいたお二人の患者様、南淵明宏院長をはじめとする大和成和病院の皆様、神戸の会場でご議論およびご協力いただいた皆様方に感謝する。

参考文献

- 1 超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム (URCF) ウェブサイト, <http://www.scats.or.jp/urcf/>.
- 2 大和成和病院ウェブサイト, <http://www.syscom.ne.jp/home/seiwa/>.
- 3 超高速インターネット衛星 (WINDS) 特集, 情報通信研究機構季報 Vol. 53, No. 4, Dec. 2007. など
- 4 南淵明宏, “心臓外科手術の3D実況中継(ライブ手術)の経験,” 映像情報メディカル, Vol. 42, No. 5, pp. 546-548, May 2010.



きむら かずひろ
木村和宏
ユニバーサルメディア研究センター
推進室室長
立体映像、衛星通信



たか はし たかし
高橋 卓
新世代ワイヤレス研究センター宇宙通
信ネットワークグループ研究マネー
ジャー
衛星通信



おお かわ みつぐ
大川 貢
新世代ワイヤレス研究センター宇宙通
信ネットワークグループ主任研究員
博士 (工学)
衛星通信



あか いし あきら
赤石 明
新世代ワイヤレス研究センター宇宙通
信ネットワークグループ技術員
衛星通信



あさ い としお
浅井敏男
新世代ワイヤレス研究センター宇宙通
信ネットワークグループ技術員
衛星通信

あき おか まき
秋岡真樹
新世代ワイヤレス研究センター推進室
主任研究員 博士 (理学)
宇宙環境、衛星システム、光学観測
装置



すず きりゅう た ろう
鈴木龍太郎
新世代ワイヤレス研究センター宇宙通
信ネットワークグループグループリー
ダー 博士 (工学)
宇宙通信



なか むら やす のり
中村康則
エフエシステムエンジニアリング
株式会社代表取締役



てら だ しげる
寺田 茂
NHK メディアテクノロジー放送技術
本部 3D 高精細センター担当部長3D
開発

こう の みちゆき
河野通之
株式会社アスナ